

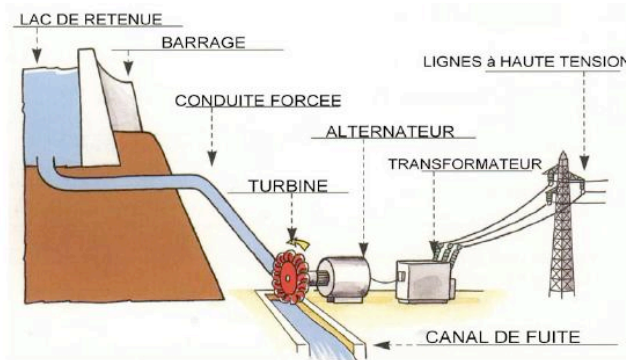
# EXAMEN D'ACTIONNEURS 1 Master 1 Sygelec – 1<sup>ère</sup> session – janvier 2011

Sans document

Chaque réponse doit être justifiée sous peine de non attribution des points.

## Centrale hydraulique de montagne

On considère la centrale hydraulique de type Pelton (type de turbine utilisée) permettant de produire de l'électricité grâce à la chute d'eau circulant dans une conduite forcée (schéma ci-dessous).



La puissance mise en jeu par la chute d'eau (en bas de la conduite forcée) est donnée par la relation suivante :

$$P = \rho \cdot g \cdot d \cdot h \quad (\text{en W})$$

Où  $\rho$  = masse volumique de l'eau ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  = gravité ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $d$  = débit de l'eau en  $\text{m}^3/\text{s}$  et  $h$  la hauteur de chute en mètres.

Au point de fonctionnement nominal de l'ensemble, le rendement de la turbine Pelton est de 88% et le rendement de l'alternateur est de 95%.

### 1/ Bilan de puissance de la centrale

L'alternateur fournit au réseau une puissance active  nominale  de 1 MW.

Calculer la puissance mécanique reçue par l'alternateur et la puissance reçue par la turbine.

$P_{\text{méca-alt}} = 1\text{MW}/0,95 = 1,0526 \text{ MW}$  et  $P_{\text{eau}} = 1\text{MW}/0,95/0,88 = 1,196 \text{ MW}$ .

En déduire la hauteur  $h$  de la conduite forcée sachant que le débit est de  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$h = 1,196 \text{ MW} / \rho \cdot g \cdot d = 406 \text{ m}$ .

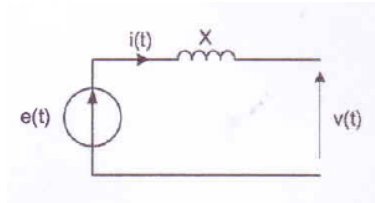
### 2/ Couplage de l'alternateur

Indiquer le mode opératoire permettant de coupler l'alternateur sur le réseau EDF.

Les injecteurs de la turbine sont ajustés pour que l'alternateur tourne à sa vitesse nominale (de manière à fournir des tensions de fréquence 50Hz). L'excitation de l'alternateur est réglée pour qu'il délivre des tensions de mêmes amplitudes que celles du réseau EDF. L'ordre de succession des phases étant vérifié (fait une seule fois à la construction), le couplage ne peut s'effectuer que si les tensions sont en phase : soit on joue sur la vitesse de la turbine (accélération-ralentissement) pour retrouver des tensions en phases, soit on ajuste la vitesse de rotation de la turbine à une valeur légèrement inférieure (ou supérieure) à la vitesse de synchronisme pour faire 'glisser' entre eux les 2 réseaux et on couple au minimum de tension.

### 3/ Modélisation de l'alternateur

L'alternateur  triphasé  employé dans la centrale est un alternateur à pôles lisses et à inducteur bobiné fonctionnant dans un régime hors saturation. On utilisera donc le modèle de Behn-Eschenbourg pour prédire son fonctionnement (schéma monophasé équivalent ci-dessous). La résistance des enroulements statoriques est négligée.



Cet alternateur possède les caractéristiques suivantes :

- Tension composée nominale :  $U_n = 6 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$
- Vitesse de rotation nominale :  $N_n = 1000 \text{ tr/min}$
- Couplage des enroulements statoriques : étoile
- à la vitesse nominale la fem  $E_N = 250 J_{\text{EXC}}$  ( $J_{\text{EXC}}(\text{A})$  = courant d'excitation de la roue polaire)
- dans l'essai en court-circuit de l'alternateur, on a obtenu la relation suivante :  $I_{\text{CC}} = 165 J_{\text{EXC}}$ .

### 3.1/ Calculs préliminaires

Calculer le nombre de paires de pôles de l'alternateur.

$$p = f/N = 50 \cdot 60 / 1000 = 3$$

Dans l'essai en court-circuit, la caractéristique  $I_{\text{CC}} = f(J_{\text{EXC}})$  a été trouvée indépendante de la vitesse. Comment peut-on se servir de cette propriété pour justifier que la valeur de la résistance statorique est beaucoup plus faible que la réactance synchrone (ce qui justifie que la résistance a été négligée dans le modèle)?

$$E = Z \cdot I_{\text{CC}} = (r_s^2 + (L_s \omega_s)^2)^{0.5} \cdot I_{\text{CC}} = k \Omega J_{\text{EXC}} \text{ donc si } I_{\text{CC}} = f(J_{\text{EXC}}) \text{ est indépendante de } \Omega \text{ c'est que } r_s \ll L_s \omega_s = X_s$$

Calculer la réactance synchrone de l'alternateur.

$$\text{Dans l'essai en court-circuit } E = X_s \cdot I_{\text{CC}} \text{ d'où } X_s = E / I_{\text{CC}} = 250 J_{\text{EXC}} / 165 J_{\text{EXC}} = 250 / 165 = 1,515 \Omega$$

A quoi correspond physiquement la réactance synchrone  $X_s$  (détailler votre réponse) ?

