

BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

PHYSIQUE APPLIQUÉE

SESSION 2001

Série : Sciences et technologies industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée : 4 heures

Coefficient : 7

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Le sujet est composé de quatre parties pouvant être traitées de façon indépendante.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1 à 11 dont les documents réponses pages 7 ; 8 ; 9 ; 10 et 11 à rendre avec la copie.

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

1 cm représente 20 V

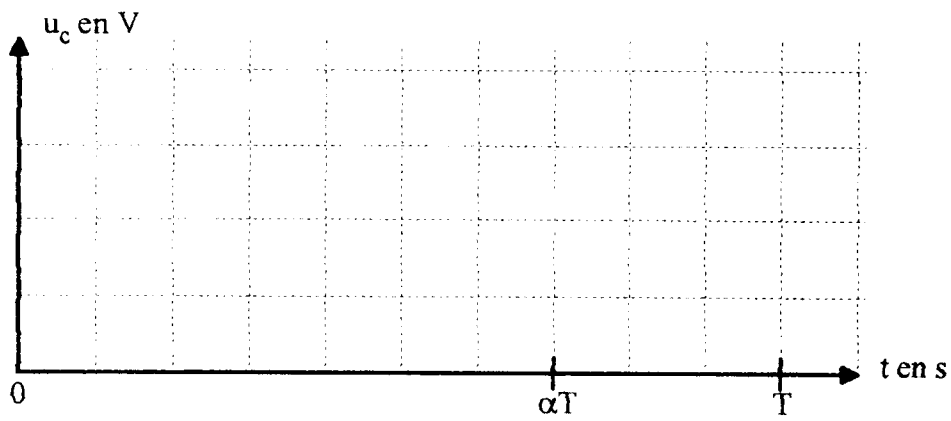


figure 7

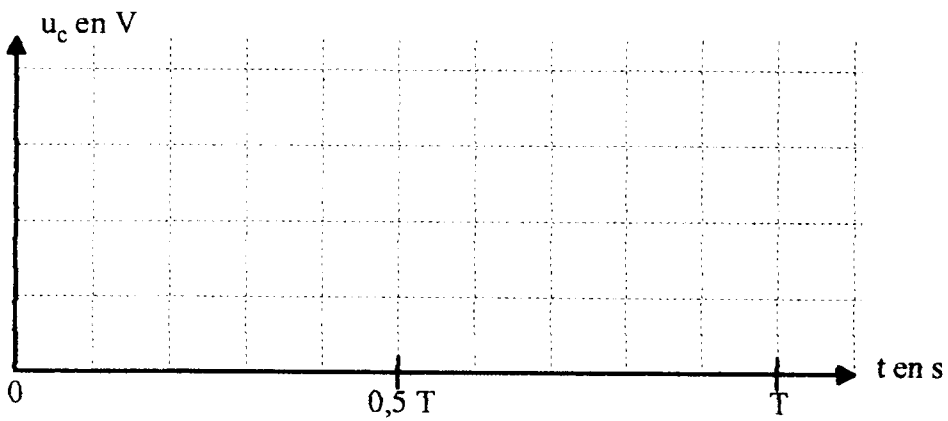


figure 8

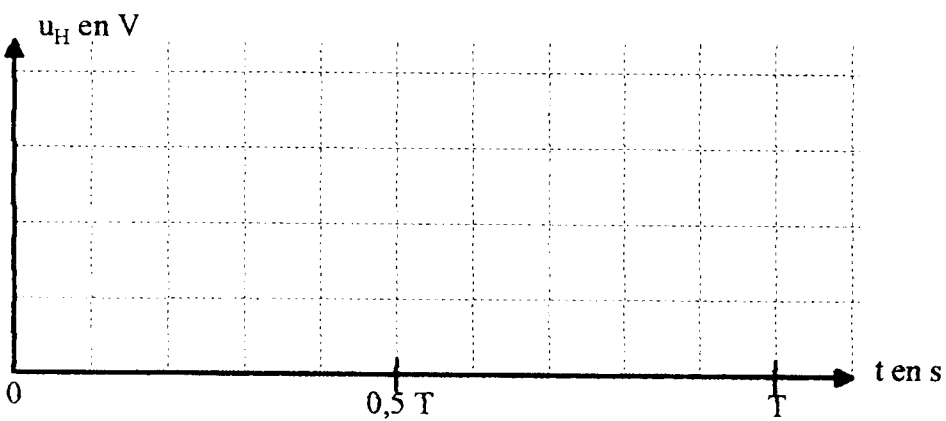


figure 9

1 cm représente 10 A

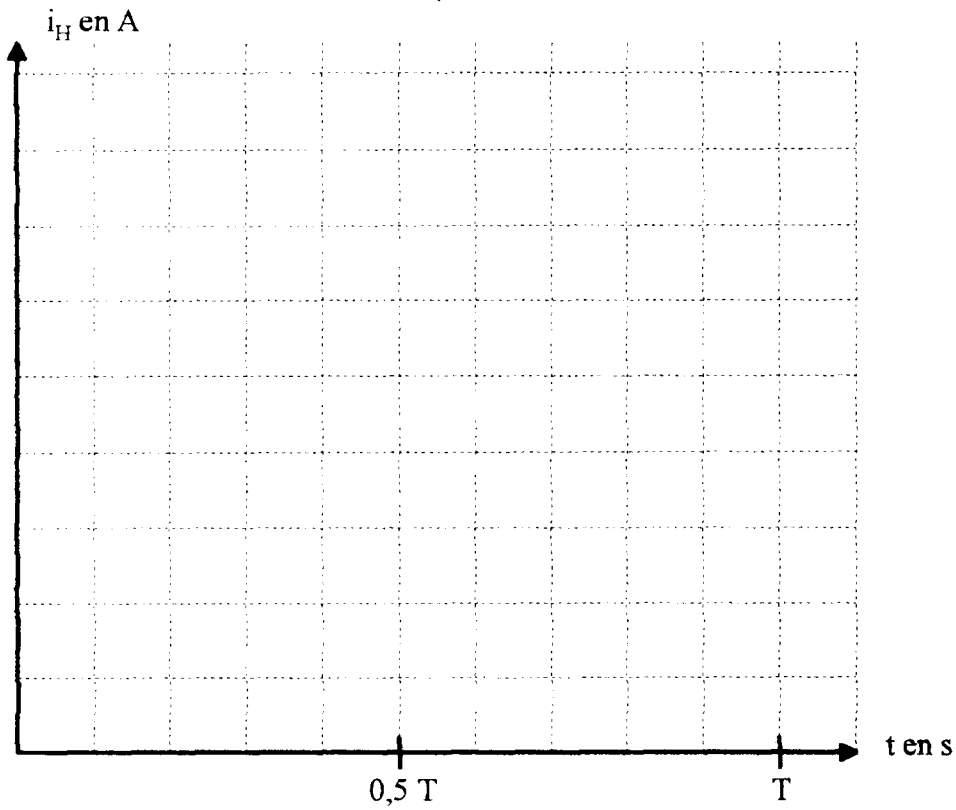


figure 10

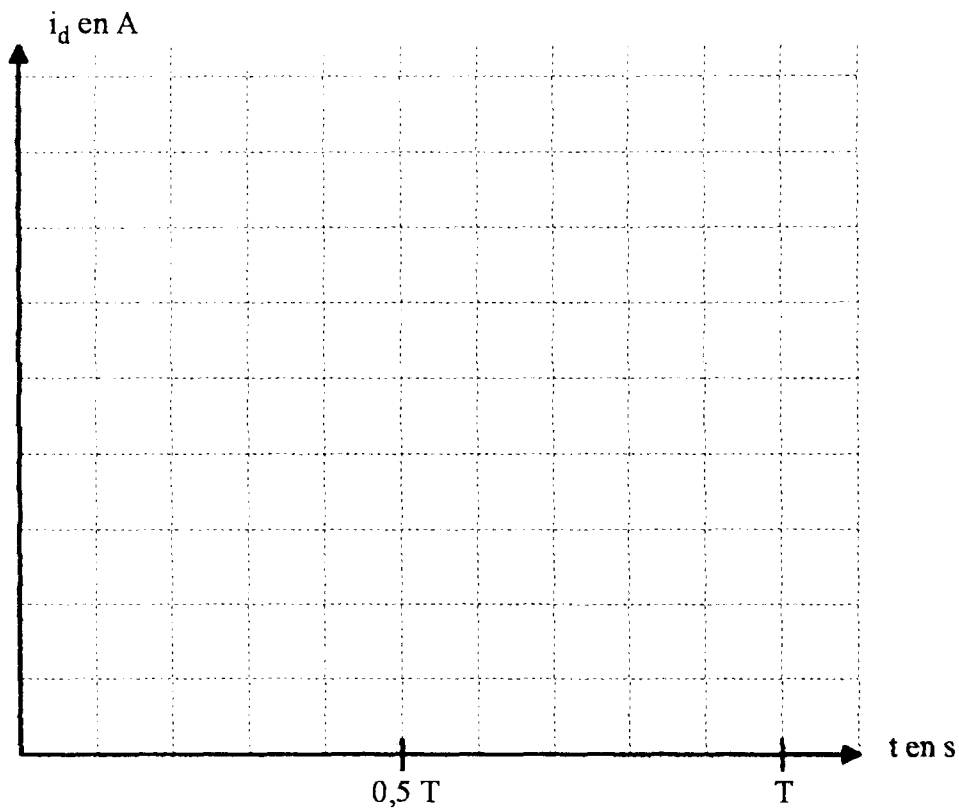


figure 11

Le sujet est composé de quatre parties pouvant être traitées de façon indépendante.

