

Lucrare de laborator nr. 2 Microcontroloare și sisteme dedicate

1. Obiectivele lucrării:

- prezentarea principalelor elemente arhitecturale ale unui microcontrolor, exemplificate prin circuitul PIC16F877
- prezentarea metodologiei și a instrumentelor de proiectare, execuție și testare a aplicațiilor dezvoltate cu ajutorul microcontroloarelor
- evaluarea posibilităților de implementare a unor aplicații dedicate și încapsulate folosind diverse variante de microcontroloare

2. Consideratii teoretice

2.1. Microcontroloare

Microcontroloarele sunt circuite integrate care încorporează majoritatea componentelor necesare pentru realizarea unui micro-sistem de calcul dedicat:

- unitate centrală de prelucrare (UCP)
- memorie de program (MP) – păstrează aplicația ce rulează pe microcontrolor
- memorie de date (MD) – păstrează variabilele aplicației, registrele procesorului, memoria stivă și setul de registre cu funcții speciale (SRF – Special Register File)
- memorie nevolatilă (EEPROM) – păstrează parametrii de configurare sau alte date care trebuie păstrate și după decuplarea tensiunii de alimentare
- sistem de întreruperi – tratează atât întreruperile generate de componentele interne ale circuitului (ex: canal serial, contoare, etc.) cât și cele generate din exterior
- contoare și circuite de temporizare – componente folosite pentru: măsurarea timpului (ceasul sistemului), pentru generarea de semnale de frecvență prestabilite (ex: pentru transmisia serială de date), pentru numărarea de impulsuri, pentru generarea de întreruperi periodice, etc.
- interfețe de intrare/ieșire – asigură legătura dintre microcontrolor și mediul în care lucrează (procesul controlat, interfața utilizator sau un alt echipament de calcul); interfețele tipice care se regăsesc într-un microcontrolor sunt:
 - o interfețe paralele – asigură achiziția și generarea de semnale digitale
 - o interfețe seriale – folosite pentru comunicația cu alte componente “inteligente” inclusiv cu un calculator ierarhic superior (ex: un calculator personal)
 - o convertoare analog-numerice și numeric-analogice – folosite pentru achiziția și generarea de semnale analogice
- interfață de rețea – pentru comunicația în rețea (de obicei o rețea industrială, ca de exemplu CAN)

Microcontroloarele, după cum sugerează și numele, sunt destinate pentru dezvoltarea de aplicații de monitorizare și control. Ele oferă o soluție optimă pentru aplicații de complexitate redusă, în care parametrii de cost, dimensiune, consum și fiabilitate sunt dominanți în detrimentul celor de performanță și versatilitate.

2.2 Microcontroloare din familia Microchip-PIC

Firma Microchip (www.microchip.com) realizează o gamă foarte diversă de microcontroloare (denumite PIC), de la variantele foarte ieftine, de dimensiuni mici (6 pini) și arhitectura pe 8 biți la variante mai performante, de dimensiuni mai mari (până la 80 de pini) și având o arhitectura pe 16 biți. Variantele constructive diferă prin: performanțele UCP, dimensiunea instrucțiunilor (12, 14 sau 16 biți), dimensiunea și tipul memoriei de program și de date (de la 384 octeți la 128K octeți pentru memoria de program), tipul și numărul de interfețe incluse în structura internă a microcontrolorului (contoare, porturi

paralele, canale seriale, interfețe de rețea, convertoare analog/numerice și numeric analogice, etc.). Microcontroloarele PIC au o arhitectură RISC de tip Harvard cu două magistrale (una pentru instrucțiuni și una pentru date) și memoria partajată în memorie de program și memorie de date; setul de instrucțiuni este simplu și se asigură compatibilitatea în sus (eng. "upward") de la variantele simple (instrucțiuni pe 12 biți) către cele mai performante (cu instrucțiuni pe 16 biți).

