

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2012

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et technologies industrielles

Spécialité : Génie électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures



coefficient : 7

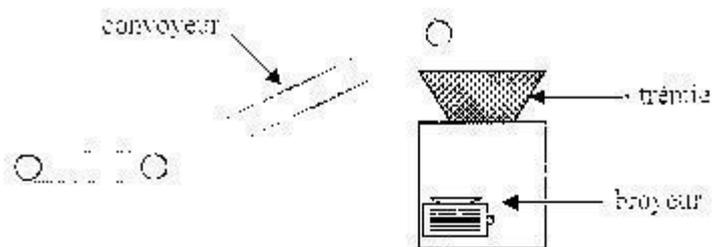
L'emploi de toutes les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Le sujet comporte 13 pages numérotées de 1 à 13 : les documents-réponses pages 8, 9, 10, 11 et 12 sont à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de deux problèmes dont les parties peuvent être traitées de façon indépendante.

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.

Pour le traitement de ses copeaux d'acier, un atelier mécanique utilise un broyeur. Les copeaux d'acier sont acheminés vers la trémie du broyeur grâce à un convoyeur (tapis roulant). Dans ce sujet, on s'intéresse dans un premier temps au convoyeur, puis au broyeur.



Problème 1 : étude du convoyeur

Le convoyeur est entraîné par un moteur asynchrone triphasé à cage équipé d'un réducteur de vitesse. La vitesse d'avance v du convoyeur en fonction de la fréquence de rotation n du moteur est donnée par la relation : $v = 3,75 \cdot 10^{-4} n$ (avec v en m.s^{-1} et n en tr.min^{-1}).

Le moteur asynchrone est alimenté par un variateur de vitesse fournissant un réseau triphasé de tensions de fréquence f réglable. Le fonctionnement du variateur est dit à U/f constant.

Partie A : Moteur asynchrone

Parmi les indications portées sur la plaque signalétique du moteur, on peut lire :

230 V / 400 V ; 50 Hz ; 3,00 kW ; 1430 tr.min^{-1} ; $k = 0,82$ (facteur de puissance)

1 – Caractéristiques du moteur en fonctionnement nominal

Dans un premier temps, le moteur asynchrone étudié est alimenté directement par un réseau triphasé 230 V – 50 Hz.

1.1. Déterminer, en le justifiant, le couplage du moteur. Représenter le branchement du moteur sur la figure 1 du document réponse n°1 page 8.

1.2. Déterminer, en justifiant la réponse, la fréquence de synchronisme n_s et le nombre de pôles du moteur.

1.3. Calculer le glissement g pour le fonctionnement nominal.

1.4. Calculer le moment du couple utile T_u pour le fonctionnement nominal.

1.5. Essai en charge nominale

En laboratoire, la méthode des deux wattmètres lors d'un essai en charge nominale a donné les résultats suivants : le premier wattmètre a mesuré $P_1 = 2497 \text{ W}$ et le second $P_2 = 1063 \text{ W}$.

1.5.1. Compléter le schéma de principe de la méthode des deux wattmètres sur la figure 2 du document réponse n°1 de la page 8.

1.5.2. Calculer la puissance active P_a absorbée par le moteur en régime nominal ainsi que son rendement η .

1.5.3. Montrer que la valeur efficace nominale de l'intensité du courant en ligne I est de 10,9 A. Quelle est la valeur efficace nominale de l'intensité du courant qui traverse un enroulement ?

2 – Bilan des puissances

La mesure à chaud de la résistance entre deux bornes du stator couplé a donné : $R = 0,90 \Omega$.
Les pertes magnétiques (ou pertes dans le fer) au stator ont été évaluées à $P_{\sigma} = 100 \text{ W}$.
On négligera les pertes magnétiques dans le rotor.

Pour le fonctionnement nominal, calculer :

- 2.1. les pertes par effet Joule P_{σ} au stator ;
- 2.2. la puissance P_r transmise au rotor ;
- 2.3. les pertes par effet Joule P_r au rotor ;
- 2.4. les pertes mécaniques p_m .



3 - Moteur alimenté par le variateur

Le moteur est maintenant alimenté par le variateur qui permet de régler la fréquence en maintenant le rapport U/f constant. Pour une fréquence $f = 50 \text{ Hz}$, la tension efficace entre phases est $U = 230 \text{ V}$.

