

## Activité 16

## TD : moteurs électriques à courant continu

**Exercice 1 :** La plaque signalétique d'un moteur à courant continu indique :  $P_u = 26,3 \text{ kW}$ ,  $n = 1150 \text{ tr/min}$ ,  $U = 440 \text{ V}$  et  $I = 68,5 \text{ A}$ . Calculer :

1- le couple utile  $C_u$ ,

.....

2- la puissance absorbée  $P_a$ ,

.....

3- le rendement  $\eta$ .

.....

**Exercice 2 :** Un moteur, alimenté sous  $300 \text{ V}$  continu, a une f.é.m.  $E = 284 \text{ V}$  en fonctionnement normal.

La résistance de l'induit est  $R_i = 0,5 \Omega$ . Calculer :

1- La chute de tension  $U_i$  ( $R_i$ ) dans l'induit.

.....

2- L'intensité  $I_a$  du courant absorbé.

.....

3- L'intensité  $I_d$  qui serait absorbée au démarrage si le moteur était dépourvu de rhéostat.

.....

4- La résistance  $R_h$  du rhéostat de démarrage pour que l'intensité au démarrage soit limitée à 1,8 fois l'intensité en charge nominale.

.....

.....

**Exercice 3 :** Un moteur de puissance utile  $3 \text{ kW}$  tourne à  $1500 \text{ tr/min}$ . Calculer le couple utile en  $\text{Nm}$ .

.....

**Exercice 4 :** Une machine à courant continu à excitation indépendante. La force électromotrice d'une machine à excitation indépendante est de  $210 \text{ V}$  à  $1500 \text{ tr/min}$ .

Calculer la f.é.m.  $E$  pour une fréquence de rotation de  $1000 \text{ tr/min}$ , le flux étant constant.

.....

.....

**Exercice 5 :** Un moteur à excitation indépendante alimenté sous  $220 \text{ V}$  possède une résistance d'induit de  $0,8 \Omega$ . A la charge nominale, l'induit consomme un courant de  $15 \text{ A}$ .

1- Calculer la f.é.m.  $E$  du moteur.

.....

2- La machine est maintenant utilisée en génératrice (dynamo). Elle débite un courant de  $10 \text{ A}$  sous  $220 \text{ V}$ . En déduire la f.é.m.

.....

**Exercice 6** : Une génératrice à excitation indépendante fournit une f.é.m. de **220 V** pour un courant d'excitation de **3,5 A**. La résistance de l'induit est de **90 mΩ**.

Calculer la tension d'induit **U** lorsqu'elle débite **56 A** dans le circuit de charge.

.....

**Exercice 7** : La plaque signalétique d'un moteur à courant continu à excitation indépendante indique : **1,12 kW - 1200 tr/min** ; induit : **220 V-5,7 A** ; excitation : **220 V- 0,30 A** et Masse : **57 kg**

1- Calculer le couple utile nominal **C<sub>u<sub>n</sub></sub>** (en Nm).

.....

2- Calculer le rendement nominal **η<sub>n</sub>**.

.....

**Activité 17** — Exercices à résoudre : moteurs électriques à courant continu —

**Exercice 1** : La plaque signalétique d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante indique : **11,2 Nm 1500 tr/min** induit : **220 V- 6,8 A** excitation : **220 V- 0,26 A** masse : **38 kg**.

1. Calculer la puissance mécanique consommée au fonctionnement nominal.
2. Calculer la puissance consommée par l'excitation.
3. Calculer la puissance utile.
4. En déduire le rendement nominal.

**Exercice 2** : Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante est alimenté sous **240 V**. La résistance d'induit est égale à **0,5 Ω**, le circuit inducteur absorbe **250 W** et les pertes collectives s'élèvent à **625 W**.

Au fonctionnement nominal, le moteur consomme **42 A** et la vitesse de rotation est de **1200 tr/min**.

1- Calculer :

a/ la f.é.m.

b/ la puissance absorbée, la puissance électromagnétique et la puissance utile

c/ le couple utile et le rendement

2- Quelle est la vitesse de rotation du moteur quand le courant d'induit est de **30 A** ?