Alegerea variantei optime pentru o anumită aplicație se face pe baza următoarelor criterii:

- numărul de semnale de intrare și ieșire necesare
- tipul și numărul perifericelor necesare (RS232, USB, CAN, etc.)
- dimensiunea memoriei (de program, RAM și EEPROM)
- viteza procesorului
- dimensiunea fizică a circuitului

Principalele subclase de circuite PIC sunt: PIC10, PIC12, PIC14, PIC16, PIC18, PIC24. Caracteristicile acestor clase sunt sintetizate în anexa 1. Primele 3 sunt variante cu preț și dimensiuni mici, dar cu performanțe modeste; variantele PIC16 au performanță și cost mediu iar PIC18 și PIC24 sunt de performanță ridicată. Din punct de vedere arhitectural sunt procesoare pe 8 biți, cu un format al setului de instrucțiuni ce variază în funcție de clasă, de la 12 biți/instrucțiune, la 14 și respectiv 16 biți/instrucțiune.

2.3 Microcontrolorul PIC16F877

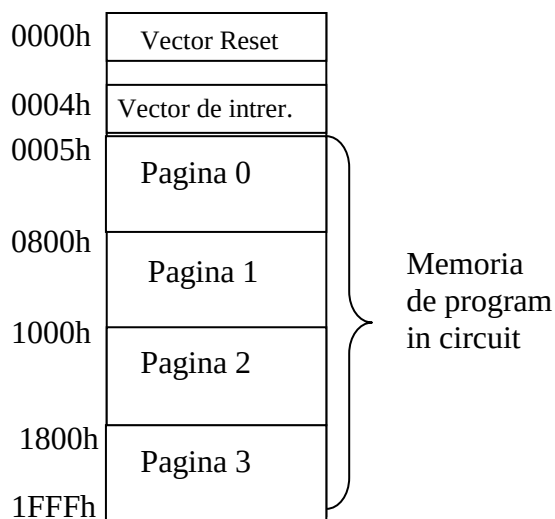
Pentru exemplificarea arhitecturii unui microcontrolor s-a ales unul din cele mai populare variante: PIC16F877. Principalele caracteristici ale acestui circuit sunt:

- arhitectură RISC performantă cu doar 35 de instrucțiuni; instrucțiunile au un format fix de 14 biți; adresare directă, indirectă și relativă
- frecvența de lucru 20MHz
- memorie de program de tip Flash cu capacitate maximă de 8K*14 biți
- memoria de date de tip RAM de maxim 368*8 biți
- memorie de date nevolatilă (EEPROM) de maxim 256*8 biți
- memorie stivă de 8 poziții
- 14 surse de întrerupere
- programabil pe o linie serială (pe 2 pini)
- contoare: Timer0 (8 biți), Timer1 (16 biți), Timer2 (8 biți)
- PWM cu rezoluție pe 10 biți
- convertor analog-numeric multicanal pe 10 biți
- interfețe seriale:
 - interfață sincronă - Synchronous Serial Port (SSP) cu SPI □(Master mode) și I2C(Master/Slave)
 - interfață asincronă - Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) cu detecție de adresă pe 9-biți
- interfețe paralele - Parallel Slave Port (PSP) pe 8-biți

