

DIRECTION DES EXAMENS ET DES CONCOURS

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR / SESSION 2019

FILIERE INDUSTRIELLE : ELECTROTECHNIQUE

EPREUVE : **PHYSIQUE APPLIQUEE**

Durée de l'épreuve : 5 Heures

Coefficient de l'épreuve : 4

## ATTENTION

CETTE EPREUVE PORTE SUR QUATRE MATIERES INDEPENDANTES. LEURS RESOLUTIONS SONT A FAIRE IMPERATIVEMENT SUR DES FEUILLES INDEPENDANTES.

## 1- ELECTROTECHNIQUE (60 points)

Un moteur asynchrone triphasé à cage 230 V/400V - 50 Hz a 4 pôles avec un stator couplé en étoile. Sous tension nominale, on a obtenu :

- A vide : un courant de ligne  $I_0$  d'intensité 9,5 A et une vitesse pratiquement égale à la vitesse de synchronisme.
- En charge nominale : un courant de ligne  $I$  d'intensité 25,3 A, une puissance utile  $P_u = 15$  kW et une vitesse  $N = 1455$  tr.min<sup>-1</sup>

Dans tout le problème, on néglige les résistances et inductances de fuite statoriques, les pertes fer et les pertes mécaniques.

### Notations :

V (V) : Tension simple du réseau.

f (Hz) : Fréquence des courants statoriques.

$\omega$  (rad. s<sup>-1</sup>) : Pulsation des courants statoriques.

$N_s$  (tr.min<sup>-1</sup>) : Vitesse de synchronisme

N (tr.min<sup>-1</sup>) : Vitesse du moteur

$C_e$  (N.m) : Moment du couple électromagnétique

g : Glissement

R ( $\Omega$ ) : Résistance du rotor ramenée au stator

$\lambda$  (H) : Inductance magnétisante du stator

L (H) : Inductance de fuite du rotor ramenée au stator

### 1<sup>ère</sup> PARTIE : Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 230V/400V – 50Hz

1. Calculer la vitesse de synchronisme du moteur
2. Calculer, pour un fonctionnement nominal du moteur :
  - 2.1. Le glissement
  - 2.2. La puissance électromagnétique transmise au rotor
  - 2.3. Le facteur de puissance
  - 2.4. Le rendement
  - 2.5. Le couple utile
  - 2.6. La puissance réactive absorbée par le moteur
3. La puissance absorbée par le moteur, en charge nominale, est mesurée par la méthode des deux wattmètres. Déterminer les puissances  $P_{13}^1$  et  $P_{23}^2$  de chaque wattmètre.
4. Le modèle équivalent simplifié d'une phase du stator du moteur est représenté par la figure 1
  - 4.1. Calculer l'intensité du courant  $I'$
  - 4.2. Calculer la puissance magnétisante
  - 4.3. Calculer les valeurs de :  $\lambda$ , L et R

**2<sup>ème</sup> PARTIE : Le moteur est alimenté à fréquence  $f$  variable et à  $\frac{V}{f}$  constante**

Le moteur est alimenté par un convertisseur de fréquence qui permet de maintenir aux bornes d'un enroulement le rapport  $(V/f)$  constant. Pour  $V = 230V$  on a  $f = 50$  Hz. On considère toujours le schéma de la figure 1 et on prendra  $\lambda = 77,1$  mH ;  $R = 0,31$   $\Omega$  et  $L = 3,6$  mH

5. Exprimer la puissance électromagnétique transmise au rotor en fonction de  $V$ ,  $L$ ,  $g$ ,  $\omega$  et  $R$
6. On montre que l'expression du moment du couple électromagnétique du

moteur peut s'écrire : 
$$C_e = \frac{6 \times V^2}{\omega} \times \frac{\frac{R}{g}}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (L\omega)^2}$$

6.1. Le couple maximal est – il variable ? justifier votre réponse.

6.2. Pour  $\frac{R}{g} \gg L\omega$ , l'expression du couple électromagnétique peut se mettre sous la forme

$$C_e = A \times (N_s - N).$$

6.2.1. Calculer la valeur numérique de  $A$ .

6.2.2. On souhaite faire démarrer le moteur à couple nominal. Calculer la fréquence et la tension simple que doit alors délivrer l'onduleur.