$X_s$  est la somme de 2 inductances: l'inductance de fuite des bobinages statoriques (fuites magnétiques) et une inductance 'fictive' modélisant la réaction magnétique d'induit.

### 3.2/ Point de fonctionnement nominal

L'alternateur est relié au réseau EDF qui impose qu'à tout moment (c'est-à-dire quelle que soit la puissance active produite) la centrale doit également fournir de la puissance réactive telle que  $\text{tg}(\varphi) = 0,5$ . Pour le point de fonctionnement nominal :

- calculer le facteur de puissance nominal  
 $f_p = \cos(\varphi) = \cos(\text{Arctg } 0,5) = 0,894$
- calculer la puissance apparente nominale  
 $S_N = P_N / \cos(\varphi) = 1 \text{ M} / 0,894 = 1,118 \text{ MVA}$
- calculer la valeur du courant d'induit  $I_N$   
 $I_N = P_N / 3 V_N \cos(\varphi) = 1 \text{ M} / 3 \cdot 464 \cdot 0,894 = 107,63 \text{ A}$
- déterminer si le  $\cos(\varphi)$  est AV ou AR  
 $P$  et  $Q$  sont fournies au réseau EDF et transitent donc dans le même sens : le  $\cos(\varphi)$  est AR.

Tracer le diagramme de Fresnel correspondant au point nominal (en convention générateur). A partir de ce diagramme (grâce aux projections) déterminer la valeur de la fem  $E_N$ .

$$E_N \cos(\theta) = V_N + X_s I_N \sin(\varphi) = 3536,98 \text{ V et } E_N \sin(\theta) = X_s I_N \cos(\varphi) = 145,77 \text{ V soit } E_N = 3540 \text{ V}$$

En déduire la valeur du courant d'excitation  $J_{\text{EXCN}}$ .

$$J_{\text{EXCN}} = 3540 / 250 = 14,16 \text{ A.}$$

Y-a-t-il dans notre cas, c'est-à-dire avec une puissance réactive fournie au réseau qui est imposée, un risque de décrochage de l'alternateur lors de son fonctionnement pour  $0 < P < P_N$  (expliquer) ?

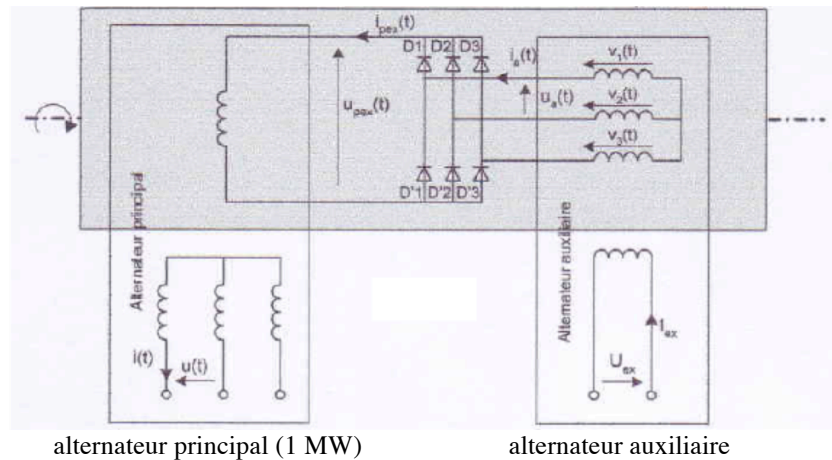
Non aucun risque puisque l'alternateur travaille dans la zone stable (zone de surexcitation de l'alternateur).

Si l'on travaille avec un alternateur fonctionnant dans le coude de saturation magnétique, peut-on utiliser la démarche que l'on vient de suivre pour prédéterminer la valeur du courant d'excitation (développer votre réponse) ?

Non, hors de la partie linéaire il n'y a plus proportionnalité entre la fem et le courant d'excitation, le modèle à adopter est celui de Potier.

### 3.3/ Alimentation de l'inducteur de l'alternateur principal

L'inducteur (roue polaire) de l'alternateur principal est alimenté par l'induit d'un deuxième alternateur (alternateur auxiliaire) dont les tensions sont redressées par un montage mixte à diodes (ci-dessous).



Dans ce montage préciser quelles sont les parties (induits et inducteurs) qui tournent et celles qui sont fixes dans les 2 alternateurs.

Parties fixes (en blanc): induit de l'alternateur principal et inducteur de l'alternateur auxiliaire

Parties tournantes (en gris) sur le même arbre : inducteur de l'alternateur principal et induit de l'alternateur auxiliaire.

Donner 2 intérêts d'utiliser un tel montage plutôt que d'alimenter directement la roue polaire à partir d'une source de courant continu externe.

Absence d'un système collecteur-balais pour alimenter la roue polaire de l'alternateur principal (pas d'usure donc pas de maintenance)

Le courant continu à fournir pour exciter l'alternateur principal est plus faible (courant d'excitation de l'alternateur auxiliaire).