Chapitre I

Modélisation et simulation de la machine asynchrone

I-1 –Introduction :

La machine asynchrone (MAS) constitué l'élément dont la connaissance de ses grandeurs est importante pour la conception et la commande de l'entraînement à vitesses variables. La commande ainsi réalisée devrait se baser sur la modélisation de la MAS.

Il est donc évident que cette étape de modélisation soit un passage obligatoire pour concevoir des systèmes de commande performants adaptés aux variateurs de vitesse.

Dans ce chapitre, il sera présenté le modèle mathématique de la machine asynchrone, en utilisant la transformation de Park, ce qui réduit la complexité du modèle, aussi la plus adaptée à l'élaboration d'algorithmes de commande puisqu'elle consiste à transformer une machine triphasée (trois axes) à une machine biphasée (deux axes) équivalente suivant l'alimentation appliquée.

Le modèle complet de la machine asynchrone en tension sera simulé en utilisant le logiciel «SIMULINK» sous «**MATLAB** » dont les paramètres du modèle sont donnés en annexe.

I-2- Généralités sur les machines asynchrones triphasées :

I-2-1-définition :

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales .Le rotor est toujours en retard par rapport à la vitesse du champ statorique .La machine asynchrone est dite machine à induction car l'énergie transférée du stator au rotor ou inversement se fait par induction électromagnétique.

I-2-2-Description :

La machine asynchrone est constituée de deux parties essentielles, la première fixe, appelée **stator** (C'est la partie fixe de la machine, dont la surface interne est formée par des pôles) et la deuxième tournante appelée **rotor**(C'est la partie mobile dans la machine, formée d'un cylindre feuilleté se trouvant à l'intérieur du stator et tourne sous l'effet du champ tournant créé par le stator sur son axe fixe avec une vitesse de rotation et une vitesse angulaire) (figure1-1)

Elle comporte un enroulement triphasé au stator dont les axes magnétiques sont déphasés de 120° .La structure du rotor peut être réalisée soit par un système triphasé à rotor bobiné ou à cage d'écureuil.

Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone est basé sur l'induction des courants dans le bobinage du rotor par un champ tournant dans l'entrefer dû à la circulation des courants polyphasés dans le stator. Ce champ tournant va créer un couple moteur qui s'exerce sur les conducteurs des courants induits, Il provoque ainsi le démarrage et la rotation du rotor dans le même sens que le champ tournant [1].

En fonctionnement normal, le rotor de la machine asynchrone tourne à la vitesse de Ωr exprimée en radians par seconde, et la force magnétomotrice produite par les courants statoriques tourne à la vitesse de synchronisme à Ωs exprimée en radians par seconde**,** mais la vitesse Ωr est généralement inférieure à Ωs et on a :

$$\Omega s = \frac{\omega s}{p}$$

avec :

ωs : Pulsation statorique , liée à la fréquence du stator.

p : nombre de paire de pôle de la force magnétomotrice résultante

Le rotor est constitué de manière à obtenir trois enroulements ayant un nombre de pôles identique à celui du stator. Les enroulements rotoriques sont en court-circuit, la vitesse de rotation du rotor est inférieure à Ωs , et on note :

g : glissement de la vitesse de rotation par apport à celle du champ tournant statorique.

On obtient la relations de glissement g [2] :

$$g = \frac{\Omega s - \Omega}{\Omega s} \qquad (1.2)$$

Dans une machine asynchrone, la condition de fréquence, ωs= ωg + ωr est constamment satisfait. Quand la pulsation mécanique ωr est égale à la pulsation du champ tournant ωs , le phénomène d'induction électromagnétique disparaît. ω_g: Pulsation de glissement.

