COSTIN ŞTEFĂNESCU NICOLAE CUPCEA

ELECTRONICĂ APLICATĂ - SISTEME INTELIGENTE HARDWARE-SOFTWARE DE MĂSURARE ŞI CONTROL

Bucureşti 2000

CUPRINS

1. Elemente introductive referitoare la conducerea proceselor industriale din perspectiva sisteme inteligente hardware-software de măsurare şi control 1
1.1 Introducere.....1
2. Sisteme de achiziţie şi prelucrare a datelor 5
2.1 Noţiuni generale 5
2.2 Sisteme de achiziţii de date. Arhitectură. Principalele tipuri de resurse utilizate în cadrul sistemelor de achiziţii de date 5
2.2.1 Multiplexoare analogice utilizate în sisteme de achiziţii de date.....6
2.2.2 Circuite de eşantionare-memorare utilizate în sisteme de achiziţii de date.....9
2.2.3 Circuite pentru conversia datelor utilizate în sisteme de achiziţii de date: convertoare analog-digitale şi digital-analogice.....14
2.2.3.1 Convertoare digital-analogice. Scheme de principiu 19
2.2.3.2 Convertoare analog-digitale. Scheme de principiu 25
2.3 Interfeţe specializate de comunicaţie 35
2.3.1 Comunicaţia de tip serial. Protocoale de transmisie serială a datelor 36
2.3.1.1 Interfaţa RS-232 36
2.3.1.2 Interfaţa I^2C 40
2.3.1.2.1 Specificaţiile interfeţei I^2C 41
2.3.1.2.2 Conceptul de magistrală I^2C.....42
2.3.1.2.3 Transferurile pe magistrala I^2C 43
2.3.1.2.3.1 Transferurile de date pe magistrală 44
2.3.1.2.4 Arbitrarea priorităţilor şi generarea ceasului.....45
2.3.1.3 Interfaţa USB.....46
2.3.2 Comunicaţia de tip paralel. Protocoale de transmisie paralelă a datelor 48
2.3.2.1 Interfaţa HPIB 49
2.3.2.1.1 Structura bus-ului HPIB 50
2.3.2.2 Interfaţa Centronics 53
2.3.2.2.1 Protocolul de comunicaţie Centronics-Handshake 55
3. Tipuri de sisteme de achiziţii de date 57
3.1 Sistem de achiziţii de date cu multiplexare temporală.....57
3.2 Sistem de achiziţie sincronă de date.....61
3.3 Sistem rapid de achiziţii de date.....67
3.4 Unitatea centrală de comandă.....68
3.5 Sisteme de achiziţie de date cu microprocesor.....69
3.5.1 Unităţi centrale de prelucrare tradiţionale.....69
3.5.2 Procesoare de semnal: DSP 75
3.5.2.1 Arhitectura unui procesor de semnal.....76

3.5.2.2 Portul serial sincron al familiei dsp TMS320C2xx.....81
3.5.2.3 Portul serial asincron al familiei dsP TMS320C2xx.....82
4. Consideraţii generale asupra instrumentaţiei virtuale.....85
4.1 Instrumente virtuale.....85
4.2 Interfaţa calculator - proces de măsurare sau control.....90
4.3 Software pentru instrumentaţie virtuală.....92
4.3.1 Alegerea platformei software: Unix sau Windows?.....94
4.4 Particularităţi ale intrumentaţiei virtuale.....95
4.5 Noi instrumente DAQ specializate extind noţiunea de instrument virtual97
4.5.1 Transferul de date în bus-ul PCI.....98
4.5.2 Implementarea DMA pe placa de tip PCI Bus Master. Chip-ul ASIC MITE.....99
4.5.3 Windows NT 4.0 aduce îmbunătăţiri importante pentru utilizatorii de instrumentaţie virtuală.....101
4.5.4 Terenul este pregatătit pentru noile instrumente DAQ.....103
4.5.4.1 Tehnici de eşantionare utilizate în osciloscoapele numerice.....104
4.5.5 DAQScope.....105
4.5.5.1 De ce este importantă mărimea memoriei şi viteza de transfer DMA la un osciloscop?.....107
4.5.6 DAQArb.....108
4.5.7 DAQMeter.....109
4.6 Software specializat pentru achiziţia datelor.....110
4.6.1 Software pentru achiziţia de date.....111
4.6.2 Detalii privind cerinţele impuse unui pachet software pentru măsurări electrice.....115
4.6.3 SCPI (Standard Commands for Programmable Instrumentations).119
5. Prezentarea microcontrollerului 80C552 (PHILIPS).....125
5.1 Arhitectura hardware a microcontroller-ului 80C552.....125
5.1.1 Memoria internă a microcontroller-ului 80C552.....125
5.1.1.1 Memoria de program (Program Memory).....125
5.1.1.2 Memoria de date (Data Memory).....126
5.1.1.3 Registrele cu funcţii speciale.....127
5.1.2 Structura şi lucrul cu porturile de intrare-ieşire.....130
5.1.2.1 Programarea şi utilizarea temporizatoarelor.....132
5.1.2.2 Interfaţa serială SIO_0.....134
5.1.2.3 Ieşirile modulate în durată.....135
5.1.2.4 Secţiunea analogică a microcontrollerului.....137
5.1.2.5 Măsurarea intervalelor de timp prin utilizarea registrelor de captare a evenimentelor.....142
5.2 Prezentarea setului de instrucţiuni al microcontroller-ului 80C51.....143
5.3 Sistem de dezvoltare cu microcontroller 80C552.....167
5.3.1 Domeniul de aplicabilitate.....172

5.3.2 Detalierea resurselor sistemului 172
5.3.2.1 Unitatea Centrală de Prelucrare 172
5.3.2.2 Interfața cu Procesul Controlat 172
5.3.2.3 Interfața cu Operatorul 180
5.3.2.4 Interfața cu un Sistem de Calcul 183
5.3.3 Resurse software, utilizare 183
5.3.4 Rutine de bază pentru manipularea resurselor sistemului 185
6. Sistem universal, modular, de achiziții de date 195
6.1 Mărimi de intrare în sistemul de achiziții de date 195
6.2 Specificațiile de proiectare ale sistemului de achiziții de date 195
6.3 Interfața specializată de achiziții de date a sistemului 198
6.3.1 Interfața de achiziții de date propriu-zisă 199
6.3.1.1 Blocul de adaptare a semnalelor analogice 199
6.3.1.2 Blocul filtrelor antirepliere 202
6.3.1.3 Blocul circuitelor de eşantionare-memorare suplimentare 205
6.3.1.4 Blocul convertoarelor analog-digitale 207
6.3.1.4.1 Descrierea funcțională a blocului de conversie analog-digitală din cadrul interfeței specializate de achiziții de date 207
6.3.1.5 Blocul de conversie digital-analogică 215
6.4 Unitatea centrală de prelucrare locală cu microcontroller 80C552 219
6.4.1 Descrierea funcțională a UCPL 219
6.4.2 Resursele unității centrale de prelucrare locale a sistemului de achiziții de date 219
6.5 Interfațarea unității centrale de prelucrare, cu microcontroller 80C552, cu un sistem hardware extern (interfața de achiziții de date) 224
6.5.1 Modalități de cuplare a unității centrale de prelucrare cu un dispozitiv hardware extern 224
6.5.2 Descriere funcțională a ansamblului unitate centrală de prelucrare locală - interfața specializată de achiziții de date 225
6.6 Estimarea erorilor ce se manifestă în cadrul sistemului de achiziții 227
6.6.1 Estimarea erorilor software 227
6.6.2 Estimarea erorilor hardware 229
7. Software de analiză a semnalelor electrice 233
7.1 Considerații generale asupra instrumentelor software de analiză a semnalelor electrice 233
7.2 Platforma HP VEE pentru Windows. Prezentarea analizorului ESA 234
7.3 Implementarea analizorului ESA 237
7.3.1 Blocul de prelucrare a fişierului de date de intrare 239
7.3.2 Blocurile pentru controlul dispozitivelor de afişare 241
7.3.3 Dispozitivele de afişare de tip oscilograf 244
7.3.4 Blocul de afişare sub formă digitală a valorilor minime/maxime ale semnalelor de intrare 245

7.4 Interfațarea instrumentului virtual de analiză a semnalelor electrice, ESA, cu interfața specializată de achiziții de date 246
7.5 Detalii suplimentare privind implementarea instrumentului virtual ESA 248
7.6 Resurse suplimentare ale analizorului de semnale electrice, ESA....248
7.6.1 Analizorul Fourier 252
7.7 Testarea instrumentului virtual ESA şi rezultate experimentale....255
7.8 Listingul programului de achiziție de date 256
8. Sistem cu microcontroller pentru măsurarea şi controlul temperaturii 267
8.1 Specificațiile de proiectare ale sistemului pentru măsurarea şi controlul temperaturii....267
8.2 Descrierea funcțională a sistemului de măsurare a temperaturii....268
8.2.1 Blocul de măsurare a temperaturii....268
8.2.1.1 Senzorul de temperatură 269
8.2.1.1.1 Conectarea senzorului de temperatură 269
8.2.1.1.2 Senzorul de temperatură 269
8.2.1.1.3 Modulul surselor de tensiune de referință 271
8.2.1.1.4 Senzor de temperatură cu ieşire unificată în curent 274
8.2.2 Utilizarea resurselor unității centrale de prelucrare 275
8.2.3 Etajele de ieşire pentru comanda elementelor de execuție....279
8.3 Software de analiză a rezultatelor 282
8.3.1 Implementarea analizorului PROTERM 284
8.4 Listingul aplicației de măsurare şi control a temperaturii 285
9. Implementarea hardware-software a unui instrument de vizualizare a semnalelor (EASY SCOPE) 294
9.1 Descrierea funcțională a osciloscopului digital EASY SCOPE....294
9.2 Prezentarea circuitului PIC16C71 (Microchip)....298
9.2.1 Descriere generală a PIC16C71 299
9.2.2 Prezentare architecturală 301
9.2.2.1 Ceasul de sistem / Ciclul instrucțiune 303
9.2.2.2 Fluxul de execuție al instrucțiunii / Pipeline-ing 303
9.2.3 Organizarea memoriei de program (Program Memory) 304
9.2.4 Organizarea memoriei de date (Data Memory)....305
9.2.4.1 Registrul STATUS 305
9.2.5 Porturi I/O....307
9.2.5.1 Registrele PORTA şi TRISA 307
9.2.5.2 Registrele PORTB şi TRISB....308
9.2.6 Considerații de programare I/O....310
9.2.6.1 Porturi I/O bidirecționale....310
9.2.6.2 Operații succesive asupra porturilor I/O 311
9.2.7 Modulul de conversie analog-digitală....311
9.2.7.1 Specificații pentru achiziția A/D 314

9.2.7.2 Particularităţi de utilizare a circuitului de conversie analog-digitală a microcontroller-ului PIC16C71 315
9.3 Caracteristici constructive. Testare şi calibrare EASY SCOPE 322
9.4 Descrierea meniului aplicaţiei EASY SCOPE 323
9.5 Codul sursă în limbaj de asamblare al microcontroller-ului PIC16C71 pentru osciloscopul digital EASY SCOPE 326
9.6 Codul sursă în limbaj C pentru osciloscopul digital EASY SCOPE 332
10. Traductor inteligent pentru măsurarea nivelului 343
10.1 Prezentarea hardware a traductorului inteligent de nivel 344
10.2 Programul de aplicaţii NIV.ASM 348
10.2.1 Descrierea programului de aplicatie NIV.ASM 350
10.2.1.1 Secţiunea de iniţializare şi declarativă 350
10.2.1.2 Secţiunea de programare a parametrilor de funcţionare 352
10.2.1.3 Secţiunea de măsurare propriu-zisă 355
10.3 Programul de aplicaţii NIVOK.ASM 360
10.3.1 Secţiunea de iniţializare şi declarativă 360
10.3.2 Secţiunea de calibrare a generatorului de curent 360
10.3.3 Secţiunea de programare a parametrilor de funcţionare 361
10.3.4 Secţiunea de măsurare propriu-zisă 363
10.4 Listingul programului de aplicaţie NIVOK.ASM 366

1. ELEMENTE INTRODUCTIVE REFERITOARE LA CONDUCEREA PROCESELOR INDUSTRIALE DIN PERSPECTIVA SISTEME INTELIGENTE HARDWARE-SOFTWARE DE MĂSURARE ŞI CONTROL

1.1 INTRODUCERE

Sugestiv, conducerea proceselor industriale, poate fi reprezentată printr-o piramidă împărțită pe mai multe niveluri (fig. 1.1).

Supravegherea se găseşte în "piramida conducerii proceselor" pe nivelul al treilea, alături de conducerea procesului, ceea ce arată că, practic, ele nu pot fi separate.

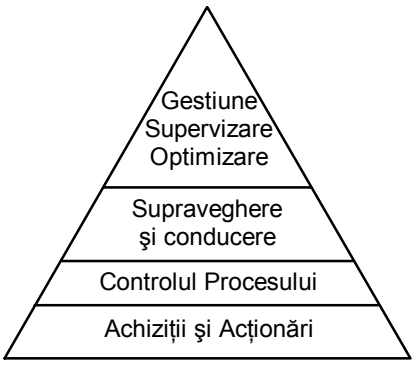


Fig. 1.1 Nivelurile de conducere a proceselor industriale.

Domeniul supravegherii proceselor industriale este destul de vast. Acesta conține aplicații începând cu simpla achiziție de date şi până la prelucrări foarte complexe:

- analize statistice;
- gestiunea elaborării alarmelor;
- ghid operator;
- supravegherea acțiunilor de conducere ale operatorilor;
- identificări de parametri şi simulări;
- supravegherea dinamică a răspunsului procesului, etc.

La baza "piramidei" se situază operațiunile de achiziție din proces a mărimilor de intrare şi de transmitere către procesul supravegheat a comenzilor de acționare.

Funcțiile de bază ale unei aplicații de *supraveghere* a unui proces sunt:

- comunicația cu procesul;

- semnalizarea;
- comunicația cu programele utilizate pentru prelucrarea datelor;
- interfațarea om-maşină;
- gestiunea alarmelor;
- gestiunea rapoartelor.

Conceptul de *aplicație în timp real* poate fi definită astfel:

> Aplicația în timp real, este acea aplicație care realizează un sistem informatic al cărui comportament este condiționat de evoluția dinamică a stării procesului la care este conectat. Acest sistem informațional este menit să urmărească sau să conducă procesul, respectând condițiile de timp stabilite. Deci, timpul real este o noțiune care marchează de fapt conceptul de timp de reacție relativ la dinamica procesului pe care sistemul informatic îl conduce (supraveghează).

Supravegherea în timp timp real a unui proces este o etapă necesară pentru trecerea la pasul următor: conducerea procesului.

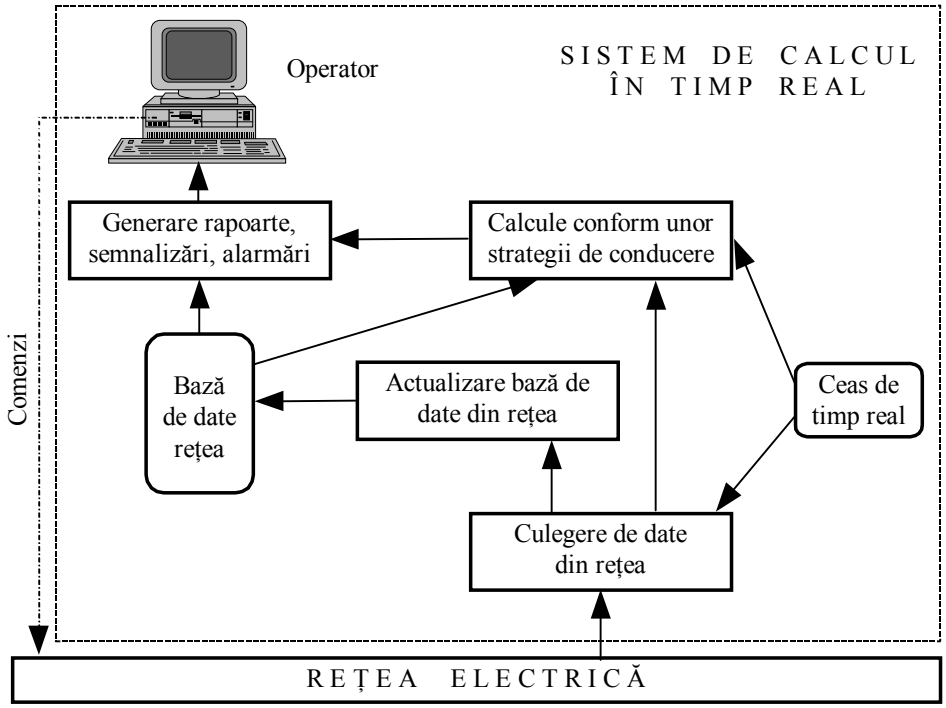


Fig. 1.2 Schema unui sistem de achiziție şi calcul, în timp real, pentru supravegherea unei rețele electrice.

Sistem în timp real este sistemul de automatizare complexă cu ajutorul calculatorului a unor probleme de decizie, mai ales cu caracter operativ, în care timpul de răspuns este suficient de redus pentru a putea influența în mod

semnificativ şi pozitiv evoluția obiectivului condus.

În fig. 1.2 este prezentată schema simplificată a unui sistem de achiziție şi prelucrare a datelor în timp real, destinat supravegherii proceselor dintr-o rețea electrică, care realizează:

- culegerea de date;
- actualizarea bazei de date;
- calcule conform unor strategii de conducere;
- supravegherea şi corectarea ***on-line*** a regimului.

Un sistem de achiziție de date şi control al unui proces industrial, asociat cu un microsistem de calcul, se comportă ca un sistem ***inteligent*** (care poate lua decizii bazate pe informații anterioare, prelucrează informația, efectuează calcule, după care, pe baza rezultatelor obținute, adoptă o decizie, din mai multe soluții posibile).

Sistemele de achiziție de date asocite cu microsistemele de calcul, în timp real, au ca principale avantaje:

- flexibilitatea şi adaptibilitatea la o mare varietate de situații;
- creşterea gradului de automatizare al unor operații;
- mărirea preciziei măsurătorilor;
- fiabilitate bună (număr redus de componente, posibilitatea de autotestare datorită programelor încorporate);
- miniaturizarea echipamentelor;
- posibilitatea prelucrării complexe a datelor din proces;
- simplificarea proiectării electrice şi tehnologice datorită existenței familiilor de componente ce permit interconectări standard.

2. SISTEME DE ACHIZIȚIE ŞI PRELUCRARE A DATELOR

2.1 NOȚIUNI GENERALE

Ca rezultat al răspândirii pe scară largă, în ultimul timp, a calculatoarelor personale şi a perfecționării lor continue, marile firme producatoare de sisteme de măsurare au căutat să realizeze echipamente care să utilizeze calculatorul personal pentru:

- achiziția de date din sistemele industriale;
- reglajul şi supravegherea unor parametri sau instalații (procese);
- realizarea unor aparate de măsurare cu performanțe ridicate.

În prezent, resursele calculatorului personal sunt utilizate pentru a efectua sarcini cum ar fi: comanda, gestiunea, prelucrarea şi afişarea datelor care altfel ar fi preluate de un microprocesor, plasat în interiorul instrumentului.

Instrumentul de măsurare comunică cu PC-ul prin intermediul unei interfețe care are în mod obligatoriu un convertor analog-digital. Instrumentul de măsurare poate fi redus la o simplă cartelă de achiziții de date pentru măsurători.

În momentul de față, prin intermediul tastaturii calculatorului se poate comanda instrumentul de măsurare, iar pe display pot fi vizualizate rezultatele măsurătorilor, sub formă numerică sau sub formă grafică.

Aceste rezultate apar ca urmare a prelucrării datelor brute obținute de la instrumentul de măsurare de către calculator, la cererea utilizatorului. De aici, rezultă aparate cu preț de cost mult mai scăzut.

2.2 SISTEME DE ACHIZIȚII DE DATE. ARHITECTURĂ. PRINCIPALELE TIPURI DE RESURSE UTILIZATE ÎN CADRUL SISTEMELOR DE ACHIZIȚII DE DATE

Un sistem de achiziție de date cu *n* canale de intrare poate fi realizat în următoarele trei configurații:

- *sistem cu multiplexare temporală*;
- *sistem cu achiziție sincronă de date*;
- *sistem rapid de achiziție de date*.

Un sistem de achiziție de date utilizat pentru achiziția şi prelucrarea datelor într-un sistem (fig. 2.1) este compus din următoarele module funcționale principale:

1. convertoare de intrare;

2. circuite de multiplexare analogică;
3. circuite de eşantionare-memorare (E/M);
4. circuite pentru conversia datelor - convertoare analog-digitale (CA/D) şi digital-analogice (CD/A);
5. registre tampon (buffer-e);
6. unitatea centrală de prelucrare (µP);
7. interfaţa de interconectare cu calculatorul personal.

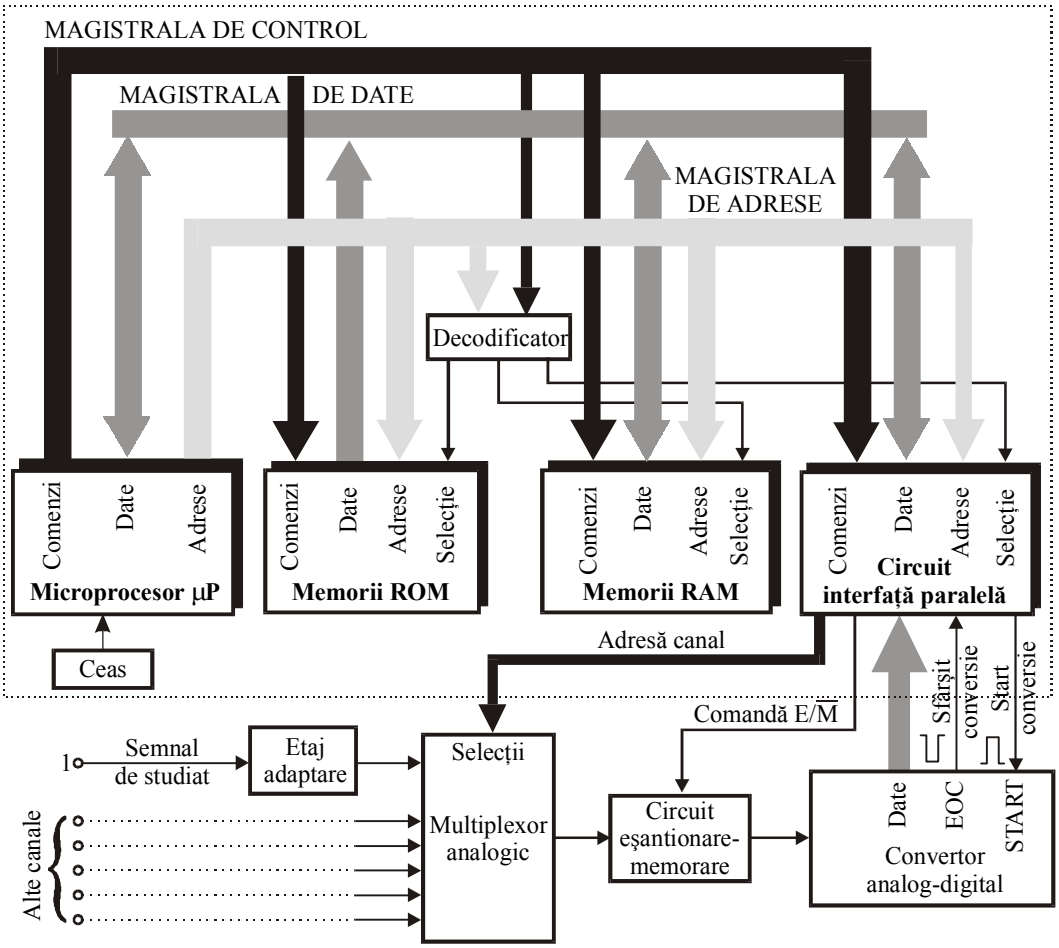


Fig. 2.1 Structura generală a unui sistem de achiziţii de date.

În continuare vor fi prezentate aspectele esenţiale, parametrii caracteristici şi vor fi enumerate recomandări de proiectare ale acestor componente de bază din cadrul sistemelor de achiziţii de date.

2.2.1 MULTIPLEXOARE ANALOGICE UTILIZATE ÎN SISTEME DE ACHIZIŢII DE DATE

În multe situaţii este necesar să fie transmise mai multe informaţii pe acelaşi canal; cum acest lucru nu se poate face simultan, se recurge la o partajare

în timp a canalului, denumită *multiplexare*. Operația inversă se numeşte *demultiplexare*. Operația de multiplexare/demultiplexare analogică necesită dispozitive de comutare care să direcționeze semnalul util pe un canal dorit. În varianta sa cea mai simplă, un multiplexor analogic poate fi asimilat cu un comutator rotativ cu $k = 2^n$ poziții sau cu un ansamblu de $k = 2^n$ comutatoare, dintre care numai unul este închis, în timp ce toate celelalte sunt deschise, comandat de un sistem logic care permite cuplarea uneia din intrări la ieşire (fig. 2.2). Deoarece comutatoarele sunt bilaterale, rezultă că un multiplexor analogic poate fi utilizat şi ca demultiplexor analogic, prin simpla schimbare a sensului.

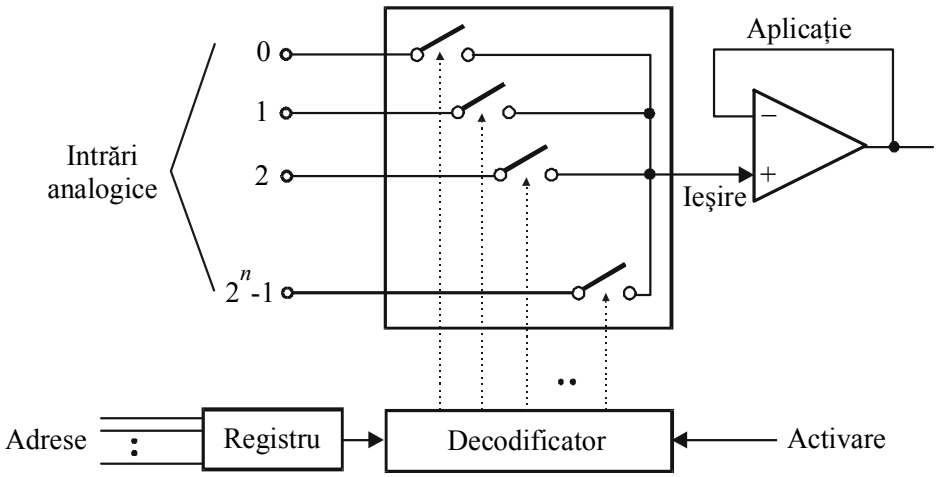


Fig. 2.2 Structura unui multiplexor analogic.

Parametrii multiplexoarelor/demultiplexoarelor analogice sunt:

- ***rezistența în starea deschis*** (*off*): R_{off} [MΩ];
- ***rezistența în starea închis*** (*on*): R_{on} [Ω];
- ***curentul de pierderi în starea deschis***: I_{off} [nA, μA, mA];
- ***timpul de comutare directă*** (închidere): t_{on} [ns, μs]. Este definit ca intervalul de timp de la aplicarea comenzii de închidere până ce semnalul de ieşire atinge o valoare egală cu cea de la intrare (cu o precizie impusă, de exemplu 1%);
- ***timpul de comutare inversă*** (deschidere): t_{off} [ns, μs]. Este definit ca intervalul de timp de la aplicarea comenzii de deschidere până la reducerea curentului la valoarea curentului de pierderi, I_{off}, la valoarea specificată în catalog;
- ***banda de frecvențe***: B.

Multiplexorul analogic permite utilizarea unui singur convertor analog-digital pentru mai multe canale analogice de intrare (sisteme de achiziții de date cu multiplexare temporală). Utilizarea multiplexoarelor reprezintă o soluție

economic viabilă şi în cazul semnalelor de intrare de nivel redus, pentru care multiplexarea se realizează cu costuri ridicate.

Elementul principal al multiplexoarelor analogice îl constituie elementul de comutare, care poate fi realizat în mai multe variante constructive:

- cu relee obişnuite;
- cu relee cu mercur;
- cu relee ***reed***;
- cu elemente semiconductoare (tranzistoare bipolare, diode Schottky, tranzistoare TEC-J, tranzistoare CMOS).

Primele trei variante constructive, utilizând elemente electromecanice, conduc la investiţii iniţiale reduse, compensate însă de costuri ridicate de exploatare, fiabilitate şi durată de funcţionare reduse. De aceea, utilizarea lor este recomandabilă doar în situaţiile în care este nevoie să fie mutiplexate semnale cu nivele mari.

Fiecare tip constructiv de multiplexoare analogice, realizat cu elemente semiconductoare, sunt caracterizate de unele performanţe notabile, dar şi de incoveniente mai mult sau mai puţin surmontabile. Astfel:

- comutatoarele cu diode rapide au timp de comutaţie de valori foarte reduse ($\leq$1 ns), însă rezistenţele reziduale (în stare închisă, respectiv deschisă) R_{on} şi R_{off} au valori neperformante, în comparaţie cu alte tipuri;
- comutatoarele cu tranzistoare bipolare au timpi de comutaţie mici şi rezistenţe reziduale R_{on} de valori reduse, necesită curenţi de comandă importanţi, dar R_{off} are o valoare relativ mică, ceea ce conduce la o "transparenţă" mare a comutatorului;
- comutatoarele cu tranzistoare cu efect de câmp TEC-J au rezistenţa R_{on} de ordinul zecilor de ohmi, timpi de comutaţie medii, însă necesită circuite de comandă complicate (translatoare de nivel pentru compatibilizarea comenzilor);
- comutatoarele cu tranzistoare complementare CMOS sunt cele mai avantajoase şi cele mai folosite. Ele sunt caracterizate prin timpi de comutaţie satisfăcători, rezistenţa R_{on} de valoare relativ mică şi R_{off} de valoare ridicată. În acelaşi timp ele pot fi comandate foarte simplu, iar "transparenţa" creşte doar la frecvenţe înalte ($10^5 \div 10^8$ Hz).

În prezent, datorită evoluţiei explozive a tehnologiei dispozitivelor semiconductoare CMOS, au fost realizate multiplexoare analogice ce pot fi direct interfaţate cu un microprocesor. Acestea dispun de un registru ce poate memora adresa de canal prin executarea unei instrucţiuni de scriere la adresa specifică alocată multiplexorului. De asemenea, majoritatea multiplexoarelor analogice realizate în tehnologie CMOS sunt caracterizate de protecţia dispozitivului la aplicarea unor supratensiuni pe intrări, cu valori de 5-6 ori mai

mari decât semnalele manipulate în funcționare normală. Protecțiile sunt active pentru canale în stare *on* sau *off* în cazul dispozitivelor în stare de funcționare (alimentate), şi chiar pentru circuite nealimentate. Un canal deschis, căruia i se aplică o supratensiune, este comutat automat în stare *off*, realizând protecția etajelor electronice conectate la ieşirea multiplexorului. Un exemplu tipic de astfel de multiplexor analogic interfațabil şi cu protecție la aplicarea de supratensiuni accidentale pe intrări este circuitul MAX368, produs de firma Maxim.

2.2.2 CIRCUITE DE EŞANTIONARE-MEMORARE UTILIZATE ÎN SISTEME DE ACHIZIȚII DE DATE

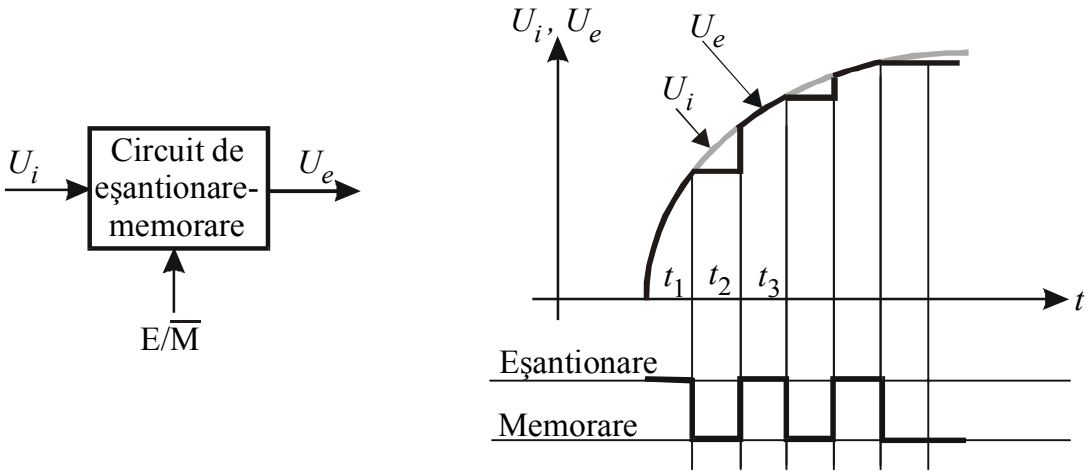
Un circuit de eşantionare-memorare realizează prelevarea, la un moment dat, valorii unui semnal analogic şi memorarea analogică a acesteia (fig. 2.3a).

În modul de lucru "eşantionare" (sau *urmărire*), determinat de nivelul logic "1" al semnalului de comandă $E/\overline{M}$, circuitul de eşantionare-memorare funcționează ca repetor. În modul de lucru "memorare" (sau *menținere*), determinat de nivelul logic "0" al semnalului de comandă $E/\overline{M}$, circuitul de eşantionare-memorare funcționează ca o *memorie analogică*, memorând la bornele unei capacități semnalul de intrare eşantionat anterior (fig. 2.3b).

Circuitele de eşantionare-memorare se utilizează în sistemele de achiziție şi distribuție de date. Astfel, într-un sistem de achiziții de date, ieşirea circuitului de eşantionare-memorare este conectată la intrarea convertorului analog-digital (CA/D). În intervalul corespunzător efectuării unei conversii analog-numerice, circuitul de eşantionare-memorare este comandat în stare de memorare pentru a menține constantă tensiunea la intrarea convertorului analog-digital. Se obține astfel mărirea valorii limitei superioare a domeniului de frecvențe ale semnalului de intrare pentru care CA/D poate fi utilizat la rezoluția maximă (specificată de numărul de biți ai rezultatului conversiei). Acest deziderat este realizat dacă tensiunea de la intrarea convertorului analog-digital nu se modifică, pe durata efectuării conversiei, cu mai mult de ±1/2 LSB. În sistemele de distribuție a datelor, circuitele de eşantionare-memorare sunt utilizate pentru reconstituirea semnalelor multiplexate în timp.

Circuitele de eşantionare-memorare sunt caracterizate de o serie de parametri (fig. 2.4), grupați în mai multe caracteristici:

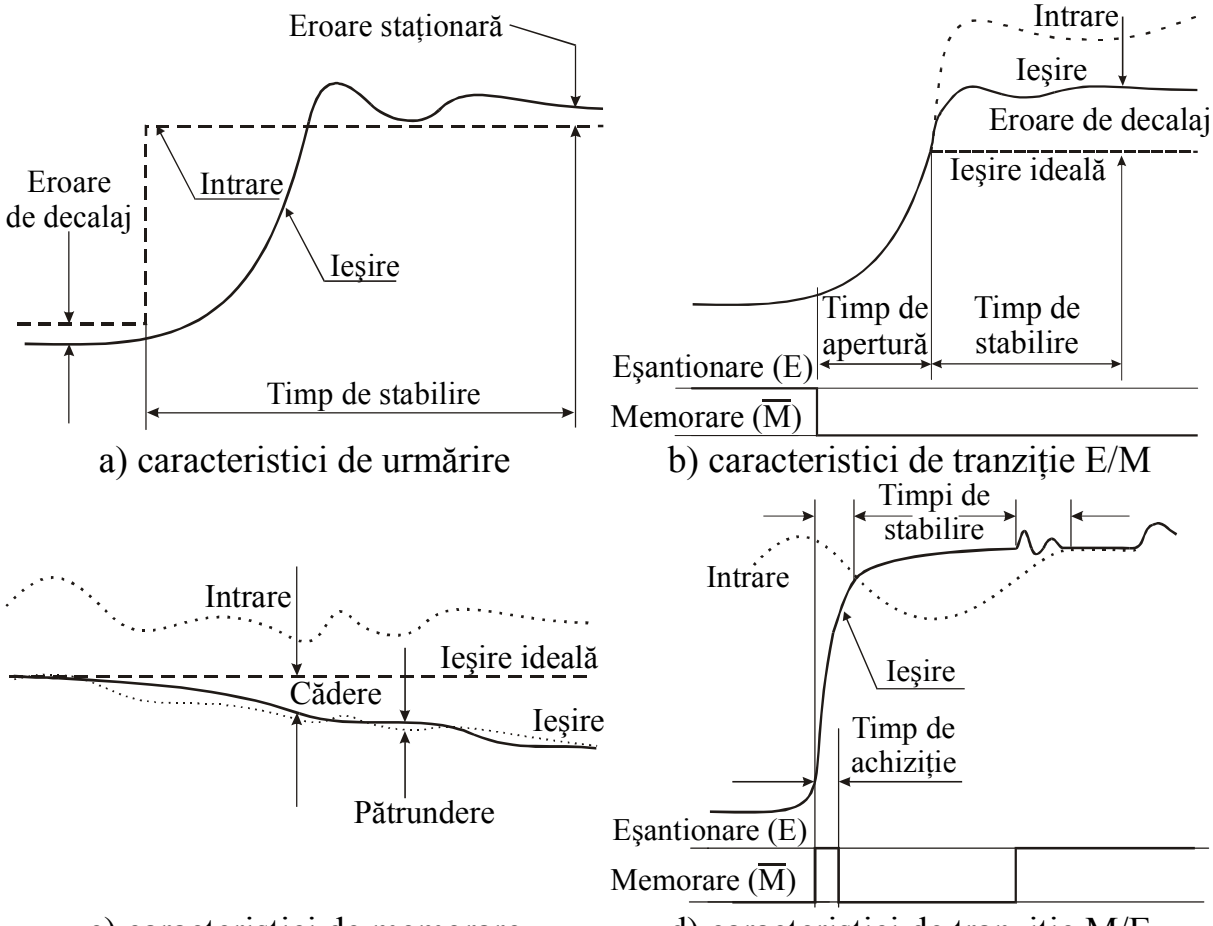
- **caracteristici de urmărire** (fig. 2.4a):
  - *eroarea staționară* - reprezintă abaterea de la amplificarea unitară sau de la cea specificată prin datele de catalog;



a) structură funcțională b) operația de eşantionare-memorare

Fig. 2.3 Circuit de eşantionare-memorare.

- *eroarea de decalaj* - reprezintă valoarea ieşirii pentru o tensiune de intrare nulă;



a) caracteristici de urmărire b) caracteristici de tranziție E/M

c) caracteristici de memorare d) caracteristici de tranziție M/E

Fig. 2.4 Erori ale circuitelor de eşantionare-memorare.

- *timpul de stabilire* - reprezintă intervalul de timp necesar pentru

atingerea valorii dorite a ieşirii, cu o toleranţă maximă specificată;

- **caracteristici de tranziţie eşantionare-memorare** (fig. 2.4b):
  - *timpul de apertură* - reprezintă intervalul de timp dintre comanda de memorare şi momentul efectiv al comutării circuitului în regim de memorare;
  - *incertitudinea timpului de apertură* - reprezintă variaţia timpului de deschidere a comutatorului regimului de eşantionare-memorare, după primirea comenzii de memorare;
  - *eroarea de decalaj la memorare* - este determinată, în principal, de comutarea târzie a circuitului de memorare şi a regimului tranzitoriu de încărcare a condensatorului de memorare;
- **caracteristici de memorare** (fig. 2.4c):
  - *căderea* - reprezintă tendinţa de scădere a nivelului de la ieşire faţă de cel ideal, datorită descărcării condensatorului de memorare;
  - *pătrunderea* - caracterizează influenţa intrării asupra ieşirii, datorată imperfecţiunilor circuitelor de comutare analogică;
- **caracteristici de comutare memorare-eşantionare** (fig. 2.4d):
  - *timpul de achiziţie* - reprezintă intervalul minim necesar de eşantionare, pentru a se obţine o tensiune de ieşire dorită, egală cu semnalul aplicat la intrare cu o toleranţă dată. cest parametru depinde aproape liniar de valoarea capacităţii de memorare;
  - *timpul de stabilire la tranziţia memorare-eşantionare* - reprezintă intervalul de timp dintre comutarea propriu-zisă şi atingerea unei valori a ieşirii corespunzătoare intrării, cu o toleranţă maximă specificată.

Uzual, în cadrul sistemelor de achiziţii de date sunt utilizate:

- circuite de eşantionare-memorare în buclă de reacţie;
- circuite de eşantionare-memorare cu integrare.

În timpul operaţiei de eşantionare, bucla de reacţie negativă din fig. 2.5 permite eliminarea erorii de mod comun şi a erorii de offset, ieşirea fiind forţată să urmărească intrarea. Ca efect, tensiunea la bornele capacităţii de memorare C, pe durata cât comutatorul *K* este închis, este egală cu:

$$U_e = U_i \cdot \frac{A}{A-1} \qquad (2.1)$$

în care A reprezintă amplificarea în buclă deschisă a amplificatorului operaţional *A*1(de valoare foarte mare). Se obţine astfel egalitatea între U_e şi U_i.

Precizia ridicată este obţinută în detrimentul rapidităţii, deoarece pe durata regimului de memorare amplificatorul *A*1 este saturat, întoarcerea la funcţionarea liniară, pentru operaţia de eşantionare, determină creşterea timpului de achiziţie, care poate atinge mai multe zeci de μs.

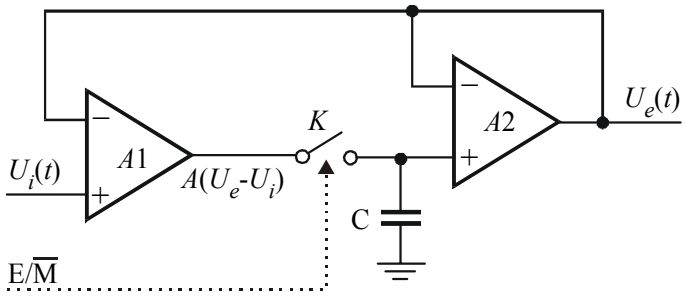


Fig. 2.5 Circuit de eşantionare-memorare cu buclă de reacție negativă.

În fig. 2.6 sunt prezentate două variante de circuit de eşantionare-memorare cu integrare. În montajul din fig. 2.6a capacitatea de memorare C este izolată în raport cu masa circuitului, iar comutatorul *K* funcționează în comutație de curent, comanda fiind simplificată. Ca şi în cazul precedent, primul amplificator este saturat pe durata regimului de memorare. Evitarea saturării ieşirii amplificatorului *A*1 este ilustrată în schema din fig. 2.6b.

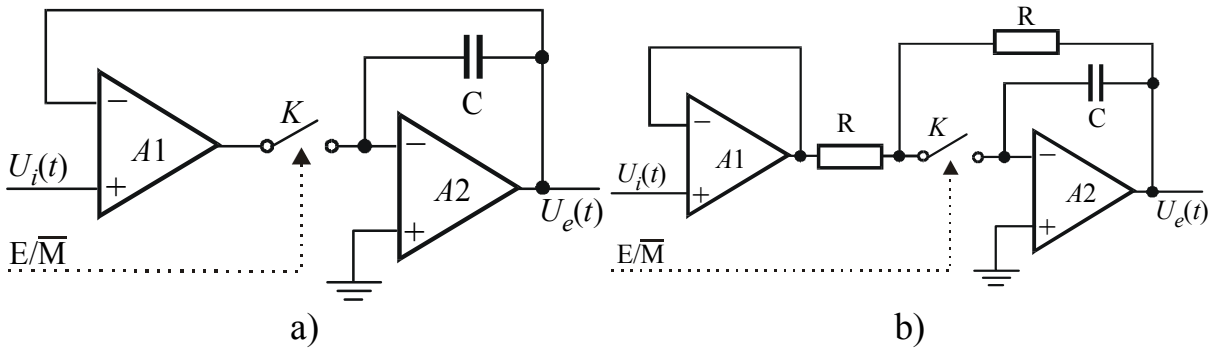


Fig. 2.6 Circuite de eşantionare-memorare cu integrare.

În tabelul 2.1 sunt prezentate câteva tipuri de circuite de eşantionare şi memorare, produse de firme cum ar fi: Analog Devices, National, Burr-Brown şi Datel-Intersil.

Circuitele de eşantionare-memorare disponibile la momentul actual acoperă o paletă largă şi diversă din punct de vedere a performanțelor, la cele două extreme aflându-se, pe de o parte, circuitele de eşantionare-memorare rapide, dar cu o exactitate scăzută, respectiv cele lente, dar cu exactitate bună în ceea ce priveşte deriva, decalajul etc.

Aplicațiile ce necesită utilizarea circuitelor de eşantionare-memorare acoperă şi ele o paletă largă de frecvențe şi viteze de variație a semnalelor de eşantionat. În general, semnalele rapid variabile nu necesită o precizie deosebită, din această cauză, în regim tranzitoriu, viteza constituie parametrul principal, ceea ce înseamnă timpi de achiziție şi de stabilire mici. O situație mai dificilă este atunci când se cere o viteză ridicată de eşantionare şi, în acelaşi timp, o precizie bună.

Tabelul 2.1 Principalele caracteristici ale unor circuite de eşantionare şi memorare

Tipul	Timpul de achiziție	Precizia	Timpul de apertură	Timpul de stabilire	Tehnologie; Particularități
AD582	6 μs 25 μs	0,10 % 0,01 %	150 ns	0,5 μs	monolitică, uz comun
AD583	4 μs 5 μs	0,10 % 0,01 %	50 ns	-	monolitică, rapidă
LF398	4 μs 6 μs	0,10 % 0,01 %	150 ns	0,8 μs	monolitică, uz comun
SHC298	9 μs 10 μs	0,10 % 0,01 %	200 ns	1,5 μs	monolitică, uz comun
AD346	2 μs	0,01 %	60 ns	0,5 μs	hibridă, condensator de memorare intern
SHC85	4 μs	0,01 %	25 ns	0,5 μs	hibridă, condensator de memorare intern, timp ridicat de reținere a tensiunii
HTS0025	20 ns	0,01 %	20 ns	30 ns	hibridă, extrem de rapidă

Pentru semnale caracterizate printr-o viteză de variație mai scăzută, se aleg circuite de eşantionare-memorare cu performanțe satisfăcătoare de viteză, dar cu performanțe bune în ceea ce priveşte dispersia la deschidere, deriva de zero şi rata de descărcare a condensatorului de memorare.

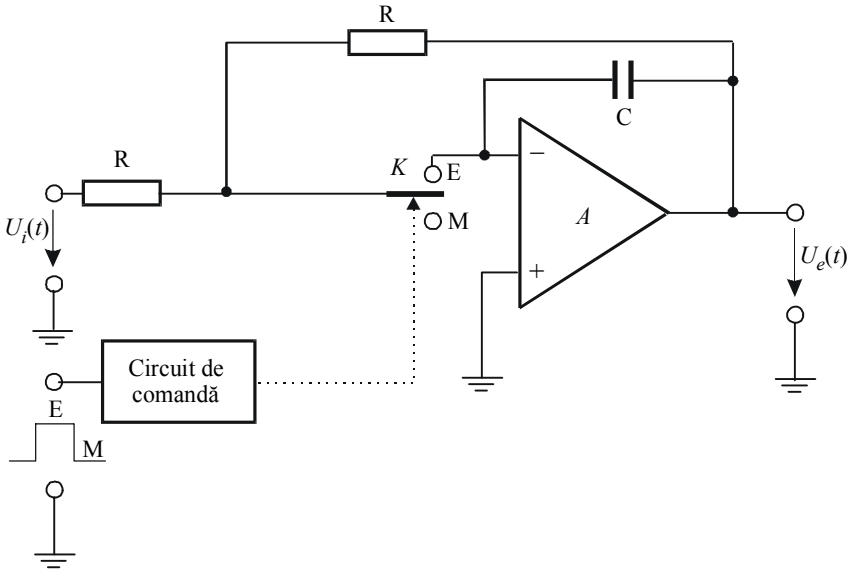


Fig. 2.7 Circuit de eşantionare memorare cu blocare.

Pentru memorarea valorilor semnalelor, în vederea conversiei analog-digitale, cea mai des utilizată metodă de eşantionare este eşantionarea prin blocare. În aceeastă metodă, valoarea semnalului este memorată din primul

moment al eşantionării.

Un exemplu de circuit care utilizează această metodă de eşantionare, este circuitul de eşantionare-memorare cu integrare, varianta inversoare, a cărui schemă funcțională este prezentată în fig. 2.7.

2.2.3 CIRCUITE PENTRU CONVERSIA DATELOR UTILIZATE ÎN SISTEME DE ACHIZIȚII DE DATE: CONVERTOARE ANALOG-DIGITALE ŞI DIGITAL-ANALOGICE

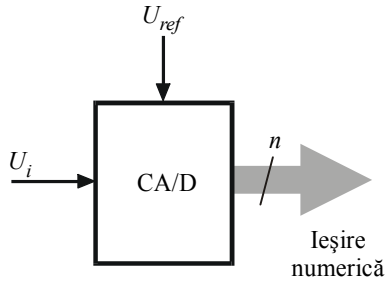
Conversia datelor reprezintă principala operație realizată în cadrul sistemelor de achiziție şi reprezintă transformarea semnalelor din formă analogică în formă digitală sau invers.

Convertorul analog-digital reprezintă componenta principală a oricărui sistem de achiziții de date. Acesta realizează transformarea tensiunii analogice de la intrare într-un cod numeric binar (fig. 2.8a).

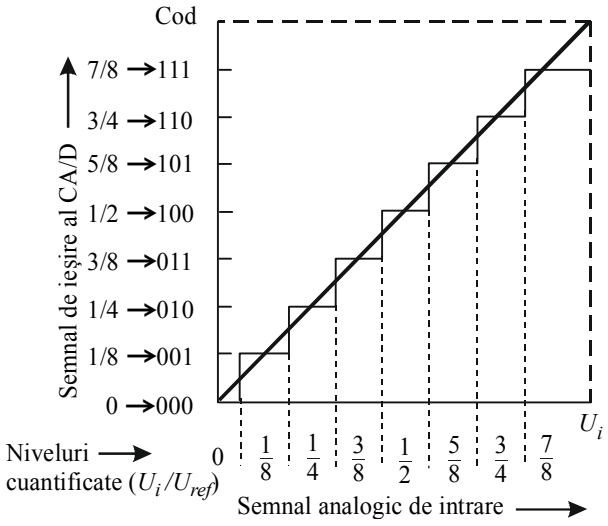
Acest rezultat reprezintă cea mai bună aproximație numerică a tensiunii de la intrare. Măsura acestei aproximații este reprezentată de numărul de biți ai rezultatului conversiei.

Într-un sens mai larg, procesul de conversie analog-digitală poate fi considerat ca o plasare a mărimii de intrare într-un *interval de cuantizare*, obținut prin divizarea intervalului de variație a acesteia într-un număr de clase egale.

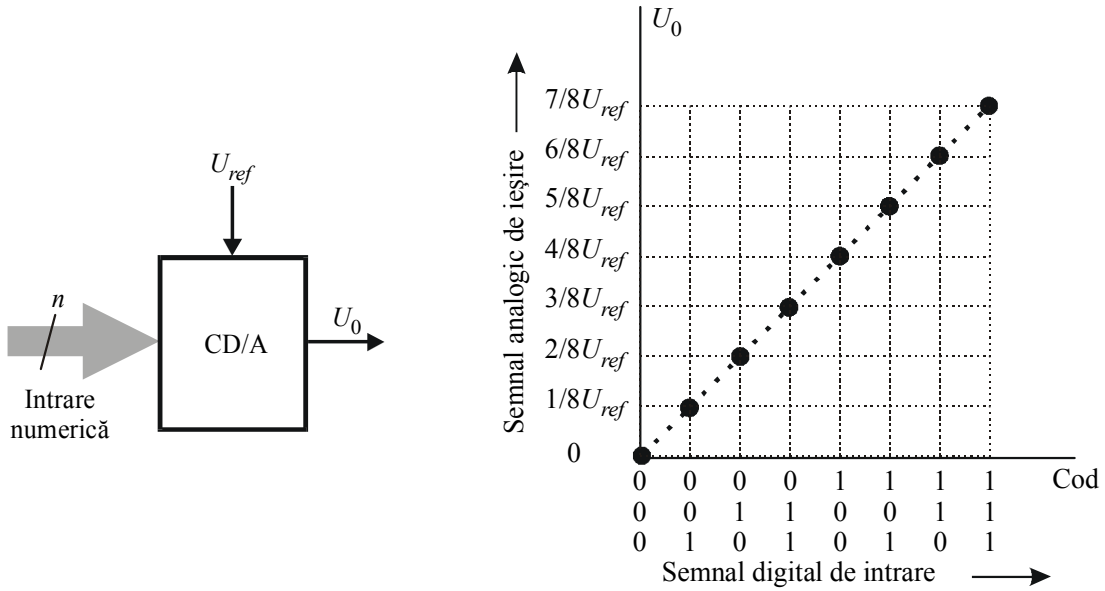
Atunci când mărimea exprimată numeric la intrare este transformată în mărime analogică la ieşire se realizează o conversie digital-analogică (fig. 2.8c).



a) structura funcțională a CA/D



b) caracteristica de transfer ideală a CA/D



c) structura funcțională a CD/A d) caracteristica de transfer ideală a CD/A

Fig. 2.8 Convertoare analog-digitale şi digital analogice: reprezentare funcțională şi caracteristică ideală de transfer.

Circuitele de conversie a datelor utilizate în cadrul sistemelor de achiziții de date sunt caracterizate printr-o serie de parametri, cum ar fi:

- ***gama de variație a intrării*** (pentru CA/D) sau ***a ieşirii*** (pentru CD/A)(*domeniul de lucru*), reprezentând domeniul maxim de variație a mărimii analogice (de obicei tensiune) şi exprimată în unități absolute (V, mV, mA) sau relative (dB);
- ***caracteristica de transfer***, reprezentând dependența mărimii de la ieşirea convertorului față de mărimea de intrare; pentru un convertor analog-digital caracteristica de transfer ideală este o funcție scară (fig. 2.8b) iar pentru un convertor digital-analogic este un set de puncte dispuse pe o dreaptă (fig. 2.8d);
- ***rezoluția*** reprezintă numărul total de coduri distincte de ieşire ale convertorului analog-digital, respectiv numărul total de nivele de ieşire pentru un convertor digital-analogic. Uzual rezoluția se exprimă în biți, în procente din valoarea domeniului de lucru, sau în număr de nivele de cuantificare (CA/D) sau de ieşire (CD/A). Rezoluția teoretică a unui convertor de N biți este 2^N; rezoluția reală poate fi însă mai mică, datorită erorilor. Acest parametru important al convertoarelor se determină ca reprezentând valoarea variației minime a mărimii de intrare ce provoacă modificarea a două coduri consecutive de ieşire (CA/D), respectiv valoarea variației minime a mărimii analogice de la ieşire (CD/A). Rezoluția poate fi prezentată ca fiind $\frac{1}{2^N}$ din domeniul de lucru.

Acest parametru nu trebuie considerat ca o performanță specifică a convertorului, ci un parametru de proiectare. Plecând de la o aplicație concretă, pentru care se impune prelevarea unei mărimi cu o precizie dată, se poate determina rezoluția minimă a convertorului ce va fi folosit;

- ***timpul de stabilire*** caracterizează viteza de răspuns a circuitului şi reprezintă timpul scurs între aplicarea unui semnal de intrare de tip treaptă ideală şi până la obținerea ieşirii dorite cu o aproximație specificată (de regulă ±1/2 LSB) (fig. 2.9). Timpul de stabilire include mai multe intervale de timp specifice, cum ar fi: *timpul de propagare* t_p (până la începerea unui efect observabil la ieşire), *timpul de creştere* t_c (până la prima atingere a nivelului de ieşire dorit), *timpul de restabilire* t_r (după supracreşterea ieşirii) şi *timpul de relaxare liniară* t_a (amortizarea eventualului răspuns oscilant). Este un parametru specific convertoarelor digital-analogice şi se exprimă în unități de timp, indicând şi limitele intervalului de aproximație în jurul ieşirii specificate;
- ***timpul de conversie***, t_{CONV}, reprezintă intervalul de timp necesar unui convertor să obțină mărimea de ieşire pornind de la o mărime de intrare dată (timpul necesar obținerii codului numeric de ieşire corespunzător mărimii analogice de intrare). Variația tensiunii de intrare, pe parcursul procesului de conversie, introduce o eroare în valoarea semnalul de ieşire. În cazul convertoarelor digital-analogice acest timp poate fi considerat a fi chiar timpul de stabilire;
- ***timpul de revenire*** (*relaxare*), t_{rev}, reprezintă timpul necesar unui convertor pentru a putea opera din nou corect;
- ***rata de conversie*** este o măsură a vitezei convertorului şi este definită de inversul sumei timpilor de conversie şi de revenire:

$$R_{CONV} = \frac{1}{t_{CONV} + t_{rev}} \tag{2.2}$$

În majoritatea situațiilor, timpul de revenire este mult mai mic decât timpul de conversie, astfel încât rata de conversie poate fi aproximată doar ca invers al timpului de conversie. În cazul convertoarelor rapide şi foarte rapide, timpul de revenire trebuie luat în calcul pentru estimarea ratei de conversie;

- ***timpul de conversie pe bit*** este timpul echivalent de generare a unui bit (parametru caracteristic pentru convertoare analog-digitale secvențiale);
- ***viteza de variație a ieşirii*** (*slew-rate*) a unui convertor D/A reprezintă o caracterizare a intervalului de timp necesar ieşirii să execute excursia

maximă în cadrul domeniului de variație.

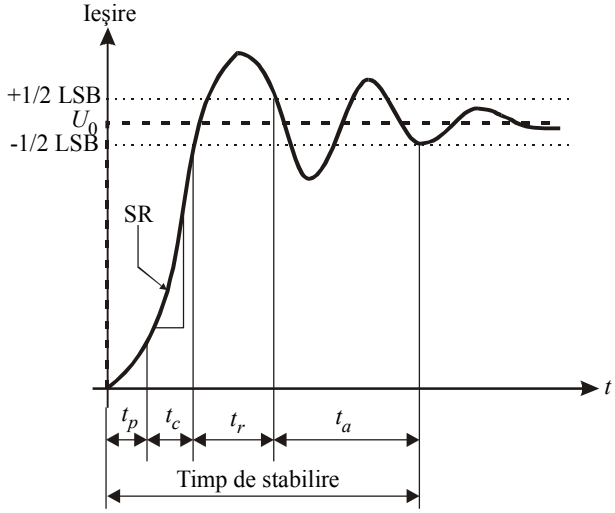


Fig. 2.9 Timpul de stabilire.

Conversia analog-digitală este caracterizată în sine prin eroarea de cuantizare. Datorită formei caracteristicii de transfer (în scară), a codificării unice a unui întreg interval de cuantizare, apare o incertitudine de ±1/2 LSB, nulă la mijlocul intervalului şi maximă la ambele capete. Influența erorii de cuantizare poate fi diminuată prin mărirea numărului de biți ai codului de ieşire a convertorului.

Fiecare cuantă (mărime a intervalului) a unei astfel de divizări reprezintă o valoare a mărimii analogice, pe care se disting nivelurile semnalului de intrare, prezentate prin două combinații de coduri învecinate. Această cuantă poartă denumirea de bitul cel mai puțin semnificativ (LSB).

Astfel:

$$q = LSB = \frac{U_{i\,max}}{2^N} \tag{2.3}$$

unde: q este cuanta, iar $U_{i\,max}$ gama de variație a semnalului analogic de intrare.

Caracteristicile reale ale circuitelor de conversie a datelor pot diferi de caracteristicile sale ideale (fig. 2.10). Caracteristica de transfer a convertorului analog-digital poate fi translatată în raport cu cea ideală (fig 2.10a). Această eroare se numeşte *eroare de decalaj* (*offset*) şi se poate pune în evidență aplicând la intrare o mărime nulă şi măsurând ieşirea.

Eroarea determinată de modificarea pantei caracteristicii de transfer reale față de cea ideală, eroarea inițială fiind nulă, se numeşte *eroare de amplificare* (*de gamă*) (fig. 2.10b). Pentru majoritatea CA/D erorile de decalaj şi de amplificare sunt mici şi pot fi complet eliminate prin reglaj prealabil.

Mai dificil de eliminat sunt erorile legate de neliniaritatea caracteristicilor de transfer, care nu pot fi înlăturate prin reglare prealabilă. Convertoarele analog-digitale sunt caracterizate de două tipuri de neliniarități: cea integrală, respectiv cea diferențială:

- *neliniaritatea integrală* definește gradul în care caracteristica de transfer a unui convertor se abate de la forma teoretică (ideală) de dreaptă, considerând erori de decalaj şi de amplificare nule (fig. 2.10c);

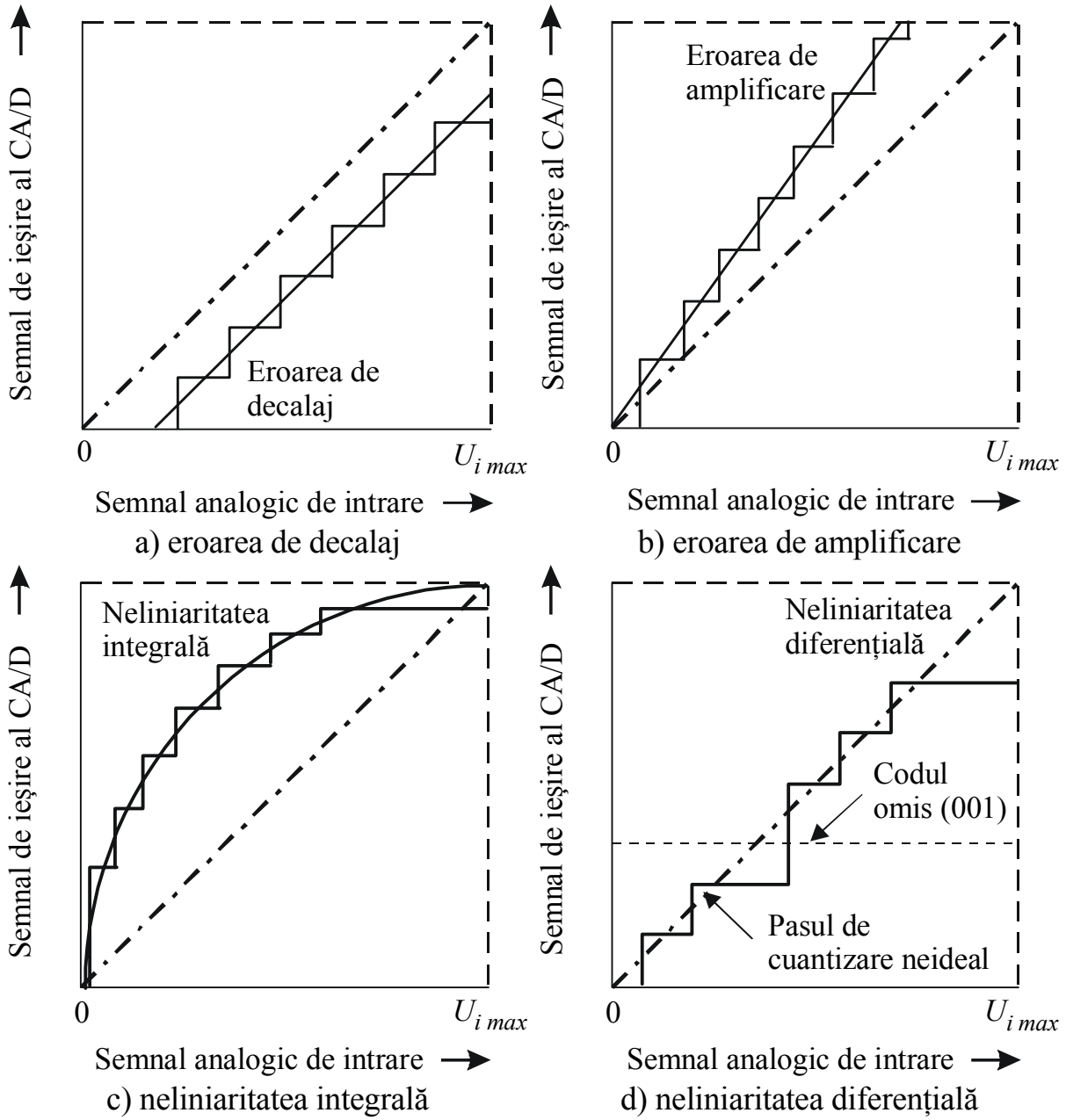


Fig. 2.10 Erorile convertoarelor analog-digitale.

- *neliniaritatea diferențială* caracterizează uniformitatea intervalelor de cuantizare ale unui convertor analog-digital. Dacă neliniaritatea diferențială depăşeşte 1 LSB, aceasta conduce la o comportare nemonotonă a caracteristicii de transfer (în semnalul numeric de ieşire poate lipsi una din combinațiile de cod - fig 2.10d). Neliniaritatea diferențială este afectată de metoda de conversie; ea tinde să fie maximă atunci când convertorul trece prin toate intervalele de cuantizare secvențial.

Precizia reprezintă capacitatea circuitelor de conversie de a respecta cu strictețe caracteristica de transfer ideală, reflectând capacitatea convertoarelor de

a nu fi afectate de erori sistematice şi aleatoare. ***Precizia absolută*** caracterizează funcționarea unui convertor în ansamblu, reflectând orice anomalie a caracteristicii de transfer. ***Precizia relativă*** este influențată doar de liniaritatea caracteristicii de transfer.

Precizia totală de conversie se realizează numai în cazul când această eroare nu depăşeşte rezoluția convertorului. Astfel, pentru un convertor cu rezoluția de N biți, caracterizat de timpul de conversie t_{CONV}, este necesară îndeplinirea următoarei condiții:

$$\left(\frac{dU_i}{dt}\right)_{max} \le \frac{U_{i\,max}}{2^N \cdot t_{CONV}} \tag{2.4}$$

2.2.3.1 CONVERTOARE DIGITAL-ANALOGICE. SCHEME DE PRINCIPIU

Conversia datelor presupune ca oricărei mărimi analogice să i se asocieze o reprezentare numerică corespunzătoare; codurile utilizate pot fi ponderate sau neponderate., prezentând avantajul unei exprimări naturale şi compatibilitate cu circuitele de calcul numeric. În cazul unui cod ponderat, o cifră din cadrul unui număr are semnificația valorii sale propriu-zise, cât şi a ponderii datorate poziției sale în cadrul numărului. Conversia digital-analogică presupune transformarea valorii şi ponderii cifrelor numărului într-o mărime de ieşire analogică corespunzătoare (tensiune sau curent).

Considerând un număr întreg binar de *N* biți, de forma:

$$\overline{B_{N-1}B_{N-2}...B_1B_0} = \sum_{i=0}^{N-1} B_i \cdot 2^i \tag{2.5}$$

Ponderea cifrei B_{i-1} (ce ocupă poziția *i* începând cu LSB) este 2^{i-1}; aşadar ponderea sa creşte de la dreapta spre stânga de la valoarea 1 (ponderea LSB) la valoarea 2^{N-1} (ponderea MSB). Aceleaşi observații sunt valabile şi pentru un număr subunitar de *N* biți , de forma:

$$\overline{B_1B_2...B_{N-1}B_N} = \sum_{i=1}^{N} B_i \cdot 2^{-i} \tag{2.6}$$

Procesul de conversie digital-analogică poate fi considerat similar cu procesul de transformare a unui număr din sistemul de numerație binar în sistemul de numerație zecimal: se asociază fiecărei cifre binare "1" o anumită valoare a unei mărimi electrice care se însumează ponderat conform rangului pe care îl ocupă în cadrul reprezentării numerice. Deoarece ponderea cifrelor descreşte cu factori de forma 2^{-i}, o soluție simplă pentru realizarea operației de ponderare ar consta în utilizarea unor rețele rezistive divizoare, cu mai multe noduri, având între noduri consecutive un raport de divizare de 1/2. Majoritatea

convertoarelor digital-analogice moderne folosesc scheme cu sumare de curenți, care sunt mai stabile, mai rapide şi mai uşor de realizat. Schema bloc a unui astfel de convertor este prezentată în fig. 2.11.

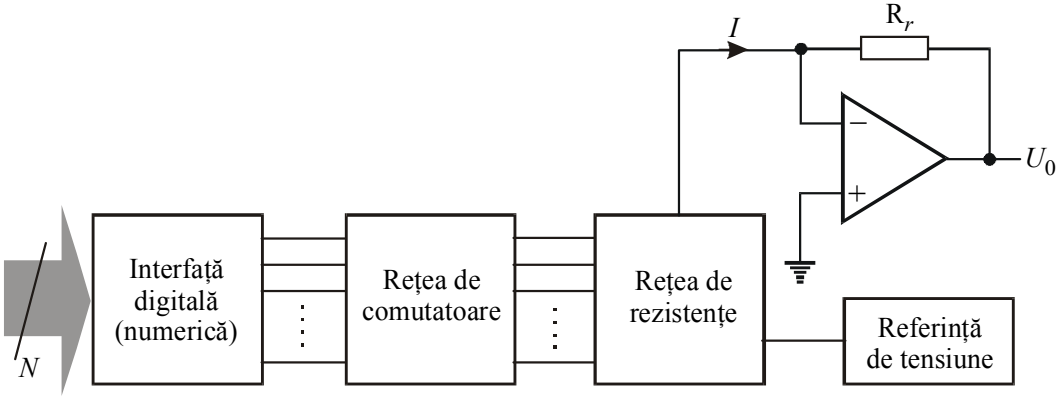


Fig. 2.11 Schema bloc simplificată a unui convertor digital-analogic.

Interfața digitală (numerică) asigură compatibilitatea convertorului cu semnale TTL/CMOS şi produce semnale de comandă pentru o rețea de comutatoare analogice. Aceste comutatoare controlează curenții aplicați unei rețele rezistive de precizie, care realizează ponderarea lor, pentru a obține, prin sumare, valoarea analogică corespunzătoare. Valorile curenților care circulă prin rețea sunt determinate de valorile rezistențelor ce compun rețeaua şi de mărimea (tensiune sau curent) de referință ce intră în compunearea convertorului. Ieşirea poate fi constituită chiar de suma curenților din rețea sau de o tensiune obținută prin transformarea curent-tensiune.

Convertorul prezentat anterior funcționează în permanență: la fiecare modificare a intrării, ieşirea reacționează corespunzător. Dacă se doreşte menținerea valorii analogice de ieşire şi în absența unei mărimi de intrare valide, se poate recurge la memorarea acesteia într-un registru încărcat adecvat, doar la momentele de timp la care se doreşte modificarea ieşirii.

Pentru implementarea convertoarelor digital-analogice, aşa cum a fost precizat anterior, metoda consacrată constă în utilizarea rețelelor rezistive.

Convertoarele digital-analogice cu rețele ponderate binar (fig. 2.12a) conțin un grup de rezistențe de valori $R_i = 2^i \cdot R, i = \overline{1, N}$, conectate împreună la una dintre extremități. Numărul rezistențelor din rețea este determinat de numărul de biți *N* ai cuvântului de intrare. Fiecare intrare logică, B_i, comandă câte un comutator analogic, K_i, ce conectează câte o rezistență a rețelei la sursa de tensiune de referință , U_{ref}, generând un curent I_i. Tensiunea de ieşire poate fi calculată conform relației:

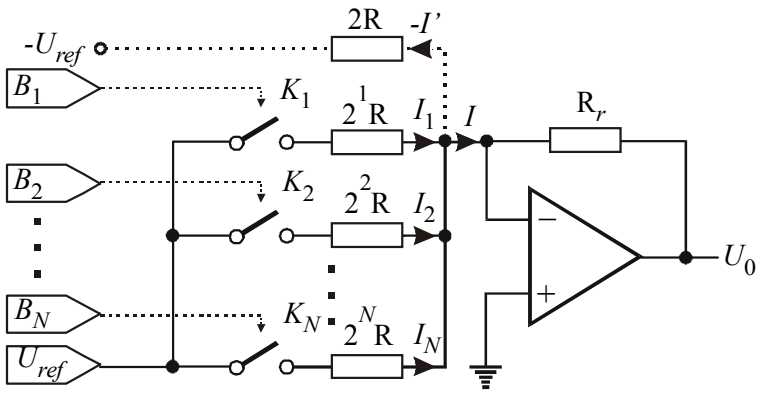
$$U_0 = R_r \cdot \sum_{i=1}^{N} B_i \cdot \frac{U_{ref}}{2^i \cdot R} = U_{ref} \cdot \frac{R_r}{R} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{B_i}{2^i} = \frac{U_{ref}}{2^N} \cdot \frac{R_r}{R} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} B_i \cdot 2^i \qquad (2.7)$$

Expresia (2.7) arată că mărimea de ieşire este o fracţiune din mărimea de referinţă U_{ref} şi proporţională cu numărul aplicat la intrare. Convertorul prezentat funcţionează doar unipolar. Pentru o funcţionare bipolară, schema se modifică aducând în nodul de sumare a curenţilor un curent egal cu jumătate din valoarea corespunzătoare capătului de gamă (fig. 2.12a cu linie punctată).

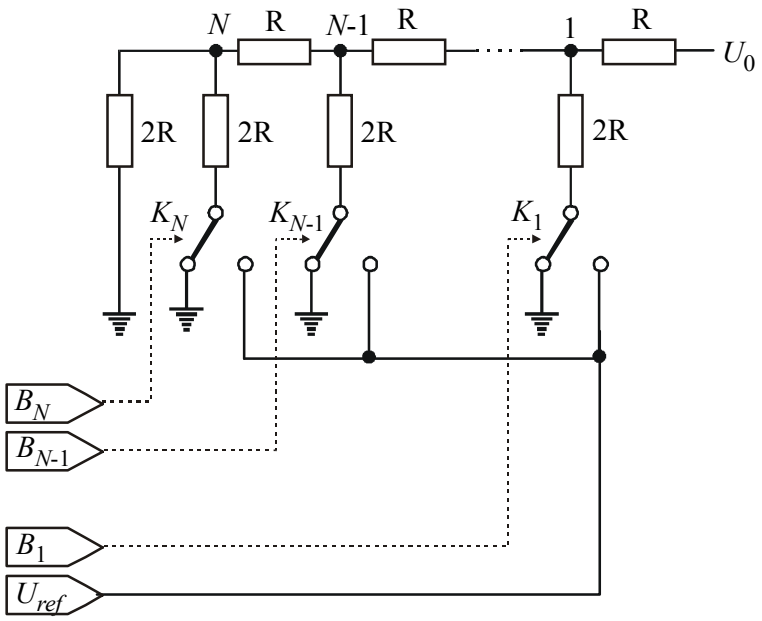
Convertoarele digital-analogice bazate pe acest principiu se numesc şi *convertoare digital-analogice cu curenţi ponderaţi*, deoarece schema utilizează sumarea unor astfel de curenţi.

Simplitatea structurii prezentate în fig. 2.12a trebuie pusă în balanţă cu inconvenientul major al stabilităţii şi preciziei. Deoarece legea de variaţie a rezistenţelor reţelei este exponenţială, la un număr mare de biţi, valorile lor se distribuie pe un interval foarte mare. Acest lucru face dificil realizarea lor cu precizii ridicate şi cu caracteristici de temperatură identice.

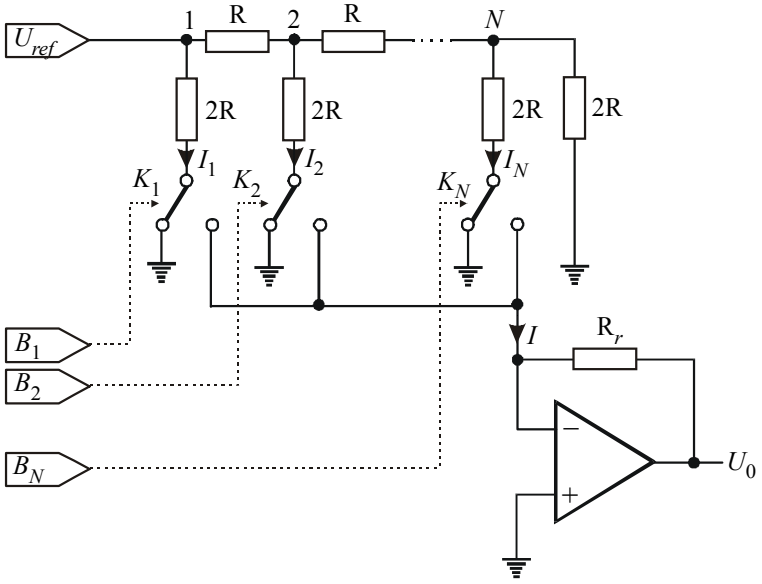
Un alt tip de reţele rezistive utilizate pe scară largă în construcţia convertoarelor digital analogice, cât şi în alte circuite de instrumentaţie (convertoare analog-digitale, amplificatoare şi atenuatoare programabile, etc) sunt reţelele rezisitve R-2R. Schema unei astfel de reţele care permite o rezoluţie de *N* biţi (fig. 2.12b) prezintă caracteristicile unei legări în cascadă de divizoare cu 2, comandate fiecare de câte un bit al cuvântului de la intrare. Reţeaua rezistivă conţine rezistenţe de valoare R conectate în serie şi rezistenţe de valoare 2R conectate în paralel. Fiecărui bit B_i al cuvântului de intrare îi este asociat câte un comutator cu două poziţii, care conectează terminalele rezistenţelor 2R la masă (B_i="0") sau la referinţă (B_i="1"). Comanda poate fi făcută în tensiune sau în curent. Rezistenţa de valoare 2R conectată în permanenţă la masă are rolul ca rezistenţa echivalentă a circuitului măsurată între bornele de ieşire să fie întotdeauna R.



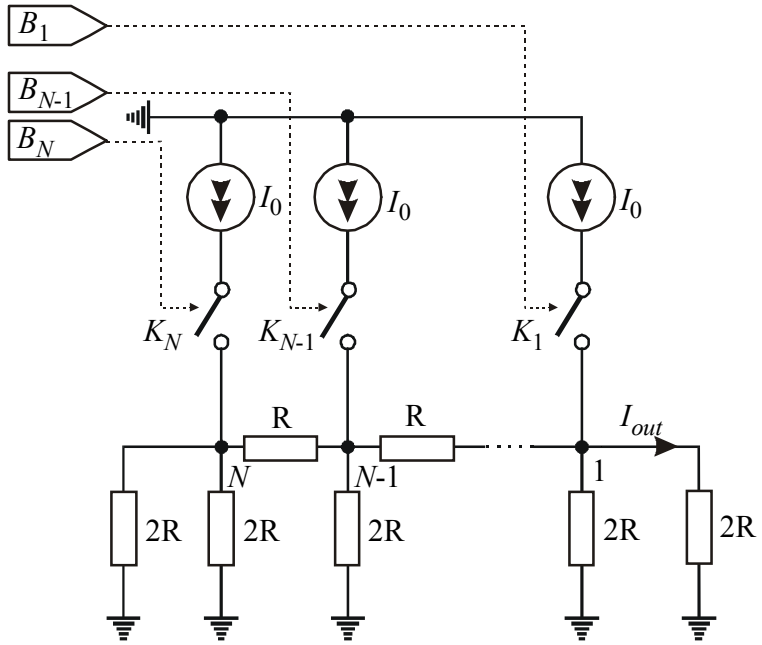
a) Convertor digital-analogic unipolar/bipolar cu reţea ponderată binar.



b) Structura rețelei rezistive R-2R.



c) Convertor digital-analogic cu rețea R-2R inversată.



d) Rețea R-2R comandată cu generatoare de curent.

Fig. 2.12 Principii de implementare ale convertoarelor digital-analogice.

În cazul structurii din fig. 2.12b, tensiunea de la ieşire este descrisă prin relația:

$$U_0 = U_{ref} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{B_i}{2^i} = \frac{U_{ref}}{2^N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} B_i \cdot 2^i \qquad (2.8)$$

Rețelele rezistive R-2R comandate în tensiune sunt simple şi ieftine, dar au o liniaritate relativ redusă datorită comportării comutatoarelor analogice. Comutatoarele analogice CMOS au o rezistență R_{on} variabilă, dependentă de tensiunea drenă-sursă a tranzistorului cu efect de câmp. Rezistențele comutatoarelor se sumează cu cele ale rețelei, determinând erori de neliniaritate prin modificarea factorilor de divizare de la o celulă la cealaltă.

O variantă a conversiei digital-analogice utilizează conexiunea inversă, schimbând rolul ieşirii cu cel al intrării (fig. 2.12c). În această situație, comutatoarele se găsesc practic la acelaşi potențial, iar rezistențele rețelei sunt parcurse de curenți de valori constante, de tip $U_{ref} / 2^i \cdot R$, $i = \overline{1, N}$, indiferent de poziția acestora. Valorile logice ale biților cuvântului de intrare comandă poziția comutatoarelor; acestea determină sumarea componentei *i* de curent în nodul de intrare al convertorului curent-tensiune sau conectarea acestei componente la masă. Dezavantajul major al acestei structuri este reprezentat de valorile relativ mari ale timpului de stabilire, datorate sumării capacităților parazite.

Tensiunea de ieşire a acestui tip de convertor digital-analogic este caracterizată de expresia (2.7).

Rețelele R-2R pot fi comandate direct în curent, folosind generatoare de

curent comutate (fig. 2.12d). Această schemă este frecvent utilizată în cadrul convertoarelor digital-analogice moderne, datorită performanțelor sale de viteză.

Din punct de vedere al interfațării convertoarelor digital-analogice în cadrul sistemelor de achiziții de date, trebuie remarcat ca circuitele din prima generație foloseau o interfață minimală cu circuitele numerice, cu rolul de adaptare a nivelelor logice de comandă. Circuitele din generațiile recente conțin integrate unul sau mai multe converotare digital-analogice, registre de memorare a cuvântului numeric de intrare şi o logică de comandă. Aceste resurse permit interfațarea simplă şi unitară cu microcontroller-e şi microprocesoare a căror magistrală de date diferă ca dimensiune de lungimea cuvântului de comandă, respectiv programarea convertoarelor multiple (fig. 2.13).

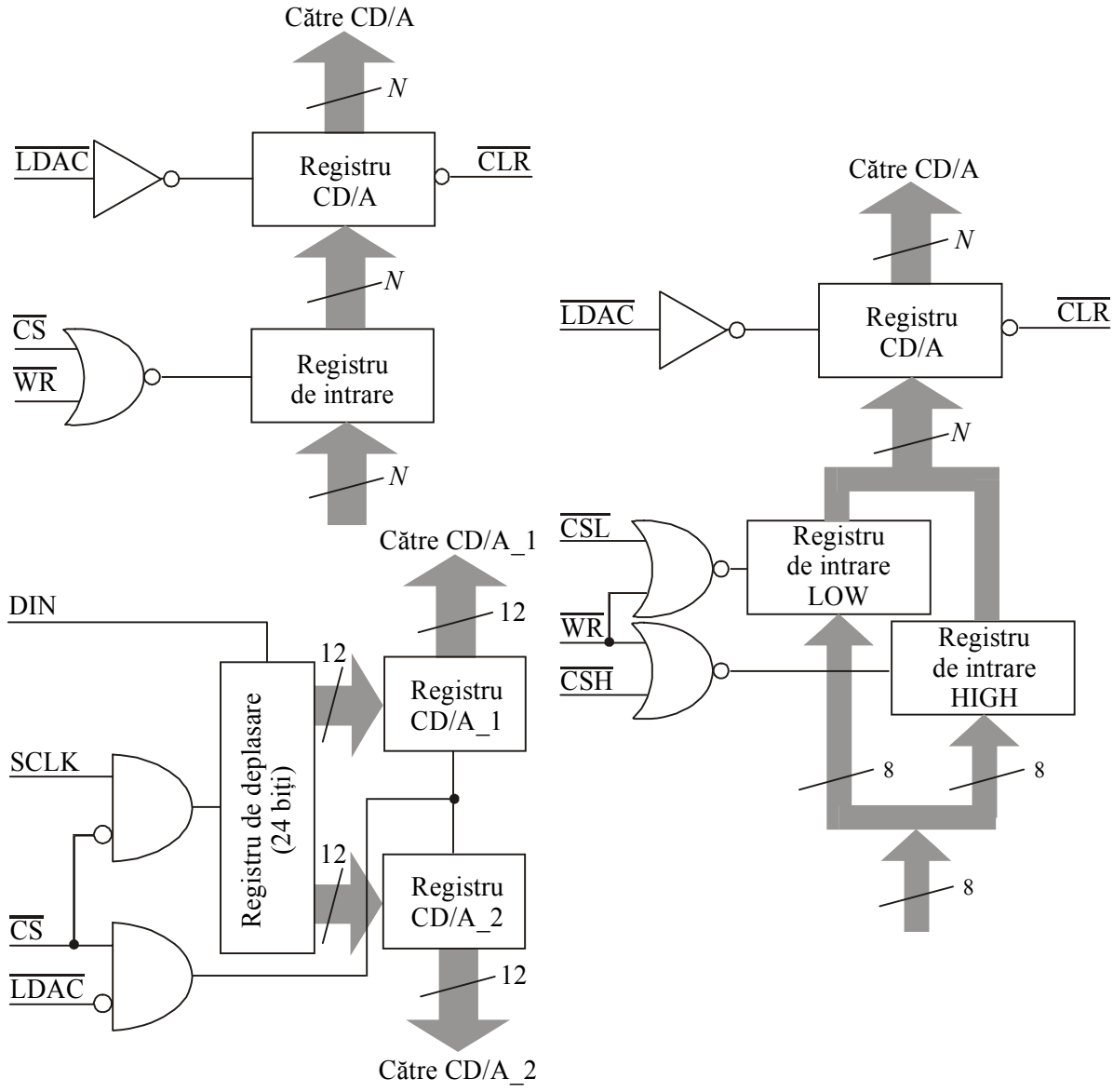


Fig. 2.13 Interfațarea convertoarelor digital-analogice cu magistrala unui microprocesor.

Logica de comandă permite memorarea intării digitale sub forme diferite (12 biți - un singur ciclu de programare, 8+4 biți - două cicluri de programare, intare serială), precum şi selectarea modului de lucru (ieşire unipolară sau bipolară).

O categorie aparte de convertoare digital-analogice o constituie circuitele de conversie cu transformare intermediară în timp. Aceste circuite folosesc transformarea mărimii numerice într-o mărime intermediară (durată sau frecvență), ce produce ulterior mărimea de ieşire analogică proporțională prin-tr-un procedeu oarecare (filtrare, transfer de sarcină şi integrare, etc). În această categorie pot fi încadrate convertoarele digital-analogice cu midulație în durată a impulsurilor (conținute în structura majorității microcontroller-elor moderne ând fi utilizate în aplicații în care nu sunt necesare performanțe deosebite) şi convertoarele digital-analogice cu transformare frecvență-tensiune.

2.2.3.2 CONVERTOARE ANALOG-DIGITALE. SCHEME DE PRINCIPIU

Convertorul analog-digital realizează transformarea mărimii analogice de la intrare într-o mărime numerică la ieşire. Generalizând, procesul de conversie analog-digitală poate fi considerat ca o plasare a mărimii de intrare într-un *interval de cuantizare*, obținut prin divizarea intervalului de variație a acesteia într-un număr de clase egale. Prima operație definește aspectul temporal al conversiei, în timp ce a doua operație definește chiar modul de obținere a echivalentului numeric al mărimii analogice.

Convertoarele analog-digitale sunt realizate pe baza unor soluții principiale extrem de diverse, fiecare dintre acestea prezentând atât avantaje, cât şi devavantaje. Până în acest moment nu s-a găsit un principiu de funcționare care să asigure simultan obținerea ieftină de rezoluții mari, viteze ridicate, erori de neliniaritate foarte reduse, etc. De aceea, alegerea unui anumit tip de convertor analog-digital se face în funcție de cerințele aplicației, urmărind obținerea performanțelor dorite cu efort material minim.

Convertoare analog-digitale paralele. Ideea simplă a inversării procedeului de conversie digital-analogică cu ponderarea controlată numeric a unei mărimi de referință, conduce la folosirea comparării mărimii de intrare cu un şir de valori de referință (reprezentând limitele intervalelor de cuantizare), pentru obținerea conversiei analog-digitale. Tensiunea de referință este aplicată unei rețele rezistive de precizie, astfel încât fracțiunea din tensiunea de referință aplicată intrării inversoare a fiecărui comparator să fie cu un LSB mai mare decât cea aplicată comparatorului de pe rangul anterior. Comparatoarle realizează atribuirea mărimii de intrare (de pe intrările neinversoare) unui interval de cuantizare; toate comparatoarele ale căror referință este mai mică

decât tensiunea de intrare produc un nivel logic "1" la ieşire, celelalte comparatoare vor furniza la ieşire nivele logice "0". Ieşirile rețelei de $2^N - 1$ comparatoare sunt aplicate unui codificator logic cu priorități care are rolul de a furniza la ieşire codul numeric dorit (fig. 2.14).

Acest tip de convertor obține biții cuvântului de ieşire simultan şi independent de valoarea sau polaritatea intrării; de aici, denumirea de convertor ***analog-digital paralel*** sau ***flash***. Numărul mic de operații, precum şi simplitatea lor, determină viteza foarte ridicată a acestui tip de convertor. Principalul său dezavantaj constă în rezoluția limitată, datorată creşterii exponențiale a numărului de comparatoare odată cu creşterea numărului de biți de ieşire. Este utilizat în conversia rapidă a semnalelor video (televiziune, radar), cât şi ca subansamblu în implementarea altor tipuri de convertoare rapide.

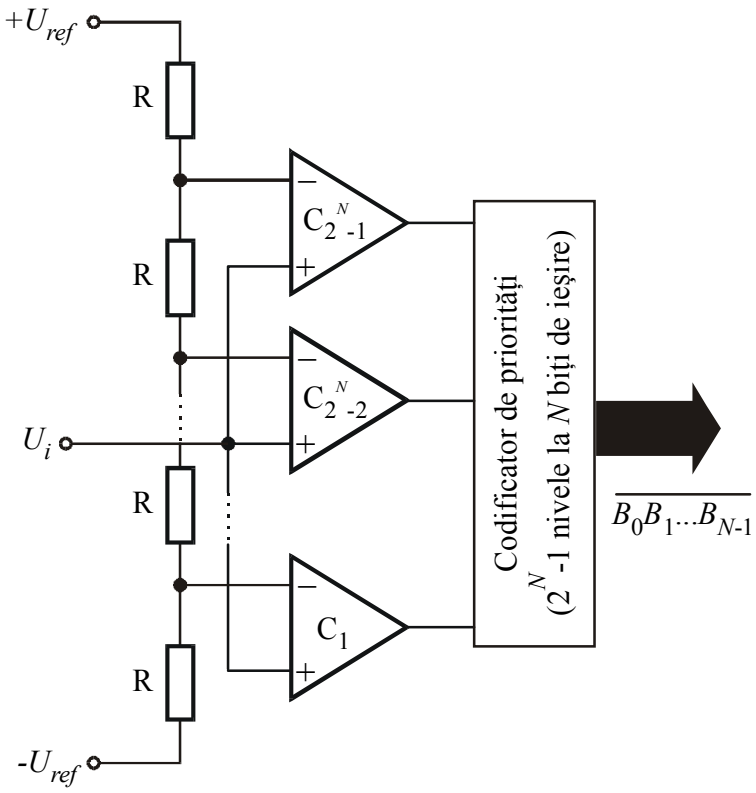


Fig. 2.14 Convertor analog-digital paralel (***flash***).

Convertoare analog-digitale analog-seriale şi numeric-paralele. O altă soluție de obținere a unor convertoare rapide constă în cascadarea unor celule elementare de conversie ce conțin amplificatoare şi comparatoare (fig. 2.15).

Celula elementară (fig. 2.15a) conține două amplificatoare diferențiale cu amplificarea egală cu 2, ce produc ieşiri cu tendințe de variații contrare; ieşirile amplificatoarelor diferențiale sunt selectate cu ajutorul unui multiplexor analogic comandat de ieşirea unui comparator având tensiunea de prag egală cu jumătatea tensiunii de referință. Această tensiune de prag este obținută prin

divizarea cu 2 (cu ajutorul unui divizor rezistiv de precizie) a tensiunii de referinţă a convertorului. Caracteristica de tranfer a circuitului elementar este prezentată în fig. 2.15b.

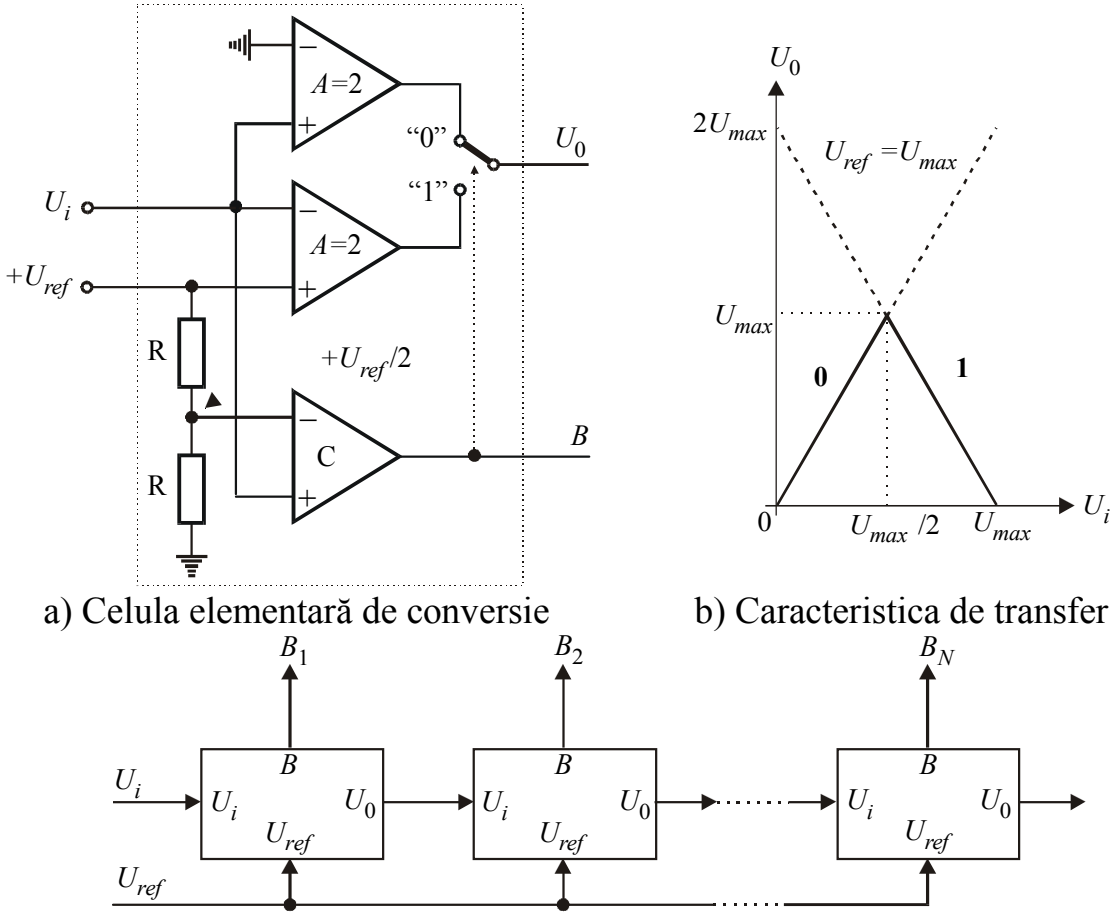
În aceste condiţii, se poate preciza expresia ieşirii analogice:

$$U_0 = \begin{cases} 2 \cdot U_i, & 0 \le U_i < U_{ref}/2 \\ 2 \cdot (U_{ref} - U_i), & U_{ref}/2 \le U_i < U_{ref} \end{cases} \tag{2.9}$$

şi cea a ieşirii logice:

$$B = \begin{cases} 0, & 0 \le U_i < U_{ref}/2 \\ 1, & U_{ref}/2 \le U_i < U_{ref} \end{cases} \tag{2.10}$$

Lanţul de celule, realizat prin înserierea analogică, este prezentat în fig. 2.15c.



a) Celula elementară de conversie b) Caracteristica de transfer

c) Cascadarea mai multor celule pentru obţinerea cuvântului de ieşire

Fig. 2.15 Convertor analog-digital analog-serial şi numeric-paralel.

La aplicarea semnalului analogic la intrarea lanţului, acesta se va propaga rapid de la un etaj la altul producând într-un timp foarte scurt ieşiri stabile atât pe liniile analogice, cât şi pe cele digitale. Este necesar ca pe durata conversiei valoarea analogică aplicată la intrarea lanţului să fie stabilă. Acest deziderat

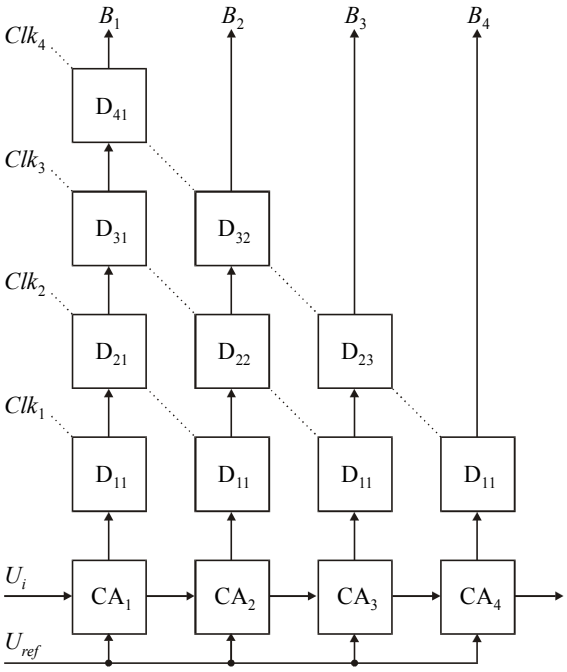


Fig. 2.16 Convertor analog-digital rapid cu timp de conversie egal cu timpul de obținere a unui bit.

poate fi realizat prin utilizarea unui circuit de eşantionare-memorare.

Timpul complet de conversie este determinat de întârzierea globală prin celulele lanțului. Cu toate acestea, fiecare bit poate fi memmorat imediat ce este obținut, astfel încât o nouă conversie poate fi demarată după obținerea primului bit. Utilizând acest principiu, rata de conversie este determinată de timpul de obținere a unui singur bit. Acest tip de convertor permite, cu o schemă numerică adecvată (pipeline pe fiecare bit - fig. 2.16), obținerea unui cuvânt la rata de conversie a unei singure celule.

Structurile descrise anterior îşi găsesc aplicații în domeniul convertoarelor video utilizate în achiziții de imagine. În practică, numărul de celule ce pot fi cascadate este limitat din considerente tehnologice. Ca urmare, acest tip de convertor se utilizează în scheme mixte, împreună cu cele paralele (convertoare analog-digitale analog-seriale şi digital-paralele pentru rangurile superioare şi convertoarele analog-di-gitale paralele pentru rangurile inferioare).

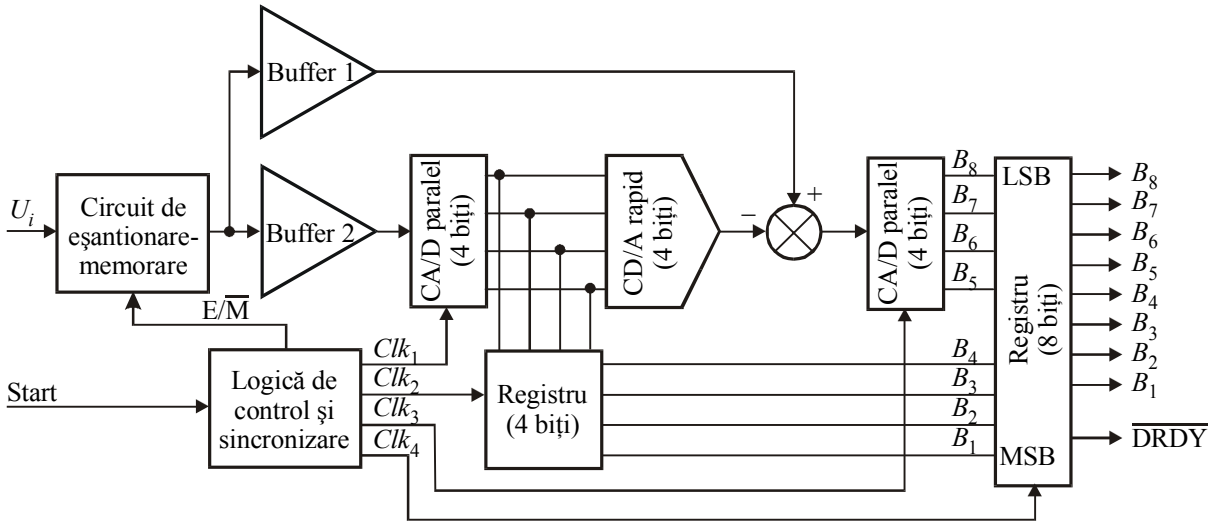
În momentul de față se constată o revenire spectaculoasă a ideii expuse, odată cu dezvoltarea arhitecturilor sisto-lice de prelucrare a semnalelor.

Convertoare analog-digitale serie-paralel. O soluție de compromis, care poate fi exploatată foarte eficient la obținerea unor rezoluții şi viteze ridicate, este utilizarea tehnicii cu corecție de subdomeniu.

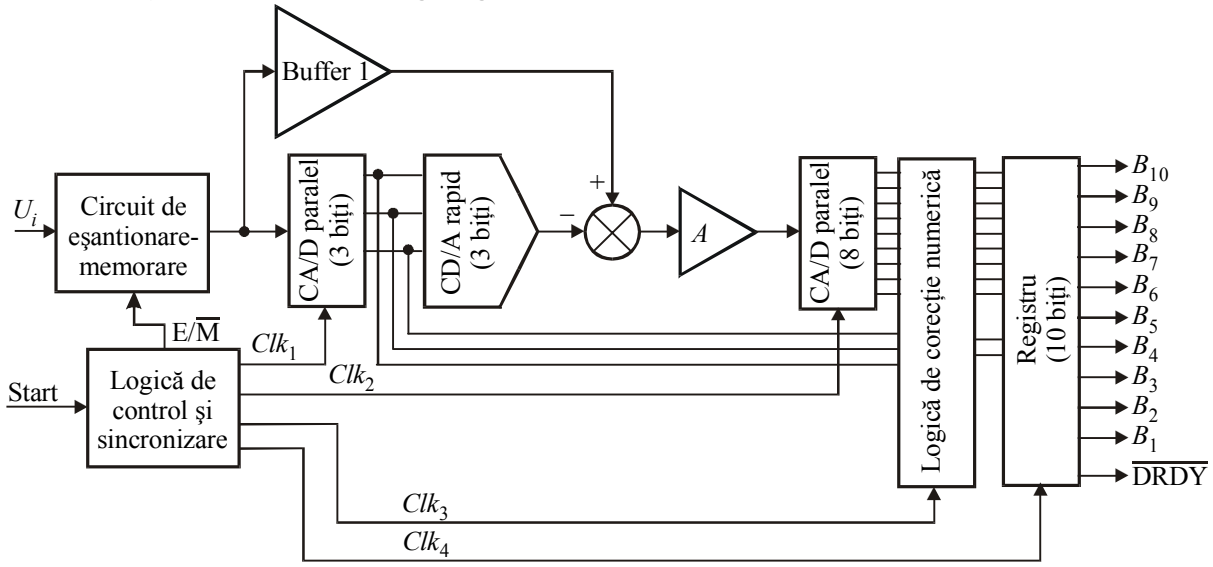
Un convertor analog-digital de N biți (număr par), funcționând pe principiul amintit, foloseşte două convertoare analog-digitale de $N/2$ biți care vor furniza mai întâi partea mai semnaificativă a rezultatului şi apoi partea mai puțin semnificativă.

În fig. 2.17a este prezentat un convertor analog-digital rapid de 8 biți. Un ciclu de conversie al acestui convertor poate fi rezumat astfel:

- se furnizează din exterior comanda de "start conversie", care inițializează logica internă de sincronizare;
- circuitul de eşantionare-memorare este comandat în starea de memorare ($\mathrm{E}/\overline{\mathrm{M}} = 0$);
- se activează funcționarea primului convertor analog-digital paralel, activând semnalul Clk_1;



a) Convertor analog-digital de 8 biți cu corecție de subdomeniu



b) Convertor analog-digital de 10 biți cu corecție numerică de subdomeniu

Fig. 2.17 Convertoare serie-paralel.

- după încheierea conversiei, se încarcă registrul intermediar cu cei mai semnificativi 4 biți ai valorii analogice convertite, activând semnalul Clk_2;
- aceeaşi valoare numerică se aplică şi convertorului digital-analogic de precizie. Acest convertor va produce la ieşire o valoare analogică foarte apropiată de cea a intrării, mai puțin eroarea de cuantizare. După expirarea timpului de stabilire, se activează funcționarea celui de-al doilea convertor analog-digital paralel, activând semnalul Clk_3. Acest convertor primeşte ca semnal analogic de intrare rezultatul diferenței dintre tensiunea de intrare şi versiunea sa cuantizată (de la ieşirea CD/A);

- la sfârsitul conversiei, se poate încărca, activând semnalul Clk_4, registrul de 8 biţi de la ieşire atât cu cei mai puţin semnificativi biţi abia obţinuţi, cât şi cu biţii cei mai semnificativi memoraţi în registrul intermediar;
- după încărcarea registrului de ieşire, se poate activa semnalul $\overline{DRDY}$, semnalizând faptul că este disponibil un nou rezultat al conversiei.

Convertorul cu corecţie de subdomeniu este cunoscut şi sub denumirea de convertor analog-digital serie-paralel şi reprezintă una dintre soluţiile de compromis între cost şi performanţe. Cu toate acestea, liniaritatea diferenţială este scăzută, mai ales la tranziţia de la bitul $N/2$ la bitul $(N/2)+1$; această eroare poate depăşi cu uşurinţă 1 LSB şi ca urmare poate provoca omiterea unor coduri şi abateri de la monotonie. Problema poate fi rezolvată cu ajutorul unei tehnici de conversie analog-digitală paralelă, numită *corecţie numerică de subdomeniu* (fig. 2.17b). Convertoarele ce folosesc corecţia numerică de subdomeniu au o arhitectură similară cu cea prezentată anterior, dar semnalul analogic este cuantizat suplimentar; rezoluţia astfel obţinută este utilizată în cadrul unui circuit numeric de corecţie a erorilor incrementale, erori inerente convertoarelor analog-digitale cu corecţie de subdomeniu ce folosesc tehnologii uzuale.

În figura 2.17b este prezentat un convertor analog-digital de 10 biţi. Cei mai semnificativi 3 biţi sunt obţinuţi cu un convertor A/D paralel; ei sunt introduşi într-un convertor D/A de 3 biţi cu precizie de 12 biţi, pentru a putea păstra precizia ieşirii corespunzătoare rezoluţiei de 10 biţi. Diferenţa dintre valoarea intrării şi valoarea corespunzătoare ieşirii convertorului D/A este amplificată şi aplicată la intrarea celui de-al doilea convertor A/D paralel de 8 biţi, cu ajutorul căruia se obţin biţii mai puţin semnificativi. După cum se poate observa, acest convertor produce un bit suplimentar, folosit pentru corecţia numerică de subdomeniu. Această corecţie contribuie substanţial la îmbunătăţirea liniarităţii.

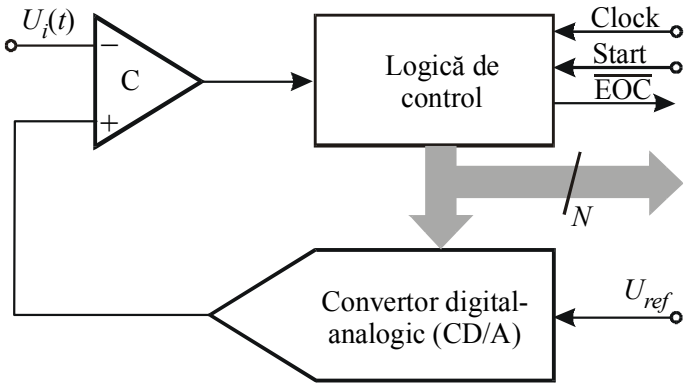
Convertoarele analog-digitale serie-paralel sunt frecvent utilizate în sistemele de achiziţie a semnalelor video.

Convertoare analog-digitale cu reacţie. Deşi simple ca principiu, convertoarele analog-digitale paralele sunt limitate ca rezoluţie datorită complexităţilor tehnologice (numărul mare de comparatoare determină creşterea dimensiunilor fizice, puterea disipată şi preţul de cost). Ideea comparării mărimii analogice de intrare cu un set de valori de referinţă este aplicabilă, într-o variantă mai economică, secvenţial, în cadrul convertoarelor analog-digitale cu reacţie. Cu un singur comparator, un convertor digital-analogic destinat generării treptelor de referinţă şi o logică secvenţială (numărător/registru) care generează numeric limitele intervalelor de cuantizare se obţine un convertor analog-digital cu reacţie.

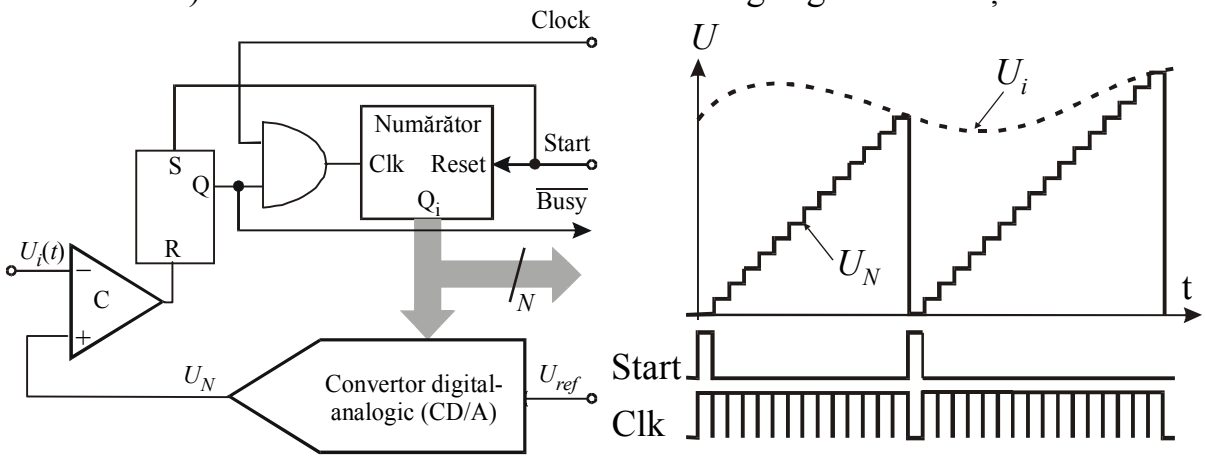
Mărimea analogică de intrare este comparată cu mărimea de referinţă

generată de ansamblul convertor digital-analogic-logică de control; funcție de rezultatul comparării, logica de control decide următoarea valoare logică pe care o va produce în pasul următor (fig. 2.18a). Algoritmul de conversie poate fi implementat în mai multe variante, din care rezultă şi tipurile convertoarelor A/D cu reacție:

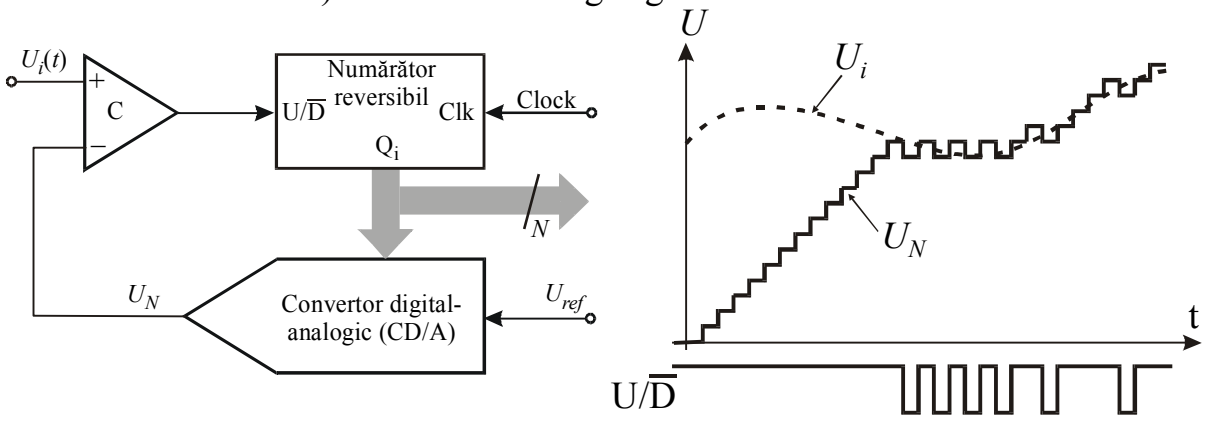
- convertor analog-digital cu numărare (fig. 2.18b);
- convertor analog-digital cu urmărire (fig. 2.18c);
- convertor analog-digital cu aproximații succesive (fig. 2.18d).



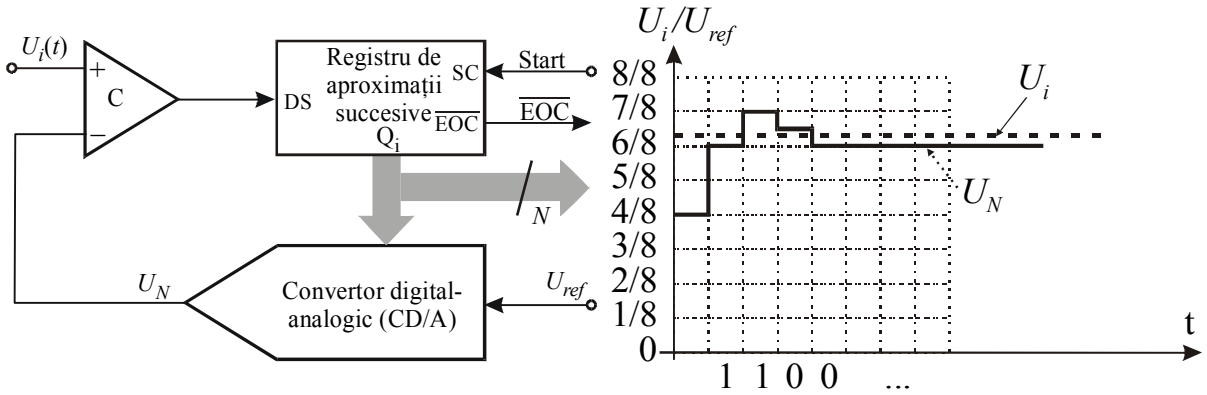
a) Schema bloc a unui convertor analog-digital cu reacție.



b) Convertor analog-digital cu numărare



c) Convertor analog-digital cu urmărire



d) Convertor analog-digital cu aproximaţii succesive

Fig. 2.18 Convertoare analog-digitale cu reacţie.

Convertorul A/D cu numărare foloseşte cel mai simplu algoritm de generare a treptelor de referinţă: parcurgerea lor consecutive (numărare), de la limita inferioară a gamei de lucru şi până la depăşirea valorii analogice de la intrare (fig. 2.18b). Logica de control are la bază un numărător, iniţializat la începutul fiecărui ciclu de conversie; numărul de biţi ai acestuia este egal cu rezoluţia convertorului D/A şi a circuitului de conversie realizat. Semnalul "Start" determină *reset*-area numărătorului şi validează intrarea de ceas a numărătorului prin *set*-area bistabilului de tip RS; în acelaşi timp, convertorul D/A produce o tensiune U_N la limita inferioară a domeniului de lucru. Dispunând de semnal de ceas, numărătorul începe să se incrementeze, crescând şi tensiunea de referinţă U_N treptă cu treaptă. La atingerea valorii semnalului de intrare, comparatorul îşi schimbă starea de la ieşire, *reset*-ează bistabilul şi opreşte ceasul de numărare, finalizând procesul de conversie. Ieşirea acestui bistabil poate fi utilizată drept semnal "*conversie în curs de desfăşurare*".

Se poate observa uşor că durata conversiei nu este constantă, ea depinzând de valoarea mărimii analogice aplicate la intrare. Deşi timpul de conversie poate fi redus prin creşterea frecvenţei ceasului, limita sa superioară este determinată de timpul de propagare pentru numărător şi circuitele porţii, de timpul de stabilire al CD/A şi al comparatorului.

Deşi avantajul major al acestei structuri rezidă în simplitatea sa, acest convertor cu reacţie e caracterizat de un timp de conversie ridicat, dependent de valoarea intrării, precum şi de o rejecţie slabă a perturbaţiilor (determinată de variaţia impedanţei de intrare).

Înlocuind în schema precedentă numărătorul cu incrementare cu unul reversibil (cu incrementare/decrementare) şi comandând sensul de numărare în funcţie de rezultatul comparării mărimii de intrare cu treptele de referinţă, se obţine un *convertor analog-digital cu urmărire* (funcţionare continuă) (fig. 2.18c). Ieşirea comparatorului reprezintă, de fapt, codificarea pe un bit a tendinţei de variaţie a semnalului de intrare. Dacă semnalul de intrare este relativ constant, după egalizarea semnalului U_N cu mărimea de la intrare, ieşirea

comparatorului la oscila, odată cu U_N, eroarea conversiei fiind ±0,5 LSB. Valoarea numerică corespunzătoare intrării va fi oricare dintre stările numărătorului reversibil (aproximație prin lipsă sau adaos).

Problema fundamentală a acestor două tipuri de convertoare A/D cu reacție constă în posibilitatea apariției distorsiunilor de neurmărire, cauzate de viteza constantă de incrementare/decrementare a numărătorului (limitează viteza de variație a semnalelor aplicate la intrare). În practică, banda de frecvențe a semnalului de intrare este limitată la valori de ordinul câtorva kHz.

Înlocuind numărătorul din bucla de reacție a convertorului cu un registru de deplasare special, denumit registru de aproximații succesive, determină eliminarea dezavantajelor menționate anterior. Se obține, astfel, un *convertor analog-digital cu aproximații succesive*.

În fig 2.18d este prezentată schema funcțională a convertorului analog-digital cu aproximații succesive pentru N=3 şi se prezintă principiul lui de funcționare.

Conversia începe cu inițializarea la valoarea "1" a bitului celui mai semnificativ (MSB) în cadrul registrului de aproximații succesive. Aceasta corespunde primei evaluări a valorii semnalului de intrare cu jumătatea valorii domeniului de intrare. Se compară semnalul de ieşire al CD/A corespunzător acestei valori cu tensiunea de intrare şi se comandă de *reset*-area valorii bitului celui mai semnificativ dacă evaluarea primară depăşeşte valoarea semnalului de intrare; în caz contrar aceeastă valoare este validată şi este memorată. În tactul următor controlerul fixează valoarea "1" pentru următorul bit şi, din nivelul semnalului de intrare, comparatorul "decide" memorarea sau reset-area stării acestui rang. Conversia continuă în mod similar, până se evaluează bitul cel mai puțin semnificativ (LSB). În acest moment, cuvântul conținut în registrul de aproximații succesive (transferat şi în registrul de ieşire) reprezintă cea mai bună aproximație numerică a semnalului analogic de intrare. Dacă datele se obțin direct de la ieşirea registrului de aproximații succesive, trebuie menționat că acestea devin stabile doar după sfârşitul conversiei (în rest ele reproduc procesul de aproximare); în consecință, logica externă trebuie adaptată în mod corespunzător.

În metoda de conversie bazată pe aproximații succesive, semnalul de ieşire al CD/A creşte neliniar până la nivelul semnalului de intrare pe perioada a *N* tacte (pentru convertorul cu rezoluția de N biți). Ca rezultat, procesul de conversie durează un timp considerabil mai redus şi, în plus, timpul de conversie este constant şi nu depinde de nivelul, semnul sau modului de variație semnalului de la intare.

Metoda aproximațiilor succesive este cea mai răspândită metodă de conversie analog-digitale pentru convertoarele de uz general, cu rate de conversie medii şi ridicate (timpi de conversie cuprinşi între 1 şi 25 μs).

Convertoare analog-digitale cu transformare tensiune-timp. Aceste

tipuri de convertoare realizează transformarea mărimii analogice de intrare într-un interval de timp proporțional, care este măsurat numeric. Din această categorie fac parte:

- convertorul analog-digital cu generator de rampă;
- convertorul analog-digital cu integrare în dublă pantă;
- convertorul analog-digital cu integrare în mai multe rampe.

Convertoarele analog-digitale cu integrare în dublă pantă sunt caracterizate de o precizie şi o liniaritate excelente, o bună rejecție a semnalelor parazite (datorită integrării), în pofida timpului de conversie de valoare mare. Majoritatea circuitelor sunt monolitice, realizate în tehnologie CMOS, fiind extrem de răspândite în echipamente de măsurare numerice clasice (aparate portabile, de tablou sau de laborator).

Trebuie menționat faptul că majoritatea convertoarelor analog-digitale de generație recentă dispun de o interfață specializată, versatilă cu microprocesoare pe 8 sau 16 biți, ceea ce simplifică mult interfațarea acestor circuite în cadrul sistemelor inteligente de achiziții de date.

Firmele producătoare de convertoare analog-digitale oferă dispozitive cu o paletă largă de performanțe. Metoda de conversie utilizată (cu aproximații succesive, cu integrare cu dublă pantă, conversie paralelă, etc) şi tehnologia de realizare a schemei (monolitică, hibridă sau modul) determină caracteristicile esențiale ale convertoarelor analog-digitale - rapiditatea, rezoluția, prețul.

Paleta de variație a unor caracteristici ale CA/D, realizate în practică, sunt prezentate în fig 2.19.

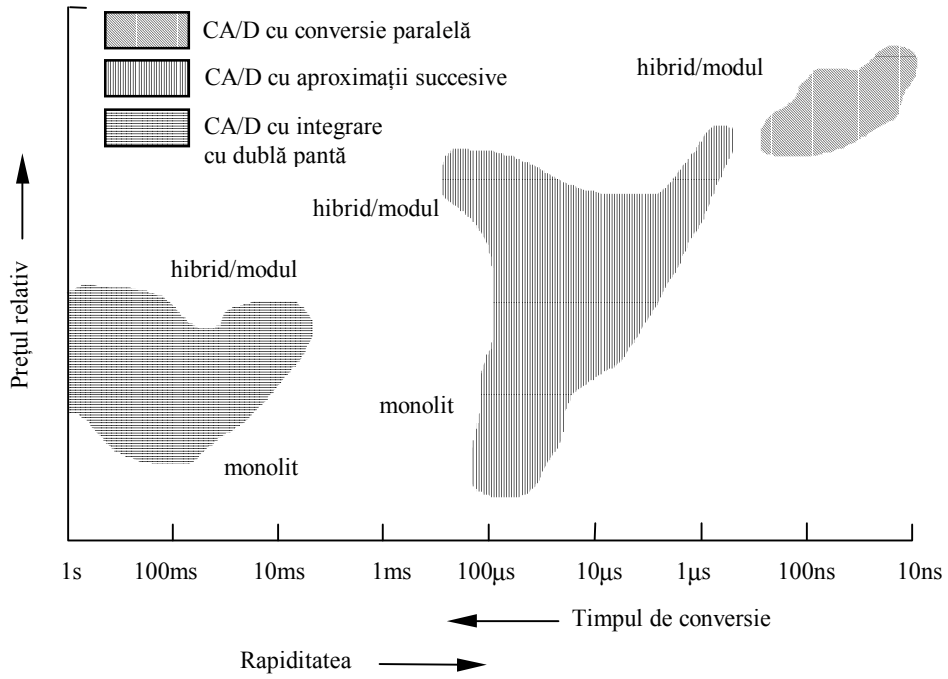


Fig. 2.19 Paleta caracteristicilor CA/D produse în serie.

Tabelul 2.2 Principalele caracteristici ale unor convertoare analog-digitale.

Tipul	Rezoluția	Metoda de conversie	Timpul de conversie	Tensiunea de alimentare	Tehnologia de realizare
ADC0804	8	cu aproximații succesive	100 μs	+5V	monolitică
AD7574	8	cu aproximații succesive	15 μs	+5V	monolitică
AD570	8	cu aproximații succesive	25 μs	+5V, -15V	monolitică
TSC7109	12	cu integrare dublă pantă	33 ms	+5V	monolitică
ADC0808	8	cu aproximații succesive	100 μs	+5V	monolitică
AD5010	6	paralelă	10 ns	±5V	monolitică
AD579	10	cu aproximații succesive	2,2 μs	+5V, ±15V	hibridă
AD574	12	cu aproximații succesive	25 μs	+5V, ±15V	hibridă
ADC868	12	cu aproximații succesive	0,5 μs	+5V, ±15V	hibridă
HS9516	16	cu aproximații succesive	100 μs	+5V, ±15V	hibridă
ADC71	16	cu aproximații succesive	50 μs	+5V, ±15V	hibridă

În tabelul 2.2 sunt prezentate sintetic principalele caracteristici ale unor CA/D uzuale, realizate de firmele National Intersil, Analog Device, Teledyne, Texas Instruments şi Hybrid System.

Se constată o varietate mai largă a CA/D cu aproximații succesive, utilizate în majoritatea cazurilor în cadrul proceselor care necesită conversia analog-digitală. Cele mai ieftine sun convertoarele analog-digital monolitice. Aceste CA/D sunt realizate în tehnologie bipolară şi CMOS.

Convertorul analog-digital optim pentru măsurători şi achiziții de date în rețele electroenergetice este CA/D cu aproximații succesive, care asigură viteze bune de conversie, precizie ridicată, rezoluția fiind un compromis între viteză şi precizie.

2.3 INTERFEȚE SPECIALIZATE DE COMUNICAȚIE

Tehnicile de măsurare pot fi implementate la nivel fizic prin blocuri funcționale cu destinație precisă (aparatele de măsurare) sau prin module care pot realiza funcții multiple (eşantionare, conversie, memorare) şi a căror selecție este făcută de o unitate centrală (eventual PC). În cazul aparatelor de măsurare

numerice, dotarea acestora cu interfețe de comunicație (serială sau paralelă) permite interconectarea lor cu unități de calcul puternice şi, deci, lărgirea considerabilă a ariei funcțiilor ce pot fi efectuate de sistemul astfel realizat.

Aparatele numerice memorează datele sub formă de caractere reprezentate adesea pe 8, 16 sau 32 de biți. Biții care formează un caracter se pot transmite la distanță către un alt sistem numeric fie prin transmiterea simultană a câte 8 biți (comunicație paralelă), fie prin transmiterea succesivă a biților care formează un caracter (comunicație serială). În primul caz, se utilizează 8 linii de date şi alte linii (conductoare) pentru semnalul de referință (GND) şi cele de control al comunicației. În al doilea caz, informația prezentă de obicei sub formă paralelă este apelată de un registru de deplasare paralel-serie, comandat de un semnal de tact, transmisă printr-o singură pereche de conductoare şi apoi, la recepție, reconstituită în format paralel prin intemediul registrului de deplasare serie-paralel.

2.3.1 COMUNICAȚIA DE TIP SERIAL. PROTOCOALE DE TRANSMISIE SERIALĂ A DATELOR

Interfața serială este un sistem de comunicație numerică introdus ca urmare a necesității de a controla un ansamblu tehnic cu elemente dispersate pe suprafețe mari. PC-urile sunt dotate cu mai multe porturi seriale (de obicei, două), utilizate, în cea mai mare parte, pentru comanda plotter-elor, a imprimantelor seriale şi a unor mouse-uri. De asemenea, această interfață este folosită pentru comunicația cu PC-ul şi de către dispozitive speciale, cum ar fi programatoarele EPROM şi PAL, emulatoarele, controller-ele logice programabile sau anumite interfețe de achiziție de date.

Achiziția datelor se efectuează prin executarea unui program de achiziție de către calculatorul care asigură comanda mijlocului de măsurare, transferul datelor într-un fişier de date şi prelucrarea lor imediată sau ulterioară. Denumirea **RS-232** (mai exact, **RS-232C**) corespunde normei americane a interfeței seriale, propusă inițial în 1960 şi devenită variantă standard în 1969, apoi remodificată în 1987. Denumirea **V24** este o prescurtare a normei franceze (şi recomandată CEI). În principiu, ambele norme sunt identice.

In prezent există şi module dedicate comunicației seriale performante, cum este **RS-485** (de tip plug-in) pentru care se poate asigura comunicația până la distanța de 1,2 km, cu o viteză maximă de achiziție de 100 kHz .

2.3.1.1 INTERFAȚA RS-232

Numeroase aparate utilizează conectarea la calculator prin intermediul

interfeței seriale RS-232. Norma clasifică aparatele în două categorii:

1. **DTE** (*Data Terminal Equipments*) – categorie din care fac parte PC-ul, tastatura etc.

şi

2. **DCE** (*Data Communication Equipments*) – modem-urile, aparatele de măsurare etc.

Modul de conectare poate să difere de la un aparat la altul. În principiu, se poate conecta **numai un singur aparat** la o interfață serială. Programarea modului de comunicație poate fi, de asemenea, foarte diferit. De aceea, nu se poate vorbi de un standard. În forma minimală, o conexiune serială RS-232 se compune din numai 3 conductoare:

1. **RXD** (**Receive Data**), conductorul pentru semnalul de recepție;
2. **TXD** (**Transmit Data**), conductorul pentru semnalul de emisie;
3. **GND** (**Ground**), conductorul de masă.

Modul de legare a conductoarelor RXD şi TXD la portul calculatorului depinde de aparatul utilizat.

Siguranța în transmisia datelor poate fi mai mare dacă se introduce o comunicație de tip *handshaking*. În acest caz se folosesc (fig. 3.3), pe lângă semnalele **RXD** şi **TXD** (semnale de date), şi semnalele **RTS** (**R**equest **T**o **S**end) şi **CTS** (**C**lear **T**o **S**end).

RTS (cerere de emisie) şi **CTS** (autorizare de emisie) sunt semnale care girează funcționarea half-duplex (HDX) - de exemplu, a liniei telefonice.

Calculatorul semnalizează modem-ului prin **RTS** că are un caracter de transmis; transmisia este posibilă numai atunci când semnalul **CTS** este primit de calculator. O siguranță superioară în transmisia datelor se obține prin utilizarea semnalelor **DTR** (**D**ata **T**erminal **R**eady) şi **DSR** (**D**ata **S**et **R**eady). Prin aceste semnale receptorul este anunțat că emițătorul este pregătit să trimită datele. Astfel, **DTR** poate fi perceput ca un semnal de **BUSY** pentru receptor.

Siguranța unei transmisii este determinată prin lungimea cablurilor de legatură (maximum 2 x 15=30 m), nivelul de tensiune al semnalelor şi viteza de transmisie.

Nivelele de tensiune pentru interfața **RS-232** sunt:

- HIGH: -15 V (-25 V);
- LOW: +15 V (+25 V).

Intervalul de la -3 V la +3 V nu este permis (fig. 2.21).

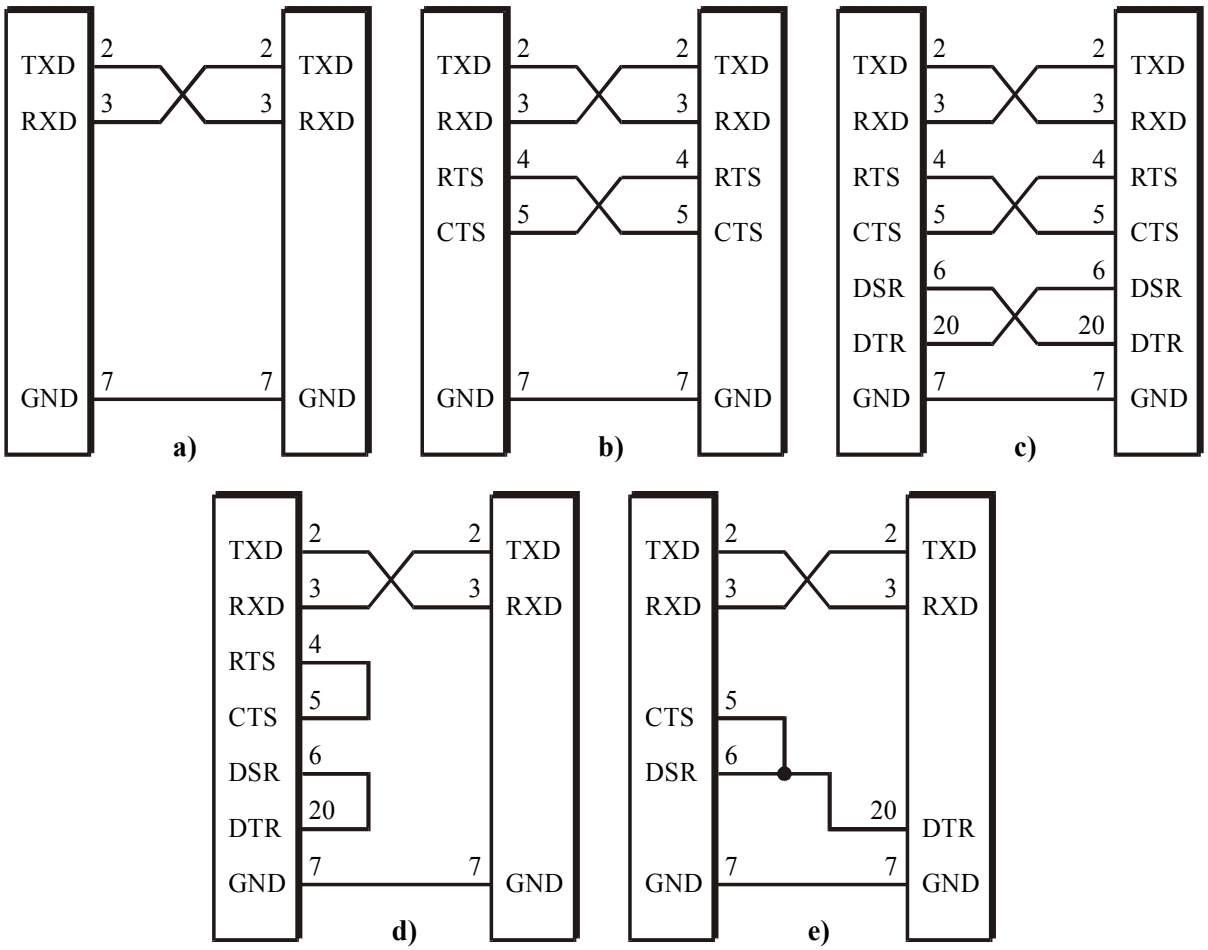


Fig. 2.20 Tipuri de conexiuni utilizate în interfaţarea serială: a) varianta minimală; b) varianta handshake; c) handshake cu confirmare DTR şi DSR; d) transmisie cu punte pe semnalele de handshake; e) conectarea unui plotter.

Viteza de transmisie este dată în **BAUD**[1]. O altă unitate uzuală în cazul transmisiilor este **BPS** (**B**its **P**er **S**econd). In cazul comunicaţiei seriale între două echipamente, exprimarea vitezei de transmisie în **BAUD** şi **BPS** este identică. În cazul conectării lor prin intermediul modem-urilor, însă, acest lucru nu mai este valabil. Valorile uzuale pentru viteza de transmisie (*Baudrate*) sunt date mai jos:

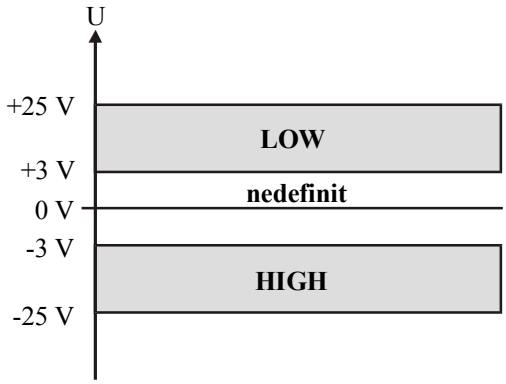


Fig. 2.21 Nivelele de tensiune pentru portul serial.

[1] BAUD este unitatea de măsurare a numărului de schimbări pe secundă ale stării unei linii, denumită după **Jean Maurice Emile Baudot,** un fost ofiţer al Serviciului Francez de Telegrafie. El a proiectat, la sfârşitul secolului al XIX-lea, primul cod pe 5 biţi pentru reprezentarea unitară a caracterelor alfabetului.

50 110 300 600 1200 2400 4800 9600 19200 38400

Formatul de transmisie al datelor este descris prin următorii parametri:

- Baudrate (viteza de transmisie);
- Startbit (bitul[2] de start);
- Numărul de biți de date;
- Paritatea;
- Numărul de biți de stop.

