

Baccalauréat Technologique

Bac blanc 2011

Epreuve : Physique appliquée

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Electrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures – coefficients : 7

Ce sujet comporte 4 problèmes indépendants

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).

*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.*

Les documents réponse n°1 (page n°6) et n°2 (page n°7) sont à rendre avec la copie.

PARTIE A : ETUDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU

Les caractéristiques d'un point de fonctionnement du moteur à courant continu à excitation indépendante, parfaitement compensé, sont les suivantes :

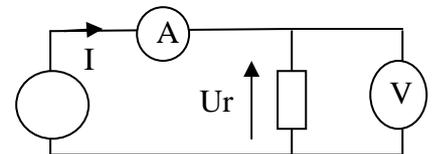
- Tension aux bornes de l'induit : $U = 210 \text{ V}$
- Intensité du courant dans l'induit : $I = 10,0 \text{ A}$
- Fréquence de rotation : $n = 955 \text{ tr.min}^{-1}$, soit une vitesse angulaire : $\Omega = 100 \text{ rad.s}^{-1}$
- Intensité du courant dans l'inducteur : $I_{\text{exc}} = 0,50 \text{ A}$

La résistance de l'induit mesurée à chaud est : $R = 1,00 \Omega$

La résistance du circuit inducteur est : $R_{\text{exc}} = 100 \Omega$

Dans tout le problème, l'intensité du courant d'excitation est constante et égale à I_{exc} .

A.1) Représenter le schéma de montage de l'essai volt-ampérométrique ayant permis la détermination de la résistance de l'induit à chaud, indiquer les différents types d'appareils de mesures utilisés ainsi que les conditions de l'essai. (**Courant nominal $I = 10\text{A}$, circuit d'excitation hors tension...**). **Appareil en position DC et on utilise $U = RI$ car on est en continu.**



A.2) Proposer un mode opératoire permettant d'effectuer le démarrage du moteur.

On alimente d'abord l'inducteur pour magnétiser la machine puis on démarre sous tension réduite en augmentant progressivement la tension d'alimentation d'induit.

A.3) Pour le point de fonctionnement, calculer la force électromotrice E de l'induit.

$$E = U - RI = 210 - 1 \times 10 = 200 \text{ V}$$

A.4) Montrer que la force électromotrice E est proportionnelle à la vitesse angulaire Ω de sorte que $E = a \cdot \Omega$ où a est une constante. Calculer la valeur de a et donner son unité.

$$E = k\Phi\Omega \text{ or le flux est constant donc } E = a \Omega \text{ avec } a = k\Phi$$

$$\text{Donc } a = E/\Omega = 200 / 100 = 2 \text{ en SI ou en V/rad/s}$$

A.5) On donne $a = 2,00 \text{ USI}$ (unité du système international), déterminer le moment du couple électromagnétique T_e .

$$T_e = T_{\text{em}} = k\Phi I = a I \text{ car le terme } k\Phi \text{ est le même donc } T_e = 2 \times 10 = 20 \text{ N.m}$$

A.6) Lors d'un essai à vide du moteur dans les mêmes conditions de flux et de vitesse que pour le point de fonctionnement décrit, on a déterminé l'ensemble des pertes collectives (pertes dans le fer et pertes mécaniques) : $P_c = 200 \text{ W}$.

En déduire le moment du couple de pertes T_p .

$$T_p = P_c / \Omega = 200/100 = 2 \text{ N.m}$$

A.7) Déterminer de la question précédente le moment du couple utile.

En charge, on a $T_e = T_p + T_u$ donc $T_u = T_e - T_p = 20 - 2 = 18 \text{ N.m}$

A.8) Déterminer la puissance absorbée totale P_{abs} par le moteur.

$P_{\text{abs}} = P_{\text{inducteur}} + P_{\text{induit}} = U.I + R_e I_e^2 = 210 \times 10 + 100 \times 0.5^2 = 2125 \text{ W}$

A.9) Déterminer la puissance utile P_u fournie par le moteur.

$P_u = T_u \cdot \Omega = 18 \times 100 = 1800 \text{ W}$ ou

$P_u = P_a - P_{j\text{induit}} - P_{j\text{inducteur}} - P_c = 2125 - 1 \times 10^2 - 100 \times 0.5^2 - 200 = 2125 - 100 - 25 - 200 = 1800 \text{ W}$

PARTIE B : ALIMENTATION DU CIRCUIT D'EXCITATION

L'alimentation du circuit inducteur se fait par l'intermédiaire d'un pont de diodes monophasé à quatre diodes (figure n°1) alimenté par un transformateur délivrant une tension secondaire notée u_s . On note u_p la tension d'alimentation du primaire du transformateur.

