

## Examen Final

Lundi 24 juin 2013

***Aucun document n'est autorisé – Calculatrice autorisée – Durée : 2h***

Ce sujet comporte 5 pages.

Lisez attentivement et entièrement l'énoncé des exercices proposés.

Respectez les instructions de l'énoncé.

Écrivez votre nom sur vos copies, numérotez-les et signez-les.

Tout prêt de matériel et toute collaboration sont strictement interdits.

**Ce sujet comporte deux parties (A et B) qui sont à faire sur des copies séparées**

### **A) Partie A (sur 8 points)**

#### **Exercice 1 (2 pts)**

- 1) Quels sont les deux types d'excitation usuels utilisés dans les alternateurs, leurs avantages et inconvénients ? (Pensez à faire un tableau).

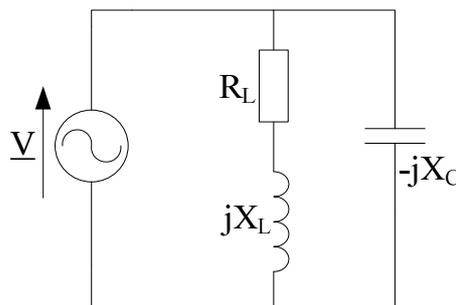
#### **Exercice 2 (2 pts)**

- 1) Quels sont les différences entre une ligne et un câble (paramètres, modèles, effet de la distance) ?

#### **Exercice 3 (4 pts)**

Soit le schéma électrique monophasé équivalent d'une installation de la figure ci-dessous.

On donne  $R_L = 5\Omega$ ,  $X_L = 8,666\Omega$ ,  $X_C = 20\Omega$  et  $\underline{V} = 1000 \cdot e^{j \cdot 30}$  (angle en degré).

