

## 6. Convertorul A/D

### 6.1 Introducere

Există foarte multe situații în care comunicarea dintre microcontroller și lumea exterioară nu se poate realiza doar printr-un canal cu două nivele de tensiune (i.e. canale digitale). Într-o asemenea situație se află și senzorii, de la care datele sunt preluate sub formă analogică, ceea ce înseamnă că fiecărui nivel de tensiune îi corespunde o anumită valoare (e.g. de temperatură, intensitate luminoasă).

Într-un asemenea context, utilizarea porturilor digitali pentru citirea datelor analogice nu este posibilă. Pentru a facilita prelucrarea digitală a datelor provenite de la surse analogice, se utilizează convertoare care transformă nivelele de tensiune analogice în secvențe de nivele de tensiune digitale. Aceste convertoare sunt cunoscute sub numele de **convertoare Analog/Digitale (A/D)**. **Rezoluția** convertorului reprezintă numărul maxim de semnale digitale furnizate pentru un nivel analogic.

De regulă, un convertor permite transformarea mai multor linii analogice în semnale digitale, dar nu simultan. Numărul maxim de linii analogice care pot fi transformate de un convertor A/D reprezintă numărul **canalelor** acestuia.

În cazul microcontrollerului 18F4455, există deja un convertor intern sub forma unui modul legat la magistrala de adresă și date. Canalele modulului de conversie sunt multiplexate cu pini microcontrollerului și sunt în număr de 13. Din această cauză, utilizarea unui canal este condiționată de setarea în mod analogic a pinului respectiv. Rezoluția convertorului este de 10 biți, iar din cauza conectării directe la magistrala de date și adrese, modulul poate fi configurat prin simpla modificare a unor regiștrii speciali. Totodată, citirea datelor se rezumă la o simplă citire a doi regiștrii.

### 6.2 Principiul de funcționare a convertorului A/D

Ca orice alt modul, și convertorul A/D are atașat un bit pentru activarea sau dezactivarea lui. Acest bit este ADON din registrul ADCON0. Dacă ADON este 1, modulul A/D este activat. În caz contrar, modulul este inactiv.

După cum se poate observa din Figura 6.1, există o singură linie de intrare în convertorul A/D. Cu toate acestea, există 13 canale care pot fi selectate ca linii de intrare prin biții CHS3:CHS0 (a se consulta Tabelul 6.1) ai registrului ADCON0. Pinul corespunzător canalului selectat ca intrare în convertor trebuie să fie configurat ca pin de intrare (i.e. prin registrul TRIS corespunzător) și ca pin analogic (i.e. prin biții PCFG3:PCFG0 ai registrului ADCON1, Tabelul 6.2).

Valorile convertite maxime și minime corespund unor **tensiuni de referință**. Acestea sunt alese în funcție de preferințe, prin biții VCFG1:VCFG0. De regulă, tensiunile de referință vor corespunde tensiunilor de alimentare a microcontrollerului, adică Vdd și Vss. Există însă și situații în care se dorește atingerea unei precizii mult mai mari decât oferă plaja de 0-5 V de alimentare. În aceste cazuri se va utiliza o tensiune de referință preluată de pe pini microcontrollerului AN2 și AN3.

Înainte de pornirea unei conversii, convertorul trebuie lăsat într-o stare de achiziție (en. „acquisition state”) un timp minim  $T_{AQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$ , unde  $T_{AMP}$  este timpul de stabilizare al amplificatorului intern,  $T_C$  este timpul de încărcare a condensatorului corespunzător semnalului extern convertit (în cazul în care nu există un asemenea

condensator  $T_C = 0$ ), iar  $T_{COFF}$  este un coeficient datorat temperaturilor de lucru. De regulă,  $T_{AMP} = 0.2 \mu s$ ,  $T_C \rightarrow 0$  iar  $T_{COFF} \rightarrow 0$  (pentru temperaturi  $< 25^\circ C$ ). Pentru temperaturi  $> 25^\circ C$ ,  $T_{COFF}$  minim este  $\approx 1.2 \mu s$ . În acest caz, timpul de achiziție minim poate ajunge chiar și la  $2.5-3 \mu s$ .