Prin intermediul biților de start şi stop se determină începutul, respectiv sfârşitul secvenței de date transmisă. Numărul de biți de date este, de obicei, 7 sau 8. Prin intermediul testului de paritate se pot evidenția eventualele erori de transmisie. În acest sens, există trei posibilități de detecție:

- **No Parity**: Nu se face nici un test de paritate;
- **Even parity** (paritate pară): Emițătorul numără toți biții de date care au valoarea "**1**" şi setează bitul de paritate cu "**1**", dacă suma a fost impară, şi cu "**0**", dacă suma a fost pară. Receptorul adună biții de date cu valoarea bitului de paritate. Suma este **totdeauna** (în cazul unei transmisii corecte) **pară**; în caz contrar, a survenit o eroare la transmisia datelor;
- **Odd Parity** (paritate impară): Metoda corespunde testului de paritate pară, cu deosebirea că suma biților de date şi a celui de paritate este **totdeauna** (la emițător) **impară**.

În fig. 2.22 se descrie procesul de transmitere a caraterului "2" (în reprezentarea binară corespunzătoare codului ASCII) cu protocolul "1 bit de start, 7 biți de date, 2 biți de stop, paritate impară".

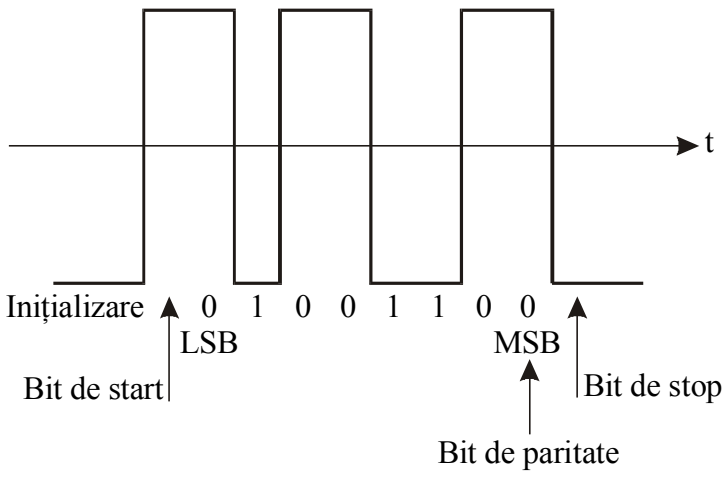


Fig. 2.22 Semnalele corespunzătoare transmisiei caracterului "2".

[2] Termenul bit a aparut pentru prima data scris cu sensul utilizat astăzi în informatică în anul 1949, ales de **John Tuckey** care s-a decis (în timp ce lua prânzul) pentru o variantă mai comodă decât denumirile de **bigit** sau **binit**.

2.3.1.2 INTERFAȚA I^2C

Pentru a exploata similaritățile care există în proiectele şi echipamentele proiectate de diverşi utilizatori, ca şi pentru maximizarea eficienței ***hardware***-ului şi pentru simplificarea proiectării circuitelor, a fost dezvoltată o magistrală bidirecțională pe două fire, cu scopul eficientizării controlului interconectării circuitelor integrate. Acestă magistrală se numeşte **INTER IC** sau **I^2C**. În prezent, această magistrală permite cuplarea a mai mult de 150 de tipuri de circuite integrate, realizate în tehnologie CMOS sau bipolară, realizând funcții în domeniul controlului inteligent, a circuitelor integrate de uz dedicat (***driver***-e pentru afişaje cu cristale lichide, porturi de intrare-ieşire, memorii RAM şi EEPROM, convertoare) şi a circuitelor orientate pe aplicații (procesare de semnale pentru sisteme radio şi video, generatoare DTFM pentru telefonie, etc.). Toate circuitele compatibile **I^2C** încorporează o interfață care permite intercomunicația rapidă prin intermediul acestui tip de magistrală.

Dintre caracteristicile generale ale magistralei **I^2C** putem menționa:

- magistrala conține doar două linii: o linie serială de date (**SDA**) şi o linie de ceas serial (**SCL**);
- fiecare dispozitiv conectat la magistrală este sdresabil prin ***software***, având o adresă unică; pe magistrala **I^2C** se manifestă, la orice moment de timp, o relație de tip master-slave;
- magistrala **I^2C** este o magistrală multi-master, incluzând detecția conflictelor şi arbitrarea acesteia, pentru a preveni alterarea informației dacă două sau mai multe dispozitive master inițiază transferuri simultane;
- transferurile bidirecționale de date, cu lungimi de 8 biți, pot fi efectuate cu rate de transfer de 100 kbiți pe secundă, în modul standard, sau cu maxim 400 kbiți pe secundă, în modul rapid;
- rejectarea impulsurilor scurte, parazite, de pe magistrală, este asigurată de circuitele de filtrare implementate în fiecare dispozitiv cuplat la magistrală. Rejecția acestor impulsuri asigură păstrarea integrității datelor;
- numărul de dispozitive cuplabile pe aceeaşi magistrală **I^2C** este limitat doar de capacitatea maximă suportată de aceasta şi care este de 400 pF.

Circuitele integrate compatibile cu magistrala **I^2C** permit dezvoltarea rapidă a proiectării de la o schemă bloc funcțională la prototip, asigurând proiectanților o serie întregă de avantaje:

- structura extrem de simplă a magistralei (2 fire) minimizează interconexiunile cu exteriorul;
- protocolul complet integrat al magistralei **I^2C** elimină folosirii decodificatoarelor de adrese şi a unei logici externe, suplimentare;

- capabilitățile de multimaster ale magistralei **I²C** permite testarea rapidă şi alinierea utilizatorilor, prin utilizarea unor conexiuni externe, la un sistem de calcul;
- disponibilitatea circuitelor integrate **I²C** sub amprente de tip **SO** (**S**mall **O**utline), **VSO** (**V**ery **S**mall **O**utline) şi **DIL** (**D**ual **I**n **L**ine) reduce necesitățile de spațiu.

2.3.1.2.1 SPECIFICAȚIILE INTERFEȚEI I²C

Pentru aplicații de control industrial pe 8 biți, care necesită utilizarea unor microcontroller-e, pot fi stabilite a priori anumite criterii de proiectare:

- un astfel de sistem este compus din cel puțin un microcontroller şi din alte dispozitive periferice, ca de pildă memorii şi circuite de intrare-ieşire (fig. 2.23);
- criteriul principal de proiectare constă în minimizarea costului de interconectare a diferitelor dispozitive din componența sistemului;
- un sistem care asigură o funcție de reglare (control) într-un proces nu necesită rate mari ale transferurilor de date;
- eficiența globală a sistemului depinde de natura circuitelor utilizate şi de structura magistralei de interconectare a acestora.

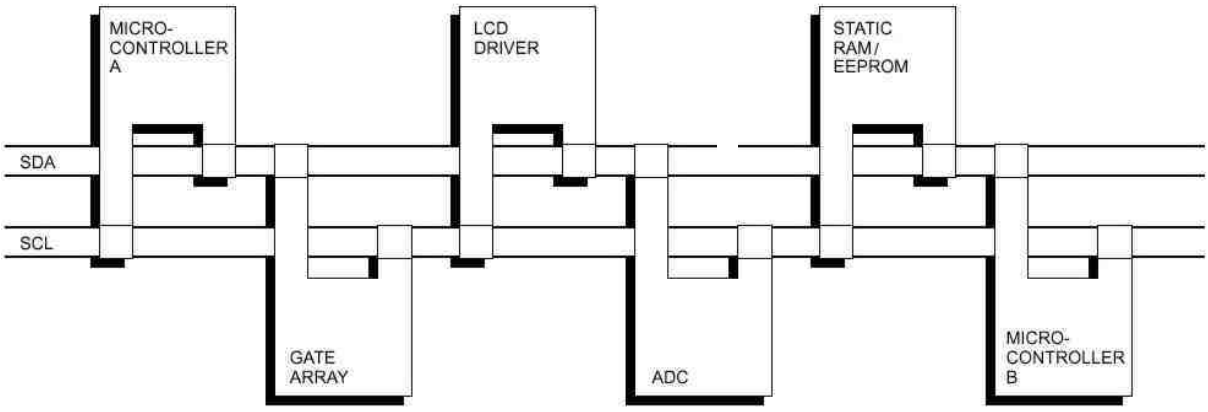


Fig. 2.23 Exemplu de sistem organizat în jurul magistralei I²C.

Pentru a satisface aceste criterii, este necesară utilizarea unei magistrale seriale, care deşi nu permite rate de transfer a informațiilor atât de mari ca o magistrală de interconectare de tip paralel, asigură minimizarea numărului firelor şi pinilor de interconectare între diversele circuite utilizate în proiect.

Dispozitivele care intercomunică prin intermediul unei magistrale seriale necesită utilizarea unor protocoale care au rolul de a elimina erorile, pierderile de informații şi conflictele pe magistrală şi de asemenea, posibilitatea ca unele

dispozitive rapide să poată comunica cu dispozitive lente. Este necesar ca sistemul să poată funcționa independent de numărul de dispozitive înglobate în structura sa, sau cu alte cuvinte, adăugarea de dipozitive în structura sistemului să nu afecteze funcționarea acestuia.

2.3.1.2.2 CONCEPTUL DE MAGISTRALĂ I^2C

Magistrala **I^2C** permite cuplarea unor circuite compatibile în structura sistemului, indiferent de tehnologia de fabricație a acestora: NMOS, CMOS sau bipolară. Magistrala constă în două linii: o linie serială de date (**SDA**) şi o linie de ceas serial (**SCL**), ce manipulează informațiile între oricare două dispozitive cuplate la magistrală. Orice dispozitiv este recunoscut prin intermediul unei adrese unice asociate, indiferent dacă este vorba de un microprocesor, display cu cristale lichide, interfață de tastatură, etc., şi poate funcționa ca emițător sau receptor, depinzând de funcția realizată de acesta (fig. 2.24). O clasificare suplimentară a dispozitivelor cuplate la magistrala **I^2C** constă în dispozitive ***master***, respectiv ***slave***. Un dispozitiv ***master*** este acela care poate iniția un transfer de date pe magistrală şi care generează semnalul de ceas ce coordonează transferul. În tot acest timp, orice alt dispozitiv adresat este privit ca ***slave***.

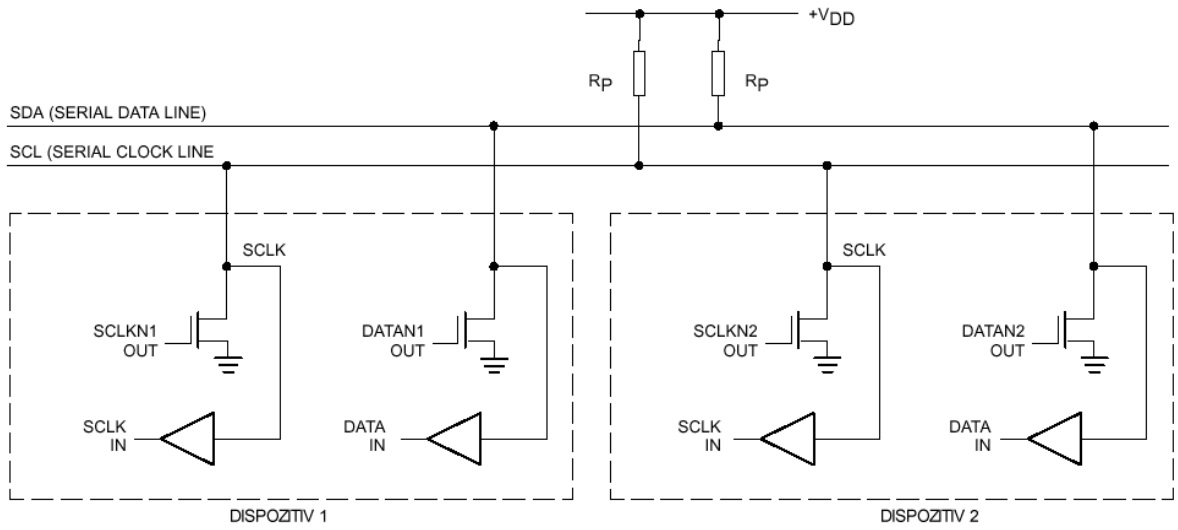


Fig. 2.24 Interconectarea a două dispozitive pe magistrala I^2C.

Magistrala **I^2C** este o magistrală de tip ***multi-master***. Aceasta înseamnă că mai multe dispozitice care pot controla magistrala pot fi cuplate la aceasta. Posibilitatea de a cupla mai mult de un dispozitiv ***master*** la magistrală înseamnă că mai mult de un singur dispozitiv poate încerca să inițieze un transfer pe magistrală, la acelaşi moment de timp. Pentru a se evita această situație de incertitudine, a fost elaborată o procedură de arbitrare a priorităților, bazată pe

conectarea de tip ŞI-cablat a tuturor dispozitivelor la magistrală. Semnalele de ceas pe durata arbitrării de priorităţi reprezintă rezultatul sincronizării semnalelor de ceas generate de cele două dispozitive ***master*** prin utilizarea funcţiei de tip ŞI-cablat a liniilor **SCL**. Generarea semnalelor de ceas pe magistrală revine întotdeauna în sarcina dispozitivelor ***master***; fiecare dispozitiv ***master*** generează propriul său semnal de ceas pe durata transferului de date pe magistrala sistemului. Semnalele de ceas de pe magistrală pot fi doar alterate doar dacă un dispozitiv ***slave*** lent forţează linia de ceas la nivel logic LOW sau de un alt dispozitiv ***master***, pe durata arbitrării priorităţiilor.

Ambele linii, **SDA** şi **SCL**, sunt bidirecţionale şi conectate printr-o rezistenţă de "pull-up" la tensiunea de alimentare. Atunci când magistrala este liberă, ambele linii sunt în starea HIGH. Etajul de ieşire al dispozitivului conectat la magistală trebuie să fie de tip ***open-drain*** sau ***open-collector*** pentru a se realiza funcţia ŞI-cablat. Pe magistrala **I²C**, transferurile de date pot fi efectuate cu rate de maxim 100 kbiţi/s în modul standard sau maxim 400 kbiţi/s în modul rapid. Numărul de dispozitive cuplabile la magistrala **I²C** este limitat doar de încărcarea capacitivă (maxim 400 pF) a liniilor magistralei.

2.3.1.2.3 TRANSFERURILE PE MAGISTRALA I²C

Datorită diversităţii tehnologiilor de implementare a circuitelor cuplabile la liniile interfeţei **I²C**, nivelele logice nu sunt fixate şi depind de valoarea tensiunii de alimentare V_{DD}. Pentru transferul fiecărui bit este generat câte un impuls de ceas.

a) Validitatea datelor

Datele vehiculate pe linia **SDA** trebuie să fie stabile pe durata HIGH a impulsului de ceas. Modificările stării liniei **SDA** trebuie să se producă doar atunci când semnalul de ceas este LOW.

b) Condiţiile START şi STOP

Printre procedurile implementate pe magistrala **I²C**, situaţii de excepţie sunt considerate condiţiile de START şi STOP.

O tranziţie din starea HIGH în starea LOW a liniei **SDA**, pe durata căreia linia **SCL** este HIGH, este interpretată ca o condiţie de START.

O tranziţie din starea LOW în starea HIGH a liniei **SDA**, pe durata căreia linia **SCL** este HIGH, este interpretată ca o condiţie de STOP.

Condiţiile de START şi de STOP sunt generate întotdeauna de un dispozitiv ***master***. După generarea unei condiţii de START se consideră că magistrala este ocupată. Magistrala este considerată din nou ca fiind neutilizată după apariţia unei condiţii de STOP.

Detectarea condițiilor de START ş di de STOP de către dispozitivele ***slave*** cuplate la magistrală este foarte facilă dacă acestea înglobează ***hardware***-ul specializat de interfațare. Pentru dispozitivele care nu dispun de acest ***hardware*** specializat, se impune ca linia **SDA** să fie eşantionată de două ori pe durata unei perioade de ceas, pentru ca această tranziție să poată fi detectată.

2.3.1.2.3.1 TRANSFERURILE DE DATE PE MAGISTRALĂ

a) Transferurile de date sub formă de cuvânt

Orice cuvânt de date transferat pe magistrală trebuie să aibă lungimea de 8 biți. În schimb, numărul de octeți ce pot fi transferați pe linia **SDA** este practic nelimitat. Fiecare octet transferat trebuie să fie urmat de un bit de confirmare (***acknowledge***). Transferurile de date încep întotdeauna cu bitul cel mai semnificativ al octetului respectiv. Dacă un dispozitiv receptor nu poate accepta un alt octet de date înainte de a realiza o funcție specială cum ar fi de pildă tratarea unei întreruperi interne, acesta poate forța linia de ceas, **SCL**, la nivel LOW pentru a forța ca emițătorul să intre în stare de WAIT. Transferul de date poate continua atunci când receptorul eliberează linia **SCL**.

În anumite cazuri, este posibilă utilizarea unui alt format pentru transferul pe magistrală. Un mesaj care începe cu o astfel de adresă poate fi terminat prin utilizarea unei condiții de STOP, chiar în timpul transmiterii unui octet de informație. În această situație nu se generează bitul de confirmare.

b) Bitul de confirmare

Transferurile de date cu confirmare sunt obligatorii pentru a se asigura integritatea datelor pe magistrală. Semnalul de ceas asociat bitului de confirmare este generat de dispozitivul ***master***. Pe durata acestui impuls de ceas, disozitivul emitent eliberează linia **SDA** (nivelul acesteia este HIGH).

Dispozitivul de recepție trebuie să forțeze linia **SDA** la nivel coborât pe durata impulsului de ceas de confirmare, astfel acest nivel coborât să rămână stabil pe durata HIGH a impulsului de ceas de confirmare.

În mod obişnuit, un dispozitiv ce realizează funcția de recepție mesaj trebuie să emită câte un semnal de confirmare după fiecare octet recepționat. Atunci când un dispozitiv ***slav***e cu funcție de recepție nu confirmă adresa asociată (de exemplu, ecest dispozitiv nu este capabil să răspundă deoarece efectuează un set de operații în timp real), linia de date trebuie lăsată neutilizată (HIGH) de către dispozitivul ***slave***. În această situție, dispozitivul ***master*** poate genera o condiție de STOP pentru a termina transferul. Dacă dispozitivul ***slave*** ce realizează funcția de recepție confirmă adresa asociată dar în procesul de transfer ulterior nu mai poate recepționa octeți, este, de asemenea, necesar ca dispozitivul ***master*** să termine transferul. Acest fapt este indicat prin faptul că

receptorul nu confirmă recepționarea următorului octet, lasă linia **SDA** pe nivel HIGH, iar dispozitivul master generează condiția de STOP.

Dacă în procesul de transfer este implicat un dispozitiv ***master*** ce realizează funcția de recepție, acest dispozitiv trabuie să semnalizeze sfârşitul transferului prin neconfirmarea ultimului octet recepționat de la ***slave***. Dispozitivul ***slave*** trebuie să elibereze linia **SDA** pentru ca dispozitivul ***master*** să poată transmite o condiție de STOP.

2.3.1.2.4 ARBITRAREA PRIORITĂȚILOR ŞI GENERAREA CEASULUI

a) Sincronizarea pe magistrala **I²C**

Toate dispozitivele ***master*** generează propriul semnal de ceas pe linia **SCL** pentru a transmite mesaje pe magistrala **I²C**. Datele sunt valide doar pe durata HIGH a impulsurilor de ceas. Prezența unui semnal de ceas pe magistrală este necesară pentru procedura de arbitrare bit cu bit.

Sincronizarea ceasului este asigurată prin utilizarea conexiunii de tip ŞI-cablat a interfețelor de magistrală la linia **SCL**. Aceasta înseamnă că o tranziție din HIGH în LOW pe linia **SCL** va determina dispozitivele cuplate la magistrală să îşi înceapă procesul de contorizare a perioadelor LOW odată ce semnalul de ceas al unui dispozitiv a devenit LOW, se va menține linia **SCL** în această stare până semnalul de ceas devine din nou HIGH. Totuşi, tranziția din starea LOW în starea HIGH nu va determina schimbarea stării liniei de ceas dacă un alt semnal de ceas cuplat la linia de ceas a magistralei se află în stare LOW. Durata cât timp linia **SCL** va fi menținută în stare LOW va fi determinată de dispozitivul care este caracterizat de cea mai mare durată a nivelului coborât al ceasului. Celelalte dispozitive, caracterizate de o durată mai mică a palierului stării LOW a semnalului de ceas, trec în stare de WAIT cu semnalul de ceas la nivel ridicat.

Atunci când, toate dispozitivele, implicate în procesul de comunicare pe magistrală, şi-au încheiat contorizarea perioadei LOW a semnalului de ceas, linia respectivă va fi eliberată şi va trece în stare HIGH. În acest mod, nu vor mai exista diferențe între semnalele de ceas ale dispozitivelor şi starea linie de ceas a magistralei, toate dispozitivele începându-şi contorizarea duratelor HIGH ale semnalelor de ceas. Primul dispozitiv care îşi încheie perioada HIGH a semnalului de ceas va forța linia **SCL** din nou la nivel LOW.

Semnalul de ceas de pe linia SCL este astfel sincronizat, având durata de nivel coborât determinată de dispozitivul caracterizat de cea mai lungă perioadă LOW a semnalului de ceas şi durata de nivel ridicat determinată de dispozitivul caracterizat de cea mai scurtă perioadă HIGH a semnalului de ceas.

b) Arbitrarea priorităților

Un dispozitiv ***master*** poate iniția un transfer de date doar dacă magistrala este liberă. Două sau mai multe dispozitive ***master*** de magistrală pot genera o condiție de START pe durata timpului de HOLD din condiția de START. Arbitrarea are loc prin intermediul liniei de date, **SDA**, pe durata cât linia de ceas, **SCL**, este pe nivel HIGH. Astfel, unul dintre dispozitivele ***master*** transmite un nivel HIGH pe magistrală, în timp ce celălalt, care transmite un nivel LOW, îşi va dezactiva etajul de ieşire deoarece nivelul logic de pe magistrală nu corespunde cu nivelul logic transmis de către acesta. Arbitrarea poate continua pentru mai mulți biți. Prima etapă constă în compararea biților de adresă. Dacă două dispozitive ***master*** încearcă să adreseze acelaşi dispozitiv ***slave***, arbitrarea continuă cu compararea datelor. Deoarece adresele şi datele sunt utilizate pentru arbitrarea magistralei, se constată că nu există pierderi de informație pe liniile magistralei pe durata acestui proces.

Un dispozitiv ***master*** care pierde arbitrarea poate genera impulsuri de ceas până la încheierea procesului de transmitere a octetului în cursul căruia a pierdut arbitrarea.

2.3.1.3 INTERFAȚA USB

Interfața USB (**U**niversal **S**erial **B**us) a fost proiectată cu scopul de a simplifica procedura de conectare a perifericelor la un PC, crescând viteza de transmisie prin intermediul unei comunicații de tip serial până la valori de 12 Mbit/s. Faptul că necesită o conectare mai facilă impune însă utilizarea unui protocol mai complex, pentru păstrarea eficienței şi transparenței față de utilizator.

USB este deja recomandat pentru noua generație de PC-uri compatibile IBM de către PC'98 System Design Guide şi este, deja inclus ca driver în sistemul de operare Windows 98.

Suportul hardware constă dintr-o conexiune pe patru conductoare, dintre care două sunt pentru alimentare (V_{bus}) respectiv masă (GND) iar celelalte două pentru transferul de date (D+ şi D-). Prin intermediul USB se pot conecta **simultan** la un PC până la 126 de periferice cu avantajul suplimentar al reducerii costului şi al spațiului alocat plăcii de bază a PC-ului (PCB) prin eliminarea necesității unui port suplimentar "tradițional" cum sunt cele ale tastaturii şi/sau porturile seriale clasice. Bineînțeles că marele avantaj rezidă în costul scăzut al USB şi în viteza (12 Mbit/s în aşa-numitul "full-speed mode") care permite transferul în timp real al semnalelor de voce sau video comprimat.

La sfârşitul anului 1999 a fost lansată oficial varianta USB2.0 care permite transferuri de până la 120, respectiv 240 Mbit/s. În cele ce urmează se prezintă protocolul USB 1.1, pe baza unui exemplu de implementare hardware: *Infineon Technologies C541 embedded USB microcontroller*.

Arhitectura USB se compune din trei elemente principale (fig. 2.25) - gazda (*host*), conectorii (*hubs*) şi perifericele (*devices*). Conexiunea utilizează topologia "tiered-star" şi poate fi structurată în nivele, deci poate avea până la 5 distribuitoare (*hub tiers*). În mod uzual, controller-ul gazdă (*host controller*) şi *hub*-ul principal (de *root*) sunt implementate pe un acelaşi chip pe placa de bază a PC-ului. Controller-ul gazdă controlează transmisiile prin sistemul USB. Există două tipuri de *host controllers*: OHCI (**O**pen-**H**ost **C**ontroller **I**nterface) şi UHCI (**U**niversal **C**ontroller **H**ost **I**nterface). Din punct de vedere al aplicațiilor, OHCI poate gestiona multiple tranzacții pentru un anumit periferic *End Point* (EP) într-un interval de 1 ms. Pe de altă parte, UHCI permite câte o tranzacție pentru fiecare EP în fiecare cadru de aplicație (*frame*). Pachetele software ale echipamentelor USB trebuie să fie capabile să gestioneze comunicația cu fiecare dintre aceste tipuri de controller-e.

Un distribuitor principal acționează ca un port care se ataşează echipamentului USB (fig. 2.25), permițând multiple conexiuni la sistemul USB şi detectează momentele când echipamentele sunt conectate sau deconectate de la sistem. De asemenea, el transmite mai departe traficul pe *bus* între portul trece-sus (*upstream*) şi porturile trece-jos adiacente (*downstream*).

Fiecare echipament dotat cu USB are alocate numere EP. Numărul EP0 este rezervat pentru configurarea echipamentelor de către gazdă. El asigură un punct de comunicație catre gazdă prin intermediul descriptorilor EP. Descriptorii EP comunică atributele echipamentelor şi caracterisitcile acestora gazdei. În conformitate cu aceste informații, gazda configurează echipamentul şi-i alocă driver-ul software corespunzător (USB client software).

Celelalte EP pot fi considerate ca o funcție a echipamentelor şi pot fi configurate separat pentru unul dintre tipurile de transfer pentru a comunica cu gazda. De exemplu, o aplicație de tastatură, care se clasifică în standardul USB "**H**uman **I**nterface **D**evice", HID, foloseşte EP0 pentru configurarea echipamentului (tastaturii) şi poate folosi EP1 ca un transfer pe întreruperi pentru trimiterea datelor (*key-scanned data*) către gazdă.

USB suportă 4 tipuri de transfer de date:

- *Control transfer* - comenzi de cereri de transfer de la gazdă către echipament;
- *Interrupt transfer* - transfer de date de la un *interrupt driver device* către gazdă;
- *Bulk trasfer* - transferul unei cantități mari de date;
- *Isochronous transfer* - pentru aplicații care necesită rate de transfer constante.

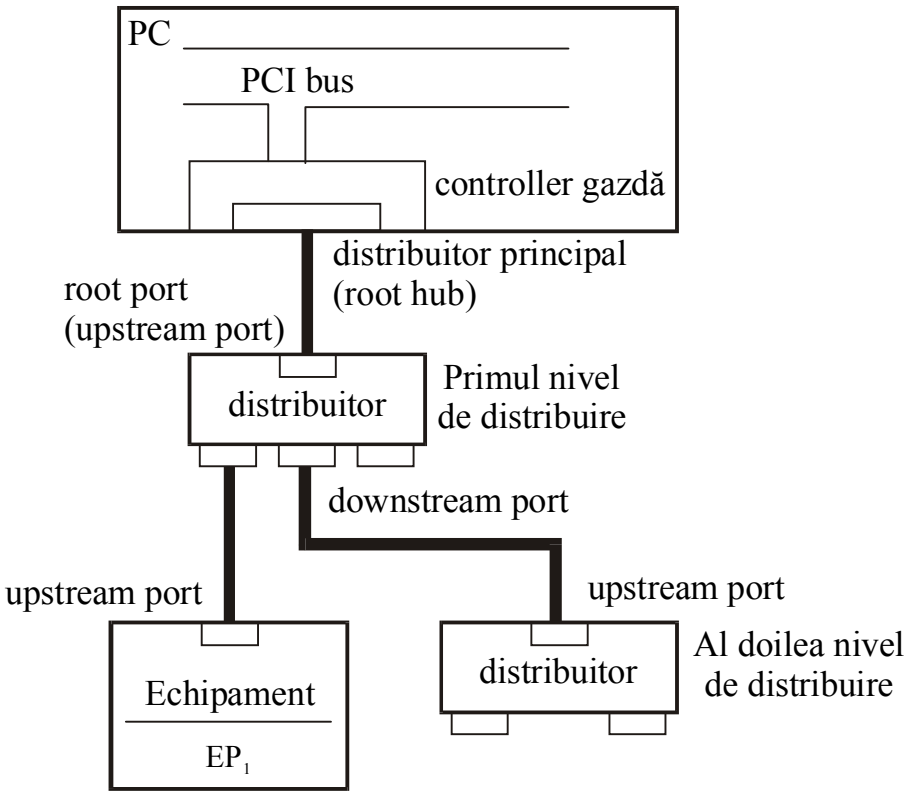


Fig. 2.25 Structura generală a unei interfețe USB.

2.3.2 COMUNICAȚIA DE TIP PARALEL. PROTOCOALE DE TRANSMISIE PARALELĂ A DATELOR

Pentru sistemele de măsurare ce utilizează aparate inteligente conduse de calculator, comunicația paralelă este cea mai indicată, asigurând viteze mari de comunicație, drept pentru care au fost realizate standarde internaționale la care s-au aliniat majoritatea constructorilor de aparate inteligente dotate cu microprocesoare.

Comunicația paralelă este utilizată şi pentru alte aparate cuplate la calculator, cum ar fi: imprimante, plotter-e, dispozitive de memorie externă etc.

Până în anii ’60 au existat numai aparate de măsurare cu comandă manuală şi de-abia o dată cu apariția aparatelor numerice, în deceniile următoare, s-au proiectat primele interfețe cu rolul, la început, de a permite cuplarea mai multor aparate de măsurare între ele. În anii ’70 s-a pus problema standardizării interfețelor, prima soluție constituind-o interfața **RS-232** pentru interconectarea calculatoarelor ca şi a perifericelor la acestea. Încă din 1965, însă, firma Hewlett-Packard lucra la definirea unui concept de interfață **HPIB** (**H**ewlett **P**ackard **I**nterface **B**us), din care a decurs apoi norma internațională **IEC 625-1**, adoptată în 1976.

2.3.2.1 INTERFAȚA HPIB

BUS-ul IEC 625 utilizează transmisia asincronă ceea ce înseamnă că viteza de comunicație este determinată de aparatul cel mai lent din sistem. Acesta este numai aparent un dezavantaj, deoarece timpul de măsurare al aparatelor este de obicei mult mai mare decât timpul necesar comunicației.

Se obțin astfel viteze de 2000-3000 kBaud ceea ce nu este deloc puțin în comparație cu comunicația serială prin RS-232 ce poate asigura maximum 38,4 kBaud.

BUS-ul IEC pentru sistemele de măsurare este cunoscut sub mai multe denumiri şi variante, diferențele dintre acestea fiind însă minime. Astfel, între HPIB şi GPIB, realizate după standardul american IEEE-488 şi, respectiv, standardul internațional IEC-625, diferența este la conectarea în cuple şi numărul de pini ai acestora. Prescurtările au următoarele semnificații:

- HPIB: Hewlett Packard Interface Bus
- GPIB: General Purpose Interface Bus

Conectorul utilizat de bus-ul HPIB este redat în fig.3.9. Acest conector are 24 de pini care sunt alocați conform standardului pentru intrări-ieşiri de date şi comenzi şi care vor fi explicitați în continuare.

Pentru realizarea unui sistem automat de măsurare prin interfața HPIB este necesar un echipament de calcul (PC), care să posede implementată pe magistrala proprie placa de interfața pentru acest Bus, iar aparatele utilizate trebuie să fie prevăzute de asemenea cu această interfață.

Sistemul poate fi format din **maximum 15 aparate** ce pot fi conectate la calculator în două moduri: în stea (fig. 2.27a) sau în serie (fig. 2.27b).

Legăturile între aparate trebuie să fie cât mai scurte şi să nu depăşească lungimea de 2 m.

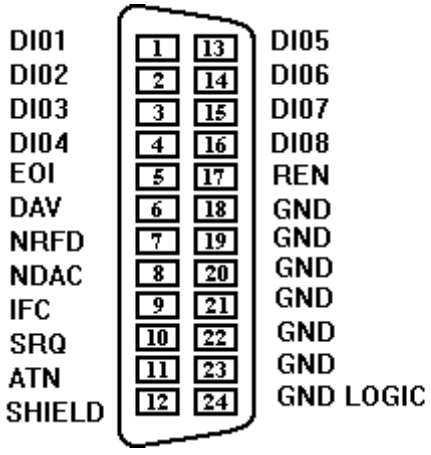


Fig. 2.26 Conectorul HPIB.

Legătura în stea asigură o configurație mai avantajoasă asigurând distanțe minime între aparate şi o viteză de comunicație mai mare, de aceea este mai recomandată.

Legătura în serie permite o dispersare mai mare a aparatelor, dar o conectare imperfectă la una dintre cuple poate crea probleme de reflexii pe cabluri sau chiar întreruperea comunicației între aparate. De asemenea, viteza de comunicație este mai mică, datorită traseelor mai lungi.

2.3.2.1.1 STRUCTURA BUS-ULUI HPIB

Aparatele compatibile cu protocolul HPIB şi dotate, astfel, cu interfața corespunzătoare, pot avea în sistem trei funcții:

- ***ascultătorii*** (listeners), care primesc datele atunci când sunt adresați. Pot fi activi şi mai mulți ascultători simultan;
- ***vorbitorii*** (talkers), care emit date atunci când sunt adresați. Un singur vorbitor poate fi activ la un moment dat pe bus;
- ***controller-ele,*** (controllers) care adresează aparatele legate la bus, fie că este vorba de ascultători, fie că este vorba de vorbitori, şi trimit instrucțiuni speciale şi semnale de comandă.

Pentru a comanda în mod eficient, controller-ul trebuie să poată asculta şi vorbi în mod egal. Într-un sistem de măsurare automatizat se pot distinge trei tipuri de sarcini:

- selecția unui aparat;
- transferul informațiilor;
- gestiunea transferului de informații.

Noțiunea de gestiune a transferului de informații este aici foarte importantă, deoarece un aparat "vorbitor" (care poate fi controller-ul, când el emite adrese, sau un aparat selecționat când el primeşte date) nu poate efectua un nou transfer decât atunci când el este sigur că aparatele vizate au primit în condiții bune informația precedentă.

Sistemul HPIB este constituit din ansamblul elementelor funcționale electrice şi mecanice ale unei interfețe conforme cu norma IEEE-488. Cablul utilizat pentru conectarea aparatelor are 24 de conductoare, din care 16 sunt repartizate în trei grupe:

- transferul informațiilor 8 linii;
- gestiunea transferului de informații 3 linii;
- gestiunea generală 5 linii.

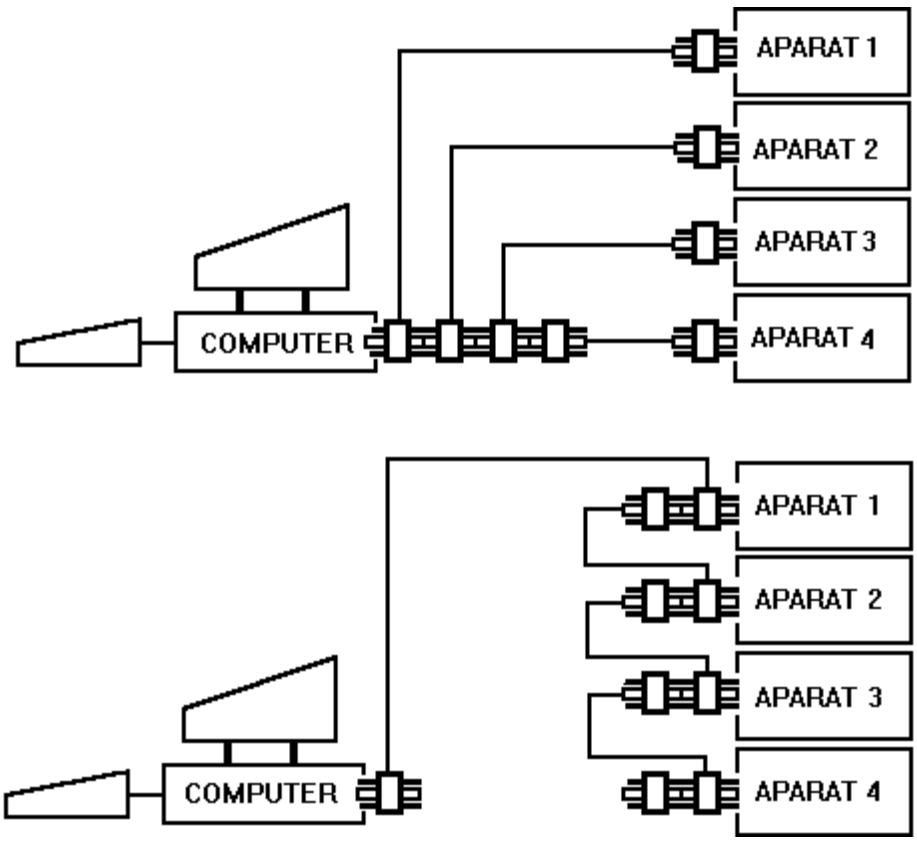


Fig. 2.27 Conectarea aparatelor la calculator prin bus-ul HPIB.

Liniile de transfer de date (DIO1÷DIO8) sunt rezervate intrărilor şi ieşirilor. Ele sunt utilizate pentru măsurări, instrucţiuni de programare cuvinte de stare, adrese, instrucţiuni de interfaţare. Un octet de date este format din 8 biţi transmişi în paralel. Un mesaj poate să cuprindă mai mulţi octeţi; aceşti octeţi sunt transmişi atunci în serie. Viteza de transfer poate atinge 1 Moctet/secundă pentru o comunicaţie bidirecţională asincronă.

Liniile de gestiune a transferului sunt destinate să gireze transferul fiecărui octet de la un aparat emiţător spre unul sau mai multe aparate receptoare şi asigură protocolul de tip "handshake" ori de câte ori informaţiile sunt transmise pe cele 8 linii ale bus-ului de date. Aceste linii sunt:

- **DAV** (**DA**ta **V**alid); această linie informează că datele prezentate pe bus de la un emiţător sunt valide; ele sunt comandate de emiţător;
- **NRFD** (**N**ot **R**eady **F**or **D**ata); această linie este acţionată de controler în modul "comandă" (ATN=1) şi de receptor în modul "date" (ATN=0);
- **NDAC** (**N**ot **D**ata **AC**cepted); atunci când NDAC=1, datele nu sunt acceptate de receptor, sau în modul "comandă", comanda nu este acceptată de aparatul conectat la bus.

Liniile de gestiune generală, fiecare din cele cinci linii ale acestei grupe având o funcţie de comandă specifică între controler şi alte aparate ale

sistemului:

- **ATN** (**AT**te**N**tion); permite controlerului să indice instrumentelor că instrucțiuni şi adrese sau date sunt prezente pe bus. Atunci când ATN=1 numai emițătorul şi receptorul adresați sunt vizați. În acest caz, pe bus-ul de date este trimis codul adresei emițătorului. Dacă ATN=0, codul reprezintă date. Toate aparatele trebuie să "privească" în orice moment la această linie şi atunci când pe ea se produce o schimbare, ele trebuie să răspundă într-un interval de max. 200 ns.
- **IFC** (**I**nter**F**ace **C**lear); această linie poate fi pusă pe "1" (sau "adevărat") numai de către controler înainte de a pune interfețele conectate la bus într-o stare inactivă. Toate operațiunile în curs sunt atunci oprite pentru a permite repornirea de la o situație neutră şi uniformă înaintea tuturor operațiilor.
- **SRQ** (**S**ervice **R**e**Q**uest); această linie este activată de toate aparatele care au de cerut un "serviciu" controller-ului. Această cerere poate întrerupe o operațiune în curs. Atunci când mai multe aparate cer SRQ în acelaşi moment, controller-ul trebuie să efectueze o căutare pentru a depista aparatele respective şi natura serviciului cerut. Această căutare se poate efectua fie "în serie", fie "în paralel".
- **EOI** (**E**nd **O**r **I**dentify); dacă ATN=0 (liniile DIO sunt pe modul "date"), această linie este activată (adică EOI=1 sau "adevărat") de un emițător semnificând faptul că octetul în curs este ultimul transmis pentru operație. Dacă ATN=1 (liniile DIO sunt în modul "comandă interfață"), controller-ul activează linia EOI într-o căutare paralelă.
- **REN** (**R**emote **EN**able); această linie este activată numai de controler pentru a comuta un aparat de la poziția "comandă de pe panoul frontal" (sau comandă locală) pe poziția "comandă de la distanță". Atunci când REN=0, aparatul revine la modul de comandă locală.

Se disting, astfel, două tipuri de mesaje :

- comenzi generale, date de controler şi destinate interfețelor încorporate aparatelor, acestea fiind mesaje de interfață.
- datele destinate aparatelor de măsurare înainte de a le plasa într-o stare particulară sau de primire a rezultatului obținut de la o măsurare. Datele sunt furnizate de un emițător care poate fi controller-ul; acestea sunt "mesaje pentru aparate".

În acest fel se delimitează zonele de intervenție ale normei IEEE-488 care acționează prin comenzi asupra interfeței şi prin mesaje asupra aparatelor.

Mesajele pentru aparate

Un mesaj pe cele 8 linii DIO este un mesaj de aparat (sau de date) dacă linia ATN =0. Aceste date sunt emise de aparatul adresat ca vorbitor şi primite

de aparatele adresate ca ascultători sub controlul procedeului de tip "*handshake*".

Ele pot fi:

a) date de intrare:

- date de comandă, de exemplu instrucțiuni ale programului pentru un aparat particular;
- date pentru afişare sau stocare.

b) date de ieşire:

- datele unui rezultat al măsurării;
- informații de stare a aparatului.

Între aparatele conectate la sistemul de comunicare, este necesar să existe convenții asupra codificării datelor. Se poate remarca faptul că norma defineşte numai modul transferului de date, dar nu şi conținutul lor; acesta depinde de aparatul utilizat; la ora actuală, convenția cea mai răspândită este codul ASCII.

Mesaje de interfață

Se disting, ca şi în cazul mesajelor de aparat, mesaje de interfață multifilară şi unifilară. Mesajele unifilare ATN, IFC şi REN care comandă anumite funcții ale aparatelor conectate la bus-ul HPIB au fost deja definite anterior. Aşa cum s-a arătat, este vorba de comenzi emise de controler interfețelor aparatelor. Un mesaj multifilar pe linia DIO este considerat ca o comandă dacă linia ATN = 1. El este codificat prin 7 biți trimişi pe liniile DIO1÷DIO7.

2.3.2.2 INTERFAȚA CENTRONICS

Interfața dezvoltată de firma **Centronics** în scopul, inițial, al transmiterii comenzilor către imprimante, nu este (încă) normată, cu toate că este utilizată de toate PC-urile. Modul de lucru este caracterizat de un transfer paralel al datelor, distanța maximă dintre echipamentele interconectate prin această interfață fiind de 8 m, datorită limitărilor privind distorsionarea semnalelor cauzată de capacitatea lineica a conductoarelor. O soluție este dispunerea conductoarelor de semnal alături de conductoarele de masă şi răsucirea acestora (*twisted-pair*), dar mulți producători de imprimante recomandă o distanță maximă între PC şi acestea de 3m. Viteza de transfer a datelor prin intermediul acestei interfețe este dependentă de hardware. Ea poate, teoretic, să aibă valori de peste 1 MByte/s, dar pentru aceasta se impune o distanță maximă între echipamentele interconectate de 1 m. Interfața utilizează nivele de tensiune TTL, ceea ce facilitează utilizarea ei în diferite aplicații.

În cele ce urmează se va face o descriere a semnalelor specifice interfeței

(fig. 2.28):

- **Strobe** (activ LOW): această linie este activată de către calculator, atunci când se doreşte transferul datelor către exterior (imprimanta, eventual);

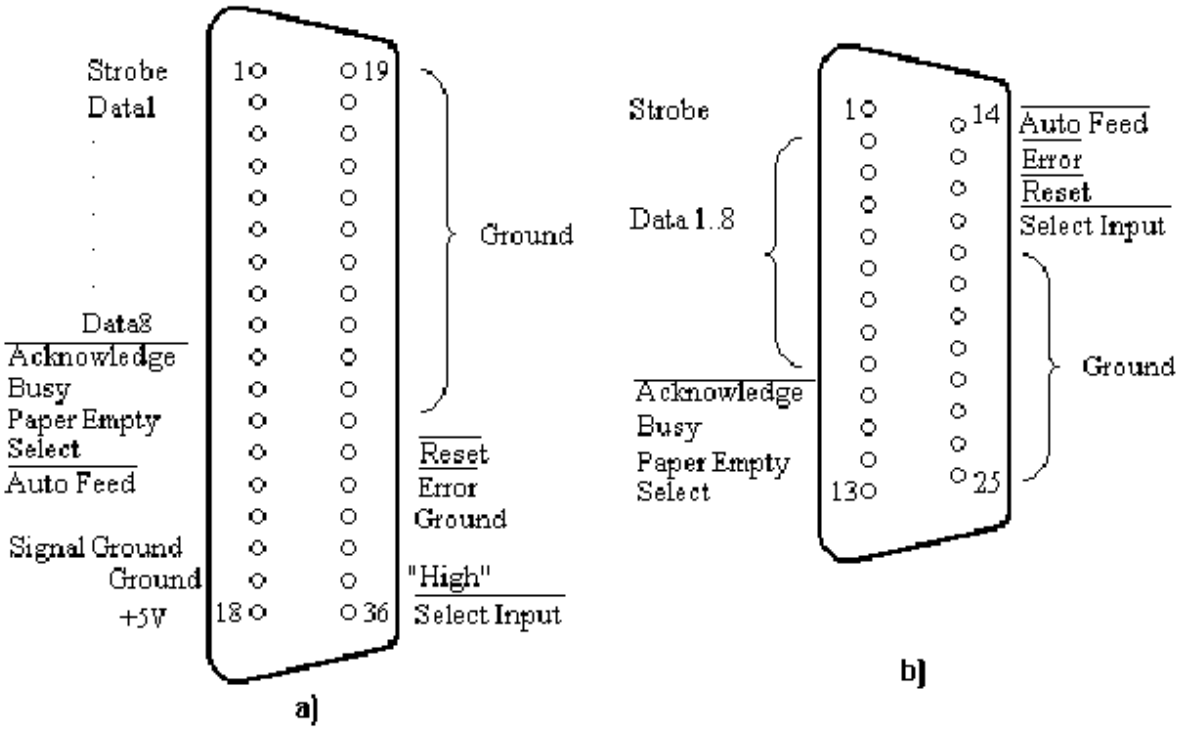


Fig. 2.28 Dispunerea pinilor portului Centronics:
a) conector cu 36 de pini (Amphenol-seria 57); b) conector cu 25 de pini (Subminiatur-D)

- **Data 1 ÷ Data 8**: linii de date
- **Acknowledge** (activ LOW): atunci când echipamentul exterior (imprimanta) a preluat datele transmise, transmite un semnal de înştiinţare cu durata de 30 μs;
- **Busy**: apariţia unei erori în timp ce imprimanta preia datele, este în procesul de imprimare sau în starea off-line, determină activarea acestui semnal.
- **Paper Empty**: acest semnal este activ până când senzorul va detecta, din nou, prezenţa colilor de hârtie.
- **Select**: **c**u ajutorul acestui semnal imprimanta anunţă faptul că este accesată şi activă.

Următoarele semnale nu aparţin, de fapt, standardului (în sensul de variantă iniţială a interfeţei):

- **Autofeed** (activ LOW): o dată cu activarea acestei linii, imprimanta inserează la sfârşitul fiecărei linii câte un salt la linie nouă;

- **Reset** (activ LOW): cu semnalul trimis pe această linie, imprimanta se va seta într-o stare predefinită;
- **Error** (activ LOW): acest semnal se activează o dată cu apariția unei erori sau atunci când imprimanta este în starea off-line;
- **Select Input** (activ LOW): transmiterea unui semnal pe această linie determină selectarea imprimantei.

2.3.2.2.1 PROTOCOLUL DE COMUNICAȚIE CENTRONICS-HANDSHAKE

În fig. 2.29 este reprezentată diagrama de semnale corespunzătoare transmiterii datelor prin interfața Centronics. Procedeul *handshake* este caracterizat de următoarea succesiune a semnalelor: după cel puțin 500 ns de la transmiterea datelor pe liniile de date (8) ale magistralei, aparatul emițător (aici, PC-ul) va transmite un semnal de preluare (*Strobe*) de durată minimă de 500 ns. După alte cel mult 500 ns, imprimanta semnalizează prin intermediul semnalului de *Busy*, faptul că este în procesul de preluare a datelor primite. Acest semnal poate persista mai mult timp dacă, de exemplu, buffer-ul imprimantei este plin şi trebuie aşteptată efectuarea imprimării pentru golirea lui şi preluarea unui nou set de date. Apoi (după cel mult 10µs de la inactivarea semnalului de *Busy*), devine activ semnalul de *Acknowledge* (varianta Centronics). În varianta Epson, acest semnal apare cu aproximativ 7 µs înainte de frontul descrescător al semnalului *Busy*.

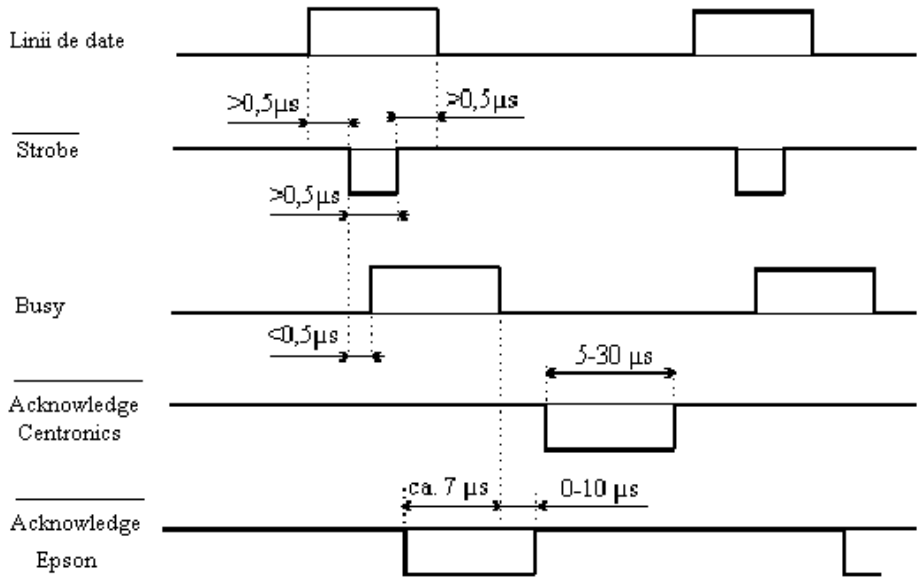


Fig. 2.29 Diagrama semnalelor pentru protocolul de comunicație pentru interfața Centronics.

În cazul în care se utilizează imprimanta conectată la portul serial al calculatorului, sau atunci când există mai multe porturi paralele (extrem de rar) sau dacă pur şi simplu nu se conectează nici o imprimantă, atunci portul paralel disponibil poate fi utilizat pentru comanda circuitelor de măsurare, reglare şi comandă. În cazul PC-urilor, interfața paralelă este accesată prin intermediul următoarelor *adrese de port*:

- LPT1: 3BC H ÷ 3BE H
- LPT2: 378 H ÷ 37A H
- LPT3: 278 H ÷ 27A H

3. TIPURI DE SISTEME DE ACHIZIȚII DE DATE

3.1 SISTEM DE ACHIZIȚII DE DATE CU MULTIPLEXARE TEMPORALĂ

Cea mai simplă structură de sistem de achiziții de date (fig. 3.1) presupune utilizarea ***multiplexării temporale***. Diferitele semnale analogice de pe cele *n* canale sunt multiplexate la intrarea circuitului de eşantionare - memorare care reține, de fiecare dată, valoarea unui eşantion, în vederea conversiei.

În acest proces, ***circuitul de eşantionare-memorare*** realizează o dublă funcție:

- menține constant (în limite de cel mult ±0,5 **LSB - L**east **S**ignificant **B**it - bitul cel mai puțin semnificativ) semnalul achiziționat la intrarea convertorului analog-digital;
- permite o utilizare cât mai eficientă a timpului de achiziție, comutarea următorului canal putând avea loc pe durata cât circuitul de eşantionare-memorare se găseşte în starea de memorare şi tensiunea sa de ieşire este supusă procesului de conversie analog-digitală.

Multiplexorul analogic permite utilizarea unui singur convertor analog numeric, pentru *n* canale analogice; de regulă *n* este de forma 2^k. Multiplexorul este o componentă electronică, conținând $n = 2^k$ comutatoare analogice, ale căror ieşiri sunt conectate împreună, pentru a furniza ieşirea unică a multiplexorului; numărul de comutatoare determină numărul de intrări ale multiplexorului. Comanda de inchidere şi de deschidere a comutatoarelor analogice este efectuată prin intermediul a $log_2\, n = k$ intrări de selecție.

Când dinamica procesului de colectare a datelor permite acest lucru, se poate mări numărul de canale analogice de intrare, care se pot conecta, prin multiplexare, la acelaşi lanț de conversie, folosind *structuri de tip arbore de multiplexoare*, deoarece multiplexoarele semiconductoare analogice sunt disponibile doar în combinații **2:1**, **4:1**, **8:1**, **16:1**.

Din fig. 2.1, se remarcă ***funcțiunile unității centrale***. Aceasta trebuie să asigure:

- semnalul de comandă a circuitului de eşantionare-memorare;
- semnalul de inițiere a conversiei (**START**) a convertorului analog-digital; la sfârşitul fiecărei conversii, convertorul **CA/D** furnizează un semnal, **EOC** (**E**nd **o**f **C**onversion - sfârşitul conversiei), pentru a semnala în exterior că ieşirea numerică este disponibilă şi stabilă;
- semnalele de selecție a canalului pentru multiplexor, adresarea canalelor de intrare putând fi făcută fie secvențial, fie aleatoriu.

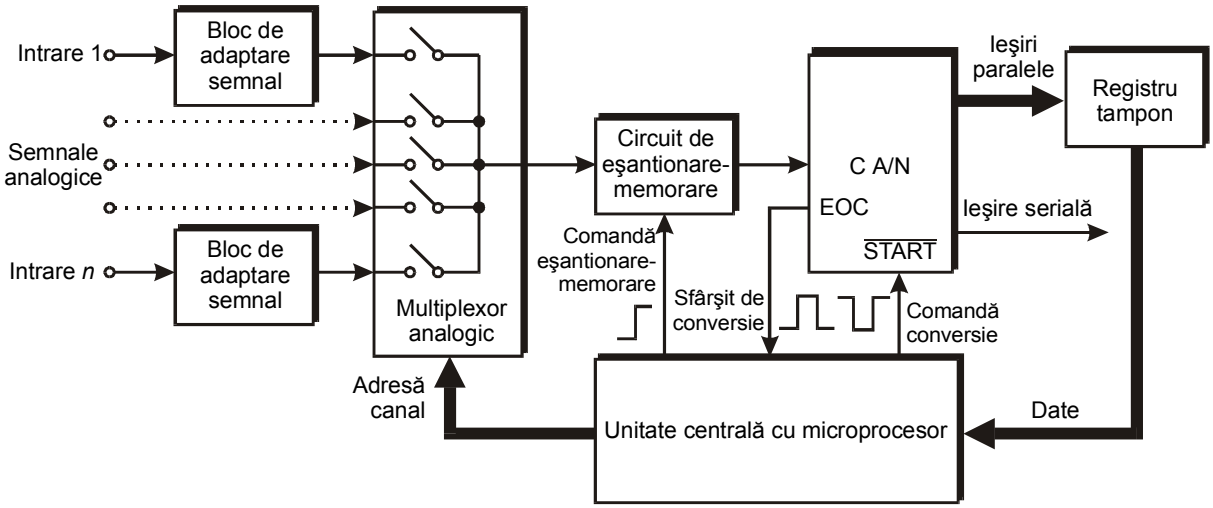


Fig. 3.1 Sistem de achiziţii de date cu multiplexare temporală.

Timpul de achiziţie, **pentru un canal** *i*, T_{ACH}^{i} poate fi determinat astfel:

$$T_{ACH}^{i} = t_{E/M} + t_{MUX} + t_{C} + t_{MEM}; i = 1 \div n \tag{3.1}$$

în care semnificaţia mărimilor ce intervin este următoarea:

- $t_{E/M}$ - timpul de eşantionare-memorare, compus din timpul de comandă şi timpul de achiziţie;
- t_{MUX} - timpul de multiplexare, compus din timpul de comandă şi din timpul de stabilire al multiplexorului;
- t_{C} - timpul conversie, compus din timpul de comandă şi din timpul de conversie analog-digitală;
- t_{MEM} - timpul memorare a rezultatelor, rezultat ca suma timpilor de execuţie a unei instrucţiuni de citire a rezultatelor de la convertorul analog-digital şi a unei instrucţiuni de scriere a rezultatelor în memorie.

***Pentru** n **canale de intrare**, timpul de eşantionare*, T_e, se calculează astfel:

$$T_e = \sum_{i=1}^{n} T_{ACH}^{i} = n \cdot \left(t_{E/M} + t_{MUX} + t_{C} + t_{MEM}\right) \tag{3.2}$$

Sistemul cu multiplexor analogic, care permite accesul secvenţial al semnalelor, *are dezavantajul unei viteze reduse de măsurare*, soluţia fiind, în schimb, cea mai ieftină.

Frecvenţa maximă de eşantionare, f_e, a acestui sistem de achiziţii de date rezultă:

$$f_e = \frac{1}{T_e} \tag{3.3}$$

de valoare relativ mică, ceea ce conduce la observaţia, conform teoremei eşantionării a lui Shannon:

$$f_e \geq 2 \cdot f_{max} \tag{3.4}$$

că ***această arhitectură de sistem de achiziții de date nu poate fi folosită în mod eficient pentru monitorizarea unor semnale de frecvență mare, sau rapid variabile în timp***.

Trebuie, însă, precizat faptul că, de obicei, unitatea centrală nu este proprie sistemului de achiziții de date, ci este mult mai corect să vorbim de o interfață de achiziții de date compatibilă cu un sistem de calcul compatibil **IBM - PC XT/AT**, acest sistem constituind unitatea centrală de prelucrare.

În continuare este prezentată arhitectura sistemului de achiziții de date cu multiplexare temporală, **DAS 1600**, produs de firma **Keithley**.

Un exemplu reprezentativ de s***istem de achiziții de date cu multiplexare temporală*** este constituit de sistemul **DAS 1600**, produs de firma **Keithley**.

Acest sistem de achiziții de date se compune din:

- ***interfață de achiziții de date***;
- ***microsistem de calcul***, compatibil **IBM PC/AT**, organizat în jurul unei magistrale de tip **ISA**[3].

Schema bloc a interfeței de achiziții de date **DAS 1600** este prezentată în fig. 3.2.

Interfața **DAS 1600** permite achiziția a **16** semnale de intrare analogice nediferențiale, sau a **8** semnale analogice de intrare complet diferențiale, în gama **±5V**, frecvența maximă de eşantionare pentru un canal fiind de **100 kHz**.

Selecția modului de lucru (nediferențial sau diferențial) se face printr-o configurare ***hardware***. Semnalele de selecție a canalului curent eşantionat sunt asigurate de o logică de comandă şi incrementare, constituită dintr-un numărător şi circuite auxiliare. Această logică permite atât baleierea secvențială, cât şi aleatoare, a canalelor de intrare.

Ieşirea ***multiplexorului analogic*** este aplicată unui ***amplificator de instrumentație***, a cărui amplificare este selectabilă ***software***, funcție de nivelul semnalului de intrare. Amplificarea este comandată prin intermediul unui cuvânt de doi biți, astfel încât la ieşirea amplificatorului de instrumentație, nivelul semnalului să fie adus în gama **±5 V**. Nivelul optim al amplificării este stabilit prin utilizarea unui ***registru de stare***, registru care conține şi informații despre canalul de intrare selectat, starea procesului de conversie, etc. De asemenea, un circuit auxiliar permite selectarea polarității semnalului de intrare.

Conversia analog-digitală este realizat| pe **12** biți, rezoluția asigurată fiind de **2,44 mV**.

Interfața **DAS 1600** dispune de ***două convertoare digital-analogice*** cu multiplicare, pe **12** biți, a căror tensiune de referință şi polaritate a ieşirii pot fi selectate ***hardware***. Tensiunea de referință poate fi furnizată fie de o sursă de referință de **-10 V** sau **-5 V**, fie de o tensiune externă.

Transferul datelor, sub formă numerică în complement față de doi, către

[3] **ISA** - **I**ndustrial **S**tandard **A**rchitecture - arhitectură industrială standard

sistemul de calcul se face prin intermediul unei interfețe **DMA**[4], a cărei nivel de prioritate poate fi configurat ***hardware***.

Subsistemul numeric al interfeței de achiziții de date **DAS 1600** este divizat în trei părți importante:

- ***logica de control***, care include:
  - *registrul de date* al convertorului analog-digital şi al multiplexorului analogic de intrare;
  - *logica de comandă şi incrementare* a multiplexorului analogic;
  - *registrul de stare*;
  - *registrul de control* (comandă);
  - *logica de selecție a modului de* ***trigger***-are a procesului de achiziție;
  - *logica de ceas* cu frecvența de 10 MHz;
  - *logica de selecție şi decodificare*;
  - *logica de gestionare a întreruperilor*;
  - *logica de comandă a canalului* **DMA**,

  are rolul de a gestiona desfăşurarea procesului de achiziție;

- ***interfețele programabile de intrare-ieşire***, constituite din:
  - *trei contoare programabile* de **16** biți, organizate într-un circuit **8254** şi folosite pentru selectarea frecvenței de eşantio-nare, efectuarea unui număr prestabilit de eşantioane;
  - *trei porturi paralele*, *bidirecționale*, dispunând de **8** biți, organizate într-un circuit **8255** şi folosite ca linii digitale de intrare-ieşire;
  - *un registru de intrare* de **4** biți, folosit pentru sincronizarea externă a comenzilor de achiziție;
  - *un registru de ieşire* de 4 biți;

- ***logica de interfață cu magistrala sistemului de calcul***, ce înglobează circuite de tip tampon pentru liniile de date.

Pentru alimentare, interfața **DAS 1600** necesită o singură tensiune de **+5V**. Celelalte tensiuni, **±15 V**, necesare funcționării sunt asigurate de un convertor curent continuu - curent continuu, cu care este echipată interfața. Tensiunea de referință, cu valoarea de **-5V**, este asigurată de sursa internă, implementată în convertorul analog-digital.

[4] **DMA** - **D**irect **M**emory **A**ccess - logică de acces direct la memorie.

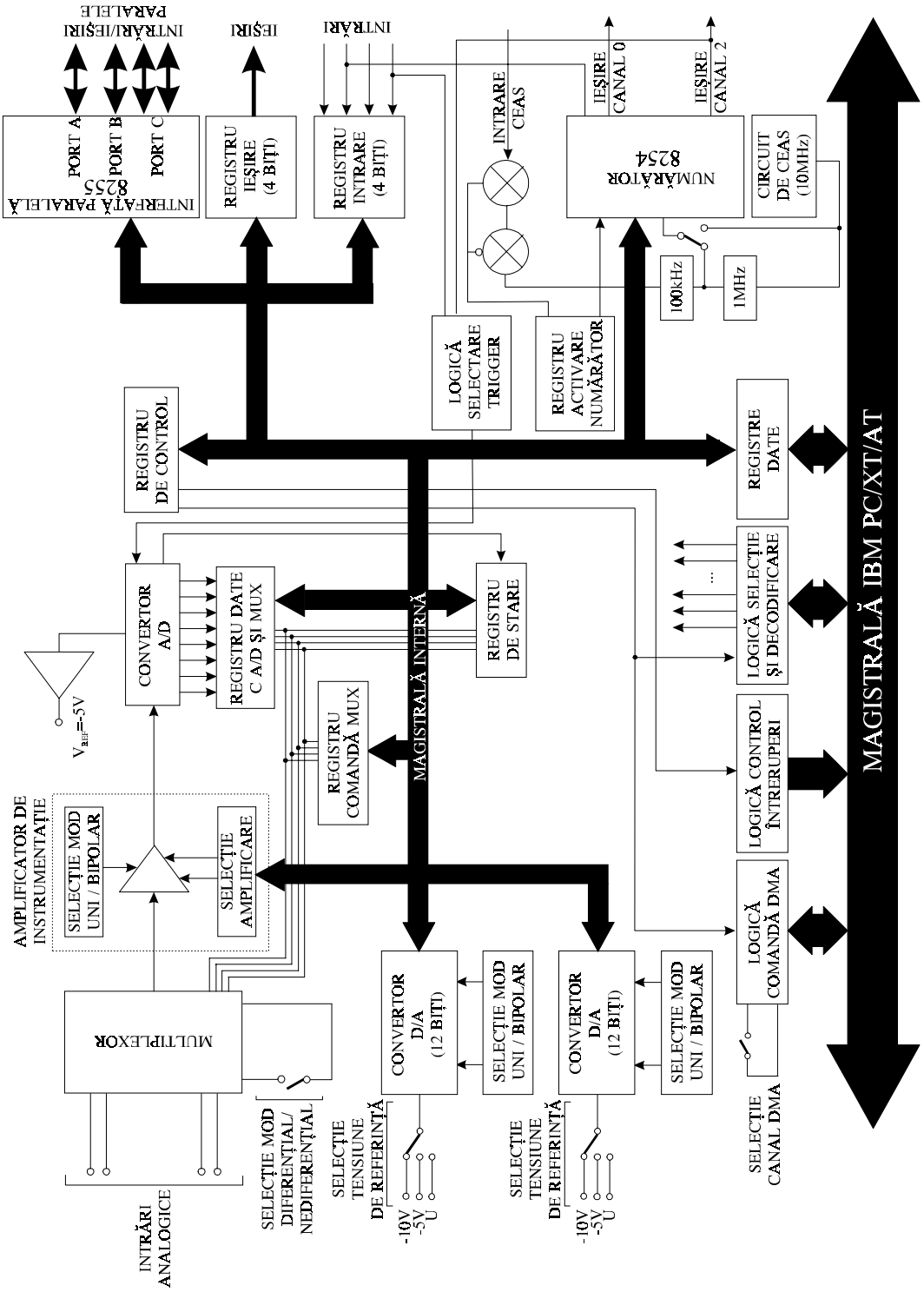


Fig. 3.2 Schema bloc a interfeței de achiziții de date DAS-1600.

3.2 SISTEM DE ACHIZIŢIE SINCRONĂ DE DATE

În arhitectura sistemului de achiziții de date, reprezentat în fig. 3.3, se remarcă amplasarea, pe fiecare canal de intrare, a câte unui circuit de eşantionare-

memorare, **E/M**, în amonte față de multiplexor. Comanda pentru trecerea în stare de memorare este dată simultan, pentru toate circuitele **E/M**, după care ieşirile acestora sunt multiplexate la intrarea convertorului **CA/D**. Multiplexarea canalelor analogice de intrare se poate face fie secvențial, fie aleator.

Deoarece timpul de aşteptare, în vederea conectării la intrarea convertorului **CA/D**, poate fi destul de lung, circuitele de **E/M** trebuie să prezinte o rată redusă de alterare a tensiunii memorate.

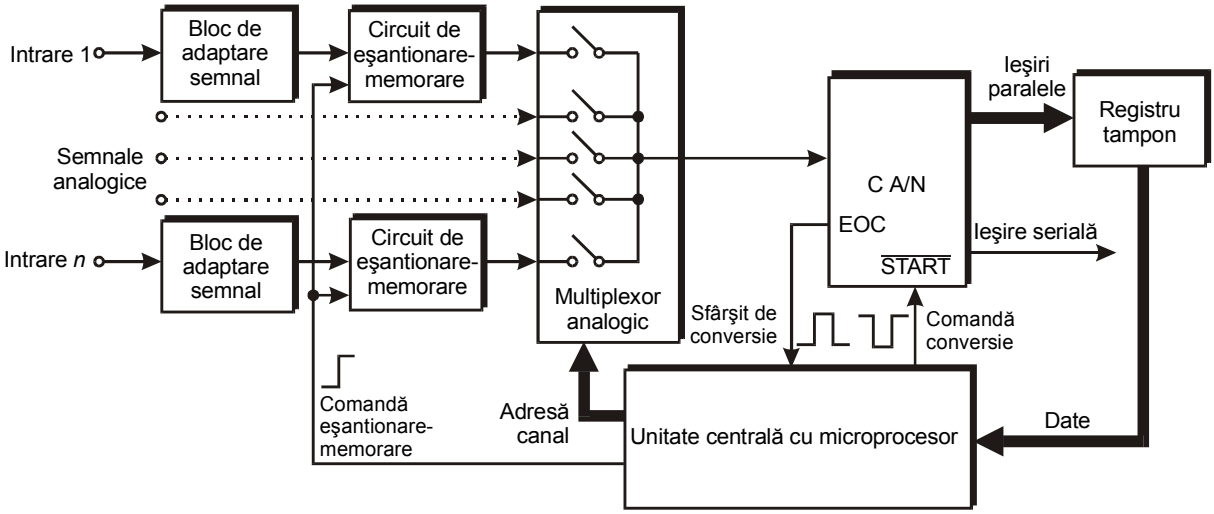


Fig. 3.3 - Sistem de achiziție sincronă de date.

Timpul de eşantionare, T_e, **pentru** *n* **canale analogice de intrare** rezultă:

$$T_e = \sum_{i=1}^{n} T_{ACH}^{i} = t_{E/M} + n \cdot \left(t_{MUX} + t_C + t_{MEM}\right) \qquad (3.15)$$

Se constată scăderea timpului de eşantionare în raport cu acela corespunzător arhitecturii cu multiplexare temporală, însă, cu toate acestea T_e, timpul de eşantionare, depinde încă, în mod dramatic, de numărul de canale de intrare, cu care este prevăzut sistemul de achiziții de date.

În continuare este prezentată arhitectura interfeței de achiziții de date **EISA-2000**, produsă de firma **National Instruments**.

Acest ***sistem rapid de achiziții de date***, produs de firma **National Instruments**, este realizat sub forma unei plăci echipate cu un conector compatibil cu magistrala **EISA**[5] a sistemelor de calcul compatibile **PC**. Interfața dispune de ***patru canale analogice de intrare***, fiecare echipat cu propriul circuit de eşantionare-memorare. Viteza maximă de eşantionare este:

- **1 MHz**, în cazul eşantion|rii pe un singur canal;
- **500 kHz**, în cazul eşantion|rii simultane a două canale;

[5] **EISA** - **E**xtended **I**ndustrial **S**tandard **A**rchitecture - arhitectură industrială standard, extinsă.

- **250 kHz**, în cazul eşantion|rii simultane a celor patru canale analogice de intrare.

Procesul de achiziție a datelor, pentru fiecare canal analogic de intrare, poate fi declanşat cu ajutorul unor circuite de tip ***trigger***[6] de tip ***software***, analogic (nivelul analogic de ***trigger***-are este programabil pe **10** biți, în intervalul (-5,12…+5,12)V, cu posibilitatea de alegere a polarității) sau digital. Deoarece întregul proces de configurare şi de calibrare este controlat prin program, nu este necesară intervenția asupra sistemului de calcul în care a fost instalată interfața de achiziții.

Interfața rapidă de achiziții de date **EISA-A2000** utilizează sistemul de integrare în timp real **RTSI**[7], elaborat de firma **National Instruments**, pentru a sincroniza funcționarea mai multor plăci de achiziții de date, de tip **EISA** sau **AT**, instalate într-un sistem de calcul. Prin utilizarea unui ***controller*** **DMA**, interfața **EISA-A2000** poate transfera datele direct în memoria sistemului de calcul în modul ***burst*** ("rafală") cu rate de maxim **16,5** Mocteți/secundă.

Ca domenii generale de aplicații, interfața **EISA-A2000** poate fi utilizată în aplicații de laborator sau industriale. Cele patru intrări analogice rapide, cu rezoluție de **12** biți, permit utilizarea interfeței pentru analiza, de înaltă precizie, de semnal, pentru analiza regimurilor tranzitorii, etc. Eşantionarea sincronă multicanal este deosebit de utilă în cazul analizei fazei a mai multor semnale.

STRUCTURA HARDWARE A INTERFEȚEI DE ACHIZIȚII DE DATE EISA-A2000

În fig. 3.4 este prezentată schema bloc a interfeței de achiziții de date **EISA-A2000**.

Circuitele analogice de intrare: Circuitele de eşantionare-memorare şi convertorul analog-digital, cu rezoluție de **12** biți, permit digitizarea unui eşantion o dată la o microsecundă. Banda maximă de frecvență a semnalelor de intrare este pentru semnal mic de **4** Mhz, iar de semnal mare de **1,1** MHz. Gama tensiunilor de intrare acceptate de sistem este de **±5V**. Selecția tipului de semnal de intrare (**AC**[8]/**DC**[9]) se face prin program. În cazul opțiunii **AC**, intrările analogice asigură o rejecție a semnalelor continue de **±30V**. Toate canalele analogice de intrare sunt echipate cu circuite de protecție la supratensiuni de intrare de până la **±30V**, atât în condiții de funcționare a interfeței, cât şi dacă interfața nu este alimentată.

Interfața de achiziții **EISA-A2000** asigură o rezoluție de **12** biți, ceea ce este echivalent cu o rezoluție analogică de **2,44mV**. Este posibilă creşterea

[6] **Trigger** - circuit de declanşare.
[7] **RTSI** - **R**eal-**T**ime **S**ystem **I**ntegration - interfață de integrare sistem, în timp real.
[8] **AC** - **A**lternative **C**urrent - semnal variabil în timp după o lege sinusoidală.
[9] **DC** - **D**irect **C**urrent - semnal continuu, invariabil in timp.

rezoluției efective peste **12** biți, folosind generatorul ***Gauss Dither***, implementat pe placă, şi medierea eşantioanelor achiziționate. Rezoluția este automat crescută la **16** biți, rezultatul fiind reprezentat în complement față de doi.

Circuitele de autocalibrare: Interfața **EISA-A2000** conține un nucleu ***software*** de autocalibrare a circuitelor de intrare analogice. Sursa de referință internă asigură o înaltă precizie şi stabilitate în timp şi cu temperatura. Sunt, de asemenea, disponibile circuite pentru reglajul de offset pentru fiecare canal, asigurând scăderea erorii de offset la mai puțin de **0,25 LSB**. Procesul de calibrare nu necesită conexiuni exterioare. Datele necesare pentru efectuarea autocalibrării sunt memorate într-un circuit de memorie **E^{2}PROM**, amplasat pe placă.

Circuitele analogice şi digitale de trigger-are: **EISA-A2000** dispune atât de circuite analogice, cât şi digitale de ***trigge***r-are pentru declanşarea procesului de achiziții de date. Există trei moduri pentru declanşarea convertorului analog-digital, **CA/D**:

- *în modul analogic de* ***trigger***-are, procesul de achiziție este demarat de un semnal analogic de intrare, atunci când atât nivelul semnalului, cât şi polaritatea acestuia, corespund valorilor programate. Un convertor digital-analog generează tensiunea de prag, cu o rezoluție de **10 mV**. Se compară nivelul tensiunii de intrare cu această tensiune de prag programată; conversia este declanşată la egalitatea celor două tensiuni şi este, de asemenea, îndeplinită condiția de polaritate. Semnalul de ***trigger*** analogic poate fi selectat de la oricare dintre cele patru canale analogice de intrare sau de la o intrare externă;
- *în modul digital de* ***trigger***-are, există opțiunea de a selecta prin program care dintre fronturile semnalului, crescător sau căzător, va declanşa procesul de achiziție;
- *în modul* ***software*** *de* ***trigger***-are, procesul de achiziții de date este declanşat prin program.

Circuitele de secvențializare şi de comandă a conversiei prezintă trei moduri de ***trigger***-are pentru procesul de achiziții de date: *modul de lucru cu* ***pretrigger***-are, *modul de lucru cu întârziere față de semnalul de* ***trigger***-are şi *modul de lucru cu* ***posttrigger***-are.

În *modul de lucru cu* ***pretrigger***-are, procesul de achiziție este declanşat prin ***software***; acesta continuă, depunând rezultatele într-un ***buffer*** circular, până când se primeşte un semnal de trigger analogic sau digital.

În cel de-al doilea mod de lucru, se poate selecta, prin program, un timp de întârziere, pe durata căruia procesul de achiziție este inhibat, de la primirea unui semnal ***trigger*** analogic sau digital.

În *modul de lucru* ***posttrigger***, achiziția începe după ce interfața **EISA-A2000** primeşte un semnal ***trigger*** analogic, digital sau ***software***.

Prin combinarea modurilor de lucru, se poate achiziționa un număr pre-

programat de eşantioane, înainte sau după îndeplinirea unei condiţii de ***trigger***-are.

Logica comandă şi timing a achiziţiei: Aceste circuite generează semnalele de secvenţializare (***timing***) şi de comandă a procesului de achiziţie. ***Timing***-ul de conversie multiplă analog-digitală este comandat fie de un circuit de tip numărător, implementat pe interfaţa **EISA-A2000**, fie de un ceas extern de eşantionare.

Circuitul de numărare, pe **16** biţi, cu care este echipată placa, generază ***timing***-ul necesar pentru conversia analog-digitală. Acest circuit dispune de baze de timp, selectabile ***software***, de **200ns**, **1μs**, **10μs**, **100μs**, **1ms** şi **10ms**. Intervalul minim de eşantionare, în cazul operării monocanal, este de **1μs**. Dacă este necesar în cadrul aplicaţiei, numărătorul intern poate fi înlocuit cu un semnal de ceas de eşantionare extern. Numărul de eşantioane prelevate în cadrul aplicaţiei, pe fiecare canal, este monitorizat de un numărător pe **32** de biţi, care opreşte procesul de achiziţie la atingerea numărului preprogramat de eşantioane.

Interfaţa de magistrală **RTSI**: **EISA-A2000** este interfaţată cu magistrala **RTSI** National Instruments printr-un comutator, de fapt o reţea bidirecţională de porţi de comutare de tip ***crossbar***. Liniile magistralei **RTSI** includ semnalele externe de ***trigger***, semnalul de ceas extern de eşantionare şi semnale de intrare-ieşire de numărare. Folosind aceste linii de semnal, mai multe interfeţe **EISA-A2000** pot fi sincronizate să achiziţioneze sincron semnalele analogice de intrare.

Interfaţa de magistrală **EISA**: Interfaţa de achiziţii de date este complet compatibilă cu magistrala **EISA**, putând manipula liniile de cerere **DMA** de pe acestă magistrală. Un circuit ***buffer***, cu capacitate de **512** cuvinte, previne pierderea de informaţii în condiţiile în care datele nu pot fi transferate imediat în memorie. Astfel, mai multe interfeţe **EISA-A2000**, cuplate în sistemul de calcul, pot funcţiona la întrega capacitate.

Interfaţa cu magistrala **EISA** dispune, de asemenea, de linii de întrerupere, logică **DMA**, registre de comandă şi de stare. Acestă interfaţă este astfel proiectată încât permite ca mai multe sisteme **EISA-A2000** să poată partaja magistrala sistemului de calcul, prin transferarea datelor în "rafală" cu rate extrem de ridicate, lăsând suficiente posibilităţi de servire a celorlalte resurse ale sistemului.

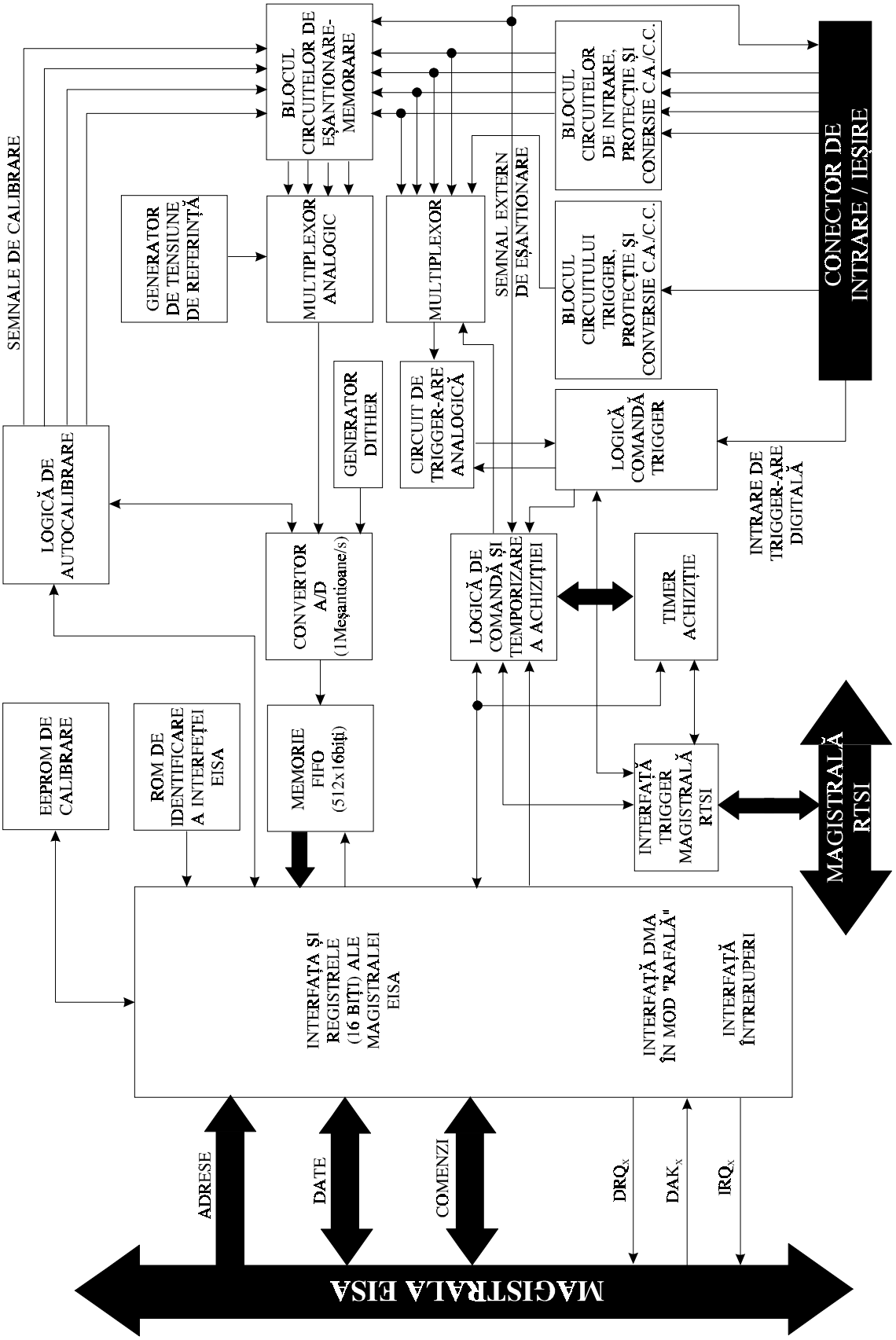


Fig. 3.4 Schema bloc a interfeței de achiziții de date EISA-2000.

3.3 SISTEM RAPID DE ACHIZIŢII DE DATE

În cazul în care semnalele de intrare evoluează rapid în timp, cele două arhitecturi precedente, care se bazează pe un singur **CA/D** pentru conversie, nu mai sunt utilizabile.

În consecinţă, pentru mărirea vitezei de măsurare, se utilizează arhitectura de sistem prezentată în fig. 3.5, care are câte un convertor **CA/D**, pentru fiecare canal, precedat de elemente de eşantionare - memorare, **E/M**.

Structura sistemului, aşa cum este prezentată în fig. 3.5, în care cele *n* intrări analogice sunt conectate împreună, permite folosirea *tehnicii de supraeşantionare* pentru achiziţia semnalului de intrare. În această configuraţie, *viteza de achiziţie este* practic *multiplicată* de *n* ori faţă de aceea care se obţine prin eşantionarea secvenţială.

Informaţiile, de la ieşirile convertoarelor analog-digitale, sunt aplicate unui ***multiplexor numeric***, care selectează datele primite şi le transmite secvenţial pe magistrala sistemului de calcul. Trebuie precizat că marea majoritate a convertoarelor analog-digitale realizate în momentul actual sunt asfel concepute încât înglobează *circuite de interfaţă cu un microprocesor* pe **8/16** biţi. Aceste circuite de interfaţă constau în implementarea internă a unor registre cu ieşiri cu trei stări, pentru preluarea rezultatelor şi a unor semnale de dialog specifice magistralei unui microprocesor. Echiparea ieşirilor circuitului de conversie cu registre cu trei stări permite eliminarea multiplexorului numeric din structura prezentată anterior, legarea mai multor ieşiri cu trei stări la aceeaşi linie de date a magistralei sistemului implementând, de fapt, un multiplexor cablat.

Timpul de eşantionare, T_e, **pentru** *n* **canale analogice de intrare**, caracteristic acestei arhitecturi de sistem de achiziţii este:

$$T_e = \sum_{i=1}^{n} T_{ACH}^{i} = t_{E/M} + t_C + n \cdot (t_{MUX} + t_{MEM}) \qquad (3.6)$$

Trebuie să menţionăm că, pentru această arhitectură de sistem de achiziţii de date, timpul elementar de multiplexare, t_{MUX}, este corespunzător unui ***multiplexor numeric*** şi este considerabil mai redus în comparaţie cu situaţiile anterioare, deoarece timpul de stabilire al multiplexorului numeric este cu circa trei ordine de mărime mai mic decât cel al unui multiplexor analogic.

Avantajele acestei structuri de sistem de achiziţii sunt următoarele:

- pot fi utilizate convertoare **CA/D** mai lente, şi deci mai ieftine, chiar dacă se doreşte o viteză mare de achiziţie;
- prin conversia locală sub formă numerică, se asigură o bună imunitate la perturbaţii;
- posibilitatea separării galvanice a unei surse de semnal, împreună cu convertorul **CA/D** aferent, faţă de restul sistemului.

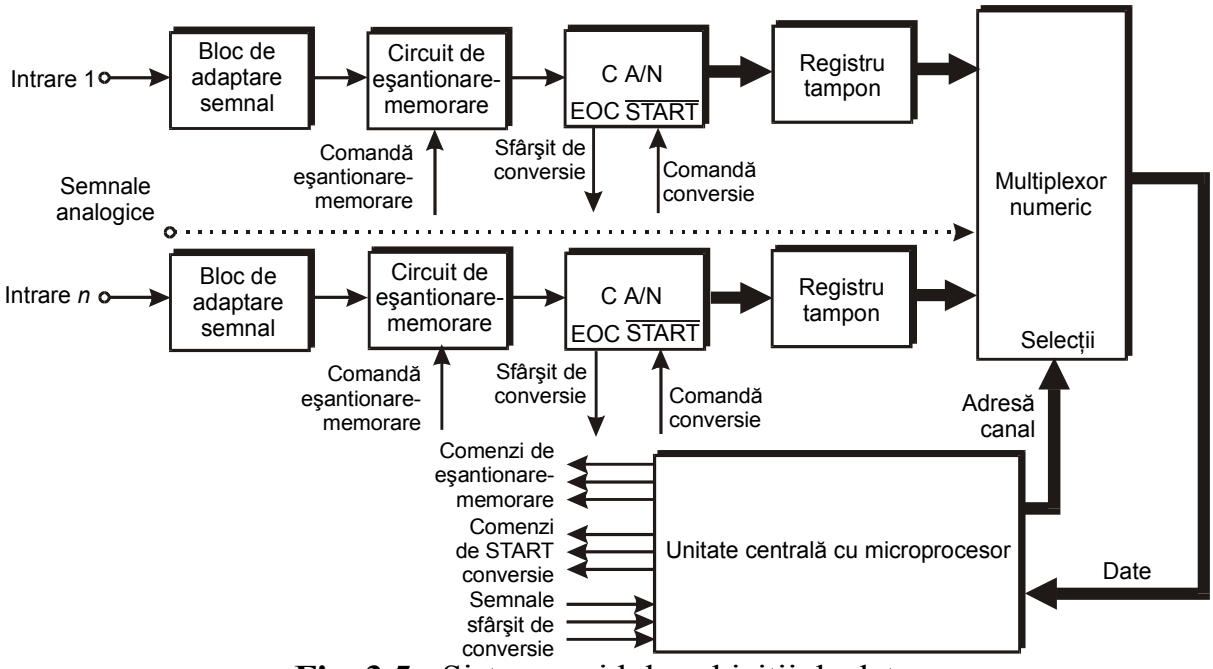


Fig. 3.5 - Sistem rapid de achiziții de date.

3.4 UNITATEA CENTRALĂ DE COMANDĂ

Unitatea centrală de prelucrare a unui sistem de achiziție de date trebuie să realizeze următoarele funcțiuni (fig. 2.1):

- selectarea canalului analogic, pe care se doreşte să se facă achiziția;
- comanda eşantionării;
- comanda conversiei analog-digitale;
- sesizarea sfârşitului conversiei şi citirea codului binar rezultat;
- încărcarea codului în memorie;
- corecția erorilor introduse de diferite blocuri componente;
- prelucrarea şi afişarea datelor;
- testarea blocurilor componente în vederea identificării celor defecte.

Principial, sunt posibile două abordări:

- ***logica cablată***, bazată pe circuite electronice cu grad redus de integrare, dar de viteză mare;
- ***logica programată***, cu avantajul unei flexibilități şi capacități de prelucrare a datelor foarte ridicate, dar cu o viteză mai redusă.

Logica cablată conduce la realizarea unei unități de comandă a achiziției, fără programe, deci fără parte ***software***, folosind în exclusivitate resurse ***hardware***, astfel conectate, încât să permită funcționarea achiziției în mod automat. Se foloseşte tehnologia **bipolară**, **MOS** (**M**etal **O**xid **S**emiconductor - tehnologie metal-oxid-semiconductor) şi **CMOS** (**C**omplementary **M**etal **O**xid **S**emiconductor - tehnologie metal-oxid-semiconductor, de tip complementar) de

realizare a circuitelor.

Logica programată se bazează pe simbioza dintre o parte electronică, fizică, aşa-numitul ***hardware***, care constituie suportul material al operaţiilor de comandă şi prelucrare şi, pe de altă parte, programele, partea informaţională, numită curent ***software***; ***software***-ul impune ***hardware***-ului operaţiile ce urmează să le desfăşoare conform algoritmului proiectat de programator. Elementul central al ***hardware***-ului este *microprocesorul*.

În practică, nu se utilizează niciodată, în exclusivitate, logica cablată, ci, fie o metodă combinată, fie doar logica programată.

3.5 SISTEME DE ACHIZIŢIE DE DATE CU MICROPROCESOR

Un sistem de achiziţie de date, asociat cu un microsistem de calcul, se comportă ca un sistem ***inteligent*** (care poate lua decizii bazate pe informaţii anterioare, prelucrează informaţia, efectuează calcule, după care, pe baza rezultatelor obţinute, adoptă o decizie, din mai multe soluţii posibile).

3.5.1 UNITĂŢI CENTRALE DE PRELUCRARE TRADIŢIONALE

Microprocesorul reprezintă elementul funcţional esenţial al microsistemului de calcul, fiind un circuit integrat pe scară largă, **LSI** (**L**arge **S**cale **I**ntegration - integrare pe scară largă), care poate realiza cinci funcţii de bază:

- funcţia de intrare (**INPUT**), care permite legătura dintre lumea exterioară şi sistem;
- funcţia de ieşire (**OUTPUT**), care permite legătura dintre sistem şi lumea exterioară;
- funcţia de memorare (**MEMORY**), care permite păstrarea informa-ţiilor (date, rezultate) şi, uneori, a instrucţiunilor programului;
- funcţia de prelucrare (**COMPUTE**), implementată prin **ALU** (**A**rithmetic **L**ogic **U**nit - unitate aritmetico-logică), care permite efectuarea operaţiilor aritmetice şi logice din sistem;
- funcţia de control (**CONTROL**), care înglobează totalitatea acţiunilor de secvenţializare şi control ale activităţii sistemului.

În interiorul microsistemului de calcul, informaţiile sunt vehiculate prin intermediul ***magistralei***. ***Magistrala unui sistem de calcul*** este compusă din trei *secţiuni*:

- ***secţiunea de date*** (magistrala de date), care asigură schimbul

bidirecțional de informație (date) între microprocesor, pe de o parte, şi circuitele de memorie şi de interfață, pe de altă parte;

- ***secțiunea de adrese*** (magistrala de adrese), unidirecțională, care asigură vehicularea biților de adresă, de la microprocesor sau de la un alt dispozitiv ***master*** către celelalte elemente ale sistemului;
- ***secțiunea de control*** (magistrala de control), unidirecțională, care permite vehicularea semnalelor de sincronizare şi control, între microprocesor sau un alt dispozitiv ***master*** şi celelalte resurse ale sistemului.

Marea diversitate de componente electronice, cu funcțiuni, performanțe şi costuri foarte diferite, impun proiectantului o definire precisă a caracteristicilor şi utilităților sistemului pe care îl concepe.

Alegerea microprocesorului şi a circuitelor periferice asociate este dictată de analiza structurii ***hardware*** (constituită din componente de microinformatică, procesor, memorii, componente electronice clasice) şi a structurii ***software*** (implementată în memorie), în vederea asigurării cerințelor de viteză de măsură şi de versatilitate ale sistemului.

Gama actuală *de microprocesoare* cuprinde tipuri de **8**, **16**, **32** şi **64** de biți; pe plan mondial ponderea o dețin, în continuare, microprocesoarele pe **8** biți, care oferă, la preț scăzut, performanțe satisfăcătoare.

Dintre microprocesoarele pe **8** biți, cele mai utilizate, cu performanțe bune, sunt tipurile: **INTEL 8080**, **INTEL 8085**, **ZILOG Z80**, **MOTOROLA 6800**. Dintre acestea, o largă utilizare o are, în aplicațiile curente, microprocesorul **ZILOG Z80**, care înglobează caracteristicile microprocesorului **INTEL 8080**, cu păstrarea compatibilității ***software***, dar cu extinderea performanțelor acestuia.

În prezent, au început să fie utilizate pe scară tot mai largă ***microcontroller***-ele pe **8** şi **16** biți, care compensează o parte din dezavantajele microprocesoarelor tradiționale. Arhitectura unui ***microcontroller*** a fost astfel proiectată încât să ofere o ***versatilitate*** mult ***superioară*** celei microprocesoarelor tradiționale, prin:

- *organizarea internă sub forma unui număr* de trei, patru sau cinci *porturi bidirecționale*, a căror funcționalitate poate fi stabilită de utilizator;
- *extinderea spațiului de adresare* prin separarea, din punct de vedere al accesului, a memoriei de date față de memoria de program;
- *înglobarea* în structura ***microcontroller***-ului a *unei memorii de program* de tip **PROM** (**P**rogrammable **R**ead-**O**nly **M**emory - memorie programabilă, ce prezintă doar facilități de citire), cu capacitate relativ mică (în cele mai multe cazuri **4**Kocteți), ce poate fi parțial sau integral accesibilă operatorului pentru programul de aplicații. În cazul accesibilității parțiale a utilizatorului la această resursă, trebuie menționat faptul că într-o zonă a memoriei interne de program este rezident un interpretor **BASIC**, ceea ce permite programatorului să-şi

scrie aplicaţia în limbajul **BASIC** şi nu în limbaj de asamblare;

- *înglobarea în structura* internă *a unor circuite de interfaţare*, cum ar fi *interfeţe seriale programabile* de comunicaţie, *interfeţe paralele programabile* bidirecţionale, *circuite de numărare programabile*, *convertoare analog-digitale*, *convertoare digital-analogice*, etc;
- un astfel de ***microcontroller*** lucrează la o frecvenţă a ceasului de câteva ori mai mare decât un microprocesor tradiţonal, ceea ce permite *creşterea vitezei de prelucrare* aproximativ în aceeaşi măsură;
- setul de instrucţiuni al unui ***microcontroller*** este substanţial îmbogăţit, păstrând compatibilitatea cu cele ale microprocesoarelor tradiţionale;
- tehnologia de realizare **CMOS**, folosită pentru implementarea majorităţii ***microcontroller***-elor actuale, permite *scăderea sub-stanţială a puterii consumate* de la sursa de alimentare, *creşterea fiabilităţii şi siguranţei în exploatare*.

Ca exemplificare la cele menţionate anterior, se constată utilizarea extensivă a două familii de microcontrollere: familia **8051**, concepută şi realizată de firma **INTEL** şi familiile **Z8**[7], **Z87 Super** ale firmei **ZILOG**. Arhitectura generală a familiei **8051**, repectiv a familiei **Z8**™, este prezentată în fig. 3.6, respectiv 3.7.

Ambele familii de microcontroller-e au elemente arhitecturale comune, cum ar fi:

- pentru minimizarea liniilor de interconexiune cu exteriorul, *secţiunea de date* şi *secţiunea inferioară de adrese* ale magistralei sistemului *sunt multiplexate temporal*;
- atât **8051**, cât şi **Z8** pot funcţiona fie ca microsisteme specializate de intrare-ieşire, fie ca microsisteme specializate de lucru cu memoria;
- în ambele tipuri de aplicaţii, *spaţiul de adresare este partajat în* trei *secţiuni*:
  - *memoria de program* (internă şi externă), cu capacitate maximă de **64**Kocteţi;
  - *memoria de date* (extrenă), cu capacitate variind între **60** şi **64** Kocteţi. Este nevoie să facem precizarea că dispozitivele de intrare-ieşire externe sunt adresate de ***microcontroller*** ca seturi de celule de memorie de date;
  - *setul de registre interne*, conţinând registre de uz general, registrele unităţii centrale de prelucrare şi registrele asociate celor patru porturi de intrare-ieşire ale ***microcontroller***-ului;
- ambele familii de ***microcontroller***-e permit operarea la nivel de bit, la nivel de octet sau octet codificat zecimal, sau la nivel de cuvânt cu lungime de **2** octeţi;
- operarea în regim de intrare-ieşire poate fi coordonată prin întreruperi sau în modul ***polling*** (interogare periodică). Sunt disponibile cinci/şase nivele de întreruperi, care pot fi mascate sau a căror prioritate poate fi

modificată.

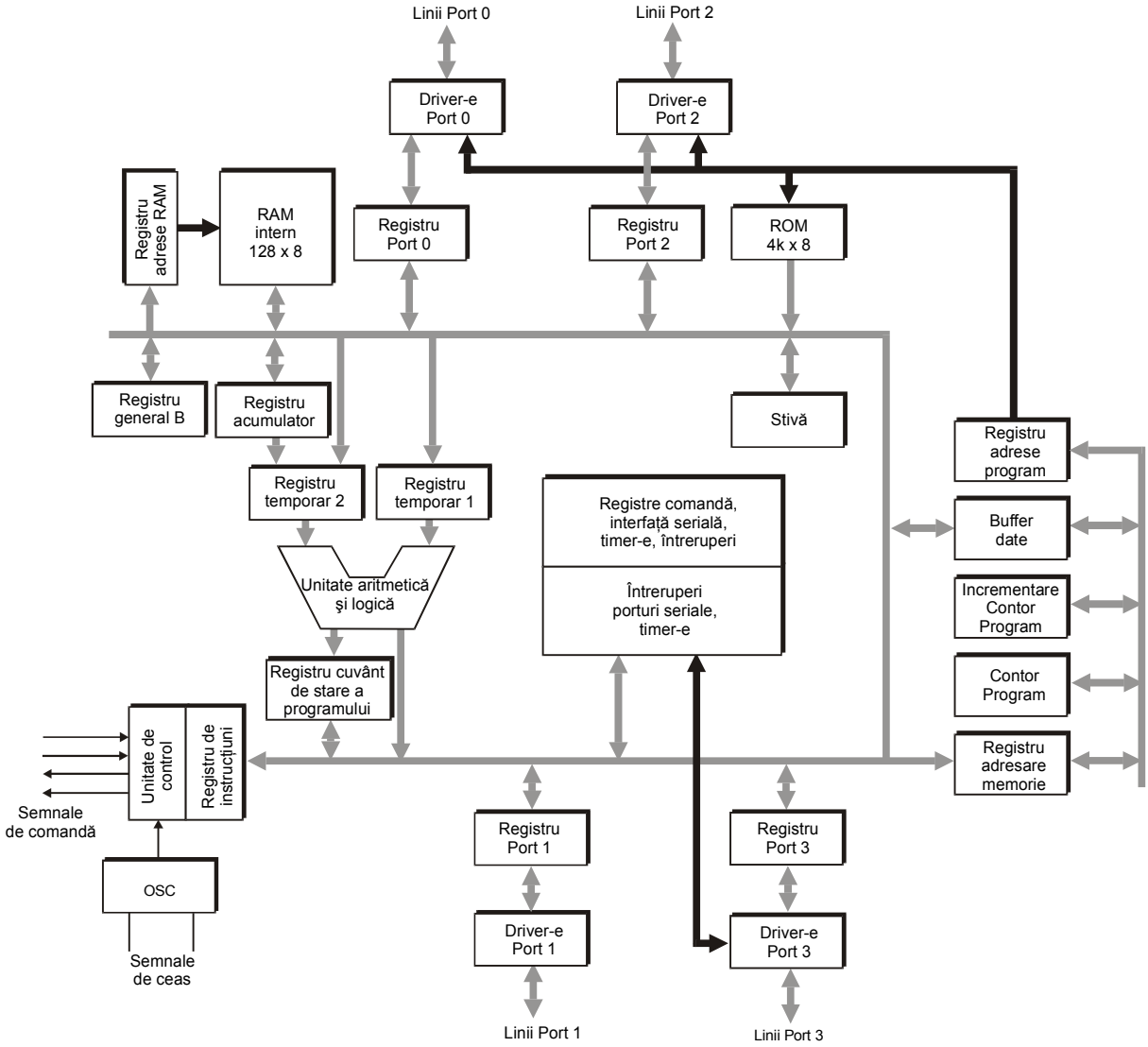


Fig. 3.6 - Arhitectura de bază a familiei de microcontroller-e INTEL 8051.

În afară de ***microprocesor***, componenta cea mai complexă, ale cărei caracteristici determină, în esență, structura şi performanțele unității centrale, se disting (fig. 3.14):

- *memoriile nevolatile*;
- *memoriile volatile*;
- *circuitele de interfațare*;
- *decodificatoarele*.

Memoriile nevolatile - cu conținut permanent: **ROM** (**R**ead-**O**nly **M**emory - memorie, cu conținut permanent, ce poate fi doar citită), **PROM**, **EPROM** (**E**rasable **P**rogrammable **R**ead-**O**nly **M**emory - memorie cu conținut permanent ce poate fi doar citită şi care dispune de facilități de ştergere a conținutului cu radiații ultraviolete), **EEPROM** (**E**lectrical **E**rasable **P**rogrammable **R**ead-**O**nly

Memory - memorie cu conținut permanent ce poate fi doar citită şi care dispune de facilități de ştergere electrică a conținutului) - sunt destinate să stocheze programul pe care trebuie să-l efectueze *unitatea centrală de prelucrare*.

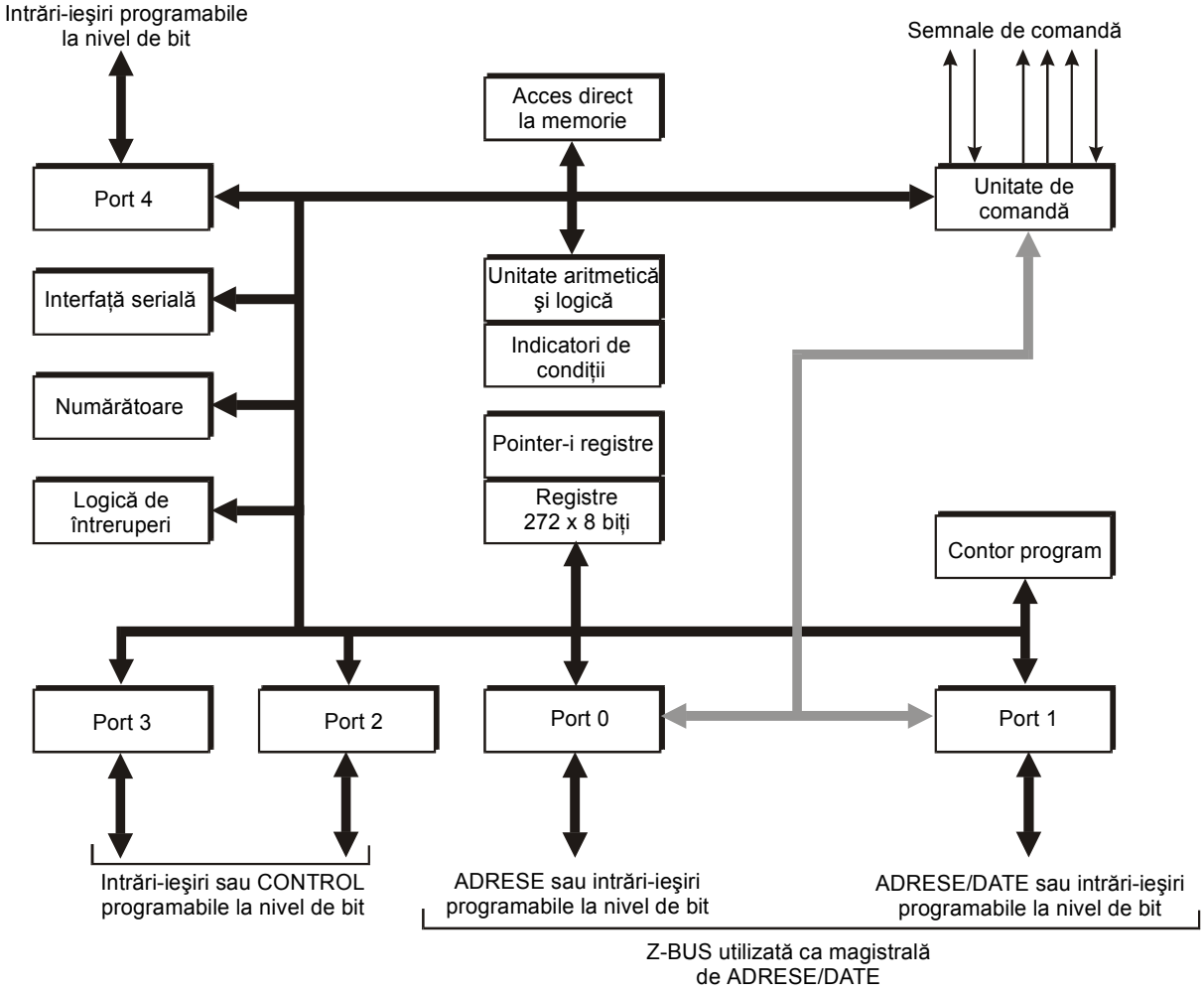


Fig. 3.7 Arhitectura de bază a familiei de microcontrollere Zilog Z8™ Super.

Memoriile volatile - cu conținut nepermanent: **RAM** (**R**andom **A**ccess **M**emory - memorie cu acces aleator), **SRAM** (**S**tatic **R**andom **A**ccess **M**emory - memorie cu acces aleator, având drept element de memorare un circuit basculant bistabil), **DRAM** (**D**ynamic **R**andom **A**ccess **M**emory - memorie cu acces aleator, având drept element de memorare un ccondensator) - sunt destinate să stocheze temporar eşantioanele, rezultatele parțiale şi finale ale prelucrării, în timpul procesului secvențial de funcționare a sistemului de calcul.

Circuitele de interfațare sunt destinate să asigure comunicația microprocesorului cu echipamentele de intrare-ieşire. Prin intermediul porturilor de intrare, se citesc datele rezultate în urma converiei analog - digitală, sau starea unui echipament periferic. Porturile de ieşire mijlocesc transferul de date de la unitatea de comandă la afişaj sau la alt calculator, respectiv sunt utilizate pentru inițializarea şi programarea echipamentelor periferice.

Decodificatoarele sunt utilizate pentru decodificarea adreselor şi generarea unor semnale de selecție care se exclud reciproc (un singur semnal de ieşire al decodificatorului poate fi activ la un moment de timp dat). Ieşirile decodificatoarelor sunt active pe nivel coborât, pentru a se realiza cu mai multă uşurință interfațarea cu echipamemtele externe. Decodificatoarele permit microprocesorului să selecteze resursele unității centrale, ştiind că microprocesorul nu poate executa decât o singură operație (citirea din memoria program, citirea sau scrierea datelor, citirea sau scrierea registrelor de comandă sau de stare ale interfețelor). În sistemele de calcul mai complexe, pentru generarea semnalelor de selecție, decodificatoarele sunt înlocuite cu circuite **PAL** (**P**rogrammable **L**ogic **A**rray - rețele logice programabile), circuite care implementează decodificatoare cu mai multe ieşiri (decodificatoarele integrate se realizează în următoarele configurații: **1:2**, **2:4**, **3:8** şi **4:16**) şi o logică complexă de condiționare a decodificării.

Configurația prezentată este absolut minimală, întrucât în majoritatea sistemelor există şi alte circuite, ca de exemplu: *amplificatoare de magistrală unidirecționale* şi *bidirecționale*, *circuite de tip registru cu trei stări*, *divizoare de frecvență*, etc.

Dacă *volumul de date* ce trebuie achiziționate şi prelucrate este *considerabil*, se recomandă folosirea memoriei **RAM** dinamice, care permite o mare densitate de integrare, cu prețul unei viteze ceva mai reduse (timpul de acces este redus, de ordinul **50÷70** ns, însă sunt necesare *cicluri de reîmprospătare* la nivel de pagini de memorie, la intervale de maximum **2** ms, pentru ca informația memorată să nu fie afectată ca integritate).

Dacă este esențială viteza iar volumul de date este mic, se preferă utilizarea memoriilor **RAM** statice.

Datorită progreselor tehnologice înregistrate în ultimii ani, numeroase firme producătoare de componente, cum ar fi **INTEL**, **AMD**, **Micron**, **Hibrid Semiconductor**, realizează memorii **SRAM** de capacitate mare în tehnologie **CMOS** (de la **2K**x**8** biți până la **128K**x**8** biți, **256K**x**16** biți), cu timp de acces cuprins între **20** şi **35** ns şi peformanțe deosebite de fiabilitate şi cost. De asemenea, se realizează module de memorie **SRAM**, cu capacități cuprinse între **128K**x**8** biți şi **256K**x**32** biți. Aceste circuite de memorie **SRAM**, respectiv modulele de memorie **SRAM**, sunt ideale pentru a echipa unitățile centrale de prelucrare, din punct de vedere al vitezei de acces, siguranței în exploatare, consumului deosebit de redus şi gradului mare de integrare.

Funcționarea sistemului de achiziții de date cu microprocesor este următoarea:

- microprocesorul inițializează toate circuitele din sistem;
- prin intermediul unui port de ieşire, se încarcă în registrul de selecție al canalului analogic, numărul canalului a cărui achiziție se doreşte;
- dacă achiziția poate începe în orice moment, microprocesorul dă

semnalul de eşantionare şi de iniţiere a conversiei pentru primul eşantion. Dacă trebuie aşteptată trecerea prin zero sau valoarea maximă a semnalului de intrare, circuitul sesizor de zero, respectiv de vârf, va da primul impuls de eşantionare şi conversie, urmând ca, după aceea, microprocesorul să preia controlul;

- convertorul va emite semnalului **READY** la sfârşitul conversiei, care poate fi folosit ca semnal de întrerupere pentru microprocesor, ca să citească codul rezultat în urma conversiei. Dacă viteza nu e factor limitativ, microprocesorul poate citi periodic portul de intrare (modul ***polling***), fiecare citire constituind totodată un nou semnal de eşantionare şi de **START CONVERSIE**;
- eşantioanele sunt depuse, după fiecare citire, în memoria **RAM**; se urmăreşte numărul eşantioanelor efectuate, cu ajutorul unui numărător extern; procesul se opreşte, atunci când s-a obţinut numărul de eşantioane dorit;
- la sfârşit, eşantioanele sunt prelucrate şi afişate rezultatele, conform programului elaborat şi stocat în memoria **EPROM**.

Microprocesoarele şi *microcontroller*-ele constituie resurse de comandă şi prelucrare, care sunt deosebit de utile în procesul de gestiune a achiziţiei, de preluare şi memorare a eşantioanelor rezultate în urma conversiei analog-digitale. Eficacitatea lor, în ceea priveşte procesul de prelucrare evoluată a eşantioanelor prelevate din proces, este mult mai redusă. Pentru o supraveghere precisă a unui proces, este, de regulă, necesară achiziţionarea unor eşantioane, care convertite în formă numerică, au lungimi de **12** sau **16** biţi. Folosirea unor algoritmi de prelucrare evoluată (filtrare numerică, analiză armonică, etc) comportă execuţia unor instrucţiuni de înmulţire, adesea în virgulă mobilă, a două cuvinte de **2** octeţi, rezultatul fiind disponibil pe un cuvânt de lungime dublă. Asemenea algoritmi pot fi cu greu implementaţi pe un ***microcontroller*** de **8** biţi, cu consum nejustificat de timp şi de resurse. De aceea, o soluţie modernă de a realiza prelucrări complexe asupra datelor o constă utilizarea circuitelor **DSP** (**D**igital **S**ignal **P**rocessor - procesor digital de semnal), specializate în execuţia unor astfel de instrucţiuni.

3.5.2 PROCESOARE DE SEMNAL: DSP

Procesoarele **DSP** sunt circuite specializate pentru prelucrarea semnalelor, permiţând lărgirea considerabilă a câmpului de aplicabilitate a tehnicilor numerice în domeniul achiziţiilor de date.

Pe lângă facilităţile extinse de operare numerică (înmulţire şi împărţire rapidă în virgulă mobilă), de cele de prelucrare numerică a semnalelor (filtrare, modulare, detecţie, estimare de parametri, transformări neliniare, transformare

Fourier rapidă - **FFT**), aceste circuite îşi găsesc deja aplicaţii în măsurări (analize de spectru, analize de regimuri tranzitorii), în telecomunicaţii (egalizatoare adaptive, modeme de înaltă viteză inteligente), în prelucrarea vorbirii (recunoaşterea, transmisia şi recepţia vorbirii) şi a imaginilor (reconstituirea, compresia, prelucrarea homomorfică a imaginilor). Trebuie remarcat că toate procesoarele **DSP** sunt ***unităţi microprogramate***, cu facilităţi de prelucrare în timp real a semnalelor, dispunând de resurse logice destinate dezvoltării şi punerii la punct a programelor de aplicaţii.

Pentru îmbunătăţirea performanţelor, se depun eforturi pentru:

- mărirea spaţiului de adresare (creşterea capacităţii memoriei interne **RAM** şi **ROM**);
- utilizarea directă a memoriei externe;
- modificarea arhitecturii de bază în vederea creării unei memorii tampon;
- utilizarea optimală a magistralei interne, în vederea accelerării transferurilor de date;
- creşterea lungimii cuvintelor pentru executarea unor instrucţiuni în virgulă flotantă;
- creşterea frecvenţei de operare prin utilizarea tehnologiei **CMOS**, ce permite creşterea gradului de integrare.

3.5.2.1 ARHITECTURA UNUI PROCESOR DE SEMNAL

Cele mai răspândite procesoare de semnal - **DSP** - sunt cele din seria **TMS 320XX**, produse de firma **Texas Instruments**, datorită performanţelor de calcul (**5** milioane de instrucţiuni pe secundă) şi versatilităţii lor. Viteza de calcul este obţinută cu ajutorul unui unităţi aritmetico-logice ce incorporează un circuit de înmulţire paralel de **16 x 16** biţi, cu rezultatul pe **32** biţi, în **200ns**. Această înaltă performanţă este destinată calculelor complexe de tipul convoluţiei, deconvoluţiei şi transformării Fourier rapide.

Familia de procesoare **DSP TMS 320XX** dispun de o memorie **RAM**, având capacitatea de minimum **144** cuvinte de **16** biţi, capacitate suficientă pentru a executa un algoritm **FFT** în **64** de puncte.

Procesoarele din familia **TMS 320XX** posedă **8** porturi de intrare-ieşire multi-plexate, ce pot suporta o viteză de transfer de **40** milioane de biţi pe secundă.

Primul component al acestei familii, procesorul **TMS 32010**, se caracterizează printr-o ***arhitectură Harvard modificată*** în vederea creşterii vitezei de funcţionare şi a versatilităţii. Modificările aduse permit transferurile între spaţiile de memorie de program şi de date: coeficienţii înscrişi în memoria de program pot fi citiţi în memoria de date, eliminând în acest fel necesitatea existenţei unei memorii de program separată pentru coeficienţi.

În arhitectura oricărui procesor **DSP** se disting *două secţiuni*:

- **secţiunea operativă**, organizată în jurul unei magistrale de date, cu o lungime de **16** biţi; la magistrala de date sunt conectate:
  - un ***sistem multiplicator*** de **16 x 16** biţi, rezultatul înmulţirii fiind disponibil pe **32** de biţi. Sistemul de multiplicare dispune de două registre: registrul **T** (*registru temporar* în care se citeşte din memoria **RAM** de date unul dintre operanzi) şi registrul **P** (*registru rezultat*) şi de *circuitul de înmulţire* propriu-zis. O înmulţire se efectuează în două cicluri, unul necesar citirii în registrul **T** a unui operand şi al doilea necesar citirii în registrul acumulator a celuilalt operand;
  - o ***unitate aritmetico-logică*** operând pe **32** de biţi şi care are asociată un *registru acumulator* (**RA**), de asemenea cu lungimea de **32** de biţi. Registrul **RA** este divizat în două părţi: partea mai semnificativă (biţii **16÷31**) şi partea mai puţin semnificativă (biţii **0÷15**). Conţinutul acumulatorului poate fi salvat în memorie prin două instrucţiuni succesive;
  - două ***circuite de deplasare*** (**SHIFTER**), dintre care unul este destinat deplasării aritmetice programabile cu **0÷15** a datelor din memoria **RAM** de date, iar al doilea circuit efectuează o deplasare la stânga cu zero, cu una sau patru poziţii, a părţii superioare a acumulatorului;
  - o ***memorie RAM*** de date (**DATA RAM**), cu capacitatea de **144** de cuvinte de **16** biţi. Această memorie este organizată sub forma a două pagini, dintre care prima pagină conţine **16**, iar cea de-a doua **128** cuvinte. Indicatorii de adrese pot fi autoincrementaţi sau autodecrementaţi, incrementul fiind egal cu unitatea;
- **secţiunea de comandă**, organizată în jurul unei magistrale de program, conţinând:
  - un registru denumit ***contorul programului*** (**PROGRAM COUNTER**) cu lungimea de **12** biţi şi o ***stivă*** (**STACK**) folosită pentru salvarea contextului programului. Registrul contor al programului conţine adresa următoarei instrucţiuni din memoria de program;
  - ***memoria de program*** (**PROM**), cu o capacitate de **1536** de cuvinte cu lungimea de **16** biţi. Acestă memorie de program poate fi substituită cu o memorie externă de program, cu o capacitate de **4096** de cuvinte.

Această arhitectură a unui **DSP** permite funcţionarea în modul ***pipeline***, adică pe durata executării instrucţiunii curente, contorul programului se încarcă cu adresa următoarei instrucţiuni, instrucţiunea următoare fiind citită în paralel cu execuţia instrucţiunii curente. Modul de lucru ***pipeline*** contribuie în mod decisiv la creşterea vitezei de lucru a procesorului.

În raport cu procesorul **TMS 32010**, cele ale următoarei generaţii - **TMS 32020** şi **TMS 320C25** - sunt caracterizate prin următoarele modificări:

- eliminarea memoriei interne de program şi înlocuirea ei cu o memorie

internă **RAM**, ce poate fi încărcată cu un program de aplicație de la o sursă externă;

- procesorul dispune de **544** de cuvinte de memorie, dintre care **256** cuvinte sunt utilizabile ca memorie de program;
- este disponibilă o memorie externă adresabilă de **64** Kcuvinte de program;
- realizarea operației de înmulțire cu înlănțuire într-un singur ciclu (**170 ns**);
- există cinci indicatori ai memoriei **RAM** interne; unitatea aritmetico-logică pentru calculul adresei asociată acestor indicatori permite o indexare cu pas variabil;
- circuit divizor de frecvență, integrat în structura procesorului;
- existența unor instrucțiuni specializate, destinate aritmeticii în virgulă flotantă;
- facilități de mascare a trei rezultate, în loc de unul singur.

Realizat în tehnologie **CMOS**, procesorul **TMS 320C25** este caracterizat de:

- durata unui ciclu instrucțiune de **100 ns**;
- consum energetic foarte redus;
- memorie de program (**ROM**) internă, cu capacitatea de **4**Kcuvinte cu lungimea de **16** biți;
- un număr de **8** registre auxiliare, asociate unei unități aritmetice;
- stivă pentru salvarea contextului programului, organizată pe **8** nivele;
- două circuite de memorie **RAM** internă. Unul dintre aceste circuite poate fi configurat fie ca *memorie de program*, fie ca *memorie de date*.

Creşterea vitezei şi eficienței de prelucrare numerică poate fi asigurată prin utilizarea unor procesoare de semnal cu arhitectură paralelă. Procesorul de semnal **SPROC-1400** face parte din seria **SPROC-1000**, conținând memoria de program, memoria de date, logica de secvențializare şi logica de interfațare cu alte procesoare. Aceste resurse sunt necesare pentru proiectarea eficientă, implementarea şi testarea sistemului. Procesoarele **SPROC-1000** pot fi configurate să lucreze atât în modul **MASTER**, cât şi în modul **SLAVE**, pentru interconectarea cu alte procesoare **SPROC** sau cu un microprocesor tradițional.

Principalele caracteristici ale procesoarelor **SPROC-1400** sunt:

- integrarea tuturor subsistemelor de procesare de semnale pe un singur chip;
- arhitectură de tip multiprocesor optimizată;
- banda maximă de frecvență a semnalelor de intrare de maxim **250 kHz**;
- lungimea cuvintelor procesate de **24** de biți, cu posibilitatea de memorare pe **56** de biți;
- generator intern de ceas, cu frecvența de **50 MHz**;

- memorie **RAM** locală, reprogramabilă în mod dinamic;
- **4** porturi seriale, configurabile pentru manipularea a **8**, **12**, **16** sau **24** de biți de date;
- **1** port paralel, dispunând de **24** de linii, configurabil pentru manipularea unor cuvinte de date de **8**, **12**, **16** sau **24** de biți;
- tehnologia de realizare **CMOS** statică;
- inițializarea poate fi făcută atât intern, printr-un fişier de **16** Kocteți, cât şi extern, prin folosirea unei memorii **ROM**;
- compatibilitate cu majoritatea microprocesoarelor aparținând familiilor **INTEL** şi **Motorola**.

Seria de procesoare **SPROC-1000** utilizează o arhitectură cu memorie centrală optimizată (fig. 3.8) pentru procesarea concurentă a fluxurilor complexe, relaționale de date.

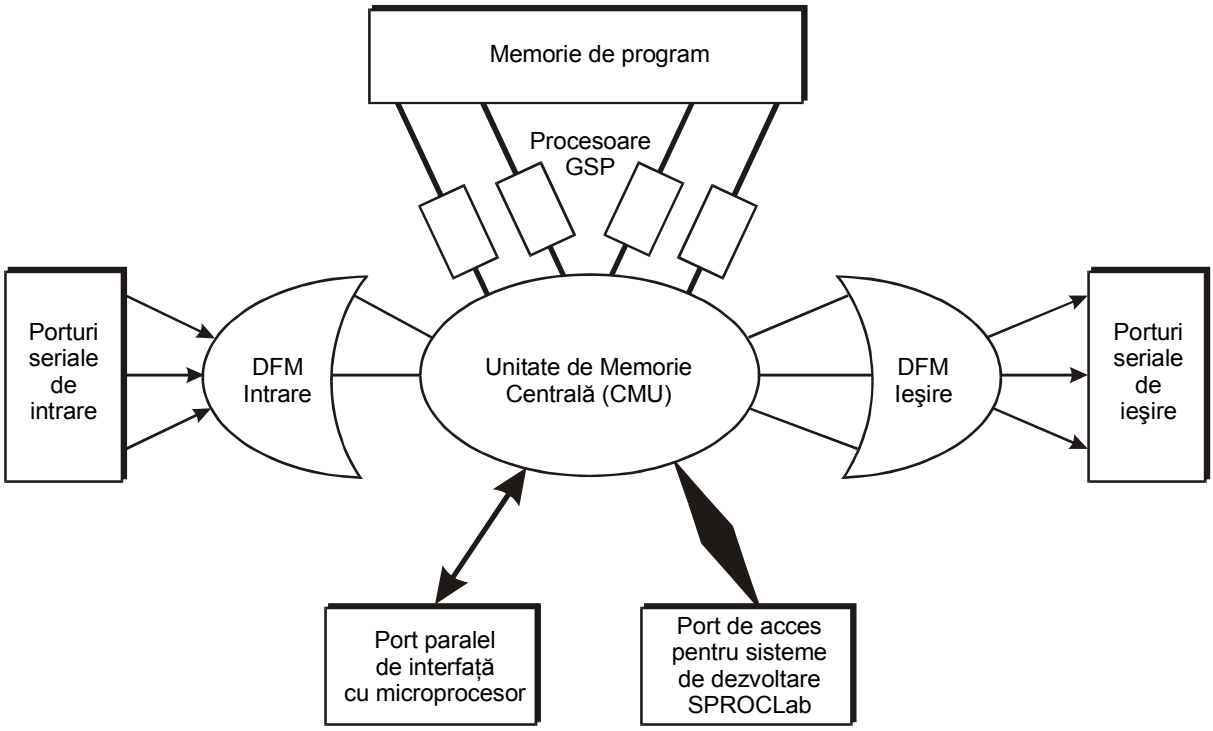


Fig. 3.8 Arhitectura procesorului de semnal SPROC 1000, cu unitate de memorie centală.

Nucleul central al acestei arhitecturi este reprezentat de memoria de date partajată, de tip multiport, denumită **CMU** (**C**entral **M**emory **U**nit - unitate de memorie centrală).

Un număr de patru procesoare generale de semnal, **GSP** (**G**eneral **S**ignal **P**rocessor - procesor general de semnal), implementate pe chip, realizează calculele şi asigură proce-sarea paralelă.

Controloarele de fluxuri de date de intrare-ieşire, **DFM** (**D**ata **F**low

Manager - controlor al fluxului de date), coordonează fluxurile concurente de date, semnalele de interfață pentru canalele seriale şi activează interfațarea cu un procesor extern.

Arhitectura **CMU** reprezintă o extensie de la abordarea monoprocesor la procesarea concurentă (*multiprocesor*). În locul multiplexării temporale, prin întreruperi, a unității de procesare, arhitectura **CMU** foloseşte mai multe procesoare şi multiplexarea temporală a accesului acestora la memorie.

Accesarea multiplă a memoriei nu mai este gestionată prin întreruperi: **CMU** este un spațiu de memorie de date de tip multiport, ce utilizează o secvență compusă de perioade de acces la memorie, alocate fiecărui **GSP** sau ciclu de intrare-ieşire. Secvența de bază reprezintă un ciclu maşină al procesorului **SPROC**, respectiv cinci perioade de ceas. Perioadele **1÷4** sunt destinate procesoarelor generale de semnal, **GSP**, în vederea accesului la memorie, într-un mod secvențial bine determinat, iar cel de-al cincilea interval de timp este utilizat, prin subdivizare în **8** subintervale, pentru operații de intrare-ieşire paralelă sau alte operații de intrare-ieşire.

Procesoarele **GSP** lucrează pe **24** de biți, în virgulă fixă şi pot fi folosite fie individual, fie în grup, în funcție de cerințele aplicației.

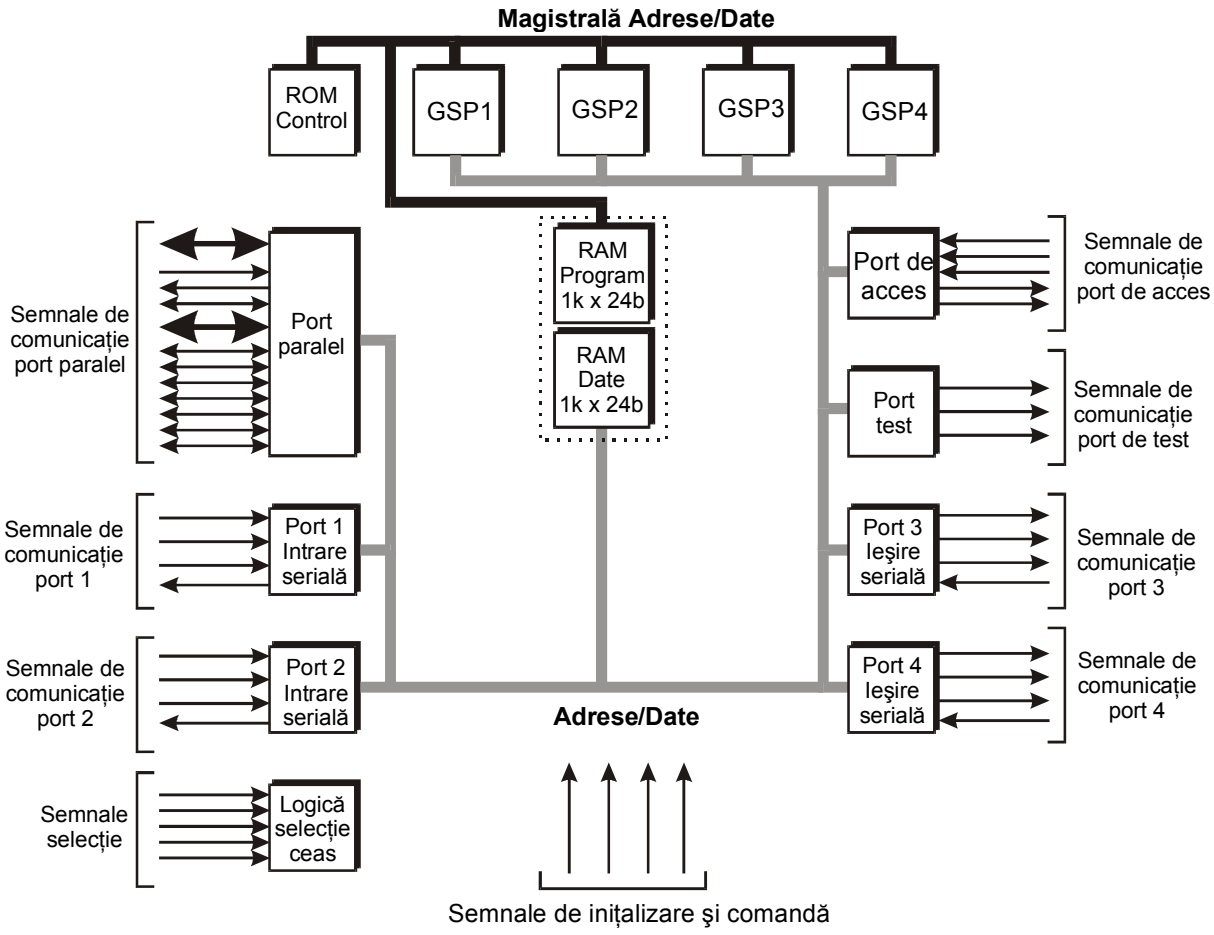


Fig. 3.9 Structura detaliată a procesorului de semnal SPROC-1400.

Controloarele de fluxuri de date gestionează introducerea/extragerea datelor în/din unitatea centrală de memorie, fără să afecteze performanţele procesoarelor **GSP**. Controloarele **DFM** comunică cu celelalte resurse interne pe o magistrală de **24** de biţi, iar cu resursele externe prin intermediul porturilor seriale programabile.

Schema bloc a procesorului de semnal **SPROC-1400** este prezentată în fig. 3.9.

3.5.2.2 PORTUL SERIAL SINCRON AL FAMILIEI DSP TMS320C2XX

Familia de procesoare DSP TMS320C2xx dispune de un port serial sincron full-duplex, cu facilităţi de transmisie de cadre de date, suportând rate de transfer de pâna la 20 Mbps (pentru durata unui ciclu instrucţiune de 25 ns). Rata de transfer este jumătate din frecvenţa ceasului dispozitivului. Acest port serial sincron bidirecţional asigură comunicaţia directă cu dispozitive seriale, cum ar fi: CODEC-uri, convertoare analog-digitale seriale şi alte echipamente seriale. Portul serial poate fi utilizat pentru comunicaţia între procesoare în cazul sistemelor multiprocesor. Atât secţiunea de transmisie, cât şi cea de recepţie, a portului serial dispun de un buffer sau memorie FIFO organizate pe 4 nivele de adâncime, permiţând unităţii centrale de prelucrare să accepte întreruperi de la oricare din aceste nivele. Această facilitate înseamnă intervenţia mai redusă a unităţii centrale de prelucrare, ca şi creşterea flexibilităţii şi eficienţei transmisiilor de date.

Portul serial sincron al familiei TMS320C2xx are următoarele caracteristici:

- port serial sincron full-duplex, cu facilităţi de transmisie de cadre de date;
- buffer cu capacitatea de 4 cuvinte x 16 biţi, pentru reducerea overhead-ului rutinelor de tratare a întreruperilor;
- port serial flexibil, eficient şi de înaltă performanţă;
- asigură rate de transfer de 20 Mbps, pentru durata unui ciclu instrucţiune de 25 ns;
- asigură rate de transfer de 14,28 Mbps, pentru durata unui ciclu instrucţiune de 35 ns;
- asigură rate de transfer de 10 Mbps, pentru durata unui ciclu instrucţiune de 50 ns;
- rata de transfer este jumătate din frecvenţa ceasului unităţii centrale de prelucrare.

Toate dispozitivele din familia TMS320C2xx, cu excepţia circuitului TMS329C209, dispun de acest tip de port serial sincron. Fig. 3.10 ilustrează

organizarea portului serial sincron al procesoarelor DSP TMS320C2xx.

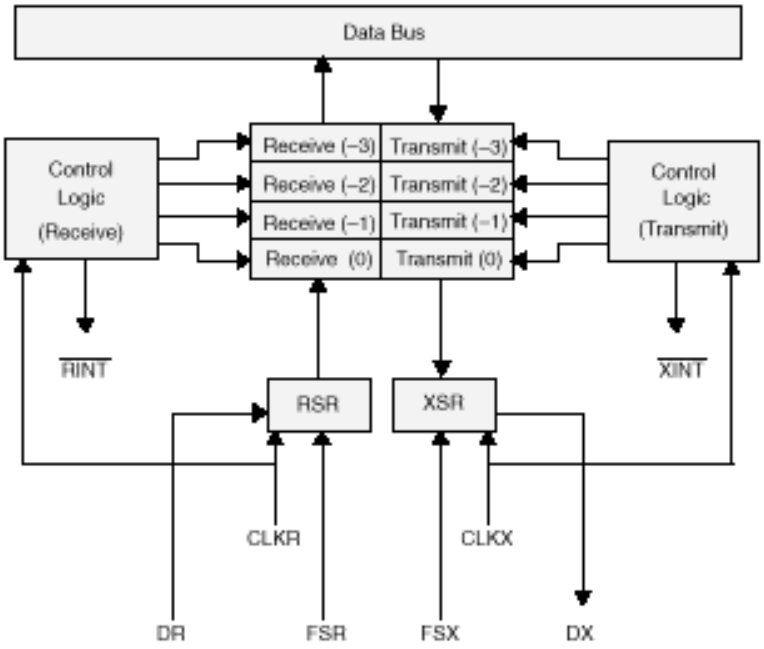


Fig. 3.10 Portul serial sincron al familiei de procesoare TMS320C2xx.

3.5.2.3 PORTUL SERIAL ASINCRON AL FAMILIEI DSP TMS320C2XX

Familia de procesoare de semnal TMS320C2xx dispune de un port serial asincron, full-duplex şi dublu buffer-at. Acesta manipulează cuvinte de date cu lungimea de 8 biți şi poate fi programat prin intermediul unui registru să accepte rate de comunicație de pâna la 2,5 Mbps. Portul serial asincron poate fi utilizat pentru comunicația cu alte dispozitive, cum ar fi microcontroller-e, prin conectare de tip RS-232 care suportă rate de transfer de date de până la 115,2 kbps.

Caracteristicile portului serial asincron al familiei de procesoare DSP TMS320C2xx sunt:

- port serial asincron full-duplex;
- portul serial dispune de o dublă buffer-are;
- portul serial permite transferuri de date de 8 biți;
- programarea ratei de transfer prin intermediul unui registru de 16 biți;
- portul serial asigură rate de transfer de 2,5 Mbps, pentru durata unui ciclu instrucțiune de 25 ns.

