

BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2005

Physique appliquée

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.***

DOCUMENTS REPONSES A REMETTRE AVEC LA COPIE : pages 10/13, 11/13, 12/13 et 13/13

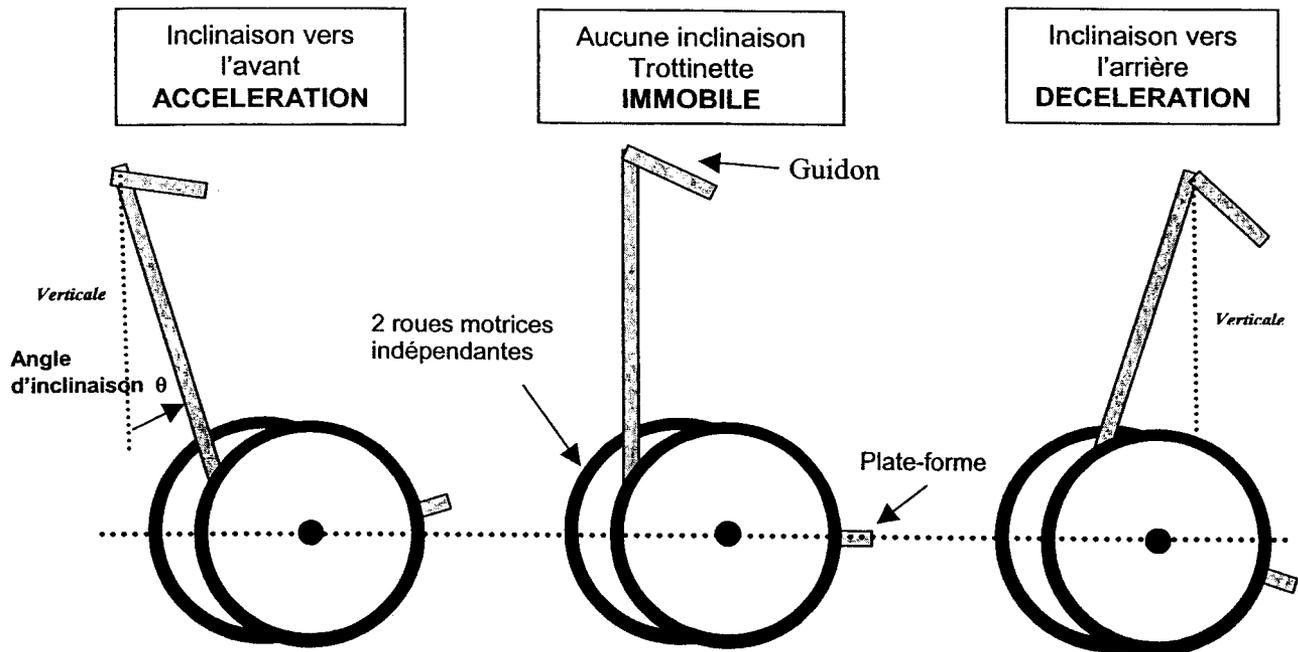
Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

(On notera précisément toutes les numérotations des questions)

On se propose d'étudier les différents éléments entrant dans la constitution d'une trottinette électrique à balancement.

Celle-ci est constituée de deux roues parallèles indépendantes et le déplacement du corps vers l'avant permet d'accélérer ou de ralentir le véhicule.

L'énergie électrique nécessaire est assurée par des batteries Nickel Métal Hydrure qu'il sera nécessaire de recharger régulièrement.



Les différentes parties du système sont les suivantes :

- Capteur d'inclinaison et mise en forme du signal (Fonction électronique : Partie A).
- Commande des moteurs des roues (Partie B).
- Etude d'un des deux moteurs (Moteur à courant continu : Partie C).
- Dispositif de recharge des batteries (Convertisseur alternatif / continu : Partie D).

L'équilibre de l'ensemble, le changement de direction et la décélération sont assurés par d'autres organes, non étudiés dans le sujet.

Les différentes parties du problème sont indépendantes.

PARTIE A : Capteur d'inclinaison et mise en forme du signal

Les amplificateurs opérationnels (AOP) de cette partie sont alimentés en $\pm V_{CC}$.

Ils sont considérés parfaits. Les tensions de saturation sont :

$$V_{sat+} \approx V_{CC} = 15 \text{ V et } V_{sat-} \approx -V_{CC} = -15 \text{ V}$$

1. Première fonction (voir figure 1 page 8/13)

Le capteur d'inclinaison délivre une tension continue V proportionnelle à l'angle θ existant entre la verticale et le tube de maintien du guidon :

$$V = 15 \times 10^{-3} \theta \text{ (V en volt et } \theta \text{ en degré)}$$

Lors d'une phase d'accélération, l'angle d'inclinaison θ peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 20 degrés.

1.1. Calculer les valeurs limites de la tension V .

1.2. Cette tension V est appliquée à l'entrée du montage représenté sur la figure 1 page 8/13. L'AOP 1 fonctionne en régime linéaire.

Montrer que la relation liant la tension V_{S1} à la tension V et aux résistances R_1 et R_2 a pour expression :

$$V_{S1} = V (1 + R_2/R_1)$$

1.3. On souhaite obtenir une tension $V_{S1} = 1 \text{ V}$ lorsque l'angle d'inclinaison a pour valeur 1 degré. Calculer la valeur de la résistance R_2 sachant que $R_1 = 10,0 \text{ k}\Omega$.

1.4. Quel est le nom de la fonction réalisée par cette partie du montage de la figure 1 ?

2. Deuxième fonction (voir figure 1 page 8/13)

La tension V_{S1} est appliquée à l'entrée non inverseuse du deuxième amplificateur opérationnel (AOP2).

2.1. L'amplificateur opérationnel AOP2 fonctionne-t-il en régime linéaire ? Pourquoi ?

Quelles sont les valeurs possibles pour la tension de sortie v_{S2} ?