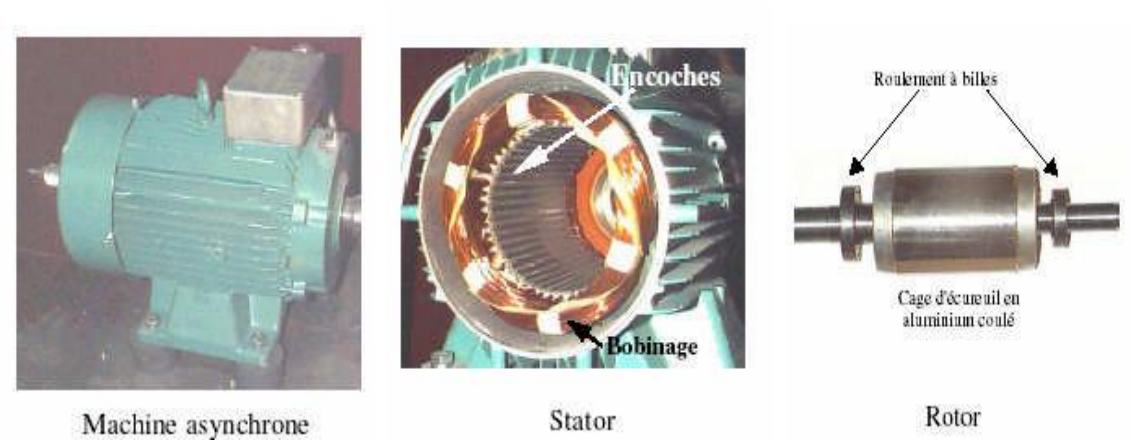
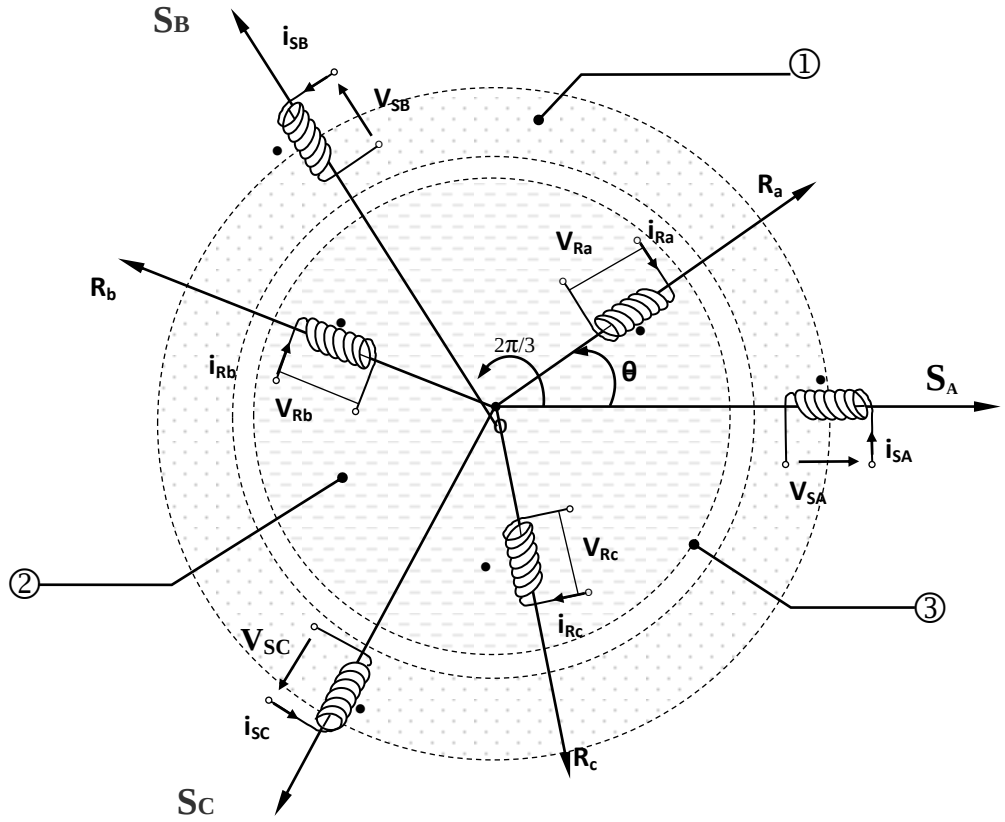


Figure (1-1) : Construction de la machine asynchrone

I-3-Modèle généralisé triphasé de la MAS :

Le modèle de la machine Asynchrone triphasé est illustré par le schéma de la «**Fig.1-2**» avec les armatures statoriques et rotoriques sont munies chacune d'un enroulement triphasé, sont trois enroulements du stator : **SA** , **SB** et **SC** , et pour les trois enroulements rotoriques :**Ra** , **Rb** et **Rc**, et θ: Angle entre l'axe de la phase statorique(SA) et la phase rotorique (RA)



① Partie fixe : Stator. ② Partie mobile : Rotor. ③ Entrefer constant.

Figure(.1-2) Modèle d'une machine asynchrone triphasée.

I-3-1 -Hypothèse simplificatrices :

L'étude de la modélisation de la machine asynchrone sera faite dans le contexte habituel d'hypothèses suivants [3]:

- L'entrefer constant.
- L'effet des encoches négligé.
- La distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer.
- La circuit magnétique non saturé et à perméabilité constant.
- Les pertes ferromagnétique négligeables.
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristique, ne sont pas pris en compte.
- L'additivité des flux.
- La constante des inductance propres.

I-4-Equations générale de la machine asynchrone :

I-4-1-Equation électrique :

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques sont:

$$\begin{cases} V_{sa} = r_s i_{sa} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sa} \\ V_{sb} = r_s i_{sb} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sb} \\ V_{sc} = r_{s\,sc} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sc} \end{cases} \qquad (1-1)$$

$$\begin{cases} V_{ra} = r_r i_{ra} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{ra} \\ V_{rb} = r_r i_{rb} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rb} \\ V_{rc} = r_r i_{rc} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rc} \end{cases} \qquad (1-2)$$

En désignant par :

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Les tensions appliquées aux trois phases statoriques.

V_{ra} , V_{rb} , V_{rc} : les tension appliquée aux trois phases rotorique .

i_{sa}, i_{sb} , i_{sc} : Les courants qui traversent les trois phases statoriques.

I_{ra}, i_{rb} , i_{rc} : Les courants qui traversent les trois phases rotorique .

Φ_{sa},Φ_{sb},Φ_{sc} : Les flux totaux à travers ces enroulements.

r_s: Résistance d'une phase statorique.

les équations (1-1) et(1-2) peuvent être écrites sous la forme matricielle suivante:

pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \qquad (1-3)$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$[V_{sabc}] = [r_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{sabc}] \qquad (1-4)$$

Pour le rotor:

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_r & 0 & 0 \\ 0 & r_r & 0 \\ 0 & 0 & r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \qquad (1-5)$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{rabc}] \qquad (1-6)$$

I-4-2-Equation magnétique :

Pour le sotor:

$$[\Phi_{sabc}] = [L_{ss}][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}] \qquad (1-7)$$

Pour le rotor:

$$[\Phi_{rabc}] = [L_{rr}][i_{rabc}] + [\mathrm{M}_{rs}][i_{sabc}] \qquad (1-8)$$

Telque :

$$[\mathrm{M}_{sr}] = [\mathrm{M}_{rs}]^T \qquad (1-9)$$

On désigne par :

$[Lss]$: Matrice des inductances statoriques.

