ER51 Examen Final - 02 Juin 2009

Proposé par D. Merville

Exercice 1) - (2pts)

Démontrer que l'impédance Zpu dans la base (S_{pu}, V_{pu}) s'exprime comme ci-dessous dans la nouvelle base (S'_{pu}, V'_{pu}).

$$\mathbf{Z'_{pu} = Z_{pu} * (S'_{pu})/ (S_{pu}) * (V_{pu}/V'_{pu})^2}$$

Exercice 2) - (3pts)

On considère une génératrice synchrone connectée sur un réseau infiniment puissant.

1) Donner la représentation vectorielle simplifiée à une réactance synchrone (Xs) de la génératrice *dont la résistance armature est non négligeable* pour chacun des cas de fonctionnement ci-dessous (indiquer clairement les unités axes, δ, φ):

   a) Lorsqu'elle alimente une charge inductive, résistive
   b) Lorsqu'elle alimente une charge purement inductive
   c) Lorsqu'elle alimente une charge purement capacitive
   d) Vous en déduirez l'expression de sa f.e.m interne.
   e) Représenter sur un diagramme P/Q les différentes limitations et indiquer leurs rôles. Indiquer clairement l'unité des différents Axes.

2) Donner l'expression de sa Puissance active P_G en fonction de **Xd, Xq et δ** (respectivement réactance d'axe directe, d'axe en quadrature, angle interne de la génératrice) en supposant que *la résistance d'armature soit négligeable.*

Exercice 3)

NB: Aucun des résultats numériques dont le raisonnement n'a pu être justifié ou démontré ne sera pris en compte. Les parties A, B et C peuvent être traitées séparément.

A - Installation (5pts)

Le propriétaire de la société de « capitaine Vanille » de la ville de Antalaha 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 comportent différents plots connectés à une ligne (ZL). Au bout de la ligne, est relié un transformateur abaisseur (T2) qui alimente l'usine de transformation de la vanille via le disjoncteur général (52U).

→ Relevé aux bornes du « 52U » : U= 6 kV, S= 20MVA et cos φ = 0.7.

1) Tracez le schéma unifilaire correspondant à ce circuit. (Représentez les disjoncteurs)
2) Indiquez le $S_B = S_{Génératrice}$, choisissez les autres grandeurs de base (pour le générateur, le transfo. 1, la ligne, le transfo.2, l'usine, cette dernière pouvant être symbolisée par une charge).
3) Tracez le schéma unifilaire équivalent en utilisant le système Per Unit.
4) Que vaut en pu et en grandeur réelle la tension aux bornes du générateur (Ug) ainsi que la f.e.m (E) interne dont l'expression a été défini en **Exo2-1d** ?
5) A partir de l'expression définie en **Exo2-2),** déterminez en pu et MW, la puissance P_G max que peut fournir la génératrice dans ces conditions cad pour la f.e.m calculée en 4) et U (tension aux bornes de la charge) puis en déduire le coefficient de synchronisme Sy.

ER51 Examen Final - 02 Juin 2009

Proposé par D. Merville

B- Raccordement sur le réseau (5 pts)

Le groupe turbo-alternateur étant sous exploité, cet industriel décide de le faire fonctionner à son nominal et ainsi revendre le surplus de sa production à la JIRAMA (la compagnie d'électricité de Madagascar). Pour cela, une dérivation est faite juste à la sortie HV de T1 pour permettre de se raccorder aux réseaux 72KV de la JIRAMA via le disjoncteur « 52R ». Il est conseillé de faire un schéma unifilaire.

→ Nouveau relevé aux bornes du 52U : U = 6.6 kV, S= 20MVA et cos φ = 0.7.

On ne tiendra pas compte de l'impédance de cette nouvelle ligne et de la puissance de court-circuit au point de raccordement réseau (52R).

6) Définir et donner le rapport de transformation de T1.
7) Déterminer la part de puissance (P et Q) en pu et MW, MVAR transmise au réseau de la JIRAMA.
8) Etablir la nouvelle valeur en pu et en KV de la f.e.m interne E.

C- Plan de Protection de T1 (5pts)

Pour assurer la protection de T1 en condition d'exploitation (**décrite en B**) pour alimenter l'usine en priorité et le réseau, on réalisera une protection 51T (surcharge), 50T (court-circuit) et 51TN (défaut entre Phase-terre). Voir ci-dessous **fig1.**

9) Choisissez dans la liste qui vous est fournie les TI (ou TC1&2) adaptés pour être installés sur le bus HV et la liaison Neutre-Terre. Justifiez votre choix.

10) Déterminez les valeurs de seuils de réglages (courant et temporisation) à programmer sur le relais de protections numériques BE1-CDS220 (Basler) pour la 51T, 50T et la 51TN.

Une marge de 20-30% des grandeurs mesurées suffit. On admettra que le Vk>50In*(∑R), le FLP et la classe de précisions des CT sont correctement définies pour leur application.

