

QUESTIONS ET EXERCICES CORRIGES

Questions

- Parmi le nombre des bits suivants, lequel des convertisseurs présente la meilleure résolution ?
(a) 8 bits (b) 10 bits (c) 12bits (d) 16 bits
- Le pas de quantification $q = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n}$.
Pour $V_{ref+} = 5V$, $V_{ref-} = 0V$. Calculer le pas de quantification dans les cas suivants :
(a) 8 bits (b) 10 bits
- De combien de bits de précision un convertisseur analogique numérique aurait-il besoin pour distinguer des différences de l'ordre de 4mV sur une plage de 0 à 4,096V ?
- Quelle est la plage et la résolution d'un ADC 8 bits pour $V_{ref+} = 10V$, $V_{ref-} = -10V$
- Un ADC 8 bits a des tensions de référence $V_{ref+} = 5V$ et $V_{ref-} = 0V$. Quelles sont les valeurs numériques qui correspondent à des tensions d'entrées de 0,449V et à 3,91V?
$$V_{in} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} \times k + V_{ref-}$$
; k : valeur numérique en sortie et n : nombre de bits
- Un ADC 8 bits ayant comme tensions de référence : $V_{ref+} = 5V$ et $V_{ref-} = 0V$. Donner les valeurs des tensions d'entrées pour les valeurs de sorties numériques suivantes :
(a) 0x7F (b) 0x4B (c) 0xCB?

Questions spécifiques à l'ADC du PIC18

- Indiquer le nombre des entrées analogiques pour chacune des valeurs du registre ADCON1 :
(a) PCFG<3:0> = 0100 (b) PCFG<3:0> = 1001
- Donner la valeur maximale de la fréquence de fonctionnement de l'ADC F_{AD} .
- Pour un quartz de 10 MHz, calculer le temps de conversion pour toutes les valeurs possibles du champ de bits ADCS.
- Pour $V_{REF-} = 1V$ et $V_{REF+} = 4V$. Trouvez les valeurs des tensions d'entrées correspondantes aux résultats de conversion A/N suivantes : 25, 80 240, 500, 800 et 900.
- Dans quel registre est chargé le résultat de conversion ?
- Quel est le bit qui indique la fin d'une opération de conversion A/N ?
- Donner la valeur de la tension à appliquer à V_{ref+} pour obtenir un pas de quantification de 3mV.
- Pour un quartz de 12Mhz . Laquelle des valeurs suivantes qui correspond à la fréquence de l'ADC ?
a) $F_{osc}/4$ b) $F_{osc}/8$ c) $F_{osc}/16$ d) $F_{osc}/32$
- Quels sont les ports utilisés par l'ADC du microcontrôleur PIC18F4520 ?
- Dans quel registre, doit-on désigner les broches à utiliser comme entrées analogiques ?
- Dans quel registre, vous sélectionnez la fréquence de l'ADC ?
- Dans quel registre, vous sélectionnez l'entrée à convertir ?
- Trouver la valeur à charger dans le registre ADCON1, pour les paramètres suivants : $V_{ref+} = AN3$, $V_{ref-} = V_{SS}$ et 3 entrées analogiques ?
- Quelle est la valeur à charger dans le registre ADON2, pour programmer les paramètres suivants : $F_{ADC} = F_{osc}/4$, $T_{acq} = 4T_{AD}$ et le résultat de conversion justifié à gauche ?

Réponses

- La résolution augmente avec le nombre de bits ($n = 16$ bits).
- Pas de quantification :
a) $q = \frac{5}{2^8} = \frac{5}{256} = 19,53mV$ b) $q = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4,8mV$
- $précision = \frac{plage}{résolution} = \frac{4,096V - 0V}{4mV} = 1024 \text{ niveaux}$, soit $n = 10$ bits.
- $plage = V_{ref+} - V_{ref-} = 10 - (-10) = 20V$
 $résolution = \frac{plage}{précision} = \frac{20}{2^8} = \frac{20}{256} = 71,125mV$

$$5. V_{in} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} \times k + V_{ref-} \text{ d'où } k = \frac{2^n - 1}{V_{ref+} - V_{ref-}} (V_{in} - V_{ref-})$$

$$V_{in} = 0,449V \rightarrow k = \frac{2^8 - 1}{5 - 0} (0,449 - 0) = 23$$

$$V_{in} = 3,91V \rightarrow k = 199$$

$$6. V_{in} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} \times k + V_{ref-}$$