On considérera dans l'étude que les diodes sont parfaites.

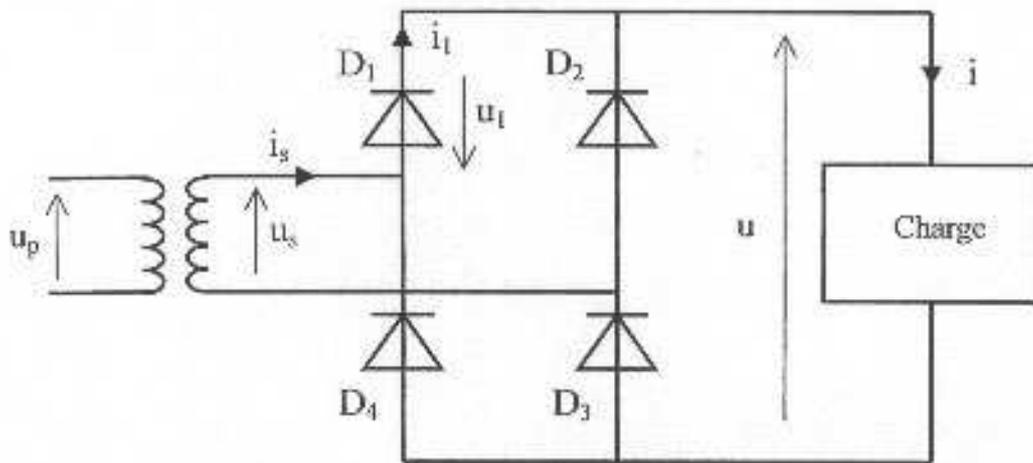


FIGURE N°1

Sur le document réponse n°2 (page n°7), on a représenté la tension $u_s(t)$ d'alimentation du pont (issue du secondaire du transformateur monophasé) de valeur maximale $U_{\text{smax}} = 80 \text{ V}$, de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$ et de période T .

Le courant dans la charge $i(t)$ est considéré comme constant et son intensité égale à sa valeur moyenne :

$i(t) = I_{\text{exc}} = 0,5 \text{ A}$. Ce courant est tracé sur le document réponse n°2 (page n°7)

B.1) Compléter le montage du document réponse n°1 (figure n°5 – page n°6) en insérant les éléments suivants :

- la valeur efficace U_s de la tension d'alimentation $u_s(t)$ en position AC, la valeur moyenne $\langle u \rangle$ en position DC de la tension redressée $u(t)$ et la valeur moyenne $\langle i \rangle$ en position DC du courant $i(t)$ dans la charge. On dispose de tous types d'appareils numériques.

- Le branchement de l'oscilloscope permettant de visualiser simultanément la tension d'alimentation $u_s(t)$ et la tension $u_1(t)$ aux bornes de D_1 . On précise que le laboratoire est équipé d'oscilloscopes bi-courbes, dont la masse est commune et dont les voies peuvent être inversées.

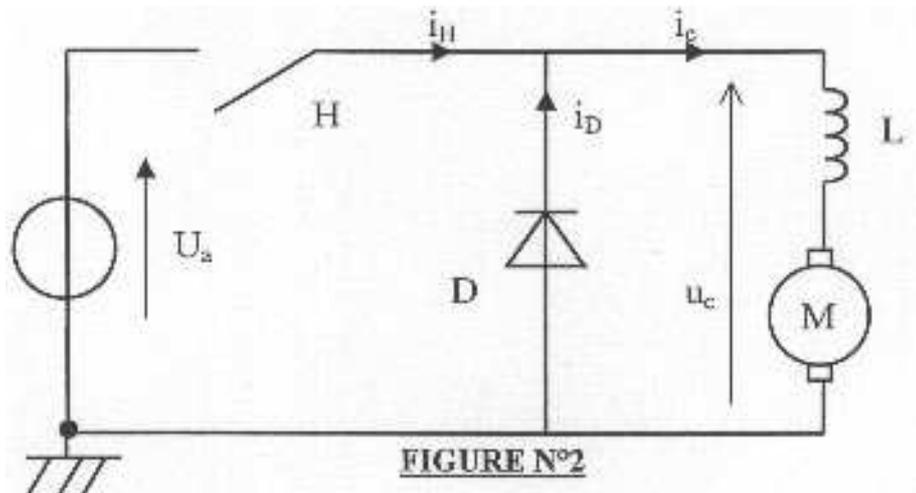
B.2) Indiquer sur le document réponse n°2 (page n°7) les intervalles de conduction des diodes.

