

# Convertisseurs statiques – Exercices – Devoirs

## Exercice 1

La puissance apparente d'un transformateur monophasé 5,0 kV / 230 V ; 50 Hz est  $S = 21$  kVA. La section du circuit magnétique est  $s = 60$  cm<sup>2</sup> et la valeur maximale du champ magnétique  $B = 1,1$ T.

L'essai à vide a donné les résultats suivants :

$$U_1 = 5\,000 \text{ V} ; U_{20} = 230 \text{ V} ; I_{10} = 0,50 \text{ A} \text{ et } P_{10} = 250 \text{ W}$$

L'essai en court-circuit avec  $I_{2CC} = I_{2n}$  a donné les résultats suivants :

$$P_{1CC} = 300 \text{ W} \text{ et } U_{1CC} = 200 \text{ V}$$

- 1- Calculer le nombre de spires  $N_1$  au primaire.
- 2- Calculer le rapport de transformation  $m$  et le nombre  $N_2$  de spires au secondaire.
- 3- Quel est le facteur de puissance à vide de ce transformateur ?
- 4- Quelle est l'intensité efficace du courant secondaire  $I_{2n}$  ?
- 5- Déterminer les éléments  $R_s$  ;  $Z_s$  et  $X_s$  de ce transformateur.
- 6- Calculer le rendement de ce transformateur lorsqu'il débite un courant d'intensité nominale dans une charge inductive de facteur de puissance 0,83.

## Exercice 2

L'étude d'un transformateur monophasé a donné les résultats suivants :  
Mesure en continu des résistances des enroulements à la température de fonctionnement :  $r_1 = 0,2 \Omega$  et  $r_2 = 0,007 \Omega$ .

Essai à vide :  $U_1 = U_{1n} = 2\,300 \text{ V}$  ;  $U_{20} = 240 \text{ V}$  ;  $I_{10} = 1,0 \text{ A}$  et  $P_{10} = 275 \text{ W}$ .

Essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 40 \text{ V}$  ;  $I_{2CC} = 200 \text{ A}$ .

- 1- Calculer le rapport de transformation  $m$ .
- 2- Montrer que dans l'essai à vide les pertes Joule sont négligeables devant  $P_{10}$ .

- 3- Déterminer la valeur de la résistance ramenée au secondaire  $R_s$ .
- 4- Calculer la valeur de  $P_{1CC}$ .
- 5- Déterminer  $X_s$ .
- 6- Déterminer par la méthode de votre choix, la tension aux bornes du secondaire lorsqu'il débite un courant d'intensité  $I_2 = 180 \text{ A}$  dans une charge capacitive de facteur de puissance 0,9.
- 7- Quel est alors le rendement

## Exercice 3

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné les résultats suivants :

Essai à vide sous tension primaire nominale :  $U_{1n} = 2,20 \text{ kV}$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$  ;

Valeur efficace de l'intensité du courant mesuré au primaire :  $U_{20} = 230 \text{ V}$  ;

Puissance active mesurée au primaire :  $P_{10} = 700 \text{ W}$  ;

Essai en court-circuit sous tension primaire réduite :

$$U_{1cc} = 130 \text{ V} ; I_{2cc} = 200 \text{ A} \text{ et } P_{1cc} = 1,50 \text{ kW}.$$

- 1- Proposer un schéma de câblage du transformateur permettant lors de l'essai à vide, avec tous les appareils pour mesurer  $I_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $P_{10}$  en indiquant le type d'appareil choisi.
- 2- Calculer le rapport de transformation  $m$
- 3- Calculer le facteur de puissance du transformateur lors de l'essai à vide
- 4- On note  $I_{1m}$  la valeur efficace de la composante réactive de l'intensité  $I_{10}$ . Calculer  $I_{1m}$  (appelé parfois courant magnétisant)
- 5- On appelle  $R_s$  la résistance des enroulement ramené au secondaire et  $X_s$  la réactance ramené au secondaire.
  - a- Proposer un schéma de câblage du transformateur lors de l'essai en court-circuit, avec tous les appareils permettant de mesurer  $U_{1cc}$ ,  $I_{1cc}$ ,  $P_{1cc}$

b- Pourquoi cet essai est-il réalisé sous tension primaire réduite ?