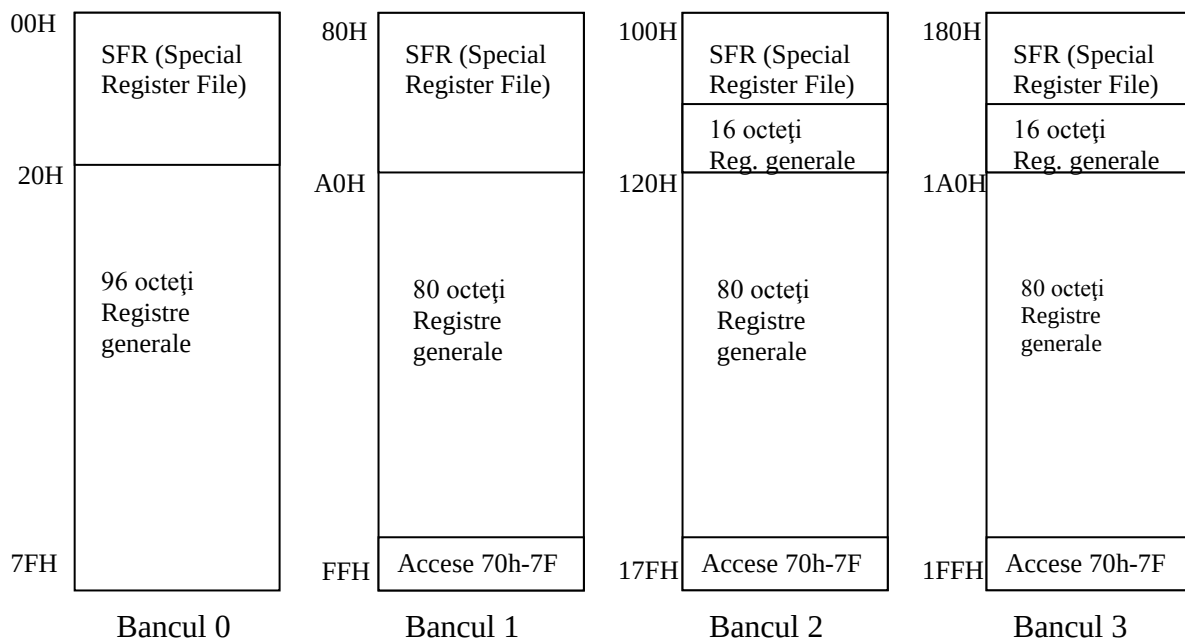
Manualul de utilizare al acestui circuit oferă o descriere detaliată a acestui circuit. În continuare se dau doar câteva date selective necesare pentru o mai bună înțelegere a funcționării acestui circuit.

Organizarea memoriei

Harta memoriei de program:



Harta memoriei de date:



Memoria de date este organizată pe 4 bancuri. În fiecare din cele 4 bancuri există zonă rezervată pentru registrele speciale ale microcontrolului și o zonă utilizabilă pentru variabilele programului (registrele generale). Selectarea bancului curent se face cu ajutorul a 2 biți din registrul de stare (RP0 și RP1). Prin intermediul registrelor speciale programatorul poate să controleze funcționarea circuitului și poate să acceseze (să citească și să scrie) diversele componente interne, în speță interfețe. De exemplu registrele PORTA (adr. 05H), PORTB (adr. 06h), PORTC (adr. 07h) și PORTD (adr. 08H) permit citirea și scrierea celor 4 porturi paralele ale circuitului, iar registrele TMR0, TMR1L, TMR1H și TMR2 controlează contoarele 0, 1 și 2. În mod similar fiecare resursă a

circuitului are registre speciale asociate, unele pentru citirea/scrierea datelor propriu-zise, altele pentru programarea și configurarea acestora.

Setul de instrucțiuni

Microcontroloarele din familia PIC16 folosesc un format de instrucțiune de 14 biți. Instrucțiunile sunt de 3 tipuri:

- o instrucțiuni pe octet
- o instrucțiuni pe bit
- o operații cu literal și de control

Pentru **instrucțiunile pe octet** parametrul “f” reprezintă indicatorul de registrul (file register) care se folosește în instrucțiune, iar parametrul “d” indicatorul de destinație. Dacă d=0 rezultatul se pune în registrul “W”, iar dacă d=1 rezultatul se pune în registrul indicat de “f”.

Pentru **instrucțiunile pe bit** “b” reprezintă un indicator al bitului care va fi afectat de instrucțiune, iar “f” este adresa registrului unde se află bitul. La **instrucțiunile cu literal sau de control** “k” reprezintă o constantă sau un literal reprezentat pe 8 sau 11 biți.