B.3) Représenter en concordance de temps sur le document réponse n°2 (page n°7) la tension redressée $u(t)$, le courant $i_1(t)$ dans la diode D_1 et le courant $i_s(t)$ parcourant le secondaire du transformateur.

PARTIE C : ALIMENTATION DE L'INDUIT DU MOTEUR

Afin d'utiliser le moteur à courant continu à vitesse variable, on alimente l'induit du moteur par l'intermédiaire d'un hacheur (figure n°2) ; T représente la période de fonctionnement du hacheur.

L est une inductance de lissage, on désigne par α le rapport cyclique du hacheur.



L'interrupteur H est fermé de $t = 0$ à $t = \alpha T$; il est ouvert de $t = \alpha T$ à $t = T$.

La tension d'alimentation du hacheur est une tension continue $U_a = 420 \text{ V}$.

C.1) Compléter, en y insérant le branchement de l'oscilloscope ainsi que la résistance R_v de visualisation du courant $i_c(t)$ dans la charge, le schéma du document réponse n°1 (figure n°6 – page n°7) permettant de visualiser les oscillogrammes de la tension $u_c(t)$ et l'allure du courant dans la charge $i_c(t)$. On précise que le laboratoire dispose de résistances de visualisation de valeur $R_v = 0,10 \Omega$.

On a représenté sur le document réponse n°1 (figure n°7 – page n°6) l'oscillogramme obtenu :

- voie n°1 : tension aux bornes de la charge $u_c(t)$.
- voie n°2 : tension $u_{R_v}(t)$ aux bornes de la résistance de visualisation ($R_v = 0,10 \Omega$).

C.2) $T = 10 \text{ ms}$ donc $f = 100 \text{ Hz}$.

C.3) Déterminer la valeur du rapport cyclique $\alpha = 2,5/5 = 0,5$

C.4) Montrer que la tension moyenne aux bornes de la charge s'exprime par la relation :

$\langle u_c \rangle = \alpha \cdot U_a$. Calculer la valeur de $\langle u_c \rangle$.

$$\langle u_c \rangle = \frac{\text{aire} \cdot \text{sous} \cdot \text{la} \cdot \text{courbe}}{T} = (\alpha U_a \times T) / T = \alpha U_a = 0,5 \times 420 = 210 \text{ V}$$

C.5) Déterminer les valeurs maximale I_{\max} et minimale I_{\min} du courant dans la charge $i_c(t)$, en déduire sa valeur moyenne $\langle i_c \rangle$.

$$I_{\max} = U_{\max} / R_v = 1,1 / 0,1 = 11 \text{ A}$$

$$I_{\min} = U_{\min} / R_v = 0,9 / 0,1 = 9 \text{ A}$$

$$\langle i \rangle = (I_{\max} + I_{\min}) / 2 = 10 \text{ A}$$

C.6) Afin de mieux visualiser l'ondulation de la tension $u_{Rv}(t)$, on modifie les réglages de la voie 2 de l'oscilloscope comme précisé sur le document réponse n°1 (figure n°8 – page n°6).

Représenter l'allure de l'oscillogramme de la tension $u_{Rv}(t)$ avec ces réglages.

En mode AC, on coupe la composante continu, on ne voit plus que les valeurs max

Le calibre est de 0,05 V/div soit une ondulation de 4 carreaux

C.7) Citez deux paramètres sur lesquels on peut agir **On augmente la valeur de l'inductance L de la bobine ou en augmentant la fréquence.**

PARTIE D : Transformateur monophasé 50Hz

Les mesures effectuées avec des appareils numériques ont donné les résultats suivants :