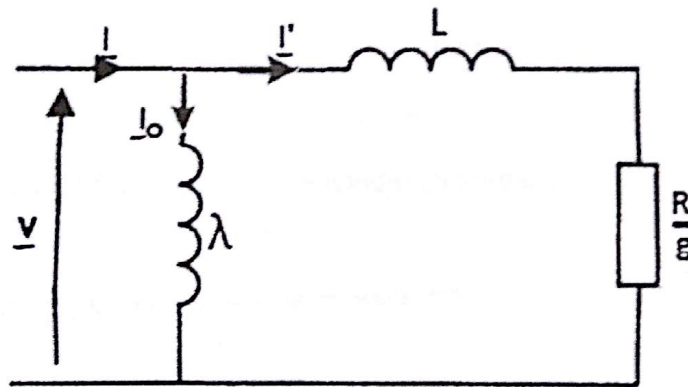
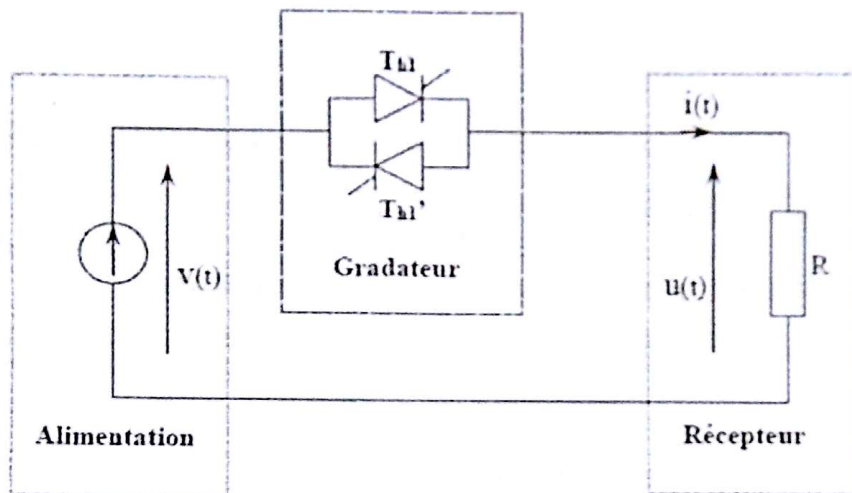


Figure 1

## 2- ELECTRONIQUE DE PUISSANCE (20 points)

On considère la figure ci-dessous représentant le schéma d'un gradateur monophasé alimenté par le réseau 220V-50Hz débitant sur une résistance pure R.



Soit  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  l'angle de retard à l'amorçage des thyristors

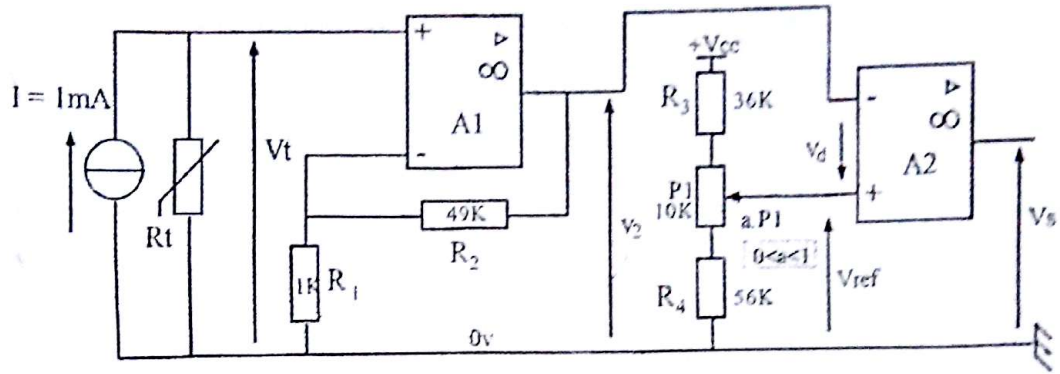
$Th_1$  est amorcé à  $\theta = \alpha$      $Th_1'$  amorcé à  $\theta = \pi + \alpha$

