

TP N°3: Machine Asynchrone

Schéma équivalent et caractéristique mécanique

1. Introduction

1.1. Description

Une machine à induction comprend :

- Une carcasse statorique feuilletée, ferromagnétique, portant dans les encoches des enroulements. Ce bobinage est appelé *primaire* de la machine ;
- Un rotor feuilleté, ferromagnétique, portant un bobinage généralement polyphasé de même nombre de paires de pôles que le primaire. Ce bobinage dit *secondaire*, est le plus souvent connecté en étoile ; les sommets de l'étoile sont reliés à des bagues portées sur l'arbre de la machine et sur lesquelles frottent des balais isolés. Des bornes, reliées aux balais, permettent de fermer le secondaire sur un rhéostat triphasé ou de le court-circuiter.

On peut remplacer ce type de rotor, dit *rotor bobiné* par un rotor à cage d'écureuil (Fig.1) : cette cage est composée de barres conductrices (en cuivre ou en aluminium) traversant l'empilement des tôles du rotor, parallèlement à l'axe, et court-circuitées, aux deux extrémités de la machine, par des anneaux conducteurs de faible résistance.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 : Quelques prototypes de la machine asynchrone disponibles au laboratoire

(a) : Machine asynchrone à rotor bobiné;

(b) – (c): Machine asynchrone à cage d'écureuil.

1.2. Principe de fonctionnement

Les courants statoriques, de fréquence f ou de pulsation ω , créent un flux tournant à la vitesse synchrone :

$$\Omega = \omega / p.$$

Ce flux balayant le bobinage rotorique y induit des fem . Ce bobinage étant en court-circuit, ces fem y produisent des courants. C'est l'action du flux tournant sur les courants qu'il a lui-même induits crée le couple, d'où l'appellation *moteur à induction*.

Le rotor tourne à une vitesse Ω' d'autant plus inférieure à Ω que la charge entraînée le freine davantage donc que le moteur doit développer un couple plus important. Puisque Ω' diffère de Ω , c'est un *moteur asynchrone*.

Le paramètre caractérisant un fonctionnement est la diminution relative de vitesse ou *glissement* g :

$$g = \frac{\Omega - \Omega'}{\Omega}$$

La fréquence f_r des grandeurs rotoriques varie avec le glissement, elle est liée à la fréquence f des grandeurs statoriques par :

$$f_r = g f$$

1.3. Démarrage

Souvent le courant de démarrage est trop fort en égard à la puissance du réseau à l'endroit où est branché le moteur. Il est donc nécessaire de réduire ce courant.

- Si le moteur est à bagues, on met un rhéostat de démarrage secondaire ;
- Si le moteur est à cage, le seul moyen de réduire le courant de démarrage est de réduire la tension d'alimentation.

Pour que, malgré la réduction du couple liée à la diminution de la tension, il reste un couple de démarrage suffisant, on utilise des moteurs à double cage ou à encoches profondes.

1.4. Schéma électrique équivalent

Les équations des tensions en notation complexe représentant le comportement électromagnétique du stator ainsi que du rotor sont les suivantes :

- Pour le stator : $\overline{V_1} = r_1 \overline{I_1} + j\omega l_1 \overline{I_1} + j\omega \overline{\Phi}$;
- Pour le rotor : $0 = r_2 \overline{I_2} / g + j\omega l_2 \overline{I_2} + j\omega \overline{\Phi}$

Avec :

$\overline{V_1}$: Valeur efficace des tensions statoriques ;

$\overline{I_1}$: Valeur efficace des courants statoriques ;

\bar{I}_2 : Valeur efficace des courants rotoriques ;

r_1 : Résistance d'une phase du stator ;

r_2 : Résistance d'une phase du rotor ;

l_1 : Inductance cyclique de fuite d'une phase du stator ;

l_2 : Inductance cyclique de fuite d'une phase du rotor.

