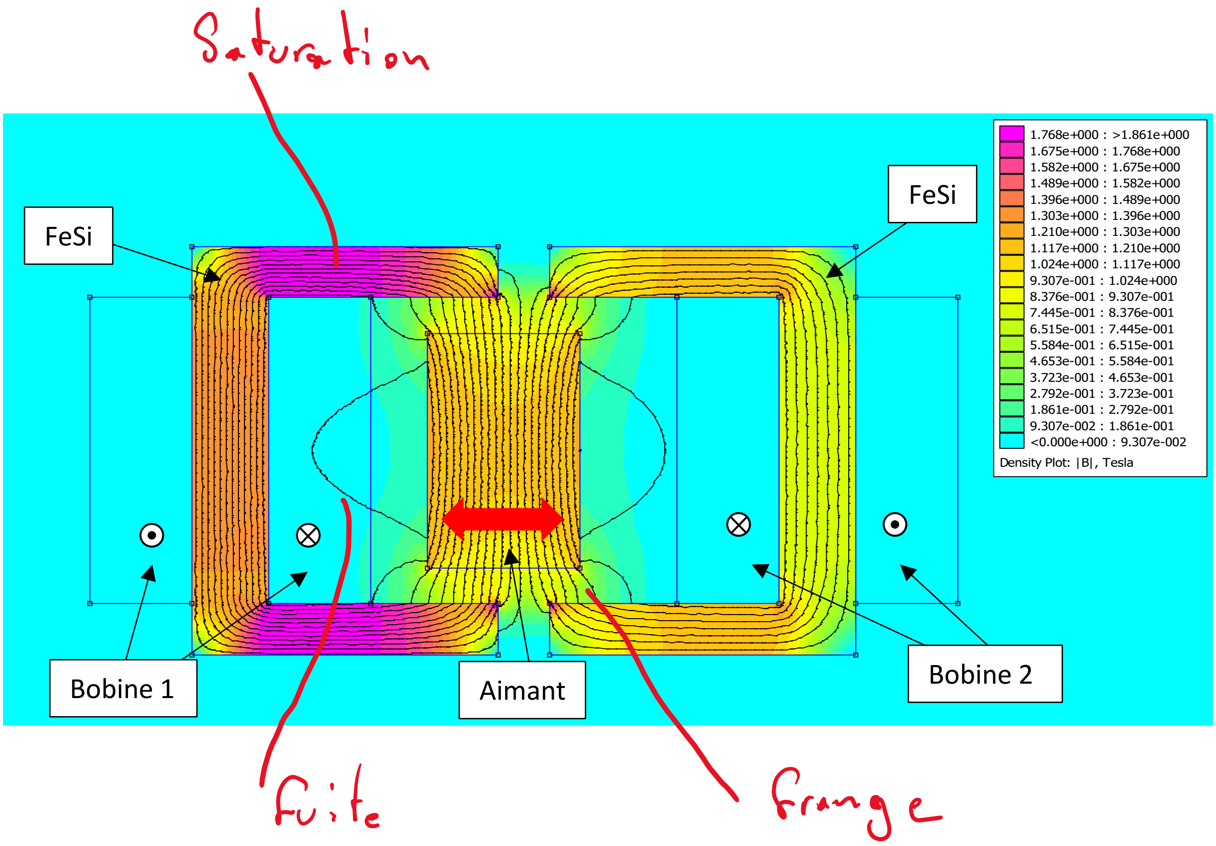
Examen actionneurs et systèmes électromagnétiques 2023

Corrigé

1. Eléments finis (répondre sur la donnée)



La figure ci-dessus représente la simulation par éléments finis d'un actionneur. La partie mobile se déplace horizontalement (flèche rouge).

a) De quel type d'actionneur s'agit-il ?....életromagnétique..
Qu'est-ce qui vous permet de l'affirmer ?
Son aimant est mobile, son bobinage est fixe (et il n'y a pas de variation de perméance de la bobine en fonction de la position)

b) Quels phénomènes physiques doit-on considérer avant de pouvoir établir son schéma magnétique équivalent ? Indiquer les effets de ces 3 phénomènes directement sur la figure au moyen d'une flèche et d'une légende (un exemple par phénomène).

c) Quel matériau est utilisé pour l'aimant (justifier)? Il s'agit d'un NdFeB car l'induction dans l'aimant est supérieure à 1.2T

2. Actionneur électrodynamique

$$u_i = \frac{d\Psi_{ab}}{dt} = \frac{d\Psi_{ab}}{dx}v$$

$$u_i = N\frac{d\Lambda_{ab}}{dx}\Theta_a v$$

$$F = \frac{d\Lambda_{ab}}{dx}\Theta_a N i$$

$$F = \frac{u_i}{v}i$$

Application numérique : F = 12/1*2 = 24 [N]

3. Inductance propre, calcul de force

a) L'impédance est obtenue en divisant U par I_1

$$\mathrm{Z(x)} = \frac{\sqrt{1 + \frac{6.2 \cdot 10^{-7}}{\mathrm{x}^2}}}{I_1} = \sqrt{1 + \frac{6.2 \cdot 10^{-7}}{\mathrm{x}^2}}$$

b) Pour l'inductance :

$$\mathrm{Z(x)} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L(x)^2}$$

$$\mathrm{L(x)} = \frac{\sqrt{\mathrm{Z(x)}^2 - \mathrm{R}^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{6.2 \cdot 10^{-7}}}{\mathrm{x}\omega} = \frac{7.874 \cdot 10^{-4}}{\mathrm{x}\omega} = \frac{2.5 \cdot 10^{-6}}{\mathrm{x}}\ [H]$$

c) La force devient :

