Machine Synchrone - 4

v1

Donnée

Une machine synchrone à rotor cylindrique (turbo-alternateur) a les paramètres suivants :

- $S_n = 10\ MVA$ (puissance apparente nominale)
- $U_{nligne} = 6\ kV$ (tension de ligne nominale)
- $fn = 50\ [Hz]$ (fréquence nominale)
- $p = 2$ (nombre de paires de pôles)
- Couplage Y
- Les résistances sont négligées
- $x_d = 2\ pu$ (réactance du stator en p.u.)
- $k_{if} = 0.31831\ [Vs/Arad]$ (coefficient de tension induite)

La machine est connectée au réseau

Déterminer le courant d'excitation de la machine et dessiner le diagramme des tensions pour les quatre cas de charge suivants :

	U_s	S	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$
1.	U_n	$0.6\ S_n$	0.8	0.6
2.	U_n	$0.6\ S_n$	0.8	-0.6
3.	U_n	$0.6\ S_n$	-0.8	0.6
4.	U_n	$0.6\ S_n$	-0.8	-0.6

Préambule

Le but de cet exercice est de comprendre l'équation de tension de la machine synchrone et du diagramme vectoriel associé ainsi que les différents modes moteur/générateur et inductif/capacitif d'une machine synchrone.

Résolution avec Matlab

Lors de votre résolution avec Matlab vous pouvez utilisez *quiver* pour afficher les phaseurs du diagramme vectoriel, par exemple en appelant la fonction suivante :

```
function [] = doDisplay(U_cmpx,I_cmpx,Ui_cmpx,Xd)
    %Pour mettre U vertical
    angleOffset = pi/2;
    U_cmpx = U_cmpx*exp(1i*angleOffset);
    I_cmpx = I_cmpx*exp(1i*angleOffset);
    Ui_cmpx = Ui_cmpx*exp(1i*angleOffset);

    %Fait l'affichage des phaseurs
    figure
    hold on
    quiver(0, 0, real(U_cmpx), imag(U_cmpx), 1);
    quiver(0, 0, real(I_cmpx), imag(I_cmpx), 1);
    quiver(real(Ui_cmpx), imag(Ui_cmpx), ...
        real(1i*Xd*I_cmpx), imag(1i*Xd*I_cmpx), 1);
    quiver(0, 0, real(Ui_cmpx), imag(Ui_cmpx), 1);
    axis equal
    myMax = max([max(xlim) max(ylim)])*1.1;
    xlim([-myMax myMax])
    ylim([-myMax myMax])
    title('Phaseurs du diagramme vectoriel')
    legend({'U', 'I', 'jXdI', 'Ui'},'Location','southwest')
    set(gca,'XColor', 'none','YColor','none')
end
```

Corrigé

Comme ($R << X_d$), on a que :

$$\underline{U}_i = \underline{U} - j\ X_d\ \underline{I} \tag{1}$$

avec

- $\underline{U}$ = tension de phase au stator
- $\underline{U}_i$ = tension induite de phase
- X_d = réactance synchrone
- $\underline{I}$ = courant de phase au stator

La tension de phase au stator vaut (montage en Y) :

$$\underline{U} = U\ e^{j0} = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3464.1\ [V] \tag{2}$$

A noter que nous avons posé $\underline{U}$ comme réel.

L'impédance nominale est donnée par :

$$Z_n = \frac{3\ U^2}{S_n} = 3.6\ \Omega \tag{3}$$

à ce moment X_d vaut :

$$X_d = x_d\ Z_n = 7.2\ [\Omega] \tag{4}$$

Par la suite, la détermination de la valeur de U_i permettra d'obtenir le courant d'excitation I_f pour les différents cas de charge à partir de l'équation de la tension induite de mouvement :

$$U_i = k_{if}\ I_f\ \Omega \tag{5}$$

avec

$$\Omega = 2\pi\frac{f}{p} = 157.08\ [rad/s] \tag{6}$$

ainsi le lien entre I_f et U_i est donné par :

$$I_f = \frac{U_i}{k_{if}\ \Omega} = \frac{U_i}{50} \tag{7}$$

Pour les quatre cas de charge nous avons que :

$$I = \frac{S}{3\ U} = \frac{0.6\ S_n}{3\ U_{nph}} = 577.35\ [A] \tag{8}$$

$$\underline{I} = I\ e^{-j\varphi} = I\ (cos\varphi - j\ sin\varphi) \tag{9}$$

avec $cos\varphi$ et $sin\varphi$ étant spécifiques à chaque cas.