Puisque $\frac{\bar{\phi}_2}{\bar{\phi}_1} = \frac{(k_2 n_2 \phi \sqrt{2})}{(k_1 n_1 \phi \sqrt{2})} = \frac{(k_2 n_2)}{(k_1 n_1)}$, les équations ci-dessus sont celles d'un transformateur (Fig.2).

Avec :

$\bar{\phi}$: Le flux tournant dans l'entrefer, commun au stator et au rotor, constant pour un fonctionnement donné ;

n_1 : Le nombre de spires par phase du bobinage statorique ;

n_2 : Le nombre de spires par phase du bobinage rotorique ;

k_1 : Le coefficient de bobinage de l'enroulement du stator ;

k_2 : Le coefficient de bobinage de l'enroulement du rotor ;

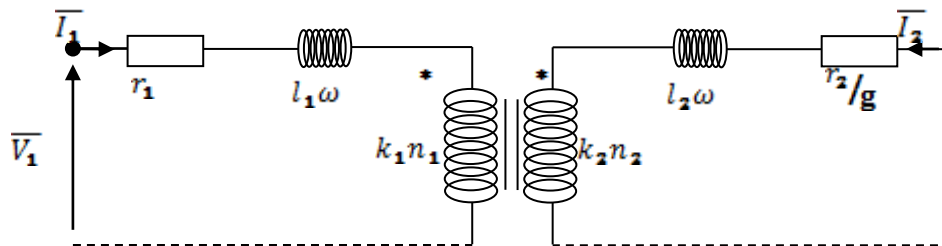


Fig.2 : Schéma électrique représentant la machine

Ce transformateur représente deux particularités :

1. Le secondaire est en court-circuit ;
2. La résistance du secondaire varie avec le glissement.

• **Schéma exact** : Si on remplace le transformateur parfait, sans résistance et sans fuites de flux, de la figure1 par un transformateur idéal en reportant dans l'impédance magnétisante le courant magnétisant et les pertes dans le circuit magnétique, on obtient le schéma suivant (figure3):

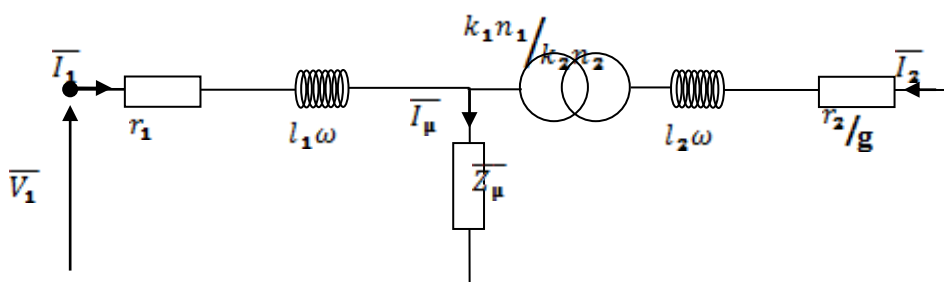


Fig.3

On peut ramener au primaire l'impédance des enroulements secondaires. Au lieu de faire le court-circuit à la sortie du transformateur idéal, on peut le faire à l'entrée, d'où le schéma de la figure 4 :

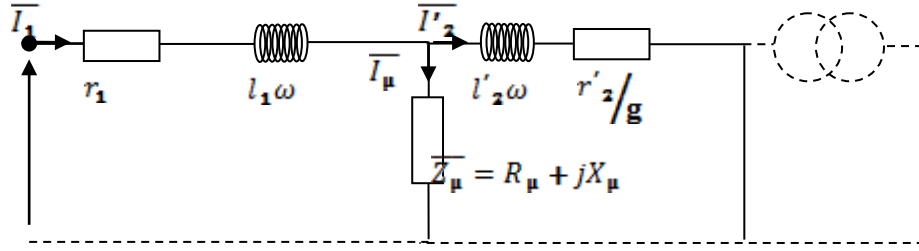


Fig.4

Dans ce schéma :

$$\bar{I}'_2 = -\bar{I}_2((k_2 n_2)/(k_1 n_1)) ; r'_2 = r_2 \left(\frac{k_2 n_2}{k_1 n_1} \right)^2 ; l'_2 \omega = l_2 \omega \left(\frac{k_2 n_2}{k_1 n_1} \right)^2 .$$

• **Schéma simplifié :** On utilise souvent un schéma simplifié obtenu en reportant à l'entrée l'impédance magnétisante (Fig. 5).