O instrucțiune se execută în unu sau cel mult 2 cicluri; un ciclu de instrucțiune durează 4 cicluri de ceas, ceea ce înseamnă că la o frecvență a ceasului de 4MHz o instrucțiune uzuală se execută în 1μs. Orice instrucțiune care operează cu un registru efectuează o operație de tip “citește-modifică-scrie”. Astfel se efectuează o citire chiar și în cazul în care instrucțiunea precizează o operație de scriere. Tabelul de mai jos prezintă succint setul de instrucțiuni pentru familia PIC16.

Instrucțiune	Descriere
Instrucțiuni pe octet	
ADDWF f,d	Adună W și f
ANDWF f,d	SI logic W și f
CLRF f	Sterge f
CLRW	Sterge W
COMF f,d	Complementează f
DECF f,d	Decrementează f
DECFSZ f,d	Decrementează f și salt dacă este 0
INCF f,d	Incrementează f
INCFSZ f,d	Incrementează f și salt dacă este 0
IORWF f,d	SAU inclusiv W și f
MOVF f,d	Transfer f
MOVWF f	Transfer W în f
NOP	Nicio operație
RLF f,d	Rotație stânga prin Carry
RRF f,d	Rotație dreapta prin Carry
SUBWF f,d	Scadere W din f
SWAPF f,d	Schimbă 4 biți (nibbles) în f
XORWF f,d	SAU exclusiv W și f

Instrucțiune	Descriere
Instrucțiuni pe bit	
BCF f, b	Sterge bit din f
BSF f, b	Setează bit în f
BTFSC f, b	Test bit și salt dacă este 0
BTFSS f, b	Test bit și salt dacă este 1
Instrucțiuni cu literale sau de control	
ADDLW k	Adună literal cu W
ANDLW k	SI literal cu W
CALL k	Apel rutină
CLRWDT	Sterge watchdog timer
GOTO k	Salt la adresă
IORLW k	SAU inclusiv cu literal și W
MOVLW k	Transferă literal în W
RETFIE	Revenire din întrerupere
RETLW k	Revenire cu literal în W
RETURN	Revenire din rutină
SLEEP	Trecere în mod Standby
SUBLW k	Scade W din literal
XORLW k	SAU exclusiv literal cu W

Utilizarea interfețelor (porturilor) paralele

Porturile paralele PORTA, PORTB, PORTC, PORTD și PORTE pot fi configurate la nivel de bit ca și intrări sau ieșiri. Fiecărui port îi este atasat un registru de configurare (TRISA pentru PORTA, TRISB pentru PORTB și așa mai departe) care determină direcția de intrare sau de ieșire a fiecărui bit al portului. Dacă în registrul TRISA un anumit bit este 0 atunci bitul corespunzător din PORTA este ieșire, iar dacă este setat pe 1 atunci bitul corespunzător din PORTA este intrare. Anumiți pini ai circuitului corespunzători porturilor paralele au funcții multiple (ex: intrare/ieșire, intrerupere, intrare analogică, etc.). Prin configurare se alege funcția dorită a pinului. Din această cauză unele funcții/interfete sunt reciproc exclusive.

Secvență de program pentru inițializarea portului PORTA:

BCF STATUS, RP0 ;	
BCF STATUS, RP1	; Selectare Banc0 unde se află PORTA
CLRF PORTA	; Initializare (ștergere) PORTA
BSF STATUS, RP0	; Selectare Banc 1, unde se află TRISA
MOVLW 0x06	; Configurarea toți pinii ca intrări digitale
MOVWF ADCON1	; scriere registru de control conv. AD*
MOVLW 0xCF	; Valoare pt. inițializarea direcției datelor
MOVWF TRISA	; Setează RA<3:0> ca și intrări
	; RA<5:4> ca și ieșiri
	; TRISA<7:6> sunt întotdeauna citite ca "0".