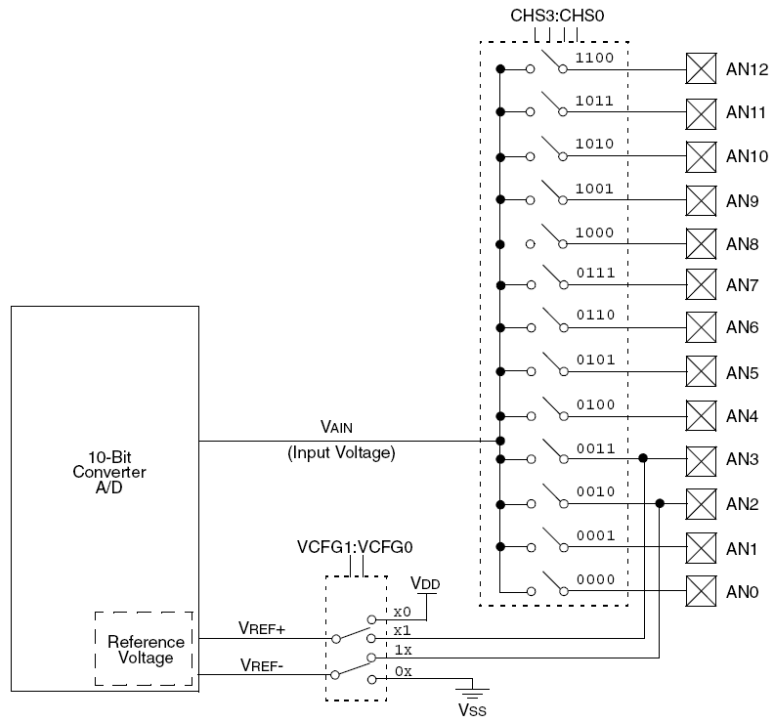


Figura 6.1. Schema bloc a convertorului A/D

CHS3:CHS0	Canale
0000	Canalul 0 (AN0)
0001	Canalul 1 (AN1)
0010	Canalul 2 (AN2)
0011	Canalul 3 (AN3)
0100	Canalul 4 (AN4)
0101	Canalul 5 (AN5)
0110	Canalul 6 (AN6)
0111	Canalul 7 (AN7)
1000	Canalul 8 (AN8)
1001	Canalul 9 (AN9)
1010	Canalul 10 (AN10)
1011	Canalul 11 (AN11)
1100	Canalul 12 (AN12)
1101	Neimplementat
1110	Neimplementat
1111	Neimplementat

Tabelul 6.1. Alegerea canalelor

Timpul alocat conversiei unui bit,  $T_{AD}$ , este dependent de frecvența de lucru. Pentru a realiza o conversie de 10 biți, este nevoie de 11  $T_{AD}$ .  $T_{AD}$  se configurează soft prin biții ADCS2:ADCS0 ai registrului ADCON2. Printre aceste valori se disting și unele care sunt date de oscilatorul RC intern al convertorului. Acest caz a fost prevăzut întrucât convertorul poate funcționa și în mod SLEEP, în acest caz tactul de conversie fiind dat de oscilatorul intern al convertorului. Pentru o listă a tuturor valorilor posibile pentru  $T_{AD}$ , se poate consulta Tabelul 6.3.

Conversia se pornește prin setarea bitului GO/DONE. Sfârșitul conversiei se poate determina prin testarea aceluiași bit. În momentul în care acesta devine 0, conversia a luat sfârșit, iar rezultatul se află stocat în regiștrii ADRESH:ADRESL. Deoarece rezoluția convertorului este de 10 biți iar cei doi regiștrii însumează 16 biți, rezultatul poate fi aliniat la stânga sau la dreapta utilizând bitul ADFM al registrului ADCON2. Dacă acest bit este 1, rezultatul este aliniat la dreapta, iar dacă este 0, rezultatul este aliniat la stânga. Această setare trebuie însă efectuată înainte de începerea conversiei.

