

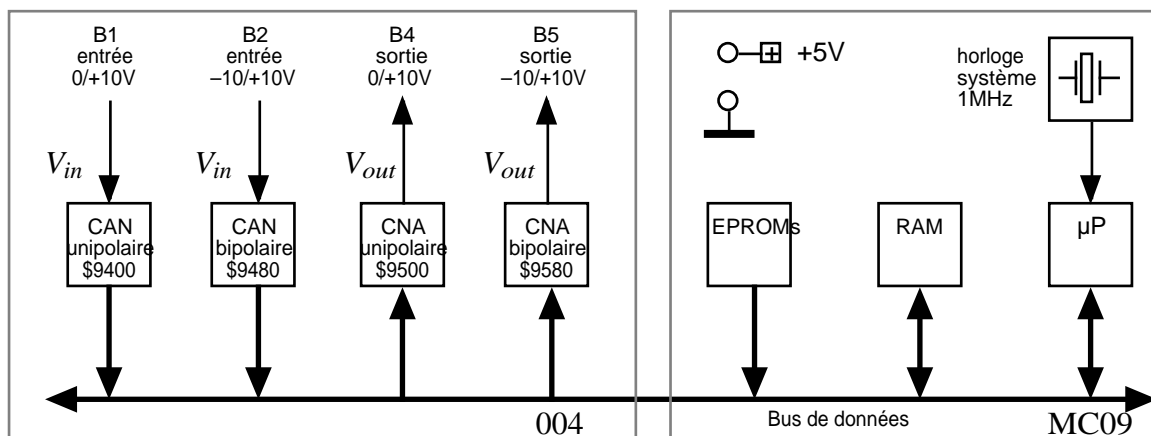
## B15 - Initiation au traitement numérique du signal

*But : réaliser par voie numérique quelques fonctions analogiques étudiées précédemment (voir partie A du programme). Matériel :*

-  $\mu P$  6809 sur carte MC09 (SERIElectronique), utilisé dans le TP B11/codage et traitement numérique.

- carte d'E/S analogique ref 004, incluant deux CAN 8 bits AD7574 (circuit déjà utilisé dans le TP B13/CAN) et deux CNA 8 bits AD7274.

Dans tout le TP, on pourra si nécessaire se reporter au listing de l'EPROM "TPTS2" pour consulter le détail des programmes machine.

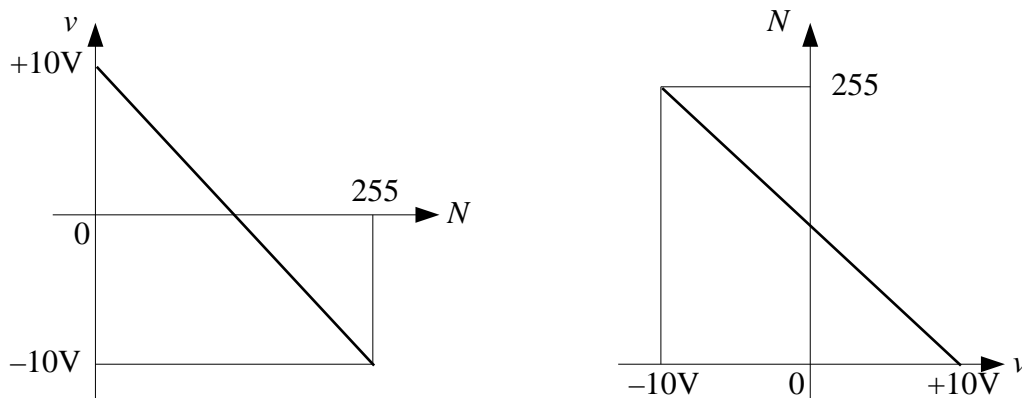


### 0- Codage numérique de l'information analogique

En mode bipolaire  $[-10 / +10V]$ , on utilise un code binaire décalé, format 8 bits, décalage  $d = 128$ , commun au CAN et au CNA.