On regroupe $l_1 \omega$ et $l'_2 \omega$ en $N_1 \omega$ où $N_1 \omega$ est la réactance des fuites totales ramenée au primaire.

Dans ce schéma, la partie réelle de l'impédance magnétisante rend compte des pertes dans le fer ; r_1 rend compte des pertes Joule au stator ; r'_2/g de toute la puissance active transmise au rotor (pertes Joule rotoriques, pertes mécaniques et puissance utile) ; r'_2 des pertes Joules rotoriques.

1.5. Identification des éléments du schéma électrique équivalent simplifié

Pour déterminer les éléments du schéma de la figure.4 utilisé pour l'étude du moteur alimenté par le réseau à tension et à fréquence constantes, on fait trois essais :

- On mesure, en courant continu la résistance r_1 du stator ;
- On fait l'essai à vide. Le moteur n'entraînant rien, on l'alimente sous sa tension et sa fréquence nominales.

On mesure U_1 , I_{10} et P_{10} .

Puisque la puissance utile est nulle, g et \bar{I}'_2 sont trop faibles, I_{10} diffère peu de $I_{l\mu}$.

$$P_{10} \approx 3r_1 I_{10}^2 + p_m + p_f$$

Si on ne sait pas départager l'ensemble des pertes mécaniques et des pertes fer, on les suppose égales. On en déduit :

$$R_\mu = \frac{p_f}{3I_{10}^2} ; \quad Z_\mu = \frac{U_1}{(\sqrt{3}I_{10})} ;$$

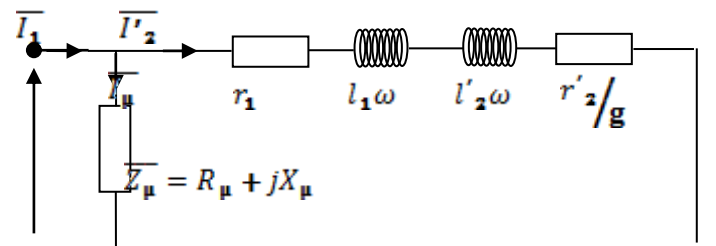


Fig.5 : Schéma simplifiée

$$X_{\mu} = \sqrt{Z_{\mu}^2 - R_{\mu}^2} \approx Z_{\mu}$$

- On fait l'essai à rotor calé. Le rotor immobilisé, on alimente le rotor à sa fréquence nominale, mais sous tension réduite.

$I_{l\mu}$ est négligeable devant $\overline{I_2'}$, car la tension aux bornes de Z_{μ} est faible. On peut confondre $\overline{I_2'}$ et I_1 .

Donc : $r_1 + r_2' = P_{1c} / (3I_{1c}^2)$, d'où r_2' :

$$\sqrt{(r_1 + r_2') + N_1^2 \omega^2} = U_{1c} / (\sqrt{3}I_{1c}), \text{ d'où } N_1 \omega$$

⚠ DANGER : L'essai à rotor calé doit être effectué sous une tension réduite dans le cas contraire un très grand courant de court-circuit apparaît ayant un effet néfaste sur l'installation et le personnel.

2. But de la manipulation

- Réalisation du démarrage d'un moteur asynchrone à rotor bobiné ;
- Chercher un schéma équivalent simplifié rendant compte de toutes les propriétés d'une phase du moteur ;
- Relever la caractéristique mécanique $C=f(g)$ relative à une machine asynchrone.

