

# BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

Session 2004



## Physique appliquée

**Série : Sciences et Technologies Industrielles**

**Spécialité : Génie Électrotechnique**

Durée de l'épreuve : 4 heures - coefficient : 7

**Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction et la clarté des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.**

Le sujet comporte 11 pages (notées 1/11 à 11/11). Les parties sont indépendantes.

**Les documents réponses sont à rendre avec la copie.**

*L'usage de la calculatrice est autorisé.*

## ASSERVISSEMENT DE VITESSE D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU

Ce problème comporte quatre parties pouvant être traitées de façon indépendante.

Pour certaines applications, il est nécessaire que la vitesse d'entraînement d'un moteur soit quasiment constante, qu'il soit à vide ou à pleine charge.

Un système asservi comporte, conformément au schéma de la figure 1 page 6 :

- une chaîne directe comprenant le moteur à courant continu alimenté par le hacheur, le dispositif de commande du hacheur et un amplificateur d'erreur ;
- une chaîne de retour constituée d'un convertisseur vitesse-tension ;
- un opérateur de différence élaborant la tension d'erreur.

### Partie A : étude du moteur à courant continu.

Le moteur à courant continu à excitation indépendante possède les caractéristiques nominales suivantes.

- Puissance utile :  $P_{UN} = 1930 \text{ W}$ .
- Inducteur (excitation):
  - tension aux bornes de l'inducteur :  $u_{EXN} = 220 \text{ V}$ .
  - intensité du courant d'excitation :  $i_{EXN} = 0,4 \text{ A}$ .
- Induit :
  - tension aux bornes de l'induit :  $U_N = 220 \text{ V}$ .
  - intensité du courant dans l'induit :  $I_N = 10 \text{ A}$ .
  - fréquence de rotation :  $n_N = 1000 \text{ tr.min}^{-1}$ .
  - résistance de l'induit :  $R = 2,0 \Omega$ .



L'intensité du courant d'excitation est maintenue constante et égale à sa valeur nominale. On suppose que la réaction magnétique de l'induit est parfaitement compensée.

#### 1. Étude de l'inducteur.

1.1. Quel est le rôle de l'inducteur ?

1.2. Quel danger est créé si l'on supprime l'alimentation de l'inducteur alors que l'induit est toujours alimenté ?

1.3. Calculer les pertes par excitation  $P_{EX}$ .

#### 2. Étude du moteur au point de fonctionnement nominal.

2.1. Représenter le modèle équivalent de l'induit du moteur.

2.2. Calculer :

2.2.a. la f.e.m.  $E_N$ ,

2.2.b. la puissance totale absorbée  $P_{AN}$ ,

2.2.c. la puissance électromagnétique  $P_{EMN}$ ,

- 2.2.d. le moment  $T_{EMN}$  du couple électromagnétique,
- 2.2.e. l'ensemble  $P_C$  des pertes mécaniques et magnétiques appelé pertes collectives
- 2.2.f. le moment  $T_{UN}$  du couple utile,
- 2.2.g. le moment  $T_P$  du couple de pertes,
- 2.2.h. le rendement  $\eta$  du moteur.

2.3. Donner l'expression générale de la f.e.m.E et montrer qu'elle peut s'écrire  $E = k_1 \cdot n$ , avec  $n$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ . Calculer la constante  $k_1$ .

3. Le moteur fonctionne à vide et son induit est toujours alimenté sous tension nominale. On néglige l'intensité du courant à vide circulant dans l'induit. Calculer la f.e.m à vide  $E_0$  et la fréquence de rotation correspondante  $n_0$ .
4. Montrer que la variation de la fréquence de rotation  $\Delta n = n_0 - n$  ( $n$  étant la fréquence de rotation en charge) peut s'écrire :  $\Delta n = \frac{RI}{k_1}$  ; calculer  $\Delta n$  pour  $I = 10 \text{ A}$ .

**Partie B : étude du hacheur (figure 2).**

- L'interrupteur K (commandé à l'ouverture et à la fermeture ) et la diode D sont parfaits.
- K est fermé durant l'intervalle de temps  $[ 0 , \alpha T ]$  et ouvert pour l'intervalle de temps  $[ \alpha T , T ]$ , T désignant la période de fonctionnement du hacheur et  $\alpha$  son rapport cyclique.
- La tension d'alimentation du hacheur est  $U_0 = 220 \text{ V}$ .
- La f.e.m.E du moteur et sa fréquence de rotation sont liées par la relation :  $E = 0,2 \cdot n$  avec  $n$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ . Sa résistance est  $R = 2,0 \Omega$ .