On rappelle que dans un fonctionnement à U/f constant, la partie utile de la caractéristique mécanique du moteur $T_d(n)$ est assimilable à un segment de droite se déplaçant parallèlement à lui-même lorsque la fréquence du réseau d'alimentation change.

Le moment du couple résistant exercé par la charge est constant (indépendant de la fréquence de rotation) et égal à : $T_R = 17 \text{ N.m}$.

3.1. Tracer sur le document réponse n°2 page 9 la caractéristique mécanique $T_R(n)$ de la charge.

3.2. La fréquence est réglée à 50 Hz .

3.2.1. Tracer sur le document réponse n°2 page 9 la caractéristique mécanique $T_d(n)$ du moteur pour la fréquence nominale de 50 Hz (on prendra comme point de fonctionnement nominal : $T_d = 20 \text{ N.m}$ et $n = 1430 \text{ tr.min}^{-1}$; on supposera qu'à vide, il tourne à la vitesse de synchronisme).

3.2.2. Déterminer la fréquence de rotation n du moteur et en déduire la vitesse d'avance v du convoyeur.

3.3. Réglage de la vitesse du convoyeur

3.3.1. Calculer la valeur n' de la fréquence de rotation du moteur pour avoir $v' = 0,36 \text{ m.s}^{-1}$.

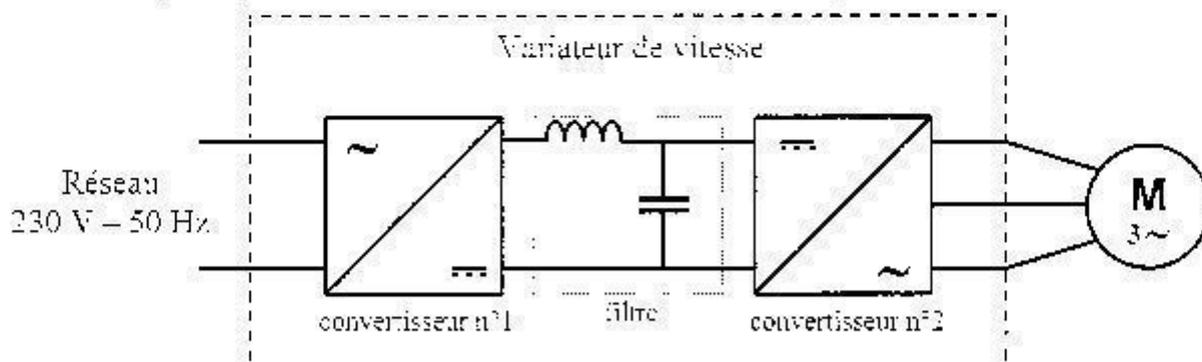
3.3.2. Placer le point de fonctionnement désiré sur le document réponse n°2 puis tracer la caractéristique mécanique $T_d(n)$ correspondante.

3.3.3. En déduire la fréquence f' d'alimentation à imposer.

3.3.4. Calculer la valeur efficace de la tension entre phases U' dans ces conditions.

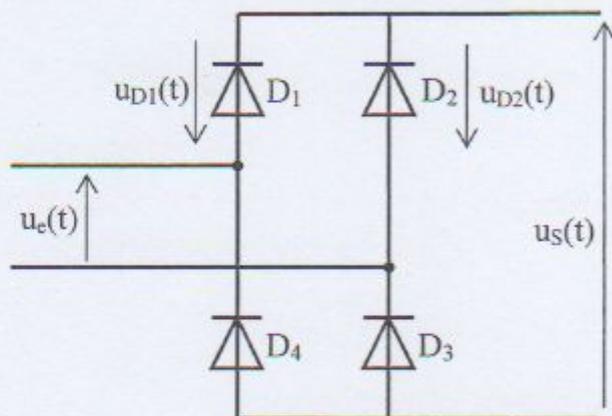
Partie B : variateur de vitesse

Le schéma de principe du variateur de vitesse est donné sur la figure ci-dessous.



1- Étude du convertisseur n°1

On donne sur la figure ci-dessous le schéma structurel de ce convertisseur. Les diodes sont supposées parfaites et le pont fonctionne en conduction continue.



