

*Concours de Recrutement des Technologues Spécialité : Génie Electrique  
Session 2013*

## Epreuve de Technologie : Partie Electronique

**Durée: 3 Heures**

**Coefficient : 0,5**

### Recommandations Générales

- Si au cours de l'épreuve, le candidat détecte ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant précisément les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.
- L'épreuve se compose de plusieurs parties indépendantes. A l'intérieur de chaque partie, de nombreuses questions sont également indépendantes.
- Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur des feuilles séparées et clairement repérées. Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager où encadrer tous les résultats. Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre, les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

### *Organisation du sujet*

**Le sujet comporte un dossier technique : Présentation du système et trois grandes parties : A à C. Toutes les parties sont indépendantes**

**Partie A : Chaîne d'acquisition**

**Partie B : Traitement numérique de données**

**Partie C : Commande des moto-pompes**

### **Documents fournis aux candidats :**

Nombre de pages Enoncé	Annexe
18 (pgs) y compris la page de garde	<b>Annexe 1</b> (2 pgs), <b>Annexe 2</b> (1 pg), <b>Annexe 3</b> (1 pg) <b>Annexe 4</b> (1 pg), <b>Annexe 5</b> (1 pg), <b>Annexe 6</b> (2 pgs) <b>Annexe 7</b> (4 pgs), <b>Annexe 8</b> (2 pgs),

# Procédé de fabrication des mousses d'isolation thermique

## I. Présentation

### I.1 Présentation générale

La mousse polyuréthane (PU) rigide est un des meilleurs isolants thermiques disponibles actuellement. Dans presque toutes ses utilisations, c'est l'isolation thermique qui est la caractéristique la plus recherchée. Nous nous intéressons ici à l'utilisation des mousses rigides pour l'isolation thermique des réfrigérateurs et des congélateurs.

La production de mousse PU rigide nécessite deux composants liquides principaux « le polyol et le polyisocyanate » et un agent gonflant. En règle générale, nous incorporons l'agent gonflant au polyol. Le mélange liquide obtenu (appelé polyuréthane) est coulé dans un moule fermé et occupe environ le tiers du volume. Après 20 secondes environ, une réaction chimique se produit et la mousse commence à se gonfler et le moule est totalement rempli en deux minutes. Au bout de 15 minutes le durcissement de la pièce est suffisant pour la démouler. Le procédé demande un *respect strict des proportions des composants (Polyol et Polyisocyanate) et le maintien des températures* pendant toute l'opération.

L'alimentation, le dosage, et le mélange des deux composants sont effectués par une machine haute pression ou basse pression.

La partie à étudier correspond à l'électronique de commande d'une machine à injection à basse pression destinée à la production des panneaux sandwichs pour l'isolation thermique des réfrigérateurs.

La figure 1 (page 3) présente un schéma simplifié d'une unité de production. Elle est constituée principalement de deux cuves de pré-mélange et de préparation : l'une contient le polyol et l'autre le polyisocyanate (nous utilisons par la suite les abréviations POL et ISO respectivement aux polyol et polyisocyanate). Deux pompes entraînées par deux moteurs à vitesses variables, permettent de faire circuler les composants dans deux boucles fermées de recyclage avant le début de l'injection. A ce stade, il est essentiel que la température du pré-mélange de POL et ISO soit maintenue à la valeur de consigne (soit 22°C) par un système de contrôle non représenté sur le schéma. La circulation des composants (POL et ISO) dans les boucles de recyclages permet d'avoir des composants près à la transformation, c'est-à-dire thermo-régulés et homogénéisés.

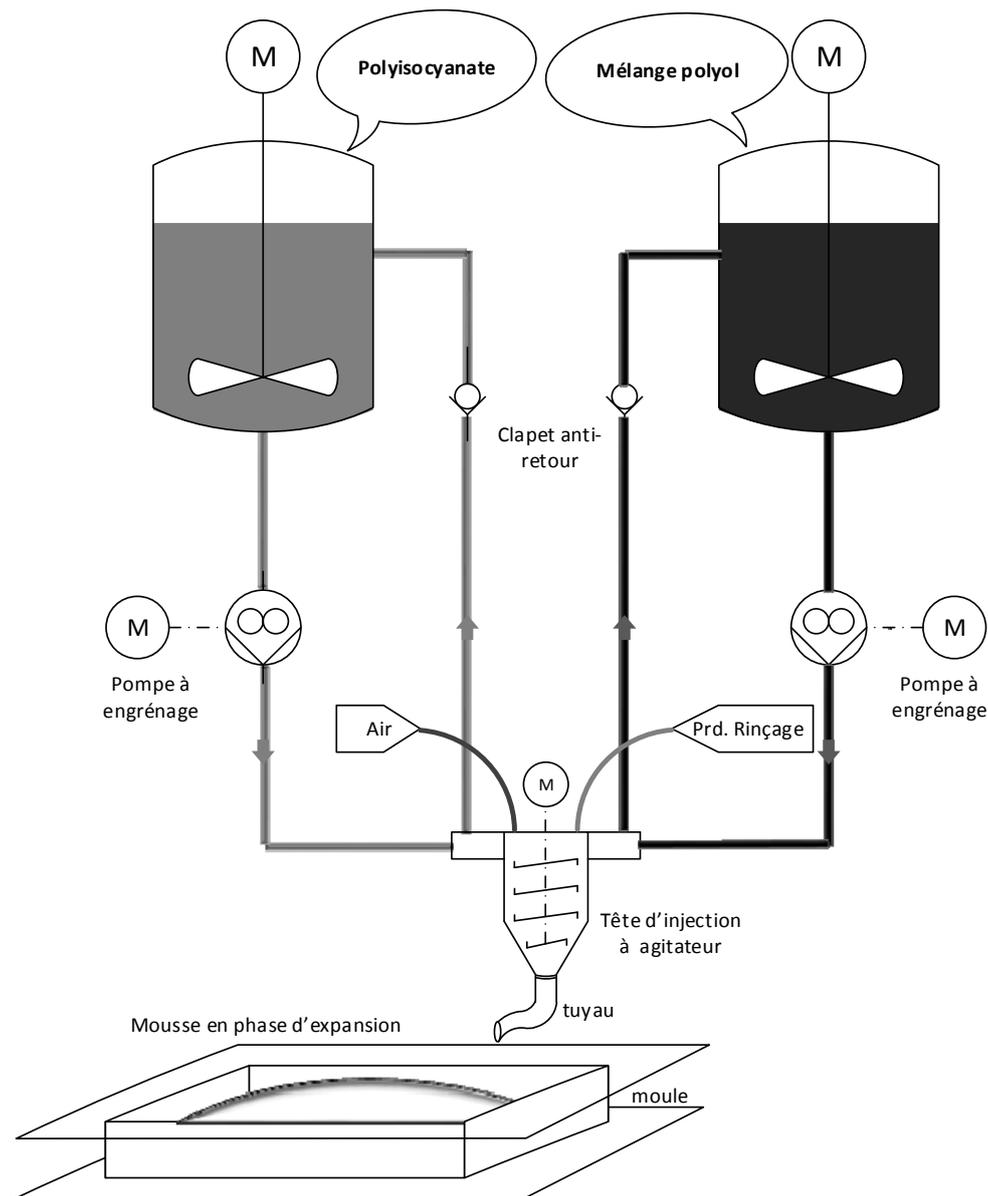


Figure 1 : schéma simplifié de l'unité de production des mousses

La qualité des mousses obtenues dépend essentiellement de trois paramètres :