On donne  $R=10 \Omega$  et  $v(t) = V_M \sin \omega t$  ou  $v(\theta) = V_M \sin \theta$  avec  $\theta = \omega t$

- 1) Analyser le fonctionnement du montage et tracer le graphe de la tension  $u$  aux bornes de la charge et du courant  $i$  dans la charge.
- 2) Déterminer l'expression de la puissance active  $P$  fournie par le réseau en fonction de  $V$  et  $R$ .
- 3) Calculer les valeurs  $I_{eff}$  de  $i(\theta)$  et  $U_{eff}$  de  $u(\theta)$ .
- 4) La décomposition en série de Fourier de  $i(\theta)$  donne l'expression suivante :  
 $i(\theta) = I_M \sin(\theta - \varphi_1)$  avec  $I_M = 18,4 A$  ;  $\varphi_1 = 32,5^\circ = 0,567 \text{ rad}$   
A l'aide de cette expression recalculer la puissance  $P$ .
- 5) Calculer le facteur de puissance de l'installation.

## 3- ELECTRONIQUE ANALOGIQUE (20 points)

Dans le montage ci-dessous les amplificateurs opérationnels sont considérés parfaits. Ils sont alimentés entre +10 V et 0 V.

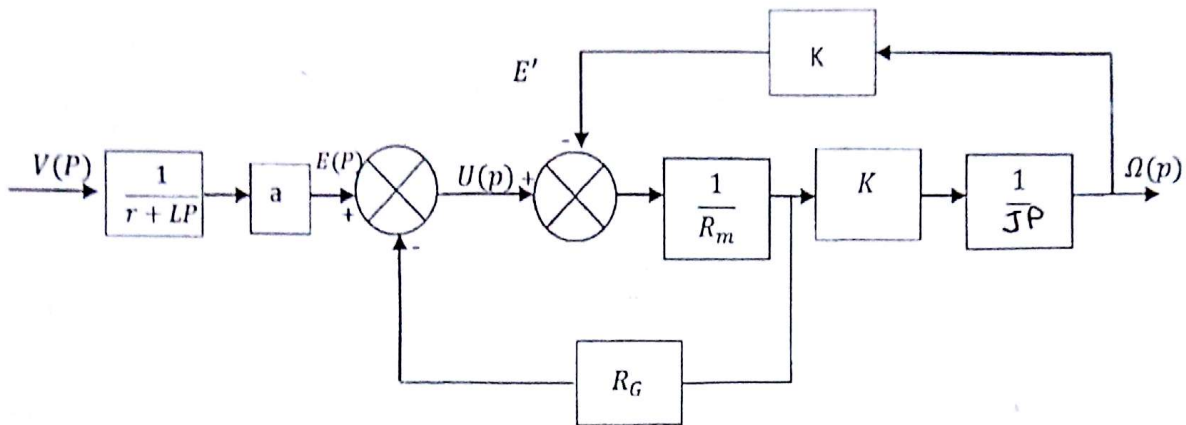


Une sonde de température est une résistance dont la valeur  $R_t$  est régie par la formule :  $R_t = R_0 \cdot (1 + a \cdot T)$ ,  $R_0$  désigne la valeur de la résistance pour une température de  $0^\circ\text{C}$ ,  $R_0 = 100 \Omega$ ;  $a$  est le coefficient de température du capteur,  $a = 0,01/^\circ\text{C}$ ;  $T$  désigne la température exprimée en  $^\circ\text{C}$ .

