

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2010

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée: 4 heures

Coefficient : 7

L'emploi de toutes 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 10 pages numérotées de 1 / 10 à 10 /10.

Les documents-réponses pages 7,8, 9 et 10 sont à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de trois parties indépendantes.

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 se propose d'étudier quelques éléments constituant un vélo à assistance électrique (V.A.E.).
Le moteur de ce vélo est un moteur à courant continu placé au niveau du pédalier par l'intermédiaire d'un réducteur qui augmente considérablement le couple.
Ce moteur est commandé par un hacheur série.
Le hacheur est alimenté par un ensemble de batteries rechargeables Nickel Cadmium placé sur le vélo.

Le sujet comporte 3 parties indépendantes :

- I. Étude du moteur à courant continu**
- II. Étude du hacheur et de sa commande**
- III. Étude de l'ensemble des batteries et de son chargeur**

I. Étude du moteur à courant continu

Le moteur est un moteur à courant continu à **aimants permanents**.
Les données fournies par le fabricant du moteur sont les suivantes :

Régime nominal :

$$U_N = 24 \text{ V}$$

$$I_N = 9,6 \text{ A}$$

$$n_N = 2660 \text{ tr.min}^{-1}$$

La résistance de l'induit du moteur vaut $R = 0,25 \Omega$.

1. Questions préparatoires

- 1.1.** Donner le schéma équivalent de l'induit du moteur en fléchant le courant I et les tensions E , $R I$ et U . En déduire la relation entre U , E , $R I$ et I .
- 1.2.** Calculer la force électromotrice E_N pour le fonctionnement nominal.
- 1.3.** Montrer que l'on peut écrire $E = kn$. Calculer la constante k en V/tr.min^{-1} .
- 1.4.** Montrer que $T_{em} = a I$ Déterminer la valeur numérique de la constante a et préciser son unité.
- 1.5.** Compléter le bilan des puissances en charge **figure 1** du document-réponse n° 1 page 7/10 en nommant les puissances mises en jeu.

2. Étude en charge nominale

2.1. Compléter le schéma de principe de l'essai en charge du moteur **figure 2** du document-réponse n° 1 page 7 / 10.

Placer les appareils nécessaires pour mesurer U_N , I_N , T_{uN} et n_N .

Préciser la position des commutateurs (AC, DC ou AC+DC) des multimètres.

Pour le point de fonctionnement nominal, on donne $P_c = 20 \text{ W}$.

- 2.2.** Rappeler les origines physiques des pertes collectives.
- 2.3.** Calculer la puissance absorbée P_{aN} du moteur.
- 2.4.** Calculer les pertes par effet Joule P_{jN} dans l'induit du moteur.
- 2.5.** Calculer la puissance utile P_{uN} fournie par le moteur.
- 2.6.** Calculer la vitesse de rotation Ω_N de l'arbre du moteur.
- 2.7.** Calculer le moment du couple utile T_{uN} développé par le moteur.
- 2.8.** Calculer le rendement η_N du moteur.

II. Étude du hacheur alimentant le moteur

L'alimentation de l'induit du moteur est assurée par un accumulateur électrochimique composé de deux batteries de 12 V (soit $V = 24$ V) et d'un hacheur série comme l'indique la **figure 3** ci-dessous.

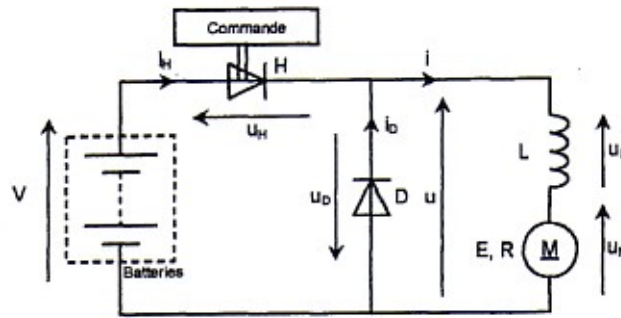
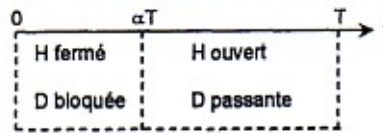


Figure 3

L'interrupteur électronique H et la diode D sont supposés parfaits.