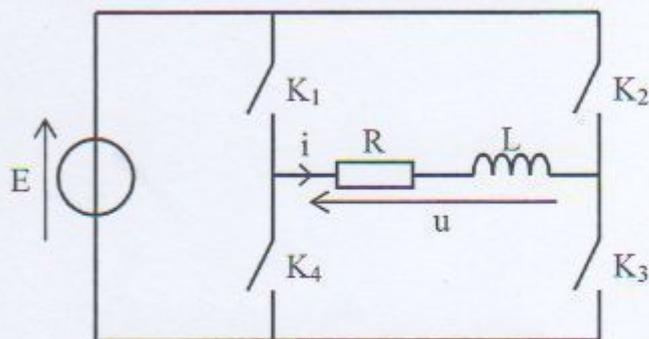
- 1.1. Sur le document réponse n°3 page 10, préciser les intervalles de conduction des diodes en concordance des temps avec la tension d'entrée $u_e(t)$.
- 1.2. Quelle relation lie $u_e(t)$, $u_{D1}(t)$ et $u_{D2}(t)$? Représenter alors le chronogramme de la tension u_{D1} sur le document réponse n°3 page 10, en vous appuyant sur l'étude des intervalles de conduction réalisée précédemment.
- 1.3. Représenter le chronogramme de la tension u_s sur le document réponse n°3 page 10.
- 1.4. Quel est le rôle du filtre placé en sortie du convertisseur n°1 sur le schéma de principe ?

2 – Étude du convertisseur n°2

Le convertisseur n°2 est un onduleur à MLI délivrant un système triphasé de tensions. Cependant, nous nous contenterons ici simplement d'illustrer le principe de l'onduleur.

L'étude portera donc sur un onduleur monophasé à commande symétrique. Un enroulement du moteur est représenté par une charge RL.

L'onduleur monophasé est alimenté par une source de tension continue $E = 255 \text{ V}$, comme l'indique le schéma de principe ci-contre :



Les interrupteurs électroniques K_1 , K_2 , K_3 et K_4 sont commandés périodiquement :

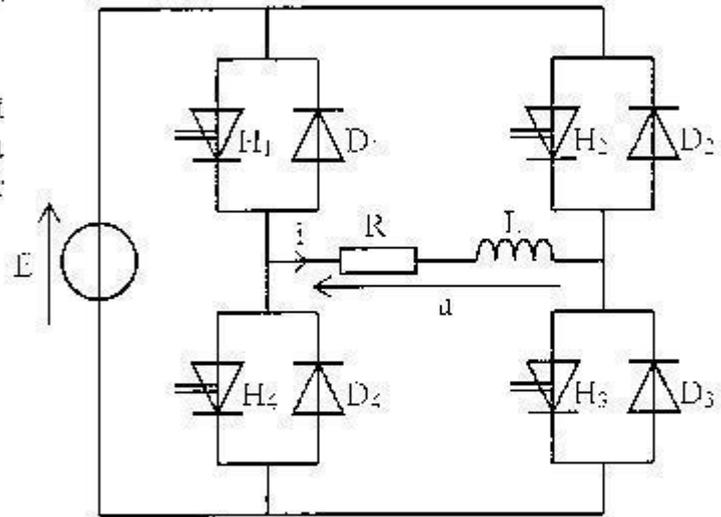
- sur l'intervalle $[0 ; T/2]$, K_1 et K_3 sont fermés, K_2 et K_4 ouverts ;
- sur l'intervalle $[T/2 ; T]$, K_2 et K_4 sont fermés, K_1 et K_3 ouverts ;

Aucune connaissance spécifique à l'onduleur à quatre interrupteurs n'est nécessaire pour répondre aux questions qui suivent.

2.1. Tracer le chronogramme de la tension u sur le document réponse n°4 page 11.

2.2. Calculer la valeur efficace U de la tension u .

En fait, chaque interrupteur électronique K est composé d'un interrupteur commandé H et d'une diode D montée en antiparallèle (voir schéma ci-contre).