L'octet le plus faible ( $N = 0 = \$00$ ) est affecté à la tension d'entrée la plus grande ( $V_{in} = +10V$ ), l'octet le plus grand ( $N = 255 = \$FF$ ) à la tension la plus faible ( $V_{in} = -10V$ )

Les relations entre  $N$  et  $v$  sont :  $v = q.N + b$  et, réciproquement :  $N = \lfloor c.v + d \rfloor$  :



Calculer les coefficients  $q$ ,  $b$  et  $c$  des droites  $v(N)$  et  $N(v)$ . Préciser les unités.

*Remarque : le coefficient  $q$  n'est autre que l'incrément ou résolution du CAN (cf TP B13).*

**I- Fonction : Générateur analogique de signaux (TP A25) → Générateur numérique****0) Principe : génération d'un signal continu**

\$AC00                   \* Programme : génère un signal continu  
 \$0F02                   \* Entrée : N, octet hexadécimal à convertir  
                           \* Sortie : B5, sortie analogique [-10V,+10V]

Algorithme :

Charger l'accumulateur A avec N, contenu dans la mémoire d'adresse \$0F02  
 Envoyer (A) vers le CNA  
 Fin

Écrire un nombre binaire (un octet codé en hexadécimal) à l'adresse \$0F02. Exécuter le programme à l'adresse \$AC00.

Quel est le nombre permettant d'obtenir en sortie +10V ? Puis -10V ? 0V ? +5V ? -5V ?

**1) Valeurs  $v_s(k)$  incluses dans le programme**

\$AC0B                   \* Programme : génère un signal rectangulaire  
 \$0F00                   \* Entrée M1 : durée T1 du niveau 1  
 \$0F01                   \* Entrée M2 : durée T2 du niveau 2  
 \$0F02                   \* Entrée N1 : niveau 1  
 \$0F03                   \* Entrée N2 : niveau 2  
                           \* Sortie analogique : borne B5, [-10V,+10V]

Algorithme: Répéter

Charger A avec niveau 1  
 Charger B avec durée T1  
 Envoyer (A) vers CNA  
 Attendre durée T1  
 Charger A avec niveau 2  
 Charger B avec durée T2  
 Envoyer (A) vers CNA  
 Attendre durée T2

Jusqu'à ordre de fin (\* clavier RST)

a) Entrer par exemple :  $N_1 = \$00$  ;  $N_2 = \$FF$  ;  $M_1 = \$FF$  ;  $M_2 = \$7F$ . Mesurer à l'oscilloscope les durées  $T_1$  et  $T_2$ , la fréquence et le rapport cyclique du signal.

b) Quelle est la fréquence minimale du signal généré ? La fréquence maximale ?

c) Les temporisations sont obtenues par le sous-programme *délai* ci-dessous (cf listing EPROM TPTS2). L'accumulateur B préalablement chargé par un nombre  $M$  compris entre 1 et 255 est décrémenté jusqu'à 0 :

```
delai  DECB          (B)-1 -> B
      BNE  delai     B = 0 ?
      RTS           si oui, retour de sous-programme
```

La temporisation découle des relations :  $T_1 = \theta.M_1 + \Delta t$ , et  $T_2 = \theta.M_2 + \Delta t$ , où :

-  $\theta$  est la durée d'exécution de la boucle programmée dans *délai*, qui comprend 2 instructions (DECB et BNE). D'après la table de programmation du  $\mu P$  6809 (cf TP B11), calculer  $\theta$ .

-  $\Delta t$  est un temps mort, dû à l'exécution du reste du programme (dont l'appel au sous-programme *délai*).

d) Soit  $M_1 = M_2 = \$01$ . Mesurer  $\Delta t$  à l'oscilloscope.

e) Que se passe-t-il si  $M_1$  ou  $M_2 = 0$  ?

f) Conclusion : quels sont les inconvénients de cette procédure de temporisation ?

