

## EXAMEN PARTIEL

Durée 2h UNE FEUILLE RECTO-VERSO EN ECRITURE MANUSCRITE AUTORISEE

**Exercice 1: (25 pts)**

1-Tracer le diagramme vectoriel d'une machine synchrone qui fonctionne en génératrice sur un réseau infini et qui est à la limite du décrochage. **On ne néglige pas la résistance des enroulements  $R_s$ . Utiliser la convention de signe de type récepteur.** Identifier l'angle  $\phi$ . Vérifier la validité du diagramme en raisonnant sur les échanges de puissance active et réactive entre la machine synchrone et le réseau qui l'alimente **(10 pts)**.

2- Représenter le diagramme des forces magnétomotrices correspondant au diagramme vectoriel précédent sur le même schéma. Identifier précisément les trois forces magnétomotrices. Vérifier la validité du diagramme à partir du fonctionnement étudié **(10 pts)**.

3-Montrer que l'angle de déphasage  $\theta$  entre la tension du réseau  $V_s$  et la force électromotrice à vide  $E$  est différent de  $\pi/2$  à la limite du décrochage si on ne néglige pas la résistance  $R_s$ . **(5 pts)**.

**Recopier au propre la version finale, faire un tracé à la règle. Toute erreur dans un diagramme annule les points de la question correspondante.**

**Exercice 2: (25 pts)**

*Hypothèses adoptées pour l'étude: La machine est à pôles lisses et non saturée. La résistance  $R_s$  des enroulements de l'induit est négligée:  $R_s=0$ . Les pertes magnétiques et mécaniques de la machine sont négligées*

Une génératrice synchrone entraînée par une turbine hydraulique fournit de l'énergie électrique à un réseau infini à tension et fréquence constantes ( $f_s=60\text{Hz}$ ). Au point de raccordement de la centrale au réseau, la tension de sortie efficace nominale, **ligne à ligne** est  $U_s=2500\text{V}$ . L'alternateur étant accroché au réseau infini, l'opérateur peut agir sur la vanne d'admission d'eau de la turbine et sur le courant inducteur  $I_f$  de la machine synchrone pour contrôler la puissance active et la puissance réactive échangées avec le réseau. Il décide d'utiliser ces réglages pour réaliser des essais simples permettant de déterminer les éléments du circuit équivalent de la machine sans se déconnecter du réseau infini.

- **Essai A:** La machine synchrone étant accrochée sur le réseau infini (Tension ligne à ligne  $U_{sn}=2500\text{V}$ ,  $f_s=60\text{Hz}$ ), il agit progressivement sur la vanne d'admission de la turbine jusqu'à ce que la puissance active mesurée par le wattmètre à la sortie de la machine soit

nulle. Il agit alors sur le courant inducteur  $I_r$  de manière à ce que le courant  $I_s$  dans l'induit soit également nul. Le courant inducteur obtenu est alors  $I_{rA} = 115.5A$ .

- **Essai B:** A partir de l'essai A précédent, il agit progressivement sur la vanne d'admission de la turbine et sur le courant inducteur  $I_r$  jusqu'à ce que le courant efficace dans l'induit de la machine synchrone couplé en étoile soit égal à  $I_{sB} = 335A$  et que le facteur de puissance soit égal à l'unité  $\cos\phi = 1$ . Le courant inducteur obtenu pour ce point de fonctionnement est alors  $I_{rB} = 200A$ .

- 1) Tracer le circuit équivalent et les diagrammes vectoriels des tensions et courants correspondant aux essais A et B en utilisant la convention **de signe de type générateur (10 pts)**.
- 2) Calculer le coefficient  $K_{\Omega sn}$  de la caractéristique à vide de la machine synchrone à 60Hz qui est telle que :  $E = K_{\Omega sn} \cdot I_r$  ( $E$  tension efficace ligne-neutre en V,  $I_r$  courant inducteur en A). Calculer la réactance synchrone  $X_s$ . **(10 pts)**
- 3) Calculer la puissance active  $P_B$  produite par la machine synchrone au cours de l'essai B. **(5 pts)**