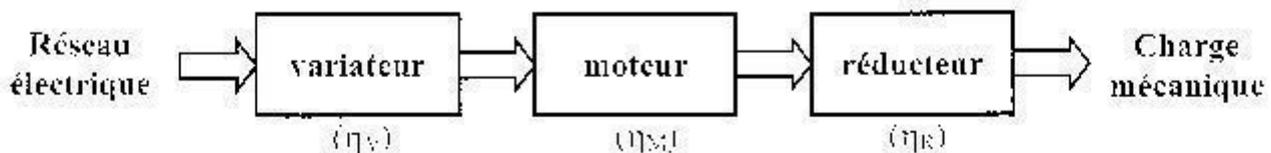


2.3. Sur le document réponse n°4 page 11, on donne le chronogramme de l'intensité i du courant absorbé par la charge. Sur ce document réponse, pour chacun des intervalles de temps délimités, indiquer :

- 2.3.1. les éléments passants (diode ou interrupteur commandé).
- 2.3.2. le signe de la puissance instantanée $p(t) = u(t).i(t)$ absorbée par la charge.
- 2.3.3. la phase de fonctionnement (phase d'alimentation : A ou phase de récupération : R).

Partie C : Bilan énergétique de la chaîne de conversion

Le synoptique de la chaîne de conversion d'énergie est donné ci-dessous.



Le moteur entraînant le convoyeur absorbe une puissance $P_a = 3,05$ kW avec un rendement $\eta_M = 84\%$. Dans ces conditions, le rendement du réducteur est $\eta_R = 95\%$ et les pertes du variateur s'élèvent à $P_v = 190$ W.

Calculer :

1. Le rendement η_v du variateur (on cherchera d'abord la puissance absorbée par ce dernier).
2. Le rendement global η de la chaîne de conversion.
3. L'énergie, en kilowattheure, fournie par le réseau pour une durée de fonctionnement de 7 heures et 30 minutes.

Problème 2 : étude du broyeur

Le broyeur est équipé d'un moteur à courant continu alimenté à partir du réseau via un transformateur et un redresseur commandé.

Partie A : étude du moteur à courant continu

Le moteur utilisé est à excitation indépendante et constante.
L'inducteur absorbe ainsi une puissance constante $P_{exc} = 830 \text{ W}$.

La résistance d'induit vaut $R = 0,71 \ \Omega$.

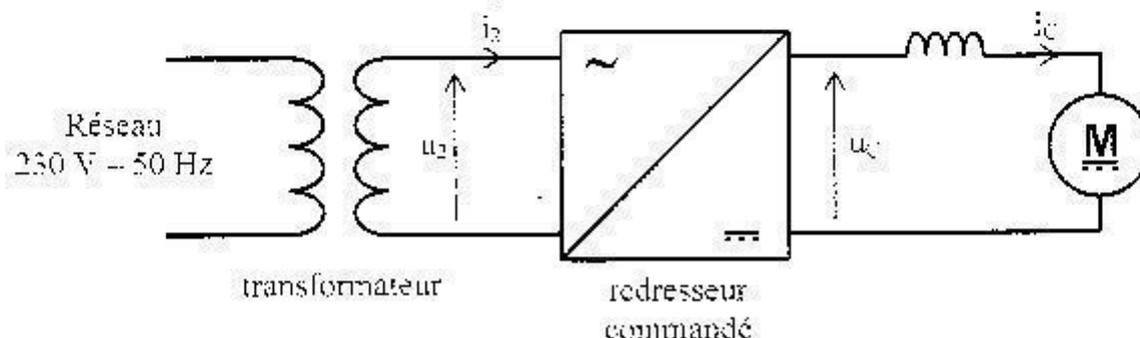
On suppose que la charge entraînée par le moteur impose un couple de moment constant quelle que soit la vitesse.

On donne en annexe 1 page 13 la courbe $n = f(U)$ obtenue lorsque le moteur absorbe un courant d'induit d'intensité nominale $I_k = 70 \text{ A}$ (où n est la fréquence de rotation du moteur et U la tension d'alimentation d'induit).