3- Que devient le couple utile à cette nouvelle vitesse (on suppose que les pertes collectives sont toujours égales à **625 W**) ?

4- Calculer le rendement.

**Exercice 3** : La plaque signalétique d'un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes : **U = 240 V ; I = 35 A ; P = 7 kW** et **n = 800 tr/min**.

Calculer (à la charge nominale) :

1. Le rendement du moteur sachant que les pertes Joule inducteur sont de **150 W**.

2. Les pertes Joule induit sachant que l'induit a une résistance de **0,5 Ω**.

3. La puissance électromagnétique et les pertes « constantes ».

4. Le couple électromagnétique, le couple utile et le couple des pertes « constantes ».

**Exercice 4** : Un moteur à excitation indépendante alimenté sous **U = 220 V** possède une résistance d'induit **R = 0,8 Ω**.

1- A la charge nominale, l'induit consomme un courant **I = 15 A**. Calculer la f.é.m. **E** du moteur.

2- La machine est maintenant utilisée en génératrice (dynamo). Elle débite un courant **I = 10 A** sous **U = 220 V**. En déduire la f.é.m. **E**.

**Exercice 5 :** La plaque signalétique d'un moteur à courant continu à excitation indépendante indique :

1,12 kW, 1200 tr/min Induit : 220 V - 5,7 A Excitation : 220 V - 0,30 A - 57 kg

1- Calculer le couple utile nominal  $C_{Un}$  (en Nm).

2- Calculer le rendement nominal  $\eta_n$ .

**Exercice 6 :** Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante est alimenté sous

$U = 240 \text{ V}$ . La résistance d'induit est égale à  $R = 0,5 \Omega$ , le circuit inducteur absorbe  $P_e = 250 \text{ W}$  et les pertes collectives s'élèvent à  $p_c = 625 \text{ W}$ . Au fonctionnement nominal, le moteur consomme  $I = 42 \text{ A}$  et la vitesse de rotation est de  $n = 1200 \text{ tr/min}$ .

1- Calculer :

- la f.é.m.  $E$ .
- la puissance absorbée  $P_a$ , la puissance électromagnétique  $P_{em}$  et la puissance utile  $P_u$ .
- le couple utile  $C_u$  et le rendement  $\eta$ .

2- Quelle est la vitesse de rotation du moteur  $n$  quand le courant d'induit est de  $I = 30 \text{ A}$  ? Que devient le couple utile  $C_u$  à cette nouvelle vitesse (on suppose que les pertes collectives sont toujours égales à  $625 \text{ W}$ ) ? Calculer le rendement  $\eta$ .

**Exercice 7 :** La plaque signalétique d'un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes :

$U = 240 \text{ V}$	$I = 35 \text{ A}$
$P = 7 \text{ kW}$	$n = 800 \text{ tr/min}$

Calculer (à la charge nominale) :

1- Le rendement  $\eta$  du moteur sachant que les pertes Joule inducteur sont de  $p_{je} = 150 \text{ W}$ .

2- Les pertes Joule induit  $p_j$  sachant que l'induit a une résistance de  $R = 0,5 \Omega$ .

3- La puissance électromagnétique  $P_{em}$  et les pertes « constantes »  $p_c$ .

4- Le couple électromagnétique  $C_e$ , le couple utile  $C_u$  et le couple des pertes « constantes »  $C_p$ .

**Exercice 8 :** Une machine d'extraction est entraînée par un moteur à courant continu à excitation

indépendante. L'inducteur est alimenté par une tension  $u = 600 \text{ V}$  et parcouru par un courant d'excitation d'intensité constante :  $i = 30 \text{ A}$ .

L'induit de résistance  $R = 12 \text{ m}\Omega$  est alimenté par une source fournissant une tension  $U$  réglable de  $0 \text{ V}$  à sa valeur nominale :  $U_N = 600 \text{ V}$ . L'intensité  $I$  du courant dans l'induit a une valeur nominale :  $I_N = 1,50 \text{ kA}$ .

La fréquence de rotation nominale est  $n_N = 30 \text{ tr/min}$ .

N.B. Les parties 1, 2, 3 sont indépendantes.

