



## EXAMEN DE FIN D'ANNEE

SECTION ELECTROTECHNIQUE  
1<sup>ère</sup> Année

## ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

DUREE : 3 H  
COEFF : 12

### Nota :

- *Aucun document n'est autorisé ;*
- *Après lecture de l'ensemble du sujet, les parties pourront être traitées de façon indépendante.*
- *Inscrire le numéro de la question avant la rédaction de la réponse correspondante et encadrer le résultat final.*

*Les pages 8/9 et 9/9 sont des documents à rendre en fin d'épreuve.*

### Barème:

#### **Partie A: 7 points /40**

- A1.....1pt
- A2.....1pt
- A3.....1pt
- A4.....2pts
- A5.....2pts

---

#### **Partie B: 8,5 points /40**

- B1.....2 + 1 pt
- B2.....2 pts
- B3.....4 x 0,75 + 0,5 pt

---

#### **Partie C:10,5 points / 40**

- C1.....2 + 1pt
- C2.....2 pt
- C3.....1,5 pt
- C4.....4 x 0,75 pt
- C5.....1 pt

---

#### **Partie D: 14 points / 40**

- D1.....2 pts
- D2.....2 pts
- D3.....2 pts
- D4.....6 x 1 pt

## A - Etude du moteur à courant continu

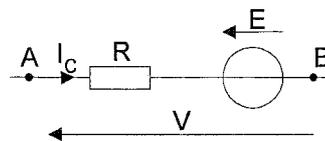
Caractéristiques nominales données par le constructeur :

Puissance nominale	20 kW
Vitesse nominale	1500 tr/min
Tension nominale	350V
Courant nominal	70 A
Résistance totale du circuit de l'induit	0,52 $\Omega$

Le moteur fonctionne à courant d'excitation nominal constant. Le flux dans l'entrefer est supposé constant.

Le modèle utilisé pour l'étude du moteur est représenté figure 2.

La f.e.m.  $E$  est proportionnelle à la vitesse angulaire  $\Omega$ .



**figure 2**

On pose :  $E = K_E \Omega$  avec  $E$  en volts et  $\Omega$  en  $\text{rad.s}^{-1}$ .

- A.1 En utilisant les données du constructeur, calculer la constante  $K_E$ . Dans toute la suite du problème on adoptera la valeur  $K_E = 2,0 \text{ V.s.rad}^{-1}$ .
- A.2 Montrer que l'on peut exprimer le couple électromagnétique  $T_{em}$  par l'équation dite électromécanique suivante :  $T_{em} = K_E \cdot I_C$
- A.3 Calculer la puissance absorbée par l'induit au point nominal ainsi que le rendement de l'induit.
- A.4 Pour le fonctionnement nominal, calculer :
- le couple électromagnétique,  $T_{em}$  ;
  - le couple utile,  $T_u$  ;
  - le couple de pertes,  $T_p$ .
- A.5 Le couple de pertes est supposé constant, de valeur 13 N.m. Avec les conventions de la figure 2, prédéterminer l'intensité  $I_C$  du courant dans l'induit puis la tension  $V$  à ses bornes pour obtenir les fonctionnements particuliers suivants :
- Marche en moteur à la fréquence de rotation  $n = 750 \text{ tr/min}$ , avec un couple sur l'arbre :  $T_u = 80 \text{ N.m}$ .
  - Marche en génératrice (descente de la charge avec inversion du sens de rotation de l'induit) à la fréquence de rotation  $n = -750 \text{ tr/min}$ , avec un couple sur l'arbre  $T_a = 80 \text{ N.m}$ .