1. Quel est le rôle du circuit inducteur ?
2. Sous quelle forme l'énergie électrique absorbée par l'inducteur est-elle intégralement transformée ?
3. Quel nom donne-t-on à la partie du rotor sur laquelle viennent frotter les balais, permettant ainsi l'accès aux conducteurs de l'induit ?
4. Représenter le modèle électrique équivalent de l'induit du moteur en régime permanent (on y fléchera et numérotera toutes les grandeurs électriques utiles). En déduire la relation entre ces grandeurs.
5. Déterminer graphiquement (annexe 1 page 13) la tension dite de « démarrage » U_d . Justifier, par le calcul, la valeur obtenue.
6. Pour $U = 400 \text{ V}$, calculer, pour le moteur en charge nominale :
 - 6.1. la force électromotrice E ;
 - 6.2. la puissance électromagnétique P_{em} ;
 - 6.3. la fréquence de rotation du moteur en rad.s^{-1} , d'après l'annexe 1 page 13 ;
 - 6.4. le moment du couple électromagnétique T_{em} ;
 - 6.5. le moment du couple utile T_u sachant que le moment du couple de pertes du moteur vaut $T_p = 6 \text{ N.m}$;
 - 6.6. la puissance utile P_u ;
 - 6.7. le rendement η du moteur.

Partie B : étude de l'alimentation électrique de l'induit

Le circuit d'alimentation de l'induit est représenté sur la figure ci-dessous.



Le courant dans le moteur est considéré constant.

On visualise les grandeurs u_2 et i_2 sur un oscilloscope en utilisant une sonde de tension différentielle de rapport 1:200 et une pince de courant de sensibilité 100 mV/A.

L'oscillogramme obtenu est donné à la figure 1 du document réponse n°5 page 12.

1. Déterminer la valeur efficace U_2 de la tension u_2 .
2. Sachant que, par rapport au fonctionnement à vide, la chute de tension au secondaire du transformateur est de 20 V, calculer le rapport m de transformation du transformateur.
3. Le redresseur commandé est un pont mixte. Justifier cette affirmation en s'appuyant sur l'une des courbes de l'oscillogramme.
4. Quel est le rôle de la bobine placée en série avec l'induit du moteur ?
5. A partir de la figure 1 du document réponse n°5 page 12, déterminer l'angle de retard à l'amorçage θ des thyristors.
6. Représenter sur la figure 2 du document réponse n°5 page 12, l'oscillogramme obtenu lorsqu'on visualise les grandeurs u_C et i_C à l'aide de la sonde et de la pince précédentes.
7. Déterminer la valeur moyenne I_C de l'intensité du courant absorbé par le moteur.
8. Déterminer la fréquence de la tension u_C .
9. Calculer la valeur moyenne $\langle u_C \rangle$ de cette tension sachant qu'elle est donnée par la relation :

$$\langle u_C \rangle = \frac{U_{C,\max}}{\pi} (1 - \cos\theta)$$

10. Avec quel appareil peut-on mesurer cette valeur moyenne ? Quel mode doit-on utiliser ?
11. Déterminer, à l'aide de l'annexe 1 page 13, la fréquence de rotation du moteur.
12. Dans quel sens (croissant ou décroissant) faut-il modifier l'angle de retard à l'amorçage si l'on veut ralentir le moteur ?

Document réponse n°1 (à rendre avec la copie)

