Machine Synchrone - 5

v1

Donnée

Une machine synchrone à rotor cylindrique (turbo-alternateur), possédant une réactance $X_d = 8\ \Omega$, délivre un courant de 200 A à $cos\varphi = -1$ sous $U_s = 11kV$ (couplage étoile).

Sans modifier le couple à l'arbre, on augmente de 30% le courant d'excitation.

a. Déterminer les nouvelles valeurs du courant et du $cos\varphi$

De là, sans modifier l'excitation, on augmente graduellement le couple à l'arbre jusqu'au décrochage.

b. Pour quelle puissance P_k et à quel $cos\varphi_k$, le décrochage se produit-il ?

On suppose que la résistance statorique est négligeable ($R << X_d$). On suppose des pertes négligeables de sorte que $P_{el} = P_{em} = P_{mec} = P_{utile}$

Suggestion : tenter 2 méthodes de résolution 1. par le diagramme de tension 2. par le diagramme de puissance

Corrigé

1. Résolution par le diagramme des tensions

1.a Calcul des nouveaux courant et $cos\varphi$ (diagramme des tensions)

La tension de phase de la machine vaut :

$$U = \frac{U_{ligne}}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6.35\ [kV] \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \underline{U} = U &= j\ X_d\ \underline{I} + \underline{U}_i \\ &= j\ X_d\ I\,(cos\varphi - j\ sin\varphi) + \underline{U}_i \\ &= X_d I\,(sin\varphi + j\ cos\varphi) + U_i\,(cos\delta + j\ sin\delta) \end{aligned} \tag{2}$$

Avec $cos\varphi_1 = -1$

$$U = X_d I_1 \left(\underbrace{sin\varphi_1}_{0} + j\ \underbrace{cos\varphi_1}_{-1} \right) + \underline{U}_i \ \longrightarrow\ U = -jX_d I_1 + \underline{U}_{i1} \ \longrightarrow\ \underline{U}_{i1} = U + jX_d I_1 \tag{3}$$

U est réel et $X_d\ I_1$ imaginaire, ainsi la norme de U_{i1} est donnée par :

$$U_{i1} = \sqrt{(Re)^2 + (Im)^2} = \sqrt{(U)^2 + (X_d I_1)^2} \tag{4}$$

avec

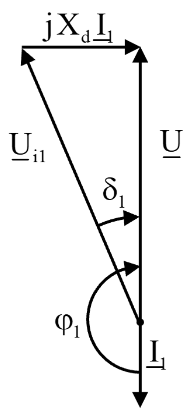
$$X_d I_1 = 1.6\ [kV] \tag{5}$$

nous obtenons :

$$U_{i1} = \sqrt{(6.35\ 10^3)^2 + (1.6\ 10^3)^2} = 6.55\ [kV] \tag{6}$$

A l'aide du diagramme vectoriel ci-dessous, nous avons que :

$$\delta_1 = tan^{-1}\left(\frac{X_d I_1}{U}\right) = tan^{-1}\left(\frac{1.6\ 10^3}{6.35\ 10^3}\right) = -14.14\ [°]\ (\textit{génératrice}) \tag{7}$$



A vitesse constante, la tension induite de mouvement varie linéairement (hors saturation) avec le courant d'excitation. On peut donc écrire :

$$U_{i2} = 1.3\ U_{i1} = 8.51\ [kV] \tag{8}$$

A couple et vitesse constants, la puissance mécanique est également constante.

$$P_{mec} = \frac{3UU_{i1}}{X_d}\ sin\delta_1 = \frac{3UU_{i2}}{X_d}\ sin\delta_2 \tag{9}$$

Après simplification, on peut calculer δ_2 :

$$\delta_2 = sin^-1\left(\frac{sin\delta_1}{1.3}\right) = sin^-1\left(\frac{sin(-14.14°)}{1.3}\right) = -10.83\ [°]\ (génératrice) \tag{10}$$

On peut ensuite calculer les valeurs de OA, AB et AC :

$$\overline{OA} = U_{i2}\ cos\delta_2 = 8.51\ 10^3\ cos(-10.83°) = 8.36\ [kV] \tag{11}$$

$$\overline{AB} = U_{i2}\ sin\delta_2 = 8.51\ 10^3\ sin(-10.83°) = 1.6\ [kV] \tag{12}$$