$[Lrr]$: Matrice des inductances rotoriques.

$[Msr]$: Matrice des inductances mutuelles statoriques.

$[Mrs]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques.

Avec :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_s & \mathrm{M}_s & \mathrm{M}_s \\ \mathrm{M}_s & L_s & \mathrm{M}_s \\ \mathrm{M}_s & \mathrm{M}_s & L_s \end{bmatrix}$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

Avec :

L_s : Inductance propre d'une phase statorique.

L_r : Inductance propre d'une phase rotorique.

M_s : Inductance mutuelle entre phases statoriques.

M_r : Inductance mutuelle entre phases rotorique.

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = m \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos(\theta_r) \end{bmatrix} \qquad (1-12)$$

θr: Angle qui définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phase Statoriques et rotoriques.

m : Valeur maximale de l'inductance mutuelle entre une phase statorique et une phase rotorique lorsque les deux axes se coïncident.

I-4-3-Equations mécaniques :

L'équation de mouvement est donnée par:

$$J\frac{d\Omega_r}{dt} = C_e - C_r - f\Omega_r \qquad (1-13)$$

J: Moment d'inertie des masses tournantes.

C_r: Couple résistant imposé à l'arbre de la machine.

C_e: Couple électromagnétique.

f: Coefficient de frottement visqueux.

Ωr : vitesse mécanique en rad/s

Le couple est donné par l'éxpression suivante:

$$C_e = P[i_{sa} i_{sb} i_{sc}] \frac{d}{dt} \left([M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \right) \qquad (1-14)$$

Les équations précédentes font apparaitre des difficultés pour la résolution analytique du fait que les termes trigonométriques de la matrice des inductances varient en fonction de la position .Cela conduite à l'usage de la transformation de Park, qui permettra de rendre ces termes indépendants de la position.

I-5-Transformation de park appliquée à la MAS triphasé :

La transformation de Park consiste à imaginer de remplacer le repère rotorique tournant par un autre repère fictif équivalent fixe à condition de conserver la Force magnétomotrice et la puissance instantanée[4]

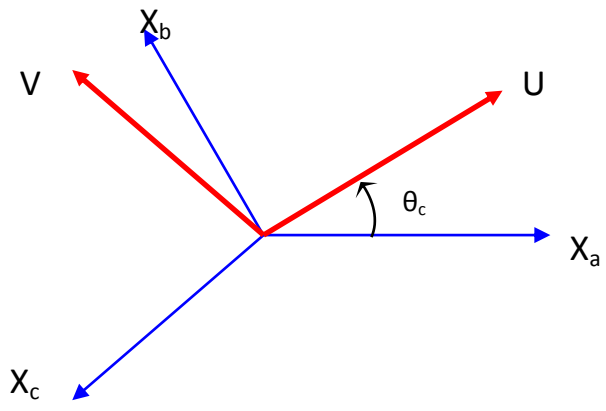


Figure (1-3): Passage du repère triphasée au repère biphasée

Pour la transformation de système triphasé [abc] en un système biphasé [u ,v] avec une composante homopolaire et donnée par l'équation suivante:

$$[X_{uvo}] = [P(\theta_c)][X_{abc}] \qquad (1-15)$$

Le passage inverse est donner par:

$$[X_{abc}] = [P(\theta_c)]^{-1}[X_{uvo}] \qquad (1-16)$$

Telque:

X : peut-être la tension, le courant ou le flux.

$[P(\theta_c)]$: est la matrice de transformation directe de Park.

$[P(\theta_c)]^{-1}$: est la matrice de transformation inverse de Park.

Avec :

$$[P(\theta_c)] = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} \cos(\theta_c) & \cos\left(\theta_c - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_c + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_c) & -\sin\left(\theta_c - \frac{2\Pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_c + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \qquad (1-17)$$

La matrice de transformation $[P(\theta_c)]$ étant orthonormée, le calcul de sa matrice inverse est donc simplifie

$$[P(\theta_c)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} \cos(\theta_c) & -\sin(\theta_c) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta_c - \frac{2\Pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_c - \frac{2\Pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta_c + \frac{2\Pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_c + \frac{2\Pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \qquad (1-18)$$

La composante homopolaire est de valeur nulle, si on considère que le système (abc) est équilibré et symétrique.

θ_c : La position angulaire du système d'axes(u ,v) par rapport au système d'axes réel (abc)

$\omega_c = \frac{d}{dt}\theta_c$: Vitesse de cordonnée.

Dans ces conditions les équations électriques, magnétiques et mécaniques deviennent:

a-Equations électriques :

On applique la transformation de Park sur les deux équations (1-4) et (1-6), et en admettant que le rotor étant en court-circuit, il en résulte:

$$\begin{cases} V_{su} = r_s i_{su} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{su} - \omega_c \Phi_{sv} \\ V_{sv} = r_s i_{sv} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sv} + \omega_c \Phi_{su} \\ V_{ru} = 0 = r_r i_{ru} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{ru} - \omega_c \Phi_{rv} \\ V_{rv} = 0 = r_r i_{rv} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rv} + \omega_c \Phi_{ru} \end{cases} \qquad (1-19)$$

Le système (u, v) tourne à la vitesse (ω_c-ω_r) par rapport au rotor.

b-Equations magnétiques :

L'application de la transformation de Park sur les équations (1-7) et (1-8) donne:

$$\begin{cases} \Phi_{su} = l_s i_{su} + M i_{ru} \\ \Phi_{sv} = l_s i_{sv} + M i_{rv} \\ \Phi_{ru} = l_r i_{ru} + M i_{su} \\ \Phi_{rv} = l_r i_{rv} + M i_{sv} \end{cases} \qquad (1-20)$$

Avec :

$l_s = L_s - M_s$: Inductance cyclique propre statorique.

