

Chapitre 1

Contexte général

1.1 Système électromécanique [3]

1.1.1 Définition

Un système électromécanique est caractérisé par k circuits électriques représentés par l'indice j ($j= 1$ à k). On peut associer ceux-ci autant de courants (i_j), de tensions (u_j) et de flux totalisés (Ψ_j). Un tel système est géométriquement déformable, possède n degrés de liberté et il peut s'agir d'un angle ou d'une abscisse.

1.1.2 Lois de Maxwell en régime quasi-statique

Les fréquences mises en jeu sont relativement faibles. Elles ne dépassent pratiquement pas quelques dizaines de kHz.

- Loi d'Ampère

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \vec{J} \quad (1.1)$$

- Loi d'induction de Faraday

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (1.2)$$

- Conservation du flux magnétique

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (1.3)$$

- Loi d'Ohm

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (1.4)$$

- Champ magnétique

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (1.5)$$

Avec :

\vec{H}	:	Champ magnétique ;
\vec{E}	:	Champ électrique ;
\vec{B}	:	Induction magnétique ;
\vec{J}	:	Densité du courant ;
μ_0	:	Perméabilité magnétique du vide ;
μ_r	:	Perméabilité magnétique d'un matériau ;
ρ	:	Résistivité électrique.

1.1.3 Les lois générales régissant sur le système électromécanique

Lois de la tension induite généralisée (LTIG)-Circuits couplés

Soit un circuit couplé contient k bobines de résistance r_j traversé par un flux Φ .

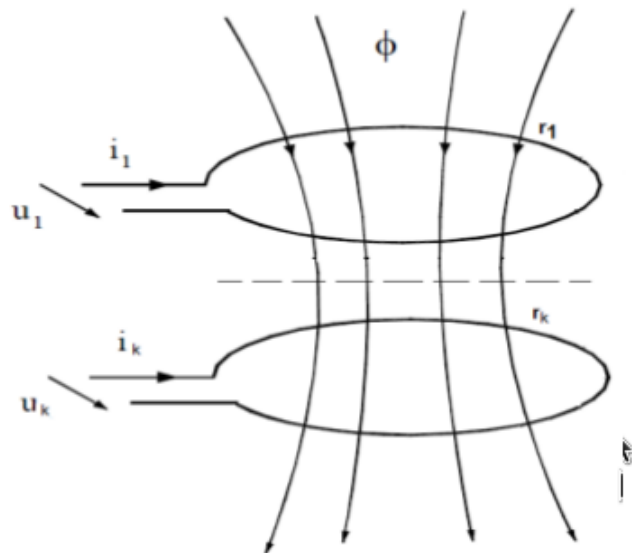


FIGURE 1.1 – Circuit couplé [3]

La loi de la tension induite généralisée aux bornes du bobine j de la figure 1.1 s'exprime par :

$$u_j = r_j i_j + \frac{d}{dt} \Psi_j = r_j i_j + \frac{d}{dt} \sum_{p=1}^k L_{jp} i_p \quad (1.6)$$

Avec :

$$\Psi = N\Phi \quad (1.7)$$

$$L_{jp} = N_j N_p \Lambda_{jp} \quad (1.8)$$

u_j	:	Tension aux bornes du bobine j ;
i_j	:	Intensité du courant circulant dans le bobine j ;
r_j	:	Résistance électrique du bobine j ;
Ψ_j	:	Flux totalisé traversant le bobine j ;
L_{jp}	:	Inductance $\begin{matrix} \text{si } j \neq p & : & \text{Inductance mutuelle} \\ \text{si } j = p & : & \text{Inductance propre} \end{matrix}$;
N	:	Nombre de spire du bobine j ;
Φ	:	Flux traversant dans le bobine j ;
Λ_{jp}	:	Pérmeance magnétique.

Équation du couple

Pour un système électromécanique rotatif contenant k circuits électriques, le couple électromécanique T_{em} a pour expression :

$$T_{em} = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^k i_j i_p \frac{d}{d\Theta} L_{jp} \quad (1.9)$$

Où Θ est la position angulaire de l'axe polaire de la partie tournante par rapport à un repère fixe.

Équations des mouvements

Système électromécanique en translation :

$$\Sigma F_{ext} = m \frac{d^2}{dt^2} \vec{X}_m \quad (1.10)$$

Système électromécanique en rotation :

$$\Sigma T = J \frac{d^2}{dt^2} \Theta \quad (1.11)$$

Avec

T	:	Couple ;
L_{jp}	:	Moment d'inertie de la partie tournante ;
Θ	:	Position angulaire.

1.2 Considération de la machine asynchrone triphasée en tant que système électromécanique

Une machine asynchrone peut être considéré comme un système électromécanique caractérisé par 3 circuits électriques qui sont couplés magnétiquement entre eux. On peut lui associer

le même nombre de courants, de tensions et de flux totalisés. Le flux totalisé est donné par la relation suivant :

$$\begin{cases} \psi_j &= \sum_{p=1}^3 L_{jp} i_p = \sum_{p=1}^3 N_j N_p \Lambda_{jp} i_p \\ \Lambda_{jp} i_p &= \int \int \mu \frac{dA}{l} \end{cases} \quad (1.12)$$

Avec :

- L_{jp} : Inductance mutuelle entre les circuits j et p ;
- N_j, N_p : Nombres de spires ;
- Λ_{jp} : Perméance mutuelle entre les circuits j et p ;
- μ : Perméabilité magnétique absolue ;
- dA : Élément de surface ;
- l : Longueur de circuit ;
- i_p : Intensité du courant dans le circuit p .