1. Définitions.

- 1.1. Quelle est la fonction du hacheur ?
- 1.2. Citer un composant électronique pour l'interrupteur K.
- 1.3. Quel est le rôle de la diode D ?
- 1.4. Quel est le rôle de la bobine B ?

2. L'allure du courant  $i(t)$  est représentée sur le document réponse n°1

- 2.1. Calculer la fréquence de fonctionnement  $f$  du hacheur ainsi que son rapport cyclique  $\alpha$ .
- 2.2. Calculer la valeur moyenne  $\langle i \rangle$  du courant.
- 2.3. On désire visualiser sur l'écran d'un oscilloscope le tension de sortie  $u(t)$  du hacheur (voie A) et le courant  $i(t)$  circulant dans la charge (voie B). Compléter alors le schéma de montage du document réponse n°1 en y plaçant correctement les sondes de tension et de courant.

- 2.4. Tracer l'allure de la tension  $u(t)$  sur le document réponse n°1.
- 2.5. Donner l'expression de la tension moyenne  $\langle u \rangle$  en fonction de  $U_0$  et de  $\alpha$ . Calculer sa valeur numérique.
- 2.6. Quel appareil utilise-t-on pour mesurer la tension moyenne ?
3. Le hacheur alimente le moteur à courant continu de la partie A. On donne  $\langle i \rangle = 10$  A.
- 3.1. Donner l'expression de la tension de sortie  $u$  du hacheur en fonction des grandeurs  $i$ ,  $E$ ,  $L$  (inductance de la bobine) et  $R$ .
- 3.2. En déduire l'expression de  $\langle u \rangle$  en fonction de  $n$ .
- 3.3. Montrer alors que  $n = \frac{220.\alpha - 20}{0,2}$  et calculer sa valeur pour  $\alpha = 0,8$ .
- 3.4. On suppose que  $\alpha = 0,2.u_C$ ,  $u_C$  étant la tension d'entrée du dispositif de commande du hacheur.  
Montrer que  $\langle u \rangle = k_2.u_C$  et calculer  $k_2$ .

### Partie C : Eléments de la chaîne directe (figures 3, 4 et 5)

Les amplificateurs opérationnels figurant dans les montages sont parfaits. Ils sont alimentés en 0 et 15 V.

1. Opérateur de différence (figure 3).
- Il génère une tension d'erreur  $u_e$  à partir d'une tension de référence  $U_{Ref}$  et de la tension  $u_r$  délivrée par le convertisseur vitesse – tension.
- 1.1. Ecrire la relation qui lie les tensions  $V^*$  et  $V^-$  en régime linéaire.
- 1.2. Donner les expressions de :
- 1.2.a.  $V^*$  en fonction de  $U_{Ref}$ .
- 1.2.b.  $V^-$  en fonction de  $u_r$  et  $u_e$ .
- 1.3. En déduire l'expression de  $u_e$  en fonction de  $U_{Ref}$  et de  $u_r$ .
2. Amplificateur (figure 4)
- 2.1. Donner les expressions des tensions  $V^+$  et  $V^-$ .
- 2.2. En déduire l'expression de  $u_C$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $u_e$ .
- 2.3. Donner l'expression de la transmittance  $A = \frac{u_C}{u_e}$ .
- 2.4. On veut obtenir  $A = 20$ , calculer  $R_2$  sachant que  $R_1 = 2$  k $\Omega$ .

3. Comparateur (figure 5)

Il va générer la tension de commande  $u_H$  du hacheur :

La tension  $u_C$ , fournie par l'amplificateur, est comparée à une tension triangulaire  $u_T$  (charge d'un condensateur à courant constant puis remise à zéro dès que  $u_T = u_{TMAX} = 5 \text{ V}$ ).

3.1. Quel est le mode de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel ?

En déduire les valeurs possibles de la tension de sortie  $u_H$ .

