Exercice N° 01 : (04 pts)

Pour modéliser et simuler la machine électrique idéalisée, plusieurs hypothèses simplificatrices sont à admettre. Telles que : **(quatre réponses au choix), (1 pt) pour chaque réponse.**

- ✓ Machine à deux armatures (stator+rotor) à entrefer d'épaisseur uniforme (constant).
- ✓ Le bobinage est réparti de manière à donner une f.m.m. sinusoïdale s'il est alimenté par des courants sinusoïdaux.
- ✓ Régime non saturé, le phénomène d'hystérésis et les courants de Foucault en plus l'effet de peau sont négligés.
- ✓ Haute perméabilité magnétique ce qui implique un potentiel magnétique uniquement dans l'entrefer.
- ✓ Chaque armature contient un bobinage triphasé dont la résistance ne varie pas avec la température.
- ✓ chaque phase est caractérisée par sa bobine équivalente
- ✓ Les composantes homopolaires sont nulles.

0.5

Exercice N° 02 : (04 pts)

Trois vecteurs (V_1,V_2,V_3) composent un système en 3D équilibré, espacé de 120°.

1. les trois vecteurs forment un système triphasé équilibré, alors : $V_1+V_2+V_3=0$

2. $V_\alpha=f(V_1, V_2, V_3)$ et $V_\beta= f(V_1, V_2, V_3)$: (sens antihoraire)

$$V_\alpha = V_1 cos60 + V_2 cos180 + V_3 cos60 = \frac{1}{2}V_1 - 1.V_2 + \frac{1}{2}V_3$$ 0.5

$$V_\beta = V_1 sin60 + V_2 sin180 + V_3 sin300 = \frac{\sqrt{3}}{2}V_1 + 0.V_2 - \frac{\sqrt{3}}{2}V_3$$ 0.5

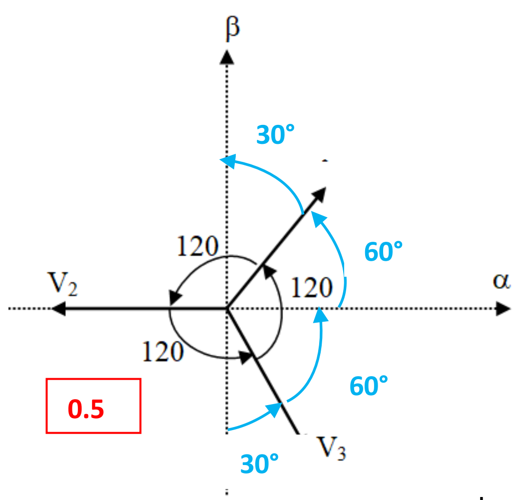
La matrice de passage du 3D au 2D est :

$$M = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$ 0.5

3. ce passage est effectué pour simplifier le modèle donné et minimiser le temps de calcu 0.5

4. **Clark** : conserve l'amplitude. 0.5

Concordia : conserve la puissance. 0.5



Exercice N° 03 : (12 pts)

1/ **a/** x par rapport au stator (S) est : $\overline{x}^{(s)} = x.e^{j\theta obs}$ **(1)** 0.5

b/ Dans le référentiel tournant (C): $\overline{x}^{(C)} = x.e^{j\theta_T} = x.e^{j(\theta_{obs} - \theta s)}$ **(2)** 0.5

du schéma on a : $\theta T = \theta obs - \theta s$

c/ Passage du (S) au (C) : **(1)** / **(2)** $\Rightarrow \frac{\bar{x}^{(s)}}{\bar{x}^{(c)}} = \frac{x}{x}\frac{e^{j\theta s}}{e^{j(\theta T)}}$;

$$\frac{\bar{x}^{(s)}}{\bar{x}^{(c)}} = \frac{e^{j\theta obs}}{e^{j(\theta obs - \theta s)}} = e^{j\theta s} \quad \Rightarrow \quad \bar{x}^{(s)} = \bar{x}^{(c)}.e^{j\theta s}$$

0.5

2/ a/ l'équation au tension : sur le stator on a : $\boldsymbol{\overline{v}_s^{(s)} = R_s\overline{\iota}_s^{(s)} + \frac{d\overline{\varphi}_s^{(s)}}{dt}}$ **; appliquons la relation 1.(c) sur cette équation on aura :**

$$\boldsymbol{\overline{v}_s^{(c)}e^{j\theta s} = R_s\overline{\iota}_s^{(c)}e^{j\theta s} + \frac{d(\overline{\varphi}_s^{(c)}.e^{j\theta s})}{dt} = R_s\overline{\iota}_s^{(c)}e^{j\theta s} + .e^{j\theta s}\frac{d(\overline{\varphi}_s^{(c)})}{dt} + j\frac{d(\theta s)}{dt}e^{j\theta s}.\overline{\varphi}_s^{(c)}}$$