FIGURE 1

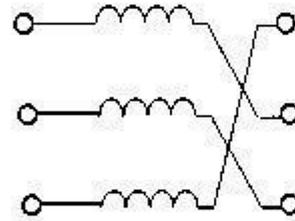
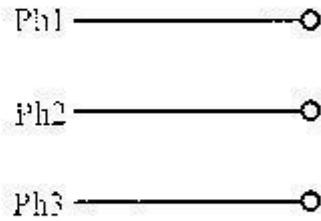
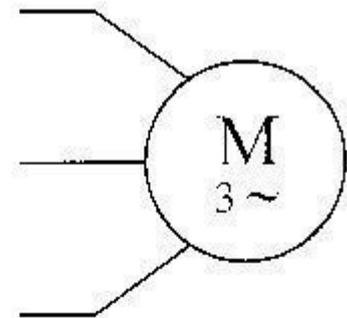
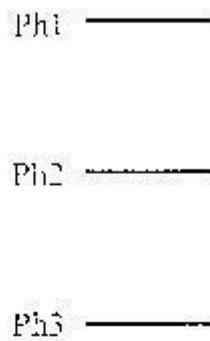
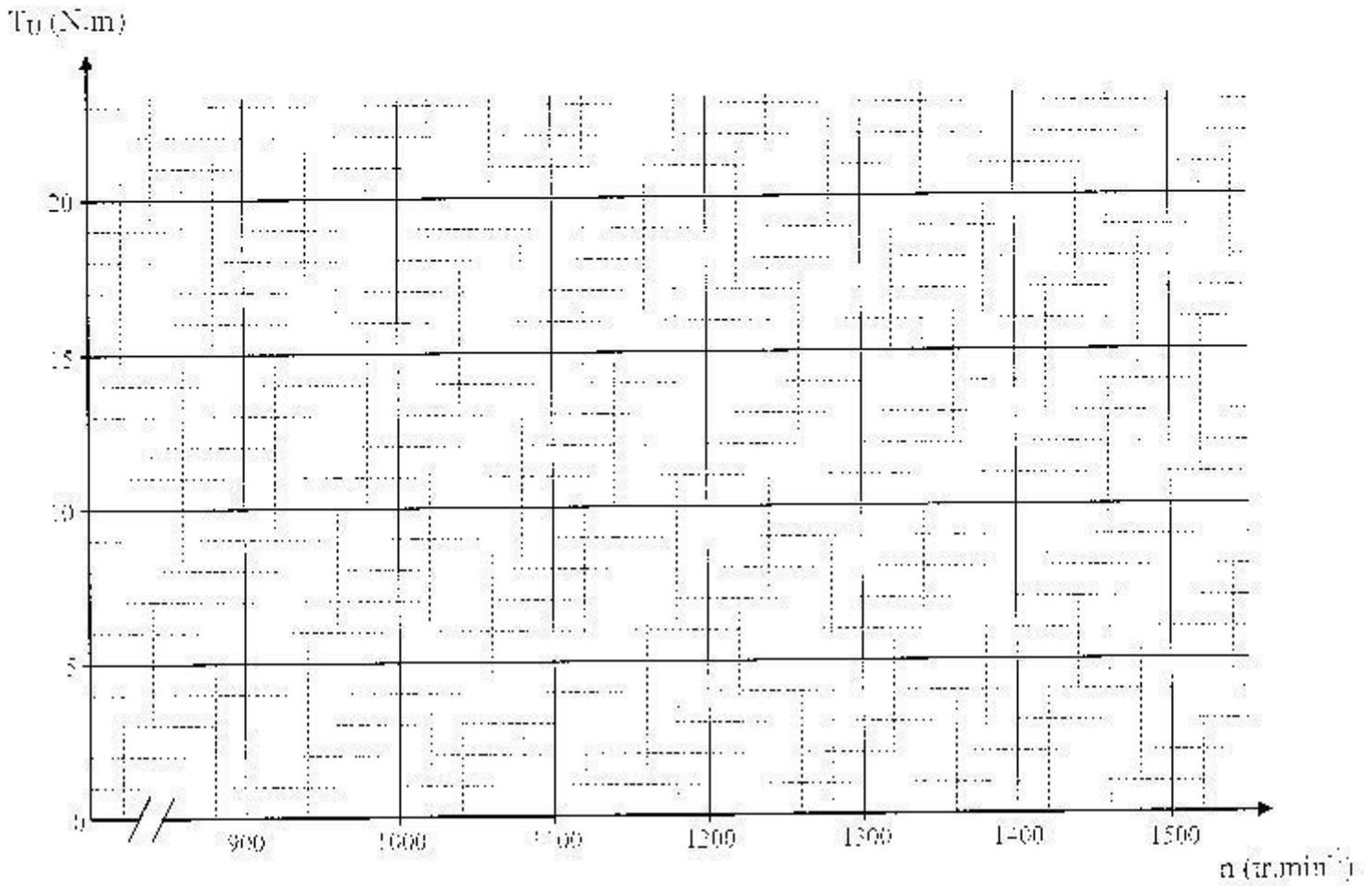