Toate dispozitivele din familia TMS320C2xx, cu excepția circuitului TMS329C209, dispun de acest tip de port serial asincron.

Fig. 3.11 ilustrează organizarea portului serial asincron al procesoarelor

DSP TMS320C2xx.

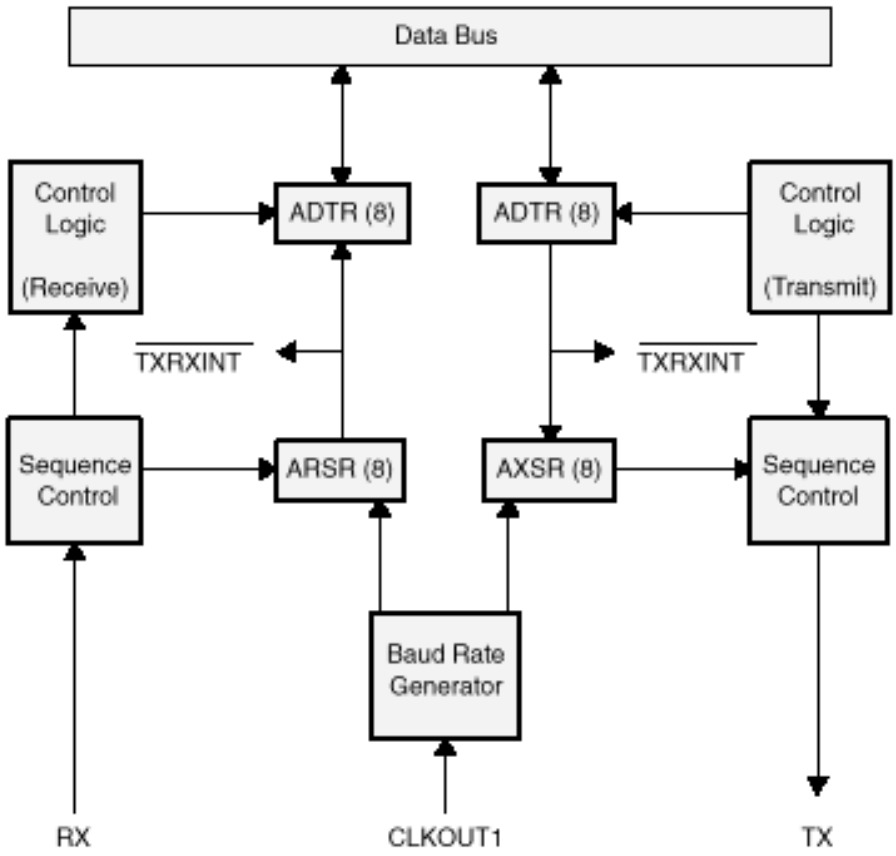


Fig. 3.11 Portul serial asincron al familiei de procesoare TMS320C2xx.

4. CONSIDERAŢII GENERALE ASUPRA INSTRUMENTAŢIEI VIRTUALE

4.1 INSTRUMENTE VIRTUALE

Se manifestă, în ultima perioadă, o tendinţă de creştere a flexibilităţii instrumentaţiei, concretizată în obţinerea unor arhitecturi deschise care permit dezvoltările necesare unui domeniu larg de aplicaţii. Acest lucru se manifestă atât la nivelul hardware-ului, cât şi la nivelul software-ului, fiind susţinute şi de avantaje economice (cost, rapiditate, uşurinţă în utilizare).

Instrumentele de măsurare inteligente *reprezintă* entităţi independente, funcţionând separat de un sistem de calcul, capabile să comunice un set redus de parametri şi să execute o serie de comenzi. Toate echipamentele de măsurare dezvoltate în ultimii ani conţin interfeţe prin intermediul cărora se transmit datele achiziţionate, precum şi comenzi unor relee cu care sunt echipate.

Indiferent de tipul de mărime măsurată, instrumentele inteligente sunt echipate cu relee care comandă direct echipamente externe, în funcţie de valorile parametrului măsurat. După gradul de complexitate, pot fi însoţite de un pachet ***software*** aferent, executabil pe un sistem de calcul compatibil IBM-PC, pentru a putea executa citirile şi comenzile la distanţă. Foarte multe asemenea sisteme dispun de mijloace de memorare externă, care stochează variaţia în timp a parametrului măsurat sau valorile instantanee, la anumite intervale de timp.

Astfel, conceptul de aparat de măsură autonom este treptat înlocuit de un ansamblu modular, evolutiv, uşor adaptabil. Se asistă, în cadrul instrumentaţiei, la o trecere de la funcţionalitatea definită de constructor (constând într-o multitudine de aparate ce pot fi asamblate într-un sistem de măsură) la funcţionalitatea definită de utilizator (constând din sisteme programabile, şasiuri conţinând module ce permit dezvoltarea şi implementarea a unui număr cu adevărat impresionant de aplicaţii).

Trebuie menţionat în acest cadru rolul determinant al calculatoarelor, care prin puterea de calcul şi mijloacele eficiente de afişare, au accelerat evoluţia instrumentaţiei. Dacă analizăm structura unui lanţ de măsurare, se poate observa faptul că un sistem de calcul poate spori funcţionalitatea instrumentelor prin interacţiunea sa asupra celor trei componente de bază:

- achiziţia datelor;
- analiza datelor;
- prezentarea rezultatelor.

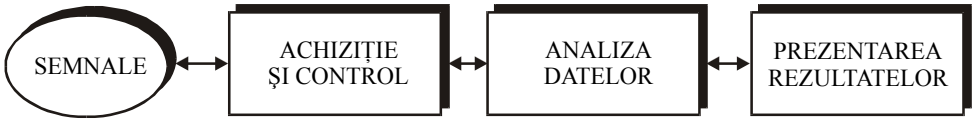


Fig. 4.1 Componentele procesului de măsurare.

În cadrul software-ului utilizat sunt înglobate biblioteci care servesc la programarea achiziției (module instrument), la prelucrarea datelor (module de analiză armonică de semnal, module de funcții statistice), la afişarea rezultatelor, conducând astfel la crearea de instrumente virtuale.

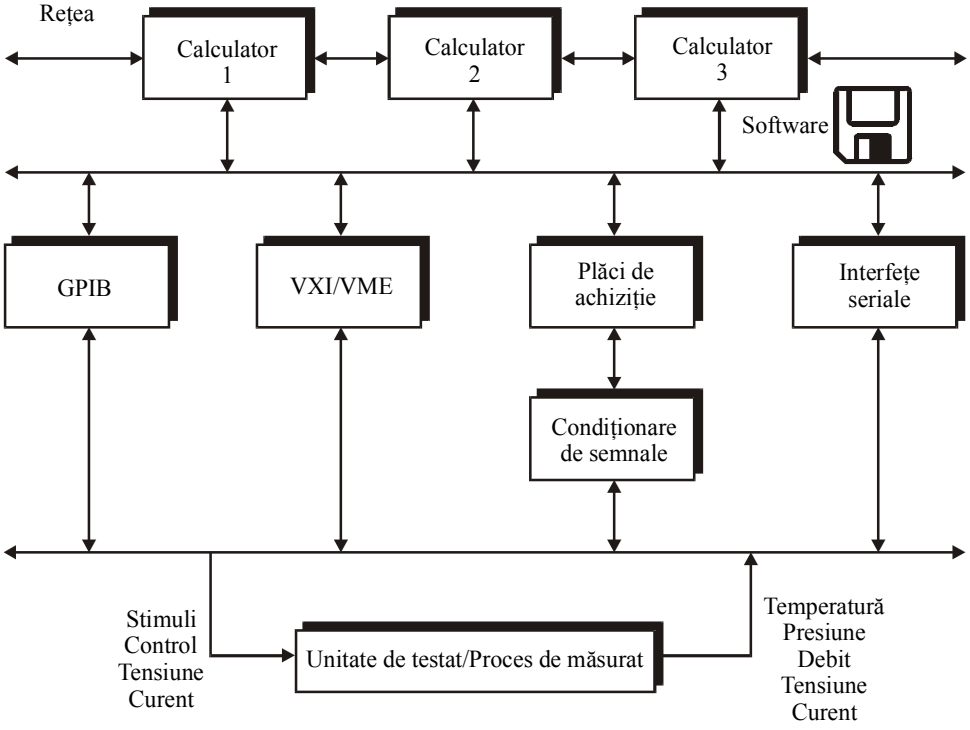


Fig. 4.2 Configurația instrumentației virtuale.

Un instrument virtual cuprinde, în principiu, următoarele elemente:

- unul sau mai multe sisteme de calcul;
- interfețe de rețea;
- software;
- dispozitive de intrare-ieşire (GPIB, VXI, plăci de achiziție);
- instrumente de masură clasice, interfațabile;
- procesul controlat sau unitatea de testat,

fiind o combinație a instrumentelor programabile cu calculatoarele.

Calculatorul, prin versatilitatea pe care o prezintă, poate spori posibilitățile limitate (fixe) ale instrumentelor tradiționale.

Prin interconectarea în diverse combinații şi programarea sistemelor de achiziție de date, a instrumentelor de măsură de care se dispune, folosind

aplicații software specifice, există posibilitatea de a creea propriile sisteme de instrumentație, denumite ***sisteme de instrumentație virtuală***.

Datorită abilității de a construi sisteme de instrumentație chiar de către utilizator se câştigă timp, se economisesc bani şi se poate interveni rapid în cadrul sistemului de măsurare sau de control.

Principalele caracteristici ale instrumentației virtuale - modularitatea şi ierarhia - atât la nivel hardware, cât şi software, îi conferă acesteia caracterul de flexibilitate şi deschidere către noi domenii de aplicație.

Din punct de vedere al domeniului de utilizare, sistemele de instrumentație virtuală pot fi clasificate în:

- sisteme pentru testare şi măsurări;
- sisteme de control automat al proceselor;
- sisteme pentru efectuarea de cercetări ştiințifice.

Trebuie să remarcăm aici faptul că instrumentația virtuală are aplicabilitate în aproape toate compartimentele funcționale din cadrul unei organizații, şi anume: cercetare-dezvoltare, proiectare, producție, calibrare, controlul şi asigurarea calității, testare "***in situ***", service.

Din punct de vedere al modului în care poate funcționa un instrument virtual putem menționa:

- modul de lucru "***live***", în care se configurează fizic echipamentul de măsurare, cuplat la sistemul de calcul şi care achiziționează date din procesul studiat, urmat de procesul de analiză, interpretare şi afişare a rezultatelor;
- modul de lucru "***not live***" (simulare), în care se poate doar simula funcționarea echipamentului de măsurare asupra eşantioanelor unor semnale generate prin mijloace *software*.

În cele ce urmează vom prezenta pe scurt componentele unui instrument virtual, mai exact interfața calculator-proces de măsură sau control, precum şi software-ul ce permite crearea instrumentelor virtuale.

În fig. 4.3 se prezintă un model schematic al unei prelucrări digitale generice de semnal. Se observă că semnalul de intrare este sub formă analogică, convertit apoi în valori numerice prin intermediul unui convertor analog-numeric. Unitatea centrală (calculatorul) prelucrează aceste reprezentări numerice, urmând ca rezultatul să fie reconvertit în semnal analogic (prin intermediul unui convertor numeric-analogic). Cât timp informația se găseşte, încă, sub formă numerică, pot avea loc mai multe tipuri de operații asupra acesteia: analiză, memorare, afişare, transmisie etc.

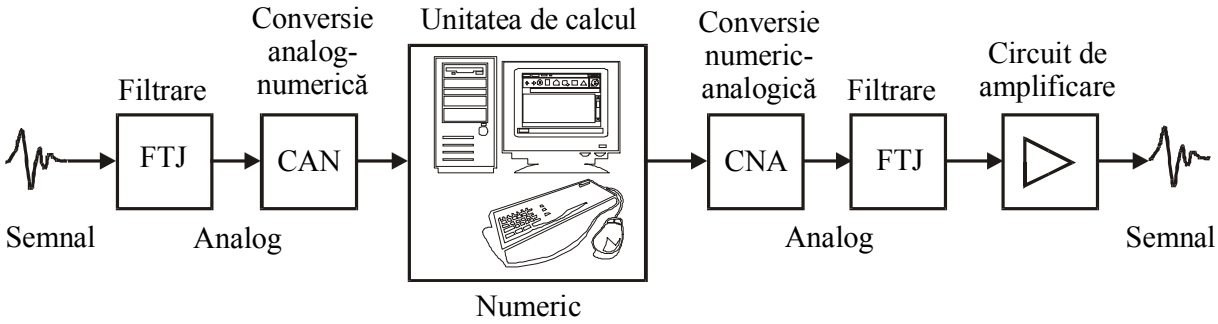


Fig. 4.3 Exemplu de sistem de prelucrare numerică a semnalelor.

Circuitele de intrare

Elementul de intrare al oricărei aplicații de procesare de semnal (analogică sau numerică) îl reprezintă traductorul (senzorul) specific mărimii de intrare, cu rolul de a converti mărimea de intrare într-un semnal de natură electrică. Pentru aplicațiile practice, senzorii de intrare pot fi de tipuri foarte diverse: microfon, în cazul semnalelor audio, traductoare de vibrații în seismologie, antene în aplicații radar, senzori cu infraroşu în teledetecție, transfomatoare de măsurare în stațiile electrice, etc.

Circuitele de condiționare a semnalului

Scopul utilizării acestor module este acela de a converti valorile mărimii de ieşire a senzorului în valori compatibile cu domeniul de variație acceptat de convertorul analog/numeric (de obicei 0-5V, sau 0-10V pentru convertoare setate pe mod unipolar). Circuitele de condiționare protejează, de asemenea, etajele superioare de prelucrare, uneori şi prin separare galvanică, împotriva supratensiunilor accidentale. Modul de realizare al condiționerelor de semnal este bazat pe utilizarea circuitelor cu amplificatoare operaționale şi/sau de instrumentație.

Filtrele anti-aliasing

Filtrele anti-alias (*aliasing*: replierea spectrelor) sunt filtre trece-jos care, în principiu, limitează superior viteza de variație în timp a semnalului analogic aplicat la intrarea sistemului. Funcția acestor filtre este critică, ea determinând direct modul în care restul sistemului este capabil să urmărească variațiile de interes ale semnalului.

Convertoarele analog-digitale

După cum sugerează şi numele, convertoarele analog-numerice (*analog-to-digital converter*, ADC) furnizează o reprezentare numerică (binară) a

semnalului analogic aplicat la intrarea lor. Două dintre cele mai importante caracteristici ale unui ADC sunt rata de conversie şi rezoluția. *Rata de conversie* (uneori definită şi prin inversul său, timpul de conversie) exprimă cât de repede se efectuează operația de conversie. **Rezoluția** exprimă gradul de apropiere între valoarea numerică obținută la ieşirea convertorului şi valoarea reală corespunzătoare semnalului analogic aplicat la intrare.

Procesorul

Procesorul efectuează operațiile matematice necesare procesării semnalului o dată convertit în formă numerică. De exemplu, în cazul în care aplicația este un amplificator, atunci procesarea digitală constă în înmulțirea valorii corespunzătoare intrării cu constanta de amplificare.

În primele aplicații de procesare numerică, procesorul numeric era constituit adesea dintr-un calculator de uz general dar, pe măsură ce domeniul s-a dezvoltat, au fost proiectate şi utilizate o gamă largă de procesoare dedicate, de mare viteză, capabile să prelucreze un număr imens de date. Astăzi sunt utilizate, în principal, procesoarele de semnal care reprezintă, de fapt, o combinație de hardware de viteză mare, arhitectură specializată şi un set de instrucțiuni dedicate procesării de semnale permițând implementarea eficientă a algoritmilor specifici.

Memorarea şi transmiterea datelor

În memoria program se stochează instrucțiunile prin care se implementează algoritmii DSP. Dacă într-un calculator cu *arhitectură von Neumann*, datele şi instrucțiunile sunt memorate într-un acelaşi bloc, în cele mai multe sisteme dedicate DSP, instrucțiunile sunt memorate separat de date, asigurându-se astfel o procesare mult mai rapidă a instrucțiunilor. Datele pot fi transferate pe magistrala proprie simultan cu executarea instrucțiunilor din program. De multe ori cele două magistrale - de date şi de instrucțiuni - au dimensiuni (număr de linii de acces) diferite. Această arhitectură a fost dezvoltată pe baza cercetărilor efectuate inițial la Universitatea Harvard şi, de aceea, este denumită ca fiind *arhitectură Harvard*.

Datele prelucrate de un sistem DSP sunt adesea destinate unor prelucrări ulterioare, în cadrul aceluiaşi sau al altui sistem. Ele pot fi memorate pe bandă magnetică, discuri optice (CD) sau alt suport.

Interfața cu utilizatorul

Nu toate sistemele DSP necesită dispozitive de afişare sau introducere a datelor de către utilizator, cu ajutorul unui keypad (tastatură) specializat, a unor

comutatoare discrete sau chiar a unei tastaturi clasice. Cu toate acestea, adeseori este foarte comodă reprezentarea grafică a semnalelor prelucrate.

Convertoarele digital-analogice

Multe dintre sistemele DSP impun o etapă de re-conversie a semnalului în formă analogică, această funcție fiind îndeplinită de convertoarele numeric-analogice (*digital-to-analog converter*). Una dintre caracteristicile esențiale ale convertorului digital-analog este viteza (*slew rate*) cu care se obține tensiunea la ieşirea acestuia, după setarea valorii numerice dorite la intrarea convertorului. Acest parametru trebuie să corespundă ratei de conversie analog-numerică a întregului sistem DSP.

Filtre de netezire şi amplificatoare de ieşire

Scopul filtrelor de netezire este acela de a micşora discontinuitățile în forma (de tipul scară) semnalului de la ieşirea convertorului numeric-analog. Uzual, un astfel de filtru are o caracteristică trece-jos implementată cu un circuit RC simplu.

Amplificatorul de ieşire este, în general, de tip clasic, prevăzut în scopul de a adapta impedanța mare a convertorului digital-analog la impedanța de intrare mică a traductorului de ieşire (difuzor, antenă, motor electric etc.) precum şi pentru a regla puterea la nivelul cerut.

În funcție de specificul aplicației, **unele module din sistemul prezentat mai sus pot lipsi**. De exemplu, într-o aplicație de telegestiune a consumului energetic, convertorul D/A nu se mai regăseşte. Important este, însă, faptul că modelul prezentat anterior este valabil pentru orice tip de aplicație din gama procesărilor numerice de semnal.

4.2 INTERFAȚA CALCULATOR - PROCES DE MĂSURARE SAU CONTROL

După cum se sugerează şi în cadrul fig. 4.2, există următoarele tipuri de magistrale de proces pentru interconectarea instrumentelor programabile cu un sistem de calcul:

- **GPIB** (**G**eneral **P**urpose **I**nterface **B**us - magistrală de interfațare de scop general) este specializată pentru comunicație cu instrumente programabile. Este disponibilă pentru platforme diverse (PC, IBM, MacIntosh, etc.) şi oferă o rată de transfer de 1 Mbyte/secundă. Protocolul de comunicație este specificat de standardul industrial

IEEE-488 (protocol pe 8 biți, comenzi tip **ASCII**, maximum 14 instrumente aflate la cel mult 20m). O dezvoltare ulterioară, **HS-488**, a crescut rata de transfer la 8 Mbytes/secundă;

- **RS-232**, **RS-422**, **RS-485** sunt utilizate în special la sisteme personale de calcul. Sunt destinate comunicațiilor seriale sincrone / asincrone între instrumente, oferind o imunitate ridicată la zgomotul din mediul industrial. Dezavantajul major este rata de transfer redusă (sute de kbits/secundă). Protocolul de comunicare poate fi **ASCII** sau un protocol special al instrumentelor ce se interconectează. Ceea ce le diferențiază este distanța de interconexiune (de la 15m la **RS-232**, la 1200m la **RS-485**), care este mărită prin amplificări suplimentare pe intrări/ieşiri. Interfața **RS-485** permite legături multi-punct ("***daisy-chain***"), deci economii importante de cablu;
- **SCXI** (**S**ignal **C**onditioning e**X**tensions for **I**nstruments): aceste module, montate sub formă de "***rack***" (dulap cu sertare de conexiuni modulare), sunt utilizate la condiționarea semnalului. La intrare, se admit semnale provenite traductoare, cum ar fi: termocupluri, termistoare, mărci tensometrice etc, iar la ieşire se obțin semnale analogice (curenți sau tensiuni) sau semnale numerice. Se utilizează module de filtrare, liniarizare, izolare galvanică, ieşiri de putere, etc.;
- **VXI** (**VME** e**X**tension for **I**nstrumentation, unde **VME** reprezintă **V**ESA **M**odule **E**urocard) reprezintă un standard de instrumentație ale cărui baze au fost puse încă din 1987 şi are ca obiectiv creşterea interoperabilității diverselor instrumente. Structura sa modulară permite o integrare atât din punct de vedere electronic, cât şi mecanic, conferindu-i denumirea de "standard pentru instrument pe cartelă". Specificațiile **VXI** grupează norma **IEEE-488** şi norma **VME**, prima remarcându-se prin compatibilitatea între constructori diferiți, iar cea de-a doua prin rapiditate.

Sistemele de instrumentație **VXI** s-au impus în ultima perioadă, deoarece:

- prezintă mare suplețe, mai multe nivele de inteligență şi permit o sincronizare şi o asociere optimală şi performantă;
- au dimensiuni mici, sunt rapide, putând fi realizate şi în variante portabile;
- sunt caracterizate de o arhitectură deschisă la nivel hardware (magistrală **VME** de 32 biți şi ***software*** unificat **VXI** "***Plug & Play***" - recunoaşterea tipului de cartelă se face automat de către mediul ***software***, la fel inițializarea şi parametrizarea circuitelor de pe cartelă), permițând utilizarea de module provenite de la diverşi producători, fără a exista probleme la nivel electric sau mecanic. Compatibilitatea electromagnetică între module, compatibilitatea mecanică şi termică permit interoperabilitatea între diferite produse hardware;

- permit atât transmisia serială a datelor (transmisie lentă, dar cu un nivel de prelucrare şi de inteligență ridicat), cât şi transmisia lor paralelă (viteză mare de transmisie);
- utilizează un controller extern sau intern. În primul caz, calculatorul comunică cu o interfață de tip **GPIB-VXI** sau cu o magistrală de mare viteză **VXI-MXI** (**M**ultisystem E**X**tension **I**nterface Bus). În cel de-al doilea caz, există un controller integrat în strucutura **VXI** care coordonează direct resursele acesteia, permițând aplicații multiple şi rapide, cum ar fi controlul ***în timp real*** al unor procese;
- permite controlul interactiv, pe timpul programării, utilizând, de exemplu, programul **VIC** (**V**XI **I**nteractiv **C**ontrol).

Putem concluziona că sistemele **VXI** prin modularitatea, flexibilitatea, interoperabilitatea şi interconectarea facilă la un sistem de calcul pe care le prezintă, acoperă un domeniu larg de aplicații, mergând de la teste şi măsurări până la achiziția de date de înaltă performanță şi automatizări industriale.

4.3 SOFTWARE PENTRU INSTRUMENTAȚIE VIRTUALĂ

Instrumentația virtuală este centrată pe software. Dintre aplicațiile software special proiectate în vederea muncii de programare a utilizatorului trebuie remarcat LabVIEW (**Lab**oratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench). Abordarea se face printr-un concept revoluționar denumit ***programare vizuală***. LabVIEW este un mediu de programare bazat pe limbajul grafic G şi utilizat pentru achiziția şi controlul datelor, analiza acestora şi prezentarea rezultatelor. În cadrul abordărilor software tradiționale, după specificarea schemei unei aplicații urmează convertirea ei în codul propriu limbajului de programare. În mediul de programare LabVIEW "se construiesc" instrumente virtuale (se asamblează şi se interconectează diferitele simboluri grafice, denumite "***icons***" pentru realizarea proiectului) în loc de a se scrie programe, deoarece schema bloc a instrumenului creat conține chiar codul sursă al aplicației.

Acest mediu de programare, dezvoltat începând cu 1980 şi perfecționat în mod continuu, are ca principal obiectiv crearea posibilității oamenilor de ştiință şi inginerilor de a-şi dezvolta rapid propriile sisteme de instrumentație virtuală, corespunzător necesităților specifice, fără a fi necesară cunoaşterea sintaxei limbajului grafic de programare.

Un instrument virtual creat în mediul de programare LabVIEW este compus din:

- panoul frontal, reprezentând interfața grafică cu utilizatorul;
- diagrama bloc, reprezentând codul sursă al instrumentului virtual sau al aplicației;

- simbolul grafic / conectorul, reprezentând interfața de apel.

Panoul frontal este o interfață interactivă pentru a controla intrările şi a observa ieşirile. Fiind mijlocul prin care utilizatorul descrie secvența de măsurare de interes, el mai este denumit şi interfața grafică cu utilizatorul. Este afişat pe ecranul calculatorului şi are acelaşi rol cu panoul frontal al unui instrument fizic, conținând atât elemente de comandă (butoane, comutatoare, potențiometre), cât şi elemente indicatoare şi de vizualizare (afişaje, ecrane). Primele elemente simulează dispozitivele de intrare ale instrumentului, iar cele din urmă dispozitivele de ieşire, ce afişează datele achiziționate sau generate de către diagrama bloc a instrumentului virtual.

Crearea panoului frontal poate fi făcută înaintea realizării diagramei bloc. Elaborarea şi editarea lui se face în cadrul modului de lucru "***Edit***" (celălalt mod de lucru, "***Run***", fiind utilizat pentru funcționarea instrumentului virtual), prin selectarea şi poziționarea obiectelor necesare alese dintre simbolurile grafice ale instrumentelor disponibile (tools palette, controls palette).

Când instrumentul virtual este complet implementat şi devine funcțional, panoul frontal este utilizat pentru controlul sistemului de măsurare prin acționarea unor comutatoare, mişcarea unui cursor, selectarea unei opțiuni, etc.

Elementele indicatoare de pe panoul frontal al instrumentului virtual răspund imediat la aceste modificări, datorită răspunsului în timp real al sistemului.

Diagrama bloc reprezintă codul sursă al instrumentului virtual şi conține:

- funcții de calcul aritmetice şi logice;
- funcții de analiză complexă (achiziții complexe şi instrumente de analiză);
- funcții de intrare-ieşire care permit comunicația cu sistemele de achiziții **GPIB**, **VXI**, instrumente reale externe.

Construirea diagramei bloc de face prin selectarea blocurilor funcționale din meniul (lista de comenzi) "***Functions***", poziționarea lor şi interconectarea terminalelor acestora prin linii ce dirijează fluxul informațional de la un bloc la altul.

Toate elementele de comandă şi elementele indicatoare ce au fost poziționate pe panoul frontal al intrumentului apar şi în diagrama bloc, de această dată cu propriile simboluri grafice şi terminale pentru a fi interconectate.

Tipul de date care este vehiculat determină tipul conexiunii între două blocuri. De exemplu, grosimea liniilor indică dacă este vorba de o mărime de tip scalar (o singură dată) sau vectorial (rețea de date), iar culoarea paote indica dacă este vorba de valori numerice, booleene, de tip text, grafice, etc.

Odată realizate panoul frontal şi diagrama bloc, instrumentul virtual devine operațional (modul de lucru "***Run***").

Instrumentul virtual nou creat poate fi salvat şi i se poate atribui un simbol grafic şi o rețea de interconectare pentru a putea fi utilizat în cadrul unei aplicații

sau în cadrul diagramei bloc a unui instrument virtual mai complex.

Structura modulară constituie unul dintre marile avantaje ale instrumentației virtuale, deoarece dă posibilitatea ierarhizării pe grade de complexitate. Prin ierarhizare modulară se pot proiecta, modifica, interschimba şi combina instrumente pentru a răspunde specificațiilor a cât mai multe aplicații.

De asemenea, pot fi efectuate atât simulări, cât şi teste sau achiziții reale de date, având posibilitatea efectuării facile de modificări la orice nivel.

Construcția modulară, ierarhică şi dinamică, atât la nivel hardware cât şi la nivel software, conferă instrumentației virtuale flexibilitate, orientare către necesitățile utilizatorului, care o poate adapta conform propriilor aplicații şi putând să o dezvolte într-un mod simplu, eficient şi rapid.

4.3.1 ALEGEREA PLATFORMEI SOFTWARE: UNIX SAU WINDOWS?

Una din problemele cu care se confruntă utilizatorii de sisteme de achiziție de date şi control al proceselor o constituie sistemul de operare sub care va funcționa ansamblul dispozitivelor automate. Utilizatorul este pus, de cele de multe ori, să aleagă între sistemele realizate sub Unix şi cele realizate sub Windows NT. Unix este un sistem stabil şi economic, care a câştigat încrederea utilizatorilor, astfel că în prezent este greu de răspuns la întrebarea dacă sau când Windows NT va fi preferat sistemului Unix. Mulți proiectanți (Industrietechnik AG, ABB) oferă produse similare capabile să funcționeze sub ambele sisteme de operare, chiar şi atunci când platforma sistem este pe un loc secundar ca relevanță. Cu toate acestea, mulți utilizatori rămân foarte ataşați de lumea stabilă (şi verificată în ultimii ani) a sistemului Unix, cu toate că sunt convinşi de funcționalitatea aplicațiilor sub Windows şi de faptul că platformele NT sunt mai ieftine (instalate pe atât de răspânditul PC) decât cele Unix (care lucrează aproape în exclusivitate pe Workstations).

Domeniile în care aplicațiile dezvoltate sub Windows NT sunt neafectate de eventualele puncte critice ale sistemului de operare rămân cele aferente managementului informațiilor.

În ceea ce priveşte cel mai "critic" punct al aplicațiilor industriale, cel al operării în timp real, cartelele PC cu procesoare specializate garantează capacitatea de prelucrare în timp real, dar numai atât timp cât s-au introdus module speciale de comunicație între controller (sau PC) şi sistemul supravegheat. Aceste module garantează până şi aşa-numita funcționare dificilă în timp real, soluția adoptată de ABB, spre exemplu, fiind aceea de a aplica fiecărei informații primită de controller o aşa-numită "ştampilă" temporală (*Zeitstempel*) care va fi memorată şi transmisă componentelor utilizator.

Prelucrarea propriu-zisă a datelor nu se va face în condiţiile dificile de timp real ci ulterior, sincronizarea şi evaluarea evenimentelor facându-se prin apelarea momentelor de timp marcate.

La ora actuală (2000) se depun eforturi pentru realizarea de sisteme de conducere a proceselor industriale cu sisteme de operare mixte (NT şi Unix). De fapt, se oferă soluţiile disponibile în prezent numai sub Unix şi utilizatorilor de NT după o prealabilă asigurare împotriva riscurilor (în principal, bug-uri proprii sistemului Windows) de ordin tehnic. De asemenea, se pot integra soluţii NT în lumea tehnică Unix. Scopul proiectării noilor oferte din acest domeniu (prin folosirea tehnicilor "object-oriented" de manipulare a datelor) este, însă, acela al independenţei totale a aplicaţiilor faţă de platforma sistem a utilizatorului.

4.4 PARTICULARITĂŢI ALE INTRUMENTAŢIEI VIRTUALE

Implementarea unui instrument ***software*** de analiză a semnalelor electrice presupune utilizarea unui calculator - drept nucleu ***hardware*** de comandă - şi a unui sistem de achiziţii de date, putând fi realizată în mai multe moduri, funcţie de sistemul de operare utilizat în cadrul sistemului de calcul.

Suportul ***hardware*** este format dintr-un lanţ complex de măsurare, compus din: senzor, dispozitivul de condiţionare a semnalului, placa de achiziţii de date şi sistemul de calcul aferent.

Ceea ce diferenţiază aceste instrumente este prezenţa ***software***-ului, un mediu de programare mobil, capabil să proiecteze pe monitorul unui calculator orice parametru măsurat, orice grafic preluat, orice reglaj, buton, etc., transformând practic calculatorul gazdă al aplicaţiei, într-un instrument de măsurare.

Utilizarea sistemului de operare tradiţional **MS DOS®** - **M**icro**S**oft **D**isk **O**perating **S**ystem - permite utilizarea unor limbaje de programare de nivel înalt, ca de exemplu ***Borland Pascal***, ***Microsoft C şi C***++. Un astfel de limbaj de programare permite:

- *gestionarea procesului de achiziţii de date* prin intermediul unor rutine de comandă a resurselor ***hardware*** ale sistemului de achiziţii. Aceste rutine, denumite în mod uzual ***driver***-e, sunt specifice unei anumite configuraţii de sistem de achiziţii de date şi înglobează adesea linii sursă de cod scris în limbaj de asamblare. ***Driver***-ele sistemului de achiziţii de date sunt, de cele mai multe ori scrise de către producătorul sistemului hardware de achiziţii de date, dar pot fi de asemenea scrise şi optimizate de către utilizator, dacă acesta dispune de informaţii referitoare la adresele fizice de porturi de intrare-ieşire utilizate de către componentele programabile din sistem, la cuvintele de stare şi de

comandă asociate acestora, la secvențele de programare necesare pentru manipularea resurselor;

- *calculul parametrilor caracteristici ai semnalelor electrice*. Această activitate presupune utilizarea unor funcții sau proceduri de analiză spectrală - transformată Fourier -, utilizarea unor rutine pentru aplicarea unor ferestre de eşantionare adecvate (dreptunghiulară, Hanning, Hamming, Bartlet, Blackman, etc.) asupra semnalelor originale pentru evidențierea particularităților acestora, utilizarea unor funcții şi proceduri de filtrare şi interpolare numerică, etc. Toate aceste rutine pot fi realizate în orice limbaj de programare de nivel înalt, cu eforturi de programare comparabile din punct de vedere al complexității;
- *reprezentarea*, într-o formă cât mai intuitivă şi cât mai reprezentativă (sub formă grafică şi/sau tabelară), a *parametrilor de stare ai semnalelor electrice analizate*. Realizarea acestor activități impun utilizarea primitivelor grafice ale limbajelor de programare de nivel înalt, astfel încât marea majoritate a programatorilor utilizează limbajele ***C*** şi ***C++***, datorită utilizării mai facile a primitivelor grafice ale acestora.

Utilizarea sistemului de operare **WINDOWS** (cu variantele **Windows 3.1, Windows 3.11 for Workgroups**, **Windows 95/98** sau **Windows NT**) deschide noi posibilități referitoare la implementarea unor astfel de instrumente software de analiză a semnalelor electroenergetice. Aceste facilități se referă la următoarele aspecte:

- *modul de lucru* în sistemul de operare **Windows** este *de tip multitasking* (se pot executa simultan mai multe aplicații, prin partajarea activității sistemului de calcul), spre deosebire de modul de lucru în sistemul de operare **DOS**;
- *facilități de lucru în background* (într-o fereastră "ascunsă" din fundal, operarea fiind trasparentă față de utilizator), respectiv *foreground* (în fereastra principală);
- *interfața grafică* a sistemului de operare **Windows** este mult mai *evoluată* decât cea din sistemul de operare **DOS**, fiind, de asemenea, mult mai *prietenoasă*;
- folosirea unor *limbaje de programare de nivel înalt evoluate*, *orientate pe obiecte*, care uşurează foarte mult activitățile de programare. Ca exemple de astfel de limbaje de programare putem menționa: ***Microsoft Visual Basic***, ***Visual C++***, ***Borland Delphi Client-Server*** sau ***Delphi 32***, ***Borland Visual dBase***, ***Microsoft Visual FOX Pro***. Ultimele două aplicații sunt orientate spre baze de date, fiind necesare în cazul în care se doreşte *o analiză statistică* a rezultatelor prelucrărilor;
- mediul de operare **Windows** asigură facilități de corelare şi de transfer de informații între diverse aplicații de tip **Windows**, lucru mult mai

dificil de realizat între aplicații **DOS**.

Numeroase firme producătoare de sisteme de achiziții de date, cum ar fi: ***Axon Instruments***, ***Burr Brown***, ***Philips***, ***National Instruments***, ***Tektronix***, au realizat astfel de instrumente ***software***, denumite ***instrumente virtuale***, care modelează pe ecranul calculatorului panoul frontal al diferitelor echipamente de măsurare realizate şi care, prin intermediul unor comenzi furnizate prin intermediul tastaturii sau a a mouse-ului, configurează echipamentul fizic cuplat la sistemul de calcul prin intermediul canalelor seriale de tip **RS-232** sau **RS-485**, prin intermediul magistralei sistemului (în cazul sistemelor de achiziții de date de tip ***plug-in***) sau prin intermediul unor magistrale dedicate, cum ar fi **IEC-625**, **GPIB**, **IEEE-488**, **VXIbus/ MXIbus**, etc. Sunt disponibile ***instrumente virtuale*** sub ambele sisteme de operare menționate anterior, **DOS** şi **Windows**.

O problemă incomplet soluționată, din motive economice şi de copyright (drepturi de distribuție), este aceea de ***compatibilitate***, având un impact negativ major în special în situația în care suportul hardware dispune de o interfață nestandard cu sistemul de calcul. Un mediu de programare pentru instrumentația virtuală conține înglobate ***driver***-ele destinate unui set bogat, dar nu exhaustiv, de echipamente de măsurare. Cu alte cuvinte, utilizatorul nu are acces nemijlocit la driver-ele sistemului de măsurare şi, deci, la resursele sistemului de achiziții de date. Această problemă poate fi soluționată foarte simplu, în mediul de operare **Windows**, prin rualrea în *background* a ***driver***-elor echipamentului de măsurare, cu condiția ca acestea să fie direct disponibile. Compatibilizarea poate fi pe deplin realizată prin partajarea de către instrumentul virtual şi de către sistemul de achiziții de date a unor fişiere de comunicație (de date), cu formate standardizate. Aceste fişiere pot fi modificate (actualizate) doar de către echipamentul de măsurare şi pot fi citite doar de către instrumentul virtual.

4.5 NOI INSTRUMENTE DAQ SPECIALIZATE EXTIND NOȚIUNEA DE INSTRUMENT VIRTUAL

Utilizatorii de instrumentație de azi au nevoie de instrumente ce sunt performante şi flexibile. Performanța reflectă funcționalitatea primară a instrumentului, adică osciloscoapele şi generatoarele de semnal lucrează la viteze din ce în ce mai mari, multimetrele digitale sunt şi mai precise, etc. Flexibilitatea instrumentului este dată de posibilitatea de a include în procesul de măsurare alte operații cum ar fi analiza, automatizarea operațiilor, accesul la bazele de date, transmisia datelor prin internet, etc. Instrumentul tradițional este foarte bun în performanță dar are probleme în a oferi flexibilitate deoarece nu se poate compara cu un computer PC. Instrumentele virtuale construite în interiorul computerelor PC oferă flexibilitate dar sunt mărginite în

funcționalitate de limitările computerului în care sunt construite, adică limitările în tehnologia la zi a computerului, printre care amintese viteza de transfer al datelor din exterior în memoria RAM.

Ultimele îmbunătățiri din domeniul arhitecturii calculatoarelor PC sunt bus-ul PCI, procesorul Pentium, sistemul de operare Windows NT şi interfața ASIC MITE, elaborată de National Instruments pentru implementarea de transferuri ultrarapide între placa de tip plug-in şi memoria RAM. Aceasta a permis implementarea de instrumente virtuale a căror performanță egalează performanța instrumentelor tradiționale şi care în plus oferă flexibilitatea pe care acestea nu o pot oferi.

În oferta sa, National Instruments anunță instrumentele specializate din clasa DAQ Instruments, *DACScope, DAQArb şi DAQMeter, ce sunt compuse din hardware plug-in (PCI, AT-bus sau PCMCIA) şi aplicație software cu interfață grqfică gata facută. Aceste instrumente virtuale arată şi funcționează exact ca şi instrumentul tradițional, are peeformanța instrumentului tradițional şi are flexibilitatea unui calculator PC*.

În continuare sunt descriese evoluțiile recente din domeniul arhitecturii computerului PC ce influențează instrumentația virtuală de azi, şi introduce trei instrumente din clasa DAQ Instruments.

4.5.1 TRANSFERUL DE DATE ÎN BUS-UL PCI

Plăcile de tip plug-in realizate pentru bus de tip PCI sunt de două tipuri:

1. initiator - *bus master board*
2. target - *slave board*

Plăcile ce acționează ca bus-master transferă date între memoria FIFO internă şi memoria RAM mai rapid şi mai eficient în comparație cu plăcile de tip slave-boards.

Placa de tip slave efectuează transferuri de date secvențiale între FIFO şi RAM, adică placa slave întrerupe unitatea CPU în mod repetat pentru a transfera date între memoria de pe placă şi memoria din computer. Când unitatea CPU este liberă, aceasta va efectua transferul de date şi va executa celelalte operații cerute, cum ar fi analiza numerică, display, stocare, etc. Placa de tip bus-master are capabilitatea de a face transferuri de date între FIFO şi RAM fără intervenția procesorului CPU, adică în timp ce datele sunt transferate, procesorul CPU efectuează alte operații, cum ar fi analiza numerică, display, control, etc. Folosirea plăcii plug-in PCI de tip bus-master imbunătățeşte eficiența utilizării procesorului CPU cu un factor de 10:1 față de situația în care placa PCI este de tip slave.

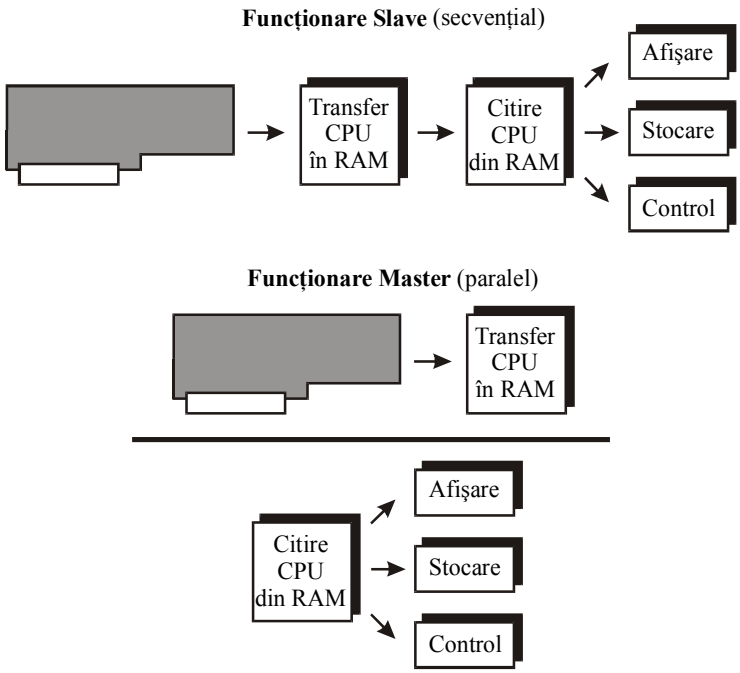


Fig. 4.4 Plăci de tip bus-master şi de tip slave.

4.5.2 IMPLEMENTAREA DMA PE PLACA DE TIP PCI BUS MASTER. CHIP-UL ASIC MITE.

Spre deosebire de bus-ul de tip ISA sau EISA, a cărui arhitectură standard include procesorul DMA controller 8237A, arhitectura standard a bus-ului de tip PCI lasă implementarea de bus master DMA la latitudinea (capabilitatea) vendorului de plăci plug-in.

Majoritatea vendorilor de plăci plug-in pentru platforma PCI vor introduce plăci (ieftine) de tip slave-board ce execută transferuri pe bază de întreruperi repetate ale co-procesorului. Există la ora actuală foarte.puţine plăci plug-in pentru platforma PCI cu facilităţi de bus-master, adică ce implementează transferuri de tip DMA între memoria FIFO a plăcii şi memoria RAM. National Instruments a devenit unul dintre producătorii de custom ASIC pentru implementarea DMA, prin introducerea chip-ului ASIC MITE ce implementează transferuri DMA de tip *scatter-gather*. Acest chip a fost inventat şi realizat special pentru ca plăcile plug-in în platforma PCI să poată beneficia de viteza teoretică maximă a busului PCI ce este de 132Mbytes/sec. Chip-ul MITE este un motor ce transferă date între memoria FIFO a plăcii de achiziţie şi memoria RAM, fără intervenţia co-procesorului. Chip-ul MITE implementează 3 canale de DMA şi buffer-e FIFO pentru minimizarea timpului necesar scrierii şi rescrierii de date ce are loc în timpul transferului. *Chipul MITE implementează transferuri de date de tip scatter-gather ce constitue o*

îmbunătățire față de tehnologia de transfer a chip-ului 8237A prin eliminarea necesității de reprogramare a procesorului DMA la fiecare sfârşit de pagină.

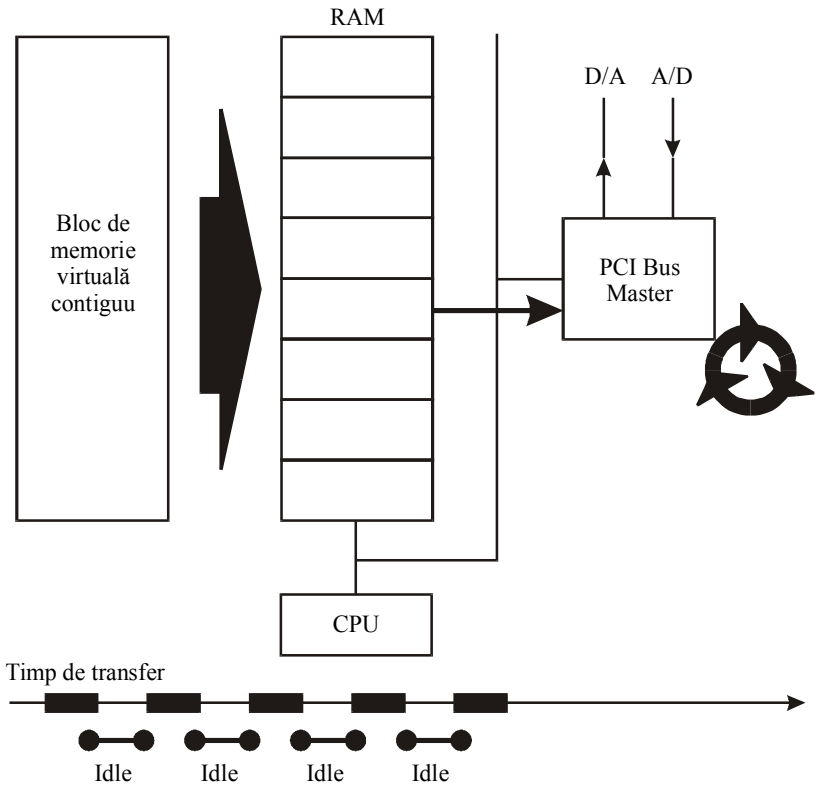


Fig. 4.5 Transfer *scatter-gather* (link-chaining).

Sistemele de operare cum este DOS-ul (Real-Time Operating Systems) au capabilitatea de a aloca aplicației un bloc compact de memorie fizică. Aceasta măreşte viteza de transfer DMA prin faptul că paginile de memorie în care datele sunt transferate sunt de lungime maximă (64k), deci numărul de reprogramări ale procesorului DMA 8237A, în timpul transferului este minimal. Dezavantajul pe care-l introduc aceste sisterne de operare este acela că memoria ce poate fi alocată este limitată (640Kbytes în DOS). Sistemele de operare evoluate, cum sunt Windows NT şi Windows 95 folosesc memorie virtuală, care arată din punctul de vedere al aplicației ca memorie compactă, dar este în realitate o colecție de segmente mici de memorie fizică ce sunt răspândite peste tot, adică au adrese de start şi lungimi diferite. În timpul tranferului DMA, procesorul 8237A trebuie reprogramat la începutul fiecărui segment nou ce primeşte date. Acest fapt încetineşte viteza de transfer. Chip-ul MITE implementează modul de transfer scatter-gather sau link-chaining, ce aduce următoarea îmbunătățire la tehnica de transfer: *înainte de transfer*, *chip-ul MITE este programat de către coprocesor cu adresele de început şi mărimile mai multor segmente de memorie fizică rezervate aplicației şi care vor primi date*. *Prin aceasta se elimină necesitatea de reprogramare repetată a procesorului DMA în timpul transferului*, *ceea ce conduce la creşterea vitezei de transfer*.

4.5.3 WINDOWS NT 4.0 ADUCE ÎMBUNĂTĂȚIRI IMPORTANTE PENTRU UTILIZATORII DE INSTRUMENTAȚIE VIRTUALĂ

Windows 95 şi Windows NT 4.0 sunt similare prin faptul că introduc următoarele îmbunătățiri față de Wndows 3.1:

- capabilitatea de a rula aplicații de 16 biți şi 32 biți;
- interfață grafică intuitivă;
- preemptive multitasking (capabilitatea de a executa aplicații diferite în acelaşi timp si capabilitatea de a aloca flecărei aplicații ce rulează segmente de memorie proprii, căderea unei aplicații să nu infulențeze pe celelalte ce rulează în acelaşi timp);
- arhitectură open network;
- Win32 API, OLE;
- ISA Plug and Play.

Windows NT aduce, în plus față de Windows 95, capabilitate multiprocessor, protecție completă, stabilitate, robustețe.

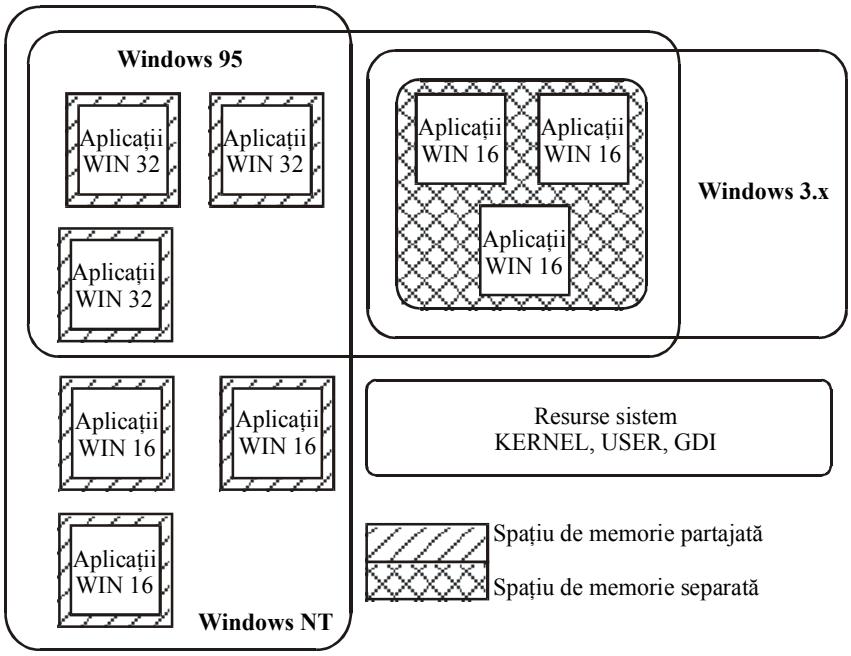


Fig. 4.6 Resursele sistem în cadrul Windows.

Stabilitatea unui sistem de operare depinde de structura de memorie pe care o foloseşte. Structurile de memorie din Windows sunt: User Memory şi Kernel Memory. Aplicațiile sunt plasate în User Memory, pe când driver-ele şi părțile critice ale sistemului de operare sunt plasate în Kernel Memory.

Windows 3.x are o singură zonă de adresare pentru toate aplicațiile de 16

biți care urmează a fi rulate. Dacă mai multe aplicații rulează în acelaşi timp şi una dintre ele cade, atunci întregul sistem de operare cade (se blochează) şi este necesară reboot-area sistemului.

Windows 95 îmbunătăţeşte considerabil această structură prin faptul că fiecare aplicație de 32 biți se execută în segmente de memorie separate. Asta înseamnă că aplicațiile de 32 biți ce rulează în acelaşi timp nu se influențează reciproc, adică o aplicație ce cade nu poate corupe spațiul de memorie al alteia ce rulează în acelaşi timp. Windows 95 păstrează structura de memorie comună pentru aplicațiile de 16 biți.

Windows NT introduce cel mai robust sistem pentru ca aplicațiile de 32 biți şi cele de 16 biți operează în segmente separate de memorie şi nu se pot influența reciproc.

Dacă foloseşti Windows NT faci următorul compromis: sacrifici viteza de execuție în operațiile de achiziție de tip single-point contra stabilitatea şi securitatea sistemului de operare. Încă din perioada lui Windows 3.x s-a pus problema îmbunătățirii stabilității sistemului de operare. Mulți utilizatori de instrumentație virtuală implementează aplicații critice ce nu pot "cădea", aplicații industriale de control continuu al unui proces unde nu viteza este importantă ci siguranța şi stabititatea în execuție. Modelul de memorie implementat de Windows NT protejează împotriva accesului de memorie "interzisă" de către aplicația utilizator, ce este sursa principală de cădere a sistemului de operare. Aplicația utilizatorului este plasată în zona de memorie User Mode (primii 0 - 2GB de memorie). Codul utilizatorului este validat de către sistemul de operare, după care este transmis zonei de memorie Kernel Mode (2GB - 4GB) ce conține driver-ele ce acționează direct asupra hardware-ului (cum este placa plug-in cu Ni-daq). *Deci, aplicația utilizator în Windows NT, nu adresează direct hardware-ul şi nu adresează direct kernel-ul. Aceasta întârzie execuția dar sporeşte securitatea*.

Orice încercare a unei aplicații utilizator de a accesa direct Kernel-ul duce la terminarea aplicației de către sistemul de operare, deci aplicația utilizator în Windows NT nu poate cauza căderea sistemului (visul utilizatorului din mediul industrial).

Stabilitatea sistemului de operare era argumentul forte al utilizatorilor ce vor să folosească sisteme de operare cum este DOS sau sisteme de operare proprii în care nu există suport la nivel de driver pentru aplicație.

4.5.4 TERENUL ESTE PREGATĂTIT PENTRU NOILE INSTRUMENTE DAQ

Dispunând de un coprocesor rapid, bus-ul PCI cu transfer DMA rapid şi eficient, sistem de operare Windows 95 sau Windows NT ce oferă stabilitate, drumul este deschis inovaţiei de instrumente virtuale specializate. Ce te împiedică să construieşti un instrument virtual în această platformă, instrument ce arată exact ca şi cel tradiţional, are aceeaşi funcţionalitate (inclusiv viteza) şi în plus beneficiază de toate facilităţile oferite de computerul ce-l găzduieşte?

National Instruments a elaborat primele instrumente DAQ specializate şi care vor face competiţie directă instrumentelor tradiţionale ale altor producători. De accasta dată este vorba de competiţie directă la nivel de acelaşi instrument, funcţie cu funcţie, panelă butoane, utilizare, etc.

Osciloscopul este unul dintre aparatele cele mai utilizate pentru vizualizarea formei de variaţie în timp a unor semnale sau a dependenţei unui semnal în funcţie de alt semnal.

Semnalele întâlnite în practică acoperă banda de frecvenţă de la 0 Hz la 50 GHz; existând, însă, atât semnale periodice cât şi semnale tranzitorii, acestea din urmă putând să fie caracteristice unor fenomene cu viteze de variaţie în timp foarte diferite, se utilizează o mare varietate de osciloscoape generată de marea diversitate a aplicaţiilor practice.

Osciloscoapele se clasifică în două categorii mari, principial diferite: *analogice* şi *numerice*.

Osciloscoapele analogice sunt primele apărute. Ele pot fi clasificate, la rândul lor, în osciloscoape de *uz general*, osciloscoape *cu eşantionare* şi osciloscoape *cu memorare pe tubul catodic*.

Osciloscoapele analogice de uz general sunt destinate aplicaţiilor cu caracter general, şi anume vizualizării semnalelor periodice cu frecvenţa de repetiţie de maxim 500MHz.

Osciloscoapele analogice cu eşantionare sunt adecvate vizualizării semnalelor periodice cu frecvenţa de repetiţie de până la 50 GHz.

Osciloscoapele analogice cu memorare pe tubul catodic sunt destinate vizualizării semnalelor tranzitorii (de la foarte lente până la foarte rapide).

Osciloscoapele numerice se deosebesc de cele analogice prin aceea că semnalele de vizualizat sunt mai întâi eşantionate, apoi convertite în formă numerică, memorate într-o memorie numerică, reconvertite în formă analogică şi apoi redate pe ecranul tubului catodic.

Apariţia şi dezvoltarea acestui tip de osciloscoape au fost posibile datorită progresului înregistrat în domeniile convertoarelor analog-digitale (CA/D) şi al tehnicii numerice.

Osciloscoapele numerice au banda de frecvenţă comparabilă cu cea a unui

osciloscop analogic de uz general dar oferă o serie de avantaje: precizie superioară, posibilități extinse de măsurare şi sincronizare, posibilitatea prelucrării numerice a eşantioanelor memorate. Un astfel de osciloscop poate îndeplini funcțiile mai multor aparate: voltmetru, numărător/frecvențmetru, analizor de spectru etc.

Baza de timp poate fi comandată de circuitul de sincronizare sau de dispozitivul de comandă. Acesta din urmă este, de regulă, realizat cu un microprocesor care furnizează toate semnalele de comandă necesare funcționării întregii scheme. În plus, acesta facilitează măsurarea diferiților parametri ai semnalului şi permite prelucrarea numerică a eşantioanelor sale.

O variantă perfecționată utilizează ca bază de timp un convertor digital-analogic (CD/A) comandat de microprocesor. La ieşirea acestui CD/A se obține o tensiune variabilă în trepte egale.

4.5.4.1 TEHNICI DE EŞANTIONARE UTILIZATE ÎN OSCILOSCOAPELE NUMERICE

Osciloscoapele numerice sunt, toate, osciloscoape cu eşantio-nare. Ca urmare, la aceste osciloscoape nu mai există, ca la osciloscoapele analogice de uz general, o corespondență biunivocă între punctele imaginii de pe ecran şi curba semnalului din care acestea provin. Se poate utiliza una dintre următoarele tehnici de eşantionare: eşantionarea secvențială, eşantionarea aleatoare şi eşantionarea în timp real.

Eşantionarea secvențială poate fi utilizată numai în cazul semnalelor periodice şi constă în prelevarea, în fiecare perioadă a semnalului de vizualizat, a unui singur eşantion, întârziat față de un moment de referință t_R de pe curba semnalului, cu o întârziere care creşte de la o perioadă la alta cu Δt. Întârzierea Δt este numită *pas de eşantionare*. Deşi perioada de eşantionare este $T + \Delta t$, perioada aparentă de eşantionare este Δt. Deoarece intervalul Δt poate fi făcut foarte mic, rezultă posibilitatea utilizării osciloscopului până la frecvențe mult superioare frecvenței de eşantionare. Spre exemplu, dacă se ia $\Delta t = 0{,}01 \cdot T$, frecvența de eşantionare este de 100 ori mai mare decât frecvența semnalului.

Eşantionarea secvențială reprezintă o eşantionare *în timp echivalent* deoarece redarea semnalului se face la o altă scară a timpului decât achiziția. Din aceeaşi categorie face parte şi *eşantionarea aleatoare*. Deosebirea față de eşantionarea secvențială constă în aceea că întârzierea (față de momentul de referință t_R) cu care este prelevat eşantionul se modifică aleator de la o perioadă la alta, astfel încât punctele memorate apar într-o succesiune aleatoare pe curba vizualizată a semnalului.

O altă tehnică utilizată în osciloscoapele numerice este eşantionarea *în timp real*, adecvată în cazul fenomenelor singulare şi al semnalelor de frecvență

relativ joasă, situații în care eşantionarea în timp echivalent fie că nu este aplicabilă, fie că reclamă un timp relativ mare pentru achiziția numărului necesar de eşantioane.

Comparând cele trei tehnici de eşantionare prezentate, se poate concluziona faptul că eşantionarea secvențială permite obținerea unei rezoluții temporale foarte bune datorită faptului că pasul de eşantionare poate fi făcut extrem de mic. Ea nu este însă adecvată pentru vizualizarea fronturilor crescătoare ale impulsurilor cu factor de umplere mic (informația de pe front se pierde). Eşantionarea aleatoare este ideală pentru vizualizarea fronturilor crescătoare ale impulsurilor datorită faptului că eşantionarea apare aleator în raport cu tactul osciloscopului. Eşantionarea în timp real permite achiziția şi recontituirea şi a fenomenelor singulare, cu condiția prelevării unui număr suficient de eşantioane.

4.5.5 DAQSCOPE

Instrumentul National Instruments DAQScope este un osciloscop pentru bus PCI, ISA şi PCMCIA, cu viteza maximă de digitizare de 20 MHz, trigger analogic şi transfer DMA al datelor în timp real.

Acest instrument intră în competiție directă cu osciloscoapele tradiționale realizate de alți vendori, după cum urmează:

	DAQScope 5102	CompuScope CS220	THM565 TekMeter	Fluke PM3335	HP 54603B
Canale de intrare	2	2	2	2	2
Frecventă maximă de eşantionare	20MS/s	20MS/s	25MS/s	20MS/s	20MS/s
Frecvență maximă de repetiție	1GS/s	-	-	-	10GS/s
Lungimea înregistrării	662kB	32kB	256kB	8kB	4kB
Rezoluția (biți)	8	8	8	8	8
Banda de frecvențe	15MHz	20MHz	5MHz	60MHz	60MHz
Trigger	analog şi digital	analog	analog	analog	analog

Instrumentul DAQScope este realizat în trei variante, în funcție de bus-ul calculatorului PC folosit: PCI-5102, AT-5102 şi DAQCard-5102.

Instrumentul DAQCard-5102 este singurul osciloscop cu 2 canale pe platformă PCMCIA ce poate fi cumpărat astăzi. Cea mai mare diferență dintre DAQScope şi osciloscoapele tradiționale este memoria: 662Kbytes la DAQScope comparat cu 2Kbytes la majoritatea instrumentelor tradiționale. Osciloscoapele tradiționale pot pierde puncte în procese de achiziții rapide, de tip continuu, la fiecare grup de 2048 de puncte culese. Nu este exculs ca vendorii de osciloscoape să migreze spre oferta de instrumente plug-in din cauza limitării de memorie de care nu pot trece dacă vor să fie competitivi la preț cu instrumentul DAQScope.

Instrumentul DAQScope poate fi utilizat în mod standalone (de sine stătător) folosind panel-ul din executabilul ce-l însoteşte, sau poate fi programat din LabVIEW, BridgeVIEW, LabWindows/CVI, VirtualBench sau Windows 3.x, 95 sau Windows NT.

Sunt prezentate în continuare specificațiile hardware complete ale instrumentului DAQScope PCI-5102/AT-5102/DAQCard-5102.

Input Characteristics	
Number of input channels	2 single-ended, simultaneously sampled
ADC resolution	8 bits, 1 in 256
Maximum sample rate	20 MS/s each channel in realtime mode, 1 GS/s with Random Interleaved Sampling mode
Maximum input range	±50 V with a 10 x probe (gain of 1) ±5V with a 1 x probe (gain of 1)
Input signal ranges	±5 V at gain of 1 ±1 V at gain of 5 ±0.25 V at gain of 20 ±50 mV at gain of 100 Input counting AC or DC, software selectable
Overvoltage protection	±42 V powered on or off (without external attenuation) ACHO, ACH 1, ATRIG are protected
Onboard FIFO memory depth	663,552 samples
Data transfers	Programmed I/O, interrupts and DMA (supported on the AT-5102 and PCI-5102 devices only)
Transfer Characteristics	
Relative accuracy	±1 LSB typ. ±1.8 LSB max
Differential nonlinearity	±0.3 LSB typ, ±0.5 LSB max
No missing codes	8 bits guaranteed
Offset error after calibration	±1.5 LSB max
Gain error after calibration	±1% max
Amplifier Characteristics	
Input impedance	1 MΩ ±1%, 30 pF ±10 pF
Dynamic Characteristics	
Bandwidth	
Small signal (-3 dB)	15 MHz typ.
Large signal (1% THD)	10 MHz typ.
AC coupling LF cutoff	11 Hz (1.1 Hz with 10x probe)

Settling for FS step to +1 %FSR	50 ns typ
System noise	0.5 LSB rms typ
Crosstalk	6.0 dB
S/H characteristics	
Interchannel skew	1 ns
Aperture jitter	1 μs
Stability	
Recommended warm-up time	15 minutes
Triggers	
Ana1og Trigger	
Source	ACH(0, 1), ATRIG
Level	± FS (ACH(0,1)), ±5 V (ATRIG), software selectable
Slope	positive or negative, software selectable
Resolution	8 bits, 1 in 256
Hysteresis	software programmable, up to full scale
Bandwidth	15 MHz
Digital Triggers	
Compatibility	TTL/CMOS
Response	rising or falling edge, software selectable
Pulse width	10 ns min.
RTSI	
Trigger lines	7 I/O
Clock lines	1
Power Consumption	
5V DC (±5%)	250 mA typ.

4.5.5.1 DE CE ESTE IMPORTANTĂ MĂRIMEA MEMORIEI ŞI VITEZA DE TRANSFER DMA LA UN OSCILOSCOP?

Există două arhitecturi pentru digitizarea (codificarea numerică) unui semnal: *Real Time Sampling* şi *Equivalent Time Sampling*.

Metoda de digitizare Real Time constă în codificarea punctelor discrete de semnal la viteza ceasului ce controlează achiziția, adică fiecare puls do ceas declanşează o conversie A/D ce se termină înaintea venirii următorului puls. Folosind această metodă, instrumentul DAQScope poate merge până la 20 MHz pe fiecare canal.

Metoda Equivalent Time Sampling (ETS) se aplică semnalelor repetitive şi este de două tipuri: *Sequential ETS* şi *Random Interleaved Sampling* (*RID*).

Convertorul de tip Sequential ETS culege un punct de semnal la fiecare trigger. Dacă semnalul are variație foarte rapidă (transient signal) această metodă "scapă" puncte irnportante de semnal (ca de altfel şi metoda Real Time).

Un alt inconvenient a metodei este acela că sunt necesare 1000 de perioade ale sernnalului. pentru a putea culege 1 000 de puncte din semnal.

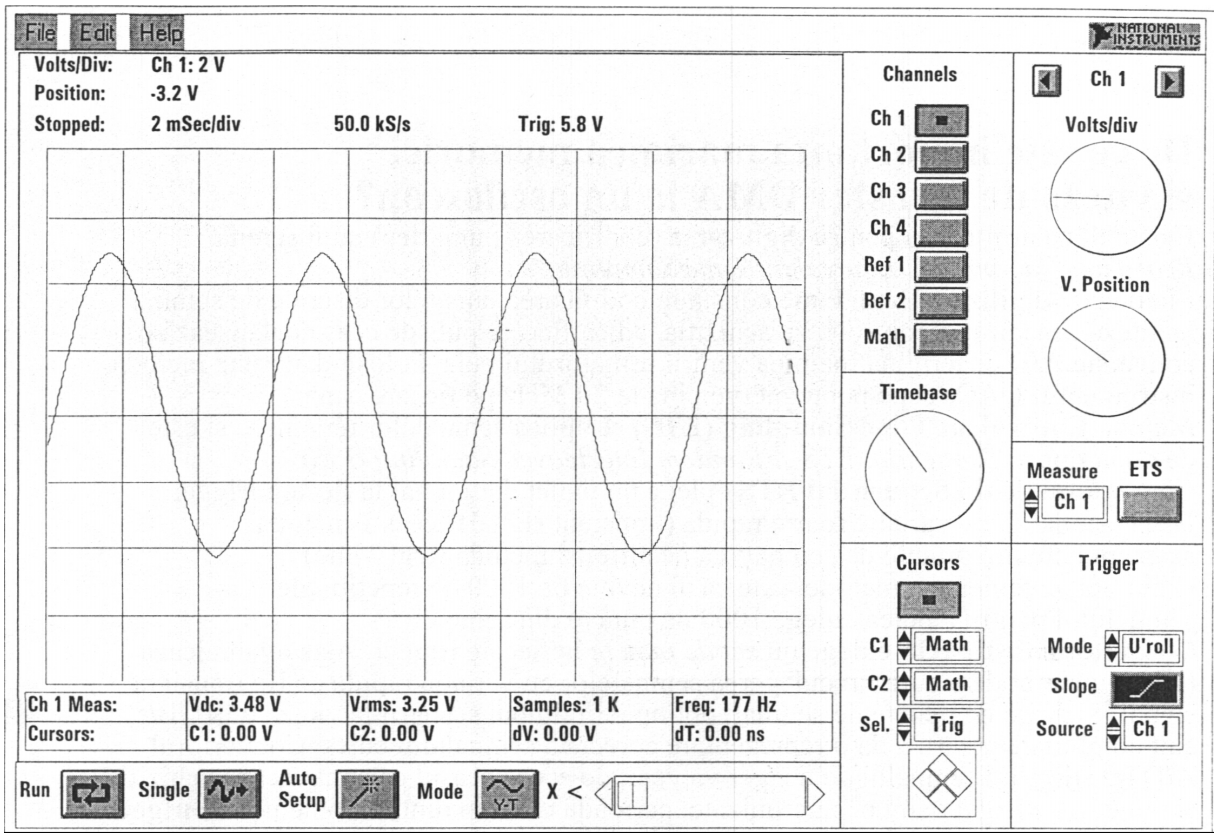


Fig. 4.7 Instrumentul virtual DAQScope.

Convertorul de tip RIS culege un *set de puncte* la fiecare trigger. Asta avantajează (singura metoda sigură) achiziționarea semnalelor cu variație rapidă de tip transient signal. Seturile de puncte de semnal, obținute în timpul scanării la viteza de 1 GB/s sunt combinate pentru a da o reprezentare corectă a semnalului achiziționat. Convertorul A/D nu ştie când va veni semnalul de trigger, de aceea ceasul care controlează achiziția şi punctul de trigger sunt nesincronizate, perioada de timp dintre momentul de trigger şi culegerea următorului set de puncte variind de la set la set.

RIS măsoară timpul dintre momentul de trigger şi conversia primului punct al setului, pentru fiecare set nou cules. Aceasta permite combinarea corectă a seturilor de puncte într-o imagine foarte curată a semnalului. Culegerea de semnale tranzitorii repetitiv la o viteză de 1GS/s, necesită memorie pentru a putea stoca seturile culese. Dacă nu există memorie suficientă fie ca nu se poate implementa metoda RIS, fie implementarea foloseşte seturi mici de date. Memoria mare şi transfer DMA rapid sunt deci absolut necesare pentru a putea implementa această metodă de digitizare.

4.5.6 DAQARB

Instrumentul virtual DAQArb este un generator de semnal cu viteza

maximă de generare de până la 40MHz, rezoluție de 12 biți (asigură o rezoluție de 10 mHz la o viteză de generare de 16 MHz), capabilitate **DDS** (**D**irect **D**igital **S**ynthesis) ce permite schimbarea vitezei de generare "on-the-fly", memorie de 4 MB până la 16 MB, filtre, atenuare şi implementare de secvențe. Acest instrument poate fi folosit ca generator de semnal definit sau arbitrar, fiind unul dintre cele mai avansate la ora actuală. Dintre posibilele aplicații, se pot menționa: controlul de mişcare, teste de modem, testare de materiale, testarea circuitelor integrate digitale, modulare PSK (Phase Shift Keying), simulări biomedicale, telemetrie, măsurare de răspuns de frecvențe, comunicare cu sateliți, radar, generare de impulsuri, testare de putere, testare video, testare aparatură electronică, aparat de măsură în industria automobilelor, telecomunicații, etc. DAQArb intră în competiție directă cu generatoare de semnal tradiționale oferite de alți vendori, astfel:

	DAQArb 5411	HP E1445A	HP E1340A	HP 33120A	Standford DS340
Tip	PCI/AT	VXI	VXI	tradițional	tradițional
Frecvență de generare	40 MHz	40 MHz	40 MHz	42 MHz	40 MHz
Memorie	4MB	256 kB	16 kB	16 kB	16 kB
Canale	1	1	1	1	1
Referință de clock extern	da	da	nu	da	nu
Amplitudine	±10V	±10V	±20V	±10V	±10V
Rezoluție	12 biți	12 biți	12 biți	12 biți	12 biți
Trigger-e	multiple, RTSI	multiple, VXI	multiple	multiple	unic
Format digi-tal de ieşire	16 biți	16 biți	-	-	-
Marker-e	da	da	nu	nu	nu
Impedanță de ieşire	50 Ω, 75Ω	50 Ω, 75Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω

Instrumentul DAQArb este disponibil pentru două platforme: placa AT-5411 pentru bus-ul ISA (panel şi aplicație VirtualBench-Arb pentru Windows NT/95/3.x, putând fi utilizată şi ca placă de achiziție normală din Ni-DAQ, LabView, BridgeView, LabWindows/CVI, C/C++, Visual Basic) şi placa PCI-5411 pentru bus-ul PCI.

4.5.7 DAQMETER

Instrumentul virtual DAQMeter este un multimetru digital de 5½ cifre, intrare AC/DC şi precizie de 0,02%, putând fi utilizat la măsurarea precisă a tensiunilor, curenților şi rezistențelor. Măsurarea tensiunilor continue se face în

intervalele de măsurare de: 20mV, 200mV, 2,0V, 25V şi 250V. Măsurarea tensiunilor alternative se face în intervalele de măsurare (valori efective) de: 20mV, 200mV, 2,0V, 25V şi 250V. Măsurarea rezistențelor se face în intervalele de măsurare de: 200Ω, 2kΩ, 20kΩ, 200kΩ, 2MΩ şi 20MΩ. Viteza de măsurare este de maxim 60 de citiri pe secundă.

Instrumentul DAQMeter este disponibil sub forma plăcii PCMCIA DAQCard-4050, fiind utilizată în computere laptop. Poate fi utilizat cu aplicația VirtualBench-DMM sau din LabView, BridgeView, LabWindows/CVI, Ni-DAQ 5.x. De fapt, placa DAQCard-4050 are la bază un convertor analog-digital de 24 de biți, deci teoretic s-ar putea implementa un multimetru digital cu 7 digiți. Rezoluția reală este de 5½ cifre din cauza unor factori externi, cum este zgomotul.

Instrumentul DAQMeter dispune de trei frecvențe de măsurare, şi anume 10Hz, 50Hz şi 60Hz.

	DAQMeter 4050	THM 565 TekMeter	Fluke PM 2525
Precizie tensiuni continue	0,02%	0,5%	0,02%
Game de intrare tensiuni continue	20mV...250V	400mV...850V	200mV...2000V
Precizie tensiuni alternative	max. 2%	2%	0,2%
Game tensiuni alternative	20mV...250V	400mV...600V	200mV...2000V
Precizie ohmmetru	0,05%	0,5%	0,1%
Game rezistențe	200Ω...20MΩ	400Ω...40MΩ	200Ω...200MΩ
Precizie curenți continui	0,1%	-	0,1%
Precizie curenți alternativi	max. 2%	-	max. 3%
Game curenți	1μA...10A	-	1μA...10A

4.6 SOFTWARE SPECIALIZAT PENTRU ACHIZIȚIA DATELOR

Avantajul decisiv al sistemelor de măsurare conduse de calculator, față de cele clasice constă în multitudinea de configurări posibile ale componentelor sistemului. Dacă în cazul elementelor de măsurare clasice, soluțiile şi rezultatele intermediare trebuiau reluate pentru fiecare domeniu de utilizare, sistemul de măsurare numeric condus de calculator poate realiza o acceaşi funcție, schimbându-se numai interfața cu utilizatorul pentru particularizarea acesteia în cazul aplicației date (deci necesitând numai o intervenție la nivel de software).

În cazul în care sistemul de măsurare gravitează în jurul unui PC, prin

utilizarea unui software standardizat (*S-Soft*) asociat echipamentelor de măsurare corespunzătoare, se pot realiza sisteme complexe, mobile sau nu, de achiziție de date, supraveghere sau comandă, particularizate în funcție de necesitatea utilizatorului. În acest mod, posibilitățile de analiză a datelor brute achiziționate şi comentariul pertinent al rezultatelor sunt mult extinse față de aria de utilizare a măsurărilor convenționale.

Soluționarea problemelor din gama "achiziției de date", a "monitorizării proceselor", a "comenzii" şi "reglării" acestora, precum şi a "analizei rezultatelor" prin software standardizat se poate face structurând, mai întâi, concepte construite flexibil şi care permit schimbul informațional între diversele planuri ale unei prelucrări numerice de date. Se vor detalia câteva dintre problemele ce însoțesc realizarea sistemelor moderne de măsurare, orientate, în ultimii ani, pe configurații ce au ca element central calculatorul personal. După ce a fost stablită configurația hardware a sistemului de măsurare, optarea pentru una din variantele de software (proiectarea unei aplicații dedicate, configurarea minimală a unuia dintre programele existente pe piața internațională în domeniul măsurărilor sau lăsarea la latitudinea utilizatorului final a acestei alegeri) ce trebuie să asigure prelucrarea, memorarea şi evaluarea rezultatelor măsurătorilor este un pas esențial, devenit din ce în ce mai dificil de făcut în ultimii ani.

4.6.1 SOFTWARE PENTRU ACHIZIȚIA DE DATE

Deşi se consideră că, în general, nu este necesar ca sistemul de calcul pentru achiziția de date să fie extrem de puternic, în condițiile în care aplicația implică o combinare a achiziției propriu-zise cu analiza şi reprezentarea grafică a datelor, exigențele transferate de la alte sisteme de software existente pe piață vor impune investiția într-o platformă hard puternică. Cele mai uzuale sisteme pentru controlul achiziției de date sunt PC-urile (generație 486 sau mai nouă) cu magistrala ISA (care permite transferuri pe 16 biți cu viteze de până la 500 kbyte/s; utilizând memorie FIFO, o logică specializată şi interfețe IEEE-488 se pot realiza viteze de transfer de până la 1,4 Mbyte/s), EISA (transfer pe 32 biți şi semnale suplimentare de control), PCI şi platforme ce utilizează magistrala Apple Macintosh II NuBus. Problema portabilității sistemelor de achiziție şi prelucrare numerică a datelor măsurate este, de cele mai multe ori, rezolvată de utilizarea Notebook-urilor a căror putere de prelucrare, stocare şi posibilități de comunicație pot acoperi până la 90% din necesitățile unei achiziții de date "portabile".

Paradigma "măsurari conduse de PC" a impus definiții pentru cerințele dar şi pentru reprezentarea capacității de a greşi a sistemelor de măsurare. În cele mai multe cazuri, astăzi decisivă nu este realizarea hardware, ci mediul software pus la dispoziție utilizatorului de sistemele de măsurare conduse de PC.

Una dintre cerințele esențiale ale acestor sisteme de măsurare este aceea că, pe lângă facilitarea comunicației cu aparate numerice inteligente, acestea să ofere o reprezentare în timp real a diverselor mărimi caracteristice procesului supravegheat. Din acest motiv, cerințele de mai sus pot fi clasificate în două categorii (fig. 4.8):

- cele relative la achiziția datelor;
- cele relative la prelucrarea numerică a informației achiziționate.

În ambele cazuri, însă, este necesară prezența facilității de evaluare interactivă a şirului de date.

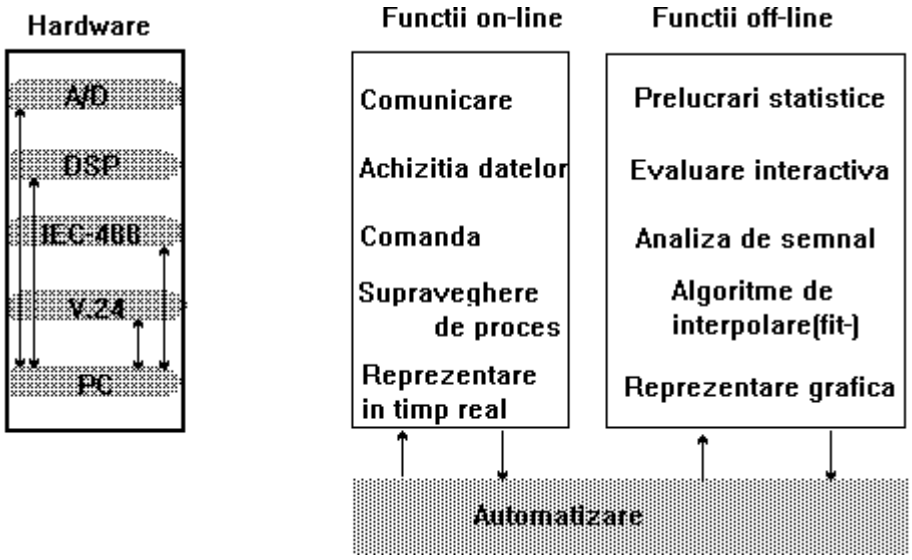


Fig. 4.8 Funcțiile unui pachet sofware dedicat sistemelor de măsurare.

Noțiunea de standard în domeniul software-ului nu este încă riguros fundamentată. De multe ori, prin acest termen se subînțelege una din variantele următoare:

- software care, datorită unei largi răspândiri, a devenit "standard";
- software care permite rezolvarea unor anumite probleme "standard", cum ar fi achiziția de date, trasarea curbelor de variație a unei anumite mărimi, interpolarea etc;
- software realizat pentru un anumit tip de calculator, devenit "standard" (de exemplu, pentru PC).

Cât timp nu au apărut norme privind achiziția, prelucrarea şi reprezentarea datelor măsurate, nu se poate vorbi de un standard, ci doar de criterii care pot uşura alegerea pachetelor de programe destinate domeniului măsurărilor. Aceste criterii vor fi detaliate în cele ce urmează:

- capacitatea de dezvoltare ulterioară permisă;
- gradul de "user friendly" al programelor utilizate;
- posibilitatea de a primi asistență tehnică din partea firmei

producătoare;
- independența față de aparatele utilizate (portabilitate relativă la sistemul de măsurare folosit);
- adaptibilitatea.

O problemă aparte o constituie sistemul de operare sub care aceste programe pot rula, distingându-se programe care sunt create pentru:
- ISA (Industry Standard Architecture); în general, acestea nu sunt utilizabile pe OS/2-PC sau stații Unix;
- maşini Unix şi calculatoare VMS (DEC); majoritatea au fost sau sunt în proces de "traducere" pentru PC; de exemplu, pachetul LabVIEW a fost conceput, inițial, pentru calculatoare Apple-Macintosh şi numai ulterior a fost disponibil pe PC, inclusiv varianta pentru Windows, iar acum şi varianta pentru stații SUN.

Deoarece în ultimii ani au apărut atât de multe sisteme de măsurare automate cu programele corespunzătoare, alegerea şi, mai ales, valorificarea integrală a unui astfel de software a devenit extrem de dificilă. Criteriile care pot fi utlizate pentru o eventuală clasificare a pachetelor de programe disponibile sunt: adaptibilitatea, viteza de lucru, uşurința în impelmentare.

Creşterea continuă a complexității hardware-ului şi a pretențiilor emise software-ului de prelucrare a datelor măsurate accentuează importanța şi valoarea unor *driver*-e soft (nivelul la care se programează direct regiştrii hard-ului de achiziție, îi administrează funcționarea şi îi asigură integrarea cu resursele calculatorului) cât mai bune. Pentru aceasta, un driver trebuie să asigure achiziționarea datelor în *background* cu o rată impusă de utilizator şi procesarea lor în *foreground*, controlul momentelor în care are loc transferul datelor către memorie şi integrarea completă cu platforma hard folosită. El trebuie să utilizeze cât mai eficient facilitățile oferite de sistemul de operare folosit dar să fie compatibil şi cu versiunile ulterioare ale acestuia. În aceste condiții se impune verificarea atentă a limitărilor în exploatarea resurselor sistemului hard (mai ales atunci când driver-ul este conceput de o firmă diferită decât cea care a proiectat suportul hard al aplicației). O astfel de verificare devine imperios necesară în cazul pachetelor integrate care acoperă toate aspectele unei achiziții de date şi care, deşi sunt utilizabile imediat, au o adaptabilitate limitată.

În elaborarea pachetelor software destinate aplicațiilor în tehnica măsurătorilor şi prelucrării digitale a informației sunt implicate toate marile firme care realizează platformele hard specifice astfel că, în ultimul timp, supremația netă a firmei National Instruments, prin proiectul concretizat în LabView este pusă sub semnul incertitudinii cât timp au apărut pe piața dedicată programe proiectate de firmele ce realizează sisteme complexe de măsurare - Hewlett-Packard, Siemens, Hydra, Keithley - programe care exploatează, şi ele, ideea programării vizuale şi a “băncii” de instrumente virtuale configurabile

pentru aplicația concretă. În această adevărată inflație de programe dedicate măsurărilor cu ajutorul fie al PC-ului (LabView, LabWin, DaisyLab, PowerPoint, HP VEE etc.) fie al stațiilor de lucru (DaisyLab), alegerea devine extrem de grea cât timp platforma hard disponibilă va trebui să integreze sisteme de măsurare proiectate individual cu aparate provenite de la firme diferite, totul pentru a realiza un sistem integrat în jurul unui PC pentru care, la rândul lui, soft-ul disponibil este într-o schimbare continuă. De aceea, în multe cazuri, se pot obține avantaje mari prin lăsarea pe seama soft-ului de firmă realizarea fluxului algoritmilor şi testarea acestuia iar programele dedicate aplicației să extindă, doar, funcțiile de prelucrare şi analiză a datelor. În vorbirea curentă, prin *standard* se înțelege o direcție, o normă, un stil, care, în general, se obține urmând cerințele obişnuite de calitate şi eficiență. Înțelesul cuvântului variază, de fapt, între limitele rigide ale etalonului (metrologiei, chiar) şi cele caracteristice unei orientări în genul tematicii standard abordate de un anumit artist (pictor, de exemplu). În domeniul programelor de calcul, noțiunea de standard poate astăzi să releve mai multe aspecte: pe de o parte, faptul că într-un anumit domeniu de utilizare, cu toată diversitatea de produse existente pe piață, fabricanți diferiți înglobează în produsul lor un anumit modul software (de exemplu, cel de comunicație serială pentru diverse instrumente numerice-PC). Aici intervine compatibilitatea dintre diversele produse software care au ca obiectiv îndeplinirea unei aceeaşi funcții şi, ca avantaj, este de reținut cel al costului redus al consultanței necesare în fiecare caz.

Un alt aspect este cel al furnizorului de pachete software. Din acest punct de vedere se poate defini programul standard tocmai prin ceea ce el nu este, şi anume, o colecție de module software standard.

Cea mai importantă definiție ar trebui, însă, să facă apel la sistemul de operare sub care programul în discuție rulează. Facilitățile, etaloanele şi chiar "standardele" acestui mediu vor determina şi programele adiacente. În fig. 4.9 este reprezentat un astfel de sistem de operare (sau mediu de programare, în cazul nostru) împreună cu elementele sale "standard". O definiție neambiguă a software-ului standard reiese din observația că acesta trebuie să pună la dispoziție funcții standard unor probleme standard, în vederea construirii unor soluții (mai mult sau mai puțin) standard. În afară de necesitatea ca pachetul de programe să corespundă în limite predefinite unor cerințe caracteristice domeniului de utilizare, programele trebuie să îndeplinească şi anumite condiții specifice domeniului informatic, precum şi, în plus, să fie compatibil cu acele soluții hardware impuse de utilizator. De exemplu, pentru software-ul din domeniul măsurărilor electrice, este esențială centrarea acestuia pe soluții hardware anumite (PC, stații Unix, rețea intra- sau internet) şi protocoale de comunicație adecvate interfețelor specializate (RS-232C, IEEE-488, etc).

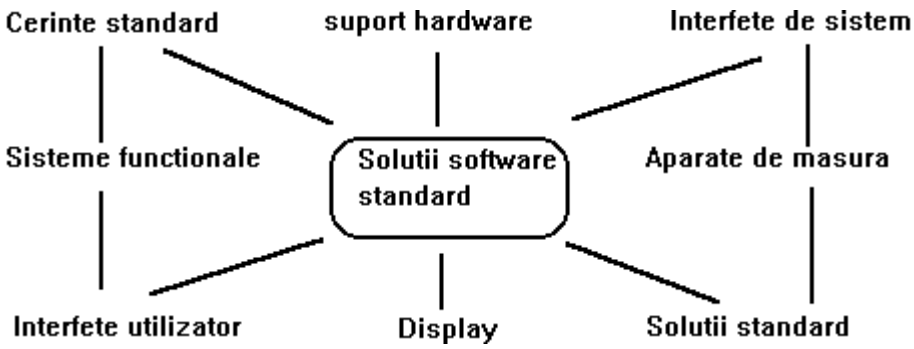


Fig. 4.9 Elementele standardizate într-un sistem de măsurare informatizat.

4.6.2 DETALII PRIVIND CERINȚELE IMPUSE UNUI PACHET SOFTWARE PENTRU MĂSURĂRI ELECTRICE

Pentru utilizatorii de software standardizat, dar şi pentru aceia care vor să integreze produse soft ale unei alte firme în produsul propriu, decizia **pentru** sau **împotriva** unui anumit pachet este adesea greu de luat, chiar în condițiile în care prețul produselor subiect al deciziei este simțitor diferit.

Hotărâtor este întotdeauna răspunsul la întrebarea dacă o anumită soluție este economică sau nu. Criteriile pe baza cărora se stabileşte dacă prelucrarea numerică a datelor cu ajutorul PC-ului este **economică**, sunt detaliate în cele ce urmează:

- **condițiile impuse de către utilizator**:
  - limba în care se doreşte proiectarea şi interfațarea cu utilizatorul a software-ului;
  - modul de introducere/preluare a datelor;
  - intervalul de timp de utilizare minim;
  - intervalul de timp de utilizare repetitivă;
  - gradul de explicitare al modulelor componente;
  - viteza de lucru;
  - gradul de dependență față de datele necunoscute;
  - capacitatea de ghidare/help oferită utilizatorului;
  - gradul de standardizare;
  - asistența tehnică în caz de anomalii.
- **flexibilitate**:
  - modularitate;
  - capacitatea de integrare;
  - independența față de sistem (portabilitatea);
  - posibilitatea de a pre-seta un anumit tip de măsurări.
- **performanța**:
  - fiabilitatea (protecția la greşelile utilizatorului, rată de eroare mică);

- resursele hard/soft cerute;
- gradul de generalitate;
- numărul şi tipul funcțiilor implementate;
- posibilitatea implementării unor funcții speciale de către utilizator.

În final, se compară calitatea produsului cu costul software-ului. S-a observat că practica de până acum şi anume accea de a proiecta propriul pachet de programe în loc de a apela la un software standardizat, aproape că **a disparut**, din motive economice.

Înaintea alegerii pachetului software, este necesar însă să se verifice care dintre funcțiile sistemului trebuie implementate, pentru că nu întotdeauna se impune realizarea tuturor acestora.

A. Comanda aparatelor de măsurare şi/sau a procesului:

- este software-ul compatibil cu aparatele de măsurare necesare (şi care, în general, nu sunt cunoscute a priori) sau, cel puțin, are drivere pentru interfețele acestora (RS, HPIB etc.)?
- care este gradul de deschidere al sistemului: ce interfețe software sunt disponibile pentru a suplimenta lipsa unor elemente de comandă?
- cerințele de viteză sunt satisfăcute, de exemplu, pentru transferul datelor?
- care este dimensiunea complexității sistemului supravegheat?
- este o aplicatie în timp real sau nu?

B. Achiziția datelor:

- datele trebuie achiziționate on-line şi în timp real?
- ce se înțelege, pentru aplicația dată, prin timp real?
- unde este localizată gâtuirea (punctul slab) al canalului de achiziție/prelucrare a datelor?
- în cazul card-urilor de tip plug-in pentru PC:
  - există drivere şi pentru alte module hard, în afară de cele furnizate de firma producătoare a software-ului utilizat?
  - se pot implementa drivere pentru hard propriu?
  - există o concepție unitară relativă la driverele soft?
  - este neceară o programare la nivel de regiştri?
  - viteza de rulare este compatibilă cu rata de transfer pe suportul fizic (hard) şi este posibilă o scriere continuă pe acest suport, urmând ca prelucrarea să se facă ulterior?
- interfețe seriale:

  - există un modul cu interfața suficient de detaliată pentru comunicația cu interfața serială?
  - există drivere specifice noilor interfețe seriale (multiple)?
- interfețe CEI-625
  - sunt livrate deja drivere pentru aparate standard interfațate CEI?
  - se poate realiza un astfel de driver?
  - este deja disponibilă o interfață de nivel înalt pentru cele mai importante funcții CEI625?
- formate nestandard
  - este necesar să se schimbe date sau fişiere cu alte sisteme? Ce formate de scriere/citire sunt permise de rutinele software-ului? (ASCII, binar etc.) Există rutine de conversie (filtre)?

C. prelucrarea preliminară:

- ce funcții sunt necesare? (de ex.: calibrări, liniarizări de caracteristici, scalare, filtrare, compresie de date).

D. prelucrarea datelor:

- cât de puternice sunt bibliotecile de funcții?
- ce clase de funcții sunt cuprinse?
  - aritmetica semnalelor (conectarea semnalelor)
  - analiza în timp (determinarea valorilor caracteristice)
  - analiza în frecvență (FFT, spectre, convoluție, corelație)
  - regresie
  - statistică
  - interpolare
  - aproximări
- ce tipuri de date sunt admise? (intregi, reale în virgula fixă/mobilă)
- este necesară o prelucrare on-line? până la ce frecvență maximă a semnalelor?
- este necesară implementarea pe DSP-board?

E. Reprezentarea grafică:

- posibilități de reprezentare grafică generale;
- tehnica ferestrelor multiple
- mai multe curbe, axe, pe o aceeaşi fereastră;
  - zoom;
  - măsurări cu cursorul;
  - axe logaritmice;

  - reprezentări 3D;
  - posibilitatea reprezentărilor personalizate a altor tipuri de grafice;
  - configurarea detaliilor (culori, for/background).
- este posibilă o reprezentare grafică on-line? până la ce frecvență?
- ce drivere de imprimantă sunt suportate sau există doar facilitatea hardcopy? care este rezoluția maximă de printare? (şi analog pentru plotter)
- se pot salva datele aferente unui grafic într-un fişier cu format standard (PCX, TIFF, EPS)?

F. Stocarea datelor:

- este formatul în care se salvează datele specificat complet?
- este asigurată o protecție a datelor împotriva eventualelor greşeli de scriere (mai ales pentru formatele ASCII) ?
- există interfețe de conversie pentru suportul datelor în alte limbaje standard (dBASE, Lotus etc.)?
- este prevăzută comprimarea datelor?

G. Documentarea/prezentarea rezultatelor:

- există forme pre-definite pentru protocoale de măsurare?
  - înscrisuri;
  - antetul firmei;
  - inserție de desene;
  - legendă.
- sunt compatibile astfel de protocoale cu programele standard de procesare text?

Chiar dacă obiectul unei măsurări conduse de calculator poate îmbrăca diverse forme, există un mare număr de caracteristici comune acestor măsurări, astfel că se poate spune că, în general, orice sistem de automatizare (achiziție/prelucrare numerică/arhivarea rezultatelor) este guvernat de un software standard în sinergie cu un software specializat.

Este extrem de importrant pentru utilizatori să existe posibilitatea ca cerințele unei activități concrete să fie îndeplinite prin implementarea unor funcții specifice în cadrul software-ului. Această cerință a condus la formularea conceptului de interfață deschisă, prin care programatorul îşi inserează creativitatea şi soluțiile proprii. Un alt avantaj este acela că utilizatorul rămâne independent față de casa de software producătoare a pachetului standard.

4.6.3 SCPI (STANDARD COMMANDS FOR PROGRAMMABLE INSTRUMENTATIONS)

Scopul standardului SCPI este acela de a facilita reducerea timpului de dezvoltare pentru programele implementate în sistemele de măsurare şi control precum şi de a permite schimbarea aparatelor (eventual produse de firme diferite) în cadrul unui aceluiaşi sistem de măsurare condus de calculator. Acest lucru se realizează prin introducerea unor comenzi standardizate către aparate şi a unor tipuri posibile de răspuns al acestora. Spre exemplu, comanda:

"MEASURE:FREQ?"

are aceeaşi sintaxă pentru toate aparatele de un anumit tip (de exemplu, multimetre) fabricate de diverşi producători - consistență verticală - dar şi pentru aparate cu funcții diferite (de exemplu, osciloscoape, numărătoare) - consistență orizontală.

SCPI nu este un limbaj de programare (cum sunt, de exemplu, Pascal sau C), ci un limbaj de comenzi care defineşte comenzile către aparate, parametrii şi formatul acestora. SCPI furnizează un şir de caractere ASCII care vor fi transmise prin rutine specifice aparatelor unde vor fi, apoi, prelucrate prin intermediul limbajului **TMSL** (*Hewlett-Packard's Test and Measurement System Language*).

SCPI s-a dezvoltat, în principal, păstrând o compatibilitate cu norma IEEE-488 şi utilizând formatul de date al acestei norme. Cu toate acestea, utilizarea SCPI nu este limitată la interfața IEEE-488, comenzile acestuia putând fi transmise şi prin interfețele VXI sau RS-232 şi, în plus, fiind continuu supus completărilor necesitate de dezvoltarea hardware-ului specific, în urma recomandărilor făcute de un consorțiu de firme, alcătuit din reprezentanți ai leader-ilor pe piața instrumentelor de măsurare: Hewlett-Packard, Tektronix, Fluke (Philips), Keithley, Rohde&Schwarz etc.

Cu toate că SCPI defineşte comenzile specifice aparatelor de măsurare "inteligente", nu sunt indicate nici un fel de date tehnice privind exactitatea, rezoluția, domeniul de măsurare ale acestora; astfel nu poate fi în totalitate garantată compatibilitatea aparatelor în cadrul unui sistem comandat prin intermediul SCPI.

Blocurile funcționale ale aparatelor

SCPI împarte fiecare aparat în blocuri funcționale (fig. 4.10), cărora le subordonează un aşa-numit arbore de comenzi (*subtree*) exemplificat în fig. 4.11.

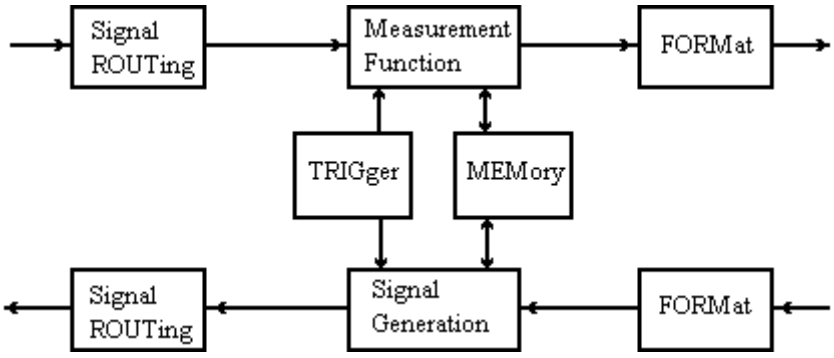


Fig. 4.10 Modelul SCPI al unui aparat programabil.

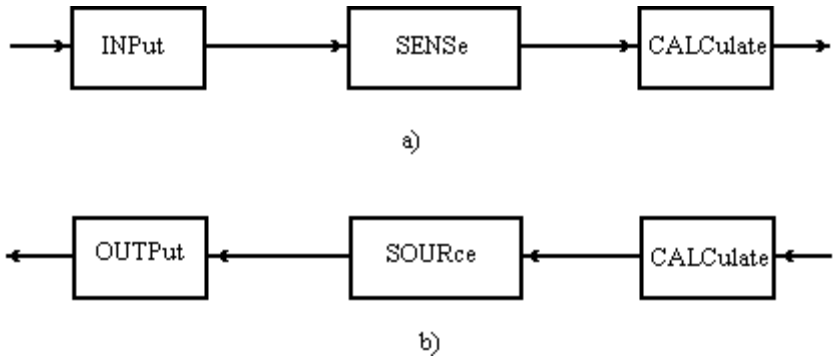


Fig. 4.11 Detalierea unei funcții SCPI:
a) funcția de măsurare; b) funcția de generare a semnalului.

În cele ce urmează sunt detaliate semnificațiile termenilor utilizați în fig. 4.10 şi 4.11:

ROUTing	Comanda căii de semnal între bornele aparatului şi funcția de măsurare internă;
MEASurement	Conversia semnalului fizic în valoare măsurată (format de date intern), inclusiv operația de condiționare a semnalului;
INPut	Condiționarea semnalelor de intrare (amplificare, atenuare, filtrare etc)
SENSe	Conversia semnalului fizic aplicat la bornele de intrare în valoare măsurată şi stabilirea intervalului de măsurare;
CALCulate	Conversia valorii măsurate (de ex., în alte unități sau determinarea timpului de creştere al semnalului);

Signal Generation	Conversia valorilor numerice în semnal fizic, inclusiv condiționarea acestuia;
OUTPut	Condiționarea semnalelor de ieşire;
SOURce	Conversia valorilor numerice în semnale fizice;
TRIG	Sincronizarea, triggerarea operațiilor de măsurare sau generare a semnalelor;
MEMory	Funcția de memorare internă a datelor;
FORMat	Conversia formatelor de date pentru transfer extern (de ex. în format ASCII);

În fig. 4.12 este reprezentată structura arborescentă a blocului funcțional de măsurare de sensibilitate SENSe şi a cărei sintaxă este:

:SENS:CURR:AC:RANG:AUTO:DIR:EITH

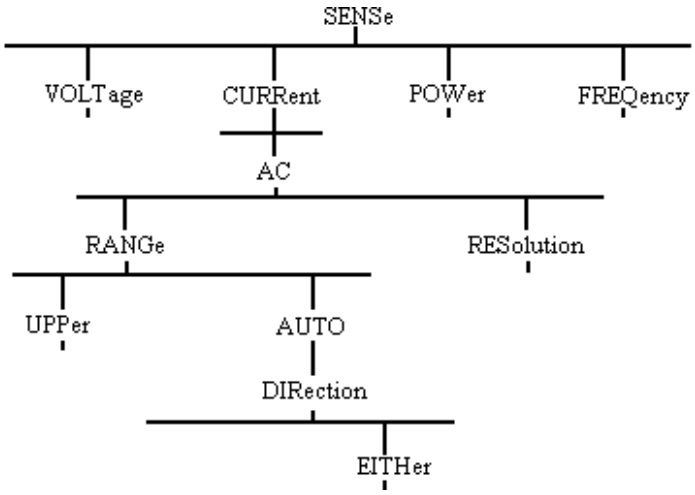


Fig. 4.12 Structura arborescentă a comenzii SENSe.

Nivelele structurale ale comenzilor

Comanda aparatelor de măsurare prin intermediul SCPI se face utilizând mai multe niveluri ale acestora:

- **Secvența de comenzi 1 (Low Level)**:

*RST	Resetarea aparatului
:FUNC:VOLT:AC	Selecția funcției de măsurare a tensiunii alternative
:INP:IMP 50	Selectarea impedanței de intrare de 50 Ω
:INIT:IMM	Triggerarea operației de măsurare
FETCh:VOLT:AC?	Înscrierea valorii măsurate în bufferul de ieşire

- **Secvența de comenzi 2 (High Level)**:

*RST	Resetarea aparatului
:MEAS:VOLT:AC?	Configurarea aparatului, măsurarea şi înscrierea valorii măsurate în buffer-ul de ieşire

Observație: Comenzile de nivel 2 (High Level) necesită mai puține cunoştințe relative la partea hardware a echipamentului de măsurare dar necesită un grad de compatibilitate ridicat între aparatele ce eventual vor îndeplini aceeaşi funcție. De câte ori, însă, utilizăm configurări diferite de cele uzuale, se recomandă inserarea comenzilor de nivel 1 (low level).

Sintaxa

Program Header grupează cuvintele cheie cu ajutorul cărora se recunoaşte o anumită comandă. Aparatele trebuie să accepte comenzi scrise atât cu litere mari cât şi cu litere mici, grupate în :

- ***Common Command Headers***
- ***Instrument Control Headers***

Fiecare ***Instrument Control Header*** are **şi** o formă de scriere prescurtată. Un aparat comandat prin SCPI trebuie să accepte instrucțiuni exprimate în forma completă (lungă) sau cea scurtă, abaterile de la una dintre acestea fiind semnalizate ca eroare de sintaxă. Forma lungă a comenzii este constituită dintr-un singur cuvânt (maxim 12 caractere, primul din ele fiind literă mare), iar forma scurtă este constituită din primele patru caractere ale celei anterioare, cu excepția cazului când ultimul este o vocală şi nu mai este scris.

Comenzile SCPI se structurează **ierarhizat**, nivelele fiind separate în interiorul unei comenzi prin separator.

Dacă un aparat are mai multe canale de măsurare identice, atunci la sfârşitul fiecărui mnemonic se adaugă numărul canalului, implicit fiind considerat canalul numărul 1.

Majoritatea comenzilor există şi în varianta în care şirului de comandă i se adaugă sufixul "?", caz în care aparatului i se cere răspunsul către calculator (valoarea măsurată), fără a mai fi nevoie de explicitarea unui *header* pentru aceasta.

Starea de bază după resetarea unui aparat

După primirea comenzii de resetare (*RST), toate aparatele de măsurare accesate prin SCPI se vor găsi într-o stare de bază, definită anterior printr-un alt set de comenzi SCPI. Ca regulă generală:

- toate aparatele trebuie să treacă în modul "*Trigger Idle State*", ieşirile trebuind deconectate;
- configurarea semnalelor de intrare trebuie făcute fie pe domeniul implicit (*Autorange*) fie pe cel corespunzător rezoluției minime;
- aparatele trebuie să rămână în modul de funcționare (funcția) de bază.

Interpretarea stării (Status Report)

În SCPI este inclusă realizarea completă a modului de interpretare a stării corespunzător normei IEEE-488.2, inclusiv cel al regiştrilor de stare (*Device Status Reporting*). În plus, SCPI posedă comenzi corespunzătoare regiştrilor de operare (***OPER****ation Status -Register*) şi de interogare (***QUES****tionable Daten/Signal Status-Register*). În ***OPER****ation Status -Register* se reflectă stările actuale ale aparatului:

Valoare	Stare
0	CALibrating
1	SETTling
2	RANGing
3	SWEping
4	MEASuring
5	waiting for TRIG
6	waiting for ARM
7	CORRecting
8	available to Designer
9	available to Designer
10	available to Designer
11	available to Designer
12	available to Designer
13	INSTrument Summary Bit
14	PROGram running
15	= 0

În ***QUES****tionable Data/Signal Status-Register* se mențin date referitoare la semnalul măsurat (de exemplu tensiunea, frecvența, timpul etc.) astfel că fiecare bit al acestui registru reprezintă suma a 16 biți din regiştrii prevăzuți în amonte.

5. PREZENTAREA MICROCONTROLLERULUI 80C552 (PHILIPS)

5.1 ARHITECTURA HARDWARE A MICROCONTROLLERULUI 80C552

5.1.1 MEMORIA INTERNĂ A MICROCONTROLLERULUI 80C552

5.1.1.1 MEMORIA DE PROGRAM (PROGRAM MEMORY)

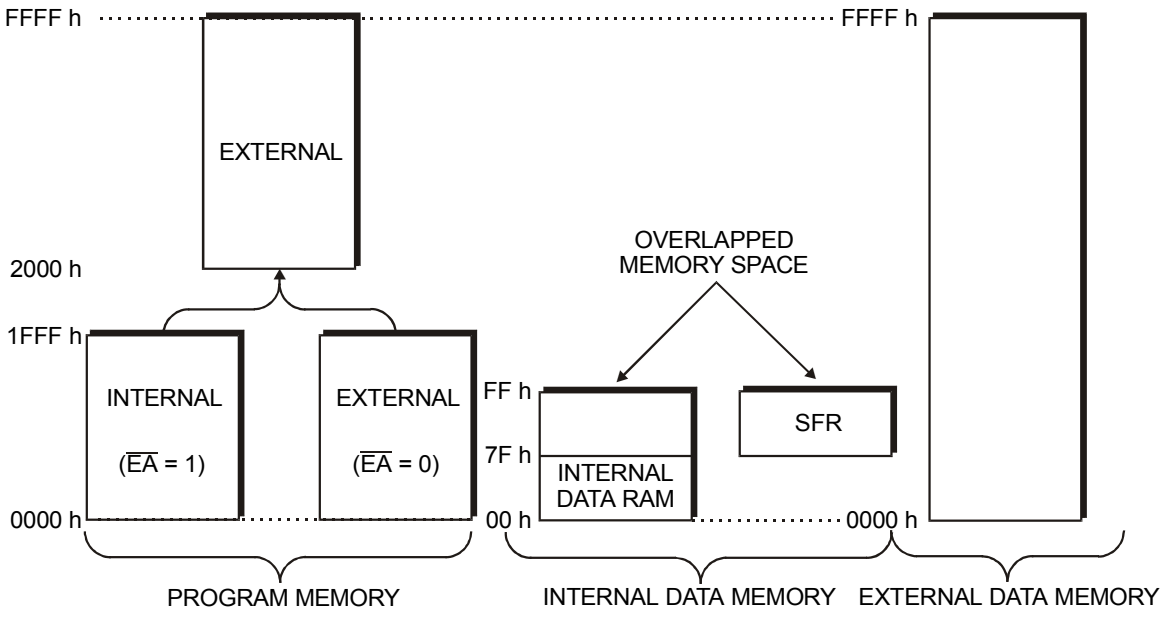


Fig. 5.1 Memoria microcontroller-ului 80C552.

Familia 8XC552 conține 8 kocteți de memorie de program implementată intern, memorie ce poate fi extinsă la 64 kocteți prin utilizarea unei memorii EPROM externă (fig. 5.1). Atunci când pinul EA este forțat la nivel ridicat, microcontroller-ul citeşte instrucțiunile (ciclu de ***fetch***) din memoria internă de program dacă adresa acestora este inferioară valorii 1FFFH. Locațiile cu adrese cuprinse între 2000H şi FFFFH corespund memoriei externe de program. Atunci când pinul EA este forțat la nivel coborât, toate ciclurile de ***fetch*** (ciclurile de citire a instrucțiunii) sunt executate din memoria externă de program. Locațiile

de memorie de program cu adresele 0003H şi 0007H sunt utilizate de rutinele de tratare a întreruperilor.

5.1.1.2 MEMORIA DE DATE (DATA MEMORY)

Microprocesorul conține o memorie internă cu citire/scriere cu adrese cuprinse între 00H şi FFH. Aceasta este organizată pe trei secțiuni:

- zona inferioară a memoriei de date, cu capacitatea de 128 octeți, având adrese cuprinse între 00H şi 7FH. Adresarea acestei zone zone de memorie se poate face direct sau indirect;
- zona superioară a memoriei de date, cu capacitatea de 128 octeți. Această zonă de memorie poate fi adresată numai indirect;
- zona registrelor destinate funcțiilor speciale, cu capacitatea de 128 octeți.

Cei 128 octeți ai zonei inferioare a memoriei de date sunt organizați astfel:

- primii 32 de octeți (cu adrese cuprinse între 00H şi 1FH) sunt împărțiți în 4 bancuri de căte 8 octeți numite şi registre generale şi care pot fi apelate în instrucțiuni ca R_0-R_7. Selectarea unuia dintre bancuri la un moment dat se realizează cu ajutorul a doi biți din cuvântul de stare al progamului (PSW). Aceste registre pot fi accesate şi la nivel de bit;
- 16 octeți cu adrese cuprinse între 20H şi 2FH, care pot fi adresați şi ca un spațiu de 128 de biți cu adrese cuprinse între 00H şi 7FH.

Zona superioară de memorie şi zona registrelor destinate funcțiilor speciale împart acelaşi spațiu al adreselor de memorie cuprinse între 80H şi FFH, deşi ele sunt entități fizice distincte. Nu toți cei 128 octeți ai zonei registrelor cu funcții speciale sunt implementați fizic. Registrele destinate funcțiilor speciale ale căror adrese se termină în 0H sau 8H pot fi adresate şi la nivel de bit.

Pe lângă cei 256 de octeți de date ai memoiei interne, microprocesorul poate adresa şi până la 64 Kocteți de memorie externă de date. Adresele memoriei de date externă pornesc tot de la 0000H. Adresa pentru memoria externă poate fi pe un octet sau pe doi octeți. Liniile portului de intrare-ieşire P_0 se folosesc multiplexat pentru a obține octetul inferior al adresei de memorie, respectiv octetul de date citit/scris în memorie. În cazul în care adresa de memorie este de un octet (octet conținut într-unul din registrele generale ale bancului de registre activ), acesta se poate folosi în conjuncție cu un număr de linii ale portului de intrare-ieşire P_2 care paginează memoria. Dacă adresa este pe doi octeți, aceasta este conținută în registrul destinat funcțiilor speciale DPTR, iar adresarea memoriei se relizează folosind cele 16 linii ale porturilor de intrare-ieşire P_0 şi P_2.

5.1.1.3 REGISTRELE CU FUNCȚII SPECIALE

Cele mai multe dintre cele 56 de registre speciale se folosesc pentru controlul ***hardware***-ului de periferice aflat pe cip. Altele sunt registre aritmetice (ACC, B, PSW), indicator al stivei (SP), indicatoare de date (DPH, DPL). 16 dintre aceste registre pot fi adresate la nivel de bit. În continuare vor fi prezentate registrele cu funcții speciale cele mai des folosite.

Acumulatorul - este registrul implicit pentru multe instrucțiuni. În cadrul unei instrucțiuni este apelet cu numele **A**. Adresa sa directă este E0H. Poate fi adresat şi la nivel de bit. Conținutul său devine 00H la resetarea microprocesorului.

Registrul B - este utilizat obligatoriu în instrucțiunile de înmulțire şi împărțire. Poate fi folosit şi în alte instrucțiuni. Adresa directă este F0H. Poate fi adresat şi la nivel de bit. Conținutul său devine 00H la resetarea microprocesorului.

Cuvântul de stare al programului (***PSW***) - conține informația de stare. Denumirile şi semnificațiile celor 8 biți ai PSW sunt date mai jos:

(MSB)							(LSB)
CY	AC	F0	RS_1	RS_0	OV	-	P

- **CY** (**PSW.7**) - indicatorul de transport din bitul cel mai semnificativ al acumulatorului, în cazul instrucțiunilor aritmetice;
- **AC** (**PSW.6**) - indicatorul de transport auxiliar. Se foloseşte pentru operații în BCD;
- **F_0** (**PSW.5**) - indicatorul 0 folosit de utilizator;
- **RS_1** (**PSW.4**) şi **RS_2** (**PSW.3**) - folosiți pentru selecția bancului activ al registrelor generale. Sunt setați sau resetați prin program pentru a selecta bancul dorit;
- **OV** (**PSW.2**) - indicatorul de depăşire;
- **P** (**PSW.0**) - indicatorul de paritate. Este setat sau resetat prin ***hardware*** la fiecare ciclu de instrucțiune pentru a indica numărul de 1 (par sau impar) din acumulator.

  Adresa directă a PSW este D0H.

Indicatorul de stivă (***SP***) - este un registru de 8 biți. Este incrementat înainte de execuția unei instrucțiuni PUSH sau CALL. Este decrementat după execuția unei instrucțiuni POP sau RET. La resetarea microprocesorului este inițializat la valoarea 07H, deci stiva începe de la adresa 08H. Poate fi încărcat prin program, deci stiva poate începe de la orice adresă. Adresa directă este 81H.

Indicatorul pentru date (***DPTR***) - este format din doi octeți, cel de

adresă mai mare fiind apelat ca DPH, iar cel de adresă mai mică fiind apelat ca DPL. El păstrează o adresă de 16 biți pentru apelarea memoriei RAM externe (dacă aceasta există). Poate fi manevrat ca un singur registru de 16 biți sau ca două registre de 8 biți. Adresa directă este 82H.

Registrele porturi $\mathbf{P_0 \div P_5}$ - sunt registrele ***latch*** pentru porturile de intrare-ieşire $P_0 \div P5$. Când se scrie o informație într-un bit al unui registru, aceasta apare la pinul de intrare-ieşire corespunzător. Când se citeşte informația de la un port de intrare-ieşire, aceasta este memorată în registrul port corespunzător. La resetarea microprocesorului registele P_0 la P_4 sunt inițializate cu valoarea 00H. Adresele directe ale acestor registre sunt: P_0 - 80H, P_1 - 90H, P_2 - A0H, P_3 - B0H, P_4 - C0H, P_5 - C4H. Registrele $P_0 \div P_3$ sunt adresabile şi la nivel de bit.

Buffer serial de date (***S_0BUF***) - este compus de fapt din două registre separate de 8 biți având aceeaşi adresă directă, unul pentru transmisie şi altul pentru recepție, folosite pentru interfața serială SIO_0. Când un octet de date este scris în S_0BUF, acesta este introdus în ***buffer***-ul pentru transmisie şi delanşează începutul transmisiei seriale a acestuia. Când se realizează o citire din S_0BUF, se citeşte conținutul ***buffer***-ului de recepție. Adresa directă este 99H.

Registrele de control - exită mai multe astfel de registre care conțin biți de control şi de stare pentru întreruperi, temporizatoare/numărătoare şi porturi seriale. Ele vor fi descrise la funcțiunile corespunzătoare.

Registrele de temporizare - există trei perechi de registre de câte 8 biți T_0 (TH_0, TL_0), T_1 (TH_1, TL_1), T_2 (TMH_2, TML_2) numărătoare pe 16 biți, şi un registru numărător pe 8 biți T_3. T_3 este folosit ca ***watchdog*** pentru reinițializarea sistemului după un anumit interval de timp convenabil ales, în cazul când acesta s-a blocat şi nu a putut fi reîncărcat temporizatorul T_3.

Tabelul 4.1 Registrele microcontroller-ului 80C552.

Simbol	Descriere	Adresa directa	Adresa bit, simbol sau functie alternativa port								Valoare RESET
ACC	Accumulator	E0 H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	00 H
ADCH	A/D converter High	C6 H	A/D.9	A/D.8	A/D.7	A/D.6	A/D.5	A/D.4	A/D.3	A/D.2	xxxxxxxx B
ADCON	A/D control	C5 H	A/D.1	A/D.0	ADEX	ADCI	ADCS	ADR2	ADR1	ADR0	xx000000 B
B	B register	F0 H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	00 H
CTCON	Capture control	EB H	CTN3	CTP3	CTN2	CTP2	CNT1	CNP1	CNT0	CNP0	00 H
CTH3	Capture 3 High	CF H									xxxxxxxx B
CTH2	Capture 2 High	CE H									xxxxxxxx B
CTH1	Capture 1 High	CD H									xxxxxxxx B
CTH0	Capture 0 High	CC H									xxxxxxxx B
CMH2	Compare 2 High	CB H									00 H
CMH1	Compare 1 High	CA H									00 H
CMH0	Compare 0 High	C9 H									00 H
CTL3	Capture 3 Low	AF H									xxxxxxxx B
CTL2	Capture 2 Low	AE H									xxxxxxxx B
CTL1	Capture 1 Low	AD H									xxxxxxxx B

CTL0	Capture 0 Low	AC H								xxxxxxxx B
CML2	Compare 2 Low	AB H								00 H
CML1	Compare 1 Low	AA H								00 H
CML0	Compare 0 Low	A9 H								00 H
DPTR: DPH DPL	Data pointer Data pointer High Data pointer Low	 83 H 82 H								 00 H 00 H
IEN0	Interrupt enable 0	A8 H	AF EA	AE EAD	AD ES1	AC ES0	AB ET1	AA EX1	A9 ET0	A8 ET1	00 H
IEN1	Interrupt enable 1	E8 H	EF ET2	EE EMC2	ED EMC1	EC EMC0	EB ECT3	EA ECT2	E9 ECT1	E8 ECT0	00 H
IP0	Interrupt priority 0	B8 H	BF --	BE PAD	BD PS1	BC PS0	BB PT1	BA PX1	B9 PT0	B8 PX0	x0000000 B
IP1	Interrupt priority 1	F8 H	FF PT2	FE PCM2	FD PCM1	FC PCM0	FB PCT3	FA PCT2	F9 PCT1	F8 PCT0	00 H
P5	Port 5	C4 H	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	xxxxxxxx B
P4	Port 4	C0 H	C7 CMT1	C6 CMT0	C5 MSR5	C4 MSR4	C3 MSR3	C2 MSR2	C1 MSR1	C0 MSR0	FF H
P3	Port 3	B0 H	B7 RD	B6 WR	B5 T1	B4 T0	B3 INT1	B2 INT0	B1 TXD	B0 RXD	FF H
P2	Port 2	A0 H	A7 A15	A6 A14	A5 A13	A4 A12	A3 A11	A2 A10	A1 A9	A0 A8	FF H
P1	Port 1	90 H	97 SDA	96 SCL	95 RT2	94 T2	93 CT3I	92 CT2I	91 CT1I	90 CT0I	FF H
P0	Port 0	80 H	87 AD7	86 AD6	85 AD5	84 AD4	83 AD3	82 AD2	81 AD1	80 AD0	FF H
PCON	Power control	87 H	SMOD	--	--	WLE	GF1	GF0	PD	IDL	00xx0000 B
PSW	Program status word	D0 H	D7 CY	D6 AC	D5 F0	D4 RS1	D3 RS0	D2 OV	D1 F1	D0 P	00 H
PWMP	PWM prescaler	FE H									00 H
PWM1	PWM 1 register	FD H									00 H
PWM0	PWM 0 register	FC H									00 H
RTE	Reset/toggle enable	EF H	TP47	TP46	RP45	RP44	RP43	RP42	RP41	RP40	00 H
SP	Stack pointer	81 H									07 H
S0BUF	Serial 0 data buffer	99 H									
S0CON	Serial 0 control	98 H	9F SM0	9E SM1	9D SM2	9C REN	9B TB8	9A RB8	99 TI	98 RI	00 H
S1ADR	Serial 1 address	DB H	SLAVE ADDRESS							GC	00 H
SIDAT	Serial 1 data	DA H									00 H
S1STA	Serial 1 status	D9 H	SC4	SC3	SC3	SC1	SC0	0	0	0	F8 H
SICON	Serial 1 control	D8 H	DF CR2	DE ENS1	DD STA	DC STO	DB SI	DA AA	D9 CR1	D8 CR0	00 H
STE	Set enable	EE H	TG47	TG46	SP45	SP44	SP43	SP42	SP41	SP40	C0 H
TH1	Timer 1 High	8D H									00 H
TH0	Timer 0 High	8C H									00 H
TL1	Timer 1 Low	8B H									00 H
TL0	Timer 0 Low	8A H									00 H
TMH2	Timer 2 High	ED H									00 H
TML2	Timer 2 Low	EC H									00 H
TMOD	Timer mode	89 H	GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0	00 H
TCON	Timer control	88 H	8F TF1	8E TR1	8D TF0	8C TR0	8B IE1	8A IT1	89 IE0	88 IT0	00 H
TM2CON	Timer 2 control	EA H	T2IS1	T2IS0	T2ER	T2B0	T2P1	T2P0	T2MS 1	T2MS 0	00 H
TM2IR	T2 interrupt flag register	C8 H	CF T20V	CE CMI2	CD CMI0	CC CMI0	CB CTI3	CA CTI2	C9 CTI1	C8 CTI0	00 H
T3	Timer 3	FF H									00 H

5.1.2 STRUCTURA ŞI LUCRUL CU PORTURILE DE INTRARE-IEŞIRE

În fig. 5.2 este prezentată structura microcontroller-ului 80C552. Semnificațiile detaliate ale porturilor sunt prezentate în cele ce urmează.

***Portul* $\mathbf{P_0}$** - este un port bidirecțional cu drena în gol de 8 biți. Dacă se scrie 1 în el tranzistorul de ieşire este blocat şi ieşirea este în starea de impedanță ridicată. În cazul folosirii unei memorii externe (de program - ROM sau de date - RAM), pinii portului P_0 sunt multiplexați între octetul inferior de adresă ($A_0 \div A_7$) şi octetul de date citit sau scris din sau în memorie. Poate fi accesat şi la nivel de pin ca $P_{0.0} \div P_{0.7}$.

***Portul* $\mathbf{P_1}$**- este un port bidirecțional de 8 biți. Pinii $P_{1.0} \div P_{1.5}$ sunt prevăzuți cu rezistență internă de pull-up, iar biții $P_{1.6}$ şi $P_{1.7}$ sunt cu drena în gol. Pinii acestui port pot îndeplini şi următoarele funcții alternative:

- $\mathbf{P_{1.0} \div P_{1.3}}$ pot fi şi CT0I÷CT3I, adică semnale de intrare pentru temporizatorul T_2 în modul captură (vezi funcționarea timer-ului T_2);
- $\mathbf{P_{1.4}}$ poate fi şi intrare externă de numărare a temporizatorului T_2, numită chiar T_2;
- $\mathbf{P_{1.5}}$ poate fi şi intrare de reset a temporizatorului T_2, adică RT_2;
- $\mathbf{P_{1.6}}$ poate fi SCL, adică semnal de ceas pentru interfața serială SIO_1;
- $\mathbf{P_{1.7}}$ poate fi SDA, adică linia de date a interfeței seriale SIO_1.

***Portul* $\mathbf{P_2}$** - este un port de 8 biți, bidirecțional, cu rezistențe interne de pull-up. În cazul adresării unei memorii externe, conține octetul superior al adresei $A_8 \div A_{15}$.

***Portul* $\mathbf{P_3}$** - este un port bidirecțional de 8 biți, cu rezistențe interne de pull-up. Alternativ pinii săi pot îndeplini următoarele funcții:

- $\mathbf{P_{3.0}}$ poate fi RxD, adică intrare de date pentru interfața serială, full duplex, SIO_0;
- $\mathbf{P_{3.1}}$ poate fi TxD, adică ieşire de date pentru SIO_0;
- $\mathbf{P_{3.2}}$ poate fi INT0\, adică prima întrerupere externă;
- $\mathbf{P_{3.3}}$ poate fi INT_1\, adică a doua întrerupere externă;
- $\mathbf{P_{3.4}}$ poate fi T_0, adică intrarea de numărare externă pentru temporizatorul T_0;
- $\mathbf{P_{3.5}}$ poate fi T_1, adică intrarea de numărare externă pentru temporizatorul T_1;
- $\mathbf{P_{3.6}}$ poate fi WR\, adică semnalul de comandă a scrierii în memoria de date (RAM) externă;
- $\mathbf{P_{3.7}}$ poate fi RD\, adică semnalul de comandă a citirii din memoria externă de date (RAM).

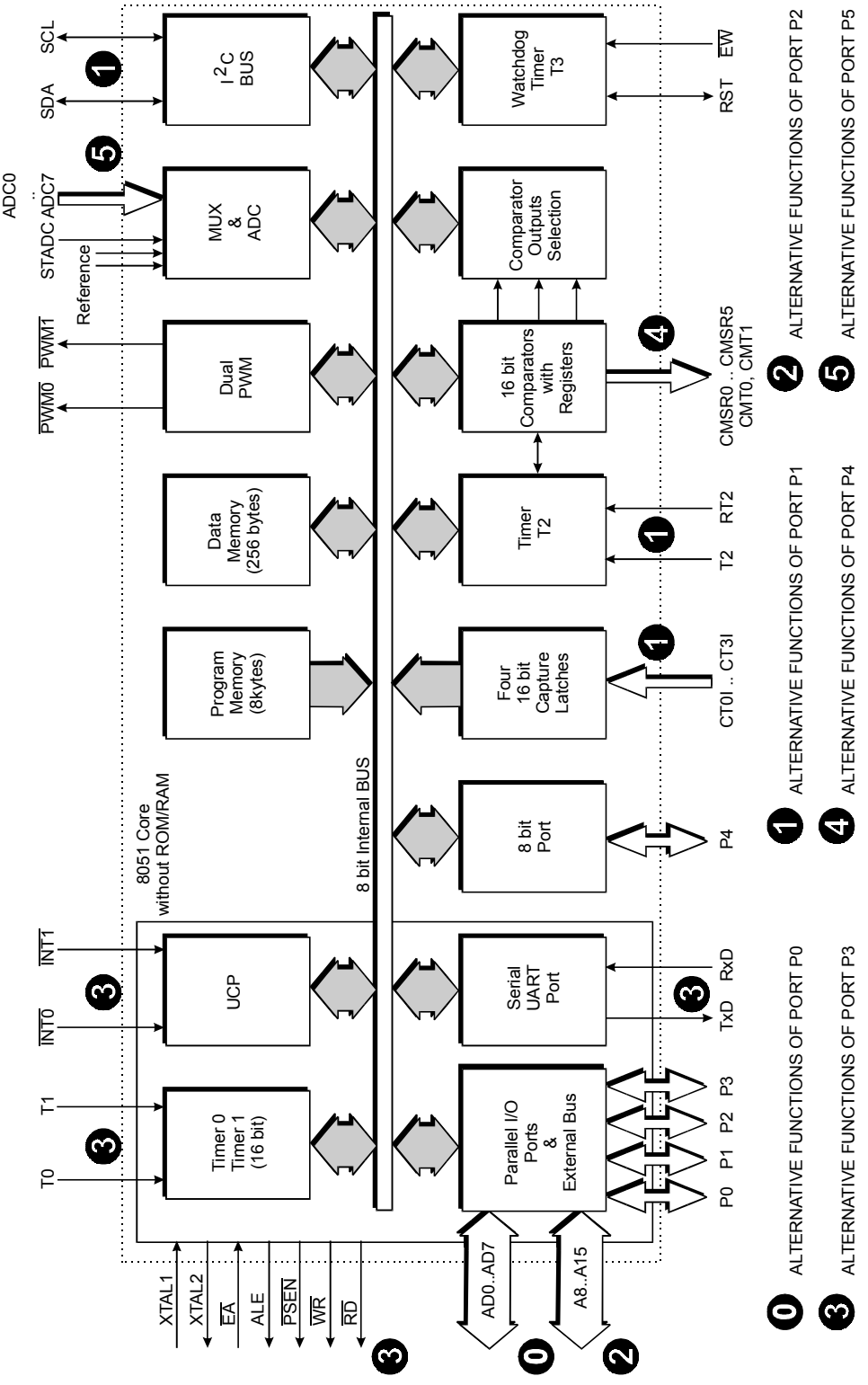


Fig. 5.2 Structura microcontroller-ului 80C552.

***Portul* P_4** - este un port bidirecțional de 8 biți, cu rezistențe interne de pull-up.

***Portul* P_5** - este un port de 8 biți numai de intrare. Pinii acestui port pot fi

şi $ADC_0 \div ADC_7$, adică 8 canale analogice de intrare ale convertorului analogic-numeric incorporat.

Operaţiunea de citire-modificare-scrire la un port. Unele instrucţiuni care citesc un port, citesc regisrul pentru funcţii speciale corespunzător, iar altele citesc direct starea la momentul respectiv a pinului. Insrucţiunile care citesc registrul sunt acelea care citesc o valoare pe care eventual o modifică şi apoi o scriu din nou în registru. Acestea se numesc instrucţiuni "citeşte-modifică-scrie". Următoarele instrucţiuni acţionează asupra registrului pentru funcţii speciale corespunzător, atunci când în ele apare numele unui port de intrare-ieşire: ANL, ORL, XRL, JBC, CPL, INC, DEC, DJNZ, MOV PX.Y,C (scrie În bitul Y al portului X transportul (***CARRY***), CLR PX.Y (scrie 0 în bitul Y al portului X), SET PX.Y (scrie 1 în bitul Y al portului X). Nu este foarte evident că ultimele 3 instrucţiuni de mai sus sunt de tipul "citeşte-modifică-scrie", dar ele sunt deoarece execuţia lor constă în citirea tuturor celor 8 biţi ai registrului, modificarea corespunzătoare a bitului dorit şi rescrierea rezultatului în registru. Acest lucru se realizează astfel, pentru că, dacă s-ar citi valoarea semnalului la pin (care de fapt reprezintă valoarea bitului corespunzător al registrului pentru funcţii speciale asociat portului), din cauza circuitelor comandate nivelul de tensiune ar putea să nu fie cel corespunzător (de exemplu dacă pinul comandă în bază un tranzitor care are emitorul la masă, iar bitul corespunzător din registru ar fi "1", tensiunea pe pin ar fi egală cu tensiunea unei joncţiuni *pn* polarizată direct, adică 0,6-0,7 volţi, care evident nu este un nivel corespunzător lui "1".

5.1.2.1 PROGRAMAREA ŞI UTILIZAREA TEMPORIZATOARELOR

Aşa cum s-a spus în paragraful relativ la registrele pentru funcţii speciale, microprocesorul 80552 are 4 registre temporizatoare / numărătoare. Ele sunt descrise în continuare.

***Temporizatorul* 0** şi ***temporizatorul* 1** Ambele pot fi configurate să funcţioneze ca temporizatoare sau ca numărătoare de evenimente. Configurarea este realizată cu ajutorul registrului de control a modului TMOD (el are adresa directă 89H), aşa cum este indicat mai jos:

(MSB) (LSB)

gate	C/T	M_1	M_0	gate	C/T	M_1	M_0
Temporizator 0				Temporizator 1			

unde:

- **gate** - temporizatorul/numărătorul "x" este activat numai dacă bitul TR_x din registrul de control TCON are valoarea "1" şi acest bit are valoarea "0" sau semnalul de pe pinul INT_x/ are valoarea "1" (vezi

portul de intrare-ieşire P_3);

- **C/T** - când acest bit are valoarea "0" registrul funcţionează ca temporizator, iar semnalul de numărare este dat de oscilatorul microprocesorului divizat cu 12, care astfel incrementează registrul corespunzător la fiecare ciclu maşină. Dacă acest bit are valoarea "1" registrul funcţionează ca numărător, fiind incrementat la fiecare tranziţie din "0" în "1" a semnalului de pe pinul T_0 sau T_1 (vezi portul de intrare ieşire P_3). Semnalul de pe acest pin este testat o dată pentru fiecare ciclu maşină în starea S_5 faza P_2 a ciclului, dar numărătorul este efectiv incrementat abia în starea S_3 faza P_1 a ciclului următor celului care a detectat tranziţia 1-0 a semnalului T_1. De aceea frecvenţa maximă de numărare este 1/24 din frecvenţa oscilatorului microprocesorului. Pentru a putea fi detectată tranziţia, semnalul trebuie să stea în "0" o durată cel puţin egală cu a ciclului maşină (adică 12 perioade ale oscilatorului);
- **M_1**, **M_0** - selectează unul unul din cele patru moduri posibile de operare descrise în continuare.

  Modul 0. Este atunci când M_1=0 şi M_0=0. El este identic pentru ambele temporizatoare. În acest mod cele două numărătoare pe 8 biţi TH_x şi TL_x sunt conectate în cascadă, dar TL_x funcţionează ca un numărător pe cinci biţi (deci un divizor cu 32), folosindu-se numai primii 5 biţi ai acestuia. Când numărătorul trece din starea în care toţi biţii sunt pe "1" în starea când toţi biţii sunt pe zero, se setează indicatorul de întrerupere TF_x din registrul de control TCON (TCON.7 pentru TF_1 şi TCON.5 pentru TF_0);

  Modul 1. Este atunci când M_1=0 şi M_0=1. Este identic cu modul 0, doar că TL_x se foloseşte ca numărător pe 8 biţi (se obţine deci un numărător pe 16 biţi). El este identic pentru temporizatoarele 0 şi 1;

  Modul 2. Este atunci când M_1=1 şi M_0=0. Este identic pentru ambele temporizatoare. În acest mod se foloseşte numai registrul TL_x ca un numărător pe 8 biţi cu reîncărcare automată. Conţinutul acestuia trece din FFH în 00H, se setează TF_x şi se încarcă în TL_x conţinutul lui TH_x, fără a fi afectat conţinutul lui TH_x. TH_x poate fi încarcat prin program;

  Modul 3. Este atunci când M_1=1 şi M_0=1. În acest mod temporizatorul 1 îşi opreşte numărarea, conservându-şi conţinutul. Este ca şi când TR_1 ar fi egal cu "0". Temporizatorul 0 fucţionează ca două numărătoare de 8 biţi independente. TH_0 este incrementat de semnalul oscilatorului microproceso-rului divizat cu 12, dacă TR_1=1. La trecerea conţinutului lui de la valoare FFH la 00H este setat TF_1. TL_0 poate fi incrementat fie de semnalul de la oscilator dacă C/T=0, fie de semnalul aplicat la pinul T_1 dacă C/T=1. Incrementarea are loc dacă

TR_1=1 şi gate=0 sau INT_0/=1. La schimbarea conţinutului de la valoarea FFH la 00H este setat TF_0.

Funcţionarea celor două temporizatoare este controlată de registrul TCON. Configuraţia acestuia este dată în continuare:

(MSB)							(LSB)
TF_1	TR_1	TF_0	TR_0	IE_1	IT_1	IE_0	IT_0

- **TF_1** şi **TF_0** sunt setate aşa cum s-a arătat mai sus, şi sunt resetate prin ***hardware*** atunci procesorul intră în rutina de întrerupere;
- **TR_1** şi **TR_0** inhibă (când sunt egale cu 0) sau permit numărarea (când sunt egale cu 1) a temporizatorului corespunzător. Sunt setate sau resetate prin program.