## B - Etude du pont tout thyristors (*interrupteur $K_1$ ouvert*)

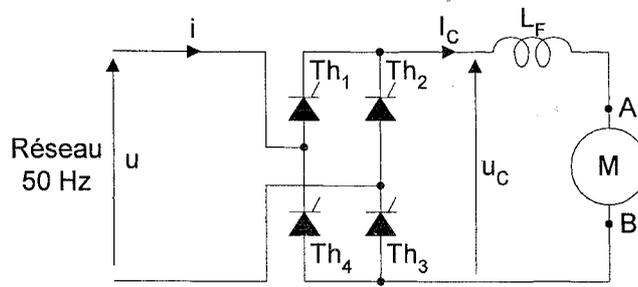


figure 3

Le pont est alimenté par le réseau qui fournit une tension sinusoïdale de valeur efficace  $U=400\text{V}$  et de fréquence 50 Hz.

Les thyristors sont considérés comme parfaits :  $\text{Th}_1$  et  $\text{Th}_3$  d'une part,  $\text{Th}_2$  et  $\text{Th}_4$  d'autre part, sont commandés de manière complémentaire avec un retard à l'amorçage noté  $\psi$ .

On admet que le courant  $I_C$  fourni par le pont à thyristors est parfaitement lissé grâce à l'inductance  $L_F$  ( $I_C = \text{constante}$ ).

B.1 Pour  $\psi = \pi/3$ , représenter sur le document réponse n°1 :

- la tension  $u_C$  à la sortie du pont en indiquant les thyristors passants ;
- le courant  $i$  fourni par le réseau.

B.2 Montrer que, pour une valeur quelconque de  $\psi$  la tension moyenne à la sortie du pont a pour expression :

$$U_{C\text{moy}} = \frac{2 \cdot U \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cos \psi$$

Quel type de fonctionnement obtient-on pour  $\psi > \pi/2$  si le courant  $I_C$  est maintenu constant ?

B.3 Application numérique :

Pour  $\psi = \pi/3$  et  $I_C = 45\text{A}$ , calculer :

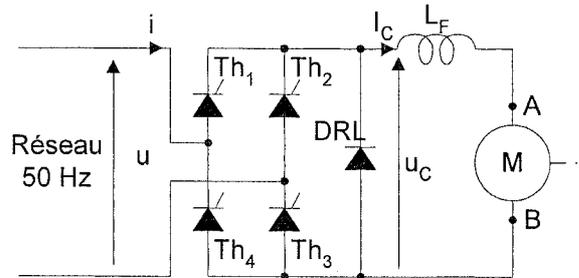
- la tension  $U_{C\text{moy}}$  ;
- la puissance  $P$  absorbée par le moteur ;
- la valeur efficace  $I$  du courant  $i$  prélevé au réseau ;
- la puissance apparente  $S$  de l'installation ;
- le facteur de puissance  $k = \frac{P}{S}$  de l'installation.

## C - Fonctionnement en pont mixte (interrupteur $K_1$ fermé)

Afin d'améliorer le facteur de puissance de l'installation, on place à la sortie du pont précédent une diode de «roue libre»  $D_{RL}$ .

La tension sinusoïdale du réseau est inchangée ( $U = 400 \text{ V}$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ).

On admet encore que le courant  $I_C$  fourni par le pont à thyristors est parfaitement lissé grâce à  $L_F$ .



**figure 4**

C1. Pour un angle de retard à l'amorçage  $\psi = \pi/2$ , représenter sur le document réponse n°1 :

- la tension  $u_C$  à la sortie du pont, en indiquant les composants passants ;
- le courant  $i$  fourni par le réseau alternatif.

C2. Montrer que la tension moyenne à la sortie du pont a pour expression :

$$U_{C\text{moy}} = \frac{U \cdot \sqrt{2}}{\pi} (1 + \cos\psi)$$

Calculer la valeur de l'angle de retard à l'amorçage  $\psi$  donnant  $U_{C\text{moy}} = 180 \text{ V}$ .

C3. Montrer que pour une valeur quelconque de  $\psi$  la valeur efficace du courant  $i$  a pour expression :

$$I = I_C \sqrt{\frac{\pi - \psi}{\pi}}$$

C4. Application numérique :

Pour  $I_C = 40 \text{ A}$  et  $U_{\text{moy}} = 180 \text{ V}$  calculer :

- la puissance  $P$  absorbée par le moteur ;
- la valeur efficace  $I$  du courant  $i$  débité par le réseau ;
- la puissance apparente  $S$  mise en jeu par le réseau ;
- le facteur de puissance  $k = \frac{P}{S}$  de l'installation.