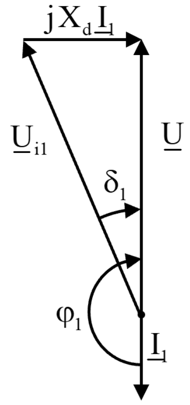
$$\overline{AC} = \overline{OA} - U = 8.36\ 10^3 - 6.35\ 10^3 = 2.015\ [kV] \tag{13}$$

Ces valeurs permettent de déterminer le nouveau courant :

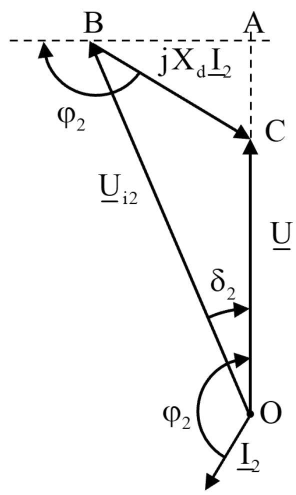
$$I_2 = \frac{\sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}}{X_d} = 321.3\ [A] \tag{14}$$

Le nouveau $cos\varphi_2$ peut être déterminé à partir de la puissance mécanique constante :

$$cos\varphi_2 = \frac{3UI_1\ cos\varphi_1}{3UI_2} = \frac{-I_1}{I_2} = -0.62 \tag{15}$$



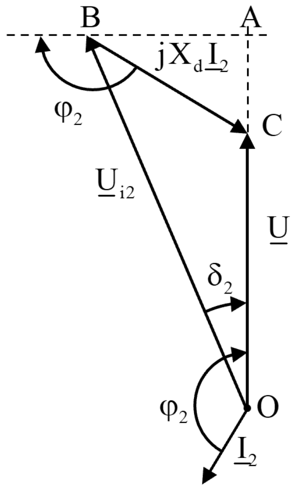
Avant modification de l'excitation



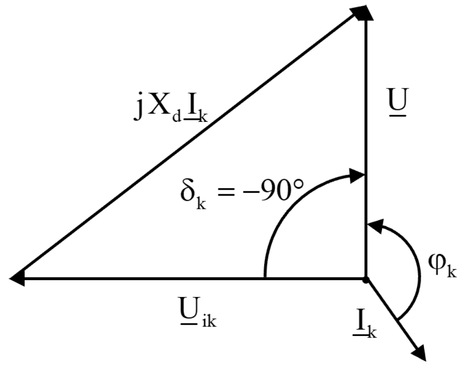
Après modification de l'excitation

1.b Calcul de la puissance et du $cos\varphi$ au décrochage (diagramme des tensions)

La machine décroche lorsque l'angle de charge dépasse 90°. En supposant qu'aucune autre limite n'est dépassée, le décrochage se produit lorsque $\delta_k = -90°$ (génératrice).



Avant modification du couple à l'arbre



Après modification du couple à l'arbre

La puissance P_k au décrochage vaut :

$$P_k = \frac{3UU_{ik}}{X_d} sin\delta_k = -20.277 \; [MW] \tag{16}$$

$$I_k = \frac{\sqrt{U_{ik}^2 + U^2}}{X_d} = 1327 \; [A] \tag{17}$$

$$cos\varphi_k = \frac{P_k}{3UI_k} = -0.8 \tag{18}$$

$$\begin{cases} cos\varphi_k = -0.8 \\ sin\varphi_k = 0.6 \end{cases} \tag{19}$$

A noter que la puissance apparente au décrochage vaut :

$$S_k = 25.297 \; [MVA] \tag{20}$$

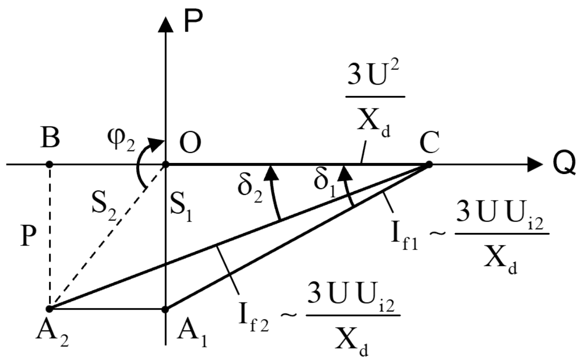
2. 2. Résolution par le diagramme des puissances