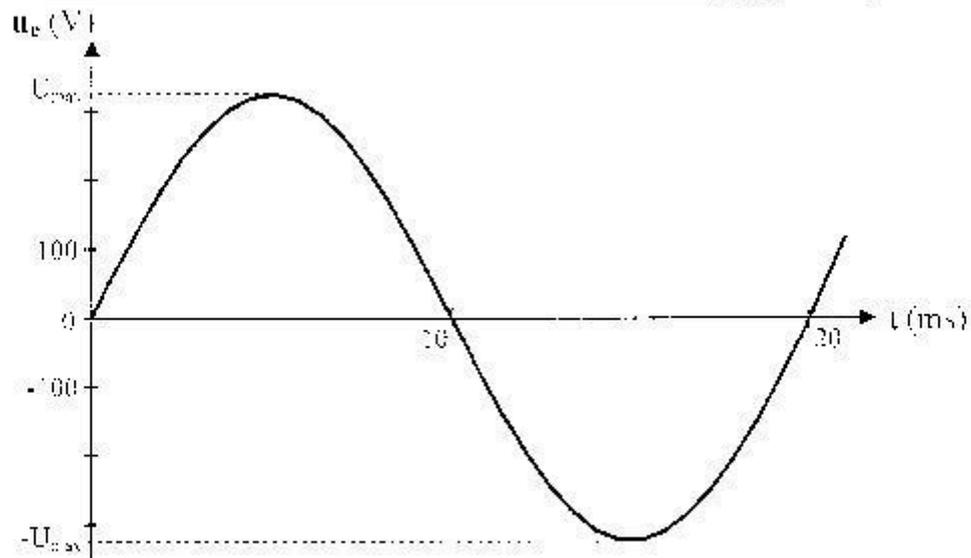
FIGURE 2



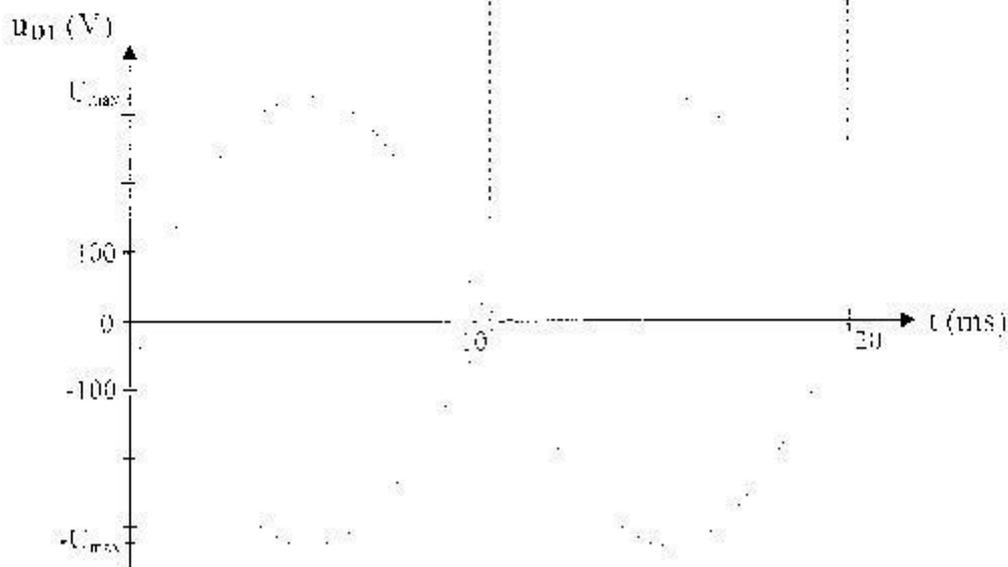
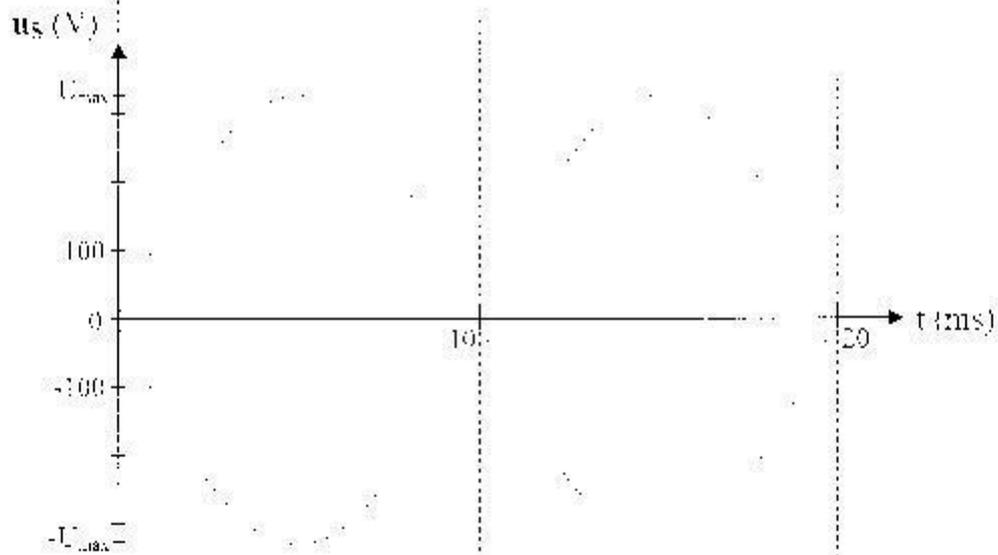
Document réponse n°2 (à rendre avec la copie)