PCFG3: PCFG0	AN12	AN11	AN10	AN9	AN8	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0010	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0011	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0100	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0101	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0110	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0111	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A
1000	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
1001	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
1011	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A
1100	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A
1101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

A – Semnale Analogice

D – Semnale Digitale

Tabelul 6.2. Biții pentru configurarea semnalelor Analogice/Digitale

### 6.3 Alegerea tactului de conversie

Fiecărui bit convertit îi corespunde un timp de conversie  $T_{AD}$ . Pentru a realiza o întreagă conversie este nevoie de 11  $T_{AD}$ . Posibilele valori pentru  $T_{AD}$  corespunzătoare diferitelor frecvențe de lucru sunt date în Tabelul 6.3.

ADCS2:ADCS0	$T_{AD}$	Frecvența maximă de lucru
000	$2 T_{osc}$	2.86 MHz
001	$8 T_{osc}$	11.43 MHz

010	32 T <sub>osc</sub>	45.71 MHz
011	RC (Osc. Intern) ≈ 4 ms	1.00 MHz
100	4 T <sub>osc</sub>	5.71 MHz
101	16 T <sub>osc</sub>	22.86 MHz
110	64 T <sub>osc</sub>	48.0 MHz
111	RC (Osc. Intern) ≈ 4 ms	1.00 MHz

Tabelul 6.3. Alegerea tactului de conversie în funcție de frecvența de lucru

## 6.4 Alegerea timpului de achiziție

Timpul de achiziție permite încărcarea condensatorilor înainte de începerea conversiei. Tocmai din această cauză, dacă timpul alocat încărcării nu este suficient de mare, rezultatul conversiei poate să fie eronat. În acest context, modulul de conversie A/D oferă posibilitatea ca respectarea timpului de achiziție să fie la latitudinea utilizatorului (prin ștergerea biților ACQT2:ACQT0) sau să fie selectat prin configurarea biților ACQT2:ACQT0.

Dacă timpul de achiziție este lăsat la latitudinea utilizatorului, după activarea modului, utilizatorul trebuie să aștepte un minim de achiziție în funcție de o serie de parametri externi. În secțiunea precedentă, s-a calculat un timp minim de 3 μs pentru temperaturi mai mari de 25° C. Astfel, dacă luăm în considerare o frecvență de lucru de 20 MHz (unde o instrucțiune este executată în 0.2 μs), secvența de cod prin care se poate realiza o asemenea întârziere arată în felul următor:

```
Wait_1_Micro:
    NOP
    RETURN
```

```
Wait_Acquisition_Time:
    CALL Wait_1_Micro
    CALL Wait_1_Micro
    CALL Wait_1_Micro
    NOP
    RETURN
```

...

```
; Prin execuția rutinei "Wait_Acquisition_Time" (împreună cu timpul
; de execuție a apelului) se realizează o întârziere de 4 μs
CALL Wait_Acquisition_Time
```

În cel de-al doilea caz, după activarea bitului  $\overline{GO/DONE}$  (adică după pornirea conversiei), timpul de achiziție este ținut în interiorul modului. În acest caz nu se poate spune când s-a terminat timpul de achiziție și când a început conversia. În Tabelul 6.4 se pot vedea timpii corespunzători celor trei biți ACQT2:ACQT0. Acești biți se vor configura în funcție de T<sub>AD</sub>, astfel încât timpul minim de achiziție să fie de 3 μs. Valorile posibile pentru T<sub>AD</sub> sunt listate în Tabelul 6.3.