2.2. Une tension v_T est appliquée à l'entrée inverseuse de l'AOP2.

Exprimer la tension différentielle v_d en fonction de v_T et V_{S1} .

En déduire la condition entre v_T et V_{S1} pour laquelle la tension de sortie $v_{S2} = +15 \text{ V}$.

2.3. La tension v_T est de forme triangulaire ; elle évolue entre 0 et 8 V.

Compléter le *document réponse N°1* page 10/13 en représentant la tension de sortie v_{S2} lorsque l'angle d'inclinaison a pour valeur $\theta = 6$ degrés (c'est-à-dire $V_{S1} = 6 \text{ V}$).

2.4. Quelle est la fonction réalisée par l'AOP2 ?

PARTIE B : Commande des moteurs des roues **(Convertisseur continu / Continu)**

Le dispositif utilisé est représenté sur *la figure 2 page 8/13*. Il comprend :

- une source de tension continue de valeur $E = 21 \text{ V}$;
- un interrupteur unidirectionnel commandé H supposé parfait ;
- une diode D supposée parfaite ;
- une bobine d'inductance L et de résistance négligeable.

Ce dispositif alimente l'un des deux moteurs à courant continu de la trottinette.

Ce moteur, à excitation indépendante, fonctionne à flux magnétique constant.

L'interrupteur H est commandé à partir de la tension v_{S2} .

On considère que sur une période T :

- l'interrupteur est fermé lorsque $v_{S2} = 15 \text{ V}$ soit pour $t \in [0 ; \alpha T]$
 - l'interrupteur est ouvert lorsque $v_{S2} = - 15 \text{ V}$ soit pour $t \in [\alpha T ; T]$
- (α étant le rapport cyclique de la tension de commande)

1. Donner le nom de ce convertisseur.

2. Préciser le rôle de la bobine d'inductance L placée en série avec le moteur.

3. On visualise, à l'oscilloscope, une tension image de l'intensité du courant circulant dans le moteur en utilisant une sonde de courant (*figure 3 du document réponse page 11/13*).

a – Déterminer la valeur du rapport cyclique α .

b – Déterminer la valeur de la fréquence f de hachage.

c – Représenter en concordance de temps (*document réponse N°2 et N°3 page 11/13*) :

- la tension $u_c(t)$ aux bornes de l'ensemble moteur + bobine ;
- l'intensité $i_H(t)$ du courant traversant l'interrupteur H (on utilise la même sonde de courant que précédemment).

4. Donner l'expression de la valeur moyenne $\langle u_c(t) \rangle$ de la tension $u_c(t)$ en fonction de E et de α . Calculer la valeur numérique de $\langle u_c(t) \rangle$.

5. Quelle est la valeur moyenne de la tension aux bornes de la bobine placée en série avec le moteur ? En déduire la valeur moyenne $\langle u_m(t) \rangle$ de la tension $u_m(t)$ aux bornes du moteur.

6. Que se passe-t-il si le rapport cyclique α augmente ? Comment réagit alors le moteur (on considère que la charge entraînée exerce un couple résistant de moment constant) ?

7. Afin de diminuer l'ondulation du courant, il est possible de modifier deux paramètres du montage sans modifier ni le rapport cyclique α , ni la tension E de la source.

En observant la *figure N°4 page 9/13*, déterminer le paramètre ayant été modifié.

PARTIE C : Etude du moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est celui commandé par le dispositif de la partie B

INDICATIONS PORTEES SUR LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE DU MOTEUR A EXCITATION INDEPENDANTE

INDUIT	INDUCTEUR
Tension d'induit nominale : $U_N = 21,5 \text{ V}$	Tension d'excitation nominale : $U_{exN} = 21,5 \text{ V}$
Intensité nominale du courant de l'induit : $I_N = 75 \text{ A}$	Intensité nominale du courant d'excitation :
Fréquence nominale de rotation : $n_N = 1500 \text{ tr/min}$	$I_{exN} = 5 \text{ A}$

Afin de vérifier les données du constructeur et d'optimiser le fonctionnement du moteur, on réalise différentes expériences en laboratoire.

1. Essai préliminaire permettant le tracé de la caractéristique $E(I_{ex})$

La machine fonctionne en génératrice. On effectue un essai à vide afin de relever la caractéristique à vide $E(I_{ex})$ pour la fréquence nominale de rotation (E étant la force électromotrice de la machine). On obtient la courbe représentée sur la *figure N°5 page 9/13*. Cette courbe présente une zone dans laquelle la force électromotrice (f.e.m.) augmente de façon linéaire en fonction de l'intensité du courant d'excitation puis une zone dans laquelle la f.e.m. n'augmente quasiment plus. Justifier ce phénomène en rappelant l'expression de la f.e.m. en fonction du flux magnétique (sous un pôle).

2. ETUDE DE LA MACHINE EN LABORATOIRE : FONCTIONNEMENT EN MOTEUR

La résistance d'induit vaut $R = 20 \text{ m}\Omega$. On supposera que l'intensité du courant d'excitation et la tension d'excitation sont constantes et égales à leur valeur nominale.

2.1. On réalise un essai à vide de ce moteur sous tension d'induit nominale afin de déterminer la valeur des pertes collectives. L'intensité du courant traversant l'induit du moteur a alors pour valeur $I_0 = 6,0 \text{ A}$.

2.1.1. Déterminer la puissance reçue par l'induit du moteur lors de cet essai.

2.1.2. Calculer la valeur des pertes par effet Joule dans l'induit du moteur.

2.1.3. En déduire la valeur de la puissance électromagnétique.

2.1.4. Montrer que cette valeur correspond aux pertes collectives p_c du moteur. Une justification est attendue.

Dans la suite du problème, ces pertes seront supposées constantes.

2.2. On réalise un essai en charge sous tension nominale. L'intensité du courant traversant l'induit du moteur a pour valeur $I_N = 75 \text{ A}$ et la fréquence de rotation $n_N = 1500 \text{ tr/min}$.