- essai en courant continu au primaire : $U_{1DC} = 5 \text{ V} ; I_{1DC} = 10 \text{ A}$
- essai à vide sous tension primaire nominale : $U_{1N} = 240 \text{ V} ; I_{1V} = 1 \text{ A}$
 $P_{1V} = 10 \text{ W} ; U_{2V} = 24 \text{ V}$
- essai en court-circuit sous tension primaire réduite : $U_{1CC} = 24 \text{ V} ; I_{2CC} = 30 \text{ A}$
 $P_{1CC} = 36 \text{ W}$
- essai sur charge résistive et sous tension primaire nominale :

$$U_{1N} = 240 \text{ V} ; I_2 = I_{2CC} = 30 \text{ A}$$

I Essai à vide

- 1.1. Donner un schéma de montage permettant de réaliser les mesures de l'essai à vide.
- 1.2. Calculer le rapport de transformation. $m = U_{20} / U_1 = 24 / 240 = 0,1$
- 1.3. Montrer que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de cet essai. En déduire alors les pertes dans le fer. $P_{jv} = R_1 I_{1V}^2 = 0,5 \times 1^2 = 0,5 \text{ W} \ll P_{1V}$ donc les pertes joules sont négligeables. $R_1 = U_{1DC} / I_{1DC}$

Donc $P_f = P_{1V} = 10 \text{ W}$

II Essai en court-circuit

- 2.1. Donner un schéma de montage permettant les mesures de l'essai en court-circuit.
- 2.2. Montrer que l'on peut négliger les pertes dans le fer lors de cet essai sachant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension efficace primaire.

$$P_{fN} = a \cdot U_{1N}^2 \text{ et } P_{fCC} = a \cdot U_{1CC}^2$$

$$\frac{P_{fcc}}{P_{fn}} = \frac{a.U^2_{1cc}}{a.U^2_{1n}} \text{ soit } P_{fcc} = \frac{U^2_{1cc}}{U^2_{1n}} . P_{fn} = \frac{24^2}{240^2} \times 10 = 0,1W \ll P_{1cc} \text{ donc les pertes fer sont négligeables et } P_{1cc} = P_j = 36W$$

- 2.3. Donner le modèle équivalent du transformateur vu du secondaire selon l'hypothèse de Kapp
 2.4 Déterminer la valeur de la résistance R_s des enroulements ramenée au secondaire ainsi que la réactance X_s .

R_s est lié aux pertes joules uniquement et donc à la puissance active

$$R_s = P_{1cc} / I_{2cc}^2 = 36 / (30^2) = 0,04 \Omega = 40 \text{ m}\Omega$$

$$Z_s = U_{2cc} / I_{2cc} = m U_{1cc} / I_{2cc} = 0,1 \times 24 / 30 = 0,08 \Omega$$

$$\text{Donc } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = \sqrt{0,08^2 - 0,04^2} = 0,08 \Omega$$

III Essai en charge

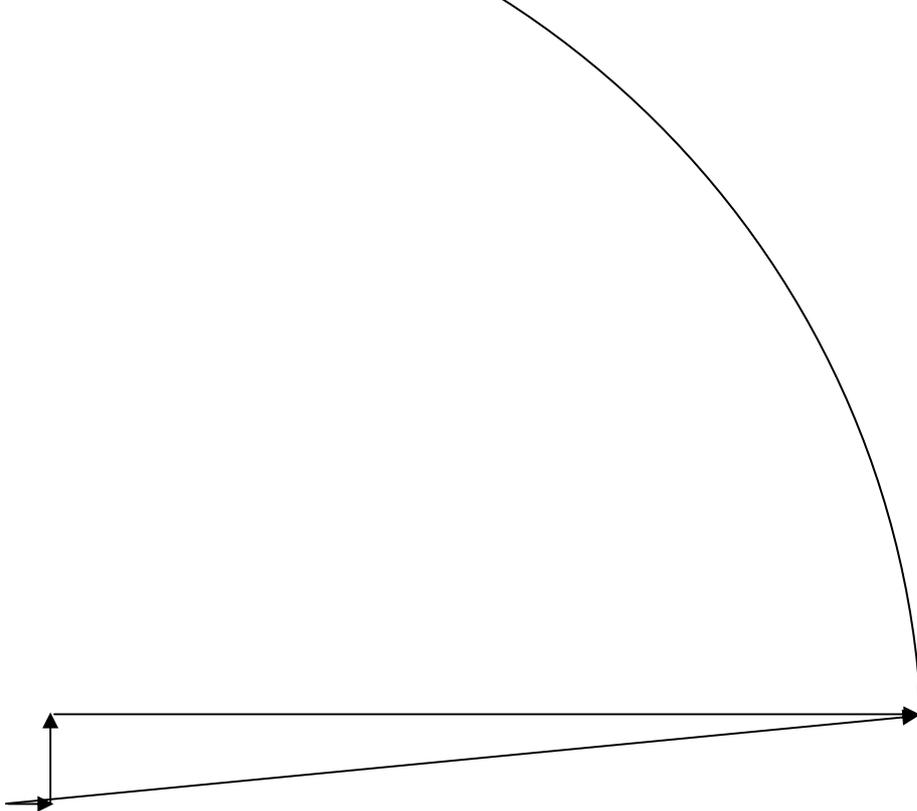
- 3.1. Tracer le diagramme vectoriel de Fresnel correspondant à l'essai en charge. On donne $X_s = 80 \text{ m}\Omega$.