3.2. Représenter sur le document réponse n°2 l'allure de la tension de sortie  $u_H$  lorsque  $u_C = 4 \text{ V}$ .

3.3. Calculer alors la valeur du rapport cyclique  $\alpha$  de la tension  $u_H$ .

**Partie D : Etude de l'asservissement de vitesse.**

Le schéma unifilaire du système asservi est représenté à la figure 6 page 8.

- La chaîne de retour est constituée d'une dynamo tachymétrique associée à un

filtre. Sa transmittance est  $K_3 = \frac{u_r}{n} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ V.tr}^{-1}.\text{min}$ .

- Transmittance de l'ensemble « commande – hacheur »:  $k_2 = \frac{\langle u \rangle}{u_C} = 44$ .

- $k_1 = \frac{E}{n} = 0,2 \text{ V.tr}^{-1}.\text{min}$ .

1. Le moteur fonctionne à vide.

On suppose que  $\langle i \rangle = 0$  et  $A = 20$ .

On note  $n_0$  la fréquence de rotation à vide (en  $\text{tr.min}^{-1}$ ).

1.1. Donner l'expression de la transmittance de la chaîne directe  $H_0 = \frac{n_0}{u_C}$  en fonction

de  $A$ ,  $k_1$  et  $k_2$ .

Calculer sa valeur en précisant son unité.

1.2. En utilisant les transmittances  $H_0$  et  $K_3$ , exprimer  $n_0$  en fonction de  $U_{\text{Réf}}$  et montrer que la transmittance globale s'écrit :

$$T_0 = \frac{n_0}{U_{\text{Réf}}} = \frac{H_0}{1 + H_0 \cdot K_3}$$

Calculer sa valeur en précisant son unité.

1.3. Calculer la fréquence de rotation  $n_0$  pour une tension de référence  $U_{\text{Réf}} = 4,6 \text{ V}$ .

2 Le moteur fonctionne en charge.

On donne :  $\langle i \rangle = 10 \text{ A}$  ;  $U_{\text{Ref}} = 4,6 \text{ V}$  ;  $A = 20$ .

L'expression de la fréquence de rotation  $n$  en fonction de  $\langle i \rangle$ ,  $R$ ,  $k_1$ ,  $H_0$  et  $K_3$  est donnée ci-dessous.

$$n = n_0 - \frac{R \cdot \langle i \rangle}{k_1} \cdot \frac{1}{1 + H_0 \cdot K_3}$$

Calculer la valeur numérique de  $n$ .

3 Comparaison des résultats à vide et en charge.

3.1 Calculer l'écart des fréquences de rotation :  $\Delta n' = n_0 - n$ .

3.2 On rappelle que pour le moteur non asservi, cet écart s'écrit :  $\Delta n = \frac{R \cdot \langle i \rangle}{k_1}$ .

Comparer ces deux écarts et conclure sur l'intérêt du système asservi.