Notă: unii pini ai portului A sunt multiplexați cu intrările în convertorul analog-digital

Portul D poate să funcționeze în regim de "port slave" în sensul că poate fi citit sau scris din exteriorul circuitului (în regim "slave") de către un alt circuit; în acest scop se folosesc semnalele RD\, WR\ și CS\ pentru citirea, scrierea și respectiv selectarea portului pentru citire/scriere.

2.4 Descrierea sistemului demonstrativ PICDEM 4 DEMONSTRATION BOARD

Pentru familiarizarea utilizatorilor cu modul de proiectare și programare a aplicațiilor bazate de aceste circuite, s-au dezvoltat diverse sisteme demonstrative sau sisteme de dezvoltare. Aceste sisteme sunt un ansamblu de componente hardware și software care permit utilizatorului rularea unor programe demonstrative predefinite și programarea de noi aplicații prin extinderea sau modificarea celor date ca exemplu.

Un astfel de sistem demonstrativ oferit de firma Microchip este "PICDEM 4 demonstration board", care are următoarele componente și caracteristici funcționale:

1. socluri de 8, 14 și 18 pini pentru diverse tipuri de microcontroloare PIC (la un moment dat un singur circuit PIC poate fi utilizat)
2. regulator de tensiune de 5V pentru alimentarea circuitului de la un adaptor sau baterie de 9V (curent generat 100mA)
3. transceiver și conector pentru transmisie serială asincronă RS232
4. conector pentru "depanare în circuit" (In-Circuit Debugger - ICD) .
5. 3 butoane pentru interacțiune cu utilizatorul
6. 4 potențiometre de 5Kohmi pentru testarea intrărilor analogice
7. afișaj LCD cu 2*16 caractere

8. 8 LED-uri conectate la porturile PORTA și PORTB
9. zonă pentru dezvoltări hardware (zonă prototip)
10. cuarț de 32.768 kHz pentru operarea timerului de timp-real
11. circuit de expansiune PIC16LF72 I/O
12. circuit imprimat pentru driver de motor și traneiver LIN (Local Interconnect Network)