On note α le rapport cyclique du hacheur.

On donne le bandeau de conduction suivant :



L'inductance parfaite L est suffisamment grande pour considérer que le courant dans le moteur est constant $i = I = 9,6$ A.

On donne pour le moteur $E = 8,10^{-3}n$ (n en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et E en V) et $R = 0,25\Omega$.

1. Étude du hacheur

1.1. Quel composant électronique peut-on utiliser comme interrupteur commandé H ?

1.2. Quel est le rôle de la diode D ? Quel nom lui donne-t-on ?

1.3. Quel est le rôle de la bobine associée au moteur ?

1.4. On considère l'intervalle de temps où $0 \leq t < \alpha T$

1.4.1. Compléter la **figure 4** du document-réponse n° 1 page 7 / 10 en remplaçant les éléments H et D par un interrupteur ouvert ou fermé.

1.4.2. Déterminer les valeurs numériques prises par les grandeurs u , u_D , u_H et i_D .

1.4.3. Donner une relation liant i_H et i .

1.5. On considère l'intervalle de temps où $\alpha T \leq t < T$

1.5.1. Compléter la **figure 5** du document-réponse n° 1 page 7/10 en remplaçant les éléments H et D par un interrupteur ouvert ou fermé.

1.5.2. Déterminer les valeurs numériques prises par les grandeurs u , u_D , u_H et i_H .

1.5.3. Donner une relation liant i_D et i .

1.6. On dispose d'un oscilloscope bicourbe et d'une sonde de courant.

On souhaite visualiser en concordance de temps la tension $u(t)$ et l'image du courant $i(t)$. Compléter la **figure 6** du document-réponse n° 2 page 8 / 10 en représentant les branchements nécessaires.

1.7. Représenter en concordance de temps les tensions $u(t)$, $u_H(t)$ et $u_D(t)$ ainsi que les courants $i(t)$, $i_H(t)$ et $i_D(t)$ pour $\alpha = 0,75$ et $T = 4$ ms sur la **figure 7** du document-réponse n° 2 page 8 / 10.

1.8. Montrer que la valeur moyenne $\langle u \rangle$ de la tension u peut s'écrire $\langle u \rangle = \alpha V$.
Calculer $\langle u \rangle$ pour $\alpha = 0,75$.

1.9. Écrire la relation entre $u(t)$, $u_L(t)$ et $u_M(t)$. Exprimer $\langle u_M \rangle$ en fonction de V et de α , puis exprimer E en fonction de V , de α et de RI .

1.10. Montrer que l'on peut écrire $n = 3000\alpha - 300$ où n s'exprime en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

1.11. Déterminer la valeur α_D du rapport cyclique au démarrage du moteur.

2. Étude de la commande du hacheur

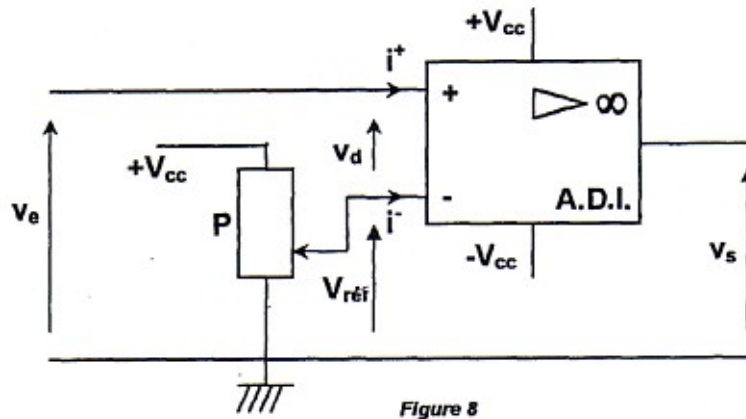
Soit le montage de la **figure 8** (ci-dessous) où l'amplificateur différentiel intégré (A.D.I.) est parfait. Ses tensions de saturation sont $V_{\text{sat}} = \pm 12 \text{ V}$.