$l_r = L_r - M_r$: Inductance cyclique propre rotorique.

c- Expression du couple électromagnétique et de la puissance :

L'expression du couple électromagnétique est donnée par:

$$C_e = \frac{\partial W_e}{\partial \theta_{géo}} = P\frac{\partial W_e}{\partial \theta_{géo}} \qquad (1-21)$$

$$\theta_{géo} = \frac{\theta_{éle}}{P} \qquad (1-22)$$

Avec :

W_e : Energie emmagasinée dans le circuit magnétique

$\theta_{géo}$: Ecart angulaire de la partie (rotor par rapport au stator)

P : Nombre de paires de pôle

Selon Park, l'expression de la puissance transmise est la suivante :

$$P(t) = V_{sa} i_{sa} + V_{sb} i_{sb} + V_{sc} i_{sc} \qquad (1-23)$$

$$P(t) = V_{su} i_{su} + V_{sv} i_{isv} + V_{so} i_{so} \qquad (1-24)$$

Le système, étant équilibrée, il vient:

$$P(t) = \left[V_{su} i_{su} + V_{sv} i_{sv}\right] \qquad (1-25)$$

En remplaçant V_{su} et V_{sv} par leurs expressions il vient que:

$$P(t) = \left[r_s {i_{su}}^2 + r_s {i_{sv}}^2\right] + \left[i_{su} \frac{d}{dt}\Phi_{su} + i_{sv} \frac{d}{dt}\Phi_{sv}\right] + \omega_c\left[\Phi_{su} i_{sv} - \Phi_{sv} i_{su}\right] \qquad (1-26)$$

Cette dernière expression est composée de trois parties:

(Représente les chutes ohmiques) : $\left[r_s {i_{su}}^2 + r_s {i_{sv}}^2\right]$

$\left[i_{su} \frac{d}{dt}\Phi_{su} + i_{sv} \frac{d}{dt}\Phi_{sv}\right]$: (Représente la variation de l'énergie magnétique).

$\omega_c\left[\Phi_{su} i_{sv} - \Phi_{sv} i_{su}\right]$: (Représente la puissance transférée du stator au rotor à travers l'entrefer (puissance électromagnétique)).

Sachant que :

$$P_e = C_e \omega_c \qquad (1-27)$$

Alors :

$$C_e = \left[\Phi_{su} i_{sv} - \Phi_{sv} i_{su}\right] \qquad (1-28)$$

Ou bien encore:

$$C_e = \frac{PM}{l_r}\left[\Phi_{ru} i_{sv} - \Phi_{rv} i_{su}\right] \qquad (1-29)$$

I-6-Différents repères :

L'isotropie du moteur asynchrone permet une grande souplesse dans la composition des équations de la machine selon deux axes à l'aide de transformation de Park, cela nécessite l'utilisation d'un repère qui permet de simplifier les expressions analytiques.

Il existe différentes possibilités pour le choix du repère d'axes (u,v) qui se fait en fonction de l'application ,se ramène pratiquement à trois référentiels (système biphasé)orthogonale

- Référentiel fixé par rapport au stator : $\omega_c = \frac{d\theta_s}{dt} = 0$
- Référentiel fixé par rapport au rotor : $\omega_c = \frac{d}{dt}\theta_r = \omega_r$
- Référentiel fixé par rapport au champs tournant : $\omega_c = \frac{d}{dt}\theta_s = \omega_s$

I-6-1 Choix du référentiel :

L'étude analytique du moteur asynchrone à l'aide de la transformation de Park, nécessite l'utilisation d'un référentiel qui permet de simplifier au maximum les expressions analytiques.

Il existe différentes possibilités pour le choix du repère d'axes (u,v) qui se fait en fonction du régime de fonctionnement (régime transitoire ou permanant) d'une part et d'autre part a la technique de commande.

I-6-1-1-Référentiel fixé par rapport au stator (a, ß) :

Il se traduit par les conditions :

$$\omega_c = \frac{d\theta_s}{dt} = 0 \qquad (1-30)$$

Et on remplaçant l'indice «u» par «α» et «v» par « β», on obtient :

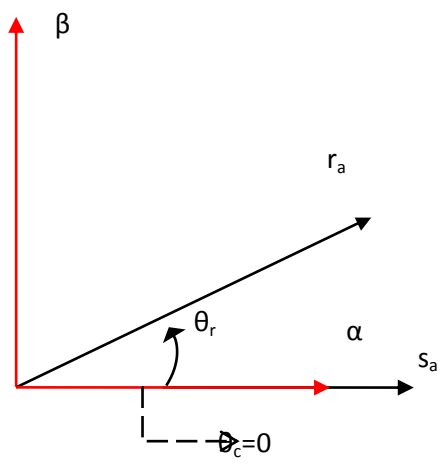


Figure (1-4): Définition des axes réel de la MAS par rapport au référentiel (α β)

Les équations de système (1-19) prennent la forme:

$$\begin{cases} V_{s\alpha} = r_s i_{s\alpha} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{s\alpha} \\ V_{s\beta} = r_s i_{s\beta} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{s\beta} \\ V_{r\alpha} = 0 = r_r i_{r\alpha} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{r\alpha} + \omega_r \Phi_{r\beta} \\ V_{r\beta} = 0 = r_r i_{r\beta} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{r\beta} - \Phi_r \Phi_{r\alpha} \end{cases} \qquad (1-31)$$

C'est le repère le mieux adapté pour travailler avec les grandeurs instantanées, il possède des tensions et des courants réelles et peut être utilisé pour étudier les régimes de démarrage et de freinage des machines à courant alternatif [6].