$$\mathrm{F(x)} = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{dL(x)}}{\mathrm{dx}}\mathrm{I}_2^2$$

$$\mathrm{F(x)} = -\frac{2.5 \cdot 10^{-6}}{2\mathrm{x}^2}\mathrm{I}_2^2 = -\frac{1.25 \cdot 10^{-4}}{\mathrm{x}^2}$$

$$F(x) = -125\ [N]$$

4. Démarrage d'un moteur CC

a) La vitesse qu'atteint le moteur après son démarrage est la vitesse à vide

$\Omega_0 = \frac{U}{k_u\hat{\Phi}}$

b) On pose les équations dynamiques du moteur :

$$U = Ri + k_u\hat{\Phi}\Omega$$

$$M = k_u\hat{\Phi}i$$

$$\Sigma M = J\frac{d\Omega}{dt}$$

On exprime le couple en fonction de la vitesse uniquement :

$$\mathrm{M} = \frac{k_u\hat{\Phi}}{\mathrm{R}}(\mathrm{U} - k_u\hat{\Phi}\Omega)$$

Comme il n'y a pas de charge, on obtient l'équation différentielle suivante :

$$J\frac{d\Omega}{dt} = \frac{k_u\widehat{\Phi}}{\mathrm{R}}\left(\mathrm{U} - k_u\widehat{\Phi}\Omega\right)$$

L'équation homogène est :

$$J\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{\left(k_u\widehat{\Phi}\right)^2}{\mathrm{R}}\Omega$$

Solution :

$$\Omega = Be^{-\frac{\left(k_u\widehat{\Phi}\right)^2}{\mathrm{JR}}t}$$

La solution particulière est Ω_0 calculée au point a et on détermine B en posant que $\Omega(t=0) = 0$.

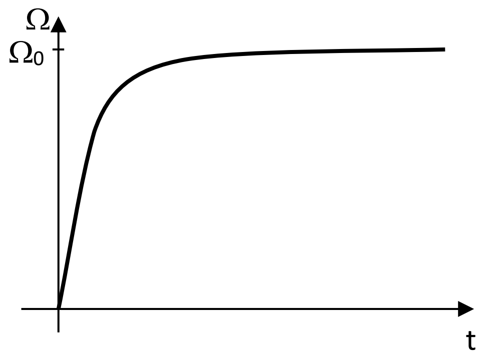
Variante : on pose :

$$\Omega = A + Be^{-\frac{\left(k_u\widehat{\Phi}\right)^2}{\mathrm{JR}}t}$$

Comme la vitesse est nulle en t=0 et la vitesse en régime permanent est égale à la vitesse à vide :

$$A + B = 0 \; et \; A = \frac{U}{k_u\widehat{\Phi}}$$

$$\Omega = \frac{U}{k_u\widehat{\Phi}}\left(1 - e^{-\frac{\left(k_u\widehat{\Phi}\right)^2}{\mathrm{JR}}t}\right)$$



5. Moteur synchrone

a) p = 2 donc f = n/60*p = 6000/60*2 = 200 Hz

b) Comme la vitesse est fixée (6000t/min), la puissance max est obtenue lorsque le couple est maximum

$$P = M\Omega$$

$$M = \frac{3}{2}\frac{\widehat{\mathrm{U}}_{\mathrm{i}1}}{\Omega \mathrm{Z_s}}\left[\widehat{\mathrm{U}}_1 - \widehat{\mathrm{U}}_{\mathrm{i}1}\cos(\phi_s)\right]$$

Avec :

$\hat{U}_{i1} = 12V$, $\hat{U}_1 = 14V$

$\omega = 2\pi f = 1256.6$ rad/s

$\Omega = 6000*2\pi/60 = \omega/p = 628.31$ rad/sec

$Z_s = \sqrt{R_s^2 + \omega^2 L_s^2}$= 1.6 [Ω]
$\phi_s = \arctan\frac{\omega L_s}{R_s}$ = 0.8986 [rad] = 51.48 [°]

Donc :

$M_{max} = \frac{3}{2}\frac{12}{628.3*1.6}[14 - 12\cos(0.8986)]$ =0.1169 [Nm]

La puissance maximale vaut donc

P = MΩ = 0.117 * 628.3 = 73.17 [W]

6. Moteur asynchrone

a) p=1 et la vitesse synchrone est de 3000 t/min
b) Le glissement en charge :
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 150/3000 = 0.05 = 5\%$$
c) La tension de phase en triangle vaut $U_\Delta = \sqrt{3}U = 398[V]$

d) Le couple lorsque le glissement est très petit peut être exprimé par :
$$M = \frac{3\sigma_s^2 U_s^2}{R_r' \Omega_s} s$$
Le passage de la tension du branchement en étoile à celui en triangle multiplie U_s^2 par 3, le glissement est donc divisé par 3 puisque le couple de charge ne change pas :
s_Δ=s/3=0.0167=1.67%
e) La vitesse du moteur vaut $n_\Delta = n_s (1-s_\Delta)$=2950 [t/min]

7. Loi de similitude, horlogerie

Le couple de positionnement vaut :

$$M = \frac{1}{2}\frac{d\Lambda_{aa}}{d\alpha}\Theta_a^2$$

Donc

$$M^* = \frac{\Lambda_{aa}^*}{\alpha^*}(\Theta_a^*)^2$$

Avec :

$$\Lambda_{aa}^* = \frac{\mu^* S^*}{l^*} = l^*$$

$$\Theta_a^* = H_0^* l_a^* = l^*$$

$$\alpha^* = 1$$

Donc

$M^* = (l^*)^3 \Rightarrow l^* = \sqrt[3]{M^*} = \sqrt[3]{2} = 1.26$

Le diamètre de l'aimant devient l* d = 1.26*1mm = 1.26mm