$$U_{rs} = R_s I_2 = 0,04 \times 30 = 1,2 \text{ V et } U_{xs} = X_s I_2 = 0,08 \times 30 = 2,4 \text{ V}$$

$U_1 = 240 \text{ V}$ et $U_2 = 24 \text{ V}$ On trace les différents vecteurs avec la loi des mailles

$$u_2 = u_{xs} + u_{rs} + u_{20} \text{ et on mesure } U_2 = 11,4 \text{ cm soit } 22,8 \text{ V}$$

Echelle = 1 cm pour 2 V



- 3.2 En déduire la valeur de U_2 , tension efficace au secondaire du transformateur.
 3.3 Retrouver vos résultats en utilisant la méthode approchée qui permet de calculer la chute de tension : $\Delta U_2 = R_s I_2 \cos(\Delta\varphi_2) + X_s I_2 \sin(\Delta\varphi_2) = 0,04 \times 30 \times 1 + 0$ (car $\sin\varphi = 0$) = 1,2 V

$$\text{Soit } U_2 = U_{20} - \Delta U_2 = 24 - 1,2 = 22,8 \text{ V}$$

- 3.2. Calculer le rendement du transformateur. $= P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + P_j + P_f)$
 avec $P_2 = U_2 . I_2 \cos\varphi_2 = 22,8 \times 30 \times 1 = 684 \text{ W}$
 donc rendement = $684 / (684 + 10 + 36) = 0,94$