**1- Démarrage**

1-1- En notant  $\Omega$  la vitesse angulaire du rotor, la f.é.m. du moteur a pour expression :  $E = K \cdot \Omega$  avec  $\Omega$  en rad/s. Quelle est la valeur de  $E$  à l'arrêt ( $n = 0$ ) ?

1-2- Dessiner le modèle équivalent de l'induit de ce moteur en indiquant sur le schéma les flèches associées à  $U$  et  $I$ .

1-3- Ecrire la relation entre  $U$ ,  $E$  et  $I$  aux bornes de l'induit, en déduire la tension  $U_d$  à appliquer au démarrage pour que  $I_d = 1,2 I_N$ .

1-4- Citer un système de commande de la vitesse de ce moteur.

**2- Fonctionnement nominal au cours d'une remontée en charge**

2-1- Exprimer la puissance absorbée par l'induit  $P$  du moteur et calculer sa valeur numérique.

2-2- Exprimer la puissance totale absorbée par le moteur  $P_a$  et calculer sa valeur numérique.

2-3- Exprimer la puissance totale perdue par effet Joule  $p_{joule}$  et calculer sa valeur numérique.

2-4- Sachant que les autres pertes valent  $27 \text{ kW}$ , exprimer et calculer la puissance utile  $P_u$  et le rendement du moteur  $\eta$ .

2-5- Exprimer et calculer le moment du couple utile  $C_u$  et le moment du couple électromagnétique  $C_e$ .

**Sujet 1 :**

*l'étude d'un mini quad électrique destiné aux enfants.*

*Celui-ci est équipé d'un moteur électrique avec réducteur.*

*L'étude du réducteur ne sera pas abordée.*



**A- Etude du moteur à courant continu**

*Le moteur à courant continu qui équipe le mini quad est d'une puissance de 250 W. Ce moteur fonctionnant à flux constant (flux noté  $\Phi$ ) présente les caractéristiques suivantes :*

- *Tension nominale d'induit :  $U_N = 24 \text{ V}$*
- *Intensité nominale du courant d'induit :  $I_N = 12,9 \text{ A}$*
- *Résistance d'induit :  $R = 0,20 \Omega$*
- *Fréquence de rotation nominale :  $n_N = 2750 \text{ tr/min}$*

- 1) On désigne par :
- $U$  : tension d'alimentation de l'induit
  - $I$  : intensité du courant d'induit
  - $E$  : force électromotrice

*Dessiner le modèle équivalent électrique de l'induit du moteur en fléchant toutes les tensions et le courant et en utilisant uniquement la convention récepteur.*

.....

.....

.....

.....

.....

2) *En déduire la relation liant  $U$  à  $E$ ,  $R$  et  $I$ .*

.....

.....

3) *Calculer la f.é.m.  $E_N$  au point de fonctionnement nominal.*

.....

.....

4) *Rappeler les relations liant la f.é.m.  $E$  à la vitesse angulaire  $\Omega$ , et  $\Omega$  à la fréquence de rotation  $n$  en tr/min. Justifier alors la proportionnalité entre  $E$  et  $n$ .*

.....

.....

5) *On se place au fonctionnement nominal et on suppose que les pertes collectives  $p_C$  sont égales à 27 W.*

a) *A quoi correspondent physiquement ces pertes collectives ?*

.....

.....

b) Calculer la puissance absorbée  $P_a$  par le moteur,

.....  
.....

c) Calculer les pertes dissipées par effet joule  $P_J$  dans l'induit,

.....  
.....

d) Retrouver par le calcul la puissance mécanique utile  $P_u$  de 250 W indiquée au début de l'énoncé.

.....  
.....

e) Calculer le rendement  $\eta$ ,

.....  
.....

f) Calculer le couple utile  $C_u$ .

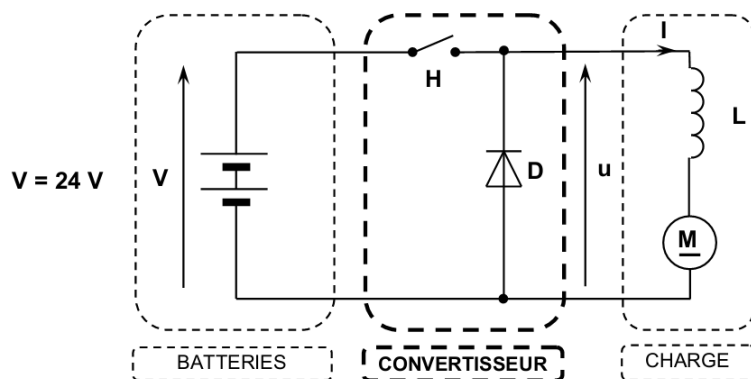
.....  
.....