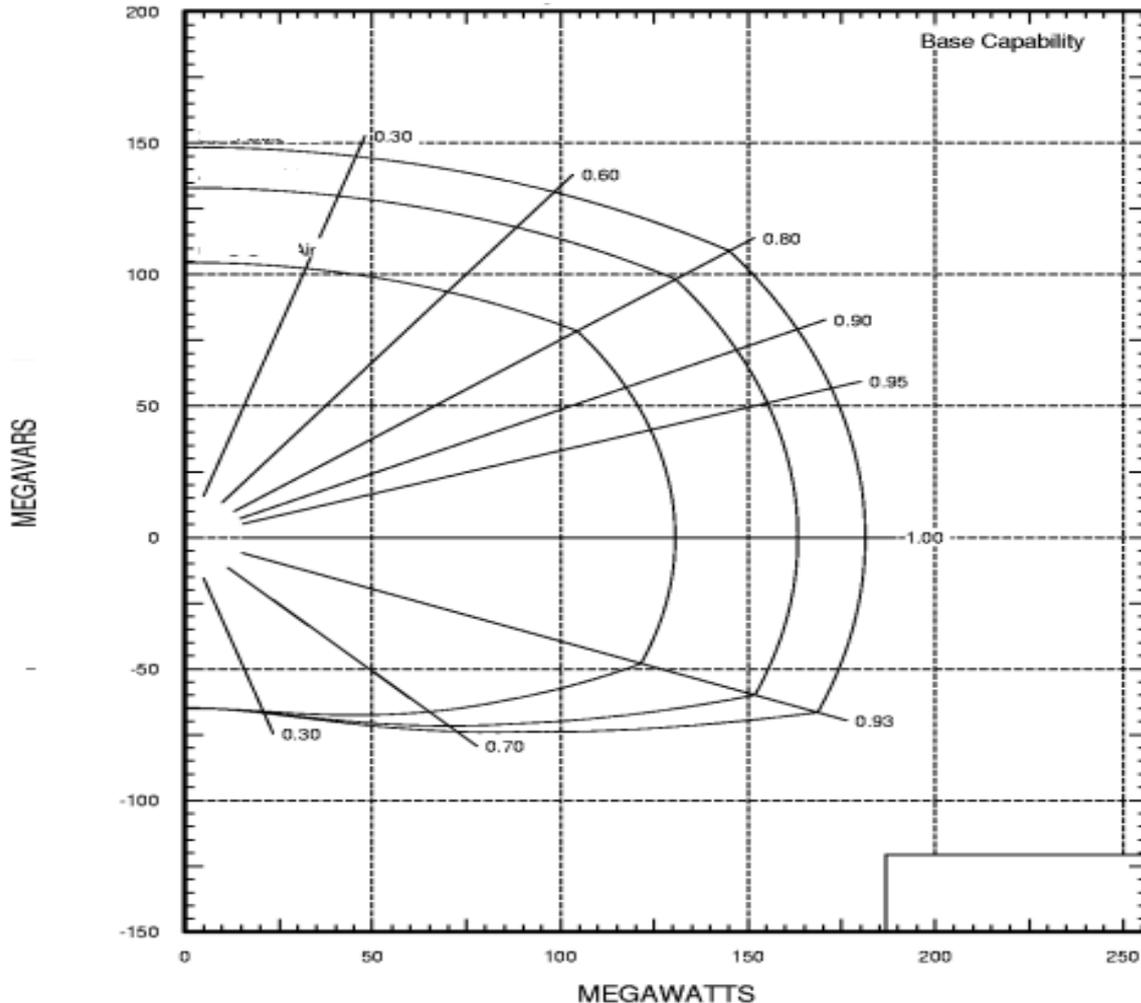


- 1) A partir du circuit ci-dessus, représenter les impédances complexes, les courants et la tension du circuit en utilisant le système « Per Unit ». La base est fixée « judicieusement » à:  $V_B = 1\text{kV}$  et  $S_B = 1\text{MVA}$ .
- 2) En utilisant la notion de puissance apparente complexe, déterminer en « Per Unit » puis en unités relatives (W et VAR) les puissances absorbées (active et réactive) dans chacune des branches.

**B) Partie B (sur 12 points)**

**NB :** Les Exercices 1, 2 et 3 peuvent être traités séparément.

**Exercice 1 (3 pts)**



On rappelle que le « voltage régulation » se définit comme :

$$VR = \frac{E - V_n}{V_n}$$

Soit la machine synchrone triphasée connectée en étoile de puissance apparente  $S_n = 170\text{MVA}$ ,  $U_n = 15\text{kV}$ ,  $R_s = 0,01\text{pu}$  et  $X_s = 2\text{pu}$ . On considère que la machine fonctionne à sa tension nominale en permanence. A partir du diagramme P/Q de la figure ci-dessus, vous choisirez 2 points de fonctionnements tels que:

- Point 1 de fonctionnement : la machine fonctionne en *surexcitation*.
- Point 2 de fonctionnement : la machine fonctionne en *sous-excitation*.

**NB:** Indiquez clairement sur votre copie les coordonnées en MW, et MVAR de chacun des points.

- Calculer pour chacun des points de fonctionnement le « voltage regulation » en pourcentage.

**Exercice 2 (7pts) : Fonctionnement en régime statique**

**NB:** Aucun des résultats numériques dont le raisonnement n'a pu être justifié ou démontré ne sera pas pris en compte.

Le propriétaire de la société « capitaine Vanille » de la ville d'Antalaha-Madagascar fait l'acquisition d'une unité turbogénérateur. Le générateur (G1) est connecté par le biais d'un disjoncteur de groupe « 52G » à un transformateur élévateur (T1) dont les enroulements HV alimentent T2 par une ligne (ZL). Au bout de la ligne, est relié un transformateur abaisseur (T2) qui alimente l'usine de transformation de la vanille par un disjoncteur général (52U).

On relève en sortie du « 52U » :  $U = 6 \text{ kV}$ ,  $S = 20 \text{ MVA}$  et  $\cos \varphi = 0,7$ .

<b>G1</b>	$S_{nG}=140 \text{ MVA}$ , $U_n=15 \text{ kV}$ , $X_d=160\%$ , $X_q=145\%$ , $X'_d=20\%$ , $X''_d=14\%$ , $X_l=12\%$ , $R=0$ , $P_f=0,8$
<b>T1</b>	$S_{nT1}=150 \text{ MVA}$ , $15/70 \text{ kV}$ , $Z_{cc}=10\%$ , $R=0$ , $Y_{d1}$
<b>T2</b>	$S_{nT2} = 25 \text{ MVA}$ , $70/6,6 \text{ kV}$ , $Z_{cc} = 10\%$ , $R=0$ , $D_{y1}$
<b>Z<sub>L</sub></b>	$6 + j 12 \text{ Ohm}$
<b>CT</b>	10000/5 (entrée et sortie sur chaque enroulement phase MS, voir schéma page 5)