I-6-1-2 Référentiel lié au rotor :

Il se traduit par les conditions:

$$\omega_c = \frac{d}{dt}\theta_r = \omega_r \qquad (1-32)$$

Et on remplaçant l'indice «u» par «x» et «v» par « y».

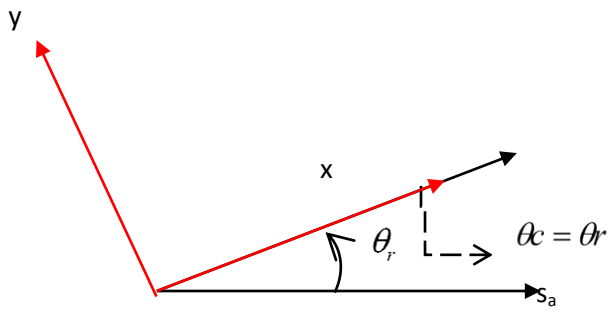


Figure (1-5) : Définition des axes réel de la MAS par rapport au référentiel (x y)

Les équations de système (1-17) prennent la forme:

$$\begin{cases} V_{sx} = r_s i_{sx} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sx} - \omega_r \Phi_{sy} \\ V_{sy} = r_s i_{sy} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sy} + \omega_r \Phi_{sx} \\ V_{rx} = 0 = r_r i_{rx} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rx} \\ V_{ry} = 0 = r_r i_{ry} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{ry} \end{cases} \qquad (1-33)$$

Ce système est utilisé pour étudier les processus transitoires dans les machines synchrones et asynchrones.

I-6-1-3- Référentiel lié au champ tournant (d, q) :

Il se traduit par les conditions:

$$\omega_c = \frac{d}{dt}\theta_s = \omega_s \qquad (1-34)$$

Et on remplaçant l'indice «u» par «d» et «v» par « q»

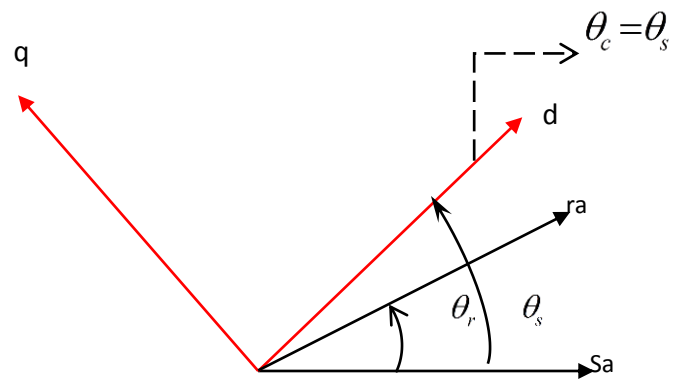


Figure (1-6) : Définition des axes réel de la MAS par rapport au référentiel (d q)

Les équations de système (1-19) prennent la forme:

$$\begin{cases} v_{sd} = r_s i_{sd} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sd} - \omega_s \Phi_{sq} \\ v_{sq} = r_s i_{sq} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{sq} + \omega_s \Phi_{sd} \\ V_{rd} = 0 = r_r i_{rd} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rd} - (\omega_s - \omega_r)\Phi_{rq} \\ V_{rq} = 0 = r_r i_{rq} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{rq} + (\omega_s - \omega_r)\Phi_{rd} \end{cases} \qquad (1-35)$$

Avec :

$$\omega_g = \omega_s - \omega_r \qquad (1-36)$$

Ce référentiel est le seul qui n'introduite pas de simplification dans la formulation des équations. Il fait correspondre des grandeurs continues aux grandeurs sinusoïdales en régime permanent, raison pour laquelle ce référentiel est utilisé en commande [5].

I-7-Simulation de la machine asynchrone :

La simulation à été effectué par le logiciel «Simulink» sous «Matlab».

Dans cette partie on présentera la simulation numérique d'une machine asynchrone triphasé alimentée directement par un réseau standard, on alimente la machine par une source de tension sinusoïdale de valeur efficace 220V et de fréquence 50HZ.La figure (1-7) représente le schéma bloc de simulation d'une machine asynchrone, ce schéma élaborer à partir des équations suivantes:

- L'équation d'état.
- L'équation du couple électromagnétique.
- L'équation du mouvement.

I-7-1 schéma de simulation de la machine asynchrone :

Pour étudier les phénomènes transitoires de la machine asynchrone on a choisi le référentiel lié au Champ tournant

Les tensions d'alimentation s'écrivent comme suite:

$$\begin{cases} V_{sa} = \sqrt{2}V_{eff}\sin(\omega_s t) \\ V_{sb} = \sqrt{2}V_{eff}\sin\left(\omega_s t - \dfrac{2\pi}{3}\right) \\ V_{sc} = \sqrt{2}V_{eff}\sin\left(\omega_s t + \dfrac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (1\text{-}39)$$

Avec :

V_{eff} :valeur efficace de la tension

ω_s :la pulsation d'alimentation

Les paramètres de la machine asynchrone utilisés dans ce travail sont donnés dans l'annexe