### B- Etude de la commande du moteur à courant continu

Le réglage de la vitesse du mini quad est obtenu en faisant varier la vitesse du moteur électrique. Ceci est réalisé par l'intermédiaire d'un convertisseur qui alimente l'induit du moteur à courant continu à aimants permanents.

Un ensemble de deux batteries constitue la source d'énergie.

Le schéma de principe est le suivant :



$H$  Interrupteur électronique (supposé parfait) commandé à l'ouverture et à la fermeture

Pour ce convertisseur, on définit :

- $\alpha$  le rapport cyclique,
- $T$  la période de fonctionnement.

La commande de l'interrupteur électronique  $H$  est la suivante :

- $H$  ferme pour  $0 < t < \alpha.T$
- $H$  ouvert pour  $\alpha.T < t < T$

1) Quelle conversion réalise ce convertisseur ?

.....  
.....

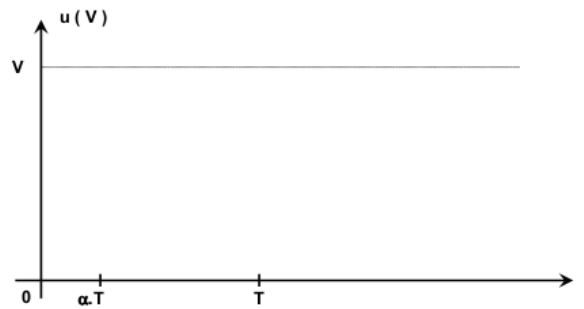
2) Quel nom donne-t-on à ce convertisseur ?

.....  
.....

3) Quel est le rôle de la diode  $D$  ?

.....  
.....

4) Sur la figure ci-dessous, tracer les variations de la tension  $u$  en fonction du temps sur une période  $T$ .



5) En appliquant la méthode des aires, déterminer l'expression de la valeur moyenne  $u_{\text{moy}}$  de la tension  $u$  en fonction de  $\alpha$  et  $V$ .

.....  
 .....

6) Pour quelle valeur de  $\alpha$ , la vitesse du véhicule est-elle maximale ?

.....  
 .....

### **Sujet 2 :**

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.



### **A- Etude du moteur**

Le moteur est un moteur à courant continu à aimants permanents.

Les données fournies par le fabricant du moteur sont les suivantes :

**Régime nominal :**  $U_N = 24 \text{ V}$  ;  $I_N = 9,6 \text{ A}$  ;  $n_N = 2660 \text{ tr/min}$  et La résistance de l'induit du moteur  $R = 0,25 \Omega$ .

### **1- Questions préparatoires**

11- Donner le schéma équivalent de l'induit du moteur en fléchant le courant  $I$  et les tensions  $E$ ,  $RI$  et  $U$ . En déduire la relation entre  $U$ ,  $E$ ,  $R$  et  $I$ .

.....  
 .....

12- Calculer la force électromotrice  $E_N$  pour le fonctionnement nominal.

.....

13- Montrer que l'on peut écrire  $E = kn$ . Calculer la constante  $k$  en  $\text{V/tr.min}^{-1}$ .

.....  
 .....

14- Montrer que  $C_{em} = a.I$  et déterminer la valeur numérique de la constante  $a$  et préciser son unité.

.....

15- Compléter le bilan des puissances en charge figure ci-dessous en nommant les puissances mises en jeu.

