

## EMD

Module : Machines électriques Approfondies

Durée : 1h30, Documents non autorisés.

### EXERCICE 1 (5pts) :

Un convertisseur rotatif à pôles lisses porte, sur son stator, deux bobines disposées perpendiculairement et alimentées par des courants  $i_{s1}$  et  $i_{s2}$ , sur son rotor, une bobine alimentée par un courant continu  $I$ .

- 1) Définir les différentes inductances propres et mutuelles du convertisseur rotatif.
- 2) Donner l'expression du couple électromagnétique en fonction de  $i_{s1}$ ,  $i_{s2}$  et  $I$ .

### EXERCICE 2 (5 pts) :

On considère un alternateur triphasé, à excitation constante, connecté en étoile et entraîné par une turbine. Cet alternateur tourne à vide à la vitesse  $N = 1500$  tr/min et délivre alors un système de tensions triphasées de tension simple  $V_0 = 230$  V et de fréquence 50 Hz. La résistance d'un bobinage du stator est connue :  $R = 1 \Omega$

- 1) Calculer le nombre de pôles de l'alternateur.
- 2) On connecte sur cet alternateur une charge équilibrée résistive consommant une puissance  $P = 2$  kW. La tension aux bornes des charges chute alors à la valeur  $V = 220$  V. Calculer la valeur du courant de ligne circulant sur chaque phase.
- 3) Calculer la valeur de la puissance fournie par la turbine et le rendement de l'alternateur.
- 4) Représenter le schéma monophasé équivalent à l'alternateur sur charge résistive.

### EXERCICE 3 (5 pts) :

Un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil couplé en étoile est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz, 220/380 V. Chaque enroulement du stator a une résistance  $R_s = 0,285 \Omega$ .

On réalise un essai à vide: le moteur tourne pratiquement à la vitesse de synchronisme ( $N_s = 3000$  tr/min). La puissance absorbée à vide est  $P_0 = 3$  kW et le courant de ligne est 25A.

On supposera les pertes mécaniques constantes  $P_{f+v} = 1233$  W dans la suite du problème.

1°. Calculer les pertes joules ( $P_{js}$ ) et les pertes fer ( $P_{fs}$ ) statorique lors de cet essai à vide. Que peut-on dire des pertes joules au rotor ( $P_{jr}$ )? Expliquer.

2°) On réalise un essai en charge, les résultats sont les suivants:

- glissement : 7%,      - puissance absorbée: 24645 W,      - courant en ligne : 45 A.

Calculer le facteur de puissance, la vitesse de rotation du rotor, la fréquence des courants rotoriques lors de cet essai. 3°) Calculer les pertes Joule au rotor  $P_{jr}$  lors de cet essai en charge.

4°) Calculer la puissance utile  $P_u$ , le rendement du moteur, le couple utile  $C_u$ , le couple électromagnétique  $C_{em}$ .

**EXERCICE 3 (5 pts) :**

Une machine à courant continu excitée par des aimants permanents est utilisée en génératrice, entraînée par un ensemble mécanique. La tension nominale de la génératrice est  $U_n = 220 \text{ V}$ , la puissance nominale  $P_n = 20 \text{ kW}$  et le rendement nominal  $\eta = 0,8$ .

- 1) Représenter un schéma équivalent de la génératrice.
- 2) Calculer la valeur du courant nominal de la génératrice.
- 3) En déduire la valeur de la résistance d'induit si on néglige les pertes mécaniques de la machine.
- 4) Calculer alors la valeur de la tension à vide.

***Bonne réussite***

## EMD\_corrige

### Exercice 1 (5pts):

1) Les différentes inductances :

$L_{s1}$  : Inductance propre de la phase  $S_1$  du stator,

$L_{s2}$  : Inductance propre de la phase  $S_2$  du stator

$M_{s1s2} = M_{s2s1}$  Inductance mutuelle entre la phase  $S_1$  et  $S_2$ ,  $M_{s1s2} = 0$  à cause de la perpendicularité des deux bobines  $S_1$  et  $S_2$

$L_r$  : Inductance propre du rotor

$M_{rs1}$  : Inductance mutuelle entre la phase  $S_1$  du stator et du rotor.

