e-LEE
e-Learning for Electrical Engineering

Mesures de paramètres

Thématique : *Machines électriques*

↪ ***Chapitre :*** *Machines synchrones*

↪ ***Section :***

Type ressource : ☐ *Exposé* ☒ *Laboratoire virtuel / Exercice* ☐ *Qcm*

Le but du laboratoire est d'étudier le fonctionnement d'une machine synchrone à pôles lisses en régime non saturé.
Les machines synchrones sont principalement utilisées pour produire de l'énergie électrique sous forme de systèmes de tensions et de courants triphasés équilibrés sinusoïdaux
Ce laboratoire est consacré aux paramètres de la machine testée

- *pré requis : 2-deuxième cycle*
- *niveau : 2 - deuxième cycle*
- *durée estimée :*
- *auteur(s) : Francis Labrique (UCL)*
- *réalisation : Sophie Labrique*

Avec le soutien financier de la Commission Européenne. Le présent document n'engage que son(ses) auteur(s). La Commission ne saurait être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document.

Paramètres de la machine testée

1. Plaque signalétique

- Fréquence nominale : $f_N = 50$ Hz
- Vitesse nominale : $V_N = 1500$ t/min
- Enroulement du stator en étoile
  - tension nominale : $U_N = 380$ V
  - courant nominal : $I_N = 50$ A
  - $\cos\varphi$ nominal : $\cos\varphi_N = 0,8$ inductif
  - puissance nominale : $S_N = 33$ kVA
- Circuit d'excitation
  - tension nominale : $u_{fN} = 80$ V
  - courant nominal : $i_{fN} = 2,5$ A

Question 1

Déterminez :
- *la tension nominale de phase U_{phN} et le courant nominal de phase I_{phN}*
- *le nombre de paires de pôles p.*

Aide

- Les valeurs nominales des tensions et des courants statoriques indiquées sur la plaque signalétique sont des grandeurs de ligne.
- Le nombre de paires de pôles lie la vitesse électrique et la vitesse mécanique lorsqu'elles sont exprimées dans les mêmes unités (par exemple en radians/sec).

Réponse

$U_{phN} = 220$ V
$I_{phN} = 50$ A
$p = 2$

Explication

Comme les enroulements du stator sont en étoile
- la tension nominale de phase est $\sqrt{3}$ fois plus petite que la tension nominale de ligne

$$V_{phN} = \frac{V_N}{\sqrt{3}}$$

- le courant nominal de phase est égal au courant nominal de ligne

$$I_{phN} = I_N$$

Le nombre de paire de pôles p s'obtient en divisant la vitesse angulaire électrique nominale $\omega_{s,N}$ par la vitesse angulaire mécanique nominale $\omega_{m,N}$.
On a

$$\omega_{s,N} = 2\pi\ f_N = 100\pi$$

La vitesse angulaire mécanique se déduit de la vitesse mécanique en tours/min en ramenant cette vitesse à des tours par seconde, puis en multipliant le résultat par 2 π :

$$\omega_{m,N} = \frac{1500}{60} 2\pi = 50\pi$$

D'où $p = 2$

2. Essai à vide

La machine étant entraînée à vitesse nominale, on mesure la tension de ligne à vide V_ℓ en fonction du courant d'excitation (figure 1).
On a :

i_f	V_ℓ
0	0
1	250
1,53	380
2	485
2,5	600
3	700

Question 2

Déterminer le coefficient reliant E_0 à i_f, si on approxime la caractéristique à vide par la droite issue de l'origine passant par le point pour lequel V_ℓ atteint la valeur nominale de la tension de la machine.