Les machines asynchrones sont des machines réversible, alors elles peuvent fonctionner soit en moteur, soit en générateur. Elles obéissent au bilan d'énergie qui exprime la conservation de l'énergie pour un système électromécanique comme montre le figure 1.2

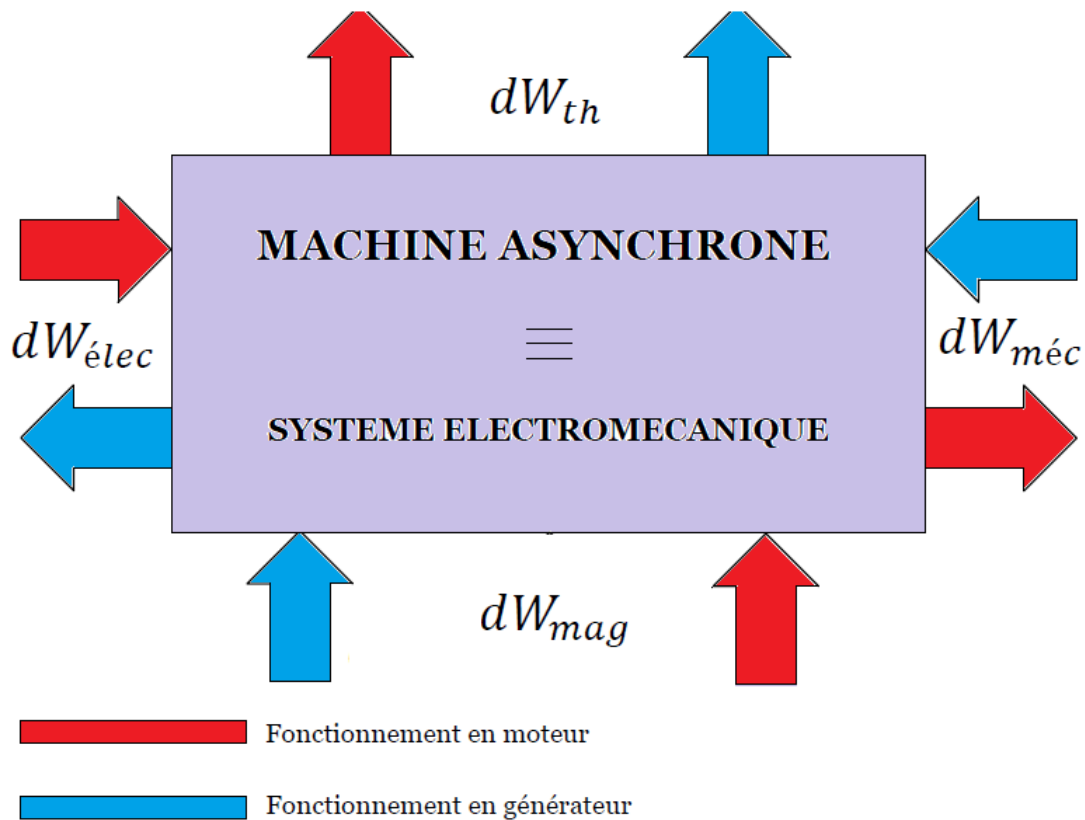


FIGURE 1.2 – Bilan de conversion électromécanique

On peut écrire le bilan énergétique correspondant au bilan de conversion électromécanique par les relations suivantes :

Fonctionnement en moteur :

$$dW_{\acute{e}l} = dW_{th} + dW_{mag} + dW_{m\acute{e}c} \quad (1.13)$$

Fonctionnement en g\acute{e}n\acute{e}rateur :

$$dW_{m\acute{e}c} = dW_{th} + dW_{mag} + dW_{\acute{e}l} \quad (1.14)$$

Avec :

$$dW_{\acute{e}l} = \sum_{j=1}^k u_j i_j dt = \sum_{j=1}^k (R_j i_j^2 dt + i_j d\psi_j) \quad : \text{Variation d'\'energie \acute{e}lectrique ;}$$

$$dW_{m\acute{e}c} = \sum_{m=1}^n F_m dx_m dt \quad : \text{Variation d'\'energie m\acute{e}canique ;}$$

$$dW_{th} = \sum_{j=1}^k R_j i_j^2 dt \quad : \text{Variation d'\'energie thermique ;}$$

$$dW_{mag} = \sum_{j=1}^k i_j d\psi_j \quad : \text{Variation d'\'energie magn\acute{e}tique.}$$

Chapitre 2

Moteur asynchrone triphasé [4]

2.1 Présentation du moteur asynchrone triphasé

2.1.1 Éléments constitutifs

Le moteur asynchrone est constitué essentiellement d'un rotor et d'un stator séparés par l'entrefer.

Le stator :

Le stator est la partie fixe de la machine, pour les machines asynchrones triphasées il est constitué par :

- un empilage de tôles magnétiques
- Trois enroulements générant un champ tournant de fréquence de rotation $\frac{f}{p}$.

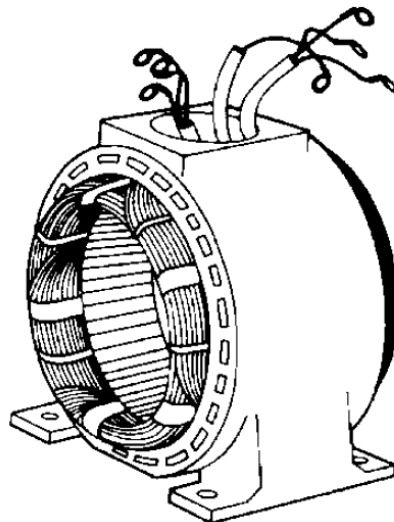


FIGURE 2.1 – Stator [4]

Le rotor :

C'est la partie tournante de la machine. Les enroulements rotoriques peuvent se présenter sous deux formes distinctes :

- Les rotors à cage ou en court circuit formés par des barres en aluminium ou

en cuivre. Ces barres sont court-circuitées par des anneaux de même matériau que les barres(usuellement utilisés pour les petites puissances inférieures à 10 [kW]).