- Le pourcentage des composants POL/ISO fixé par le rapport de la vitesse de rotation de deux moteurs d'entraînement des pompes.
- Le débit du fluide (POL et ISO) réglé par l'intermédiaire des variateurs de vitesse qui commandent les moteurs d'entraînement des pompes.
- Le temps de coulée, c'est le temps mis pour déposer la quantité nécessaire de mélange dans le moule (le temps de coulée et le débit dépendent des dimensions de la moule).

## I.2 Etapes de production des mousses

On va décrire les phases nécessaires à la production des mousses par une machine à injection basse pression :

- Phase de préparation : cette phase consiste à faire circuler les composants (POL et ISO) dans des boucles de recyclages afin de contrôler la température et de régler le flux de composants sur le débit et la pression d'injection nécessaires avant le début de l'injection. Les moteurs d'entraînement des pompes tournent à la même vitesse (dite vitesse de repos  $V_{POL} = V_{ISO} = 1000\text{tr/mn}$ )
- Phase d'injection, elle se déroule en trois temps :
  - o Contrôle de la température et de la vitesse de rotation des moteurs, il est essentiel que la température soit réglée à la valeur de consigne et que les moteurs tournent à la vitesse de repos.
  - o Changement de la vitesse d'un de deux moteurs pour régler le débit aux proportions désirées. Les vitesses sont calculées en fonction du pourcentage des composants (*POL/ISO*). Un système de régulation contrôle l'arrivée et le maintien de deux vitesses de rotations aux nouvelles consignes.  
Pour un rapport  $\frac{POL}{ISO} = 0,9$  les vitesses de rotation de deux moteurs :  
 $V_{POL} = 900 \text{ tr/mn}$  et  $V_{ISO} = 1000 \text{ tr/mn}$ .
  - o Opération de l'injection proprement dite, les composants (POL et ISO) pénètrent par le haut dans la tête de mélange. Pendant le trajet qui les mène jusqu'au tuyau de sortie, ils sont mélangés de façon intense par des agitateurs rotatifs pour obtenir un mélange homogène. A la fin de cette opération une quantité d'air est injectée sous pression pour vider la chambre d'injection et le tuyau du reste de mélange.
- Après chaque injection, nous devons procéder à une opération de rinçage afin de nettoyer la chambre d'injection des restes de mélange réactionnel. Cette phase se déroule en deux temps :
  - o Mise en marche des agitateurs et injection d'un produit de rinçage (solution aqueuse) dans la chambre d'injection sous pression d'air comprimé.
  - o Injecter une quantité d'air comprimé dans la chambre d'injection, pour nettoyer la tête d'injection de toute substance qui peut influencer la prochaine opération d'injection.

### I.3 Schéma synoptique

Le schéma synoptique de la commande de la machine à injection des mousses est illustré dans la figure 2 (page 5), alors que le schéma détaillé de la carte de commande est donné en **annexe1**.

#### Entrées :

- Capteurs de Température POL et ISO ;
- Clavier pour l'introduction des paramètres du système ;
- BP. Injection : Bouton poussoir de départ de l'opération d'injection ;

- BP. Rinçage : Bouton poussoir de départ opération de rinçage ;
- BP. Air : Bouton poussoir de commande manuelle de l'électrovanne d'air.

### Sorties :

- Chauffage POL : Commande le contacteur de la mise sous tension du Résistor de chauffage du polyol ;
- Chauffage ISO : Commande le contacteur de la mise sous tension du Résistor de chauffage du polyisocyanate ;
- Eau froide POL : Commande l'électrovanne d'eau froide de polyol ;
- Eau froide ISO : Commande l'électrovanne d'eau froide de polyisocyanate ;
- Cmd Injection : Commande de deux électrovannes d'injection de POL et ISO ;
- Cmd Air : Commande de l'électrovanne de l'air comprimé ;
- Cmd Rinçage : commande de l'électrovanne du produit de rinçage ;
- Cmd Agitateur : commande le contacteur de la mise en marche du moteur de l'agitateur ;
- Afficheurs 7 segments : interface homme/machine ;
- Commande et régulation de la vitesse du moteur de pompe POL ;
- Commande et régulation de la vitesse du moteur de pompe ISO.