2.2.1. Calculer la **puissance totale** reçue par le moteur.

2.2.2. Calculer la valeur de la f.e.m. E et montrer que, quel que soit le régime de fonctionnement à flux constant, elle peut s'exprimer sous la forme :

$$E = 13,3 \times 10^{-3} n \quad (\text{avec } E \text{ en volts et } n \text{ en tours par minute}).$$

2.2.3. Calculer la valeur des pertes par effet Joule dans l'induit.

2.2.4. En déduire la valeur de la puissance utile du moteur.

2.2.5. Calculer son rendement.

2.3. Afin de modifier la vitesse de déplacement de la trottinette, on modifie la tension d'alimentation de l'induit. On suppose que l'intensité du courant traversant l'induit conserve sa valeur nominale.

2.3.1. Montrer qu'il est possible d'exprimer la fréquence de rotation n du moteur en fonction de la tension d'induit U par la relation :

$$n = 75U - 113 \quad (\text{avec } U \text{ en volts et } n \text{ en tours par minute}).$$

2.3.2. Représenter le graphe de cette fonction sur le *document réponse N°4 page 12/13* et donner la tension minimale U_d qui permet de démarrer.

2.3.3. Le moteur est commandé par un hacheur série. La tension d'induit U du moteur, utilisée précédemment, est égale à la valeur moyenne de la tension de sortie du hacheur. Elle a pour expression $U = 21\alpha$, α étant le rapport cyclique de la tension délivrée par le hacheur.

Quelle est la valeur minimale du rapport cyclique α_{mini} qui permet de démarrer le moteur (donc le véhicule) ?

2.3.4. Pour quelle valeur du rapport cyclique α obtient-on la fréquence de rotation maximale du moteur ? Déterminer cette fréquence.

PARTIE D : Dispositif de recharge des batteries (Convertisseur alternatif /continu)

On souhaite recharger les batteries de la trottinette à partir de la tension monophasée du secteur 230 V/50 Hz. L'ensemble des batteries admet comme modèle une source de tension E_B en série avec une résistance $r = 0,18 \Omega$.

1. Préciser le nom du dispositif utilisé pour abaisser la tension sinusoïdale de valeur efficace 230 V en une tension sinusoïdale de valeur efficace 45 V.

2. Le convertisseur alternatif/continu comporte, entre autre, deux thyristors Th1 et Th2.

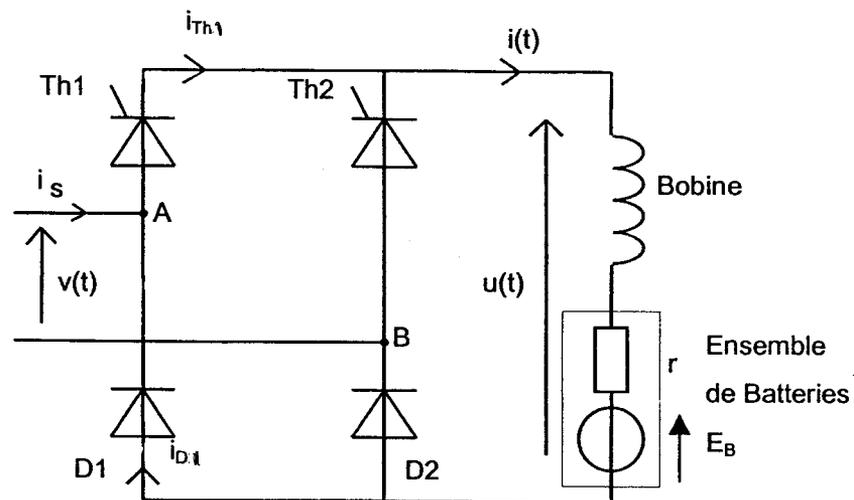
Sur le document réponse N°5 *page 12/13*, cocher la figure qui indique correctement les différentes bornes de ce composant.

3. Afin de tester le bon fonctionnement de ce composant, on réalise le montage donné sur le document réponse N°6 *page 12/13*. Cocher les bonnes réponses parmi celles proposées.

4. On réalise le montage suivant *figure N°10* ci-après.

Les thyristors et les diodes sont supposés parfaits (tension nulle à leurs bornes lorsqu'ils sont passants).

Figure 10



La tension à l'entrée du pont a pour expression instantanée : $v(t) = 45\sqrt{2} \sin 314t$.

La commande des thyristors est synchronisée sur le réseau, avec un retard à l'amorçage t_0 par rapport à la conduction naturelle des diodes.

L'inductance L de la bobine (supposée parfaite) est suffisamment importante pour que l'ondulation de l'intensité $i(t)$ du courant soit négligée.

On peut alors écrire : $i(t) \approx I = \text{constante}$.

4.1. On relève la tension $u(t)$ aux bornes de l'ensemble {bobine + batteries} et l'image de l'intensité $i(t)$ du courant dans la charge à l'aide d'une sonde de courant (calibre 1V/A). Le document réponse N°7 page 13/13 représente les chronogrammes de ces grandeurs.

4.1.1. Déterminer la valeur t_0 du retard à l'amorçage.

4.1.2. Déterminer la valeur de I .

4.2. Compléter le document réponse N°7 page 13/13 en représentant les images des intensités $i_{D1}(t)$, $i_{Th1}(t)$ et $i_s(t)$ des courants respectivement dans la diode D1, le thyristor Th1 et à l'entrée du pont, en supposant que la sonde de courant conserve à chaque fois le même calibre.

4.3. La valeur moyenne de la tension $u(t)$ aux bornes de la charge ayant pour expression

$$\langle u(t) \rangle = \frac{\hat{V}}{\pi} (1 + \cos 314t_0), \text{ calculer sa valeur.}$$

4.4.