Le potentiomètre P (de valeur maximale $10 \text{ k}\Omega$) permet d'obtenir une tension $V_{\text{réf}}$ continue réglable à partir de la tension continue $V_{\text{cc}} = 12 \text{ V}$.

La tension v_e est triangulaire (cf. **figure 9** du document-réponse n° 3 page 9 / 10).

La tension v_s à la sortie de l'A.D.I. sert de tension de commande de l'interrupteur électronique H :

- si $v_s > 0$, H est fermé,
- si $v_s < 0$, H est ouvert.



2.1. Préciser les valeurs de i^+ et i^- . Justifier vos résultats.

2.2. Donner le régime de fonctionnement de l'A.D.I. Justifier votre réponse. Préciser les valeurs prises par la tension de sortie v_s .

2.3. Donner l'expression de la tension différentielle d'entrée v_d de l'A.D.I. en fonction de la tension v_e et de la tension $V_{\text{réf}}$.

2.4. Le curseur du potentiomètre P est placé de telle sorte que $V_{\text{réf}} = 3 \text{ V}$.

Tracer la tension $V_{\text{réf}}$ avec $v_e(t)$ sur le document-réponse n° 3 page 9 / 10.

Compléter le tableau du document-réponse n° 3 page 9 / 10 en précisant le signe de v_d et la valeur de v_s pour chaque intervalle de temps particulier.

Tracer le chronogramme de $v_s(t)$ sur la **figure 9** du document-réponse n° 3 page 9 / 10.

2.5. Déterminer la valeur du rapport cyclique α de v_s .

2.6. Quelles sont les valeurs extrêmes de $V_{\text{réf}}$ pour faire varier α de 0 à 1.

III. Étude de l'ensemble des batteries et de son chargeur

Pour recharger les batteries du vélo, on utilise le montage de la *figure 10* ci-dessous.

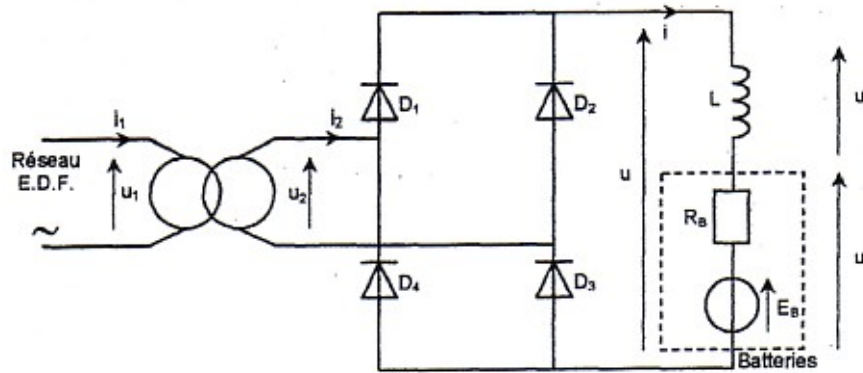


Figure 10

1. Étude du transformateur

La plaque signalétique du transformateur donne les indications suivantes :
230 V / 26,5 V ; 63 VA ; 50 Hz.

Un essai à vide et un essai en court-circuit du transformateur ont permis de déterminer les valeurs suivantes :

Essai à vide

$U_{1V} = U_{1N} = 230 \text{ V}$
 $U_{2V} = 26,5 \text{ V}$
 $I_{1V} = 112 \text{ mA}$
 $P_{1V} = 4,5 \text{ W}$

Essai en court-circuit

$U_{1CC} = 20,5 \text{ V}$
 $I_{2CC} = 2,44 \text{ A}$
 $P_{1CC} = 5 \text{ W}$

1.1. Exploitation des indications figurant sur la plaque signalétique

- 1.1.1. Calculer le rapport de transformation m .
- 1.1.2. Calculer la valeur efficace I_{1N} du courant circulant au primaire du transformateur.
- 1.1.3. Calculer la valeur efficace I_{2N} du courant circulant au secondaire du transformateur