5.1.2.2 INTERFAŢA SERIALĂ SIO_0

Aceasta este o interfaţă full-duplex, adică poate transmite şi recepţiona date simultan. Are ***buffer*** la recepţie, deci poate începe recepionarea unui nou octet de date înaite ca cel deja recepţionat să fie preluat. Aşa cum s-a menţionat în paragraful referitor la registrele cu funcţii speciale (vezi registrul SBUF), o scriere în SBUF încarcă registrul pentru transmisia datelor, iar citirea din SBUF se face din registrul de recepţie a datelor, separat fizic de cel transmisie. Interfaţa serială SIO_0 poate lucra în 4 moduri posibile. Acestea sunt următoarele:

Modul 0. Este atunci când SM_0=0 şi SM_1=0 (biţii 7 respectiv 6 din registrul de control al interfeţei SCON - unul din registrele pentru funcţii speciale). În acest mod interfaţa serială funcţionează semiduplex. Se transmit câte 8 biţi. Pe linia RxD ($P_{3.0}$) se emit şi se recepţionează date. Semnalul de ceas al transmisiei/recepţiei se transmi-te/recepţionează pe linia TxD ($P_{3.1}$). Transmisia este iniţiată prin scrierea unui octet de date în registrul SBUF. Ceasul pentru transmisie are o frecvenţă egală cu 1/12 din frecvenţa oscilatorului. La sfârşitul transmisiei celor 8 biţi de date se setează bitul de întrerupere TI (bitul 1 din SCON), care apoi trebuie şters prin program. Recepţia este validată atunci când bitul REN (bitul 4 din SCON) este 1 (el este setat şi resetat prin program) şi bitul de întrerupere pentru recepţie RI (bitul 0 din SCON) este 0 (el este trecut în 1 la sfârşitul recepţionării celor 8 biţi de date şi trebuie trecut în zero prin program). Datele sunt emise începând cu bitul cel mai puţin semnificativ.

Modul 1. Este atunci când SM_0=0 şi SM_1=1. În acest mod transmisia este asincronă pe 10 biţi: un bit de start având valoarea 0, 8 biţi de date (primul este cel mai puţin semnificativ) şi un bit de stop având valoarea 1. Datele sunt emise pe linia TxD şi recepţionate pe linia RxD.

Recepția este inițiată la detectarea unei tranziții din 1 în 0 a liniei RxD, dacă bitul REN=1. Octetul de date este încărcat în SBUF, iar bitul de stop este introdus în RB8 (adică bitul 2 din SCON) şi poziționează în 1 bitul de întrerupere pentru recepție RI (discutat la modul zero) dacă acesta era 0, şi dacă SM_2=0 (bitul 5 din SCON, setat sau resetat prin program) sau bitul de stop recepționat este 1. Rata transmisiei este dată de semnalul de depăşire (TF1) al temporizatorului 1. Transmisia este inițiată prin scrierea unui octet de date în SBUF. În momentul transmisiei bitului de stop se poziționează în 1 bitul de întrerupere la transmisie SI. Recepția este inițiată în urma detecției unei tranziții 1-0 pe linia RxD.

Modul 2. Este atunci când SM_0=1 şi SM_1=0. În acest mod tramsmisia este full duplex, asincronă, cu 11 biți transmişi (pe linia TxD) şi recepționați pe linia RxD), astfel: un bit de start egal cu 0, 8 biți de date (primul este cel mai puțin semnificativ), un al noulea bit de date programabil şi un bit de stop egal cu 1. Cel de al noulea bit de date în cazul transmisiei reprezintă conținutul lui TB8 (bitul 3 din SCON), iar în cazul recepției este introdus în RB_8. Transmisia este inițiată prin scrierea unui octet de date în SBUF. În timpul transmisiei bitului de stop este setat TI. Recepția este identică cu cea din modul 1, numai că în RB_8 se introduce al nouălea bit de date. Încărcarea datelor recepționate în SBUF şi RB_8 şi setarea lui RI este validată numai dacă RI=0 şi, SM_2=0 sau al nouălea bit de date este 1. Altfel octetul de date recepționat se pierde. Rata de transmisie poate 1/32 din frecvența oscilatorului dacă SMOD=1 (bitul 7 din registrul pentru funcții speciale PCON) sau 1/64 din frecvența acestuia dacă SMOD=0.

Modul 3. Este atunci când SM_0=1 şi SM_0=1. El este identic cu modul 2, cu singura deosebire că rata transmisiei de semnalul de depăşire TF_1 al timerului T_1.

OBSERVAȚIE: În cazul modurilor 1 şi 3 când este folosit temporizatorul 1 pentru fixarea ratei de transmisie, întreruperea acestuia trebuie dezactivată. El poate fi folosit ca "temporizator" sau "numărător" în oricare din cele 3 moduri posibile de funcționare. De obicei este folosit ca "temporizator" în modul 2 cu autoîncărcare. În acest caz rata de transmisie se calculează cu formula:

$$\frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{f_{OSC}}{12 \times [256 - (TH1)]} \qquad (5.1)$$

5.1.2.3 IEŞIRILE MODULATE ÎN DURATĂ

Microcontroller-ul 80C552 posedă două canale de ieşire modulate în

durată. Aceste ieşiri generează impulsuri ale căror durate şi factori de umplere pot fi programate. Frecvența de repetiție a impulsurilor este controlabilă prin intermediul registrului PWMP,având lungimea de 8 biți. Expresia frecvenței impulsurilor de ieşire este dată de următoarea ecuație:

$$f_{PWM} = \frac{f_{OSC}}{2 \times (1 + PWMP) \times 255} \tag{5.2}$$

Registrul PWMP asigură semnalul de ceas pentru un numărător; atât registrul PWMP, cât şi numărătorul fiind comune pentru ambele canale de ieşire. Numărătorul funcționează modulo 255. Valoarea de 8 biți a numărătorului este comparată cu două registre, PWM0 şi PWM1, asociate fiecare câte unui canal de ieşire. Dacă conținutul acestor registre este mai mare decât valoarea curentă a numărătorului, atunci semnalele de ieşire sunt forțate la nivel coborât. În schimb, dacă conținutul acestor registre este mai mic, sau cel puțin egal, cu valoarea curentă a numărătorului, atunci semnalele de ieşire sunt forțate la nivel ridicat - HIGH. Ca urmare, duratele impulsurilor de ieşire sunt determinate de conținutul registrelor PWM0 şi PWM1, denumite şi registre de prescalare.

Prin integrarea semnalelor de la ieşirile modulate în durată se poate obține un convertor digital-analog dual.

În fig. 5.3 esteprezentată diagrama funcțională a celor două canale de ieşire modulate în durată.

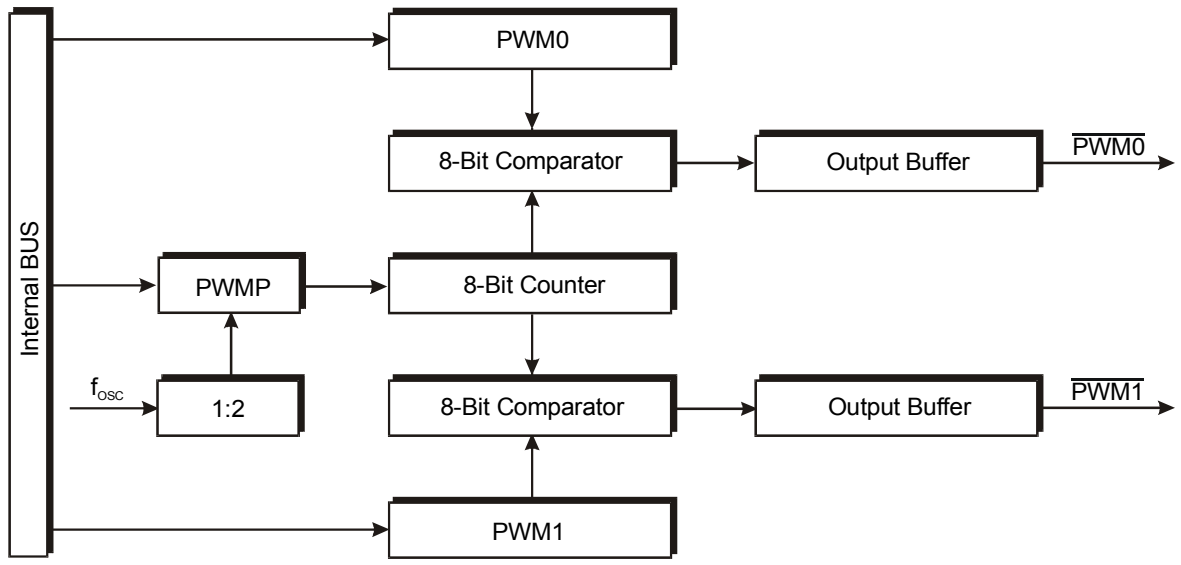


Fig. 5.3 Structura ieşirilor modulate în durată.

Încărcarea registrelor de prescalare cu valorile 00H sau FFH determină ca ieşirile canalelor să rămână constante la nivel ridicat sau coborât.

Reprogramarea registrelor de prescalare determină modificarea imediată a ieşirilor modulate, nefiind nevoie să se aştepte până la terminarea perioadei

curente.

Factorul de umplere al impulsurilor de la ieşire rezultă ca fiind:

$$\gamma = \frac{\text{PWM}}{255 - \text{PWM}} \tag{5.3}$$

5.1.2.4 SECȚIUNEA ANALOGICĂ A MICROCONTROLLERULUI

Secțiunea analogică este reprezentată de un multiplexor analogic şi de un convertor analog-digital cu aproximații succesive, cu rezoluția de 10 biți, ce furnizează rezultatul în cod binar direct (fig. 5.4).

Tensiunea de referință a convertorului analog-digital se aplică structurii prin intermediul unui pin dedicat acestei manipulări.

Un ciclu de conversie durează 50 de ciclii maşină, ceea ce înseamnă aproximativ 50 μs pentru frecvența ceasului de 11,0592 MHz. Codul binar de ieşire nu prezintă discontinuități în funcția de transfer a convertorului analog-digital.

Atât intrările multiplexorului analogic, cât şi intrarea convertorului analog-digital acceptă tensiuni de intrare în gama (0 ÷ +5)V.

Conversia analog-digitală este efectuată prin metoda aproximațiilor succesive; în fig. 4.5 sunt reprezentate elementele componente ale convertorului analog-digital cu aproximații succesive. Structura conține un convertor digital-analogic (DAC) care converteşte conținutul registrului de aproximații succesive într-o tensiune V_{DAC}. Această tensiune este comparată cu tensiunea de intrare, V_{in}; ieşirea comparatorului este furnizată circuitului de comandă a registrului de aproximații succesive, care controlează funcționarea acestuia.

O conversie este inițiată prin setarea bitului ADCS (ADC Start) din registrul ADCON (A/D Control). Acest bit poate fi modificat atât prin ***software***, cât şi prin ***hardware*** sau combinat.

Declanşarea unei conversii analog-digitale exclusiv prin mijloace software se poate face doar atunci când bitul ADCON.5 (ADEX) este setat la "0"; începerea unui ciclu de conversie se efectuează prin setarea bitului de control ADCS. La inițierea prin software a unei conversii, aceasta este demarată la începutul ciclului maşină care urmează celui în care a fost setat bitul ADCS.

Declanşarea unei conversii analog-digitale prin mijloace combinate software-hardware se poate face doar atunci când bitul ADCON.5 = "1"; inițierea unui ciclu de conversie poate fi efectuată fie la fel ca în cazul precedent, prin setarea bitului de start (ADCS), fie prin aplicarea unui front crescător pinului extern STADC. În această ultimă situație, frontul aplicat trebuie precetat de un nivel logic coborât, care să dureze minimum un ciclu maşină, respectiv urmat de un nivel logic ridicat, cu durata de minimum un ciclu

maşină. Tranziția aplicată pinului STADC este recunoscută la sfârşitul ciclului maşină curent, iar conversia este inițiată la începutul următorului ciclu maşină.

Următoarele două cicluri maşină sunt folosite pentru inițializarea convertorului analog-digital. La sfârşitul primului ciclu, se citeşte indicatorul de stare ADCS; dacă indicatorul este citit pe durata efectuării unei conversii, rezultatul citirii acestui indicator constă în poziționarea acestuia în "1". La sfârşitul celui de-al doilea ciclu maşină începe eşantionarea semnalelor de intrare.

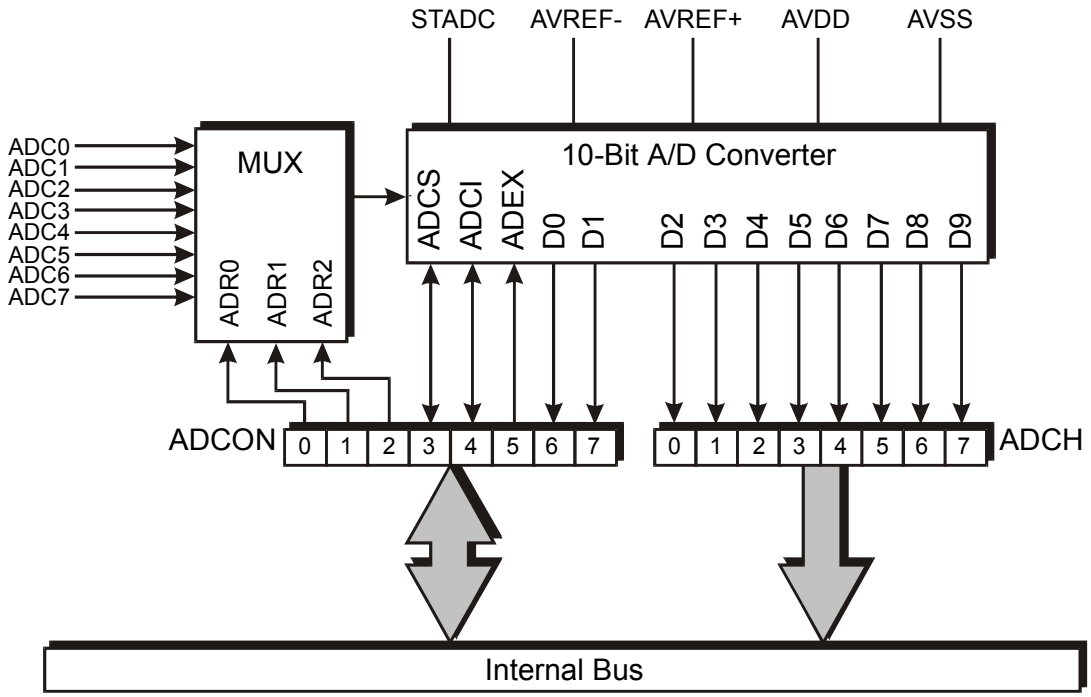


Fig. 5.4 Secțiunea analogică a microcontroller-ului 80C552.

Pe durata următoarelor 8 cicluri maşină este eşantionată tensiunea de intrare aplicată pinului, anterior selectat, al portului P_5. Această tensiune trebuie să rămână stabilă pe această durată pentru a se obține un rezultat corect. Se admite o viteză de variație a tensiunii eşantionate de cel mult 10V/ms.

În continuare, se efectuează conversia analog-digitală propriu-zisă. Aceasta se desfăşoară prin setarea bitului cel mai semnificativ la "1", de către circuitul de control al registrului de aproximații succesive; ieşirea registrului SAR este convertită într-o tensiune proporțională şi comparată cu tensiunea de intrare. Dacă aceasta este mai mare, bitul MSB rămâne setat la "1"; în caz contrar, acest bit este resetat. Procesul continuă în ordine inversă a importanței biților, până când toți cei zece biți au fost testați. În acest moment, rezultatul conversiei este conținut în registru de aproximații succesive.

Sfârşitul conversiei analog-digitale pe 10 biți este semnalizată prin setarea bitului ADCI (ADCON.4) în cadrul registrului de comenzi şi stare. Cei mai

semnificativi 8 biți ai rezultatului sunt memorați în registrul ADCH. Cei mai puțin semnificativi doi biți sunt memorați în biții ADCON.7 şi ADCON.6 ai registrului de comenzi şi stare. Utilizatorul poate ignora cei mai puțin semnificativi doi biți ai rezultatului şi poate utiliza doar cei mai semnificativi 8 biți, memorați în registrul ADCH.

Fig. 5.6 ilustrează desfăşurarea procesului de conversie analog-digitală cu aproximații succesive.

În orice situație, durata unei conversii este de 50 ciclii maşină. Bitul de sfârşit de conversie, ADCI, este setat, iar bitul de start conversie, ADCS, este resetat după 50 de cicluri maşină de la poziționarea pe nivel ridicat al acestuia din urmă.

Biții de control ADCON.0, ADCON.1 şi ADCON.2 sunt utilizați pentru comanda intrărilor de selecție ale multiplexorului analogic, de tip 8:1.

O rutină de conversie aflată în desfăşurare nu este afectată de o comandă de start, indiferent de natura sa (***hardware*** sau ***software***).

Rezultatul obținut la încheierea unui proces de conversie rămâne neafectat, cu bitul ADCI poziționat pe "1", chiar dacă se comandă intrarea în modul "inactiv" (***idle***).

La intrarea în modul de lucru "***idle***" sau "***power-down***" al microcontroller-ului, o conversie analog-digitală aflată în plin proces de desfăşurare este întreruptă. Rezultatele parțiale obținute până acum sunt iremediabil pierdute, nefiind transferate în registrele rezultat şi/sau în registrul de comenzi şi stare.

Convertorul analog-digital dispune de pini proprii de alimentare (AV_{DD} şi AV_{SS}) şi de doi pini pentru tensiunea de referință externă (V_{ref+} şi V_{ref-}). Rezultatul conversiei poate fi calculat prin utilizarea următoarei caracteristici de transfer:

$$N = 2^{10} \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} = 1024 \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \tag{5.4}$$

Prin utilizarea numai a celor mai semnificativi 8 biți ai rezultatului, conținuți în registrul ADCH, caracteristica de transfer devine:

$$N = 2^{8} \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} = 256 \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \tag{5.5}$$

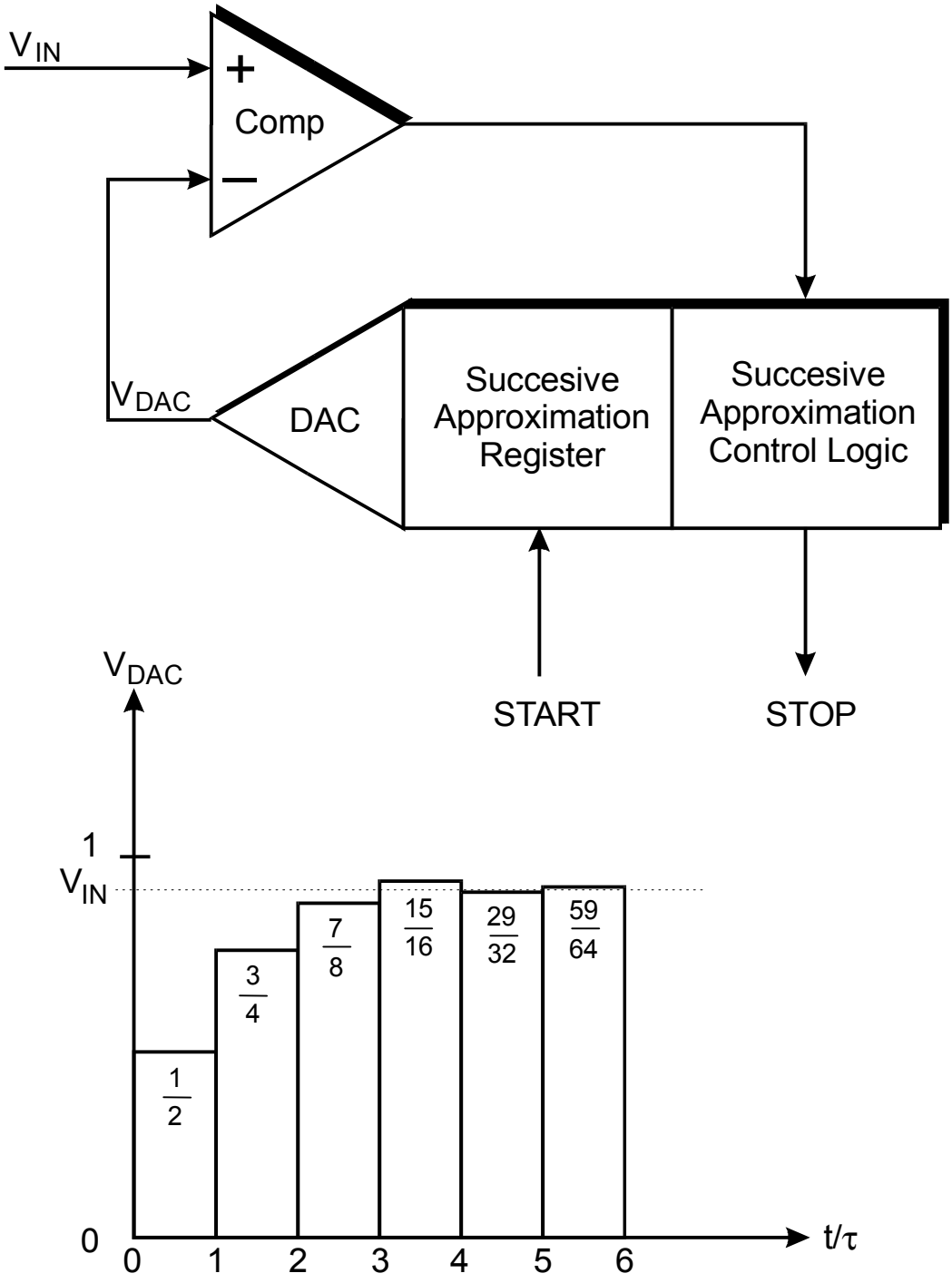


Fig. 5.5 Convertorul analog-digital.

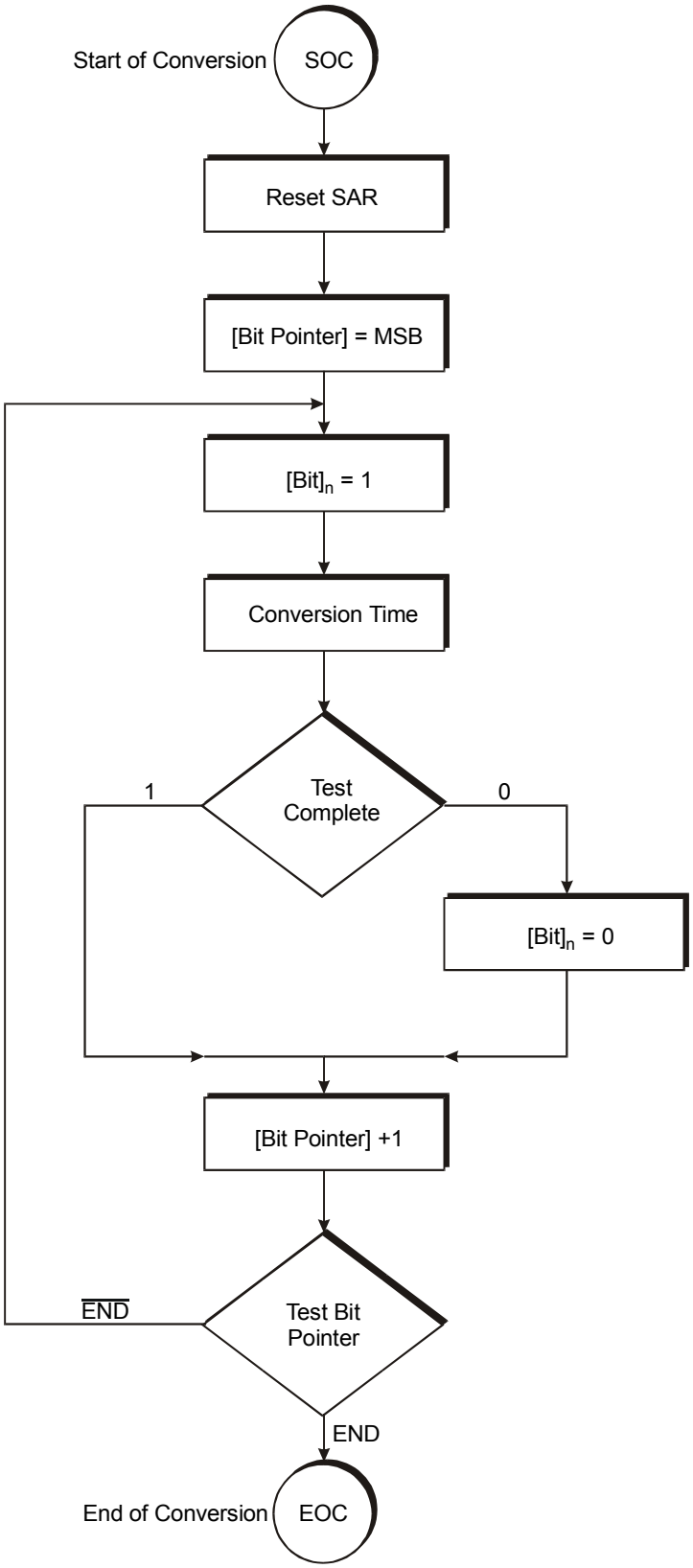


Fig. 5.6 Organigrama de desfăşurare a unei conversii.

5.1.2.5 MĂSURAREA INTERVALELOR DE TIMP PRIN UTILIZAREA REGISTRELOR DE CAPTARE A EVENIMENTELOR

Atunci când un eveniment extern recursiv este reprezentat sub forma unui front crescător sau descrecător care este aplicat unuia dintre cei patru pini de captare a evenimentelor, intervalul de timp dintre două evenimente poate fi măsurat folosind temporizatorul T_2 şi unul dintre cele patru registrele de captare a evenimentelor, CT0, CT1, CT2 sau CT3. La apariţia unui eveniment, conţinutul timer-ului T_2 este transferat în registrul de captare a evenimentelor selectat şi este generat un semnal de întrerupere specific acestui registru, CT0I, CT1I, CT2I sau CT3I. Indicatorii de stare anterior menţionaţi reprezintă patru dintre cei 8 biţi ai registrului de funcţii speciale, denumit TM2IR.

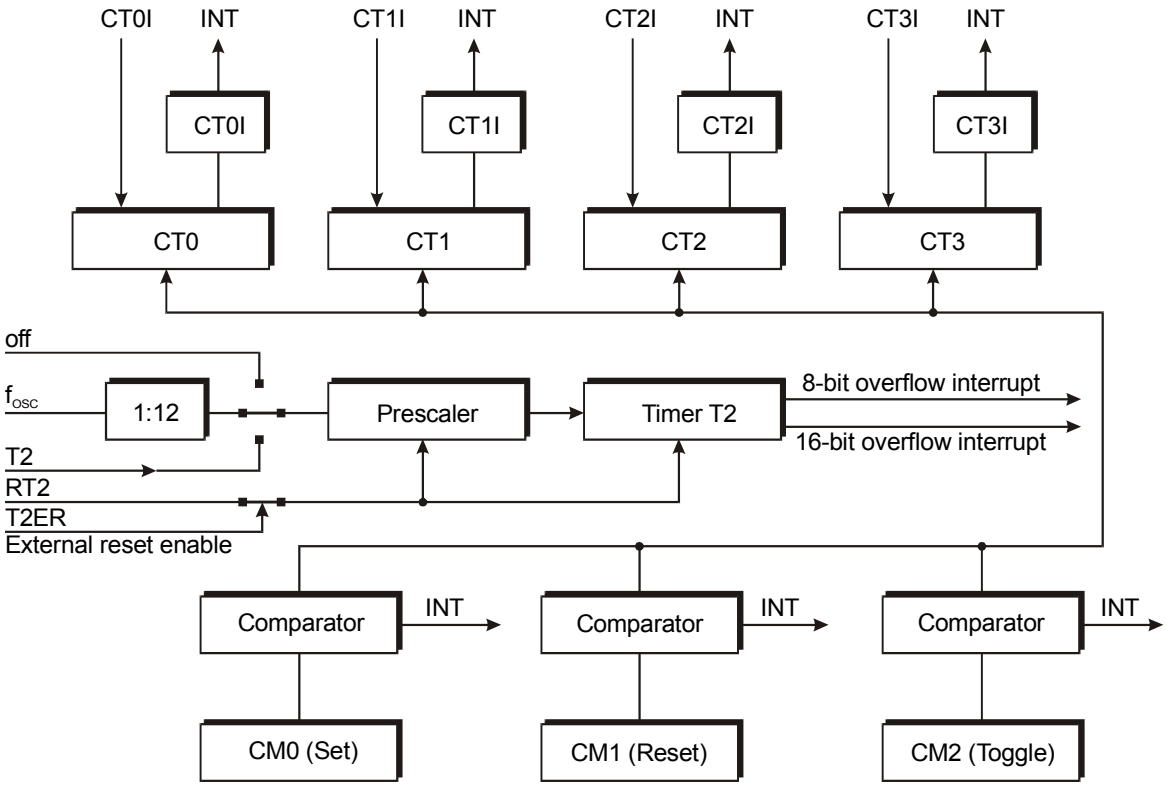


Fig. 5.7 Secţiunea de captare a evenimentelor şi comparare a microcontrollerului 80C552.

Această rutină de întrerupere poate fi folosită pentru calcularea intervalului de timp corespunzător, dacă se cunoaşte valoarea anterioară a timer-ului T2. Pentru o frecvenţă a ceasului de 12 MHz programarea timer-ului poate fi făcută astfel încât acesta să furnizeze indicaţii de depăşire la fiecare 524 ms.

Dacă intervalul de timp dintre două evenimente succesive este mai scurt de 524 ms, atunci calculul intervalului de timp este foarte simpu, rutina de întrerupere fiind mult mai scurtă. Pentru intervale de timp mai mari de 524ms, trebuie utilizată o extensie a timer-ului T_2.

Timer-ul T_2 este conectat la patru registre de 16 biți, menționate anterior şi, de asemenea la trei registre de comparare, cu lungimea de 16 biți (fig. 2.7). Registrele de comparare potfi folosite pentru a seta, reseta sau comuta pinii de ieşire ai portului P_4 la anumite intervale preprogramate de timp.

5.2 PREZENTAREA SETULUI DE INSTRUCȚIUNI AL MICROCONTROLLER-ULUI 80C51

1 **ACALL** **addr11**

Funcția: Absolute Call

Descriere: Apelează necondiționat o subrutină localizată la adresa indicată. Instrucțiunea incrementează contorul programului de două ori, pentru a obține adresa următoarei instrucțiuni, apoi încarcă în stivă rezultatul pe 16 biți (primul octet este cel mai puțin semnificativ) şi incrementează pointerul stivei de două ori. Adresa destinație e obținută prin concatenarea succesivă a celor 5 biți mai semnifica-tivi ai contorului programului, după incrementare, biții 7÷5 ai codului operației şi octetul al doilea al instrucțiunii. Subrutina apelată trebuie să înceapă în acelaşi bloc (de dimensiune 2 kocteți) al memoriei de program ca şi primul octet al instrucțiunii care urmează instrucțiunii ACALL. Nu se afecteaza indicatorii de condiție.

Exemplu: Inițial registrul pointer de stivă, SP, conținea valoarea 07H. Eticheta SUBRTN e localizată în memorie la adresa 0345H. După execuția instrucțiunii:

ACALL SUBRTN

la locatia 0123H, SP va conține valoarea 09H, locațiile interne RAM 08H şi 09H vor conține 25H şi, respectiv 01H, iar PC va contine 0345H.

Octeți: 2

Ciclii maşină: 2

Codare:

$a_{10}\ a_9\ a_8\ 1$	0 0 0 1	$a_7\ a_6\ a_5\ a_4$	$a_3\ a_2\ a_1\ a_0$

Operații: ACALL

$(PC) \leftarrow (PC)+2$

$(SP) \leftarrow (SP)+1$

$(SP) \leftarrow (PC_{7\div0})$

(SP) ← (SP)+1
(SP) ← ($PC_{15\div8}$)
($PC_{10\div0}$) ← adresa blocului

2 **ADD** **A, <scr-byte>**

Funcția: Adunare

Descriere: Instrucțiunea ADD adună acumulatorul cu octetul indicat, lăsând rezultatul în acumulator. Indicatorii de transport şi de transport auxiliar sunt setați, respectiv dacă există un transport de la bitul 7 sau de la bitul 3, şi sunt resetați dacă nu există transport. Când se adună întregi fără semn, indicatorul de transport indică depăşire. Indicatorul de depăşire, OV, este setat dacă este un transport la bitul 6, dar nu mai departe de bitul 7, sau un transport de la bitul 7, dar nu provenit de la bitul 6. În celelalte situații, OV este resetat. Când se adună întregi cu semn, indicatorul OV semnalizează un număr negativ ca sumă a doi operanzi pozitivi, sau o sumă pozitivă ca rezultat a adunării a doi operanzi negativi. Sunt permise 4 moduri de adresare a operandului sursă: adresare prin registru, adresare directă, adresare indirectă prin registru sau adresare imediată.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C3H (11000011B) iar registrul 0 conține 0AAH (10101010B). Instrucțiunea:

ADD A, R_0

va determina ca valoarea conținută de acumulator să fie 6DH (01101101B), cu indicatorul AC resetat şi atât indicatorul de transport, cât şi OV, setate la 1.

3 **ADDC** **A, <scr-byte>**

Funcția: Adunare cu indicatorul de transport

Descriere: Instrucțiunea ADDC adună acumulatorul cu octetul indicat şi cu indicatorul de transport, lăsând rezultatul în acumulator. Indicatorii de transport şi de transport auxiliar sunt setați, respectiv dacă există un transport de la bitul 7 sau de la bitul 3, şi sunt resetați dacă nu există transport. Când se adună întregi fără semn, indicatorul de transport indică depăşire. indicatorul de depăşire, OV, este setat dacă este un transport la bitul 6, dar nu mai departe de bitul 7, sau un transport de la bitul 7, dar nu provenit de la bitul 6. În celelalte situații, OV este resetat. Când se adună întregi cu semn, indicatorul OV semnalizează un număr negativ ca sumă a doi operanzi pozitivi, sau o sumă pozitivă ca rezultat a adunării a doi

operanzi negativi. Sunt permise 4 moduri de adresare a operandului sursă: adresare prin registru, adresare directă, adresare indirectă prin registru sau adresare imediată.

Exemplu: Acumulatorul conține 0C3H (11000011B) şi registrul 0 conține 0AAH (10101010B) cu setarea indicatorului de transport. Instrucțiunea:

ADDC A, R0

va determina ca acumulatorul să conțină valoarea 6EH (01101110B), cu indicatorul AC resetat, iar indicatorul de transport şi OV setate la 1.

4 **AJMP** **addr11**

Funcția: Absolute Jump

Descrierea: AJMP transferă execuția programului la adresa indicată, care este formată la momentul rulării prin concatenarea celor 5 biți mai semnificativi ai contorului programului, PC, (după incrementarea de două ori a acestuia), biții 7÷5 de cod ai operației şi al doilea octet al instrucțiunii. Destinația trebuie să fie în acelaşi bloc de 2 kocteți din memoria de program ca primul octet al instrucțiunii următoare instrucțiunii AJMP.

Exemplu: Eticheta JMPADR e situată la locația de memorie 0123H. Instrucțiunea

AJMP JMPADR

este situată la locația 0345H şi va încarca contorul programului, PC, cu 0123H.

5 **ANL** **<dest-byte>, <scr-byte>**

Funcția: ŞI LOGIC între variabile de tip octet

Descriere: ANL efectuează operația de ŞI LOGIC între variabilele de tip octet indicate şi încarcă rezultatul în variabila destinație. Nu afectează nici un indicator de condiție. Cei doi operanzi permit 6 combinări de moduri de adresare. Când destinația este acumulatorul, sursa poate fi adresată prin registru, direct, indirect prin registru sau imediat; când destinația este o adresă directă, sursa poate fi acumulatorul sau o dată imediată.

Notă: Când această instrucțiune este utilizată pentru a modifica un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire, nu de la pinii de intrare.

Exemplu: Dacă acumulatorul conține valoarea 0C3H (11000011B) şi registrul 0 conține valoarea 55H (01010101B) atunci instrucțiunea

```
ANL  A, R0
```

va determina ca acumulatorul să conţină valoarea 41H. Când destinaţia este un octet direct adresabil, această instrucţiune va reseta combinaţiile de biţi din orice locaţie RAM sau registru hardware. Octetul mascat care determină resetarea biţilor va fi o constantă conţinută în instrucţiune sau o valoare creată în acumulator la rulare. Instrucţiunea

```
ANL  P1, #0111001B
```

va reseta biţii 7, 3 şi 2 ai portului de ieşire 1.

6 ANL C, <scr-bit>

Funcţia: ŞI LOGIC între variabile de tip bit

Descriere: Dacă valoarea booleană a bitului sursă este un 0 logic, atunci resetează indicatorul de transport; altfel acest indicator rămâne în starea curentă. Simbolul ('/') precedind operandul, în limbaj de asamblare, indică faptul că complementul logic al bitului adresat e utilizat ca valoare sursă, fără însă ca bitul sursă să fie afectat. Pentru operandul sursă este permisă numai adresarea directă.

Exemplu: Seteaza indicatorul de transport dacă şi numai dacă P1.0=1, ACC.7=1 şi OV=0:

```
MOV C, P1.0      ; incarca carry cu bitul 0 al portului 1
ANL  C, ACC.7    ; SI cu bitul 7 al acumulatorului
ANL  C, /OV      ; SI cu negatul indicatorului depasire.
```

7 CJNE <dest-byte>, <scr-byte>,rel

Funcţia: Comparaţie şi salt dacă nu este egalitate

Descriere: Instrucţiunea CJNE compară cei doi operanzi şi determină un salt în execuţia programului dacă valorile lor nu sunt egale. Destinatia saltului este compusă prin adunarea deplasarii relative cu semn, în ultimul octet al instrucţiunii, cu conţinutul contorului programului, PC, după incrementarea acestuia la adresa de start a următoarei instrucţiuni. Indicatorul de transport e setat dacă valoarea întregului fără semn a octetului destinaţie e mai mică decât valoarea întregului fără semn a <scr-byteâ; altfel, indicatorul de transport e resetat. instrucţiunea nu afectează nici un operand. Cei doi operanzi permit 4 combinaţii de moduri de adresare: acumulatorul poate fi comparat cu orice octet direct sau imediat adresabil, cu orice locaţie indirectă de RAM sau

registrii de lucru pot fi comparați cu o constantă imediată.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 34H. Registrul 7 conține valoarea 56H. Prima instrucțiune din secvența:

```
        CJNE R7, #60H, NOT_EQ
        R7=60H
NOT_EQ: JC   REQ_LOW
```

setează indicatorul de transport şi sare la instrucțiunea cu eticheta NOT_EQ. Prin testarea indicatorului de transport, această instrucțiune determină dacă registrul R7 e mai mare sau mai mic decât 60H.

Dacă data care a fost prezentă la portul 1 este 34 H, atunci instrucțiunea

```
WAIT: CJNE A, P1, WAIT
```

resetează indicatorul de transport şi continuă cu următoarea instrucțiune din secvență, până când acumulatorul se egalează cu data citită din portul P1. Dacă în portul P1 au fost introduse alte valori, programul va bucla în acest punct până când data din portul P1 va deveni 34H.

8 **CLR A**

Funcția: Resetează (inițializează) acumulatorul

Descriere: Acumulatorul este resetat (toti biții sunt 0). Nu este afectat nici un indicator de condiție.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 5CH (01011100B). Instrucțiunea:

```
CLR A
```

va determina conținutul acumulatorului să fie 00H (00000000B).

9 **CLR bit**

Funcția: Resetează bitul

Descriere: Bitul specificat este resetat (poziționat la 0). Nici un alt indicator de condiție nu este afectat. Instrucțiunea **CLR bit** poate opera asupra indicatorului de transport sau asupra oricărui bit direct adresabil.

Exemplu: Portul 1 a fost înscris cu valoarea 5DH (01011101B). Instrucțiunea

```
CLR P1,2
```

va lăsa portul P1 setat la valoarea 59H (01011001B).

10 **CPL A**

Funcția: Complementarea acumulatorului

Descriere: Fiecare bit al acumulatorului este complementat logic (complement față de 1). Biții care anterior erau 1 devin 0, şi invers. Nici un indicator de condiții nu este afectat.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 5CH (01011100B). Instrucțiunea:

```
CPL A
```

va determina ca acumulatorul să conțină valoarea 0A3H (10100011B).

11 CPL bit

Funcția: Complementează o variabilă de tip bit

Descriere: Instrucțiunea efectuează complementul variabilei de tip bit specificate. Un bit care era 1 devine 0, şi invers. Nu sunt afectați indicatorii de con-diții.CLR poate opera asupra bitului de transport sau asupra oricărui alt bit direct adresabil.

Notă: Când instrucțiunea este utilizată pentru a modifica un bit de ieşire, valoarea utilizată ca dată originală va fi citită ca dată de ieşire şi nu de la intrare.

Exemplu: Portul 1 a fost înscris anterior cu valoarea 5DH (01011101B).Secvența de instrucțiuni:

```
CPL P1,1
CPL P1,2
```

va determina ca portul să fie setat la valoarea 5BH (01011011B).

12 DA A

Functia: Ajustarea zecimală a acumulatorului

Descriere: Instrucțiunea DA A ajustează valoarea pe 8 biți din acumulator, ca rezultat al ultimei instrucțiuni de adunare a două variabile (reprezentate în format BCD-împachetat), producând două cifre de câte 4 biți. Pentru a se efectua instrucțiunea de adunare au fost folosite instrucțiunile ADD sau ADDC. Dacă biții 3÷0 ai acumulatorului reprezintă un număr mai mare decât 9 (xxx1010÷xxx1111), sau dacă indicatorul AC este setat, se adună valoarea 6 la acumulator, producând astfel un digit optimal în format BCD. Această adunare internă va seta indicatorul de transport daca s-a propagat o depăşire de la cei mai puțin semnificativi 4 biți spre biții mai semnificativi, dar altfel nu va reseta indicatorul de transport. Dacă indicatorul de transport e setat în urma acestei operații, sau dacă cei 4 biți mai semnificativi reprezintă un număr mai mare decât 9 (1010xxx÷1111xxxx),

aceşti biţi sunt incrementaţi cu 6, producând digitul optimal în format BCD. Indicatorul de transport va indica dacă suma celor două variabile BCD originale este mai mare decât 100, permiţând sumarea zecimală în precizie multiplă. Indicatorul OV este afectat. Execuţia acestei instrucţiuni durează un singur ciclu. Elemetul de noutate este acela că această instrucţiune permite conversia zecimală adăugând 00H, 06H, 60H sau 66H la conţinutul acumulatorului.

Notă: Instrucţiunea DA A nu poate converti, pur şi simplu, un număr hexazecimal, conţinut în acumulator, în format BCD.

Exemplu: Acumulatorul are valoarea 56H (01010110B) reprezentând digiţii în format BCD împachetat ai numărului zecimal 56. Registrul R3 conţine valoarea 67H (01100111B), reprezentând digiţii în format BCD împachetat ai numarului 67. Indicatorul de transport este setat. Secventa de instrucţiuni:

```
ADDC    A,R3
DA  A
```

va face o adunare în complement binar faţă de doi, având ca rezultat valoarea 24H (00100100B) indicând în format BCD împachetat numărul zecimal 24, cele mai mici două cifre ale sumei zecimale între 56, 67 şi transportul intern. Indicatorul de transport va fi setat, indicând că a apărut o depaşire zecimală. Suma reală între 56, 67 şi 1 este 124. Variabilele BCD pot fi incrementate sau decrementate prin adăugarea lui 01H sau 99H. Dacă iniţial acumulatorul conţine valoarea 30H, secvenţa:

```
ADD A, #99H
DA  A
```

va determina ca acumulatorul să conţină valoarea 99H (30+99=129). Octetul mai puţin semnificativ al sumei poate fi interpretat ca fiind: 30-1=29.

13 **DEC** **byte**

Funcţia: Decrementare variabilă de tip octet

Descriere: Variabilade tip octet indicată este decrementată cu 1. O valoare initială de 00H va determina ca rezultatul să fie 0FFH. Nu afectează nici un indicator. Sunt permise 4 moduri de adresare: acumulator, adresare prin registru, adresare directă, adresare indirectă prin registru.

Notă: Când instrucţiunea este utilizată ca să modifice un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată originală va fi citită de la

ieşire, şi nu de la intrare.

Exemplu: Registrul R0 conţine valoarea 7FH (01111111B). Locaţiile interne RAM 7EH şi 7FH conţin valorile 00H şi 40H. Instrucţiunile:

```
DEC  @R0
DEC  R0
DEC  @R0
```

vor lăsa registrul R0 setat la valoarea 7EH şi locaţiile interne RAM 7EH şi 7FH conţinând 0FFH şi 3FH.

14 **DIV** **AB**

Funcţia: Împărţire

Descrierea: Instrucţiunea DIV AB împarte întregiul fără semn, pe 8 biţi, din acumulator la întregul, pe 8 biţi, fără semn din registrul B. După execuţia instrucţiunii, acumulatorul va conţine câtul împărţirii, iar registrul B restul. Indicatorul de transport şi OV vor fi resetate.

Excepţie: Dacă registrul B conţinea iniţial valoarea 00H, valoarea returnată în acumulator şi registrul B vor fi subdefinite şi va fi setat indicatorul de depăşire. Indicatorul de transport va fi resetat în orice caz.

Exemplu: Acumulatorul conţine valoarea zecimală 251 (0FBH sau 11111011B) şi registrul B conţine valoarea 18 (12H sau 00010010B). Instructiunea:

```
DIV  AB
```

va determina ca acumulatorul să conţină valoarea 13 (0DH sau 00001101B) şi valoarea 17 (11H sau 00010001B) in B. Atât indicatorul de transport, cât şi indicatorul OV vor fi ambii resetaţi.

15 **DJNZ** **<byte>, <rel-addr>**

Funcţia: Decrementare şi salt dacă rezultatul nu este zero

Descriere: Instrucţiunea DJNZ decrementează octetul indicat şi determină un salt la adresa indicată de al doilea operand dacă valoarea rezultată nu e zero. O valoare iniţială 00H va deveni 0FFH. Nu afectează indicatorii de condiţii. Destinaţia saltului va fi obţinută prin adăugarea valorii deplasării relative cu semn, în ultimul octet al instrucţiunii, la conţinutul PC, după incrementarea acestuia la adresa primul octet al instrucţiunii următoare. Operandul decrementat poate fi un registru sau direct octetul adresat.

Notă: Atunci când această instrucţiune este utilizată ca să

modifice un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire, nu de la pinii de intrare.

Exemplu: Locațiile interne RAM 40H, 50H, 60H conțin respectiv valorile 01H, 70H, 15H. Secvența de instrucțiuni:

```
DJNZ40H, LABEL_1
DJNZ50H, LABEL_2
DJNZ60H, LABEL_3
```

va cauza un salt la instrucțiunea cu eticheta LABEL_2 cu valorile 00H, 6FH şi 15H în cele 3 locații RAM. Primul salt n-a fost făcut, pentru că rezultatul era 0.

Această instrucțiune asigură o metodă simplă de a executa o buclă de program de un număr de ori, sau adăugarea printr-o singură instrucțiune a unei întârzieiri (între 2 şi 512 cicli maşină). Instructiunea:

```
          MOV R2, #8
TOGGLE:   CPL  P1.7
          DJNZR2, TOGGLE
```

va schimba bitul P1.7 de 8 ori, determinând apariția a 4 impulsuri de ieşire la bitul 7 al portului de iesire P1. Fiecare puls inseamnă trei cicluri maşină, doi pentru execuția instrucțiunii DJNZ şi unul pentru modificarea bitului.

16 **INC** **<byte>**

Funcția: Incrementare octet

Descriere: Instrucțiunea INC incrementează cu 1 variabila octet indicată.O valoare inițială de 0FFH va deveni în urma incrementării 00H.Nu se afectează nici un indicatorde condiții. Sunt permise trei moduri de adresare: adresare prin registru, adresare directă, adresare indirectă prin registru.

Notă: Atunci când această instrucțiune este utilizată ca să modifice un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire şi nu de la intrare.

Exemplu: Registrul R0 conține valoarea 7EH (01111110B). Locațiile interne RAM cu adresele 7EH şi 7FH conțin valorile 0FFH şi respectiv 40H. Secvența de instrucțiuni:

```
INC  @R0
INC  R0
INC  @R0
```

va lăsa registrul R0 setat la 7FH şi locațiile interne RAM cu adresele 7EH şi 7FH conținând valorile 00H şi 41H.

17 **INC** **DPTR**

Funcția: Incrementarea pointer-ului de date

Descriere: Instrucțiunea incrementează cu 1 pointerul de date (16 biți). Este utilizată o incrementare pe 16 biți. O depăşire la octetul mai puțin semnificativ al pointerului (DPL), de la valoarea 0FFH la 00H, va incrementa octetul mai semnificativ (DPH). Nu sunt afectați indicatorii de condiții. Singurul registru care poate fi manipulat de această instrucțiune este pointerul de date, DPTR.

Exemplu: Registrele DPH şi DPL conțin valorile 12H şi respectiv 0FEH. Setul de instrucțiuni:

```
INC   DPTR
INC   DPTR
INC   DPTR
```

va schimba conținutul registrelor DPH şi DPL la valorile 13H şi respectiv 01H.

18 **JB** **bit, rel**

Funcția: Salt dacă bitul e setat la 1

Descriere: Dacă bitul indicat e un 1 se efectuează un salt în program la adresa indicată, altfel se trece la executarea instrucțiunii următoare. Destinația saltului este obținută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al treilea octet al instrucțiunii, la conținutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC la valoarea primului octet al instrucțiunii următoare. Bitul de test nu este modificat şi nu se afectează nici un indicator.

Exemplu: Data de la portul de intrare P1 e 11001010B. Acumulatorul conține valoarea 56. Secvența de instrucțiuni:

```
JB    P1.2, LABEL1
JB    ACC.2, LABEL2
```

va cauza un salt al execuției programului la eticheta LABEL2.

19 **JBC** **bit, rel**

Funcția: Salt dacă bitul e setat la 1 şi şterge bitul

Descriere: Dacă bitul indicat este 1, se efectuează un salt la adresa indicată. Altfel, se trece la executarea instrucțiunii următoare. Bitul nu va fi resetat dacă este deja 0. Destinația saltului este obținută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al treilea octet al instrucțiunii, la conținutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC la valoarea primului octet al instrucțiunii următoare. Nici un indicator de condiții

nu este afectat.
Notă: Când instrucțiunea este utilizată ca sa testeze un pin de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire, şi nu de la intrare.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 56H (01010110B). Setul de instrucțiuni:

```
JBC   ACC.3, LABEL 1
JBC   ACC.2, LABEL 2
```

va face ca execuția programului să continue de la instrucțiunea identificată prin eticheta LABEL2, cu acumulatorul modificat la valoarea 52H (01010010B).

20 JC rel

Funcția: Salt dacă este setat indicatorul de transport

Descriere: Dacă indicatorul de transport e setat, se efectuează un salt în program, la adresa indicată. Altfel, se trece la executarea instrucțiunii următoare. Destinația saltului este obținută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al doilea octet al instrucțiunii, la conținutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC de două ori. Nu sunt afectați indicatorii de condiție.

Exemplu: Indicatorul de transport este resetat .Secvența de instrucțiuni:

```
JC    LABEL1
CPL   C
JC    LABEL2
```

va seta indicatorul de transport şi va face ca execuția programului să continue cu instrucțiunea de la eticheta LABEL2.

21 JMP @A+DPTR

Funcția: Salt indirect

Descriere: Instrucțiunea adună conținutul pe 8 biți, fără semn, al acumulatorului cu pointerul de date pe 16 biți şi încarcă suma rezultată in contorul programului, PC. Conținutul acestuia va reprezenta adresa instrucțiunii următoare. Adunarea pe 16 biți se face astfel: transportul de la cei 8 biți mai puțin semnificativi se propagă spre biții mai semnificativi. Nu se afectează indicatorii şi nu se schimbă conținutul acumulatorului şi nici al pointerului de date.

Exemplu: În acumulator se află un număr oarecare, de la 0 la 6.Următoarea secvență de instrucțiuni va efectua un salt la una din cele 4 instrucțiuni AJMP începând de la JMP_TBL.

```
                MOV DPTR, #JMP_TBL
                JMP  @A+DPTR
                AJMP     LABEL0
JMP_TBL:        AJMP     LABEL1
                AJMP     LABEL2
                AJMP     LABEL3
```

Dacă acumulatorul conține 04H când începe această secvență, execuția va sări la eticheta LABEL2. Amintim că AJMP e o instrucțiune pe doi octeți, deci instrucțiunea de salt va incepe la orice altă adresă.

22 **JNB** **bit, rel**

Funcția: Salt dacă bitul nu e setat la 1

Descriere: Dacă bitul indicat este 0, se efectuează un salt la adresa indicată. Altfel, se trece la executarea instrucțiunii următoare. Destinația saltului este obținută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al treilea octet al instrucțiunii, la conținutul contorului de progam, PC, după incremen-tarea PC la valoarea primului octet al instrucțiunii următoare. Bitul testat nu este modificat. Nu este afectat nici un indicator de condiții.

Exemplu: Data prezentă la portul P1 de intrare este 11001010B. Acumulatorul conține valoarea 56H (01010110B). Secvența de instrucțiuni:

```
JNB  P1.3, LABEL1
JNB  ACC.3, LABEL2
```

va face ca execuția programului să continue de la instrucțiunea cu eticheta LABEL2.

23 **JNC** **rel**

Funcția: Salt dacă indicatorul de transport nu este setat

Descriere: Dacă indicatorul de transport este 0, se sare instrucțiunea de la adresa indicată. Altfel, se trece la executatea instrucțiunii următoare. Destinația saltului este obținută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al doilea octet al instrucțiunii, la conținutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC de două ori, pentru a se ajunge la adresa primului octet al instrucțiunii următoare. Indicatorul de transport nu e modificat.

Exemplu: Indicatorul de transport este setat. Secvența de instrucțiuni:

```
JNC  LABEL1
CPL  C
```

```
JNC   LABEL2
```

va reseta indicatorul de transport şi va face ca execuţia programului să continue de la instrucţiunea specificată de eticheta LABEL2.

24 **JNZ** **rel**

Funcţia: Salt dacă conţinutul acumulatorului nu este 0

Descriere: Dacă unul dintre biţii acumulatorului este 1, se efectuează un salt la adresa indicată. Altfel, se continuă cu executarea instrucţiunii urmă-toare. Destinaţia saltului este obţinută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al doilea octet al instrucţiunii, la conţinutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC de două ori .Acumulatorul nu se modifică şi nici un indicator de condiţii nu este afectat.

Exemplu: Acumulatorul are valoarea 00H. Instrucţiunile:

```
JNZ   LABEL1
INC   A
JNZ   LABEL2
```

vor seta acumulatorul la valoarea 01H şi vor determina continuarea programului de la instrucţiunea cu eticheta LABEL2.

25 **JZ** **rel**

Funcţia: Salt dacă conţinutul acumulatorului este zero

Descriere: Dacă toţi biţii din acumulator sunt zero, se execută un salt la adresa indicată. Altfel, se continuă cu execuţia instrucţiunii următoare. Destinaţia saltului este obţinută prin adunarea deplasării relative cu semn, în al doilea octet al instrucţiunii, la conţinutul contorului de progam, PC, după incrementarea PC de două ori. Acumulatorul nu se modifică şi nici un indicator de condiţii nu este afectat.

Exemplu: Acumulatorul conţine iniţial valoarea 01H. Secvenţa de instrucţiuni:

```
JZ    LABEL1
DEC   A
JZ    LABEL2
```

va determina ca acumulatorul să conţină valoarea 00H şi va face ca execuţia programului să continue cu instrucţiunea de la LABEL2.

26 **LCALL** **addr16**

Funcţia: Long Call

Descriere: Instrucțiunea LCALL va apela o subrutină aflată la adresa indicată. Instrucțiunea incrementează cu trei contorul programului pentru a genera adresa următoarei instrucțiuni, şi salvează rezultatul (pe 16 biti) în stivă (mai întâi octetul mai puțin semnificativ). Se incrementează pointerul stivei cu 2. Octeții, mai puțin semnificativ şi mai semnificativ, ai contorului programului, PC, sunt încărcați cu al doilea şi al treilea octet al instrucțiunii LCALL. Execuția programului va continua cu instrucțiunea de la această adresă. Subrutina poate începe oriunde în cei 64 kocteți ai spatiului de memorie de program. Nu sunt afectați indicatorii de condiție.

Exemplu: Inițial, pointerul stivei are valoarea 07H. Eticheta SUBRTN este asociată locației de memorie de program cu adresa 1234H. După execuția instrucțiunii:

```
LCALL SUBRTN
```

la locația de memorie cu adresa 0123H, pointerul stivei va conține 09H, locațiile interne RAM cu adresele 08H şi 09H vor conține 26H şi 01H, iar PC va conține 1235H.

27 LJMP addr16

Funcția: Long Jump

Descriere: Instrucțiunea LJMP produce un salt necondiționat la adresa indicată, prin încărcarea octeților mai puțin semnificativ şi mai semnificativ ai contorului programului, PC, cu al doilea şi al treilea octet al instruc-țiunii. Destinația poate fi oriunde în spațiul de adresare al memoriei program de 64 kocteți. Nu se afectează indicatorii de condiții.

Exemplu: Eticheta JMPADR e asociată instrucțiunii localizate la adresa 1234H în memoria de program. Instrucțiunea:

```
LJMPJMPADR
```

va încărca contorul programului cu valoarea 1234H.

28 MOV <dest-byte>, <scr-byte>

Funcția: Mută variabila sursă, de tip octet, în variabila destinație, de tip octet

Descriere: Variabila octet indicată prin al doilea operand este copiată în locația specificată de primul operand. Octetul sursă nu este afectat. Nu se afectează nici un registru sau indicator de condiții. Este de departe cea mai flexibilă operațiune. Permite 14 combinații de moduri de adresare ale sursei şi destinatiei.

Exemplu: Locația internă RAM cu adresa 30H conține valoarea 40H. Locația internă RAM cu adresa 40H conține valoarea 10H.

Data de la portul de intrare P1 este 11001010B (0CAH). Instrucțiunile:

```
MOV R0, #30H
MOV A, @R0
MOV R1, A
MOV B, @R1
MOV @R1, P1
MOV P2, P1
```

lasă valoarea 30H în registrul R0, 40H în acumulator şi registrul P1, 10H în registrul B şi 0CAH (11001010B) în locația RAM cu adresa 40H şi în portul de ieşire P2.

29 **MOV** **<dest-bit>, <scr-bit>**

Funcția: Mută data de tip bit de la sursă la destinație

Descriere: Variabila booleană indicată prin al doilea operand este copiată la locația specificată de primul operand. Unul dintre operanzi trebuie să fie indicatorul de transport, celălalt poate fi orice bit adresabil direct. Nici un alt registru sau indicator nu este afectat.

Exemplu: Indicatorul de transport este inițial setat. Data prezentă la portul de intrare P3 este 11000101B. Data înscrisă anterior în portul de ieşire P1 este 35H (00110101B). Instrucțiunile:

```
MOV P1.3, C
MOV C, P3.3
MOV P1.2, C
```

vor lăsa indicatorul de transport resetat şi portul P1 la valoarea 39H (00111001B).

30 **MOV** **DPTR,#data16**

Funcția: Încarcă pointerul de date cu o constantă pe 16 biți

Descriere: Pointerul de date este încărcat cu constanta pe 16 biți indicată. Aceasta se încarcă în al doilea şi al treilea octet al instrucțiunii. Al doilea octet (DPH) este octetul mai semnificativ, iar al treilea octet (DPL) conține octetul mai puțin semnificativ al constantei specificate. Nu se afectează indicatorii. Este singura instrucțiune de tranfer pe 16 biți.

Exemplu: Instrucțiunea:

```
MOV DPTR, #1234H
```

va încărca valoarea 1234H în pointerul de date. DPH va conține 12H şi DPL va conține 34H.

31 **MOVC A,@A+<base-reg>**

Funcția: Mută octetul de cod

Descriere: Instrucțiunea MOVC încarcă acumulatorul cu un octet de cod sau o constantă din memoria-program. Adresa octetului reprezintă suma conținutului, pe 8 biți, fără semn, al acumulatorului şi conținutul, pe 16 biți al registrului de bază, care poate fi pointerul de date sau contorul programului. In ultimul caz, PC este incrementat la adresa urmatoarei instrucțiuni dinaintea sumării cu acumulatorul. Altfel, registrul bază nu e modificat. Adunarea pe 16 biti se face astfel încât un transport de la cei 8 biți mai puțin semnificativi să poată fi propagat la ceilalți. Nu sunt afectați indicatorii de condiții.

Exemplu: In acumulator se găseşte o valoare cuprinsă între 0 şi 3. Următoarele instrucțiuni vor translata valoarea din acumulator înspre una din cele 4 valori definite la directiva DB (define byte):

```
REL_PC: INC     A
        MOVC    A, @A+PC
        RET
        DB      66H
        DB      77H
        DB      88H
        DB      99H
```

Dacă subrutina este apelată cu acumulatorul având valoarea 01H, va returna 77 în acumulator. Instrucțiunea INC A plasată înaintea instrucțiunii MOVC a permis "ocolirea" instrucțiunii RET din secvență. Dacă câțiva octeți de cod separă începutul de instrucțiunea MOVC din secvență, numărul corespunzator va fi adăugat la acumulator.

32 **MOVX <dest-byte>,<scr-byte>**

Funcția: Mutare externă

Descriere: Instrucțiunea MOVX transferă date între acumulator şi un octet al memoriei externe. Sunt două tipuri de instrucțiuni diferite, după cum se furnizează o adresare indirectă la RAM-ul extern, pe 8 sau pe 16 biți. In primul caz, conținutul registrelor R0 şi R1 furnizează o adresă pe 8 biți multiplexată cu data din portul P0. 8 biți sunt suficienți pentru deco-darea extensiei I/O externe pe o arie de RAM mică. Pentru o arie mai mare, pinii porturilor pot fi utilizati pentru ieşirea biților mai semnificativi de adresă. Aceşti biți vor fi controlați de

oinstrucţiune de ieşire care va urma instrucţiunii MOVX. In al doilea caz, pointerul de date generează o adresă pe 16 biţi. Portul P2 va marca ieşirea celor 8 biţi superiori de adresă (conţinutul DPH) iar portul P0 va multiplexa cei 8 biţi inferiori (DPL) cu cei de date. Registrul funcţiilor speciale P2 va reţine conţinutul anterior, iar bufferul de ieşire P2 va emite conţinutul lui DPH. Această formulă e mai rapidă şi mai eficientă când se accesează zone de date foarte mari (mai mari de 64 kocteţi), deoarece nu este nevoie de instrucţiuni suplimentare pentru a seta porturile de ieşire. Este posibilă şi combinaţia celor două tipuri de instrucţiuni MOVX. O zonă extinsă de memorie RAM şi liniile sale de adresă de ordin superior, administrate de portul P2, pot fi adresate prin pointerul de date, iar codul de ieşire al biţilor superiori de adresă ai portului P2 va fi urmat de o instrucţiune MOVX utilizând registrele R0 sau R1.

Exemplu: O zonă de memorie RAM externă, cu lungimea de 256 octeţi, utilizând multiplexarea liniilor de adrese şi de date este conectată la portul P0 al microcontrollerului 8051. Portul P3 asigură liniile de control pentru memoria RAM externă. Porturile P1 şi P2 sunt utilizate pentru intrările şi ieşirile normale. Registrele R0 şi R1 conţin valorile 12H şi respectiv 34H. Locaţia cu adresa 34H a RAM extern conţine valoarea 56H. Instrucţiunile:

```
MOVX    A,@R1
MOVX    @R0,A
```

copiază valoarea 56H atât în acumultor, cât şi in locaţia RAM externă cu adresa 12H.

33 MUL AB

Funcţia: Înmulţire

Descriere: Instrucţiunea MUL AB înmulţeşte întregii pe 8 biţi din acumulator şi din registrul B. Octetul mai puţin semnificativ al produsului pe 16 biţi este lăsat în acumulator, iar octetul mai semnificativ în registrul B. Dacă produsul e mai mare decâ 255 (0FFH) indicatorul de depăşire este setat; altfel, este zero. Indicatorul de transport este întotdeauna resetat.

Exemplu: Iniţial, acumulatorul conţine valoarea 80 (50H), iar registrul B, valoa-rea 160 (0A0H). Instrucţiunea

```
MUL AB
```

va furniza produsul, 12.800 (3200H), registrul B devine 32H (00110010B) iar acumulatorul 00H. Indicatorul de depăşire

este setat, iar cel de transport este zero.

34 **NOP**

Funcția: Nici o operație

Descriere: Execuția continuă cu instrucțiunea următoare. In afara contorului de program, PC, care este incrementat, nici un registru sau indicator nu este afectat.

Exemplu: Este nevoie de producerea unui puls de depăşire scurt pe bitul 7 al portului P2, durând exact 5 cicluri. O secvență SETB/CLR va genera un puls cu durata de un ciclu, la care trebuie adunati alți patru, ca în secvența:

```
CLR  P2.7
NOP
NOP
NOP
NOP
SETB P2.7
```

35 **ORL** **<dest-byte>, <scr-byte>**

Funcția: SAU LOGIC pentru variabile de tip octet

Descriere: Instrucțiunea ORL realizează funcția SAU LOGIC între variabilele de tip octet indicate, încărcând rezultatul în octetul destinație. Nu se afectează nici un indicator de condiții. Cei doi operanzi permit 6 combinații ale modurilor de adresare. Când destinația este acumulatorul, sursa poate fi adresată ca registru, direct, registru-indirect sau imediat; când destinația este o adresă directă, sursa poate fi acumulatorul sau o data imediată.

Notă: Atunci când această instrucțiune este utilizată ca să modifice un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire şi nu de la intrare.

Exemplu: Dacă acumulatorul conține valaorea 0C3H (11000011B) şi registrul R0 valoarea 55H (01010101B), instrucțiunea

```
ORL  A,R0
```

va lăsa în acumulator valoarea 0D7H(11010111B).

Când destinația este un octet adresat direct, instrucțiunea poate seta combinații de biți în orice locație RAM sau registru hardware. Şablonul biților care trebuie setați este determinat de un octet-mască, care poate fi o constantă în instrucțiune sau o variabilă creată în acumulator la rulare. Instrucțiunea:

```
ORL  P1, #00110010B
```

va seta biţii 5, 4 şi 1 ai portului de ieşire P1.

36 **ORL** **C, <scr-bit>**

Funcţia: SAU LOGIC pentru variabile de tip bit

Descriere: Instrucţiunea ORL C, bit setează indicatorul de transport dacă valoarea booleană e un 1 logic. Instrucţiunea nu modifică starea indicatorului de transport. Simbolul (“/”) precedând operandul, în limbaj de asamblare, indică faptul că se utilizează compementul logic al bitului adresat ca valoare sursă, fără ca bitul sursă să fie afectat. Nici un alt indicator nu e afectat.

Exemplu: Secvenţa prezentată setează indicatorul de transport dacă şi numai dacă P1.0=1, ACC.7=1, OV=0:

```
ORL  C, P1.0
ORL  C, ACC.7
ORL  C, /OV
```

37 **POP** **direct**

Funcţia: Extragere din stivă

Descriere: Instrucţiunea citeşte conţinutul locatiei interne RAM adresată prin pointerul stivei, iar pointerul stivei este decrementat cu 1. Valoarea citită este apoi transferată în octetul direct adresabil indicat. Nu se afectează nici un indicator de condiţii.

Exemplu: Pointerul stivei conţine iniţial valoarea 32H şi locaţiile interne RAM cu adresele 30H până la 32H conţin valorile 20H, 23H, 01H. Instrucţiunile:

```
POP  DPH
POP  DPL
```

lasă pointerul stivei setat la valoarea 30H şi pointerul de data la 0123H. In acest punct, instrucţiunea:

```
POP  SP
```

va seta pointerul stivei la valoarea 20H. In acest caz special, pointerul stivei a fost decrementat la valoarea 2FH înainte de încărcarea cu valoarea extrasă (20H).

38 **PUSH** **direct**

Funcţia: Salvare în stivă

Descriere: Pointerul stivei, SP, este incrementat cu 1. Conţinutul variabilei indicate e copiat în locaţia internă RAM adresată de pointerul stivei. Nici un alt indicator nu este afectat.

Exemplu: Intrând într-o rutină de întrerupere, pointerul stivei, SP,

conține valoarea 09H. Pointerul de date conține valoarea 0123H. Instrucțiunile:

```
PUSH    DPL
PUSH    DPH
```

vor seta pointerul stivei la valoarea 0BH şi vor încărca 23H şi 01H în locațiile interne RAM cu adresele 0AH şi 0BH.

39 **RET**

Funcția: Revenire din subrutină

Descriere: Instrucțiunea RET extrage succesiv octeții mai semnificativ şi mai puțin semnificativ ai adresei din stivă, decrementind pointerul stivei cu 2. Execuția programului continuă de la adresa rezultată, în general instrucțiunea ce sccede instrucțiunile ACALL sau LCALL. Nici un indicator nu este afectat.

Exemplu: Pointerul stivei conține inițial valoarea 0BH. Locațiile interne RAM cu adresele 0AH şi 0BH conțin valorile 23H şi, respectiv 01H. Instrucțiunea RET va seta pointerul stivei la valoarea 09H, iar execuția programului va continua de la locația cu adresa 0123H.

40 **RETI**

Funcția: Revenire din rutina de tratare a unei întreruperi

Descriere: Instrucțiunea RETI extrage succesiv octeții mai semnificativ şi mai puțin semnificativ ai contorului programului, PC, din stivă şi reactivează logica de întreruperi să accepte întreruperi suplimentare, cu acelaşi nivel de prioritate ca cea tocmai procesată. Pointerul stivei e decrementat prin 2. Nici un alt registru nu este afectat. Cuvântul de stare a programului, PSW, nu este reîncărcat automat cu starea sa anterioară tratării întreruperii. Execuția programului continuă de la adresa rezultată, care e în general, instrucțiunea imediat următoare celei după care a fost detectată apelarea întreruperii. Dacă o întrerupere cu nivel de prioritate mai mic sau egal a apărut în timp ce se executa RETI, acea instrucțiune va fi executată înaintea revenirii din întrerupere.

Exemplu: Pointerul stivei conține valoarea initială 0BH. O întrerupere a fost detectată în timpul instrucțiunii care se termină la locația cu adresa 0122H. Locațiile interne RAM cu adresele 0AH şi 0BH conțin valorile 23H şi respectiv 01H. Instrucțiunea:

```
RETI
```

va lăsa pointerul stivei setat la valoarea 09H şi va continua

execuția programului de la adresa 0123H.

41 **RL** **A**

Funcția: Roteşte acumulatorul la stânga

Descriere: Cei 8 biți ai acumulatorului sunt rotiț cu un bit la stânga. Bitul 7 ajunge în poziția bitului 0. Nici un indicator nu e afectat.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea inițială 0C5H (11000101B). Instruc-țiunea:

RL A

va determina ca acumulatorul să conțină valoarea 8BH (10001011B), fără a afecta indicatorul de transport.

42 **RLC** **A**

Funcția: Rotirea acumulatorului la stânga prin indicatorul de transport

Descriere: Cei 8 biți ai acumulatorului şi indicatorul de transport sunt amândoi rotiți cu un bit la stânga. Bitul 7 ajunge în indicatorul de transport, iar acesta pe poziția bitului 0. Nu afecteaza nici un alt indicator.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea inițială 0C5H (11000101B), şi indicatorul de transport este 0. Instrucțiunea:

RLC A

va lăsa în acumulator valoarea 8BH (10001010B), cu setarea indicatorului de transport.

43 **RR** **A**

Funcție: Rotirea acumulatorului la dreapta

Descriere: Cei 8 biți ai acumulatorului sunt rotiți cu un bit la dreapta. Bitul 0 ajunge în poziția bitului 7. Nici un indicator nu e afectat.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C5H (11000101B). Instrucțiunea:

RR A

va seta acumulatorul la valoarea 0E2H (11100010B), cu indicatorul de transport neafectat.

44 **RRC** **A**

Funcția: Rotirea acumulatorului la dreapta prin indicatorul de transport.

Descriere: Cei 8 biți ai acumulatorului şi indicatorul de transport sunt rotiți împreună cu un bit la dreapta. Bitul 0 ajunge în indicatorul de transport, iar acesta în poziția bitului 7. Nici un

alt indicator nu este afectat.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C5H, iar transportul este 0. Instrucțiunea:

```
RRC A
```

va determina ca acumulatorul să conțină valoarea 62H (01100010B), cu indicatorul de transport setat la 1.

45 **SETB** **<bit>**

Funcția: Setează bitul specificat

Descriere: Instrucțiunea SETB setează bitul indicat la 1. SETB poate opera asupra indicatorului de transport sau oricărui alt bit direct adresabil. Nu afectează alți indicatori.

Exemplu: Indicatorul de transport este resetat. Portul de ieşire P1 a fost înscris cu valoarea 34H (00110100B). Instrucțiunile:

```
SETB C
SETB P1.0
```

vor seta indicatorul de transport la 1 şi data de ieşire la portul P1 va fi 35H (00110101B).

46 **SJMP** **rel**

Funcția: Short Jump

Descriere: Instrucțiunea SJMP determină un salt necondiționat în program, la adresa indicată. Destinația saltului este compusă prin sumarea deplasării cu semn, în al doilea octet al instrucțiunii, cu conținutul contorului programului, PC, după incrementarea PC de două ori. Saltul permis are o valoare de la -128 de octeți (precedenți instrucțiunii SJMP) la +127 octeți (următori instrucțiunii SJMP).

Exemplu: Eticheta RELADR e asociată instrucțiunii de la locația cu adresa 0123H. Instrucțiunea:

```
SJMP RELADR
```

va duce la locația cu adresa 0100H. După ce instrucțiunea este executată, PC va conține valoarea 0123H.

47 **SUBB** **A, <src-byte>**

Funcția: Scădere cu împrumut.

Descriere: Instrucțiunea SUBB va scădea atât variabila octet indicată, cât şi indicatorul de transport din acumulator, lăsând rezultatul în acumulator. SUBB setează indicatorul de transport (de împrumut) dacă este nevoie de un împrumut pentru bitul 7 şi sterge indicatorul C altfel (dacă C a fost setat înaintea execuției instrucțiunii SUBB, aceasta indică că a fost

necesar un împrumut la pasul anterior, într-o scădere cu precizie multiplă, astfel încât transportul este scăzut din acumulator odată cu operandul sursă). Indicatorul AC e setat dacă a fost necesar un împrumut pentru bitul 3 şi resetat în caz contrar. Indicatorul OV e setat dacă e necesar un împrumut la bitul 6, dar nu la bitul 7, sau la bitul 7, dar nu la bitul6. La scăderea întregilor cu semn, OV indică un număr negativ când o valoare negativă e scazută dintr-o valoare pozitivă, sau un rezultat pozitiv când un număr pozitiv e scăzut dintr-un număr negativ. Operandul sursă permite 4 moduri de adresare: prin registru, directă, indirectă prin registru, imediată.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C9H (11001001B), registrul R2 conține valoarea 54H (01010100B) şi indicatorul de transport e setat. Instrucțiunea:

SUBB A, R2

va determina valoarea 74H (01110100B) în Acumulator, cu indicatorul de transport şi AC resetați, dar indicatorul OV setat. Se observă că:

0C9H-54H =75H

Diferența între acest rezultat şi cel de mai sus este datorat faptului că indicatorul de transport (împrumut) a fost setat înaintea operației. Dacă starea indicatorului de transport nu e cunoscută înainte de începerea unei scăderi în precizie simplă sau multiplă, va fi în mod explicit resetat de o instrucțiune:

CLR C.

48 **SWAP A**

Funcție: Interschimb intern în acumulator

Descriere: Instrucțiunea SWAP A interschimbă câmpurile de câte 4 biți, mai semnificativ şi mai puțin semnificativ, ale acumulatorului (biții 7÷4 şi biții 3÷0). Operația poate, de asemenea, să fie gândită ca o instrucțiune de rotație pe 4 biți. Nici un indicator nu este afectat.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C5H (11000101B). Instrucțiunea:

SWAP A

determină în acumulator valoarea 5CH (01011100B).

49 **XCH A, <byte>**

Funcție: Schimbă conținutul acumulatorului cu o variabilă de tip octet

Descriere: Instrucțiunea XCH încarcă acumulatorul cu conținutul

variabilei indicate, scriind în acelaşi timp conținutul original al acumulatorului în variabila de tip octet indicată. Operatorii sursă şi destinație pot folosi adresarea prin registru, adresarea directă sau indirect prin registru.

Exemplu: Registrul R0 conține adresa 20H. Acumulatorul conține valoarea 3FH (00111111B). Locația internă RAM cu adresa 20H conține valoarea 75H (01110101B). Instrucțiunea:

```
XCH A,@R0
```

va determina ca locația RAM cu adresa 20H să conțină valoarea 3FH (00111111B) şi 75H (01110101B) în acumulator.

50 XCHD A,@Ri

Funcția: Schimbă digit

Descriere: Instrucțiunea XCHD schimbă câmpul de 4 biți mai puțin semnificativ al acumulatorului (biții 3÷0), reprezentând în general un digit hexazecimal sau BCD, cu acela al locației interne RAM adresată indirect prin registrul specificat. Câmpul de 4 biți mai semnificativ (biții 7÷4) ai registrelor nu sunt afectați. Nici un indicator de condiții nu este afectat.

Exemplu: Registrul R0 conține adresa 20H. Acumulatorul conține valoarea 36H (00110110B). Locația internă RAM cu adresa 20H conține valoarea 75H (01110101B). Instrucțiunea:

```
XCHD A, @R0
```

va determina ca locația RAM cu adresa 20H să conțină valoarea 76H (01110110B) şi acumulatorul 35H (00110101B).

51 XRL <dest-byte>, <src-byte>

Funcție: SAU EXCLUSIV între variabile de tip octet

Descriere: Instrucțiunea XRL realizează funcția SAU EXCLUSIV la nivel de bit între variabilele octet indicate, incărcând rezultatul în octetul destinație. Nu afectează indicatorii de condiții. Cei doi operanzi permit 6 combinații de moduri de adresare. Când destinația este acumulatorul, sursa poate fi adresată ca registru, direct, registru-indirect sau imediat; când destinația este o adresă directă, sursa poate fi acumulatorul sau o dată imediată.

Notă: Atunci când această instrucțiune e utilizată ca să modifice un port de ieşire, valoarea utilizată ca dată inițială va fi citită de la ieşire, nu de la intrare.

Exemplu: Acumulatorul conține valoarea 0C3H (11000011B) şi

registrul R0 conţine valoarea 0AAH (10101010B). Instructiunea:

XRL A, R0

va determina ca acumulatorul să conţină valoarea 69H (01101001B).

Când destinaţia e un octet direct adresabil, această instrucţiune poate încărca complementele logice ale combinaţiilor de biţi în orice locaţie RAM sau registru hardware. Şablonul biţilor care vor fi complementaţi e determinat de un octet mască, ce poate fi atât o constantă conţinută în instrucţiune, cât şi o variabilă obţinută în acumulator în timpul rulării programului. Instrucţiunea:

XRL P1, #00110001B

va complementa biţii 5, 4 şi 0 ai portului de ieşire P1.

5.3 SISTEM DE DEZVOLTARE CU MICROCONTROLLER 80C552

Sistemul de dezvoltare iniţial, **IMC500**, a fost astfel conceput încât permite dezvoltarea rapidă a aplicaţiilor în domenii diverse - automatizări industriale, aparate de măsură, industrie uşoară, medicină, industria automobilelor, domeniul casnic, etc.

Utilizarea tehnologiei **CMOS** îl recomandă pentru aplicaţiile care necesită un consum redus de energie şi care necesită imunitate ridicată la perturbaţii.

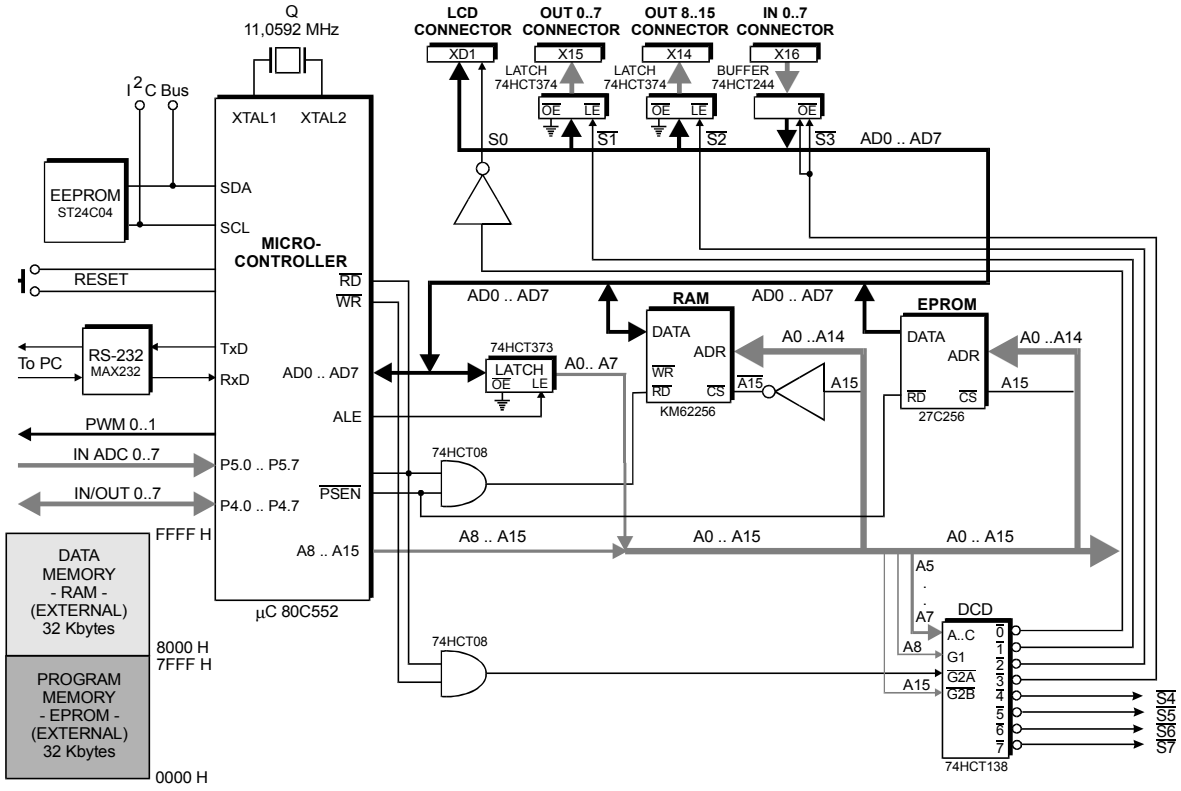
Preţul scăzut de cost îl recomandă atât pentru produsele de serie, cât şi pentru prototipuri şi unicate.

În fig. 5.8 este prezentată structura generală a sistemului de dezvoltare **IMC500**.

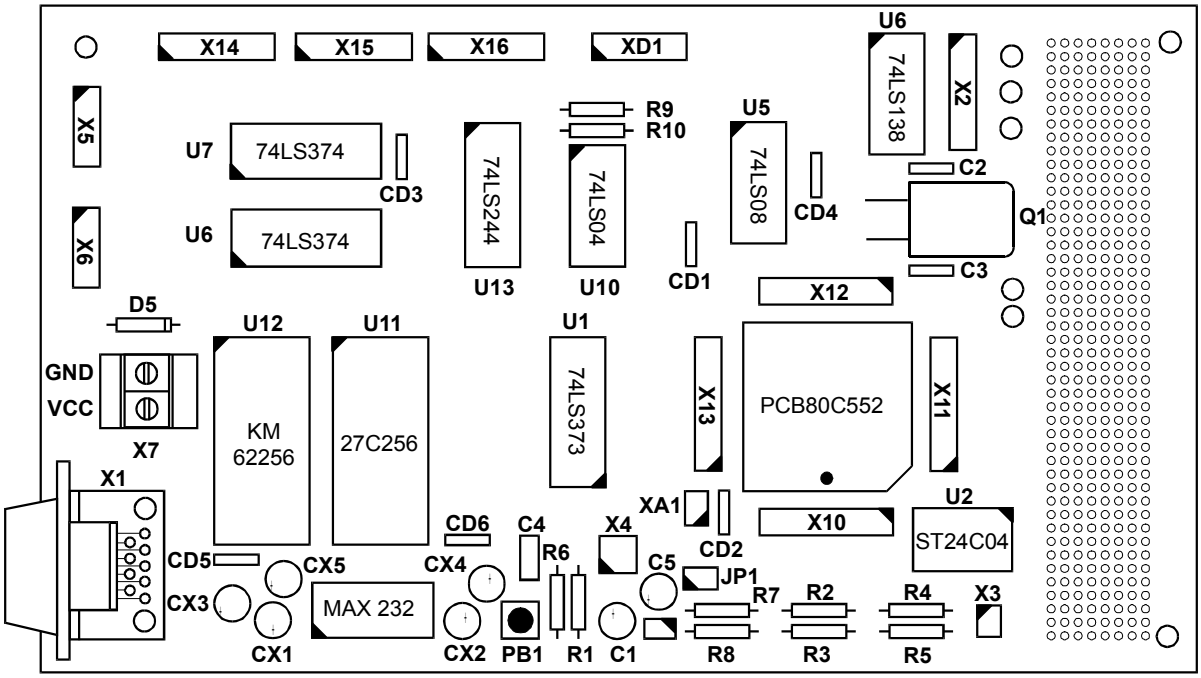
În fig. 5.9 este prezentată detaliat structura de interconexiune cu exteriorul a sistemului de dezvoltare cu microcontroller **80C552**.

Sistemul de dezvoltare este destinat în principal dezvoltării de programe. ***Hardware***-ul suplimentar utilizat - de exemplu tastatura, afişaj cu cristale lichide, etc. - permite unificarea din punct de vedere constructiv a diferitelor produse. Acest proces de unificare ***hardware*** direcţionează efortul de proiectare spre programe de aplicaţie.

Acest sistem de dezvoltare, bazat pe microcontroller-ul **80C552**, acoperă din punct de vedere ***hardware*** şi ***software*** aplicaţiile dezvoltate cu microprocesoarele **80C31**, **80C32** şi alte procesoare din familia **8051**, putând fi folosit la dezvoltarea de aplicaţii cu aceste procesoare.



a) Structura de bază a sistemului de dezvoltare **IMC500**.



b) Amplasarea componentelor sistemului de dezvoltare **IMC500**.

Fig. 5.8 Sistemul de dezvoltare **IMC500**.

CONECTOR X1 (SERIAL_LINK)

1	NC	2	TXD
3	RXD	4	NC
5	GND	6	NC
7	NC	8	NC
9	NC		

CONECTOR X2 (DECODE)

1	VCC	2	S0/
3	VCC	4	S1/
5	VCC	6	S2/
7	NC	8	S3/
9	NC	10	S4/
11	GND	12	S5/
13	GND	14	S6/
15	GND	16	S7/

CONECTOR X3 (I2C_LINK)

1	SDA	2	SCL

CONECTOR X4 (INTERNAL_MEM)

1	VCC	2	EA/
3	GND	4	EA/

CONECTOR X5 (ROM_SEL)

1	PSEN/	2	CE_P
3	RD/	4	CE_P

CONECTOR X6(ROM_EN)

1	VCC_P	2	VCC
3	GND	4	NC

CONECTOR X7 (MAIN_SUPPLY)

1	GND	2	VCC

CONECTOR X8 (JP1)

1	EW/	2	GND

CONECTOR X9 (SW1_RESET)

1	R6_VCC	2	R1_GND

CONECTOR X10 (μC)

1	CMSR2	2	CMSR4
3	CMSR0	4	CMSR1
5	PWM1	6	EW/
7	STAD	8	PWM1
9	ADC0	10	VCC
11	ADC2	12	ADC1
13	ADC4	14	ADC3
15	ADC6	16	ADC5
17	AVDD	18	ADC7

CONECTOR X11 (μC)

1	CMSR4	2	CMSR3
3	CMT2	4	CMSR5
5	RST	6	CMT1
7	CT1I	8	CT0I
9	CT3I	10	CT2I
11	RT2	12	T2
13	PSDA	14	PSCL
15	PTXD	16	PRXD
17	T0	18	INT0

CONECTOR X12 (μC)

1	T0	2	INT1
3	WR/	4	T1
5	NC	6	RD/
7	XT2	8	NC
9	GND	10	XT1
11	NC	12	GND
13	A9	14	A8
15	A11	16	A10
17	A14	18	A12

CONECTOR X13 (μC)

1	AVSS	2	ADC7
3	AVREF-	4	AVREF+
5	AD1	6	AD0
7	AD3	8	AD2
9	AD5	10	AD4
11	AD7	12	AD6
13	ALE	14	EA/
15	A15	16	PSEN/
17	A13	18	A14

CONECTOR X14 (OUT_HIGH)

1	AX8	2	VCC
3	AX9	4	VCC
5	AX10	6	NC
7	AX11	8	NC
9	AX12	10	NC
11	AX13	12	NC
13	AX14	14	GND
15	AX15	16	GND

CONECTOR X15 (OUT_LOW)

1	AX0	2	VCC
3	AX1	4	VCC
5	AX2	6	NC
7	AX3	8	NC
9	AX4	10	NC
11	AX5	12	NC
13	AX6	14	GND
15	AX7	16	GND

CONECTOR X16 (INPUT)

1	IX0	2	VCC
3	IX1	4	VCC
5	IX2	6	NC
7	IX3	8	NC
9	IX4	10	NC
11	IX5	12	NC
13	IX6	14	GND
15	IX7	16	GND

CONECTOR XA1 (SUPPLY)

1	VCC	2	GND

CONECTOR XD1 (LCD)

1	VSS	2	VDD
3	V0	4	RS
5	R/W	6	EN
7	D0	8	D1
9	D2	10	D3
11	D4	12	D5
13	D6	14	D7

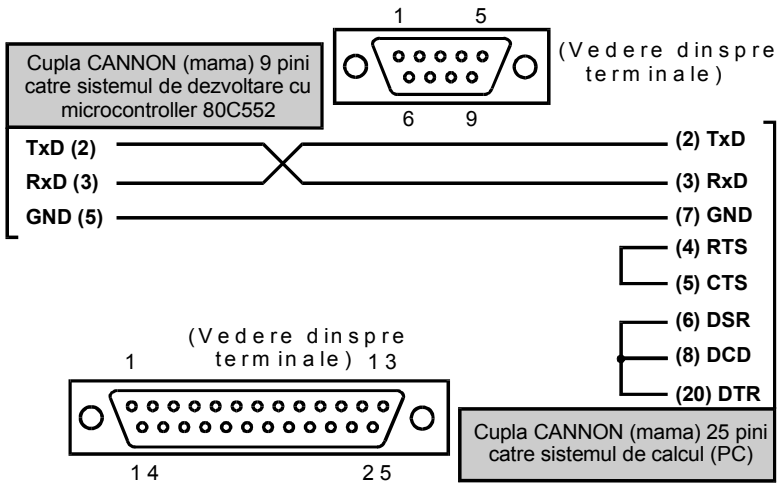


Fig. 5.9 Structura interconexiunilor sistemului de dezvoltare **IMC500**.

Sistemul de dezvoltare realizat dispune de următoarele resurse ***hardware*** şi caracteristici tehnice:

- microcontroller **PCB80C552** (fără memorie internă de program), lucrând la o frecvență maximă a ceasului de 16 MHz;
- frecvența ceasului sistemului de dezvoltare 11,059200 MHz;
- memoria de date externă (**DATA MEMORY**), statică, implementată cu un circuit de tip **KM62256AL**, realizat în tehnologie **CMOS**, cu capacitatea de 32 kocteți şi caracterizat de un timp de acces de 35ns. Spațiul de adresare ocupat de memoria de date, în cadrul sistemului de dezvoltare, este cuprins între adresele 8000H şi FFFFH. Selectarea memoriei RAM, activă pe nivel coborât, se efectuează cu semnalul $\overline{A_{15}}$, iar semnalele de control sunt $\overline{WR}$ pentru scriere şi $\overline{PSEN} \cdot \overline{RD}$ pentru citire (pentru a se putea rula din memoria RAM aplicațiile transferate pe interfața serială de la PC);
- memoria de program externă (**PROGRAM MEMORY**), implementată cu un circuit **EPROM** de tip **27C256**, realizat în tehnologie **CMO**S, cu capacitatea de 32 kocteți şi caracterizat de un timp de acces de 70ns. Spațiul de adrese ocupat de memoria de program externă în cadrul sistemului de dezvoltare, este cuprins între 0000H şi 7FFFH. Selectarea memoriei RAM, activă pe nivel coborât, se efectuează cu semnalul A_{15}, iar semnalul de control este $\overline{PSEN}$ pentru citire. Memoria externă de program conține programul de aplicație sau în faza de dezvoltare a acestuia conține un program monitor;
- interfață serială compatibilă **RS-232** de mare viteză, full duplex, fără semnale de dialog, funcționând doar cu protocol ***software***;
- bus serial **I²C** (bus ***multimaster*** cu arbitrare de priorități şi viteză mare de transmisie - 100 kbytes pe secundă în modul standard şi 400 kbytes pe secundă în modul rapid -, frecvența maximă a ceasului serial este 100 kHz. Destinația principală este comunicația cu circuite integrate sau controller-e, prevăzute cu interfața **I²C**, aflate în aceeaşi carcasă;
- memorie **EEPROM** serială, implemetată cu un circuit de tip **ST24C04**, realizat în tehnologie **CMOS**, cu capacitatea de 512 octeți şi conectată la interfața **I²C**;
- **2** porturi paralele de ieşire de **8** biți;
- **1** port paralel de intrare de **8** biți;
- **8** intrări multiplexate la un convertor analog-digital cu rezoluția de 10 biți, implementat în structura microcontroller-ului 80C552 şi caracterizat de un timp de conversie de 50 cicluri maşină (aproximativ 50 μs);
- **8** ieşiri decodificate de selecție porturi, specificate în cadrul tabelului

5.1;

Dintre cele 8 semnale de decodificare porturi ocupă un spațiu de adrese cu dimensiunea de FFH, aşa după cum reiese din tabelul prezentat anterior. Dintre cele 8 semnale de selecție sintetizate, în structura sistemului de dezvoltare sunt utilizate doar 4, şi anume:

- $\overline{S}_0$ - semnal de selecție pentru afişajul cu cristale lichide LCD;
- $\overline{S}_1$ - semnal de selecție pentru portul de ieşire mai puțin semnificativ;
- $\overline{S}_2$ - semnal de selecție pentru portul de ieşire mai semnificativ;
- $\overline{S}_4$ - semnal de selecție pentru portul de intrare;
- $\overline{S}_4 \div \overline{S}_7$ - neutilizate (disponibile pentru extensii ***hardware***);

Tabelul 5.1 Spațiul de adrese pentru selecțiile de porturi.

Liniile de adrese $A_0 \div A_{15}$																Ieşire DCD	Adresa (H)
A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0		
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	X	X	X	X	X	$\overline{S}_0$	100H..11FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	1	X	X	X	X	X	$\overline{S}_1$	120H..13FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	0	X	X	X	X	X	$\overline{S}_2$	140H..15FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	X	X	X	X	X	$\overline{S}_3$	160H..17FH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	0	X	X	X	X	X	$\overline{S}_4$	180H..19FH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	1	X	X	X	X	X	$\overline{S}_5$	1A0H..1BFH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	1	0	X	X	X	X	X	$\overline{S}_6$	1C0H..1DFH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	X	X	X	X	X	$\overline{S}_7$	1E0H..1FFH
MOV P_2,#1								MOV R_0,#($A_7A_6A_5A_4A_3A_2A_1A_0$)B MOV @R_0,A									

Extinderea numărului de porturi de intrare-ieşire poate fi făcută fie prin utilizarea semnalelor de selecție disponibile, ceea ce conduce la încărcarea magistralei interne a sistemului de dezvoltare, fie prin subdecodificarea liniilor inferioare de adrese neutilizate $A_4 \div A_0$ şi multiplexarea, respectiv demultiplexarea, intrărilor, respectiv a ieşirilor, portului de intrare, respectiv a portului de ieşire mai puțin semnificativ. Procesul de multiplexare se realizează bazat pe circuite cu ieşiri de tip ***three-state***, minimizând deci numărul de resurse ***hardware*** suplimentare necesare;

- **2** ieşiri analogice de **8** biți modulate în durată. Prin integrarea lor se pot obține două convertoare digital-analogice de **8** biți;
- **3** numărătoare de tip ***timer*** / ***counter***;

- **1** ***watchdog*** programabil (mijloc de auto-deblocare în cazul execuției eronate a programelor, datorită perturbațiilor sau interferențelor;
- **15** linii de întreruperi, dintre care **6** linii externe;
- reset la punerea sub tensiune;
- conectarea directă a unui afişaj cu cristale lichide.

5.3.1 DOMENIUL DE APLICABILITATE

Echipamentul prezentat, poate fi uşor extins la un sistem de măsură şi control construit în jurul unui microcontroller tip 80C552, destinat unei largi clase de aplicații în:

- **mediul industrial**: măsurarea / reglarea unor parametrii: temperatura, nivelul, turația etc.;
- **procesul de învățământ**: pentru dotarea laboratoarelor de automatizări industriale;
- **dezvoltarea unor programe de aplicații**.

Echipamentul poate funcționa independent sau conectat la un sistem de calcul ierarhic superior.

5.3.2 DETALIEREA RESURSELOR SISTEMULUI

5.3.2.1 UNITATEA CENTRALĂ DE PRELUCRARE

- Microcontroller de tip 80C552, cu frecvența ceasului de 11,0592 MHz;
- Memorie RAM externă, 32 Kocteți;
- Memorie EPROM externă, 32 Kocteți;
- Memorie EEPROM externă, 512 octeți, conectată pe magistrala I^2C.

5.3.2.2 INTERFAȚA CU PROCESUL CONTROLAT

- **2 intrări analogice** pentru semnal unificat în curent. Sistemul dispune de două intrări analogice: IN_ANA_1 şi IN_ANA_2, pentru măsurarea semnalelor de intrare în curent în domeniul (4...20)mA, furnizate de un traductor.

  Semnalele de intrare în curent sunt convertite intern în tensiune în domeniul (0,4...2)V.

  Acestea corespund canalelor de intrare ADC0 şi ADC1 ale portului

P5 al microcontroller-ului 80C552.

Manipularea conversiei A/D se face prin registrele ADCON şi ADCH.

Caracteristici:

1. Semnal de intrare: (4…20)mA
2. Caracteristica de transfer a convertorului analog-digital:

$$\begin{aligned} N &= 2^{10} \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF\_}}, \text{ cu rezultatul reprezentat pe } 10 \text{ biti} \\ N &= 2^{8} \times \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF\_}}, \text{ cu rezultatul reprezentat pe } 8 \text{ biti} \end{aligned} \quad (5.6)$$

în care $V_{REF\_} = 0{,}4V$; $V_{REF+} = 2V$ şi $V_{IN} = (0{,}4...2)V$;

3. Furnizează tensiunea de alimentare a traductorului: 24V / max. 100mA

Demararea conversiei A/D implică programarea registrului ADCON.

1. Selectarea canalului de intrare (biţii ADR2…ADR0);
2. Declanşarea software a conversiei: ADCS=1;
3. Testarea sfârşitului conversiei: ADCI=1.

Rezultatul conversiei este depus în registrele ADCH (AD9...AD2) şi ADCON (AD1, AD0).

Registrul ADCON. Adresa: **C5H**. Valoare la reset: xx000000H

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

A/D1	A/D0	ADEX	ADCI	ADCS	ADR2	ADR1	ADR0

ADR2 ADR1 ADR0: 0 0 0 - canal de intrare ADC0; 0 0 1 - canal de intrare ADC1; … 1 1 1 - canal de intrare ADC7.

ADCS: Setarea la 1 - declanşarea conversiei A/D;

ADCI: 0 - conversie în curs de desfăşurare; 1 - sfârşit de conversie.

ADEX: 0 -conversie declanşată software; 1 - conversie declanşată fie hardware prin intermediul semnalului STADC, fie software ca în cazul precedent

A/D0: Bitul 0 (LSB) al rezultatului

A/D1: Bitul 1 al rezultatului

Registrul ADCH. Adresa: **C6H**. Valoare la reset: xxxxxxxxH

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

A/D9	A/D8	A/D7	A/D6	A/D5	A/D4	A/D3	A/D2
Biţii mai semnificativi ai rezultatului conversiei							

Secvență de cod, în limbaj de asamblare, pentru conversia analog-digitală:

```
MOV   A,#0        ; CONVERSIE A/D CANAL 0
MOV   ADCON,A
```

```
        ORL   A,#08H
        MOV   ADCON,A
WAIT1:  MOV   A,ADCON
        JNB   ACC.4,WAIT1
        MOV   A,ADCH
```

sau

```
        MOV   A,#1        ; CONVERSIE A/D CANAL 1
        MOV   ADCON,A
        ORL   A,#08H
        MOV   ADCON,A
WAIT1:  MOV   A,ADCON
        JNB   ACC.4,WAIT1
        MOV   A,ADCH
```

- **2 intrări logice**, compatibile TTL, cu rezistențe interne de pull-up, active pe nivel, pentru captarea unor condiții externe. Sistemul dispune de două intrări logice: IN_LOG_1 şi IN_LOG_2, pentru captarea unor condiții externe.

Caracteristici:

1. semnale de intrare compatibile TTL;
2. intrările sunt prevăzute cu rezistențe interne de pull-up;
3. intrările sunt active pe nivel.

Determinarea stării intrărilor implică citirea Port Intrări Logice.

Port intrări logice. Adresa: **160H**

Bit 7 (MSB)							Bit 0 (LSB)
X	X	X	X	X	X	In _Log_ 2	In _Log_ 1
Neutilizați						Intrări logice	

Secvență de cod în limbaj de asamblare pentru citirea intrărilor logice:

```
MOV     P2,#1
MOV     R0,#60H
MOVX    A,@R0
```

- **1 intrare digitală**, activă pe front, pentru măsurarea duratei între două evenimente externe succesive. Această intrare este dedicată conectării unui senzor cu ultrasunete. Semnalul de intrare este de tip impuls pozitiv cu amplitudinea cuprinsă între (2...12)V;
- **1 intrare digitală,** activă pe front, pentru măsurarea frecvenței unui semnal periodic. Semnalul de intrare este de tip impuls pozitiv cu amplitudinea cuprinsă între (2...12)V sau de tip alternativ, cu amplitudinea cuprinsă în intervalul (4...24)Vvv. **Alternativ**, această intrare poate fi reconfigurată hardware cu caracteristicile de la punctul anterior;

Sistemul dispune de două canale de intrare pentru determinarea duratei între două evenimente externe succesive şi implicit a frecvenței unui semnal de intrare.

Primul canal este asociat cu registrele de captare CT0 şi CT1.

Al doilea canal este asociat cu registrele de captare CT2 şi CT3.

Registrele de captare CT0, CT1, CT2 şi CT3 sunt cuplate cu timer-ul T2 şi captează starea acestuia la apariţia semnalului de captare asociat CT0I, CT1I, CT2I şi CT3I.

Semnalele de captare poziţionează indicatorii de stare asociaţi (CTI0, CTI1, CTI2 şi CTI3) din registrul TM2IR.

Durata între evenimente rezultă din diferenţa conţinutului registrelor de captare.

Fiecare canal are asociate două semnale:

- câte un semnal de ieşire pentru comanda captării, SEND_1, respectiv SEND_2. Aceste semnale iniţializează atât circuitele interne de captare (semnalele de captare CT0I respectiv CT2I) cât şi dacă este cazul, circuitele proprii senzorului conectat.
- câte o intrare pentru semnalul captat: ECHO_1 respectiv ECHO_2. Primul front crescător al semnalului de intrare activează semnalele de captare CT0I respectiv CT2I (are ca efect captarea în registrul CT0 respectiv CT2 a conţinutului timer-ului T2 la acest moment de timp) şi iniţializează semnalele de captare CT1I respectiv CT3I. Al doilea front crescător al semnalului de intrare activează semnalele de captare CT1I respectiv CT3I (are ca efect captarea în registrul CT1 respectiv CT3 a conţinutului timer-ului T2 la acest moment de timp).

Prima intrare (SEND_1, ECHO_1) este activă pe front crescător şi este rezervată pentru măsurarea duratei între două evenimente externe succesive.

Această intrare permite conectarea unui senzor de nivel cu ultrasunete din seria -wms- al firmei Microsonic.

A doua intrare (SEND_2, ECHO_2) este de asemenea activă pe front crescător şi este rezervată măsurării frecvenţei unui semnal periodic. Această intrare permite conectarea unei sonde pentru măsurarea frecvenţei de tip optic sau inductiv sau a unui generator de semnal.

Caracteristici:

1. SEND_1 şi SEND_2: ieşiri open-colector;
2. ECHO_1: intrare de semnal, impuls pozitiv, cu amplitudinea (2...12)V;
3. ECHO_2: intrare de semnal, impuls pozitiv, cu amplitudinea (2...12)V sau semnal periodic alternativ cu amplitudinea (4...24)Vvv.

Iniţializarea secţiunii de captare implică:

1. dezactivarea întreruperilor provenite de la:

- depăşirea superioară pe 8/16 biţi a conţinutului timer-ului T2.
- registrele de captare a evenimentelor.
- circuitele de comparare a conţinutului timer T2 cu registrele de comparare.

2. iniţializarea (încărcare cu 0) a timer-ului TML2/TMH2.
3. programarea registrului CTCON astfel încât registrele de captare CT0, CT1, CT2 şi CT3 să fie activate pe fronturile crescătoare ale semnalului de intrare.
4. programarea timer-ului T2 prin activarea acestuia, cu dezactivarea depăşirii pe 8/16 biţi, ceasul de numărare fiind constituit de un oscilator intern cu frecvenţa de 1/12 din frecvenţa oscilatorului microcontroller-ului urmat de un registru de divizare cu 2.

Notă: Registrele de comparare CM0...CM2 şi logica aferentă, controlate prin intermediul registrelor RTE şi STE, pot fi utilizate pentru supravegherea hardware a încadrării unor parametrii între limite programabile.

Registrul TM2CON. Adresa **EAH**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

T2IS1	T2IS0	T2ER	T2B0	T2P1	T2P0	T2MS1	T2MS0

T2MS1, T2MS0:
0 0 - Timer T2 oprit;
0 1 - ceas = f_{OSC}:12;
1 0 - mod test;
1 1 - ceas extern (T2).

T2P1, T2P0:
0 0 - ceas : 1 (intern sau extern);
0 1 - ceas : 2 (intern sau extern);
1 0 - ceas : 4 (intern sau extern);
1 1 - ceas : 8 (intern sau extern).

T2B0: Indicator întrerupere depăşire pe 8 biţi Timer T2

T2ER: Activare reset extern Timer T2; dacă este 1, T2 poate fi resetat cu un front crescător pe pinul RT2 (P1.5).

T2IS0: Selectare întrerupere de depăşire pe 8 biţi Timer T2

T2IS1: Selectare întrerupere de depăşire pe 16 biţi Timer T2

Registrul IEN1. Adresa **E8H**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

ET2	ECM2	ECM1	ECM1	ECT3	ECT2	ECT1	ECT0

ECT0: Activare întrerupere registru captare 0

ECT1: Activare întrerupere registru captare 1

ECT2: Activare întrerupere registru captare 2

ECT3: Activare întrerupere registru captare 3

ECM1: Activare întrerupere comparator 0 timer T2

ECM1: Activare întrerupere comparator 1 timer T2

ECM2: Activare întrerupere comparator 2 timer T2

ET2: Activare întrerupere depăşire timer T2

Registrul CTCON. Adresa **EBH**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

CTN3	CTP3	CTN2	CTP2	CTN1	CTP1	CTN0	CTP0

CTP0 – Captare pe front ↑ al CT0I

CTN0 – Captare pe front ↓ al CT0I

CTP1 – Captare pe front ↑ al CT1I

CTN1 – Captare pe front ↓ al CT1I

CTP2 – Captare pe front ↑ al CT2I

CTN2 – Captare pe front ↓ al CT2I

CTP3 – Captare pe front ↑ al CT3I

CTN3 – Captare pe front ↓ al CT3I

Registrul RTE. Adresa **EFH**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

TP4.7	TP4.6	RP4.5	RP4.4	RP4.3	RP4.2	RP4.1	RP4.0

RP4.0 – Dacă e 1, P4.0 e resetat la egalita-tea CM1 şi T2

RP4.1 – Dacă e 1, P4.1 e resetat la egalitatea CM1 şi T2

RP4.2 – Dacă e 1, P4.2 e resetat la egalitatea CM1 şi T2

RP4.3 – Dacă e 1, P4.3 e resetat la egalitatea CM1 şi T2

RP4.4 – Dacă e 1, P4.4 e resetat la egalitatea CM1 şi T2

RP4.5 – Dacă e 1, P4.5 e resetat la egalitatea CM1 şi T2

TP4.6 – Dacă e 1, P4.6 basculează la egalitatea CM2 şi T2

TP4.7 – Dacă e 1, P4.7 basculează la egalitatea CM2 şi T2

Registrul STE. Adresa **EEH**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

TG4.7	TG4.6	SP4.5	SP4.4	SP4.3	SP4.2	SP4.1	SP4.0

SP4.0 – Dacă e 1, P4.0 e setat la egalitatea CM0 şi T2

SP4.1 – Dacă e 1, P4.1 e setat la egalitatea CM0 şi T2

SP4.2 – Dacă e 1, P4.2 e setat la egalitatea CM0 şi T2

SP4.3 – Dacă e 1, P4.3 e setat la egalitatea CM0 şi T2

SP4.4 – Dacă e 1, P4.4 e setat la egalitatea CM0 şi T2

SP4.5 – Dacă e 1, P4.5 e setat la egalitatea CM0 şi T2

TG4.6 – Basculare bistabil

TG4.7 – Basculare bistabil

Registrul TM2IR. Adresa **C8H**. Valoare la reset **00H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

T2OV	CM2	CM1	CMO	CTI3	CTI2	CTI1	CTI0

Indicator întrerupere CTI0
Indicator întrerupere CTI1
Indicator întrerupere CTI2
Indicator întrerupere CTI3
Indicator întrerupere CM0
Indicator întrerupere CM1
Indicator întrerupere CM2
Indicator depăşire pe 16 biți a timer-ului T2

Demararea captării implică activarea semnalelor de comandă Send_1 respectiv Send_2 prin bascularea 0-1-0 a bitului 0 respectiv 1 al portului de ieşiri logice.

Port ieşiri logice. Adresa: **140H**

Bit 7 (MSB) Bit 0 (LSB)

Linie 4	Linie 3	Linie 2	Linie 1	Out _Log_ 2	Out_ Log_ 1	Send _2	Send _1
						Comendă Captare	

Secvență de program în limbaj de asamblare pentru comanda captării:

```
MOV         A,#xxxxxx00B
MOV         P2,#1
MOV         R0,#40H
MOVX        @R0,A
```

- **1 ieşire analogică** în semnal unificat (4...20)mA;
- **1 ieşire analogică** tip **PWM** în impulsuri de curent (0...16)mA. **Alternativ**, fiecare ieşire analogică se poate reconfigura hardware.

Sistemul dispune de două ieşiri analogice: OUT_ANA_1 şi OUT_ANA_2 pentru generarea semnalelor de semnal unificat în curent.

Aceste semnale se obțin prin integrarea celor două ieşiri modulate în durată din cadrul structurii microcontroller-ului 80C552 astfel: OUT_ANA_1 corespunde cu PWM0, iar OUT_ANA_2 cu PWM1.

Ieşirea în curent este proporțională cu valoarea factorului de umplere al semnalului generat pe calea PWM0 respectiv PWM1.

Caracteristici:

1. Frecvența semnalelor de la cele două ieşiri (se recomandă alegerea unei frecvențe de lucru de aproximativ 1KHz) este aceeaşi şi este programată prin intermediul registrului PWMP (adresa FEH), conform ecuației:

$$f_{PWM} = \frac{f_{OSC}}{2 \times (1 + PWMP) \times 255} \quad (5.7)$$

2. Durata impulsurilor este determinată de registrele PWM0 şi PWM1 (adresele FCH, respectiv FDH), fiind direct proporţională cu valoarea negată a acestora;
3. Factorul de umplere al semnalelor de ieşire este determinat de ecuaţia:

$$\gamma_i = \frac{PWM_i}{255 - PWM_i} \quad (5.8)$$

4. semnalul de ieşire este izolat optic;
5. sarcina maximă admisă: 500Ω;
6. semnal analogic de ieşire: (4…20)mA;
7. semnal de ieşire în impulsuri: (0…16)mA.

Nota: **1.** În varianta de echipare standard la ieşirea OUT_ANA_1 este generat un semnal unificat în curent, 4mA…20mA, iar la ieşirea OUT_ANA_2 este generat un semnal de tip PWM în impulsuri de curent 0mA…16mA.

2. Alternativ, fiecare ieşire poate fi reconfigurată hardware cu caracteristicile de la punctele 6 respectiv 7.

- **2 ieşiri logice** pentru comenzi externe, izolate galvanic (releu, 2x N.I./ N.D., 6A / 380V).

Sistemul dispune de două ieşiri logice pentru comenzi externe: OUT_LOG_1 şi OUT_LOG_2.

Caracteristici:

1. Ieşirile sunt izolate galvanic.
2. Comanda externă se face prin intermediul unei perechi de contacte N.I / N.D ale unui releu şi admite o sarcină de max. 6A / 380V.

Generarea comenzilor externe implică activarea semnalelor de comandă Out_Log_1 şi respectiv Out_Log_2 prin poziţionarea în "1" a bitului 2 respectiv 3 al portului de ieşiri logice.

Port ieşiri logice. Adresa: **140H**

Bit 7 (MSB)							Bit 0 (LSB)
Linie 4	Linie 3	Linie 2	Linie 1	Out _Log_ 2	Out _Log_ 1	Send_2	Send_1
				Comandă Ieşiri logice			

Manipularea portului de ieşiri logice (scriere) se face cu următoarea secvenţă de program în limbaj de asamblare:

```
MOV     A,#xxxx00xxB
MOV     P2,#1
MOV     R0,#40H
MOVX    @R0,A
```

5.3.2.3 INTERFAȚA CU OPERATORUL

- tastatură matriceală locală cu 16 taste, cu următoarea configurație:

	Col. 1	Col. 2	Col.3	Col. 4
Lin. 1	**F1**	**7**	**8**	**9**
Lin. 2	**F2**	**4**	**5**	**6**
Lin. 3	**F3**	**1**	**2**	**3**
Lin. 4	**F4**	**C**	**0**	**E**

Citirea tastaturii implică:

1. poziționarea succesivă în 0 a biților corespunzători liniilor prin programarea corespunzătoare a portului de ieşiri logice (coloanele sunt ținute în 1 prin rezistențe de pull-up);
2. citirea portului de intrare tastatură;
3. interpretarea rezultatului.

Port ieşiri logice. Adresa: **140H**

Bit 7 (MSB)							Bit 0 (LSB)
Linie 4	Linie 3	Linie 2	Linie 1	Out _Log_ 1	Out_ Log_ 0	Send_ 1	Send _0
Linii tastatură matricială							

Manipularea portului de ieşiri digitale (scriere) se face cu următoarea secvență de program în limbaj de asamblare:

```
MOV   A,#1110xxxxB
MOV   P2,#1
MOV   R0,#40H
MOVX  @R0,A
```

Port intrare tastatură. Adresa: **120H**

Bit 7 (MSB)							Bit 0 (LSB)
Linie 4	Linie 3	Linie 2	Linie 1	Col 4	Col 3	Col 2	Col 1
Linii tastatură matricială				Coloane tastatură matricială			

Manipularea portului de intrare tastatură (citire) se face cu următoarea secvență de program în limbaj de asamblare:

```
MOV   P2,#1
```

```
MOV   R0,#20H
MOVX  A,@R0
```

- display alfanumeric tip LCD, cu 2 linii x 16 caractere. Sistemul dispune de un display alfanumeric cu cristale lichide cu următoarele caracteristici:
  1. memorie internă de date pentru 80 de caractere, (Display Data RAM);
  2. generator de caractere, 160 caractere, 5x7 puncte (Character Generator ROM);
  3. generator de caractere programabil, 8 caractere, 5x7 puncte (Character Generator ROM);
  4. Display Data RAM şi Character generator ROM adresabile de microcontroller;
  5. comenzi: Clear Display, Cursor Home, Display ON/OFF, Cursor ON/OFF, Blink Character, Cursor Shift, Display Shift;
  6. circuitul este resetat la punerea sub tensiune;
  7. oscilator incorporat.

  Unitatea de afişare recepţionează codul caracterului transmis de microcontroller, memorează codul în memoria internă de date (Display data RAM), converteşte codul caracterului într-un pattern asociat (o matrice 5x7 puncte) şi afişează caracterul.

  Unitatea de afişare dispune de asemenea de un generator de caractere programabil (Character Generator ROM) care permite definirea de către utilizator a 8 caractere speciale.

  Pentru afişarea unui caracter microcontroller-ul transmite pe magistrala de date comenzile de poziționare care sunt înscrise în Registrul de Instrucțiuni. Codul caracterului (ASCII) este transmis apoi tot pe magistrala de date şi înscris în Registrul de Date. Starea unității de afişare este citită din Registrul de Stare. Ca urmare, este afişat caracterul corespondent codului transmis în poziția specificată.

  Unitatea de afişare incrementează / decrementează automat poziția caracterului afişat după fiecare intrare astfel încât este necesară numai transmiterea succesivă a codului pentru afişarea unui şir de caractere.

  Instrucțiunile de control a deplasării cursorului permit introducerea caracterelor de la stânga la dreapta sau de la dreapta la stânga.

  Unitatea de afişare este coordonată de microcontroller prin intermediul Registrului de Instrucțiuni, Registrului de Stare şi a Registrului de Date.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Display Clear**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	0	0	0	0	0	1

Clear enter display area, Restore display from shift, Load address counter with DD RAM address 00H. Execution Time: max. 1,64 ms.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Display /Cursor Home**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	0	0	0	0	1	X

Restore display from shift, Load address counter with DD RAM address 00H. Execution Time: max. 1,64ms.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Entry Mode Set**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	0	0	0	1	I/D	S

Specify cursor advance direction and display shift mode. This operation take place after each data entry. I/D=1, Increment / I/D=0, Decrement / S=1, Display Shift On. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Display ON / OFF**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	0	0	1	D	C	B

Specify and activation of display (D), cursor (C), and blinking of character at cursor position. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Display / Cursor Shift**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	0	1	S/C	R/L	X	X

Shift display or move cursor. S/C=1, Shift Display /S/C=0, Move Cursor. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. Function Set**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	0	1	DL	N	0	X	X

Set interface data lendht (DL) and numbers of display lines (N). DL=1, 8 bits / N=1, Dual Lines. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. CG RAM Address Set**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
0	1	Acg: Caracter Generator RAM Address					

Load the Address Counter with CG RAM Address. Subsequent data is CG RAM data. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Instrucțiuni. Adresa: **100H. DD RAM Address Set**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
1	Add: Display Data RAM Address						

Load the Address Counter with DD RAM Address. Subsequent data is DD RAM data. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Stare. Adresa: **102H. Busy Flag / Address Counter Read**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
BF	AC: Address Counter						

Read busy flag (BF) and contentsof address counter. Execution Time: max. 0μs.

Registrul de Date (Write). Adresa: **101H. CG RAM / DD RAM Data Write**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
Write Data							

Write data to CG RAM or DD RAM. Execution Time: max. 40μs.

Registrul de Date (**Read**). Adresa: **103H. CG RAM / DD RAM Data Read**

DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0(LSB)
Read Data							

Read data from CG RAM or DD RAM. Execution Time: max. 40μs.

5.3.2.4 INTERFAȚA CU UN SISTEM DE CALCUL

- Comunicație serială, standard RS232, full-duplex cu rata de transfer programabilă.

5.3.3 RESURSE SOFTWARE. UTILIZARE

Resursele software disponibile:

- sub sistemul de operare MS-DOS:
  - *asamblor*, A51.EXE şi variante (documentație);
  - *compilator C*, C51.EXE;
  - *link*-er, L51.EXE;
  - *program conversie*, OHS51.EXE;
  - *progam monitor*, MT.EXE;
- sub sistemul de operare WINDOWS:
  - *Franklin Compiler 1997* (include toate facilitățile anterioare, exclusiv *program monitor*).

Faza de dezvoltare a unui program de aplicație pentru o platformă hardware coordonată de o unitate centrală de prelucrare cu microcontroller 80C552 constă din:

- **Scrierea programului** cu ajutorul unui editor ASCII de texte, ca de exemplu **EDIT.COM** din sistemul de operare **MS-DOS**, **NCEDIT.EXE** din prgramul **NORTON COMMANDER** sau **NOTEPAD.EXE** din sistemul de operare **WINDOWS** (se impune utilizarea unui editor ASCII pentru a nu se introduce caractere speciale de control în sursa programului).

  În sursa programului de aplicație sunt declarate explicit resursele suplimentare ale microcontroller-ului 80C552 în raport cu 8051, într-o secțiune declarativă la început.

  Programul sursă de aplicație poate fi scris în limbajul de asamblare al familiei de microcontroller-e 8051, caz în care numele său va fi **PROGRAM.ASM** *sau* într-o variantă specializată a limbajului C pentru familia de microcontroller-e 8051, caz în care numele său va fi

PROGRAM.C.

- ***Asamblarea*** sursei **programului** de aplicație, scris în limbaj de asamblare, cu ajutorul asamblorului **A51.EXE**, specializat pentru familia de microcontroller-e 8051, folosind sintaxa: **A51.EXE PROGRAM.ASM**

  În urma executării asamblării programului sursă de aplicații, asamblorul **A51.EXE** generează două fișiere:

  - **PROGRAM.LST**, un fişier listă ce este destinat localizării eventualelor erori rezultate în urma procesului de asamblare şi
  - **PROGRAM.OBJ**, un fişier de tip obiect, care va fi folosit în continuare pentru obținerea formatului executabil;
- *sau,* ***Compilarea*** **sursei** programului de aplicație, scris în limbaj C, cu ajutorul asamblorului **C51.EXE**, specializat pentru familia de microcontroller-e 8051, folosind sintaxa: **C51.EXE PROGRAM.C**
- **Obținerea formatului executabil**, de tip **INTEL HEX**, pe baza fişierului de tip **OBJ**, folosind programul **OHS51.EXE** cu sintaxa:

OHS51.EXE PROGRAM.OBJ

sau

OHS51.EXE PROGRAM

Este generat fişierul executabil **PROGRAM.HEX** ce constituie programul propriu-zis de aplicație.

Ca orice fişier în format **HEX**, acesta începe cu un *header* ce conține numărul de octeți ai programului, adresa la care este organizat programul (specificată prin directiva **ORG** în prima linie), urmat de corpul programului şi se încheie cu o sumă de control.

- **Rularea programului PROGRAM.HEX** presupune rularea pe un calculator gazdă, de tip PC, a programului monitor al unității centrale cu microcontroller 80C552, denumit **MT.EXE**, care are în primul rând rolul de a stabili comunicația serială între sistemul cu microcontroller şi calculatorul de tip PC.

  Sintaxa este: **MT.EXE X**

  în care **X**=1, 2, 3, 4 specifică indicativul portului serial utilizat pentru comunicație (1 specifică portul serial COM1, 2 specifică portul serial COM2, 3 specifică portul serial COM3, 4 specifică portul serial COM4). Dacă parametrul **X** lipseşte, este utilizat în mod implicit portul serial COM1.

  Stabilirea comunicației seriale între cele două sisteme (pe viteza de 9600 bauds, folosind cuvinte de date cu lungimea de 8 biți, fără paritate, cu un bit de STOP şi protocol XON-XOFF) este indicată prin apariția pe *display*-ul sistemului de calcul a unui mesaj, urmat de prompter-ul de monitor (caracterul #).

- **Transferarea programului de aplicație.** În acest stadiu poate fi transferat către sistemul cu microcontroller programul de aplicație, **PROGRAM.HEX**, folosind comanda de *up-load* **F2** şi indicând numele programului de aplicație.

  Urmează procesul de *up-load*, indicat prin apariția pe *display*-ul calculatorului a unei succesiuni de linii, de lungime constantă cu excepția ultimei, ce încep cu "#:_", şi sunt alcătuite din câte 16 octeți în format ***hexa*** (date) plus un octet sumă de control.

  La terminarea transferului de date pe legătura serială, pe *display*-ul calculatorului apare prompter-ul de monitor (caracterul #).
- **Lansarea în execuție a programului** se execută cu comanda de monitor **GO ADR**, în care **ADR** reprezintă adresa la care este organizat programul în memoria de date a microcontroller-ului, specificată în prima linie a acestuia prin directiva **ORG**.