$M_{rs2}$  : Inductance mutuelle entre la phase  $S_2$  du stator et du rotor

2) L'expression du couple électromagnétique :

En notation matricielle, le couple électromagnétique est

$$C_{em} = \frac{1}{2} [i]^t [G] [i]$$

Avec :

$$[G] = \frac{d}{d\theta} [L] ;$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_{s1} & M_{s1s2} & M_{s1r} \\ M_{s2s1} & L_{s2} & M_{s2r} \\ M_{rs1} & M_{rs2} & L_r \end{bmatrix}$$

$$[i] = \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ I \end{bmatrix} ; [i]^t = [i_{s1} \quad i_{s2} \quad I]$$

## Exercice 2 (5 pts) :

1) En utilisant la formule  $N = \frac{60 \cdot f}{p}$ , on trouve :  $p = 2$  , c'est-à-dire que l'alternateur possède 4 pôles .

2) Une charge résistive présente un facteur de puissance unitaire. On écrit donc  $P = 3 \cdot V \cdot I$

Soit donc :  $I = \frac{P}{3 \cdot V} = \frac{2000}{3 \times 220} = 3A$ .

3) La puissance fournie par la turbine se déduit facilement d'un bilan de puissances, sachant que la puissance perdue dans les trois résistances de phase s'écrit  $3 \cdot R \cdot I^2$  :

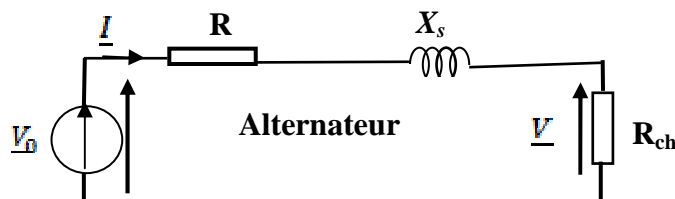
$$P_{turbine} = P + 3 \cdot R \cdot I^2 = 2000 + 3 \times 1 \times 3^2 = 2027 \text{ W}$$

Le rendement de l'alternateur se calcule alors directement  $\eta = \frac{P}{P_{turbine}} = \frac{2000}{2027} = 0,98 = 98\%$ .

4) On représente sur la *figure ci- dessous* le schéma monophasé équivalent de la machine sur charge résistive, naturellement en convention générateur. La résistance équivalente en montage étoile à une phase de la charge est notée  $R_{ch}$ . La relation de maille qui relie les grandeurs s'écrit ici :  $\underline{V_0} = R \cdot \underline{I} + jL_s \cdot \omega \cdot \underline{I} + \underline{V}$

où  $\omega$  représente la pulsation des courants et des tensions induits

NB :  $\underline{I}$  par exemple représente  $I$  en notation complexe.



### Exercice 3 (5pts)

1) Les pertes joule statorique, pertes fer statorique et pertes joule rotorique :

La puissance absorbée à vide est donnée par la relation :  $P_O = P_{fs} + P_{jso} + P_{f+v}$

Les pertes Joule au stator étant données par

$$P_{jso} = 3R_s I_O^2 = 3 \times 0,285 \times 25^2 = \mathbf{534,4W} \quad \mathbf{P_{jso} = 534,4W}$$

On en déduit les pertes fer au stator

$$P_{fs} = P_O - P_{jso} - P_{f+v} = 3\,000 - 534,4 - 1233 = 1232,6W \quad \mathbf{P_{fs} = 1232,6W}$$

Les pertes joules au rotor sont négligeables lors de l'essai à vide à cause de la faible valeur du glissement ( $P_{jr_0} = g P_{\delta=0}$ )

2°) La même relation que pour la question 1°) nous conduit au facteur de puissance en charge

$$\cos \varphi = \frac{24\,645}{\sqrt{3} \times 380 \times 45} = 0,832 \quad \mathbf{\cos \varphi = 0,832}$$

Pour un glissement de 7 % , La vitesse de rotation vaut:

$$N = (1 - s) N_s = (1 - 0,07) \times 3\,000 = 2790 \text{ tr/min} \quad \mathbf{N = 2790 \text{ tr/min}}$$