Le secondaire étant court-circuité, seule la résistance de l'enroulement du secondaire limite l'intensité du courant  $I_{2cc}$ . Comme cette résistance est très faible, il suffit d'une tension primaire réduite ( $U_2 = mU_1$ ) pour obtenir une intensité de court-circuit égale à l'intensité nominale.

c- Faire un schéma électrique équivalent du transformateur ramené au secondaire pour cet essai ; y porter toutes les grandeurs électriques.

d- Que représente la puissance active  $P_{1cc}$  lors de cet essai ?

Cette puissance représente les pertes par effet Joule ou pertes cuivres.

e- Calculer  $R_s$

f- Calculer le module de l'impédance  $Z_s$  ramené au secondaire. Montrer que  $X_s = \sqrt{R_s^2 + Z_s^2}$ . Calculer  $X_s$

### Exercice 4

Soit un transformateur parfait 380V/220V 50 Hz de puissance apparente nominale  $S = 2$  kVA.

1. Calculer les courants nominaux  $I_{1N}$ ,  $I_{2N}$  ainsi que le rapport de transformation  $m$ .

2. La charge inductive est constituée d'une résistance  $R = 20\Omega$  en série avec une inductance  $L = 50$  mH.

Calculer l'impédance de la charge et son facteur de puissance.

En déduire les courants du transformateur, la puissance active fournie et le rendement

### Exercice 5

Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes :  $S_{2N} = 25$  kVA,  $P_{\text{Joule}} = 700$  W et  $P_{\text{fer}} = 115$  W.

1. Calculer le rendement nominal pour :

- une charge résistive
- une charge inductive de facteur de puissance 0,8

2. Calculer le rendement pour :

- une charge résistive qui consomme la moitié du courant nominal

### Exercice 6

La plaque signalétique d'un transformateur monophasé indique :

$U_{1N} = 220$  V,  $f = 50$  Hz,  $S = 63$  VA.

1. Un essai à vide, sous la tension primaire nominale a donné les résultats suivants :  $I_{10} = 30$  mA ;  $P_{10} = 0,4$  W ;  $U_{20} = 10$  V.

- Calculer le rapport de transformation à vide  $m_v$ .
  - En déduire le nombre de spires du secondaire, si l'enroulement primaire possède 1000 spires.
  - Que représente la puissance mesurée dans l'essai à vide ?
  - Calculer le facteur de puissance au primaire à vide  $\cos\varphi_{10}$ .
2. Un essai en court-circuit effectué sous tension réduite a donné les résultats suivants :  $I_{2cc} = 2,0$  A ;  $P_{1cc} = 0,8$  W.
- Que représente la puissance mesurée dans l'essai en court-circuit ?
  - Déduire de cet essai la résistance  $R_s$  du transformateur ramenée au secondaire.

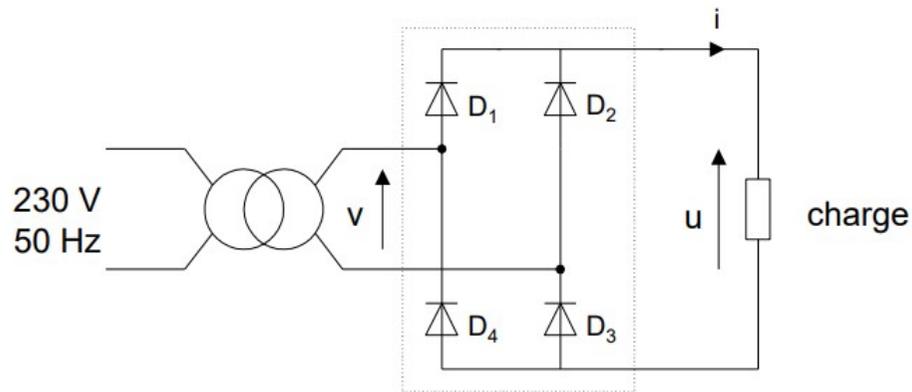
3. Un essai en charge purement résistive donne les résultats suivants :

$U_1 = 220$  V ;  $I_2 = 1,0$  A ;  $P_2 = 9,7$  W.

- Calculer la tension secondaire  $U_2$  en charge et le rapport de transformation en charge.
- Calculer la puissance  $P_1$  consommée au primaire, en déduire le rendement du transformateur.

