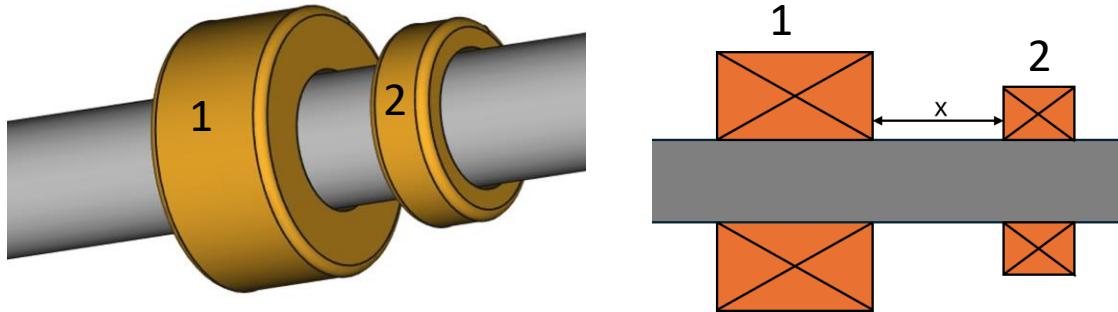


## Examen 2024

### 1. Inductances propres et mutuelles, calcul de force (12 pts)



Deux bobines sont placées autour d'un cylindre constitué d'un matériau ferromagnétique de perméabilité infinie.

La bobine 1 est fixe, elle est constituée de  $N_1 = 100$  spires.

La bobine 2 est mobile, elle est constituée de  $N_2 = 20$  spires.

Dans l'intervalle de déplacement de la bobine 2, la perméance mutuelle  $\Lambda_{12}$  peut être obtenue à l'aide de l'expression suivante :

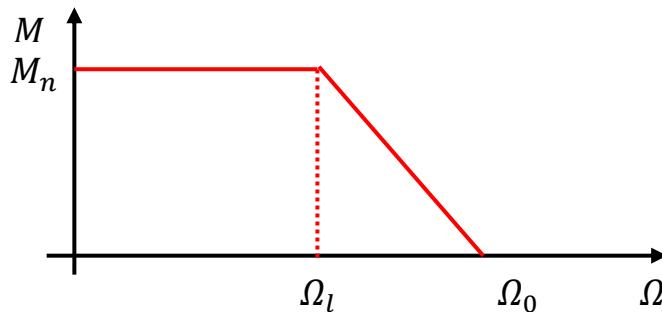
$$\Lambda_{12} = a - bx$$

Où  $x$  est la distance séparant les deux bobines (voir coupe ci-dessus) et  $a$  et  $b$  sont des paramètres déterminés de manière empirique.

- Afin de déterminer  $a$  et  $b$ , on alimente la bobine 1 avec un courant alternatif de valeur efficace de  $I_{1AC} = 1$  [A] et de fréquence  $f = 50$  [Hz]. On mesure la valeur efficace de la tension **à vide**  $U_2$  sur la bobine 2 en fonction de la distance  $x$ :  
Pour  $x = 0$  [mm] :  $U_2 = 20$  [V]  
Pour  $x = 50$  [mm] :  $U_2 = 5$  [V].  
Calculer les valeurs numériques des paramètres  $a$  et  $b$ .
- On alimente ensuite la bobine 1 avec un courant continu  $I_1$  et la bobine 2 avec un courant continu  $I_2$ . Déterminer l'expression **analytique** de la force mutuelle qui s'exerce sur la bobine 2 en fonction de  $a$ ,  $b$ ,  $x$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .
- A l'aide des valeurs numériques de  $a$  et  $b$ , déterminer la valeur numérique de la force mutuelle lorsque  $I_1 = 2$  [A] et  $I_2 = 5$  [A].

## 2. Caractéristique couple-vitesse (10 pts)

Un moteur à courant continu à excitation à aimant permanent est alimenté par une électronique qui limite son courant. Sa caractéristique couple-vitesse est représentée ci-dessous :



Avec :

Couple à courant limité :  $M_n = 0.5 \text{ [Nm]}$

Vitesse à vide du moteur :  $\Omega_0 = 250 \text{ [rad/s]}$

Vitesse maximale à courant limité :  $\Omega_l = 150 \text{ [rad/s]}$

Il entraîne une pompe dont la puissance mécanique peut être approchée par l'équation suivante :

$$P_{\text{pompe}} = k \Omega^3 \text{ [W]}$$

Où  $k$  est une constante égale à  $1 \cdot 10^{-5} \text{ [Ws}^3/\text{rad}^3]$

- a) A quelle vitesse se stabilise le système ?
- b) Que devient cette vitesse si l'on double la tension d'alimentation du moteur **tout en conservant la même limitation de courant** ?