  Sintaxa este următoarea: **G 8000**

5.3.4 RUTINE DE BAZĂ PENTRU MANIPULAREA RESURSELOR SISTEMULUI DE DEZVOLTARE

```
;*****************************************************************
;*  PROGRAM CONVERSIE A / D 80C552 CU MONITOR 80X51 PE UN CANAL
;*    DE INTRARE SELECTABIL SI AFISARE IN HEXA, PE TREI CIFRE,
;*   A VALORII TENSIUNII DE INTRARE CONVERTITA PE PRIMII 8 BITI
;*****************************************************************
; Programul citeste de la tastatura locala una dintre  tastele apasate.
; Corespunzator codului tastei se selecteaza unul dintre cele 8 canale
; analogice de intrare (daca codul tastei este 0..7), se converteste
; tensiunea aplicata intrarii selectate (ADC0 ... ADC8) si se afiseaza
; rezultatele conversiilor, sub forma hexa, pe trei cifre.
; Registrul ADCON este un registru ce contine fanioanele de control a
; conversiei, precum si cei mai putin semnificativi doi biti ai conversiei,
; astfel:
;       ADCON.7 = bitul 1 al conversiei
;       ADCON.6 = bitul 0 al conversiei
;       ADCON.5 = 0 (start conversie numai soft)
;       ADCON.4 = 0
;       ADCON.3 = 1 (start conversie)
;       ADCON.2, ADCON.1, ADCON.0 - specifica canalul analogic de intrare
;       ADCH - registru cu  primii 8 biti semnificativi ai conversiei, dupa
;              ce bitul ADCON.4=1.
; Conform documentatiei microcontrollerului 80C552, pentru registrele ADCON
; si ADCH s-a atribuit spatiul din memoria RAM interna de la adresele 0C5H,
; respectiv 0C6H.
; Spatiul utilizator incepe de la adresa 8000H, deci acest program va fi
; stocat incepand de la aceasta adresa.
        ORG     8000H
; declararea adreselor RAM ale resurselor suplimentare
        ADCON           equ     0C5H
        ADCH            equ     0C6H
;
```

```
; progam principal
        LJMP    INIT            ; long jump la rutina de initializare
                                ; afisaj cu cristale lichide LCD
INIT:   ACALL   INILCD          ; apel rutina de initializare afisaj
        ACALL   CLRLCD          ; apel rutina stergere LCD
        ACALL   KEYBRD          ; citire tastatura
ACH:    CLR     A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
        MOV     ADCON,A         ; initializeaza registrul de comanda A/D
        MOV     A,R1            ; se pune in acumulator codul canalului
                                ; de intrare selectat de la tastatura
        ORL     A,#08H          ; bitii de control
        MOV     ADCON,A         ; start conversie prin software
WAIT:   MOV     A,ADCON         ; A:=registrul de stare al A/D
        JNB     ACC.4,WAIT      ; asteapta terminarea conversiei
        MOV     A,ADCH          ; citeste rezultatul conversiei
        MOV     A,ADCH          ; se restaureaza rezultatul conversiei
        MOV     B,#33H          ; impartire cu 51=255/5
        DIV     AB              ; obtine cifra unitatilor
        PUSH    ACC             ; salveaza cifra unitatilor in stiva
        MOV     A,B             ; reface restul 1
        MOV     B,#10           ; B:=10
        MUL     AB              ; inmultire cu 10
        MOV     R7,A            ; stocheaza octet inferior rezultat
        MOV     A,B             ; restaureaza octet superior rezultat
        ANL     A,#01H          ; test depasire
        JNB     ACC.0,LABEL1    ; salt continuare daca nu e depasire
        ADD     A,#4            ; calculul partii semnificative a catului
LABEL1: CLR     C               ; anuleaza CARRY
        MOV     R4,A            ; stocheaza partea semnificativa a catului
        MOV     B,#33H          ; impartire cu 51=255/5
        MOV     A,R7            ; restaureaza octet inferior rezultat
        DIV     AB              ; calculeaza cat 1 partial
        ADD     A,R4            ; calculeaza prima zecimala
        PUSH    ACC             ; salveaza prima zecimala in stiva
        MOV     A,B             ; reface restul 2
        MOV     B,#10           ; B:=10
        MUL     AB              ; inmultire cu 10
        MOV     R7,A            ; stocheaza octet inferior rezultat
        MOV     A,B             ; restaureaza octet superior rezultat
        ANL     A,#01H          ; test depasire
        JNB     ACC.0,LABEL2    ; salt continuare daca nu e depasire
        ADD     A,#4            ; calculul partii semnificative a catului
LABEL2: CLR     C               ; anuleaza CARRY
        MOV     R4,A            ; stocheaza partea semnificativa a catului
        MOV     B,#33H          ; impartire cu 51=255/5
        MOV     A,R7            ; restaureaza octet inferior rezultat
        DIV     AB              ; calculul cat 2 partial
        ADD     A,R4            ; calcul a doua zecimala
        PUSH    ACC             ; salveaza a doua zecimala in stiva
        MOV     A,R1            ; numarul canalului selectat
        ACALL   HEXASC          ; converteste in ASCII
        MOV     R4,A            ; stocheaza cod numar canal
        MOV     R2,#0C7H        ; adresa pentru numar canal
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     A,R4            ; restaureaza cod numar canal
        MOV     R2,A            ; R2 contine codul de afisat
        ACALL   TRX             ; scrie la LCD numar canal
        POP     ACC             ; a doua zecimala
        ACALL   HEXASC          ; convertire cod ASCII
        MOV     R4,A            ; stocheaza cod ASCII a doua zecimala
        MOV     R2,#0CDH        ; adresa pentru a doua zecimala
```

```
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     A,R4            ; restaureaza cod a doua zecimala
        MOV     R2,A            ; R2 contine codul de afisat
        ACALL   TRX             ; scrie la LCD a doua zecimala
        POP     ACC             ; reface prima zecimala
        ACALL   HEXASC          ; converteste in cod ASCII
        MOV     R4,A            ; stocheaza codul primei zecimale
        MOV     R2,#0CCH        ; adresa primei zecimale
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     A,R4            ; restaureaza codul primei zecimale
        MOV     R2,A            ; R2 contine codul primei zecimale
        ACALL   TRX             ; scrie la LCD prima zecimala
        POP     ACC             ; reface cifra unitati
        ACALL   HEXASC          ; converteste in cod ASCII
        MOV     R4,A            ; stocheaza codul unitatilor
        MOV     R2,#0CAH        ; adresa scriere unitati
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     A,R4            ; restaureaza codul unitatilor
        MOV     R2,A            ; R2 contine codul unitatilor
        ACALL   TRX             ; scriere la LCD unitati
        AJMP    ACH             ; proces ciclic de conversie
HEXASC:                         ; rutina de conversie hexa-ascii
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza cei patru biti mai
                                ; semnificativi ai acumulatorului
        JNB     ACC.3,NOADJ     ; daca bitul 3 = 0 salt la NOADJ
        JB      ACC.2,ADJ       ; daca bitul 2 = 1 salt la ADJ
        JNB     ACC.1,NOADJ     ; daca bitul 1 = 0 salt la NOADJ
ADJ:    ADD     A,#07H          ; aduna acumulatorul cu #07H
NOADJ:  ADD     A,#30H          ; aduna acumulatorul cu #30H
        RET                     ; revenire din rutina HEXASC
        END                     ; sfarsitul programului

;*************************************************************************
;*    PROGRAM DE TESTARE A IESIRILOR MODULATE IN DURATA
;*************************************************************************
; Se genereaza la canalul 0 (pinul 4 al 80C552), respectiv la canalul 1
; (pinul 5 al 80C552)semnale cu ; frecventa specificata de continutul
; registrului PWMP si cu factorul de umplere specificat de registrul ADCH,
; ceea ce inseamna ca, prin integrarea iesirii canalelor, se poate
; implementa un convertor D/A dual.
; Definim registrele ce memoreaza parametri semnalelor generate ca fiind
; locatii din memoria RAM interna a 80C552, avand adresele specificate in
; catalog.
; Factorul de umplere nu este acelasi pentru ambele calale de iesire;
; factorul de umplere poate varia intre 0 ; si 100%, prin modificarea
; continutului registrelor PWM0, PWM1.
; Frecventa semnalului de iesire, acceasi pentru ambele canale, este
; precizata prin intermediul continutului registrului PWMP, fiind data de
; formula: f=fosc/(2*(1+PWMP)*255), in care fosc reprezinta frecventa
; ceasului microcontrollerului (fosc=11,059MHz).
; Semnalul este generat continuu la iesirile 4 si 5, deoarece parametrii au
; fost memorati in registrele PWMP si PWM0, PWM1.
; Spatiul utilizator incepe de la adresa 8000H, deci acest program va fi
; stocat incepand de la aceasta adresa.
        ORG     8000H
; declararea adreselor RAM ale resurselor suplimentare
        PWMP    equ     0FEH
        PWM0    equ     0FCH
        PWM1    equ     0FDH
        MOV     A,#20           ; se incarca acumulatorul cu #20 pentru
```

```
                              ; frecventa semnalului de iesire sa
                              ; fie 1kHz=11,059MHz/(2*(1+20)*255)
        MOV     PWMP,A        ; se programeaza registrul PWMP
        MOV     A,#55         ; incarca in acumulator valoarea imediata 55H
        CPL     A             ; se complementeaza acumulatorul
                              ; doarece iesirea PWM0 este negata
        MOV     PWM0,A        ; reconstituire semnal analogic
        MOV     A,#0AA        ; incarca in acumulator valoarea imediata AAH
        CPL     A             ; se complementeaza acumulatorul
                              ; doarece iesirea PWM1 este negata
        MOV     PWM1,A        ; reconstituire semnal analogic
        END                   ; sfarsitul programului

;*************************************************************************
;*       PROGRAM DEMONSTRATIV DE TESTARE SI PROGRAMARE
;*    A UNUI AFISAJ CU CRISTALE LICHIDE CU DOUA LINII DE CATE
;*     16 CARACTERE FIECARE, CUPLAT LA UN SISTEM DE DEZVOL-
;*       TARE CU MICROCONTROLLER 80C552, CU MONITOR 80C51.
;*************************************************************************
; Dialogul cu afisajul LCD se efectueaza prin intermediul unor subrutine:
;       WRCMD - scrierea comenzii din registrul R2 la LCD
;       WRDAT - scrierea datelor din registrul R2 la LCD
;       WLCD - asteapta terminarea operatiunilor interne ale LCD
;       INLCD - initializarea LCD pentru transfer pe 8 biti.
; Comenzile folosite sunt:
;       CLEAR - 1
;       CURSOR HOME - 2, 3
;       MODE - 1/INC/SHIFT
;       CONTROL - 1/DysplayON/CursorON/FlashON
;       SHIFT - 1/SHIFT/RIGHT/*/*
; Spatiul utilizator incepe de la adresa 8000H, deci acest program va fi
; stocat incepand de la aceasta adresa.
        ORG     8000H
; progam principal
;
        LJMP    INIT          ; long jump la rutina de initializare
                              ; afisaj cu cristale lichide LCD
INIT:   ACALL   INILCD        ; initializare afisaj
        ACALL   CLRLCD        ; apel rutina stergere LCD
        ACALL   SEC1          ; rutina de intarziere cu o secunda
        MOV     DPTR,#TEXT1   ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                              ; ceput a sirului de caractere TEXT1
        ACALL   MESAJ         ; apel rutina de afisare mesaj
        ACALL   CLEAR         ; apel rutina stergere temporizata
        SJMP    INIT          ; program care se executa ciclic
INILCD:                       ; rutina de initializare LCD.
; Aceasta rutina trimite la LCD comanda #38H = 0011 1000B. Conform datelor
; de catalog, acesta comanda seteaza urmatorii parametri ai afisajului:
;       - bitul 5 - defineste aceasta comanda (function set);
;       - bitul 4(DL-Data Length)=1 seteaza dialogul pe 8 biti
;         intre procesor si LCD;
;       - bitul 3(N-Number of display lines)=1 seteaza numarul
;         liniilor afisajului ca fiind 2^N=2;
;       - bitul 2(F-Character Font)=0 seteaza forma caracterului
;         ca fiind 5*7 puncte
        MOV     R2,#38H       ; incarca R2 cu cuvantul de comanda
                              ; pregatind dialogul pe 8 biti cu
                              ; driverele de afisaj
        ACALL   WRCMD         ; transmite comanda anterioara la
                              ; port, efectuand programarea LCD
```

```
        MOV     R4,#50          ; o intarziere
DEL4MS:                         ; intarziere cu 4 ms, necesara functio-
                                ; narii display-ului LCD
        ACALL   DELAY           ; absolute call rutina DELAY
        DJNZ    R4,DEL4MS       ; se decrementeaza registrul R4 si
                                ; salt la eticheta DEL4MS daca conti-
                                ; nutul acestuia este nenul
        MOV     R4,#4           ; se incarca R4 cu valoarea imediata 4
LINI:                           ; LINI seteaza modul de lucru al afisajului
                                ; cu cristale lichide LCD
        ACALL   WRCMD           ; se scrie comanda la driverele LCD
        ACALL   DELAY           ; apel rutina DELAY
        DJNZ    R4,LINI         ; se decrementeaza registrul R4 si salt
                                ; la eticheta LINI daca este nenul con-
                                ; tinutul acestui registru
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#6           ; seteaza modul de lucru "entry"
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#0EH         ; seteaza modul "display on"
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#1           ; stergere LCD
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        RET                     ; revenire din subrutina INILCD
WRCMD:                          ; rutina WRCMD scrie o comanda la
; driverele de afisaj, in urma verificarii starii acestora. Se selecteaza
; afisajul LCD si comanda continuta de registrul R2 este transferata
; driverelor din LCD
        ACALL   WLCD            ; se verifica starea driverelor (BF=0)
        MOV     A,R2            ; comanda continuta in registrul R2 e
                                ; transferata in acumulator
        MOV     P2,#1           ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
        MOV     R0,#0           ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                                ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0000 B,
                                ; corespunzatoare scrierii unei comenzi
                                ; la driverele afisajului LCD
        MOVX    @R0,A           ; se scrie in driverele afisajului LCD
                                ; (la adresa stabilita anterior) comanda
        RET                     ; revenire din rutina WRCMD
WLCD:                           ; rutina ce testeaza daca este sau
; nu posibila transmiterea unui nou caracter catre LCD, pe baza in
; formatiilor furnizate de rutina RDCMD. Se testeaza bitul 7 (BF - Busy
; Flag) al registrului de stare al LCD.
; Daca BF=1, inseamna ca LCD efectueaza o operatie interna si, deci, nu
; poate accepta un nou caracter.
        ACALL   RDCMD           ; apel rutina RDCMD
        JB      ACC.7,WLCD      ; se verifica daca BF=1 si asteapta
                                ; trecerea lui in 0 (terminarea ope-
                                ; ratiunilor interne)
        RET                     ; revenire din subrutina WRCL
RDCMD:                          ; subrutina RDCMD selecteaza afisajul
; si citeste din registru de stare starea curenta a driverelor acestuia,
; informatie care este depusa in acumulator
        MOV     P2,#1           ; selectie port (S0=1)
        MOV     R0,#2           ; se realizeaza pe magistrala de adrese
                                ; selectia cu A0 si A1 (0000 0010 B),
                                ; pentru a se citi starea driverelor de
                                ; afisaj LCD
        MOVX    A,@R0           ; se transfera in acumulator valoarea
```

```
                              ; gasita la adresa specificata anterior
       RET                    ; revenire din rutina RDCMD
DELAY:                        ; subrutina DELAY realizeaza o intarziere
; cu 80 microsecunde
       MOV    R3,#17          ; registrul R3 este incarcat cu valoarea
                              ; imediata 17
                              ; 80E-6secunde = 17 * 2instructiuni NOP *
                              ; * 12 perioade de ceas/instructiune NOP*
                              ; 1/11.059MHz (perioada ceas procesor)
LL1:   NOP                    ; no operation
       NOP                    ; no operation
       DJNZ   R3,LL1          ; se decrementeaza registrul R3 si se com-
                              ; para continutul sau cu 0. Daca rezultatul
                              ; compararii este 1, salt la eticheta LL1
       RET                    ; revenire din subrutina DELAY
CLRLCD:                       ; subrutina de stergere a afisajului
; cu cristale lichide si setare a modului de afisare
       MOV    R2,#1           ; stergere afisaj LCD
       ACALL  WRCMD           ; transmite comanda la LCD
       MOV    R2,#1100B       ; 1, display on, cursor off, flash off
       ACALL  WRCMD           ; transmite comanda la LCD
       RET                    ; revenire din rutina de CLRLCD
TRX1:                         ; subrutina de scriere sir de caractere
; la afisajul cu cristale lichide LCD
       CLR    A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
       MOVC   A,@A+DPTR       ; muta in acumulator adresa gasita
                              ; la adresa @A+DPTR
       CJNE   A,#24H,TRCAR1   ; compara continutul acumulatorului
                              ; cu #24H (codul hexa al caracterului
                              ; $ - sfarsit de mesaj) si daca este
                              ; diferit se efectueaza salt la eticheta
                              ; TRCAR1
       RET                    ; iesire din subrutina TRX1
TRCAR1:MOV    R2,A            ; muta continutul acumulatorului in
                              ; registrul R2
       ACALL  WRDAT           ; apel subrutina de scriere date in
                              ; registrele afisajului LCD
       INC    DPTR            ; adresa urmatorului caracter de scris
       SJMP   TRX1            ; small jump la eticheta TRX1, pentru
                              ; a scrie urmatorul caracter
TRX:                          ; subrutina de afisare caracter la LCD
       CLR    A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
       MOV    A,R2            ; muta in acumulator continutul regis-
                              ; trului R2
       LJMP   TRCAR           ; long jump la eticheta TRCAR
LL7:   RET                    ; revenire din subrutina TRX
TRCAR: MOV    R2,A            ; muta in registrul R2 continutul Acc.
       ACALL  WRDAT           ; scrie in driverele de date ale LCD
                              ; codul caracterului de afisat
       SJMP   LL7             ; small jump la LL7: RET
WRDAT:                        ; subrutina WRDAT este identica cu
; WRCMD dar este utilizata pentru scrierea la driverele LCD codul
; caracterelor ce urmeaza a fi afisate
       ACALL  WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
       MOV    P2,#1           ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
       MOV    R0,#1           ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                              ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0001 B,
                              ; corespunzatoare scrierii unui caracter
                              ; la driverele afisajului LCD
       MOV    A,R2            ; se transfera caracterul in acumulator
       MOVX   @R0,A           ; se transmite caracterul driverelor LCD
```

```
       RET                    ; revenire din rutina WRDAT
MESAJ:                        ; subrutina de afisare mesaj, continand
; doua linii de cate 16 caractere la afisaj cu cristale lichide
       ACALL  TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
       MOV    R2,#0C0H        ; pozitionare pe a doua linie
       ACALL  WRCMD           ; scriere comanda pozitionare la LCD
       INC    DPTR            ; incrementare DPTR (linia a doua)
       ACALL  TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
       RET                    ; revenire din subrutina MESAJ
CLEAR:                        ; subrutina de stergere si setare a modului
; de lucru a afisajului cu cristale lichide LCD
       ACALL  SEC1            ; mentine starea afisajului 1 secunda
       MOV    R2,#1           ; comanda stergere display
       ACALL  WRCMD           ; scriere comanda la LCD
       MOV    R2,#2           ; cursor home pe prima linie
       ACALL  WRCMD           ; scrie comanda la LCD
       RET                    ; revenire din subrutina CLEAR
SEC1:                         ; rutina de intarziere cu 0,5 secunde
; 0,5sec = (8 instr. NOP x 12 perioade ceas/NOP x 256 x 256)/11,059MHz
       MOV    R6,#255         ; se incarca registrul R6 cu #255
LOOP1: MOV    R7,#255         ; se incarca registrul R7 cu #255
LOOP:  NOP                    ; 16 instructiuni NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       DJNZ   R7,LOOP         ; se decrementeaza registrul R7 si
                              ; daca este nenul, salt la LOOP
       DJNZ   R6,LOOP1        ; se decrementeaza registrul R6 si
                              ; daca este nenul, salt la LOOP1
       RET                    ; revenire din subrutina SEC3
TEXT1: DB 'TESTARE DISPLAY$'; text prezentare 1, linia 1
       DB 'LCD 2lin.*16car$'; text prezentare 1, linia 2
       END                    ; sfarsitul programului

;************************************************************************
;*      PROGRAM DE CITIRE A UNEI TASTATURI, CU TREI LINII SI
;*      PATRU COLOANE ( 12 TASTE FUNCTIONALE ), REALIZATA
;*    PRIN INTERMEDIUL UNUI PORT DE IESIRE SI A PORTULUI DE
;*    INTRARE AL MICROCONTROLLERULUI 80C552, CU MONITOR
;*                PENTRU FAMILIA INTEL 80C51
;************************************************************************
; program citire in bucla a unei tastaturi de 3 linii * 4 coloane, pana la
; apasarea unei taste.
; Rezultatul citirii este convertit in hexa si memorat in registrul R1,
; urmand a fi afisat pe LCD.
; Spatiul utilizator incepe de la adresa 8000H, deci acest program va fi
; stocat incepand de la aceasta adresa.
       ORG    8000H
; progam principal de citire in bucla a tastaturii
; citirea tastaturii, prin baleierea celor trei linii, citirea celor patru
; coloane si verificare daca s-a tastat ceva.
; prima linie
NEXT:  MOV    A,#0E0H         ; initializeaza acumulatorul cu #0E0H
                              ; (se selecteaza prima linie de taste)
       MOV    P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
       MOV    R0,#20H         ; incarca R0 cu 0010 0000 B:
                              ; selectie port de iesire 1 (S1=0)
```

```
        MOVX    @R0,A           ; muta continutul acumulatorului
                                ; la portul de iesire 1 (AX0=0)
        MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
        MOV     R0,#60H         ; incarca R0 cu 0110 0000B:
                                ; selecteaza portul de intrare
        MOVX    A,@R0           ; citeste in acumulator valorea gasita
                                ; la adresa specificata anterior
        CPL     A               ; complementeaza acumulatorul
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT1           ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH-
                                ; nu s-a tastat nimic),salt la eticheta
                                ; NEXT1 (linia 1 de taste)
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
; a doua linie
NEXT1: MOV      A,#0D0H         ; se initializeaza acumulatorul cu #0D0H
                                ; se selecteaza a doua linie de taste)
        MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
        MOV     R0,#20H         ; incarca R0 cu 0010 0000 B:
                                ; selectie port de iesire 1 (S1=0)
        MOVX    @R0,A           ; muta continutul acumulatorului
                                ; la portul de iesire 1 (AX0=0)
        MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
        MOV     R0,#60H         ; incarca R0 cu 0110 0000B:
                                ; selecteaza portul de intrare
        MOVX    A,@R0           ; citeste in acumulator valorea gasita
                                ; la adresa specificata anterior
        CPL     A               ; complementeaza acumulatorul
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT2           ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH)
                                ; salt la eticheta NEXT
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
; a treia linie
NEXT2: MOV      A,#0B0H         ; se initializeaza acumulatorul cu #0D0H
                                ; se selecteaza a treia linie de taste)
        MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
        MOV     R0,#20H         ; incarca R0 cu 0010 0000 B:
                                ; selectie port de iesire 1 (S1=0)
        MOVX    @R0,A           ; muta continutul acumulatorului
                                ; la portul de iesire 1 (AX0=0)
        MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
        MOV     R0,#60H         ; incarca R0 cu 0110 0000B:
                                ; selecteaza portul de intrare
        MOVX    A,@R0           ; citeste in acumulator valorea gasita
                                ; la adresa specificata anterior
        CPL     A               ; complementeaza acumulatorul
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT            ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH)
```

```
                                ; salt la eticheta NEXT (prima linie)
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
COL:    JB      ACC.0,COL0      ; salt la COL0, daca bitul 0 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 0)
        JB      ACC.1,COL1      ; salt la COL1, daca bitul 1 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 1)
        JB      ACC.2,COL2      ; salt la COL2, daca bitul 2 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 2)
        JB      ACC.3,COL3      ; salt la COL3, daca bitul 3 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 3)
COL0:   MOV     R1,#00H         ; s-a apasat tasta de pe coloana 0
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#00001111B    ; se mascheaza bitii mai semnificativi
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 3
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 0
COL1:   MOV     R1,#01H         ; s-a apasat tasta de pe coloana 0
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#00001111B    ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 1
COL2:   MOV     R1,#02H         ; s-a apasat o tasta de pe coloana 2
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#00001111B    ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 2
COL3:   MOV     R1,#03H         ; s-a apasat o tasta de pe coloana 3
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#00001111B    ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 3
LINIE1: MOV     A,#04H          ; tasta apasata era pe linia 1
        ADD     A,R1            ; se aduna codul coloanei cu codul liniei
        MOV     R1,A            ; codul hexa al tastei apasate este in R1
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tastele 4..7
```

```
LINIE2:MOV    A,#08H        ; tasta apasata era pe linia 2
       ADD    A,R1          ; se aduna codul coloanei cu codul liniei
       MOV    R1,A          ; codul hexa al tastei apasate este in R1
       SJMP   PLAY          ; salt la rutina de afisare, tastele 8..B
PLAY:  AJMP   NEXT          ; proces ciclic de citire a tastaturii
END.
```

6. SISTEM UNIVERSAL, MODULAR, DE ACHIZIŢII DE DATE

6.1 MĂRIMI DE INTRARE ÎN SISTEMUL DE ACHIZIŢII DE DATE

Pentru proiectarea oricărui sistem de achiziţii de date dedicat este esenţială studierea mărimilor de intrare prelevate din procesul studiat. Pentru un sistem de achiziţii de date universal, ce poate fi utilizat în multe domenii de aplicaţii, cum este cel proiectat şi care va fi descris, din punct de vedere funcţional, în continuare, trebuie avute în vedere o gamă largă de consideraţii de proiectare, pentru a se putea îndeplini cerinţele de măsurare pentru diversitatea mare de domenii de utilizare. Se va arăta că înregistrarea variaţiei în timp a trei tensiuni şi a trei curenţi permite determinarea tuturor indicatorilor şi parametrilor sistemelor electrice.

6.2 SPECIFICAŢIILE DE PROIECTARE ALE SISTEMULUI DE ACHIZIŢII DE DATE

Analiza semnalelor electrice va fi realizată utilizând un sistem specializat de achiziţii de date şi de analiză, de concepţie originală, dispunând de următoarele caracteristici:

- echipament de măsurare lucrând în domeniu temporal, dispunând de şase canale analogice de intrare, dispunând de următoarele variante de configurare:
- şase canale analogice de tensiune, sau
- trei de canale analogice de tensiune şi trei canale analogice de curent, sau
- şase canale analogice de curent;
- atât intrările de tensiune, cât şi cele de curent, sunt complet diferenţiale, pentru a se putea conecta cu uşurinţă atât în scheme de măsurare de tip stea (**Y**), cât şi triunghi (**Δ**);
- intrările analogice de tensiune şi de curent asigură izolarea galvanică a semnalelor de intrare în raport cu sistemul de achiziţii de date;
- intrările analogice de tensiune şi de curent permit achiziţia unor semnale de intrare cu dublă polaritate, iar sensibilitatea intrărilor (gama mărimilor analogice de intrare) poate fi selectată prin ***software***;

- circuitele de intrare de tensiune şi de curent îşi conservă caracteristicile de exactitate pentru o depăşire de 1,2 ori a mărimilor nominale de intrare. De asemenea, consumul circuitelor de intrare, atât de tensiune, cât şi de curent, nu depăşeşte 3 VA;
- echipamentul de măsurare permite atât achiziția sincronă a celor şase semnale analogice de intrare, cât şi facilități de supraeşantionare pentru semnalele de acelaşi tip (tensiune sau curent);
- echipamentul de măsurare asigură o conversie analog-numerică pe 8/12 biți şi cel puțin 32 de eşantioane pe o periodă a semnalelor de intrare de frecvență fundamentală (maximum 10 kHz). Această ultimă afirmație este echivalentă cu aceea că frecvența minimă de eşantionare, pentru şase canale analogice de intrare, să fie de cel puțin 32 kHz, ceea ce satisface teorema eşantionării a lui Shannon;
- sistemul posedă un grad înalt de inteligență, asigurat sub o formă distribuită de către o unitate centrală de prelucrare locală a sistemului şi de către un calculator gazdă performat, având rolul:
- de a degreva un sistem de calcul gazdă, de gestionarea procesului de achiziționare a semnalelor de intrare;
- de a realiza identificarea perturbațiilor care se manifestă în sistemul (procesul) studiat şi de a adapta analiza în conformitate cu acestea, pentru a conferi un maximum de exactitate;
- de a realiza comunicația, în forme compatibile, cu alte sisteme de calcul, în vederea transmiterii informațiilor de stare şi, eventual, de alarmare, către un nivel ierarhic superior;
- întreg sistemul de achiziție memorează eşantioanele prelevate din proces, iar după încheierea procesului de achiziție transferă rezultatele, pe un canal serial de mare viteză, unui sistem de calcul de tip **IBM - PC** pentru prelucrare numerică ulterioară şi afişare.

Sistemul de achiziții de date universal, multifuncțional, proiectat integral în acest scop şi care va fi prezentat în capitolele următoare, este un sistem portabil, 100% compatibil cu orice calculator de tip **IBM - PC** sau compatibil.

Sistemul posedă două moduri de lucru:

- modul ***supraveghere***, caracterizat de o eficiență mai redusă - modul de identificare a perturbațiilor, care poate fi selectat atât local, cât şi prin intermediul calculatorului gazdă şi care se execută doar local;
- modul ***analiză***, caracterizat de o eficiență crescută - identificare şi analiză a perturbațiilor, care se execută distribuit în cadrul sistemului şi a calculatorului gazdă.

Sistemul de achiziții de date este alcătuit din trei blocuri funcționale importante, şi anume:

- ***interfața de achiziții de date*** propriu-zisă;
- ***unitatea centrală de prelucrare locală***;

- ***instrumente software distribuite***, incluzând:
  - *programe de gestionare flexibilă şi adaptivă a procesului de achiziţie de date*, dezvoltate pe calculatorul gazdă şi transferate prin intermediul interfeţei seriale sistemului de achiziţii de date. Acest subnucleu ***software*** este scris în limbajul de asamblare al familiei de ***microcontroller***-e **8051**, pentru accesarea facilă a resurselor sistemului şi, de asemenea, pentru a se minimiza şi optimiza lungimea codului executabil. O a doua posibilitate este aceea ca acest subnucleu ***software*** să fie înscris în memoria de program a unităţii centrale de prelucrare;
  - *programe de comunicaţie* între sistemul de achiziţii de date şi analiză şi calculatorul gazdă de tip **IBM - PC** (***host computer***). Comunicaţia pe interfaţa serială full duplex, este implementată în ***software***-ul rezident în memoria de progam a unităţii centrale de prelucrare locală, însă este completat cu un program, scris în limbajul de nivel înalt **C**, pentru salvarea eşantioanelor prelevate din proces sub forma unui fişier de date cu structură compatibilă cu pachetul de programe de analiză. Există posibilitatea de a utiliza facilităţile de comunicaţie ale platformei **HP VEE** pentru memorarea eşantioanelor prelevate din proces sub forma unui fişier de date;
  - *pachet de programe de analiză a semnalelor electrice*, denumit sugestiv **ESA - Electrical Signal Analyser** - şi implementat sub forma unui ***instrument virtual***, folosind platforma **HP VEE** sub sistemul de operare **Windows**.

Schema bloc a sistemului de achiziţii de date şi analiză este prezentată în fig. 6.1 (varianta simplificată), iar în fig. 6.2 este prezentată ***structura hardware detaliată*** (varianta simplificată) a sistemului de achiziţii de date.

În următoarele capitole vor fi prezentate detaliat elementele funcţionale ale subsistemelor componente, elementele de proiectare de bază şi soluţiile originale implementate în cadrul sistemului de achiziţii de date şi analiză.

Întreaga arhitectură a sistemului de achiziţii de date a fost elaborată ca să îndeplinească criterii de versabilitate şi adaptabilitate la cerinţele în continuă modificare ale standardelor privind analiza semnalelor electrice.

După cum va reieşi din analiza detaliată a arhitecturii sistemului de achiziţii de date, prezentată în subcapitolele următoare, acest instrument combinat, ***hardware*** şi ***software***, dispune de diferite opţiuni de echipare ***hardware***, astfel încât să asigure o exactitate cât mai ridicată de măsurare şi analiză.

Concepţia acestui echipament este originală, având la bază criteriile de proiectare specificate în standardele internaţionale aplicabile la această dată. Soluţiile de creştere a exactităţii de măsurare şi a vitezei de achiziţie sunt rodul

unui efort iterativ de proiectare, în vederea utilizării unui număr cât mai redus de componente electronice de înaltă performanţă şi fiabilitate, care să permită o compatibilitate deplină a interconectării.

Rezultatul acestui efort de proiectare constă într-un echipament simplu, versatil, cu facilităţi crecute de adaptabilitate, fiabil, cu consum redus de energie electrică, ce respectă normele de compatibilitate electromagnetică prevăzute în standardele internaţionale.

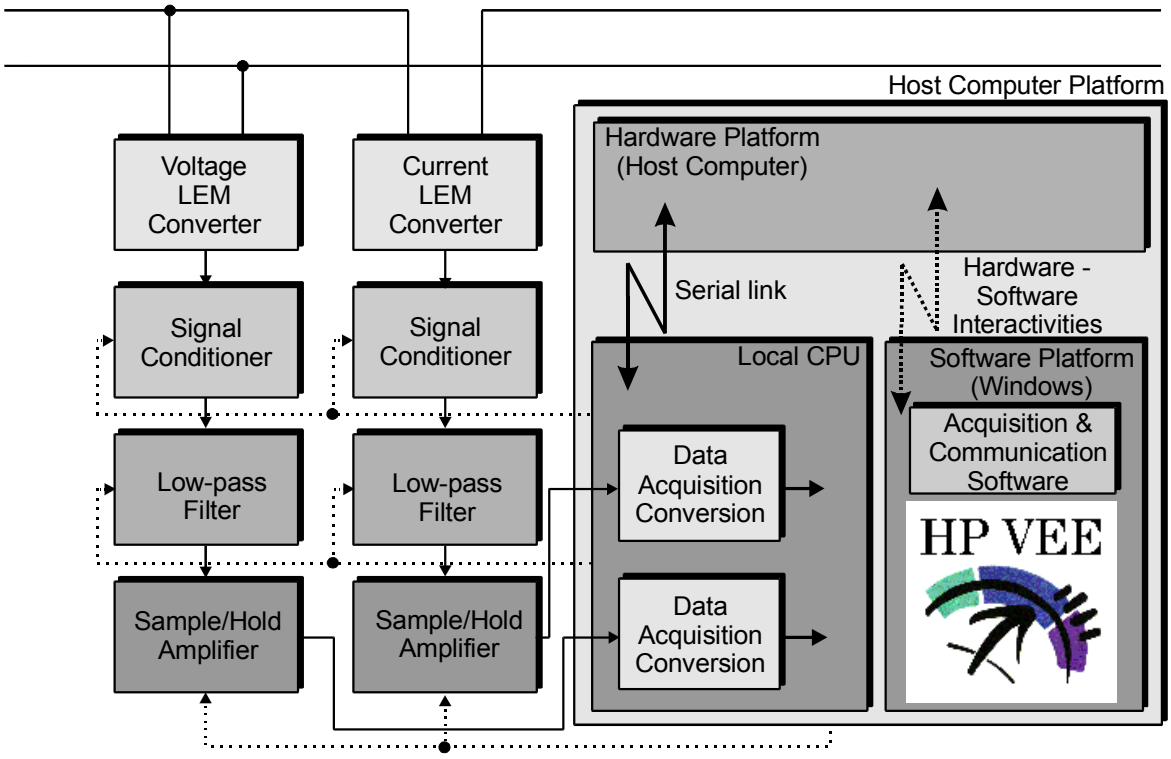


Fig. 6.1 Schema bloc a sistemului de achiziţii de date şi de analiză (varianta simplificată).

6.3 INTERFAŢA SPECIALIZATĂ DE ACHIZIŢII DE DATE A SISTEMULUI DE ACHIZIŢII DE DATE

Interfaţa de achiziţii de date a sistemului proiectat este o interfaţă sincronă/asincronă, destinată achiziţionării mărimilor rapid variabile, de uz general, folosită pentru prelevarea semnalelor de curent şi de tensiune.

Criteriile principale de proiectare, utilizate pentru implementarea acestei interfeţe specializate de achiziţii de date, au la bază obţinerea unei viteze crescute de achiziţie şi asigurarea unei exactităţi de măsurare cât mai ridicate.

6.3.1 INTERFAȚA DE ACHIZIȚII DE DATE PROPRIU-ZISĂ

Interfața de achiziții de date propriu-zisă permite achiziția simultană pe 6 canale a mărimilor electrice prelevate din proces. Interfața de achiziții de date propriu-zisă se compune din următoarele blocuri funcționale:

- ***blocul de adaptare a semnalelor analogice***, cu rolul de compatibilizare a nivelelor de tensiune şi de curent cu nivelele de tensiune acceptate de intrările circuitelor filtrelor ***antialiasing***, circuitelor de eşantionare-memorare, respectiv de convertoarele analog-digitale;
- ***blocul filtrelor antialiasing*** (*antirepliere*);
- ***blocul circuitelor de eşantionare-memorare***;
- ***blocul circuitelor de conversie analog-digitală***;
- ***blocul de interfață cu unitatea centrală de prelucrare locală***.

6.3.1.1 BLOCUL DE ADAPTARE A SEMNALELOR ANALOGICE

Blocul de adaptare a semnalelor analogice se compune din:

- trei, sau şase, convertoare curent-tensiune cu izolare galvanică cu intrări diferențiale;
- trei, sau şase, amplificatoare de instrumentație cu izolare optică;

Măsurarea curenților, folosind convertoarele curent-tensiune cu izolare galvanică, presupune luarea de măsuri speciale pentru a se asigura o exactitate ridicată şi, de asemenea, o protecție eficientă a sistemului de achiziții de date (fig. 6.3).

Măsurarea curenților se efectuează foarte simplu, cu ajutorul unui şunt înseriat cu circuitul analizat, intrările de măsurare fiind complet diferențiale. Conectarea şuntului la intrarea blocului de măsură se efectuează cu cablu torsadat, pentru a asigura o imunitate cât mai ridicată la zgomot. Alimentarea circuitului de intrare este izolată de alimentarea restului schemei, fiind asigurată de o baterie, sau de o sursă stabilizată de tensiune continuă independentă, cu valoarea de 9V.

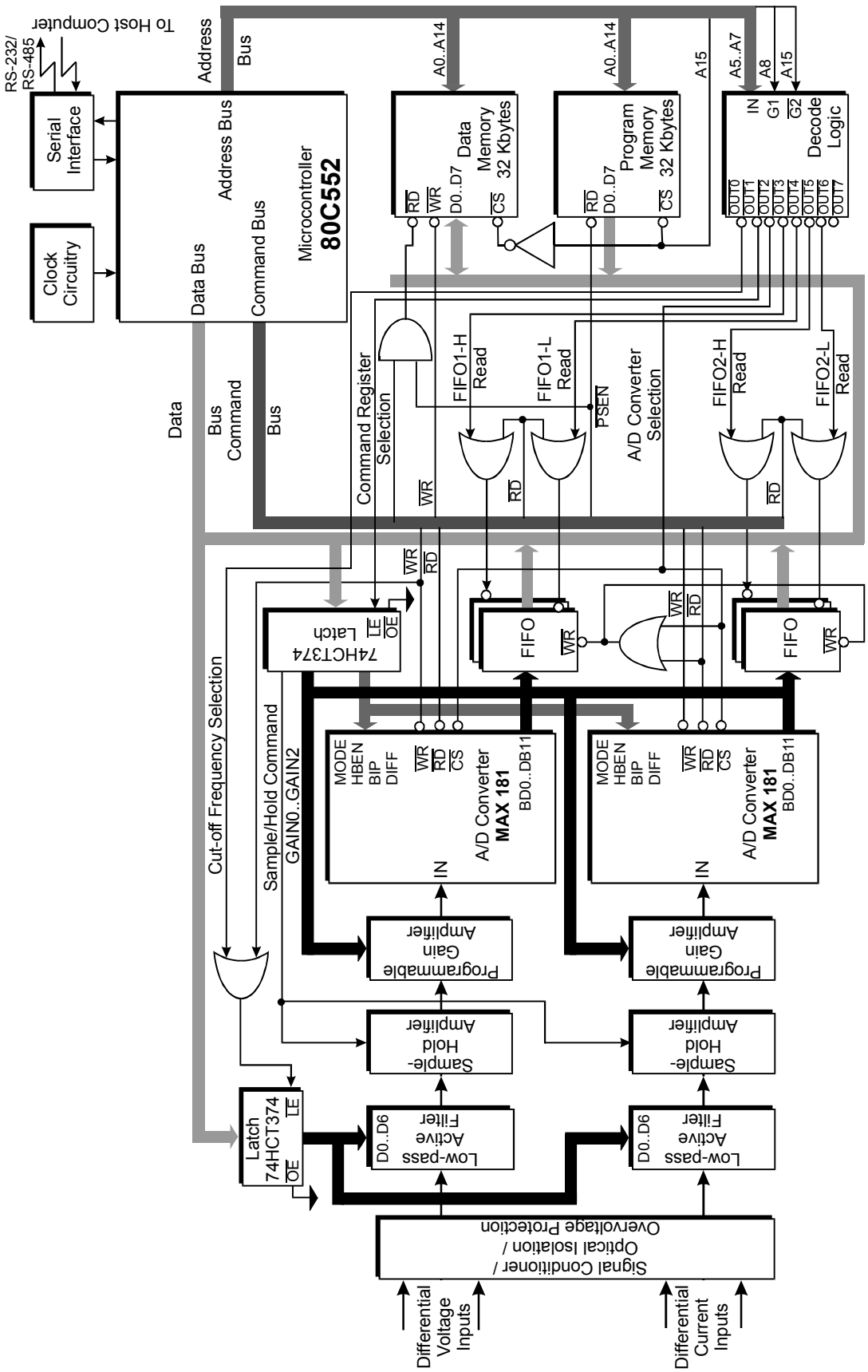


Fig. 6.2 Arhitectura detaliată a sistemului de achiziții de date şi analiză (varianta simplificată).

La baza schemei de măsurare stă un amplificator cu izolaţie galvanică, cu factor de rejecţie a modului comun de valoare mare (>140dB) de tip **HCPL7800**. Acest circuit a fost special conceput pentru a asigura performanţe ridicate de precizie, stabilitate şi liniaritate, în condiţii de medii zgomotoase, pentru aplicaţii ce necesită izolarea galvanică a semnnalelor analogice.

Circuitul **HCPL7800** utilizează tehnologia ***sigma-delta*** (**Σ-Δ**) a convertoarelor analog-digitale, amplificatoare cu chopper şi o topologie complet diferenţială.

Convertorul ***sigma-delta*** transformă semnalul analogic de intrare într-un cuvânt serial de biţi, a cărui durată este proporţională cu semnalul de intrare.

Acest cuvânt serial este codat şi transmis optic către circuitul detector. Semnalul detectat este decodat şi este convertit în nivele analogice, precise, de tensiune. Prin filtrarea acestor nivele de tensiune se obţine tensiunea de ieşire, proporţională cu semnalul analogic de intrare.

Menţinerea preciziei în timp şi cu temperatura este asigurată de stabilitatea amplificatoarelor interne cu ***chopper***-e.

Intrarea circuitului este conectată la şuntul utilizat pentru monitorizarea curentului.

Ieşirea diferenţială a amplificatorului cu izolaţie galvanică este convertită într-un semnal raportat la masă cu ajutorul unui amplificator diferenţial simplu.

Astfel relaţia dintre tensiunea de ieşire şi curentul de intrare este:

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_S \cdot I_{IN} = 40 \cdot R_S \cdot I_{IN} \qquad (6.1)$$

Deşi simplă, această structură necesită câteva precizări:

- căderea de tensiune maximă acceptată la bornele şuntului este de ±200 mV. Dacă forma de undă la ieşire este limitată sau distorsionată, atunci căderea de tensiune la bornele şuntului este prea mare;

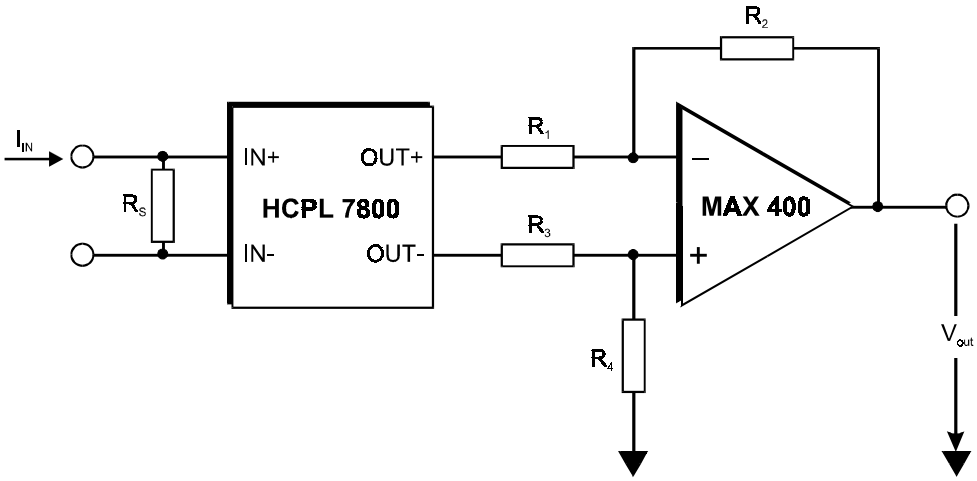


Fig. 6.3 Schema de principiu a convertorului I-U cu izolare galvanică.

- amplificatorul operațional cu care este implementat amplificatorul diferențial, cuplat la ieşirea circuitului **HCPL7800**, trebuie să fie suficient de precis pentru a nu afecta performanțele de offset şi de derivă reduse ale circuitului. În plus, acest amplificator operațional trebuie să fie caracterizat de o bandă largă de frecvență şi de slew-rate mare, pentru a nu fi afectate performanțele globale de viteză;
- şuntul utilizat trebuie să aibă o valoare mică, pentru a se minimiza puterea disipată. De asemenea, inductanța proprie a şuntului trebuie să fie cât mai redusă, pentru a se asigura o precizie corespunzătoare pentru semnale de curent rapid variabile sau de frecvență mare. Banda de frecvență a semnalelor de intrare determinată de circuitul **HCPL7800** şi de amplificatorul operațional ce îl succede este de 65 kHz, permițând monitorizarea semnalelor de curent rapid variabile.

Monitorizarea tensiunilor este efectuată prin intermediul a trei amplificatoare de instrumentație cu izolare galvanică cu optocuploare. Această metodă asigură protecția eficientă a sistemului de achiziții de date împotriva supratensiunilor accidentale, adaptarea precisă a nivelelor de tensiune de ieşire şi de intrare, impedanță de intrare foarte mare, factor de rejecție a tensiunilor şi a zgomotelor de mod comun foarte ridicat. Din păcate, dezavantajul prezentat de aceste amplificatoare de instrumentație cu izolare optică este reprezentat de liniaritatea relativ necorespunzătoare a răspunsului (circa 10% procent de neliniaritate).

6.3.1.2 BLOCUL FILTRELOR ANTIREPLIERE

Semnalele reale de tensiune sau de curent pot conține componente spectrale de frecvență superioară frecvenței Nyquist (corespunzătoare jumătății frecvenței de eşantionare). În aceste situații, se manifestă un efect de repliere al spectrului semnalelor, cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea de "***alias***", care falsifică măsurările. Cea mai simplă şi eficientă soluție pentru evitarea acestui fenomen constă în filtrarea semnalelor originale, utilizând un filtru de tip trece-jos, caracterizat de o frecvență de tăiere egală cu frecvența Nyquist, adică egală cu jumătate din frecvența de eşantionare. Acest filtru se numeşte filtru *antialiasing* (antirepliere).

Se impune ca atenuarea filtrului ***antialiasing*** în afara benzii de trecere să fie mai mare de 50 dB.

Problema care se ridică în implementarea unui asemenea tip de filtru este aceea că interfața specializată de achiziții de date a sistemului permite selectarea frecvenței de eşantionare prin ***software***, într-un interval larg de valori. Cu alte cuvinte, frecvența de eşantionare nefiind constantă, frecvența Nyquist este variabilă şi deci frecvența de tăiere a filtrului antirepliere trebuie să se modifice

pentru realizarea corectă a funcției de eliminare a frecvențelor superioare.

Având în vedere aceste considerente, implementarea filtrelor ***antialiasing*** a fost realizată utilizând un filtru activ de tip trece-jos, de ordinul al doilea, având frecvența de tăiere programabilă digital (prin ***software***). S-au folosit circuite de tip **MAX 271**, care conțin două astfel de filtre, programabile fie în mod independent, fie simultan, în aceeaşi capsulă.

Structura filtrelor antialiasing este prezentată în fig. 6.4.

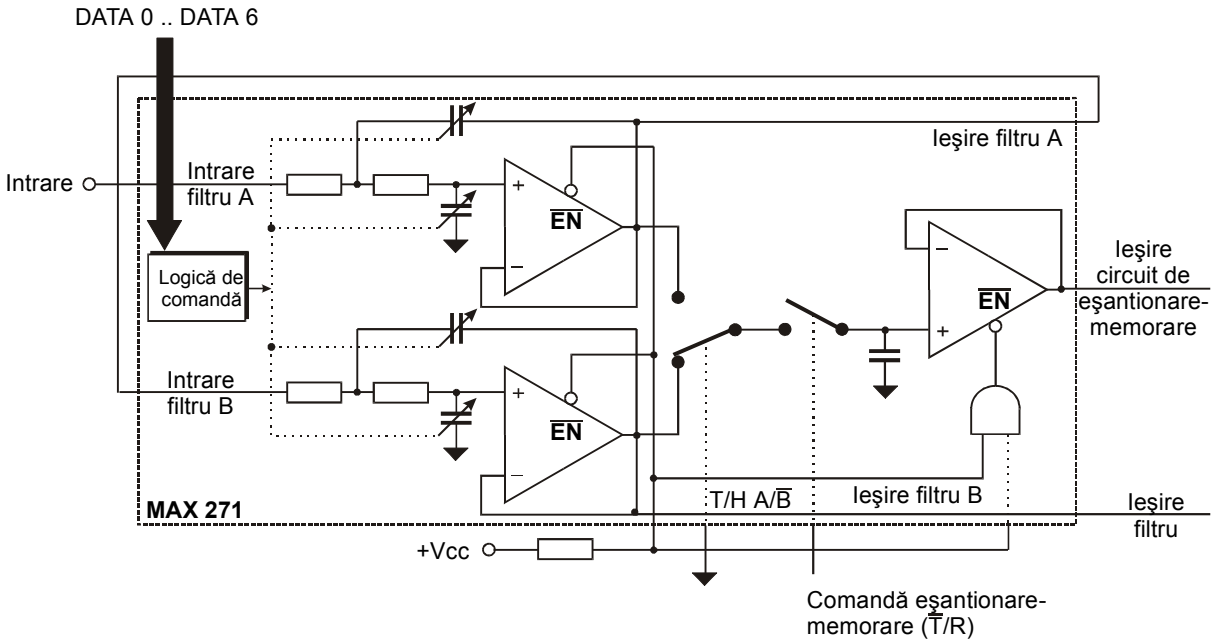


Fig. 6.4 Schema de conectare a filtrelor active, de tip trece-jos, programabile (*antialiasing*).

Aceste circuite au implementată o interfață cu un microprocesor pe 8 biți, permițând programarea frecvenței de tăiere a filtrului trece-jos în 128 de paşi, prin intermediul a 7 linii de comandă. Frecvența de tăiere a filtrelor poate fi programată între limitele 1Hz şi 25 kHz.

Ecuațiile care permit calcularea frecvenței de tăiere a filtrului sunt:

$$\begin{aligned} f_T &= \frac{87{,}5}{87{,}5 - CODE}\cdot 1kHz; \quad CODE = (0 \div 63); f_T = (1 \div 3{,}75)kHz \\ f_T &= \frac{262{,}5}{137{,}5 - CODE}\cdot 1kHz; \quad CODE = (64 \div 127); f_T = (3{,}75 \div 25)kHz \end{aligned} \tag{6.2}$$

în care CODE reprezintă combinația de date aplicată terminalelor de comandă, $DATA_0 \div DATA_6$ ($DATA_6$ este bitul cel mai semnificativ). Intrările de date ale circuitului **MAX 271** sunt compatibile atât TTL, cât şi CMOS.

Frecvența de tăiere a filtrului înregistrează erori dependente de datele de programare folosite. Astfel, eroarea frecvenței de tăiere este minimă pentru CODE=0, situație pentru care filtrele sunt ajustate special din fabricație, iar eroarea maximă (circa ±9,5%) se înregistrează pentru CODE=127. În această

situație, frecvența de tăiere a filtrului se încadrează în intervalul 22,63÷27,38 kHz.

Atenuarea în afara benzii de trecere pentru filtrele active implementate în acest circuit este de 40 dB/decadă. Pentru respectarea cerințelor de atenuare recomandate de normativele în vigoare, s-a folosit legarea în cascadă a celor două filtre din aceeaşi capsulă, obținându-se o atenuare de 80 dB/decadă.

În vederea reducerii efortului de programare a filtrelor active antialiasing, circuitele **MAX 271** sunt configurate în modul "***pin-programming***". Acest mod de programare este realizat prin conectarea pinului MODE la tensiunea pozitivă de alimentare. În această configurație, ambele filtre de tip trece jos sunt caracterizate de aceeaşi frecvență de tăiere, specificată de combinația de date aplicată terminalelor de comandă, $DATA_0 \div DATA_6$. Astfel programarea ambelor filtre este realizată într-o singură etapă (ciclu de programare).

În acest mod de funcționare, semnalele de interfațare cu magistrala sistemului nu au nici o semnificție, însă utilizatorul are acces la comenzile de activare a circuitului de eşantionare-memorare intern, de selecție a semnalului (ieşirea filtrului A, respectiv ieşirea filtrului B) ce urmează a constitui sursa de intrare a circuitului de eşantionare-memorare şi la comanda de eşantionare-memorare propriu-zisă. Legarea în cascadă a celor două filtre permite simplifica-rea comenzilor disponibile utilizatorului, astfel (conform fig. 6.4):

- este activată în permanență funcționarea circuitului de eşantionare-memorare (T/H_EN=1);
- intrarea circuitului de eşantionare-memorare este întotdeauna constituită de ieşirea filtrului B (T/H_A/B=0);
- comanda de eşantionare-memorare este disponibilă în exterior şi este asigurată de către unitatea centrală de prelucrare locală.

Circuitul de eşantionare-memorare, implentat în circuitul **MAX 271**, este caracterizat de următorii parametri:

- timp de stabilire (pentru o eroare de 0,1%): 500ns;
- timp de achiziție (pentru o eroare de 0,1%); 1,5μs;
- rata de cădere a tensiunii de ieşire (în starea de memorare): 30μV/μs;
- tensiune de decalaj (incluzând şi tensiunea de offset a filtrelor): ±4mV.

Impedanța de intrare a filtrelor nu este constantă, ci este dependentă de frecvență, fiind cuprinsă între 5MΩ în curent continuu şi 100kΩ la 25kHz, fiind însă suficient de mare pentru a nu introduce erori de măsurare.

Bateria de filtre, obținută prin legarea în cascadă a celor două filtre implementate în circuitul **MAX 271**) este caracterizată prin distorsiuni armonice totale mai mici de -70dB şi de atenuare în bandă de practic 0dB.

6.3.1.3 BLOCUL CIRCUITELOR DE EŞANTIONARE-MEMORARE SUPLIMENTARE (EXTERNE)

Deoarece semnalele de intrare, în sisteme electrice, pot fi rapid variabile şi se caracterizează prin prezența armonicilor superioare, având frecvențe multipli întregi ai frecvenței de 50 Hz, cât şi frecvențe care nu sunt multipli întregi ai frecvenței fundamentale, semnale care poartă denumirea de interarmonici, (în tehnică s-a constatat că numai armonicile până la ordinul 40 dau efecte nedorite în instalațiile electrice) sistemul de achiziții de date utilizează 6 circuite de eşantionare-memorare. Acestea pot fi constituite fie de circuitele de eşantionare-memorare implementate în cadrul circuitelor **MAX 271**, fie de circuite suplimentare externe, de tip **LF198**, pentru a menține la intrarea convertoarelor analog-digitale semnalul de măsurat constant (±0,25LSB) pe toată durata conversiei. De asemenea, caracterizarea unor anumite procese impune eşantionarea sincronă a semnalelor de intrare. Astfel, comanda de eşantionare-memorare poate fi comună tuturor celor 6 circuite, realizându-se astfel o achiziție sincronă, sau poate fi individualizată la nivel de câte un circuit, realizându-se un proces de achiziție asincronă sau poate fi implementată o schemă cu facilități de supraeşantionare la nivel de grupuri de câte trei circuite.

Circuitele externe folosite, de tip **LF198**, sunt circuite de eşantionare-memorare, realizate monolitic, ce utilizează tehnologia **BI-FET** pentru a obține o exactitate superioară atât în curent continuu, cât şi pentru achiziția semnalelor rapid variabile.

Funcționând ca circuite repetoare, acestea sunt caracterizate printr-o exactitate de 0,002% a amplificării şi de un timp de achiziție de 5 μs, pentru o exactitate de 0,01%. Folosirea tehnologiei bipolare în realizarea etajului de intrare asigură tensiuni de offset mici şi o bandă largă de frecvență (1MHz), fără probleme de stabilitate. Impedanta de intrare, de $10^{10}\Omega$, permite achiziționarea semnalelor de excitație ce provin de la surse de semnal cu impedanță internă ridicată, fără a fi afectată exactitatea.

Amplificatorul de ieşire combină dispozitive bipolare şi tranzistoare JFET cu canal P, pentru a putea asigura rate de cădere de 5mV/min, uilizând o capacitate de memorare de 1μF.

Se constată că aceste circuite de eşantionare-memorare externe sunt mult mai performante decât cele implementate în structura filtrelor antialiasing, sistemul de achiziții de date putând fi echipat opțional cu acestea din urmă. Intrările în circuitele de eşantionare-memorare externe sunt constituite de ieşirile filtrelor B din cadrul fiecărui bloc de tip filtru ***antialiasing***.

Trebuie însă remarcat faptul că, la cele două tipuri de circuite, comenzile de eşantionare-memorare sunt inversate (comanda pentru starea de eşantionare

în cazul circuitelor implementate intern în structura filtrelor antirepliere este activă pe nivel coborât, în cazul circuitelor suplimentare externe fiind activă pe nivel ridicat; în mod similar pentru trecerea în starea de memorare). Acest impediment este rezolvat simplu, prin ***software***, existând variante de programe, uşor diferite, pentru diferitele variante de implementare ***hardware***.

Circuitul este caracterizat de un factor de rejecţie a surselor de alimentare ridicat (110dB), atât în modul eşantionare, cât şi în modul memorare.

Intrările logice ale circuitului **LF198** sunt diferenţiale şi au curenţi de intrare mici, fiind direct interfaţabile direct cu familiile logice TTL, CMOS.

Compensarea offset-ului static (în curent continuu) se realizează prin conectarea pinului de compensare la cursorul unui semireglabil de 1kΩ, având unul din terminale legat la tensiunea pozitivă de alimentare, iar celălalt terminal înseriat cu o rezistenţă (ce trebuie să asigure un curent de aproximativ 0,6 mA prin pontentiometru) la masă.

Compensarea offset-ului dinamic (anularea pasului de memorare) se realizează prin folosirea suplimentară a unui inversor cu potenţiometrul de ajustare conectat între intrare şi ieşire. Un condesator de10pF, conectat între cursor şi capacitatea de memorare, va asigura ajustarea cu ±4mV a pasului de memorare, utilizând o capacitate de memorare de 0,01μF şi tensiunea de alimentare logică de +5V.

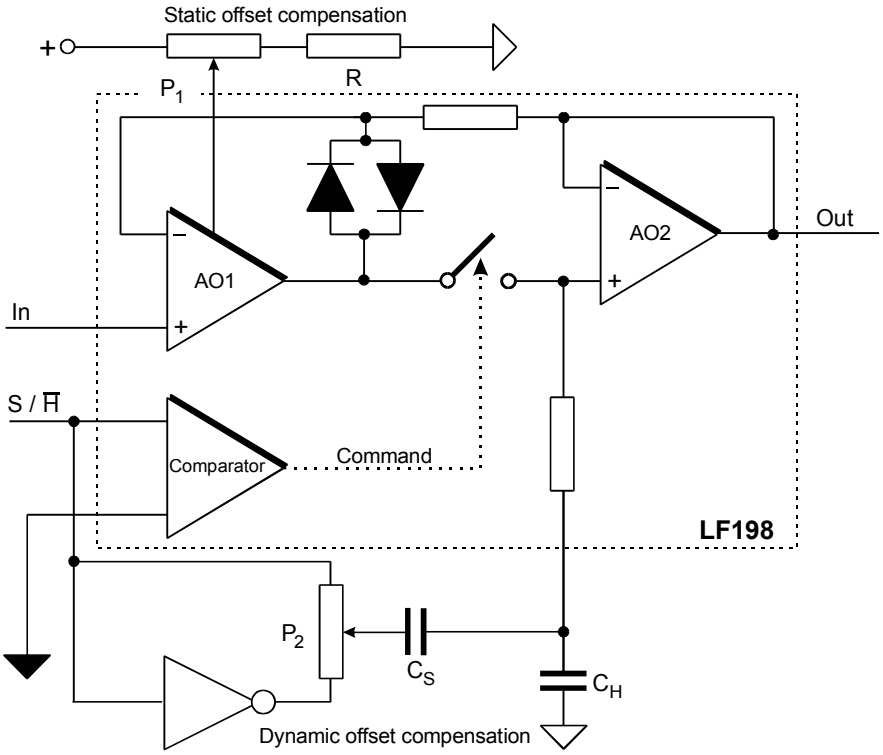


Fig. 6.5 Schema de utilizare a circuitelor de eşantionare-memorare LF 198.

În fig. 6.5 este ilustrată structura circuitelor de eşantionare-memorare,

conform schemei de utilizare în sistemul de achiziţii de date (incluzând opţiunile de compensare a tensiunii de decalaj - offset-ul static - şi de compensare a pasului de memorare - offset-ul dinamic -).

Pentru o funcţionare corectă, semnalele logice aplicate circuitului de eşantionare-memorare **LF198** trebuie să fie caracterizate de o viteză de variaţie mai mare decât 1V/μs. Semnalele de comandă mai lente pot determina valori sensibil crescute ale pasului de memorare. În situaţia concretă a sistemului proiectat, fronturile semnalelor de comandă fiind asigurate de circuite din familia TTL nu determină erori în funcţionarea circuitului de eşantionare-memorare.

6.3.1.4 BLOCUL CONVERTOARELOR ANALOG-DIGITALE

În sistemul de achiziţii de date, mai precis în cadrul interfeţei specializate de achiziţii, achiziţia semnalelor de intrare se efectuează pe 12 biţi, ceea ce permite o precizie de măsurare de 0,04875%. Gama tensiunilor de intrare în sistemul de achiziţii de date este selectabilă ***software*** şi/sau ***hardware*** în intervalele:

- (-0,3125 ÷ +0,3125)V;
- (-0,625 ÷ +0,625)V;
- (-1,25 ÷ +1,25)V;
- (-2,5 ÷ +2,5)V;
- (-5 ÷ +5)V;
- (-10 ÷ +10)V.

Conversia analog-digitală se efectuează cu ajutorul a şase convertoare analog-digitale, cu rezoluţie de 12 biţi, cu aproximaţii succesive, de tipul **MAX 181**, realizate în tehnologie **CMOS**.

6.3.1.4.1 DESCRIEREA FUNCŢIONALĂ A BLOCULUI DE CONVERSIE ANALOG-DIGITALĂ DIN CADRUL INTERFEŢEI SPECIALIZATE DE ACHIZIŢII DE DATE

Interfaţa specializată de achiziţii de date utilizează şase circuite de tip **MAX181** pentru conversia analog-digitală a eşantioanelor de tensiune şi de curent prelevate din proces.

Circuitul **MAX 181** este un sistem de achiziţii complet pe 12 biţi, care include un multiplexor analogic de intrare cu şase canale, un circuit de eşantionare-memorare de bandă largă, o sursă de tensiune de referinţă, realizată cu o diodă Zener cu derivă mică (25 ppm/^{o}C) şi o interfaţă flexibilă cu

microprocesoare de 8/16 biți, caracterizată prin viteză ridicată de transfer.

Circuitul este caracterizat printr-o rată ridicată de conversie (maxim 100 kHz pentru un canal), pentru care raportul semnal-zgomot al convertorului are o valoare de minim 74dB iar distorsiunile armonice totale au o valoare de minim -89dB, o excelent|ăliniaritate (±0,05LSB) şi un consum redus de energie (110 mW). **MAX 181** poate fi configurat ***software*** pentru conversia semnalelor unipolare (0÷5)V sau bipolare (-2,5÷+2,5)V, diferențiale sau nediferențiale, în mod independent pe fiecare canal.

Arhitectura unui astfel de circuit este prezentată în fig. 6.6.

Capacitatea de intrare se comportă ca o capacitate de memorare, fiind încărcată de semnalul de intrare, la fiecare conversie analog-digitală. Această capacitate este încarcată prin intermediul unei rezistențe interne, cu valoare de 1kΩ, conectată în serie cu semnalul de la intrare.

În modul de lucru nediferențial, între două cicluri de conversie (atunci când semnalul $\overline{\text{BUSY}}$ este pe nivel logic ridicat), intrarea analogică selectată este conectată la bornele capacității de memorare. Când se inițiază o conversie, se comandă deconectarea capacității de memorare de la intrarea sistemului, în acest mod realizându-se memorarea tensiunii de intrare. Atunci când comutatorul se închide, la sfârşitul conversiei, capacitatea de memorare este reconectată la semnalul de intrare, urmând un nou ciclu de încărcare. Efectul de sarcină al intrărilor multiplexorului analogic asupra semnalelor de intrare este foarte redus, astfel încât, de obicei, nu este necesară folosirea unui repetor de viteză mare, deoarece convertorul analog-digital este deconectat de la terminalul de intrare, pe durata conversiei curente.

Durata necesară circuitului de eşantionare-memorare pentru achiziționarea semnalului de intrare depinde de constanta de timp a procesului de încărcare a capacității de memorare. Dacă impedanța sursei de semnal este mare, timpul de achiziție se lungeşte şi determină scăderea ratei de conversie. Timpul de achiziție al semnalului poate fi calculat astfel (fig. 6.7):

$$t_S = 10 \cdot (R_S + R_{IN}) \cdot 20\text{pf} > 1{,}875\mu\text{s} \qquad (6.3)$$

în care:

- t_S reprezintă timpul de eşantionare;
- R_S este impedanța sursei de semnal;
- R_{IN} =1kΩ

Circuitul de eşantionare prevăzut la intrarea convertorului analog-digital este realizat pentru a optimiza urmărirea semnalelor cu amplitudini mari şi bandă largă de frecvență. Banda de frecvență tipică a circuitului de eşantionare-memorare este de 6MHz, permițând măsurarea semnalelor periodice cu frecvențe superioare vitezei maxime de eşantionare de 100kHz pentru care este garantată rezoluția de 12 biți, folosind tehnica supraeşantionării.

Din structura fiecărui convertor este utilizat doar un singur canal de intrare al multiplexorului analogic implementat intern, acest canal monitorizând

câte o mărime de intrare asociate fiecărei faze a rețelei trifazate. Fiecare convertor are prevăzute reglaje de offset (ajustare a zeroului) şi un reglaj comun de ajustare a câştigului (prin ajustarea tensiunii de referință). Toate cele trei convertoare sunt selectate prin intermediul unui semnal de selecție unic, astfel încât, la un moment de timp, poate fi declanşat un proces de trei conversii analog-digitale, în paralel. Motivația aceastei soluții de implementare rezidă în alegerea drept criteriu principal de proiectare creşterea vitezei de achiziție a interfeței specializate de achiziții de date. Convertoarele **MAX181** funcționează în modul de lucru ***port de intrere-ieşire***, pe 16 biți, lucru realizat prin conectarea semnalelor de configurare HBEN=”0” şi MODE=”1”. Convertoarele folosesc sursa de tensiune de referință internă a unui singur convertor. Această facilitate asigură o exactitate sporită a procesului de conversie analog-digitală.

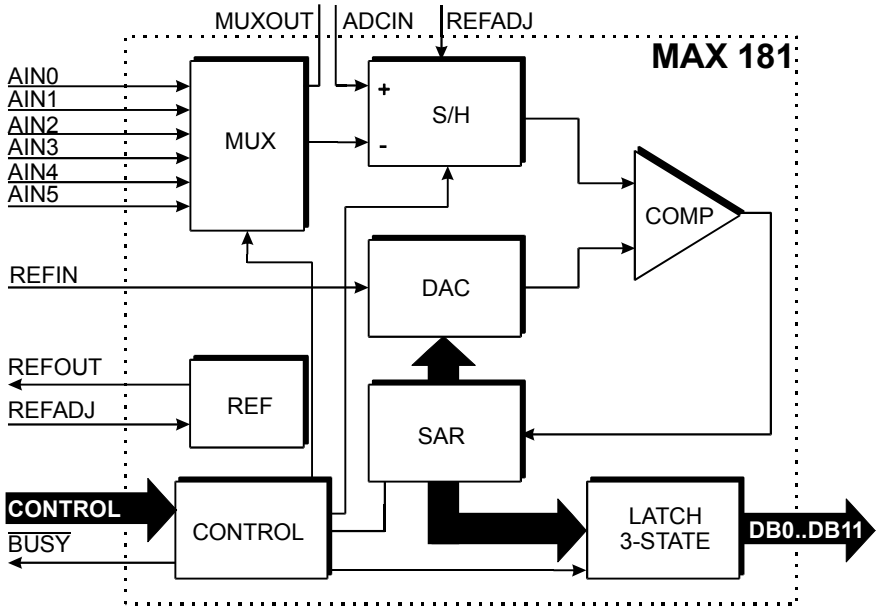


Fig. 6.6 Structura sistemului de achiziții de date MAX 181.

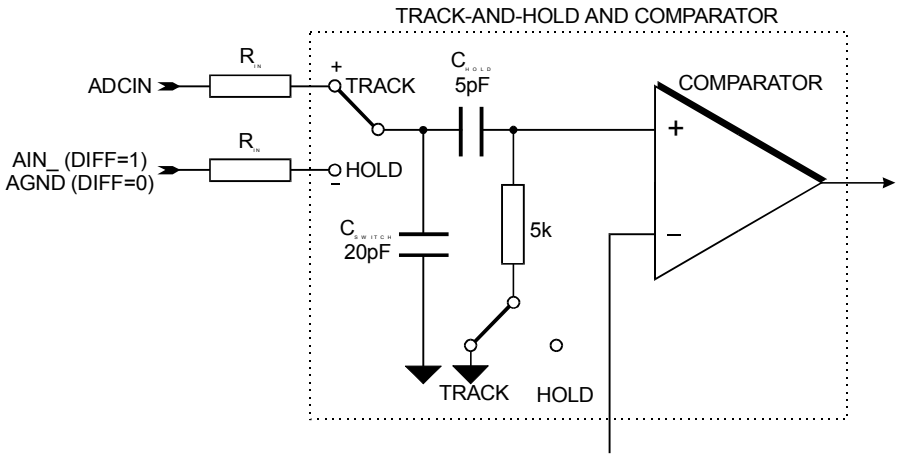


Fig. 6.7 Circuitul de eşantionare-memorare al convertorului MAX 181.

Parametrii conversiei curente (modul de funcţionare al convertorului - prin intermediul semnalelor HBEN şi MODE -, gama tensiunii de intrare, configuraţia intrărilor -unipolare sau bipolare, diferenţiale sau nediferenţiale-, prin intermediul semnalelor BIP, respectiv DIFF), selecţia canalului de intrare) pot fi programate ***software*** de către unitatea centrală de prelucrare locală, prin intermediul unui registru de comandă şi configurare. Această programare a parametrilor de conversie trebuie efectuată la fiecare proces de achiziţie; de fapt această operaţie declanşează şi procesul de achiziţie. Declanşarea conversiei se efectuează în două etape:

- printr-o instrucţiune de scriere, se configurează registrul de comandă;
- printr-o a doua instrucţiune de scriere, se transferă conţinutul registrului de comandă şi configurare către convertoarele **MAX181** şi se începe un ciclu sincron de conversie analog-digitală.

Din cele prezentate anterior, se constată că liniile de configurare ale registrelor de stare, implementate în structura circuitelor, nu sunt comune cu liniile inferioare ale ieşirilor de date.

Un ciclu de conversie durează 15 perioade de ceas, dintre care 3 sunt necesare pentru achiziţionarea semnalului de intrare de către circuitul de eşantionare-memorare intern, iar celelalte12 sunt efectiv necesare pentru efectuarea conversiei analog-digitale prin metoda aproximaţiilor succesive. Frecvenţa maximă a ceasului este de 1,66MHz, ceea ce conduce la o durată a ciclului de 8,33µs.

Pentru a se realiza ***software*** selectarea gamelor semnalelor analogice de intrare, a fost adoptată soluţia implementării unui amplificator cu câştig reglabil, conectat între ieşirea circuitului de eşantionare-memorare extern şi intrarea propriu-zisă în convertorul analog-digital.

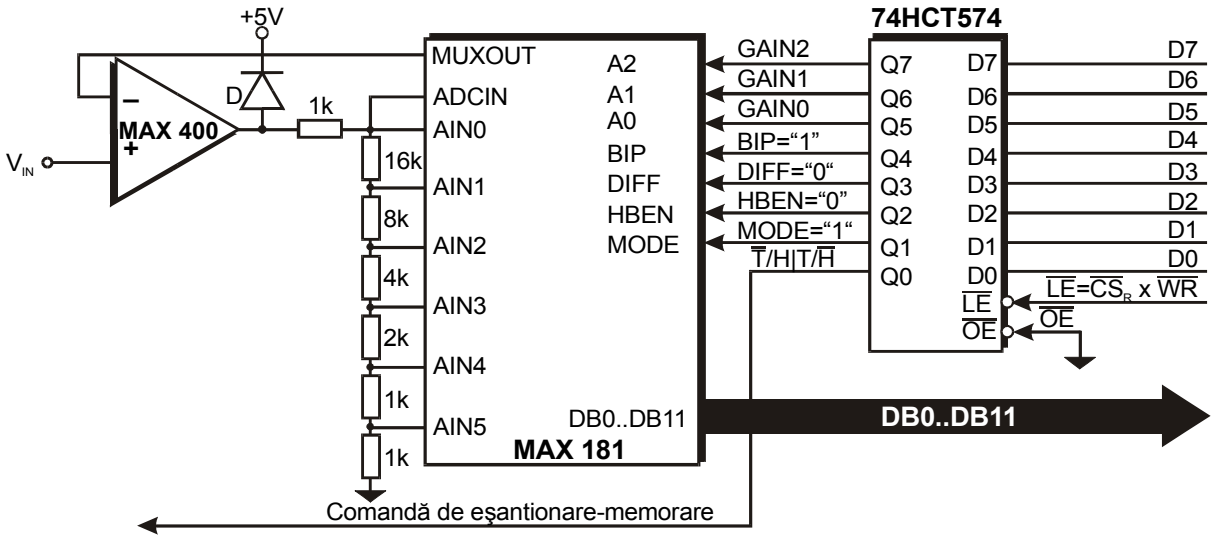


Fig. 6.8 Amplificatorul cu câştig reglabil şi comanda convertorului MAX181.

Componentele utilizate pentru realizarea acestui bloc funcţional al

sistemului de achiziţii de date trebuie să îndeplinească criterii foarte stricte de exactitate şi stabilitate.

Astfel, amplificatorul operaţional utilizat a fost ales de tip **MAX 400**, fiind caracterizat de amplificarea în buclă deschisă foarte mare (tipic 110 dB), de o tesiune de offset extrem de mică (< 1μV) şi de o stabilitare în timp şi cu temperatura foarte bune.

Prin utilizarea unor rezistenţe de precizie (cu toleranţă de 0,01%), caracterizate şi de o bună stabilitate în timp şi cu temperatura, şi care au o valoare sensibil mai mare decât rezistenţa în stare de conducţie a canalului selectat al multiplexorului analogic implementat intern în structura convertorului analog-digital - pentru a se putea neglija efectul acesteia în calculul amplificării circuitului -, de exemplu minim 1kΩ, am realizat un circuit cu câştig reglabil (programabil ***software*** prin selectarea canalului de intrare al convertorului analog-digital **MAX181**) de înaltă precizie şi performanţă.

În cazul prezentat în fig. 6.8, nivelurile de amplificare rezultă 1, 2, 4, 8, 16, 32. Recalcularea valorilor rezistenţelor, conform relaţiei (caracteristica de transfer a unui amplificator neinversor cu amplificator operaţional):

$$A_i = 1 + \frac{\sum_{k=1}^{i} R_k}{\sum_{k=i+1}^{6} R_k} \qquad (6.4)$$

conduce la obţinerea unor niveluri de amplificare diferite, conform dorinţelor.

O variantă opţională de a realiza ***software*** selectarea gamelor semnalelor analogice de intrare, constă în intercalarea între ieşirea circuitului de eşantionare-memorare, implementat intern în structura convertorului **MAX 181**, şi intrarea în circuitul propriu-zis de conversie analog-numerică, din structura aceluiaşi circuit, un amplificator cu câştig reglabil (fig. 6.9).

Multiplexorul care comandă rezistenţa de pe bucla de reacţie a amplificatorului opera-ţional, folosit în configuraţie de amplificator neinversor, este un multiplexor adresabil, realizat în tehnologie **CMOS**, fiind caracterizat de o rezistenţă a canalului în starea **ON** (în conducţie) foarte mică (circa 5Ω). De asemenea, împerecherea canalelor este foarte precisă, abaterile rezistenţelor canalelor în starea **ON** fiind sub valoarea de 0,25%. Multiplexorul folosit, de tip **MAX 368**, este caracterizat şi de protecţia intrărilor contra supratensiunilor accidentale: un canal, indiferent dacă este în stare de conducţie sau de blocare, suportă o tensiune de intrare de maximum 45 V, chiar dacă circuitul nu este alimentat. Un canal selectat (în stare de conducţie) va trece în stare OFF la aplicarea pe intrarea corespunzătoare a unei supratensiuni.

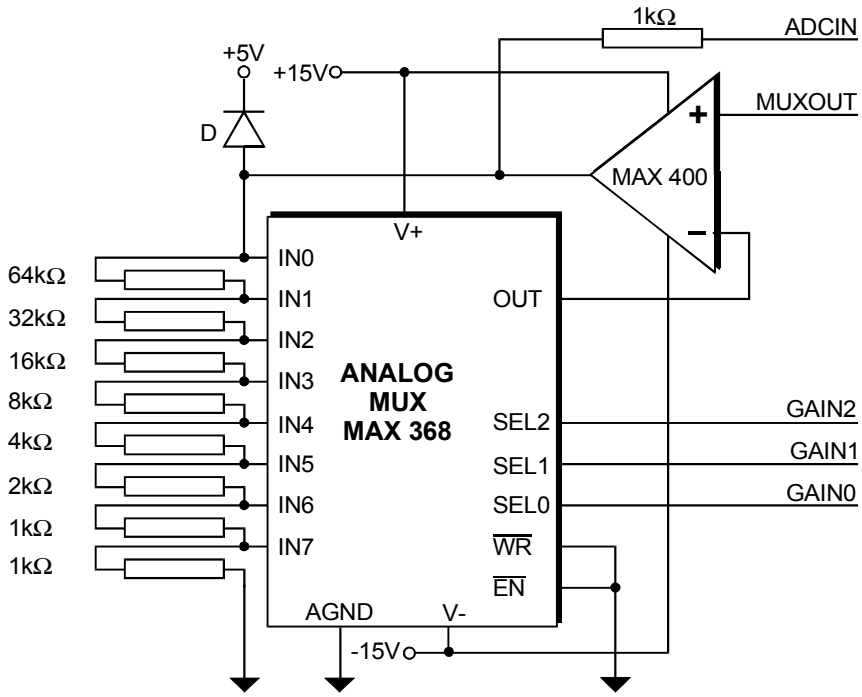


Fig. 6.9 Schema electrică a amplificatorului cu câştig reglabil (variantă opțională).

În cazul prezentat în fig. 6.9, nivelurile de amplificare rezultă de tipul 2^i, în care i = 0÷7. Recalcularea valorilor rezistențelor permite obținerea unor niveluri de amplificare diferite, conform necesităților.

Deoarece este realizat în tehnologie **CMOS** şi funcționează în modul ***dispozitiv de intrare-ieşire***, ale cărui diagrame temporale sunt prezentate în fig. 6.10, ieşirile de date ale convertorului de tip **MAX 181** sunt sensibile la activitatea pe magistrala de date a sistemului pe durata efectuării unei conversii.

Tranzițiile de pe magistrala de date a sistemului pe durata efectuării unei conversii cauzează erori în funcționarea comparatorului ce comandă registrul de aproximații succesive şi, deci, produce erori în rezultatul conversiei. Pentru rezolvarea acestei probleme s-a adoptat soluția ca ieşirile de date ale convertoarelor să fie prevăzute câte o memorie **FIFO** (**First In First Out**) cu lungimea cuvântului de 16 biți, de tip **Am7204A**, în defavoarea celeilalte soluții posibile: intro-ducerea procesorului din unitatea centrală de prelucrare locală în stare de aşteptare pe durata efectuării conversiei, deoarece prima soluție duce la creşterea vitezei de achiziție (fig. 6.10). De asemenea, utilizarea acestor memorii permite achiziționarea datelor cu o frecvență ridicată şi citirea acestora, de către unitatea centrală de prelucrare, cu o rată mai redusă

Adâncimea memoriilor **FIFO**, adică numărul de locații ale acestora, este ales în funcție de numărul maxim de eşantioane care vor fi prelevate din rețeaua electrică trifazată (în fig. 6.11 este utilizată o memorie **FIFO** cu 4096 locații). Extinderea capabilităților de memorare poate fi realizată foarte uşor, prin

utilizarea unor memorii de tip **Am7205A** (cu 8192 locații), deoarece circuitele sunt compatibile pin la pin.

Blocul memoriilor **FIFO** dispune de o intrare de inițializare care este comandată de către circuitul de inițializare al unității centrale de prelucrare locală.

Citirea rezultatelor obținute în urma efectuării conversiei se face printr-o singură instrucțiune de citire, ceea ce determină înscrierea datelor de ieşire ale fiecărui convertor (pe doi octeți) în câte o pereche de memorii **FIFO**. O funcție logică de tip SAU între semnalul de citire furnizat simultan celor şase convertoare şi semnalul comun de selecție al acestora determină înscrierea simultană a datelor de ieşire în memoriile **FIFO**. În urma acestei operații, se poate comanda o nouă conversie.

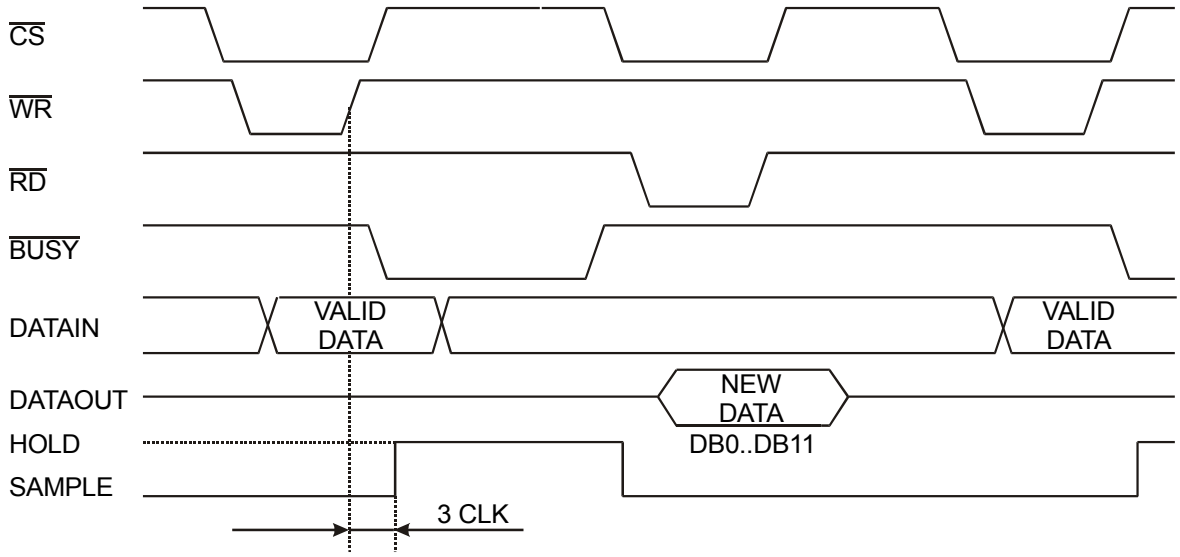


Fig. 6.10 Diagramele de funcționare ale convertorului analog-digital.

Scrierea în memoria **FIFO** determină incrementarea atât a ***pointer***-ului de scriere, cât şi a ***pointer***-lui de citire. Procesul de memorare continuă până la memorarea temporară a numărului prestabilit inițial de eşantioane sau până la umplerea memoriei. În oricare dintre aceste două situații, la încheierea operațiilor de memorare, se activează facilitatea de ***RETRANSMIT***, prin activarea semnalului **RT**, fie de către semnalul **FF** (**FIFO Full**), fie de către un semnal dedicat inițializării ciclului de citire.

Memoriile **FIFO** au ieşiri de tip three-state, preluarea conținutului făcându-se cu ajutorul unor semnale de selecție distincte. Aceste semnale sunt obținute prin condiționarea ieşirilor unui decodificator de porturi (adrese) cu semnalul de citire al procesorului. Prin manipularea sevențială a seturilor de ieşiri three-state ale memoriilor **FIFO** se realizează, de fapt, multiplexarea numerică a datelor de ieşire, obținute în urma procesului de conversie analog-digitală.

Pentru a facilita preluarea şi interpretarea rezultatelor, semnalul de selecţie **MSBYTE**, corespunzător fiecărui convertor, permite preluarea, pe cei patru biţi mai puţin semnificativi, a informaţiilor de pe liniile de ieşire $DB_{11} \div DB_8$ ale circuitelor, iar semnalul de selecţie **LSBYTE** determină preluarea informaţiile de pe liniile de ieşire $DB_7 \div DB_0$.

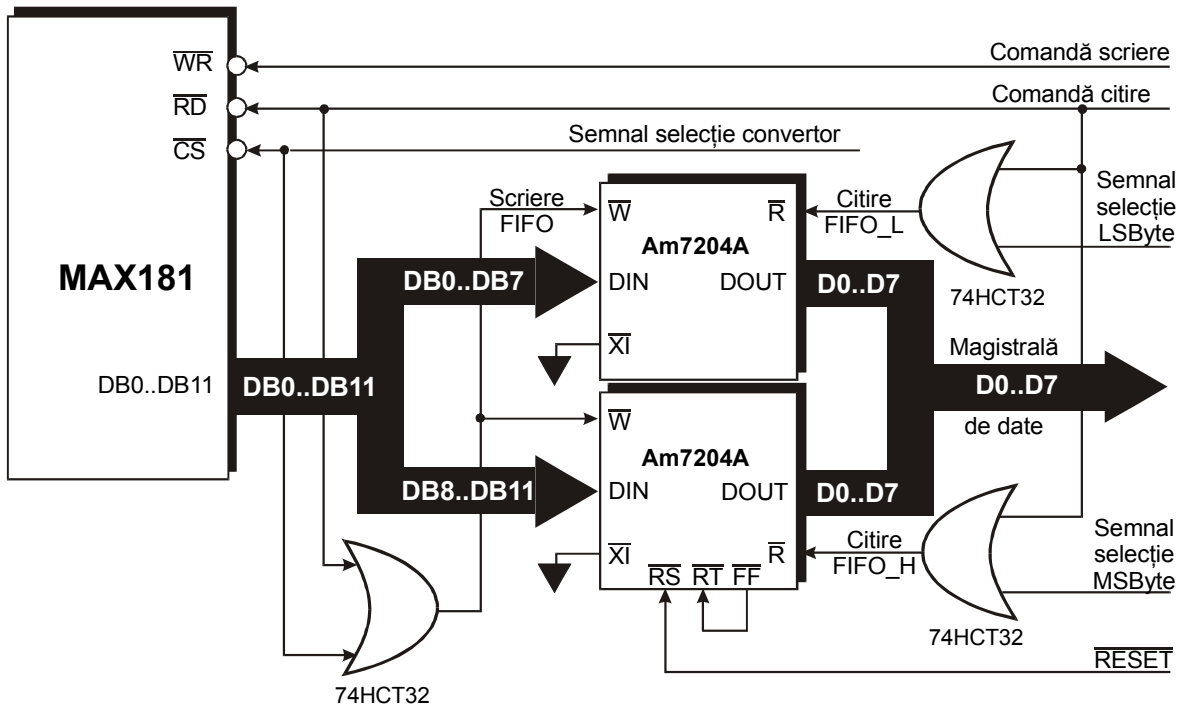


Fig. 6.11 Buffer-area ieşirilor de date ale convertorului A/D cu memorii FIFO.

Biţii mai semnificativi, neutilizaţi, ai memoriei **FIFO** selectată cu semnalul **MSBYTE** vor conţine informaţiile referitoare la nivelul de amplificare programat, astfel:

- cei trei biţi mai semnificativi preiau informaţia de selecţie a amplificării din registrul de comandă;
- cel de-al patrulea bit preia informaţia de depăşire de la un comparator cu fereastră; tensiunile de referinţă ale acestuia sunt obţinute de la sursa de referinţa internă a sistemului de achiziţiii **MAX181**.

Prin alocarea diferită a biţilor de date de la convertorul analog-digital **MAX 181** la liniile de intare ale memoriilor **FIFO**, se poate realiza foarte uşor comutarea ***software*** între rezoluţia de interpretare a rezultatelor conversiilor pe 12/8 biţi.

Trebuie remarcată simplitatea modului de interfaţare a blocului de conversie analog-digitală cu unitatea centrală de prelucrare: prin intermediul unor porturi de intrare-ieşire.

Această structură simplă, dar, în acelaşi timp, eficientă, a fost adoptată pentru a păstra o compatibilitate deplină cu modul de organizare al

microcontroller-ului **80C552** (sub formă de porturi cu funcţii dedicate), ce stă la baza unităţii centrale.

Pentru evitarea problemelor de sincronizare ce pot apare în funcţionare (semnalele de selecţie, citire şi scriere asociate convertorului trebuie să fie corelate cu ceasul acestuia), ceasul, folosit de convertor pentru efectuarea conversiilor, este obţinut prin divizare din ceasul unităţii centrale de prelucrare.

Timpul minim de achiziţie, compus din:

- timpul de eşantionare (maxim 5μs),
- timpul de stabilire a ieşirii circuitelor eşantionare-memorare (maxim 0,5μs),
- timpul de conversie analog-digitală (maxim 9,5μs),
- la care se adaugă durata instrucţiunilor de selecţie a parametrilor conversiei şi de comandă a unei conversii analog-digitale, de comandă a circuitului de eşantionare-memorare (4μs)

rezultă de maximum 19μs, ceea ce permite o frecvenţă de achiziţie de 51,2 kHz pe un canal, extrem de utilă în aplicaţiile de acest tip necesitând analiză spectrală a semnalului eşantionat.

6.3.1.5 BLOCUL DE CONVERSIE DIGITAL-ANALOGICĂ

Secţiunea ieşirilor analogice este implementată utilizând un circuit de tip **MAX526**, ce conţine patru convertoare digital-analogice pe 12 biţi cu ieşire în tensiune. Circuitul include amplificatoare operaţionale de precizie de tip buffer pentru a asigura ieşirile în tensiune. Pentru funcţionare circuitul MAX526 necesită o tensiune de alimentare pozitivă, în gama (+12 ÷ +15)V, precum şi o tensiune de alimentare negativă, cu valoarea de -5V, în raport cu tensiunea de referinţă a schemei (masa electrică 0V). Tensiunile de offset, amplificările şi liniaritatea sunt ajustate tehnologic, astfel încât eroarea totală să nu depăşească 1LSB ($1LSB = \frac{V_{REF}}{2^{12}} = \frac{V_{REF}}{4096}$).

Acest circuit dispune de o interfaţă digitală dublu buffer-ată, prin intermediul unui registru de intrare de 12 biţi şi a unui registru al convertoarelor D/A de 12 biţi. Cuvântul înscris în acest din urmă registru este folosit pentru obţinerea tensiunii de ieşire a convertorului. **MAX526** poate fi interfaţat cu un microcontroller sau cu un microprocesor prin intermediul unei magistrale externe de date, cu lungimea de un octet. Cuvântul de programare este înscris în registrul de intrare prin intermediul a două instrucţiuni de scriere (activarea semnalului de scriere pentru cei 8 biţi mai puţin semnificativi, respectiv pentru cei mai semnificativi 4 biţi). Este disponibil şi un semnal asincron de încărcare a registrului convertorului A/D, denumit $\overline{LDAC}$ şi care este activ pe nivel logic

coborât. Toate intrările logice sunt compatibile atât TTL, cât şi CMOS.

MAX526 conține patru convertoare A/D cu ieşire în tensiune. Convertoarele A/D sunt de tip rețea rezistivă R-2R "inversată", care converteşte cuvântul digital de intrare, pe 12 biți, într-o tensiune de ieşire proporțională cu acesta şi dependentă de tensiunea de referință externă aplicată convertorului. Circuitul dispune de două intrări de tensiune de referință: o primă intrare este partajată de convertoarele D/A A şi B ($V_{REFA/B}$); cea de-a doua tensiune de referință este utilizată de către celelalte două convertoare, respectiv C şi D ($V_{REFC/D}$). Aceste intrări pentru tensiunile de referință, aplicate din exterior, permit obținerea unor game de tensiuni de ieşire diferite pentru cele două perechi de convertoare digital-analogice, A şi B pe de o parte, respectiv C şi D pe de altă parte.

Circuitul **MAX526** poate fi utilizat în aplicații ce necesită multiplicarea analogică a semnalelor de intrare. Tensiunile de referință pot fi atât tensiuni continue cât şi tensiuni alternative. Tensiunea externă aplicată fiecărei intrări V_{REF} determină capătul de scală al tensiunilor de ieşire pentru fiecare pereche de convertoare D/A. Impedanța de intrare prezentată de aceste intrări este dependentă de codul binar aplicat intrărilor digitale ale circuitului. Valoarea minimă a impedanței de intrare, cu valoarea tipică de 6kΩ, apare pentru codul binar de intrare cu valoarea 0101 0101 0101. Valoarea maximă a impedanței de intrare, cu valoarea tipică de 60kΩ, se manifestă pentru codul binar de intrare cu valoarea 0000 0000 0000. Valoarea impedanței intrărilor pentru tensiunile de referință, dependentă de valoarea codului de intrare binar aplicat circuitului, necesită stabilizarea tensiunilor de referință externe. Este, de asemenea, necesar ca sursele de tensiune externă de referință să fie caracterizate de o impedanță de ieşire cât mai mică, în special la frecvențe mari.

Impedanța minimă de intrare garantată este de 5kΩ. Atunci când ambele intrări sunt comandate de aceeaşi sursă externă de tensiune de referință, impedanța minimă garantată este de 2,5kΩ. O primă modalitate de asigurare a unei exactități cât mai ridicate constă în utilizarea unor surse externe de referință cât mai stabile (de exemplu, tensiunea de ieşire a sursei de tensiune de referință **MAX674** ($V_{REF} = 10V$) variază cu maximum 0,33LSB dacă comandă două intrări în loc de una singură. Performanțe mai bune pot fi obținute prin utilizarea unor circuite cu caracteristici de stabilitate superioare, cum ar fi de pildă **MAX670**/**MAX671**.

O a doua metodă de obținere a unei exactități cât mai ridicate constă în buffer-area cu un amplificator operațional de precizie a sursei de tensiune de referință. Impedanța de ieşire a amplificatorului funcționând în buclă de reacție negativă trebuie să fie mai mică decât 0,05 Ω. Această valoare a impedanței de ieşire asigură o eroare maximă de 0,08 LSB în cazul în care sunt comandate ambele intrări. Se recomandă utilizarea unui amplificator operațional de precizie

ridicată, de tip **MAX400** sau **OP07**.

Capacitatea intrărilor de tensiune de referinţă este, de asemenea dependentă de codul binar aplicat intrărilor digitale ale circuitului şi variază între 125pF ÷ 300pF.

Ieşirile A/D pot fi reprezentate ca nişte surse de tensiune controlate numeric: $V_{OUT_i} = \frac{N_B}{4096} \times V_{REF}$, $i = A \div D$, în care N_B reprezintă valoarea zecimală a codului binar aplicat la intrările numerice ale circuitului $N_B = 0 \div 4095$.

Amplificatoarele interne de tip buffer cu care sunt prevăzute ieşirile celor patru convertoare D/A din cadrul circuitului MAX526 sunt în configuraţie de repetoare de tensiune şi sunt caracterizate printr-un slew-rate tipic de 5V/μs. Aceasta determină ca timpul de stabilire a ieşirii, în limite de ±0,5LSB, pentru o excursie de 10V la ieşire, să fie tipic 3μs. Condiţiile în care a fost determinat acest timp sunt caracterizate printr-o sarcină de 5kΩ || 100pF

Intrările digitale ale circuitului MAX526 sunt compatibile TTL şi CMOS. Circuitul dispune de o interfaţă digitală cu un microprocesor, pe 8 biţi. Structura de intrare este dublu buffer-ată şi este constituită dintr-un registru de intrare de 12 biţi (8+4) şi un registru corespunzător fiecărui converotr A/D. Tensiunea de ieşire a fiecărui convertor reflectă cuvântul memorat în registrul DAC corespunzător. Liniile de adres A_0 şi A_1 sunt utilizate pentru a selecta care dintre convertoare primeşte date de la magistrală, aşa după cum reiese din următorul tabel:

A_1	A_0	**REGISTRUL DE INTRARE SELECTAT**
L	L	registru de intrare DAC A
L	H	registru de intrare DAC B
H	L	registru de intrare DAC C
H	H	registru de intrare DAC D

Intrările $\overline{CSLSB}$, $\overline{CSMSB}$, $\overline{WR}$ permit încărcarea datelor de pe magistrală în registrele de intrare selectate prin intermediul liniilor de adrese A_0 şi A_1. Prin activarea semnalelor $\overline{CSLSB}$ şi $\overline{WR}$ se încarcă cei mai puţin semnificativi 8 biţi în registrul de intrare. Prin activarea semnalelor $\overline{CSMSB}$ şi $\overline{WR}$ se încarcă cei mai semnificativi 4 biţi în registrul de intrare. Ordinea de încărcare a datelor (cei mai puţin semnificativi 8 biţi sau cei mai semnificativi 4 biţi) nu este importantă. Este de asemenea posibilă încărcarea concurentă a tuturor celor 12 biţi prin activarea simultană a semnalelor $\overline{CSLSB}$, $\overline{CSMSB}$ şi $\overline{WR}$. Trebuie, însă, menţionat faptul că biţii 11÷8 vor fi identici cu biţii 3÷0.

$\overline{CSLSB}$	$\overline{CSMSB}$	$\overline{WR}$	$\overline{LDAC}$	**FUNCȚIA**
L	H	L	H	încarcă octetul mai puțin semnificativ în registrul de intrare selectat
L	H	↑	H	memorează octetul mai puțin semnificativ în registrul de intrare selectat
↑	H	L	H	memorează octetul mai puțin semnificativ în registrul de intrare selectat
H	L	L	H	Încarcă octetul mai semnificativ în registrul de intrare selectat
H	L	↑	H	Memorează octetul mai semnificativ în registrul de intrare selectat
H	↑	L	H	Memorează octetul mai semnificativ în registrul de intrare selectat
X	X	H	L	Transferă datele din registrele de intrare în registrele DAC
H	H	H	↑	Memorează registrele DAC
H	L	L	L	Încarcă octetul mai semnificativ în registrul de intrare selectat şi încarcă registrele de intrare în registrele DAC
↑	X	H	H	nu se efectuează nici o operație; dispozitivul nu este selectat
L	L	L	L	încărcare concurentă 12 biți în registrele de intrare, transferă datele din registrele de intrare în registrele DAC
L	L	L	H	încărcare concurentă 12 biți în registrele de intrare
L	H	L	L	încarcă octetul mai puțin semnificativ în registrul de intrare selectat şi încarcă registrele de intrare în registrele DAC
H	H	L	L	Transferă datele din registrele de intrare în registrele DAC
H	H	L	H	nu se efectuează nici o operație.

Datele sunt memorate în registrul de intrare selectat pe frontul crescător al semnalului $\overline{WR}$.

Datele sunt transferate din registrele de intrare în registrele DAC prin forţarea semnalului $\overline{LDAC}$ la nivel logic coborât. Se reactualizează simultan toate cele patru convertoare D/A.

Circuitul **MAX526** poate funcționa atât în mod unipolar, cât şi bipolar, pentru etajele de ieşire.

Întreaga arhitectură a interfeței de achiziții de date a fost concepută astfel încât să ofere sistemului o flexibilitate cât mai mare, soluții cât mai facile de testare şi calibrare şi o exactitate cât mai ridicată de măsurare.

6.4 UNITATEA CENTRALĂ DE PRELUCRARE LOCALĂ CU MICROCONTROLLER 80C552

Unitatea centrală de prelucrare locală, organizată în jurul unui microcontroller **80C552**, de fapt a unui sistem de dezvoltare reproiectat, cu microcontroller **80C552**, conferă sistemului avantajul de a putea fi amplasat în imediata vecinătate a procesului controlat, calculatorul central, compatibil **IBM-PC**, putând fi localizat la distanță.

6.4.1 DESCRIEREA FUNCȚIONALĂ A UCPL

Unitatea Centrală de Prelucrare Locală (**UCPL**) a sistemului de achiziții de date are la bază un sistem de dezvoltare reproiectat, organizat în jurul unui microcontroller **80C552**, realizat în tehnologie **CMOS** de firma **PHILIPS**, compatibil ***software*** cu familia de procesoare **80C51**.

Bazat pe această structură versatilă şi extensibilă, s-a proiectat unitatea centrală de prelucrare a sistemului de achiziții de date. S-a modificat şi restructurat sistemul de dezvoltare în sensul creşterii numărului de resurse ***hardware***: filtre ***antialiasing*** programabile, amplificatoare cu câştig reglabil programabile, convertoare analog-digitale interfațabile şi programabile, ***buffer***-e de date constituite de memorii **FIFO**, interfață serială de tip **RS-485**, registre de comandă şi configurare, detectoare ale trecerii prin zero ale semnalelor analizate în scopul determinării frecvenței acestora; s-a extins, de asemenea, numărul de semnale de selecție în conformitate cu resursele ***hardware*** suplimentare; s-a utilizat un microcontroller de tip 80C552 capabil să funcționeze la o frecvență a ceasului de 30 MHz. S-au păstrat integral, din punct de vedere ***hardware*** şi al configurației în spațiul de adresare, toate resursele sistemului de dezvoltare inițial, ele găsindu-şi utilitatea în cadrul sistemului de achiziții de date proiectat.

În fig. 6.12 este prezentată schema bloc detaliată a unității centrale de prelucrare locale, **UCPL**, a sistemului de achiziții de date şi de analiză a semnalelor electrice.

6.4.2 RESURSELE UNITĂȚII CENTRALE DE PRELUCRARE LOCALE A SISTEMULUI DE ACHIZIȚII DE DATE

Unitatea centrală de prelucrare locală a sistemului de achiziții de date şi de analiză a semnalelor electrice, dispune de următoarele resurse ***hardware*** şi caracteristici tehnice:

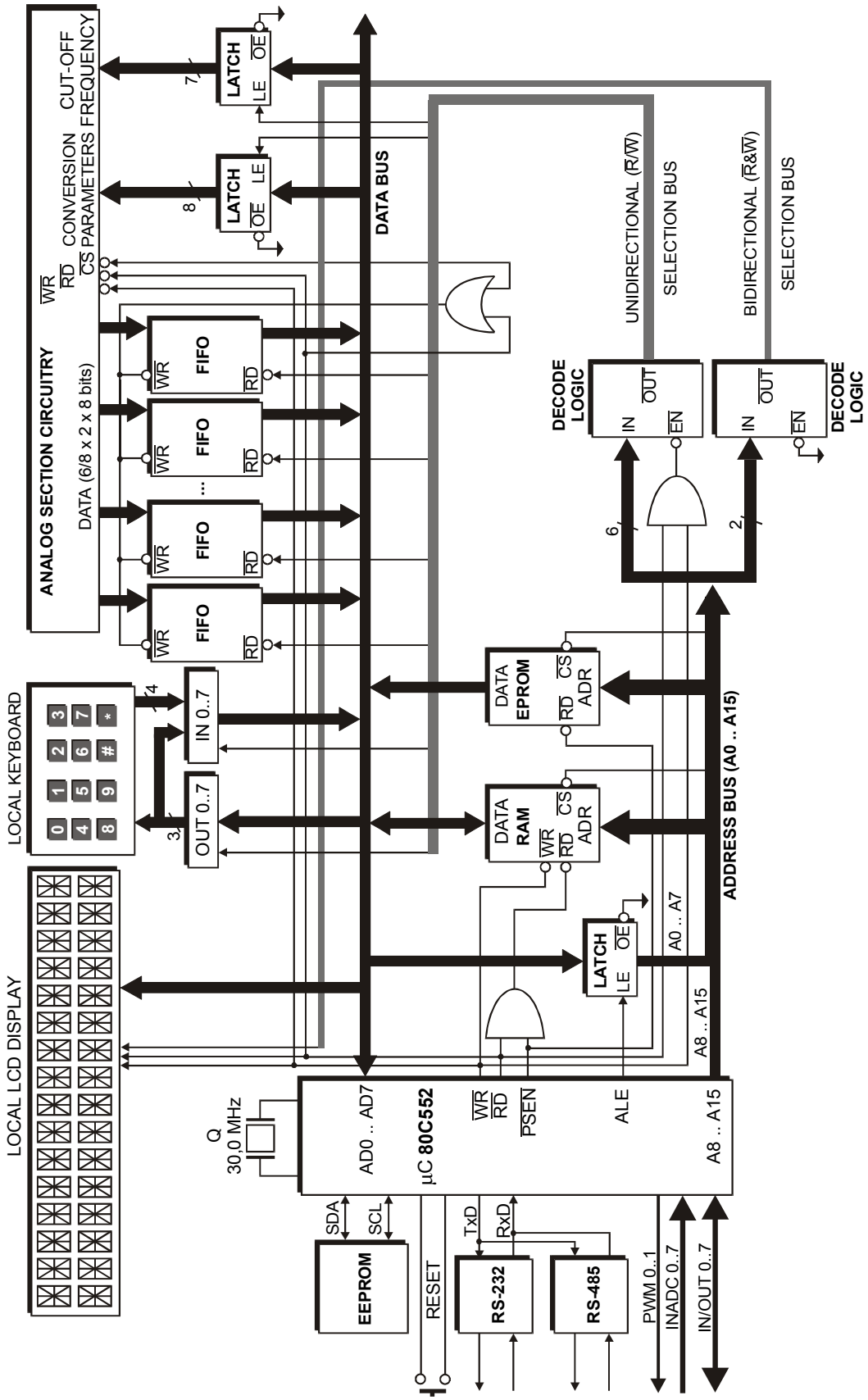


Fig. 6.12 Structura unității centrale de prelucrare locale UCPL.

- microcontroller PCB80C552 (fără memorie internă de program), lucrând la o frecvență maximă a ceasului de 30 MHz;
- frecvența ceasului unității centrale de prelucrare este de 30 MHz;
- memoria de date externă (**DATA MEMORY**), de tip static, implementată cu un circuit **KM62256AL**, realizat în tehnologie **CMOS**, cu capacitatea de 32 kocteți şi caracterizat de un timp de acces de 35ns. Spațiul de adresare ocupat de memoria de date este cuprins între 8000H şi FFFFH (fig. 6.13);
- memoria de program externă (**PROGRAM MEMORY**), implementată cu un circuit **EPROM** de tip **27C256**, realizat în tehnologie **CMO**S, cu capacitatea de 32 kocteți şi caracterizat de un timp de acces de 70ns. Spațiul de adrese ocupat de memoria de program externă este cuprins între 0000H şi 7FFFH (fig. 6.13);

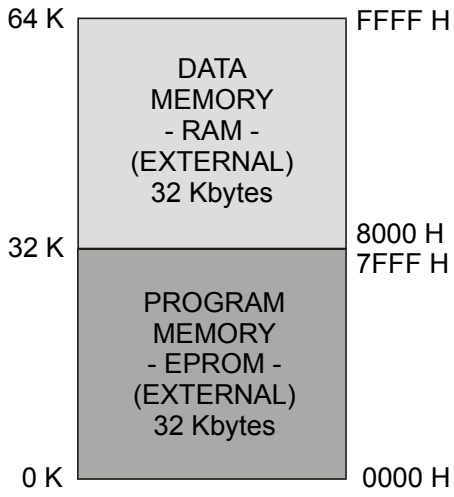


Fig. 6.13 Harta memoriei unității centale de prelucrare.

- interfață serială compatibilă **RS-232** / **RS-485** de mare viteză, full duplex. Interfața serială de tip **RS-232** foloseşte protocol ***software*** de comunicație, fără semnale de dialog, permițând viteze de comunicație cuprinse între 110 bauds şi 19200 bauds, iar interfața **RS-485** posedă şi semnale de dialog, permițând viteze de comunicație cuprinse între 1200 bauds şi 115000 bauds;
- bus serial **I^{2}C** (bus ***multimaster*** cu arbitrare de priorități şi viteză mare de transmisie - 100 kbytes pe secundă în modul *standard* şi 400 kbytes pe secundă în modul *rapid* -, frecvența maximă a ceasului serial este 100kHz. Destinația principală este comunicația cu circuite integrate sau controller-e, prevăzute cu interfața **I^{2}C**, aflate în aceeaşi incintă;
- memorie **EEPROM** serială, implemetată cu un circuit de tip **ST24C04**, realizat în tehnologie **CMOS**, cu capacitatea de 512 octeți

şi conectată la interfaţa **I²C**. Această memorie nevolatilă conţine valorile limită ale parametrilor supravegheaţi;

- **4** porturi paralele de ieşire de **8** biţi (constituite de: registrul de comandă şi configurare a parametrilor conversiei, registrul de programare a filtrelor ***antialiasing***, registrul de ieşire **OUT 0..7**, registrul de ieşire **OUT 8..15**);
- **17** porturi paralele de intrare de **8** biţi (constituite de portul de intrare **IN 0..7** şi cele 6/8 perechi de ***buffer***-e de date, constituite de memorii **FIFO**, de tip **Am7204A**);
- **2** porturi paralele, bidirecţionale, de 8 biţi (constituite de ansamblul celor 6/8 convertoare analog-digitale, de tip **MAX181** şi de afişajul cu cristale lichide cu două linii de câte 16 caractere, de tip **PVC160205AYL**);
- **8** intrări multiplexate la un convertor analog-digital cu rezoluţia de 10 biţi, implementat în structura microcontroller-ului 80C552 şi caracterizat de un timp de conversie de 50 cicluri maşină;
- **32** ieşiri decodificate de selecţie porturi (tabelul 6.1).

Porturile **OUT 0..7** şi **IN 0..7** sunt utilizate pentru implementarea tastaturii locale, de tip matriceal, cu trei linii şi patru coloane. Liniile sunt baleiate secvenţial (sunt active pe "0") prin programarea liniilor 0..2 ale portului **OUT 0..7**, prin intermediul portului de intrare **IN 0..7** se citesc pe liniile mai semnificative codul liniei, iar pe liniile mai puţin semnificative codul coloanei, de pe care s-a acţionat o tastă.

Registrul de comandă şi configurare a achiziţiei analog-digitale reprezintă un port de ieşire pentru comanda sistemului de achiziţii de date specializat, extern, caracterizat de o rezoluţie mai mare şi o viteză de achiziţie mai ridicată decât a celui implementat în cadrul microcontroller-ului. Selectarea acestui port de ieşire se face cu semnalul **CMDREG** (**CoMmanD REGister**), ocupând un spaţiu de adrese între 108H şi 10FH. În cazul în care portul suplimentar este utilizat pentru comnada unui sistem de achiziţii de date specializat, biţii portului au următoarea semnificaţie:

- bitul 0 (cel mai puţin semnificativ) - comandă de eşantio-nare-memorare, configurabilă prin program pentru circuitele de eşantionare-memorare implementate în cadrul filtrelor ***antialiasing*** **MAX 271** sau pentru circuitele de eşantionare-memorare externe, de tip **LF198**;
- bitul 1 - comanda modului de funcţionare al convertoarelor analog-digitale MAX181 (**MODE**="1");
- bitul 2 - comanda modului de preluare a rezultatului unei conversii analog-digitale (**HBEN**="0" - preluare rezultat pe 12 biţi);
- bitul 3 - comanda modului de configurare a intrărilor convertoarelor

analog-digitale (**DIFF**=”0“ - intrări nedife-rențiale);

- bitul 4 - comanda modului de configurare a intrărilor convertoarelor analog-digitale (**BIP**=”1”- intrările acceptă semnale bipolare);
- bitul 5 - comanda amplificatorului cu câştig reglabil, **GAIN0** - bitul cel mai puțin semnificativ;
- bitul 6 - comanda amplificatorului cu câştig reglabil, **GAIN1** - bitul intermediar;
- bitul 7 (cel mai semnificativ) - comanda amplificatorului cu câştig reglabil, **GAIN2** - bitul cel mai semnificativ.

Tabelul 6.1 Spațiul de adrese pentru selecțiile de porturi.

Liniile de adrese $A_0 \div A_{15}$																Ieşire DCD	Adresa (H)
A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0		
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	0	X	X	X	LCD	100H..07H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	1	X	X	X	ADCSEL	108H..10FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	1	0	X	X	X	CMDREG	110H..117H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	1	1	X	X	X	CUTOFF	118H..11FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	1	0	0	X	X	X	OUT 0..7	120H..127H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	1	0	1	X	X	X	FIFO1L	128H..12FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	1	1	0	X	X	X	FIFO1H	130H..137H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	1	1	1	X	X	X	FIFO2L	138H..13FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	0	0	0	X	X	X	OUT 8..15	140H..147H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	0	0	1	X	X	X	FIFO2H	148H..14FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	0	1	0	X	X	X	FIFO3L	150H..157H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	0	1	1	X	X	X	FIFO3H	158H..15FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	0	0	X	X	X	IN 0..7	160H..167H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	0	1	X	X	X	FIFO4L	168H..16FH
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	1	0	X	X	X	FIFO4H	170H..177H
0	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	1	1	X	X	X	FIFO5L	178H..17FH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	0	0	0	X	X	X	FIFO5H	180H..187H
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	0	0	1	X	X	X	FIFO6L	188H..18FH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	0	1	0	X	X	X	FIFO6H	190H..197H
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	0	1	1	X	X	X	FIFO7L	198H..19FH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	1	0	0	X	X	X	FIFO7H	1A0H..1A7H
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	1	0	1	X	X	X	FIFO8L	1A8H..1AFH
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	1	1	0	X	X	X	FIFO8H	1B0H..1B7H
0	X	X	X	X	X	X	1	1	0	1	1	1	X	X	X	NC	1B8H..1BFH

- **2** ieşiri analogice de **8** biți modulate în durată. Prin integrarea lor se pot obține două convertoare digital-analogice de **8** biți;
- **3** numărătoare de tip ***timer*** / ***counter***;
- **1** ***watchdog*** programabil (mijloc de autodeblocare în cazul execuției eronate a programelor datorită perturbațiilor sau interferențelor;
- **15** linii de întreruperi dintre care **6** linii externe;
- reset / autoreset (la punerea sub tensiune);
- conectarea directă a unui afişaj cu cristale lichide, cu două linii de câte 16 caractere.

Secțiunea de captare a evenimentelor, din cadrul microcontroller-ului 80C552 este utilizată pentru măsurarea frecvenței semnalelor preluate din cadrul rețelei trifazate analizate.

Utilizând un comparator de tip neinversor, cu tensiune de referință egală cu zero, pot fi detectate trecerile prin zero ale semnalelor de intrare. La trecerea prin zero şi începutul semialternanței pozitive a semnalului de intrare (tensiune sau curent), ieşirea comparatorului basculează în "1" logic. Acest front este utilizat generarea unui semnal (cu perioadă dublă raportată la cea a semnalului de intrare), destinat inițializării ***timer***-ului T_2 şi reprezintă, de asemenea, frontul ce determină captarea conținutului său în registrul CT_0. Astfel la cea de-a doua captare, registrul CT_0 va conține un număr proporțional cu perioada semnalului de intrare. Rezoluția de 16 biți permite o precizie foarte ridicată de determinare a periodei semnalelor.

6.5 INTERFAȚAREA UNITĂȚII CENTRALE DE PRELUCRARE, CU MICROCONTROLLER 80C552, CU UN SISTEM HARDWARE EXTERN (INTERFAȚA DE ACHIZIȚII DE DATE)

6.5.1 MODALITĂȚI DE CUPLARE A UNITĂȚII CENTRALE DE PRELUCRARE CU UN DISPOZITIV HARDWARE EXTERN

Unitatea centrală de prelucrare locală prezentată, organizată în jurul unui microcontroller de tip PCB 80C552, poate fi interfațată cu un ***hardware*** extern, dedicat extinderii facilităților unității centrale de prelucrare.

În ceea ce urmează, se va prezenta modalitatea de cuplare a unui sistem de achiziții de date performant la unitatea centrală de prelucrare locală cu microcontroller 80C552. Cuplarea oricărui sistem ***hardware*** extern, indiferent de funcția realizată de acesta, poate fi făcută în două moduri:

- direct, prin intermediul secţiunilor de date, adrese şi comenzi ale magistralei sistemului de dezvoltare, de fapt ale magistralei (porturilor dedicate acestor scopuri) ale microcontroller-ului 80C552;
- prin intermediul porturilor de intrare/ieşire ale sistemului de dezvoltare, care sunt disponibile în exterior prin elemente dedicate de interconectare.

Prima variantă prezentată, deşi conferă avantajul unei versatilităţi crescute - soluţiile de implementare fiind practic limitate doar de spaţiul de adresare al microcontroler-ului -, prezintă dezavantajul major al încărcării magistralei sistemului de dezvoltare. Trebuie precizat faptul că, aşa după cum reiese dintr-o analiză atentă a structurii sistemului, liniile magistralei de date, care este multiplexată temporal cu secţiunea inferioară a magistralei de adrese prin intermediul pinilor portului P_0 al microcontroller-ului 80C552, nu permite o soluţie simplă de ***buffer***-are a acesteia. Această situaţie se datorează faptului că nu se dispune de un semnal care să indice sensul de manipulare (transfer) al datelor pe această secţiune a magistralei. De aceea, este recomandat ca secţiunea de date a magistralei să nu fie încărcată suplimentar. De asemenea, este foarte important faptul că, datorită amplasării pe plăci diferite a sistemului de dezvoltare şi a echipamentului extern de achiziţii de date, interconectarea celor două sisteme necesită practic un număr mare de interconexiuni, cu lungimi mari, realizate cu cabluri panglică, care reprezintă liniile magistralei sistemului: secţiunea de date pentru transferul informaţiei în ambele sensuri, secţiunea de adrese pentru decodificarea de porturi şi secţiunea de control pentru specificarea tipului de acţiune realizată.

Cea de-a doua variantă enunţată prezintă avantajul minimizării interconexiunilor între cele două sisteme, cel al folosirii unor semnale care sunt ***buffer***-ate faţă de semnalele de pe magistrala internă a sistemului de dezvoltare şi cel al utilizării unor conectori externi de interconexiune, care asigură o grupare optimală a semnalelor pe grupuri funcţionale.

6.5.2 DESCRIERE FUNCŢIONALĂ A ANSAMBLULUI UNITATE CENTRALĂ DE PRELUCRARE LOCALĂ - INTERFAŢA SPECIALIZATĂ DE ACHIZIŢII DE DATE

În urma unei analize atente a sistemelor de achiziţii de date existente pe plan mondial, concluzia care s-a tras a fost aceea că o placă de achiziţii introdusă în calculatorul central (de tip ***plug-in***) nu reprezintă o soluţie optimă, deoarece impune prezenţa sistemului de calcul în imediata vecinătate a punctului de măsurare şi un sistem de calcul dedicat acestei activităţi.

Amplasarea sistemului gazdă în vecinătatea procesului studiat ridică probleme legate de compatibilitatea electromagnetică. Câmpurile electro-

magnetice intense din punctul de măsurare determină erori tranzitorii în funcţionarea sistemului de calcul. Este cunoscut efectul acestor perturbaţii de foarte scurtă durată asupra funcţionării procesoarelor evoluate, înglobând coprocesoare matematice, cum ar fi de pildă generaţia INTEL 486 DX/DX2/DX4 sau Pentium, sau asupra procesoarelor de semnal DSP: erori în efectuarea calculelor, care conduc de cele mai multe ori la imposibilitatea recuperării datelor procesate.

Soluţia propusă elimină aceste dezavantaje, permiţând şi o cuplare în reţea a mai multor astfel de sisteme de achiziţii de date la acelaşi calculator central (maximum 4 sisteme de achiziţii de date specializate, de acest tip, pot fi cuplate la un calculator gazdă).

Comunicaţia sistem de achiziţii-calculator se face pe o legătură serială full-duplex, compatibilă **RS-232**, viteza de comunicaţie fiind programabilă ***software*** şi cuprinsă între 110 bauds şi 19200 bauds.

În cazul în care câmpurile electromagnetice produc perturbaţii ce afectează calitatea transmisiei pe canalul serial, se poate efectua transmisia în curent între sistemul de achiziţii de date şi calculatorul compatibil **IBM-PC**. Transmisia în curent, deşi se ştie că este mai lentă, prezintă o imunitate foarte ridicată la câmpuri perturbatoare.

Pe linia de comunicaţie serială calculatorul central transmite sistemului de achiziţii rata de conversie, numărul de eşantioane care trebuie prelevate din proces şi rata serială de transfer a rezultatelor. La iniţializarea procesului de achiziţie, atât sistemul de achiziţii de date, cât şi calculatorul gazdă, demarează comunicaţia pe viteza de 9600 bauds. Comunicaţia este iniţiată de calculatorul central, sub controlul direct al operatorului uman. Acesta precizează, selectând dintr-o fereastră de meniuri, parametrii achiziţiei precizaţi anterior. Rata de transfer a rezultatelor achiziţiei poate fi crescută până la 19200 bauds, pentru creşterea operativităţii sistemului, sub acţiunea operatorului uman.

Am optat pentru acest tip de unitate centrală de prelucrare locală deoarece:

- este caracterizată printr-o fiabilitate foarte ridicată şi prin consum energetic foarte redus, fiind realizată în tehnologie **CMOS**;
- spaţiul de adresare este dublat, deoarece cele două tipuri de memorie externă (memoria de program - 64 kocteţi, memoria de date şi porturi de intrare-ieşire - 64 kocteţi) sunt selectate cu semnale de control diferite;
- setul de instrucţiuni este mai bogat (instrucţiuni de înmulţire şi împărţire) şi asemănător cu cel al microprocesoarelor tradiţionale pe 8 biţi;
- viteza de lucru este ridicată, durata tipică a unui ciclu maşină fiind de aproximativ 0,4μs;
- dispune de o interfaţă **I^2C**, de tip multimaster, permiţând dezvoltări

ulterioare de sisteme multiprocesor. De asemenea, pe acestă magistrală serială, caracterizată de o rată ridicată de transfer, poate fi conectată o memorie suplimentară de tip **EEPROM** serial, în care pot fi memorați parametri prestabiliți ai sistemului sau care poate fi folosită pentru identificarea tipurilor de perturbații din rețeaua electrică analizată, înainte de efectuarea prelucrărilor numerice asupra eşantioanelor prelevate din proces;

- unul dintre cele patru porturi ale microcontroller-ului cuprinde semnalele de control specifice funcționării ca microprocesor şi semnale de comunicație serială (**RxD**, **TxD**). În acest mod, pentru comunicația cu un alt sistem de calcul, este necesar doar un minim de ***hardware***, respectiv circuitele de interfață pentru compatibilizare cu standardul **RS-232**. Aceasta este realizată cu ajutorul unui circuit specializat de tip **MAX232**, circuit care conține o pereche de emițătoare-receptoare, translatoare de nivel **TTL÷RS-232** şi **RS-232÷TTL** şi două circuite sursă în comutație, asigurând tensiunile de ±10V necesare funcționării translatoarelor de nivel. Pentru funcționare, acest circuit necesită doar patru condensatoare externe. Rata serială de transfer poate fi programată între 110 bauds şi 19200 bauds, prin utilizarea unuia dintre cele două circuite ***timer*** / ***counter*** de 16 biți, implementate intern.

6.6 ESTIMAREA ERORILOR CE SE MANIFESTĂ ÎN CADRUL SISTEMULUI DE ACHIZIȚII DE DATE

6.6.1 ESTIMAREA ERORILOR SOFTWARE

Aplicarea transformatei FFT presupune eşantionarea şi digitizarea semnalului analogic de intrare. În funcție de raportul existent între frecvența de eşantionare şi frecvența semnalului analizat, putem distinge:

- ***eşantionare coerentă***, când frecvența de eşantionare este un multiplu al frecvenței semnalulul (fig. 6.14a);
- ***eşantionare necoerentă***, cand frecvența de eşantionare nu este un multiplu întreg a frecvenței semnalului (fig. 6.14b).

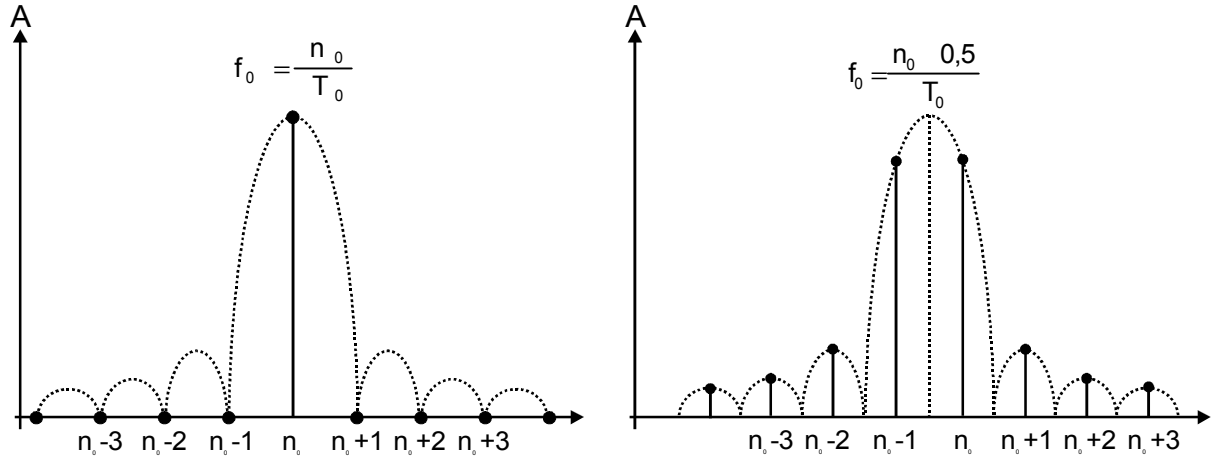
În cazul ***eşantionării coerente*****,** singurele erori care afectează amplitudinea şi faza fundamentalei (A, φ) provin din zgomotul aleator suprapus peste semnalul util, a cărui valoare efectivă am considerat-o ΔV_{ef}=25 LSB pentru A=5 V.

Se deduc expresiile dispersiei erorilor ε_A şi ε_φ în condițiile unui zgomot de

cuantizare care afectează eşantioanele $\{s_k\}$**.** Generalizând aceste expresii pentru un zgomot alb oarecare, cu distribuție normală şi medie nulă, aşa cum poate fi considerat zgomotul de bandă largă care afectează lanțul de achiziție, rezultă:

$$\sigma_A^2 = \frac{\sigma_N^2}{\frac{N_S}{2}}$$
$$\sigma_\varphi^2 = \frac{\sigma_N^2}{A^2} \tag{6.5}$$

unde σ_N^2 reprezintă dispersia zgomotului.



a) Eşantionarea coerentă b) Eşantionarea necoerentă

Fig. 6.14 Eşantionarea coerentă şi necoerentă.

Înlocuind $\sigma_N = 25\text{LSB},\ N_S = 160,\ A = 5\text{V}$ rezultă:

$$\sigma_A = 2{,}79\text{LSB}$$
$$\sigma_\varphi = 0{,}006\text{rad} \tag{6.6}$$

Erorile relative medii (raportate la capul de scală) rezultă a fi:

$$\sigma_A = 0{,}006\%$$
$$\sigma_\varphi = 0{,}1\% \tag{6.7}$$

Aceste valori sunt neglijabile, dar dificultățile aplicării eşantionării coerente în condițiile fluctuațiet frecvenței rețelei, fac metoda inaplicabilă pentru aplicația propusă.

Eşantionarea necoerentă plasează linia spectrală a fundamentalei în locația cea mai apropiată de poziția adevărată, şi prin aceasta conduce la o eroare de estimare a frecvenței de maximum:

$$\Delta f = \frac{1}{2} T_e \tag{6.8}$$

Considerând $N_S = 160$, $f_e = 1{,}97\text{kHz}$ (ceea ce corespunde la 40 puncte/perioadă) rezults Δf=0,7Hz, respectiv o eroare relativă de:

$$\varepsilon_f = 1{,}4\% \tag{6.9}$$

În plus, înregistrarea unui număr neîintreg de perioade ale semnalului de intrare, conduce la "scurgerea" liniei spectrale a fundamentalei în toate locațiile DFT, astfel încât amplitudinea aparentă a fundamentalei va scădea. În cazul cel mai nefavorabil, când frecvența semnalului este la jumătate între două locații succesive, $k\frac{f_e}{N_S}$ şi $(k+1)\frac{f_e}{N_S}$, eroarea de amplitudine este:

$$\varepsilon_A = 20\log\frac{\hat{A}}{A} \approx 4\text{dB} \tag{6.10}$$

în care am notat cu $\hat{A}$ amplitudinea aparentă a fundamentalei.

În general, eroarea comisă la determinarea amplitudinii este aproximativ egală procentual cu abaterea frecvenței de eşantionare de la cel mai apropiat multiplu al frecvenței semnalului. Fixând $f_e = 5000\text{Hz}$ (pentru a putea analiza armonicile pînă la ordinul 50), dacă frecvența semnalului înregistrează o abatere de ±1% față de valoarea de 50Hz, vom avea o abatere asupra amplitudinii componentelor spectrale de 1%.

Această eroare poate fi redusă până la o limită acceptabilă folosind o tehnică clasică de fereastră, ceea ce conduce însă la pierderea informației despre fază.

Această metodă de estimare este recomandată atunci când coeficientul de distorsiune ce afectează semnalele este mare (>5%), iar fenomenele de nesimetrie sunt neglijabile sau foarte reduse.

6.6.2 ESTIMAREA ERORILOR HARDWARE

În cele ce urmează, se va estima eroarea introdusă de către partea ***hardware*** a sistemului specializat de achiziții de date, pentru a ne asigura că exactitatea de măsurare a acestui sistem este suficient de ridicată ca să permită determinarea unor coeficienți de distorsiune cu valori de cel puțin un ordin de mărime mai mici decât 1%.

Pentru sistematizarea problemei, se consideră că modulele componente care afectează exactitatea de măsurare a sistemului de achiziții de date sunt:

- ***circuitele de adaptare a nivelelor analogice de intrare***;
- ***circuitele de tip filtru antialiasing***;
- ***circuitele de eşantionare-memorare opționale***;
- ***circuitele de conversie analog-digitală***.

Circuitele de adaptare a nivelelor analogice de intrare sunt constituite de

elemente pasive (rețele de divizare rezistive). Aceste circuite înglobează, din punct de vedere al erorilor, şi amplificatoarele cu câştig reglabil programabile. Asigurarea unor toleranțe cât mai ridicate (0,001%) şi a unor coeficienți de variație cu temperatura de valori cât mai reduse (maxim 10ppm/^{o}C) pentru componentele rezistive, conduce la o eroare maximă:

$$\varepsilon_{CANA} = 0{,}0025\% \tag{6.11}$$

pentru o variație a intervalului de temperaturi de funcționare de 50^{o}C.

Pentru ***circuitele de tip filtru antialiasing***, din documentația circuitelor **MAX 271**, se poate preciza că eroarea de amplificare maximă (pentru codul de programare cu valoarea 127) este:

$$\varepsilon_{FTJ} = 0{,}015\% \tag{6.12}$$

Pentru ***circuitele de eşantionare-memorare interne***, implementate în cadrul circuitelor **MAX 271**, pot fi determinate următoarele erori:

- eroarea de câştig, datorată amplificării finite în buclă deschisă a amplificatorului operațional conținut în structura circuitului:

$$\varepsilon_{AO(1)} = 0{,}0075\% \tag{6.13}$$

- eroarea de descărcare a condensatorului de memorare pe durata efectuării conversiei analog-digitale:

$$\varepsilon_{DESC(1)} = \Delta V_{CH}\frac{T_C}{V_{FS}}\cdot 100[\%] = 30\mu V\frac{10\mu s}{5V}\cdot 100[\%] = 0{,}006\% \tag{6.14}$$

  în care ΔV_{CH} reprezintă valoarea scăderii tensiunii la bornele condensatorului de memorare, exprimată în $\frac{\mu V}{\mu s}$, T_C reprezintă durata conversiei analog-digitale, iar V_{FS} reprezintă tensiunea de intrare de capăt de scală;
- eroarea prin ***offset***-ul de sarcină asupra tensiunii la care este încărcat condensatorul de memorare, C_H:

$$\varepsilon_{QOH(1)} = 0{,}02\% \tag{6.15}$$

- eroarea de încărcare a condensatorului de memorare:

$$\varepsilon_{CH(1)} = 0{,}02\% \tag{6.16}$$

Eroarea totală maximă a circuitului de eşantionare-memorare va fi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{E/M(1)} &= \varepsilon_{AO(1)} + \varepsilon_{DESC(1)} + \varepsilon_{QOS(1)} + \varepsilon_{CH(1)} = \\ &= (0{,}0075 + 0{,}006 + 0{,}02 + 0{,}02)\% = 0{,}0535\%\end{aligned} \tag{6.17}$$

Pentru ***circuitele de eşantionare-memorare opționale externe***, de tip **LF 198**, din datele de catalog ale producătorului, pot fi extrase următoarele informații:

- eroarea de câştig, datorată amplificării finite în buclă deschisă a amplificatoarelor operaționale conținute în structura circuitului:

$$\varepsilon_{AO(2)} = 0{,}005\% \tag{6.18}$$

- eroarea de descărcare a condensatorului de memorare pe durata efectuării conversiei analog-digitale:

$$\varepsilon_{DESC(2)} = \frac{I_P}{C_H}\frac{T_C}{V_{FS}} \cdot 100[\%] = \frac{100\text{pA}}{1\text{nF}}\frac{10\mu\text{s}}{10\text{V}} \cdot 100[\%] = 10^{-5}\% \tag{6.19}$$

în care I_P reprezintă valoarea curentului de pierderi prin condensatorul de memorare, C_H reprezintă valoarea capacității de memorare, T_C reprezintă durata conversiei analog-digitale iar V_{FS} reprezintă tensiunea de intrare de capăt de scală;

- eroarea prin ***offset***-ul de sarcină asupra tensiunii la care este încărcat condensatorul de memorare, C_H:

$$\varepsilon_{QOH(2)} = \frac{\Delta V_H}{V_{FS}} \cdot 100[\%] = \frac{\frac{C_{DG}}{C_H} \cdot \Delta V_{CDA}}{V_{FS}} \cdot 100[\%] = 0{,}01\% \tag{6.20}$$

în care C_{DG} reprezintă valoarea capacității drenă-poartă de intrare a circuitului ***buffer*** din aval de condensatorul de memorare, C_H reprezintă valoarea capacității de memorare, ΔV_{CDA} reprezintă excursia maximă a tensiunii logice de comandă a circuitului de eşantionare-memorare iar V_{FS} reprezintă tensiunea de intrare de capăt de scală;

- eroarea de încărcare a condensatorului de memorare:

$$\varepsilon_{CH(2)} = 0{,}01\% \tag{6.21}$$

Eroarea totală maximă a circuitului de eşantionare-memorare va fi:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{E/M(2)} &= \varepsilon_{AO(2)} + \varepsilon_{DESC(2)} + \varepsilon_{QOS(2)} + \varepsilon_{CH(2)} = \\ &= \left(0{,}005 + 10^{-5} + 0{,}01 + 0{,}01\right)\% = 0{,}025\% \end{aligned} \tag{6.22}$$

În ceea ce priveşte ***circuitele de conversie analog-digitală***, în tabelul 6.2 sunt prezentate performanțele sintetice ale circuitului **MAX 181**.

Tabelul 6.2 Performanțele sintetice ale convertorului analog-digital **MAX 181**.

Parametrul Considerat	Valoare		Unitate de măsură
	Tipică	Maximă	
Rezoluție	12	12	Bit
Tensiune de intrare	-	-2,5 .. +2,5	V
Curent de intrare		1	μA
Curent de referință		-2	MA
Eroare de offset	±1	±4	LSB
Eroare de amplificare	±2	±10	LSB
Eroare de conversie	$0{,}012\% \pm \frac{1}{2}$ LSB	-	-

În cadrul aplicației, tensiunea de intrare variază între -2,5V..+2,5V, rezultând excursia la capăt de scală a tensiunii $V_{FS} = 5V$, iar $1LSB = 1{,}22mV$. În aceste condiții, ***circuitul de conversie analog-digitală prezintă o eroare maximă de conversie*** (care înglobează eroarea de amplificare, de neliniaritate şi de cuantificare), având valoarea:

$$\varepsilon_{CAD} = 0{,}012 + \frac{1LSB}{2 \cdot V_{FS}} \cdot 100[\%] = 0{,}012 + \frac{1{,}22mV}{10V} \cdot 100[\%] = 0{,}0244\% \qquad (6.23)$$

Eroarea totală maximă anticipată pentru partea ***hardware*** a sistemului de achiziții de date, pentru o variație a intervalului de temperaturi de funcționare de 50^oC, presupunând că erorile de offset şi de amplificare ale lanțului analogic au fost compensate, va fi:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{SAD(1)} &= \varepsilon_{CANA} + \varepsilon_{FTJ} + \varepsilon_{E/M(1)} + \varepsilon_{CAD} = \\
&= 0{,}0025\% + 0{,}015\% + 0{,}0535\% + 0{,}0244\% \approx 0{,}095\% \\
\varepsilon_{SAD(2)} &= \varepsilon_{CANA} + \varepsilon_{FTJ} + \varepsilon_{E/M(2)} + \varepsilon_{CAD} = \\
&= 0{,}0025\% + 0{,}015\% + 0{,}025\% + 0{,}0244\% \approx 0{,}067\%
\end{aligned} \qquad (6.24)$$

Un alt mod de exprimare a erorii maxime totale este determinarea sa în LSB. Se vede imediat că valoarea obținută în ecuația 4.40 corespunde unei erori absolute:

$$\Delta U = \begin{cases} 3LSB; \text{pentru varianta } (1) \\ 4LSB; \text{pentru varianta } (2) \end{cases} \qquad (6.25)$$

Având în vedere faptul că sursele de erori sunt numeroase şi independente, un mod mai realist de a exprima eroarea relativă este ca medie pătratică a erorilor individuale:

$$\varepsilon_{SAD} = \sqrt{\varepsilon_{CANA}^2 + \left(\varepsilon_{AO}^2 + \varepsilon_{QOS}^2 + \varepsilon_{CH}^2 + \varepsilon_{DESC}^2\right) + \varepsilon_{CAD}^2} \qquad (6.26)$$

Înlocuind cu valorile calculate până acum, eroarea relativă rezultă:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{SAD(1)} &= 0{,}0414591\% \\
\varepsilon_{SAD(2)} &= 0{,}0324285\%
\end{aligned} \qquad (6.27)$$

7. SOFTWARE DE ANALIZĂ A SEMNALELOR ELECTRICE

7.1 CONSIDERAŢII GENERALE ASUPRA INSTRUMENTELOR SOFTWARE DE ANALIZĂ A SEMNALELOR ELECTRICE

Instrumentele de măsurare inteligente reprezintă entităţi independente, separate de un sistem de calcul, capabile să comunice un set redus de parametri şi să execute o serie de comenzi. Toate echipamentele de măsurare dezvoltate în ultimii ani conţin interfeţe prin care transmit datele şi comenzi unor relee cu care sunt echipate.

Indiferent de tipul de mărime măsurată: energie, putere, curent, tensiune, factor de putere, etc., instrumentele inteligente sunt echipate cu relee care comandă direct echipamente externe, în funcţie de valorile parametrului măsurat. După gradul de complexitate, pot fi însoţite de un pachet ***software*** aferent, executabil pe un sistem de calcul compatibil IBM-PC, pentru a putea executa citirile şi comenzile la distanţă. Foarte multe asemenea sisteme dispun de memorare externă, care stochează variaţia în timp a parametrului măsurat sau valorile instantanee, la anumite intervale de timp.

Implementarea unui instrument ***software*** de analiză a semnalelor electrice, provenite din sistemul electroenergetic, presupune utilizarea unui calculator, utilizat ca nucleu ***hardware*** de comandă, şi a unui sistem de achiziţii de date, putând fi realizată în mai multe moduri, funcţie de sistemul de operare utilizat în cadrul sistemului de calcul.

Suportul ***hardware*** este format dintr-un lanţ de măsurare compus din: senzor, dispozitivul de condiţionare a semnalului, placa de achiziţii de date şi sistemul de calcul aferent. Ceea ce diferenţiază aceste instrumente este prezenţa ***software***-ului, un mediu de programare mobil, capabil să proiecteze pe monitorul unui calculator orice parametru măsurat, orice grafic preluat, orice reglaj, buton, etc., transformând practic calculatorul gazdă al aplicaţiei, într-un instrument de măsurare.

Utilizatorul vede această interfaţă ***software*** ca o imagine grafică, cu indicatoare, butoane, ideograme (imagini reprezentând acţiuni sau prelucrări specifice), iar cu un ajutorul mouse-ului obţine funcţia simbolizată de ele: vizualizarea datelor, analize matematice complexe, generare de semnale, citirea datelor de intrare. ***Software***-ul de instrumentaţie dispune de biblioteci bogate, care scutesc utilizatorul de rutină, dar şi de dificultăţi de programare, cum ar fi comunicarea cu ***hardware***-ul, deloc simplă. Ele sunt axate pe următoarele

domenii:

- achiziția datelor şi transferul acestora (prin ***driver***-e ***software*** - programe specializate pentru comanda unor dispozitive sau automate programabile, regulatoare numerice, dispozitive pentru înregistrare);
- controlul dispozitivelor, prin interfațări de tip **GPIB, VXI, RS-232**, etc;
- analiza şi reprezentarea datelor.

7.2 PLATFORMA HP VEE PENTRU WINDOWS. PREZENTAREA GENERALĂ A ANALIZORULUI ESA

Software-ul de analiză a semnalelor electrice prelevate dintr-un proces este realizat sub forma unui ***instrument virtual***, implementat cu ajutorul programului **HP VEE - for Windows** - versiunea 3.12 (July 07 1995) @ Copyright Hewlett-Packard Corporation 1991-1995.

Acest program lucrează cu obiecte predefinite sau create de către utilizator, care sunt plasate în spațiul de lucru şi care sunt interconectate pentru a realiza o diagramă-bloc executabilă. Fiecare obiect permite vizualizarea sa în două moduri:

- modul de vizualizare restrânsă (ca ***icon*** în **Windows**);
- modul de vizualizare detaliată (***detail view***).

Observație: Orice obiect al programului **HP VEE**, atunci când este apelat, este reprezentat în modul de vizualizare detaliată, câmpurile de parametri (atribute) ale obiectului fiind direct accesibile.

De asemenea, fiecare obiect este caracterizat de un meniu propriu, care permite modificarea dimensiunii, poziției, titlului, precum şi altor atribute ale acestuia.

A fost creat ***un instrument virtual de analiză semnalelor electrice***, intitulat "**ELECTRICAL SIGNAL ANALYSER**", prescurtat **ESA**. Acest intrument este, de fapt, un obiect creat de utilizator, ce permite:

- demararea procesului de analiză, prin acționarea butonul "***Run***", prezent pe panoul global al oricărei aplicații **HP VEE**. La demararea procesului de analiză, este deschisă o fereastră din care poate fi selectat fişierul de date folosit ca punct de plecare în cadrul reprezentării grafice a mărimilor electrice. Fişierele de date sunt de tip standard de date, cu extensia ***.dat***, conținând pe câte doi octeți eşantioanele de pe un număr

de maxim şase canale;

- selectarea mărimilor de intrare prin intermediul unor liste circulare ce dispun de următoarele opțiuni:
  - vizualizarea formei unui semnal de tensiune din cele maxim trei posibile, respectiv de curent;
- selectarea valorii inițiale a eşantioanelor ce urmează a fi afişate, prin intermediul unui comutator rotativ, denumit ***knob***, în gama 0÷20000 şi cu o rezoluție de 256 puncte. Acest ***knob*** poartă denumirea sugestivă de "***From sample…***";
- selectarea valorii finale a eşantioanelor ce urmează a fi afişate, de asemenea prin intermediul unui ***knob***, gradat între 0 şi 20000, cu o rezoluție de 256 puncte. Acest ***knob*** poartă de numirea sugestivă de "…***to sample***";
- vizualizarea simultană a doi parametri: formă de semnal de tensiune, formă de semnal de curent, corespunzând mărimilor de intrare, cu ajutorul a două instrumente de tip osciloscop, care indică:
  - prin intermediul *titlului*, imaginile grafice ce se vizuali-zează la un moment dat;
  - indicații ale mărimilor corespunzătoare fiecărei axe, cum ar fi: *numele* mărimii (de exemplu: *timp* pentru axa Ox, respectiv *amplitudine*, pentru axa Oy), *unitatea de măsură* a acesteia, *intervalul de vizualizare* şi *gradarea axelor* (unități pe diviziune);
  - prin intermediul unui ***marker***, se pot obține informații, legate de valoarea instantanee a semnalelor, în funcție de timp;
  - instrumentul de vizualizare prezintă facilități de auto-scalare, fie independent pe fiecare axă prin intermediul unor butoane dedicate fiecărui instrument, fie simultan pe ambele axe prin intermediul unui buton cu care este echipat instrumentul de vizualizare de tip osciloscop;
- afişarea, sub formă numerică, a *valorilor minime şi maxime a semnalelor*, atât pentru tensiune, cât şi pentru curent, prin intermediul a patru indicatoare alfanumerice.

Trebuie menționat că toate ***butoanele*** şi ***knob***-urile, prin intermediul cărora este controlat procesul de achiziție şi analiză, prezintă facilități de "***autoexecute***", ceeea ce înseamnă că acționarea oricăruia dintre ele determină declanşarea unui nou proces de analiză.

În fig. 7.1, 7.2 şi 7.3 este reprezentat panoul frontal al analizorului în trei situații diferite: vizualizarea formei de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 1 şi 2 (fig. 7.1), vizualizarea formei de undă de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 3 şi 2 (fig. 7.2), respectiv vizualizarea formei de undă de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 3 şi 4 (fig. 7.3).