2.a Calcul des nouveaux courant et $cos\varphi$ (diagramme des puissances)

La tension de phase de la machine vaut :

$$U = \frac{U_{ligne}}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6.35\ [kV] \tag{21}$$

Le diagramme des puissances (topogramme) pour les 2 cas considérés est le suivant :



$$\overline{OC} = \frac{3U^2}{X_d} = 15.125\ [MVAr] \tag{22}$$

$$S_1 = 3UI_1 = \overline{OA_1} = 3.81\ [MVA] \tag{23}$$

$$cos\varphi = -1 \tag{24}$$

$$P_{mec} = 3UI_1 \underbrace{cos\varphi_1}_{\text{-1}} = -3.81\ [MW] \tag{25}$$

$$\overline{CA_1} = \sqrt{\overline{OC}^2 + \overline{OA_1}^2} = \sqrt{\left(\frac{3U^2}{X_d}\right) + P_{mec}^2} = 15.6\ [MVA] \tag{26}$$

A vitesse constante, la tension induite de mouvement varie linéairement (hors saturation) avec le courant d'excitation. On peut donc écrire :

$$\overline{CA_2} = 1.3\ \overline{CA_1} = 20.3\ [MVA] \tag{27}$$

Comme le couple ne change pas, le déplacement dans le topogramme est strictement horizontal. En d'autres termes, seule la puissance réactive change. Ainsi :

$$\overline{BA_2} = \overline{OA_1} = P_{mec} \tag{28}$$

$$\delta_2 = sin^-1\left(\frac{\overline{BA_2}}{\overline{CA_2}}\right) = -10.8\ [°]\ (génératrice) \tag{29}$$

$$\overline{BO} = \overline{CA_2}\ cos\delta_2 - \overline{OC} = 4.8\ [MVAr] \tag{30}$$

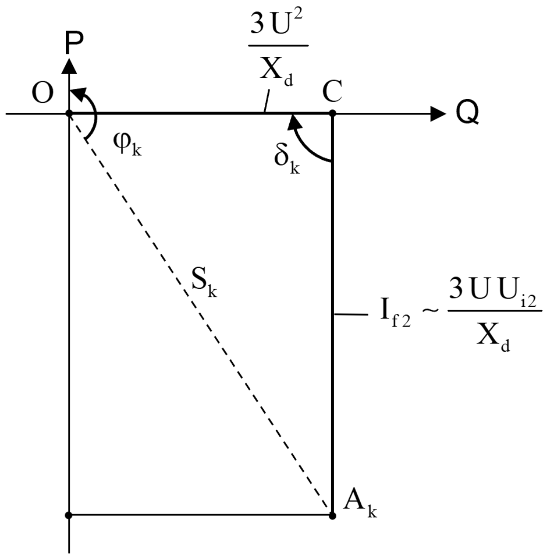
$$S_2 = \sqrt{\overline{BO}^2 + \overline{BA}_2^2} = 6.13\ [MVA] \tag{31}$$

$$I_2 = \frac{S_2}{3U} = 321.3\ [A] \tag{32}$$

$$cos\varphi_2 = \frac{P_{mec}}{3UI_2} = -0.62 \tag{33}$$

2.b Calcul de la puissance et du $cos\varphi$ au décrochage (diagramme des puissances)

Le diagramme des puissances (topogramme) pour le cas de décrochage est le suivant :



La machine décroche lorsque l'angle de charge dépasse 90°. En supposant qu'aucune autre limite n'est dépassée, le décrochage se produit lorsque $\delta_k = -90°$ (génératrice).

Comme le courant d'excitation n'a pas changé, la norme de la tension induite de mouvement est la même.

$$\overline{CA}_k = \overline{CA}_2 \tag{34}$$

$$P_k = -\overline{CA}_k = -20.3\ [MW] \tag{35}$$

$$S_k = \sqrt{\overline{OC}^2 + \overline{CA}_k^2} = 25.3\ [MVA] \tag{36}$$

$$cos\varphi_k = \frac{P_k}{S_k} = -0.8 \tag{37}$$