

**République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique**



**Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies**



**Mémoire de Fin d'Etudes
Présenté pour l'obtention du diplôme de**

LICENCE ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences et de Technologies
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques**

Thème

**Modélisation inverse de la machine
asynchrone ,application en Matlab**

**Dirigé par:
LAMMOUCHI Zakaria**

**Réaliser par:
KOT Yahia
KEDDARI Ben Salem
ABID Mohamed**

Soutenu le 10 Juin 2012

Remerciements

Remerciements à Dieu –le tout puissant– qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur LAMMOUGHI ZAKARIA d'avoir accepté de nous encadrer et de nous suivre durant toute cette période.

Nos remerciements vont aussi au président du jury et aux membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Dédicaces

A...

*Ma mère et mon père qui m'ont donné naissance et l'amour ;
ce qui je ne pourrais jamais exprimer leurs sacrifices, leur soutien
moral et physique le long de mes années d'études.*

Mes très chères sœurs.

Mon très chers frères.

Toute ma famille.

Tous mes amis.

Tous ceux que me sont chers

Je dédie ce travail...

SOMMAIRE

Remerciements	I
Dédicaces.....	II
Sommaire.....	III
Listes des Figures.....	V
Liste des symboles.....	VI
Introduction générale.....	1
Structure du mémoire.....	2

Chapitre 1

Modélisation de la machine asynchrone

1-1 Introduction.....	3
1-2 généralité sur la machine asynchrone	3
I.2.1. Définition de la machine asynchrone	3
I.2.2. Constitution de la machine asynchrone	3
I.2.2.1. Le stator	4
I.2.2.2. Le rotor.....	5
I.2.2.3. Les organes mécaniques	6
I.2.3. principe de fonctionnement	6
I.3 Modélisation électrique de la machine asynchrone.....	6
I.4 Modélisation en représentation d'état de la machine asynchrone en vue de Commande..	12
I.4.1 Modèle d'état dans un référentiel tournant.....	12
I.2.4 Modèle d'état dans un référentiel fixe au stator.....	13
I.5 Modélisation en représentation d'état de la machine asynchrone en vue d'observation...	13
I -6 Validation du modèle par simulation.....	14
I -7 Conclusions.....	17

Chapitre 2

Modélisation inverse de la machine asynchrone

II.1 Introduction.....	18
II.2 Modélisation inverse de la machine asynchrone.	18
II.3 Application de la commande non linéaire en tension à la machine	23
II.4 Résultats de simulation.....	23
II.5 Conclusions.....	26
Conclusions générale.....	27
Perspectives.....	28
Bibliographie.....	29

Listes des Figures

Chapitre1

Figure. I.1 : Moteur asynchrone (à induction).....	4
Figure. I.2 : Stator après bobinage.....	4
Figure. I.3 : Rotor à cage d'écureuil	5
Figure. I.4 : Circuit magnétique constituant le stator et le rotor	5
Figure I.5 : Modélisation de la machine asynchrone dans un repère triphasé.....	7
Figure I.6 : Transformation de repères.....	8
Figure I.7 : Schéma équivalent dynamique dans un référentiel tournant.....	9
Figure I.8 : Schéma équivalent dynamique dans un référentiel fixe.....	9
Figure I.9 : Résultats de simulation de la M.AS en tension à vide et sous charge nominale $V_a V_b V_c, i_{sa} i_{sb}, \phi_{ra} \phi_{rb}$ dans le de référentiel (α, β)	15
Figure I.10: Résultats de simulation de la M.AS de l'argument de couple et vitesse et flux à vide et sous charge nominale	16

Chapitre2

Figure II.1 : Modèle inverse de la machine asynchrone + Modèle (α, β) de MAS.....	19
Figure II.2 : schéma général du calcul de la commande en tension	22
Figure II.3: trajectoire de référence du flux et de la vitesse	23
Figure II.4: résultats de simulation de la commande en tension +Machine	24

LISTE DES SYMBOLES

I_r	Module du courant de phase rotorique
$i_{r(a,b,c)}$	Vecteur spatial du courant rotorique
$I_{r\alpha\beta}$	Composantes (α, β) du courant rotorique dans le référentiel fixe
i_{rd}, i_{rq}	Composantes (d, q) du courant rotorique dans le référentiel tournant
$I_s(a,b,c)$	Module du courant de phase statorique
i_s	Vecteur spatial du courant statorique
$i_{r\alpha}, i_{r\beta}$	Composantes (α, β) du courant rotorique dans le référentiel fixe
i_{sd}, i_{sq}	Composantes (d, q) du courant statorique dans le référentiel tournant
J	Moment d'inertie de la machine
L_s, L_r, L_m	Inductances statorique, rotorique et mutuelle
P	Nombre de paires de pôles
R_s, R_r	Résistances statorique et rotorique
C_e	Couple électromagnétique
C_r	Couple de charge estimée
u	Vecteur de commande
$u_{r(a,b,c)}$	Tension de phase rotorique
u_r	Vecteur spatial de la tension rotorique
$U_{r\alpha}, U_{r\beta}$	Composantes (α, β) de la tension rotorique dans le référentiel fixe
U_{rd}, U_{rq}	Composantes (d, q) de la tension rotorique dans le référentiel tournant
$u_{s(a,b,c)}$	Tension de phase statorique
u_s	Vecteur spatial de la tension statorique
$U_{s\alpha}, U_{s\beta}$	Composantes (α, β) de la tension statorique dans le référentiel fixe
U_{sd}, U_{sq}	Composantes (d, q) de la tension statorique dans le référentiel tournant
θ	Position angulaire du rotor par rapport au stator
θ_r	Position angulaire du repère (d, q) par rapport au stator