Dans le but de créer une école de pilotage pour adolescents, un club envisage d'acquérir une vingtaine de karts électriques. Les performances souhaitées pour chacun d'eux sont les suivantes :

- La vitesse maximale, limitée par construction sera de 45 km.h^{-1} .
- L'autonomie demandée en course sera de 30 min.
- Le poids des batteries, de l'électronique et du moteur ne doit pas dépasser 1,0 kN.

I. CHOIX DU MOTEUR

Compte tenu du poids d'un véhicule et de l'accélération désirée, la force de poussée \vec{F} aura un module $F = 500 \text{ N}$ pour une vitesse v de 45 km.h^{-1} dans un déplacement horizontal.

1. Calculer la puissance P_f fournie par la force de poussée au cours de son déplacement.
2. En admettant que le rendement de la transmission soit de 0,95, calculer la puissance P_m que doit fournir le moteur de traction pour obtenir cette puissance P_f .

II. ESSAIS DU MOTEUR AU LABORATOIRE

En fonction des contraintes précédentes, le moteur choisi est une machine à courant continu parfaitement compensée, à aimants permanents dont les caractéristiques nominales sont les suivantes :

- tension entre les bornes de l'induit $U_n = 72 \text{ V}$.
- intensité du courant dans l'induit $I_n = 110 \text{ A}$.
- fréquence de rotation $n_n = 3300 \text{ tr.min}^{-1}$.
- puissance utile $P_u = 7,5 \text{ kW}$.

La résistance de l'induit du moteur est $R = 0,025 \Omega$.

Afin de vérifier les caractéristiques du moteur, on effectue trois essais au laboratoire en alimentant le moteur par un pont complet à thyristors (figure 1 page 5). Pour les trois essais on admettra que le courant est parfaitement lissé par la bobine d'inductance L .

Dans cette étude on utilise le schéma équivalent de l'induit du moteur figure 2 page 5.

Les quatre parties du II sont indépendantes.

1. Essai du moteur à vide.

Dans cet essai on néglige la chute de tension aux bornes de la résistance de l'induit du moteur. On relève pour $U_0 = 69,2 \text{ V}$, $I_0 = 1,7 \text{ A}$ pour une fréquence de rotation de 3300 tr.min^{-1} .

- 1.1. Calculer la puissance p_c perdue par la machine.
- 1.2. Écrire la relation qui existe entre la f.é.m E du moteur (en volts) et la fréquence de rotation n (en tr.min^{-1}). Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme $E = k n$. Calculer la valeur de k .

2. Essai en charge nominale.

Le moteur est chargé par une génératrice et fonctionne dans les conditions nominales définies précédemment.

- 2.1. Calculer la valeur de la f.é.m E .
- 2.2. Calculer la puissance électromagnétique P_c et le moment du couple électromagnétique T_e .
- 2.3. Calculer le moment du couple utile T_u .
- 2.4. Calculer le moment T_p du couple de pertes. Vérifier que la valeur de T_p est compatible avec la puissance p_c calculée à la question 1.1.
- 2.5. Calculer la puissance absorbée P_a .
- 2.6. Calculer le rendement du moteur.

3. Essai sous tension variable.

Cet essai s'effectue à courant d'induit $I = 80 \text{ A}$. On donne $E = 0,021 n$ (avec E en volts et n en tr.min^{-1}).

- 3.1. Établir la relation entre la fréquence de rotation n (en tr.min^{-1}) et la tension U entre les bornes de l'induit pour la valeur de I donnée. Tracer le graphe de n en fonction de U figure 1 sur la feuille réponse 1 page 7.
- 3.2. En déduire la tension de démarrage du moteur.

4. Étude du pont redresseur.

On admet que le courant d'intensité $i_c(t)$ est parfaitement lissé avec $i_c(t) = \bar{i}_c = 80 \text{ A}$. Soit θ_0 l'angle de retard à l'amorçage, en degrés. Les thyristors Th_1 et Th_4 sont amorcés à θ_0 , les thyristors Th_2 et Th_3 sont amorcés à $\theta_0 + 180^\circ$. Le secondaire du transformateur fournit une tension $v(t)$ telle que $v = \hat{V} \sin(100\pi t)$, avec $\hat{V} = 92\sqrt{2}$ volts.