1.2. Exploitation des mesures obtenues lors de l'essai à vide et de l'essai en court-circuit

- 1.2.1. Quelle est la valeur approchée des pertes dans le fer P_f du transformateur ? Justifiez votre réponse sans calcul.
- 1.2.2. Pourquoi l'essai en court-circuit s'effectue-t-il sous tension primaire réduite ? Quelle est la valeur approchée des pertes dans le cuivre P_j du transformateur ? Justifiez votre réponse sans calcul.
- 1.2.3. Calculer la valeur de la résistance R_s ramenée au secondaire du transformateur.
- 1.2.4. Calculer la valeur du module Z_s de l'impédance ramenée au secondaire du transformateur.
- 1.2.5. Calculer la valeur du module X_s de la réactance ramenée au secondaire du transformateur.

13. On branche au secondaire du transformateur une charge inductive.

On relève $U_1 = U_{1N}$, $I_2 = 2 \text{ A}$ et $\cos(\varphi_2) = 0.707$.

On prendra $R_s = 0,84 \Omega$ et $X_s = 0,48 \Omega$.

Calculer la valeur efficace U_2 de la tension au secondaire à l'aide de la formule approchée de la chute de tension au secondaire.

$$\Delta U_2 = (R_s \times I_2 \times \cos(\varphi_2) + X_s \times I_2 \times \sin(\varphi_2))$$

2. Étude du pont

Le pont de la **figure 10** page 5/ 10 alimente la charge composée d'une inductance L supposée parfaite et l'ensemble des batteries.

L'inductance L est suffisamment grande pour considérer que le courant dans les batteries est constant $i = I = \text{cste}$.

Les diodes sont considérées parfaites.

2.1. Quel type de pont est utilisé dans le chargeur de batteries ?

2.2. Sur la **figure 11** du document-réponse n°4 page 10 / 10, on a relevé l'allure de la tension $u_2(t)$ à l'entrée du pont.

2.2.1. Déterminer l'amplitude \hat{U}_2 et la valeur efficace U_2 de la tension u_2 .

2.2.2. Déterminer la période T , la fréquence f et la pulsation ω de la tension u_2 .

2.3.

2.3.1. Compléter le tableau de la **figure 11** du document-réponse n° 4 page 10 / 10 en indiquant les valeurs prises par la tension u en fonction de la tension u_2 sur chaque intervalle de temps particulier.

2.3.2. Représenter la tension $u(t)$ aux bornes de la charge en concordance de temps avec la tension $u_2(t)$ sur la **figure 12** du document-réponse n°4 page 10 / 10.

2.3.3. Calculer la valeur moyenne $\langle u \rangle$ de la tension $u(t)$.

DOCUMENT-REPONSE N° 1

I. Étude du moteur à courant continu

1. Questions préparatoires

1.5. Bilan des puissances

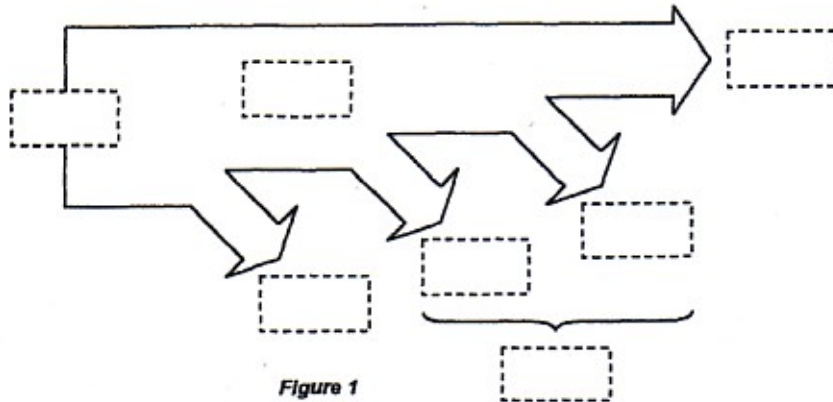


Figure 1

P_j	Pertes Joule
P_f	Pertes fer
P_c	Pertes collectives
P_m	Pertes mécaniques
P_u	Puissance utile
P_a	Puissance absorbée
P_{em}	Puissance électromagnétique