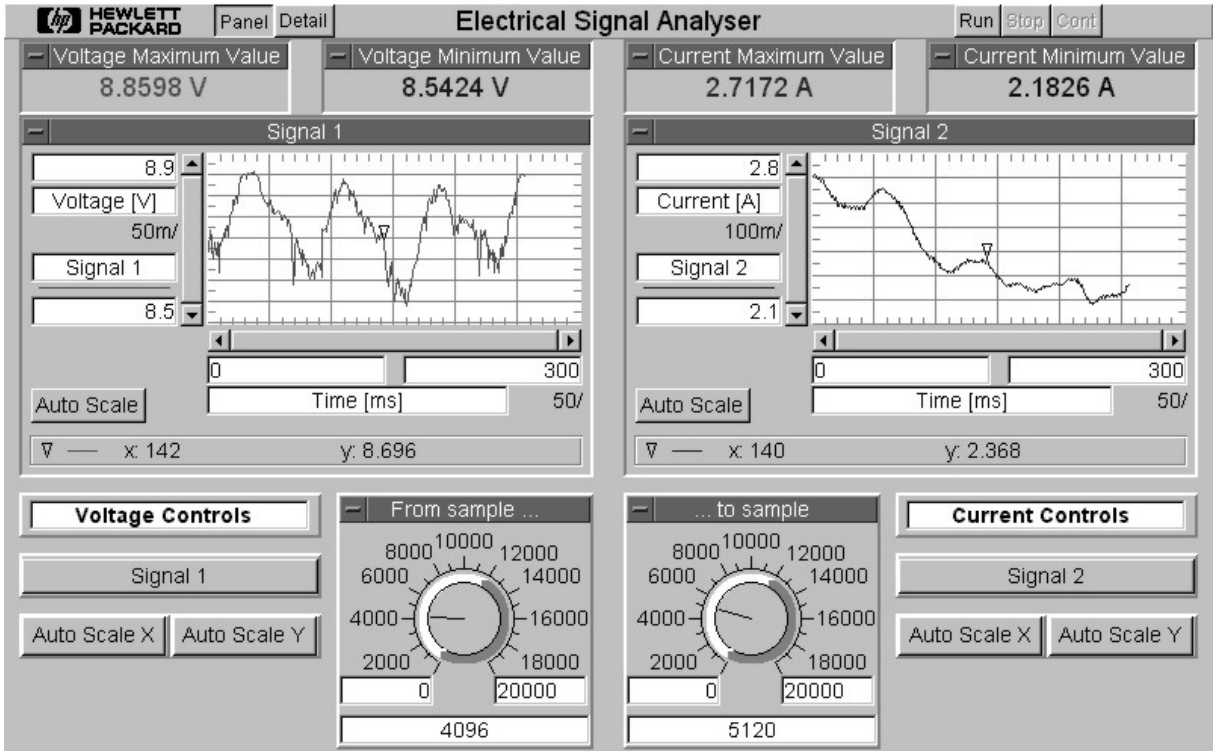


Fig. 7.1 Vizualizarea formei de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 1 şi 2.

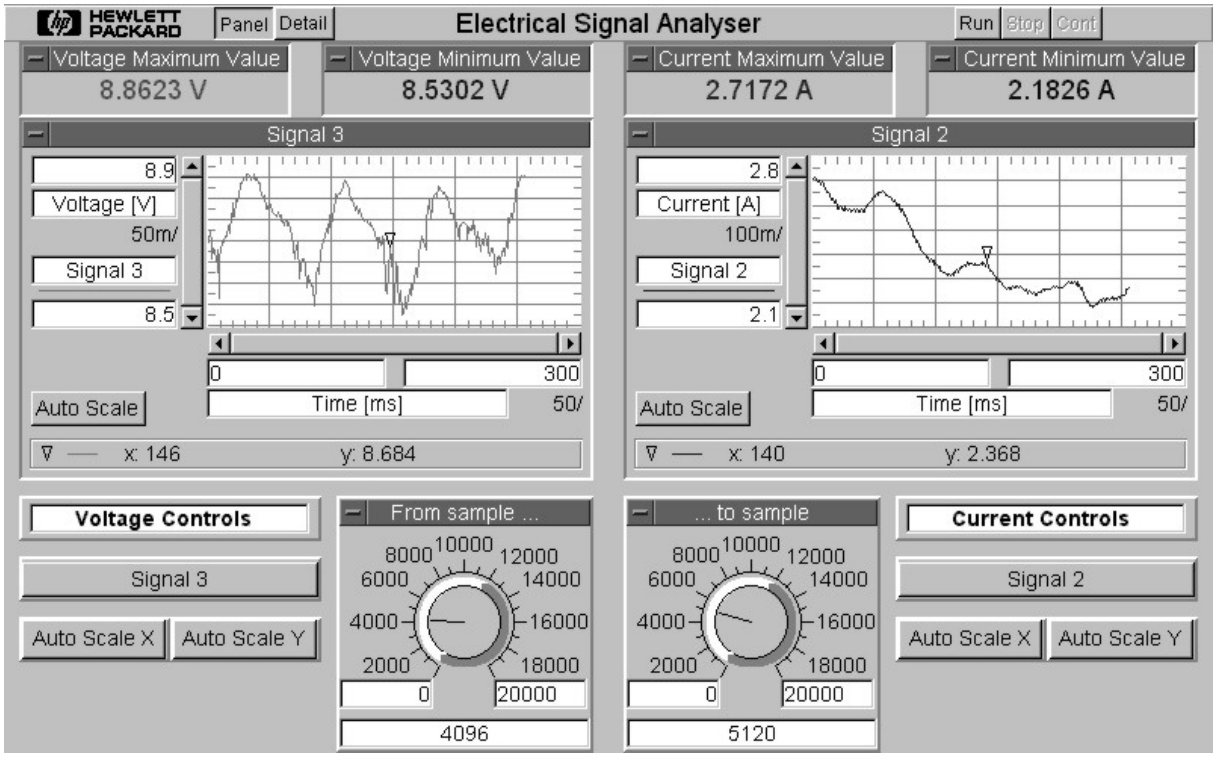


Fig. 7.2 Vizualizarea formei de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 3 şi 2.

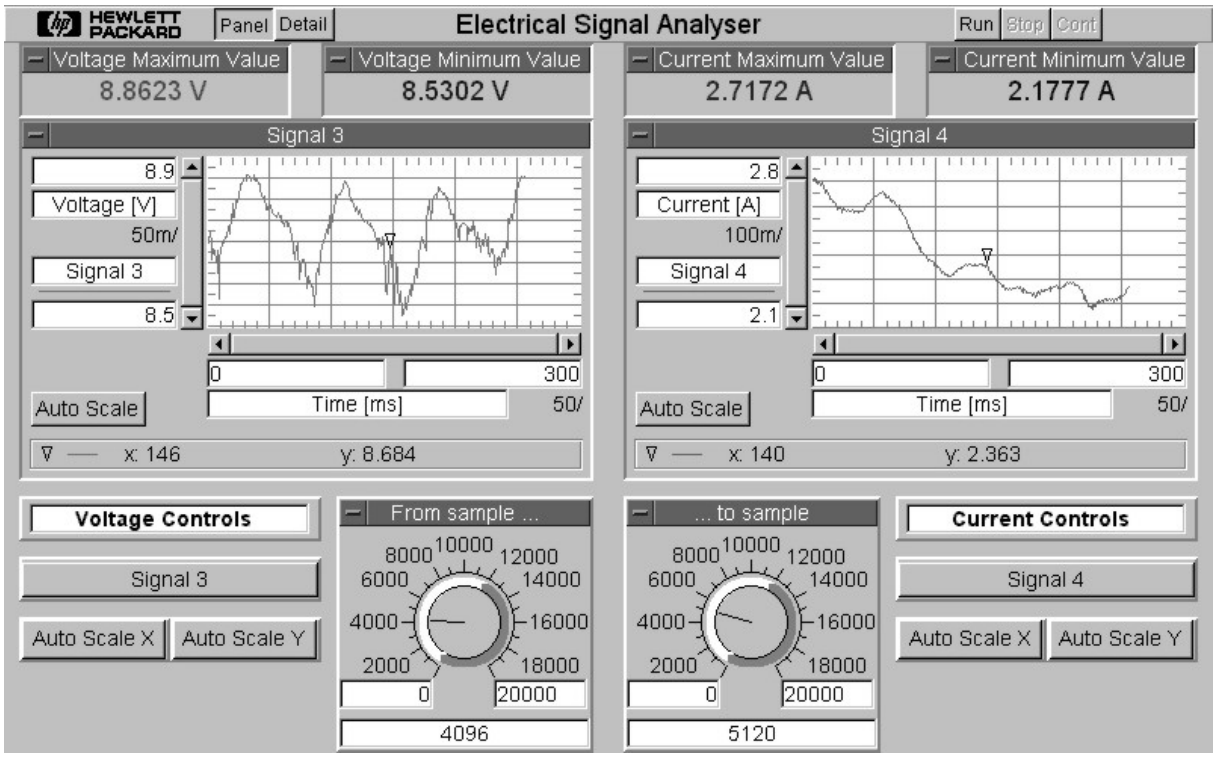


Fig. 7.3 Vizualizarea formei de semnal de tensiune şi de curent pentru semnalele 3 şi 4.

7.3 IMPLEMENTAREA ANALIZORULUI ESA

Fig. 7.4 conține reprezentarea detaliată a blocurilor care compun analizorul intitulat **ESA** şi bazat pe platforma Windows HP VEE 3.12.

Aceste blocuri funcționale sunt:

- *modulul de prelucrare primară a fişierului de date de intrare*, primind ca intrare un fişier cu extensia .dat. Acest bloc furnizează ca ieşiri un număr de maxim şase vectori conținând eşantioanele sub formă numerică a mărimilor de intrare;
- *circuitele de control ale dispozitivelor de afişare*;
- *dispozitivele de afişare*, de tip oscilograf;
- *blocul de afişare sub formă digitală a valorilor minime/maxime* ale semnalelor de intrare.

Toate aceste blocuri funcționale sunt înglobate într-un obiect utilizator nou creat, având două posibilități de reprezentare:

- reprezentarea detaliată - ***detail*** - (fig. 7.4), în care sunt puse în evidență blocurile şi interconexiunile funcționale;
- reprezentarea de tip panou - ***panel*** -, care ilustrează panoul propriu-zis al analizorului, adică dispozitivul de afişare, reprezentat în fig. 7.5.

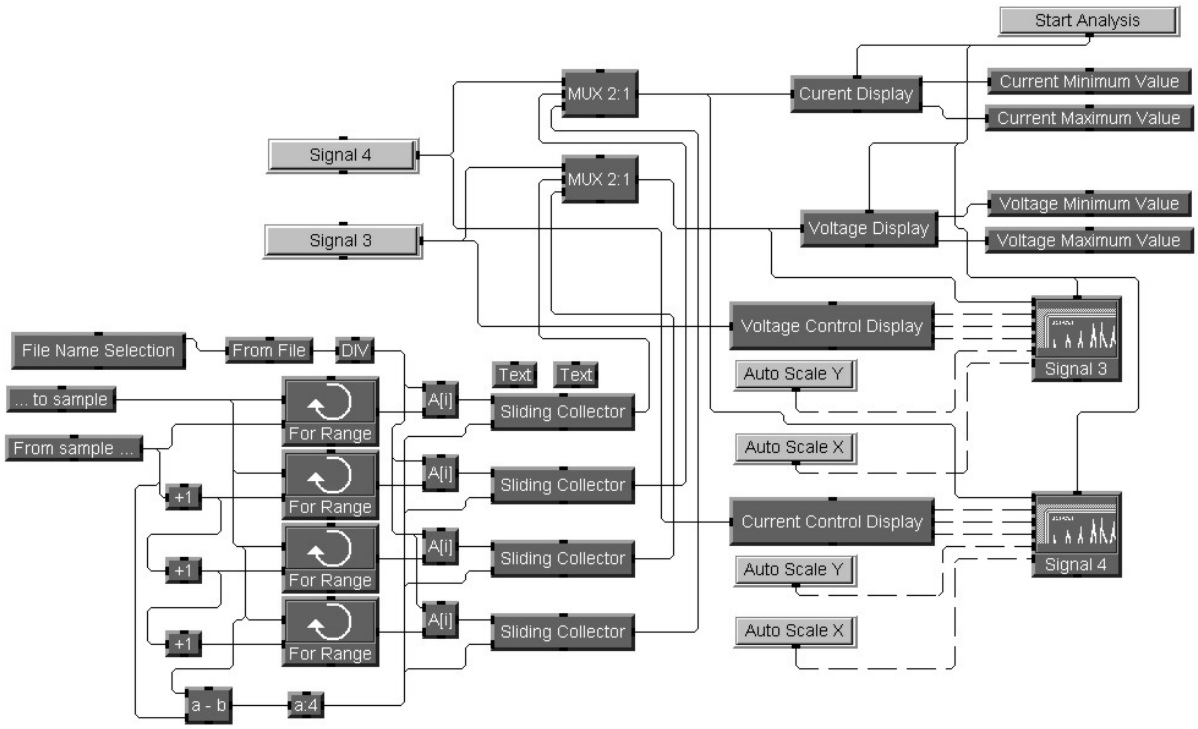


Fig. 7.4 Reprezentarea detaliată a analizorului ESA.

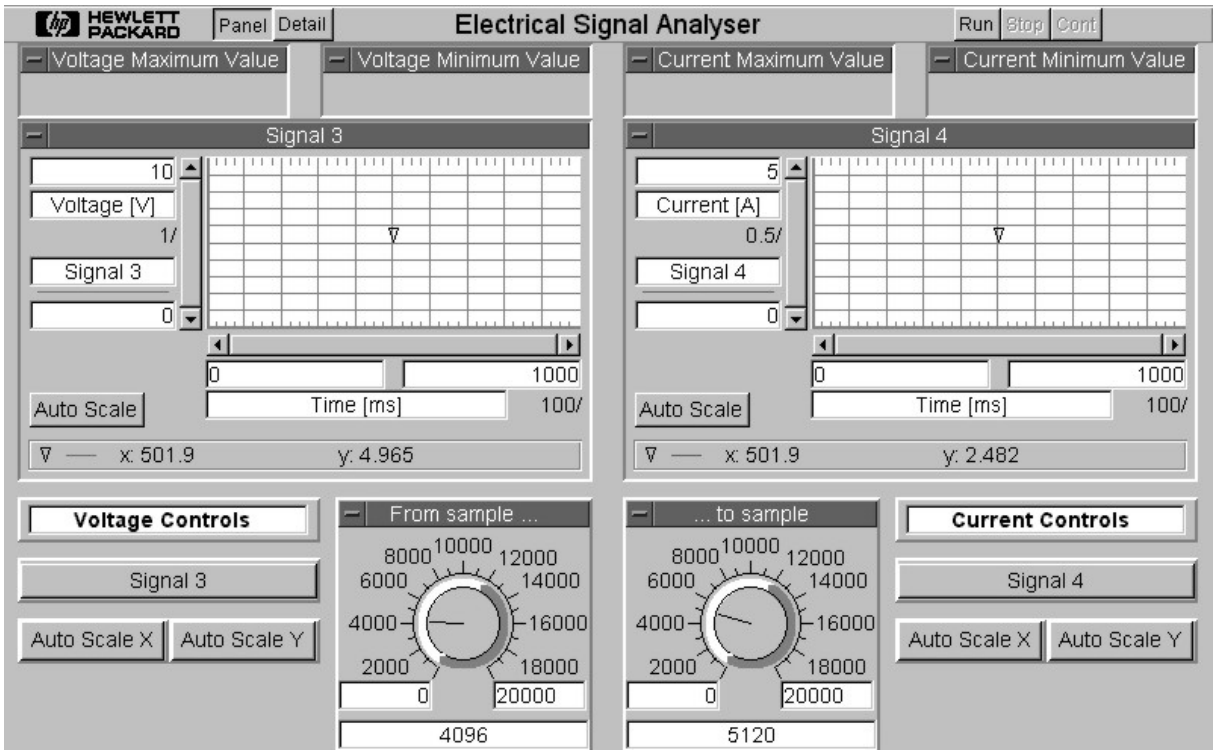


Fig. 7.5 Reprezentarea panoului propriu-zis al analizorului ESA.

7.3.1 BLOCUL DE PRELUCRARE A FIŞIERULUI DE DATE DE INTRARE

Reprezentarea detaliată a blocului de prelucrare a fişierului de date de intrare este ilustrată în fig. 7.6.

În urma declanşării unui proces de analizare a semnalelor achiziţionate din proces, prin acţionarea butonului "***Run***" de pe panoul analizorului **ESA**, este deschisă o fereastră care permite selectarea fişierului de date de intrare. În această fereastră sunt listate doar fişierele de date (cele care au extensia dat). Prin selectarea cu ajutorul mouse-ului a fişierului de date dorit, se demarează procesul de analiză. Fişierul de date conţine alternativ eşantioanele pe doi octeţi a mai multor semnale de intrare. În vederea reprezentării grafice a unei mărimi, acest fişier trebuie prelucrat.

Eşantioanele, pe câte doi octeţi, reprezintă rezultatul conversiei analog-digitale pe 12 biţi a unor semnale analogice de tensiune şi/sau curent, convertite în gama de tensiune (0÷10) V. În prima fază, trebuie reconstituite valorile analogice ale eşantioanelor. Aceasta este realizată prin împărţirea celor doi octeţi, ce reprezintă un eşantion, la valoarea $4096=2^{12}$, şi înmulţirea cu 10, reprezentând capătul de scală. În programul implementat se realizează împărţirea la $409{,}6=\frac{4096}{10}=\frac{2^{12}}{10}$. Pentru alte capete de scală, poate fi găsit în mod similar un coeficient de scalare corespunzător.

În cea de-a doua fază, trebuie identificaţi indicii cuvintelor de date din cadrul seriei de valori, obţinute în cadrul pasului anterior, corespunzători fiecărei mărimi din cadrul fişierului de date. Dacă în cadrul fişierului de date sunt memorate eşantioanele a patru mărimi analogice de intrare, atunci eşantioanele cu indici de tip 4*k* corespund primei mărimi, eşantioanele cu indici de tip 4*k*+1 corespund celei de-a doua mărimi, eşantioanele cu indici de tip 4*k*+2 corespund celei de-a treia mărimi, iar eşantioanele cu indici de tip 4*k*+3 corespund ultimei (celei de-a patra) mărimi. În mod similar poate fi găsită o strategie pentru identificarea eşantioanelor corespunzătoare în cazul în care fişierul de date conţine mai mult de patru mărimi analogice. Extragerea cuvintelor de date din cadrul fişierului prelucrat, corespunzătoare fiecărei mărimi este realizată utilizând un obiect de tip "***For Range***", care are ca parametri valoarea iniţială precizată prin intermediul ***knob***-ului "***From sample…***" adunată cu 0, 1, 2, respectiv 3, valoarea finală precizată prin intermediul ***knob***-ului "…to sample" şi incrementul ("***step***") 4, care calculează indicii eşantioanelor mărimii 0, 1, 2, 3 din cadrul fişierului de date. Se determină apoi elementele sau valorile corespunzătoare indicilor determinaţi anterior, folosind o funcţie utilizator de tip A[i].

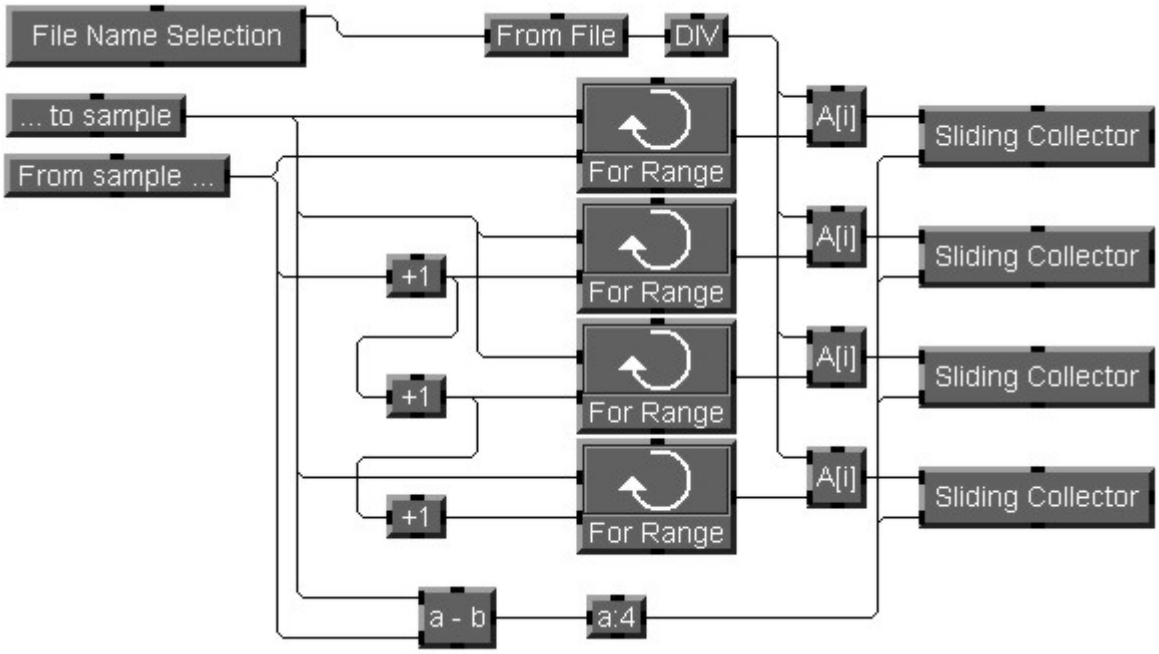


Fig. 7.6 Reprezentarea detaliată a blocului de prelucrare a fişierului de date de intrare.

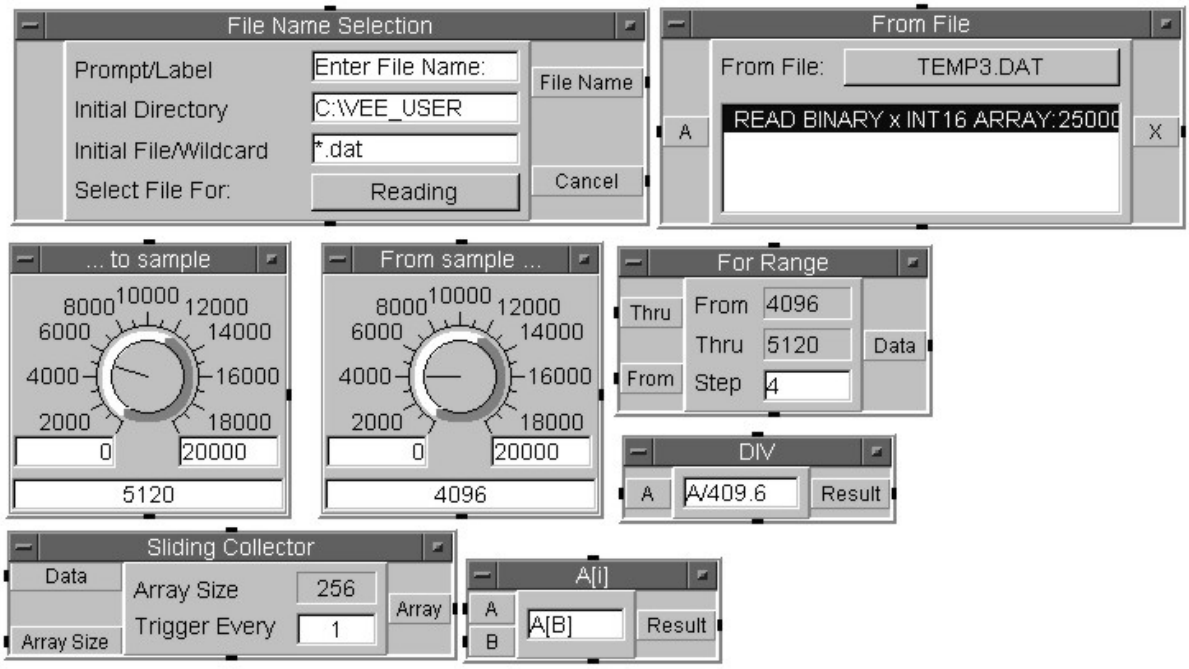


Fig. 7.7 Reprezentarea detaliată a obiectelor utilizate în cadrul modulului de prelucrare a fişierului de date de intrare.

În final se obține câte un vector, cu un număr de elemente egal cu diferența "***…to sample***" - "***From sample…***" şi divizată cu patru, conținând eşantioanele fiecărei mărimi, folosind un obiect predefinit, denumit "***Sliding***

Collector".

În fig. 7.7 este ilustrată reprezentarea detaliată a principalelor obiecte utilizate în implementarea blocului de prelucrare primară a fişierului de date de intrare.

7.3.2 BLOCURILE PENTRU CONTROLUL DISPOZITIVELOR DE AFIŞARE

Blocurile pentru controlul dispozitivelor de afişare de tip osciloscop sunt constituite de două obiecte de tip utilizator nou create. Sunt în număr de două, fiind foarte asemănătoare din punct de vedere al implementării. În continuare va fi prezentat în detaliu blocul de control al dispozitivului de afişare pentru tensiuni (fig. 7.8), urmând a se preciza ulterior diferenţele comparative pentru blocul de control al dispozitivului de afişare pentru curenţi.

Acest modul utilizator este constituit din trei multiplexoare de tip 2:1. Toate cele trei multiplexoare au intrările de selecţie comandate prin intermediul unei unice liste circulare dispunând de două opţiuni: "***Signal 1***" şi, respectiv "***Signal 3***" (în cazul blocului de control al dospozitivului de afişare pentru curenţi există o altă listă circulară, cu opţiunile: : "***Signal 2***" şi, respectiv "***Signal 4***").

Primul multiplexor primeşte ca intrări două constante de tip text, denumite "***Title 1a***" pe intrarea A, respectiv "***Title 1b***" pe intrarea B. Ieşirea acestui multiplexor comandă intrarea de comandă, denumită "***Titles***" a dispozitivului de afişare de tip osciloscop (în cadrul blocului de control al dispozitivului de afişare pentru curenţi, primul multiplexor primeşte ca intrări două constante de tip text, denumite "***Title 2a***" pe intrarea A, respectiv "***Title 2b***" pe intrarea B). În fig. 7.9 este ilustrată reprezentarea detaliată a obiectului de tip multiplexor 2:1 şi constantele de tip text.

Cel de-al doilea multiplexor primeşte ca intrări două constante de tip înregistrare, denumite "***Trace 1a***" pe intrarea A, respectiv "***Trace 1b***" pe intrarea B. Ieşirea acestui multiplexor comandă intrarea de comandă, denumită "***Traces***" a dispozitivului de afişare de tip osciloscop (în cadrul blocului de control al dispozitivului de afişare pentru curenţi, cel de-al doilea multiplexor primeşte ca intrări două constante de tip înregistrare, denumite "***Trace 2a***" pe intrarea A, respectiv "***Trace 2b***" pe intrarea B).

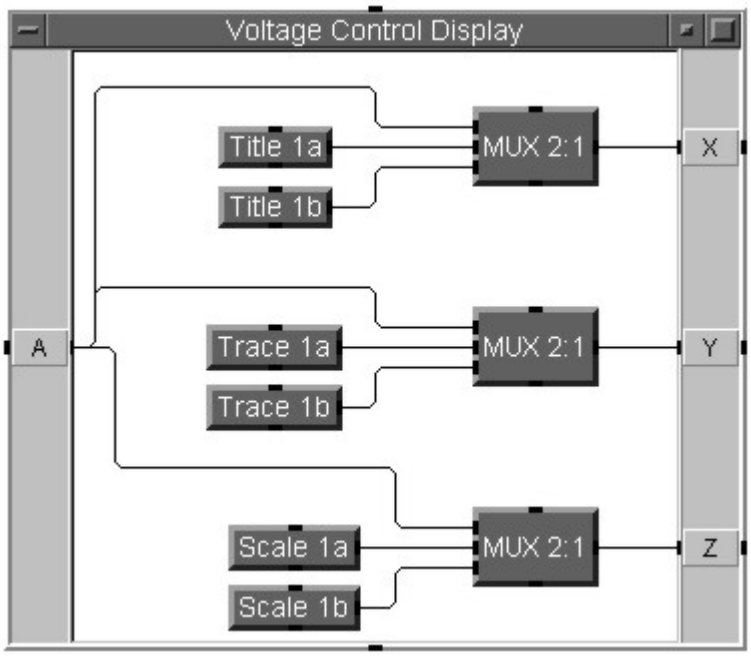


Fig. 7.8 Blocul de control al dispozitivului de afişare pentru tensiuni.

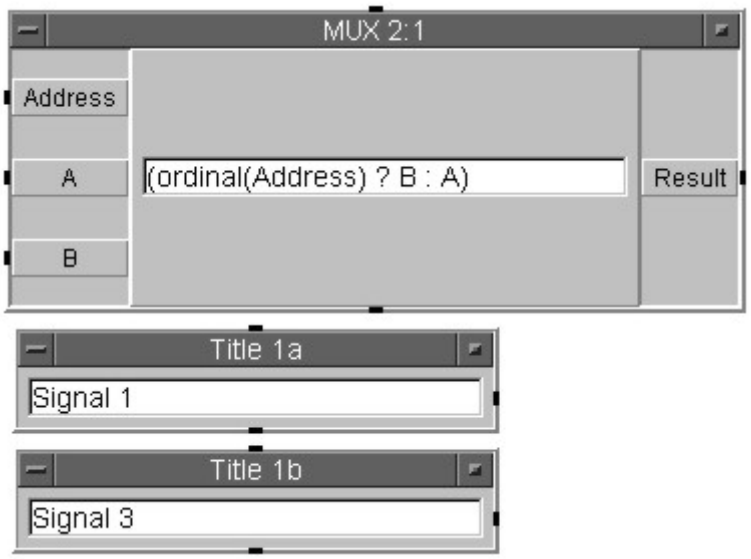


Fig. 7.9 Reprezentarea detaliată a obiectului multiplexor şi a constantelor de tip text.

În fig. 7.10 sunt reprezentate constantele de tip înregistrare care constituie intările celui de-al doilea multiplexor.

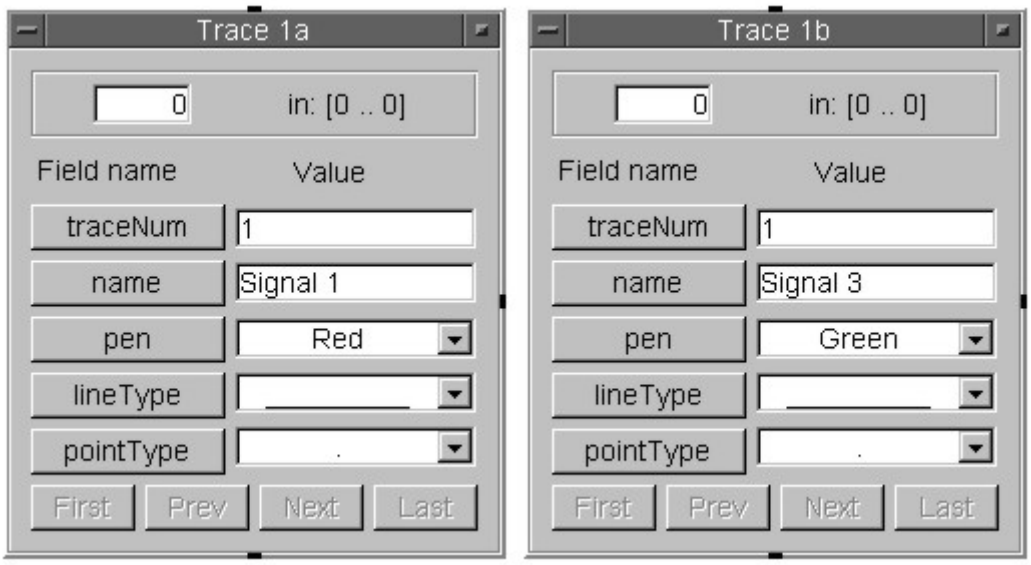


Fig. 7.10 Reprezentarea detaliată a constantelor de tip înregistrare pentru selecţia liniei de reprezentare.

Aceste înregistrări de tip înregistrare comandă tipul şi culoarea liniei de reprezentare asociată mărimii selectate, precum tipul punctului de reprezentare, dispunând de cinci câmpuri (numărul spotului, implicit 1 pentru că nu se face reprezentarea simultană a două semnale pe ecran; numele semnalului reprezentat, semnal 1 sau semnal 3, pentru tensiune şi semnal 2 sau semnal 4, pentru curent; culoarea spotului ce poate fi aleasă dintr-o listă de ***tip "pop-down***"; tipul liniei de reprezentare, ce poate fi aleasă dintr-o listă de ***tip "pop-down***"; tipul punctului de reprezentare ce poate fi ales dintr-o listă de ***tip "pop-down***"). Din analiza figurii 5.10, se constată că pentru fiecare mărime, semnal 1 respectiv semnal 3, sunt asociate culori ale liniilor de reprezentare diferite pentru o identificare rapidă şi o diferenţiere facilă.

Cel de-al treilea multiplexor primeşte pe intrările de date două constante de tip înregistrare dublă cu câte cinci câmpuri, denumite "***Scale 1a***" pe intrarea A, respectiv "***Scale 1b***" pe intrarea B (fig. 7.11). Ieşirea acestui multiplexor comandă intrarea de comandă, denumită "***Scales***" a dispozitivului de afişare de tip osciloscop (în cadrul blocului de control al dispozitivului de afişare pentru curenţi, cel de-al doilea multiplexor primeşte ca intrări două constante de tip înregistrare duble, denumite "***Scale 2a***" pe intrarea A, respectiv "***Scale 2b***" pe intrarea B).

Cele cinci câmpuri ale fiecărei înregistrări sunt:

- numele axei de coordonate (X sau Y);
- numele asociat fiecărei axe de coordonate (Time [ms] sau Voltage [V]);
- valoarea minimă de la care începe reprezentarea pe fiecare axă (implicit valoare iniţială nulă pentru timp; implicit valoare iniţială nulă pentru semnale monopolare de tensiune sau curent);

- valoarea maximă a scalei pe care se face reprezentarea (valoare finală 1000 ms pentru timp; respectiv valoare maximă de 10 V sau 5A pentru tensiune sau curent);
- tipul de scală de reprezentare utilizat (liniară sau logaritmică).

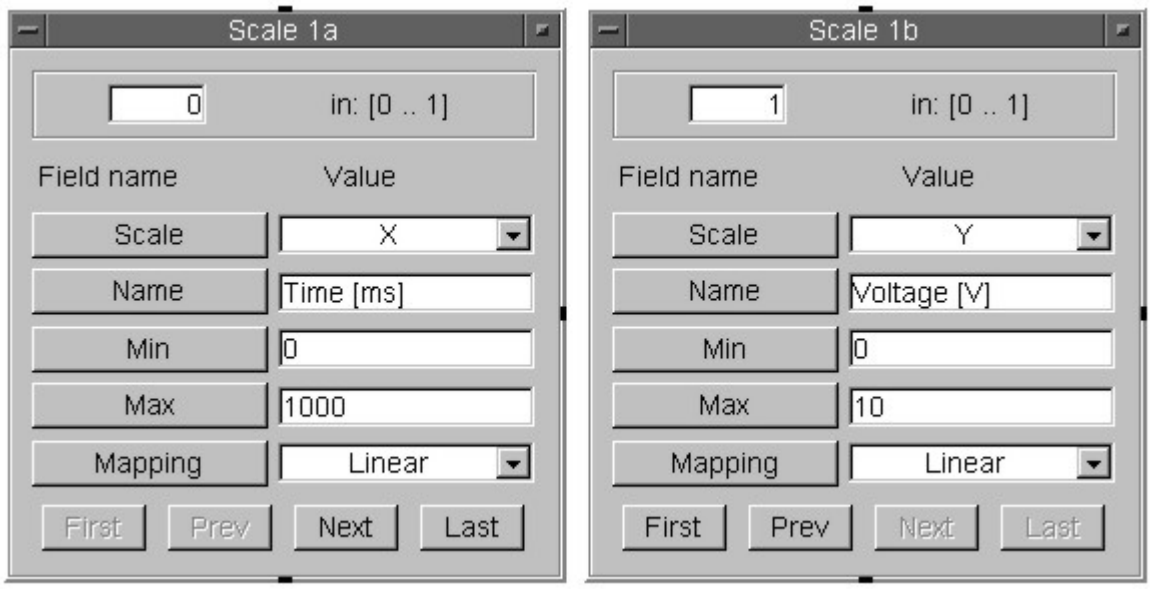


Fig. 7.11 Reprezentarea detaliată a constantelor de tip înregistrare dublă pentru selecția scalei de reprezentare.

Cele două înregistrări duble corespunzătoare fiecărui set de câte două mărimi de acelaşi tip sunt de fapt identice, dar sunt folosite ca atare din două motive: în primul rând este necesar ca toate intrările obiectelor folosite să fie conectate pentru ca programul implementat să funcționeze corect, iar în al doilea rând, pentru ca cele trei module bazate pe multiplexare să aibă structuri similare.

7.3.3 DISPOZITIVELE DE AFIŞARE DE TIP OSCILOGRAF

Dispozitivele de afişare de tip osciloscop, reprezentate în fig. 7.12, provin din obiectele, predefinite în cadrul platformei **HP VEE**, cu denumirea "***XY Trace***", la care au fost adăugate cinci intrări suplimentare:

- intrarea "***Scale***", destinată predefinirii unor capete de scală pentru cele două axe de coordonate, necesită pentru comandă o constantă de tip înregistrare dublă cu cinci câmpuri, detaliată în capitolul anterior (fig. 7.11);
- intrarea "***Trace***", destinată predefinirii numelui, culorii, tipului punctului şi liniei de reprezentare, necesită pentru comandă o constantă de tip înregistrare cu cinci câmpuri (fig. 7.10);
- intrarea "***Title***", destinată predefinirii numelui mărimii de intrare care

este reprezentată, necesită pentru comandă o constantă de tip text;

- intrarea "***Autoscale X***", destinată autoscalării reprezentării grafice pe axa X, necesită pentru comandă un buton, denumit "***Autoscale X***", cu facilități de ***autoexecute***;
- intrarea "***Autoscale Y***", destinată autoscalării reprezentării grafice pe axa Y, necesită pentru comandă un buton, denumit "***Autoscale Y***", cu facilități de ***autoexecute***.

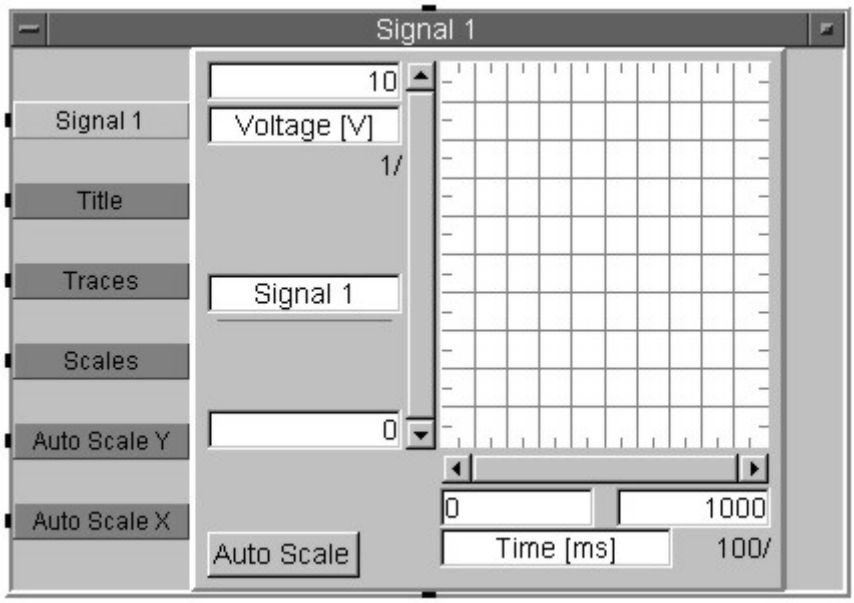


Fig. 7.12 Reprezentarea instrumentului de reprezentare, de tip osciloscop.

7.3.4 BLOCUL DE AFIŞARE SUB FORMĂ DIGITALĂ A VALORILOR MINIME/MAXIME ALE SEMNALELOR DE INTRARE

În cadrul instrumentului virtual creat, în partea superioară a panoului analizorului, sunt afişate valorile minime, respectiv maxime, ale celor două mărimi de intrare reprezentate la un moment dat pe ecran.

Blocul de afişare sub formă digitală a valorilor minime/maxime ale semnalelor de intrare, reprezentat în fig. 7.13, constă din:

- obiectului utilizator ce determină valorile minime/maxime ale mărimilor de intrare, reprezentat în fig. 7.13, compus din:
- modulul de calcul statistic ce determină valoarea minimă din vectorul de eşantioane al semnalului de intrare;
- modulul de calcul statistic ce determină valoarea maximă din vectorul de eşantioane al semnalului de intrare;
- modulul utilizator "***U***", respectiv "***I***", ce realizează sumarea dintre

valoarea numerică minimă/maximă determinată din vectorul de eşantioane al semnalului de intrare şi o constantă de tip text, care reprezintă unitatea de măsură a mărimii reprezentate (V sau A). Acest lucru este realizat pentru ca citirea indicațiilor să fie facilă şi intuitivă. În urma procesului de sumare se obține o constantă de tip text, în care reprezentarea numărului este efectuată pe 99 de zecimale. Pentru o reprezentare intuitivă, este limitat numărul de caractere de reprezentat la valoarea 6, care include şi punctul zecimal.

Valorile astfel obținute sunt afişate pe panoul frontal utilizând obiectele predefinite, denumite "***AlphaNumeric Display***".

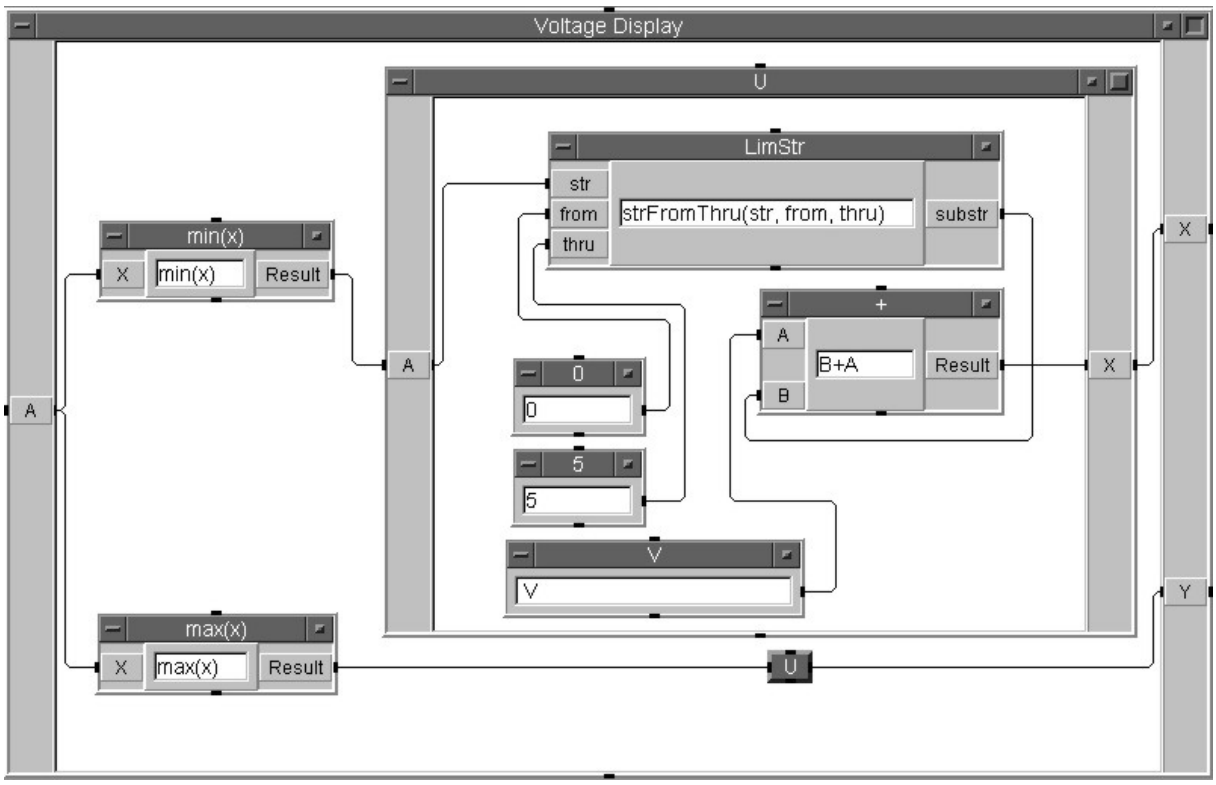


Fig. 7.13 Reprezentarea detaliată a obiectului utilizator ce determină valorile minime/maxime ale mărimilor de intrare.

7.4 INTERFAȚAREA INSTRUMENTULUI VIRTUAL DE ANALIZĂ A SEMNALELOR ELECTRICE, ESA, CU INTERFAȚA SPECIALIZATĂ DE ACHIZIȚII DE DATE

În implementarea propusă, comunicația între instrumentul virtual de analiză a semnalelor electrice, **ESA** şi interfața specializată de achiziții de date se realizează prin intermediul a două elemente:

- demararea procesului de achiziție a tensiunii de fază şi a curentului de

linie se realizează software, prin lansarea în execuţie a ferestrei de comandă "***Run PC Program (Dos)***" de sub platforma **HP VEE for Windows**. În câmpurile predefinite ale acestei ferestre, se introduc numele şi calea (drive, director, subdirector, etc.) programului de achiziţie scris în limbaj de asamblare. La sfârsitul cestei operaţii, se acţionează prin intermediul mouse-ului butonul "***OK***". Pe durata transferării programului, prin intermediul interfeţei seriale, către sistemul de dezvoltare controlul este preluat de programul monitor. După ce programul de achiziţie a fost lansat în execuţie, controlul este din nou preluat de către instrumentul virtual **ESA**. La terminarea ciclului de achiziţie şi conversie, sistemul de dezvoltare transmite către calculatorul gazdă, pe care este rezident instrumentul **ESA**, eşantioanele semnalelor achiziţionate. Acestea vor fi salvate, la sfârşitul transmisiei, sub forma unui fişier de date, compatibil **HP VEE**. Fişierul de date este accesat de analizorul **ESA** de câte ori se comandă procesul de analiză a semnalelor electrice;

- analiza se efectuează folosind datele din fişierul de comunicaţie. Există mai multe variante posibile de lucru cu acest fişier:
  - fişierul de date poate fi reactualizat la fiecare proces de achiziţie şi conversie;
  - fişierul de date poate fi completat cu noi serii de rezultate obţinute în urma unui proces ciclic de achiziţie şi conversie, folosind opţiunea de "***append to file***";
  - poate fi creată o serie de fişiere, având acelaşi nume de bază, dar indicative numerice diferite - de exemplu ***filexxx***; fiecare fişier de date din cadrul seriei conţine informaţiile obţinute în urma procesului de achiziţie şi conversie cu indicativul generic ***xxx*** (***xxx***=0÷999).

    De asemenea, există posibilitatea de a utiliza mai multe formate pentru fişierul de date. Această structură, sau o formă echivalentă, în care datele sunt reprezentate sub formă ***hexa***, sunt însă cele mai recomandabile.

    Structura fişierului conţine un antet care indică: semnificaţia datelor ("***waveform***" - formă de semnal), numărul de dimensiuni pentru reprezentarea formei de semnal sub formă matriceală ("***numDims*=1**" - o singură dimensiune, deci reprezentare vectorială), lungimea structurii de date ("***size*=2048**") şi sunt listate, în ordine, elementele fiecărei coloane din matricea de reprezentare, precedate de numărul coloanei (***dim* 1**) şi de extensia fiecărui element. Elementele sunt separate între ele prin spaţii (***space***).

7.5 DETALII SUPLIMENTARE PRIVIND IMPLEMENTAREA INSTRUMENTULUI VIRTUAL ESA

Fişierele de date pe care este făcută reprezentarea grafică a mărimilor de intrare (temp.dat, temp1.dat, temp2.dat, temp3.dat) au fost achiziţionate cu ajutorul unui sistem de achiziţii de date **PLM-16**, produs de firma ***National Instruments***, folosind programul de aplicaţii **NIDAQ** al aceleiaşi firme. Achiziţia de date este cu multiplexare temporală pe patru canale şi este caracterizată de o frecvenţă de eşantionare de 4000 Hz pe toate cele patru canale. Acest lucru ne conduce la concluzia că într-o secundă s-au efectuat 1000 de eşantioane pentru fiecare mărime de intrare, adică informaţia pentru axa X este exact timpul, exprimat în milisecunde. Dacă frecvenţa de eşantionare este diferită, trebuie efectuată o scalare a valorilor de pe axa X, pentru exprimarea timpului în milisecunde. Mărimile achiziţionate reprezintă forţele tangenţiale, respectiv normale, măsurate cu ajutorul unor senzori inductivi de proximitate, într-un sistem pentru determinarea coeficienţilor de frecare. Din păcate, aceste mărimi nu sunt periodice şi nu se poate efectua o analiză armonică a acestor semnale (analiza Fourier, ca mijloc de analiză a semnalelor, se aplică pentru semnale periodice).

Codul sursă al aplicaţiei este generat automat prin amplasarea în spaţiul de lucru a obiectelor predefinite şi a celor create de utilizator şi interconectarea acestora. Singurele modificari manuale în acest cod sunt legate de modificarea unor proprietăţi ale modulelor utilizate. Crearea panoului frontal al analizorului, care conţine doar instrumentele de afişare şi butoanele de control, a fost efectuată prin utilizarea facilităţii "***Add to Panel***" pentru aceste obiecte, reprezentate în spaţiul de lucru în modul "***detail***".

Deoarece este vorba de un analizor care nu este destinat unei aplicaţii concrete, specifice, au fost create o serie suplimentară de obiecte utilizator, ce vor fi descrise în capitolul următor, care pot fi apelate în spaţiul de lucru şi interconectate cu obiectele preexistente, ceea ce conduce la modificarea analizorului pentru focalizarea pe o situaţie concretă.

7.6 RESURSE SUPLIMENTARE ALE ANALIZORULUI DE SEMNALE ELECTRICE, ESA

Analizorul **ESA** pentru semnale electrice a fost completat cu o serie de obiecte utilizator nou create, pentru extinderea facilităţilor acestuia.

În primul rând, a fost creat un nou obiect utilizator, denumit "***Auto_XY***", care reprezintă un instrument de afişare de tip osciloscop care efectuează automat autoscalarea pe ambele axe de coordonate. Pornind de la acest obiect, a

fost creat un obiect utilizator, denumit "***2Auto_XY***", capabil să afişeze grafic, prin multiplexare, două mărimi de intrare de acelaşi tip.

În fig. 7.14 este ilustrată schemă bloc a analizorului **ESA** ce utilizează acest instrument de afişare. Schema bloc funcțională a analizorului pentru semnale electrice este, în acest caz, mult mai simplă, având în vedere înglobarea tuturor obiectelor necesare în vederea reprezentării grafice în modulul obiect nou creat.

În fig. 7.15 este reprezentat panoul frontal al analizorului **ESA** ce utilizează acest nou instrument de afişare. Se constată că panoul frontal, în situația folosirii unor instrumente de afişare cu facilități de autoscalare încorporate, este asemănător cu cel prezentat anterior.

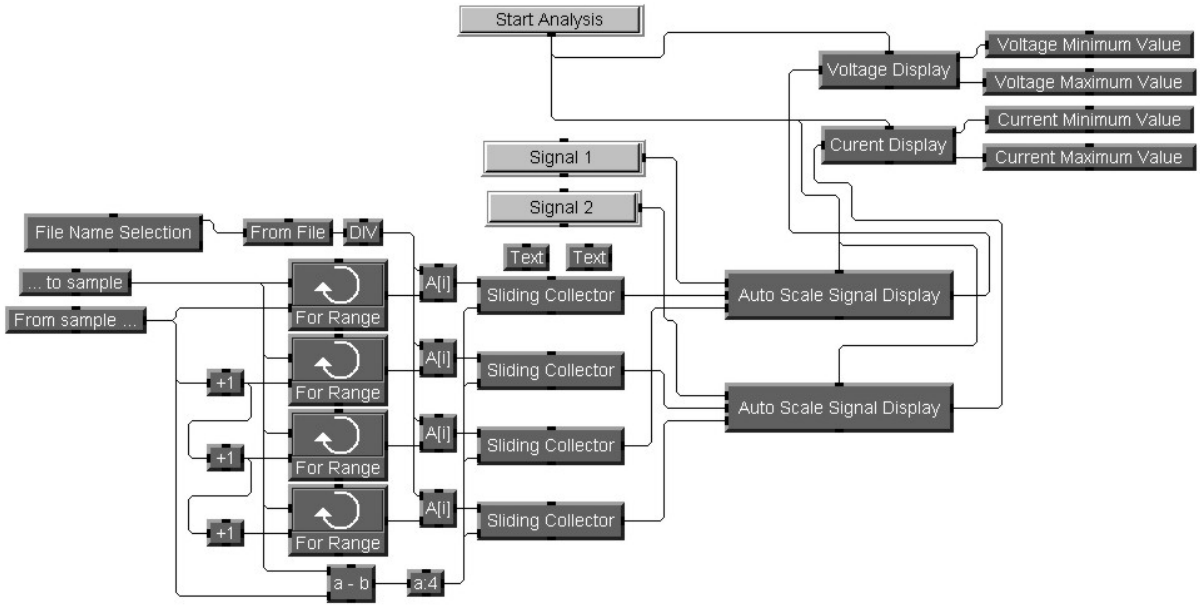


Fig. 7.14 Reprezentarea detaliată a analizorului ESA.

Modulul obiect denumit "***2Auto_XY***", a cărui reprezentare de tip "***panel***" este prezentată în fig. 7.16, permite vizualizarea prin multiplexare a două mărimi de intrare de acelaşi tip (tensiuni sau curenți), selecția efectuându-se prin intermediul unei liste circulare cu două opțiuni, de tipul celor prezentate anterior.

În fig. 7.17 este figurată reprezentată reprezentarea detaliată a modulului obiect denumit "***2Auto_XY***", acesta compunându-se din două blocuri:

- obiectul utilizator denumit "***Display Control***", care înglobează toate elementele legate de autoscalare, titlu, tipul, culoarea punctului şi liniei de reprezentare;
    - un modul obiect predefinit, descris anterior, de tip "***XY Display***", la care au fost adăugate intrările de comandă "***Scales***", "***Traces***" şi "***Title***".

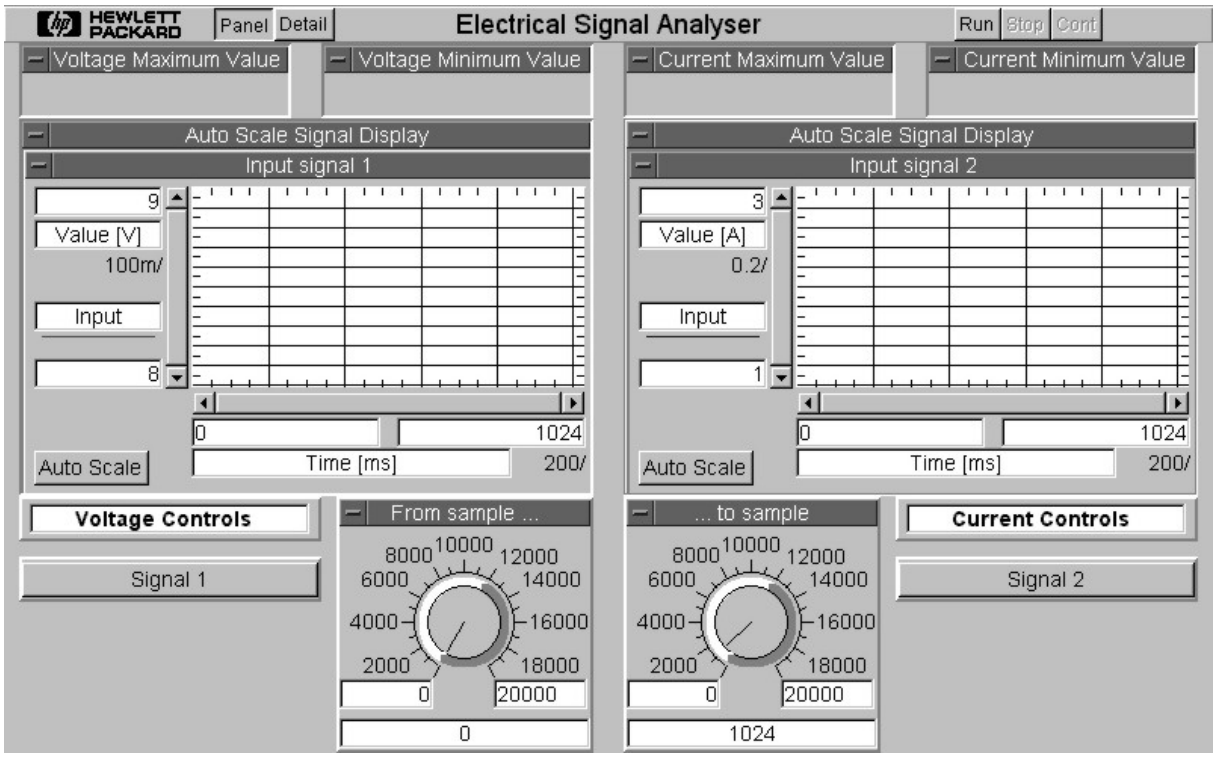


Fig. 7.15 Reprezentarea panoului analizorului ESA.

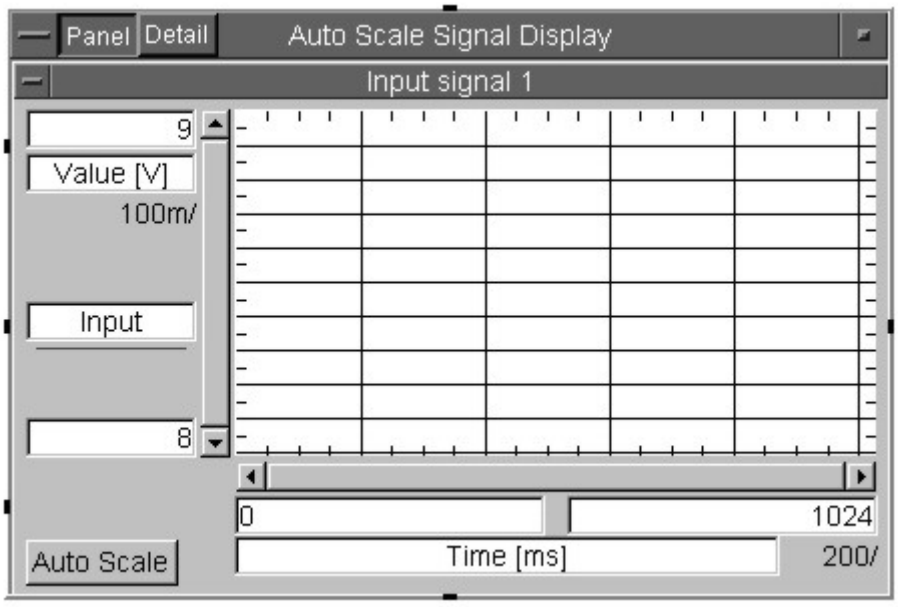


Fig. 7.16 Reprezentarea noului instrument de afişare cu autoscalare.

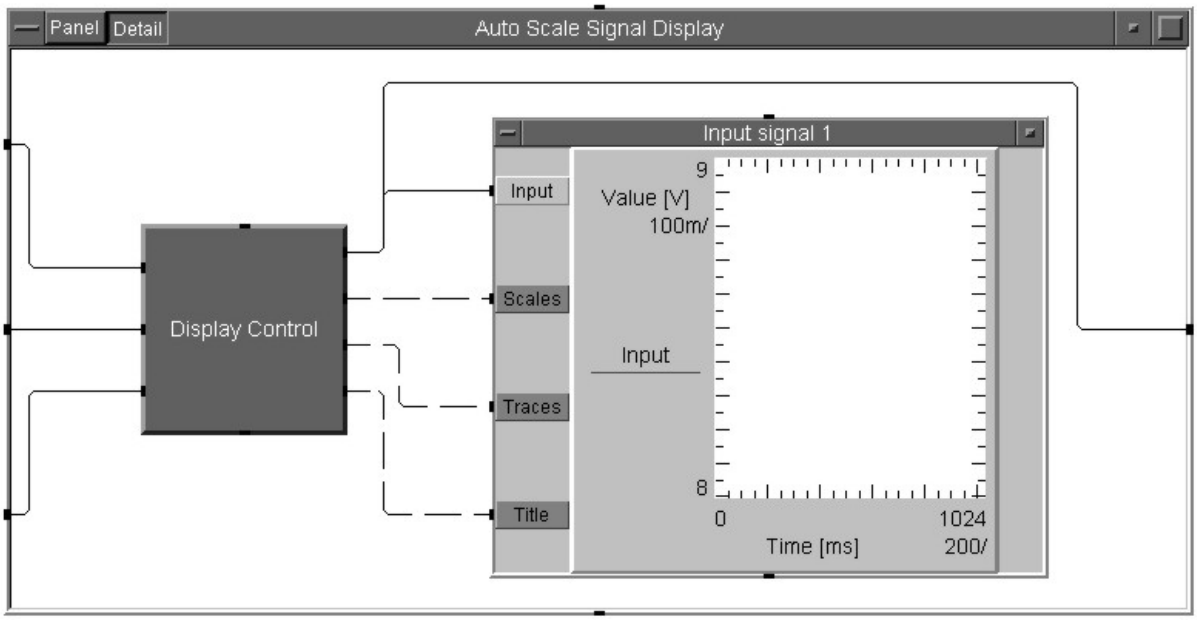


Fig. 7.17 Reprezentarea detaliată a noului instrument de afişare cu autoscalare.

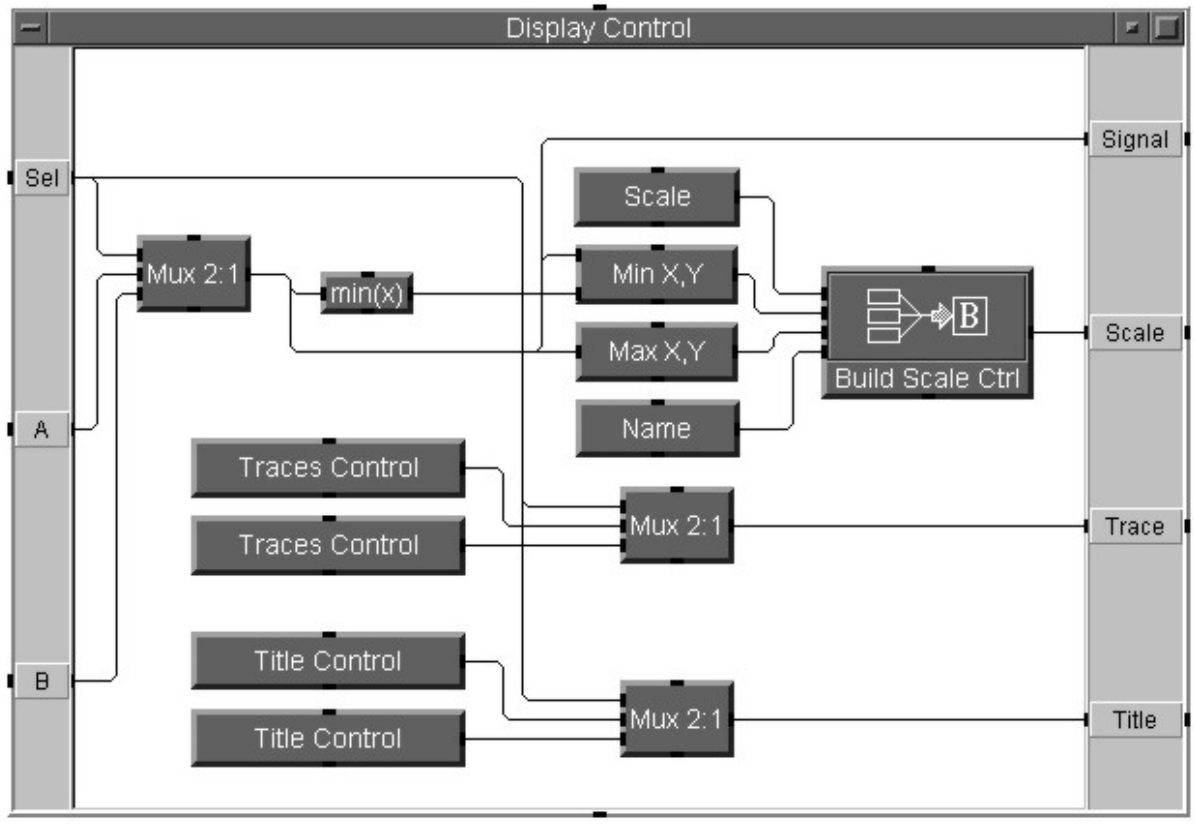


Fig. 7.18 Reprezentarea detaliată a modulului "*Display Control*".

În fig. 7.18 este figurată reprezentarea detaliată a obiectului utilizator nou creat, denumit "***Display Control***", care aduce elementele de noutate (autoscalare pe ambele axe de coordonate prin mijloace proprii, fără a folosi butoane de

autoscalare sau facilitățile mijlocului de reprezentare grafică.

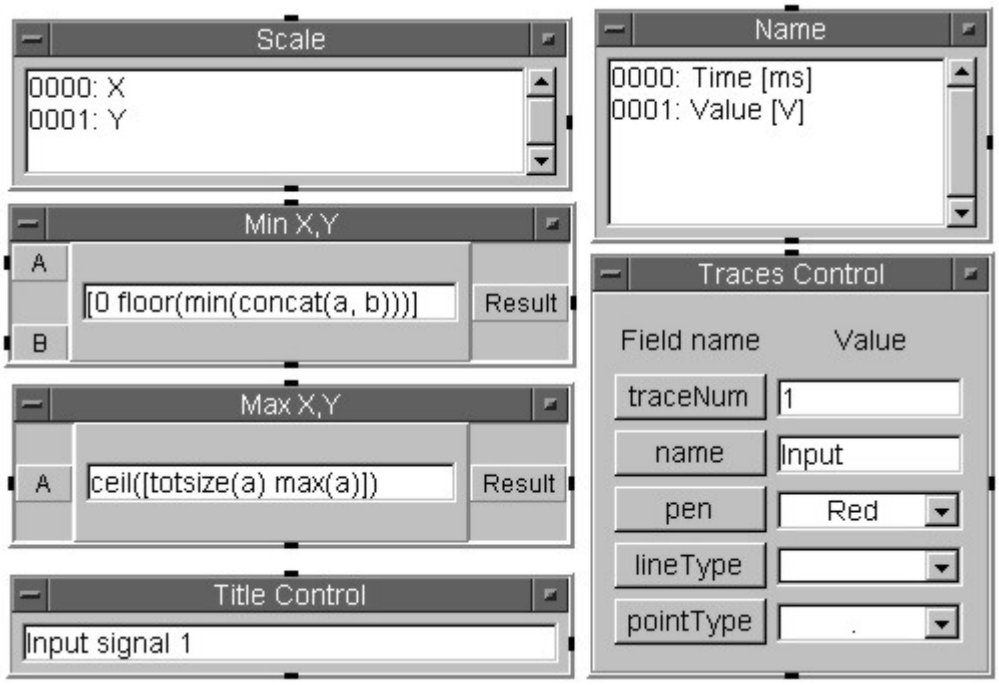


Fig. 7.19 Reprezentarea blocurilor componente ale modulului "*Display Control*".

În fig. 7.19 sunt prezentate blocurile componente ale obiectului "***Display Control***", şi anume:

- circuitul de calcul al valorii minime pentru axele de coordonate, denumit "***Min X,Y***";
- circuitul de calcul al valorii maxime pentru axele de coordonate, denumit "***Max X,Y***";
- constantele de tip text pentru scală şi nume ("***Scales***", "***Name***");
- constanta de tip înregistrare cu cinci câmpuri pentru reprezentarea grafică pe ecran.

7.6.1 ANALIZORUL FOURIER

Reprezentarea detaliată a analizorului Fourier dublu este ilustrată în fig. 7.20.

Semnalelor de intrare, de tensiune şi de curent, li se aplică ferestre de eşantionare de tip dreptunghiular, Hanning, Blackman sau Bartlet. Aceste ferestre de eşantionare, sub forma lor temporală, sunt descrise de ecuațiile (7.1), (7.2), (7.3) şi (7.4) şi sunt caracterizate printr-o durată de 8 perioade ale semnalelor de intrare de frecvență fundamentală:

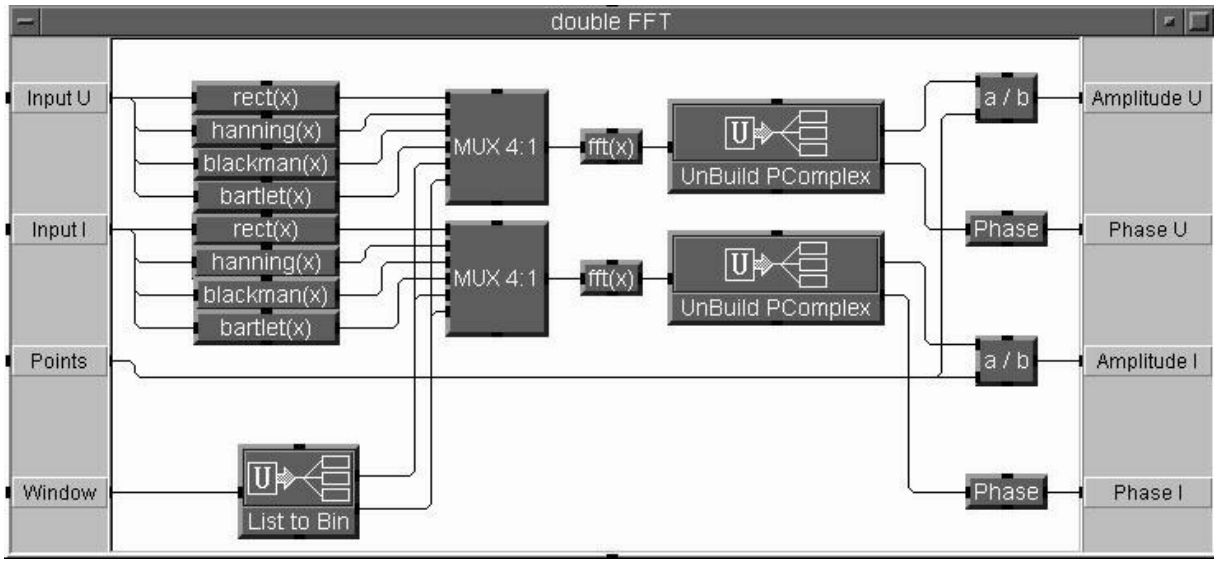


Fig. 7.20 Structura analizorului Fourier dublu (reprezentare detaliată).

- fereastră de eşantionare ***Dirichlet***, descrisă de următoarea ecuație:

$$w(n) = \begin{cases} 1, n = 0,1,...,N-1 \\ 0, n \geq N \end{cases} \tag{7.1}$$

- fereastră de eşantionare ***Hanning***, descrisă de următoarea ecuație:

$$w(n) = 0,5\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)\right]; n = 0,1,..., N-1 \tag{7.2}$$

- fereastră de eşantionare ***Blackman***, descrisă de următoarea ecuație;

$$w(n) = 0,42 - 0,5\cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right) + 0,08\cos\left(\frac{2\pi}{N}2n\right); n = 0,1,..., N-1 \tag{7.3}$$

- fereastră de eşantionare ***Bartlett***, descrisă de următoarea ecuație:

$$w(n) = 2 \cdot \frac{(-1)^k \cdot \frac{n}{2}}{N-1}; n = 0,1,...N-1; k = \begin{cases} 0; daca\ n < \frac{N}{2} \\ 1; daca\ n > \frac{N}{2} \end{cases} \tag{7.4}$$

Toate aceste ferestre de eşantionare au fost implementate ca funcții utilizator (***user function***), conform ecuațiilor de definiție prezentate anterior.

Obiectele "***ferestre de eşantionare***" au fost implememtate ca funcții utilizator (***user function***), la fel ca şi obiectul "***algoritm FFT***" (fig. 7.21).

Rezultatele înmulțirii, în domeniul timp, ale semnalelor de intrare cu ferestrele de eşantionare sunt multiplexate utilizând un multiplexor de tip 4:1. Acest multiplexor este un obiect utilizator nou creat, folosind multiplexorul de tip 2:1 implementat în cadrul platformei **HP VEE**. Intrările de selecție ale multiplexorului sunt comandate de către un obiect denumit "***List to Bin***", nou creat. Acest obiect converteşte conținutul unei liste de intrare, de tip text, într-un

cuvânt binar de doi biți, reprezentând poziția în listă a ferestrei de eşantionare selectată.

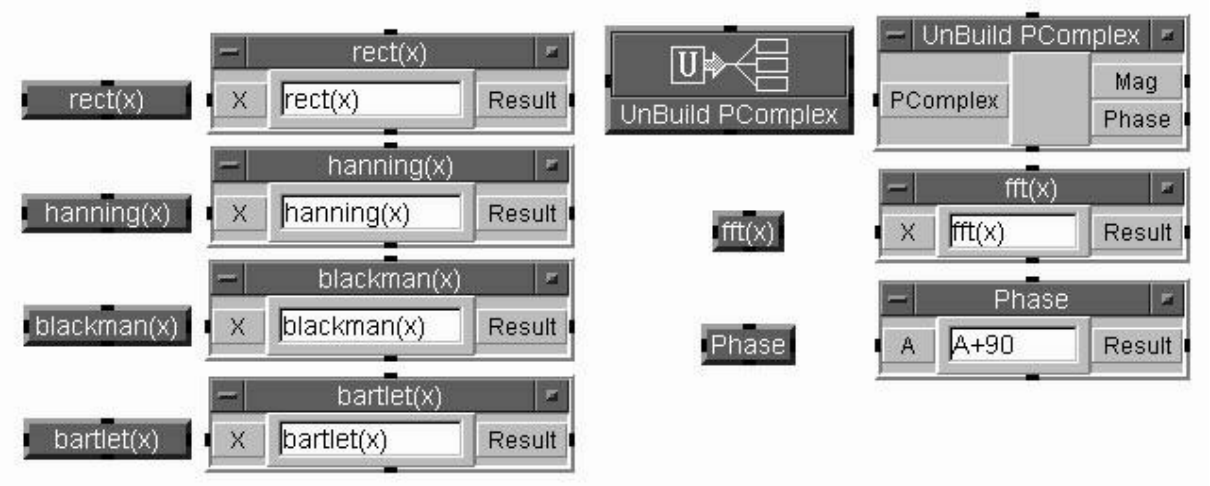


Fig. 7.21 Funcțiile utilizator utilizate în implementarea analizorului Fourier dublu.

Acest proces de conversie text-cuvânt binar este realizat, conform figurii 7.22, prin compararea titlului reprezentând numele ferestrei de eşantionare din listă cu patru înregistrări de tip text, predefinite şi realizarea unei funcții cablate (**JCT**) între ieşirile celor patru comparatoare. Rezultatul funcției cablate **JCT** indică, în format zecimal, poziția textului selectat în lista de intrare. În continuare, se realizează convertirea numărului zecimal obținut în formă binară, prin utilizarea funcției ***bit***(***x***,***n***) ce furnizează ca rezultat bitul de pe poziția ***n*** a variabilei de intrare ***x***.

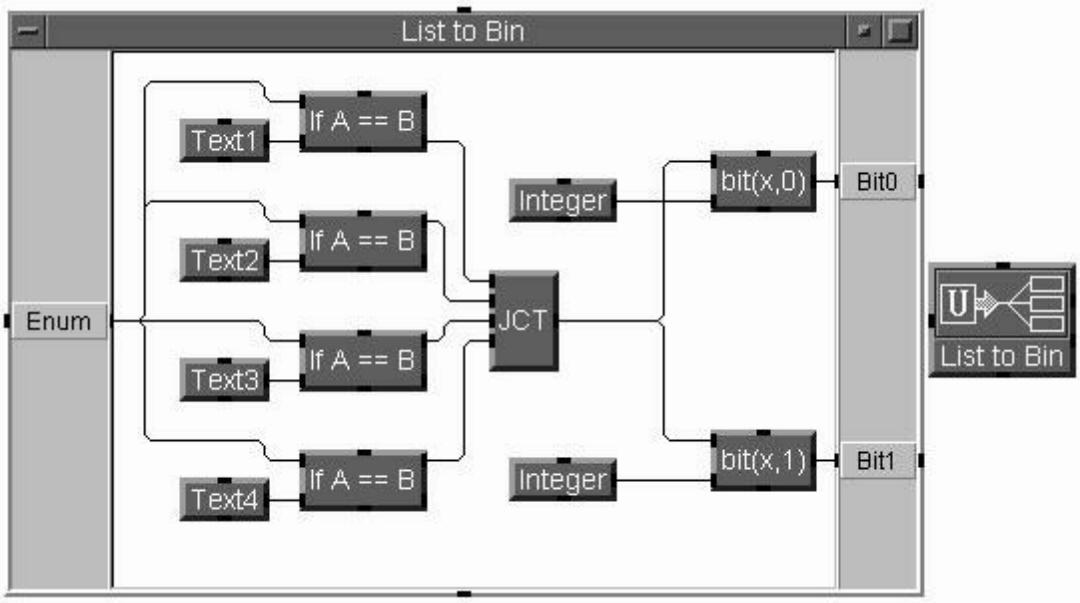


Fig. 7.22 Reprezentarea detaliată a obiectului utilizator "*List to Bin*".

Prin selectarea unui anumit tip de fereastră de eşantionare, semnalelor de intrare multiplicate cu fereastra aleasă li se aplică un algoritm de transformare Fourier redus, cu decimare în frecvență.

Conform figurii 7.21, obiectul "***FFT***" este o funcție utilizator. Rezultatul transformării **FFT** este un vector de numere complexe, fiecare element al vectorului conținând informații referitoare la amplitudinea şi faza inițială a armonicii corespunzătoare. Utilizând funcția "***UnBuild PComplex***", se determină mărimile anterior menționate. Trebuie menționat că trebuie efectuată o corecție a fazei armonicilor pentru a fi reprezentată pe intervalul [0, +π], deoarece în urma calculelor, faza se încadrează în intervalul [-π, +π]. De asemenea, calculul amplitudinilor fiecărei armonici necesită împărțirea modulului numărului complex corespunzător din vectorul transformării **FFT** la lungimea acestuia.

În concluzie, soluția de implementare utilizând fişiere de comunicații pentru date, respectiv pentru comenzi, creşte productivitatea utilizării instrumentului virtual de analiză a regimului deformant în rețele electrice poluate armonic prin creşterea independenței de platforma ***hardware*** de achiziții de date. Compromisul care trebuie acceptat constă în scăderea, într-o oarecare măsură, a timpului de răspuns a instrumentului virtual, datorită execuției de tip secvențial a aplicațiilor.

Instrumentele virtuale reprezintă o modalitate facilă, intuitivă şi productivă de integrare a unor echipamente de măsurare microprogramate într-o aplicație industrială.

7.7 TESTAREA INSTRUMENTULUI VIRTUAL ESA ŞI REZULTATE EXPERIMENTALE

Testarea instrumentului virtual de măsurare şi analiză a semnalelor electrice, **ESA**, a fost făcută, în primă fază, prin aplicarea la intrările analizorului a unor fişiere de date reprezentând eşantioanele unor semnale de intrare (tensiune şi curent), de formă dreptunghiulară, simulate ***software*** cu ajutorul obiectului predefinit "***function generator***".

În a doua fază, testarea a fost efectuată prin aplicarea la intrările analizorului a unor fişiere de date reprezentând eşantioanele unor semnale de intrare (tensiune şi curent), de formă dreptunghiulară, achiziționate de la un generator de semnal dreptunghiular.

Se constată, analizând rezultatele obținute, că prin aplicarea unor semnale de tensiune şi de curent de formă dreptunghiulară (simulate *software* sau reale), cu frecvență de 50 Hz şi cu amplitudini de 100 V, respectiv 5 A, prin analiză armonică se obțin doar armonici impare, a căror valoare este invers proporțională cu ordinul acesteia în raport cu fundamentala. Erorile rezultate

sunt inferioare valorii de 0,377% şi pot fi justificate prin următoarele considerente:

- semnalele de intrare, reale sau simulate, nu sunt perfect dreptunghiulare (duratele fronturilor sunt foarte scurte, dar nenule), acest aspect contribuind în mod decisiv la eroarea analizei. Acest lucru poate fi justificat, analizând rezultatele experimentale, prin faptul că erorile relative nu depind de valoarea amplitudinii semnalului de intrare (semnalul de tensiune are amplitudine de 100 V, iar cel de curent are amplitudine de 5 A). În cadrul rezultatelor experimentale, a fost limitat ordinul maxim al armonicilor la 50, care reprezintă ordinul maxim al armonicilor de tensiune, respectiv de curent, care dau efecte nedorite în instalațiile electroenergetice, deşi instrumentul **ESA** poate pune în evidență armonici cu ranguri mai mari (în analizele efectuate în vederea testării acestui instrument virtual s-au pus în evidență armonici cu ranguri de până la 100);
- precizia de calcul, cu pondere net inferioară, instrumentul virtual lucrând în precizie dublă (maxim 10^{-6}%);
- erorile de trunchiere, rezultatele fiind limitate din punct de vedere al reprezentării la maxim 4 zecimale, având o pondere mică (maximum 10^{-2}%).

Se constată că erorile de determinare ale valorilor efective ale semnalelor de tensiune şi de curent, nu depăşesc 0,01%, ceea ce conferă o exactitate ridicată de analiză pentru acest instrument virtual.

7.8 LISTINGUL PROGRAMULUI DE ACHIZIȚIE DE DATE

```
; Programul citeste de la tastatura locala una dintre
; tastele apasate. Aceasta este de tip matriceal, cu 3
; linii si 4 coloane. Corespunzator codului tastei, se
; selecteaza unul dintre cele 6 canale analogice de
; intrare (daca codul tastei este 0..5), sau o pereche
; de canale de intrare tensiune-curent (daca codul tastei
; este 6..8), sau toate canalele de intrare (daca codul
; tastei apasate este 9) - achizitie sincrona -, se
; converteste tensiunea aplicata intrarii selectate si se
; memoreaza rezultatele in memoria RAM de date, urmand a
; fi transmise pe interfata seriala la PC.
;
; Dialogul cu afisajul LCD se efectueaza prin intermediul unor
; subrutine:
;       WRCMD - scrierea comenzii din registrul R2 la LCD
;       WRDAT - scrierea datelor din registrul R2 la LCD
;       WLCD - asteapta terminarea operatiunilor interne ale LCD
;       INLCD - initializarea LCD pentru transfer pe 8 biti.
; Comenzile folosite sunt:
;       CLEAR - 1
;       CURSOR HOME - 2, 3
;       MODE - 1/INC/SHIFT
```

```
;       CONTROL - 1/DysplayON/CursorON/FlashON
;       SHIFT - 1/SHIFT/RIGHT/*/*
;
; Spatiul utilizator incepe de la adresa 8000H, deci acest
; program va fi stocat incepand de la aceasta adresa.
;
        ORG     8000H
;
; progam principal
;
        LJMP    INIT            ; long jump la rutina de initializare
                                ; afisaj cu cristale lichide LCD
INIT:   ACALL   INILCD          ; apel rutina de initializare afisaj
        ACALL   CLRLCD          ; apel rutina stergere LCD
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 1
        MOV     DPTR,#TEXT1     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT1
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 2
        MOV     DPTR,#TEXT2     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT2
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 3
        MOV     DPTR,#TEXT3     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT3
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 4
        MOV     DPTR,#TEXT4     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT4
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 5
        MOV     DPTR,#TEXT5     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT5
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 6
        MOV     DPTR,#TEXT6     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT6
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina de stergere temporizata
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 7
        MOV     DPTR,#TEXT7     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT7
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina de afisare mesaj la LCD
        MOV     R2,#0CBH        ; adresa scriere cod tasta
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     R2,#1101B       ; display on, cursor off, flash on
        ACALL   WRCMD           ; scrie comanda la LCD
; citirea tastaturii, prin baleierea celor trei linii, citirea celor
; patru coloane si verificare daca s-a tastat ceva.
; prima linie
NEXT:   MOV      A,#0E0H        ; initializeaza acumulatorul cu #0E0H
                                ; (se selecteaza prima linie de taste)
        ACALL   WRPRDP          ; se apeleaza rutina de scriere/citire
                                ; port
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
```

```
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT1           ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH-
                                ; nu s-a tastat nimic),salt la eticheta
                                ; NEXT1 (linia 1 de taste)
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
; a doua linie
NEXT1:  MOV     A,#0D0H         ; se initializeaza acumulatorul cu #0D0H
                                ; se selecteaza a doua linie de taste)
        ACALL   WRPRDP          ; se apeleaza rutina de scriere/citire
                                ; port
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT2           ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH)
                                ; salt la eticheta NEXT
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
; a treia linie
NEXT2:  MOV     A,#0B0H         ; se initializeaza acumulatorul cu #0D0H
                                ; se selecteaza a treia linie de taste)
        ACALL   WRPRDP          ; se apeleaza rutina de scriere/citire
                                ; port
        MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
        ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; ai acumulatorului (codul liniei)
        JZ      NEXT            ; daca A=0 (valoarea citita este 0FH)
                                ; salt la eticheta NEXT (prima linie)
        JNZ     COL             ; daca continutul acumulatorului nu
                                ; este zero, salt la determinarea
                                ; codului HEXA al tastei, in functie
                                ; de linia activa si coloana pe care
                                ; este situata tasta apasata
COL:    JB      ACC.0,COL0      ; salt la COL0, daca bitul 0 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 0)
        JB      ACC.1,COL1      ; salt la COL1, daca bitul 1 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 1)
        JB      ACC.2,COL2      ; salt la COL2, daca bitul 2 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 2)
        JB      ACC.3,COL3      ; salt la COL3, daca bitul 3 al acu-
                                ; mulatorului este 1 (s-a apasat o
                                ; tasta de pe coloana 3)
COL0:   MOV     R1,#00H         ; s-a apasat tasta de pe coloana 0
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza bitii mai semnificativi
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 0
COL1:   MOV     R1,#01H         ; s-a apasat tasta de pe coloana 0
```

```
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 1
COL2:   MOV     R1,#02H         ; s-a apasat o tasta de pe coloana 2
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 2
COL3:   MOV     R1,#03H         ; s-a apasat o tasta de pe coloana 3
        MOV     A,R3            ; se reconstituie acumulatorul
        SWAP    A               ; se interschimba bitii mai semnificativi
                                ; cu cei mai putini semnificativi ai
                                ; acumulatorului
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza bitii mai semnificativi
                                ; pentru identificarea codului liniei
        JB      ACC.1,LINIE1    ; salt daca tasta apasata era pe linia 1
        JB      ACC.2,LINIE2    ; salt daca tasta apasata era pe linia 2
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tasta 3
LINIE1:MOV      A,#04H          ; tasta apasata era pe linia 1
        ADD     A,R1            ; se aduna codul coloanei cu codul liniei
        MOV     R1,A            ; codul hexa al tastei apasate este in R1
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tastele 4..7
LINIE2:MOV      A,#08H          ; tasta apasata era pe linia 2
        ADD     A,R1            ; se aduna codul coloanei cu codul liniei
        MOV     R1,A            ; codul hexa al tastei apasate este in R1
        SJMP    PLAY            ; salt la rutina de afisare, tastele 8..B
PLAY:   MOV     A,R1            ; codul hexa al tastei in acumulator
        CALL    HEXASC          ; conversie in ASCII a codului tastei,
                                ; pentru afisare pe LCD
        MOV     R2,A            ; codul HEXA al tastei apasate in R2
        ACALL   TRX             ; scrie la LCD codul tastei
        MOV     R2,#0CBH        ; adresa scriere cod tasta
        ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
        MOV     R2,#1100B       ; display on, cursor off, flash off
        ACALL   WRCMD           ; scrie comanda la LCD
        ACALL   CLEAR           ; apel rutina stergere temporizata a LCD
; prezentarea programului de achizitie pe LCD - dispaly 8
        MOV     DPTR,#TEXT8     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                                ; ceput a sirului de caractere TEXT8
        ACALL   MESAJ           ; apel rutina afisare mesaj la LCD
        MOV     A,R1            ; codul tastei apasate in acumulator
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 0 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 1 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 2 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
```

```
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 3 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 4 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      SCH             ; daca este 0, canalul selectat este
                                ; canalul 5 si salt la eticheta SCH
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      DCH             ; tasta apasata era 6 si se selecteaza
                                ; perechea de canale 0 si 3 (esantionare
                                ; sincrona)
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      DCH             ; tasta apasata era 7 si se esantioneaza
                                ; sincron perechea de canale 1 si 3
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      DCH             ; tasta apasata era 8 si se esantioneaza
                                ; sincron perechea de canale 2 si 5
        DEC     A               ; decrementeaza acumulatorul
        JZ      ALL             ; tasta apasata era 9 si se esantioneaza
                                ; sincron canalele 0 .. 5
SCH:    MOV     A,R1
        ACALL   SH
        ACALL   SINGLE
        LJMP    NEXT
DCH:    MOV     A,R1
        CLR     C
        SUBB    A,#6
        MOV     R7,A
        ACALL   SH
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
        INC     A
        INC     A
        ACALL   SINGLE
        LJMP    NEXT
ALL:    MOV     A,R1
        CLR     C
        SUBB    A,#9
        MOV     R7,A
        ACALL   SH
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
        MOV     R7,A
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
        MOV     R7,A
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
        MOV     R7,A
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
        MOV     R7,A
        ACALL   SINGLE
        MOV     A,R7
        INC     A
```

```
        MOV     R7,A
        ACALL   SINGLE
        LJMP    NEXT
;
SH:     ORL     A,#11000000B
        PUSH    ACC
        ACALL   WRCDA           ; comanda de esantionare, selectie
                                ; canal si amplificare
        ACALL   WAIT5           ; asteapta 5us pentru achizitia
                                ; semnalului de intrare
        POP     ACC
        ANL     A,#00111111B
        PUSH    ACC
        ACALL   WRCDA           ; comanda de memorare pentru canalul
                                ; de intrare selectat
        POP     ACC
        RET
;
SINGLE:
        ACALL   WRCONV          ; start conversie
        ACALL   WAIT10          ; se asteapta sfarsitul conversiei
        ACALL   RDCONV          ; se transfera rezultatul conversiei
                                ; pe 12 biti, in registrele LSBYTE si
                                ; MSBYTE
        ACALL   RDLSBYTE        ; se citeste octetul mai putin semni-
                                ; ficativ al conversiei, din registrul
                                ; LSBYTE
        ACALL   WRMEM           ; se salveaza octetul in memorie
        ACALL   RDMSBYTE        ; se citeste octetul mai semnificativ
                                ; al conversiei, din registrul MSBYTE
        ACALL   WRMEM           ; se salveaza octetul in memorie
        RET
;
WRCDA:                          ; rutina de selectie a parametrilor
; conversiei: numarul canalului selectat, comanda de esantionare,
; amplificarea amplificatorului cu cqstig reglabil
        MOV     P2,#1           ; se selecteaza porturile de iesire
        MOV     R0,#28H         ; se selecteaza portul COMAND
        MOVX    @R0,A           ; muta continutul acumulatorului
                                ; la portul de iesire COMAND
        RET
;
WRCONV:MOV      P2,#1
        MOV     R0,#20H
        MOVX    @R0,A
        RET
;
RDCONV:MOV      P2,#1
        MOV     R0,#20H
        MOV     A,@R0
        RET
;
RDLSBYTE:
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#68H
        MOV     A,@R0
        RET
;
RDMSBYTE:
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#70H
```

```
        MOV     A,@R0
        RET
;
WAIT5:  MOV     R3,#5
LOOP2:  NOP
        DJNZ    R3,LOOP2
        RET
;
WAIT10:MOV      R3,#10
LOOP3:  NOP
        DJNZ    R3,LOOP3
        RET
;
WRMEM:  NOP
        RET
;
INILCD:                         ; rutina de initializare LCD.
; Aceasta rutina trimite la LCD comanda #38H = 0011 1000B.
; Conform datelor de catalog, acesta comanda seteaza urmatorii
; parametri ai afisajului:
;       - bitul 5 - defineste aceasta comanda (function set);
;       - bitul 4(DL-Data Length)=1 seteaza dialogul pe 8 biti
;         intre procesor si LCD;
;       - bitul 3(N-Number of display lines)=1 seteaza numarul
;         liniilor afisajului ca fiind 2^N=2;
;       - bitul 2(F-Character Font)=0 seteaza forma caracterului
;         ca fiind 5*7 puncte
        MOV     R2,#38H         ; incarca R2 cu cuvantul de comanda
                                ; pregatind dialogul pe 8 biti cu
                                ; driverele de afisaj
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda anterioara la
                                ; port, efectuand programarea LCD
        MOV     R4,#50
DEL4MS:                         ; rutina de intarziere cu 4 ms,
; necesara functionarii display-ului LCD
        ACALL   DELAY           ; absolute call rutina DELAY
        DJNZ    R4,DEL4MS       ; se decrementeaza registrul R4 si
                                ; salt la eticheta DEL4MS daca conti-
                                ; nutul acestuia este nenul
        MOV     R4,#4           ; se incarca R4 cu valoarea imediata 4
LINI:                           ; LINI seteaza modul de lucru al LCD
        ACALL   WRCMD           ; se scrie comanda la driverele LCD
        ACALL   DELAY           ; apel rutina DELAY
        DJNZ    R4,LINI         ; se decrementeaza registrul R4 si salt
                                ; la eticheta LINI daca este nenul con-
                                ; tinutul acestui registru
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#6           ; seteaza modul de lucru "entry"
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#0EH         ; seteaza modul "display on"
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     R2,#1           ; stergere LCD
        ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        RET                     ; revenire din subrutina INILCD
;
WRCMD:                          ; rutina WRCMD scrie o comanda la
; driverele de afisaj, in urma verificarii starii acestora. Se se-
; lecteaza afisajul LCD si comanda continuta de registrul R2 este
```

```
; transferata driverelor din LCD.
       ACALL  WLCD          ; se verifica starea driverelor (BF=0)
       MOV    A,R2          ; comanda continuta in registrul R2 e
                            ; transferata in acumulator
       MOV    P2,#1         ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
       MOV    R0,#0         ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                            ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0000 B,
                            ; corespunzatoare scrierii unei comenzi
                            ; la driverele afisajului LCD
       MOVX   @R0,A         ; se scrie in driverele afisajului LCD
                            ; (la adresa stabilita anterior) comanda
       RET                  ; revenire din rutina WRCMD
;
WLCD:                       ; rutina ce testeaza daca este sau
; nu posibila transmiterea unui nou caracter catre LCD, pe baza in-
; formatiilor furnizate de rutina RDCMD. Se testeaza bitul 7 (BF -
; Busy Flag) al registrului de stare al LCD. Daca BF=1, inseamna ca
; LCD efectueaza o operatie interna si, deci, nu poate accepta un nou
; caracter.
       ACALL  RDCMD         ; apel rutina RDCMD
       JB     ACC.7,WLCD    ; se verifica daca BF=1 si asteapta
                            ; trecerea lui in 0 (terminarea ope-
                            ; ratiunilor interne)
       RET                  ; revenire din subrutina WRCL
;
RDCMD:                      ; subrutina RDCMD selecteaza afisajul
; si citeste din registru de stare starea curenta a driverelor acestuia,
; informatie care este depusa in acumulator
       MOV    P2,#1         ; selectie port (S0=1)
       MOV    R0,#2         ; se realizeaza pe magistrala de adrese
                            ; selectia cu A0 si A1 (0000 0010 B),
                            ; pentru a se citi starea driverelor de
                            ; afisaj LCD
       MOVX   A,@R0         ; se transfera in acumulator valoarea
                            ; gasita la adresa specificata anterior
       RET                  ; revenire din rutina RDCMD
;
DELAY:                      ; subrutina DELAY realizeaza o intarziere
; cu 80 microsecunde
       MOV    R3,#17        ; registrul R3 este incarcat cu valoarea
                            ; imediata 17
                            ; 80E-6secunde = 17 * 2instructiuni NOP *
                            ; * 12 perioade de ceas/instructiune NOP*
                            ; 1/11.059MHz (perioada ceas procesor)
LL1:   NOP                  ; no operation
       NOP                  ; no operation
       DJNZ   R3,LL1        ; se decrementeaza registrul R3 si se com-
                            ; para continutul sau cu 0. Daca rezultatul
                            ; comparatii este 1, salt la eticheta LL1
       RET                  ; revenire din subrutina DELAY
;
CLRLCD:                     ; subrutina de stergere a afisajului
; cu cristale lichide si setare a modului de afisare
       MOV    R2,#1         ; stergere afisaj LCD
       ACALL  WRCMD         ; transmite comanda la LCD
       MOV    R2,#1100B     ; 1, display on, cursor off, flash off
       ACALL  WRCMD         ; transmite comanda la LCD
       RET                  ; revenire din rutina de CLRLCD
;
TRX1:                       ; subrutina de scriere sir de caractere
; la afisajul cu cristale lichide LCD
```

```
        CLR     A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
        MOVC    A,@A+DPTR       ; muta in acumulator adresa gasita
                                ; la adresa @A+DPTR
        CJNE    A,#24H,TRCAR1   ; compara continutul acumulatorului
                                ; cu #24H (codul hexa al caracterului
                                ; $ - sfarsit de mesaj) si daca este
                                ; diferit se efectueaza salt la eticheta
                                ; TRCAR1
        RET                     ; iesire din subrutina TRX1
TRCAR1: MOV     R2,A            ; muta continutul acumulatorului in
                                ; registrul R2
        ACALL   WRDAT           ; apel subrutina de scriere date in
                                ; registrele afisajului LCD
        INC     DPTR            ; adresa urmatorului caracter de scris
        SJMP    TRX1            ; small jump la eticheta TRX1, pentru
                                ; a scrie urmatorul caracter
;
TRX:                            ; subrutina de afisare la LCD a unui
; caracter ASCII
        CLR     A               ; se initializeaza acumulatorul cu 0
        MOV     A,R2            ; se transfera continutul registrului
                                ; R2 in acumulator
        LJMP    TRCAR           ; long jump la eticheta TRCAR
LL7:    RET                     ; iesire din rutina TRX
TRCAR:  MOV     R2,A            ; se restaureaza in R2 continutul Acc.
        ACALL   WRDAT           ; se scriu datele in driverele LCD
        SJMP    LL7             ; short jump la eticheta LL7
;
WRDAT:                          ; subrutina WRDAT este identica cu WRCMD
; dar este utilizata pentru scrierea la driverele LCD codul caracterelor
; ce urmeaza a fi afisate
        ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
        MOV     P2,#1           ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
        MOV     R0,#1           ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                                ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0001 B,
                                ; corespunzatoare scrierii unui caracter
                                ; la driverele afisajului LCD
        MOV     A,R2            ; se transfera caracterul in acumulator
        MOVX    @R0,A           ; se transmite caracterul driverelor LCD
        RET                     ; revenire din rutina WRDAT
;
MESAJ:                          ; subrutina de afisare la LCD a doua linii
; de cate 16 caractere
        ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
        MOV     R2,#0C0H        ; pozitionare pe a doua linie
        ACALL   WRCMD           ; scriere comanda pozitionare la LCD
        INC     DPTR            ; incrementare DPTR (linia a doua)
        ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
        RET                     ; revenire din rutina MESAJ
;
CLEAR:                          ; subrutina mentine starea afisajului
; timp de 3 secunde, sterge afisajul si pozitioneaza cursorul pe prima
; pozitie, de pe prima linie
        ACALL   SEC3            ; mentine starea afisajului 3 sec.
        MOV     R2,#1           ; comanda stergere display
        ACALL   WRCMD           ; scriere comanda la LCD
        MOV     R2,#2           ; cursor home, prima linie
        ACALL   WRCMD           ; scriere comanda la LCD
        RET                     ; revenire din subrutina MESAJ
;
WRPRDP:                         ; rutina de scriere/citire port
```

```
       MOV      P2,#1         ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
       MOV      R0,#20H              ; incarca R0 cu 0010 0000 B:
                              ; selectie port de iesire 1 (S1=0)
       MOVX     @R0,A         ; muta continutul acumulatorului
                              ; la portul de iesire 1 (AX0=0)
       MOV     P2,#1          ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
       MOV     R0,#60H        ; incarca R0 cu 0110 0000B:
                              ; selecteaza portul de intrare
       MOVX    A,@R0          ; citeste in acumulator valorea gasita
                              ; la adresa specificata anterior
       CPL     A              ; complementeaza acumulatorul
       RET                    ; iesire din rutina WRPRDP
;
SEC3:                         ; rutina de intarziere cu 3 secunde
; 3sec = (43 instr. NOP x 12 perioade ceas/NOP x 256 x 256)/11,059MHz

       MOV     R6,#255        ; se incarca registrul R6 cu #255
LOOP1: MOV     R7,#255        ; se incarca registrul R7 cu #255
LOOP:  NOP                    ; 43 instructiuni NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
       NOP
```

```
        DJNZ    R7,LOOP         ; se decrementeaza registrul R7 si
                                ; daca este nenul, salt la LOOP
        DJNZ    R6,LOOP1        ; se decrementeaza registrul R6 si
                                ; daca este nenul, salt la LOOP1
        RET                     ; revenire din subrutina SEC3
;
TEXT1:  DB ' ACHIZITIE A/D: $'
        DB 'PE 6 CANALE: 12b$'
TEXT2:  DB 'AFISARE: 2 LINII$'
        DB 'DE 16 CARACTERE $'
TEXT3:  DB 'STOCARE: 2 BYTES$'
        DB ' IN MEMORIA RAM $'
TEXT4:  DB 'TRANSFER  SERIAL$'
        DB 'LA PC:9600 BAUDS$'
TEXT5:  DB 'CONVERSIE D/A:8b$'
        DB 'REFACERE  SEMNAL$'
TEXT6:  DB 'APASATI O TASTA:$'
        DB ' (NUMAR: 0..11) $'
TEXT7:  DB 'TASTA ACTIONATA:$'
        DB '  TASTA  "   "  $'
TEXT8:  DB ' SEMNAL INTRARE $'
        DB ' CANAL  :  .   V$'
;
HEXASC:                         ; rutina de conversie hexa-ascii
        ANL     A,#0FH          ; se mascheaza cei patru biti mai
                                ; semnificativi ai acumulatorului
        JNB     ACC.3,NOADJ     ; daca bitul 3 = 0 salt la NOADJ
        JB      ACC.2,ADJ       ; daca bitul 2 = 1 salt la ADJ
        JNB     ACC.1,NOADJ     ; daca bitul 1 = 0 salt la NOADJ
ADJ:    ADD     A,#07H          ; aduna acumulatorul cu #07H
NOADJ:  ADD     A,#30H          ; aduna acumulatorul cu #30H
        RET                     ; revenire din rutina HEXASC
;
        END                     ; sfarsitul programului
```

8. SISTEM CU MICROCONTROLLER PENTRU MĂSURAREA ŞI CONTROLUL TEMPERATURII

8.1 SPECIFICAŢIILE DE PROIECTARE ALE SISTEMULUI PENTRU MĂSURAREA ŞI CONTROLUL TEMPERATURII

În condiţiile actuale, tot mai multe echipamente de măsurare şi reglare, în domeniile industrial, industriei auto şi casnic, au la bază sisteme organizate în jurul unui microprocesor sau a unui microcontroller. Acest tip de abordare a proiectării prezintă o serie de avantaje substanţiale, dintre care putem remarca: simplitatea şi caracterul de compatibilitate a proiectării, grad ridicat de integrare, gabarit redus, consum redus de energie electrică, facilităţi de adaptabilitate la determinarea şi controlul unor noi parametri (sau în situaţia modificării relaţiilor de calcul ale acestora), imunitate ridicată la perturbaţii şi zgomote electrice şi, bineînţeles, nu în ultimul rând, fiabilitate ridicată.

În cele ce urmează, va fi prezentată structura şi elementele de proiectare ale unui sistem destinat măsurării şi controlului temperaturii în mediu industrial. Acest sistem va fi organizat în jurul inui microcontroller de tip 80C552, fiind caracterizat de următorii parametri:

- măsurarea temperaturii în 8 puncte al procesului, folosind senzori de temperatură de tip LM135, cu rezoluţie de 0,5^{o}C, sau senzori de temperatură cu ieşire în curent (semnal unificat 4 .. 20 mA);
- intervalul de temperatură controlat este cuprins între 0^{o}C şi +100^{o}C;
- conversie analog-digitală pe 8 biţi, în format binar direct, a informaţiilor de temperatură preluate din proces;
- memorarea temporară a codurilor binare de temperatură într-o memorie de date, de tip RAM static;
- programarea, prin intermediul unui dispozitiv local de introducere a datelor (tastatură locală) a temperaturii de echilibru în cadrul sistemului controlat;
- afişarea locală, pe un display cu cristale lichide, atât a temperaturii de lucru preprogramate, cât şi a temperaturii medii determinate;
- controlul continuu al elementului de execuţie (elementul de încălzire) pentru menţinerea temperaturii preprogramate;
- extinderea posibilităţilor de control la două elemente de execuţie;
- transmiterea informaţiilor de temperatură prelevate din proces, pe o legătură serială full-duplex, de mare vitrză, compatibilă RS-232, către un calculator gazdă, în vederea analizei statistice şi interpretării la un nivel înalt a rezultatelor.

Va fi elaborat şi un program de aplicaţie, scris în limbaj de asamblare, care permite măsurarea şi controlul temperaturii în cadrul procesului. Limbajul de asamblare, deşi mai greu de utilizat şi de interpretat, prezintă avantajul minimizării codului aplicaţiei.

În cele ce urmează, se va concentra efortul de proiectare pentru minimizarea hardware-ului utilizat, însă cu asigurarea performanţelor de exactitate specificate.

În subcapitolele următoare vor fi descrise, într-o ordine ce ţine seama de complexitatea structurilor utilizate, elementele hardware şi software care compun acest sistem microprocesat destinat măsurării şi controlului temperaturii.

8.2 DESCRIEREA FUNCŢIONALĂ A SISTEMULUI DE MĂSURARE ŞI CONTROLUL TEMPERATURII

Sistemul de măsurare şi controlul temperaturii se compune din mai multe unităţi funcţionale, după cum urmează:

- *blocul de măsurare a temperaturii*, care conţine:
  - senzorul de temperatură, de tip βA135;
  - sursele de tensiune de referinţă şi de prag;
- *sistemul de dezvoltare cu microcontroller 80C552*, folosit pentru:
  - prescrierea temperaturii programate;
  - conversia analog-digitală a informaţiei de temperatură;
  - memorarea rezultatelor obţinute în urma supravegherii procesului;
  - controlul continuu al temperaturii în cadrul procesului supravegheat;
  - transmisia serială a rezultatelor prelevate în cadrul procesului supravegheat către un sistem de calcul mai puternic, de tip IBM-PC sau compatibil, în vederea analizei detaliate, reprezentării grafice a regimului tranzitoriu de control al temperaturii în cadrul procesului controlat şi a analizei statistice a rezultatelor obţinute;
- *blocul de comandă al elementului de execuţie*.

8.2.1 BLOCUL DE MĂSURARE A TEMPERATURII

Blocul de măsurare a temperaturii se compune din următoarele module funcţionale:

- senzorul de temperatură, de tip βA135;
- sursele de tensiune de referinţă şi de prag.

8.2.1.1 SENZORUL DE TEMPERATURĂ

8.2.1.1.1 CONECTAREA SENZORULUI DE TEMPERATURĂ

Senzorul de temperatură este conectat, prin intermediul unor etaje de adaptare, la portul P_5 al microcontroller-ului, prin care sunt vehiculate alternativ şi semnalele de control ale secţiunii analogice. Informaţia de temperatură furnizată de senzorul specializat este vehiculată de semnalul ADC0 … ADC7.

8.2.1.1.2 SENZORUL DE TEMPERATURĂ

Senzorul de temperatură, de tip βA135, permite măsurarea temperaturilor în domeniul $-55^oC \div +150^oC$, gamă ce acoperă intervalul de temperatură $0^oC \div +100^oC$, impus prin tema de proiectare. Acest senzor de temperatură este constituit de fapt de o diodă Zener a cărei tensiune, în polarizare inversă, variază liniar cu +10mV/grad, funcţie de temperatură pe întreg domeniul de temperaturi de lucru specificat.

Senzorul de temperatură βA135 este caracterizat de o rezistenţă dinamică foarte redusă (tipic 1Ω), ceea ce uşurează mult preluarea informaţiei de temperatură de la acest circuit. Circuitul funcţionează normal pentru o gamă largă de curenţi de polarizare, respectiv între 400 μA şi 5 mA.

Senzorul de temperatură folosit este caracterizat de o eroare de maximum 1^oC. Această eroare iniţială poate fi compensată prin conectarea unui potenţiometru cu valoarea de 10kΩ între anodul şi catodul diodei, cursorul potenţiometrului fiind conectat la terminalul de compensare al senzorului de temperatură.

Senzorul de temperatură βA135 furnizează la ieşire o tensiune proporţională cu temperatura absolută, în Kelvin.

Schema electrică de utilizare a acestui senzor de temperatură este prezentată în fig. 8.1, în care P_1 este potenţiometrul de compensare (P_1=10kΩ).

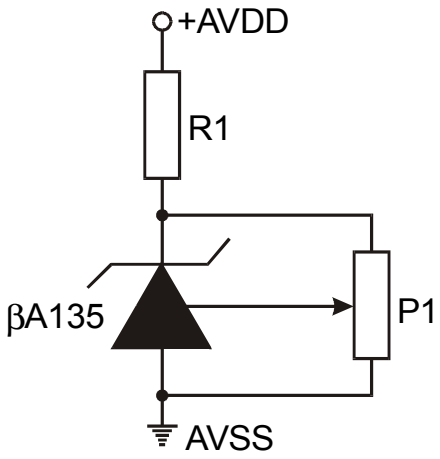


Fig. 8.1 Senzorul de temperatură.

Pentru acest circuit se poate scrie:

$$I_{Z_1} = \frac{V_{CC} - U_{Z_1}(T)}{R_1} - \frac{U_{Z_1}(T)}{P_1} \tag{8.1}$$

Curentul prin dioda D_1 (βA135) trebuie să se încadreze în intervalul 400μA÷5mA, în vederea unei funcționări corecte, pe intreg intervalul de temperatură specificat ($0^oC \div +100^oC$).
Se poate deduce:

$$\begin{aligned} U_{Z_1}(273K) &= U_{Z_1}(0^oC) = 2{,}73V \\ U_{Z_1}(373K) &= U_{Z_1}(+100^oC) = 3{,}73V \end{aligned} \tag{8.2}$$

În concluzie:

$$\begin{aligned} I_{Z_{1,min}} &= \frac{V_{CC} - U_{Z_1}(100^oC)}{R_1} - \frac{U_{Z_1}(100^oC)}{P_1} \\ I_{Z_{1,max}} &= \frac{V_{CC} - U_{Z_1}(0^oC)}{R_1} - \frac{U_{Z_1}(0^oC)}{P_1} \end{aligned} \tag{8.3}$$

Rezultă prin utilizarea ecuațiilor anterioare limitele intervalului de apartenență pentru rezistența de polarizare R_1:

$$\begin{aligned} R_{1,max} &= \frac{V_{CC} - U_{Z_1}(100^oC)}{I_{Z_{1,min}} + \frac{U_{Z_1}(100^oC)}{P_1}} = 1{,}2359k\Omega \\ R_{1,min} &= \frac{V_{CC} - U_{Z_1}(0^oC)}{I_{Z_{1,max}} + \frac{U_{Z_1}(0^oC)}{P_1}} = 0{,}435k\Omega \end{aligned} \tag{8.4}$$

Trebuie satisfacută relația:

$$R_{1,min} \le R_1 \le R_{1,max} \tag{8.5}$$

Se alege R_1=0,68kΩ, valoare standard care satisface condițiile de funcționare specificate anterior.

8.2.1.1.3 MODULUL SURSELOR DE TENSIUNE DE REFERINȚĂ

Rolul acestui modul funcțional este acela de a obține folosind sursa de tensiune analogică (AVDD în raport cu AVSS) care alimentează convertorul analog-digital implementat intern în cadrul structurii microcontroller-ului 80C552 a două tensiuni de referință, V_{REF-} şi V_{REF+}.

Alegerea acestor două tensiuni de referință se bazează pe faptul că sistemul de achiziții de date din cadrul microcontroller-ului 80C552 converteşte pe 10 biți tensiunea de intrare delimitată de intervalul [V_{REF-}, V_{REF+}], conform ecuației:

$$N = 2^{10} \cdot \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} = 1024 \cdot \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \tag{8.6}$$

Prin utilizarea numai a celor mai semnificativi 8 biți ai rezultatului, conținuți în registrul ADCH, caracteristica de transfer devine:

$$N = 2^{8} \cdot \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} = 256 \cdot \frac{V_{IN} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \tag{8.7}$$

Astfel, se asociază codul binar N=0 pentru V_{IN} =V_{REF-} şi N=1024 (sau 256, dacă sunt utilizați doar cei mai semnificativi opt biți ai rezultatului) pentru V_{IN}=V_{REF+}.

Pentru a se realiza o asociere uşor de interpretat a rezultatului conversiei, obținut sub formă binară, cât şi o minimizare a erorii la interpretarea acestuia (pentru simplitate se vor prelua doar cei mai semnificativi opt biți ai rezultatului conversiei analog-digitale, conținuți în registrul ADCH), tensiunile de referință care se aplică convertorului analog-digital vor corespunde unui interval extins de temperatură, şi anume 0°C÷+128°C:

$$\begin{aligned} V_{REF-} &= U_{Z_1}(0^oC) = 2{,}73V \\ V_{REF+} &= U_{Z_1}(128^oC) = 4{,}01V \end{aligned} \tag{8.8}$$

În acest mod, codul binar corespunzător lui *N*=0 se obține pentru tensiunea de intrare corespunzătoare temperaturii t_0=0°C iar codul binar corespunzător lui *N*=256 se obține pentru o tensiune de intrare corespunzătoare temperaturii t_1=128°C. Rezoluția conversiei sub formă numerică a temperaturii este de 1bit/0,5°C, putându-se astfel interpreta temperaturi variind în paşi de jumătate de grad. Pentru temperaturi măsurate şi controlate cu variații de un

grad (rezoluție impusă prin tema de proiectare) se obține întotdeauna un cod binar de ieşire direct reprezentând un număr întreg. Astfel este realizată minimizarea eroarea de măsurare şi de interpretare a rezultatului.

Prin alegerea unor valori corespunzătoare ale tensiunilor de referință aplicate convertorului analog-digital, se obține un rezultat reprezentat în cod binar direct proporțional cu temperatura exprimată în grade Celsius, fără a fi necesară utilizarea unui amplificator diferențial pentru realizarea conversiei Kelvin / grad Celsius.

Schema electrică a acestui modul funcțional este prezentată în fig. 8.2.

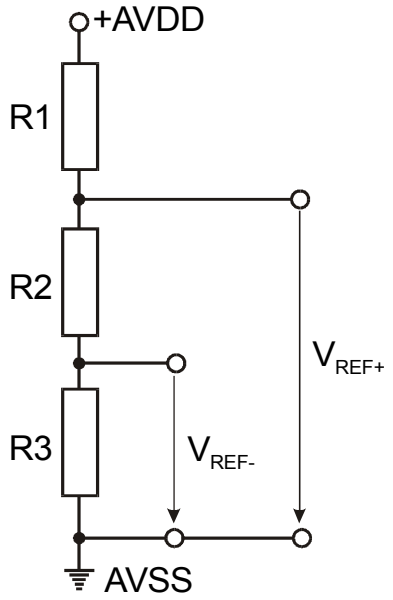


Fig. 8.2 Modulul surselor de referință.

Conform circuitului reprezentat în fig. 8.2, se poate scrie:

$$\begin{aligned} V_{REF-} &= U_{Z_1}\left(0^oC\right) = 2{,}73V = \frac{R_3}{\sum_{i=1}^{3} R_i} \cdot AVDD \\ V_{REF+} &= U_{Z_1}\left(128^oC\right) = 4{,}01V = \frac{R_2 + R_3}{\sum_{i=1}^{3} R_i} \cdot AVDD \end{aligned} \tag{8.9}$$

în care AVDD=+5V.

Se alege un curent prin divizorul R_1, R_2, R_3, notat I, egal cu 1mA. În aceste condiții, rezultă:

$$\left.\begin{array}{c} I = \dfrac{AVDD}{\sum_{i=1}^{3} R_i} = 1mA \\ AVDD = 5V \end{array}\right\} \Rightarrow \sum_{i=1}^{3} R_1 = 5k\Omega \tag{8.10}$$

Trebuie menționat că valoarea acestui curent a fost aleasă suficient de mare astfel încât să poată fi neglijați curenții absorbiți de intrările tensiunilor de referință ale convertorului analog-digital.

Ca urmare, folosind ecuația rezultă:

$$\begin{aligned} V_{REF-} &= \frac{R_3}{\sum_{i=1}^{3} R_i} \cdot AVDD \Rightarrow R_3 = \sum_{i=1}^{3} R_i \cdot \frac{V_{REF-}}{AVDD} = 2{,}73k\Omega \\ V_{REF+} &= \frac{R_2 + R_3}{\sum_{i=1}^{3} R_i} \cdot AVDD \Rightarrow R_2 + R_3 = \sum_{i=1}^{3} R_i \cdot \frac{V_{REF+}}{AVDD} = 4{,}01k\Omega \end{aligned} \quad (8.11)$$

Se alege R_3=2,73kΩ valoare standard, rezultând valoarea lui R_2:

$$R_2 = \sum_{i=2}^{3} R_i - R_3 = 4{,}01k\Omega - 2{,}73k\Omega = 1{,}28k\Omega \quad (8.12)$$

Valoarea rezistenței R_1 rezultă conform ecuației:

$$R_1 = \sum_{i=1}^{3} R_i - \sum_{j=2}^{3} R_j = 5k\Omega - 4{,}01k\Omega = 0{,}99k\Omega \quad (8.13)$$

Pentru a se obține valoarea calculată a rezistenței R_1, aceasta va fi compusă din două rezistențe standard cu valorile 1kΩ şi respectiv 100kΩ, legate în paralel.

$$R_1 = \frac{1k\Omega \cdot 100k\Omega}{1k\Omega + 100k\Omega} = 0{,}990099k\Omega \quad (8.14)$$

Pentru a se obține valoarea calculată a rezistenței R_2, aceasta va fi compusă din trei rezistențe standard cu valorile 1,5kΩ, 10kΩ şi respectiv 68kΩ, legate în paralel.

$$R_2 = \frac{\frac{1{,}5k\Omega \cdot 10k\Omega}{1{,}5k\Omega + 10k\Omega} \cdot 68k\Omega}{\frac{1{,}5k\Omega \cdot 10k\Omega}{1{,}5k\Omega + 10k\Omega} + 68k\Omega} = 1{,}279999k\Omega \quad (8.15)$$

Toate rezistențele care implementează blocul surselor de referință sunt alese cu precizie cât mai ridicată (±0,25% în cazul de față) şi cu un coeficient de variație cu temperatura de valoare cât mai scăzută, pentru a se putea garanta exactitatea de măsurare impusă. De asemenea, valorile acestor rezistențe sunt relativ mici (ordin kΩ), pentru a se putea neglija curenții de intrare ai convertorului analog-digital din punctele V_{REF-} şi V_{REF+}.

8.2.1.1.4 SENZOR DE TEMPERATURĂ CU IEŞIRE UNIFICATĂ ÎN CURENT

Pentru realizarea compatibilității cu echipamentele standard de automatizări industriale a fost realizată şi o sondă de temperatură cu ieşire unificată în curent 4÷20 mA pentru un interval de temperatură 0÷100 ^{o}C. Acest traductor de temperatură este prezentat în fig. 8.3.

Curentul de ieşire $I_S(t)$ este dat de următoarele componente:

- curentul prin rezistența R_2, dependent de temperatură şi asigurat integral de colectorul tranzistorului Q_1:

$$I_{R_2} = I(t) = \frac{U(t) + xP_1 \cdot (I_- + I_{REF})}{R_2} \tag{8.16}$$

- curentul de alimentare al senzorului de temperatură, I_-, forțat de un generator de curent realizat cu tranzistorul Q_1:

$$I_- = I_+ = \frac{U_{EB}}{R_1} = \frac{0,6V}{4,7k\Omega} = 0,1276595744681mA \tag{8.17}$$

- curentul prin potențiometrul P_1, determinat de sursa de tensiune de referință:

$$I_{REF} = \frac{V_{REF} - xP_1 \cdot I_-}{R_3 + P_1} \tag{8.18}$$

- curentul prin terminalul de ajustare al sursei de referință:

$$I_{ADJ} = (50 \div 100)\mu A = \text{neglijabil} \tag{8.19}$$

Sumând aceste componente, se constată că valoarea minimă a curentului $I_S(t)$ este de 4mA, obținut pentru t=0^{o}C, adică U(t)=0V. Această valoare poate fi ajustată prin intermediul potențiometrului P_1. Valoarea maximă a curentului $I_S(t)$ este de 20mA, obținut pentru t=100^{o}C, adică U(t)=1,00V (de fapt la valoarea minimă ajustată la valoarea de 4mA se adaugă valoarea $\frac{U(100^0 C)}{R_2} = \frac{1V}{62,5\Omega} = 16mA$). Se constată, de asemenea, că această schemă nu necesită reglajul ambelor capete de scală, în condițiile în care rezistența R_2 este aleasă într-o clasă de precizie bună (±0,25%, de exemplu).

În această schemă este utilizat un senzor de temperatură centigrad, de tip LM35, a cărui ieşire variază cu 10mV pe grad Celsius. Stabilizatorul de tensiune ajustabil, de tip LM317, este utilizat în această schemă doar pentru referința sa internă, cu valoare de 1,25V, pentru a creea "zero-ul viu" al senzorului de temperatură cu ieşire unificată în curent.

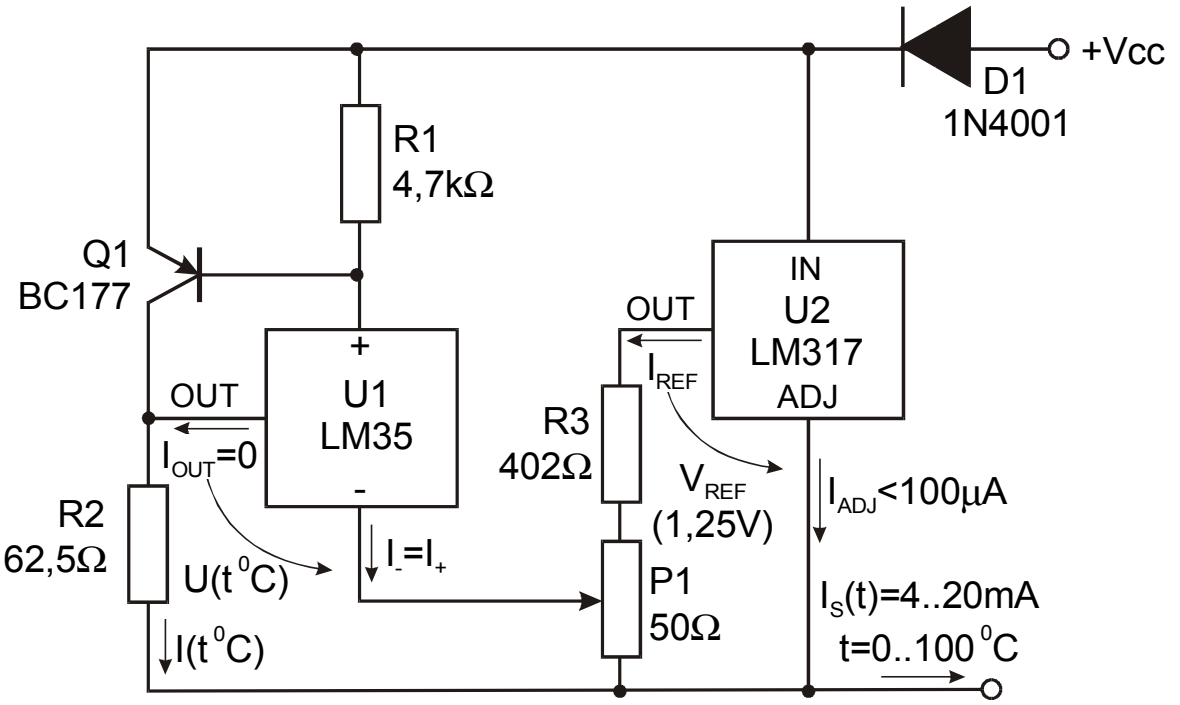


Fig. 8.3 Senzor de temperatură cu ieşire unificată în curent.

8.2.2 UTILIZAREA RESURSELOR UNITĂȚII CENTRALE DE PRELUCRARE

Din cadrul sistemului de dezvoltare, organizat în jurul unui microcontroller 80C552, şi care constituie unitatea centrală de prelucrare locală a sistemului de măsurare şi controlul temperaturii, descris detaliat în cadrul capitolului al treilea al acestei lucrări, sunt utilizate, în cadrul acestei aplicații, următoarele resurse:

- ***microcontroller***-ul 80C552, utilizat în configurație de microprocesor pentru gestionarea achiziției analog-digitale pe 8 canale a temperaturii controlate din proces, pentru memorarea temporară a datelor prelevate în memoria de date a sistemului şi pentru manipularea acestora prin intermediul interfeței seriale bidirecționale către calculatorul gazdă, pentru gestionarea a două ieşiri modulate în durată, utilizate pentru controlul continuu al temperaturii în cadrul procesului, pentru gestionarea porturilor de intrare-ieşire locale ale sistemului de dezvoltare;
- ***memoria de program***, conținând programul monitor al sistemului de dezvoltare, utilizată pentru: încărcarea programului de aplicație (prin folosirea facilităților de down-load), transferul serial al datelor către calculatorul gazdă (prin folosirea facilităților de up-load) şi bineînțeles,

fapt transparent pentru utilizator, inițializarea şi programarea resurselor sistemului de dezvoltare (rutine de transmisie/recepție pe legătura serială, rutine de întreruperi interne şi externe, etc.);

- ***memoria de date***, utilizată pentru memorarea programului de aplicație şi a eşantioanelor de temperatură prelevate din procesul controlat;
- ***tastatura locală*** de tip matriceal, cu 12 taste, este utilizată pentru programarea temperaturii de referință a sistemului controlat. Tastatura locală utilizează două porturi locale: un port de intrare, pe care este citit octetul care va furniza prin prelucrare software codul tastei acționate (cei mai semnificativi patru biți ai acestui octet conțin codul liniei baleiate, iar cei mai puțin semnificativi patru biți conțin codul coloanei pe care este situată tatsta acționată) şi un port de ieşire, de la care sunt utilizați doar cei patru biți mai puțin semnificativi, prin intermediul cărora sunt baleiate în buclă liniile tastaturii;
- ***afişajul cu cristale lichide***, cu două linii de câte 16 caractere, este utilizat pentru afişarea continuă şi comparativă a temperaturii de referință preprogramate şi a temperaturii medii măsurate. Acest dispozitiv este utilizat pentru afişarea la începutul execuției programului de aplicație a câtorva mesaje de prezentare succintă a acesteia.

Programul de aplicație, scris în limbaj de asamblare 8051, asamblat şi convertit în format INTEL HEX standard (acest format este executabil, conține un header format din adresa de început a programului din memoria RAM (specificată în cadrul programului sursă prin directiva "ORG adresă"), numărul de octeți ai programului (lungimea acestuia exprimată în număr de octeți) şi informații de control (sumă de control) şi este strucurat sub forma unor linii de câte 16 octeți, reprezentați sub forma a două cifre hexa, reprezentând codurile instrucțiunilor utilizate în cadrul programului şi o sumă de control, de asemenea sub forma unui octet, calculată ca reprezentând valoarea, exprimată sub forma a două cifre hexa, care adunată cu toți cei 16 octeți de informație conduce la valoarea FFH), conține rutine pentru:

- *inițializarea resurselor* utilizate în cadrul sistemului pentru măsurarea şi controlul temperaturii: inițializarea afişajului cu cristale lichide (prin itermediul rutinei INITLCD care inițializează dialogul pe 8 biți cu driver-ele de afişaj, testează starea driver-elor de afişaj, realizează ştergerea afişajului şi setează modul de lucru (display on, entry-mode);
- *citirea tastaturii* locale de tip matriceal, într-o secvență de program care utilizează o apelare de două ori a rutinei KEY pentru programarea temperaturii de referință.

  Rutina de citire a tastaturii, denumită KEY, forțează ciclic pe fiecare linie a tastaturii valoarea binară "0", în timp ce toate celelalte linii sunt poziționate pe "1" logic. Se citeşte, prin intermediul portului de intrare,

configurația de linii şi coloane, verificându-se dacă unul din biții reprezentând coloanele tastaturii este "0" logic. Dacă da, atunci a fost acționată tasta situată la intersecția liniei forțate la "0" (codul ei este preluat pe cei mai semnificativi 4 biți ai portului de intrare) şi coloana pe care a fost detectat nivelul logic "0". Dacă nu, înseamnă că nu a fost acționată nici o tastă de pe linia baleiată şi se trece la linia următoare. Rutina se execută în buclă până se acționează o tastă. În urma acționării unei taste (numerice), se trece la obținerea codului acesteia, prin intermediul unei secvențe de program care furnizează drept rezultat un octet ce conține pe cei patru biți mai puțin semnificativi codul BCD al tastei acționate. Prin convertirea acestui octet în format ASCII, utilizând rutina BINASC, codul obținut poate fi transmis către driver-ele de afişare ale display-ului LCD.

În cadrul secvenței de program pentru citirea tastaturii din cadrul acestei aplicații, se apelează de două ori rutina de citire a tastaturii şi de afişare a codului ASCII al tastei acționate (pe poziții diferite şi adiacente ale uneia dintre liniile de afişare ale display-ului LCD) şi, de asemenea, se obține un octet unic, reprezentând valoarea temperaturii de echilibru programate, de tip împachetat BCD. Acest octet va fi memorat într-unul dintre registrele disponibile ale microcontroller-ului şi va fi utilizat pentru controlul temperaturii;

- *gestionarea afişării* pe display-ul cu cristale lichide constă în utilizarea, în mod organizat, a rutinelor RDCMD (citire a informațiilor de stare de la driver-ele de afişare), WRCMD (scriere a comenzilor de setare a modului de lucru, de poziționare a cursorului, de setare a tipului de interfațare sau a mărimii caracterelor sau a tipului de cursor, la driver-ele de afişare), WLCD (testarea driver-elor de afişare în vederea transmiterii unui nou caracter), WRDAT (scrierea unui caracter ASCII la driver-ele de afişare), TRX1 (scrierea unui şir de caractere al display-ul cu cristale lichide, pentru afişarea unor mesaje sau a unor caractere la display-ul local
- *gestionarea achiziției* analog-digitale: specificarea canalului de intrare pe care se efectuează conversia, inițializarea prin software a conversiei analog-digitale, preluarea rezultatului şiprelucrarea acestuia în vederea interpretării ulterioare.

Deoarece în cadrul acestei aplicații se folosesc 8 traductoare de temperatură, de tip LM135, acestea vor fi conectate pe intrările 0÷7 ale multiplexorului din microcontroller. Astfel, adresa canalului inițial selectat va fi 000, respectiv biții 0, 1, 2 din cadrul registrului ADCON vor fi poziționați la “0” prin cuvântul de programare. Este declanşat procesul de achiziție analog-digitală, prin software (este necesar ca bitul 6 al registrului de control ADCON, denumit ADEX, să fie

poziționat la "0") de pe canalul de intrare selectat prin poziționarea bitului 3 (ADCS) al registrului de control ADCON. Sfârşitul conversiei este detectat tot software prin citirea periodică (polling) a bitului 5 (ADCI) din registrul de control ADCON. când acest bit devine "1", procesul de conversiei s-a încheiat. Rezultatul, pe 10 biți, al conversiei analog-digitale este disponibil în registrele ADCH (cei 8 biți mai semnificativi) şi ADCON (cei doi biți cei mai puțin semnificativi, fiind biții 7 şi 8 din cadrul acestui registru). Rezultatul, considerat pe 8 biți, se află în registrul ADCH şi va fi transferat în acumulator pentru prelucrări. În continuare, este incrementată adresa canalului de intrare selectat şi se declanşează un nou proces de conversie, până când sunt baleiate toate cele 8 traductoare de temperatură. Toate rezultatele intermediare sunt memorate în memoria externa de date, iar când s-au efectuat toate cele 8 conversii analog-digitale rezultatele intermediare sunt mediate aritmetic, pentru a determina temperatura medie din incinta supravegheata.

În urma analizei efectuate anterior, s-a constatat că rezultatul binar al conversiei are o rezoluție de 2biți/grad. Astfel, prin împărțire la 2 a acestuia, se obține o valoare binară reprezentând exact temperatura măsurată, exprimată în grade Celsius. Urmează obținerea celor două cifre ale temperaturii măsurate, ce urmează a fi afişate: aceasta se realizează prin împărțirea la 10 a codului binar reprezentând temperatura (se obțin doar două cifre, deoarece s-a impus încadrarea temperaturii măsuate între 0 şi 100^{o}C). Cei doi octeți, reprezentând formatul BCD ale celor două cifre, sunt convertiți în format ASCII în vederea afişării. De asemenea, prin interschimbarea celor patru biți mai semnificativi cu cei patru biți mai puțin semnificativi ai octetului reprezentând cifra zecilor şi prin efectuarea unei instrucțiuni SAU-LOGIC la nivel de octet se formează un octet împachetat BCD care conține informația referitoare la temperatura medie în cadrul procesului supravegheat. Acest octet, împreună cu acela care conține informația referitoare la temperatura preprogramată, vor fi utilizați în continuare pentru controlul temperaturii;

- *gestionarea ieşirilor modulate în durată* pentru controlul continuu al temperaturii în sistem este realizată în cadrul programului de aplicație prin programarea registrului PWMP pentru ca frecvența impulsurilor de ieşire să fie de 1kHz, conform relației:

$$f_{PWM} = \frac{f_{OSC}}{2 \cdot (1 + PWMP) \cdot 255} \tag{8.20}$$

Factorul de umplere al impulsurilor de ieşire este controlat, prin intermediul registrului de comandă PWM_1, de către diferența registrelor ce conțin octeții reprezentând temperatura programată şi

temperatura curentă din cadrul sistemului controlat, conform relației:

$$\gamma = \frac{PWM_1}{255 - PWM_1}$$
$$PWM_1 = R_4 - R_5 \qquad (8.21)$$
$$PWM_2 = R_5 - R_4$$

în care registrul R4 conține octetul ce reprezintă temperatura programată la începutul procesului de control, iar registrul R5 conține octetul ce reprezintă temperatura medie măsurată. Componenta continuă a tensiunii de ieşire variază între 0V (la echilibru, când temperaturile programată şi măsurată sunt egale) şi 3V (atunci când diferența dintre temperatura programată şi cea măsurată, exprimate sub forma a doi octeți împachetați BCD, este maximă, adică atunci când temperatura programată coincide cu capătul superior al intervalului de temperatură (+99^{o}C) iar temperatura măsurată coincide cu capătul inferior al intervalului (0^{o}C), conform ecuației:

$$(PWM_1)_{min} = 0;$$
$$(PWM_1)_{min} = 99_{BCD} = 153_Z; \qquad (8.22)$$
$$(V_{out})_{max} = \frac{153}{255} \cdot 5V = 3V$$

8.2.3 ETAJELE DE IEŞIRE PENTRU COMANDA ELEMENTELOR DE EXECUȚIE

Fiecare etaj de ieşire pentru comandă foloseşte ca informație primară impulsurile de la ieşirea corespunzatoare modulată în durată a microcontroller-ului 80C552 pe care o prelucrează (integrare cu un circuit simplu de tip RC şi eşantionare-memorare în vederea obținerii componentei continue a acestora, inversarea polarității tensiunii şi amplificare cu doi, sumare cu o tensiune de referință cu valoare ajustabilă în limite de ±10% în jurul tensiunii de 8V), pentru a o utiliza drept tensiune de comandă a unui circuit de comandă pe fază a tiristoarelor. Tiristorul comandat are drept sarcină elementul de încălzire sau elementul de ventilație, pentru controlul temperaturii.

Circuitul de integrare, de tip RC, este astfel proiectat încât să se încheie procesele tranzitorii de la ieşirea sa în situația în care factorul de umplere al impulsurilor de la ieşire este maxim (valoarea sa maximă este de 60%). Conform ecuației:

$$t_1 = RC \ln 10 = 2{,}3\tau = 60\% \cdot \frac{1}{1kHz} = 0{,}6ms \qquad (8.23)$$

se alege C=62nF şi R=10kΩ.

Circuitul de eşantionare-memorare folosit, de tip LF198, este un circuit realizat monolitic, ce utilizează tehnologia BI-FET pentru a obține o exactitate superioară atât în curent continuu, cât şi pentru achiziția semnalelor rapid variabile. Funcționând ca circuit repetor, acesta este caracterizat printr-o exactitate de 0,002% a amplificării şi de un timp de achiziție de 5 μs, pentru o exactitate de 0,01%. Folosirea tehnologiei bipolare în realizarea etajului de intrare asigură tensiuni de offset mici şi o bandă largă de frecvență (1 MHz), fără probleme de stabilitate. Impedanta de intrare, de 10^{10} Ω, permite achiziționarea semnalelor de excitație ce provin de la surse de semnal cu impedanță internă ridicată, fără a fi afectată exactitatea. Amplificatorul de ieşire combină dispozitive bipolare şi tranzistoare JFET cu canal P, pentru a putea asigura rate de cădere de 5mV/min, uilizând o capacitate de memorare de 1μF.

Frontul căzător al fiecărui impuls de la ieşirea modulată în durată va determina circuitul de eşantionare-memorare să intre în starea de memorare, reținând de fapt valoarea maximă de tensiune de la ieşirea circuitului de integrare.