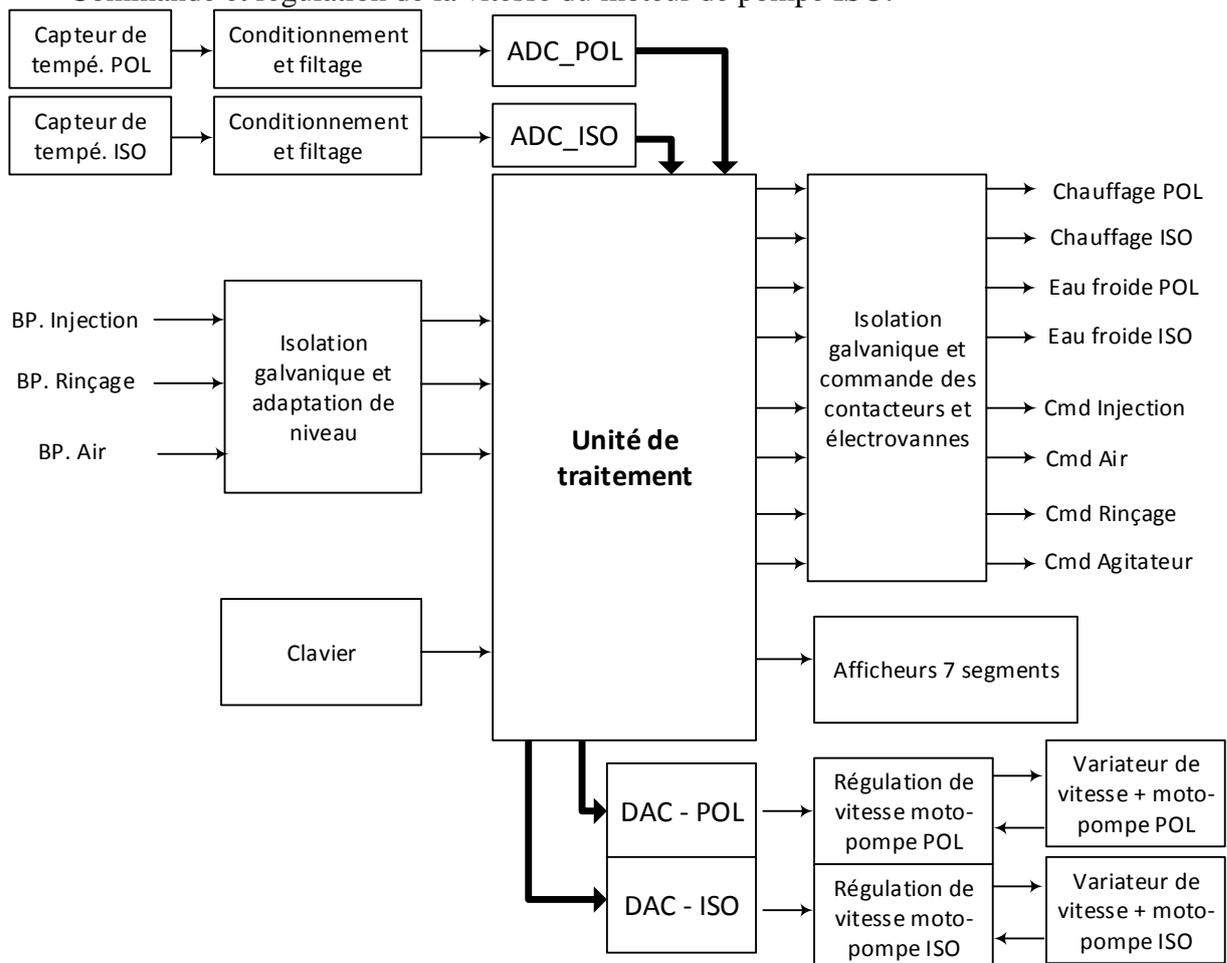


Figure 2 : Schéma synoptique de la commande de la machine à injection

## II. Etude du système

D'après le schéma synoptique (cf, figure 2), on se propose de décomposer le système en trois parties :

- Partie A : Chaîne d'acquisition.
- Partie B : Traitement numérique de données.
- Partie C : Commande des moto-pompes.

### A. Chaîne d'acquisition

#### A1 Capteur de température

La sonde **PT100** est utilisée pour la régulation de la température des composants (POL et ISO). Elle travaille dans une plage de température  $\theta$  de 0 à 50°C.

**A1.1 Donner les valeurs limites de la résistance dans la plage d'étude (voir Annexe 2).**

La loi qui régit la valeur de la résistance  $R_T$  est une fonction affine de type :

$$R_T = R_0(1 + \alpha\theta) \text{ avec } \alpha = 3,9083 \cdot 10^{-3}$$

**A1.2 Quelle erreur maximale est commise lors de cette approximation ?**

**A1.3 Compte tenu de la plage de température, déterminer le coefficient "a" qui minimise l'erreur d'approximation.**

#### A2 Conditionnement du signal

La sonde est traversée par un courant constant. La figure 3 représente un montage de miroir de courant qui utilise trois transistors PNP identiques. On rappelle que le courant du collecteur  $I_c = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$  avec  $V_T = \frac{kT}{q}$  et  $I_{SBC}$  le courant inverse de saturation de la jonction Base-Collecteur ; ce courant est identique pour l'ensemble de trois transistors.

**A2.1 Montrer que  $I_{C1} = I_{C2}$  et  $I_{B1} = I_{B2}$  .**

**A2.2 Déterminer la relation entre  $I_{C1}$  et  $I_{E3}$  . Conclure**

**A2.3 Déterminer l'erreur relative de copie de courant  $E_{r1} = \frac{I_{C1} - I_{E3}}{I_{E3}}$ . Calculer  $E_{r1}$  pour  $\beta = 250$**

On considère maintenant le montage de la figure 3 (dans sa totalité) où  $I_0$  est le courant de référence et  $I_S$  le courant recopié.

**A2.4 Montrez que  $I_0 = \frac{\beta^2 + 2\beta + 2}{\beta^2 + 2\beta} I_S$**

**A2.5 Déterminer la nouvelle expression de l'erreur relative de copie  $E_{r2} = \frac{I_S - I_0}{I_0}$  et la comparer à l'erreur  $E_{r1}$ .**

On désire choisir le point de repos du transistor **T3** au milieu de sa droite de charge avec  $I_{C3} = 1\text{mA}$ .

**A2.6** Calculer les valeurs des résistances  $R_s$  et  $R_a$ , on prend  $V_{BE} = -0,6\text{V}$  et  $\beta = 250$ .

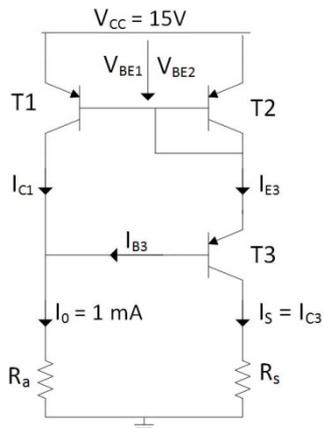


Figure 3 Montage miroir de courant

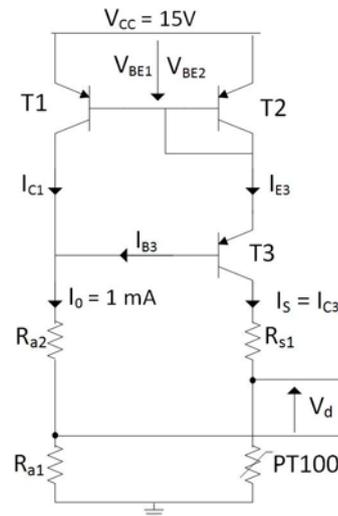


Figure 4 Montage complet miroir de courant et sonde

La sonde est placée dans un montage miroir de courant (figure 4)

**A2.7** Exprimer la différence de potentiel  $V_d$  en fonction de  $R_{a1}$ ,  $R_T$  et  $I_0$ .

**A2.8** Déterminer la valeur de  $R_{a1}$  de sorte que  $V_d$  soit nulle pour une température de  $0^\circ\text{C}$ .

**A2.9** Donner l'expression de  $V_d$  en fonction de la température.

### A3 Filtrage et conversion analogique numérique

Avant l'étape de conversion, le signal est filtré par un filtre dont la structure est illustrée dans la figure 5.