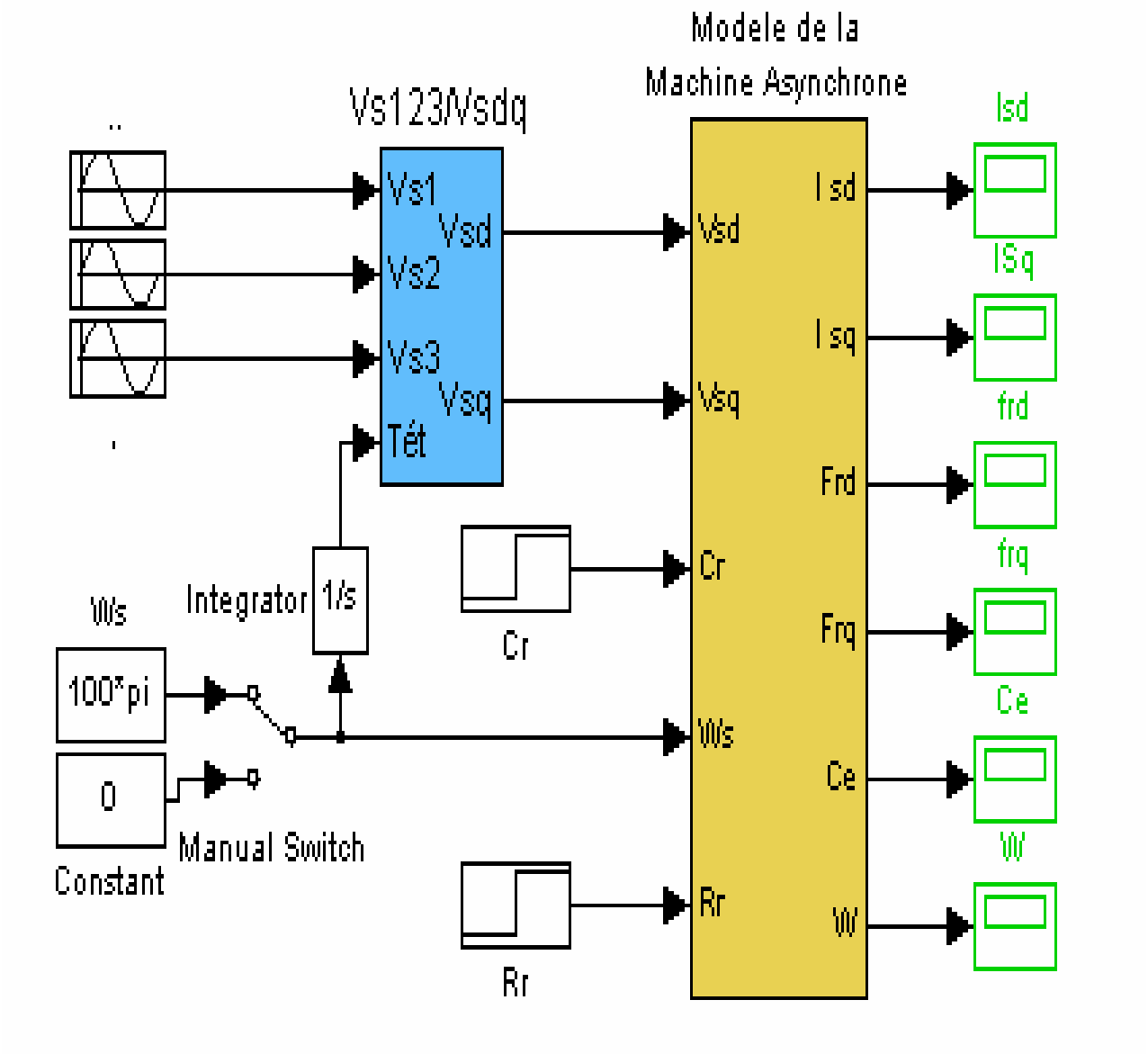


Figure (1-7) : Schéma de simulation d'une machine asynchrone alimentée en tension.

I-7-2 résultat de simulation :