3. Matériels nécessaires

La table ci-dessous récapitule les appareils et les composants qu'exige la manipulation :

Matériels	Nombre
Machine Asynchrone à rotor bobiné	1
Unité de contrôle	1
Frein à poudre magnétique	1
Rhéostat de démarrage	1
Manchon d'accouplement	2
Capot de protection d'accouplement	2
Capot de protection du bout d'arbre	1

4. Manipulation 1

- Relever les indications de la plaque signalétique ;
- Exécuter le montage de la figure 6;

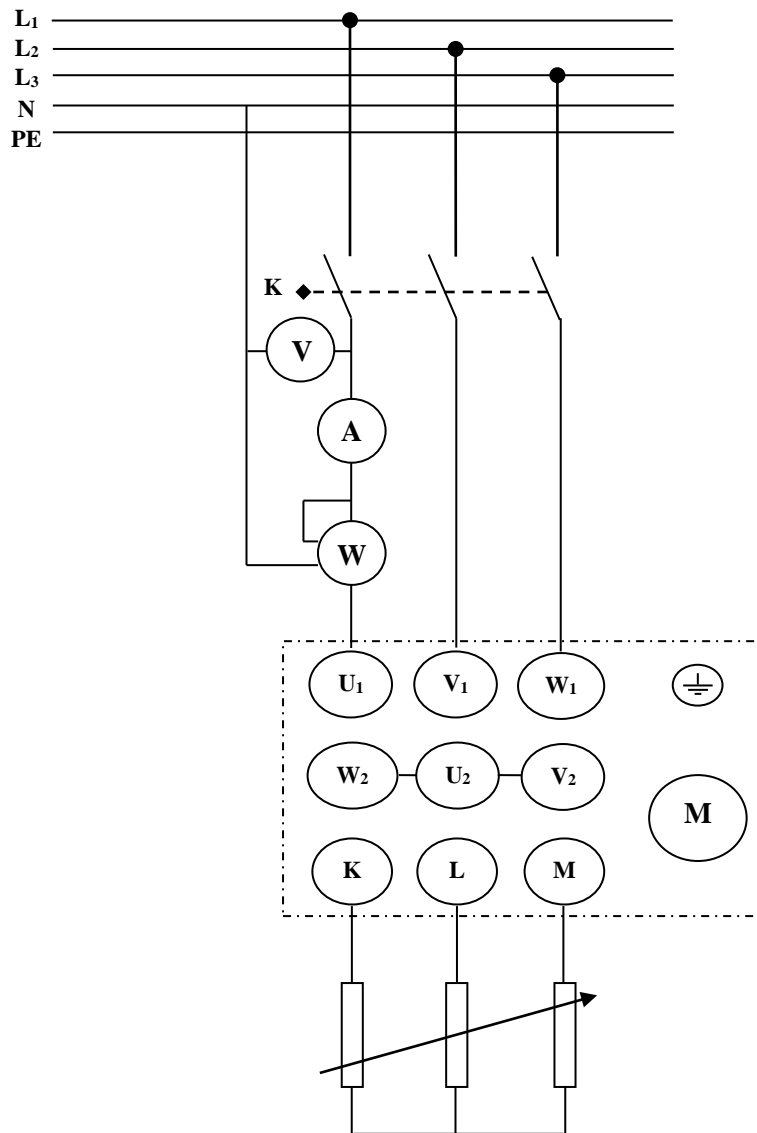


Fig. 6 : Montage utilisé

a. Essai à vide

- Alimenter le stator en augmentant progressivement la tension jusqu'à atteindre la valeur nominale de la tension V_{nom} ;
- Pour une tension proche de la valeur nominale relever les paramètres suivants : V_1 , I_{10} , P_{10} et Q_{10} .

b. Essai en court-circuit

- Augmenter doucement la tension à partir de zéro jusqu'à ce que le courant absorbé atteigne sa valeur nominale. Relever les paramètres suivants: V_{1cc} , I_{1cc} , P_{1cc} et Q_{1cc} .

c. Mesure de la résistance statorique

- Utilisation de la méthode voltampèremétrique (ou avec un ohmmètre).