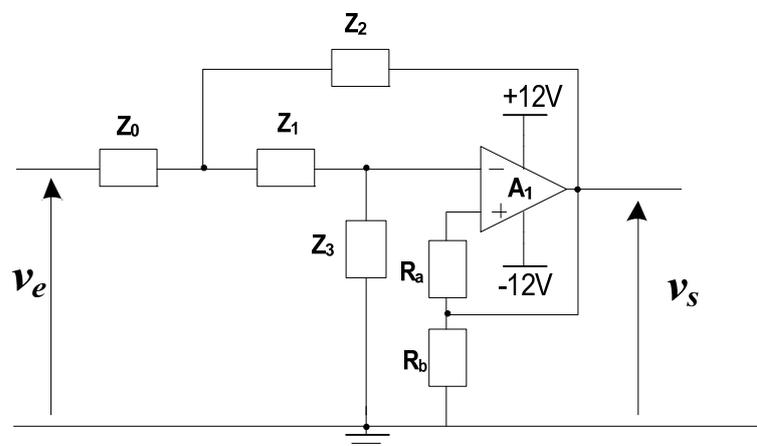


Figure 5 : Schéma électrique du filtre considéré

**A3.1** Déterminer le gain  $K$  de l'amplificateur  $A1$  pour  $R_a = 20\text{k}\Omega$  et  $R_b = 5\text{k}\Omega$ .

**A3.2 Montrer que la fonction de transfert complexe s'écrit sous la forme :**

$$H = \frac{v_s}{v_e} = \frac{KZ_2Z_3}{Z_0Z_3(1-K) + Z_0(Z_1 + Z_2) + Z_2(Z_1 + Z_3)}$$

**A3.3 Dans le cas où  $Z_0 = Z_1 = R$  ;  $Z_2 = Z_3 = \frac{1}{jC\omega}$  Donner la fonction de transfert complexe  $H(j\omega)$ .**

**A3.4 Déduire la fonction de cette structure et son ordre.**

La conversion analogique numérique nécessite une étape d'échantillonnage. Pour modéliser le signal échantillonné  $x_e(t)$  on considère le produit d'un signal  $x(t)$  par une suite d'impulsions de Dirac décalées  $p(t)$ :

$$x_e(t) = x(t) \times p(t) = x(t) \times \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_e)$$

Où  $T_e$  représente la période d'échantillonnage.

**A3.5 Déterminer l'expression analytique de la transformée de Fourier  $P(f)$  de  $p(t)$ . Déduire l'expression de la transformée de Fourier  $X_e(f)$  de  $x_e(t)$  en fonction de la transformée de Fourier de  $x(t)$ , soit  $X(f)$ .**

**A3.6 A quelles conditions peut-on reconstituer  $x(t)$  par interpolation à partir de  $x_e(t)$  ?**

**A3.7 Un signal réel ne satisfait que rarement à la condition énoncée. Quel dispositif doit être inséré entre la source du signal et l'échantillonneur ? Comment fixer ses caractéristiques en fonction des qualités attendues pour le signal de sortie ?**

La conversion analogique numérique est réalisée par un circuit intégré le ADC0820 (voir **Annexe1**). Le nombre  $N$  image de la température répond à la relation  $N = 5 \cdot \theta$  avec  $\theta$  la température en °C. La tension de référence  $V_{ref} = 2,5V$ .

**A3.8 Donner la relation liant  $V_{in}$  (entrée du convertisseur analogique numérique) à la température.**

**A3.9 Donner le pas de quantification.**

L'amplification réalisée par le filtre avant conversion est jugée insuffisante. Pour ce faire, on associe à la sortie du filtre un amplificateur d'instrumentation **INA118** (voir **Annexe 3**).

**A3.10 Quelles sont les particularités de ce type d'amplificateur ?**

**A3.11 Démontrer que l'amplification de circuit intégré linéaire INA 118 est  $1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$  avec**

**$R_g$  composant résistif placé entre les broches 1 et 8.**

**A3.12 Donner la valeur de l'amplification et calculer  $R_g$ .**

**B. Traitement numérique de données**

La carte de commande est gérée par un microcontrôleur 8031 cadencé à 11,0592 Mhz. Ce microcontrôleur adresse séparément la mémoire de données et la mémoire programme. La mémoire programme est commandée en lecture par la broche  $\overline{PSEN}$ , tandis que la mémoire données est contrôlée en lecture/écriture par les lignes  $\overline{RD}$  et  $\overline{WR}$ . La ligne  $ALE$  est utilisée pour le démultiplexage adresses/données.

**B1 Décodage d'adresses**

**B1.1 Donner la capacité des mémoires M27256 et CY62256. Préciser pour chaque mémoire l'adresse la plus basse et l'adresse la plus haute.**

On souhaite réaliser le décodage d'adresses des autres composants connectés sur le bus selon le schéma illustré dans la figure 6. Les adresses réservées aux composants sont résumées dans le tableau 1.

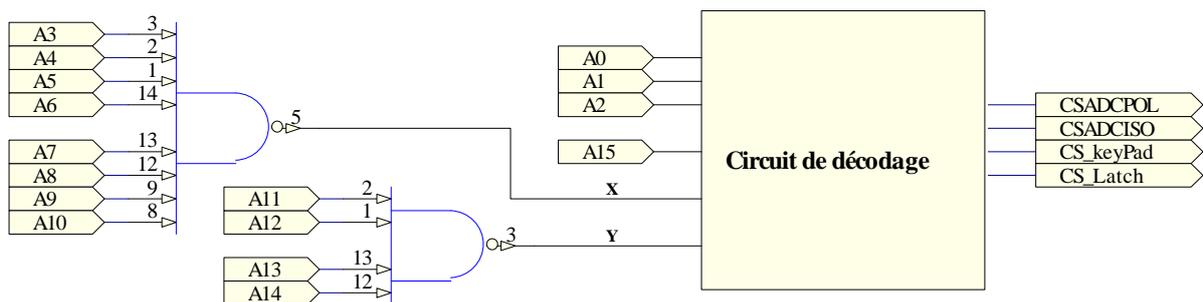


Figure 6 : Schéma de décodage d'adresses

Tableau 1 : Adressage des composants

Désignation	Référence	Adresse	Ligne de Sélection
U8	ADC0820 (POL)	FFF8H	CSADCPOL
U11	ADC0820 (ISO)	FFFAH	CSADCISO
U14	MM74923 (Gestionnaire de clavier)	FFFCH	CS_KeyPad
U5	74AC377	FFFEH	CS_Latch

**B1.2 Donner les équations logiques des lignes de sélection en fonction des entrées A0, A1, A2, A15, X et Y. Les lignes de sélection sont actives au niveau bas.**

**B1.3 Le circuit de décodage est réalisé par un PLD. Donner une description VHDL de ce circuit.**

**B1.4 Représenter le plan mémoire (MAPPING) de l'espace adressable.**

**B2 Interfaces entrées/sorties**

Les boutons poussoirs « BP. Injection », « BP. Rinçage » et « BP. Air » sont alimentés par une tension de 24V. L'adaptation de niveau entre les boutons poussoirs et les entrées du microcontrôleur est assurée par des optocoupleurs de type CNY17. Le schéma de la figure 7 illustre l'interfaçage du bouton poussoir « BP. Injection » avec le microcontrôleur.