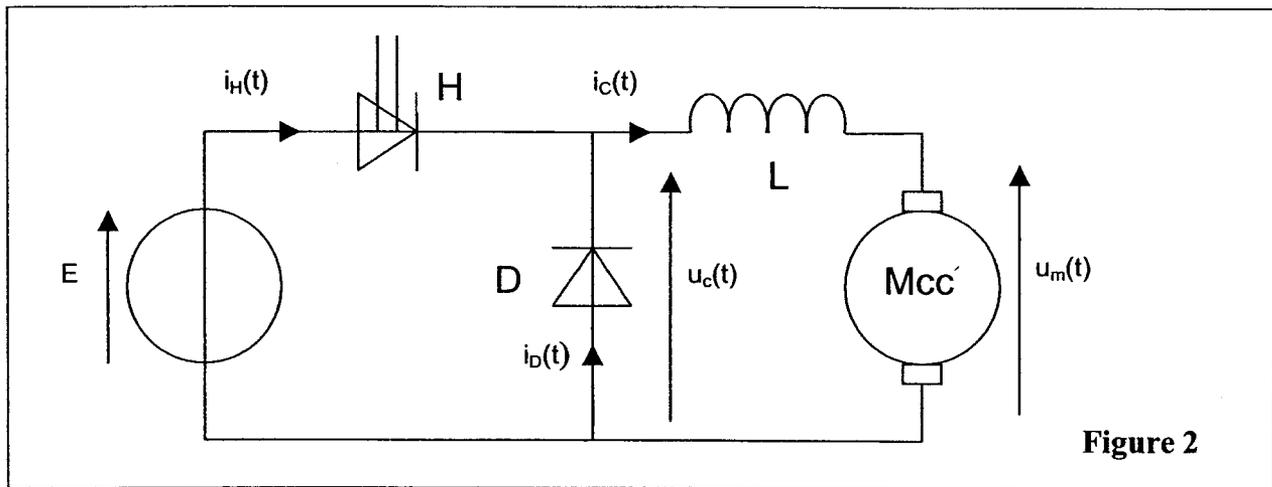
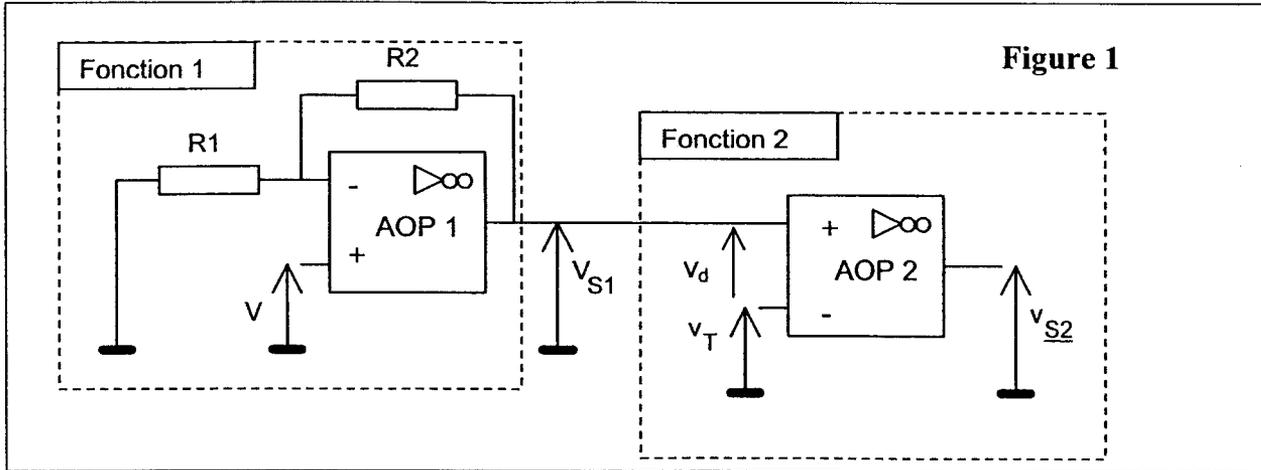
4.4.1. Donner une relation liant l'intensité $i(t)$ à la tension $u(t)$ et les grandeurs E_B , r , L .

4.4.2. En déduire une relation entre l'intensité moyenne $\langle i(t) \rangle$ et la tension moyenne $\langle u(t) \rangle$.