## Exercice 7

Le montage redresseur ci-dessous est alimenté par le secondaire d'un transformateur qui fournit une tension sinusoïdale  $v$



Les diodes sont supposées parfaites (tension de seuil nulle).

1-1- Calculer la période, la valeur efficace et la valeur maximale de cette tension. Dessiner le chronogramme  $v(t)$ .

Donnée : le rapport de transformation du transformateur est de 0,21.

1-2- La charge est une résistance  $R_C = 17 \Omega$ . Représenter en concordance de temps la tension aux bornes de la charge  $u(t)$  et la tension  $v(t)$ . Indiquer les intervalles de conduction des diodes.

1-3- Calculer la valeur moyenne  $\langle u \rangle$  de  $u$ . Dessiner le chronogramme  $i(t)$ . En déduire la valeur moyenne  $\langle i \rangle$  du courant dans la résistance.

1-4- Calculer la puissance consommée par la résistance.

2- La charge du pont est maintenant constituée par l'induit d'un moteur à courant continu à excitation indépendante, en série avec une bobine de lissage de résistance interne négligeable et d'inductance suffisante pour que le courant d'induit soit considéré comme constant :  $I = 2,5 \text{ A}$ .

2-1- On admet que les intervalles de conduction des diodes ne sont pas modifiés. En déduire la forme de la tension  $u$  et sa valeur moyenne  $\langle u \rangle$ .

2-2- Quelle est la relation entre les valeurs instantanées des tensions  $u$ ,  $u_L$  aux bornes de la bobine et  $u_m$  aux bornes de l'induit du moteur ?

2-3- Justifier que  $\langle u_L \rangle = 0 \text{ V}$ . En déduire la valeur moyenne  $\langle u_m \rangle$  de  $u_m$ .

2-4- L'induit du moteur ayant une résistance  $R = 1 \Omega$ , calculer la valeur de sa f.e.m.  $E$ .

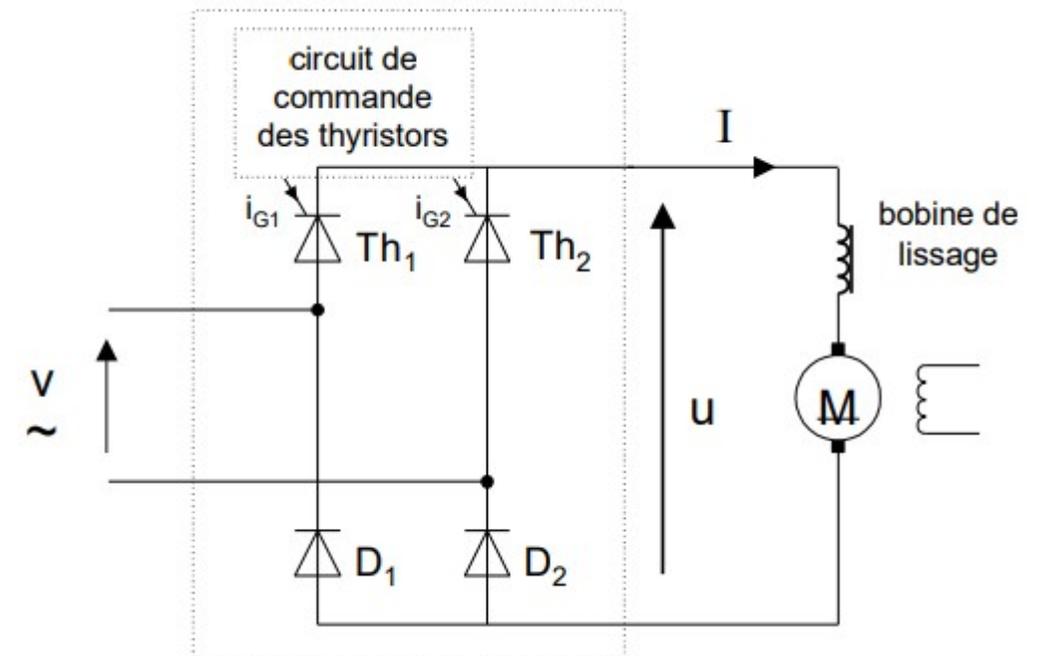
2-5- Calculer la puissance consommée par l'induit du moteur.

## Exercice 8

Un pont mixte monophasé alimente un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante.