Document réponse n°3 (à rendre avec la copie)

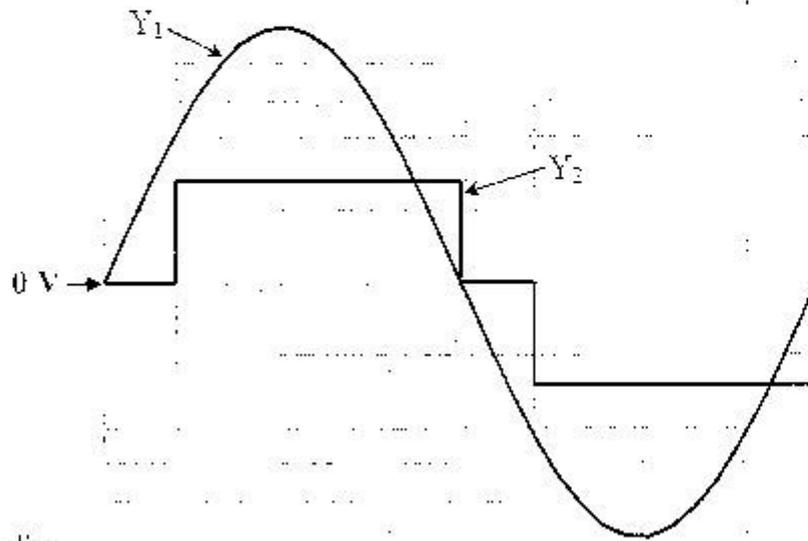


diodes
conductrices



Document réponse n°5 (à rendre avec la copie)

FIGURE 1

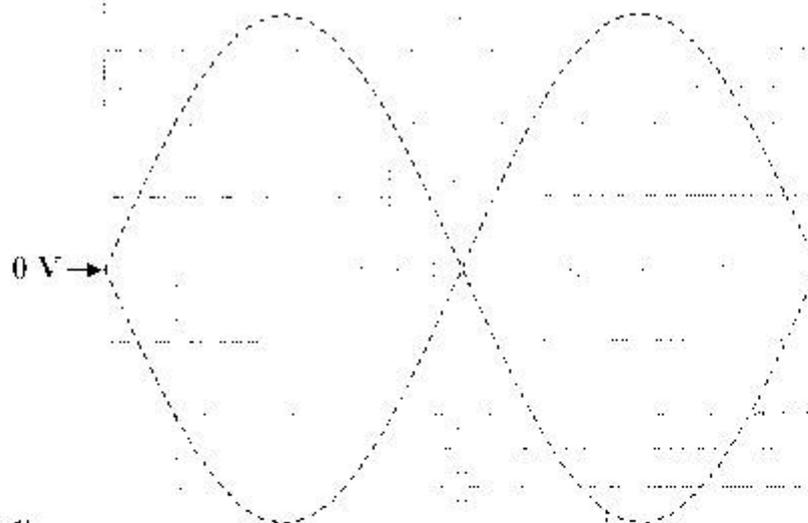


Y₁ : 1 V/div

Y₂ : 5 V/div

Base de temps : 2 ms/div

FIGURE 2



Y₁ : 1 V/div

Y₂ : 5 V/div

Base de temps : 2 ms/div

Annexe 1