2. Étude en charge nominale

2.1. Schéma de l'essai en charge

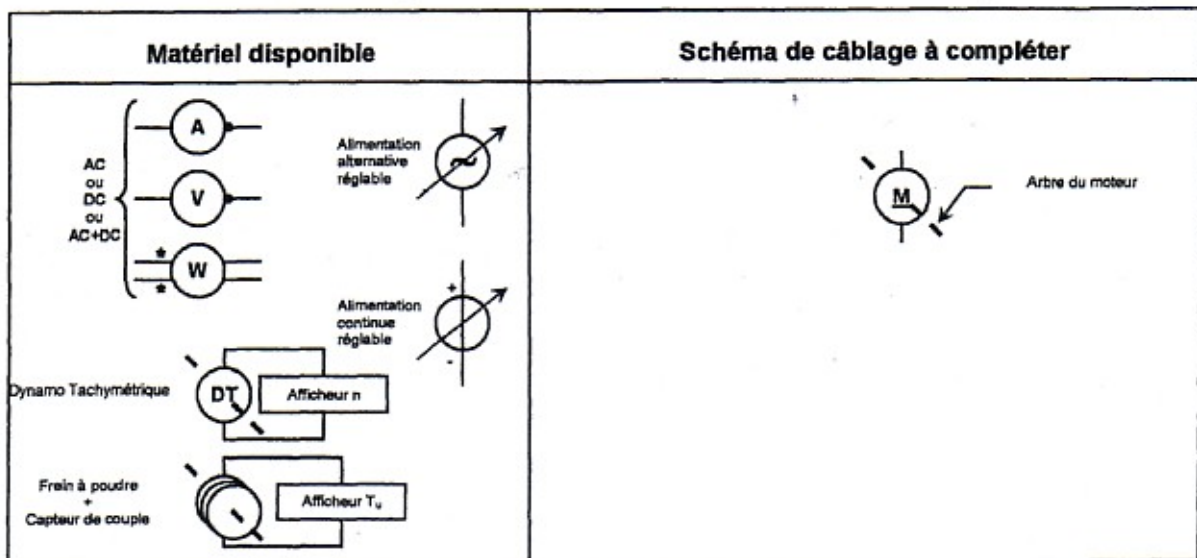


Figure 2

II. Étude du hacheur alimentant le moteur

1. Étude du hacheur

Questions 1.4.1. et 1.5.1.

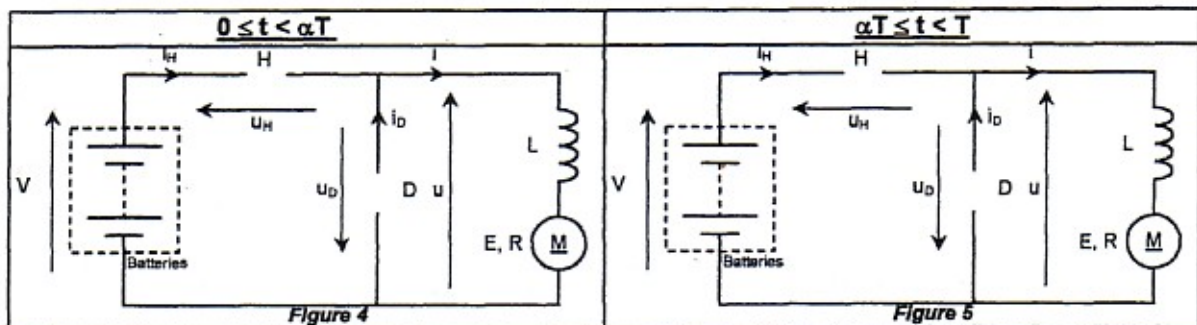


Figure 4

Figure 5

DOCUMENT-REPONSE N° 2

II. Étude du hacheur alimentant le moteur

1. Étude du hacheur

1.6. Branchement de l'oscilloscope

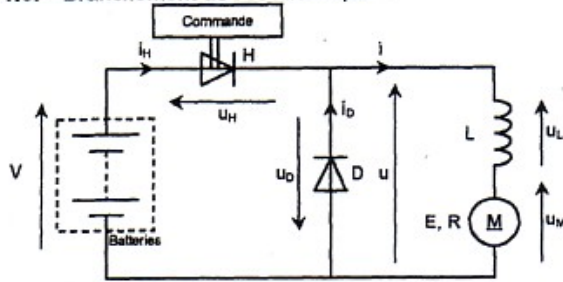
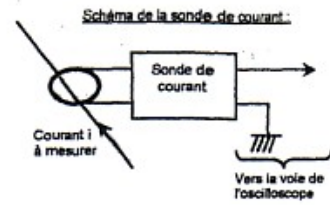