**g) Application : Modulation de Largeur d'Impulsions (MLI)**

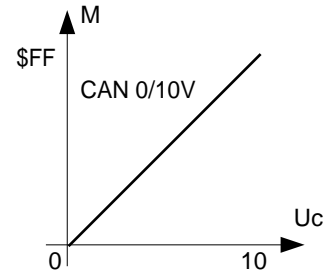
\$AC24                   \* Programme : génère un signal rectangulaire de rapport  
                           \* cyclique proportionnel à une tension continue  
 \$0F02                   \* Entrée N1 : niveau 1  
 \$0F03                   \* Entrée N2 : niveau 2

- \* Entrée analogique : borne B1, [0,+10V]
- \* Sortie analogique : borne B5, [-10V,+10V]

Algorithme :

Répéter

```
Charger A avec niveau 1
Envoyer (A) vers CNA
Acquisition de T1 par le CAN
Attendre durée T1
Charger A avec niveau 2
Envoyer (A) vers CNA
Calcul de T2
Attendre durée T2
```



Jusqu'à ordre de fin


On génère un signal rectangulaire de rapport cyclique proportionnel à une tension d'entrée continue  $u_C$  comprise entre 0 et 10V. La tension  $u_C$  est acquise par le CAN 0/10V (borne entrée B1).

La durée  $T_1$  est fonction de l'octet fourni par ce CAN :  $T_1 = \theta.M + \Delta t$

La durée  $T_2$  est fonction de son complément logique :  $T_2 = \theta.\overline{M} + \Delta t$

Vérifier le fonctionnement du programme. Mesurer la fréquence du signal.

h) Etablir l'expression littérale du rapport cyclique  $\alpha$  en fonction de  $M$ , puis de  $u_C$ .

i) Application numérique.  Rappel (voir cours § B11 page 3) :  $M + \overline{M} = \$FF = 255$

Calculer  $\alpha_{\min}$  et  $\alpha_{\max}$ .

## 2) Valeurs $v_s(k)$ calculées

```
$AC3E      * Programme : génère une dent de scie
$0F00      * Entrée M : durée Te d'un échantillon
           * Sortie analogique : borne B5, [-10V,+10V]
```

Algorithme :

Initialiser A  
Répéter

```
Charger A
Envoyer (A) vers CNA
Attendre durée Te
Incrémenter A
```

Jusqu'à ordre de fin

Le programme calcule la suite des valeurs des échantillons  $v_s(k) = q.k + b$  par incréments successives à partir de  $k = 0$ . Lorsque  $k = 255$ , l'incrément suivante remet  $v_s$  à sa valeur initiale :  $v_s(256) \equiv v_s(0)$ .

a) Mesurer la fréquence maximale de fonctionnement (délai fixé à  $M = \$01$ ).

b) Observer, en agrandissant l'image, les «marches d'escalier» qui composent la dent de scie.

La hauteur d'une "marche" n'est autre que l'incrément  $q$  du CAN. Le vérifier.

c) Restitution du signal analogique par filtre de lissage passe-bas du 2ème ordre (sortie sur la borne B3) : observer le signal obtenu.

## 3) Valeurs $v_s(k)$ lues dans une table

```
$AC4B      * Programme : génère un signal quelconque à partir
           * d'une table de valeurs
$0F00      * Entrée M : durée Te d'un échantillon
$0F01      * Entrée K : nombre d'échantillons/période
$0000      * Début de la table des échantillons
           * Sortie analogique : borne B5, [-10V,+10V]
```

Algorithme (page suivante) :

Répéter

Pointer le début de la table

Répéter

Lire une valeur et charger A

Envoyer (A) vers CNA

Attendre durée  $T_e$

Incrémenter le pointeur

Jusqu'à fin de la table

Jusqu'à ordre de fin

Exemple : génération d'une sinusoïde d'amplitude  $A$ , de période  $T$ , formée de  $K$  échantillons de durée  $T_e$  par période, soit :  $T = K.T_e$ . Par exemple :  $A = 6,25$  V ;  $K = 20$  ;  $f = 100$  Hz.

a) Calculer successivement :

• Période  $T = \frac{1}{f} \Rightarrow$  durée d'un échantillon  $T_e = \frac{T}{K} \Rightarrow$  calcul du délai  $M$  d'après  $T_e = \theta.M + \Delta t$