$$a) k = 0x7F = 127 \rightarrow V_{in} = \frac{5 - 0}{255} \times 127 + 0 = 2,49V$$

$$b) k = 0x4B = 75 \rightarrow V_{in} = 1,49V$$

$$c) k = 0xCB = 203 \rightarrow V_{in} = 3,98V$$

7. (a) 11 entrées analogiques ; (b) 6 entrées analogiques

$$8. T_{ADmin} = 0,7\mu s \rightarrow F_{ADmax} = \frac{1}{0,7} = 1,428MHz$$

$$9. F_{osc} = 10MHz, T_{osc} = 0,1\mu s$$

ADCS2	ADCS1	ADCS0	Période d'horloge T _{AD}	Temps de conversion
0	0	0	2 T _{OSC} = 0,2μs < 0,7μs - invalide	-
1	0	0	4 T _{OSC} = 0,4μs < 0,7μs - invalide	-
0	0	1	8 T _{OSC} = 0,8μs	T _{conv} = 12 T _{AD} = 9,6μs
1	0	1	16 T _{OSC} = 1,6μs	T _{conv} = 19,2μs
0	1	0	32 T _{OSC} = 3,2μs	T _{conv} = 38,4μs
1	1	0	64 T _{OSC} = 6,4μs	T _{conv} = 76,8μs

10. Soit V_k la tension d'entrée correspondant à la valeur numérique k

$$V_k = \frac{plage \times k}{2^n - 1} + V_{ref-}; \text{ plage} = V_{ref+} - V_{ref-} = 4 - 1 = 3V$$

$$V_{25} = \frac{3 \times 25}{1023} + 1 = 1,073V; \quad V_{80} = \frac{3 \times 80}{1023} + 1 = 1,23V;$$

$$V_{240} = \frac{3 \times 240}{1023} + 1 = 1,70V; \quad V_{500} = \frac{3 \times 500}{1023} + 1 = 2,47V;$$

$$V_{800} = \frac{3 \times 800}{1023} + 1 = 3,35V; \quad V_{900} = \frac{3 \times 900}{1023} + 1 = 3,64V$$

11. Le résultat de conversion est chargé dans les registres ADRESH et ADRESL.

12. Le résultat est considéré disponible quand le bit G0/DONE revient à zéro ou bien quand le bit ADIF passe à 1.

$$13. q = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n} \Rightarrow V_{ref+} - V_{ref-} = q \times 2^n \text{ or } V_{ref-} = 0, \text{ d'où } V_{ref+} = 3 \cdot 10^{-3} \times 1024 = 3,072V$$

14. D'après le tableau d'assignation des bits ADCS<2:0> du registre ADCON2. $T_{AD} = 16T_{osc} \rightarrow F_{AD} = F_{osc}/16$, il est possible de choisir F_{osc}/32

15. PORTA : RA0, RA1, RA2, RA3, RA5

PORTE : RE0, RE1, RE2

PORTB : RB2, RB3, RB1, RB4, RB0

16. Les bits PCFG<3:0> du registre ADCON1

17. Les bits ADCS<2:0> du registre ADCON2

18. Les bits CHS<3:0> du registre ADCON0

19. ADCON1 = 0b00011100 = 0x1C

20. D'après les tableaux d'assignation des bits ACQT<2:0> et ADCS<2:0>

$$ADCON2 = 0b00010100 = 0x14$$

Exercice 1

Ecrire une séquence d'instructions pour que le convertisseur A/N du PIC18F4520 fonctionne avec les paramètres suivants

- Résultat de conversion justifié à droite.
- F_{osc} = 32MHz.
- La température ambiante la plus élevée peut atteindre 60 °C.
- C_{HOLD} = 25pF; R_{SS} = 2kΩ; R_{IC} = 1kΩ; R_S = 2,5kΩ.
- Utiliser V_{DD} et V_{SS} comme tensions de référence haute et basse.

- Entrée à convertir sur AN0.
- Activer le module A/N.