Il délivre une tension  $u$  de valeur moyenne  $\langle u \rangle = 169 \text{ V}$ , l'angle  $\theta$  de retard à l'amorçage des thyristors étant réglé à  $45^\circ$ . Le courant dans le moteur est parfaitement lissé par une bobine de résistance interne  $r = 0,1 \Omega$ .

Son intensité  $I$  est égale à  $25 \text{ A}$ . La vitesse de rotation du moteur est de 1800 tours par minute.



1- Le pont est alimenté avec une tension sinusoïdale  $v$  de fréquence 50 Hz. Représenter en concordance de temps la tension  $u(t)$  et la tension  $v(t)$ . Préciser les intervalles de conduction de chaque thyristor et de chaque diode sur une période.

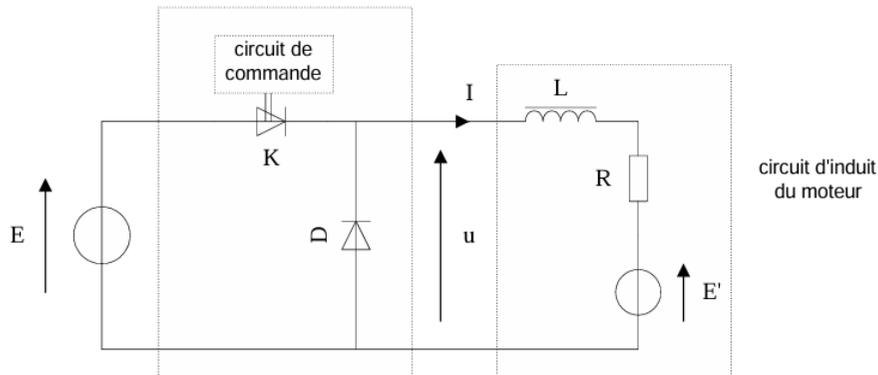
2- Calculer la valeur efficace de la tension  $v$ .

3- La résistance de l'induit du moteur est  $R = 0,4 \Omega$ . Calculer la f.e.m. du moteur. En déduire la puissance électromagnétique  $P_{em}$  du moteur. Calculer la puissance absorbée par l'induit du moteur.

4- La charge du moteur variant, le moment  $T_{em}$  de son couple électromagnétique est doublé. Que devient la f.e.m. du moteur ? En déduire la vitesse de rotation. Commentaire ?

### Exercice 9

On alimente un moteur à courant continu dont le schéma équivalent est donné ci-dessous, à l'aide d'un hacheur. L'interrupteur électronique K et la diode sont supposés parfaits. La période de hachage est  $T$ , le rapport cyclique  $\alpha$ . L'inductance  $L$  du bobinage de l'induit du moteur a une valeur suffisante pour que la forme du courant dans l'induit soit pratiquement continue. Le hacheur est alimenté par une tension continue  $E = 220 \text{ V}$ . La f.e.m.  $E'$  du moteur est liée à sa vitesse de rotation  $n$  par la relation :  $E' = 0,20 n$  avec  $E'$  en V et  $n$  en tr/min L'induit a pour résistance  $R = 2,0 \Omega$ .



1- Etude de la tension  $u$  pour  $\alpha = 0,80$ .

1-1- Représenter, en la justifiant, l'allure de la tension  $u$ . On prendra comme instant origine celui où l'interrupteur K se ferme.