- 4.1. Établir la relation littérale liant $u_c(t)$, $u_L(t)$ et $u_m(t)$.
- 4.2. Établir la relation littérale entre les valeurs moyennes de ces tensions sachant que la tension moyenne aux bornes de la bobine est nulle.
- 4.3. En déduire l'expression de la valeur moyenne \bar{u}_m de $u_m(t)$ sachant que $\bar{u}_c = \frac{2\hat{V}}{\pi} \cos \theta_0$.
- 4.4. Pour $\bar{u}_m = 72 \text{ V}$, calculer la valeur de l'angle de retard à l'amorçage θ_0 .
- 4.5. Pour $\theta_0 = 30^\circ$, tracer le graphe de $u_c(t)$ sur la figure 2 de la feuille réponse n°2 page 8. Indiquer les intervalles de conduction des thyristors sur la figure 3 page 8.
- 4.6. On relève en même temps l'image des intensités $i_1(t)$ et $i_3(t)$ à l'aide de résistors de résistances $0,10 \Omega$. Placer ces résistors sur le schéma figure 4 page 8 et indiquer les connexions sur un oscilloscope non différentiel. La voie 2 possède une touche d'inversion. Représenter, en justifiant les tracés, les images de ces deux intensités sur les figures 5 et 6 page 9 de la feuille-réponse n° 3, le calibre en tension sur chaque voie étant de 1 V/div et la base de temps 2 ms/div . On suppose pour cela que l'oscilloscope est synchronisé sur la tension $v(t)$: le balayage débute lorsque $v(t)$ passe par 0 et devient positive.

III. ÉTUDE DU HACHEUR ASSOCIÉ AUX BATTERIES ET AU MOTEUR, FONCTIONNEMENT DU KART.

Le schéma de principe est donné figure 3 page 5. Les composants H et D sont supposés parfaits.

On néglige la résistance R de l'induit. On rappelle que $E = 0,021 n$ (avec E en volts et n en tr.min^{-1}). La tension entre les bornes de l'ensemble des batteries U_{bat} vaut 72 V. L'inductance interne du moteur est $L_m = 90 \mu\text{H}$. La valeur moyenne \bar{u}_{L_m} de la tension $u_{L_m}(t)$ est nulle. On suppose une ondulation crête de $i_c(t)$ de 10 A autour de la valeur moyenne $\bar{i}_c = 80$ A. Le hacheur fonctionne dans les conditions suivantes :

$0 < t < \alpha T$: H fermé,

$\alpha T < t < T$: H ouvert,

α désignant le rapport cyclique avec $0 \leq \alpha \leq 1$.

1. Écrire la relation liant U_{bat} , u_H et u_c , puis la relation liant i_H , i_d et i_c . En déduire les valeurs de u_H , u_c , i_H et i_d quand le hacheur est fermé et quand le hacheur est ouvert en justifiant les réponses.
2. Pour la valeur de α donnée sur la figure 7 page 10 de la feuille-réponse n° 4, tracer l'allure de $u_c(t)$ sur la figure 7 page 10. En déduire la relation littérale (sans valeur numérique) liant \bar{u}_c , α et U_{bat} .
3. Pour $\alpha = 0,5$ calculer \bar{u}_c . En justifiant la réponse, calculer la valeur de E puis celle de n correspondantes.
4. Pour $\alpha = 0,5$ tracer les graphes de $u_c(t)$ et $u_H(t)$ sur les figures 8 et 9 page 10 de la feuille-réponse n° 4, tracer les graphes de $i_d(t)$ et $i_H(t)$ sur les figures 10 et 11 page 11 de la feuille-réponse n° 5, $i_c(t)$ étant donné figure 4 page 5.
5. Pour $\alpha = 0,5$, calculer la puissance moyenne absorbée par le moteur.
6. Écrire la relation entre les tensions $u_c(t)$, $u_{L_m}(t)$ et E . En déduire la valeur de $u_{L_m}(t)$ de 0 à αT .
7. Déduire du résultat précédent et de la relation $u_{L_m}(t) = L_m \frac{\Delta i_c(t)}{\Delta t}$ la durée de la demi période du hacheur (on rappelle que $\alpha = 0,5$, $\Delta i_c(t) = 10$ A et $L_m = 90 \mu\text{H}$). En déduire la fréquence du hacheur.

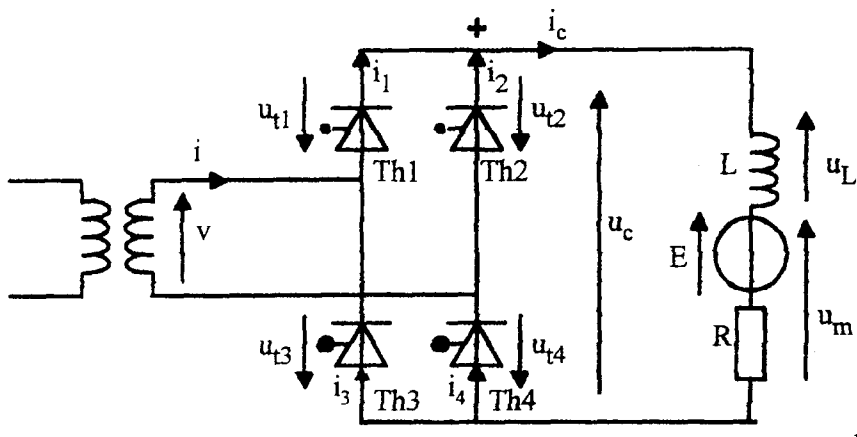
IV. ÉTUDE DU CONTRÔLE DU COURANT DANS LE HACHEUR.