Solution

Calcul de T_{AD} : d'après le Tableau 10, F_{osc} = 32MHz < 40MHz, ce qui donne T_{AD} = 32T_{osc} = 1μs et ADCS<2:0> = 010

Calcul de T_{ACQ} :

$$T_{ACQ} = T_{COFF} + T_C + T_{AMP}$$

$$T_{AMP} = 0,2\mu s$$

$$T_{COFF} = (Temp - 25^\circ C) \times 0,02 \frac{\mu s}{^\circ C} = (60 - 25) \times 0,02 = 0,7\mu s$$

$$T_C = (R_{IC} + R_S + R_{SS})C_{HOLD} \ln(2047) \rightarrow$$

$$T_C = (1 + 2,5 + 2)10^3 \times 25 \cdot 10^{-12} \ln(2047) = 1,05\mu s$$

$$T_{ACQ} = 0,2 + 0,7 + 1,05 = 1,95\mu s, \text{ nous prenons } T_{ACQ} = 2T_{AD} = 2\mu s \text{ d'où } ACQT<2:0> = 001$$

$$ADCON0 = 0b00000001; \quad // \text{ CHS<3:0>} = 0000 \text{ et } ADON = 1$$

$$ADCON1 = 0b00001110; \quad // \text{ PCFG<3:0>} = 1110 \text{ et } VCFG<1:0> = 00$$

$$ADCON2 = 0b10001010; \quad // T_{AD} = 32T_{osc}, T_{ACQ} = 2T_{AD} \text{ et } ADFM = 1$$

Exercice 2

Le TC1047A de Microchip est un capteur de température à trois broches, dont la tension de sortie est directement proportionnelle à la température mesurée. Le TC1047A peut mesurer avec précision des températures de 40°C à 125°C avec une alimentation de 2,7 V à 5,5 V. La réponse du capteur est régie par l'équation suivante :

$$V_{out} = 10^{-2}\theta + 0,5; \quad V_{out} \text{ en V et } \theta \text{ en } ^\circ C.$$

En utilisant le circuit de conditionnement de la Figure 41, écrire le programme d'un thermomètre numérique. La valeur de la température sera sauvegardée dans un tableau ASCII, afin d'être affichée sur un afficheur LCD.

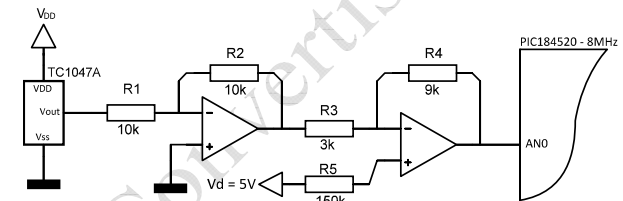


Figure 41

Solution

Cherchons la valeur minimale et maximale de la sortie du capteur :

$$\theta = -40^\circ C \Rightarrow V_{out} = 10^{-2} \times (-40) + 0,5 = 0,1V$$

$$\theta = 125^\circ C \Rightarrow V_{out} = 10^{-2} \times (125) + 0,5 = 1,75V$$

La sortie du circuit de conditionnement :

$$V_{ADC} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} V_{out} - \frac{R_4}{R_5} V_d \text{ or } R_2 = R_1 \text{ d'où } V_{ADC} = \frac{R_4}{R_3} V_{out} - \frac{R_4}{R_5} V_d$$

$$\text{Pour } R_3 = 3k\Omega, R_4 = 9k\Omega, R_5 = 150k\Omega \text{ et } V_d = 5V.$$

$$V_{ADC} = 3V_{out} - 0,3$$

Vérifions les valeurs limites de V_{ADC} :

$$\text{Pour } V_{out} = 0,1V \Rightarrow V_{ADC} = 0V$$

$$\text{Pour } V_{out} = 1,75V \Rightarrow V_{ADC} = 4,95V$$

La tension V_{ADC} est convertie en une valeur numérique (D) codée sur 10 bits :

$$D = \frac{1023}{5} V_{ADC}$$

Cherchons maintenant l'expression de la température $\theta = f(D)$:

$$D = \frac{1023}{5} V_{ADC} = \frac{1023}{5} (3V_{out} - 0,3) = \frac{1023}{5} (3(10^{-2}\theta + 0,5) - 0,3) = \frac{1023}{5} (0,03\theta + 1,2)$$