Ieşirea circuitului de eşantionare-memorare este aplicată pe una dintre cele două intrări ale unui sumator inversor cu amplificare -2. Pe cea de-a doua intrare se aplică o tensiune de referință cu valoarea de -4V. La ieşirea sumatorului se obține o tensiune pozitivă variind între 8V (la echilibru termic) şi respectiv 2V (când diferența dintre temperaturile programată şi măsurată este maximă). Această tensiune constituie semnalul de control al circuitului de comandă a tiristorului ce acționează elementul de încălzire/ventilație. Diagrama de funcționare a acestui circuit este reprezentată în fig. 8.4.

Descrierea funcționării circuitului βAA145 poate fi rezumată astfel:

- funcționarea circuitului este sincronizată cu frecvența rețelei electrice de alimentare (prin intermediul unui divizor rezistiv de tensiune căruia i se aplică tensiunea rețelei). Acest divizor este constituit din două rezistențe R_1=22kΩ şi R_2=8,2kΩ. Puterea disipată de către rezistența R_1 este de circa 2,2W şi, de aceea, se alege R_1=22kΩ/3W;
- generatorul de rampă din structura circuitului generează o tensiune liniar variabilă sincronizată cu frecvența rețelei, aşa după cum reiese din fig. 8.4. Această tensiune, denumită v_R, are o amplitudine de 8V, amplitudine determinată de blocul intern de alimentare a circuitului;
- pe intrarea de comandă a fazei se aplică o tensiune de control, denumită v_S, provenită de la ieşirea circuitului de eşantionare-memorare;
- ori de câte ori se manifestă coincidența între tensiunea de comandă şi rampa crescătoare a tensiunii liniar variabile, se generează un impuls de comandă pe poarta tiristorului (triacului), a cărui durată este determinată de elementele de temporizare ale unui circuit basculant

monostabil din structura circuitului βAA145. Elementele de temporizare, P_2=250kΩ, R_6=5,6kΩ, C_3=47nF, permit reglarea duratei impulsurilor de comandă între 0,1ms şi 4ms. Comanda triacului se face în cadranele I şi III prin implementarea unei funcţii de tip ŞI-cablat între ieşirile de comandă ale circuitului. Aceste ieşiri sunt de tip colector în gol şi au prevăzute rezistenţe de pull-ul, cu valoarea de 820Ω. Deoarece curentul de poartă al triacului este de maxim 300mA, este necesară buffer-area în curent a acestora cu ajutorul unui tranzistor de medie putere, de tip BD135/137/139.

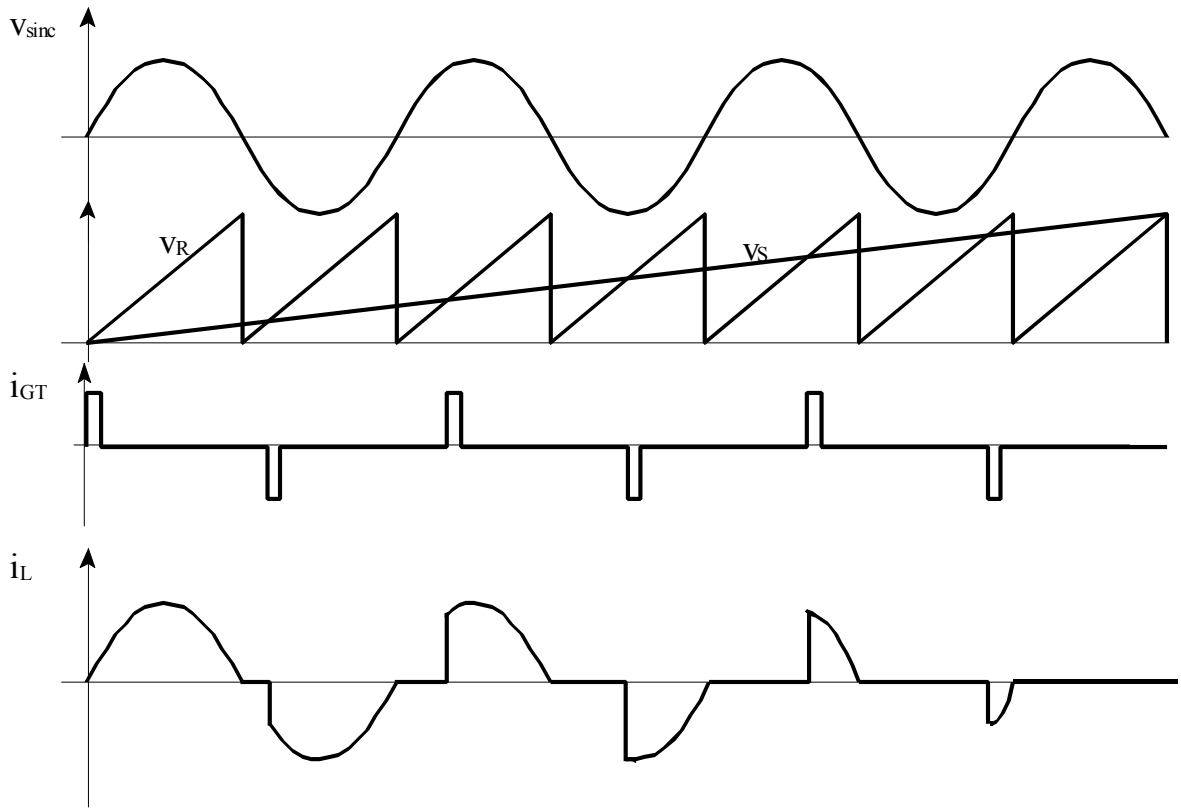


Fig. 8.4 Diagrama temporală de functionare a elementelor de comandă.

Schema de principiu a etajului de comandă pe fază a triacului este prezentată în fig. 8.5.

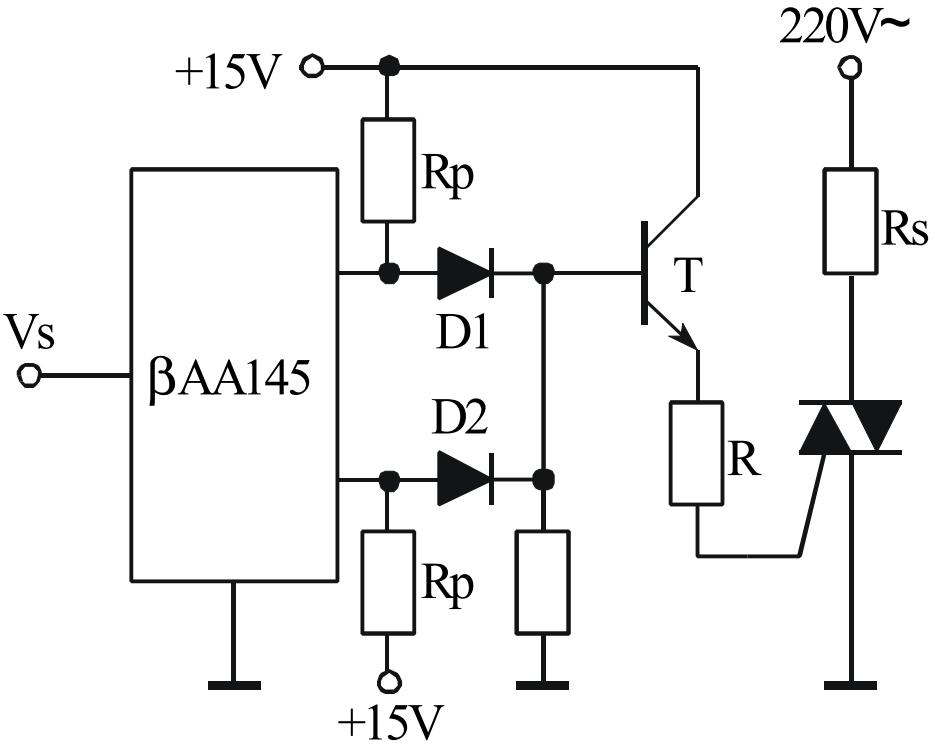


Fig. 8.5 Schema de principiu a etajului de comandă pe fază.

8.3 SOFTWARE DE ANALIZĂ A REZULTATELOR

Software-ul de analiză şi monitoriyare a temperaturilor prelevate dintr-un proces este realizat sub forma unui ***instrument virtual***, implementat cu ajutorul programului **HP VEE - for Windows** -versiunea 3.12 (July 07 1995) @ Copyright Hewlett-Packard Corporation 1991-1995.

Acest program lucrează cu obiecte predefinite sau create de către utilizator, care sunt plasate în spațiul de lucru şi care sunt interconectate pentru a realiza o diagramă-bloc executabilă. Fiecare obiect permite vizualizarea sa în două moduri:

- modul de vizualizare restrânsă (ca ***icon*** în **Windows**);
- modul de vizualizare detaliată (***detail view***).

De asemenea, fiecare obiect este caracterizat de un meniu propriu, care permite modificarea dimensiunii, poziției, titlului, precum şi altor atribute ale acestuia.

Am fost creat ***un instrument virtual de monitorizare a temperaturii***, intitulat **PROTERM**. Acest intrument este, de fapt, un obiect creat de utilizator, ce permite:

- demararea procesului de analiză, prin acționarea butonul "***Run***", prezent pe panoul global al oricărei aplicații **HP VEE**. La demararea procesului de analiză, este deschisă o fereastră din care poate fi selectat

fişierul de date folosit ca punct de plecare în cadrul reprezentării grafice a temperaturilor. Fişierele de date sunt de tip standard de date, cu extensia ***.dat***, conţinând pe câte doi octeţi eşantioanele de pe un număr de maxim opt canale;

- selectarea mărimilor de intrare prin intermediul unor liste circulare ce dispun de următoarele opţiuni:
  - vizualizarea formei de variaţie a două temperaturi din cele maxim opt posibile;
  - selectarea valorii iniţiale a eşantioanelor ce urmează a fi afişate, prin intermediul unui comutator rotativ, denumit ***knob***, în gama 0÷20000 şi cu o rezoluţie de 256 puncte. Acest ***knob*** poartă denumirea sugestivă de "***From sample…***";
  - selectarea valorii finale a eşantioanelor ce urmează a fi afişate, de asemenea prin intermediul unui ***knob***, gradat între 0 şi 20000, cu o rezoluţie de 256 puncte. Acest ***knob*** poartă de numirea sugestivă de "…***To sample***";
  - vizualizarea simultană a doi parametri: formă de semnal de comandă, formă de semnal de răspuns al sistemului, cu ajutorul a două instrumente de tip osciloscop, care indică:

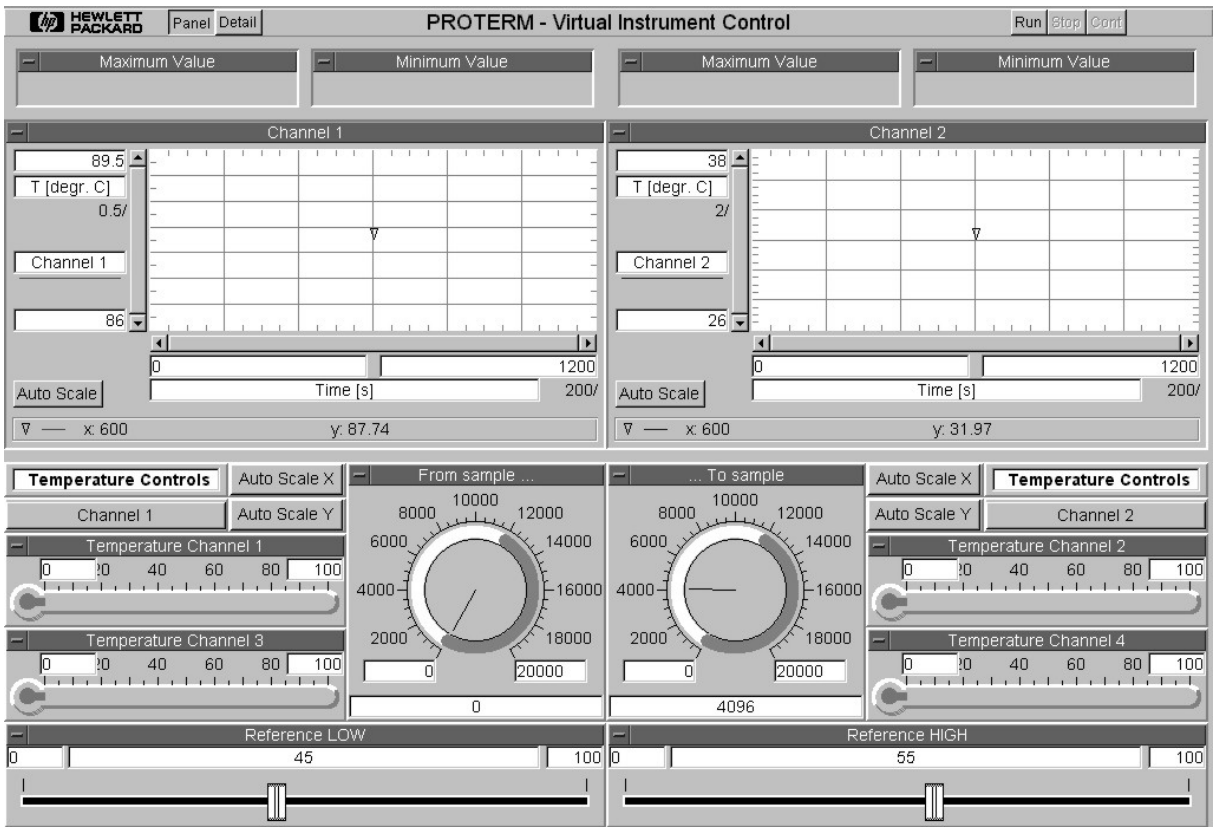


Fig. 8.6 Panoul frontal al instrumentului virtual **PROTERM**.

- prin intermediul *titlului*, imaginile grafice ce se vizualizează la un

moment dat;
- indicații ale mărimilor corespunzătoare fiecărei axe, cum ar fi: *numele* mărimii (de exemplu: *timp* pentru axa Ox, respectiv *temperatură*, pentru axa Oy), *unitatea de măsură* a acesteia, *intervalul de vizualizare* şi *gradarea axelor* (unități pe diviziune);
- prin intermediul unui ***marker***, se pot obține informații, legate de valoarea instantanee a semnalelor, în funcție de timp;
- instrumentul de vizualizare prezintă facilități de autoscalare, fie independent pe fiecare axă prin intermediul unor butoane dedicate fiecărui instrument, fie simultan pe ambele axe prin intermediul unui buton cu care este echipat instrumentul de vizualizare de tip osciloscop;

- afişarea, sub formă numerică, a *valorilor minime şi maxime a parametrilor*, atât pentru comandă, cât şi pentru răspuns, prin intermediul a patru indicatoare alfanumerice.

Trebuie menționat că toate ***butoanele*** şi ***knob***-urile, prin intermediul cărora este controlat procesul de achiziție şi analiză, prezintă facilități de "***autoexecute***", ceeea ce înseamnă că acționarea oricăruia dintre ele determină declanşarea unui nou proces de analiză.

În fig. 8.6 este reprezentat panoul frontal al instrumentului virtual **PROTERM**.

8.3.1 IMPLEMENTAREA ANALIZORULUI PROTERM

Fig. 8.7 conține reprezentarea detaliată a blocurilor care compun instrumentul virtual intitulat **PROTERM** şi bazat pe platforma Windows HP VEE 3.12.

Aceste blocuri funcționale sunt:
- *modulul de prelucrare primară a fişierului de date de intrare*, primind ca intrare un fişier cu extensia ***.dat***. Acest bloc furnizează ca ieşiri un număr de maxim opt vectori conținând eşantioanele sub formă numerică a mărimilor de intrare;
- *circuitele de control ale dispozitivelor de afişare*;
- *dispozitivele de afişare*, de tip oscilograf;
- *blocul de afişare sub formă digitală a valorilor minime/maxime* ale semnalelor de intrare.

Toate aceste blocuri funcționale sunt înglobate într-un obiect utilizator nou creat, având două posibilități de reprezentare:
- reprezentarea detaliată - ***detail*** - (fig. 8.7), în care sunt puse în evidență blocurile şi interconexiunile funcționale;
- reprezentarea de tip panou - ***panel*** -, care ilustrează panoul propriu-zis

al analizorului, adică dispozitivul de afişare, reprezentat în fig. 8.6.

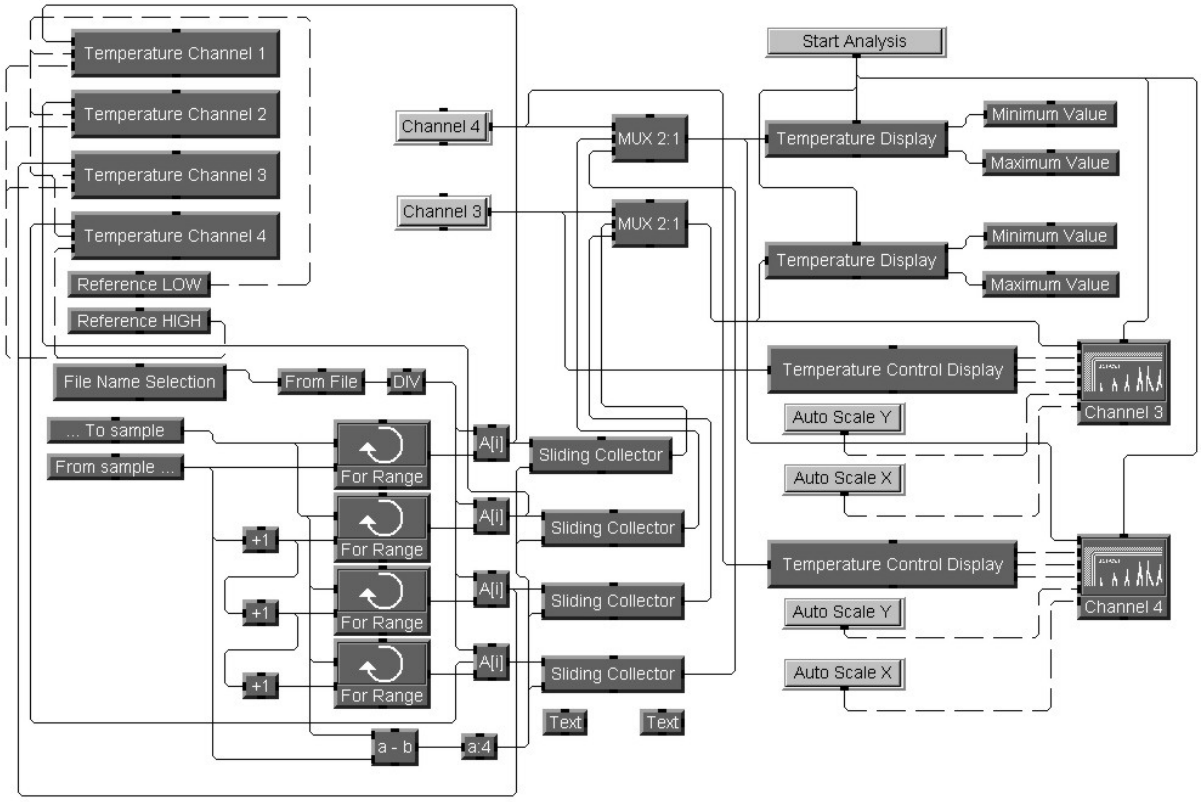


Fig. 8.7 Reprezentarea detaliată a analizorului **PROTERM**.

8.4 LISTINGUL APLICAŢIEI DE MĂSURARE ŞI CONTROL A TEMPERATURII

```
; ****************************************************************
;  PROGRAM PENTRU ECHIPAMENTE DE MASURARE SI CONTROL A TEMPERATURII
; CU UNITATE CENTRALA DE PRELUCRARE LOCALA CU MICROCONTROLLER 80C552
;            IN LIMBAJ DE ASAMBLARE AL FAMILIEI 80X51
; ****************************************************************
      ORG   8000H ; adresa de inceput a programului
; secventa de declarare a resurselor suplimentare ale microcontroller
; 80C552 utilizate in cadrul aplicatiei
      ADCON equ   0C5H        ; adresa registrului ADCON
      ADCH  equ   0C6H        ; adresa registrului ADCH
      PWMP  equ   0FEH        ; adresa registrului PWMP
      PWM0  equ   0FCH        ; adresa registrului PWM0
      PWM1  equ   0FDH        ; adresa registrului PWM1
; secventa de initializare echipamentului si de programare a
; parametrilor de functionare (introducerea valorii temperaturii
; programate).
      LJMP    INIT            ; salt la eticheta INIT
INIT: ACALL   INILCD          ; apel rutina initializare LCD
      ACALL   CLRLCD          ; apel rutina stergere LCD
      MOV     DPTR,#TEXT      ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                              ; ceput a sirului de caractere TEXT
```

```
      ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
      MOV     R2,#0C0H        ; pozitionare pe a doua linie
      ACALL   WRCMD           ; scriere comanda pozitionare la LCD
      INC     DPTR            ; incrementare DPTR (linia a doua)
      ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
      ACALL   SEC             ; mentine starea afisajului 3 sec.
      ACALL   CLRLCD          ; apel rutina stergere LCD
      MOV     DPTR,#TEXT1     ; se memoreaza in DPTR adresa de in-
                              ; ceput a sirului de caractere TEXT1
      ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
      MOV     R2,#1100B       ; display on, cursor off, flash off
      ACALL   WRCMD           ; scrie comanda la LCD
      MOV     R2,#8DH         ; scrie in R2 pozitia cursorului
      ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
      MOV     R2,#0DFH        ; codul caracterului grade
      ACALL   TRX             ; scrie codul caracterului la LCD
      MOV     R2,#0C0H        ; pozitionare pe a doua linie
      ACALL   WRCMD           ; scriere comanda pozitionare la LCD
      INC     DPTR            ; incrementare DPTR (linia a doua)
      ACALL   TRX1            ; apel rutina de transmisie mesaj
      MOV     R2,#1100B       ; 1, display on, cursor off, flash off
      ACALL   WRCMD           ; scrie comanda la LCD
      MOV     R2,#0CDH        ; scrie in R2 pozitia cursorului
      ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
      MOV     R2,#0DFH        ; codul caracterului grade
      ACALL   TRX             ; scrie codul caracterului la LCD
      MOV     A,#20           ; se incarca acumulatorul cu #20 pentru
                              ; frecventa semnalului de iesire sa
                              ; fie 1kHz=11,059MHz/(2*(1+20)*255)
      MOV     PWMP,A          ; se programeaza registrul PWMP
      ACALL   KEY             ; citire tastatura
      MOV     R2,#1110B       ; display on, cursor off, flash off
      ACALL   WRCMD           ; scrie comanda la LCD
      MOV     R2,#08BH        ; adresa scriere cod tasta
      ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
      MOV     A,R1            ; codul hexa al tastei in acumulator
      MOV     R4,A            ; transfera acumulatorul in R4
      CALL    HEXASC          ; conversie in ASCII a codului tastei,
                              ; pentru afisare pe LCD
      MOV     R2,A            ; codul hexa al tastei in acumulator
      ACALL   TRX             ; scrie la LCD codul tastei
      ACALL   SEC             ; rutina intarziere
      ACALL   KEY             ; citire tastatura
      MOV     A,R1            ; codul hexa al tastei in acumulator
      MOV     R5,A            ; transfera acumulatorul in R5
      CALL    HEXASC          ; conversie in ASCII a codului tastei,
                              ; pentru afisare pe LCD
      MOV     R2,A            ; codul HEXA al tastei apasate in R2
      ACALL   TRX             ; scrie la LCD codul tastei
      MOV     A,R4            ; transfera in acumulator registrul R4
      SWAP    A               ; interschimb biti acumulator
      ORL     A,R5            ; sau logic intre acumulator si R5
      MOV     R4,A            ; transfer acumulator in R4 - va contine
                              ; forma BCD a temperaturii prescrise
; secventa de masurare in bucla a celor 8 valori ale temperaturii, de la
; cele 8 traductoare de temperatura, calculul temperaturii din valorile
; binare citite de la convertorul A/D si stocarea in memorie a fiecarui
; rezultat incepand de la adresa B000H
ACH:  MOV     DPTR,#0B000H    ; adresa de inceput a bufferului de memorie
      CLR     A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
      MOV     R1,#00H         ; R1 este initializat si va memora canalul
```

```
                              ; de intrare selectat
      MOV     R5,#08H         ; numarul maxim de canale de intrare
ACH11:MOV     A,R1            ; selectarea canalului de intrare
      ORL     A,#08H          ; bitii de control
      MOV     ADCON,A         ; start conversie prin software
WAIT: MOV     A,ADCON         ; A:=registrul de stare al A/D
      JNB     ACC.4,WAIT      ; asteapta terminarea conversiei
      MOV     A,ADCH          ; citeste rezultatul conversiei
      MOV     B,#2            ; B pentru impartire la 2
      DIV     AB              ; obtine cod binar temperatura
      MOVX    @DPTR,A         ; salveaza in memorie temperatura
                              ; citita de la traductorul "i"
      INC     DPTR            ; incrementeaza pointerul adresei
                              ; din bufferul de memorie
      INC     R1              ; adresa canalului urmator
      DJNZ    R5,ACH11        ; se decrementeaza registrul R5 si
                              ; salt la conversia A/D pe canalul
                              ; urmator daca R5 nu este nul
; secventa de calcul a mediei aritmetice a celor 8 valori ale tem-
; peraturii, in raport cu care se efectueaza reglarea temperaturii.
; calculul sumei celor 8 valori ale temperaturilor masurate
      MOV     R5,#08H         ; numarul maxim de valori de sumat
      MOV     DPTR,#0B000H    ; adresa de inceput a bufferului de
                              ; memorie
      MOV     R1,#00H         ; initializarea octet inferior suma
      MOV     R2,#00H         ; initializarea octet superior suma
SUM:  MOVX    A,@DPTR         ; citire in A a unei valori din buffer
      ADD     A,R1            ; adunare cu valoare (suma) anterioara
      MOV     R1,A            ; salvare suma partiala (octet inf.)
      MOV     A,R2            ; citire octet superior suma partiala
      ADDC    A,#0            ; eventual propagarea transportului
      MOV     R2,A            ; salvare octet superior rezultat
      INC     DPTR            ; incrementare adresa buffer memorie
      DJNZ    R5,SUM          ; decrementare contor R5 si salt la
                              ; calculul unei alte sume partiale
                              ; daca contor nenul
; calculul valorii medii a temperaturii, prin impartirea sumei celor
; 8 valori ale temperaturilor la valoarea 8, ceea ce este echivalent
; cu shiftarea la dreapta cu 3 pozitii a rezultatului sumei obtinute
; anterior pe 2 octeti.
; rezultatul (valoarea medie a temperaturii) este continut in R1
      MOV     R3,#03H         ; R3 initializat cu numarul de shifturi
SHIFTR:
      MOV     A,R2            ; citeste octet superior in A
      CLR     C               ; stergere CARRY
      RRC     A               ; rotire la dreapta prin CARRY
      MOV     R2,A            ; salvare octet superior
      MOV     A,R1            ; citire octet inferior
      RRC     A               ; rotire la dreapta prin CARRY
      MOV     A,R1            ; salvare octet inferior
      DJNZ    R3,SHIFTR       ; decrementare contor si efectuarea
                              ; unei noi rotatii pe 2 octeti daca
                              ; continutul contorului este nenul
; secventa de transmisie seriala a valorii temperaturii medii masurate
; folosind interfata seriala de comunicatie a sistemului de masurare si
; control a temperaturii (1 bit de START, 8 biti de date, 1 bit STOP,
; fara semnale hardware de protocol, cu protocol software XON-XOFF)
      MOV     A,R1            ; citesc in acumulator valoarea
                              ; temperaturii medii
      MOV     SBUF,A          ; pun aceasta valoare in registrul de
                              ; transmisie pe seriala
```

```
      CLR     TI              ; resetez bitul TI (Transmit Interrupt)
WAIT1:JNB     TI,WAIT1        ; se asteapta in bucla pozitionarea pe
                              ; 1 a acestui bit (octet preluat)
      CLR     TI              ; initializare bit TI
; secventa de afisare locala pe LCD a valorii medii a temperaturii
; masurate (calcul cifrelor acesteia printr-un algoritm iterativ de
; impartire la 10, calcul valoare ASCII a cifrelor obtinute si afisare
; propriu-zisa) si codificarea sub forma a unui octet impachetat BCD a
; acestei valori medii, memorat in registru R5.
      MOV     R2,#1100B       ; 1,display on, cursor on, flash off
      ACALL   WRCMD           ; scriere comanda
      MOV     R2,#0CBH        ; adresa pentru prima cifra
      ACALL   WRCMD           ; pozitionare cursor
      MOV     A,R1            ; valoare binara temperatura medie
      MOV     B,#10           ; B pentru impartire la 10
      DIV     AB              ; in A cifra semnificativa a temperaturii
      ANL     A,#00FH         ; mascheaza bitii mai semnificativi
      MOV     R6,A            ; salveaza acumulatorul in R6
      ACALL   HEXASC          ; convertire in cod ASCII
      MOV     R2,A            ; in R2 codul caracterului
      ACALL   TRX             ; transmite caracter la LCD
      MOV     A,B             ; in A cifra mai putin semnificativa
                              ; a temperaturii
      ANL     A,#00FH         ; mascheaza bitii mai semnificativi
      MOV     R7,A            ; salveaza acumulatorul in R7
      ACALL   HEXASC          ; conversie in cod ASCII
      MOV     R2,A            ; R2 contine codul de afisat
      ACALL   TRX             ; scrie la LCD a doua cifra
      MOV     A,R6            ; transfera acumulatorul cu R6
      SWAP    A               ; interschimb biti acumulator
      ORL     A,R7            ; sau logic intre acumulator si R7
      MOV     R5,A            ; salveaza acumulatorul in R5 - va contine
                              ; forma BCD a temperaturii medii masurate
; secventa de reglare a temperaturii prin programarea celor doua iesiri
; modulate in durata (programarea factorilor de umplere cu o valoare pro-
; portionala cu diferenta intre valoarea programata si valoarea medie).
; doar una dintre iesiri va fi activa la un moment dat pentru controlul
; elementului de incalzire sau de racire.
      MOV     A,R4            ; citire in A a temperaturii programate
      SUBB    A,R5            ; scadere cu temperatura medie
      JC      LABEL1          ; daca rezultatul scaderii este negativ
                              ; salt la eticheta LABEL1
      CPL     A               ; daca rezultatul este pozitiv, este
                              ; complementat, pentru ca iesirea mo-
                              ; dulata in durata este complementata
      MOV     PWM1,A          ; programare iesire modulata in durata
      CLR     A               ; initializare acumulator
      CPL     A               ; complementare acumulator
      MOV     PWM0,A          ; dezactivare iesire modulata in durata
                              ; pentru comanda elementului de racire
; pentru comanda elementului de incalzire
      SJMP    LABEL2          ; salt neconditionat la eticheta LABEL2
LABEL1:
      CLR     A               ; initializare acumulator
      CPL     A               ; complementare acumulator
      MOV     PWM1,A          ; dezactivare iesire modulata in durata
                              ; pentru comanda elementului de incalzire
      MOV     A,R5            ; citire in A a temperaturii medii
      SUBB    A,R5            ; scadere cu temperatura programata
      CPL     A               ; rezultatul pozitiv este complementat,
                              ; pentru ca iesirea modulata in durata
```

```
                                ; este complementata
      MOV     PWM0,A            ; programare iesire modulata in durata
                                ; pentru comanda elementului de racire
LABEL2:
      ACALL   SEC               ; rutina de intarziere
      AJMP    ACH               ; reluare proces de achizitie
;
; secventa de subrutine scrise si utilizate in cadrul programului principal
;
; Rutina de citire a unei cifre zecimale de la o tastatura matriciala cu
; trei linii si patru coloane. Rezultatul citirii sub forma HEXA se afla
; in registrul R1.
;
KEY:  MOV     A,#0E0H           ; adresa primei linii de taste
      ACALL   PORT              ; apel subrutina de scriere/citire port
      JZ      NEXT              ; daca acumulatorul este zero (nu s-a
                                ; tastat nimic) salt la eticheta NEXT
      JNZ     COL               ; daca acumulatorul este nenul, salt la
                                ; eticheta COL
NEXT: MOV     A,#0D0H           ; adresa liniei a doua de taste
      ACALL   PORT              ; apel subrutina de scriere/citire port
      JZ      NEXT1             ; daca acumulatorul este zero, salt la
                                ; eticheta NEXT1
      JNZ     COL               ; daca acumulatorul este nenul, salt la
                                ; eticheta COL
NEXT1:
      MOV     A,#0B0H           ; adresa liniei a treia de taste
      ACALL   PORT              ; apel subrutina de sriere/citire port
      JZ      KEY               ; daca acumulatorul este nul, proces
                                ; ciclic de citire taste
      JNZ     COL               ; daca acumulatorul este nenul, salt la
                                ; eticheta COL, pentru determinarea co-
                                ; loanei pe care se afla tasta apasata
COL:  JB      ACC.0,COL0        ; daca bitul 0 al acumulatorului este 1,
                                ; tasta se afla pe coloana 0 si salt la
                                ; eticheta COL0
      JB      ACC.1,COL1        ; daca bitul 1 al acumulatorului este 1,
                                ; tasta se afla pe coloana 1 si salt la
                                ; eticheta COL1
      JB      ACC.2,COL2        ; daca bitul 2 al acumulatorului este 1,
                                ; tasta se afla pe coloana 2 si salt la
                                ; eticheta COL2
      JB      ACC.3,COL3        ; daca bitul 3 al acumulatorului este 1,
                                ; tasta se afla pe coloana 3 si salt la
                                ; eticheta COL3
COL0: MOV     R1,#00H           ; registrul R1 se incarca cu 0
      MOV     A,R3              ; se transfera in acumulator registrul R3
      SWAP    A                 ; interschimb biti acumulator
      ANL     A,#00001111B      ; mascare biti mai semnificativi
      JB      ACC.1,LINIE1      ; daca bitul 1 al acumulatorului este 1,
                                ; salt la eticheta LINIE1
      JB      ACC.2,LINIE2      ; daca bitul 2 al acumulatorului este 1,
                                ; salt la eticheta LINIE2
      SJMP    PLAY              ; salt la eticheta PLAY
COL1: MOV     R1,#01H           ; registrul R1 se incarca cu 1
      MOV     A,R3              ; se transfera in acumulator registrul R3
      SWAP    A                 ; interschimb biti acumulator
      ANL     A,#00001111B      ; mascare biti mai semnificativi
      JB      ACC.1,LINIE1      ; daca bitul 1 al acumulatorului este 1,
                                ; salt la eticheta LINIE1
      JB      ACC.2,LINIE2      ; daca bitul 2 al acumulatorului este 1,
```

```
                              ; salt la eticheta LINIE2
      SJMP    PLAY            ; salt la eticheta PLAY
COL2: MOV     R1,#02H         ; registrul R1 se incarca cu 2
      MOV     A,R3            ; se transfera in acumulator registrul R3
      SWAP    A               ; interschim biti acumulator
      ANL     A,#00001111B    ; mascare biti mai semnificativi
      JB      ACC.1,LINIE1    ; daca bitul 1 al acumulatorului este 1,
                              ; salt la eticheta LINIE1
      JB      ACC.2,LINIE2    ; daca bitul 2 al acumulatorului este 1,
                              ; salt la eticheta LINIE2
      SJMP    PLAY            ; salt la eticheta PLAY
COL3: MOV     R1,#03H         ; registrul R1 se incarca cu 3
      MOV     A,R3            ; se transfera in acumulator registrul R3
      SWAP    A               ; interschimb biti acumulator
      ANL     A,#00001111B    ; mascare biti mai semnificativi
      JB      ACC.1,LINIE1    ; daca bitul 1 al acumulatorului este 1,
                              ; salt la eticheta LINIE1
      JB      ACC.2,LINIE2    ; daca bitul 2 al acumulatorului este 1,
                              ; salt la eticheta LINIE2
      SJMP    PLAY            ; salt la eticheta PLAY
LINIE1:
      MOV     A,#04H          ; acumulatorul se incarca cu 4
      ADD     A,R1            ; aduna acumulatorul cu R1
      MOV     R1,A            ; se transfera acumulatorul in R1
      SJMP    PLAY            ; salt la eticheta PLAY
LINIE2:
      MOV     A,#08H          ; acumulatorul se incarca cu 8
      ADD     A,R1            ; aduna acumulatorul cu R1
      MOV     R1,A            ; se transfera acumulatorul in R1
      SJMP    PLAY            ; salt la eticheta PLAY
PLAY: RET                     ; revenire din subrutina
;
; Rutina de scriere la un port de iesire si de citire de la un port de in-
; trare. Informatiile sunt vehiculate prin intermediul acumulatorului.
;
PORT: MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
      MOV     R0,#20H         ; incarca R0 cu 0010 0000 B:
                              ; selectie port de iesire 1 (S1=0)
      MOVX    @R0,A           ; muta continutul acumulatorului
                              ; la portul de iesire 1 (AX0=0)
      MOV     P2,#1           ; selecteaza decodificatorul (A8=1)
      MOV     R0,#60H         ; incarca R0 cu 0110 0000B:
                              ; selecteaza portul de intrare
      MOVX    A,@R0           ; citeste in acumulator valorea gasita
                              ; la adresa specificata anterior
      CPL     A               ; complementeaza acumulatorul
      MOV     R3,A            ; salveaza valoarea in registrul R3
      ANL     A,#0FH          ; mascheaza bitii mai semnificativi
                              ; ai acumulatorului (codul liniei)
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Rutina de scriere sir de caractere la afisajul cu cristale lichide LCD.
;
TRX1: CLR     A               ; initializeaza acumulatorul cu 0
      MOVC    A,@A+DPTR       ; muta in acumulator adresa gasita
                              ; la adresa @A+DPTR
      CJNE    A,#24H,TRCAR1   ; compara continutul acumulatorului
                              ; cu #24H (codul hexa al caracterului
                              ; $ - sfarsit de mesaj) si daca este
                              ; diferit se efectueaza salt la eticheta
                              ; TRCAR1
```

```
      RET                     ; revenire din subrutina
TRCAR1:
      MOV     R2,A            ; muta continutul acumulatorului in
                              ; registrul R2
      ACALL   WRDAT           ; apel subrutina de scriere date in
                              ; registrele afisajului LCD
      INC     DPTR            ; adresa urmatorului caracter de scris
      SJMP    TRX1            ; small jump la eticheta TRX1, pentru
                              ; a scrie urmatorul caracter
;
; Rutina de intarziere cu 0.5 secunde:
; 0.5sec = (7 instr. NOP x 12 perioade ceas/NOP x 256 x 256)/11,059MHz.
;
SEC:  MOV     R6,#255         ; se incarca registrul R6 cu #255
LOOP1:MOV     R7,#255         ; se incarca registrul R7 cu #255
LOOP: NOP                     ; 7 instructiuni NOP
      NOP
      NOP
      NOP
      NOP
      NOP
      NOP
      DJNZ    R7,LOOP         ; se decrementeaza registrul R7 si
                              ; daca este nenul, salt la LOOP
      DJNZ    R6,LOOP1        ; se decrementeaza registrul R6 si
                              ; daca este nenul, salt la LOOP1
      RET                     ; revenire din subrutina
;
TEXT: DB 'PROGRAMARE TEMP:$'  ; text prezentare 1, linia 1
      DB '(TEMP.: 0 .. 99)$'  ; text prezentare 1, linia 2
TEXT1:DB 'TEMP. REF: 00 C $'  ; text prezentare 2, linia 1
      DB 'TEMP. MAS: 00 C $'  ; text prezentare 2, linia 2
;
; Rutina de conversie hexa-ascii. Sursa si destinatia sunt constituite de
; acumulator.
;
HEXASC:
      ANL     A,#0FH          ; se mascheaza cei patru biti mai
                              ; semnificativi ai acumulatorului
      JNB     ACC.3,NOADJ     ; daca bitul 3 = 0 salt la NOADJ
      JB      ACC.2,ADJ       ; daca bitul 2 = 1 salt la ADJ
      JNB     ACC.1,NOADJ     ; daca bitul 1 = 0 salt la NOADJ
ADJ:  ADD     A,#07H          ; aduna acumulatorul cu #07H
NOADJ:ADD     A,#30H          ; aduna acumulatorul cu #30H
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Rutina de transmisie la LCD a unui caracter ASCII continut in registrul
; R2.
;
TRX:  CLR     A               ; se initializeaza acumulatorul cu 0
      MOV     A,R2            ; se transfera continutul registrului
                              ; R2 in acumulator
      LJMP    TRCAR           ; long jump la eticheta TRCAR
LL7:  RET                     ; revenire din subrutina
TRCAR:MOV     R2,A            ; se restaureaza in R2 continutul Acc.
      ACALL   WRDAT           ; se scriu datele in driverele LCD
      SJMP    LL7             ; short jump la eticheta LL7
;
; Rutina de initializare LCD. Aceasta rutina trimite la LCD comanda #38H =
; = 0011 1000B. Conform datelor de catalog, acesta comanda seteaza urmato-
; rii parametri ai afisajului:
```

```
;       - bitul 5 - defineste aceasta comanda (function set);
;       - bitul 4(DL-Data Length)=1 seteaza dialogul pe 8 biti
;         intre procesor si LCD;
;       - bitul 3(N-Number of display lines)=1 seteaza numarul
;         liniilor afisajului ca fiind 2^N=2;
;       - bitul 2(F-Character Font)=0 seteaza forma caracterului
;         ca fiind 5*7 puncte.
;
INILCD:
      MOV     R2,#38H         ; incarca R2 cu cuvantul de comanda
                              ; pregatind dialogul pe 8 biti cu
                              ; driverele de afisaj
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda anterioara la
                                ; port, efectuand programarea LCD
      MOV     R4,#50          ; se incarca registrul R4 cu valoarea
                              ; imediata 50
DEL4MS:
      ACALL   DELAY           ; apel subrutina DELAY
      DJNZ    R4,DEL4MS       ; se decrementeaza registrul R4 si
                              ; salt la eticheta DEL4MS daca conti-
                              ; nutul acestuia este nenul
      MOV     R4,#4           ; se incarca R4 cu valoarea imediata 4
LINI: ACALL   WRCMD           ; se scrie comanda la driverele LCD
      ACALL   DELAY           ; apel subrutina DELAY
      DJNZ    R4,LINI         ; se decrementeaza registrul R4 si salt
                              ; la eticheta LINI daca este nenul con-
                              ; tinutul acestui registru
      ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
      MOV     R2,#6           ; seteaza modul de lucru "entry"
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
      ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
      MOV     R2,#0EH         ; seteaza modul "display on"
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
      ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
      MOV     R2,#1           ; seteaza modul "clear LCD"
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
      ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Subrutina de stergere a afisajului cu cristale lichide si setare a modu-
; lui de lucru.
;
CLRLCD:
      MOV     R2,#1           ; stergere afisaj LCD
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
      MOV     R2,#1100B       ; display on, cursor off, flash off
      ACALL   WRCMD           ; transmite comanda la LCD
      RET                     ; revenire din rutina de CLRLCD
;
; Rutina ce testeaza daca este sau nu posibila transmiterea unui nou carac-
; ter catre LCD, pe baza informatiilor furnizate de rutina RDCMD. Se tes-
; teaza bitul 7 (BF - Busy Flag) al registrului de stare al LCD. Daca BF=1,
; inseamna ca LCD efectueaza o operatie interna si, deci, nu poate accepta
; un nou caracter.
;
WLCD: ACALL   RDCMD           ; apel rutina RDCMD
      JB      ACC.7,WLCD      ; se verifica daca BF=1 si asteapta
                              ; trecerea lui in 0 (terminarea ope-
                              ; ratiunilor interne)
      RET                     ; revenire din subrutina
;
```

```
; Subrutina RDCMD selecteaza afisajul si citeste din registru de stare
; starea curenta a driverelor acestuia, informatie care este depusa in
; acumulator.
;
RDCMD:
      MOV     P2,#1           ; selectie port (S0=1)
      MOV     R0,#2           ; se realizeaza pe magistrala de adrese
                              ; selectia cu A0 si A1 (0000 0010 B),
                              ; pentru a se citi starea driverelor de
                              ; afisaj
      MOVX    A,@R0           ; se transfera in acumulator valoarea
                              ; gasita la adresa specificata anterior
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Rutina WRCMD scrie o comanda la driverele de afisaj, in urma verificarii
; starii acestora. Se selecteaza afisajul LCD si comanda continuta de re-
; gistrul R2 este transferata driverelor din LCD.
;
WRCMD:
      ACALL   WLCD            ; se verifica starea driverelor (BF=0)
      MOV     A,R2            ; comanda continuta in registrul R2 e
                              ; transferata in acumulator
      MOV     P2,#1           ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
      MOV     R0,#0           ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                              ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0000 B,
                              ; corespunzatoare scrierii unei comenzi
                              ; la driverele afisajului LCD
      MOVX    @R0,A           ; se scrie in driverele afisajului LCD
                              ; (la adresa stabilita anterior) comanda
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Subrutina WRDAT este identica cu WRCMD dar este utilizata pentru scrie-
; rea la driverele LCD codul caracterelor ce urmeaza a fi afisate.
;
WRDAT:
      ACALL   WLCD            ; testarea starii driverelor LCD
      MOV     P2,#1           ; se selecteaza portul LCD (S0=1)
      MOV     R0,#1           ; se selecteaza pe magistrala de adrese
                              ; cu A0 si A1 combinatia 0000 0001 B,
                              ; corespunzatoare scrierii unui caracter
                              ; la driverele afisajului LCD
      MOV     A,R2            ; se transfera caracterul in acumulator
      MOVX    @R0,A           ; se transmite caracterul driverelor LCD
      RET                     ; revenire din subrutina
;
; Subrutina DELAY realizeaza o intarziere cu 80 microsecunde.
;
DELAY:
      MOV     R3,#17          ; registrul R3 este incarcat cu valoarea
                              ; imediata 17
                              ; 80E-6secunde = 17 * 2instructiuni NOP *
                              ; * 12 perioade de ceas/instructiune NOP*
                              ; 1/11.059MHz (perioada ceas procesor)
LL1:  NOP                     ; no operation
      NOP                     ; no operation
      DJNZ    R3,LL1          ; se decrementeaza registrul R3 si se com-
                              ; para continutul sau cu 0. Daca rezultatul
                              ; comparării este 1, salt la eticheta LL1
      RET                     ; revenire din subrutina
      END                     ; sfarsitul programului
```

9. IMPLEMENTAREA HARDWARE-SOFTWARE A UNUI INSTRUMENT DE VIZUALIZARE A SEMNALELOR (EASY SCOPE)

În cadrul acestui capitol se va prezenta structura hardware şi software a unui osciloscop digital cu două canale de intrare, a cărui arhitectură este organizată în jurul unui microcontroller PIC16C71 funcționând cu o frecvență a ceasului de 20MHz. În esență, este utilizată secțiunea de conversie analog-digitală implementată în cadrul familiei de circuite PIC16Cxx, completată cu o schemă originală, simplă dar eficientă de prelucrare analogică a semnalelor, pentru a se realiza compatibilizarea cu circuitele de intrare uzuale ale osciloscoapelor analogice şi digitale (impedanță de intrare cu valoarea de 1MΩ, trepte de atenuare de 1:1, 1:2, 1:5, 1:10).

9.1 DESCRIEREA FUNCȚIONALĂ A OSCILOSCOPULUI DIGITAL EASY SCOPE

Orice pasionat al electronicii, tehnician sau inginer, şi-ar dori să aibă propriul osciloscop. Însă în cele ami multe situații este dificilă justificarea costului ridicat al unui asemenea echipament de măsurare. Este mult mai probabil ca fiecare dintre aceşti specialişti să posede un calculator compatibil PC. Osciloscopul digital Easy Scope transformă calculatorul într-un osciloscop digital cu memorie, cu două canale. Ca şi un osciloscop analogic, un osciloscop digital cu memorie permite vizualizarea semnalelor electric epe ecran. Însă, spre deosebire de un osciloscop analogic, acesta converteşte semnalele de intrare în formă digitală prin eşantionarea intrărilor utilizând un convertor analog-digital. Acest procedeu conferă osciloscopului digital cu memorare avantaje comparativ cu unul analogic, ca de exemplu:

- capacitatea de a vizualiza un singur eşantion al semnalului analogic de intrare;
- capacitatea de a afişa forma de semnal atât dinaintea cât şi după un semnal de trigger;
- capacitatea de a salva datele pentru vizualizarea lor ulterioară sau pentru prelucrarerea acestora;

Bineînțeles că cei care preferă utilizarea osciloscoapelor analogice vor sublinia faptul că variantele digitale nu permit vizualizarea variațiilor semnalelor de intrare între două operații succesive de eşantionare ale acestora. Acest aspect poate constitui un dezavantaj în anumite situații deosebite.

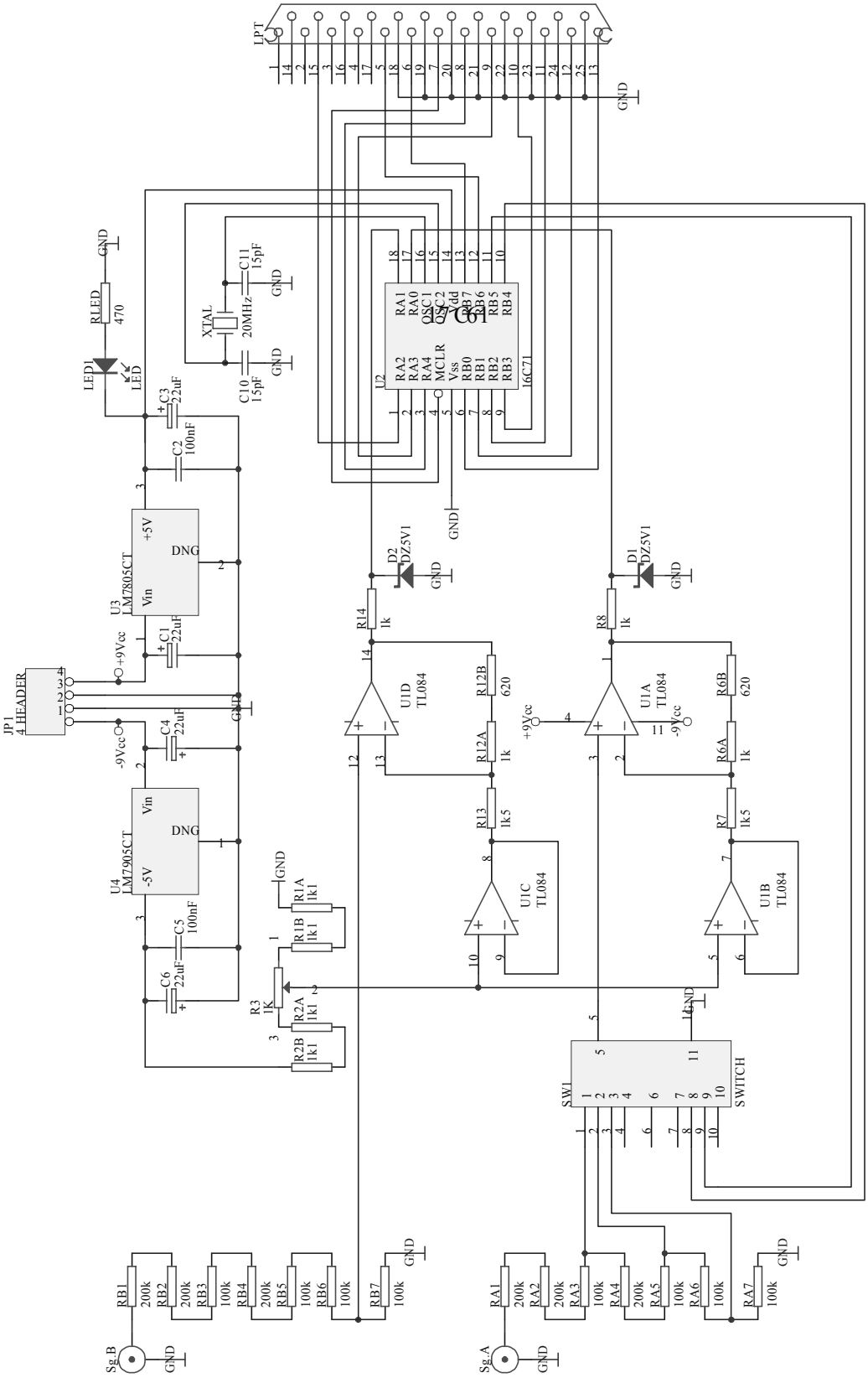


Fig. 9.1 Schema electrică a osciloscopului Easy Scope.

Osciloscopul Easy Scope este un osciloscop digital cu memorie (**D**igital

Storage **O**scilloscope - **DSO**), interfațabil cu calculatoare personale compatibile IBM PC, de preț redus şi caracterizat de următoarele caracteristici principale:

- cuplarea (interfațarea) pe portul paralel al calculatorului are avantajul de a nu solicita un conector (slot) de magistrală;
- este portabil, de dimensiuni reduse, funcționează alimentat de la baterii şi are un consum redus. În combinație cu un laptop, acest instrument devine un adevărat echipament de test;
- rata de eşantionare maximă este de aproximativ 50KHz, depinzând de frecvența de lucru a calculatorului;
- dispune de caracteristici **DVM** (**D**igital **V**olt**M**eter) pentru efectuarea de măsurători statice de tensiuni;
- dispune de 3 game de sensibilitate pentru intrări: ±2,4V, ±6,0V şi ±12V, utilizând o sondă de osciloscop 1×;
- poate fi utilizată o sondă de osciloscop 10× pentru a se obține trei game suplimentare de intrare (±24V, ±60V şi ±120V);
- software pentru PC uşor de utilizat;
- facilități de adaptare a circuitului pentru aplicații atipice.

Cum se poate să se înglobeze atât de multe facilități într-o construcție atât de compactă?

Circuitul conține două secțiuni analogice şi o secțiune digitală. Întrega schemă se bazează pe un microcontroller PIC16C71. Acesta prezintă avantaje substanțiale în comparație cu controller-ele din seria PIC16C5x, utilizte frecvent în multe aplicații. În plus față de circuitele PIC uzuale, 16C71 înglobează un convertor analog-digital (A/D).

Convertorul A/D implementat în cadrul microcontroller-ului PIC16C71 funcționează în gama 0 ... +5V. Pentru a utiliza convertorul analog-digital pentru mai multe game de tensiuni de intrare, inclusiv pentru tensiuni de intrare negative, este necesară utilizarea unei secțiuni de condiționare a semnalelor înainte de aplicarea acestora la intrările convertorului analog-digital. Osciloscopul digital Easy Scope dispune de două canale ce necesită condiționarea semnalelor de intrare înainte de aplicarea la intrările circuitului de conversie. Circuitul de condiționare a semnalului pentru canalul A este implementat cu un circuit TL084 (amplificator operațional cuadruplu), un comutor rotativ cu două secțiuni de câte 4 contacte şi o serie de rezistențe. În primul rând, semnalul este aplicat unui divizor rezistiv compus dintr-o grupare serie de rezistențe, cu rezistența totală de 1MΩ. Semnalul este preluat dintr-unul dintre cele trei puncte ale divizorului rezistiv (corespunzând atenuărilor de 1:2, 1:5 sau 1:10 față de semnalul de intare) prin intermediul comutatorului SW1. Semnalul atenuat este aplicat pe intrarea neinversoare a unui amplificator sumator-substractor realizat cu U1. Amplificarea acestuia este egală cu (R6/R7)+1. O tensiune de offset de 2,5V este suprapusă peste semnalul util. Această tensiune de offset este obținută prin intermediul unui divizor rezistiv

ajustabil (R1, R2 and semireglabilul multitură R3), căruia ie se aplică tensiunea stabilizată de –5V furnizată de un stabilizator integrat de tensiune de tip LM7905. Tensiunea de referință obținută pe cursorul semireglabilului trebuie să fie egală cu –2,3V şi poate fi ajustată fin prin reglarea lui R3. Această tensiune de referință este buffer-ată, utilizând un al doilea amplificator operațional în configurație de repetor de tensiune, şi este aplicată intrării inversoare a amplificatorului sumator-substractor. Aplicând o tensiune de 0V la intrarea canalului A, ieşirea amplificatorului sumator-substractor trebuie să fie de 2,5V. Dacă la intarea canalului A se aplică o tensiune negativă, ieşirea circuitului este mai mică decât 2,5V iar aplicarea unui semnal de polaritate pozitivă la intarea canalului A determină ca tensiunea de la ieşirea circuitului să fie superioară valorii de 2,5V. Ieşirea amplificatorului sumator-sub-stractor este aplicată intrării analogice RA0 a microcontroller-ului PIC16C71 prin intermediul unei rezistențe, R8. Dioda Zener D1 asigură protecția la suprateniune a intrării convertorului A/D, limitând excursia de semnal la intervalul –0,6V...+5,1V.

Cea de-a doua secțiune a comutatorului SW1 acționează asupra biților portului B (RB4 şi RB5) astfel:

RB4	RB5	Atenuare
1	1	1:2 (gama ±2,4V)
0	1	1:5 (gama ±6,0V)
1	0	1:10 (gama ±12V)

Aşa cum se poate observa din analiza schemei electrice a osciloscopului Easy Scope, circuitul de condiționare a semnalului pentru canalul B este identic cu cel implementat pentru canalul A, cu excepția faptului că pentru acest canal s-a ales gama fixă de tensiuni de intrare ±12V. În variantele ulterioare se pot prevedea facilități de selecția a gamelor de tensiuni de intrare la fel ca pentru canalul A, utilizând un comutator SW1 cu 3 secțiuni.

Convertorul A/D din cadrul microcontroller-ului PIC16C71 este setat să efectueze conversii ale semnalelor analogice aplicate intrărilor RA0 şi RA1, furnizând rezultatele sub formă binară (0...255). Intreruperea de la timer-ul intern din structura circuitului PIC16C71 este utilizată pentru generarea unei baze de timp stabile în vederea eşantionării. La apariția întreruperii generate de timer se citeşte conținutul registrului ADRES, valoarea citită este memorată şi se declanşează o nouă conversie A/D. Dacă rata de eşantionare este setată la 10KHz, atunci trebuie efectueată o conversie A/D la fiecare 100 μs. Intreruperea de timer trebuie setată în acestă situație la fiecare 100 μs. Intre două întreruperi succesive datele sunt transferate la PC prin intermediul portului paralel. Transferul se efectuează paralel pe 4 biți şi utilizează protocolul handshake REQ*/ACK*.

Interfața cu portul paralel al calculatorului (PC) include în total 10 semnale; 5 dintre ele sunt furnizate de către PC (intrări în microcontroller-ul

16C71) iar 5 sunt furnizate de PIC16C71 (intrările în PC). Semnalele de interfață sunt prezentate, de asemenea, în cadrul schemei electrice a osciloscopului digital Easy Scope. Unul dintre semnalele furnizate de către PC controlează intrarea de reset a controller-ului PIC (MCLR*); aceasta permite calculatorului să inițializeze funcționarea microcontroller-ului la orice moment de timp. Trei dintre semnalele de la PC sunt dedicate pentru controlul modului (MODE control). La aplicarea unui semnal de reset, controller-ul PIC citeşte semnalele MODE pentru a determina modul de funcționare. Modurile de lucru include: funcționarea ca osciloscop, funcționarea ca voltmetru pe canalul 0, funcționarea ca voltmetru pe canalul 1 şi stare/încărcare constante de timp şi bascularea ieşirilor (modul debug). Patru dintre pinii controller-ului PIC sunt configurați ca pini de date. Celelalte două semnale rămase reprezintă semnalele de protocol de tip handshake (request şi acknowledge) utilizate pentru transferurile de date. Transferul celor două grupe de câte 4 biți demarează prin activarea semnalului REQ* de către PC. Simbolul * indică faptul că semnalul este activ pe "0" logic. Aceasta înseamnă că semnalul REQ* devine "0" logic. Atunci când controller-ul PIC transferă datele pe pinii corespunzători, el activează semnalul ACK*. Activarea semnalului ACK* indică calculatorului că datele sunt disponibile. După ce PC-ul citeşte datele, dezactivează semnalul REQ* (nivel logi '1"), pentru a indica faptul că datele au fost citite. În urma identificării acestei situații, controller-ul PIC dezactivează semnalul ACK*. Următorul cadru de 4 biți este transferat în mod similar, cu excepția faptului că semnalul MODE A este setat la "0" pe durata transferului.

9.2 PREZENTAREA CIRCUITULUI PIC16C71 (MICROCHIP)

Caracteristicile principale ale familiei de microcontroller-e PIC16C71X sunt:

- arhitectură CPU de tip RISC de înaltă performanță;
- set simplu şi eficient de instrucțiuni (35 instrucțiuni pe un cuvânt);
- toate intrucțiunile durează un singur ciclu, cu excepția celor de salt în program care durează două cicluri;
- frecvența maximă a cesului de sistem 20 MHz, durata unui ciclu instrucțiune minim 200 ns;
- memorie de program - Program memory - de maxim 2k x 14 cuvinte, maxim 128 x 8 octeți de memorie de date - Data Memory (RAM);
- facilități de întreruperi;
- stivă hardware organizată pe maximum 8 nivele;
- capabilități de adresare directă, indirectă şi relativă;
- Power-on Reset (POR);
- Power-up Timer (PWRT) şi Oscillator Start-up Timer (OST);

- Watchdog Timer (WDT) cu oscilator RC propriu implementat pe chip pentru funcționare sigură;
- protecție software a codului;
- implementarea modului de economie de energie (power saving) - SLEEP mode;
- opțiuni de selectare a oscilatorului;
- memorie EPROM în tehnologie HighSpeed-CMOS cu putere consumată redusă;
- implementare complet statică;
- gamă largă a tensiunilor de alimentare: de la 2,5V la 6,0V;
- capabilitate mare a curenților debitați de pini: 25 mA
- gamă de temperaturi de funcționare: comercială, industrială şi extinsă;
- circuit de verificare a parității memoriei de program cu Parity Error Reset (PER) (doar la PIC16C715);
- putere totală consumată redusă:
  - < 2 mA @ 5V, 4 MHz;
  - 15 mA tipic @ 3V, 32 kHz;
  - < 1 mA tipic curent de alimentare în stand-by;
- organizare sub forma a 13 pini de intrare/ieşire controlați individual.

9.2.1 DESCRIERE GENERALĂ A PIC16C71

Familia de microcontroller-e PIC16C71X este caracterizată de costuzi scăzute, înaltă performanță, implementare în tehnologie CMOS statică, reprezentând o familie de microcontroller-e de 8 biți ce integrează în cadrul structurii un convertor analog-digital (A/D) şi situată în cadrul familiei PIC16CXX. Toate microcontroller-ele PIC16/17 utilizează o arhitectură avansată de tip RISC. Familia de microcontroller-e PIC16CXX prezintă caracteristici performante ale nucleului de bază, stivă cu adâncime de 8 nivele şi mai multe surse de întreruperi interne şi externe.

Separarea secțiunilor de intrucțiuni şi de date ale arhitecturii Harvard permite lungimea de 14 biți a formatului instrucțiunilor şi separat cuvinte de date cu lungimea de 8 biți. Execuția de tip pipeline (pe două nivele) a instrucțiunilor asigură executarea acestora într-un singur ciclu, cu excepția acelora de ramificare a programului, acestea din urmă necesitând pentru execuție două cicluri. Utilizatorului îi este disponibil un set redus, dar eficient, conținând 35 de înstrucțiuni. În plus, setul complex de registre interne permite obținerea unor performanțe deosebite prin utilizarea inovațiilor arhitecturale.

Microcontroller-ele PIC16CXX asigură în medie o compresie a codului de 2 ori şi o creştere a vitezei de 4 ori în comparație cu alte microcontroller-e de

8 biţi din aceeaşi clasă.

Dispozitivele **PIC16C710/71** dispun de 36 octeţi de memorie RAM (Data Memory), **PIC16C711** dispune de 68 octeţi de memorie RAM iar **PIC16C715** are 128 octeţi de memorie RAM. Fiecare reprezentant al familiei dispune de 13 pini de intrare/ieşire (I/O). În plus este disponibil un circuit timer/counter. De asemenea, în cadrul structurii este implementat un convertor analog-digital rapid, cu rezoluţie de 8 biţi şi dispunând de 4 canale analogice de intrare multiplexate. Rezoluţia de 8 biţi este ideală pentru aplicaţii necesitând interfaţare analogică de cost redus, cum ar fi comanda termostatelor, măsurarea presiunii, etc.

Familia de microcontroller-e PIC16C71X prezintă caracteristici speciale menite să reducă la maxim numărul de componente externe, reducând astfel costurile, determinând creşterea fiabilităţii şi reducerea puterii consumate.

Sunt disponibile patru opţiuni de oscilator, dintre care oscilatorul RC asigură a soluţie foarte economică din punct de vedere cost, oscilatorul LP minimizează puterea consumată, oscilatorul XT reprezintă un cristal standard de cuarţ, iar oscilatorul HS este destinat pentru cristale High Speed. Caracteristica SLEEP (power-down) asigură modul de economisire a puterii consumate. Utilizatorul poate scoate circuitul din modul SLEEP în mai multe moduri, utilizând întreruperi externe şi interne, precum şi semnale de reset.

Un circuit fiabil şi cu funcţionare sigură de tip Watchdog Timer pilotat de propriul său oscilator RC implementat pe chip asigură protecţia eficientă împotrivă blocărilor software.

Capsulele CERDIP cu fereastră de cuarţ pentru ştergere cu ultaviolete (UV) a memoriei de program (UVEPROM) sunt recomandate pentru dezvoltarea de aplicaţii, pe când variantele OTP (One-Time-Programmable), sensibil mai ieftine sunt eficiente pentru producţia la orice nivel.

Familia PIC16C71X este eficientă din punct de vedere hardware-software pentru aplicaţii diverse, de la aplicaţii gen sisteme de securitate şi senzori inteligenţi comandaţi de la distanţă family până la sisteme de control în locuinţe şi în industria auto. Utilizarea tehnologiei EPROM pentru memoria de program permite adaptarea facilă şi rapidă a programelor de aplicaţii (coduri de transmisie, controlul turaţiei motoarelor, receptoare de frecvenţă, etc.). Varietatea amprentelor componentelor permite utilizarea acestor microcontroller-e în cadrul aplicaţiilor ce impun limitări din punct de vedere a spaţiului ocupat. Preţul redus, puterea consumată redusă, performanţele ridicate, uşurinţa utilizării şi flexibilitatea mare a liniilor de intrare/ieşire (I/O) determină ca familia PIC16C71X să fie deosebit de atractivă şi versatilă chiar în domenii în care nu s-a avut în vedere până acum utilizarea microcontroller-elor (cum ar fi implementarea unor funcţii de timer, comunicaţia serială, captarea şi compararea, funcţii PWM (Power Width Modulation) şi aplicaţii de tip coprocesor matematic).

9.2.2 PREZENTARE ARCHITECTURALĂ

Performanţele deosebite din punct de vedere a eficienţei calculelor şi a versatilităţii ale familiei de microcontroller-e PIC16CXX se datorează în principal unui număr de caracterisitici arhitecturale tipice pentru microprocesoarele de tip RISC. În primul rând, familia de circuite PIC16CXX utilizează o arhitectură Harvard, în cadrul căreia instrucţiunile şi datele sunt accesate din memorii dedicate distincte utilizând magistrale distincte. Aceasta îmbunătăţeşte largimea de bandă comparativ cu arhitectura tradiţională von Neumann, în cadrul căreia instrucţiunile şi datele sunt manipulate pe aceeaşi magistrală din cadrul unei memorii comune. Separarea magistralelor de instrucţiuni (program) şi de date permit dimensiuni (lungimi) diferite ale instrucţiunilor şi datelor. Codul operaţiei are o lungime de 14 biţi permiţând ca toate instrucţiunile să fie codificate într-un singur cuvânt. Ciclul de fetch (citire a instrucţiunii) aduce codul instrucţiunii (cu lungimea de 14 biţi) pe magistrala dedicată din memoria de program într-un singur ciclu. O structură pipeline pe două nivele suprapune fazele de citire şi execuţie a instrucţiunilor. Ca urmare, toate instrucţiunile (35) sunt executate într-un singur ciclu (200 ns @ 20 MHz), cu excepţia instrucţiunilor de ramificare în program.

În tabelul următor se prezintă memoria de program (EPROM) şi memoria de date (RAM) pentru fiecare reprezentant al familiei de microcontroller-e PIC16C71X.

Reprezentant	Program Memory	Data Memory
PIC16C710	512 x 14	36x8
PIC16C71	1K x 14	36x8
PIC16C711	1K x 14	68x8
PIC16C715	2K x 14	128x8

Circuitele din familia PIC16CXX pot adresa direct sau indirect registrele interne sau memoria de date. Toate registrele de funcţii speciale, inclusiv contorul programului (Program Counter) sunt mapate în memoria de date. Familia PIC16CXX dispune de un set de instrucţiuni ortogonal (simetric), ceea ce face posbilă execuţia oricărei instrucţiuni cu oricare registru, utilizând oricare dintre modurile de adresare. Această caracteristică de simetrie şi lipsa "situaţiilor speciale de optimizare" fac ca programarea pentru PIC16CXX să fie simplă, dar cu toate acestea eficientă. În plus, curba de învăţare se reduce semnificativ.

Circuitele din familia PIC16CXX conţin o unitate aritmetico-logică (ALU) şi un registru de lucru de 8 biţi. ALU este o unitate aritmetică de uz general. Execută funcţii aritmetice şi logice între datele conţinute în registrul de lucru şi oricare alt registru. ALU lucrează cu operanzi pe 8 biţi şi permite

adunarea, scăderea, shift-area şi operaţii logice. Cu excepţia unor menţiuni speciale, operaţiile aritmetice se execută în complement faţă de 2. În cadrul instrucţiunilor cu 2 operanzi, tipic unul dintre operanzi este registrul de lucru (registrul W). Celălalt operand este un alt registru de date sau o valoare imediată. În cadrul instrucţiunilor cu un singur operand, acesta este constituit fie de registrul de lucru (W) sau de un registru de date.

Registrul W este un registru de lucru de 8 biţi utilizat pentru operaţiile în cadrul ALU. Nu este un registru adresabil.

În funcţie instrucţiunea executată, unitatea aritmetico-logică poate afecta valorile indicatorilor Carry (C), Digit Carry (DC) şi Zero (Z) din cadrul registrului STATUS. Indicatorii C şi DC au semnificţia unor biţi de **borrow** şi **digit borrow**, respectiv în cadrul operaţiilor de scădere.

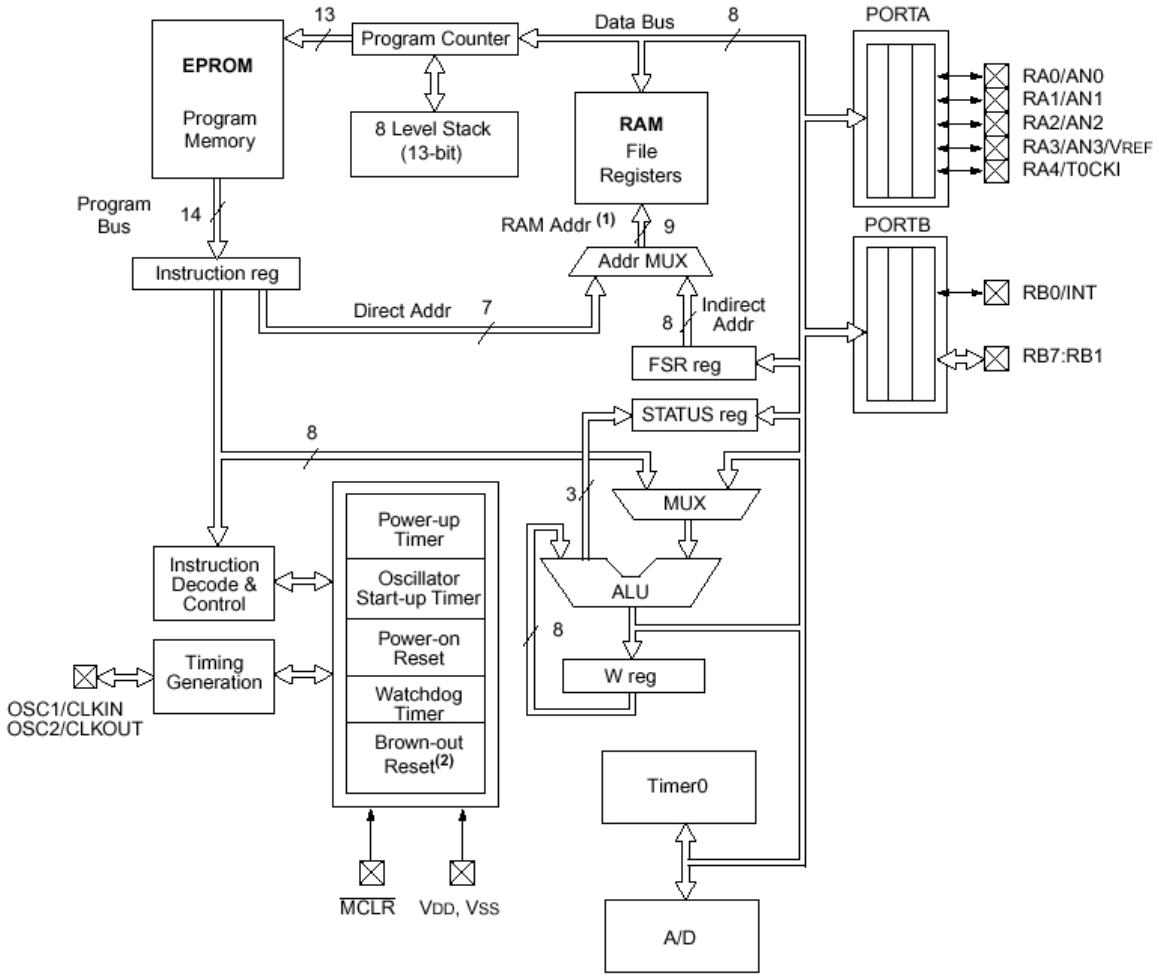


Fig. 9.2 Arhitecura microcontroller-ului PIC16C71.

9.2.2.1 CEASUL DE SISTEM / CICLUL INSTRUCȚIUNE

Intrarea de ceas (OSC1) este intern divizată cu patru pentru a genera patru semnale de ceas în cuadratură şi fără suprapunere, Q1, Q2, Q3 şi Q4. Intern, contorul programului (PC) este incrementat la fiecare perioadă Q1, codul instrucțiunii este citit din memoria de program şi este memorat în registrul de instrucțiuni în Q4. Instrucțiunea este decodificată şi executată în urmatoarele perioade Q1 până la Q4. Diagramele temporale ale semnalelor de ceas şi fluzul de execuție al instrucțiunii sunt ilustrate în fig. 9.3.

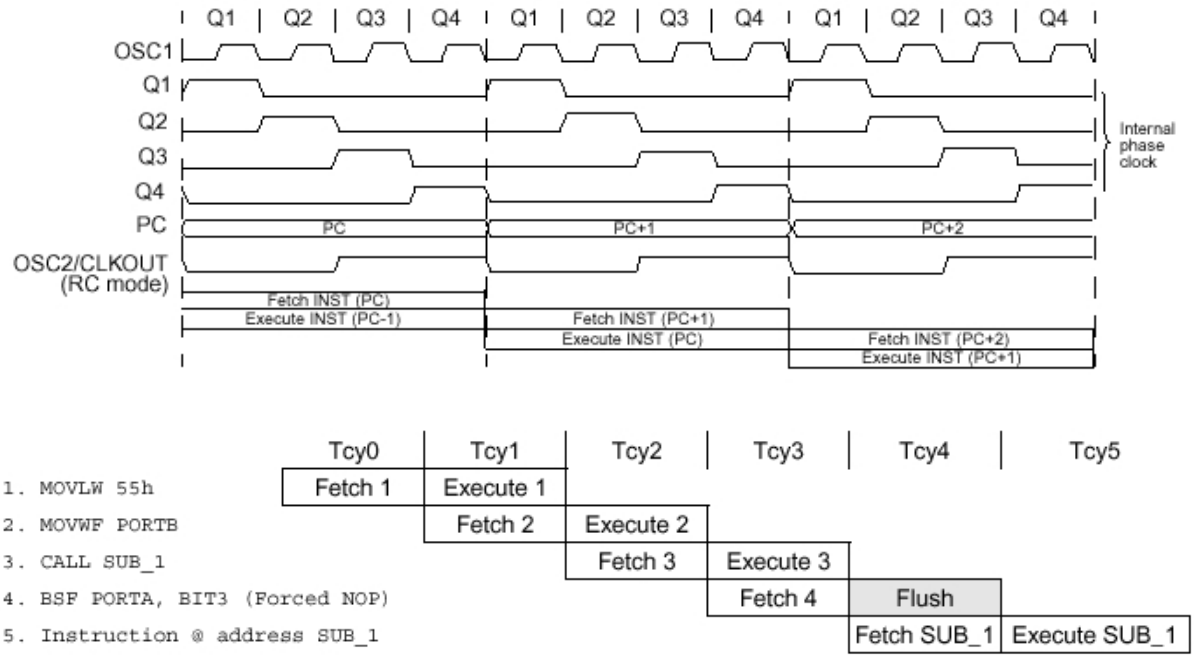


Fig. 9.3 Ceasul de sistem, ciclul instrucțiune

9.2.2.2 FLUXUL DE EXECUȚIE AL INSTRUCȚIUNII / PIPELINE-ING

Un ciclu instrucțiune conține patru ciclii de ceas Q (Q1, Q2, Q3 şi Q4). Citirea din cadrul memoriei de program şi execuția codului instrucțiuniifolosesc tehnica pipeline, astfel încât ciclul de fetch durează un ciclu instrucțiune iar decodificarea şi executarea durează un alt ciclu instrucțiune. Cu toate acestea, datorită tehnicii pipeline, fiecare instrucțiune este executată efectiv în cadrul unui singur ciclu. Dacă instrucțiunea curentă determină modificarea conținutului contorului programului (de exemplu GOTO) atunci sunt necesare două cicluri pentru executarea sa.

Un ciclu de fetch începe prin incrementarea contorului de program (PC) pe durata Q1.

În cadrul ciclului de execuție, instrucțiunea citită din memoria de program este memorată în cadrul registrului de instrucțiuni "Instruction Register" (IR) pe durata Q1. Această instrucțiune este apoi decodificată şi executată în ciclurile de ceas Q2, Q3 şi Q4. Memoria de date (Data memory) este citită pe durata Q2 (citirea operandului) şi scrisă în ciclul Q4 (scrierea rezultatului).

9.2.3 ORGANIZAREA MEMORIEI DE PROGRAM (PROGRAM MEMORY)

Familia de microcontroller-e PIC16C71X dispune de un contor de program (PC) cu lungimea de 13 biți, capabil să adreseze un spațiu de memorie de program de 8k x 14 cuvinte.

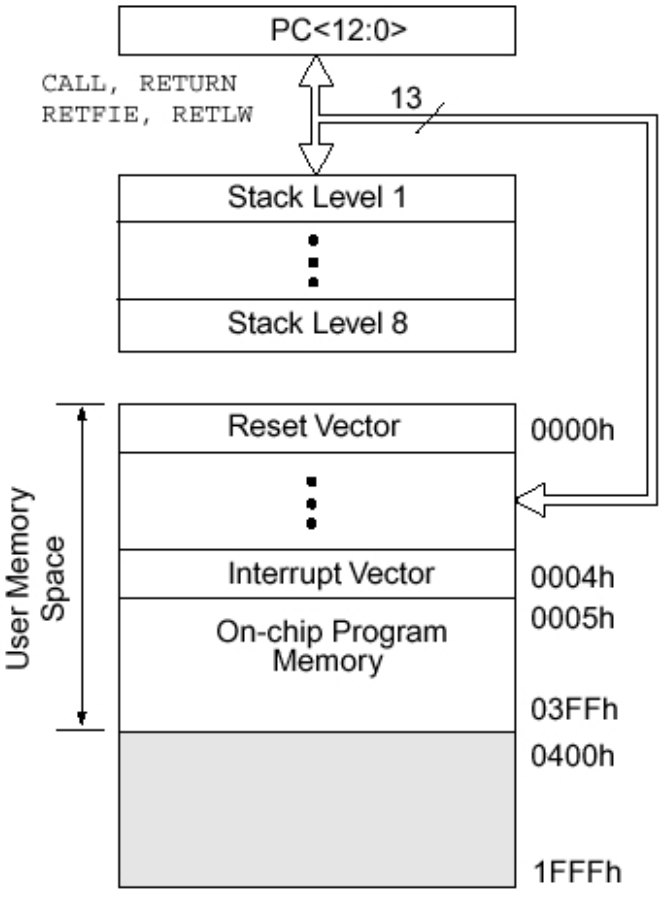


Fig. 9.4 Organizarea memoriei de program la familia de microcontroller-e PIC16C71X.

Capacitatea memoriei de program disponibilă pentru fiecare reprezentant al familiei este prezentată în tabelul următor:

Reprezentant	Program Memory	Address Range
PIC16C710	512 x 14	0000h-01FFh
PIC16C71	1k x 14	0000h-03FFh
PIC16C711	1k x 14	0000h-03FFh
PIC16C715	2K x 14	0000h-07FFh

Pentru acei reprezentanți dispunând de o capacitate a memoriei de program mai mică de 8K, accesarea unei locații de memorie în afara spațiului fizic implementat va determina a blocare a funcționării.

Vectorul de reset se află la adresa 0000h, iar vectorul de întrerupere la adresa 0004h.

9.2.4 ORGANIZAREA MEMORIEI DE DATE (DATA MEMORY)

Memoria de date este partiționată în două bancuri care conțin registrele de uz general (General Purpose Registers) şi registrele de funcții speciale (Special Function Registers). Bitul RP0 determină selectarea bancului de registre (bank select bit).

- RP0 (STATUS<5>) = 1 → Bank 1
- RP0 (STATUS<5>) = 0 → Bank 0

Fiecare banc se extinde până la 7Fh (dispune de 128 octeți). Locațiile inferioare din cadrul fiecărui banc sunt rezervate pentru registrele de funcții speciale. La adresele imediat superioare se găsesc registrele de uz general, implementate ca memorie RAM statică. Atât Bank 0 cât şi Bank 1 conțin registre de funcții speciale. Unele registre de funcții speciale frecvent utilizate din Bank 0 sunt oglindite în Bank 1 din motive de minimizare a codului şi facilitare a accesului.

9.2.4.1 REGISTRUL STATUS

Registrul de stare (STATUS register) conține starea unității aritmetico-logice (ALU), starea de RESET şi biții de selectare a bancului de registre pentru memoria de date. Registrul STATUS poate constitui destinație a oricărei instrucțiuni, ca şi oricare alt registru. Dacă registrul STATUS reprezintă destinația unei instrucțiuni care afectează indicatorii de condiție (Z, DC sau C), atunci scrierea acestor biți este dezactivată. Aceşti biți sunt setați sau resetați corespunzător logicii dispozitivului. În plus, biții TO şi PD nu pot fi scrişi. De aceea rezultatul unei instrucțiuni în care se utilizează registrul STATUS ca destinație poate fi diferit față de rezultatul preconizat.

De exemplu, în urma execuției instrucțiunii CLRF STATUS se vor reseta cei mai semnificativi 3 biți şi va fi setat indicatorul Z. Conținutul registrului STATUS în urma acestei operații va fi **000**N|N**1**NN (N = nemodificat). Ca urmare, se recomandă ca doar instrucțiunile BCF, BSF, SWAPF şi MOVWF să fie utilizate în corelație cu modificarea registrului STATUS, deoarece aceste instrucțiuni nu afectează indicatorii de condiții (Z, C şi DC) din cadrul registrului STATUS.

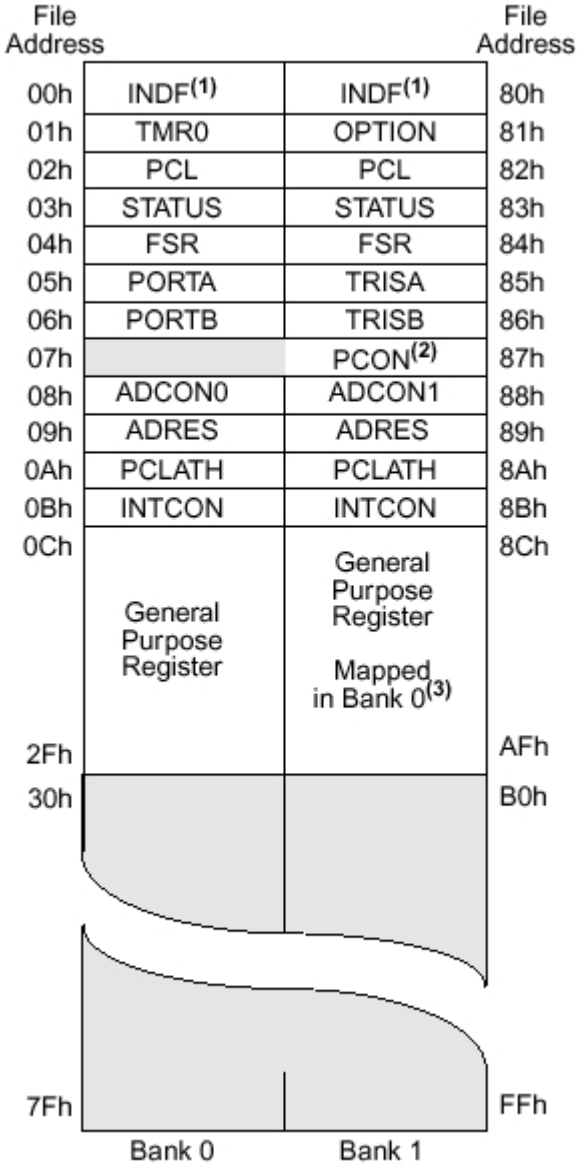


Fig. 9.5 Organizarea bancurilor de registre.

Nota 1: Pentru dispozitivele care nu utilizează biții IRP şi RP1 (STATUS<7:6>), se recomandă menținerea acestor biți resetați pentru a se asigura compatibilitatea cu produse din generațiile următoare.

Nota 2: Biții C şi DC funcționează ca semnale **borrow** şi **digit**

borrow în cadrul operațiilor de scădere (a se vedea instrucțiunile SUBLW şi SUBWF).

9.2.5 PORTURI I/O

Unii dintre pinii acestor porturi de intrare/ieşire (I/O) sunt multiplexați cu funcții alternative pentru implementarea caracteris-ticilor periferice speciale ale dispozitivelor. În general, atunci când este activată o astfel de funcție, pinul corespunzător nu poate fi utilizat ca un pin general de intrare/ieşire.

9.2.5.1 REGISTRELE PORTA ŞI TRISA

PORTA este implementat ca un latch de 5 biți. Pinul RA4/T0CKI funcționează ca o intrare de tip Trigger Schmitt input şi ca ieşire de tip drenă în gol. Toți ceilalți pini ai portului RA sunt caracterizați de nivele logice de intrare de tip TTL şi de driver-e de ieşire de tip CMOS. Toți pinii sunt controlați de biți de direcție (registrul TRIS) care pot configura aceşti pini fie ca intrări, fie ca ieşiri. Setarea unui bit din cadrul registrului TRISA determină comandarea driver-ului de ieşire al pinului corespunzător în starea de mare impedanță (hi-Z mode). Resetarea unui bit din cadrul registrului TRISA determină transferarea conținutului latch-ului de ieşire la pinul corespunzător.

Citirea registrului PORTA determină citirea stării pinilor asociați, iar scrierea registrului PORTA înseamnă scrierea la registrul latch al portului. Toate operațiile de scriere sunt de tip citire-modificare-scriere. Deci, o scriere la un port implică citirea stării pinilor portului, modificarea valorii citite şi apoi scrierea datelor în registrul latch al portului.

Pinul RA4 este multiplexat cu semnalul de intrare de ceas al modulului Timer0, devenind astfel pinul RA4/T0CKI.

Ceilalți pini ai portului PORTA sunt multiplexați cu intrările analogice şi intrarea de tensiune de referință V_{REF}. Funcționarea corespunzătoare a fiecărui pin este comandată prin resetarea/setarea biților de control din cadrul registrului ADCON1 (A/D Control Register1).

Registrul TRISA controlează (comandă) sensul transferului pe pinii RA, chiar în situația în care sunt utilizați ca intrări analogice. Utilizatorul trebuie să se asigure că biții registrului TRISA sunt menținuți setați atunci când utilizează pinii portului PORTA ca intrări analogice.

Notă: La Power-on Reset, aceşti pini sunt configurați ca intrări analogice şi citiți ca ‘0’.

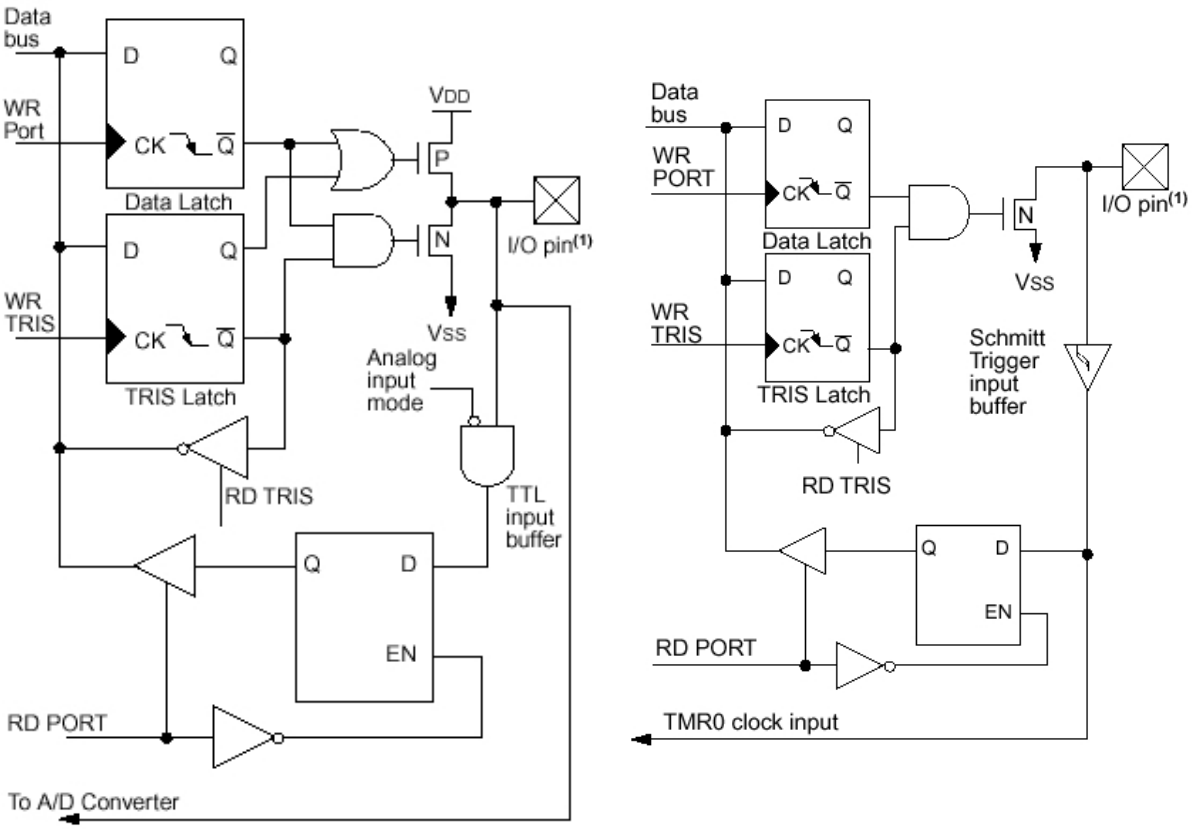


Fig. 9.6 Configurația internă a biților portului PORTA .

9.2.5.2 REGISTRELE PORTB ŞI TRISB

PORTB este un port bidirecțional dispunând de 8 biți. Registrul corespunzător sensului transferului individual la nivel de pin este TRISB. Setarea unui bit din cadrul registrului TRISB determină comandarea driver-ului de ieşire al pinului corespunzător în starea de mare impedanță (hi-Z mode). Resetarea unui bit din cadrul registrului TRISA determină transferarea conținutului latch-ului de ieşire la pinul corespunzător.

Fiecare dintre pinii portului PORTB dispune de un pull-up intern de valoare mare. Un singur bit de control poate activa toate aceste dispozitive de pull-up. Aceasta poate fi realizată prin resetarea bitului RBPU (OPTION<7>). Dispozitivele de pull-up sunt automat dezactivate atunci când pinii portului sunt configurați ca ieşiri. Dispozitivele de pull-up sunt dezactivate la apariția Power-on Reset.

Patru dintre pinii portului PORTB, RB7:RB4, dispun de facilități de întrerupere la modificarea caracteristicilor acestora. Doar pinii configurați ca intrări pot produce apariția unei întreruperi (adică oricare dintre pinii RB7:RB4 configurați ca ieşire sunt excluşi din facilitatea de generare a unei întreruperi în procesul de comparare a modificării stării). Pinii configurați ca intrări (dintre

RB7:RB4) sunt comparaţi cu valorile anterioare memorate la ultima citire în cadrul registrului portului PORTB. Ieşirile necoincidenţelor pinilor RB7:RB4 sunt aplicate unei funţii SAU pentru a genera întreruperea corespunzătoare modificării portului RB (RB Port Change Interrupt), caracterizată de flag-ul RBIF (INTCON<0>). Această întrerupere poate determina ca dispozitivul să părăsească modul SLEEP. Utilizatorul, în cadrul rutinei de tratare a întreruperii, poate şterge întreruperea în unul dintre următoarele moduri:

a) prin orice citire sau scriere la portul PORTB, ceea ce va încheia condiţia de necoincidenţă;
b) resetarea indicatorului RBIF. O condiţie de necoincidenţă va continua să seteze indicatorul RBIF. Citirea portului PORTB va încheia condiţia de necoincidenţă şi va permite resetarea flag-ului RBIF. Generarea unei întreruperi în condiţia de necoincidenţă, împreună cu circuitele de pull-up configurabile software pentru aceşti patru pini, permit o interfaţare simplă cu o tastatură şi fac posibilă activarea sistemului la apăsarea unei taste.

Se recomandă ca întreruperea generată în caz de necoincidenţă (schimbarea valorii logice aplicată pe pinii de intrare ai portului PORTB) să fie utilizată pentru activarea sistemului la acţionarea unei taste şi în cazul în care PORTB este utilizat doar pentru generarea unei astfel de întreruperi. Efectuarea polling-ului pe PORTB nu este recomandată dacă se utilizează întreruperile determinate de modificarea stării intrărilor portului PORTB.

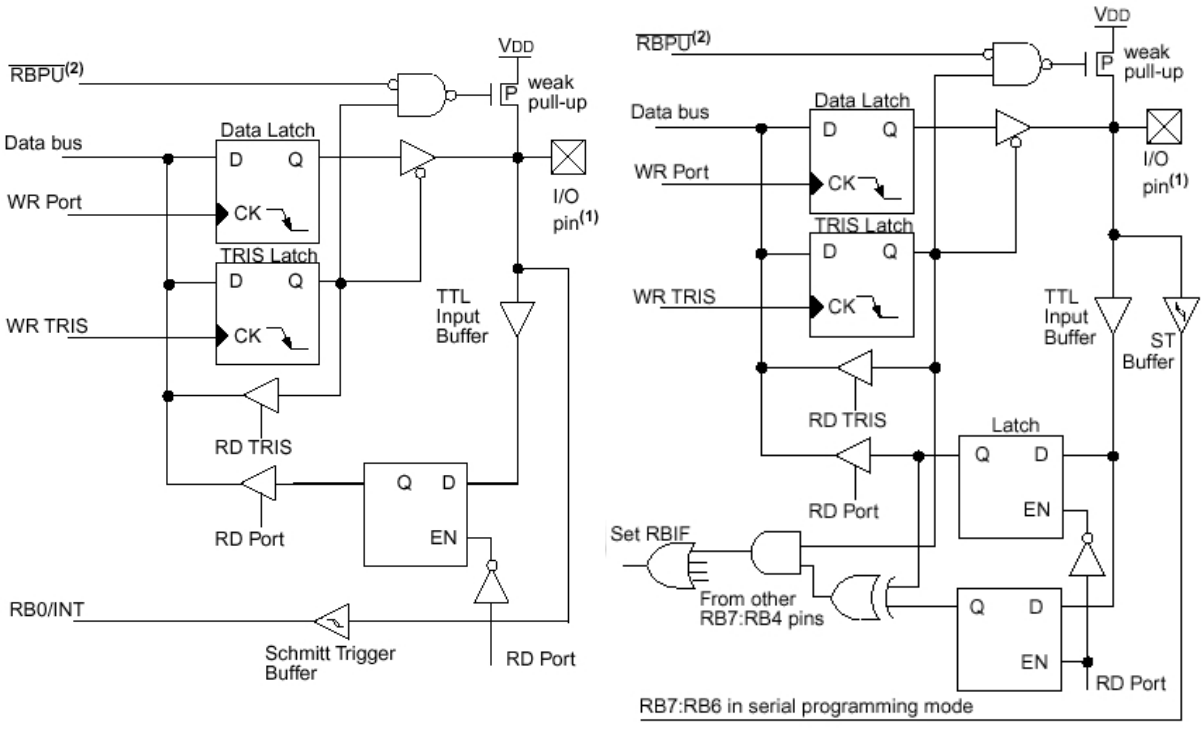


Fig. 9.7 Configuraţia internă a pinilor portului PORTB.

Exemplul 9.1: Iniţializarea PORTB

```
BCF         STATUS, RP0       ;
CLRF        PORTB             ; iniţializează PORTB prin
                              ; resetarea ieşirilor
                              ; de date ale latch-ului
BSF         STATUS, RP0       ; selectează Bank 1
            MOVLW 0xCF        ; valoare utilizată pentru
                              ; iniţializarea direcţiei
            MOVWF TRISB       ; setează RB<3:0> ca intrări
                              ; RB< :4> ca ieşiri
                              ; RB<7: > ca intrări
```

Notă: Pentru PIC16C71, dacă apare o modificare a stării pinilor I/O în cursul executării unui ciclu de citire (începutul perioadei Q2) există posibilitatea ca indicatorul RBIF să nu fie setat.

9.2.6 CONSIDERAŢII DE PROGRAMARE I/O

9.2.6.1 PORTURI I/O BIDIRECŢIONALE

Orice instrucţiune de scriere funcţionează intern ca o oerație de citire urmată de o operație de scriere. Instruciunile BCF şi BSF, de exemplu, citesc conţinutul registrului în CPU, execută operaţia la nivel de bit şi scriu rezultatul obţinut în registru. În situaţia în care aceste instrucţiuni sunt aplicate pentru un port în care unii dintre biţi sunt configuraţi ca intrări iar alţii ca ieşiri trebuie luate măsuri de precauţie speciale. De examplu, o instrucţiune BSF asupra bitului 5 al portului PORTB va determina citirea tuturor celor opt biţi ai portului în. Apoi are loc executarea instrucţiunii BSF asupra bitului 5 şi PORTB este scris în latch-ul de ieşire. Dacă un alt bit al portului PORTB este utilizat ca pin bidirecţional (de exemplu bitul 0) şi este definit ca intrare la acest moment de timp, semnalul de intrare prezent pe acest pin va fi citit de către CPU şi rescris în latch-ul de date asociat acestui pin, suprascriind conţinutul anterior. Atât timp cât pinul funcţionează în mod intrare nu apare nici o problemă în funcţionare. Cu toate acestea, dacă bitul 0 este comandat în modul ieşire, conţinutul registrului de date poate deveni neprecizat în această situaţie.

Citirea registrului portului reprezintă citirea valorilor logice aplicate pinilor portului. Scrierea în registrul portului înseamnă scrierea valorii în latch-ul de date al portului. Când se utilizează instrucţiuni de citire-modificare-scriere (de exemplu BCF, BSF, etc.) asupra unui port, se citesc valorile logice ale pinilor portului, se efectuează operaţia dorită cu aceste valori iar rezultatul este scris în cadrul latch-ului portului.

În exemplul 9.2 se ilustrează efectul a două instrucţiuni consecutive de

citire-modificare-scriere asupra unui port de intrare/ieşire (I/O).

Exemplul 9.2: Instrucțiuni consecutive de citire-modificare-scriere asupra unui port I/O

```
; Setări inițiale: PORTB<7:4> intrări
; PORTB<3:0> ieşiri
; PORTB<7: > pull up activat  fără a fi conectate  n e terior
;                          PORT latch      PORT pins
;                          ----------      ---------
BCF   PORTB, 7          ; 01pp pppp       11pp pppp
BCF   PORTB, 6          ; 10pp pppp       11pp pppp
BSF   STATUS, RP0       ;
BCF   TRISB, 7          ; 10pp pppp       11pp pppp
BCF   TRISB, 6          ; 10pp pppp       10pp pppp
; Utilizatorul se putea aştepta ca valorile pinilpr să fie
; 00pp pppp   ea de a doua instrucțiune B   a deter inat
; ca RB7 să fie  e orat ca valoarea pinului   i
```

Un pin configurat ca ieşire activă “Low” sau “High” nu trebuie comandat în acelaşi timp de dispozitive externe pentru a schimba nivelul logic asociat ieşirii (“SAU-cablat”, “ŞI-cablat”). Curenții de ieşire de valori mari pot determina defectări iremediabile ale circuitului.

9.2.6.2 OPERAȚII SUCCESIVE ASUPRA PORTURILOR I/O

Scrierea curentă la un port de intrare/ieşire (I/O) are loc la sfârşitul ciclului instrucțiune, în timp ce pentru citire datele trebuie să fie valide de la începutul ciclului instrucțiune. De aceea este necesară atenție dacă se execută o operație de scriere urmată de o operație de citire la/de la acelaşi port de intrare/ieşire. Secvența de instrucțiuni trebuie să permită stabilizarea tensiunii la nivel de pini (în cazul dependenței de sarcină) înainte de execuția următoarei instrucțiuni, ce determină ca datele să fie citite ce către CPU. În caz contrar, este posibilă şi mai probabilă citirea stării anterioare decât a celei curente. Atunci când există îndoieli, este utilă separarea acestor instrucțiuni printr-o instrucțiune NOP sau oricare altă instrucțiune care nu accesează portul I/O respectiv.

9.2.7 MODULUL DE CONVERSIE ANALOG-DIGITALĂ

Modulul de conversie analog-digitală conține patru intrări analogice. Convertorul A/D asigură o rezoluție de 8 biți a conversiei semnalelor analogice de intrare. Ieşirea circuitului de eşantionare-memorare este conectată la intrarea convertorului A/D, ce funcționează după metoda aproximațiilor succesive. Tensiunea de referință poate fi selectată prin software fie ca fiind tensiunea de

alimentare (V_{DD}), fie ca fiind tensiunea aplicată pinului RA3/AN3/VREF.

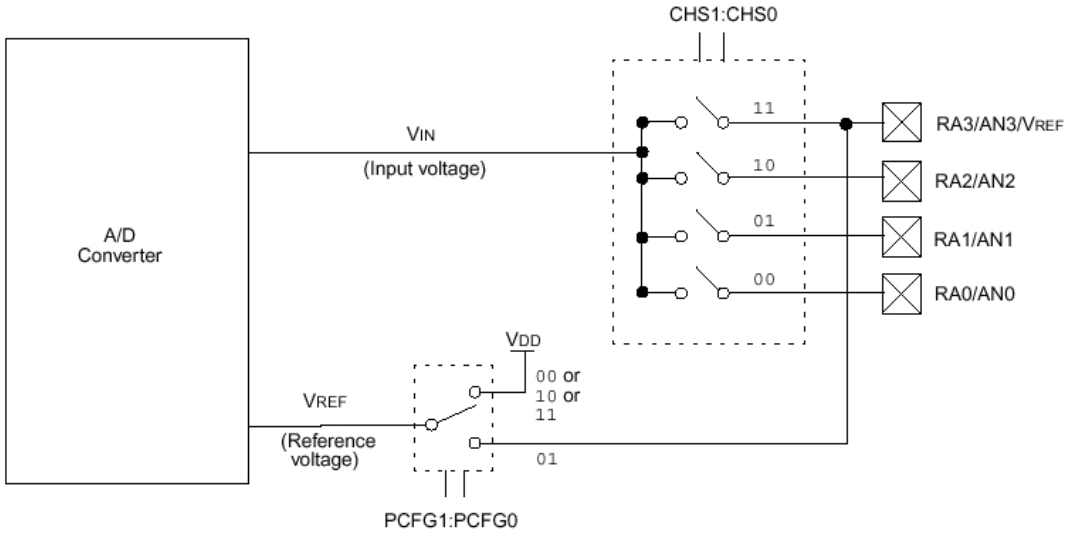


Fig. 9.8 Configurația modulului de conversie A/D.

Convertorul A/D se distinge prin aceea că este capabil să funcționeze chiar dacă microcontroller-ul se găseşte în modul de operare SLEEP. Pentru aceasta, ceasul de conversie A/D tebuie obținut din oscilatorul RC intern. Modulul A/D dispune de trei registre. Aceste registre sunt:

- A/D Result Register (ADRES);
- A/D Control Register 0 (ADCON0);
- A/D Control Register 1 (ADCON1).

Registrul de control ADCON0 comandă şi coordonează funcționarea modulului A/D.

Registrul de control ADCON1 permite configurarea funcțiilor pinilor portului. Pinii pot fi configurați ca intrări analogice (RA3 poate, de asemenea, fi configurat a sursă de tensiune de referință) sau ca intrări/ieşiri digitale.

Registrul ADRES conține rezultatul conversiei A/D. Atunci când s-a încheiat procesul de conversie A/D, rezultatul este transferat în registrul ADRES, bitul GO/DONE (ADCON0<2>) este resetat iar indicatorul de întrerupere A/D, bitul ADIF, est setat.

În urma configurării după necesități a modulului A/D, trebuie selectat canalul de intrare înainte de declanşarea unui proces de conversie. Canalele de intrare analogice trebuie să aibă biții corespunzători TRIS selectați ca intrări.

După expirarea timpului de eşantionare poate fi demarat un proces de conversie A/D. Pentru efectuarea unei conversii analog-digitale trebuie îndepliniți următorii paşi:

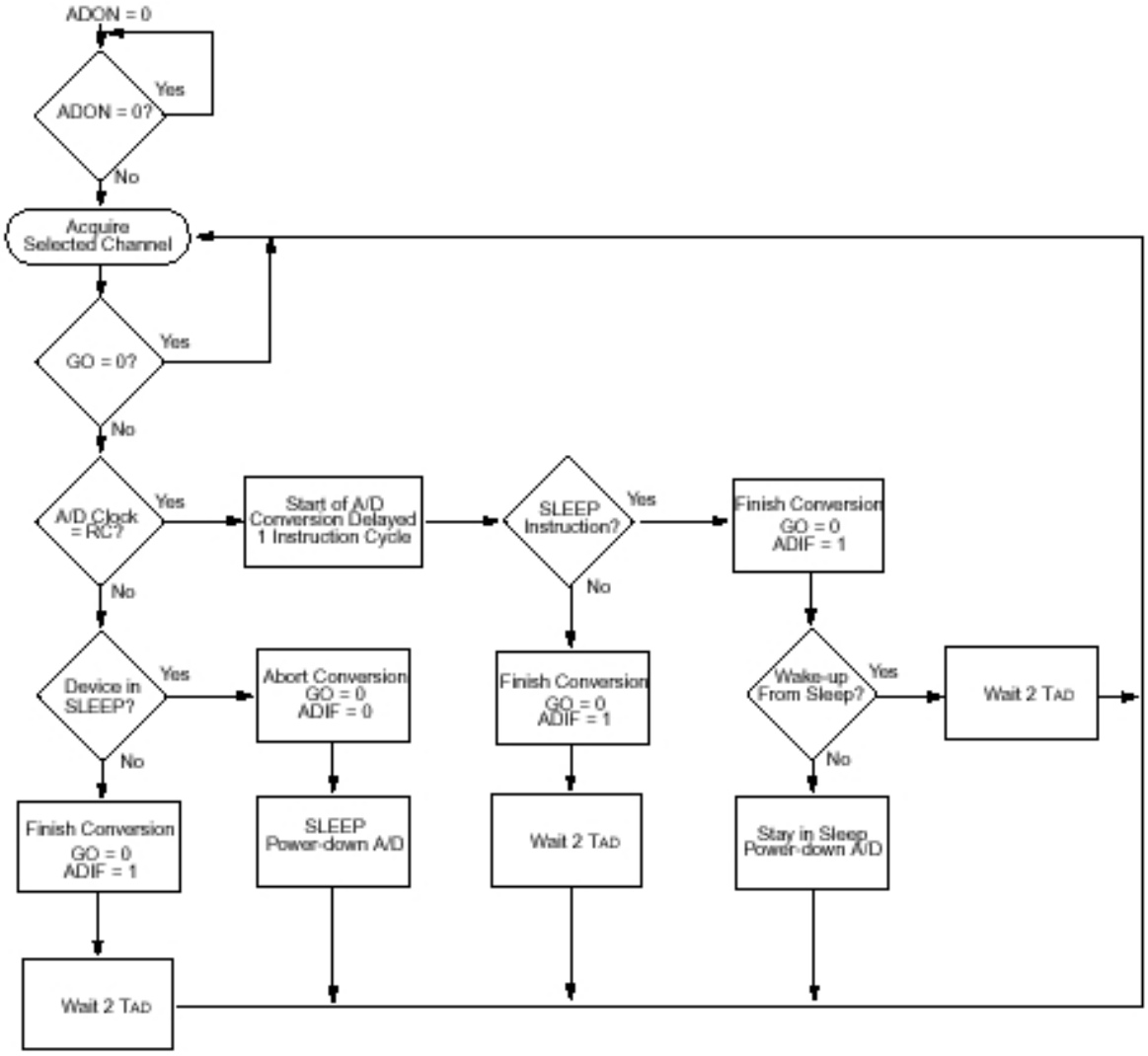


Fig. 9.9 Organigrama de efectuare a conversiei A/D.

1. configurarea modulului A/D:
   - configurarea pinilor intrări analogice / referința de tensiune / intrări-ieşiri digitale (ADCON1);
   - selectarea canalului analogic de intrare (ADCON0);
   - selectarea ceasului de conversie A/D (ADCON0);
   - activarea modulului A/D (ADCON0);
2. configurarea întreruperilor A/D (opțional):
   - resetarea bitului ADIF;
   - setarea bitului ADIE;
   - setarea bitului GIE;
3. respectarea timpului de eşantionare;
4. Start conversie:
   - setarea bitului GO/DONE (ADCON0);
5. aşteptarea sfârşitului conversiei A/D, fie:
   - polling pentru ca bitul GO/DONE să fie resetat, sau

- aşteptarea unei întreruperi;

6. citirea rezultatului conversiei în registru rezultat (ADRES), resetarea bitului ADIF (dacă este necesar);
7. pentru următoarea converasie, înapoi la pasul 1 sau 2, după cum este necesar. Timpul de conversie pe bit este definit ca T_{AD}. Pentru începerea unui nou proces de conversie este necesar un interval de timp de întârziere de minim $2T_{AD}$.

9.2.7.1 SPECIFICAȚII PENTRU ACHIZIȚIA A/D

Pentru ca o conversie analog-digitală să fie caracterizată de precizia specificată, este necesar ca să i se permită condensatorului de memorare (C_{HOLD}) încărcarea completă până la valoarea tensiunii aplicate canalului analogic de intrare. Modelul analogic al intrării este prezentat în fig. 9.10. Impedanța sursei de semnal (R_S) şi rezistența internă a comutatorului din circuitul de eşantionare-memorare (R_{SS}) afectează în mod nemijlocit timpul de încărcare al condensatorului de memorare, C_{HOLD}. Rezistența internă a comutatorului, R_{SS}, variază în funcție de tensiunea de alimentare V_{DD}. Impedanța sursei de semnal afectează decalajul de tensiune a intrării analogice (datorită curentului de pierderi).

Impedanța maximă recomandată a sursei analogice de semnal este de 10 kΩ. După selectarea canalului analogic de intrare, trebuie să expire timpul de eşantionare calculat pe baza elementelor mai sus menționate şi, abia după aceasta, poate fi declanşat un proces de conversie A/D.

Nota 1: Valoarea tensiunii de referință (V_{REF}) nu are efect asupra timpului de eşantionare.

Nota 2: Condensatorul de memorare (C_{HOLD}) nu se descarcă complet după efectuarea unei conversii.

Nota 3: Impedanța maximă recomandată a sursei analogice de semnal este de 10 kΩ, fiind impusă de respectarea recomandărilor privind curentul de pierderi.

Nota 4: După încheierea unei conversii A/D, este necesară o întârziere de minimum 2,0 T_{AD} înainte de reînceperea unui ciclu de achiziție. Pe durata acestui timp, condensatorul de memorare nu este conectat la canalul de intrare selectat.

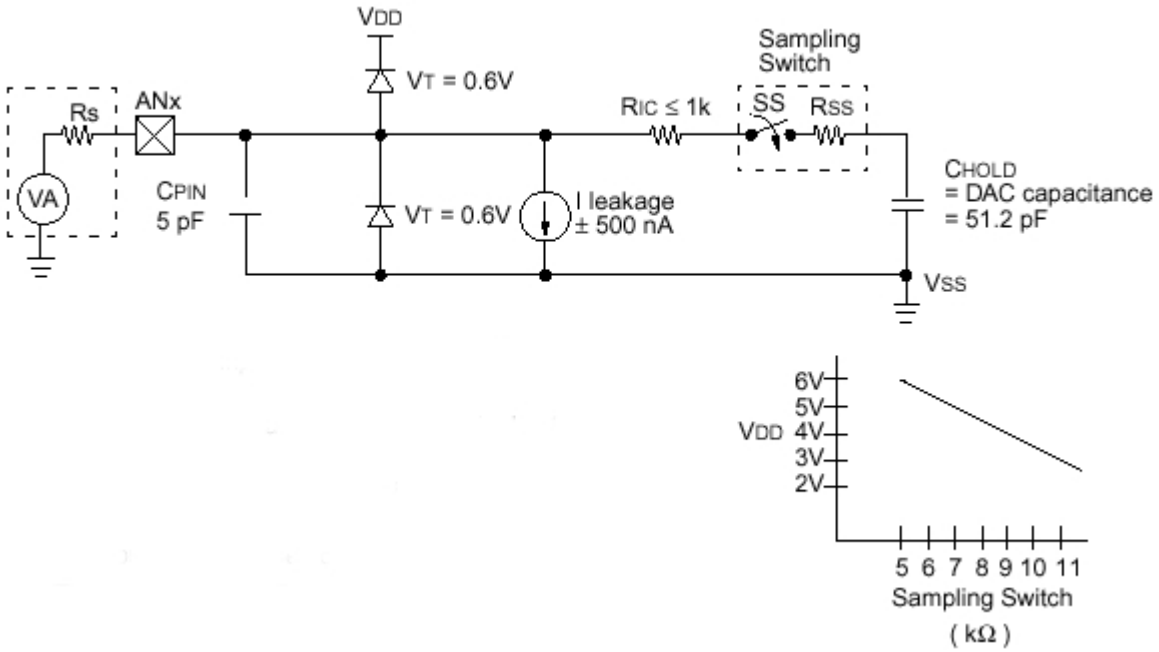


Fig. 9.10 Configurația canalelor analogice de intrare.

9.2.7.2 PARTICULARITĂȚI DE UTILIZARE A CIRCUITULUI DE CONVERSIE ANALOG-DIGITALĂ A MICROCONTROLLER-ULUI PIC16C71

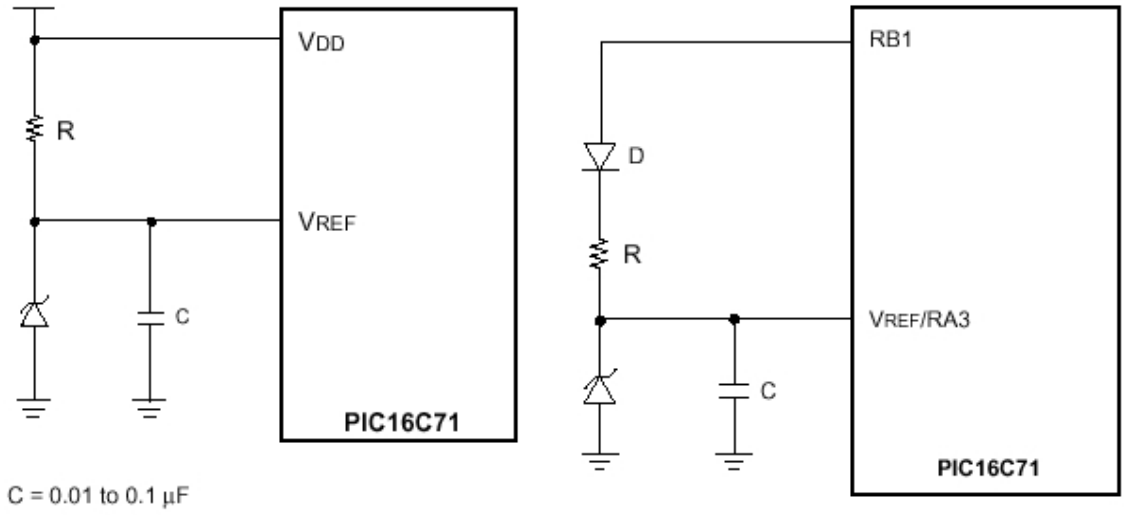
Secțiunea de conversie analog digitală a PIC16C71 este uşor de setat şi de utilizat. În continuare se prezintă câteva considerații şi recomandări generale asupra acestui subiect.

1. Se alege drept referință de tensiune fie tensiunea de alimentare V_{DD} fie o sursă de referință externă, V_{REF}.

   Atunci când se utilizează o sursă de tensiune de referință externă, trebuie avut în vedere ca valorile analogice ale tensiunilor de intrare nu trebuie să depăşească V_{REF}. O cale economică şi puțin costisitoare de a genera o tensiune de referință V_{REF} constă în utilizarea unei diode Zener (fig. 9.11a). Majoritatea diodelor Zener uzuale asigură o precizie de 5%. Curenții de polarizare inversă pot fi de valori foarte reduse (≥10μA). Cu toate acestea, se recomandă utilizarea unor curenți de polarizare inversă de valori mai mari (1 mA ... 20 mA) din considerente de stabilitate, precum şi pentru a se asigura o impedanță de ieşire mai mică a sursei de tensiune de referință V_{REF}.

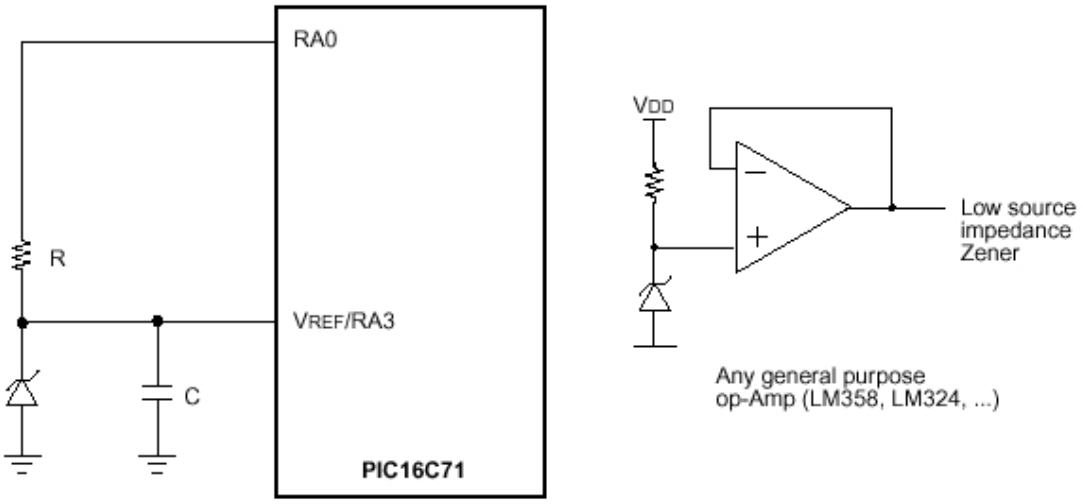
   În cazul aplicațiilor sensibile la variația tensiunii de alimentare, utilizatorul poate comanda sursa de tensiune de referință V_{REF} utilizând un alt pin de intrare/ieşire (fig. 9.11b): comandând la nivel logic '1' pinul RB1, de exemplu, atunci când se utilizează secțiunea de

conversie A/D sau comandând la nivel logic '0' pinul RB1 atunci când nu este utilizat convertorul A/D. Trebuie menționat faptul că în această situație pinul RB1 nu funcționează în regim three-state. Chiar dacă V_{REF} va înregistra valori intermediare, aceasta nu va determina ca buffer-ul de intrare al pinului RB1 să absoarbă curent. Ca variantă, pot fii utilizați unul dintre pinii RA0, RA1 sau RA2 pentru a asigura curent în loc de pinul RB1. Pinul RA utilizat trebuie configurat ca pin analogic (aceasta va dezactiva buffer-ul său digital de intrare).



a) Tensiune de referință obținută cu diodă Zener.

b) Tensiune de referință comandată prin intermediul pinului RB1.



c) Tensiune de referință comandată prin intermediul unui pin RA.

d) Scăderea impedanței de ieşire a sursei de tensiune de referință.

Fig. 9.11 Sursa de referință externă.

În momentul actual există numeroase surse de tensiune de referință integrate, caracterizate de o precizie sensibil mai ridicată decât cea a diodelor Zener (tabelul 9.1).

Tabelul 9.1 Diode Zener şi surse de tensiune de referință

Tipul diodei Zener	**Tensiunea V_Z**	**Toleranța**
1N746	3,3V	±5%
1N747	3,6V	±5%
1N748	3,9V	±5%
1N749	4,3V	±5%
1N750	4,7V	±5%
1N751	5,1V	±5%
1N752	5,6V	±5%
Referințe de tensiune	**Tensiunea V_{REF}**	**Toleranța**
AD580 (Maxim)	2,5V	±3% to ±0,4%
LM385	2,5V	±1,5%
LM1004	2,5V	±1,2%
LT1009 (LIN. Tech.)	2,5V	±0,2%
LT1019 (LIN. Tech.)	5,0V	±0,2%
LT1021 (LIN. Tech.)	5,0V	±0,05% to ±1%
LT1029 (LIN. Tech.)	5,0V	±0,2% to ±1%

Ideal, sursa de tensiune de referință V_{REF} trebuie să fie caracterizată de o impedanță de ieşire cât mai redusă posibil. Conform fig. 9.11a, impedanța sursei de tensiune de referință V_{REF} este paroximativ egală cu R. Dacă se micşorează valoarea lui R (pentru micşorarea impedanței sursei de tensiune de referință) se constată o creşterea consumului. Deoarece sursa de tensiune de referință V_{REF} este utilizată pentru încărcarea rețelei de condensatoare care stă la baza funcționării convertorului A/D şi a condensatorului de memorare (C_{HOLD}≈51 pF), trebuie să se asigure următoarele condiții:

$$T_{AD} = 6\cdot(1k + R)\cdot 51{,}2\ pF + 1{,}677\ \mu s$$

în care T_{AD} reprezintă perioada ceasului de conversie A/D. Pentru T_{AD}=2μs; C_{HOLD} = 50 pF, rezultă $V_{REF} \approx 50\Omega$.

Dacă impedanța sursei de tensiune de referință V_{REF} este mai mare decât valoarea calculată anterior, atunci perioada ceasului de conversie A/D (T_{AD}) trebuie mărită în mod corespunzător.

În tabelul 9.2 sunt prezentate câteva exemple referitor la rata maximă de conversie pe bit corelată cu impedanța sursei de tensiune de referință.

Tabelul 9.2 Rata maximă de conversie pe bit

Impedanța sursei de referință	T_{AD} (max)
1k	2,29 μs
5k	3,52 μs
10k	5,056 μs
50k	16,66 μs
100k	32,70 μs

Pentru a obține o impedanță mai scăzută a sursei de tensiune de referință decât prin utilizarea unei diode Zener, se recomandă utilizarea unui repetor de tensiune (fig. 9.11d).

Doi dintre biții registrului ADCON1, anume PCFG1 şi PCFG0, controlează modul de configurare a pinilor RA3:RA0.

Ori de câte ori unul dintre aceşti pini este configurat ca analogic:

- buffer-ul digital de intrare al pinului este dezactivat pentru reducerea curentului de intrare. Operația de citire a portului va interpreta ca '0' valoarea pinului corespunzător;
- bitul TRIS va continua să comande buffer-ul de ieşire al acestui pin. Astfel, în mod normal, bitul TRIS va fi setat (intrare);
- dacă bitul TRIS va fi resetat, atunci pinul corespunzător va furniza la ieşire conținutul latch-ului de date.

Ori de câte ori unul dintre aceşti pini vor fi comandați ca fiind digitali:

- intrarea analogică este conectată direct la convertorul A/D şi, în concluzie, pinul poate fi utilizat ca intrare analogică;
- buffer-ul digital de intrare nu este dezactivat.

Astfel, utilizatorul dispune de fexibilitate în configurarea acestor pini.

Se selectează frecvența ceasului de conversie A/D (T_{AD}): $2T_{OSC}$, $8T_{OSC}$, T_{OSC} or T_{RC} (ceas RC intern). Pentru primele trei opțiuni este recomandat ca durata conversiei $T_{AD} \geq 2{,}0$ μs. Dacă este necesar un timp de conversie riguros determinat, se recomandă selectarea T_{OSC} ca bază de timp. Dacă este necesară efectuarea unor conversii A/D pe durata SLEEP, se recomanda selectarea T_{RC} ca bază de timp.

2. **Selectarea canalului**: dacă se doreşte efectuarea unor achiziții A/D monocanal, registrul ADCON1 trebuie programat cu valoarea 03h. Această operație configurează pinii A/D ca pini de I/O digitală. Dacă se doreşte efectuarea unor achiziții A/D multicanal, înainte de declanşarea fiecărei conversii este necesară selectarea canalului corespunzător.
3. **Eşantionarea şi conversia**: după selectarea unui nou canal analogic, este necesar un timp minim de eşantionare înainte de poziționarea

bitului GO/DONE din ADCON0 pentru declanşarea unei conversii A/D. Odată demarat un proces de conversie, se poate selecta următorul canal, însă *eşantionarea nu se efectuează decât după încheierea conversiei curente*. De aceea, este întotdeauna necesară asigurarea timpului minim de eşantionare:

i) după sfârşitul unei conversii;
ii) după selectarea unui nou canal analogic;
iii) după activarea facilităţilor de conversie A/D (bitul ADON=1);

4. **Citirea rezultatului**: încheierea procesului de conversie A/D poate fi identificată fie prin polling pe bitul GO/DONE (resetat), fie prin polling pe indicatorul ADIF (setat), fie aşteptând o cerere de întrerupere ADIF.

În plus:

a) Nu se recomandă setarea biţilor GO/DONE şi ADON în cadrul aceleiaşi instrucţiuni. În primul rând, se setează (activează) funcţionarea convertorului A/D prin setarea bitului ADON. Ulterior trebuie să se asigure un timp de eşantionare de minim 5 μs înainte de declanşarea procesului de conversie (setarea bitului GO/DONE).
b) Întreruperea unui ciclu de conversie aflat în desfăşurare: O conversie A/D poate fi întreruptă prin resetarea bitului GO/DONE. Convertorul A/D îşi va înceta funcţionarea şi va reveni în starea de eşantionare.

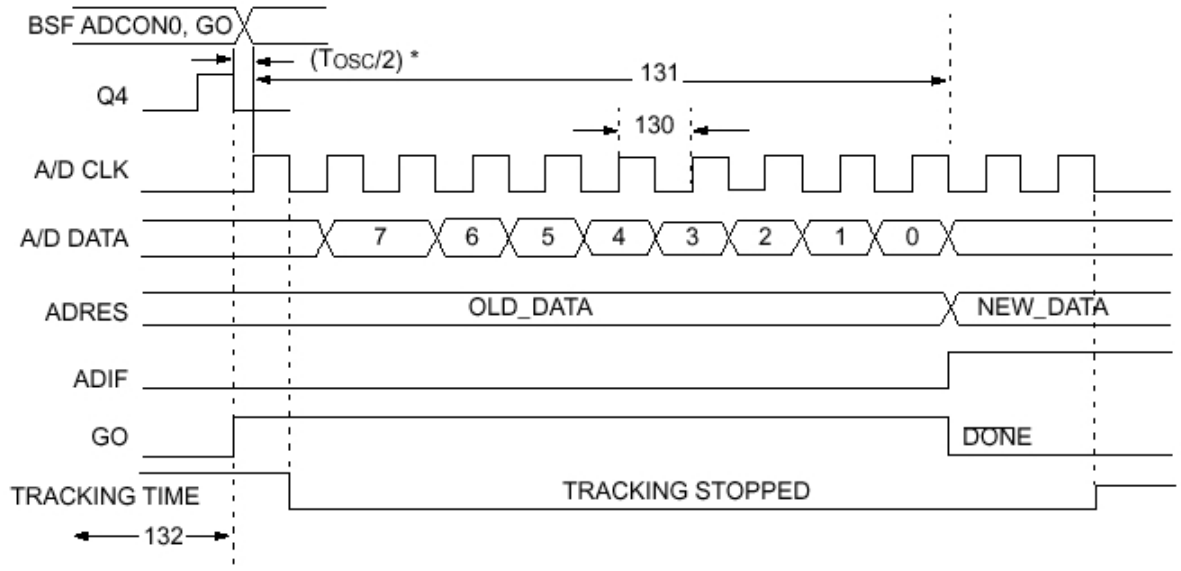


Fig. 9.12 Diagrama temporală pentru configurarea şi achiziţia A/D.

c) Se recomandă utilizarea registrului ADRES ca registru dedicat: convertorul A/D scrie în registrul ADRES doar la sfârşitul procesului de conversie. Cu toate acestea este posibilă utilizarea registrului ADRES ca un registru de transfer între două conversii succesive sau atunci când convertorul A/D este dezactivat.

În următoarele patru exemple se prezintă secvențe de cod pentru manipularea modulului de conversie A/D din cadrul PIC16C71.

Achiziție monocanal

```
; InitializeAD, initializeaza si seteaza nucleul hardware A/D.
; Se utilizeaza doar canalul ch2, cu oscilator RC.
InitializeAD
          bsf       STATUS, 5           ; selecteaza Bank1
          movlw     b'00000000'         ; selecteaza RA3-RA0
          movwf     ADCON1              ; ca intrari analogice
          bcf       STATUS, 5           ; selecteaza Bank0
          movlw     b'11010001'         ; selecteaza RC osc, ch2...
          movwf     ADCON0              ; activeaza A/D
Convert   call      sample-delay        ; timp de esantionare
;
          bsf       ADCON0, 2           ; start conversie A/D
loop
          btfsc     ADCON0, 2           ; conversie A/D gata?
          goto      loop                ; nu, atunci polling
          movf      adres, w            ; da, citeste valoarea A/D
```

Achiziție multicanal, în mod ciclic

```
; InitializeAD, initializeaza si seteaza nucleu hardware A/D.
; Selecteaza ch0 pana la ch3 circular, oscilator RC intern.
; Incarca rezultate la 4 adrese consecutive incepand cu
; ADTABLE (10h)
;
InitializeAD
          bsf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank1
          movlw     b'00000000'         ; selecteaza RA3-RA0
          movwf     ADCON1              ; ca intrari analogice
          bcf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank0
          movlw     b'11000001'         ; selecteaza: RC osc, ch0...
          movwf     ADCON0              ; activeaza A/D
          movlw     ADTABLE             ; fsr pozitionat la ...
          movwf     FSR                 ; inceputul tabelei
;
new_ad    call      sample_delay        ; timp esantionare
          bsf       ADCON0, GO          ; start conversie A/D
loop      btfsc     ADCON0, GO          ; conversie A/D gata?
          goto      loop                ; nu, polling
;
          movf      adres, w            ; da, citeste valoare A/D
          movwf     0                   ; incarcare indirecta
          movlw     4                   ; selecteaza canal urmator
          addwf     ADCON0              ; /
          bcf       ADCON0, ADIF        ; reset indicator intrerupere
; incrementeaza pointer corectie offset tabela.
          clrf      temp                ; sterge registru temporar
          btfsc     ADCON0, CH50        ; test lsb canal selectat
          bsf       temp, 0             ; set daca ch1 selectat
          btfsc     ADCON0, CH51        ; test msb canal selectat
          bsf       temp, 1             ; /
          movlw     ADTABLE             ; adresa tabelei
          addwf     temp, w             ; aduna cu temp
```

```
          movwf     FSR                 ; muta indirect la ...
          goto      new_ad
```

Manipularea întreruperilor A/D

```
          org       0x00
          goto      start
          org       0x04
          goto      service_ad          ; vector intrerupere
;
;         org 0x10
start
          movlw     b'00000000'         ; initializare porturi I/O
          movwf     PORT_B
          tris      PORT_B
;
          call      InitializeAD
update
          bcf       flag, adover        ; reset software flag A/D
          call      SetupDelay          ; delay >= 10uS.
          bcf       ADCON0, adif        ; reset A/D flag intrerupere
          bsf       ADCON0, go          ; start conversie A/D
          bsf       INTCON, gie         ; activare globala intreruperi
loop
          btfsc     flag, adover        ; conversie A/D gata?
          goto      update              ; da, start noua conversie
          goto loop                     ; nu, verifica
; InitializeAD, initializeaza si seteaza nucleul hardware A/D.
; Selecteaza ch0 - ch3, oscilator RC, intreruperi A/D.
InitializeAD
          bsf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank1
          movlw     b'00000000'         ; selecteaza RA0-RA3...
          movwf     ADCON1              ; ca intrari analogice
          bcf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank0
          clrf      INTCON              ; sterge toate intreruperile
          bsf       INTCON, ADIE        ; activeaza intrerupere A/D
          movlw     b'11010001'         ; selecteaza: RC, ch2...
          movwf     ADCON0              ; activeaza convertor A/D
          return
;
service_ad
          btfss     ADCON0, ADIF        ; intrerupere A/D?
          retfie                        ; nu, atunci ignora
          movf ADRES, W                 ; citeste valoare A/D
          return                        ; nu activez intreruperi
```

Efectuarea conversiei A/D în modul “sleep”

```
; InitializeAD, initializeaza si seteaza nucleul hardware A/D.
; Selecteaza ch0 - ch3, oscilator RC intern.
; In cursul unei conversii initiaza modul sleep.
; Aceasta va minimiza interferentele si zomotele digitale.
; Oscilatorul RC al A/D trebuie folosit obligatoriu
; in aceasta situatie.
;
InitializeAD
          bsf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank1
          movlw     b'00000000'         ; selecteaza RA0-RA3...
```

```
          movwf     ADCON1              ; ca intrari analogice
          bcf       STATUS, RP0         ; selecteaza Bank0
          movlw     b'11000001'         ; selecteaza osc RC, ch0...
          movwf     ADCON0              ; activeaza A/D si ADIE
          movlw     ADTABLE             ; fsr pointeaza la inceputul...
          movwf     FSR                 ; tabelei
;
new_ad
          bsf ADCON0, GO                ; start conversie A/D
          sleep                         ; mod sleep
; la terminarea conversiei programul continua din acest punct
;
          movf      ADRES, w            ; citeste valoarea A/D
```

9.3 CARACTERISTICI CONSTRUCTIVE. TESTARE ŞI CALIBRARE EASY SCOPE

Osciloscopul digital Easy Scope este construit pe circuit imprimat dublu placat. Toate componentele prezentate în cadrul schemei electrice sunt amplasate pe cablaj, pe o singură față (fața cu componente sau plantată). Rezistențele utilizate pentru implementarea divizoarelor de intrare, precum şi cele care intră în componența amplificatoarelor sumator-substractor sunt cu toleranțe reduse (0,1%), asigurând precizia impusă acestui echipament. Sunt prevăzute condensatoare de filtrare a surselor de tensiune de alimentare. Intrările sunt prevăzute cu mufe BNC cu plantare pe circuitul imprimat pentru a se realiza compatibilizarea deplină cu sondele de osciloscop existente.