Le pilote dispose d'un accélérateur électronique délivrant une tension u_a comprise entre 0 et 11 V. Cette tension est l'image de l'intensité moyenne du courant que l'on souhaite avoir dans le moteur, avec la correspondance : $1 \text{ V} \Leftrightarrow 10 \text{ A}$.

Le schéma de principe de la commande du hacheur est donnée sur la figure 5 de la page 6. Le trigger est un comparateur à deux seuils.

Sur la figure 4 page 5 est représentée l'évolution de l'intensité du courant dans le moteur.

1. La consigne du courant moyen étant de 80A, calculer dans ce cas la tension u_a délivrée par l'accélérateur électronique.
2. u_r est l'image de l'intensité réelle dans le moteur. Préciser entre quelles valeurs évolue la tension u_r dans le cas de la figure 4 page 5. La correspondance est toujours $1 \text{ V} \Leftrightarrow 10 \text{ A}$.
3. Le montage électronique réalisant cette fonction est représenté figure 6 page 6, dans lequel l'amplificateur opérationnel est alimenté entre -15 V et 15 V .
 - 3.1. Établir la relation donnant i_1 en fonction de x_{er} , R_1 et ε .
 - 3.2. Établir la relation donnant i_2 en fonction de v_s , R_2 et ε .
 - 3.3. L'amplificateur opérationnel étant supposé parfait, écrire la relation liant i_1 et i_2 . En déduire l'expression de ε en fonction de x_{er} , v_s , R_1 et R_2 .
 - 3.4. Sachant que lorsque ε passe par 0 pour $x_{\text{er}} = 0,5 \text{ V}$ la sortie passe à -15 V , calculer la valeur à donner à R_2 sachant que $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$.



pont complet PD2
figure 1

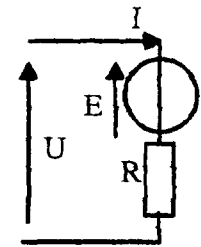


schéma équivalent de l'induit du moteur
figure 2

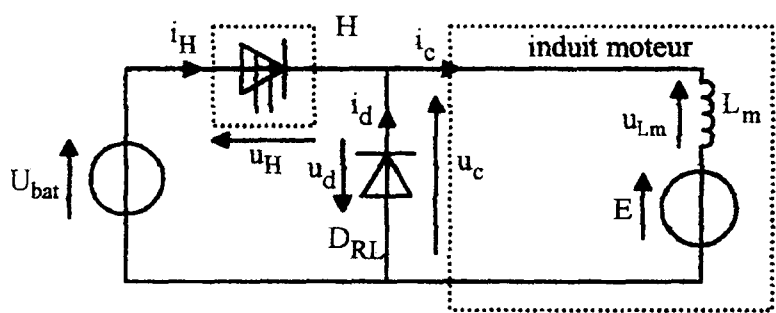
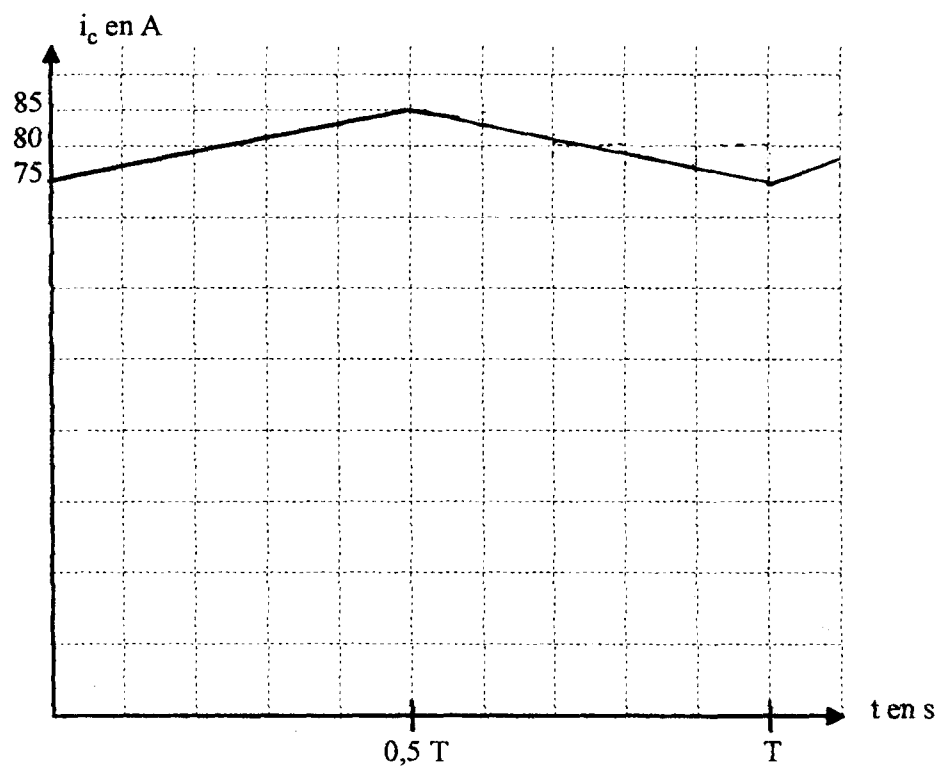