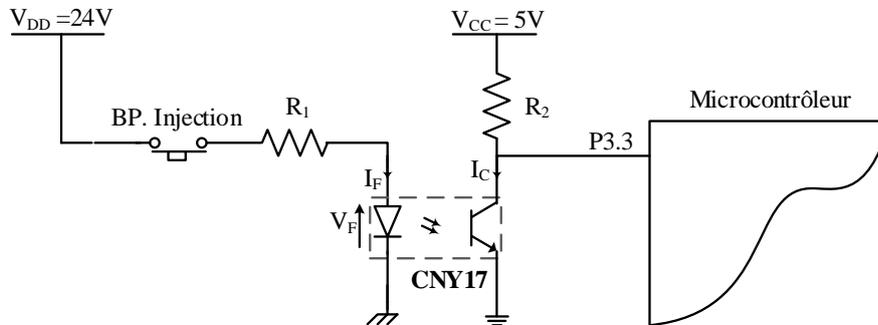


Figure 7 : Interfaçage du bouton poussoir « BP. Injection » avec le microcontrôleur

En se référant aux documents constructeurs, on extrait les caractéristiques suivantes :

Microcontrôleur :	$V_{IL} = 0,7V$	$V_{IH} = 2,1V$	$I_{IL} = 0,8mA$	$I_{IH} = -40\mu A$
Optocoupleur :	$I_C = 2,5mA$	$V_{CESAT} = 0,4V$	$CTR = \frac{I_C}{I_F} = 25\%$	$V_F = 1,15V$

**B2.1 Calculer les valeurs des résistances  $R_2$  pour un courant de saturation de 2,5mA.**

**B2.2 Déterminer le courant  $I_F$  et calculer la valeur de la résistance  $R_1$ .**

Dans un système industriel, il est indispensable d'assurer une isolation galvanique entre la partie commande et la partie opérative. La commande des contacteurs et des électrovannes est réalisée avec une double isolation (figure 8).

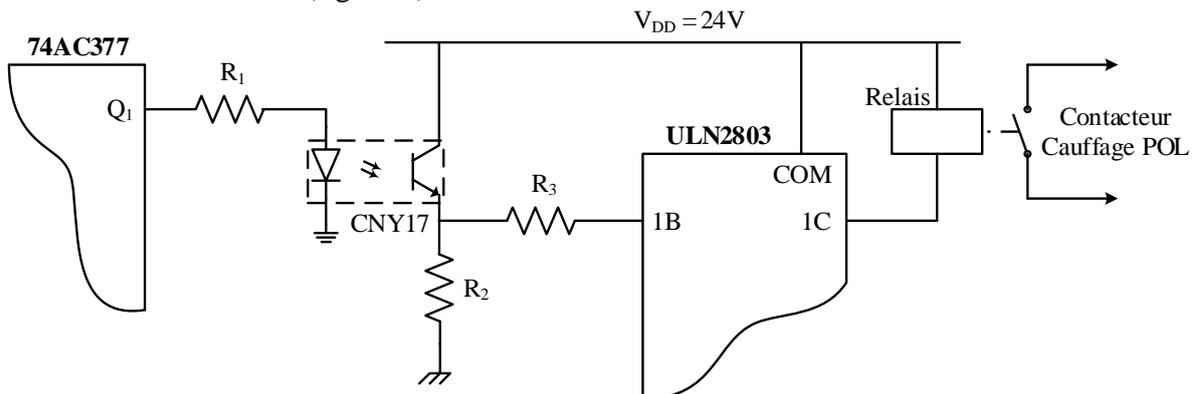


Figure 8 : Circuit d'interface à double isolation (optocoupleur + relais)

On se référant aux documents constructeurs :

**B2.3 Pour une tension  $V_{CESAT} = 0,9V$  de l'ULN2803, Calculer le courant consommé par la bobine (voir Annexe 4).**

**B2.4 Pour une tension  $V_{CESATopt} = 0,4V$  de l'optocoupleur, Calculer la valeur de la résistance  $R_3$  si le courant à l'entrée de l'ULN2803 est égal à 1mA (voir Annexe 5).**

**B2.5** Calculer la valeur de la résistance  $R_2$  pour un courant collecteur  $I_{Copt} = 2,5mA$  et une tension  $V_{CESATopt} = 0,4V$ .

**B2.6** Déterminer la valeur de la résistance  $R_1$  pour un rapport de transfert en courant  $CTR = 25\%$ . Justifier le choix de circuit 74AC377 (voir Annexe 6).

L'introduction des paramètres du système est assurée par un clavier matriciel 4 x 5 touches. Il est connecté au bus de données à travers un encodeur de clavier MM74C923 (voir Annexe 7).

**B2.7** Expliquez brièvement le phénomène de rebondissement des contacts.

**B2.8** Expliquez brièvement le fonctionnement du circuit intégré MM74C923.

**B2.9** Quel est le rôle des broches DA (Data Available) et  $\overline{OE}$  (Output Enable) ?

Les sorties A et B du circuit MM74C923 sont obtenues à partir d'un compteur binaire modulo 4 ; tandis que les sorties C, D et E sont obtenues par une logique d'encodage.

**B2.10** Déterminer les équations logiques des sorties C, D et E en fonction des entrées Y1, Y2, Y3, Y4 et Y5. L'appui simultané sur plus qu'un bouton n'est pas envisagé.

## C. Commande des moto-pompes

### C1 Convertisseur Numérique/Analogique

Pour traduire l'entrée numérique codée sur n bits en une grandeur de sortie analogique on adopte le convertisseur numérique analogique DAC8043A dont les caractéristiques sont résumées dans l'annexe 8. Ce convertisseur a été conçu pour une facilité d'utilisation.

**C1.1** Expliquer brièvement le principe de fonctionnement de ce convertisseur.

La figure 9 illustre le circuit reliant les entrées numériques. Il montre des diodes d'entrée et une résistance en série; cette structure est dupliquée sur chaque entrée numérique.