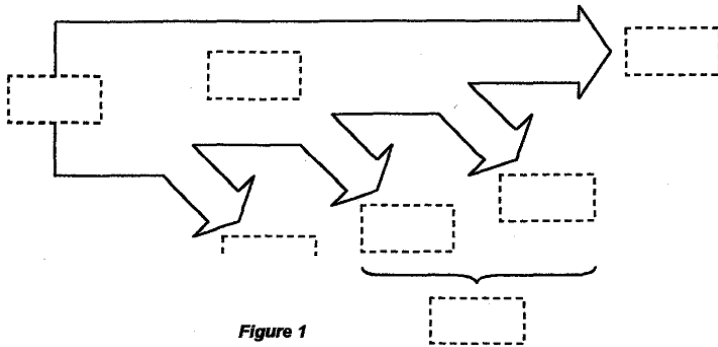


Figure 1

$P_J$	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**

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

21-Rappeler les origines physiques des pertes collectives.

22-Calculer la puissance absorbée  $P_{aN}$  du moteur.

23-Calculer les pertes par effet Joule  $P_{JN}$  dans l'induit du moteur.

24-Calculer la puissance utile  $P_{uN}$  fournie par le moteur.

25-Calculer la vitesse de rotation  $\Omega_N$  de l'arbre du moteur.

26-Calculer le moment du couple utile  $C_{uN}$  développé par le moteur.

27-Calculer le rendement  $\eta_N$  du moteur.

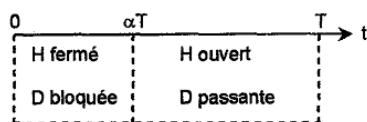
**B- Etude du hacheur alimentant le moteur**

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

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

On note  $\alpha$  le rapport cyclique du hacheur.

On donne le bandeau de conduction suivant :

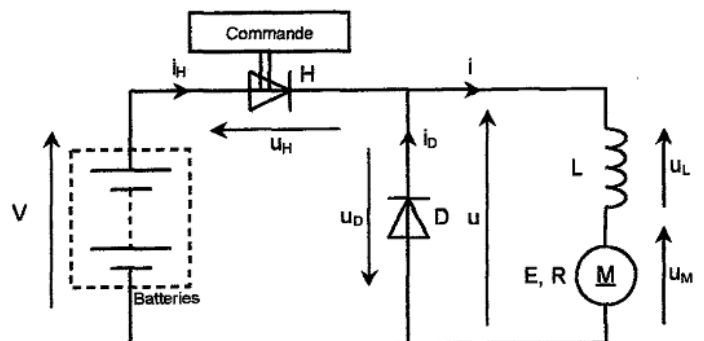


L'inductance parfaite L est suffisamment grande pour considérer que le courant dans le moteur est constant

$i = I = 9,6 \text{ A}$ .

On donne pour le moteur  $E = 8.10^{-3} n$  (n en tr/min et E en V) et  $R = 0,25 \Omega$ .

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



2- Quel est le rôle de la diode **D** ? Quel nom lui donne-t-on ?

.....

.....

3- Quel est le rôle de la bobine associée au moteur ?

.....

4- On considère l'intervalle de temps où  $0 < t < \alpha T$

41- Compléter la **figure 4** du document ci-dessous en remplaçant les éléments **H** et **D** par un interrupteur ouvert ou fermé.

42- Déterminer les valeurs numériques prises par les grandeurs  $u$ ,  $u_D$ ,  $u_H$  et  $i_D$ .

.....

.....

.....

43- Donner une relation liant  $i_H$  et  $i$

.....

5- On considère l'intervalle de temps où  $\alpha T < t < T$

51- Compléter la **figure 5** du document ci-dessous en remplaçant les éléments **H** et **D** par un interrupteur ouvert ou fermé.

52- Déterminer les valeurs numériques prises par les grandeurs  $u$ ,  $u_D$ ,  $u_H$  et  $i_D$ .