schéma de principe du hacheur
figure 3



évolution de $i_c(t)$
figure 4

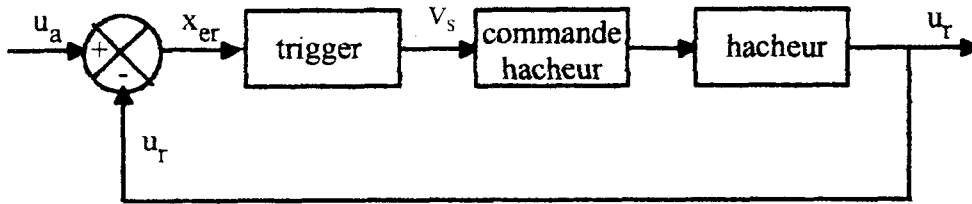
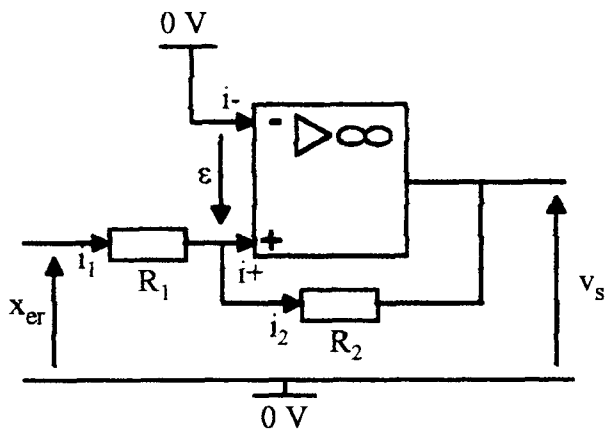


