

I.1 Introduction

La modélisation des machines électriques est primordiale aussi bien pour le concepteur que pour l'automatiticien. Au niveau de la conception,l'utilisateur aura recours aux équations de maxwell afin d'analyser finement le comportement des machines électriques.

un modèle basé sur les équations de circuit est en général suffisant pour faire la synthèse de la commande. La simplicité de la formulation algebrique conduit à des temps de simulations courts.En outre, la précision de la modélisation est acceptable.

Il faut noter qu'il existe trois approches concernant la modélisation des machines électriques.

En choisissant de les présenter par leur degré de complexité croissants, nous avons[1] :

- la modélisation de park est construit à partir des équations électrique de la machine.ce modèle fait un certain nombre d'hypothèses simplificatrice,en raison de la simplicité de la formulation algebrique,ce type d'approche est bien adapté à l'élaboration d'algorithme de commande.

- la modélisation par réseaux de perméances permet d'obtenir une meilleure précision avec un coût de calcul inférieur aux modèles basés sur la méthode par éléments finits.Cela consiste à modéliser le circuit magnétique de la machine par un schéma électrique équivalent.la principale difficulté de la modélisation par réseaux de perméance se situe au niveau de la représentation de l'enter fer de la machine, cette méthode est inadéquate pour la formulation d'une commande mais elle semble très intéressante pour tester la robustesse des algorithmes.

elle peut aussi contribuer à l'estimation des paramètres de la machine.

- Ce type de modélisation est le plus précis, les temps de calculs offerts par cette approche sont rédhibitoires dans un contexte de commande de machines électrique. sa précision justifie son utilisation [1].

Dans ce chapitre, nous présenterons le modèle de park de la machine asynchrone (MAS) avec ses hypothèses simplificatrice,ensuite on établira son modèle avec l'introduction des pertes fer.

I.2 Généralité sur les machines asynchrones

La machine asynchrone triphasée comporte un rotor mobil autour de l'axe de symétrie de la machine. dans les en couches régulièrement réparties sur la face interne du stator sont logés trois enroulements identiques, à "p" paires des pôles; leurs axes sont distants entre eux d'un angle électrique égale à $\frac{2\pi}{3}$

les phases du stator sont alimrntées par un réseau triphasé de tentions sinusoïdales à fréquence et amplitude constante ou par un onduleur de tention ou de courant à fréquence et à amplitude réglables.

Quant au rotor,il peut être réaliser:

- soit par un système d'enroulement triphasés (rotor bobiné), raccordés en étoile trois bagues sur les quelles frottent trois balais fixes accessible par la plaque aux bornes et mis en court-circuit pendant les régimes de fonctionnements normaux.
- soit par une cage conductrice intégrée aux tôles ferromagnétique (rotor à cage). il est admis que la deuxième structure du rotor est électriquement équivalente à la première, quand il s'agit de cage non profondes ou de cages simple (non double) [2].

I.3 Modélisation de la machine asynchrone triphasé

I.3.1 Hypothèse simplificatrice

Pour simuler et commander la machine à partir de ces équations dynamiques, on se base sur certaines hypothèses simplificatrices:

on ne concidère que le premier harmonique à partir de ses èquations dynamiques,on se base sur certaines hypothèses simplificatrice (structure sinusoidale).

- On suppose le circuit magnetique parfaitement feuilletè: seuls les enroulement sont parcourus par des courants
- Les variations des rèsistance R_s et R_r en fonction de la temperature sont très lentes à l'echelle des autres grandeures
- la saturation du circuit magnétique, hystérésis, courant de foucaut et l effet de peau sont négligeable[3].

La machine sera ainsi représentée dans l'espace électrique par la figure (I.1)

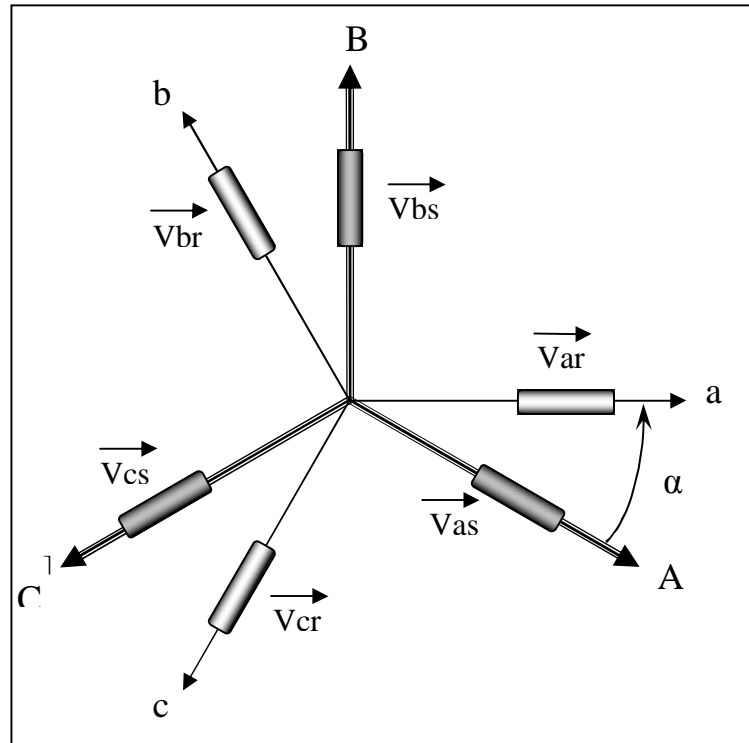


Figure (I.1) : Représentation schématic d'une machine asynchrone triphasée

I.3.2 Equations générales

Le comportement de la machine asynchrone est entièrement défini par trois types d'équations à savoir :

- Les équations électriques.
- Les équations magnétiques.
- Les équations mécaniques.