### Exercice 3: (50 pts)

**Hypothèses adoptées pour l'étude:** La machine est à pôles lisses et non saturée. La résistance  $R_s$  des enroulements de l'induit est négligée:  $R_s = 0$ . Les pertes magnétiques et mécaniques sont négligées

Dans le réseau d'usine de la Figure 1, un moteur synchrone entraîne un broyeur de minerai. Le reste des installations électriques de l'usine peut-être représenté par une charge électrique qui absorbe une puissance active  $P_c$  et une puissance réactive  $Q_c$  qui restent constantes dans tout le problème ( $P_c$  et  $Q_c$  sont effectivement consommées et positives avec les conventions de signe de la Figure 1,  $P_c = 60MW$  et  $Q_c = 50MVAR$  (Note :  $1MW = 10^6W$ )). L'usine est alimentée par un réseau électrique moyenne tension  $U_s = 6600V$  (valeur efficace ligne à ligne) à  $f_s = 60Hz$ . On note  $P_T$  la puissance active totale et  $Q_T$  la puissance réactive totale échangées par toute l'usine avec le réseau avec les conventions de signe de la Figure 1 ( $P_T$  et  $Q_T$  sont positives lorsqu'elles circulent effectivement dans le sens indiqué par les flèches).

Le moteur synchrone triphasé alimenté par le réseau  $U_s = 6600V$  (ligne à ligne) entraîne un broyeur qui consomme une puissance active  $P_u = 3MW$  qui reste constante dans tout le problème.

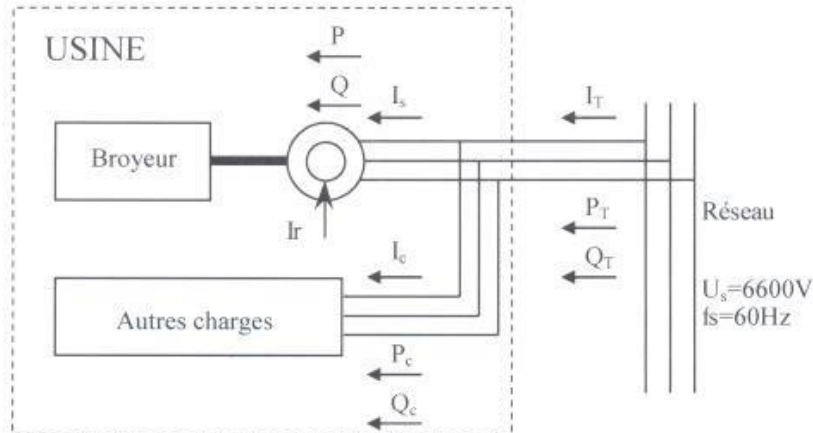


Figure 1

Les essais à vide et en court-circuit de la machine synchrone à pôles lisses ont fourni les résultats suivants:

- la caractéristique à vide (supposée linéaire) relevée à  $f_s = 60\text{Hz}$  est  $E = 50 \cdot I_r$  ( $E$  tension ligne-neutre en V,  $I_r$  courant inducteur en A).

- la réactance  $X_S$  de l'induit du schéma monophasé équivalent en étoile est à  $60\text{Hz}$  :  $X_S = 6 \Omega$

1- Calculer la valeur efficace du courant  $I_c$  absorbé par les autres charges de l'usine et leur facteur de puissance  $\cos\phi_c$ . Écrire l'expression littérale des bilans de puissance active et réactives au point de raccordement de l'usine au réseau en fonction des diverses puissances actives et réactives définies précédemment et qui sont représentées sur la Figure 1 **(20 pts)**.

2- On veut régler le facteur de puissance global de l'usine  $\cos\phi_T = 0.8$  AR (l'usine doit consommer globalement de la puissance réactive). Calculer la puissance réactive  $Q$  échangée par le moteur synchrone qui est nécessaire pour atteindre cet objectif. Quelle valeur  $I_r$  du courant inducteur du moteur synchrone doit-on appliquer pour atteindre cet objectif? Calculer le facteur de puissance  $\cos\phi$  et la valeur efficace du courant  $I_s$  du moteur, la valeur efficace du courant  $I_T$  à l'entrée de l'usine **(30 pts)**.