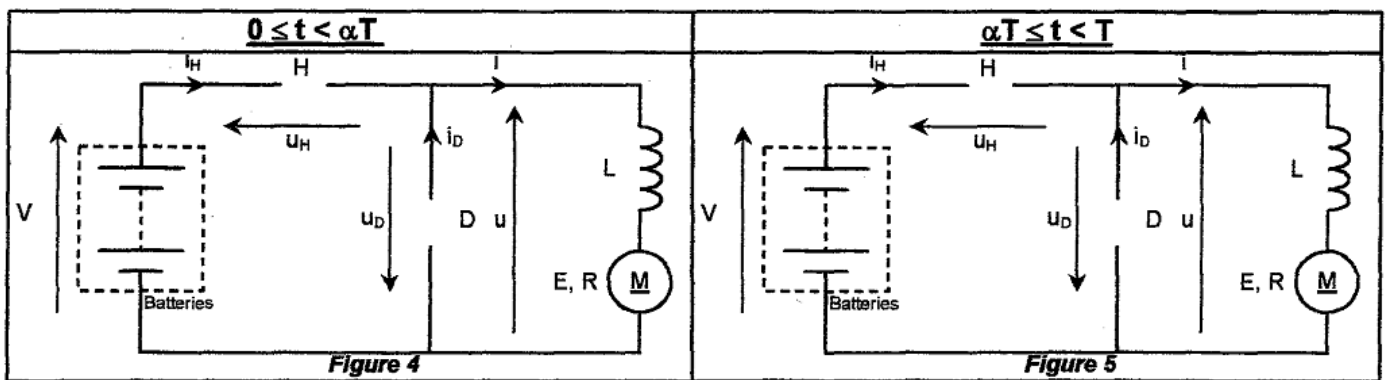
.....

.....

.....

53- Donner une relation liant  $i_D$  et  $i$ .

.....



6- 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  $T = 4 \text{ ms}$  sur la **figure 7** du document ci-dessous :