ACQT2:ACQT0	Timp de achiziție
000	0 T <sub>AD</sub>
001	2 T <sub>AD</sub>

010	4 T <sub>AD</sub>
011	6 T <sub>AD</sub>
100	8 T <sub>AD</sub>
101	12 T <sub>AD</sub>
110	16 T <sub>AD</sub>
111	20 T <sub>AD</sub>

Tabelul 6.4 Alegerea timpului de achiziție

Un exemplu de alegere a timpului de achiziție este prezentat după cum urmează. Se consideră o frecvență de lucru egală cu 20 MHz. Din Tabelul 6.3 se alege intrarea corespunzătoare unei frecvențe maxime de lucru de 22.86 MHz, adică ADCS2=1, ADCS1=0 iar ADCS0 = 1. În acest caz, T<sub>AD</sub> = 16 T<sub>OSC</sub>, iar T<sub>OSC</sub> = 1/20 μs, de unde rezultă că T<sub>AD</sub> = 0.8 μs. Pentru a ajunge la T<sub>AQ</sub> = 3 μs, va trebui să alegem un timp de achiziție de 4 T<sub>AD</sub>, adică ACQT2 = 0, ACQT1 = 1 iar ACQT0 = 0.

## 6.5 Configurarea convertorului și realizarea unei conversii

Configurarea convertorului A/D implică următorii pași:

- Configurarea pinilor analogici (PCFG3:PCFG0 din registrul ADCON1);
- Configurarea corespunzătoare a registrilor TRIS – pentru tensiuni de referință pinii să fie de ieșire, iar pentru canalul ales pinul corespunzător să fie de intrare;
- Configurarea tensiunilor de referință (VCFG1:VCFG0 din registrul ADCON1);
- Selectarea canalului de intrare (CHS3:CHS0 din registrul ADCON0);
- Selectarea formatului de aliniere a rezultatului (bitul ADFM din registrul ADCON2);
- Configurarea timpului de achiziție (ACQT2:ACQT0 din registrul ADCON2);
- Configurarea tactului de conversie (ADCS2:ADCS0 din registrul ADCON2);
- Activarea modului de conversie A/D (bitul ADON din registrul ADCON0).

Opțional, dacă se dorește utilizarea întreruperilor, se pot adăuga următoarele setări:

- Ștergerea bitului ADIF din registrul PIR1;
- Activarea întreruperii corespunzătoare convertorului prin setarea bitului ADIE din registrul PIE1;
- Activarea întreruperii globale prin setarea bitului GIE din cadrul registrului INTCON.

După realizarea acestor configurări, dacă s-a optat pentru un timp de achiziție controlat de utilizator (prin ștergerea biților ACQT2:ACQT0), atunci trebuie așteptat un interval corespunzător (vezi secțiunea 6.4). În caz contrar, se poate porni conversia prin setarea bitului  $\overline{GO/DONE}$  din registrul ADCON0.

Întregul proces de conversie implică următorii pași:

- Așteptarea timpului de achiziție (dacă este necesar);

- Pornirea conversiei prin setarea bitului  $\overline{GO/DONE}$  din registrul ADCON0;
- Așteptarea sfârșitului conversiei prin testarea dezactivării bitului  $\overline{GO/DONE}$  sau prin așteptarea apariției unei întreruperi (dacă s-a configurat o asemenea operațiune);
- Citirea rezultatului din regiștrii ADRESH:ADRESL și ștergerea bitului ADIF din registrul PIR1.

În continuare, realizarea unei noi conversii implică așteptarea unui timp minim de achiziție, după cum s-a discutat în secțiunea 6.4.

## 6.6 Exemplu de utilizare a convertorului

Pentru a exemplifica modalitatea de configurare și utilizare a convertorului A/D, vom considera următoarea problemă rezolvată:

**ℳ.** Se consideră un senzor de temperatură legat la canalul 0 al convertorului și un ventilator comandat de pe PORTB<0>. Dacă temperatura înregistrată depășește 30° C să se pornească ventilatorul timp de 10 minute. În intervalul de timp cât ventilatorul este pornit, nu mai este necesară realizarea conversiilor. După terminarea celor 10 minute de funcționare, dacă în continuare se detectează peste 30° C, ventilatorul este lăsat pornit pentru alte 10 minute.