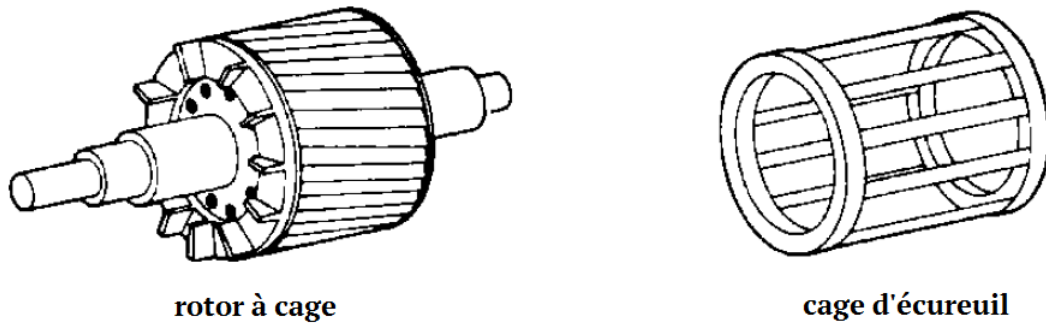


FIGURE 2.2 – Rotor à cage [4]

- **Les rotors bobinés à bague** qui sont constitués par un enroulement triphasé disposé dans les encoches à la périphérie du circuit magnétique, monté en étoile d'un coté et court-circuité a l'autre bout.(Utilisés pour grandes puissances)

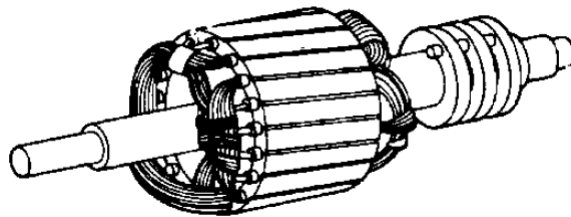


FIGURE 2.3 – Rotor bobiné à bague [4]

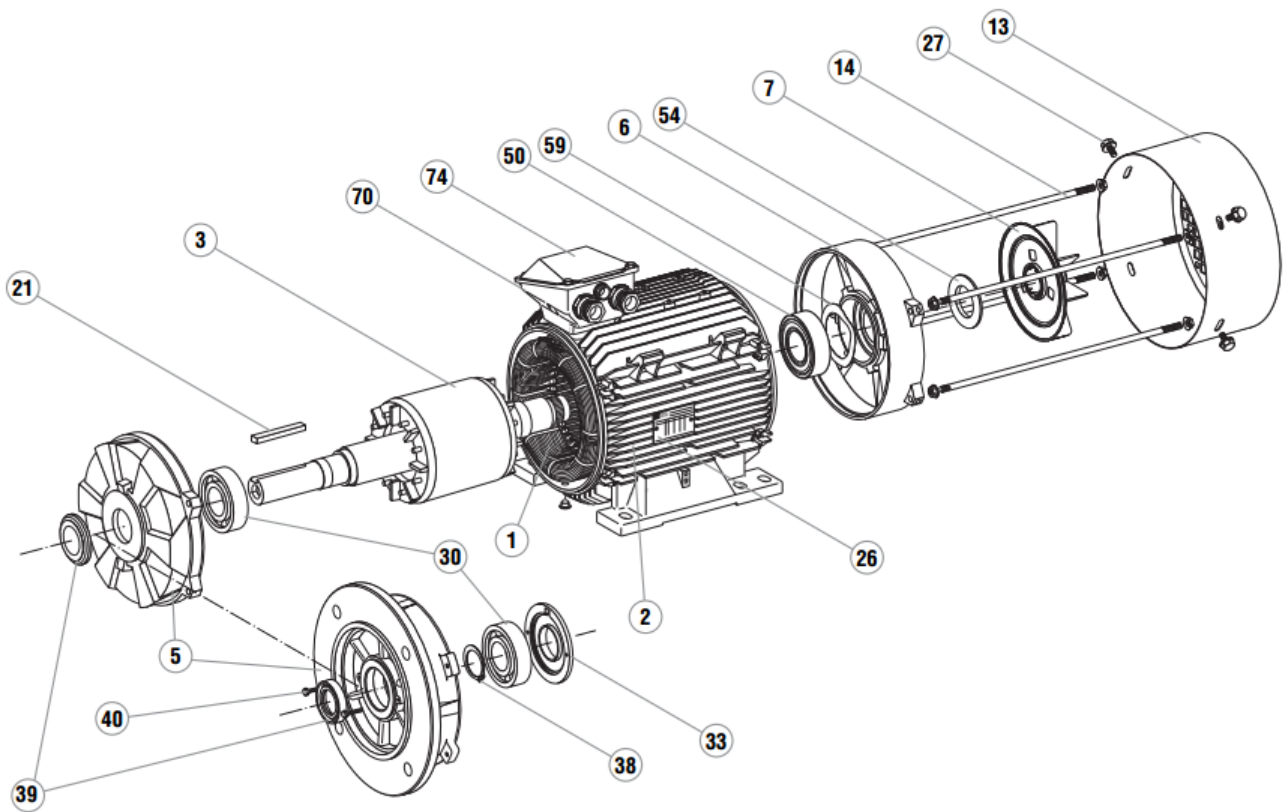
L'entrefer :

L'entrefer est la partie vide entre le stator et le rotor. Cette partie amagnétique a une épaisseur la plus faible possible, de l'ordre de millimètre qui varie en fonction de la puissance du moteur.

Les autres éléments et accessoires sont représentés par la figure 2.4.

2.1.2 Principe de fonctionnement

La génération du couple de la machine asynchrone résulte de l'écart de vitesse entre le champ tournant statorique et le rotor. Cet écart implique l'apparition d'une tension induite dans les enroulements rotoriques qui sont en court-circuit, un courant induit circule dans la cage. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux (loi de Lenz). Le rotor se met donc en mouvement pour tenter de suivre le champ d'induction tournant. La création du couple est due à l'interaction du courant rotorique et du champ d'induction statorique. Lorsque la vitesse du rotor atteint celle du champ tournant, il n'y a plus de tension induite donc plus de courants rotoriques, le couple disparaît. Le moteur est dite asynchrone car il produit du couple qu'en dehors de la synchronisme.