DOCUMENT REPOSE N°1

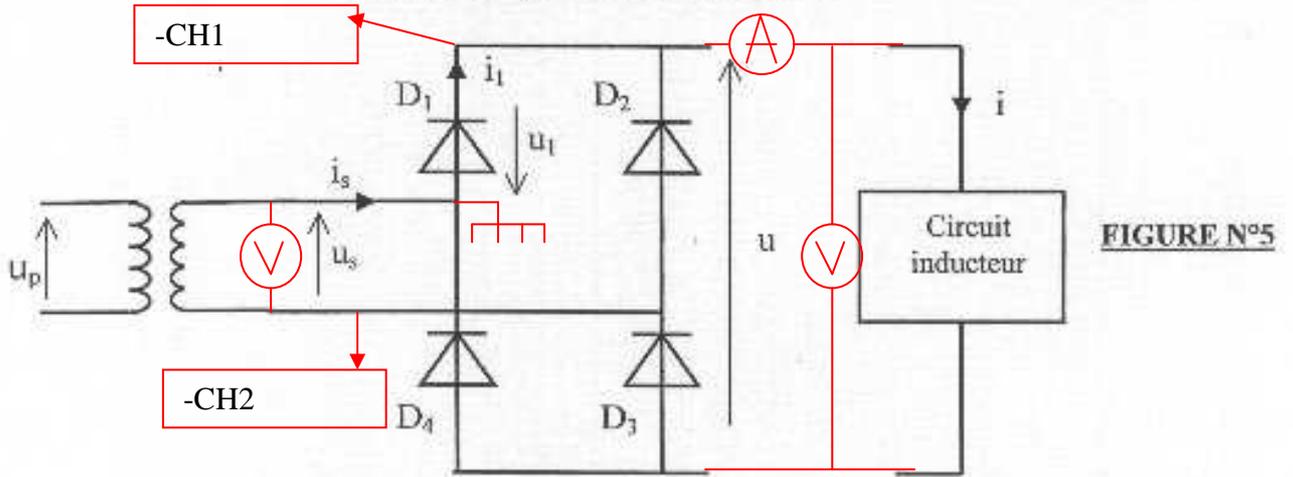


FIGURE N°5

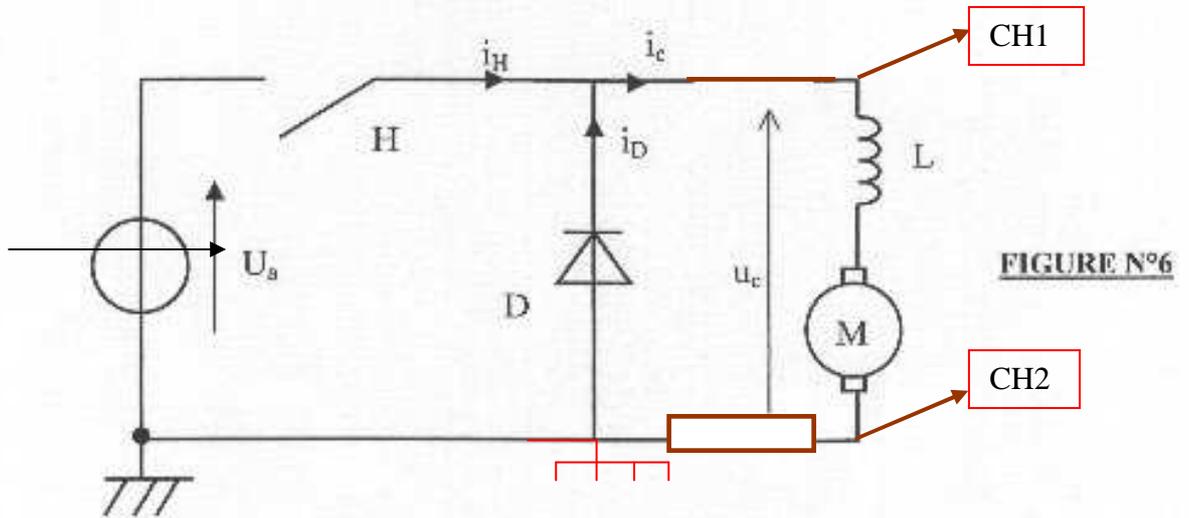


FIGURE N°6

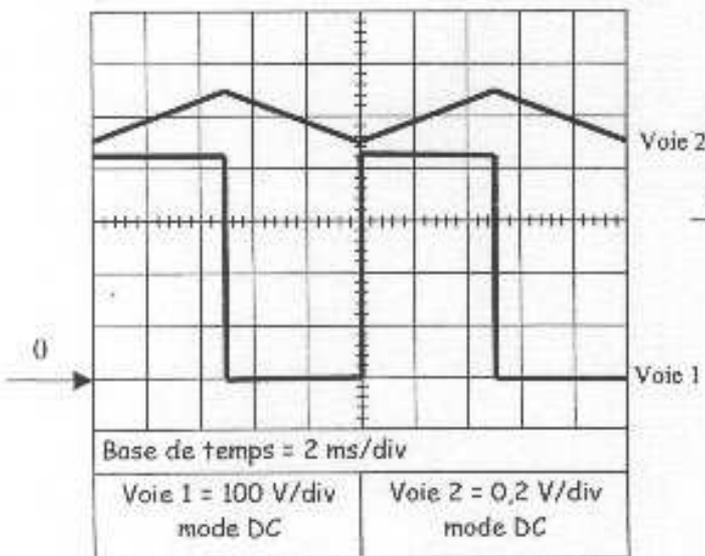


FIGURE N°7

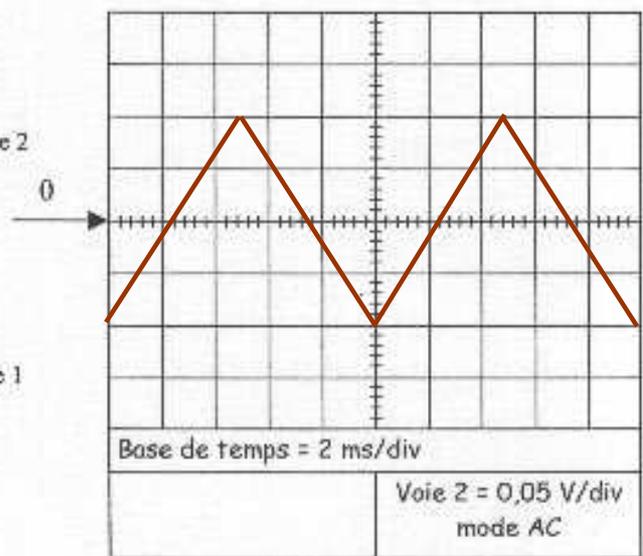


FIGURE N°8

DOCUMENT REPONSE N°2