C5. Ce pont est-il réversible (susceptible de fonctionner en onduleur) ? Justifier votre réponse.

## D - Amélioration du facteur de puissance avec un circuit LC

On s'intéresse de nouveau à un fonctionnement de l'installation en pont tout thyristors. Sauf mention contraire (question 4.5.3), on admet que le courant  $i$  des figures 1 et 3 a l'allure représentée figure 7 sur le document réponse n°2.

La tension sinusoïdale du réseau a pour valeur efficace  $U = 400$  V et pour fréquence  $f = 50$  Hz.

D.1 Pour  $I_C = 50$  A, donner la valeur efficace  $I$  du courant  $i$  puis calculer la puissance apparente  $S$  de l'installation.

D.2 On rappelle que si la tension du réseau est sinusoïdale, la puissance active  $P$  et la puissance réactive  $Q$  qu'il fournit à l'installation se calculent en utilisant le fondamental (ou premier harmonique) du courant  $i$ .

a) Représenter sur le document réponse n°2, le fondamental  $i_F$  du courant  $i$  sachant que son amplitude a pour valeur :  $I_{Fmax} = \frac{4 \cdot I_C}{\pi}$ .

a-1. Calculer la valeur efficace  $I_F$  du fondamental pour  $I_C = 50$  A.

a-2. Indiquer la nature (avance ou retard) et la valeur du déphasage  $\varphi_F$  du fondamental du courant par rapport à la tension du réseau.

b) On rappelle que les expressions générales de la puissance active  $P$  et de la puissance réactive  $Q$  absorbées par l'installation s'écrivent comme suit :

$$P = U \cdot I_F \cdot \cos(\varphi_F) \quad \text{et} \quad Q = U \cdot I_F \cdot \sin(\varphi_F)$$

b-1. Faire l'application numérique pour  $I_C = 50$  A et  $\psi = \pi/3$ .

b-2. En déduire la valeur numérique du facteur de puissance  $k = \frac{P}{S}$

D.3 La puissance apparente de l'installation s'écrit sous la forme :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

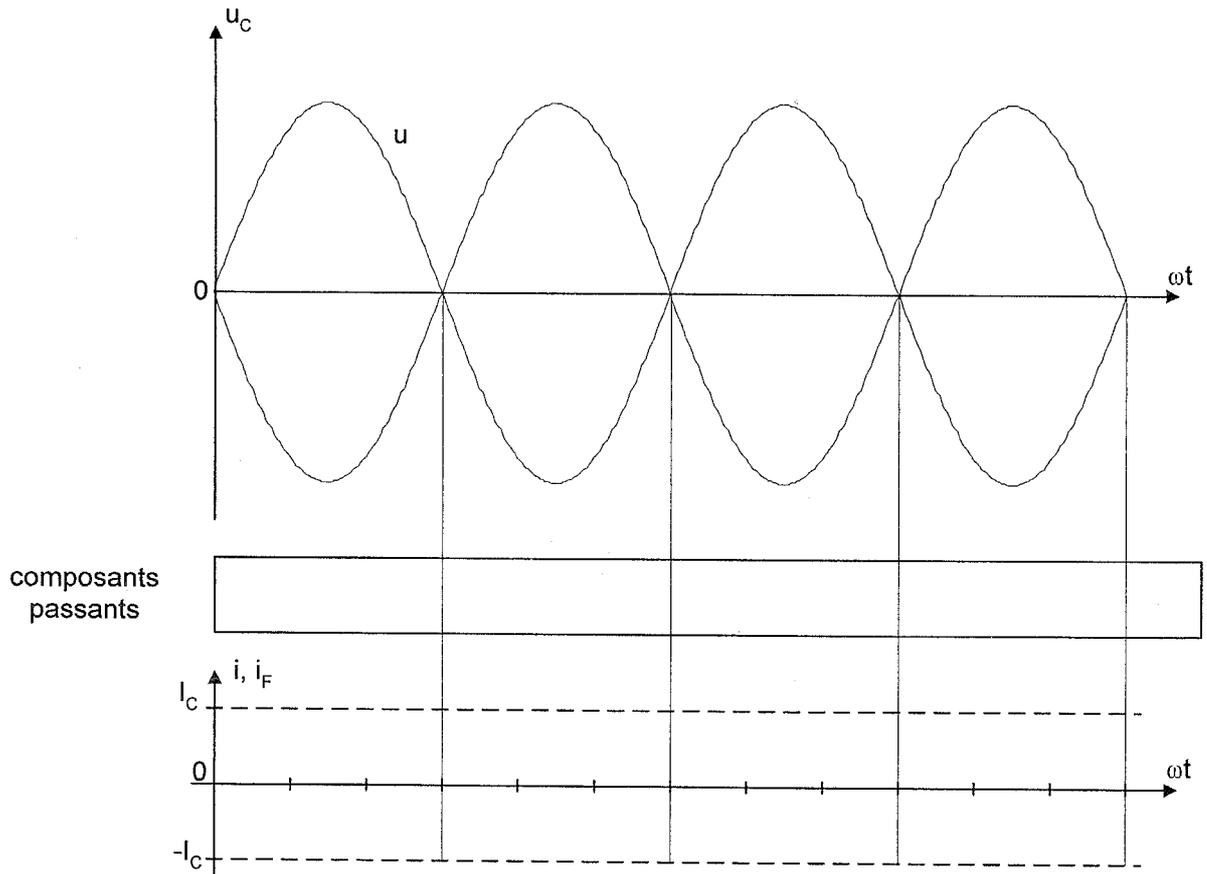
$D$  étant la « puissance déformante », due aux harmoniques ;