- A vide Cr=0

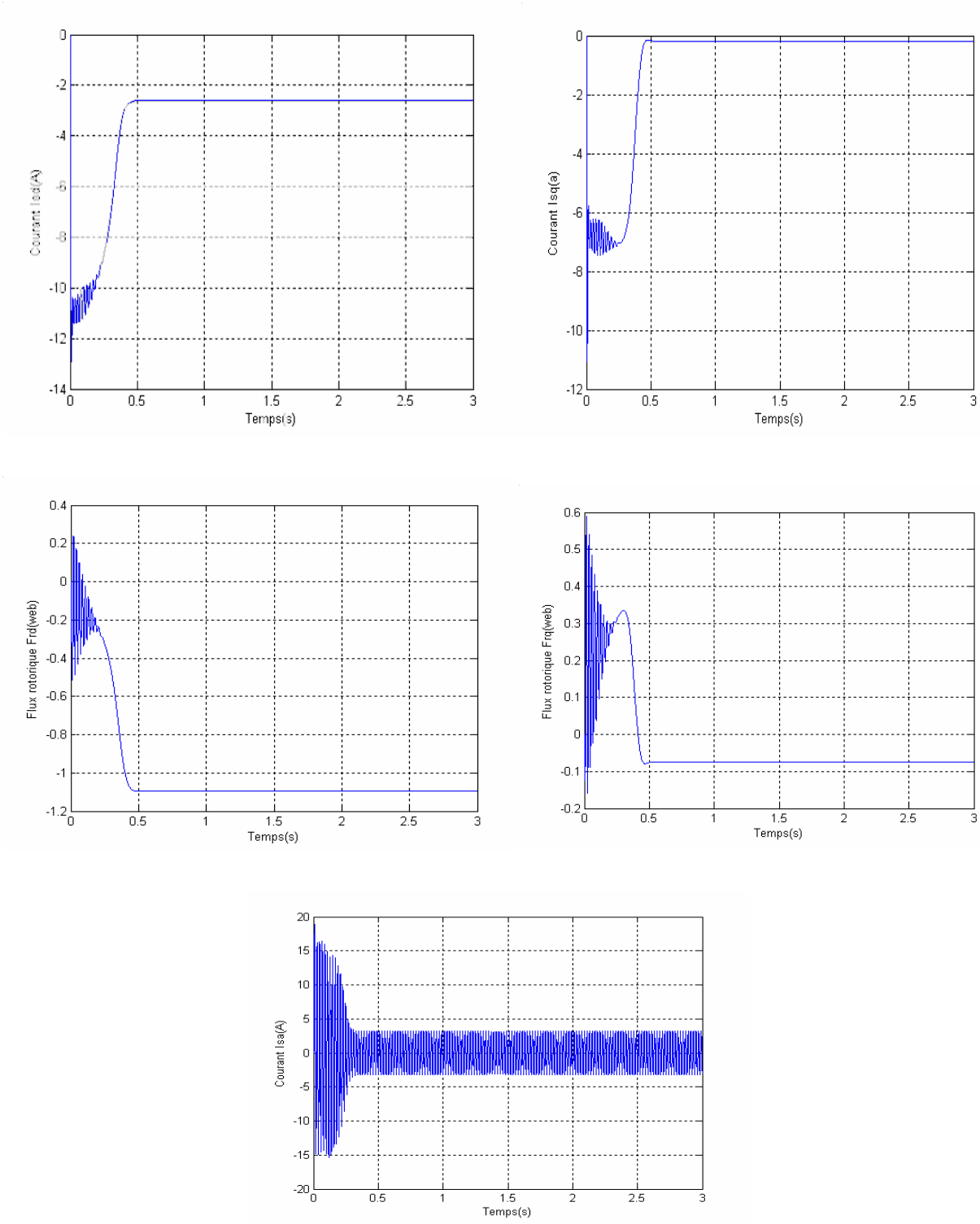
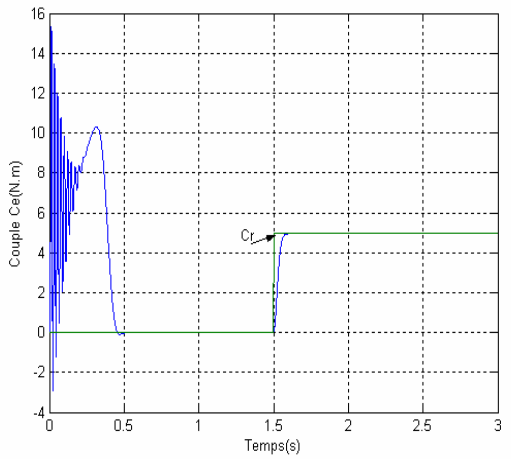
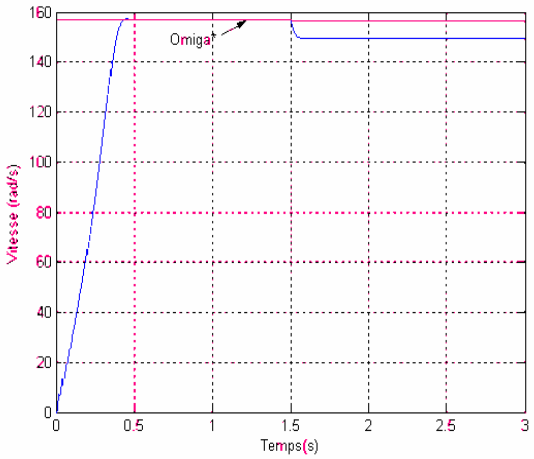
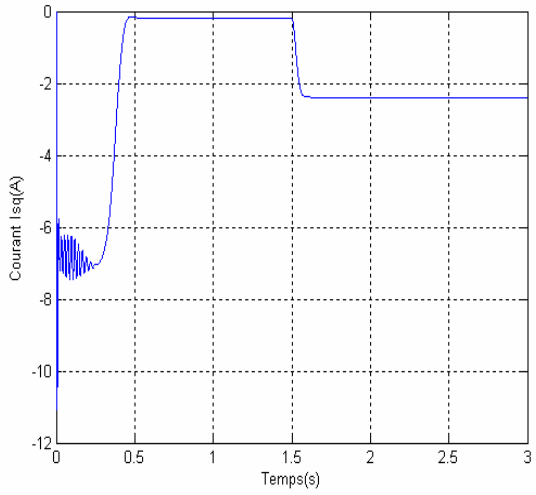


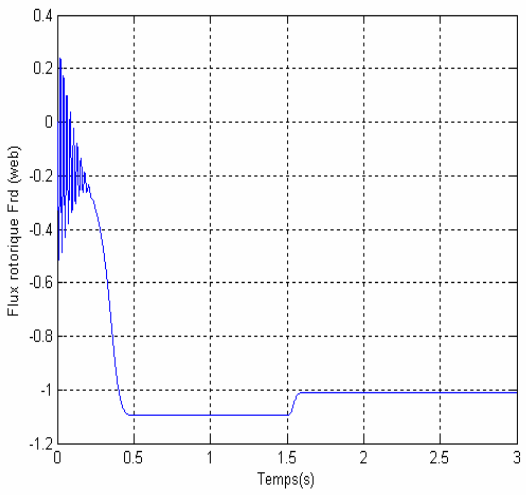
Figure (1-8) : Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS lors de démarrage à vide