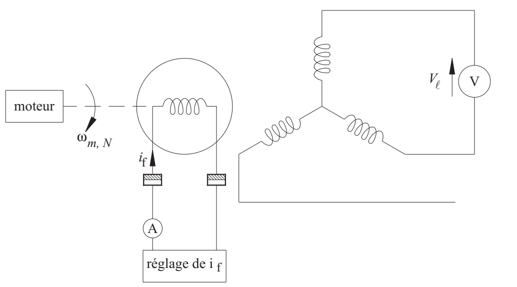

FIG. 1 –

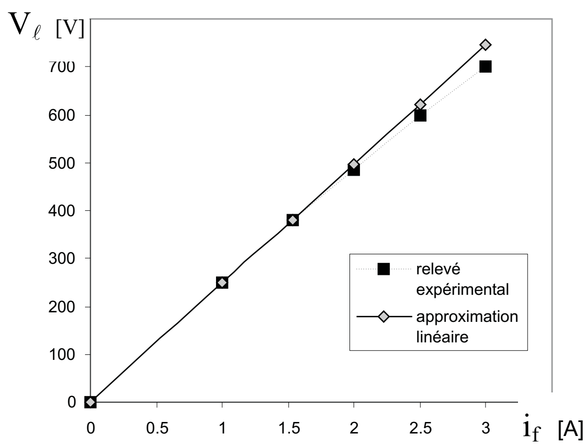

FIG. 2 –

Aide

V_ℓ est une tension de ligne.
E_0 est la force électromotrice induite dans une phase.

Réponse

$$V_\ell = 246 i_f$$

$$E_0 = 142 i_f$$

Explication

La tension nominale de la machine est de 380V. Pour V_ℓ =380V le courant i_f vaut 1.53 A ; d'où :

$$V_\ell = 246 i_f$$

A vide $I_s = 0$, d'où $E_0 = V_s$ (figure 3). La tension mesurée est la tension de ligne égale à $\sqrt{3}$ fois la tension de phase V_s, d'où :

$$E_0 = \frac{246}{\sqrt{3}} i_f = 142 i_f$$

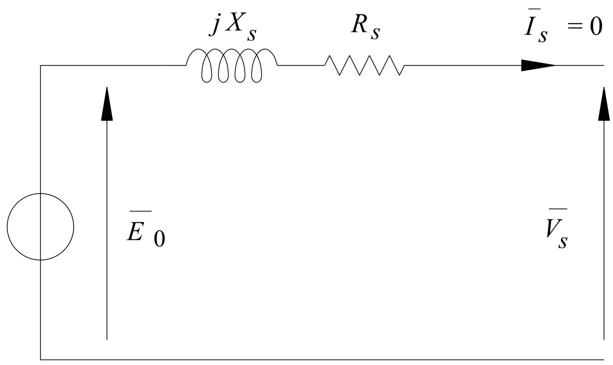

FIG. 3 –

3. Essai en court-circuit

La machine étant entraînée à vitesse nominale et l'induit mis en court-circuit, on relève le courant de ligne débité I_s en fonction du courant d'excitation (figure 5).

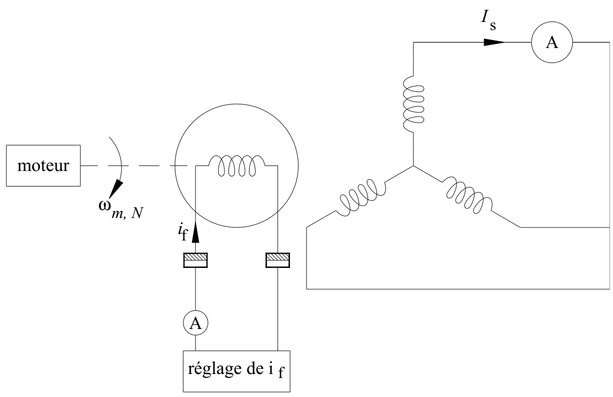

FIG. 4 –

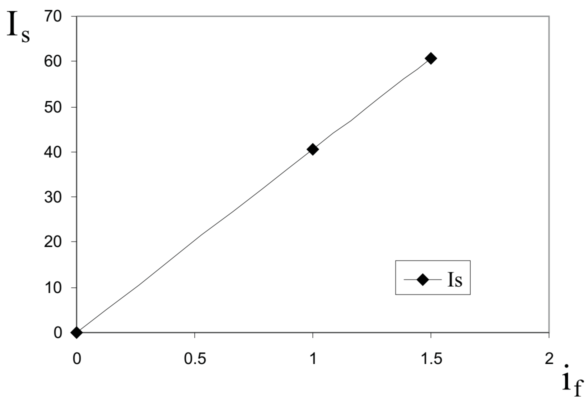

FIG. 5 –

i_f	I_s
0	0
1	40,5
1,5	60,75

On mesure également la puissance fournie par le moteur d'entraînement. En passant du point correspondant à $i_f = 0$ au point correspondant à $i_f = 1,235$ A, pour lequel le courant d'induit I_s atteint sa valeur nominale (50 A), la puissance fournie augmentée de $\Delta P_{meca} = 300$ W.