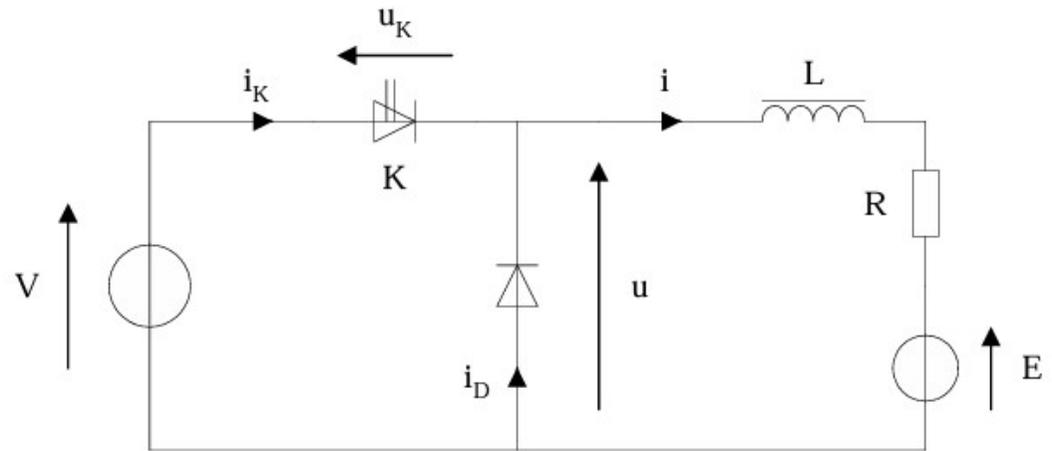
1-2- Déterminer l'expression littérale de la valeur moyenne  $\langle u \rangle$  de la tension  $u$ , en fonction de  $E$  et du rapport cyclique  $\alpha$ . Calculer sa valeur numérique.

2- Fonctionnement du moteur pour  $\alpha = 0,80$ . Le moteur fonctionne en charge, la valeur moyenne du courant d'induit est  $\langle I \rangle = 10 \text{ A}$ . Déterminer  $E'$  et en déduire  $n$ .

3- Le dispositif de commande du hacheur est tel que le rapport cyclique  $\alpha$  est proportionnel à une tension de commande  $u_c$  :  $\alpha = 100 \%$  pour  $u_c = 5 \text{ V}$ . Tracer la caractéristique  $\langle u \rangle$  en fonction de  $u_c$ .

### Exercice 10

Un moteur à courant continu travaillant à couple constant est inclus dans le montage ci dessous :



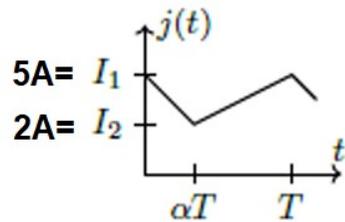
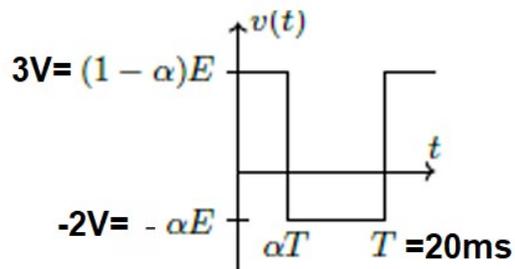
Le hacheur fonctionne à une fréquence  $f = 500 \text{ Hz}$ . L'interrupteur  $K$  est fermé lorsque  $0 < t < \alpha T$  et ouvert entre  $\alpha T$  et  $T$ . La diode est supposée parfaite. L'inductance de la bobine de lissage  $L$  est de valeur suffisante pour que le courant dans le moteur soit considéré comme constant :  $i = I = \text{cte}$ . La résistance de l'induit du moteur est :  $R = 1 \Omega$ .

- 1- Représenter les allures de  $u$  et  $u_K$  en fonction du temps.
- 2- Exprimer la valeur moyenne de  $u$  en fonction de  $V$  et  $\alpha$ .
- 3- Représenter les allures de  $i_K$  et  $i_D$  en fonction du temps.
- 4- Exprimer les valeurs moyennes des courants  $i_K$  et  $i_D$  en fonction de  $I$  et  $\alpha$ .
- 5- Déterminer l'intensité  $I$  du courant dans le moteur en fonction de  $V$ ,  $E$ ,  $R$  et  $\alpha$ .
- 6- Application numérique : Calculer  $\langle u \rangle$ ,  $I$  et  $\langle i_D \rangle$  pour  $V = 220 \text{ V}$ ,  $E = 145 \text{ V}$  et  $\alpha = 0,7$ .
- 7- Établir la relation liant la vitesse  $n$  du moteur (en tr/min) à  $\alpha$  pour  $E = 0,153 n$ , sachant que  $R = 1 \Omega$ ,  $V = 220 \text{ V}$  et  $I = 9 \text{ A}$ .