LS 160 M/L, LS 180 MT/LR

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	14	Tiges de montage	39	Joint côté accouplement
2	Carter	21	Clavette	40	Vis de fixation couvercle
3	Rotor	26	Plaque signalétique	50	Roulement arrière
5	Flasque côté accouplement	27	Vis de fixation du capot	54	Joint arrière
6	Flasque arrière	30	Roulement côté accouplement	59	Rondelle de précharge
7	Ventilateur	33	Chapeau intérieur côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes

FIGURE 2.4 – Moteur synchrone triphasé désassemblé [1]

2.1.3 Éléments caractéristiques

Glissement

Le glissement s est l'écart de vitesse relatif entre le rotor et le champ tournant.

$$s = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (2.1)$$

Ω : Vitesse angulaire du rotor ;

Ω_s : Vitesse angulaire du champ tournant statorique.

Schéma équivalent

Supposons qu'on réduit le moteur asynchrone triphasé à un bobinage statorique et un bobinage rotorique. Admettons que le stator crée un champ d'induction tournant.

Soient N_s le nombre de spire du bobinage statorique, N_r le nombre de spire du bobinage rotorique, Φ_h le flux principal qui traverse le deux enroulement et l'entrefer, $\Phi_{\sigma s}$ et $\Phi_{\sigma r}$ les flux des fuites respectifs.

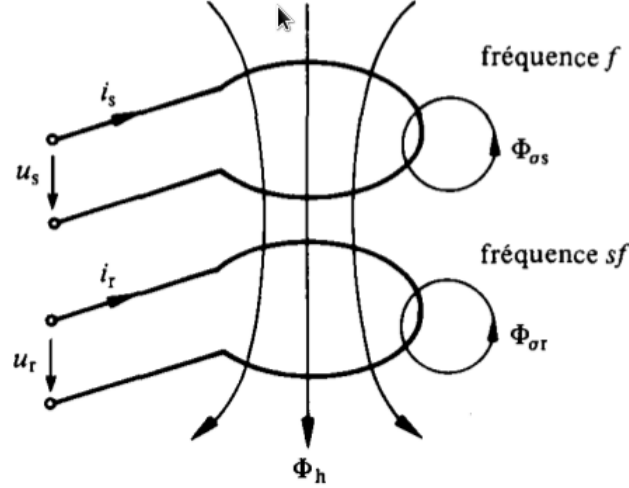


FIGURE 2.5 – Moteur asynchrone triphasé réduit en un bobinage rotorique et statorique [3]

En appliquant la loi de la tension induite généralisé (relation 1.6) sur chaque enroulement on a :

$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + \frac{d}{dt} \Psi_s \\ u_r = R_r i_r + \frac{d}{dt} \Psi_r \end{cases} \quad (2.2)$$

Comme toutes les grandeurs sont sinusoïdale de pulsation ω . on peut écrire sous forme complexe :

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega \underline{\Psi}_s \\ \underline{U}_r = R_r \underline{I}_r + js\omega \underline{\Psi}_r \end{cases} \quad (2.3)$$

Or

$$\begin{cases} \underline{\Psi}_s = L_s \underline{I}_s + L_{sr} \underline{I}_r \\ \underline{L}_s = L_{\sigma s} + L_{hs} \\ \underline{\Psi}_r = L_s \underline{I}_r + L_{sr} \underline{I}_s \\ \underline{L}_r = L_{\sigma r} + L_{hr} \end{cases} \quad (2.4)$$

Donc

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} \underline{I}_s + j\omega L_{sr} \underline{I}_r \\ \underline{U}_r = R_r \underline{I}_r + js\omega L_{\sigma r} \underline{I}_r + js\omega L_{hr} \underline{I}_r + js\omega L_{sr} \underline{I}_s \end{cases} \quad (2.5)$$

Les diverses inductances

$$\begin{aligned}
 L_{\sigma s} &= N_s^2 \Lambda_{\sigma s} \\
 L_{\sigma r} &= N_r^2 \Lambda_{\sigma r} \\
 L_{hs} &= N_s^2 \Lambda_h \\
 L_{hr} &= N_r^2 \Lambda_h \\
 L_{sr} &= N_s N_r \Lambda_h
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Il est possible de rapporter les grandeurs rotoriques au stator en posant les relations suivantes :

$$\begin{cases}
 \underline{U}'_r = \frac{N_r}{N_s} \underline{U}_r \\
 \underline{I}'_r = \frac{N_r}{N_s} \underline{I}_r \\
 \underline{Z}'_r = \frac{N_r}{N_s} \underline{Z}_r
 \end{cases}
 \tag{2.7}$$

Par conséquent

$$j\omega L_{sr} \underline{I}_r = j\omega N_s N_r \Lambda_h \underline{I}'_r \frac{N_s}{N_r} = j\omega N_s^2 \Lambda_h \underline{I}'_r = j\omega L_{hs} \underline{I}'_r
 \tag{2.8}$$

Posons aussi :

$$\omega L_{\sigma s} = X_{\sigma s} \quad ; \quad \omega L_{\sigma r} = X_{\sigma r} \quad \text{et} \quad \omega L_{hs} = X_h
 \tag{2.9}$$

Alors

$$\begin{cases}
 \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} \underline{I}'_r \\
 \underline{U}_r \frac{N_r}{N_s} = R_r \underline{I}_r \frac{N_r}{N_s} + j\omega L_{\sigma r} \underline{I}_r \frac{N_r}{N_s} + j\omega L_{hr} \underline{I}_r \frac{N_r}{N_s} + j\omega L_{sr} \underline{I}_s \frac{N_r}{N_s}
 \end{cases}
 \tag{2.10}$$

$$\begin{cases}
 \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + jX_{\sigma s} \underline{I}_s + jX_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\
 \underline{U}'_r = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + jX_{\sigma r} \underline{I}_r + jX_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)
 \end{cases}
 \tag{2.11}$$

On peut tirer à partir de ces équations un schéma équivalent correspondant à une phase du stator.