• Angles  $\omega t = k \frac{2\pi}{K} \Rightarrow$  tensions  $v_s = A \sin(\omega t) \Rightarrow$  niveaux  $N = \lfloor c.v + d \rfloor$

Remplir le tableau :

$k$	$\omega t$ (rad)	$v_s$ (V)	$N$ (base10)	$\$N$ (hexa)	adresse
0					\$0000
1					\$0001
2					\$0002
etc...					etc...

b) Entrer au clavier à partir de l'adresse \$0000, la table des  $K$  entiers  $N$  calculés selon la méthode décrite. Exécuter et vérifier le fonctionnement du programme.

c) Modifier, au choix, la forme du signal obtenu, en agissant sur une ou plusieurs valeurs de la table.

## II- Fonction : Calcul analogique (TP A21) $\rightarrow$ Calcul numérique

### 1) Recopie du signal d'entrée

\$AC67

\* Programme : recopie le signal d'entrée

\* Entrée analogique : borne B2, [-10V,+10V]

\* Sortie analogique : borne B5, [-10V,+10V]

Algorithme :

Répéter

Acquisition de  $V_e(k)$  sur le CAN

$V_s(k) = V_e(k)$

Sortie de  $V_s(k)$  vers le CNA

Jusqu'à ordre de fin

Le signal  $v_e(t)$ , appliqué sur l'entrée 2 est obtenu à partir d'un GBF (signal sinusoïdal). Exécuter le programme. Observer le signal résultant  $v_s(t)$  en sortie B5.

a) Période d'échantillonnage : mesurer  $T_e$

b) En appliquant le théorème de Shannon, en déduire la fréquence maximale admissible  $F_{\max}$  du signal  $v_e(t)$ . Expérimenter. Que se passe-t-il au-delà de  $F_{\max}$  ?

c) Vérification de la période d'échantillonnage : le programme est le suivant :

Temps d'exécution des instructions (d'après table de programmation du  $\mu P$  6809) ↓

prog3a LDA	can_bi	résultat de la conversion du CAN $\rightarrow$ (A)	5 $\mu s$
STA	cna_bi	(A) $\rightarrow$ CNA bipolaire	5 $\mu s$
NOP		attendre 2 $\mu s$ (NOP = No Operation)	2 $\mu s$
NOP		attendre 2 $\mu s$	2 $\mu s$
NOP		attendre 2 $\mu s$	2 $\mu s$
BRA	prog3a	saut vers début du programme	3 $\mu s$

Calculer  $T_e$ .

d) Le CAN AD7574 étant identique à celui utilisé dans le TP B13, observer le signal  $\overline{RD}$  (broche 15). Quelle est la durée des impulsions formant ce signal ? Quelle est leur période ?

e) *Durée de conversion* : observer le signal  $\overline{BUSY}$  (broche 14) du CAN. Comparer la durée de ce signal  $T_{\overline{BUSY}}$  à  $T_e$ . En déduire le rôle des trois instructions NOP ?