**C1.2** Quel est le rôle de ces diodes ?

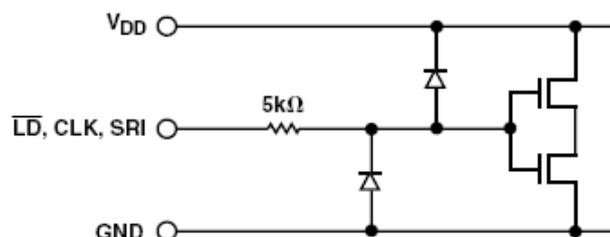


Figure 9 Structure d'entrée du convertisseur

La figure 10 représente un schéma simplifié du DAC 8043. Les interrupteurs analogiques sont commandés par les bits  $d_{11}, \dots, d_0$  qui forment un nombre adressable  $D$  :

$$D = d_{11}2^{11} + d_{10}2^{10} + d_92^9 + d_82^8 + d_72^7 + d_62^6 + d_52^5 + d_42^4 + d_32^3 + d_22^2 + d_12^1 + d_02^0$$

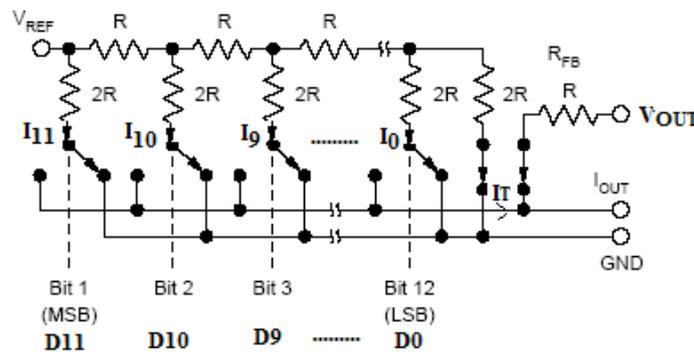


Figure 10 : Structure R/2R à 12 bits

**C1.3** Montrer que les courants  $I_{11}$  à  $I_0$  sont constants quel que soit  $D$ . Exprimer ces courants en fonction de  $V_{REF}$  et  $R$ .

**C1.4** Calculer  $I_T$  en fonction de  $V_{REF}$ ,  $R$  et  $D$  puis déduisez l'expression de  $V_{OUT}$  en fonction de  $V_{REF}$  et  $D$ .

**C1.5** Donner la valeur de la résolution de ce convertisseur (valeur du quantum  $q$ ). De quoi dépend la précision de ce quantum ?

**C1.6** A l'aide d'un dispositif à base d'une diode zéner, on fixe la tension de référence  $V_{REF}$  à  $(-5V)$ . En déduire la valeur numérique de  $q$ .

On peut utiliser le convertisseur selon deux configurations possibles.

**Première configuration :**

L'application la plus simple de la DAC8043 est donnée par la figure 11. On suppose que les amplificateurs opérationnels sont parfaits.

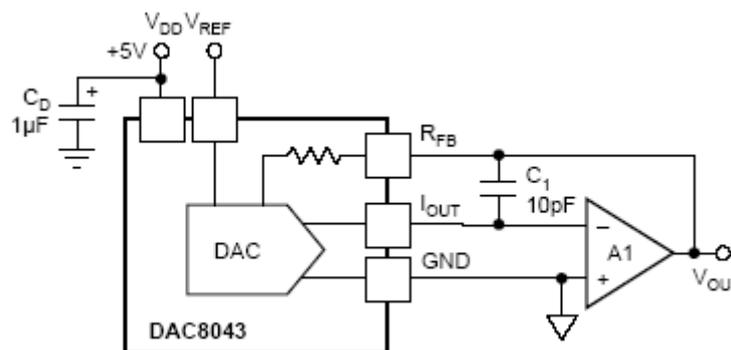


Figure 11 : Première configuration

**C1.9** Si le signal d'entrée de référence est une tension continue fixe  $V_{REF}$ , donner l'équation de la tension de sortie  $V_{OUT}$ .

**C1.10** Entre quelles valeurs variera la tension  $V_{OUT}$ .

**Deuxième configuration :**

Dans la deuxième configuration, on utilise le montage de la figure 12 :

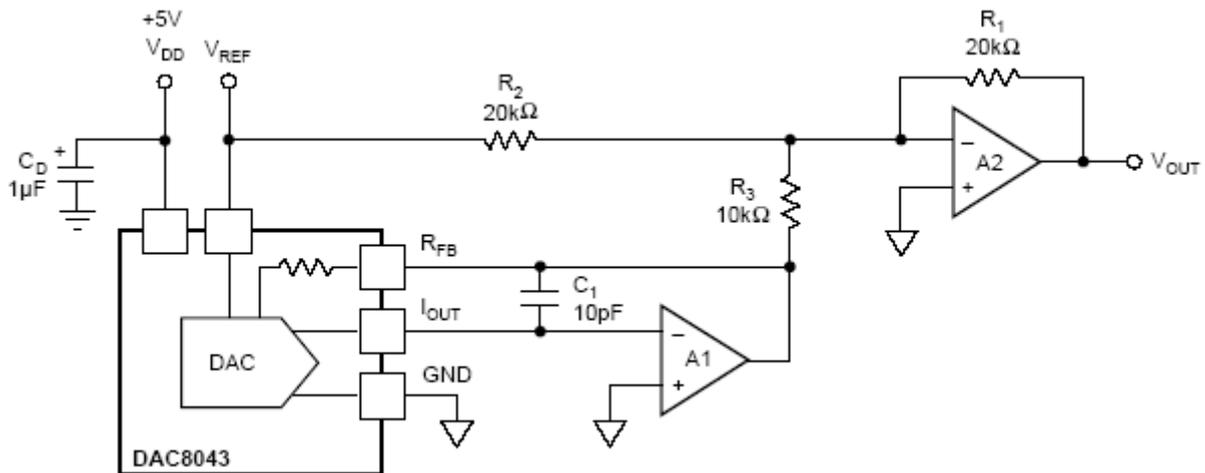


Figure 12 : Seconde configuration

**C1.11** Quel est le rôle du deuxième amplificateur opérationnel A2 ?

**C1.12** Si le signal d'entrée de référence est une tension continue fixe  $V_{REF}$ , donner l'équation de la tension de sortie  $V_{OUT}$ .

**C1.13** Entre quelles valeurs variera la tension  $V_{OUT}$ . Justifier votre réponse.

**Modélisation du convertisseur R/2R :**

Le convertisseur numérique analogique peut être modélisé par la structure présentée dans la figure 13. Les deux courants de sortie  $I_{OUT1}$  et  $I_{OUT2}$  sont supposés à la masse.