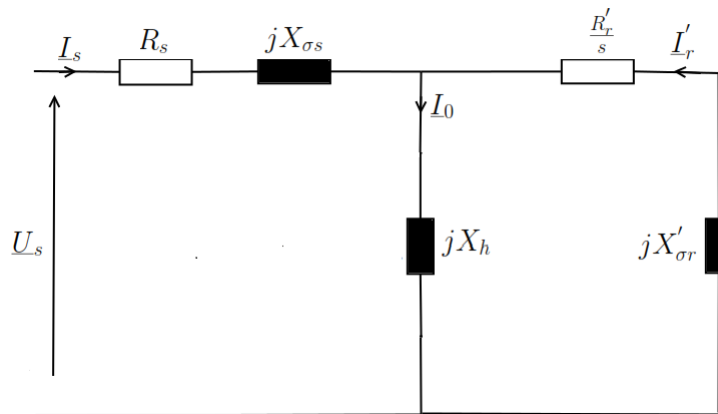


FIGURE 2.6 – Schéma équivalent pour une phase du moteur asynchrone triphasé [3]

Les pertes "fer" peuvent être introduites dans ce schéma équivalent sous la forme d'une résistance "fer" de la forme :

$$R_{fer} = \frac{3U_h^2}{P_{fer}} \quad (2.12)$$

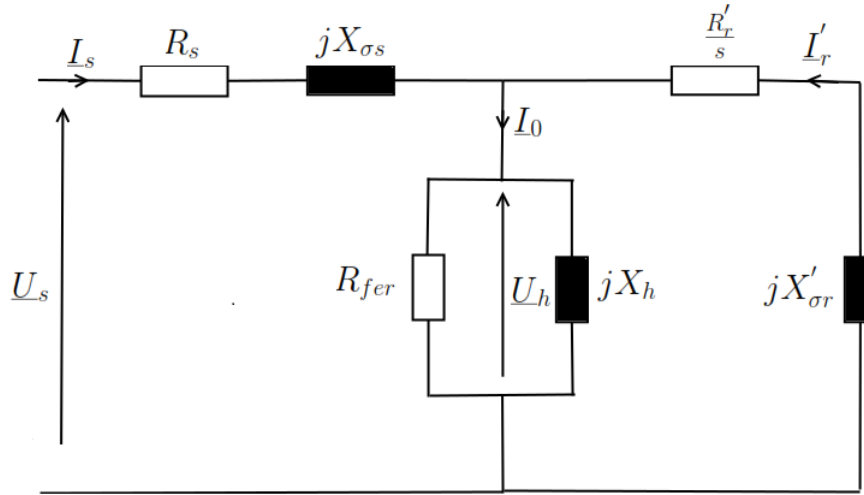


FIGURE 2.7 – Schéma équivalent monophasé d'une machine asynchrone triphasée en introduisant les pertes "fer" [3]

Pour les machines de moyenne et grande puissance, la résistance du fer est souvent supposée infinie.

Bilan énergétique et couple

A partir du schéma équivalent monophasé (figure 2.7) on peut effectuer le bilan énergétique suivant :

$$\begin{cases} p_{js} &= 3R_s I_s^2 & : & \text{Perte joule statorique} \\ p_{jr} &= 3R_r I_r'^2 & : & \text{Perte joule rotorique} \\ P_{mec} &= 3\frac{R'_r}{s} I_r'^2 & : & \text{Puissance mécanique total} \end{cases} \quad (2.13)$$

On tient compte des pertes joules (statorique et rotorique), des pertes fer (p_{fers}) et des pertes mécaniques (p_m) dues au ventilation et au frottement, en se limitant au cas où le rotor est en court-circuit. Le bilan de puissance s'établit alors comme suit :

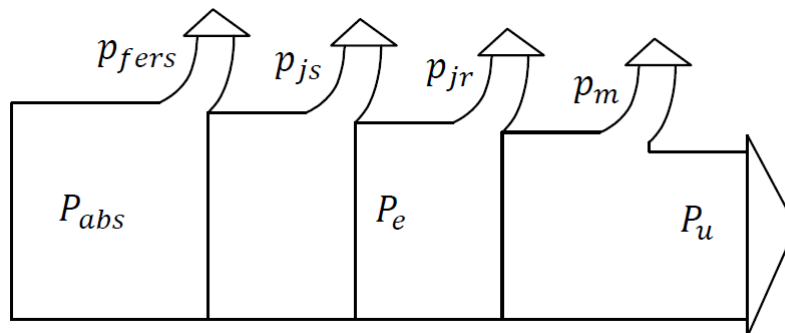


FIGURE 2.8 – Bilan des puissances

P_{abs}	:	Puissance électrique absorbé ;
P_{em}	:	Puissance électromagnétique ;
P_u	:	Puissance mécanique délivre à l'arbre de la machine ;
p_{fers}	:	Pertes fer statorique ;
p_{js}	:	Pertes joules statorique ;
p_{jr}	:	Pertes joules rotorique ;
$p_{méc}$:	Pertes mécaniques.