schéma de principe de la commande du hacheur
figure 5



montage trigger
figure 6

Feuille réponse n°1 à joindre à la copie

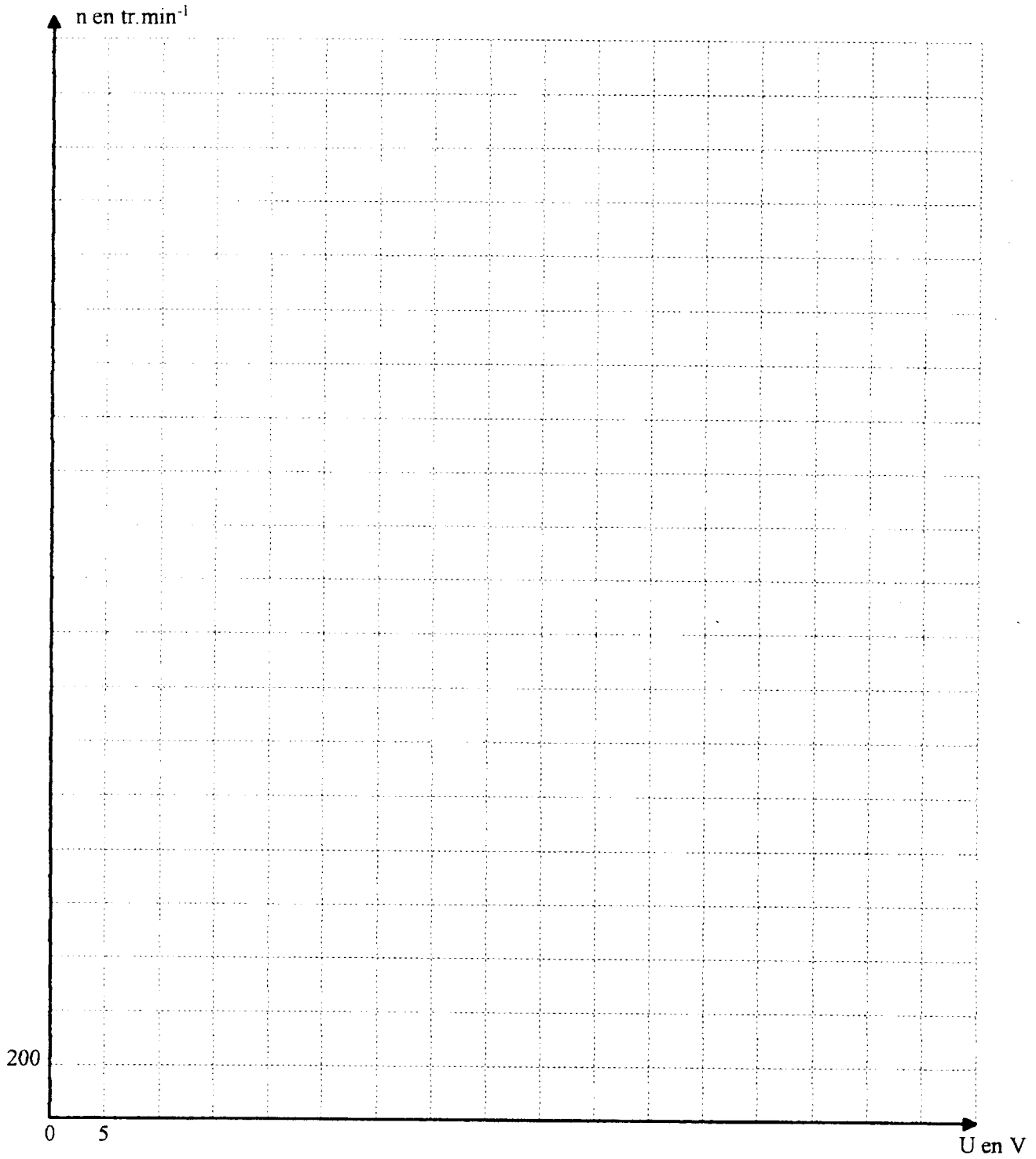


figure 1

Feuille réponse n°2 à joindre à la copie
 Pour faciliter la réponse la période à été dessinée sur 12 carreaux