4.4.3. Calculer la valeur de la fém E_B de l'ensemble des batteries.

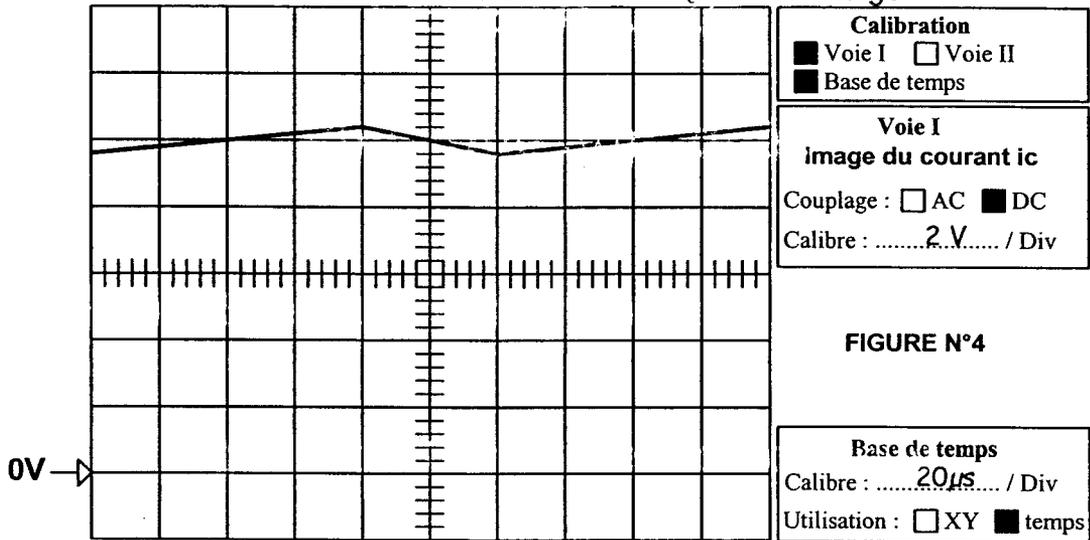
FIGURES ET SCHEMAS

PARTIE A



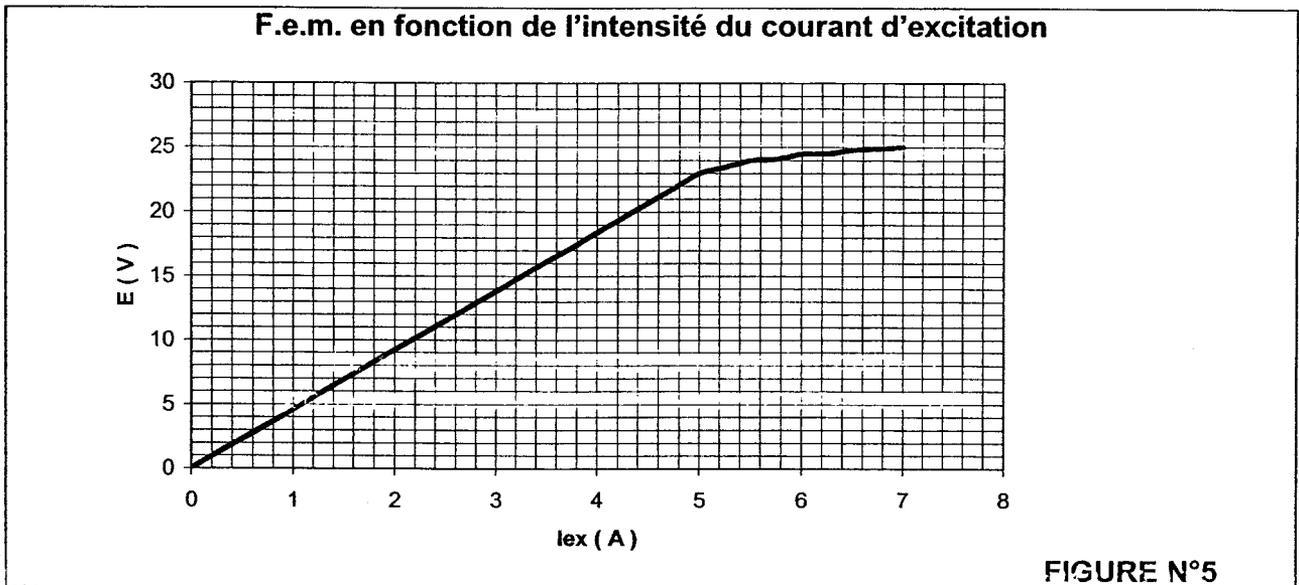
PARTIE B

Modification de l'allure du courant i_c dans la charge

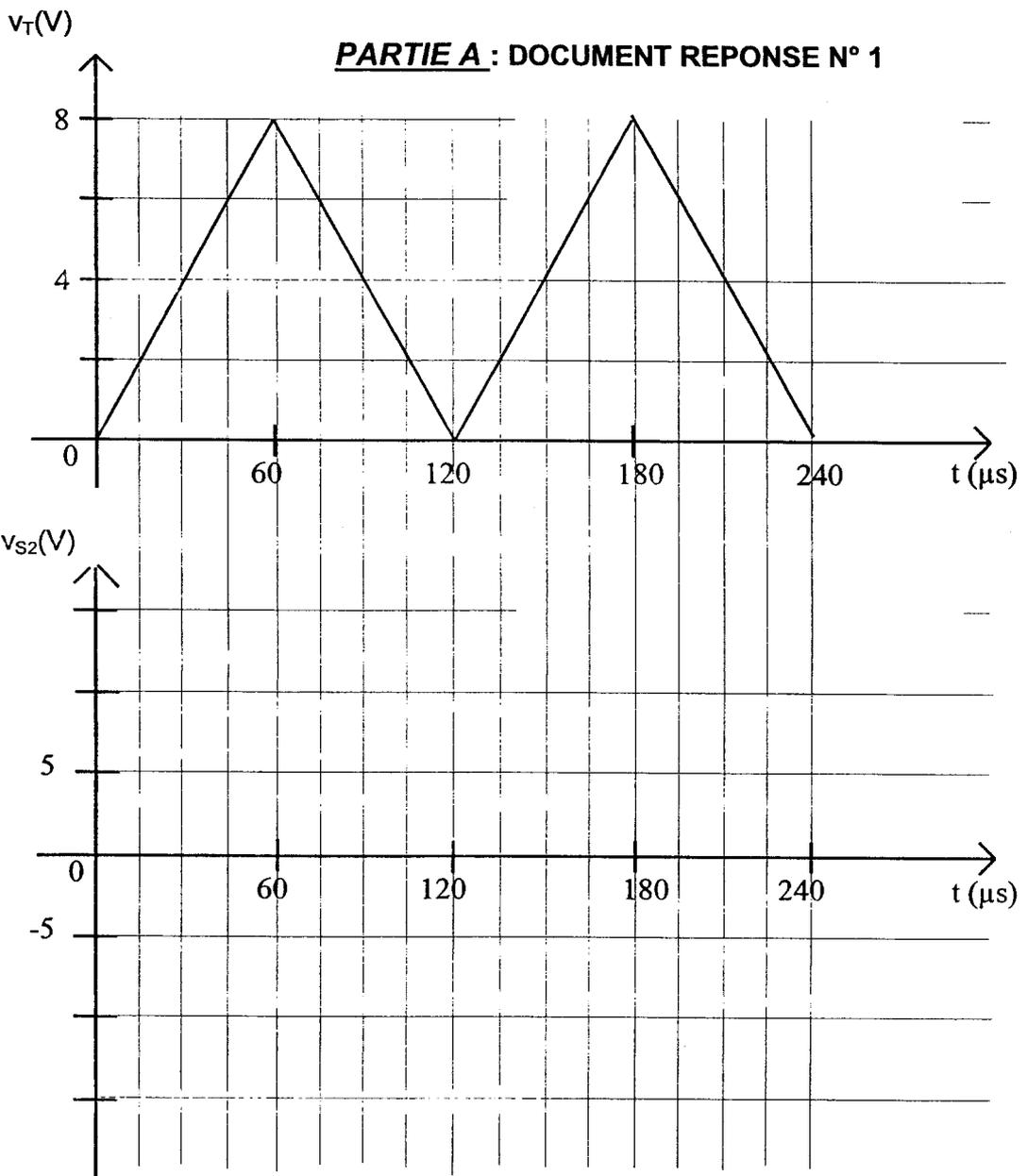


PARTIE C

F.e.m. en fonction de l'intensité du courant d'excitation

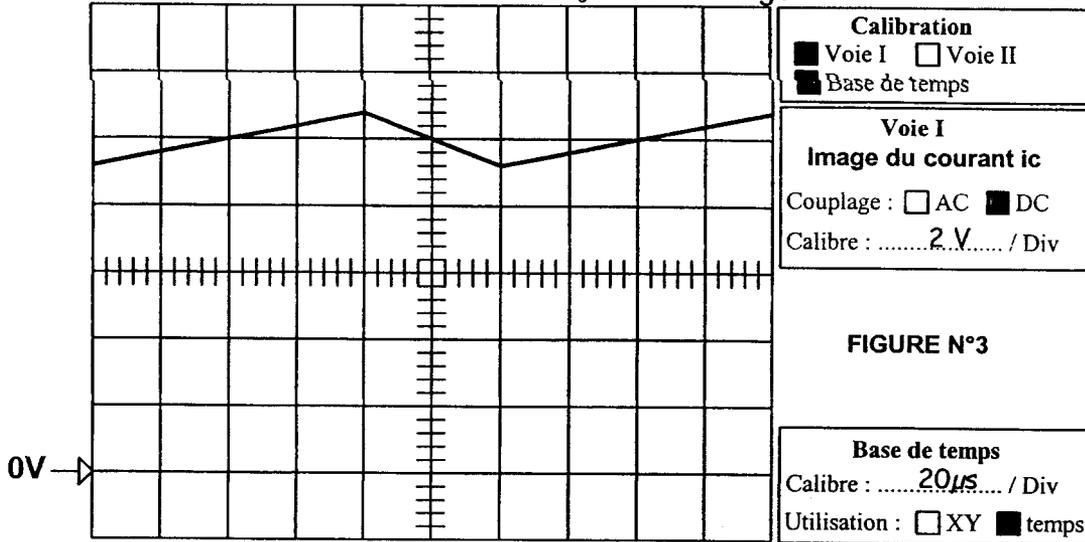


PARTIE A : DOCUMENT REPOSE N° 1

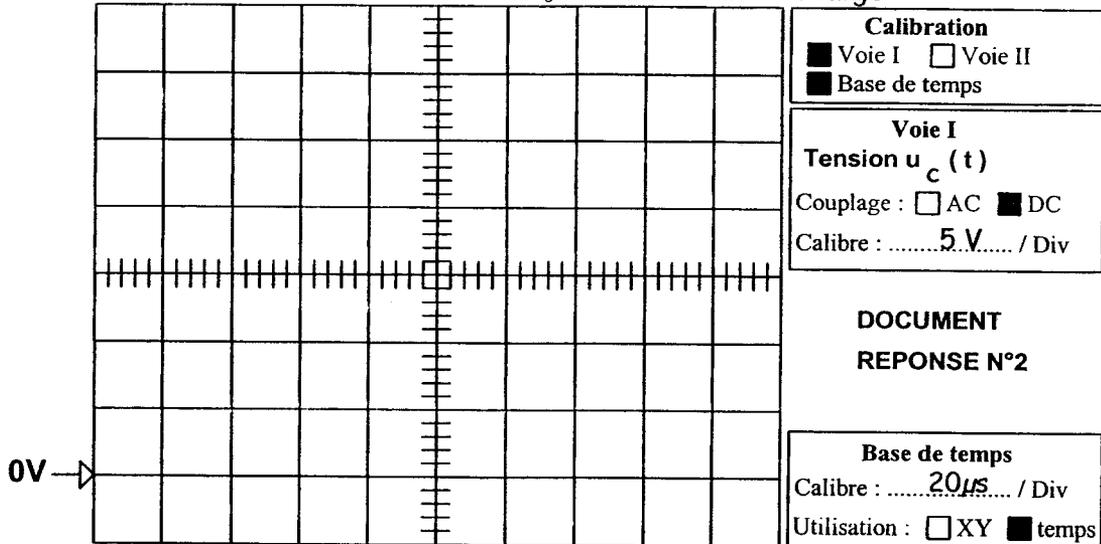