- 1- Calculer la valeur de la résistance du capteur  $R_t$  pour la température  $100^\circ\text{C}$ .
  - 2- Etablir l'expression littérale de  $V_t$  en fonction de  $R_t$  et de  $I$ .
  - 3- Calculer  $V_t$  pour les températures  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$ .
  - 4- Représenter l'allure de  $V_t = f(T)$  pour une température comprise entre  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$ .
  - 5- L'amplificateur opérationnel A1 fonctionne en régime linéaire, donner les équations caractéristiques du régime linéaire.
  - 6- Exprimer  $V_2$  en fonction de  $V_t$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .
  - 7- Calculer l'amplification  $A = V_2 / V_t$ , on donne  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 49 \text{ k}\Omega$ .
  - 8- Calculer  $V_2$  à  $0^\circ\text{C}$  et à  $100^\circ\text{C}$ .
  - 9- Exprimer  $V_{ref}$  en fonction de  $V_{cc}$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , P1 et  $a$ .
  - 10- Calculer les valeurs minimale et maximale de  $V_{ref}$  pour les positions extrêmes du curseur de P1.
- On donne  $V_{cc} = 10 \text{ V}$ .
- 11- Donner le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A2 et les équations caractéristiques de ce régime.
  - 12- Après analyse, tracer la caractéristique de transfert  $V_s = f(V_2)$  pour  $a = 0,5$ .

4- AUTOMATIQUE (20 POINTS)

Le schéma fonctionnel d'un Groupe WARD est donné ci-dessous :



1/Simplifier le schéma fonctionnel

2/Calculer la fonction de transfert  $T(p) = \frac{\Omega(p)}{V(p)}$  et  $Z(p) = \frac{U(p)}{V(p)}$

$V(p)$  la tension de commande

$U(p)$  la tension d'entrée du moteur et la tension de sortie de la génératrice.

$\Omega(p)$  la vitesse de sortie du moteur.

Donnée numérique

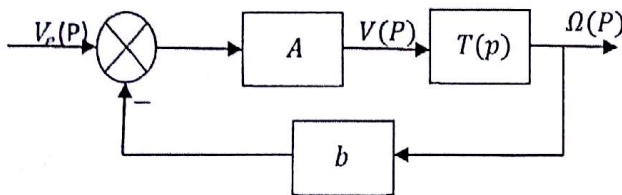
$J = 2 \text{ kgm}^2$  (inertie pure);  $k = 1 \text{ Vs/rad} = 1 \text{ Nm/A}$  et  $R_m = 0,4 \text{ ohm}$

Résistance d'induit  $R_G = 0,4 \text{ ohm}$ ; coefficient de fem  $a = 100 \text{ ohms}$

Résistance de l'enroulement d'excitation  $r = 20 \text{ ohms}$ ; inductance  $l = 5 \text{ H}$

3/Calculer la réponse indicielle  $\Omega(t)$  du groupe à un échelon de tension de commande de 10 V ( $V(t) = 10 u(t)$ )

4/Pour réaliser un asservissement de vitesse, le schéma fonctionnel du groupe avec sa commande est donnée comme suit :



a/ Calculer la fonction de transfert  $H(p) = \frac{\Omega(p)}{V_e(p)}$ ; avec  $b = 0,2 \text{ V/rad/s}$

b/ déterminer en fonction de  $A$ , les valeurs de la pulsation naturelle  $\omega_0$ , du coefficient d'amortissement  $m$  et du gain statique  $K$  de l'asservissement.

c/ Calculer le gain d'amplification  $A$  pour avoir  $m = 0,7$ ; calculez le gain statique  $K$  et la pulsation naturelle  $\omega_0$ .

\*\*\*\*\*