Figure 1 : Schéma fonctionnel du système asservi

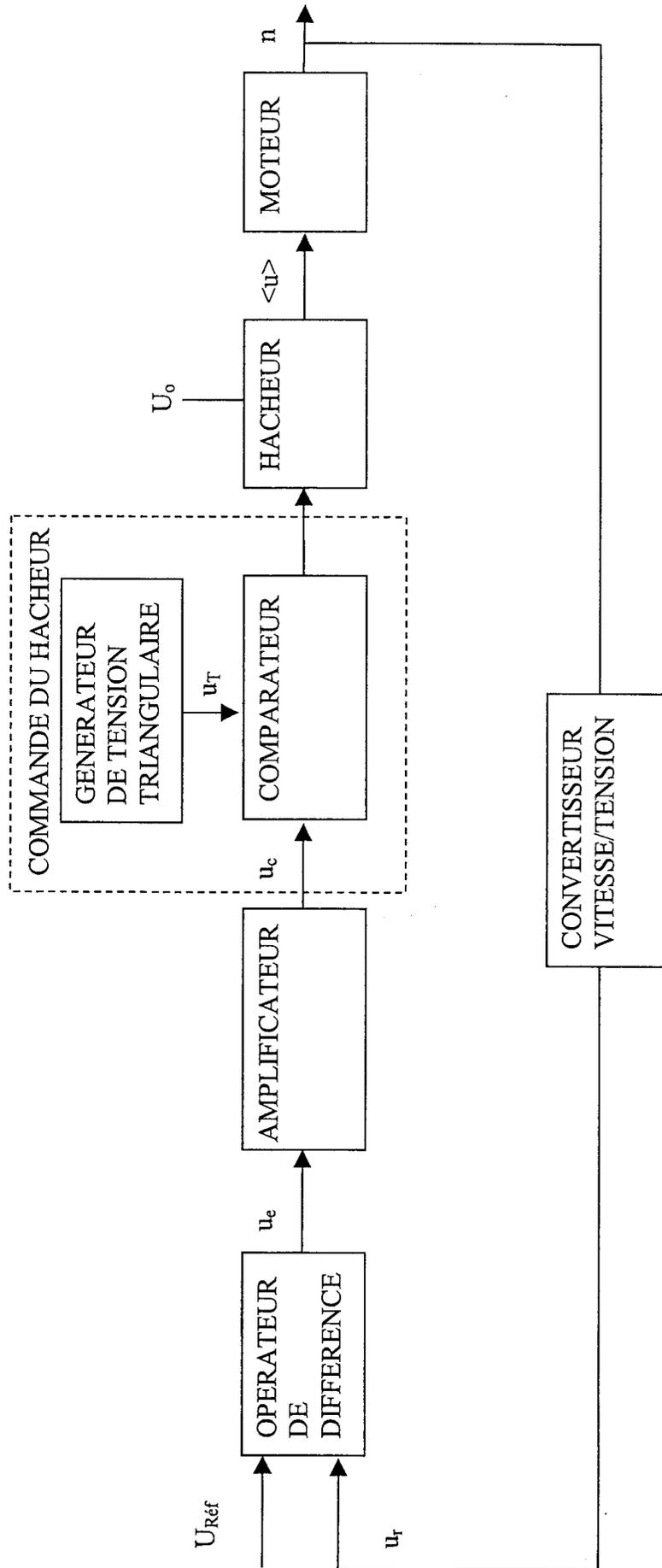


Figure 2 : Hacheur

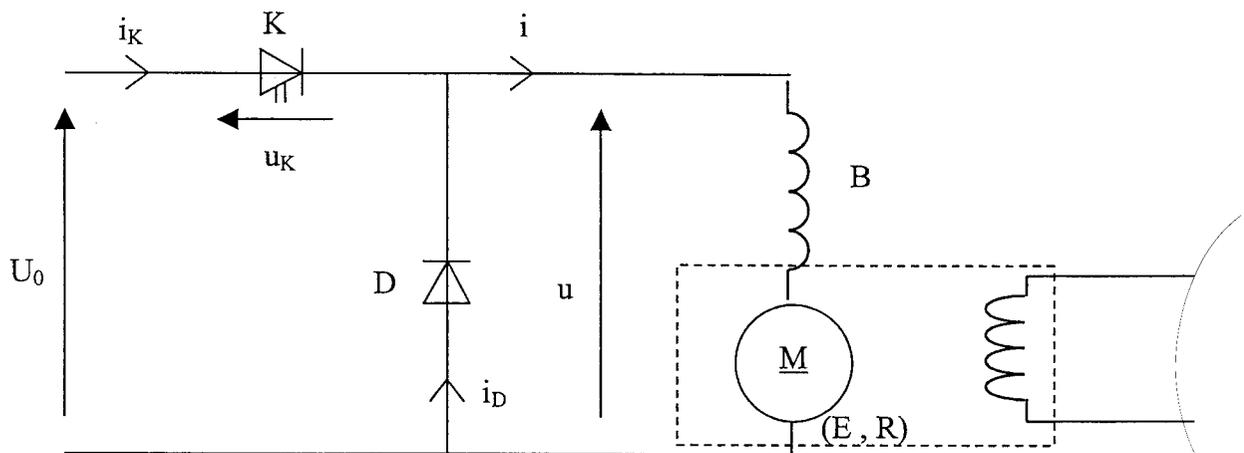


Figure 3 : Opérateur de différence

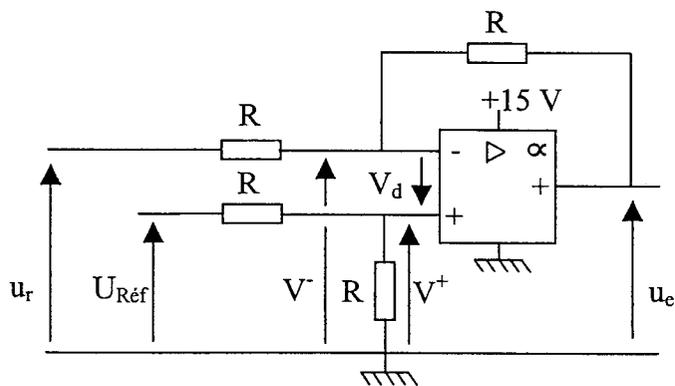