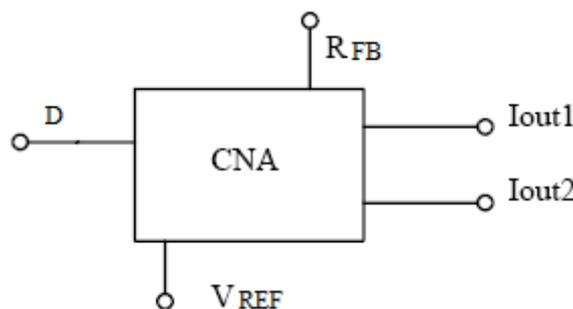


Figure 13 : Modélisation d'un CNA

**C1.14** Déterminer les équations des courants sortants  $I_{OUT1}$  et  $I_{OUT2}$  ?

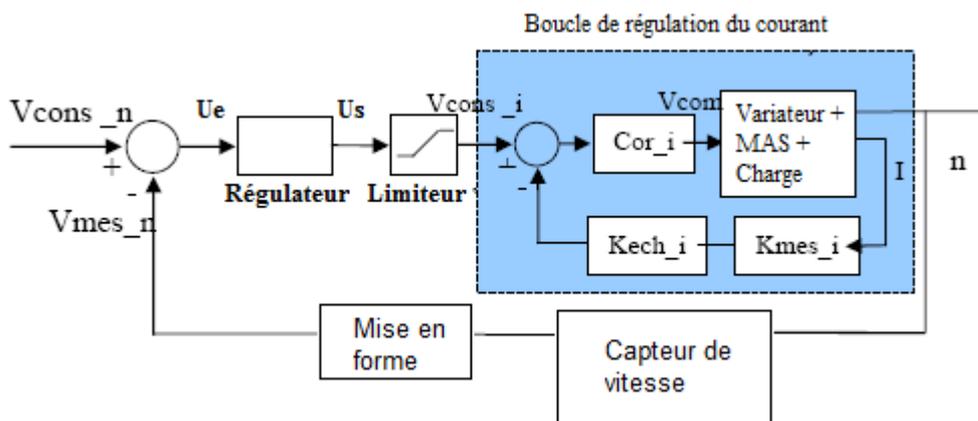
**C1.15 Déterminer les équations de la somme et de la différence des courants  $I_{OUT1}$  et  $I_{OUT2}$  ?**

**C1.16 Comment varient la somme et la différence de ces courants ?**

## C2 MESURE DE LA VITESSE

Le système variateur de vitesse + MAS + charge ayant été préalablement asservi en couple et en courant (cet ensemble ne fait pas partie de notre étude), on souhaite maintenant l'asservir en vitesse. L'asservissement de courant déjà réalisé est utilisé pour limiter le courant et protéger le système grâce à un limiteur en tête qui fixe la consigne de courant à un maximum donné.

On rajoute sur cet ensemble une boucle de vitesse. La vitesse de rotation de la machine asynchrone variera entre 800 tr/mn et 1200 tr/mn.

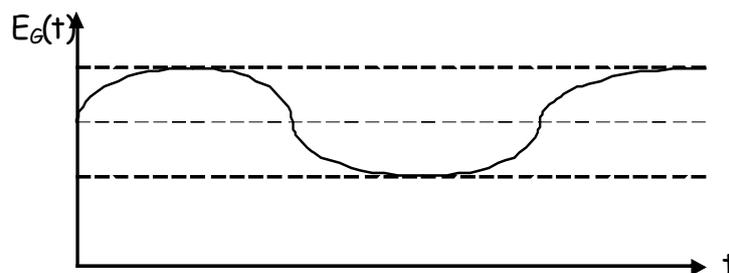


**Figure 6 : boucle de régulation de vitesse**

Pour mesurer la vitesse de rotation, on propose deux techniques : la mesure par dynamo-tachymétrique et la mesure par codeur incrémental.

### C2.1 Mesure par dynamo-tachymétrique

La génératrice délivre une f.é.m.  $E_G(t)$  ondulée (figure 14). Lorsque le moteur tourne à 1200 tr/mn, le fondamental de l'ondulation a une fréquence de 200 Hz et une valeur crête à crête de 1 V. La valeur moyenne correspondante de la tension de la génératrice est ramenée à 10 V.



**Figure 14 : Le signal en sortie de la dynamo**

**C2.1.1** Donner l'expression de  $E_G(t)$  en définissant les valeurs numériques de tous les paramètres, on admet que  $E_G(t)$  se compose uniquement de sa valeur moyenne et de son fondamental.

**C2.1.2** Pour filtrer la tension délivrée par la génératrice, on place à ses bornes un condensateur de capacité  $C$  (Figure 15).

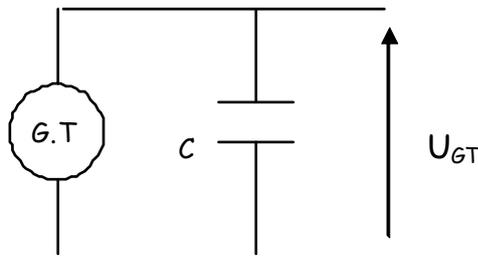


Figure 15 : filtrage du signal de la dynamo

**C2.1.2.1** Soit  $E_1$  l'expression complexe du fondamental de l'ondulation. La génératrice a une résistance interne  $R = 50\Omega$  ; donner un modèle électrique équivalent à l'ensemble génératrice condensateur pour le fondamental de l'ondulation.

**C2.1.2.2** Calculer la transmittance du filtre  $\frac{U_{GT}}{E_1}$ .

**C2.1.2.3** Esquisser la courbe de gain en coordonnées de Bode.

**C2.1.2.4** On veut atténuer de 20 dB le fondamental de l'ondulation. Quelle valeur doit prendre le produit  $RC$  ? En déduire la valeur de  $C$  nécessaire.

## C2.2 Mesure de la vitesse par codeur incrémental

La deuxième méthode utilisée pour l'acquisition de la vitesse serait l'utilisation d'un codeur incrémental de 500 points par tour. Il sera placé sur l'axe moteur et fournit deux signaux carrés en quadrature. On va utiliser les deux signaux pour élaborer deux vitesses qui seront ensuite comparées afin d'éliminer l'aléa de mesure engendré par les vibrations du moteur autour de sa position d'équilibre sur le front de détection du codeur.

**C2.2.1** On met en œuvre deux compteurs d'impulsions. Préciser comment se fera l'élaboration de la vitesse (en radian par seconde).

**C2.2.2** Comparer les avantages et inconvénients d'un codeur incrémental et d'un codeur absolu. Justifier le choix du constructeur pour un capteur incrémental dans ce cas.

**C2.2.3** Déterminer la fréquence du signal pour la vitesse maximale et pour la vitesse minimale.

La fréquence du signal issu du codeur représente la vitesse de rotation du moteur. On convertit cette fréquence en tension afin de la comparer à la valeur de la consigne issue du convertisseur numérique analogique. Le montage de la figure 16 répond à cette nécessité en utilisant un convertisseur fréquence/tension : le circuit intégré LM331.