### Exercice 11

En utilisant les graphiques suivants, déterminer :

- la fréquence des signaux
- le rapport cyclique  $\alpha$  ; la tension d'alimentation  $E$
- les valeurs moyennes  $\langle v \rangle$ ,  $\langle i_c \rangle$  et  $\langle P_c \rangle$

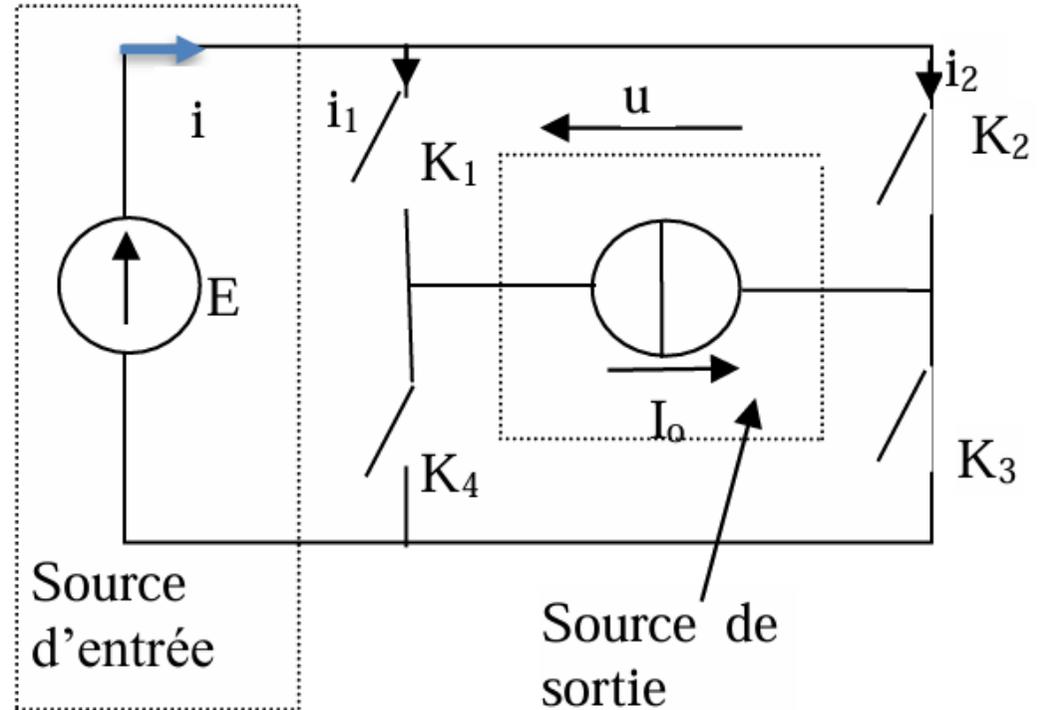


### Exercice 12

Structure à quatre interrupteurs :

1. Rappeler l'objectif d'un onduleur.

On envisage la structure suivante : on prendre  $E = 150 \text{ V}$



2. Quels sont les modes de fonctionnement possibles des interrupteurs ? Que vaut pour chacun de ces modes la tension aux bornes de la source de courant ?
3. On envisage la séquence de commande suivante :
  - de  $t = 0$  à  $t = \alpha \cdot T$  :  $K_1$  et  $K_3$  sont fermés ;  $K_2$  et  $K_4$  sont ouverts ;
  - de  $t = \alpha \cdot T$  à  $t = T$  :  $K_1$  et  $K_3$  sont ouverts ;  $K_2$  et  $K_4$  sont fermés.
Représenter pour  $\alpha = 0,3$  les évolutions temporelles de  $u, i, i_1$  et  $i_2$  sur une période.

4. Pour une valeur quelconque de  $\alpha$ , exprimer la valeur moyenne de  $u$  et de l'intensité  $i$ . A quelle condition sur  $\alpha$  obtient-on un onduleur ?
5. En déduire la puissance moyenne échangée par ces sources et tracer le graphe de son évolution en fonction de  $\alpha$ .

### Exercice 13

Le montage étudié est celui de la figure 1.1. Il comprend une batterie d'accumulateurs de résistance interne négligeable et de tension  $U_b = 72 \text{ V}$ , une inductance de lissage de résistance négligeable et d'inductance  $L$ . La diode est supposée parfaite.

Le hacheur  $H$  se comporte comme un interrupteur parfait. Il travaille à la fréquence  $f = 500 \text{ Hz}$  avec un rapport cyclique  $\alpha$ . Pour  $0 < t < \alpha T$ , l'interrupteur  $H$  est fermé ; pour  $\alpha T < t < T$ , l'interrupteur  $H$  est ouvert.