Figure 4 : Amplificateur

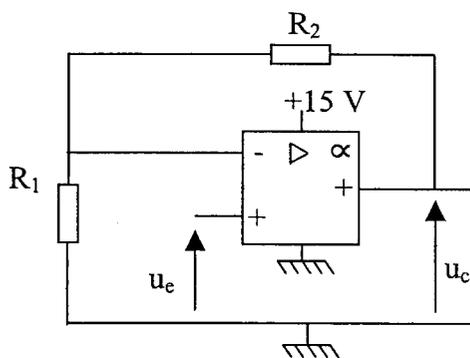


Figure 5 : Comparateur

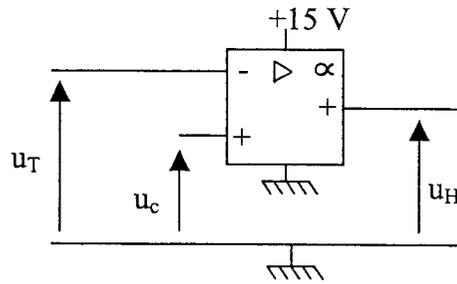
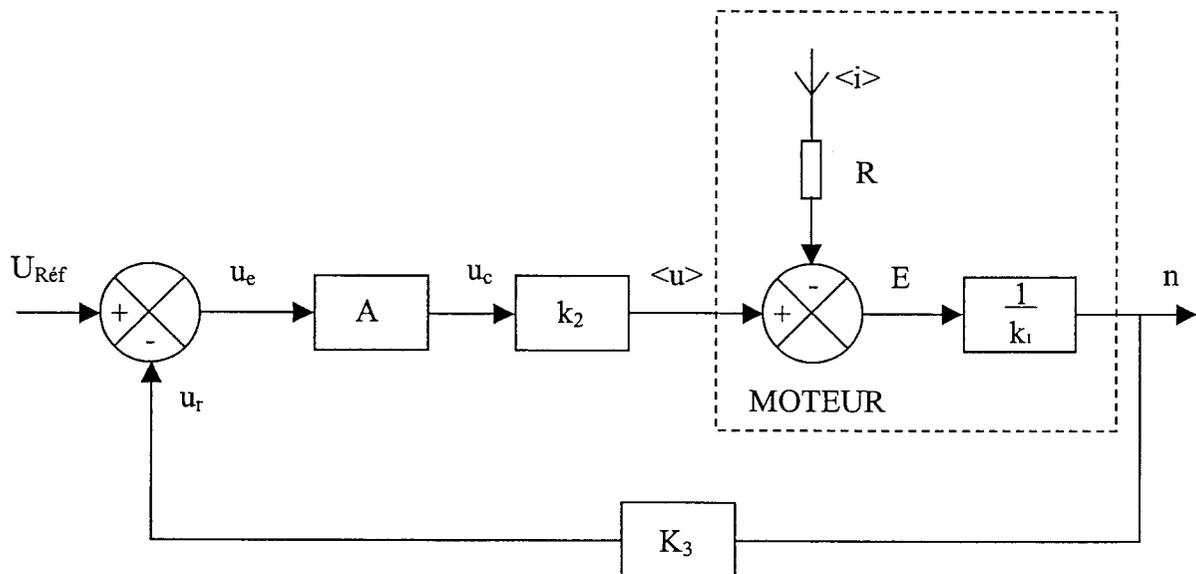
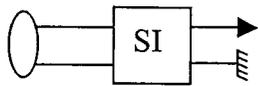
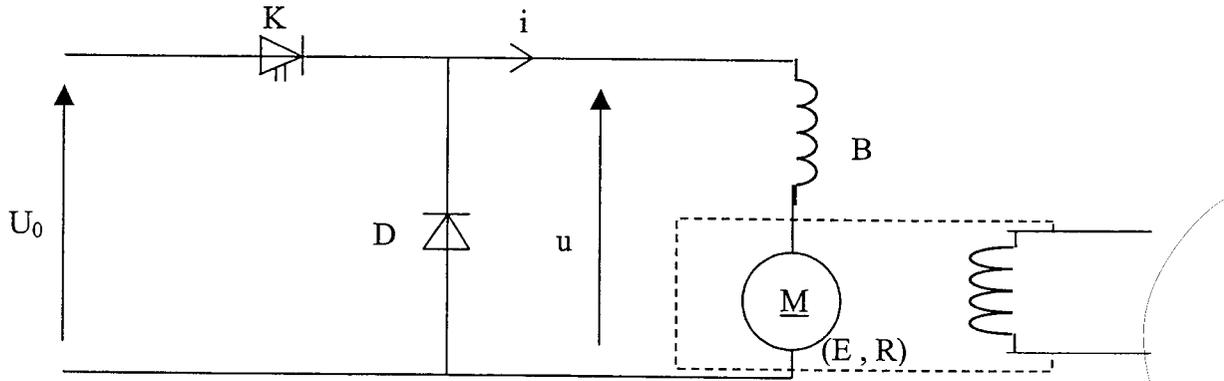