În ceea ce priveşte punerea în funcțiune a osciloscopului, s-au urmărit următoarele etape:

- circuitul imprimat a fost echipat cu toate componentele pasive, mufele BNC de intrare, mufele de alimentare, mufa pentru interconectare cu portul paralel al calculatorului;
- au fost montate cele două stabilizatoare de tensiune integrate LM7805 (+5V) şi LM7905 (-5V) şi a fost alimentat montajul. Au fost măsurate cu un voltmetru digital tensiunile de la ieşirile stabilizatoarelor de tensiune integrate (±5V) şi tensiunile de alimentare ale capsulei TL084 (±9V);
- s-a măsurat cu un voltmetru digital tensiunea de pe cursorul potențiometrului multitură R3 şi acestă tensiune a fost ajustată la valoarea de –2,3V;
- în urma verificării corectitudinii tensiunilor din cadrul schemei, s-a întrerupt alimentarea şi s-a montat pe soclul corespunzător circuitul TL084 (amplificator operațional cuadruplu). S-a alimentat montajul. Intrările canalelor A şi B au fost conectate la masă şi s-au verificat tensiunile de la ieşirile circuitelor de condiționare a semnalelor (+2,5V). A fost reajustată tensiunea de referință (tipic –2,3V) pentru a

se obține la intrarea convertorului A/D din microcontroller tensiunea de 2,5V în cazul aplicării unor tensiuni de intrare nule (cod de ieşire A/D 7FH);

- s-a decuplat alimentarea şi a fost montat pe soclu şi circuitul PIC16C71 programat în mod corespunzător (codul sursă în limbaj de asamblare este prezentat în capitolul 6);
- se cuplează osciloscopul Easy Scope la portul paralel al calculatorului utilizând un cablu paralel, cu lungime maximă de 1,8m, cu mufe DB25M la ambele capete;
- se alimentează osciloscopul Easy Scope şi se rulează programul EasyScope.exe de pe PC;
- în urma apelării programului EasyScope.exe pentru prima dată există posibilitatea apariției unui mesaj indicând absența unui fişier de configurare. Este un mesaj normal la rularea pentru prima dată a aplicației. Pentru continuare se apasă orice tastă şi apare un meniu de opțiuni. Selectarea opțiunilor se face prin utilizarea tastelor funcționale **F1**...**F10**. Se selectează opțiunea **F8**: CONFIGURE. Se selectează portul paralel la care este conectat osciloscopul (LPT1 sau LPT2), prin utilizarea tstelor 1 sau 2 urmate de ENTER. Urmează selectarea culorii liniilor de reprezentare pentru canalele A şi B, precum şi culoarea grid-ului. Se introduc culorile dorite sub formă numerică. Aceste atribute ale reprezentării grafice pot fi modificate ulterior oricând. Selectarea acestor opțiuni va determina generarea unui fişier de configurare. Ulterior, s-a selectat opțiunea F1 - DVM mode. Acest program va afişa un heading, citirea A/D pentru canalul B şi apoi gama tensiunilor (±2,4, ±6 or ±12), citirea A/D în hex şi tensiunea măsurată pentru canalul A. Se scurtcircuitează intrarea canalului A la masă pentru a obține tensiunea de 0,0V la intrare. Se selectează gama de ±2,4V prin intermediul comutatorului SW1. Se ajustează potențiometrul R3 (dacă mai este necesar) până când valoarea citită pe canalul A este stabilă şi are valoarea 7FH şi tensiunea citită este 0,0V. Dacă se scurt-circuitează intarea canalului B la masă, citirea convertorului A/D pentru acest canal va fi tot 7FH. Se testează funcționarea convertorului A/D pentru fiecare canal prin conectarea intrărilor la o baterie. Valoarea citită trebuie să se modifice conform tensiunii de la bornele bateriei. În acest moment testarea şi calibrarea osciloscopului Easy Scope a fost efectuată cu succes.

9.4 DESCRIEREA MENIULUI APLICAȚIEI EASYSCOPE

Pe durata calibrării osciloscopului digital Easy Scope a fost utilizat modul

de lucru DVM (opțiunea **F1**), aşa ca în cele ce urmează nu mai sunt necesare explicații suplimentare referitoare la acest mod de lucru.

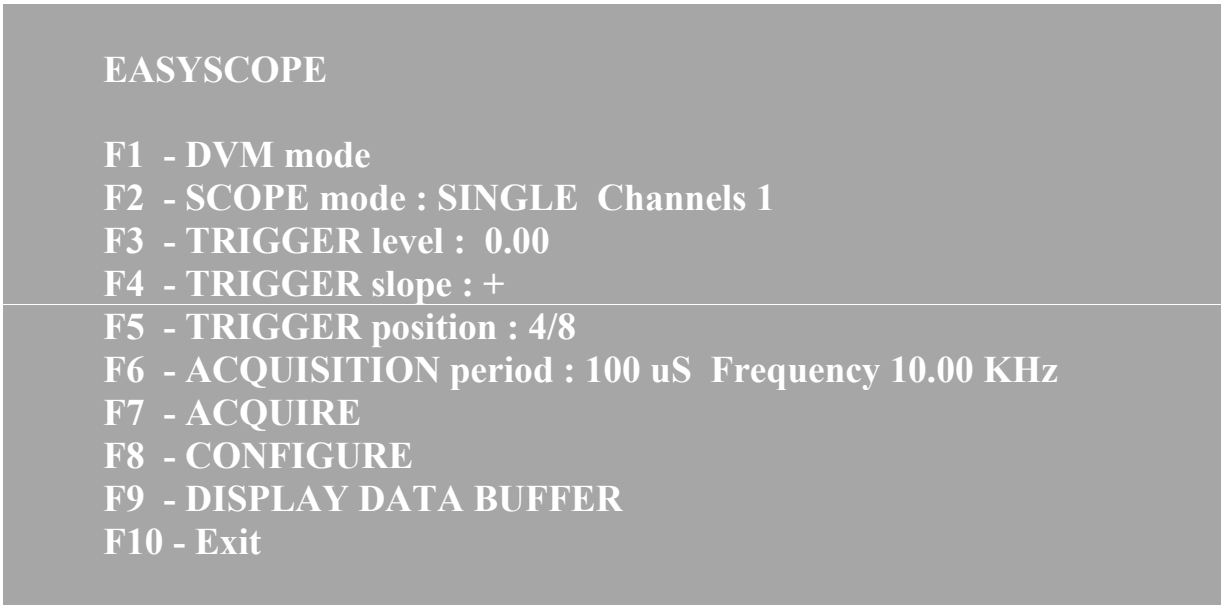


Fig. 9.13 Panoul aplicației EASYSCOPE.

Opțiunea **F2** selectează modul de funcționare al Easy Scope: CONTINUOUS, SINGLE sau NORMAL. Se selectează, de asemenea, numărul canalelor de intrare active (1= A, 2 = A&B). În modul CONTINUOUS, osciloscopul va eşantiona în mod continuu semnalele de intrare şi va actualiza afişarea, fără a utiliza opțiunea trigger. În modul SINGLE, osciloscopul va achiziționa şi afişa un singur eşantion al semnalelor de intrare utilizând triggerul. În modul NORMAL, osciloscopul va achiziționa şi va afişa datele utilizând trigger-ul, ca un osciloscop analogic.

Opțiunea **F3** permite setarea nivelului tensiunii de trigger.

Opțiunea **F4** permite setarea polarității trigger-ului ca "+" sau "-".

Opțiunea **F5** permite selectarea poziției trigger-ului în cadrul datelor achiziționate în incremente de 1/8. Valoarea of 0/8 semnifică faptul că toate datele afişate sunt ulterioare semnalului de trigger, ca în cazul unui osciloscop analogic. Valoarea 3/8 semnifică faptul că 3/8 dintre datele afişate sunt achiziționate înainte de semnalul de trigger iar restul de 5/8 sunt achiziționate după acest semnal.

Opțiunea **F6** permite setarea perioadei de achiziție în μs.

Opțiunea **F7** startează modul osciloscop, datele fiind afişate grafic în cadrul ecranului. Pentru ieşirea dim modul de lucru DVM sau ACQUIRE se utilizează tasta ESC.

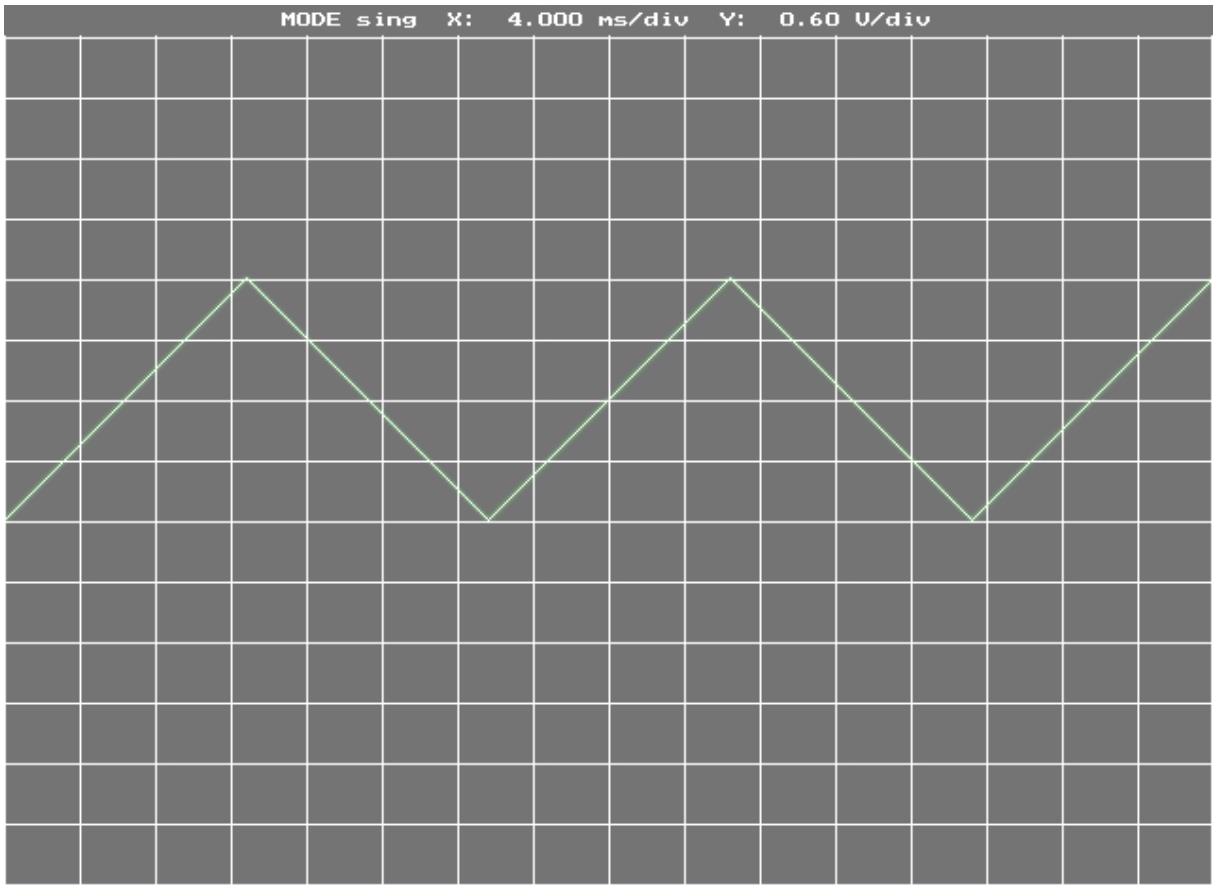


Fig. 9.14 Vizuzlizarea buffer-ului de date.

Easy Scope reprezintă un instrument ieftin şi flexibil, oferind utilizatorului şansa să lucreze cu un Digital Storage Oscilloscope pentru o fracţiune nesimnificativă din preţul unui osciloscop uzual.

9.5 CODUL SURSĂ ÎN LIMBAJ DE ASAMBLARE AL MICROCONTROLLER-ULUI PIC16C71 PENTRU OSCILOSCOPUL DIGITAL EASY SCOPE

```
;      EASY SCOPE rev 1.0  RGB 19/04/2000
;      Fisirer sursa PIC16C71 pentru EASY SCOPE
;
       list P=16C71
#include    "P16CXX.INC"
       __FUSES     _XT_OSC&_WDT_OFF&_CP_OFF
       timecnt           equ   10h
       temp_w            equ   11h
       temp_status equ   12h
       head              equ   13h
       poweron           equ   14h
       temp_fsr          equ   15h
       tmp               equ   16h
       mode              equ   17h

       org   0
       goto  start
       org   4
int:
       movwf temp_w
       swapf STATUS,W
       movwf temp_status
       movf  FSR,w
       movwf temp_fsr
       btfsc mode,0
       goto  int2
       bsf   ADCON0,GO
       movf  timecnt,w
       movwf TMR0
       incf  head,w
       andlw 2fh
       movwf head
       xorwf FSR,w
       btfsc STATUS,Z
       goto  overflow
       movf  head,w
       movwf FSR
       movf  ADRES,w
       movwf INDF
       bcf   INTCON,INTF
       bcf   INTCON,T0IF
       movf  temp_fsr,w
       movwf FSR
       swapf temp_status,w
       movwf STATUS
       swapf temp_w,f
       swapf temp_w,w
       retfie
int2:
       btfsc mode,1
       goto  int3
       bcf   ADCON0,CHS0
       bsf   mode,1
```

```
      goto  int4
int3:
      bsf   ADCON0,CHS0
      bcf   mode,1
      nop
      nop
int4:
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      movf  timecnt,w
      movwf TMR0
      incf  head,w
      andlw 2fh
      movwf head
      xorwf FSR,w
      btfsc STATUS,Z
      goto  overflow
      movf  head,w
      movwf FSR
      movf  ADRES,w
      movwf INDF
      bsf   ADCON0,GO
      bcf   INTCON,INTF
      bcf   INTCON,T0IF
      movf  temp_fsr,w
      movwf FSR
      swapf temp_status,w
      movwf STATUS
      swapf temp_w,f
      swapf temp_w,w
      retfie
overflow:
      movf  temp_fsr,w
      movwf FSR
      swapf temp_status,w
      movwf STATUS
      swapf temp_w,f
      swapf temp_w,w
      return
start:
      bcf   STATUS,RP0
      movlw 1fh
      movwf PORTA
      movlw 00fh
      movwf PORTB
      bsf   STATUS,RP0
      movlw 02h
      movwf ADCON1
      movlw 01h
      movwf OPTION_REG
      movlw 1bh
      movwf TRISA
      movlw 0f0h
      movwf TRISB
      bcf   STATUS,RP0
      movlw 5ah
      xorwf poweron,w
```

```
      btfsc STATUS,Z
      goto  start1
      movlw 0a7h
      movwf timecnt
      movlw 5ah
      movwf poweron
start1:
      btfsc PORTB,7
      goto  scope0
      btfsc PORTA,4
      goto  adcona
diag:
      bsf   PORTA,2
      bsf   PORTB,0
      bsf   PORTB,1
      bsf   PORTB,2
      bsf   PORTB,3
      nop
      nop
      bcf   PORTA,2
      bcf   PORTB,0
      bcf   PORTB,1
      bcf   PORTB,2
      bcf   PORTB,3
      goto  diag
adcona:
      btfsc PORTB,6
      goto  adconb
      movlw 81h
      movwf ADCON0
      goto  adconc
adconb:
      movlw 89h
      movwf ADCON0
adconc:
      btfsc PORTA,3
      goto  adconc
      bsf   ADCON0,GO
adconc1:
      btfsc ADCON0,GO
      goto  adconc1
      movf  ADRES,w
      movwf PORTB
      movwf tmp
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
adconc2:
      btfss PORTA,3
      goto  adconc2
      bsf   PORTA,2
      swapf tmp,w
      movwf PORTB
adcon2a:
      btfsc PORTA,3
      goto  adcon2a
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
adcon3:
      btfss PORTA,3
```

```
      goto  adcon3
      bsf   PORTA,2
      goto  adconc
scope0:
      btfsc PORTB,6
      goto  scope1
tbit:
      bcf   PORTB,3
      bsf   PORTB,2
      btfsc PORTB,4
      goto  tbitab
      bcf   PORTB,0
      goto  tbitac
tbitab:
      bsf   PORTB,0
tbitac:
      btfsc PORTB,5
      goto  tbitae
      bcf   PORTB,1
      goto  tbitaf
tbitae:
      bsf   PORTB,1
tbitaf:
      clrf  tmp
tbit0:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit0
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,0
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit0a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit0a
      bsf   PORTA,2
tbit1:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit1
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,1
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit1a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit1a
      bsf   PORTA,2
tbit2:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit2
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,2
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit2a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit2a
      bsf   PORTA,2
tbit3:
```

```
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit3
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,3
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit3a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit3a
      bsf   PORTA,2
tbit4:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit4
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,4
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit4a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit4a
      bsf   PORTA,2
tbit5:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit5
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,5
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit5a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit5a
      bsf   PORTA,2
tbit6:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit6
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,6
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit6a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit6a
      bsf   PORTA,2
tbit7:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbit7
      btfsc PORTB,7
      bsf   tmp,7
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbit7a:
      btfss PORTA,3
      goto  tbit7a
      bsf   PORTA,2
      movf  tmp,w
      movwf timecnt
```

```
      bcf   mode,0
tbitm:
      btfsc PORTA,3
      goto  tbitm
      btfsc PORTB,7
      bsf   mode,0
      bcf   PORTA,2
      nop
      nop
tbitma:
      btfss PORTA,3
      goto  tbitma
      bsf   PORTA,2
      goto  tbit
scope1:
      movlw 81h
      movwf ADCON0
      movlw 20h
      movwf head
      movwf FSR
      bcf   mode,1
      clrf  TMR0
      bsf   INTCON,T0IE
      bsf   INTCON,GIE
      bsf   ADCON0,GO
      movf  timecnt,w
      movwf TMR0
loop:
      movf  FSR,w
loopa:
      xorwf head,w
      btfsc STATUS,Z
      goto  loop
      movf  INDF,w
      movwf PORTB
loop1:
      btfsc PORTA,3
      goto  loop1
      bcf   PORTA,2
      swapf INDF,w
loop3:
      btfss PORTA,3
      goto  loop3
      bsf   PORTA,2
      movwf PORTB
loop4:
      btfsc PORTA,3
      goto  loop4
      bcf   PORTA,2
      incf  FSR,w
      andlw 2fh
loop5:
      btfss PORTA,3
      goto  loop5
      bsf   PORTA,2
      movwf FSR
      goto  loopa
      end
```

9.6 CODUL SURSĂ ÎN LIMBAJ C PENTRU OSCILOSCOPUL DIGITAL EASY SCOPE

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <graphics.h>

#define F1 0x3b00
#define F2 0x3c00
#define F3 0x3d00
#define F4 0x3e00
#define F5 0x3f00
#define F6 0x4000
#define F7 0x4100
#define F8 0x4200
#define F9 0x4300
#define F10 0x4400

#define MINPERIOD 20
#define MAXPERIOD 267

#define RESETPIN 0x20
#define MODEAPIN 0x08
#define MODEBPIN 0x10
#define MODECPIN 0x40
#define REQPIN 0x80

#define ACKPIN 0x08

unsigned char data[1024],buf[1024];
unsigned char lookup[256];
int dataport=0x278,statusport=0x279,portval;
int first=0,last=1023,ch1color=14,ch2color=13,gridcolor=7;
int smode=0,channels=0,trigslope=1,trigpos=4,period=100,acqrange=0,easyrev=0;
float voltrange=2.4,triglevel=0.0,acqrate=10000.0,
main()
{
int c,i;

for(i=0;i<1024;i++)buf[i]=(((i%256)<128)?i:256-i);
makelookup(lookup);
rdconfig();
for(;;){
        clrscr();
        printf("\n\t\tEASYSCOPE Rev 1.0\n\n");
        printf("\t\t(C) COPYRIGHT 2000 A&C\n");
        printf("\t\tAll Rights Reserved\n");
        easyrev=(getconfig()>>6)&0x03;
        printf("\t\tEASYSCOPE REV %x\n\n",easyrev);
        printf("\t\tF1  - DVM mode\n");
        printf("\t\tF2  - SCOPE mode : %s  Channels %d\n",
                smode?(smode==1?"SINGLE":"NORM"):"CONTINOUS",channels+1);
        printf("\t\tF3  - TRIGGER level : %5.2f\n",triglevel);
        printf("\t\tF4  - TRIGGER slope : %s\n",trigslope?"+":"-");
        printf("\t\tF5  - TRIGGER position : %d/8\n",trigpos);
```

```
        printf("\t\tF6  - ACQUISITION period : %3d uS  Frequency %5.2f KHz\n"
                        ,period,acqrate*0.001);
        printf("\t\tF7  - ACQUIRE\n");
        printf("\t\tF8  - CONFIGURE\n");
        printf("\t\tF9  - DISPLAY DATA BUFFER\n");
        printf("\t\tF10 - exit\n");
        c=bioskey(0);
        switch(c){
                case F1:        dvm();
                                break;
                case F2:        channels++;
                                channels &=0x01;
                                if(!channels)smode++;
                                if(smode>2)smode=0;
                                break;
                case F3:        printf("Enter trigger level in volts :");
                                scanf("%f",&triglevel);
                                break;
                case F4:        trigslope++;
                                trigslope &=0x01;
                                break;
                case F5:        trigpos++;
                                trigpos &=0x07;
                                break;
                case F6:        if(easyrev==2){
                                do{
                                printf("select acquisition range Standard/Low (S/L)\n");
                                        c=getch()&0xdf;
                                }while((c!='S')&&(c!='L'));
                                }
                                if(c=='L'){
                                printf("enter acqusition period in uS (1600 - 17088) :");
                                        scanf("%d",&period);
                                        i=period/64;
                                        if((i<MINPERIOD)||(i>MAXPERIOD))
                                                i=100;
                                        period=i*64;
                                        acqrange=1;
                                }
                                else {
                                        printf("enter acqusition period in uS (25 - 267) :");
                                        scanf("%d",&period);
                                        if((period<MINPERIOD)||(period>MAXPERIOD))
                                                period=100;
                                        acqrange=0;
                                        i=period;
                                }
                                acqrate=1000000.0/(double)period;
                                c=configeasy(267-i);
                                voltrange=(c==0x30?12.0:(c==0x10?6.0:2.4));
                                break;
                case F7:        scope();
                                break;
                case F8:        configure();
                                break;
                case F9:        display();
                                break;
                case F10:       exit(0);
        }
}
```

```
}

makelookup()
{
int i,data,tmp;

for(i=0;i<256;i++){
        switch(i&0xc0){
                case 0x00:      tmp=0x40;
                                break;
                case 0x40:      tmp=0xc0;
                                break;
                case 0x80:      tmp=0x00;
                                break;
                case 0xc0:      tmp=0x80;
                                break;
        }
        data=i&0x3f;
        data |=tmp;
        switch(i&0x0c){
                case 0x00:      tmp=0x04;
                                break;
                case 0x04:      tmp=0x0c;
                                break;
                case 0x08:      tmp=0x00;
                                break;
                case 0x0c:      tmp=0x08;
                                break;
        }
        data &=0xf3;
        data |=tmp;
        lookup[i]=data;
}
}

datain(unsigned char buf[],int pre,int post,int trig,int slope)
{
int data,data1,i=0,timeout=0,lasttrig=0,triggered=0;
int t;

if(trig== -1)triggered=1;
while(post){
        outportb(dataport,0x7f);
        for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
                if(0==((data=inportb(statusport))&ACKPIN))break;
        data >>=4;
        if(timeout==32766)return(-1);
        outportb(dataport,0xff);
        for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
                if((inportb(statusport)&ACKPIN))break;
        while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
        outportb(dataport,0x77);
        if(timeout==32766)return(-1);
        for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
                if(!((data1=inportb(statusport))&ACKPIN))break;
        while((data1=inportb(statusport))&ACKPIN);
        outportb(dataport,0xff);
        if(timeout==32766)return(-1);
        data |=(data1&0xf0);
        data=lookup[data];
```

```
		buf[i++]=data;
		i &=0x3ff;
		if(pre)pre--;
		else{
			if(triggered)post--;
			else {
				if(slope){
					if(data>trig){
						if(lasttrig)triggered=1;
					}
					else lasttrig=1;
				}
				else {
					if(data<trig){
						if(lasttrig)triggered=1;
					}
					else lasttrig=1;
				}
			}
		}
		while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
		for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
			if((inportb(statusport)&ACKPIN))break;
		if(timeout==32766)return(-1);
}
return(i);
}

datain2(unsigned char buf[],int pre,int post,int trig,int slope)
{
int data,data1,i=0,timeout=0,lasttrig=0,triggered=0;
int t;

if(trig== -1)triggered=1;
while(post){
		outportb(dataport,0x7f);
		for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
			if(0==((data=inportb(statusport))&ACKPIN))break;
		data >>=4;
		if(timeout==32766)return(-1);
		outportb(dataport,0xff);
		for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
			if((inportb(statusport)&ACKPIN))break;
		while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
		outportb(dataport,0x77);
		if(timeout==32766)return(-1);
		for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
			if(!((data1=inportb(statusport))&ACKPIN))break;
		while((data1=inportb(statusport))&ACKPIN);
		outportb(dataport,0xff);
		if(timeout==32766)return(-1);
		data |=(data1&0xf0);
		data=lookup[data];
		buf[i++]=data;
		i &=0x3ff;
		if(pre)pre--;
		else{
			if(triggered)post--;
			else if(i&0x01){
				if(slope){
```

```
                                        if(data>trig){
                                                if(lasttrig)triggered=1;
                                        }
                                        else lasttrig=1;
                                }
                                else {
                                        if(data<trig){
                                                if(lasttrig)triggered=1;
                                        }
                                        else lasttrig=1;
                                }
                        }
                }
                while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
                for(timeout=0;timeout<32766;timeout++)
                        if((inportb(statusport)&ACKPIN))break;
                if(timeout==32766)return(-1);
        }
        return(i);
        }

        int configeasy(int count)
        {
        int mask,ret,endmask=0x200;

        outportb(dataport,0xd0);
        delay(100);
        outportb(dataport,0xf0);
        delay(5);
        ret=lookup[inportb(statusport)];
        printf("configeasy ret %02x\n",ret);
        getch();
        count &=0xff;
        if((channels)&&(ret&0xc0))count |=0x100;
        else channels=0;
        if(ret&0x80){
                if(acqrange)count |=0x200;
                endmask=0x400;
        }
        for(mask=0x01;mask<endmask;mask <<=1){
                if(count&mask){
                        outportb(dataport,0xf0);
                        outportb(dataport,0x70);
                }
                else {
                        outportb(dataport,0xe0);
                        outportb(dataport,0x60);
                }
                while(inportb(statusport)&ACKPIN);
                outportb(dataport,0xf0);
                while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
        }
        outportb(dataport,0xf0);
        return(ret);
        }

        int getconfig()
        {
        outportb(dataport,0xd0);
        delay(100);
```

```
outportb(dataport,0xf0);
delay(5);
return(lookup[inportb(statusport)]);
}

dvm()
{
int ad,con,ad1;
float val;

clrscr();
printf("EASY SCOPE\n");
printf("Digital Voltmeter Mode\n\n");

for(;;){
        con=getconfig();
        ad=getad0();
        ad1=getad1();
        con &=0x30;
        if(con==0x30)val=(ad-127)*0.09375;
        if(con==0x10)val=(ad-127)*0.046875;
        if(con==0x20)val=(ad-127)*0.01875;
        printf("Ch 2 %02x  Ch 1 Range %5.2f  A/D reading %02x  Voltage %6.2f\r",
                ad1,con==0x30?12.0:(con==0x10?6.0:2.4),ad,val);
        if(kbhit()){if(getch()==27)break;}
}
}

int getad0()
{
int val;

outportb(dataport,portval=MODECPIN|REQPIN);
delay(100);
outportb(dataport,portval |=RESETPIN);
delay(1);
outportb(dataport,portval & ~REQPIN);
while(inportb(statusport)&ACKPIN);
val=inportb(statusport)>>4;
outportb(dataport,portval);
while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
outportb(dataport,portval & ~REQPIN);
while(inportb(statusport)&ACKPIN);
val |=inportb(statusport)&0xf0;
outportb(dataport,portval);
val=lookup[val];
return(val);
}

int getad1()
{
int val;

outportb(dataport,portval=MODECPIN|MODEAPIN|REQPIN);
delay(100);
outportb(dataport,portval |=RESETPIN);
delay(1);
outportb(dataport,portval & ~REQPIN);
while(inportb(statusport)&ACKPIN);
val=inportb(statusport)>>4;
```

```
outportb(dataport,portval);
while(!(inportb(statusport)&ACKPIN));
outportb(dataport,portval & ~REQPIN);
while(inportb(statusport)&ACKPIN);
val |=inportb(statusport)&0xf0;
outportb(dataport,portval);
val=lookup[val];
return(val);
}
scope()
{
int gdriver=VGA,gmode=VGAHI,errorcode;
int j,w,i,position,pre,post,c,cold,trigad,pass=0;
char linebuf[128];
configeasy(267-period);
c=cold=getconfig()&0x30;
voltrange=(c==0x30?12.0:(c==0x10?6.0:2.4));
if(smode)trigad=triglevel/voltrange*127.0+127;
else trigad= -1;
if((trigad>253)||(trigad<2))trigad= -1;
pre=(640*trigpos)/8+1;
post=640-pre+1;
errorcode=registerbgidriver(EGAVGA_driver);
if(errorcode<0){
        printf("graphics error: %s\n",grapherrormsg(errorcode));
        printf("press any key\n");
        getch();
        return(0);
}
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
errorcode=graphresult();
if(errorcode != grOk){
        printf("graphics error: %s\n",grapherrormsg(errorcode));
        printf("press any key\n");
        getch();
        return(0);
}
setcolor(15);
setwritemode(COPY_PUT);
cleardevice();
setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
sprintf(linebuf," EASY SCOPE");
w=textwidth(linebuf);
bar(319-w/2,5,319+w/2,textheight(linebuf)+5);
outtextxy(319-w/2,5,linebuf);
sprintf(linebuf,"MODE %s  X: %6.3f ms/div  Y: %5.2f V/div",
        smode?((smode==1)?"sing":"norm"):"cont",(float)period*40.0/1000.0,
        voltrange/4.0);
w=textwidth(linebuf);
outtextxy(319-w/2,18,linebuf);
setcolor(gridcolor);
for(position=0;position<640;position +=40)
        line(position,479,position,30);
for(i=479;i>30;i -=32)line(0,i,639,i);
line(639,479,639,30);
do {
        outportb(dataport,~RESETPIN);
        delay(100);
        outportb(dataport,0xff);
        while((inportb(statusport)&0x10)==0);
```

```
        if(channels)j=datain2(data,pre,post,trigad,trigslope);
        else j=datain(data,pre,post,trigad,trigslope);
        if(j== -1){
                closegraph();
                printf("Data Underrun Error reduce acquistion rate - press any key\n");
                getch();
                return(-1);
        }
        for(i=639;i>=0;i--){
                buf[i]=(data[j]);
                j--;
                if(j<0)j=1023;
        }
        if(pass){
                c=getconfig()&0x30;
                if(c!=cold){
                        cold=c;
                        voltrange=(c==0x30?12.0:(c==0x10?6.0:2.4));
                        sprintf(linebuf,"MODE %s  X: %6.3f ms/div  Y: %5.2f V/div",

        smode?((smode==1)?"SING":"NORM"):"CONT",(float)period*40.0/1000.0,
                                voltrange/4.0);
                        w=textwidth(linebuf);
                        setcolor(15);
                        bar(319-w/2,18,319+w/2,textheight(linebuf)+18);
                        outtextxy(319-w/2,18,linebuf);
                }
                bar(0,29,639,479);
                setcolor(gridcolor);
                for(position=0;position<640;position +=40)
                        line(position,479,position,30);
                for(i=479;i>30;i -=32)line(0,i,639,i);
                line(639,479,639,30);
                for(position=0;position<640;position +=40){
                        for(i=195;i>66;i -=16)putpixel(position,i,1);
                }
        }
        for(i=0;i<640;i++){
                if(channels&&(i&0x01))putpixel(i,478-buf[i],ch2color);
                else putpixel(i,286-buf[i],ch1color);
        }
        pass=1;
        if(kbhit())break;
}while(smode!=1);
getch();
closegraph();
return(0);
}
display()
{
int gdriver=VGA,gmode=VGAHI,errorcode;
int j,w,i,position,pre,post,c,cold,trigad,pass=0;
char linebuf[128];
smode=1;
errorcode=registerbgidriver(EGAVGA_driver);
if(errorcode<0){
        printf("graphics error: %s\n",grapherrormsg(errorcode));
        printf("press any key\n");
        getch();
        return(0);
```

```
}
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
errorcode=graphresult();
if(errorcode != grOk){
        printf("graphics error: %s\n",grapherrormsg(errorcode));
        printf("press any key\n");
        getch();
        return(0);
}
setcolor(15);
setwritemode(COPY_PUT);
cleardevice();
setfillstyle(EMPTY_FILL,0);
sprintf(linebuf,"EASY SCOPE");
w=textwidth(linebuf);
bar(319-w/2,5,319+w/2,textheight(linebuf)+5);
outtextxy(319-w/2,5,linebuf);
sprintf(linebuf,"MODE %s  X: %6.3f ms/div  Y: %5.2f V/div",
        smode?((smode==1)?"sing":"norm"):"cont",(float)period*40.0/1000.0,
        voltrange/4.0);
w=textwidth(linebuf);
outtextxy(319-w/2,18,linebuf);
setcolor(gridcolor);
for(position=0;position<640;position +=40)
        line(position,479,position,30);
for(i=479;i>30;i -=32)line(0,i,639,i);
line(639,479,639,30);
for(i=0;i<640;i++){
        if(channels&&(i&0x01))putpixel(i,478-buf[i],ch2color);
        else putpixel(i,286-buf[i],ch1color);
}
getch();
closegraph();
return(0);
}
rdconfig()
{
FILE *fp;
char line[128];
int i;
if((fp=fopen("EASYSCII.CFG","rt"))==NULL){
        clrscr();
        printf("Can NOT open config file - Using DEFAULTS - Press any key\n");
        dataport=0x278;
        statusport=dataport+1;
        getch();
        return(0);
}
fgets(line,128,fp);
sscanf(line,"%x",&dataport);
statusport=dataport+1;
fgets(line,128,fp);
sscanf(line,"%d",&ch1color);
fgets(line,128,fp);
sscanf(line,"%d",&ch2color);
fgets(line,128,fp);
sscanf(line,"%d",&gridcolor);
fclose(fp);
}
info()
```

```
{
clrscr();
printf("\n\n\n\t\t\tEASY SCOPE\n");
printf("\n\t\t\tA&C 2000\n");
getch();
}
int configure()
{
int cal,c;
FILE *fp;
printf("Select port LPT1 (378) or LPT2 (278) or LPT3 (3BC) (1/2/3) :");
do{
        c=getch();
}while((c!='1') && (c!='2') && (c!=3));
if(c=='1')dataport=0x378;
else if(c=='2')dataport=0x278;
else dataport=0x3bc;
printf("\nSelect channel 1 color (1-15) :");
scanf("%d",&ch1color);
printf("Select channel 2 color (1-15) :");
scanf("%d",&ch2color);
printf("Select grid color (1-15) :");
scanf("%d",&gridcolor);
if((fp=fopen("EASYSCII.CFG","wt"))==NULL){
        clrscr();
        printf("CAN NOT OPEN CONFIG FILE - PRESS ANY KEY\n");
        getch();
        return(0);
}
fprintf(fp,"%x\n",dataport);
fprintf(fp,"%d\n",ch1color);
fprintf(fp,"%d\n",ch2color);
fprintf(fp,"%d\n",gridcolor);
fclose(fp);
statusport=dataport+1;
easyrev=(getconfig()>>6)&0x03;
printf("complete - press any key\n");
getch();
}
file()
{
int c,i;
FILE *fp;
char file[128],dummy[496];
clrscr();
for(i=0;i<496;i++)dummy[i]=0;
printf("\n\t\t\tRGB LOGIC ANALYZER FILE MENU\n");
printf("\n\t\t\tF1  - SAVE DATA FILE\n");
printf("\t\t\tF2  - LOAD DATA FILE\n\n");
printf("\t\t\tF10 - CANCEL\n\n");
c=bioskey(0);
switch(c){
        case F1: printf("\t\t\tenter file name : ");
                scanf("%s",file);
                if((fp=fopen(file,"wb"))==NULL){
                        printf("CAN NOT OPEN FILE - PRESS ANY KEY");
                        getch();
                        return(0);
                }
                fwrite(&masterclock,sizeof(masterclock),1,fp);
```

```
                fwrite(&clockrate,sizeof(clockrate),1,fp);
                fwrite(&trigger,sizeof(trigger),1,fp);
                fwrite(&dontcare,sizeof(dontcare),1,fp);
                fwrite(&triglength,sizeof(triglength),1,fp);
                fwrite(&first,sizeof(first),1,fp);
                fwrite(&last,sizeof(last),1,fp);
                fwrite(dummy,sizeof(dummy[0]),496,fp);
                fwrite(dbuf,sizeof(dbuf[0]),8192,fp);
                fclose(fp);
                break;
        case F2: printf("\t\t\tenter file name : ");
                scanf("%s",file);
                if((fp=fopen(file,"rb"))==NULL){
                        printf("CAN NOT OPEN FILE - PRESS ANY KEY");
                        getch();
                        return(0);
                }
                fread(&masterclock,sizeof(masterclock),1,fp);
                fread(&clockrate,sizeof(clockrate),1,fp);
                fread(&trigger,sizeof(trigger),1,fp);
                fread(&dontcare,sizeof(dontcare),1,fp);
                fread(&triglength,sizeof(triglength),1,fp);
                fread(&first,sizeof(first),1,fp);
                fread(&last,sizeof(last),1,fp);
                fread(dummy,sizeof(dummy[0]),496,fp);
                fread(dbuf,sizeof(dbuf[0]),8192,fp);
                fclose(fp);
                break;
        case F10: return(0);
}
}
```

10. TRADUCTOR INTELIGENT PENTRU MĂSURAREA NIVELULUI

Tematica propusă în cadrul acestui capitol constă în cercetarea şi proiectarea unui echipament pentru determinarea nivelului lichidelor depozitate în vase staţionare la presiune joasă, denumit **NIVELMETRU CU ULTRASUNETE**.

Determinarea nivelului lichidului în vas se bazează pe măsurarea intervalului de timp între momentul emisiei unei unde ultrasonice dirijate perpendicular pe suprafaţa lichidului de către un senzor specializat amplasat la partea superioară a vasului, într-o poziţie determinată, şi momentul recepţiei de către acesta a undei reflectate. Dat fiind că temperatura mediului în care se propagă unda sonoră afectează timpul de propagare, se impune corecţia acestuia. În acest scop se amplasează în vecinatătea senzorului ultrasonic un senzor de temperatură.

Scopul echipamentului constă în determinarea nivelului lichidului în vas şi a temperaturii în punctul de amplasare a senzorului ultrasonic, putând fi utilizat în aplicaţii industriale care necesită determinarea nivelului lichidului, în limitele condiţiilor de lucru impuse de traductorul ultrasonic utilizat.

Caracteristicile echipamentului de măsurare a nivelului includ:

- măsurarea şi afişarea nivelului lichidului din vas şi a temperaturii în punctul de amplasare a senzorului;
- semnalizarea (alarmare) la atingerea unor mărimi programate: nivel maxim şi nivel minim;
- posibilitatea de conectare a echipamentului la un calculator ierarhic superior, printr-o legătură serială **RS-232**, în vederea unor prelucrări ulterioare a informaţiilor prelevate din proces;
- furnizarea unui semnal unificat de curent proporţional cu nivelul lichidului în vas.

Parametrii tehnici ai echipamentului de măsurare sunt:

- domeniul de măsurare a nivelului: (800...6000)mm;
- precizia de măsurare a nivelului: ± 4 mm;
- rezolutia de măsurare a nivelului: ± 1 mm;
- precizia de măsurare a temperaturii: ± 1^0C;
- temperatura mediului de lucru: (-20...+100)^{0}C;
- temperatura de operare: (-20...+70)^{0}C.

Noile aplicaţii în domeniul automatizărilor industriale sunt definite de un grad înalt de inteligenţă, ceea ce permite adoptarea de noi algoritmi de funcţionare, atât în prelucrarea şi transmiterea informaţiilor, cât şi în conducerea proceselor.

Tema propusă se încadrează în eforturile de introducere în producţia de serie de noi tipuri de traductoare inteligente, cu referire la măsurarea nivelului.

Performanţele impuse prin temă, cât şi soluţiile tehnice adoptate justifică încadrarea nivelmetrului cu ultrasunete în clasa traductoarelor inteligente. Gradul de inteligenţă este determinat de funcţiile traductorului şi anume:

1. Programarea regimurilor de funcţionare:
   - domeniul de măsurare a nivelului;
   - limitele de alarmare, superioară şi inferioară, a valorii nivelului;
   - valorea zonei de insensibilitate la semnalizarea ieşirii din limite;
2. Protecţie la accesul neautorizat pentru programarea regimurilor de funcţionare prin utilizarea unei parole de acces;
3. Utilizarea unei tastaturi funcţionale pentru programarea regimurilor de funcţionare şi pentru introducerea parolei de acces;
4. Afişarea pe un display alfanumeric cu cristale lichide a valorilor programate şi a parametrilor măsuraţi;
5. Asigurarea funcţionării în clasa de exactitate impusă, în condiţiile modificării valorii temperaturii mediului ambiant;
6. Transmiterea a două comenzi de alarmare, la atingerea unor valori critice ale nivelului lichidului în vas;
7. Transmiterea unui semnal unificat de curent proporţional cu nivelul lichidului;
8. Transmiterea pe o linie serială a datelor prelevate din proces către un calculator ierarhic superior, ceea ce este necesar în sistemele de conducere sau monitorizare a proceselor tehnologice, în monitorizarea unor sisteme în ecologie şi în cercetări pe staţtii pilot.

10.1 PREZENTAREA HARDWARE A TRADUCTORULUI INTELIGENT DE NIVEL

Schema funcţională a traductorului inteligent de nivel cuprinde următoarele module.

- Unitatea Centrală de Prelucrare. Unitatea Centrală de Prelucrare permite programarea prin intermediul unei tastaturi, memorarea într-o memorie nevolatilă şi vizualizarea pe un afişaj cu cristale lichide a regimurilor de funcţionare alese de către operatorul uman după confirmarea unei parole, efectuarea calculelor necesare îndeplinirii funcţiilor principale ale aparatului şi pentru asigurarea comunicaţiei cu un calculator ierarhic superior;
- Celula de măsurare a nivelului. Celula de măsurare a nivelului, referită în continuare ca senzor de ultrasunete, are rolul de a emite un fascicol de ultrasunete şi de a recepţiona unda reflectată. Comanda emisiei se

face de către unitatea centrală de prelucrare, care primeşte de la celula de măsurare şi semnalul determinat de către unda reflectată;

- Senzorul de temperatură. Senzorul de temperatură serveşte pentru obținerea unui semnal privind valoarea temperaturii mediului ambiant, valoare care este utilizată în calcule pentru corecția cu temperatura a informației de nivel;
- Interfața serială de comunicații. Interfața serială de comunicație permite transmiterea informațiilor rezultate din procesul de măsurare a nivelului şi temperaturii, la un calculator superior ierarhic, utilizat pentru conducerea sau monitorizarea unui proces tehnologic;
- Modulul de alarmare / semnalizare. Modulul de alarmare / semnalizare transmite în exterior două comenzi asociate cu atingerea unor valori critice, programabile, a nivelului lichidului în vas: Limita Superioară şi Limita Inferioară;
- Modulul pentru semnal unificat. Modulul pentru semnal unificat transmite în exterior un semnal unificat de curent, proporțional cu nivelul lichidului în vas;
- Modul pentru tensiuni de alimentare.

Traductorul de nivel este compatibil cu aparatura din sistemele unificate de automatizare, prin furnizarea unui semnal unificat standardizat şi prin utilizarea standardului de comunicatie pe linii seriale **RS-232**.

Modulul surselor de alimentare conţine:
SURSA DE ALIMENTARE "+5V":
Utilizare:

- alimentarea unității centrale de prelucrare;
- alimentarea unitatii de afişare alfanumerică;
- alimentarea tastaturii;
- alimentarea circuitului de intrare a optocuplorului;

SURSA DE ALIMENTARE "+24V":
Utilizare:

- alimentarea senzorului de nivel cu ultrasunete;
- alimentarea traductorului de nivel (daca se utilizează);
- alimentarea traductorului de temperatură;
- Alimentarea circuitelor de alarmare.

SURSELE DE ALIMENTARE "+15V" şi "-15V"
Utilizare:

- alimentarea generatorului de curent (4...20)mA;

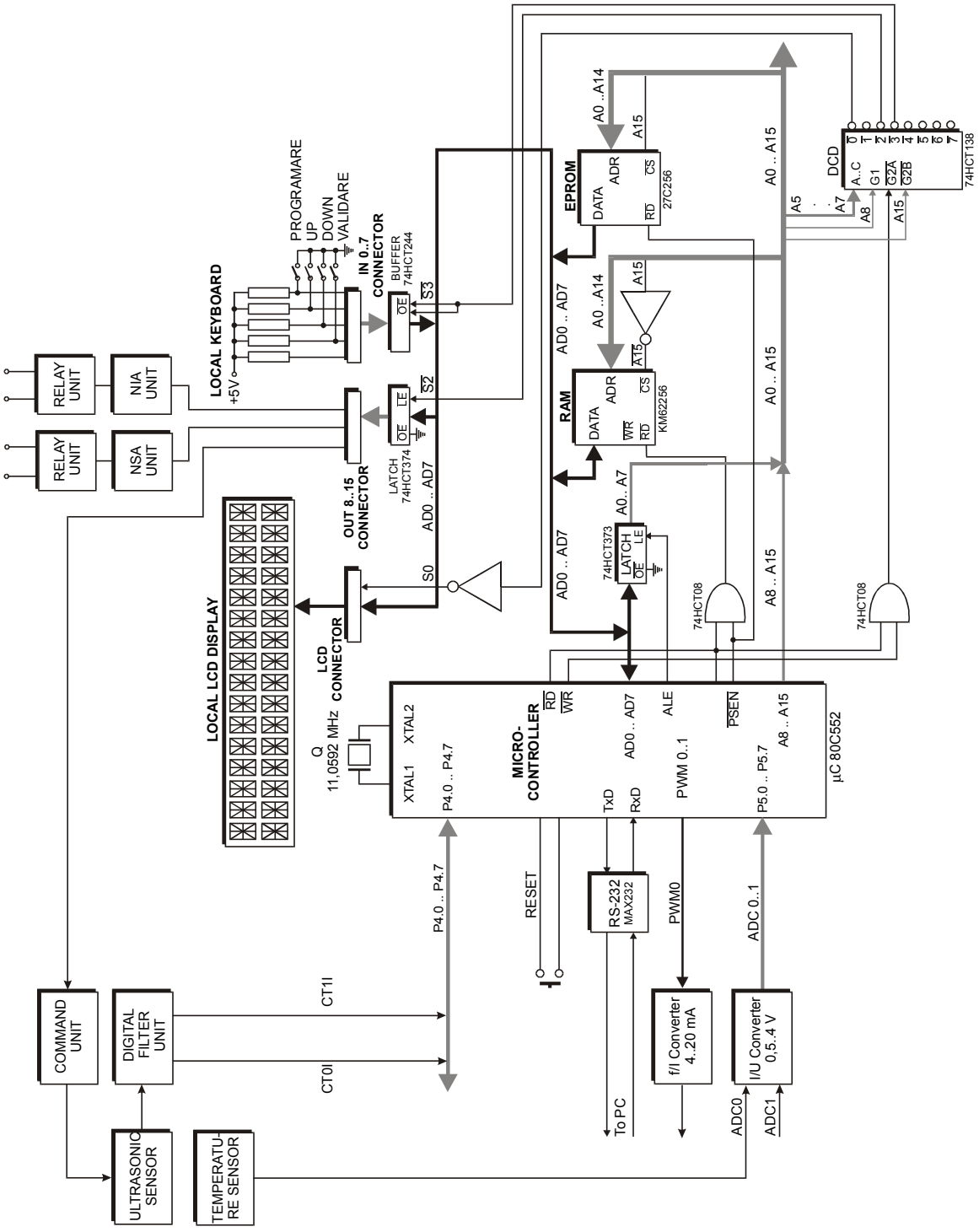


Fig. 10.1 Schema bloc a nivelmetrului cu ultrasunete.

Circuitule de control ale senzorului de nivel cu ultrasunete

(varianta cu ieşire logică).

Circuitul de comandă a emisiei fascicolului ultrasonic este organizat în jurul unui tranzistor în montaj "open-colector", comandat în bază de semnalul AX8 (extensie port ieşire "output high"). Semnalul de comandă a tranzistorului

este şi comanda de start pentru contorul de evenimente CT1 prin semnalul CT0I.

Circuitul de recepție a semnalului reflectat este organizat în jurul unui tranzistor în montaj EC. Semnalul CT1I, cules în colectorul tranzistorului, este semnalul de stop pentru contorul de evenimente.

Generatorul pentru semnal unificat în curent

În vederea prelucrării exterioare a informației de nivel, este prevazută şi o ieşire pentru semnal unificat în curent (4...20)mA.

În acest scop se utilizează un generator de curent comandat de unul din canalele cu ieşire modulată în durată, prin semnalul PWM0.

Din considerente de protecție această secțiune este separată galvanic de restul circuitelor, prin utilizarea unei surse de alimentare dedicate şi izolată optic pe calea circuitului de comandă.

Generaratorul pentru semnal unificat în curent este un convertor tensiune (0...5)V / curent (4...20)mA.

Tensiunea de comandă se obține, după filtrare, din semnalul PWM0 (un tren de impulsuri modulate în durată, cu frecvența de 10KHz), aplicate la intrarea convertorului prin intermediul unui optocuplor comandat la intrare prin intermediul unui tranzistor.

Circuitele de conversie curent / tensiune

Există două astfel de circuite. Acestea convertesc un semnal de curent unificat în domeniul (4...20)mA într-un semnal de tensiune în domeniul (1...5)V, în vederea prelucrării ulterioare în secțiunea anlogică a unității de control la care se conectează prin semnalele ADC0 şi respectiv ADC1.

Constructiv, aceste circuite de conversie simulează o rezistență echivalentă de 250Ω cu o precizie de 0,1%.

Primul circuit este rezervat conectării unui traductor de nivel cu ieşire în curent, ca soluție alternativă la utilizarea senzorului cu ieşire logică, iar cel de al doilea conectării unui traductor de temperatură. Ambele traductoare sunt alimentate de la sursa +24V.

Alimentarea convertorului analog / digital

Terminalele de alimentare sunt AVDD conectat la sursa +5V şi AVSS conectat la masa sistemului.

Pentru obținerea tensiunilor de referință s-a utilizat un circuit specializat LM 336-5V, având o bună precizie şi stabilitate termică.

Tensiunea de referinta REF+ (+5V) se obține direct la bornele referinței, iar REF- (+1V) se obține pe cursorul unui semireglabil.

Circuite de alarmare

Sunt prevăzute două circuite de alarmare, activate la atingerea unor nivele

critice programabile.

Circuitele sunt controlate la intrare de semnalele AX9 şi respectiv AX10 (portul de ieşire "output high"), care prin intermediul unor tranzistoare comandă două releele.

Ieşirea circuitului "Alarmare Superioară" este constituită de perechea de contacte N.I./N.D. a releului K1.

Ieşirea circuitului "Alarmare Inferioară" este constituită de perechea de contacte N.I./N.D. a releului K2.

Simulator pentru senzorul de ultrasunete

În lipsa senzorului ultrasonic, a fost utilizat un circuit de simulare a acestuia. Circuitul introduce o întârziere reglabilă în domeniul (0...45)ms, pe calea de la circuitul de comandă a senzorului (semnal AX8) la circuitul de recepție (semnal CT1I), simulând timpul parcurs de fascicolul ultrasonic de la emițător la suprafața tintă şi înapoi.

Circuitul de întârziere se conectează în locul senzorului ultrasonic.

Primul etaj al circuitului, introduce o întârziere reglabilă cu ajutorul unui potențiometru, în domeniul (0...45)ms. Acesta este un monostabil comandat de tranzitia "1↓0" a impulsului de comandă (semnalul AX8 inversat).

Al doilea etaj este, de asemenea, un monostabil, comandat de ieşirea "Q" a primului monostabil la tranziția "1↓0" a acesteia. Rezistența variabilă R6 permite ajustarea duratei impulsului cules la ieşirea negată a monostabilului, care comandă tranzistorul (în colectorul căruia se culege semnalul CT1I) corespunzător undei reflectate.

10.2 PROGRAMUL DE APLICAȚII NIV.ASM

Faza de dezvoltare a programului de aplicație destinat determinării înălțimii coloanei de lichid dintr-un vas, folosind un senzor cu ultrasunete conectat la o unitate centrală de prelucrare cu microcontroller 80C552, a constat din:

- scrierea programului, în limbajul de asamblare al familiei de microcontroller-e 8051, cu ajutorul unui editor ASCII de texte, ca de exemplu **EDIT.COM** din sistemul de operare **MS-DOS**, **NCEDIT.EXE** din **NORTON COMMANDER** sau **NOTEPAD.EXE** din sistemul de operare **WINDOWS** (se impune utilizarea unui editor ASCII pentru a nu se introduce caractere speciale de control în sursa programului). În sursa programului de aplicație sunt declarate în mod explicit resursele suplimentare ale microcontroller-ului 80C552 în raport cu 8051, într-o secțiune declarativă la început (aceasta secțiune conține linii de cod în limbaj de asamblare de tip

ADCON equ 0C5H). Programul sursă de aplicație are numele **NIV.ASM**;

- asamblarea sursei programului de aplicație, cu ajutorul asamblorului **A51.EXE**, specializat pentru familia de microcontroller-e 8051, folosind sintaxa:

A51.EXE NIV.ASM

În urma executării asamblării programului sursă de aplicații, asamblorul **A51.EXE** generează două fişiere: **NIV.LST**, un fişier listă ce este destinat localizării eventualelor erori rezultate în urma procesului de asamblare şi **NIV.OBJ**, un fişier de tip obiect, care va fi folosit în continuare pentru obținerea formatului executabil;

- obținerea formatului executabil, de tip **INTEL HEX**, pe baza fişierului de tip **OBJ**, folosid programul **OHS51.EXE** cu sintaxa:

OHS51.EXE NIV.OBJ

Este generat fişierul executabil **NIV.HEX** ce constituie programul propriu-zis de aplicație. Ca orice fişier format **HEX**, acesta începe cu un ***header*** ce conține numărul de octeți ai programului, adresa la care este organizat programul (specificată prin directiva **ORG** în prima linie), urmat de corpul programului şi se încheie cu o sumă de control.

- rularea programului **NIV.HEX** presupune rularea pe un calculator gazdă, de tip PC, a programului monitor al unității centrale cu microcontroller 80C552, denumit **MT.EXE**, care are în primul rând rolul de a stabili comunicația serială între sistemul cu microcontroller şi calculatorul de tip PC. Sintaxa utilizată este următoarea:

MT.EXE X

în care **X**=1, 2, 3, 4 specifică indicativul portului serial utilizat pentru comunicație (1 specifică portul serial COM1, 2 specifică portul serial COM2, 3 specifică portul serial COM3, 4 specifică portul serial COM4). Dacă parametrul **X** lipseşte, este utilizat în mod implicit portul serial COM1.

Stabilirea comunicației seriale între cele două sisteme (pe viteza de 9600 bauds, folosind cuvinte de date cu lungimea de 8 biți, fără paritate, cu un bit de STOP şi protocol XON-XOFF) este indicată prin apariția pe display-ul sistemului de calcul a unui mesaj, urmat de prompter-ul de monitor (caracterul #). În acest stadiu poate fi transferat către sistemul cu microcontroller programul de aplicație, **NIV.HEX**, folosind comanda de up-load **F2** şi indicând numele programului de aplicație. Urmează procesul de up-load, indicat prin apariția pe display-ul calculatorului a unei succesiuni de linii, de lungime constantă cu excepția ultimei, ce încep cu ”#:_”, şi sunt

alcătuite din câte 16 octeți în format ***hexa*** (date) plus un octet sumă de control. La terminarea transferului de date pe legatura serială, pe display-ul calculatorului apare prompter-ul de monitor (caracterul #). Lansarea în execuție a programului se execută cu comanda de monitor **GO ADR**, în care **ADR** reprezintă adresa la care este organizat programul în memoria de date a microcontroller-ului, specificată în prima linie a acestuia prin directiva **ORG**. În cazul de față, sintaxa este următoarea:

G 8000

În faza ulterioară punerii la punct a programului de aplicație, acesta va fi înscris în memoria de program a unității centrale de prelucrare cu microcontroller.

Interconectarea sistemului de calcul cu unitatea centrală de prelucrare cu microcontroller este realizată prin intermediul unui cablu serial cu trei fire.

10.2.1 DESCRIEREA PROGRAMULUI DE APLICATIE NIV.ASM

Programul sursă de aplicație, cu denumirea **NIV.ASM**, este organizat modular, sub forma unui corp principal al aplicației şi o colecție de subrutine. Acestea reprezintă secvențe de linii de cod care au o frecvență de apariție mare în cadrul aplicației. O astfel de subrutină este apelată cu instrucțiunea **ACALL subrutina** şi se încheie cu instrucțiunea **RET** pentru a se reveni la poziția imediat ulterioară apelării acesteia în cadrul programului principal.

În fig. 10.2 este prezentată organigrama generală a programului **NIV.ASM**.

10.2.1.1 SECȚIUNEA DE INIȚIALIZARE ŞI DECLARATIVĂ

Secvența de linii de cod în limbaj de asamblare ce reprezintă programul principal începe cu instrucțiunea **ORG adresa**, specificând adresa din memoria de date a microcontroller-ului la care începe programul.

În continuare urmează declararea tuturor resurselor specifice ale microcontroller-ului 80C552 (care nu există în cadrul microcontroller-ului 8051) utilizate în cadrul aplicatiei, cum ar fi:

- **ADCON** - adresa registrului de control al convertorului analog-digital;

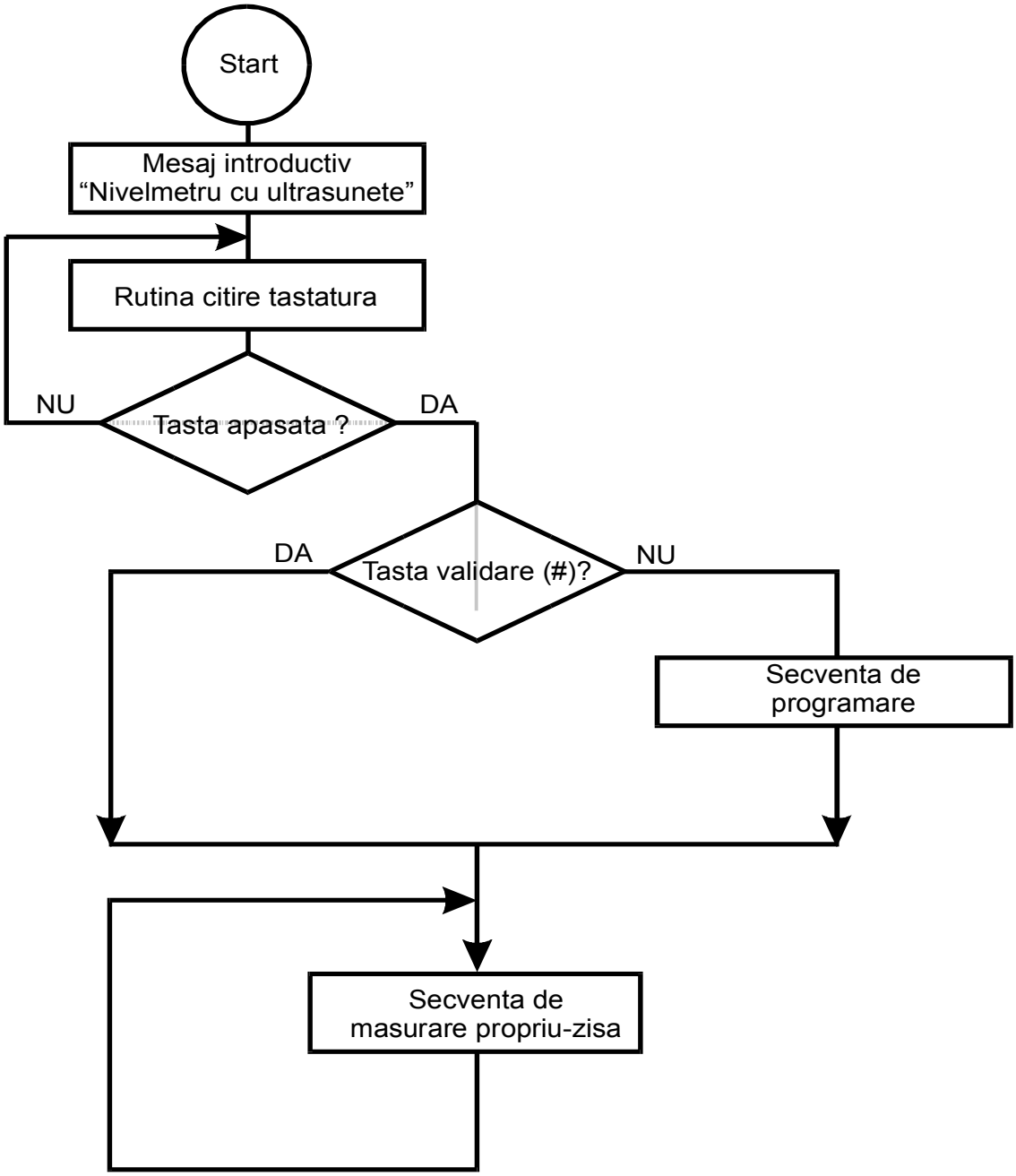


Fig. 10.2 Organigrama generală a programului NIV.ASM.

- **ADCH** - adresa registrului care conține octetul cel mai semnificativ al rezultatului conversiei analog-digitale;
- **PWMP** - adresa registrului de setare a frecvenței de ieşire comun ambelor canale modulate în durată;
- **PWM0**, **PWM1** - adresele registrelor de setare a factorului de umplere pentru cele două canale cu ieşiri modulate în durată;
- **CTH0**, **CTL0** - adresele registrelor superior, respectiv inferior de captare a evenimentelor CT0;

- **CTH1**, **CTL1** - adresele registrelor superior, respectiv inferior de captare a evenimentelor CT1;
- **TMH2**, **TML2** - adresa octeților superior, respectiv inferior ale timer-ului T2;
- **TM2CON** - adresa registrului de control al timer-ului T2;
- **CTCON** - adresa registrului de control al registrelor de captare a evenimentelor;
- **IEN1** - adresa registrului de activare a întreruperilor asociate registrelor de captare a evenimetelor şi de comparare.

Urmează o secțiune introductivă de linii de cod, care inițializează resursele unității centrale cu microcontroller (afişajul cu cristale lichide, canalele de ieşire modulate în durată, portul de ieşire de comenzi), afişează un mesaj introductiv, afişează un al doilea mesaj destinat validării operării echipamentului de măsurare sau de parcurgere a secțiunii de programare a funcționării. Ramificarea în cadrul programului este realizată prin citirea tastaturii: dacă este acționată tasta de validare (#), atunci se execută un salt în program până la secțiunea de măsurare (funcționare normală a echipamentului); dacă este acționată tasta de programare (*) sau oricare altă tastă, se intră în secțiunea de programare a funcționării echipamentului de măsurare.

10.2.1.2 SECȚIUNEA DE PROGRAMARE A PARAMETRILOR DE FUNCȚIONARE

În cadrul secțiunii de de programare a funcționării echipamentului de măsurare, accesul este limitat prin validarea unei parole prestabilite: în urma afişării unui mesaj de validare a parolei, se aşteaptă acționarea temporizată a două taste, având drept rezultat un octet împachetat BCD. Acționarea unei taste se soldează cu afişarea a câte unui caracter "*" pe cea de-a doua linie a afişajului LCD. Octetul împachetat BCD este comparat cu parola prestabilită, proprie echipamentului de măsurare. În cazul în care cei doi octeți nu coincid, se afişează un mesaj de incorectitudine a parolei, iar programul revine în buclă la secțiunea de validare a parolei. În cazul coincidenței celor doi octeți, se afişează un mesaj de corectitudine a parolei, iar utilizatorul are acces la secțiunea efectivă de programare a parametrilor de măsurare.

În prima fază, este programată înălțimea vasului în care se face determinarea înălțimii coloanei de lichid (H), prin intermediul tastaturii. Se tastează patru cifre de la tastatură, ceea ce conduce la obținerea a doi octeți împachetați BCD. În paralel se execută şi afişarea valorii programate. Cei doi octeți împachetați BCD, reprezentând înălțimea vasului, sunt depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF00H şi FF01H.

În faza a doua, este programat nivelul superior de alarmare (NSA), prin

intermediul tastaturii. Se tastează patru cifre de la tastatură, ceea ce conduce la obținerea a doi octeți împachetați BCD. În paralel se execută şi afişarea valorii programate. Cei doi octeți împachetați BCD, reprezentând nivelul superior de alarmare, sunt comparați cu înălțimea vasului, programată în pasul anterior şi depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF02H şi FF03H doar dacă rezultatul scăderii pe 16 biți (H - NSA) este pozitiv. Dacă nivelul superior de alarmare programat este mai mare decât înălțimea vasului, programul revine în buclă la secțiunea de programare a nivelului superior de alarmare.

În faza a treia, este programat nivelul inferior de alarmare (NIA), prin intermediul tastaturii. Se tastează patru cifre de la tastatură, ceea ce conduce la obținerea a doi octeți împachetați BCD. În paralel se execută şi afişarea valorii programate. Cei doi octeți împachetați BCD, reprezentând nivelul inferior de alarmare, sunt comparați cu nivelul superior de alarmare, programat în pasul anterior şi depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF04H şi FF05H doar dacă rezultatul scăderii pe 16 biți (NSA - NIA) este pozitiv. Dacă nivelul inferior de alarmare programat este mai mare decât nivelul superior de alarmare, programul revine în buclă la secțiunea de programare a nivelului inferior de alarmare.

În cea de-a patra fază a secțiunii de programare a parametrilor de funcționare ai echipamentului este realizată calibrarea generatorului de curent comandat cu care este echipat sistemul. Această calibrare este realizată în două etape:

- în prima etapă, este programat factorul de umplere al ieşirii modulate în durată PWM0 la valoarea FFH, astfel încât la ieşire (care este negată) se obține un nivel zero (0V). Acest nivel este utilizat pentru calibrarea capătului inferior de scală a generatorului de curent la valoarea de 4 mA. Programul aşteaptă în buclă acționarea unei taste; la acționare se trece la cea de-a doua etapă;
- în cea de-a doua etapă, este programat factorul de umplere al ieşirii modulate în durată PWM0 la valoarea 00H, astfel încât la ieşire (care este negată) se obține un nivel ridicat (+5V). Acest nivel este utilizat pentru calibrarea capătului superior de scală a generatorului de curent la valoarea de 20 mA. Programul aşteaptă în buclă acționarea unei taste; acționarea oricărei taste încheie secțiunea de programare a parametrilor de funcționare ai echipamentului;
- trebuie menționat faptul că în cadrul celor două etape descrise anterior pentru calibrarea independentă a capetelor de scală ale generatorului de curent, poate fi efectuată şi calibrarea circuitelor de intrare cu care sunt echipate două dintre cele opt intrări ale convertorului analog-digital, implementat în structura microcontroller-ului.

În fig. 10.3 este prezentată organigrama secțiunii de programare a parametrilor de funcționare a echipamentului nivelmetru cu ultrasunete.

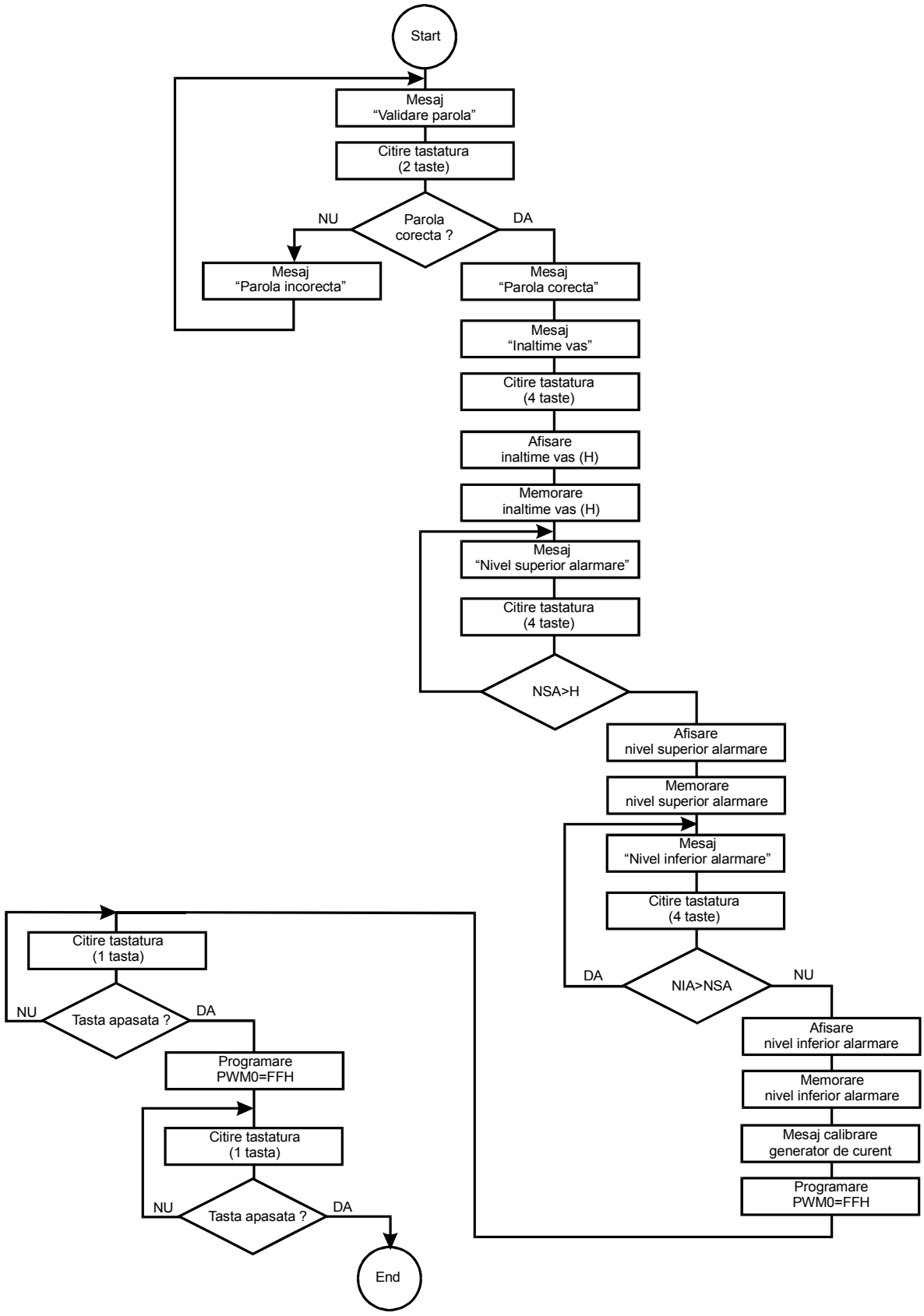


Fig. 10.3 Organigrama secțiunii de programare a parametrilor de funcționare.

10.2.1.3 SECȚIUNEA DE MĂSURARE PROPRIU-ZISĂ

În acest punct, cele două ramuri - de validare a operării normale a echipamentului, respectiv de programare a parametrilor de funcționare, converg şi se intră în secțiunea de măsurare propriu-zisă.

Secțiunea de măsurare propriu-zisă începe cu afişarea unui mesaj de avertizare a faptului că s-a ajuns în secțiunea de măsurare, care este menținut circa 0,5 secunde. Se continuă cu inițializarea secțiunii de captare a evenimentelor:

- sunt dezactivate întreruperile provenite de la depăşirea superioară pe 8/16 biți a conținutului timer-ului T2, de la registrele de captare a evenimentelor, de la circuitele de comparare a conținutului timer-ului T2 cu registrele special prevăzute în acest sens;
- sunt inițializate (încărcate cu 0) registrele CTL0, CTH0, CTL1, CTH1, TML2, TMH2;
- este programat registrul CTCON, astfel încât registrele de captare a evenimentelor CTI0 şi CTI1 să fie activate de fronturile descrescătoare ale impulsurilor externe;
- este programat timer-ul T2, prin activarea acestuia, cu dezactivarea depăşirii pe 8/16 biți, ceasul de numărare fiind constituit de un oscilator intern cu frecvența 1/12 din frecvența oscilatorului microcontroller-ului, urmat de un registru de divizare cu 8 a acestui ceas.

Este, în continuare, activat emițătorul senzorului cu ultrasunete prin bascularea nivel coborât / nivel ridicat a bitului AX8. Frontul crescător al semnalului AX8 determină captarea în registrul CTI0 a conținutului timer-ului T2 la acest moment de timp. După reflexia ultrasunetelor de suprafața lichidului, acestea sunt captate de senzor, care emite un semnal de acelasi tip cu cel de activare. Frontul crescător al acestui semnal determină captarea conținutului timer-ului T2 în registrul CTI1. Se determină numărul de impulsuri captate pe durata emisie-recepție prin efectuarea diferenței pe 2 octeți între registrele CTI1 şi CTI0. Această diferență este codificată, urmând să fie utilizată pentru determinarea înălțimii coloanei de lichid din vas, conform următoarei relații:

$$\mathrm{CTI1-CTI0}\xrightarrow{\text{CODIFICARE}}\mathrm{N}$$

$$\frac{\mathrm{N_{MAX}-N}}{\mathrm{N_{MAX}}}\cdot 6=\mathrm{h} \qquad (10.1)$$

În această fază de elaborare a programului, codificarea este realizată prin extragerea biților 11÷8, respectiv 7÷4, ai diferenței dintre CTI1 şi CTI0 şi alcatuirea unui octet (N). Obținerea înălțimii coloanei de lichid din vas se obține conform ecuației de mai sus, în care N_{MAX} reprezintă valoarea octetului de cod

pentru înălțimea maximă a vasului, respectiv depinde de tipul de traductor ($N_{MAX} = 127$ pentru 6 m). Înălțimea coloanei de lichid este afişată după determinarea cifrelor BCD ale acesteia, utilizând un algoritm iterativ de împărțire la 10. Cele patru cifre BCD obținute prin acest algoritm sunt împachetate în doi octeți codificați BCD şi memorate în memoria de date a microcontroller-ului la adresele FF006H şi FF07H

Cuvântul de date care corespunde înălțimii coloanei de lichid, complementat, adică $\overline{2 \cdot (N_{MAX} - N)}$, este folosit pentru programarea factorului de umplere al impulsurilor de la ieşirea modulată în durată PWM0, care comandă generatorul de curent.

Se verifică depăşirea nivelurilor prestabilite de alarmare (NSA şi NIA), comparând înălțimea coloanei de lichid din vas cu pragurile programate anterior. Se efectuează diferența dintre nivelul superior de alarmare (NSA) şi înălțimea coloanei de lichid din vas, iar dacă diferența este negativă (setarea indicatorului CARRY) se poziționează pe "1" logic bitul AX9. Se efectuează diferența dintre înălțimea coloanei de lichid din vas şi nivelul inferior de alarmare (NIA), iar dacă diferența este negativă (setarea indicatorului CARRY) se poziționează pe "1" logic bitul AX10. Aceşti biti ai portului de ieşire acționează releele corespunzătoare. Atât valorile nivelului superior, cât şi inferior de alarmare, NSA şi NIA, sunt citite din memoria de date a microcontroller-ului, de la adresele specificate anterior.

Urmează măsurarea temperaturii mediului în care este efectuată determinarea înălțimii coloanei de lichid. Ieşirea în curent, de tip unificat (4...20) mA, a sondei de temperatură este aplicată unui convertor curent-tensiune de tip şunt. Această tensiune este aplicată intrării ADCIN0 a convertorului analog-digital. Conversia este demarată prin software, programând în registrul ADCON bitul ADCCON.3 la "1" logic, iar biții ADCON.2, ADCON.1, ADCON.0 conform adresei canalului de intrare utilizat (în această situație, cei trei biți sunt programați la "0" logic). Se aşteaptă sfârşitul conversiei analog-digitale, lucru sesizat prin poziționarea în "1" logic a bitului ADCON.4 (se execută de fapt o verificare în buclă a acestui bit, prin intermediul acumulatorului). Urmează interpretarea rezultatului şi afişarea acestuia. Rezultatul conversiei este transferat în acumulator, este împărțit la 2 pentru a se realiza conversia în domeniul specificat de temperatură, apoi de obțin cifrele temperaturii printr-un algoritm de acelaşi tip ca în cazul determinării înălțimii coloanei de lichid.

Programul execută un salt necondiționat la secvența de inițializare a timer-ului T2, pentru reluarea în buclă infinită a secțiunii de măsurare propriu-zisă. Ieşirea din program se poate face doar prin reset-area unității centrale cu microcontroller. Poate fi prevazută, însă, facilitatea de citire a tastaturii după fiecare secvență de măsurare şi în cazul acțtionării tastei de validare (#) să se încheie forțat execuția acestuia.

Rutinele scrise şi utilizate în cadrul acestei aplicații sunt:

- subrutina de citire a unei cifre zecimale de la o tastatură matricială cu trei linii şi patru coloane. Rezultatul citirii sub formă BCD se află în registrul R1;
- subrutina de scriere la un port de ieşire şi de citire de la un port de intrare, utilizată în cadrul subrutinei de gestionare a tastaturii. Informaţiile sunt vehiculate prin intermediul acumulatorului;
- subrutina de scriere şir de caractere la afişajul cu cristale lichide LCD;
- subrutina de întârziere cu 0,5 secunde (0,5sec = (7 instr. NOP x 12 perioade ceas/NOP x 256 x 256)/11,059MHz);
- subrutina de conversie hexa-ascii, utilizată pentru afişarea la LCD. Sursa şi destinaţia sunt constituite de acumulator;
- subrutina de transmisie la LCD a unui caracter ASCII conţinut în registrul R2;
  subrutina de iniţializare LCD. Această rutină trimite la LCD comanda #38H = 0011 1000B. Conform datelor de catalog, acestă comandă setează următorii parametri ai afişajului: bitul 5 - defineşte această comandă (function set); bitul 4 (DL-Data Length) = 1 setează dialogul pe 8 biţi între procesor şi LCD; bitul 3 (N-Number of display lines) = 1 setează numărul liniilor afişajului ca fiind 2^N=2; bitul 2 (F-Character Font) = 0 setează forma caracterului ca fiind 5*7 puncte;
- subrutina de ştergere a afişajului cu cristale lichide şi setare a modului de lucru;
- subrutina ce testează dacă este sau nu posibilă transmiterea unui nou caracter către LCD, pe baza informaţiilor furnizate de rutina RDCMD. Se testează bitul 7 (BF-Busy Flag) al registrului de stare al LCD. Dacă BF=1, înseamnă că LCD efectuează o operaţie internă şi, deci, nu poate accepta un nou caracter;
- subrutina RDCMD selectează afişajul şi citeşte din registrul de stare al LCD starea curentă a driver-elor acestuia, informaţie care este depusă în acumulator;
- rutina WRCMD scrie o comandă la driver-ele de afişaj, în urma verificării stării acestora. Se selectează afişajul LCD şi comanda conţinută de registrul R2 este transferată driver-elor din LCD;
- subrutina WRDAT este identică cu WRCMD, dar este utilizată pentru scrierea la driver-ele LCD a codului caracterelor ce urmează a fi afişate;
- subrutina DELAY, ce realizează o întârziere cu 80 microsecunde, pentru funcţionarea internă a LCD.

În fig. 10.4 este prezentată organigrama secţiunii de măsurare propriu-zisă a înălţimii coloanei de lichid din vas şi a temperaturii. În fig. 10.5 este prezentată organigrama rutinei de gestionare a tastaturii matriciale cu trei linii şi patru coloane.

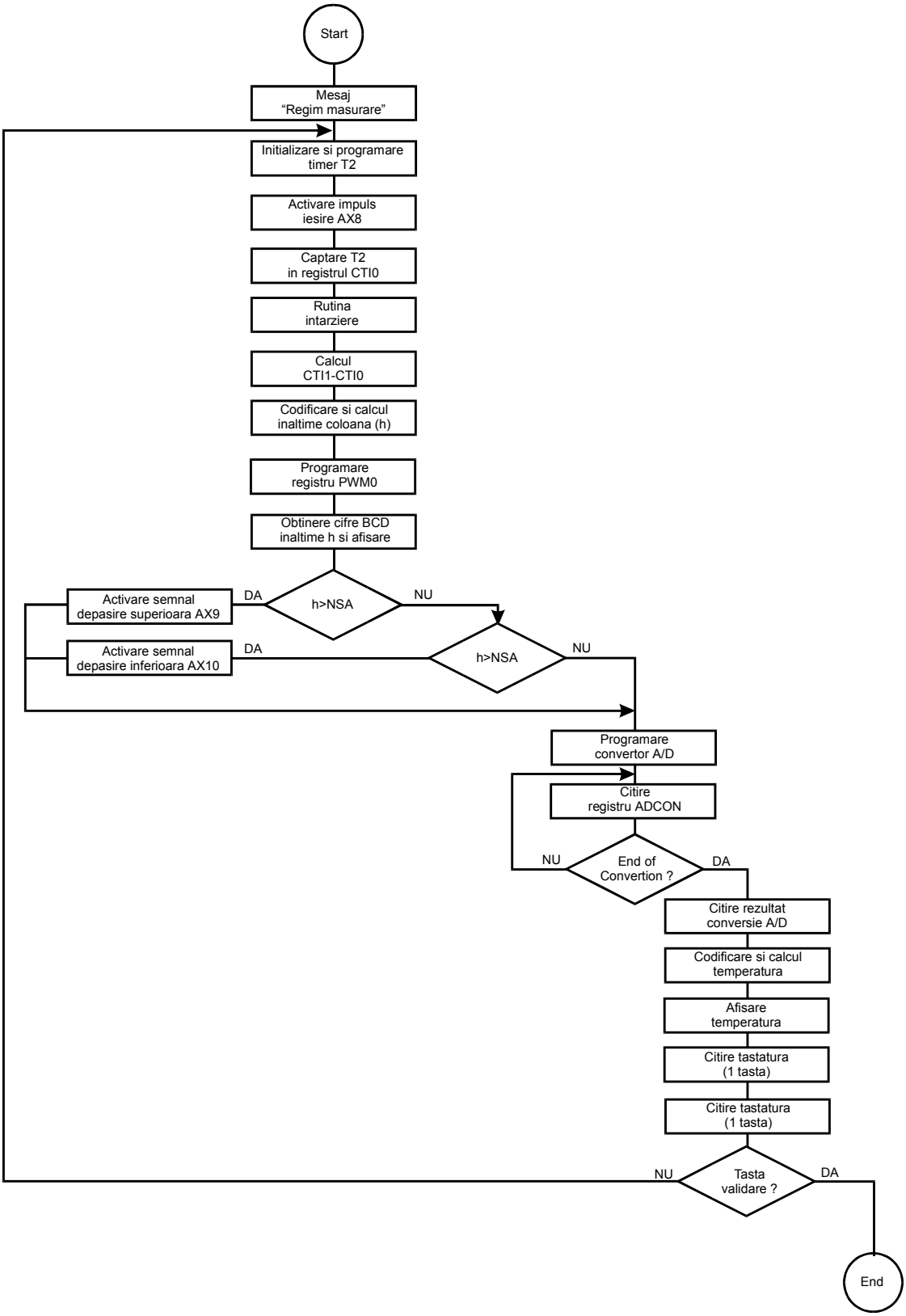


Fig. 10.4 Organigrama secțiunii de măsurare propriu-zisă.

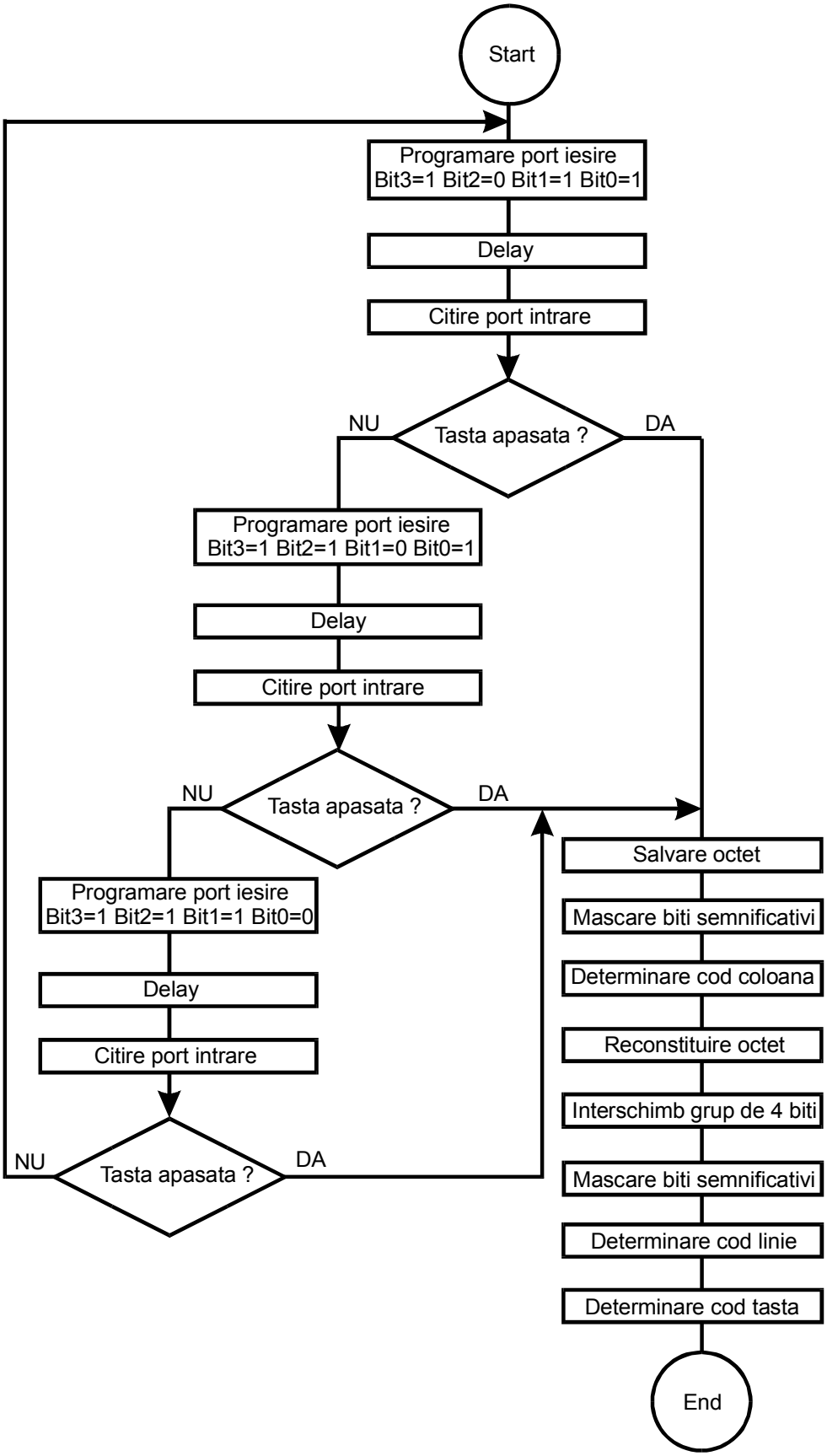


Fig. 10.5 Organigrama rutinei de gestionare a tastaturii.

10.3 PROGRAMUL DE APLICAȚII NIVOK.ASM

A doua variantă a programului sursă de aplicație, cu denumirea **NIVOK.ASM**, este organizat modular, sub forma unui corp principal al aplicației şi o colecție de subrutine.

10.3.1 SECȚIUNEA DE INIȚIALIZARE ŞI DECLARATIVĂ

Secvența de linii de cod în limbaj de asamblare ce reprezintă programul principal începe cu instrucțiunea **ORG adresa**, specificând adresa din memoria de date a microcontroller-ului la care începe programul.

În continuare urmează declararea tuturor resurselor specifice ale microcontroller-ului 80C552 (care nu există în cadrul microcontroller-ului 8051) utilizate în cadrul aplicației.

Urmează o secțiune introductivă de linii de cod, care inițializează resursele unității centrale cu microcontroller (afişajul cu cristale lichide, canalele de ieşire modulate în durată, portul de ieşire de comenzi), afişează un mesaj introductiv, afişează un al doilea mesaj destinat validării operării echipamentului de măsurare sau de parcurgere a secțiunii de programare a funcționării. Ramificarea în cadrul programului este realizată prin citirea tastaturii: dacă este acționată tasta de validare (ENTER), atunci se execută un salt în program până la secțiunea de măsurare (funcționare normală a echipamentului); dacă este acționată tasta de programare (MODE), se intră în secțiunea de programare a funcționării echipamentului de măsurare.

10.3.2 SECȚIUNEA DE CALIBRARE A GENERATORULUI DE CURENT

Se intră într-un meniu (opțional) destinat calibrării generatorului de curent, care afişează un ecran indicând operația curentă. Calibrarea generatorului de curent este validată prin acționarea tastei de programare (MODE) sau poate fi "ocolită" prin acționarea tastei de validare (ENTER). Calibrarea generatorului de curent al sistemului necesită reglarea manuală a capetelor de scală (reglajele sunt independente), efectuându-de, de obicei, doar în faza de realizare a echipamentului de măsurare şi comportând două etape:

- în prima etapă, este programat factorul de umplere al ieşirii modulate în durată PWM0 la valoarea 00H, astfel încât la ieşire (care este directă) se obține un nivel zero (0V) şi se afişează un ecran care indică

operația curentă. Acest nivel este utilizat pentru calibrarea capătului inferior de scală a generatorului de curent la valoarea de 4 mA. Programul aşteaptă în buclă acționarea tastei de validare (ENTER); la acționarea ei se trece la cea de-a doua etapă;

- în cea de-a doua etapă, este programat factorul de umplere al ieşirii modulate în durată PWM0 la valoarea FFH, astfel încât la ieşire (care este directă) se obține un nivel ridicat (+5V) şi se afişează un ecran care indică operația curentă. Acest nivel este utilizat pentru calibrarea capătului superior de scală a generatorului de curent la valoarea de 20 mA. Programul aşteaptă în buclă acționarea tastei de validare (ENTER); acționarea ei încheie secțiunea de calibrare a generatorului de curent;
- trebuie menționat faptul că în cadrul celor două etape descrise anterior pentru calibrarea independentă a capetelor de scală ale generatorului de curent, poate fi efectuată şi calibrarea circuitelor de intrare (convertoare curent-tensiune) cu care sunt echipate două dintre cele opt intrări ale convertorului analog-digital, implementat în structura microcontroller-ului.

Se afişează un mesaj destinat selecției fie a operării echipamentului de măsurare, fie de parcurgere a secțiunii de programare a funcționării. Ramificarea în cadrul programului este realizată prin citirea tastaturii: dacă este acționată tasta de validare (ENTER), atunci se execută un salt în program până la secțiunea de măsurare (funcționare normală a echipamentului); dacă este acționată tasta de programare (MODE), se intră în secțiunea de programare a funcționării echipamentului de măsurare.

10.3.3 SECȚIUNEA DE PROGRAMARE A PARAMETRILOR DE FUNCȚIONARE

În cadrul secțiunii de de programare a funcționării echipamentului de măsurare, accesul este limitat prin validarea unei parole prestabilite: în urma afişării unui mesaj ce indică acțiunea de introducere a parolei, se acționează tastele UP / DOWN pentru configurarea primei cifre a parolei, se validează prima cifră prin acționarea tastei de validare, se poziționează a doua cifră prin acționarea tastelor UP / DOWN, urmată de validarea acesteia şi, implicit a parolei. Configurarea celor două cifre ale parolei au drept rezultat un octet împachetat BCD. Octetul împachetat BCD este comparat cu parola prestabilită, proprie echipamentului de măsurare. În cazul în care cei doi octeți nu coincid, se afişează un mesaj de incorectitudine a parolei, iar programul revine în buclă la secțiunea de validare a parolei. În cazul coincidenței celor doi octeți, se afişează un mesaj de corectitudine a parolei, iar utilizatorul are acces la secțiunea

efectivă de programare a parametrilor de măsurare.

Aceasta variantă de aplicație utilizează valori prestabilite ale parametrilor globali utilizați de către echipamentul de măsurare: înălțimea vasului, nivelul superior de alarmare, respectiv nivelul inferior de alarmare, pentru a se reduce timpul de programare. Valoarea implicită a înălțimii vasului este 6.000 m (conform specificației de proiectare), iar valorile implicite ale nivelurilor de alarmare reprezintă două treimi, respectiv o treime din înălțimea vasului (6.000 m), adică NSA=4.000m iar NIA=2.000m.

În prima fază, este programată înălțimea vasului în care se face determinarea înălțimii coloanei de lichid (H), prin intermediul tastaturii. Se afişează meniul de programare a înălțimii vasului şi valoarea implicită a acesteia. Cursorul este poziționat pe prima cifră a înălțimii, urmând modificarea acesteia, folosind tastele UP / DOWN sau validarea ei, folosind tasta de validare. Validarea cifrei determină deplasarea cursorului pe cea de-a doua cifră, urmată de modificarea sau validarea ei. Operațiile se repetă pentru ultimele două cifre. Validarea ultimei cifre înseamnă şi validarea înălțimii vasului. Se afişează un mesaj de confirmare şi se aşteaptă acționarea tastei de programare pentru reprogramarea înălțimii sau tasta de validare pentru a se continua. Validarea celor patru cifre conduce la obținerea a doi octeți împachetați BCD, reprezentând înălțimea vasului, ce sunt depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF00H şi FF01H. În continuare, cei doi octeți împachetați BCD sub forma MSZU (mii-sute-zeci-unități de milimetru), reprezentând înălțimea vasului, sunt convertiți în binar conform algoritmului:

$$(\mathrm{MSZU})_{\mathrm{H}} \rightarrow (\mathrm{M})_{\mathrm{H}} \times 1000 + (\mathrm{S})_{\mathrm{H}} \times 100 + (\mathrm{Z})_{\mathrm{H}} \times 10 + (\mathrm{U})_{\mathrm{H}} \qquad (10.2)$$

şi depuşi în memorie pentru calculele ulterioare.

În faza a doua, este programat nivelul superior de alarmare (NSA), prin intermediul tastaturii, folosind un algoritm identic. Cei doi octeți împachetați BCD reprezentând nivelul superior de alarmare sunt comparați cu înălțimea vasului, programată în pasul anterior şi depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF02H şi FF03H doar dacă rezultatul scăderii pe 16 biti (H - NSA) este pozitiv. Dacă nivelul superior de alarmare programat este mai mare decât înălțimea vasului, programul revine în buclă la secțiunea de programare a nivelului superior de alarmare. În continuare, cei doi octeți împachetați BCD sub forma MSZU (mii-sute-zeci-unități de milimetru), reprezentând valoarea nivelului superior de alarmare, sunt convertiți în binar conform algoritmului:

$$(\mathrm{MSZU})_{\mathrm{NSA}} \rightarrow (\mathrm{M})_{\mathrm{NSA}} \times 1000 + (\mathrm{S})_{\mathrm{NSA}} \times 100 + (\mathrm{Z})_{\mathrm{NSA}} \times 10 + (\mathrm{U})_{\mathrm{NSA}} \qquad (10.3)$$

şi depuşi în memorie pentru calculele ulterioare.

În faza a treia, este programat nivelul inferior de alarmare (NIA), prin intermediul tastaturii, folosind un algoritm identic. Cei doi octeți împachetați BCD reprezentând nivelul inferior de alarmare sunt comparați cu nivelul superior de alarmare, programat în pasul anterior şi depuşi în memoria de date a unității centrale la adresele FF04H şi FF05H doar dacă rezultatul scăderii pe 16

biţi (NSA - NIA) este pozitiv. Dacă nivelul inferior de alarmare programat este mai mare decât nivelul superior de alarmare, programul revine în buclă la secţiunea de programare a nivelului inferior de alarmare. În continuare, cei doi octeţi împachetaţi BCD sub forma MSZU (mii-sute-zeci-unităţi de milimetru), reprezentând valoarea nivelului inferior de alarmare, sunt convertiţi în binar conform algoritmului:

$$(\mathrm{MSZU})_{\mathrm{NIA}} \rightarrow (\mathrm{M})_{\mathrm{NIA}} \times 1000 + (\mathrm{S})_{\mathrm{NIA}} \times 100 + (\mathrm{Z})_{\mathrm{NIA}} \times 10 + (\mathrm{U})_{\mathrm{NIA}} \qquad (10.4)$$

şi depuşi în memorie pentru calculele ulterioare.

10.3.4 SECŢIUNEA DE MĂSURARE PROPRIU-ZISĂ

În acest punct, cele două ramuri - de validare a operării normale a echipamentului, respectiv de programare a parametrilor de funcţionare, converg si se intră în secţiunea de măsurare propriu-zisă.

Secţiunea de măsurare propriu-zisă începe cu afişarea unui mesaj de avertizare a faptului ca s-a ajuns în secţiunea de măsurare, care este menţinut circa 0,5 secunde. Se continuă cu iniţializarea secţiunii de captare a evenimentelor:

- sunt dezactivate întreruperile provenite de la depăşirea superioară pe 8/16 biţi a conţinutului timer-ului T2, de la registrele de captare a evenimentelor, de la circuitele de comparare a conţinutului timer-ului T2 cu registrele special prevăzute în acest sens;
- sunt iniţializate (încărcate cu 0) registrele CTL0, CTH0, CTL1, CTH1, TML2, TMH2;
- este programat registrul CTCON, astfel încât registrele de captare a evenimentelor CTI0 şi CTI1 să fie activate de fronturile descrescătoare ale impulsurilor externe;
- este programat timer-ul T2, prin activarea acestuia, cu dezactivarea depăşirii pe 8/16 biţi, ceasul de numărare fiind constituit de un oscilator intern cu frecvenţa 1/12 din frecvenţa oscilatorului microcontroller-ului, urmat de un registru de divizare cu 2 a acestui ceas.

Este, în continuare, activat emiţătorul senzorului cu ultrasunete prin bascularea nivel coborât / nivel ridicat a bitului AX8. Primele două fronturi crecătoare ale semnalului recepţionat de la ieşirea senzorului cu ultrasunete sunt prelucrate în vedera obţinerii a două semnale diferite: frontul crescător al primului semnal determină captarea în registrul CTI0 a conţinutului timer-ului T2 la acest moment de timp; frontul crescător al celui de-al doilea semnal (obţinut prin recepţionarea ultrasunetelor captate în urma reflexiei pe suprafaţa lichidului) determină captarea conţinutului timer-ului T2 în registrul CTI1. Se determină numărul de impulsuri captate pe durata emisie-recepţie prin

efectuarea diferenței pe 2 octeți între registrele CTI1 şi CTI0.

Urmează secvența de măsurare a temperaturii mediului în care este efectuată determinarea înălțimii coloanei de lichid. Ieşirea în curent, de tip unificat 4÷20 mA, a sondei de temperatură este aplicată unui convertor curent-tensiune de tip şunt. Această tensiune este aplicată intrării ADCIN0 a convertorului analog-digital. Conversia este demarată prin software, programând în registrul ADCON bitul ADCCON.3 la "1" logic, iar biții ADCON.2, ADCON.1, ADCON.0 conform adresei canalului de intrare utilizat (în această situație, cei trei biți sunt programați la "0" logic). Se aşteaptă sfârşitul conversiei analog-digitale, lucru sesizat prin poziționarea în "1" logic a bitului ADCON.4 (se execută de fapt o verificare în buclă a acestui bit, prin intermediul acumulatorului). Urmează interpretarea rezultatului şi afişarea acestuia. Rezultatul conversiei transferat în acumulator, este împărțit la 2 pentru a se realiza conversia în domeniul specificat de temperatură (00H pentru temperatura de -20^{o}C, respectiv 80H pentru temperatura de 108^{o}C). Apoi de obțin cifrele temperaturii printr-un algoritm de comparare cu valoarea 14H şi efectuarea scăderii (14H - rezultat) pentru afişarea temperaturilor negative, respectiv (rezultat - 14H) pentru afişarea temperaturilor pozitive şi împărțire 10 pentru obținerea cifrelor pentru grade şi zeci de grade.

Urmează secvența de determinare a nivelului lichidului din vas, conform algoritmului:

$$h[\text{mm}] = H[\text{mm}] - \frac{1}{2} \times v_0\left[\frac{\text{mm}}{\text{ms}}\right] \times \frac{N \times T[\mu\text{s}] \times \left(1 + 0{,}17\,\%/{}^{o}\text{C} \times \Delta t[{}^{o}\text{C}]\right)}{1000\left[\frac{\mu\text{s}}{\text{ms}}\right]} \qquad (10.5)$$

în care: h reprezintă nivelul lichidului din vas, H reprezintă valoarea programată a înălțimii vasului, v_0 reprezintă viteza ultrasunetelor la temperatura de 0^{o}C $\left(v_0 = 321{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$, N reprezintă numărul de impulsuri captate pe durata emisie-recepție, T reprezintă durata unui ciclu maşină al microcontroller-ului $\left(T = 12 \times \frac{1}{11{,}059200\text{MHz}} = 1{,}085\mu\text{s}\right)$, $0{,}17\,\%/{}^{o}\text{C}$ reprezintă coeficientul de variație a vitezei de propagare a ultrasunetelor cu temperatura, iar Δt reprezintă temperatura mediului ambiant. Toate calculele se efectuează în binar, cu rezultatul pe 2 octeți, ceea ce asigură o rezoluție de măsurare a nivelului mai bună de 1 mm.

Înălțimea coloanei de lichid este afişată după determinarea cifrelor BCD ale acesteia, utilizând un algoritm iterativ de împărțire la 10. Cele patru cifre BCD obținute prin acest algoritm sunt împachetate în doi octeți codificați BCD şi memorate în memoria de date a microcontroller-ului la adresele FF006H şi FF07H

Cuvântul de date care corespunde înălțimii coloanei de lichid, redus la o valoare pe un octet folosind un algoritm de codificare, este folosit pentru programarea factorului de umplere al impulsurilor de la ieşirea modulată în durată PWM0, care comandă generatorul de curent.

Se verifică depăşirea nivelurilor prestabilite de alarmare (NSA şi NIA), comparând înălțimea coloanei de lichid din vas cu pragurile programate anterior, compararea având un histerezis de ±25 mm. Se efectuează diferența dintre nivelul superior de alarmare (NSA) si înălțimea coloanei de lichid din vas, iar dacă diferența este negativă (setarea indicatorului CARRY) se poziționează pe "1" logic bitul AX9. Se efectuează diferența dintre înălțimea coloanei de lichid din vas şi nivelul inferior de alarmare (NIA), iar dacă diferența este negativă (setarea indicatorului CARRY) se poziționează pe "1" logic bitul AX10. Aceşti biți ai portului de ieşire acționează releele corespunzătoare. Atât valorile nivelului superior, cât şi inferior, de alarmare, NSA şi NIA, sunt citite din memoria de date a microcontroller-ului, de la adresele specificate anterior.

Se citeşte tastatura locală. Daca nu s-a acționat nici o tastă, programul execută un salt necondiționat la secvența de inițializare a timer-ului T2, pentru reluarea în buclă a secțiunii de măsurare propriu-zisă. Dacă, însă, s-au acționat simultan (pentru evitarea unei acționări accidentale a tastaturii) tastele de programare (MODE) şi de validare (ENTER), programul execută un salt la începutul secțiunii de programare a parametrilor globali de funcționare.

Rutinele specifice scrise şi utilizate în cadrul acestei aplicații sunt:

- KEY - subrutina de citire a unei taste de la o tastatură cu o linie şi patru coloane. Rezultatul citirii se află în acumulator;
- INPORT - subrutina de citire de la un port de intrare, utilizată în cadrul subrutinei de gestionare a tastaturii. Informațiile sunt vehiculate prin intermediul acumulatorului;
- UP - subrutina de incrementare a unei cifre BCD conținută în registrul R5, folosid tastaura locală;
- DOWN - subrutina de decrementare a unei cifre BCD conținută în registrul R5, folosind tastaura locală;
- DKEY1 - subrutina de programare a două cifre utilizând tastatura locală, afişarea celor două cifre la afişajul cu cristale lichide pe pozițiile 7 şi 9 ale celei de-a doua linii şi împachetare într-un octet codificat BCD;
- DKEY2 - subrutina de programare a două cifre utilizând tastatura locală, afişarea celor două cifre la afişajul cu cristale lichide pe pozițiile 10 şi 11 ale celei de-a doua linii şi împachetare într-un octet codificat BCD;
- SCR - afişarea a patru cifre la afişajul cu cristale lichide pe pozițiile 7, 9, 10 şi 11 ale celei de-a doua linii. Cele patru cifre se obțin din doi octeți codificați BCD, manipulați prin intermediul registrelor R4 şi R5;

- SCR1 - afişarea a patru cifre la afişajul cu cristale lichide pe poziţiile 7, 9, 10 şi 11 ale primei linii. Cele patru cifre se obţin din doi octeţi codificaţi BCD, manipulaţi prin intermediul registrelor R4 şi R5.

10.4 LISTINGUL PROGRAMULUI DE APLICAŢIE PENTRU MĂSURAREA NIVELULUI NIVOK.ASM

```
; ---------------------------
; "Nivelmetru cu ultrasunete"
; ---------------------------
        ORG     8000H
; declararea resurselor suplimentare
        ADCON   equ     0C5H
        ADCH    equ     0C6H
        PWMP    equ     0FEH
        PWM0    equ     0FCH
        PWM1    equ     0FDH
        CTH0    equ     0CCH
        CTL0    equ     0ACH
        CTH1    equ     0CDH
        CTL1    equ     0ADH
        TMH2    equ     0EDH
        TML2    equ     0ECH
        TM2CON  equ     0EAH
        CTCON   equ     0EBH
        IEN1    equ     0E8H
        RAM     equ     70H
; secventa de initializare
        LJMP    INIT
INIT:   MOV     A,#00H
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        MOV     A,#1
        MOV     PWMP,A
        MOV     SCON,#40H
        MOV     TMOD,#20H
        MOV     PCON,#00H
        MOV     TH1,#0FDH
        MOV     TCON,#40H
        CLR     TI
        LCALL   INILCD
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
; definirea valorilor initiale
        MOV     DPTR,#0E000H
        MOV     A,#60H
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,#00H
        MOVX    @DPTR,A
```

```
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOV     A,#40H
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,#00H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     DPTR,#0E008H
        MOV     A,#20H
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,#00H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     DPTR,#0E012H
        MOV     A,#00H
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,#00H
        MOVX    @DPTR,A
; calibrare generator de curent
        LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT8
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
OK4:    LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,NON4
        JB      ACC.1,OK4
        JB      ACC.2,OK4
        JB      ACC.3,GC4
GC4:    LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT14
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     A,#0FFH
        MOV     PWM0,A
OK5:    LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,GC20
        JB      ACC.1,OK5
        JB      ACC.2,OK5
        JB      ACC.3,OK5
GC20:   LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT15
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     A,#00H
        MOV     PWM0,A
OK6:    LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
```

```
        JB      ACC.0,NON4
        JB      ACC.1,OK6
        JB      ACC.2,OK6
        JB      ACC.3,OK6
; selectare mod de functionare
NON4:   LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT1
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        LCALL   SEC
TAST:   LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,OPER
        JB      ACC.1,TAST
        JB      ACC.2,TAST
        JB      ACC.3,PROGR
OPER:   LJMP    ACH
; introducere parola
PROGR:  LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT2
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     R5,#0
        MOV     R2,#1110B
        LCALL   WRCMD
KEY1:   MOV     R2,#0C7H
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL1
        JB      ACC.1,SUS1
        JB      ACC.2,JOS1
        JB      ACC.3,PROGR
SUS1:   LCALL   UP
        SJMP    PLAY1
JOS1:   LCALL   DOWN
PLAY1:  MOV     A,R5
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        AJMP    KEY1
VAL1:   MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        SWAP    A
        PUSH    ACC
        MOV     R5,#0
KEY2:   MOV     R2,#0C8H
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL2
        JB      ACC.1,SUS2
        JB      ACC.2,JOS2
        JB      ACC.3,PROGR
```

```
SUS2:  LCALL  UP
       SJMP   PLAY2
JOS2:  LCALL  DOWN
PLAY2: MOV    A,R5
       LCALL  HEXASC
       MOV    R2,A
       LCALL  TRX
       AJMP   KEY2
VAL2:  POP    ACC
       ORL    A,R5
       SUBB   A,#59H
       JNZ    RAU
       JZ     BINE
RAU:   LCALL  CLRLCD
       MOV    DPTR,#TEXT3
       LCALL  TRX1
       MOV    R2,#0C0H
       LCALL  WRCMD
       INC    DPTR
       LCALL  TRX1
       LCALL  SEC
       AJMP   ACH
BINE:  LCALL  CLRLCD
       MOV    DPTR,#TEXT4
       LCALL  TRX1
       MOV    R2,#0C0H
       LCALL  WRCMD
       INC    DPTR
       LCALL  TRX1
; programare inaltime vas
INALT: LCALL  SEC
       LCALL  CLRLCD
       MOV    DPTR,#TEXT5
       LCALL  TRX1
       MOV    R2,#0C0H
       LCALL  WRCMD
       INC    DPTR
       LCALL  TRX1
       MOV    DPTR,#0E000H
       MOVX   A,@DPTR
       MOV    R5,A
       INC    DPTR
       MOVX   A,@DPTR
       MOV    R4,A
       LCALL  SCR
       LCALL  DKEY1
       MOV    DPTR,#0E000H
       MOV    A,R5
       MOVX   @DPTR,A
       LCALL  DKEY2
       MOV    DPTR,#0E001H
       MOV    A,R5
       MOVX   @DPTR,A
; validare a inaltimii vasului
       LCALL  SEC
       LCALL  CLRLCD
       MOV    DPTR,#TEXT11
       LCALL  TRX1
       MOV    R2,#0C0H
       LCALL  WRCMD
       INC    DPTR
```

```
        LCALL   TRX1
        MOV     DPTR,#0E000H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        LCALL   SCR1
OK1:    LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,NSA
        JB      ACC.1,OK1
        JB      ACC.2,OK1
        JB      ACC.3,NON1
NON1:   AJMP    INALT
; programare nivel superior alarmare
NSA:    LCALL    SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT6
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        LCALL   SCR
        LCALL   DKEY1
        MOV     DPTR,#0E000H
        MOVX    A,@DPTR
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        JC      NSA
        PUSH    ACC
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOV     A,R5
        MOVX    @DPTR,A
        LCALL   DKEY2
        POP     ACC
        CLR     C
        SUBB    A,#0
        JNZ     GATA
        MOV     DPTR,#0E001H
        MOVX    A,@DPTR
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        JC      NSA
GATA:   MOV     DPTR,#0E005H
        MOV     A,R5
        MOVX    @DPTR,A
; validare nivel superior alarmare
        LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT12
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
```

```
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        LCALL   SCR1
OK2:    LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,NIA
        JB      ACC.1,OK2
        JB      ACC.2,OK2
        JB      ACC.3,NON2
NON2:   AJMP    NSA
; programare nivel inferior alarmare
NIA:    LCALL    SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT7
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     DPTR,#0E008H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        LCALL   SCR
        LCALL   DKEY1
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOVX    A,@DPTR
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        JC      NIA
        PUSH    ACC
        MOV     DPTR,#0E008H
        MOV     A,R5
        MOVX    @DPTR,A
        LCALL   DKEY2
        POP     ACC
        CLR     C
        SUBB    A,#0
        JNZ     GATA1
        MOV     DPTR,#0E005H
        MOVX    A,@DPTR
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        JC      NIA
GATA1:  MOV     DPTR,#0E009H
        MOV     A,R5
        MOVX    @DPTR,A
; validare nivel inferior alarmare
        LCALL   SEC
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT13
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
```

```
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     DPTR,#0E008H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        LCALL   SCR1
OK3:    LCALL   KEY
        JB      ACC.0,ACH
        JB      ACC.1,OK3
        JB      ACC.2,OK3
        JB      ACC.3,NON3
NON3:   AJMP    NIA
; masurare h si temperatura
ACH:    LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT9
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        LCALL   SEC
; calcul valoare binara H
        MOV      DPTR,#0E001H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R3,A
        MOV     A,R7
        SWAP    A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     B,#10
        MUL     AB
        ADD     A,R3
        PUSH    ACC
        MOV     DPTR,#0E000H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R1,#0
        MOV     R2,A
        MOV     R3,#0
        MOV     R4,#64H
        MOV     A,R2
        MOV     B,R4
        MUL     AB
        PUSH    ACC
        MOV     A,R4
        MOV     R4,B
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R4
        MOV     R5,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     B,R3
```

```
MUL     AB
ADD     A,R5
PUSH    ACC
MOV     A,B
ADDC    A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R3
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     A,R7
SWAP    A
ANL     A,#00001111B
MOV     R1,#0
MOV     R2,A
MOV     R3,#03H
MOV     R4,#0E8H
MOV     A,R2
MOV     B,R4
MUL     AB
PUSH    ACC
MOV     A,R4
MOV     R4,B
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R4
MOV     R5,A
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     R6,A
MOV     A,R2
MOV     B,R3
MUL     AB
ADD     A,R5
PUSH    ACC
MOV     A,B
ADDC    A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R3
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
POP     ACC
MOV     R3,A
POP     ACC
MOV     R4,A
POP     ACC
MOV     R5,A
POP     ACC
MOV     R6,A
POP     ACC
MOV     R7,A
MOV     A,R7
CLR     C
ADD     A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R5
```

```
        ADDC    A,#0
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        CLR     C
        ADD     A,R4
        MOV     R4,A
        MOV     A,R5
        ADDC    A,#0
        ADD     A,R3
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E002H
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; calcul valoare binara NSA
        MOV      DPTR,#0E005H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R3,A
        MOV     A,R7
        SWAP    A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     B,#10
        MUL     AB
        ADD     A,R3
        PUSH    ACC
        MOV     DPTR,#0E004H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R1,#0
        MOV     R2,A
        MOV     R3,#0
        MOV     R4,#64H
        MOV     A,R2
        MOV     B,R4
        MUL     AB
        PUSH    ACC
        MOV     A,R4
        MOV     R4,B
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R4
        MOV     R5,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     B,R3
        MUL     AB
        ADD     A,R5
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
        ADDC    A,R6
        MOV     R6,A
        MOV     A,R3
        MOV     B,R1
        MUL     AB
```

```
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     A,R7
SWAP    A
ANL     A,#00001111B
MOV     R1,#0
MOV     R2,A
MOV     R3,#03H
MOV     R4,#0E8H
MOV     A,R2
MOV     B,R4
MUL     AB
PUSH    ACC
MOV     A,R4
MOV     R4,B
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R4
MOV     R5,A
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     R6,A
MOV     A,R2
MOV     B,R3
MUL     AB
ADD     A,R5
PUSH    ACC
MOV     A,B
ADDC    A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R3
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
POP     ACC
MOV     R3,A
POP     ACC
MOV     R4,A
POP     ACC
MOV     R5,A
POP     ACC
MOV     R6,A
POP     ACC
MOV     R7,A
MOV     A,R7
CLR     C
ADD     A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R5
ADDC    A,#0
MOV     R5,A
MOV     A,R6
CLR     C
ADD     A,R4
MOV     R4,A
MOV     A,R5
ADDC    A,#0
ADD     A,R3
```

```
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E006H
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; calcul NSAI
        MOV     A,R4
        CLR     C
        SUBB    A,#3CH
        MOV     R4,A
        MOV     A,R3
        SUBB    A,#00H
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E014H
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; calcul valoare binara NIA
        MOV      DPTR,#0E009H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R3,A
        MOV     A,R7
        SWAP    A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     B,#10
        MUL     AB
        ADD     A,R3
        PUSH    ACC
        MOV     DPTR,#0E008H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        ANL     A,#00001111B
        MOV     R1,#0
        MOV     R2,A
        MOV     R3,#0
        MOV     R4,#64H
        MOV     A,R2
        MOV     B,R4
        MUL     AB
        PUSH    ACC
        MOV     A,R4
        MOV     R4,B
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R4
        MOV     R5,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     B,R3
        MUL     AB
        ADD     A,R5
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
```

```
ADDC    A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R3
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     A,R7
SWAP    A
ANL     A,#00001111B
MOV     R1,#0
MOV     R2,A
MOV     R3,#03H
MOV     R4,#0E8H
MOV     A,R2
MOV     B,R4
MUL     AB
PUSH    ACC
MOV     A,R4
MOV     R4,B
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R4
MOV     R5,A
MOV     A,B
ADDC    A,#0
MOV     R6,A
MOV     A,R2
MOV     B,R3
MUL     AB
ADD     A,R5
PUSH    ACC
MOV     A,B
ADDC    A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R3
MOV     B,R1
MUL     AB
ADD     A,R6
MOV     A,B
ADDC    A,#0
POP     ACC
MOV     R3,A
POP     ACC
MOV     R4,A
POP     ACC
MOV     R5,A
POP     ACC
MOV     R6,A
POP     ACC
MOV     R7,A
MOV     A,R7
CLR     C
ADD     A,R6
MOV     R6,A
MOV     A,R5
ADDC    A,#0
MOV     R5,A
MOV     A,R6
CLR     C
```

```
        ADD     A,R4
        MOV     R4,A
        MOV     A,R5
        ADDC    A,#0
        ADD     A,R3
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E00AH
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; calcul NIAS
        MOV     A,R4
        CLR     C
        ADD     A,#3CH
        MOV     R4,A
        MOV     A,R3
        ADDC    A,#00H
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E016H
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; captare evenimente START si STOP
ACH1:   CLR     A
        MOV     IEN1,A
        MOV     CTL0,A
        MOV     CTH0,A
        MOV     CTL1,A
        MOV     CTH0,A
        MOV     TML2,A
        MOV     TMH2,A
        MOV     A,#00000101B
        MOV     CTCON,A
        MOV     A,#00100101B
        MOV     TM2CON,A
        MOV     A,#01H
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E012H
        MOVX    A,@DPTR
        ORL     A,R3
        MOV     R3,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        ORL     A,R3
        MOV      P2,#1
        MOV      R0,#40H
        MOVX     @R0,A
        MOV     A,#00H
        MOV     R3,A
        MOV     DPTR,#0E012H
        MOVX    A,@DPTR
        ORL     A,R3
        MOV     R3,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        ORL     A,R3
        MOV      P2,#1
```

```
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        LCALL   SEC1
        MOV     A,#00100100B
        MOV     TM2CON,A
        MOV     A,CTL1
        MOV     R4,CTL0
        CLR     C
        SUBB    A,R4
        MOV     R4,A
        MOV     A,CTH1
        MOV     R3,CTH0
        SUBB    A,R3
        MOV     R3,A
; salvare N
        MOV     DPTR,#0E00CH
        MOV     A,R3
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R4
        MOVX    @DPTR,A
; masurare temperatura
        LCALL   CLRLCD
        MOV     DPTR,#TEXT10
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#0C0H
        LCALL   WRCMD
        INC     DPTR
        LCALL   TRX1
        MOV     R2,#1100B
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#0C8H
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#0DFH
        LCALL   TRX
        CLR     A
        MOV     ADCON,A
        ORL     A,#08H
        MOV     ADCON,A
WAIT:   MOV     A,ADCON
        JNB     ACC.4,WAIT
        MOV     A,ADCH
        MOV     B,#2
        DIV     AB
        MOV     DPTR,#0E00FH
        MOVX    @DPTR,A
; REZ1 = 17 x DELTA_T + 10000
        MOV     DPTR,#0E00FH
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     B,A
        MOV     A,#17
        MUL     AB
        MOV     R1,#27H
        MOV     R2,#10H
        CLR     C
        ADD     A,R2
        MOV     R4,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,R1
        MOV     R3,A
; REZ2 = N x (10000 + 17 x DELTA_T)
```

```
        MOV     DPTR,#0E00CH
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R1,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R2,A
         MOV      A,R2
        MOV     B,R4
        MUL     AB
        PUSH    ACC
        MOV     A,R4
        MOV     R4,B
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R4
        MOV     R5,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     B,R3
        MUL     AB
        ADD     A,R5
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
        ADDC    A,R6
        MOV     R6,A
        MOV     A,R3
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R6
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        PUSH    ACC
; REZ3 = REZ2 / 16384
        POP     ACC
        MOV     R4,A
        POP     ACC
        MOV     R5,A
        POP     ACC
        MOV     R6,A
        POP     ACC
        MOV     R3,#6
SHR1:   MOV     A,R4
        CLR     C
        RRC     A
        MOV     R4,A
        MOV     A,R5
        RRC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        RRC     A
        MOV     R6,A
        DJNZ    R3,SHR1
; REZ4 = REZ3 x 9353
        MOV     A,R5
        MOV     R3,A
        MOV     A,R6
        MOV     R4,A
        MOV     R1,#24H
```

```
        MOV     R2,#89H
        MOV      A,R2
        MOV     B,R4
        MUL     AB
        PUSH    ACC
        MOV     A,R4
        MOV     R4,B
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R4
        MOV     R5,A
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     B,R3
        MUL     AB
        ADD     A,R5
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
        ADDC    A,R6
        MOV     R6,A
        MOV     A,R3
        MOV     B,R1
        MUL     AB
        ADD     A,R6
        PUSH    ACC
        MOV     A,B
        ADDC    A,#0
        PUSH    ACC
; s = REZ4 / 16384
        POP     ACC
        MOV     R4,A
        POP     ACC
        MOV     R5,A
        POP     ACC
        MOV     R6,A
        POP     ACC
        MOV     R3,#6
SHR2:   MOV     A,R4
        CLR     C
        RRC     A
        MOV     R4,A
        MOV     A,R5
        RRC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        RRC     A
        MOV     R6,A
        DJNZ    R3,SHR2
; calcul h = H - s
        MOV     DPTR,#0E002H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R3,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        MOV     A,R4
        CLR     C
        SUBB    A,R6
        MOV     R6,A
```

```
        MOV     A,R3
        SUBB    A,R5
        MOV     R5,A
; corectie h + 800
        CLR     C
        MOV     A,R6
        ADD     A,#20H
        MOV     R6,A
        MOV     A,R5
        ADDC    A,#03H
        MOV     R5,A
; salvare h
        MOV     DPTR,#0E010H
        MOV     A,R5
        MOVX    @DPTR,A
        INC     DPTR
        MOV     A,R6
        MOVX    @DPTR,A
; cifra milimetri
        MOV     DPTR,#0E010H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R6,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        MOV     R3,A
        CLR     A
        MOV     R2,A
        MOV     R4,#8
        MOV     R7,A
        MOV     A,R6
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        MOV     R1,A
        MOV     R6,B
T_TWO1:MOV      A,R5
        RLC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        RLC     A
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        RLC     A
        MOV     R7,A
COMP1:  CJNE    A,#0,DONE1
        MOV     A,R6
        CJNE    A,#10,DONE1
        CJNE    R5,#0,DONE1
DONE1:  CPL     C
B_QUO1:MOV      A,R2
        RLC     A
        MOV     R2,A
        JNB     ACC.0,LOP1
SUBS1:  MOV     A,R6
        SUBB    A,#10
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        SUBB    A,#0
        MOV     R7,A
LOP1:   DJNZ    R4,T_TWO1
        MOV     A,#10
```

```
        MOV     B,R2
        MUL     AB
        MOV     B,A
        MOV     A,R3
        SUBB    A,B
        PUSH    ACC
        CLR     OV
; cifra centimetri
        MOV     A,R1
        MOV     R6,A
        MOV     A,R2
        MOV     R5,A
        MOV     R3,A
        MOV     R4,#8
        CLR     A
        MOV     R2,A
        MOV     R7,A
        MOV     A,R6
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        MOV     R1,A
        MOV     R6,B
T_TWO2:MOV      A,R5
        RLC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        RLC     A
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        RLC     A
        MOV     R7,A
COMP2:  CJNE    A,#0,DONE2
        MOV     A,R6
        CJNE    A,#10,DONE2
        CJNE    R5,#0,DONE2
DONE2:  CPL     C
B_QUO2:MOV      A,R2
        RLC     A
        MOV     R2,A
        JNB     ACC.0,LOP2
SUBS2:  MOV     A,R6
        SUBB    A,#10
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        SUBB    A,#0
        MOV     R7,A
LOP2:   DJNZ    R4,T_TWO2
        MOV     A,#10
        MOV     B,R2
        MUL     AB
        MOV     B,A
        MOV     A,R3
        SUBB    A,B
        PUSH    ACC
        CLR     OV
; cifra decimetri si metri
        MOV     A,R2
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        MOV     R2,A
        MOV     A,B
```

```
        PUSH    ACC
        MOV     A,R2
        PUSH    ACC
; afisare h
         MOV     R2,#84H
         LCALL   WRCMD
         POP     ACC
         LCALL   HEXASC
         MOV     R2,A
         LCALL   TRX
         MOV     R2,#86H
         LCALL   WRCMD
         POP     ACC
         LCALL   HEXASC
         MOV     R2,A
         LCALL   TRX
         MOV     R2,#87H
         LCALL   WRCMD
         POP     ACC
         LCALL   HEXASC
         MOV     R2,A
         LCALL   TRX
         MOV     R2,#88H
         LCALL   WRCMD
         POP     ACC
         LCALL   HEXASC
         MOV     R2,A
         LCALL   TRX
; afisare temperatura
        MOV     DPTR,#0E00FH
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        CLR     C
        SUBB    A,#20
        MOV     R4,A
        JC      TNEG
TPOZ:   MOV     R2,#0C4H
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#00101011B
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C5H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R4
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C6H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,B
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        LJMP    SALT
TNEG:   MOV     R2,#0C4H
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#00101101B
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C5H
        LCALL   WRCMD
```

```
        MOV     A,#20
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C6H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,B
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
SALT:   LCALL   SEC
; programare generator curent
; codificare h pe un octet
        MOV     DPTR,#0E010H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R6,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        MOV     R3,#3
SHL1:   CLR     C
        MOV     A,R7
        RLC     A
        MOV     R7,A
        MOV     A,R6
        RLC     A
        MOV     R6,A
        DJNZ    R3,SHL1
; codificare H pe un octet
        MOV     DPTR,#0E002H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
        MOV     R3,#3
SHL2:   CLR     C
        MOV     A,R5
        RLC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R4
        RLC     A
        MOV     R4,A
        DJNZ    R3,SHL2
; calcul valoare hx255
        MOV     A,R6
        MOV     B,#0FFH
        MUL     AB
; calcul (hx255)/H
        MOV     R6,B
        MOV     R5,A
        MOV     R3,A
        MOV     A,R4
        MOV     R0,A
        MOV     RAM,A
        MOV     R4,#8
        CLR     A
```

```
        MOV     R2,A
        MOV     R7,A
        MOV     A,R6
        MOV     B,R0
        DIV     AB
        MOV     R1,A
        MOV     R6,B
T_TWO3:MOV      A,R5
        RLC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6
        RLC     A
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        RLC     A
        MOV     R7,A
COMP3:  CJNE    A,#0,DONE3
        MOV     A,R6
        CJNE    A,RAM,DONE3
        CJNE    R5,#0,DONE3
DONE3:  CPL     C
B_QUO3:MOV      A,R2
        RLC     A
        MOV     R2,A
        JNB     ACC.0,LOP3
SUBS3:  MOV     A,R6
        SUBB    A,R0
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7
        SUBB    A,#0
        MOV     R7,A
LOP3:   DJNZ    R4,T_TWO3
        MOV     A,R0
        MOV     B,R2
        MUL     AB
        MOV     B,A
        MOV     A,R3
        SUBB    A,B
        CLR     OV
        MOV     A,R2
; programare PWM0
        CPL     A
        MOV     PWM0,A
; citire h in binar
        MOV     DPTR,#0E010H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R1,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R2,A
; depasire inferioara
; citire NIA in binar
DEI:    MOV     DPTR,#0E00AH
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
; citire NIAS in binar
        MOV     DPTR,#0E016H
        MOVX    A,@DPTR
```

```
        MOV     R6,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
; calcul h-NIA si semnalizare
        MOV     A,R2
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        MOV     A,R1
        SUBB    A,R4
        JC      DEPINF
        JNC     NDI
DEPINF: MOV     A,#04H
        MOV     DPTR,#0E012H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        AJMP    CONTS
NDI:    MOV     DPTR,#0E012H
        MOVX    A,@DPTR
        ANL     A,#04H
        JB      ACC.2,CAZ1
        JNB     ACC.2,CAZ2
; scadere NIAS-h si avertizare
CAZ1:   MOV     A,R7
        CLR     C
        SUBB    A,R2
        MOV     A,R6
        SUBB    A,R1
        JNC     DEPINF
        JC      NDPI
NDPI:   MOV     A,#00H
        MOV     DPTR,#0E012H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        AJMP    DES
CAZ2:   AJMP    NDPI
; depasire superioara
; citire NSAI in binar
DES:    MOV     DPTR,#0E014H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R4,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R5,A
; citire NSA in binar
        MOV     DPTR,#0E006H
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R6,A
        INC     DPTR
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     R7,A
        MOV     DPTR,#0E013H
        MOVX    A,@DPTR
        ANL     A,#02H
        JB      ACC.1,CAZ3
        JNB     ACC.1,CAZ4
CAZ3:   MOV     A,R2
```

```
        CLR     C
        SUBB    A,R5
        MOV     A,R1
        SUBB    A,R4
        JC      NDPS
        JNC     DEPSUP
CAZ4:   MOV     A,R2
        CLR     C
        SUBB    A,R7
        MOV     A,R1
        SUBB    A,R6
        JC      NDPS
        JNC     DEPSUP
DEPSUP:MOV      A,#02H
        MOV     DPTR,#0E013H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        AJMP    CONTS
NDPS:   MOV     A,#00H
        MOV     DPTR,#0E013H
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     P2,#1
        MOV     R0,#40H
        MOVX    @R0,A
        AJMP    CONTS
CONTS:  LCALL   SEC
; transmisie seriala
        MOV     R7,#3
        MOV     DPTR,#0E00FH
TRANS:  MOVX    A,@DPTR
        MOV     SBUF,A
        CLR     TI
WT:     JNB     TI,WT
        CLR     TI
        INC     DPTR
        DJNZ    R7,TRANS
        LCALL   INPORT
        JZ      GO
        JB      ACC.0,PRO
PRO:    LJMP    PROGR
GO:     LJMP    ACH1
;
UP:     MOV     A,R5
        INC     A
        DA      A
        ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
        RET
;
DOWN:   MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        CLR     C
        SUBB    A,#1
        JC      ADJST
        JNC     CONT
ADJST:  MOV     A,#9H
CONT:   ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
        RET
```

```
;
KEY:    LCALL   INPORT
        JZ      KEY
        RET
;
INPORT:MOV      P2,#1
        MOV     R0,#60H
        MOVX    A,@R0
        CPL     A
        ANL     A,#0FH
        RET
;
DKEY1:  MOV     A,R5
        MOV     R3,A
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
        MOV     R2,#1110B
        LCALL   WRCMD
KEY3:   MOV     R2,#0C6H
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL3
        JB      ACC.1,SUS3
        JB      ACC.2,JOS3
SUS3:   LCALL   UP
        SJMP    PLAY3
JOS3:   LCALL   DOWN
PLAY3:  MOV     A,R5
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        AJMP    KEY3
VAL3:   MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        SWAP    A
        PUSH    ACC
        MOV     A,R3
        ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
KEY4:   MOV     R2,#0C8H
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL4
        JB      ACC.1,SUS4
        JB      ACC.2,JOS4
SUS4:   LCALL   UP
        SJMP    PLAY4
JOS4:   LCALL   DOWN
PLAY4:  MOV     A,R5
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        AJMP    KEY4
VAL4:   POP     ACC
        ORL     A,R5
        MOV     R5,A
        RET
;
```

```
DKEY2:  MOV     A,R4
        MOV     R3,A
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
        MOV     R2,#1110B
        LCALL   WRCMD
KEY5:   MOV     R2,#0C9H
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL5
        JB      ACC.1,SUS5
        JB      ACC.2,JOS5
SUS5:   LCALL   UP
        SJMP    PLAY5
JOS5:   LCALL   DOWN
PLAY5:  MOV     A,R5
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        AJMP    KEY5
VAL5:   MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        SWAP    A
        PUSH    ACC
        MOV     A,R3
        ANL     A,#0FH
        MOV     R5,A
KEY6:   MOV     R2,#0CAH
        LCALL   WRCMD
        LCALL   KEY
        LCALL   SEC1
        JB      ACC.0,VAL6
        JB      ACC.1,SUS6
        JB      ACC.2,JOS6
SUS6:   LCALL   UP
        SJMP    PLAY6
JOS6:   LCALL   DOWN
PLAY6:  MOV     A,R5
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        LJMP    KEY6
VAL6:   POP     ACC
        ORL     A,R5
        MOV     R5,A
        RET
;
SCR:    MOV     R2,#1100B
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#0C6H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R5
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        CALL    HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C8H
        LCALL   WRCMD
```

```
        MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0C9H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R4
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        CALL    HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#0CAH
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R4
        ANL     A,#0FH
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        RET
;
SCR1:   MOV     R2,#1100B
        LCALL   WRCMD
        MOV     R2,#086H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R5
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        CALL    HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#088H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R5
        ANL     A,#0FH
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#089H
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R4
        SWAP    A
        ANL     A,#0FH
        CALL    HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        MOV     R2,#08AH
        LCALL   WRCMD
        MOV     A,R4
        ANL     A,#0FH
        LCALL   HEXASC
        MOV     R2,A
        LCALL   TRX
        RET
;
TRX1:   CLR     A
        MOVC    A,@A+DPTR
        CJNE    A,#24H,TRCAR1
        RET
TRCAR1:MOV      R2,A
```

```
        LCALL   WRDAT
        INC     DPTR
        SJMP    TRX1
;
SEC:    MOV     R6,#255
LOOP1:  MOV     R7,#255
LOOP:   NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,LOOP
        DJNZ    R6,LOOP1
        RET
;
SEC1:   MOV     R6,#255
LOOP3:  MOV     R7,#255
LOOP2:  NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,LOOP2
        DJNZ    R6,LOOP3
        RET
;
TEXT:   DB '   NIVELMETRU   $'
        DB ' CU ULTRASUNETE $'
TEXT1:  DB 'OPERARE  (ENTER)$'
        DB 'PROGRAMARE(MODE)$'
TEXT2:  DB 'VALIDARE PAROLA:$'
        DB '        00      $'
TEXT3:  DB '     PAROLA     $'
        DB '   INCORECTA!   $'
TEXT4:  DB '     PAROLA     $'
        DB '    CORECTA!    $'
TEXT5:  DB '  INALTIME VAS  $'
        DB '  H =  .    m   $'
TEXT6:  DB 'NIV.SUP.ALARMARE$'
        DB 'NSA =  .    m   $'
TEXT7:  DB 'NIV.INF.ALARMARE$'
        DB 'NIA =  .    m   $'
TEXT8:  DB 'CALIBRARE  G.C.?$'
        DB '(D-MODE N-ENTER)$'
TEXT9:  DB '  REGIM NORMAL  $'
        DB ' DE FUNCTIONARE $'
TEXT10: DB 'h =  .    m     $'
        DB 't =      C      $'
TEXT11: DB '  H =  .    m  ?$'
        DB '(D-ENTER N-MODE)$'
TEXT12: DB 'NSA =  .    m  ?$'
        DB '(D-ENTER N-MODE)$'
TEXT13: DB 'NIA =  .    m  ?$'
        DB '(D-ENTER N-MODE)$'
TEXT14: DB ' CALIBRARE 4 mA $'
        DB ' (GATA - ENTER) $'
TEXT15: DB ' CALIBRARE 20mA $'
        DB ' (GATA - ENTER) $'
;
```

```
HEXASC:ANL    A,#0FH
       JNB    ACC.3,NOADJ
       JB     ACC.2,ADJ
       JNB    ACC.1,NOADJ
ADJ:   ADD    A,#07H
NOADJ: ADD    A,#30H
       RET
;
TRX:   CLR    A
       MOV    A,R2
       LJMP   TRCAR
LL7:   RET
TRCAR: MOV    R2,A
       LCALL  WRDAT
       SJMP   LL7
;
INILCD:MOV    R2,#38H
       LCALL  WRCMD
       MOV    R4,#50
DEL4MS:LCALL  DELAY
       DJNZ   R4,DEL4MS
       MOV    R4,#4
LINI:  LCALL  WRCMD
       LCALL  DELAY
       DJNZ   R4,LINI
       LCALL  WLCD
       MOV    R2,#6
       LCALL  WRCMD
       LCALL  WLCD
       MOV    R2,#0EH
       LCALL  WRCMD
       LCALL  WLCD
       MOV    R2,#1
       LCALL  WRCMD
       LCALL  WLCD
       RET
;
CLRLCD:MOV    R2,#1
       LCALL  WRCMD
       MOV    R2,#1100B
       LCALL  WRCMD
       RET
;
WLCD:  LCALL  RDCMD
       JB     ACC.7,WLCD
       RET
;
RDCMD: MOV    P2,#1
       MOV    R0,#2
       MOVX   A,@R0
       RET
;
WRCMD: LCALL  WLCD
       MOV    A,R2
       MOV    P2,#1
       MOV    R0,#0
       MOVX   @R0,A
       RET
;
WRDAT: LCALL  WLCD
       MOV    P2,#1
```

```
        MOV     R0,#1
        MOV     A,R2
        MOVX    @R0,A
        RET
;
DELAY:  MOV     R3,#17
LL1:    NOP
        NOP
        DJNZ    R3,LL1
        RET
;
        END
```