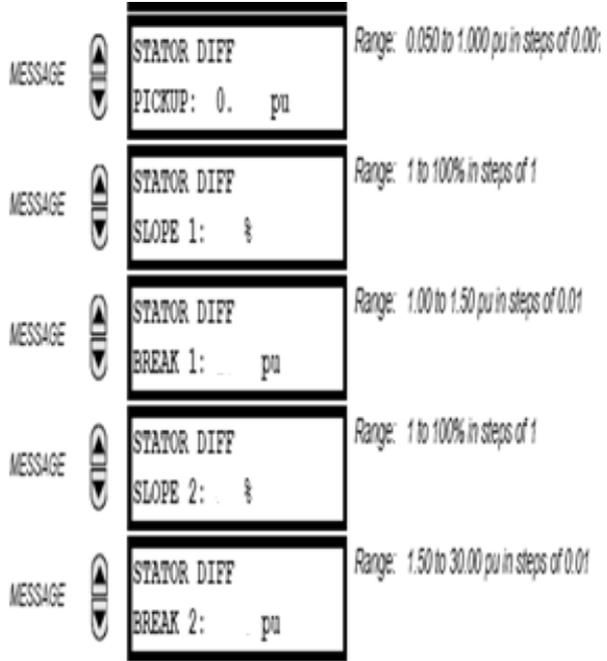
**Recommandation :** faire un schéma unifilaire de principe correspondant à l'installation.

- 1) Donner l'expression de la puissance active  $P_G$  du générateur en fonction de  $X_d$ ,  $X_q$  et  $\delta$  (angle interne de la génératrice) en supposant que la résistance d'armature soit négligeable.
- 2) La puissance apparente de base est celle du générateur  $S_B = S_G$ . Choisissez les autres grandeurs de base pour le générateur, le transfo. 1, la ligne, le transfo. 2 et l'usine (cette dernière pouvant être symbolisée par une charge).
- 3) Tracer le schéma unifilaire équivalent en utilisant le système Per Unit.
- 4) Calculer en pu et en grandeur relative (kV) la tension aux bornes du générateur  $U_G$  ainsi que sa fem interne  $E_G$ .
- 5) Représenter le diagramme vectoriel à une phase associée et mentionner les angles de déphasages (indiquez votre vecteur de tension de référence de phase).  
On ne tiendra pas compte du déphasage de tension introduit par l'indice horaire de T1 et T2.

A partir de l'expression définie à la question 1 :

- 6) Calculer en pu et en MW la puissance  $P_{G_{\max}}$  que peut fournir la génératrice dans ces conditions, c'est-à-dire pour la fem interne  $E_G$  calculée en 4) et  $U_C$  (tension aux bornes de la charge).

**Exercice 3 (2pts) : Protection du générateur G1**

<b>PROTECTION FUNCTION 87G - STATOR DIFFERENTIAL</b>	
<p><b>Pick-up:</b> amount of differential current that might be seen under normal operating conditions. <b>Recommended pick-up setting 0.15 pu</b></p> <p><b>Slope 1:</b> The criteria for setting this slope is to allow maximum expected CT mismatch error when operating at the maximum permitted current. <b>Recommended slope1 setting 10% of CT rating</b></p> <p><b>Break 1:</b> This setting defines the end of the Slope 1 region and the start of the transition region. It should be set just above the maximum normal operating current level of the machine. <b>Recommended Break1 setting 100% of CT rating</b></p> <p><b>Slope 2:</b> This slope is set to ensure stability under heavy external fault conditions that could lead to high differential currents as a result of CT saturation. <b>Recommended slope2 setting 70% of CT rating</b></p> <p><b>Break 2:</b> It should be set to the level at which any of the protection CTs are expected to begin to saturate. <b>We will consider pick-up current value seen during the transient time when considering 3phases faults short circuit.</b></p>	 <p>MESSAGE STATOR DIFF Range: 0.050 to 1.000 pu in steps of 0.001 PICKUP: 0.15 pu</p> <p>MESSAGE STATOR DIFF Range: 1 to 100% in steps of 1 SLOPE 1: 10%</p> <p>MESSAGE STATOR DIFF Range: 1.00 to 1.50 pu in steps of 0.01 BREAK 1: 1.00 pu</p> <p>MESSAGE STATOR DIFF Range: 1 to 100% in steps of 1 SLOPE 2: 70%</p> <p>MESSAGE STATOR DIFF Range: 1.50 to 30.00 pu in steps of 0.01 BREAK 2: 1.50 pu</p>
Settings guidance	Relays setting menu - To complete

- 1) Calculer en pu et en grandeur relative vu par le relais les différents seuils pour le réglage de la 87G (Pick-up, slope 1&2, Break 1&2).

The stator differential protection element is intended for use on the stator windings of rotating machinery.