Déduisons le couple T

$$T = \frac{P_{méc}}{\Omega} = 3 \frac{R'_r}{s\Omega_s} I_r'^2 = \frac{p_{jr}}{s\Omega_s} \quad (2.14)$$

Comme

$$P_{méc} = 3 \frac{R'_r}{s} I_r'^2 = \frac{p_{jr}}{s} \quad (2.15)$$

Compte tenu de ce bilan, il est possible de dissocier la résistance rotorique du schéma équivalent en deux termes (figure 2.9)

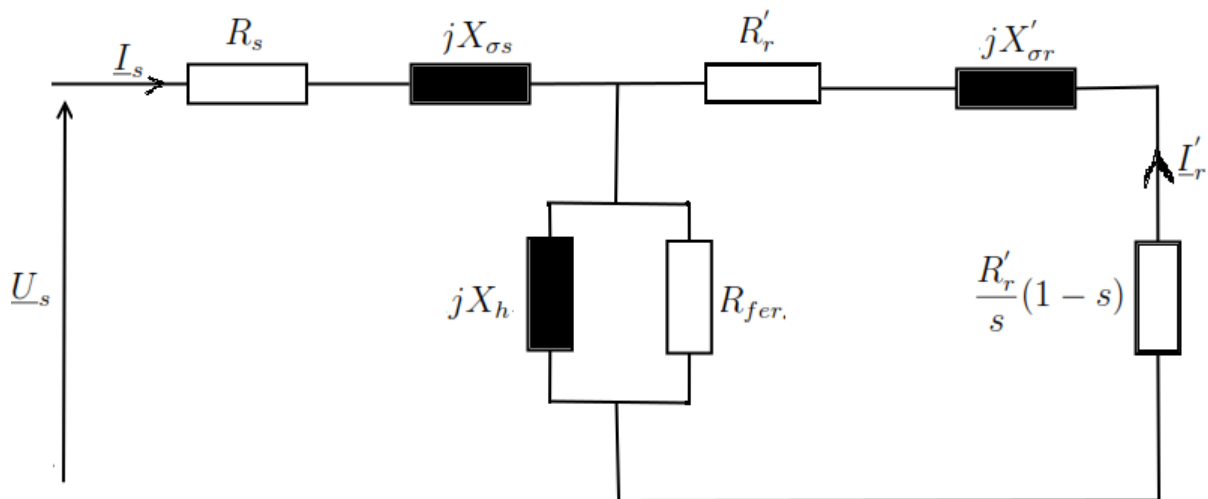


FIGURE 2.9 – Schéma équivalent en deux termes [3]

Avec :

- R'_r est la résistance rotorique ;
- $R'_r \frac{1-s}{s}$ est la résistance équivalente au phénomène de conversion électromécanique.

Schéma équivalente transformé

Le schéma équivalent de la figure 2.6 présente l'inconvénient du fait de mal se prêter à une analyse paramétrique. En effet, la tension aux bornes de la branche magnétisante X_h varie avec le glissement s . Ainsi, l'expression du couple est une fonction complexe à analyser. On transformera donc le schéma équivalent de départ, dit en T, en un schéma équivalent dont le

dipôle correspondant aux termes invariants (stator et branche magnétisante) est modifié par le théorème de Thévenin (figure 2.10).

-Équivalence de Thévenin

Soit $\underline{U}_0 = \underline{U}_{se}$ la tension à vide du dipôle de gauche (figure 2.10) :

$$\underline{U}_{se} = \underline{U}_0 = \underline{U}_s \frac{\underline{Z}_h}{R_s + jX_{\sigma s} + \underline{Z}_h} = \sigma_s \underline{U}_s \quad (2.16)$$

Avec

$$\sigma_s = \frac{\underline{Z}_h}{R_s + jX_{\sigma s} + \underline{Z}_h} \quad |\sigma_s| < 1 \quad (2.17)$$

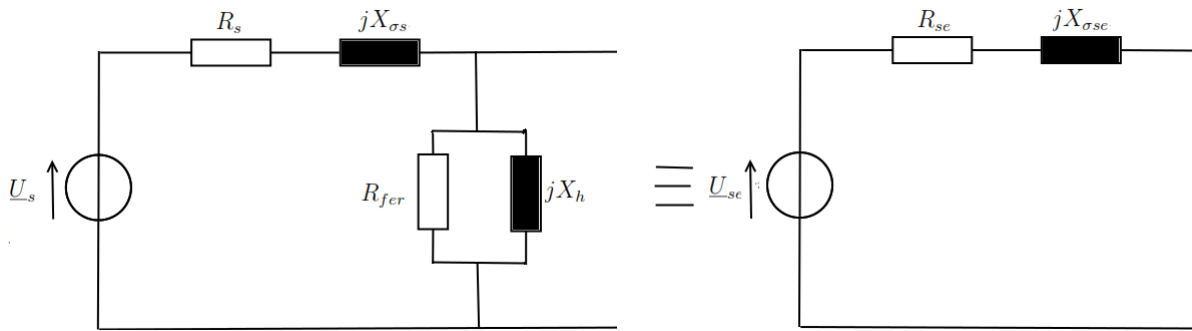


FIGURE 2.10 – Transformation de schéma équivalent [3]

Le courant de court-circuit du dipôle de gauche vaut :

$$\underline{I}_{cc} = \frac{\underline{U}_s}{R_s + jX_{\sigma s}} \quad (2.18)$$

L'impédance interne équivalente vaut ainsi :

$$\underline{Z}_i = \frac{\underline{U}_{cc}}{\underline{I}_{cc}} = \sigma_s (R_s + jX_{\sigma s}) = R'_s + jX'_{\sigma s} = R_{se} + jX_{\sigma se} \quad (2.19)$$

Le nouveau schéma équivalent, plus simple à analyser, devient ainsi (figure 2.11) :