## 3. Moteur à courant continu à excitation série (8 pts)

Soit un moteur à courant continu à **excitation série** ayant les caractéristiques suivantes :

Résistance d'excitation  $R_e = 5 \text{ [\Omega]}$

Résistance d'induit  $R = 10 \text{ [\Omega]}$

Coefficient de tension induite  $k_u' = 0.1 \text{ [Vs/A]}$

Il est alimenté par une source de tension continue  $U$  contrôlable en fonction de la charge et il délivre un couple  $M = M_1$  à une vitesse  $\Omega = \Omega_1$

- a) Si le couple de charge du moteur est doublé temporairement ( $M = 2M_1$ ), par quel coefficient  $k_1 = \frac{U(2M_1)}{U(M_1)}$  doit-on multiplier sa tension d'alimentation pour conserver la même vitesse  $\Omega_1$  ?
- b) On souhaite ensuite doubler la vitesse du moteur ( $\Omega = 2\Omega_1$ ) sans changer le couple qu'il fournit ( $M = M_1$ ). Déterminer l'expression numérique du coefficient  $k_2 = \frac{U(2\Omega_1)}{U(\Omega_1)}$  en fonction de la vitesse initiale du moteur  $\Omega_1$ .
- c) En supposant un couple de frottement nul (théorique), que vaut sa vitesse à vide ?

#### 4. Machine asynchrone (13 pts)

On effectue des tests en laboratoire sur une machine asynchrone connectée (en étoile) au réseau **triphasé** et accouplée à une machine à courant continu de manière à pouvoir mesurer divers points de fonctionnement. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Nombre de pôles :  $2p = 4$

Fréquence du réseau :  $f = 50 \text{ [Hz]}$

Tension de phase (valeur efficace) :  $U_s = 230 \text{ [V]}$

Résistance de phase :  $R_s = 1 \text{ [\Omega]}$

On mesure les grandeurs suivantes pour un premier point de fonctionnement :

Couple délivré par la machine :  $M = 62 \text{ [Nm]}$

Vitesse du rotor :  $n = 1450 \text{ [t/min]}$

Courant de phase du moteur (valeur efficace) :  $I_s = 20 \text{ [A]}$  avec  $\cos(\phi) = 0.8$ .

Pour ce point de fonctionnement :

- Déterminer la vitesse synchrone (du champ tournant) et le glissement du moteur.
- Calculer la puissance électrique (active) consommée sur le réseau triphasé, la puissance mécanique produite et en déduire le rendement du moteur.
- Déterminer les pertes Joule statoriques.
- Déterminer les pertes Joule rotoriques.
- En déduire la valeur des pertes restantes (fer + frottements, ventilation).

On mesure ensuite les performances de la machine à une vitesse de  $n = 1550 \text{ t/min}$  :

- Calculer son couple à ce nouveau point de fonctionnement en tenant compte du fait que le glissement est petit.
- Que peut-on dire du fonctionnement de la machine à cette vitesse ?

#### 5. Moteur synchrone (12 pts)

Soit un moteur synchrone à aimants permanents ayant les caractéristiques suivantes :

Nombre de phases (connectées en étoile) :  $m = 3$

Couple nominal :  $M_n = 0.1 \text{ [Nm]}$

Tension nominale de phase (crête) :  $\hat{U}_n = 24 \text{ [V]}$

Résistance de phase :  $R_s = 1 \text{ [\Omega]}$

Inductance apparente de phase :  $L_s = 0.01 \text{ [H]}$

Nombre de pôles :  $2p = 4$

Coefficient de tension induite :  $k_e = 0.05 \text{ [Vs/rad]}$

Le moteur est contrôlé **en courant** de manière à obtenir un couple maximum **pour un courant donné** et pour chaque vitesse de rotation (optimum de rendement).

Pour ce mode de commutation :

- Déterminer l'angle  $\Psi$  entre le courant et la tension induite de mouvement.
- Calculer la valeur numérique du courant  $\hat{I}_n$  du moteur lorsqu'il délivre son couple nominal  $M_n$ .
- Esquisser le diagramme des phaseurs  $\hat{U}, \hat{I}, \hat{U}_i$  en représentant les composantes de tension liées à  $R_s$  et  $L_s$ . On choisit  $\hat{U}_i$  comme phaseur de référence purement réel.
- A partir de ce diagramme, exprimer analytiquement la tension du moteur (phaseur complexe  $\hat{U}$ ) en fonction de  $R_s$ ,  $L_s$ ,  $p$ ,  $K_e$ ,  $\hat{I}$  et  $\Omega$ .
- Déterminer la vitesse maximale en régime moteur à laquelle le moteur peut délivrer son couple nominal  $M_n$  lorsqu'il est alimenté avec sa tension nominale  $\hat{U}_n$ .