$$D'ou \theta = 0,163D - 40$$

```
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 8000000
#pragma config OSC = HS, WDT = OFF, LVP = OFF
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "lcd4bits.h"
float fTemp, Coef = 0.163 ;
int ADC_Val;
char Msg[6];
void Init(void) {
    ADCON1 = 0x0E;    // une seule entrée, Vref+ = VDD et vref- = VSS
    ADCON0 = 0x01;    // ADON = 1
    ADCON2 = 0x91;    // ADFM = 1, ADCS<2:0> = 001, ACQT<2:0> = 010
}
int ReadADC(){
    GO = 1;           // début de conversion
    while(GO == 1) continue; // attente fin de conversion
    return ((ADRESH<<8)+ADRESL);
}
void main(void) {
    Init();           //Initialisation
    while(1)
    {
        ADC_Val = ReadADC();
        fTemp = Coef*(float)ADC_Val - 40.0;
        sprintf(Msg, "%3.1f",fTemp); // Conversion en ASCII
        lcd_clear(); // Effacement de l'LCD
        lcd_puts(Msg); // Affichage sur l'LCD
        _delay_ms(500); // Mesure toutes les 500ms
    }
}
```

Exercice 3

Le schéma de détection de surchauffe du moteur d'automobile est donné par la Figure 42:

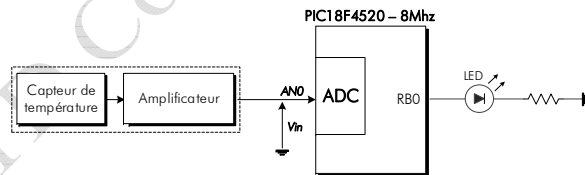


Figure 42

On admet que le capteur de température associé à son circuit d'amplification génère une tension de 0 à 5V pour une température allant de 0 à 125°C. Le programme chargé dans le microcontrôleur allume la LED lorsque la température dépasse 90°C.

1. Sur combien de bits doit-on coder la valeur de la température, si on considère qu'une résolution de 0,5°C est largement suffisante ?
2. Calculer le pas de quantification de l'ADC.
3. Calculer la valeur de la tension V_{in} correspondante à une température de 90°C.
4. Calculer la valeur numérique qui correspond à la température de 90°C.
5. Donner les valeurs à charger dans les registres ADCON0, ADCON1 et ADCON2, TRISA et TRISB.

6. Le TIMER1 est utilisé pour générer la fréquence d'échantillonnage. Pour une valeur de prédiviseur de 4. Calculer la valeur initiale « TMR1Init » permettant d'avoir une période de débordement de 100ms.
7. Ecrire le programme du contrôle de surchauffe du moteur.

Solution

1. Pour une résolution de 0,5°C, nous avons besoin d'une précision de $\frac{125}{0,5} = 250$ valeurs, soit un codage sur 8 bits
2. $q = \frac{5-0}{256} = 19,53ms$
3. En appliquant la règle de trois : $V_{in} = 90 \times \frac{5}{125} = 3,6V$
4. Valeur numérique correspondant à 90°C :

$$k = \frac{2^n - 1}{V_{ref+} - V_{ref-}} (V_{in} - V_{ref-}) = \frac{255}{5} \times 3,6 = 183$$

5. Une seule entrée appliquée à AN0, Convertisseur activé (ADON = 1) : ADCON0 = 0x01

Une seule entrée analogique avec des tensions de références internes :

$$ADCON1 = 0x0E$$

$F_{osc} = 8MHz$ d'où $T_{AD} = 8T_{osc}$ et $T_{ACQ} = 4T_{AD}$; un alignement à gauche convient mieux pour une conversion sur 8 bits :

$$ADCON2 = 0x11$$

$$TRISA = 0xFF; TRISB = 0xFE$$

6. TMR1Init = 15536
7. Programme en langage XC8

```
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 8000000
#pragma config OSC = HS, WDT = OFF, LVP = OFF
#define LED PORTBbits.RB0
#define TMR1Init 15536
unsigned char ADC_Val;
void Init(void) {
    TRISB = 0xFE;
    ADCON1 = 0x0E;
    ADCON0 = 0x01;
    ADCON2 = 0x11;
    TMR1 = TMR1Init;
    PIR1bits.TMR1IF = 0;
    PIE1bits.TMR1IE = 1;
    T1CON = 0xA1;
    INTCON = 0xC0;
}
unsigned char ReadADC(void) {
    GO = 1;
    while(GO == 1) continue; // attente fin de conversion
    return (ADRESH);
}
void __interrupt () T1_ISR(void) {
    TMR1 = TMR1Init;
    PIR1bits.TMR1IF = 0;
    ADC_Val = ReadADC();
    if(ADC_Val > 183)
        LED = 1;
    else
        LED = 0;
}
void main(void) {
    Init();           //Initialisation
    while(1) continue;
    return;
}
```