5. La caractéristique mécanique

C'est la caractéristique donnant le couple C en fonction de la vitesse du rotor Ω (en fonction du glissement g). C'est la caractéristique la plus importante puisque son intersection avec la caractéristique mécanique de la charge entraînée $\Omega(C_r)$ donne le point de fonctionnement (Fig.7).

On voit bien que la caractéristique mécanique $C(\Omega)$ présente deux branches :

- La branche *stable*, comprise entre $g = 0$ et g qui donne C_{max} ;
- La branche *instable*, comprise entre g qui donne C_{max} et $g = 1$.

Le moteur démarre si C_d est supérieur au couple résistant C_r à vitesse nulle. Ensuite la vitesse croît et se stabilise à la valeur correspondant à l'intersection des caractéristiques du moteur et de la charge entraînée. Le moteur travaille normalement au début de la branche stable, entre la marche à vide et le fonctionnement nominal.

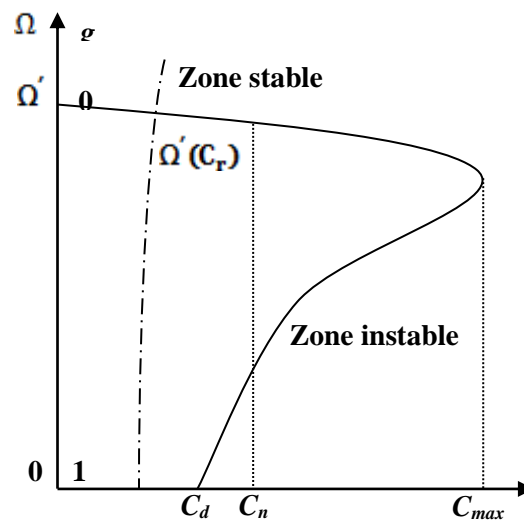


Fig. 7 : Caractéristique mécanique

5.1. Intérêt du moteur bobiné

Avec un moteur à rotor bobiné, on peut, grâce à un rhéostat, faire varier la résistance secondaire par phase. On démarre avec une résistance r_2 forte d'où un fort couple de démarrage. Puis progressivement, durant la montée en vitesse, on élimine le rhéostat pour terminer avec r_2' faible.

6. Manipulation 2

- Exécuter le montage de la figure.6 ;
- Mettez en marche le moteur en l'alimentant par une tension nominale V_{nom} ;
- Le rhéostat étant fixé sur la position 1 ;
- Agir sur l'unité de contrôle afin d'obtenir les valeurs de vitesse données sur la table.1 ;

- Mesurer le couple C et le courant I correspondant à la position du rhéostat.
- Répétez la même procédure pour les positions 3, 5 et 7 du rhéostat ;
- Après chaque série de mesure décharger le moteur afin de permettre son refroidissement.

Position 1	g	Couple [Nm]	I [A]
1400			
1350			
1300			
1250			
1200			
1150			
1100			
1050			
1000			
950			
900			
850			
800			
750			
700			
650			
600			
550			
500			
450			
400			
350			
300			
250			
200			
150			
100			
50			
0			

7. Questions

1. Pourquoi on alimente lors de l'essai à rotor calé le stator avec une tension réduite ?
2. Tracer la caractéristique $f(V^2)$ qui permet la séparation des pertes joule, mécaniques et fer.
3. Calculer les différentes pertes ;
4. Déterminer les différents paramètres du schéma équivalent simplifier ;
5. Dessiner le schéma équivalent simplifié représentant une phase de la machine ;
6. Pour différentes positions du rhéostat de démarrage, tracer et interpréter les caractéristiques suivantes :

$$C=f(N), I=f(N)$$

7. Pour les positions 3 et 5 du rhéostat de démarrage, tracer et interpréter les caractéristiques suivantes :

$$P_{\text{utile}}=f(C), C=f(g)$$

8. Donner les remarques et les conclusions que vous avez obtenues à partir de ce TP.