A noter que δ est donné comme l'angle entre $\underline{U}_i$ et $\underline{U}$ et comme U est posé comme réel (angle de 0°) nous avons que :

$$\delta = arg(\underline{U}) - arg(\underline{U}_i) = -arg(\underline{U}_i) \tag{10}$$

Pour bien comprendre le diagramme des tensions, les valeurs de φ et δ seront donné pour chaque cas.

1 Mode moteur inductif

$$\begin{cases} cos\varphi = 0.8 \\ sin\varphi = 0.6 \end{cases} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} \underline{I} &= 577.35\ (0.8 - j0.6) \\ &= 461.88 - j346.41\ [A] \end{aligned} \tag{12}$$

$$\varphi = 36.87° \tag{13}$$

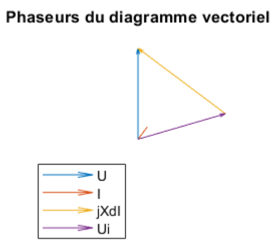
$$\begin{aligned} \underline{U}_i &= \underline{U} - j\ X_d\ \underline{I} \\ &= 3464.1 - j\ 7.2\ (461.88 - j346.41) \\ &= 969.95 - j\ 3325.54\ [V] \\ &= 3464.1\ e^{-j73.74°} \end{aligned} \tag{14}$$

$$\delta = 73.74° \tag{15}$$

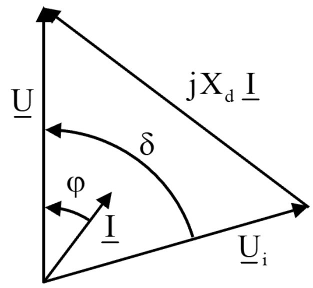
$$U_i = 3464.1\ [V] \tag{16}$$

Selon (7) nous obtenons :

$$I_f = \frac{U_i}{k_{if}\ \Omega} = \frac{U_i}{50} = 69.3\ [A] \tag{17}$$



Matlab



Mode moteur inductif

2 Mode moteur capacitif

$$\begin{cases} cos\varphi = 0.8 \\ sin\varphi = -0.6 \end{cases} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \underline{I} &= 577.35\ (0.8 + j0.6) \\ &= 461.88 + j346.41\ [A] \end{aligned} \tag{19}$$

$$\varphi = -36.87° \tag{20}$$

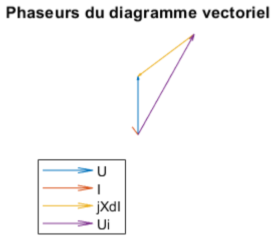
$$\begin{aligned} \underline{U}_i &= \underline{U} - j\ X_d\ \underline{I} \\ &= 3464.1 - j\ 7.2\ (461.88 + j346.41) \\ &= 5958.25 - j\ 3325.54\ [V] \\ &= 6823.49\ e^{-j29.16°} \end{aligned} \tag{21}$$

$$\delta = 29.17° \tag{22}$$

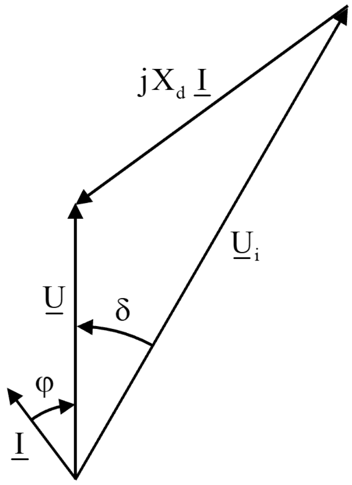
$$U_i = 6823.49\ [V] \tag{23}$$

Selon (7) nous obtenons :