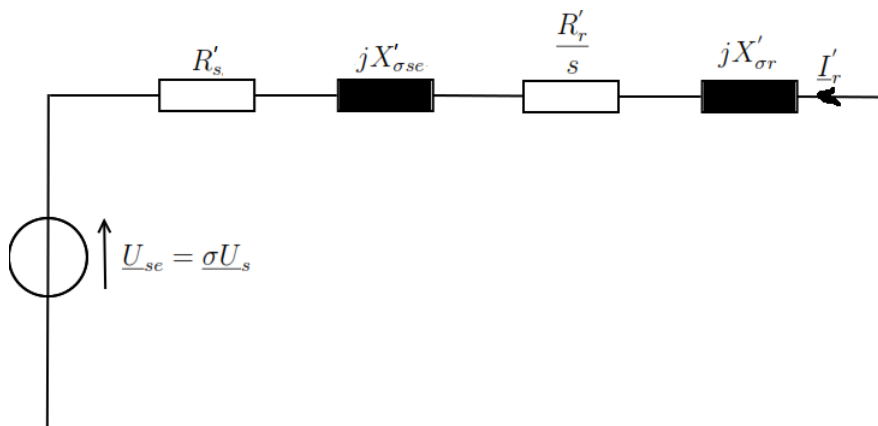


FIGURE 2.11 – Schéma équivalent Transformé[3]

-Nouvelle expression du couple

D'après le schéma équivalent transformé (figure 2.11) le courant rotorique s'exprime ainsi :

$$I_r' = \frac{\sigma_s U_s}{\sqrt{(R_s' + \frac{R_r'}{s})^2 + (jX_{\sigma s}' + jX_{\sigma r}')^2}} \quad (2.20)$$

En posant $jX_{\sigma s}' + jX_{\sigma r}' = X_{cc}$ la nouvelle expression du couple s'exprime d'après les relations 2.14 et 2.20 :

$$T = \frac{3R_r'\sigma_s^2 U_s^2}{[(R_s' + \frac{R_r'}{s})^2 + X_{cc}^2]s\Omega_s} \quad (2.21)$$

-Analyse du couple

***Glissement faible**

Pour s faible ($\frac{R_r'}{s} \gg R_s'$ et $\frac{R_r'^2}{s} \gg X_{cc}^2$), le couple s'exprime :

$$T = \frac{3\sigma_s^2 U_s^2}{R_r' \Omega} s \quad (2.22)$$

***Glissement élevé**

Pour s élevé ($\frac{R_r'}{s}, R_s' \ll X_{cc}^2$), le couple s'exprime :

$$T = \frac{3R_r'\sigma_s^2 U_s^2}{X_{cc}^2 s \Omega} \quad (2.23)$$

Il faut noter que cette relation n'est pas vérifiée pour les moteurs de faible puissance ($P_{mec} < 100[W]$)

***Glissement pour le couple maximum s_k**

$$s_k = \frac{\pm R_r'}{\sqrt{R_r'^2 + X_{cc}^2}} \quad (2.24)$$

Pour un moteur de grande puissance, on peut exprimer le couple instantané sous forme relative en le divisant par le couple maximum T_k . On obtient alors :

$$\frac{T}{T_k} = \frac{2R_r'X_{cc}}{[(R_s' + \frac{R_r'}{s})^2 + X_{cc}^2]s} \quad (2.25)$$

En divisant numérateur et dénominateur par X_{cc}^2 , on peut écrire approximativement :

$$\frac{T}{T_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (2.26)$$

***Allure du couple**

La figure 2.12 représente l'allure complète du couple.

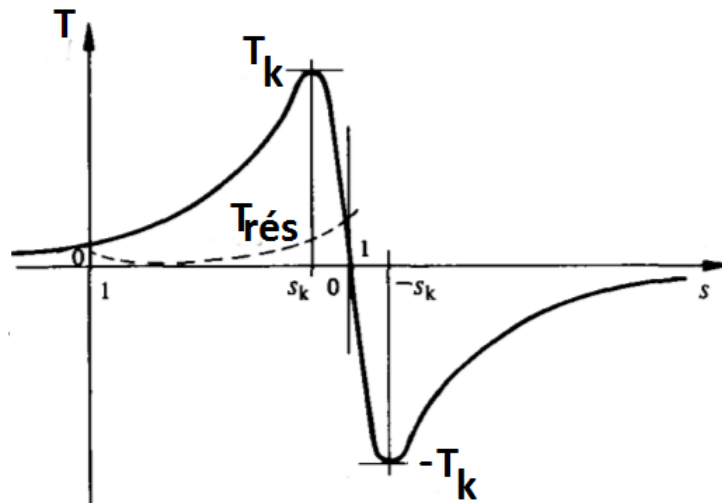


FIGURE 2.12 – Allure du couple[3]

Régime nominale

Le régime nominal correspond aux grandeurs (Couple, Vitesse, Puissance, tension, Courant, Glissement, . . .) pour lesquels le moteur a été construit. Il peut fonctionner sur ce régime, toute en état performant, sans sur échauffement. A titre d'exemple le couple nominal est de l'ordre de 40% (grandes puissance) à 60% (petites machines) du couple maximum. Autrement dit $1,7T_{nom} < T_k < 2,5T_{nom}$.

Domaine de fonctionnement

- Fonctionnement en moteur :
 $0 < s < 1$ La vitesse de rotation du rotor $N[tr.min^{-1}]$ est inférieure à la vitesse de synchronisme $N_s[tr.min^{-1}]$.
- Fonctionnement en générateur
 $0 < s$ A l'aide d'un moteur auxiliaire on augmente la vitesse de rotation du rotor de façon à ce que $n > n_s$
- Fonctionnement en frein électromagnétique
 $s > 1$ Le rotor de la machine tourne dans le sens inverse à celui du champ d'induction tournant statorique.