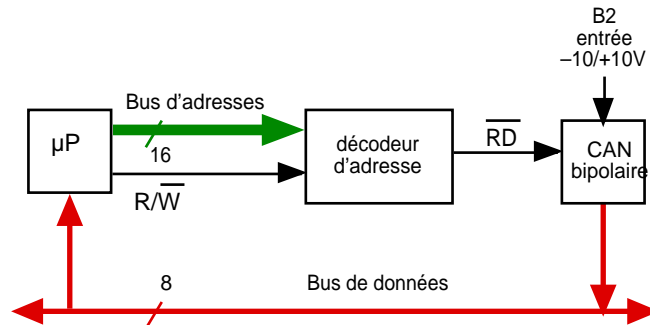
f) Pour savoir ce qui se passe si on diminue la temporisation insérée dans la boucle par les instructions NOP, écrire le programme suivant (en mémoire vive) et le tester ( $f = 1\text{kHz}$ ). Conclure.

```

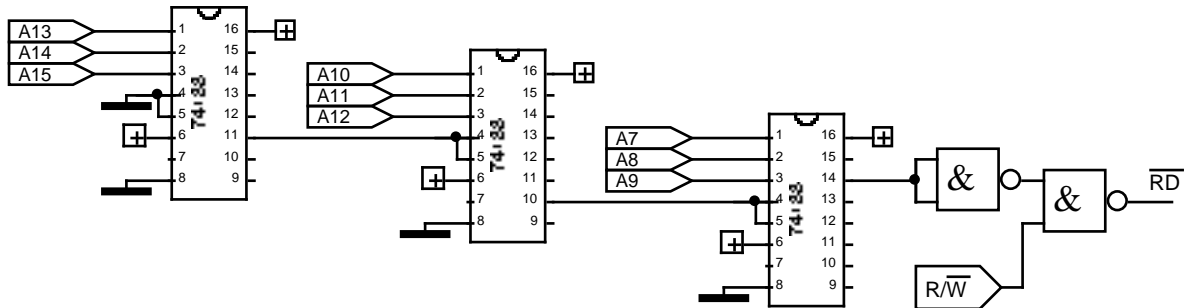
0000 B6 94 80      prog3b  LDA    can_bi
0003 B7 95 80                STA    cna_bi
0006 20 F8          BRA    prog3b
0008 3F                SWI
    
```

g) *Dynamique d'entrée* : que se passe-t-il si la tension d'entrée excède 10V ?

h) *Adressage* : le résultat de la conversion est lu pendant l'instruction LDA can\_bi en positionnant le signal  $\overline{RD}$  à "0". Pour cela, le  $\mu\text{P}$  écrit un "1" sur la ligne de lecture-écriture R /  $\overline{W}$  (*Read* actif à l'état haut) et écrit l'adresse du CAN sur le bus d'adresse :



Le schéma électrique du décodeur d'adresse du CAN est le suivant :

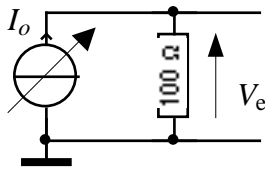


D'après ce schéma, calculer l'adresse du CAN (les bits  $A_0$  à  $A_6$  n'étant pas décodés, on les suppose à "0") et établir la relation booléenne  $\overline{RD} = f(R / \overline{W}, A_7, \dots, A_{15})$ , sachant que :

- les différents circuits sont sélectionnés par un 0 sur leur entrée de sélection (*CS : Chip Select*).
- la table de vérité du 74138 (décodeur/démultiplexeur "1 parmi 8") est la suivante :

broche	6	4	5	3	2	1	15	14	13	12	11	10	9	7
fonction	CS1	CS2	CS3	A2	A1	A0	Out 0	Out 1	Out 2	Out 3	Out 4	Out 5	Out 6	Out 7
	X	X	1	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
	X	1	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	X	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
A0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
A1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
CS2	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
CS3	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
CS1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Out 7	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
GND	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

## 2) Application : opération : $y = ax + b$



On désire convertir un courant analogique  $I_o$  délivré par un transmetteur 4/20 mA en une tension  $V_s$  comprise entre 0 et +8V. Pour cela, on transforme d'abord  $I_o$  en une tension  $V_e$  à l'aide d'une résistance de 100  $\Omega$ . On pose :  $V_s = r.V_e + s$ .

Pour simplifier, on se limite à un mode de fonctionnement unipolaire, donc non signé.

La tension  $V_e$  est appliquée au CAN unipolaire (entrée B1). La tension  $V_s$  est issue du CNA unipolaire (sortie B4). CAN et CNA unipolaires [0/10V] sont tels que :

- à une tension de 0 V correspond une valeur hexadécimale \$00
- à une tension de +10V correspond une valeur hexadécimale \$FF

a) Calculer  $r$  et  $s$  sous forme décimale puis hexadécimale.