Question 3

Calculez la réactance synchrone $jX_s = j\omega_{s,N} L_{cs}$ et la résistance R_s des enroulements de l'induit.

Aide

Utilisez le schéma équivalent d'une phase en y posant $\bar{V}_s = 0$ (figure 4.16 du chapitre 4).

Réponse

$$jX_s = 3,51j\Omega$$

$$R_s = 0,04\Omega$$

Justification

On se base sur le schéma équivalent d'une phase (figure 6).
Comme l'induit est mis en court-circuit, on a $\bar{V}_s = 0$ et donc :

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{E}_0}{R_s + jX_s}$$

soit en module

$$I_s = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$$

Pour une valeur donnée de i_f, par exemple $i_f = 1$A, on a :

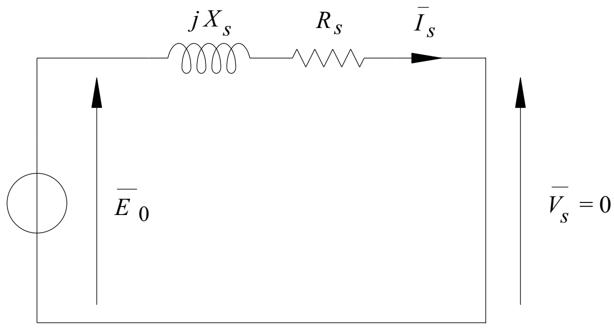

FIG. 6 –

– à partir de l'essai à vide :

$$E_0 = 142 i_f = 142V$$

– à partir de l'essai en court-circuit :

$$I_s = 40,5A$$

D'où :

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = \frac{142}{40,5} = 3,5062\Omega \simeq 3,51\Omega$$

L'augmentation de la puissance mécanique fournie par le moteur d'entraînement lorsque i_f passe de zéro à 1,235 A correspond aux pertes Joule dues aux courants circulant dans les enroulements de l'induit dans le second cas. En effet :

– les pertes mécaniques restent constantes puisqu'on tourne à vitesse constante ;
– on peut négliger les pertes magnétiques puisque la machine est en court-circuit et travaille à flux total virtuellement nul ;
– la puissance consommée par le circuit inducteur provient de la source qui l'alimente.

L'augmentation de puissance consommée ne peut donc correspondre qu'aux pertes Joule dues aux courants d'induit. On peut écrire :

$$\Delta P_{meca} = 3\ R_s I_s^2$$

D'où

$$R_s = \frac{\Delta P_{meca}}{3 I_s^2} = 0,04\Omega$$

On a :

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 3,5059\Omega \simeq 3,51\Omega$$

On peut vérifier que la valeur de $X_s = \omega_{s,N} L_{cs}$ est quasiment égale à celle qu'on obtiendrait en négligeant R_s dans le schéma de la figure 2 et en écrivant (figure 7) :

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{E}_0}{j\omega_{s,N} L_{cs}} = \frac{\bar{E}_0}{jX_s}$$

pour $i_f = 1A$ par exemple, on a E_0 =142V, I_s =40,5A ; d'où :

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = \frac{142}{40,5} = 3,5062\Omega \simeq 3,51\Omega$$

Remarque.

On peut également calculer R_s et X_s en calculant le $\cos\varphi$. Pour i_f =1,235 A, on a

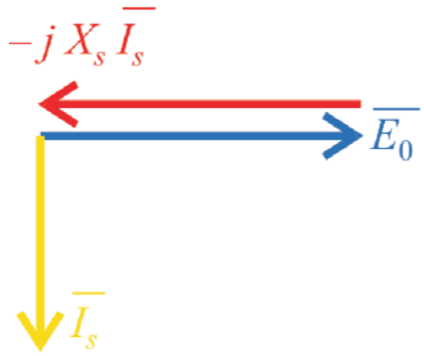

FIG. 7 –

$\Delta P_{meca} = 300W$
$I_s = 50A$
$E_0 = 175,3$
D'où :

$$\cos\varphi = \frac{\Delta P_{méca}}{3E_0 I_s} = 0,011$$

Le courant $\bar{I}_s$ est diphasé de -89,34° en arrière par rapport à $\bar{E}_0$. L'argument ψ de l'impédance Z_s est donc de 89,34°.
D'où

$$R_s = Z_s \cos\psi = 0,040$$

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = Z_s \sin\psi = 3,5059 \simeq 3,51$$