a) Calculer  $D$  avec les résultats des questions D.1 et D.2.a.

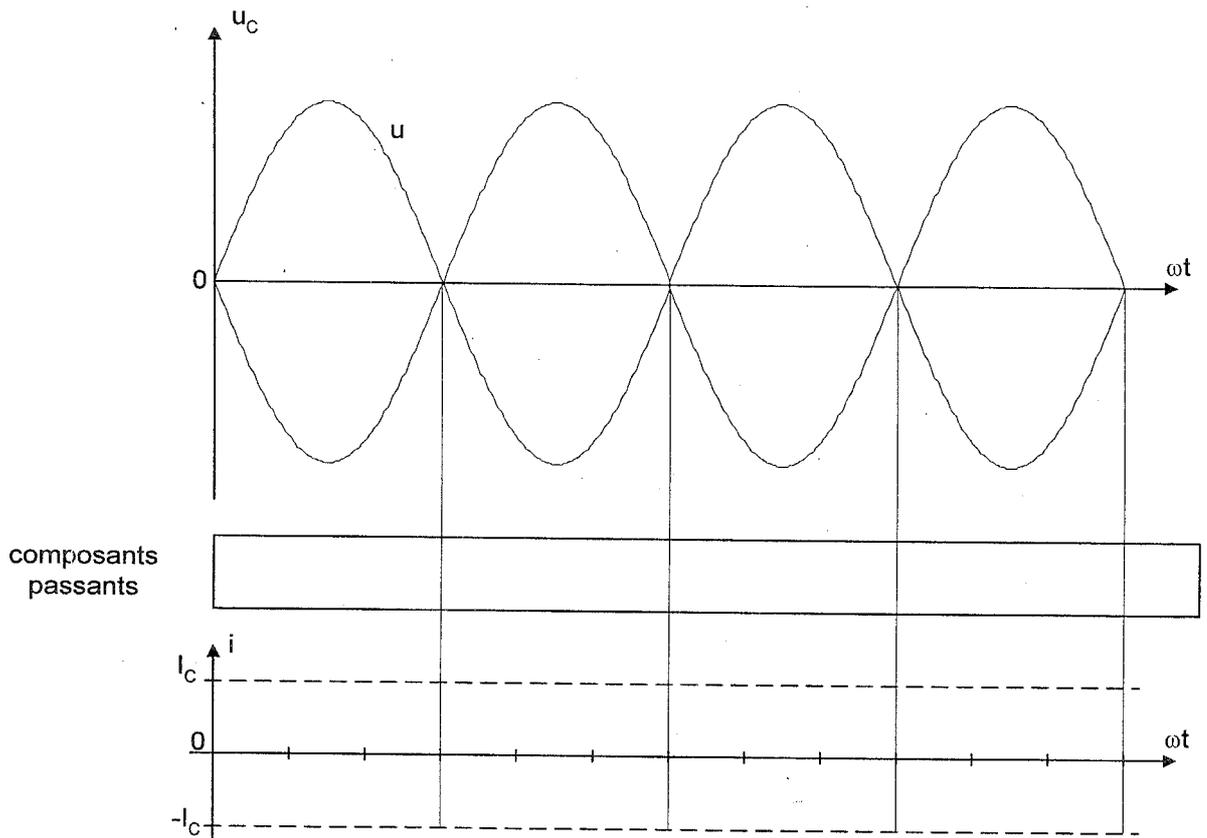
b) Comment faut-il agir sur les termes «  $Q$  » et «  $D$  » pour améliorer le facteur de puissance ?