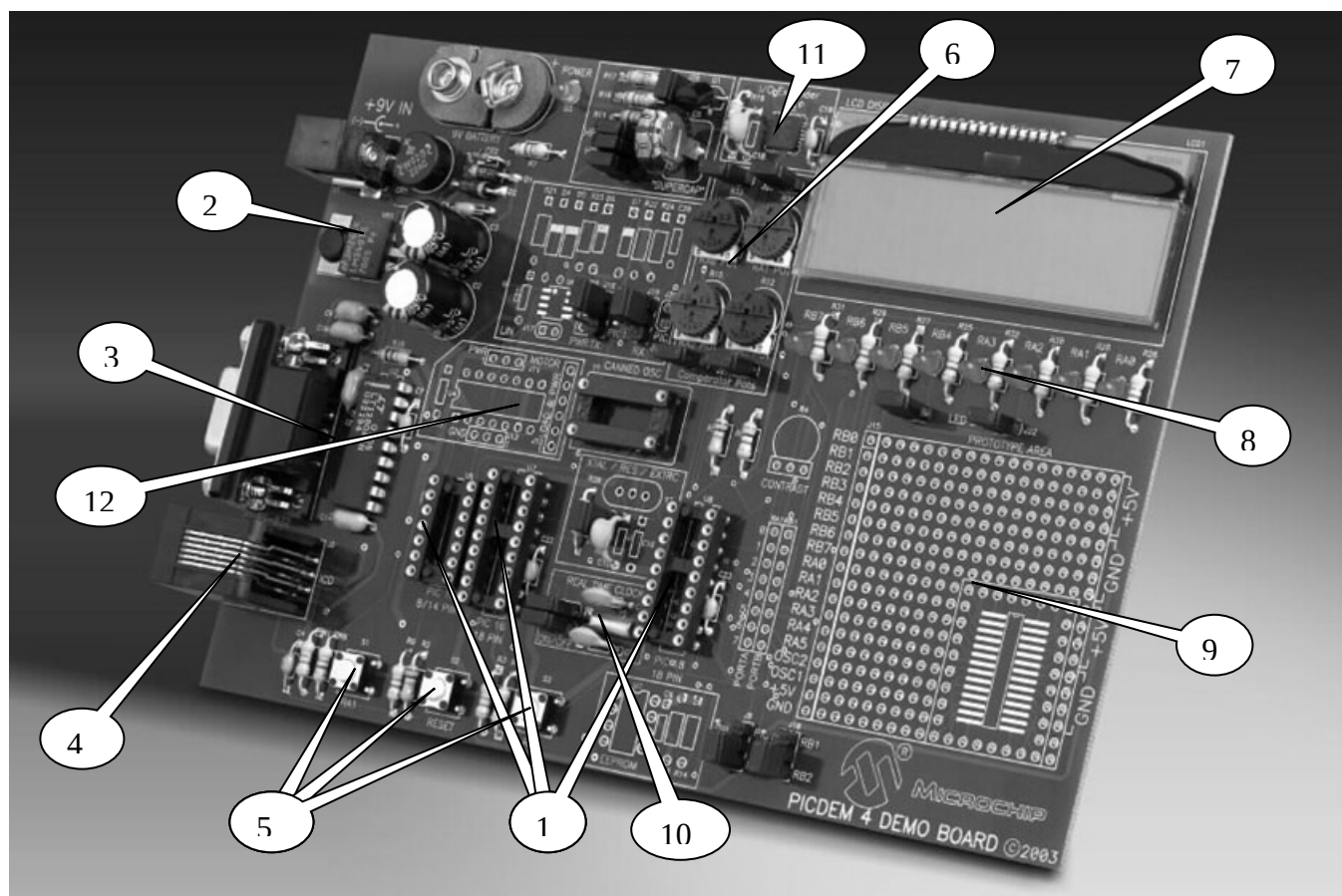


Figura 2. Vedere asupra plăcii demonstrative PICDEM 4

Detalii suplimentare privind placa PICDEM 4 pot fi găsite în Manualul de utilizare oferit de producător [1].

Descrierea Programului demonstrativ

Programul demonstrativ implementează 2 funcții: voltmetru digital și ceas. Pentru prima funcție se folosește un potențiometrul de pe placa PICDEM 4, convertorul analog numeric al microcontrolerului și afișajul LCD. Tensiunea reglată prin potențiometrul în intervalul 0-5V este afișată periodic pe LCD. Pentru funcția de ceas se folosește un cuarț de 32KHz, contorul Timer1 al microcontrolerului și afișajul LCD. Cu ajutorul butoanelor SW1 și SW3 se poate seta timpul curent. La pornire ceasul indică 00:00:00. Butonul SW3 permite comutarea de pe modul voltmetru pe cel de ceas și invers.

3. Mersul lucrării

3.1 Se va analiza prin comparație arhitectura mai multor tipuri de microcontroloare PIC; se vor identifica componentele interne și facilitățile funcționale oferite