$$\boldsymbol{\overline{v}_s^{(c)}\cancel{e^{j\theta s}} = R_s\overline{\iota}_s^{(c)}\cancel{e^{j\theta s}} + .\cancel{e^{j\theta s}}\frac{d(\overline{\varphi}_s^{(c)})}{dt} + j\frac{d(\theta s)}{dt}\cancel{e^{j\theta s}}.\overline{\varphi}_s^{(c)}} \text{ , avec } \boldsymbol{\frac{d(\theta s)}{dt} = \omega_s}$$

$$\boldsymbol{\overline{v}_s^{(c)} = R_s\overline{\iota}_s^{(c)} + \frac{d(\overline{\varphi}_s^{(c)})}{dt} + j.\overline{\varphi}_s^{(c)}}$$

0.5

Et on peut écrire : $\boldsymbol{\overline{v}_s = R_s\overline{\iota}_s + \frac{d(\overline{\varphi}_s)}{dt} + j.\overline{\varphi}_s}$

Pour le flux , sur le stator : $\overline{\varphi}_s^{(s)} = L_s\overline{\iota}_s^{(s)} \Rightarrow$ sur (C) $\overline{\varphi}_s^{(c)}\cancel{e^{j\theta s}} = L_s\overline{\iota}_s^{(c)}\cancel{e^{j\theta s}}$

et : $\overline{\varphi}_s^{(c)} = L_s\overline{\iota}_s^{(c)}$ on peut écrire : : $\overline{\varphi}_s = L_s\overline{\iota}_s$ 0.5

b/ on voit que le flux est invariant quelque soit le repère. 0.5

c/ les composantes des équations sur (d,q) :

$v_{sd} = R_s i_{sd} - \omega_s\varphi_{sq} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt}$ 0.5

$v_{sq} = R_s i_{sq} + \omega_s\varphi_{sd} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt}$ 0.5

$\varphi_{sd} = L_{sd}i_{sd}$ 0.5

$\varphi_{sq} = L_{sq}i_{sq}$ 0.5

d/ La puissance absorbée en biphasé :

0.5 $v_d.i_d = (Ri_d + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s\varphi_{sq}).i_d$ et $v_q.i_q = \left(Ri_q + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s\varphi_{sd}\right).i_q$ 0.5

$$P_a = v_d.i_d + v_q.i_q = \left(Ri_d + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s\varphi_{sq}\right).i_d + \left(Ri_q + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s\varphi_{sd}\right).i_q$$ 0.5

e/ La puissance électromagnétique en biphasé :

$$P_e = P_a - P_{joule} = P_a - Ri_d^2 - Ri_q^2 = \left(\frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s\varphi_{sq}\right).i_d + \left(\frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s\varphi_{sd}\right).i_q$$

$$P_e = \frac{d\varphi_{sd}}{dt}.i_d - \omega_s\varphi_{sq}.i_d + \frac{d\varphi_{sq}}{dt}.i_q - \omega_s\varphi_{sd}.i_q$$

$$P_e = \left(\frac{d\varphi_{sd}}{dt}.i_d + \frac{d\varphi_{sq}}{dt}.i_q\right) - \left(\omega_s\varphi_{sq}.i_d - \omega_s\varphi_{sd}.i_q\right)$$ **1.00**

f/ L'expression : $\left(\frac{d\varphi_{sd}}{dt}.i_d + \frac{d\varphi_{sq}}{dt}.i_q\right)$ correspond à la puissance transitoire.

Il reste donc : $P_e = C_e\Omega = -\left(\omega_s\varphi_{sq}.i_d - \omega_s\varphi_{sd}.i_q\right)$, avec $\Omega = \frac{\omega_s}{p}$ vitesse angulaire mécanique.

ce qui donne, finalement, la formule du couple : $C_e = \frac{P_e}{\Omega}$ **0.5**

0.5

$$C_e = \frac{P_e}{\Omega} = \frac{\omega\left(\varphi_{sd}.i_q - \varphi_{sq}.i_d\right)}{\omega/p} = p\left(\varphi_{sd}.i_q - \varphi_{sq}.i_d\right) = p\left(L_{sd}i_{sd}.i_{sq} - L_{sq}.i_{sq}.i_{sd}\right) = pi_{sd}.i_{sq}\left(L_{sd} - L_{sq}\right)$$

g/ le couple électromagnétique : $C_e = p\Im m(\bar{\imath}_s.\bar{\varphi}_s^*) = p\left(\varphi_{sd}.i_q - \varphi_{sq}.i_d\right) = pi_{sd}.i_{sq}\left(L_{sd} - L_{sq}\right)$ **0.5**

h/ les formule sont identiques.

3/ la vitesse de la machine : $J\frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r - f_v\Omega \quad \Rightarrow \quad \Omega = \frac{Ce - Cr}{J.S + f}$ **0.5**

4/ le schéma fonctionnel de la machine : **2.50**