PARTIE B : DOCUMENTS REPONSES N°2 et N°3

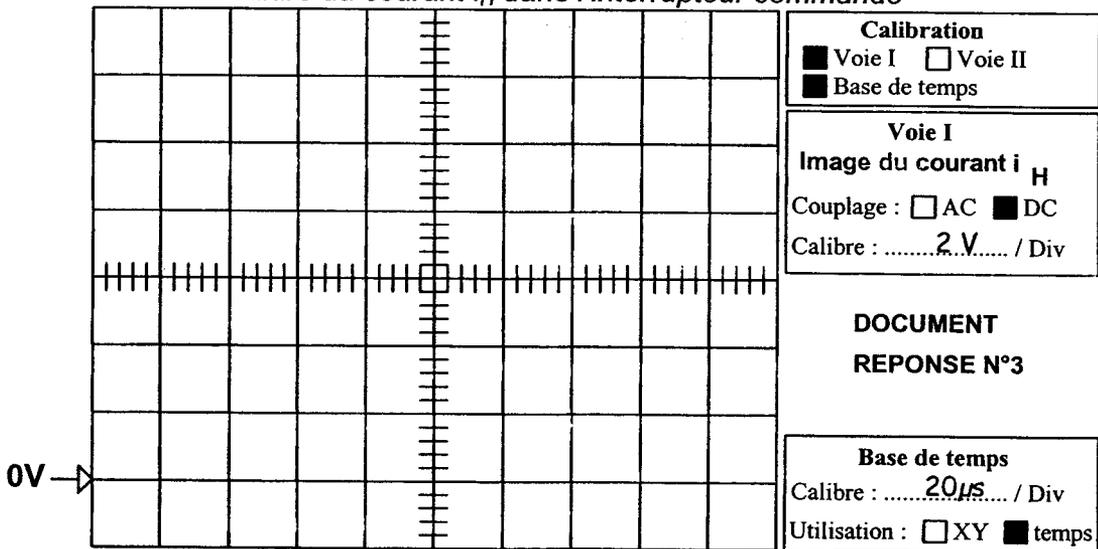
Allure du courant i_c dans la charge



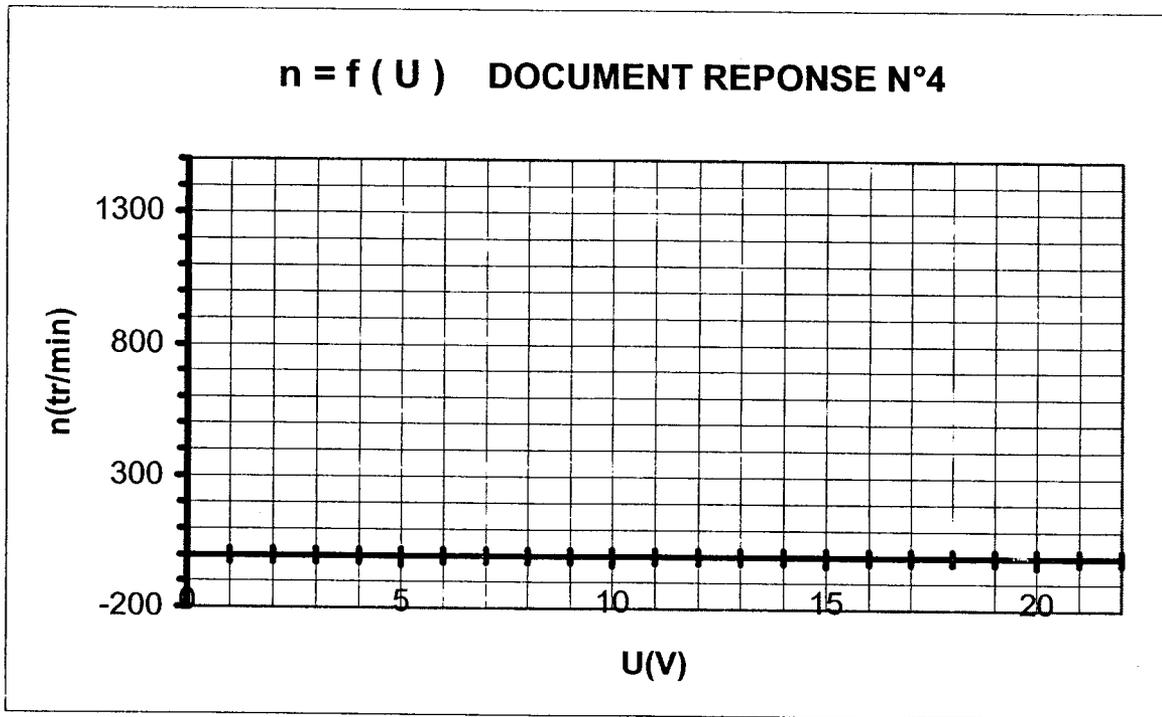
Allure de la tension u_c aux bornes de la charge



Allure du courant i_H dans l'interrupteur commandé

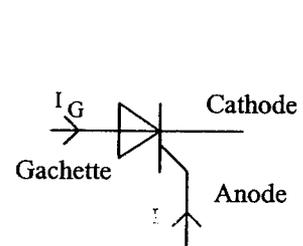
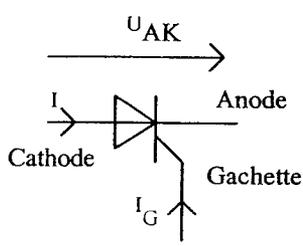
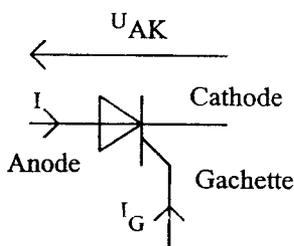


PARTIE C



PARTIE D

DOCUMENT REPOSE N°5



DOCUMENT REPOSE N°6 : On réalise le montage ci-après.

Conditions initiales :

- L'interrupteur K est ouvert.
- La source alimentant le montage est hors tension.

On effectue trois opérations successives. Cocher la ou les bonnes réponses.

Opération 1 : l'alimentation du circuit est mise sous tension (K reste ouvert)

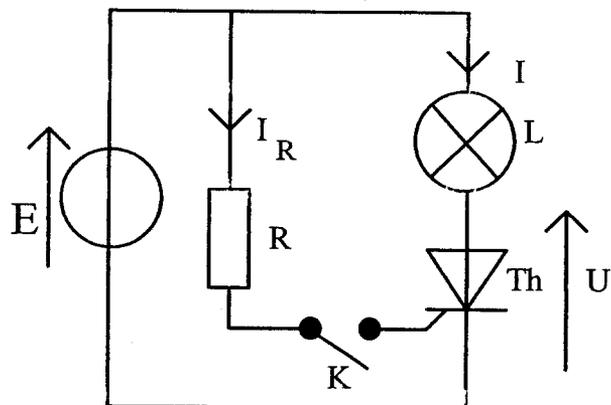
- La lampe L s'allume
- La lampe L reste éteinte
- $U = E$

Opération 2 : après avoir fermé l'interrupteur K, l'alimentation restant sous tension