b) Compléter puis tester le programme suivant, qui exécute l'opération  $V_s = r.V_e + s$  :

```

0000 B6 94 00      prog3c   LDA    can_un      Ve -> (A) (entrée B1)
0003 C6 **         LDB    #r          r -> (B)
0005 3D           MUL    (A) X (B) -> (A:B)
0006 C0 **         SUBB   #s          (B) - s -> (B)
0008 F7 95 00     STB    cna_un     (B) -> Vs (sortie B4)
000B 20 F3        BRA    prog3c   retour debut
000D 3F           SWI                    FIN

```



Ligne 0005 : une multiplication entre deux entiers de 8 bits (*instruction MUL*) est susceptible de donner un résultat dont la taille peut atteindre 16 bits (car  $\$FF \times \$FF = 255^2 = \$FE01$ ). Ce résultat est sauvegardé dans les deux accumulateurs A (octet de poids fort) et B (octet de poids faible). Mais pour rester en format 8 bits, ici seul le poids faible est retenu (ligne 0006). Une tension d'entrée excessive se traduira donc par un dépassement de calcul.

c) Vérifier le bon fonctionnement du programme ; utiliser un GBF pour générer  $v_e(t)$ .

d) Période d'échantillonnage : mesurer  $T_e$ . Pourquoi est-elle modifiée par rapport au programme prog3a ?

e) Dynamique d'entrée : mettre en évidence le dépassement de calcul lorsque  $V_e > 2$  V ou  $V_e < 0,4$  V.

f) Résolution : calculer les incréments de tension  $V_s$ , de tension  $V_e$ , de courant  $I_o$  ?

## III- Fonction : Comparaison TOR analogique (TP A24) → Comparaison numérique

Soit un système de refroidissement à ventilateur commandé par un comparateur à hystérésis :

a) Donner un exemple de chronogramme des tensions  $U_c$  (tension de commande TOR),  $U_0$  et  $U_v$ .

(NB : tenir compte du circuit de détection du zéro secteur)

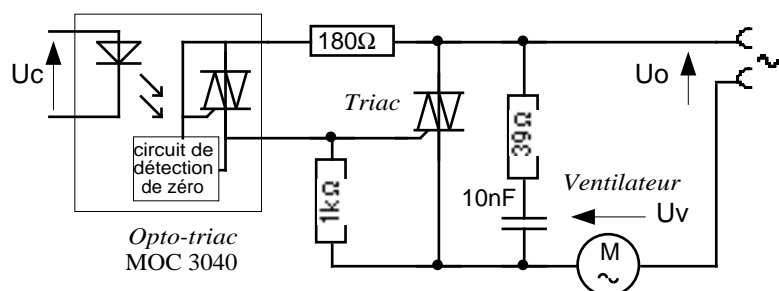
Programme :