Figure 6



1.7. Tracé des chronogrammes en concordance de temps

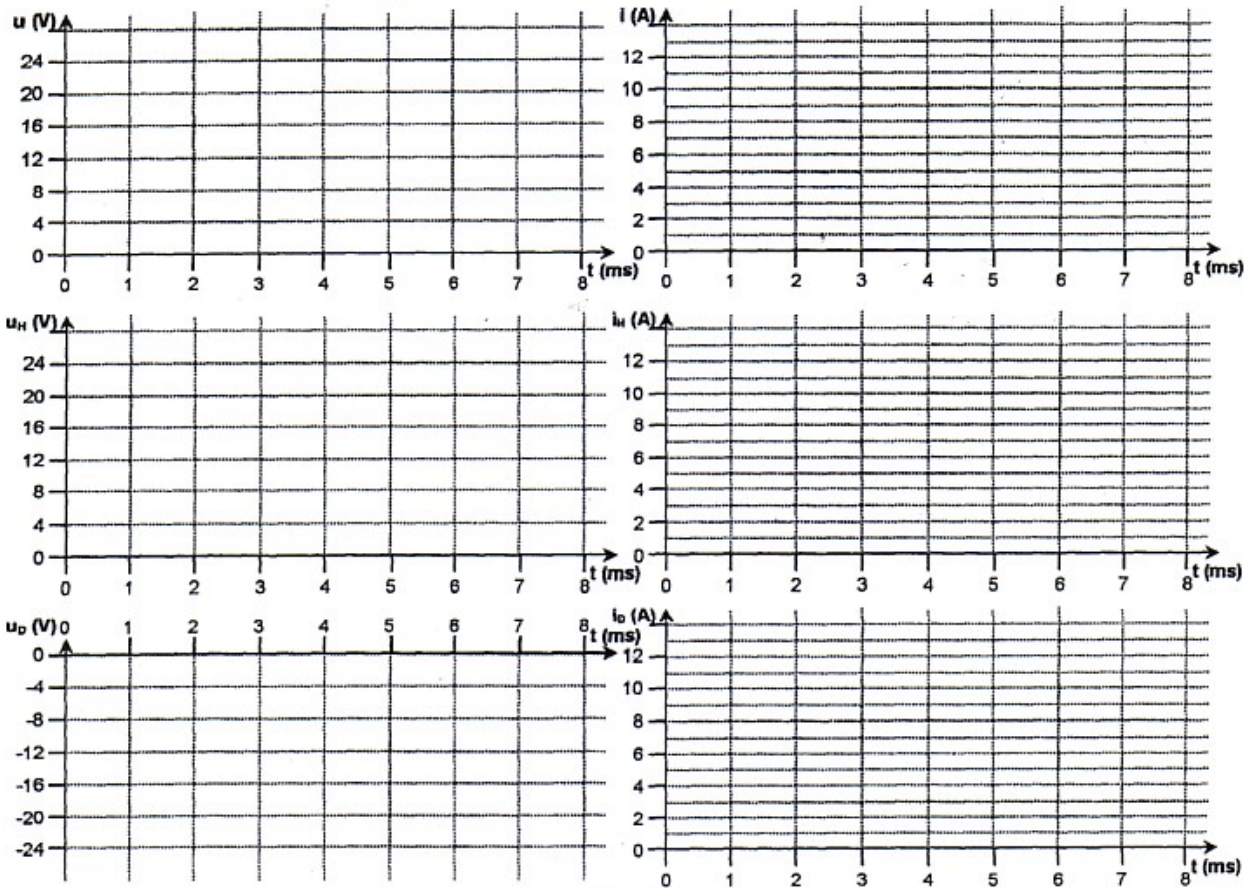


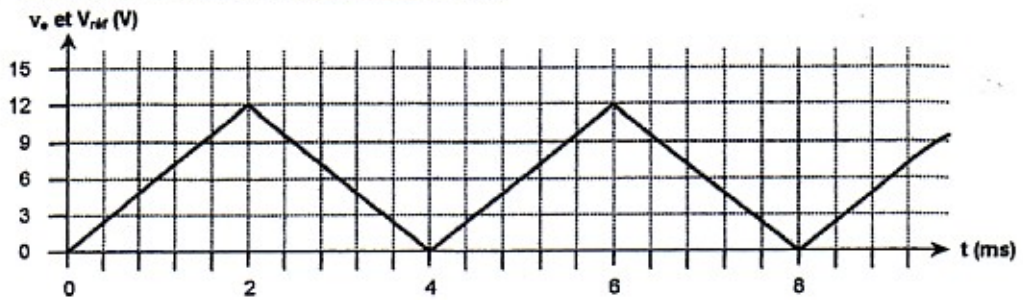
Figure 7

DOCUMENT-REPONSE N° 3

II. Étude du hacheur alimentant le moteur

2. Étude de la commande du hacheur

2.4. Tableau et tracé du chronogramme de $v_e(t)$



Signe de v_d	
Valeur de v_s (V)	