$$I_f = \frac{U_i}{k_{if}\ \Omega} = \frac{U_i}{50} = 136.47\ [A] \tag{24}$$



Matlab



Mode moteur capacitif

3 Mode générateur inductif

$$\begin{cases} cos\varphi = -0.8 \\ sin\varphi = 0.6 \end{cases} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} \underline{I} &= 577.35\ (-0.8 - j0.6) \\ &= -461.88 - j346.41\ [A] \end{aligned} \tag{26}$$

$$\varphi = 143.13^\circ \tag{27}$$

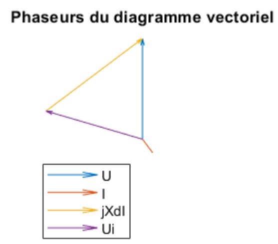
$$\begin{aligned} \underline{U}_i &= \underline{U} - j\ X_d\ \underline{I} \\ &= 3464.1 - j\ 7.2\ (-461.88 - j346.41) \\ &= 969.95 + j\ 3325.54\ [V] \\ &= 3464.1\ e^{j73.74^\circ} \end{aligned} \tag{28}$$

$$\delta = -73.74^\circ \tag{29}$$

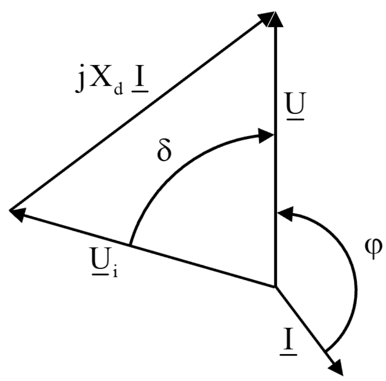
$$U_i = 3464.1\ [V] \tag{30}$$

Selon (7) nous obtenons :

$$I_f = \frac{U_i}{k_{if}\ \Omega} = \frac{U_i}{50} = 69.3\ [A] \tag{31}$$



Matlab



Mode générateur inductif

4 Mode générateur capacitif

$$\begin{cases} cos\varphi = -0.8 \\ sin\varphi = -0.6 \end{cases} \tag{32}$$

$$\begin{aligned} \underline{I} &= 577.35\ (-0.8 + j0.6) \\ &= -461.88 + j346.41\ [A] \end{aligned} \tag{33}$$

$$\varphi = -143.13° \tag{34}$$

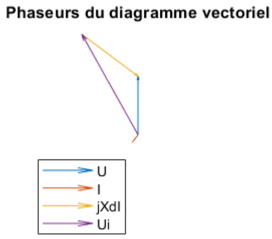
$$\begin{aligned} \underline{U}_i &= \underline{U} - j\ X_d\ \underline{I} \\ &= 3464.1 - j\ 7.2\ (-461.88 + j346.41) \\ &= 5958.25 + j\ 3325.54\ [V] \\ &= 6823.49\ e^{j29.17°} \end{aligned} \tag{35}$$

$$\delta = -29.17° \tag{36}$$

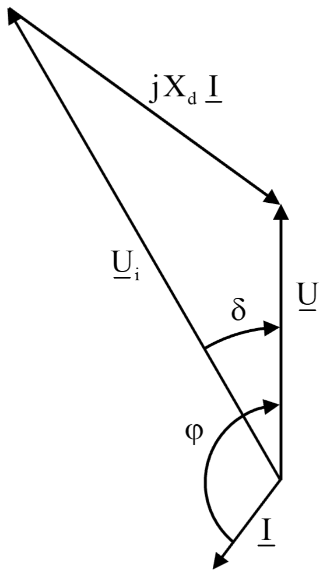
$$U_i = 6823.49\ [V] \tag{37}$$

Selon (7) nous obtenons :

$$I_f = \frac{U_i}{k_{if}\ \Omega} = \frac{U_i}{50} = 136.47\ [A] \tag{38}$$



Matlab



Mode générateur capacitif