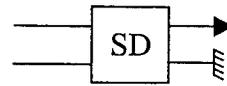
Figure 6 : Schéma unifilaire du système asservi



PARTIE B - question 2.3

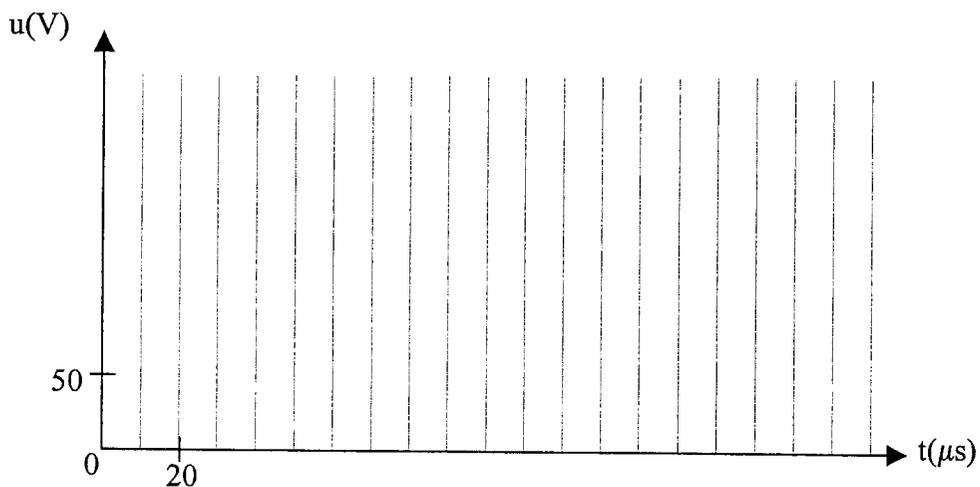
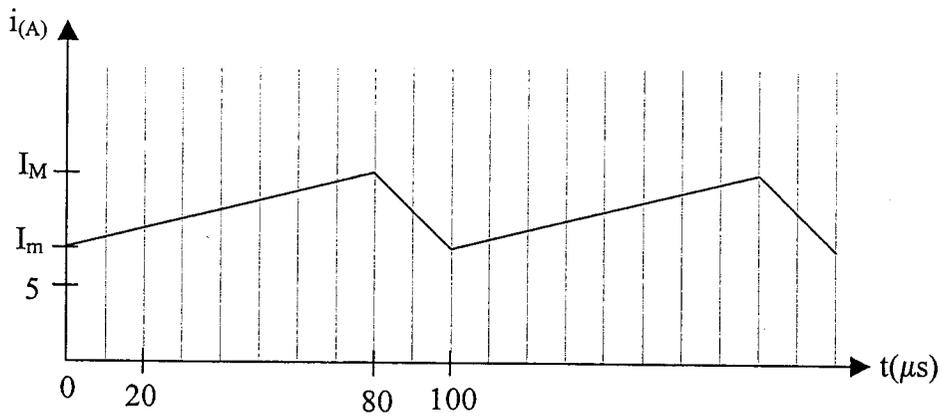


Sonde de courant



Sonde différentielle de tension

PARTIE B - question 2.4



PARTIE C – question 3.