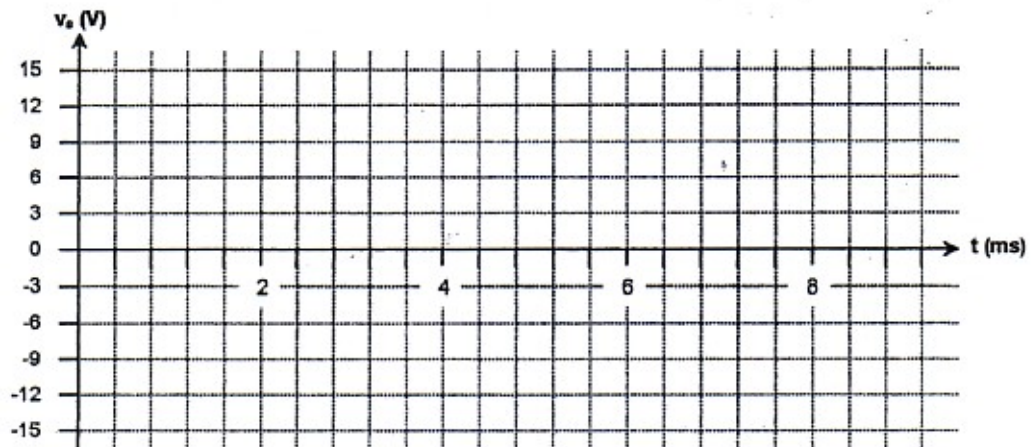


Figure 9

DOCUMENT-REPONSE N° 4

III. Étude de l'ensemble des batteries et de son chargeur

2. Étude du pont

2.2. Allure de la tension $u_2(t)$ à l'entrée du pont