Recommandations du fabricant du transformateur T1 :

i. Protection surcharge marge 1.2pu, temporisation maximale de 60sec
ii. Protection contre les courts circuits, action instantanée.
iii. Protection contre les courants de défauts Phase-Terre marge 0.5pu et une temporisation de 2sec.

11) Listez les disjoncteurs à déclencher (ouvrir) dans chacun des cas de figures (défauts).

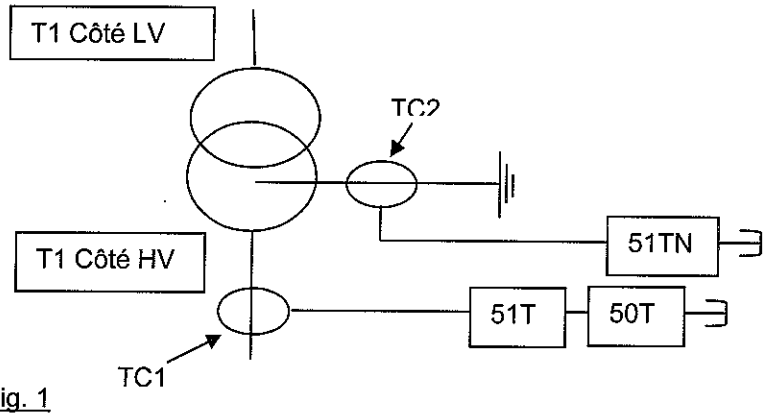

Fig. 1

ER51 Examen Final - 02 Juin 2009

Proposé par D. Merville

La génératrice	T1 (Yd1)	T2 (Dy1)	ZL	TC (TI)
Sn = 55MVA Un = 11KV Xd = 160% Xq = 145% R= 0 Pf = 0.8	Sn =60MVA 11KV / 70 KV Zcc = 10% R=0 **Position Plot 2** Sn / HV 62MVA / 71KV **Position Plot 2** 63MVA / 72KV **Position Plot 3** 66MVA / 73KV	Sn = 25 MVA 70 KV / 6.6 KV Zcc= 10% R = 0	R= 6 Ohm X=12 Ohm	1600/1 1400/1 800/1 500/1

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 $x_1 = \dfrac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$ $\quad x_2 = \dfrac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$
- lorsque $\Delta = 0$, une solution réelle $x_1 = -\dfrac{b}{2a}$
- lorsque $\Delta < 0$, aucune solution réelle.

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 $a \in \mathbb{R}$,

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

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

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

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

2. *Opérations sur les dérivées*

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

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

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

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

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

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

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

ER51 Examen Final - 02 Juin 2009

Proposé par D. Merville

La génératrice	T1 (Yd1)	T2 (Dy1)	ZL	CT (IT)
Sn = 100MVA Un = 11.5KV Xd = 160% Xq = 145% R= 0 Pf = 0.8	Sn =110MVA 11.5KV / 70 KV Zcc = 10% R=0 **Position Plot 2** Sn / HV 112MVA / 71KV **Position Plot 2** 113MVA / 72KV **Position Plot 3** 116MVA / 73KV	Sn = 25 MVA 70 KV / 6.6 KV Zcc= 10% R = 0	R= 6 Ohm X=12 Ohm	1600/1 1400/1 800/1 500/1

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 $x_1 = \dfrac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$ $\quad x_2 = \dfrac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$
- lorsque $\Delta = 0$, une solution réelle $x_1 = -\dfrac{b}{2a}$
- lorsque $\Delta < 0$, aucune solution réelle.

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 $a \in \mathbb{R}$,

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

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

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

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

2. *Opérations sur les dérivées*

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

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

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

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

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

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

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

ER51 Examen Final - 02 Juin 2009

Proposé par D. Merville

La génératrice	T1 (Yd1)	T2 (Dy1)	ZL	CT (IT)
Sn = 140MVA Un = 15KV Xd = 160% Xq = 145% R= 0 Pf = 0.8	Sn =150MVA 15KV / 70 KV Zcc = 10% R=0 **Position Plot 2** Sn / HV 152MVA / 71KV **Position Plot 2** 153MVA / 72KV **Position Plot 3** 156MVA / 73KV	Sn = 25 MVA 70 KV / 6.6 KV Zcc= 10% R = 0	R= 6 Ohm X=12 Ohm	1600/1 1400/1 800/1 500/1

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 $x_1 = \dfrac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$ $\quad x_2 = \dfrac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$
- lorsque $\Delta = 0$, une solution réelle $x_1 = -\dfrac{b}{2a}$
- lorsque $\Delta < 0$, aucune solution réelle.

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(a.x + b)	a . cos(a.x +b)	(sin(3.x+1))' = 3. cos(3.x + 1)
cos(a.x + b)	-a . sin(a.x +b)	(cos(3.x+1))' = -3. sin(3.x + 1)
tan(a.x + b)	$\dfrac{a}{[\cos(a.x+b)]^2}$	$(\tan(3x+1))' = \dfrac{3}{[\cos(3.x+1)]^2}$

2. Opérations sur les dérivées

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

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

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

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

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