**DOCUMENT REPONSE n°1**

**Partie B**



**Partie C**



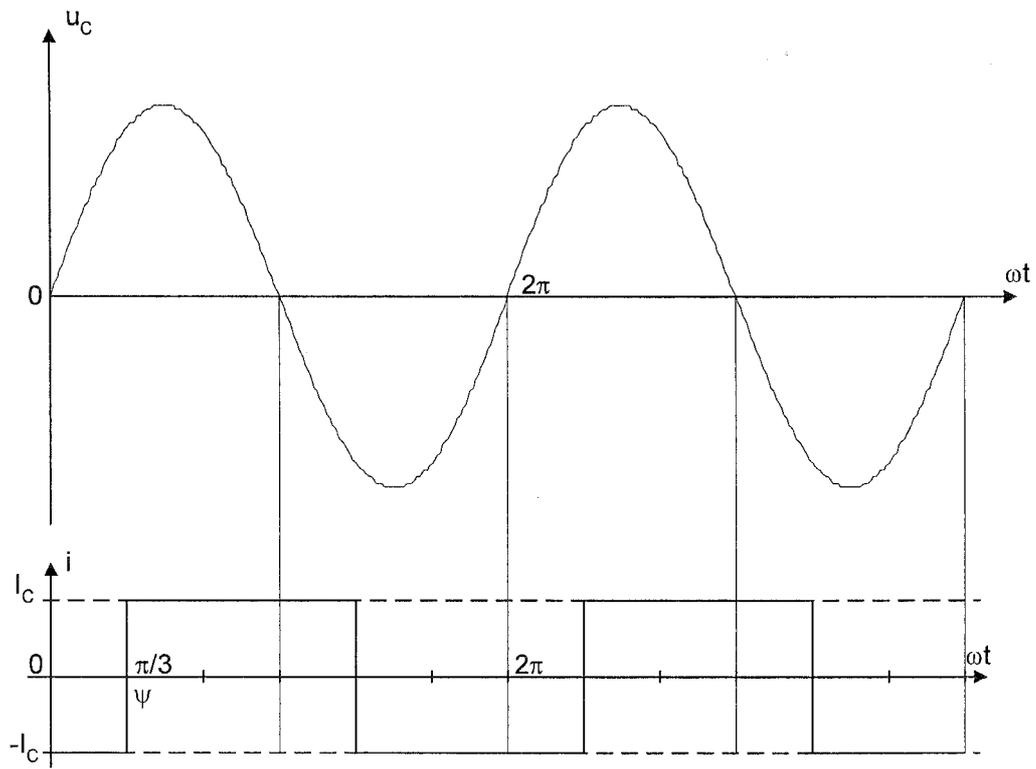
Partie D

figure 7