I.3.2.1 Equations électriques

- Nous pouvons à présent écrire le système matriciel électrique suivant dans le repère a, b, c :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \\ V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \\ \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \quad (I.1)$$

- Ou de manière plus raccourcie :

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + (d/dt)[\Phi_{sabc}] \quad (I.2)$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + (d/dt)[\Phi_{rabc}] \quad (I.3)$$

$$\text{Avec : } R_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad R_r = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

I.3.2.2 Équations magnétiques

Maintenant, nous exprimons les grandeurs magnétiques au stator et au rotor, toujours dans le repère a, b, c :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \\ \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s & M_1 & M_3 & M_2 \\ M_s & l_s & M_s & M_2 & M_1 & M_3 \\ M_s & M_s & l_s & M_3 & M_2 & M_1 \\ M_1 & M_3 & M_2 & l_r & M_r & M_r \\ M_2 & M_1 & M_3 & M_r & l_r & M_r \\ M_3 & M_2 & M_1 & M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (I.4)$$

§ Pour l'écriture condensée, on met :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix} \quad [L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

§ On aura :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \cos(\alpha + 2\pi/3) & \cos(\alpha - 2\pi/3) \\ \cos(\alpha - 2\pi/3) & \cos(\alpha) & \cos(\alpha + 2\pi/3) \\ \cos(\alpha + 2\pi/3) & \cos(\alpha - 2\pi/3) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad (I.6)$$

§ On aura finalement :

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + (d/dt)([L_{ss}][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}]) \quad (I.7)$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + (d/dt)([L_{rr}][i_{rabc}] + [M_{rs}][i_{sabc}]) \quad (I.8)$$

Cette modélisation triphasée présente un inconvénient majeur pour notre application. Les matrices $[M_{sr}]$ et $[M_{rs}]$ dépendent de l'angle de rotation mécanique, et nécessitent donc d'être recalculées à chaque pas d'échantillonnage [4].

I.4 Modélisation par les complexes

I.4.1 Modèle de la machine sans prise en compte des pertes fer

I.4.1.1 équations électriques

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques dans le plan complexe sont:

$$\bar{v}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Phi}_s}{dt} \quad (I.9)$$

$$\bar{v}_r = R_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\Phi}_r}{dt} \quad (I.10)$$

telle que :

$$\bar{V} = K (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (I.11)$$

$$\bar{\Phi} = K (\Phi_a + a\Phi_b + a^2\Phi_c) \quad (I.12)$$

$$\bar{I} = K (I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (I.13)$$

Avec : $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$

$k = \frac{2}{3}$ pour une représentation vectorielle conservant les amplitudes.

$k = \sqrt{\frac{2}{3}}$ pour une représentation vectorielle conservant la puissance.

$\bar{\Phi}_s$: Vecteur flux statorique dans le repère statorique.

$\bar{\Phi}_r$: Vecteur flux rotorique dans le repère rotorique.

On peut aussi exprimer les vecteur flux en fonction des inductances propres cycliques L_s et L_r et de l'inductance mutuelle cyclique M .

$$\bar{\Phi}_s = L_s \bar{i}_s + M \bar{i}_r e^{j\theta} \quad (\text{I.14})$$

$$\bar{\Phi}_r = L_r \bar{i}_r + M \bar{i}_s e^{-j\theta} \quad (\text{I.15})$$

On déduit les équations électriques du moteur asynchrone dans le repère (α, β) .

$$\bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d}{dt} (L_s \bar{i}_s) + \frac{d}{dt} (M \bar{i}_r e^{j\theta}) \quad (\text{I.16})$$

$$0 = R_r \bar{i}_r + \frac{d}{dt} (L_r \bar{i}_r) + \frac{d}{dt} (M \bar{i}_s e^{-j\theta}) \quad (\text{I.17})$$

I.4.1.2 équations de couple

Le couple s'exprime de la façon suivante:

$$C_{em} = p M Z_m [\bar{i}_s (\bar{i}_r e^{j\theta})] \quad (\text{I.18})$$

la vitesse s'arrivé de la solution de l'équation fondamentale de la dynamique.

$$J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega = C_e - C_r \quad (\text{I.19})$$

avec

$$\Omega = p \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{I.20})$$

Les équations (I.16) et (I.18) nous permet de construire le modèle de simulation de la Mas celui-ci donné par la Figure (I.3)