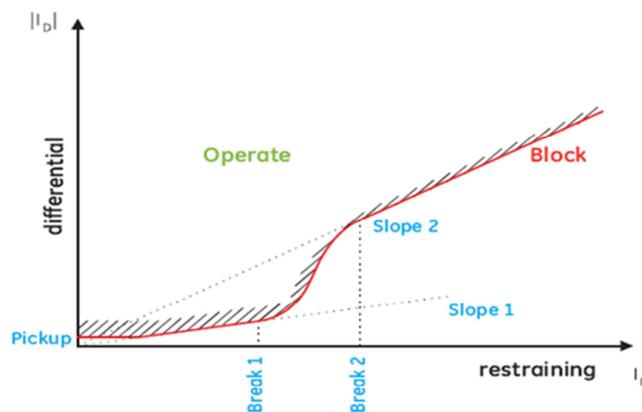


Figure 5-68: STATOR DIFFERENTIAL CHARACTERISTIC

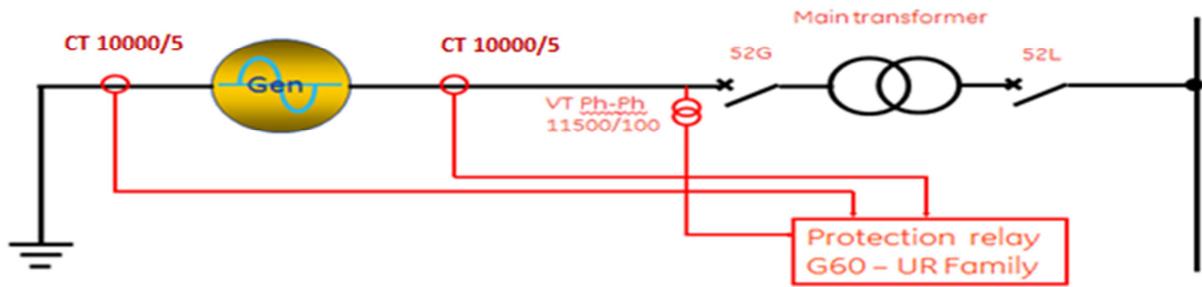


Schéma unifilaire de principe

## Rappels Mathématiques

### B. ÉQUATION DU SECOND DEGRÉ

Soient  $a$ ,  $b$  et  $c$  trois nombres réels ( $a \neq 0$ ) et  $\Delta = b^2 - 4ac$ .

L'équation  $ax^2 + bx + c = 0$  admet :

- lorsque  $\Delta > 0$ , deux solutions réelles

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \quad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

- lorsque  $\Delta = 0$ , une solution réelle  $x_1 = -\frac{b}{2a}$
- lorsque  $\Delta < 0$ , aucune solution réelle.

### 2. Opérations sur les dérivées

$$(u + v)' = u' + v' \quad (ku)' = k u' \quad k \text{ étant une constante}$$

$$(uv)' = u'v + uv' \quad \left(\frac{1}{u}\right)' = -\frac{u'}{u^2}$$

$$\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2} \quad (v \circ u)' = (v' \circ u) u'$$

$$(e^u)' = e^u u' \quad (\ln u)' = \frac{u'}{u}$$

$$(u^n)' = n u^{n-1} u' \quad (n \in \mathbb{N}^*)$$

### C. TRIGONOMÉTRIE

#### Formules d'addition

Pour tous  $a \in \mathbb{R}$  et  $b \in \mathbb{R}$ ,

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\cos(a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$$

$$\sin(a - b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b$$

#### Formules de duplication

Pour tout  $a \in \mathbb{R}$ ,

$$\cos(2a) = \cos^2 a - \sin^2 a$$

$$\cos(2a) = 2 \cos^2 a - 1$$

$$\cos(2a) = 1 - 2 \sin^2 a$$

$$\sin(2a) = 2 \sin a \cos a$$

*Dérivées de composées avec une fonction affine :  
Logarithme, exponentiel, fonctions trigonométriques*

Fonction	Dérivée	Exemple
$\sin(ax + b)$	$a \cdot \cos(ax + b)$	$(\sin(3x+1))' = 3 \cdot \cos(3x + 1)$
$\cos(ax + b)$	$-a \cdot \sin(ax + b)$	$(\cos(3x+1))' = -3 \cdot \sin(3x + 1)$
$\tan(ax + b)$	$\frac{a}{[\cos(ax + b)]^2}$	$(\tan(3x + 1))' = \frac{3}{[\cos(3x + 1)]^2}$