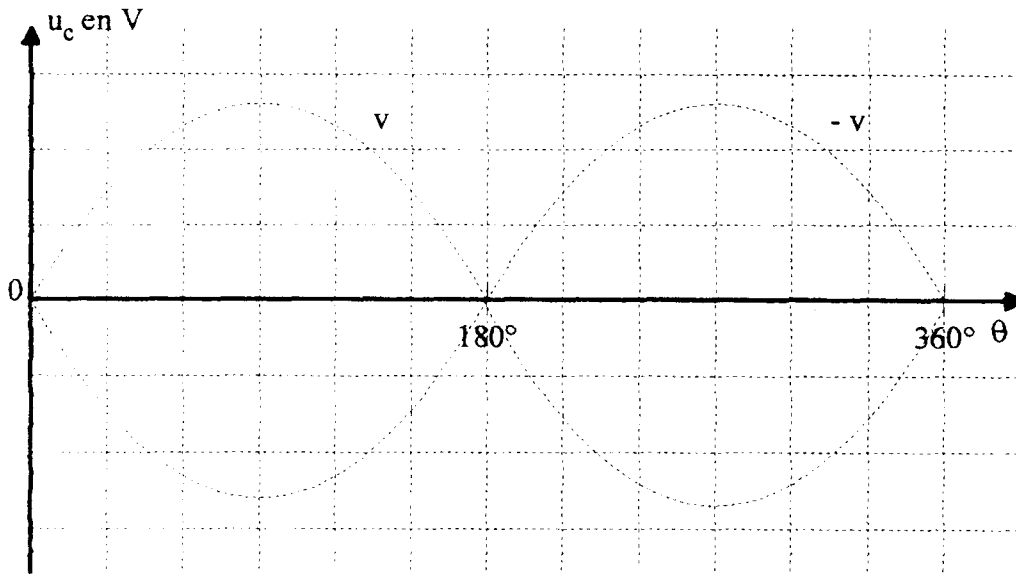


figure 2

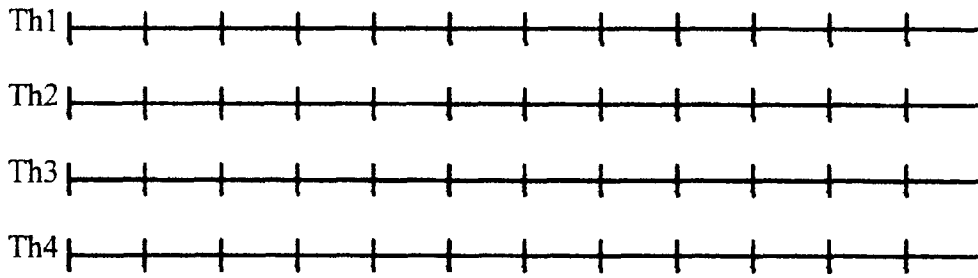


figure 3

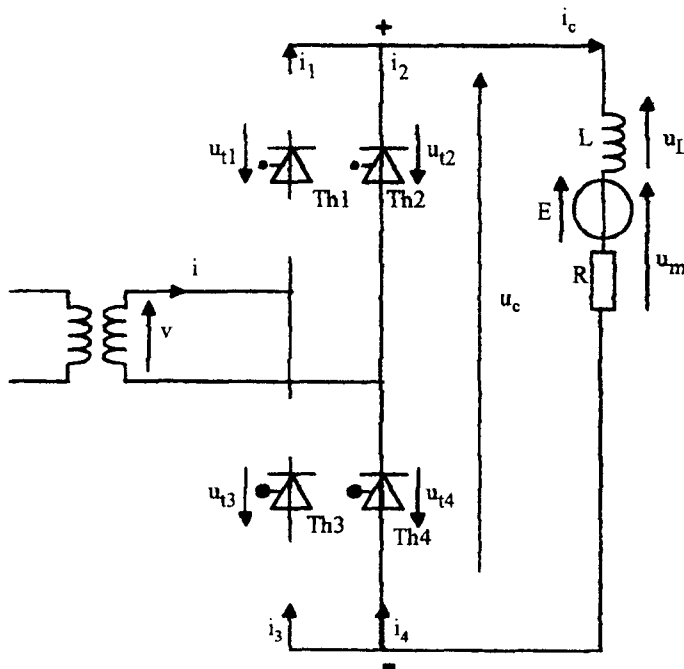


figure 4

Feuille réponse n°3 à joindre à la copie

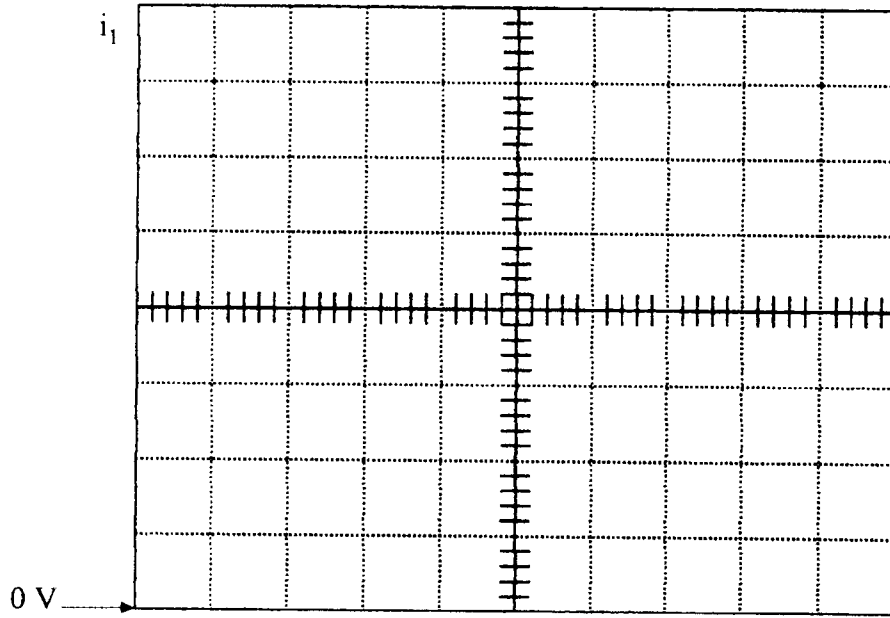


figure 5

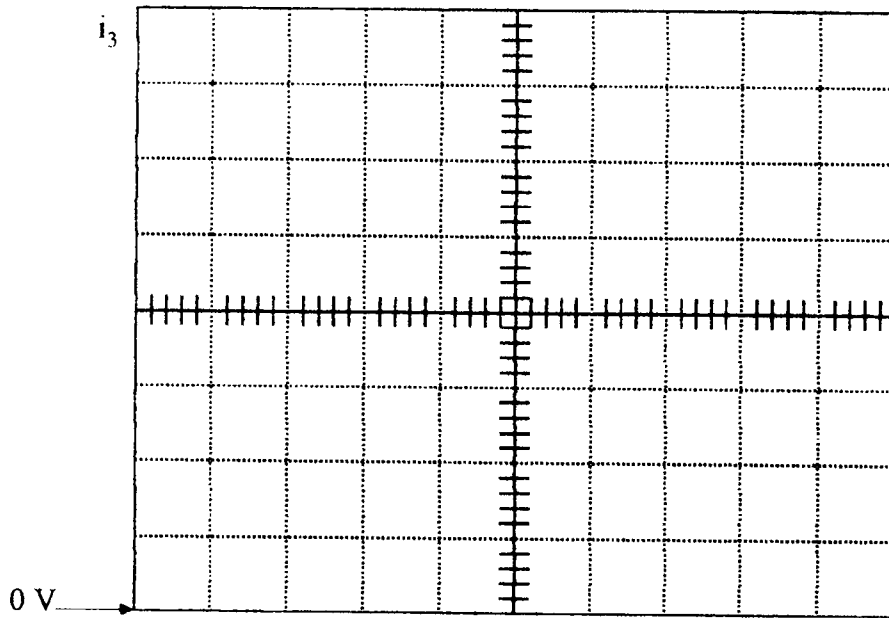


figure 6