On montre que les fréquences des courants rotoriques ( $f_r$ ) et statoriques ( $f$ ) sont liées par la relation:

$$f_r = s f = 0,07 \times 50 = 3,5\text{Hz} \quad \mathbf{f_r = 3,5Hz}$$

3°) On obtient les pertes Joule au stator par la relation:

$$P_{js} = 3R_s I^2 = 3 \times 0,285 \times 45^2 = 1731,4W \quad \mathbf{P_{js} = 1731,4W}$$

On en déduit la puissance transmise ou puissance d'entrefer

$$P_{\delta} = P_a - P_{js} - P_{fs} = 24\,645 - 1\,731,4 - 1\,232,6 = 21\,681W$$

Puis les pertes Joule au rotor

$$P_{jr} = s P_{\delta} = 0,07 \times 21\,681 = 1517,7W \quad \mathbf{P_{jr} = 1517,7W}$$

4) La puissance électromagnétique est

$$P_{em} = (1 - s) P_{\delta} = (1 - 0,07) \times 21\,681 = 20\,163 \text{ W} \quad \mathbf{P_{em} = 20\,163 \text{ W}}$$

La puissance utile est dans ce cas

$$P_u = P_{em} - P_m = 20\,163 - 1233 = \mathbf{18\,930 \text{ W}} \quad \mathbf{P_u = 18\,930 \text{ W}}$$

Soit un rendement de

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{18\,930}{24\,645} = 0,7681 \quad \mathbf{\eta = 76,81 \%}$$

Le couple utile est alors de

$$C_u = \frac{P_u}{\omega_m} = 9,55 \frac{P_u}{N} = 9,55 \times \frac{18\,930}{2\,790} = 64,8 \text{ Nm} \quad \mathbf{C_u = 64,8 \text{ Nm}}$$

Et le couple électromagnétique

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_m} = 9,55 \frac{P_{em}}{N} = 9,55 \times \frac{20\,163}{2\,790} = 69 \text{ Nm} \quad \mathbf{C_{em} = 69 \text{ Nm}}$$

#### EXERCICE 4(5 pts):

On représente le schéma équivalent de la génératrice, naturellement en convention générateur, sur la *figure 1*.

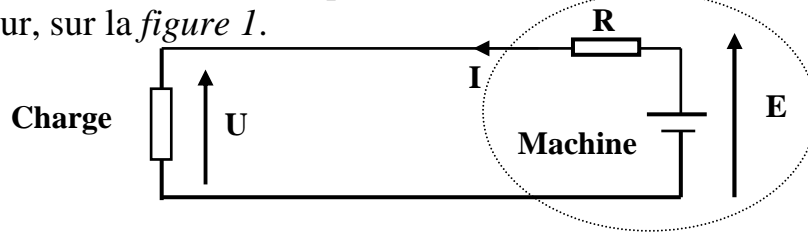


Figure 1

2) La puissance nominale de la machine s'écrit :  $P_n = 20 \text{ kW} = U_n \cdot I_n$

$$\text{C'est-à-dire : } I_n = \frac{P_n}{U_n} = \frac{20 \times 10^3}{220} = \mathbf{90,9 \text{ A}}$$

3) Si on néglige les pertes mécaniques de la machine, le bilan de puissance de la machine permet d'écrire :  $P_m = P_R + P_n = \frac{P_n}{\eta}$  avec  $P_m$  puissance mécanique entrainant la machine ;

$$\text{On écrit donc : } P_R = R \cdot I_n^2 = \frac{P_n}{\eta} - P_n = P_n \cdot \frac{1-\eta}{\eta}$$

$$\text{Soit donc : } R = P_n \frac{1-\eta}{\eta \cdot I_n^2} = 20 \times 10^3 \times \frac{1-0,8}{0,8 \times 90,9^2} = \mathbf{0,605 \Omega}.$$

4) Pour calculer la tension à vide, qui est également la force électromotrice  $E$ , on écrit l'équation de maille au point nominal :  $U_n = E - R \cdot I_n$ , c'est-à-dire :  $E = U_n + R \cdot I_n = 220 + 0,605 \cdot 90,9 = \mathbf{275V}$