Tracé des chronogrammes en concordance de temps

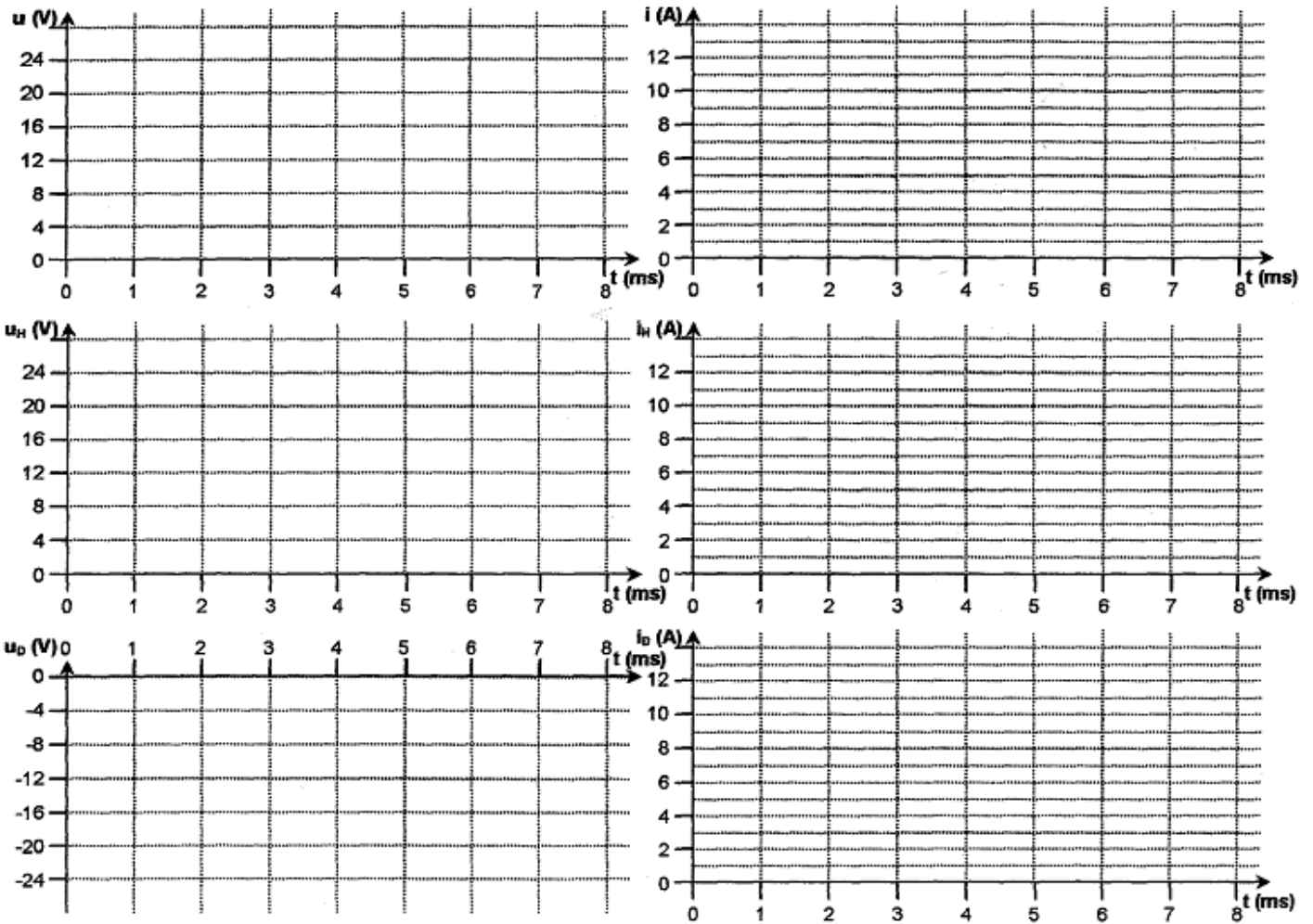


Figure 7

7- Montrer que la valeur moyenne  $u_{moy}$  de la tension  $u$  peut s'écrire  $u_{moy} = \alpha V$ .

.....

.....

8- Calculer  $u_{moy}$  pour  $\alpha = 0,75$ .

.....

9- Écrire la relation entre  $u(t)$ ,  $u_L(t)$  et  $u_M(t)$ . Exprimer  $u_{Mmoy}$  en fonction de  $V$  et de  $\alpha$ , puis exprimer  $E$  en fonction de  $V$ , de  $\alpha$  et de  $RI$ .

.....

.....

10- Montrer que l'on peut écrire  $n = 3000 \alpha - 300$  où  $n$  s'exprime en  $tr/min$ .

.....

.....

.....

11- Déterminer la valeur  $\alpha_0$  du rapport cyclique au démarrage du moteur

.....

.....

### **Sujet 3 :**

Dans un lycée, pour déplacer les matériels, on utilise un monte-charge équipé d'un moteur à courant continu alimenté en courant continu.

La partie A du problème concerne l'étude du moteur à courant continu à excitation indépendante et la partie B l'étude du hacheur permettant de faire varier la tension aux bornes du moteur.



#### **A - Étude du moteur à courant continu :**

Un moteur à courant continu à excitation indépendante, à flux constant, possède les caractéristiques nominales suivantes :

- Tension d'alimentation de l'induit  $U_n = 116 \text{ V}$
- Courant d'induit  $I_n = 10 \text{ A}$
- Résistance de l'induit  $R = 1 \Omega$
- Fréquence de rotation  $n_n = 50 \text{ tr/s}$

1/ Dessiner le schéma électrique équivalent de l'induit du moteur en fléchant le courant et les tensions, en utilisant la convention des électromoteurs récepteurs.

.....

.....

.....

.....

.....

2/ A l'aide du modèle précédent, exprimer la force électromotrice  $E$  en fonction de  $U$ ,  $R$  et  $I$ .

.....

.....

3/ Calculer  $E$  dans les conditions nominales.

.....

.....

4/ Donner l'expression de la force électromotrice  $E$  en fonction du flux  $\Phi$  et de la vitesse de rotation  $\Omega$  (rad/s). En déduire l'expression de  $E$  en fonction du flux  $\Phi$  et de la fréquence de rotation  $n$  en tr/s. Mettre cette expression sous la forme  $E = k.n$ .

.....

.....

5/ Calculer  $k$  et préciser son unité.

.....

.....

6/ Calculer la puissance électromagnétique nominale  $P_{e_n}$ .

.....

.....

7/ Exprimer le moment du couple électromagnétique  $C_e$  en fonction de la puissance électromagnétique  $P_e$  et de la vitesse de rotation  $\Omega$ . Calculer le moment du couple électromagnétique nominal  $C_{e_n}$ .

.....

.....