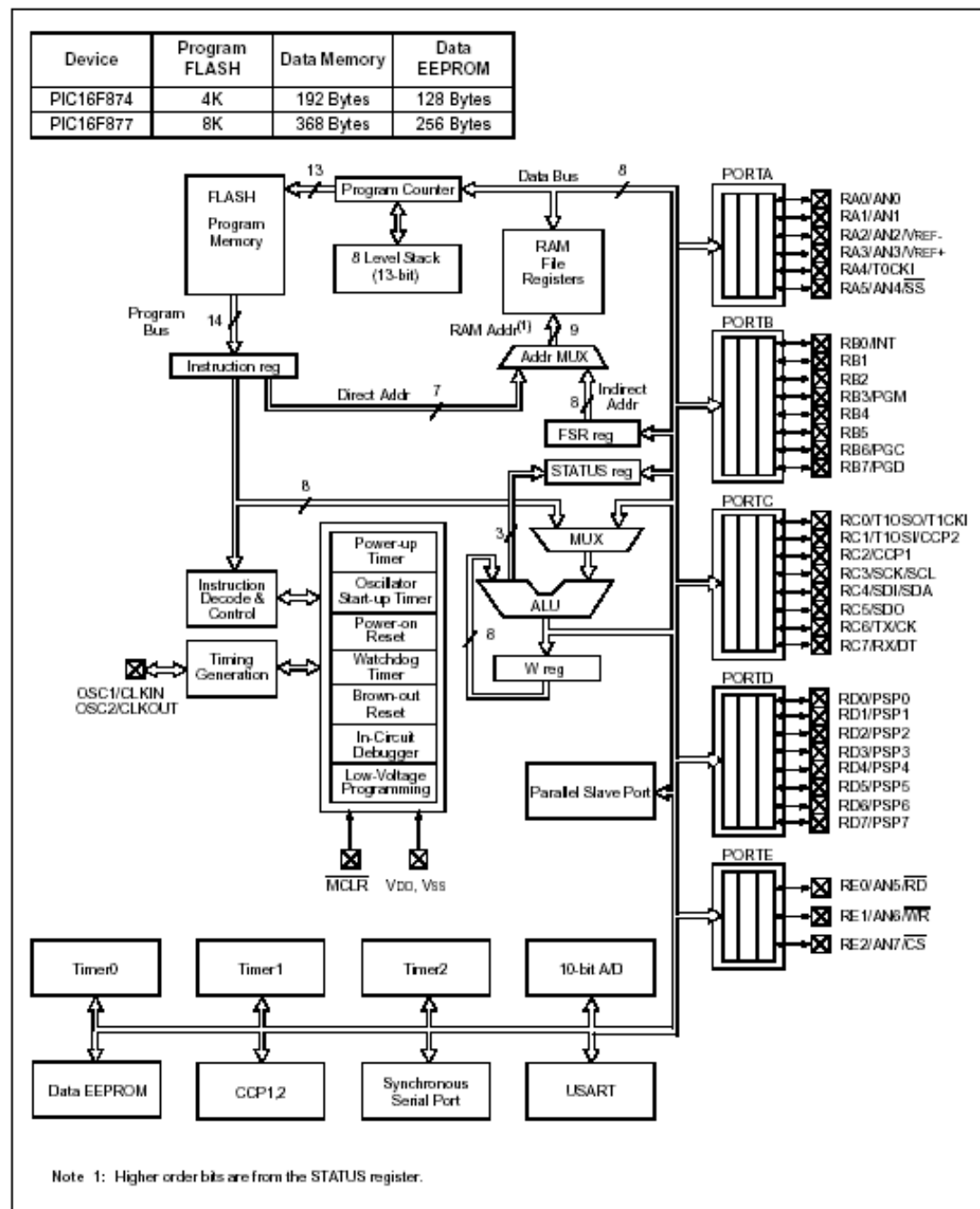
3.2. Se va face o comparație între un microcontrolor și un procesor uzual

3.3. Se va pune în funcțiune placa PICDEM 4 și se vor analiza diversele facilități ale plăcii

3.4. Se va analiza programul demonstrativ al plăcii (codul sursă); se vor identifica secvențele de program aferente componentelor/interfețelor de pe placă