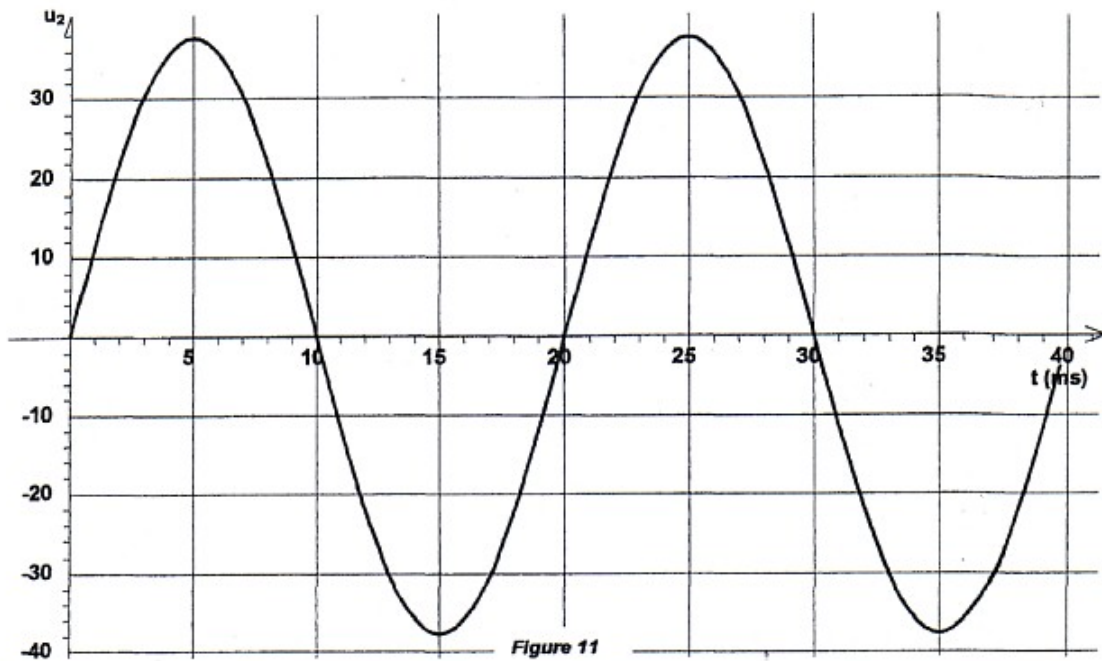


Figure 11

Diodes passantes	D_1-D_3	D_2-D_4	D_1-D_3	D_2-D_4
Valeur de u				

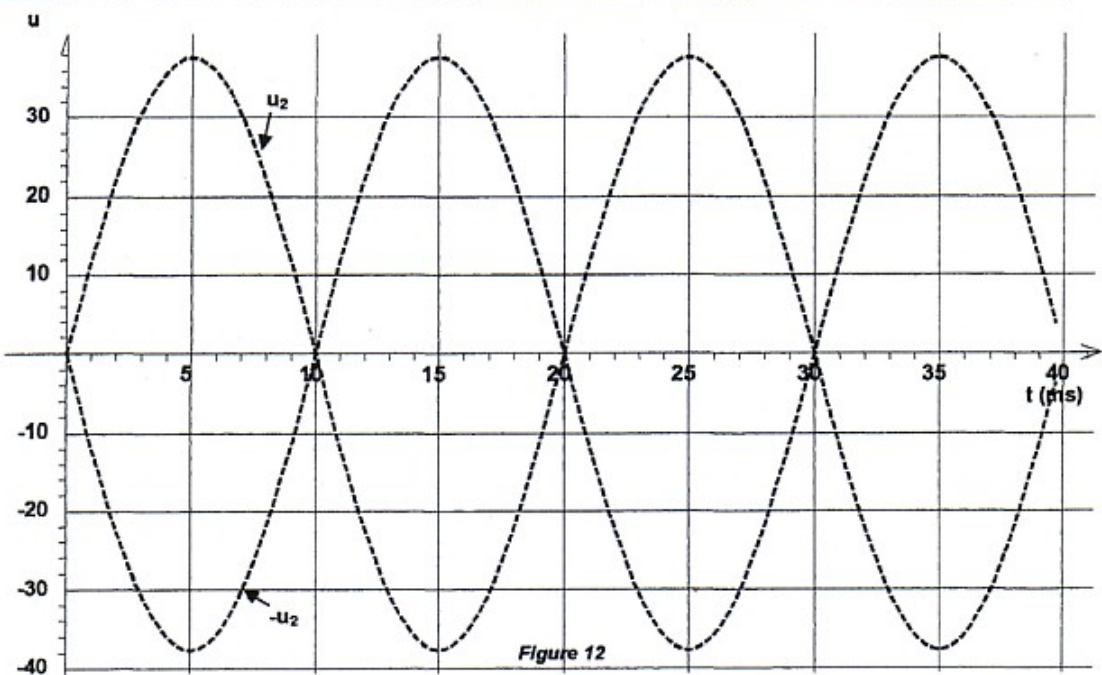


Figure 12