8/ Ce moteur entraîne une charge qui impose un moment du couple électromagnétique égale à la moitié de la valeur nominale calculée précédemment. Sachant que l'intensité du courant dans l'induit est proportionnelle au moment du couple électromagnétique, calculer la nouvelle valeur de l'intensité du courant que l'on notera  $I'$ .

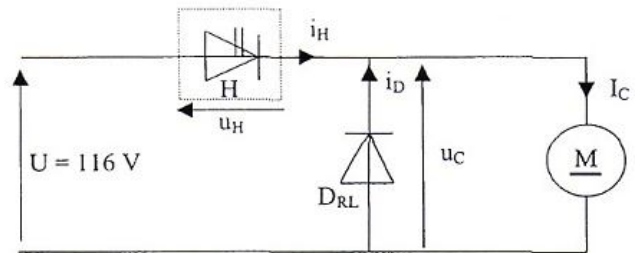
9/  $U$  étant constante et égale à **116 V**, calculer la valeur de la force électromotrice  $E'$  et en déduire la fréquence de rotation  $n'$ .

**B - Étude du hacheur :**

$M$  est un moteur à courant continu à excitation indépendante et à flux constant. On supposera que le courant  $I_C$  qui le traverse est parfaitement continu. L'interrupteur  $H$  et la diode de roue libre  $D_{RL}$  sont supposés parfaits.

L'interrupteur  $H$  est alternativement fermé ou ouvert à la fréquence  $f$ . Sur la durée d'une période  $T$ ,  $H$  est fermé sur l'intervalle de temps  $[0 ; \alpha T]$  et ouvert sur  $[\alpha T ; T]$ .

$\alpha$  est compris entre 0 et 1 et  $T = 20 \mu s$ .



1/ Quel nom porte  $\alpha$  ? Calculer sa valeur.

2/ Sur l'intervalle de temps  $[0 ; \alpha T]$ ,

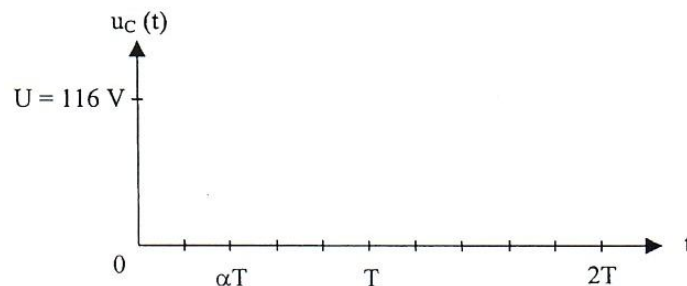
a) quelle est la valeur de la tension aux bornes de l'interrupteur  $H$  ?

b) Donner la valeur  $u_C(t)$  au cours de cet intervalle de temps,

c) donner l'état de la diode  $D_{RL}$  (passante ou bloquée).

3/ Sur l'intervalle de temps  $[\alpha T ; T]$ , donner l'état de la diode  $D_{RL}$  (passante ou bloquée) ainsi que la valeur de la tension à ses bornes ; pourquoi  $u_C(t) = 0$  ?

4/ Compléter le document ci-dessous en traçant la courbe représentant  $u_C(t)$ .



5/ Donner l'expression de  $u_{Cmoy}$  valeur moyenne de  $u_C(t)$  et la calculer lorsque  $\alpha = 0,4$ .

### C – Eude énergétique

On donne :

- Masse de la cage du monte-charge  $M_{mc} = 70 \text{ kg}$ .
- Masse d'un chariot  $M_c = 5 \text{ kg}$ .
- Intensité de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ N/kg}$ .

Dans le cas d'un monte-charge, la puissance  $P$  mise en jeu par la force  $F$  est égale au produit du module de cette force multipliée par  $v$ , le module de la vitesse du monte-charge :  $P = F.v$ .

La vitesse moyenne de déplacement du monte-charge est de  $0,8 \text{ m/s}$

Il est utilisé en moyenne **40 minutes par jour** avec un chariot à l'intérieur.

1/ Calculer  $P_{\text{oids}}$  le poids de l'ensemble chariot et monte-charge.

.....

2/ Calculer la puissance nécessaire au déplacement de l'ensemble

.....

3/ Quelle est l'énergie consommée pendant une journée d'utilisation ?

.....