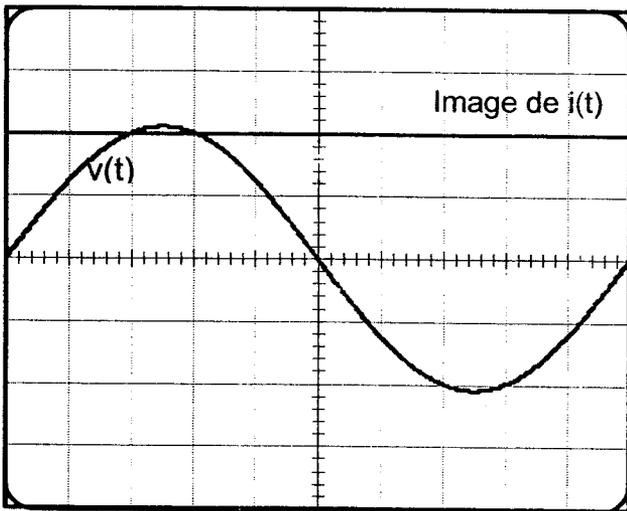
- La lampe L brille
- La lampe L est éteinte
- $U = E$

Opération 3 : puis, on ouvre l'interrupteur K, l'alimentation restant sous tension

- La lampe L brille
- La lampe L est éteinte
- $U = E$



DOCUMENT REPONSE N°7

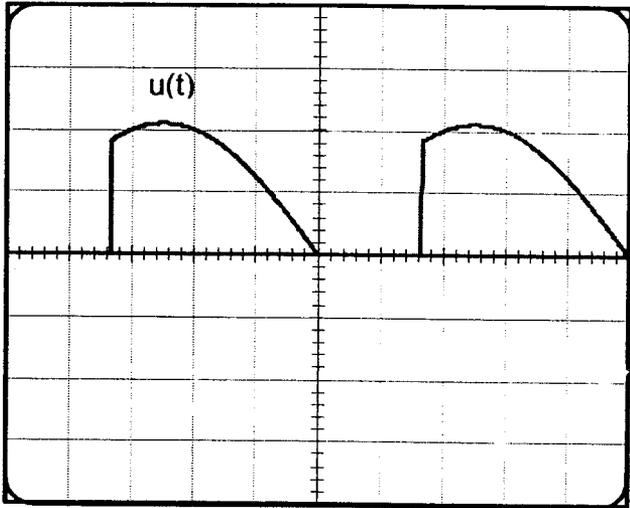


Voie 1 : 30 V / Div
 $v(t)$

Voie 2 : 20 V / Div avec la sonde
de courant de calibre 1V/A
Image de $i(t)$

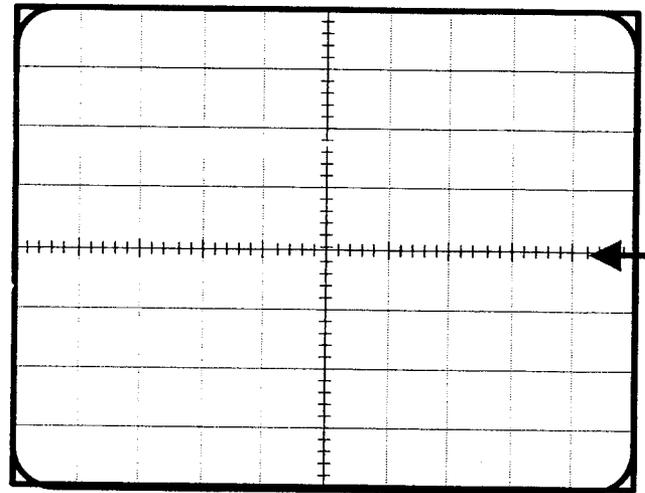
Base de temps : 2ms / Div

0 pour
les deux
voies



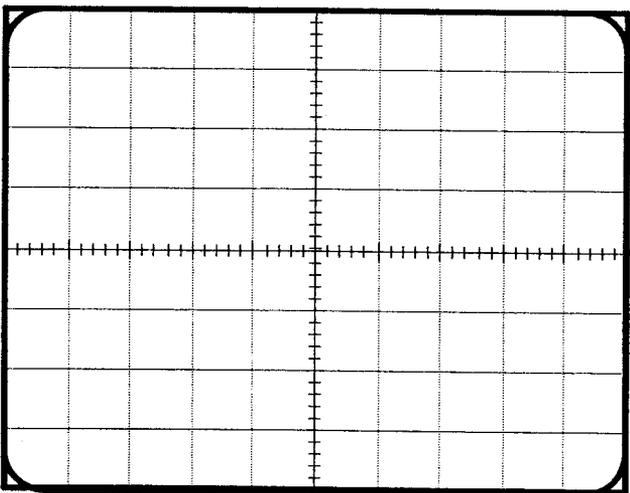
0

Image de $i_{TH1}(t)$



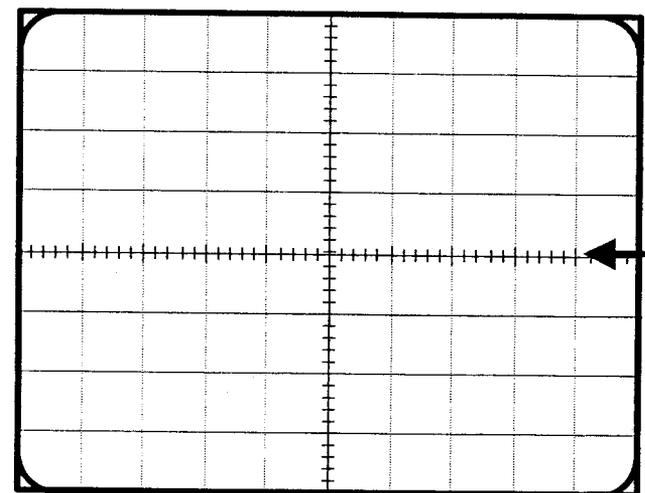
0

Image de $i_s(t)$



0

Image de $i_{b1}(t)$



0