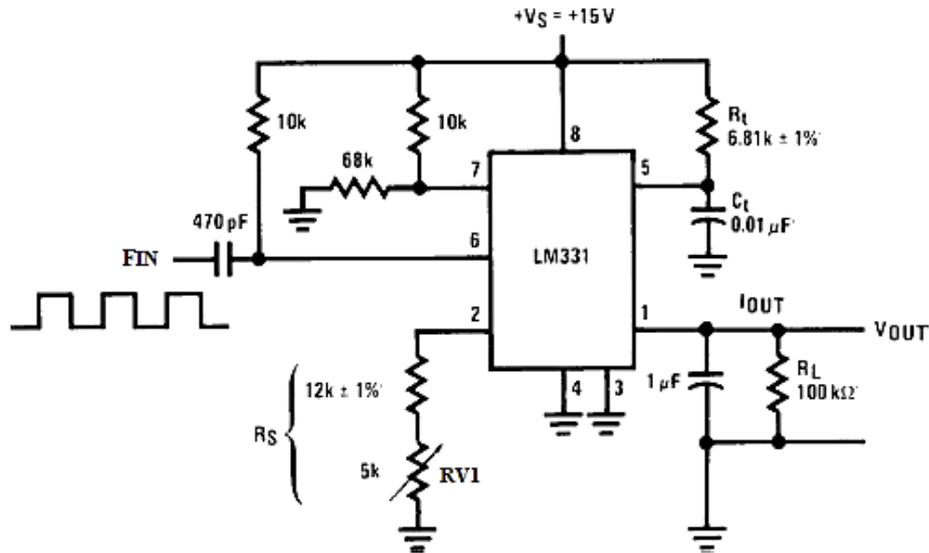


Figure 16 : Le Convertisseur fréquence/tension

La tension de sortie  $V_{OUT}$  est fonction de la fréquence d'entrée  $F_{IN}$ , selon la formule suivante :

$$V_{OUT} = 2,09 F_{IN} \cdot \frac{R_L}{R_S} \cdot R_t C_t$$

**C2.2.4 Déterminer la valeur de la tension de sortie  $V_{OUT}$  pour la vitesse maximale et pour la vitesse minimale pour un réglage du potentiomètre  $RV1$  à la valeur de  $2,2k\Omega$ .**

**C2.2.5 Quel est le rôle du condensateur de  $470 pF$  et du réseau composé par le condensateur de  $1 \mu F$  et de la résistance  $R_L$  de  $100 k\Omega$ .**

### C2.3 Régulateur PID

Pour l'application, on souhaite utiliser un régulateur PID dont la fonction de transfert est de la forme :

$$G_R(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right) \frac{1 + sT_Z}{(1 + sT_{p1})(1 + sT_{p2})} = K_p \frac{\left( 1 + \frac{s}{w_L} \right) \left( 1 + \frac{s}{w_Z} \right)}{s \left( 1 + \frac{s}{w_{p1}} \right) \left( 1 + \frac{s}{w_{p2}} \right)}$$

On remarque que cette fonction possède un coefficient proportionnel  $K_p$ , une partie PI et une partie PD.

La figure 17 illustre le régulateur pratique utilisé :

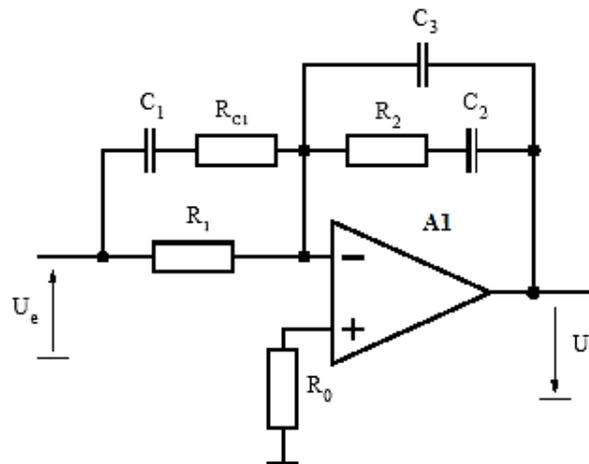


Figure 17 : Le schéma électronique du Régulateur PID

**C2.3.1** Déterminez la fonction de transfert de ce montage (attention au sens de la tension  $U_s$ ).

**C2.3.2** Préciser les équations des différents paramètres  $K_P$ ,  $w_L$ ,  $w_Z$ ,  $w_{P1}$  et  $w_{P2}$  du montage.

### C2.4 Dispositif de limitation

Afin de limiter le courant circulant dans une phase de la machine, on utilise le montage de limitation de tension illustré dans la figure 18. Il s'agit d'un pont à diodes, qui est alimenté au travers des résistances  $R_1$  et  $R_2$ , par les tensions auxiliaires  $V_{DD}$  et  $V_{EE}$ .

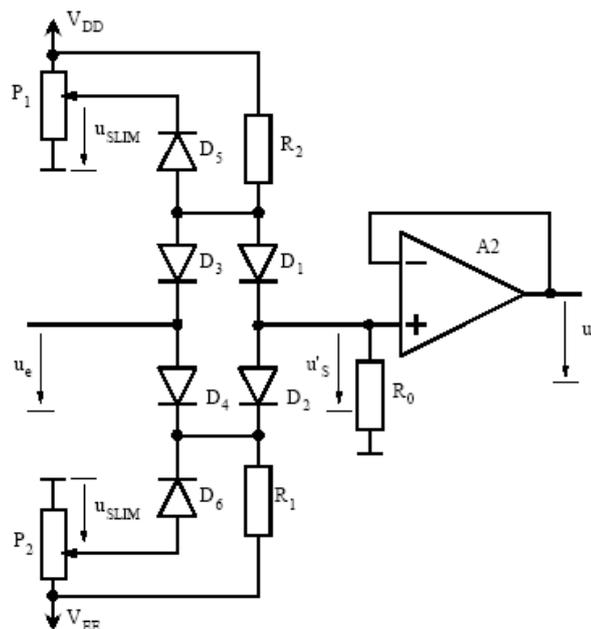


Figure 18 : Dispositif de limitation

**C2.4.1** *Quel est le rôle des potentiomètres P1 et P2.*

**C2.4.2** *A quoi sert l'amplificateur opérationnel A<sub>2</sub> monté en suiveur.*

**C2.4.3** *Comment se comportent les diodes D<sub>1</sub> à D<sub>6</sub> lorsque la tension d'entrée U<sub>e</sub> se trouve entre les limites  $-U_{SLIM} \geq U_e \geq +U_{SLIM}$ . Comparer la valeur de la tension U<sub>s</sub> par rapport à U<sub>e</sub> ?*

**C2.4.4** *Comment se comportent les diodes lorsque U<sub>e</sub> > U<sub>SLIM</sub>. Montrer que la tension de sortie U<sub>s</sub> est indépendante de U<sub>e</sub> et égale à U<sub>SLIM</sub>.*

**C2.4.5** *Comment se comportent les diodes lorsque U<sub>e</sub> < -U<sub>SLIM</sub>. Montrer que la tension de sortie U<sub>s</sub> est indépendante de U<sub>e</sub> et égale à -U<sub>SLIM</sub>.*