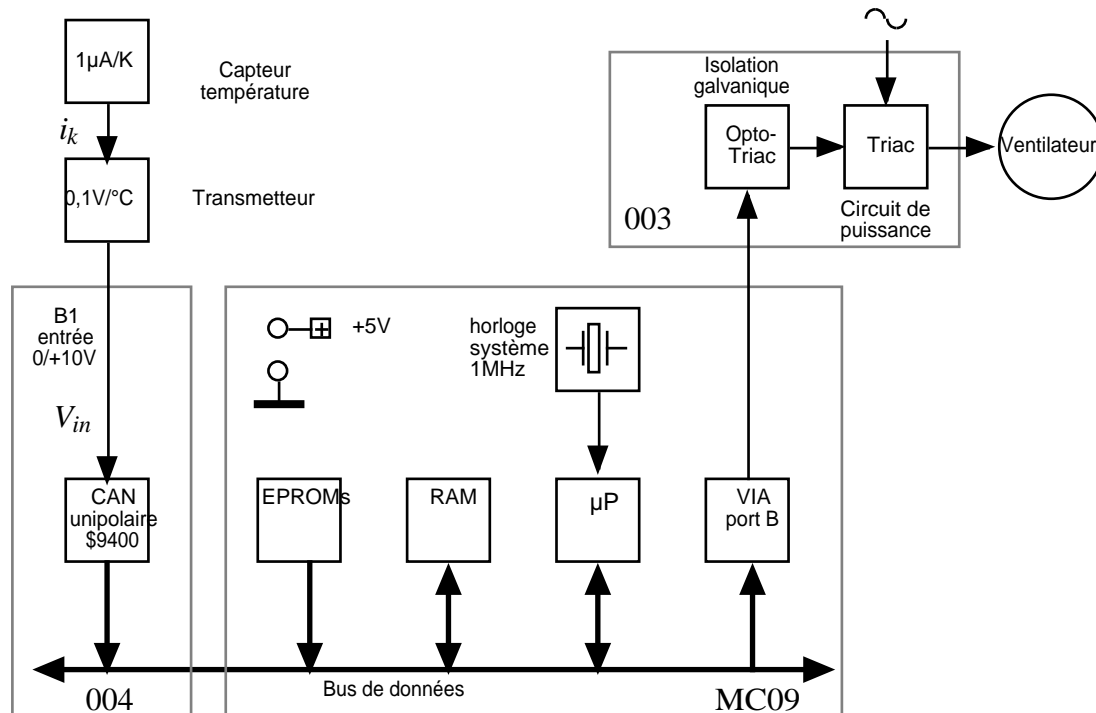
```

$AD21
$0F00
$0F01

```

- \* Programme : comparateur à hystérésis
- \* Entrée Nb : température seuil bas
- \* Entrée Nh : température seuil haut
- \* Entrée analogique : borne B1, [0,+10V]
- \* Sortie binaire : commande de triac, sur carte 003





Le ventilateur est en marche lorsque la température est trop élevée. Il est à l'arrêt lorsque la température est redescendue en dessous d'un certain seuil.

b) Sachant que le transmetteur délivre une tension  $V_{in}$  valant  $0,1 \text{ V}/^\circ\text{C}$  au CAN unipolaire (dont la tension d'entrée est comprise entre 0 et 10V), quelle est la gamme de température mesurable ?

c) Soit  $N$  le nombre hexadécimal codant la température. Calculer  $N_b$  pour  $\theta = 22^\circ\text{C}$  et  $N_h$  pour  $\theta = 27^\circ\text{C}$ .

d) Tracer la courbe de l'état du ventilateur (Marche/Arrêt) en fonction de  $\theta$ .

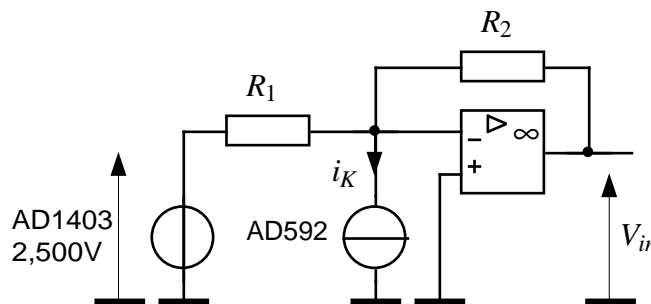
e) Tracer un organigramme simplifié du programme.

f) Exécuter le programme et vérifier son fonctionnement (connecter la résistance chauffante située devant le ventilateur et la sonde à une source de tension  $\approx 12 \text{ V}$ ).

g) Le capteur de température est une sonde semi-conductrice AD592 (*Analog Devices*). Cette sonde se comporte en récepteur de courant : elle absorbe un courant constant  $i_K$ , étalonné à  $1\mu\text{A}/\text{K}$ .

Elle fonctionne dans une gamme de température comprise entre  $-25^\circ\text{C}$  et  $+105^\circ\text{C}$ .

Le schéma du transmetteur est le suivant :



Le circuit AD1403 est une référence de tension de précision égale à  $2,500\text{V}$ .

Établir la relation  $V_{in} = f(i_K, R_1, R_2)$  ; A.N. : calculer  $R_1$  et  $R_2$ .

h) La constante de temps de la sonde est :  $\tau = 60 \text{ s}$ . Si la température diminue instantanément de  $25^\circ\text{C}$  (ventilateur en marche) à  $15^\circ\text{C}$  (pour cause d'ouverture d'une fenêtre par exemple...) au bout de combien de temps le ventilateur cesse-t-il de tourner ?