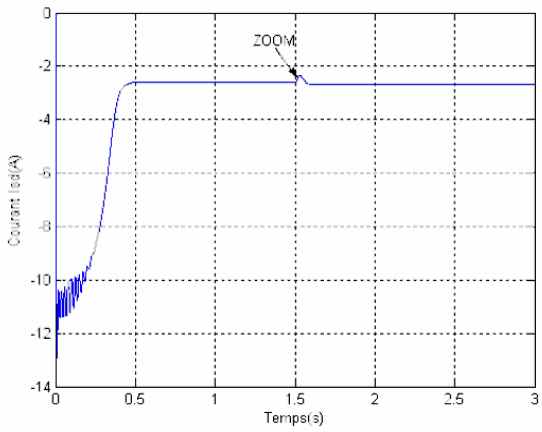
- En Charge : Cr =5 N.m à t = 1.5s

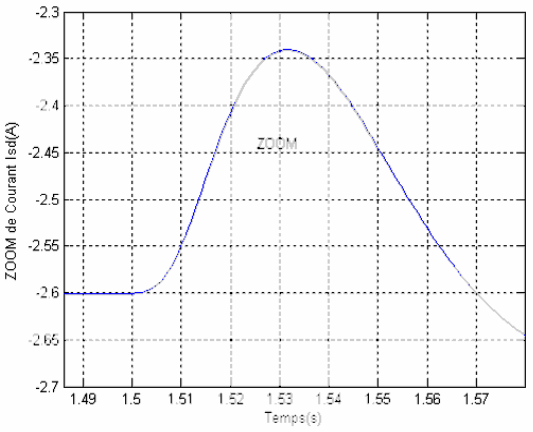












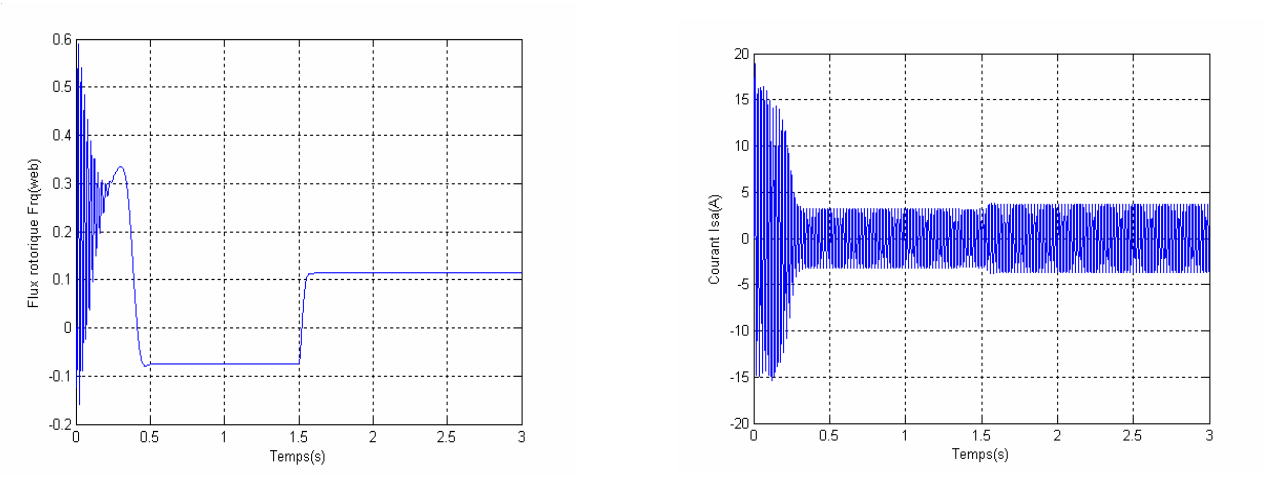


Figure (1-9) : Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS lors de démarrage en charge

I-7-3 Interprétation des résultats de simulation :

A vide :

La courbe de la vitesse présente des oscillations dans le premier instant de démarrage avec un accroissement presque linéaire, après un temps d'environs 0.4sec la vitesse de rotation s'établit a une valeur proche de la vitesse de synchronisme

La courbe du couple ce présente aux premiers instants du démarrage une pulsation très important, après 0. 4 ms le couple tend vers zéro.

Le flux rotorique présente des dépassements excessifs de faible amplitude dans la premier instant , mais ils disparaissent au bout de quelques alternances et obtient une forme sinusoïdale d'amplitude constante.

Les courant statorique présentent des oscillations successives autour de zéro avec une amplitude maximale de (4A) jusqu'à 0 . 4 ms, après ce temps l'amplitude de ces oscillations est reste constant.

En charge :

Avec $t \in [1.5 \rightarrow 3]$s: on appliqué à l'arbre de la machine asynchrone un couple résistant ($C_r = C_n = 5\ N.m$) à l'instant $(t = 1.5\ s)$. Nous constatons

- La diminution du flux durant l'application de la charge ce qui prouve le fort couplage entre le flux et le couple électromagnétique.

- Le couple électromagnétique rejoint, après un régime transitoire, la valeur qui compense le couple résistant ($5\ N.m$) appliqué.
- le courant statorique évolue selon la charge appliquée à l'arbre du moteur.

I-8-Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre le modèle mathématique de la machine asynchrone alimentée en tension. La complexité de ce modèle a été réduite par un certain nombre d'hypothèses simplificatrices et par l'application de la transformation de PARK qui ramène le modèle triphasé en un modèle diphasé équivalent. Les résultats obtenus montrent bien la validité du modèle de PARK d'une machine asynchrone. Cette dernière répond bien pour décrire l'évolution d'un démarrage direct sur un réseau standard.

Ce chapitre a permis essentiellement de retrouver les résultats classiques de la machine asynchrone, de valider ainsi le modèle et de vérifier que les simulations effectuées par MATLAB sont valables.