La charge est une machine à courant continu.

1. Tracer  $v(t)$ .
2. Quelle est la relation existant entre la valeur moyenne  $V_{\text{moy}}$  de la tension  $v(t)$  et la valeur moyenne  $U_{\text{moy}}$  de la tension  $u$  aux bornes du moteur ? Justifier votre réponse.  
Etablir la relation entre  $U_b$  et  $U_{\text{moy}}$  lorsque la conduction dans le moteur est ininterrompue (le courant ne s'annule pas).  
Calculer alors la valeur de  $\alpha$  permettant d'obtenir  $U_{\text{moy}} = 65 \text{ V}$ .

3. Le moteur tourne à vide à  $3000 \text{ tr/min}$ , ce qui correspond à  $E = 53 \text{ V}$  en absorbant  $I_{\text{moy}} = 0,42 \text{ A}$ . On constate que le rapport cyclique est alors  $\alpha = 0,56$ .
  - a) La conduction est-elle interrompue ? Justifier votre réponse.
  - b) On constate que le courant dans l'induit s'annule à un instant  $t_1$  compris entre  $\alpha T$  et  $T$ . Que vaut la tension aux bornes du moteur pour :  $t_1 < t < T$  ?
  - c) Tracer  $v(t)$  et  $i(t)$  sur le document réponse.

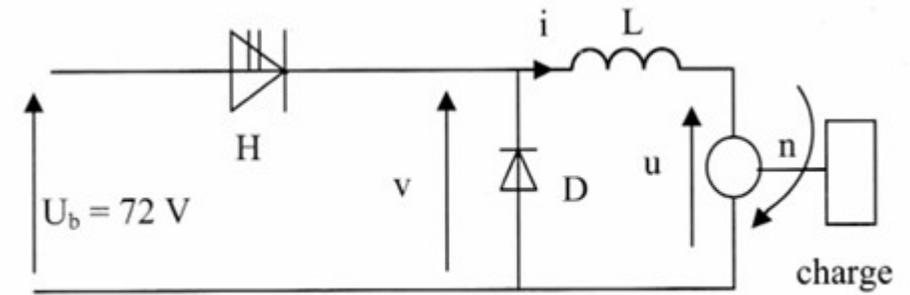
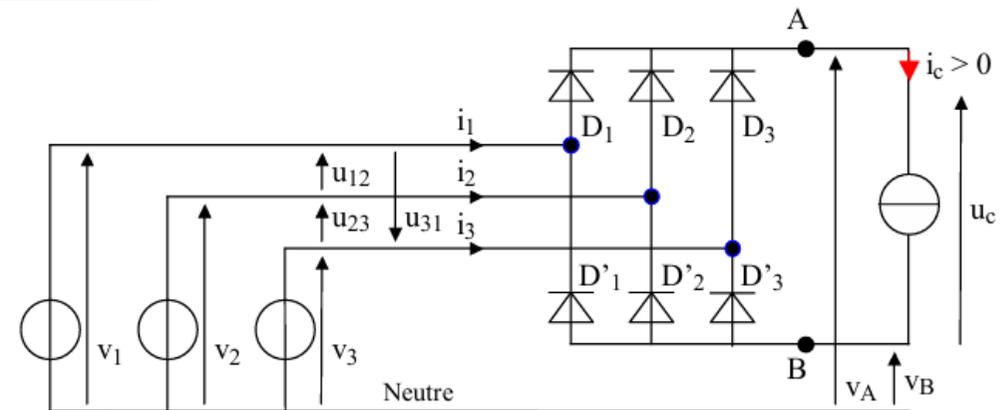


Figure 1.1

### Exercice 14



Donnée :  $V_1 = V_2 = V_3 = 230 \text{ V}$

1. Déterminer les intervalles de conduction des diodes sur le document suivant
2. En déduire  $v_A(t)$ ,  $v_B(t)$  et  $u_C(t)$  ; calculer  $\langle v_A \rangle$  et  $\langle u_C \rangle$
3. On utilise une charge résistive de résistance  $R = 100 \Omega$  ; calculer  $I_C$  puis la puissance reçue par la charge
4. En déduire  $i_1(t)$  sur le graphique suivant ; calculer le facteur de puissance