2.2 Moteur asynchrone triphasé en régime permanent

2.2.1 Hypothèses de travail

- Le circuit magnétique est non saturé ;
- Pas de phénomène d'effet de peau
- L'entrefer est d'épaisseur uniforme

- La f.m.m donnée par les enroulements statoriques est en répartition sinusoïdale le long de l'entrefer
- i_1, i_2, i_3 sont équilibrés

2.2.2 Équations de fonctionnement

On considère, un moteur asynchrone triphasé tel que le stator et le rotor portent chacun un enroulement triphasé à deux pôles, conforme à la conception des enroulements à champ tournant. Les trois enroulements statoriques sont alimentés par des tensions triphasées équilibrées et directes u_1, u_2, u_3 ; les trois enroulements du rotor sont montés en étoile, et mis en court-circuit. Les indices 1, 2, 3 font références au stator et les indices a, b, c au rotor.

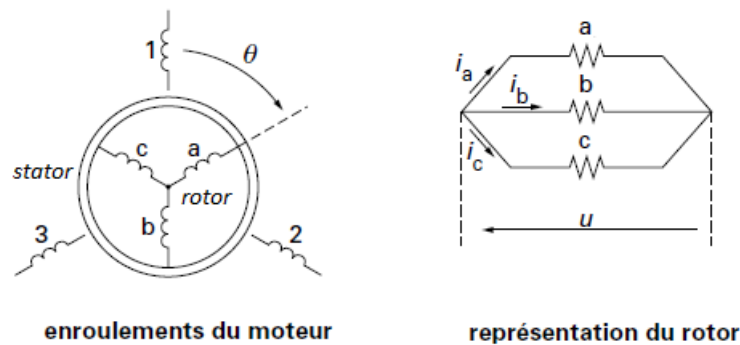


FIGURE 2.13 – Schéma du principe d'une machine asynchrone [4]

Les matrices des tensions, des courants, des flux et des inductances

Adoptons les notations suivantes :

u_1, u_2, u_3	:	Tension aux bornes des enroulements statoriques ;
i_1, i_2, i_3	:	Intensité du courant circulant dans les enroulements statoriques ;
$u_a = u_b = u_c = u$:	Tension aux bornes des enroulements rotoriques ;
i_a, i_b, i_c	:	Intensité du courant circulant dans les enroulements rotoriques ;
Θ	:	Angle entre la phase 1 du stator et le phase a du rotor ;
Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3	:	Flux statoriques ;
Ψ_a, Ψ_b, Ψ_c	:	Flux rotoriques ;
L_{jp}	:	Inductance $\begin{matrix} \text{si } j \neq p & : & \text{Inductance mutuelle} \\ \text{si } j = p & : & \text{Inductance propre} \end{matrix}$;
L	:	Inductance mutuelle maximum entre une phase du stator et du rotor ;
R_s, R_r	:	Résistances statoriques et rotoriques ;
$[X]$:	Les matrices suivantes :

* Matrices des tensions des phases statoriques et rotoriques

$$[u_s] = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [u_r] = \begin{bmatrix} u \\ u \\ u \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

* Matrices des courants des phases statoriques et rotoriques

$$[i_s] = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [i_r] = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

* Matrices des flux des phases statoriques et rotoriques

$$[\psi_s] = \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [\psi_r] = \begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

* Matrices des inductances statoriques et rotoriques

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [L_r] = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

* Matrices des inductances mutuelle statoriques-rotoriques

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{1a} & L_{1b} & L_{1c} \\ L_{2a} & L_{2b} & L_{2c} \\ L_{3a} & L_{3b} & L_{3c} \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & \cos(\Theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\Theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\Theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\Theta) & \cos(\Theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\Theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\Theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\Theta) \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Équations de fonctionnement

Les équations de fonctionnement sont déterminés à partir des expressions des tensions aux bornes de chaque enroulement rotorique et statorique s'exprime comme (relation 1.6) :

$$\begin{cases} [u_s] = R_s [i_s] + \frac{d}{dt} [\Psi_s] \\ [u_r] = R_r [i_r] + \frac{d}{dt} [\Psi_r] \end{cases} \quad (2.32)$$

Or les équations des flux

$$\begin{cases} \psi_1 = \sum_{p=1}^3 L_{1p} i_p + \sum_{p=a}^c L_{1p} i_p \\ \psi_a = \sum_{p=a}^c L_{ap} i_p + \sum_{p=1}^3 L_{ap} i_p \end{cases} \quad (2.33)$$

Et de même pour les autres phases du rotor et stator. Ainsi sous forme matricielle

$$\begin{cases} [\psi_s] &= [L_s][i_s] + [L_{sr}][i_r] \\ [\psi_r] &= [L_r][i_r] + [L_{sr}]^t[i_s] \end{cases} \quad (2.34)$$

D'où les équations des tensions de moteur asynchrone triphasé

$$\begin{cases} [u_s] &= R_s[i_s] + [L_s]\frac{d}{dt}[i_s] + \frac{d}{dt}([L_{sr}][i_r]) \\ [u_r] &= R_r[i_r] + [L_r]\frac{d}{dt}[i_r] + \frac{d}{dt}([L_{sr}]^t[i_s]) \end{cases} \quad (2.35)$$

2.3 Position de problème

Bien que largement exploitée par rapport à d'autres systèmes électromécaniques tournants, la machine asynchrone triphasée peut être confrontée à des situations inopinées qui, selon leur degré d'importance, peuvent endommager, voire détruire complètement le système. La phase de démarrage constitue toujours une situation relativement délicate pour une machine tournante, tel un moteur asynchrone triphasé. D'autant plus que lors de cette phase d'exploitation, il arrive que la charge soit déjà accouplée (cas de monte-charge). La source d'alimentation n'étant pas toujours stable (du point de vue niveau de tension), comment se comporterait le système si le niveau de tension chute, pour une raison ou une autre, le réseau étant toujours équilibré ? L'étude met en évidence le taux de diminution de niveau de tension admissible, pour lequel le système pourra encore fonctionner.

Dans le cas d'une grue de levage, la charge est suspendue en l'air. Le moteur doit être démarré à vide puis lorsque la phase de démarrage est terminée, on couple la charge en enlevant une goupille de verrouillage. Pour notre cas la goupille a été enlevée avant l'établissement du régime permanent.