3.5. Se vor face mici modificări în program în vederea schimbării funcționalității plăcii.

Anexa 1. Scema internă a circuitului PIC16F877



Anexa 2. Secvențe din programul demonstrativ al plăcii PICDEM 4:

```
include <P16F628.INC>           ;fișier de descriere a configurației microcontrolorului
.....
#define Switch1    PORTA,4       ; declararea poziției butoanelor în porturi
#define Switch2    PORTA,5
#define Switch3    PORTB,0
#define TRISSwitch1 TRISA,4
#define TRISSwitch2 TRISA,5
#define TRISSwitch3 TRISB,0
.....
WaitForSwitch1 macro             ; macro pentru a aștepta apăsarea tastei SW1
    btfsc Switch1                ;asteaptă apăsarea tastei
    goto  $-2
endm
.....
WaitReleaseOfSwitch1 macro       ; macro de așteptare a eliberării tastei
    bcf  STATUS,RP1              ; alegere banc 0
    bcf  STATUS,RP0
    btfss Switch1                ;așteaptă eliberarea tastei
    goto  $-1
endm
.....
WaitForMenuKeys macro            ;macro pentru așteptarea unei taste de meniu
    bcf  STATUS,RP1
    bcf  STATUS,RP0
    btfss Switch3
    goto  $+4
    btfsc Switch1
    goto  $-3
endm
.....

ResetVector  CODE  0x00          ; salt la adresa de început a programului
    goto  start

Main_Start   CODE

start
;Initializare pini de intrare/ieșire
    banksel PORTA
    clrf  PORTA
    clrf  PORTB
    banksel TRISA
    movlw B'00111111'
    movwf TRISA
    movlw B'11110111'
    movwf TRISB
    call  LongDelay               ;temporizare pentru extenderul de I/E
    call  IOExpLCDInit            ;Initializare LCD
    call  IOExpLCDHideCursor
;Ascunde cursor
    call  IOExpLCDLine1           ;Pune cursorul pe linia 1
```

```

;Display "Microchip"
mIOExpLCDSendMessage  MsgMicrochip
call  IOExpLCDLine2    ;Pune cursorul pe linia a 2-a
mIOExpLCDSendMessage  MsgPICDEM4    ;Display " PICDEM 4"
call  LongDelay

```

```

.....
LongDelay                                ;funcție de întârziere de aprox. 1s

```

```

    banksel Temp1
    movlw  0xFF
    movwf  Temp1
    movwf  Temp2
    movlw  0x05
    movwf  Temp3

```

```

LongDelay_1
    decfsz Temp1,F
    goto   LongDelay_1
    decfsz Temp2,F
    goto   LongDelay_1
    decfsz Temp3,F
    goto   LongDelay_1
    return

```

Anexa 3 Comparatie intre familiile de microcontoloare PIC

TIP	pret	Arhit.	mem. progr Ko	eprom	RAM	I/O	Canale ADC	Com- parat	Con- toare	HW- RTC	Inter- fete.	Vit. MHz	Nr pini	Vmi n	Vmax	port paralel	Variante
PIC10	0,4- 0,5\$	8 biti	0,375- 0,75	0	16- 24	4	0-2/ 8 biti	0-1	1/8 biti	nu		4	6	2V	5,5V	nu	
PIC12	0,6- 0,7	8	0,75- 1,75	0-256	25- 128	6	0-4/ 10 biti	0-1	1/8 biti	nu		4-20	8	2V	5,5V	nu	12
PIC14	5,5	8	7 (OTP)	0	192	20	0/8	2	1/8 1/16		SMB	20	28	2,7V	6V		1
PIC16	1- 3\$	8	1-14 otp/ flash	0-256	25- 368	6- 52	0-12	0-2	1-2/8 1/16 1/wd		USART I2C SPI MI2C	20- 40	18-64	2V	5,5V	nu/ PSP	94 !!!
PIC18	2,5- 7 \$	8	flash	0-1024	512- 3930	16- 70	4-16/ 10-12 biti	0-2	1-2/8 1- 3/16 1/wd		2USAR T I2C SPI MI2C	25- 64	18-100	2V	5,5V	nu/ PSP	151 !!!!