θ_s	Position angulaire du repère (d, q) par rapport au rotor
$\phi_{r\alpha}, \phi_{r\beta}$	Composantes (α, β) du flux rotorique dans le référentiel fixe
$\phi_{s\alpha}, \phi_{s\beta}$	Composantes (α, β) du flux statorique dans le référentiel fixe
ϕ_{sd}, ϕ_{sq}	Composantes (d, q) du flux statorique dans le référentiel tournant
ϕ_{rd}, ϕ_{rq}	Composantes (d, q) du flux rotorique dans le référentiel tournant
Ω	Vitesse mécanique
Ω_s	Vitesse synchrone
$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	Vitesse rotorique
$\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}$	Vitesse de rotation du repère (d, q) par rapport au stator
f	Matrice d'état
f	Coefficient de frottement

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis une quinzaine d'années ,la recherche dans le domaine des machines électriques continue à viser la machine asynchrone (ou à induction) de manière assidue. Ce phénomène a été la conséquence des évolutions que l'électronique de puissance et de continu était la reine du domaine des entraînements à vitesse variable ,avec tous les problèmes et désavantages qu'un moteur de ce genre peut causer (coût de fabrication , coût d'entretien ,faible couple permis l'utilisation des machines synchrones dans un premier temps ,plus tard ,grâce à la mise au point de nouvelles stratégies de commande implantables sur microprocesseur ou DSP.les machines asynchrones [3] .

La machine asynchrone , ou moteur à induction , est largement utilisée dans la plupart des entraînement électrique , notamment pour des application à vitesse constant comme la ventilation et le pompage , avec les progrès de l'électronique de puissance associés aux commandes modernes ont permis d'envisager des applications en vitesse variable de manière efficace , qui étaient auparavant réservées au moteur continu [5] .

La machine asynchrone est un système multi variable, non linéaire, fortement couplé, à dynamique rapide et à paramètres variant dans le temps. Vu les avantages qu'elle a sur les autres types de machines électriques, parmi lesquels nous pouvons citer : robustesse, entretien moins fréquent et faible coût, la machine asynchrone est de loin la plus utilisée dans les applications requérant la variation de vitesse.

L'objectif de ce mémoire est de présenter mathématiquement, d'un point de vue de l'automaticien, une modélisation de la machine asynchrone sous forme de différents modèles d'état selon le choix de repère, le vecteur d'état et les entrées-sorties possibles du moteur. Généralement, ces modèles sont définis dans un référentiel diphasé, soit tournant (d, q), soit fixe au stator (α, β). Ces référentiels sont définis à partir du référentiel triphasé naturel de la machine asynchrone à l'aide de transformations mathématiques adaptées. En plus, un modèle inverse de la machine est étudié afin de l'utiliser dans la stratégie de commande.

Structure du mémoire

IL décale directement de la méthodologie suivie et des objectifs fixés par le projet; ainsi elle a été scindée en deux chapitres, tel que :

- ✓ Dans Le premier chapitre, nous allons présenter la modélisation de la Machine à Induction commandée en tension. Ainsi que le principe de la transformation de Park. L'application de cette transformation à la Machine à Induction permettra d'avoir un modèle à deux axes représente l'image du modèle triphasée, le modèle sera testé par simulation, et évalué à travers les différents résultats.
- ✓ Le second chapitre sera consacré à la modélisation inverse de la machine asynchrone. la modélisation inverse est obtenue, à partir de la planification des trajectoires de références de la vitesse et du flux rotorique
 - Finalement, on va clôturer par une conclusion générale, exposant les différents résultats obtenus, et dégageant les perspectives à envisager.

Des simulations sur Matlab pour traitées dans ce mémoire , sont présentées à la fin de chaque chapitre

Chapitre I

Modélisation de la machine asynchrone

I.1.introduction :

La machine asynchrone est très appréciée dans les milieux industriels par sa robustesse, son couple massique important et son faible coût de revient. Elle apparaît maintenant comme élément de base des actionneurs électriques performants [1],[2].

Les progrès de l'information et aux de génie des logiciels permettent de réaliser les modélisations formates et d'envisager l'optimisation des machines électriques.

La représentation du modèle mathématique sous forme dynamique de la machine asynchrone permet l'observation et l'analyse des différents évolutions de ses grandeurs électromécanique d'une part et d'autre part l'élaboration des lois de commande, et de prévoir le control nécessaire [1].

L'objectif de ce chapitre est de présenter mathématiquement, d'un point de vue de l'automaticien, une modélisation de la machine asynchrone sous forme de différents modèles d'état selon le choix de repère, le vecteur d'état et les entrées-sorties possibles du moteur. Généralement, ces modèles sont définis dans un référentiel diphasé, soit tournant (d, q), soit fixe au stator (α, β) [7].

I.2. généralité sur la machine asynchrone :

I.2.1. Définition de la machine asynchrone :

La machine asynchrone est une machine à courant alternatif, la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales à cause du glissement. Le rotor est toujours en retard par rapport au champ statorique, la machine asynchrone est dite (machine à induction) car l'énergie est transférée du stator au rotor ou inversement par induction électromagnétique [3].

I.2.2. Constitution de la machine asynchrone :

La machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants (figure I.1):

- Le stator (partie fixe) constitué de disques en tôles magnétiques portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer
- Le rotor (partie tournante) constitué de disques en tôles magnétiques empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement injecté.
- Les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensemble [4],[8].

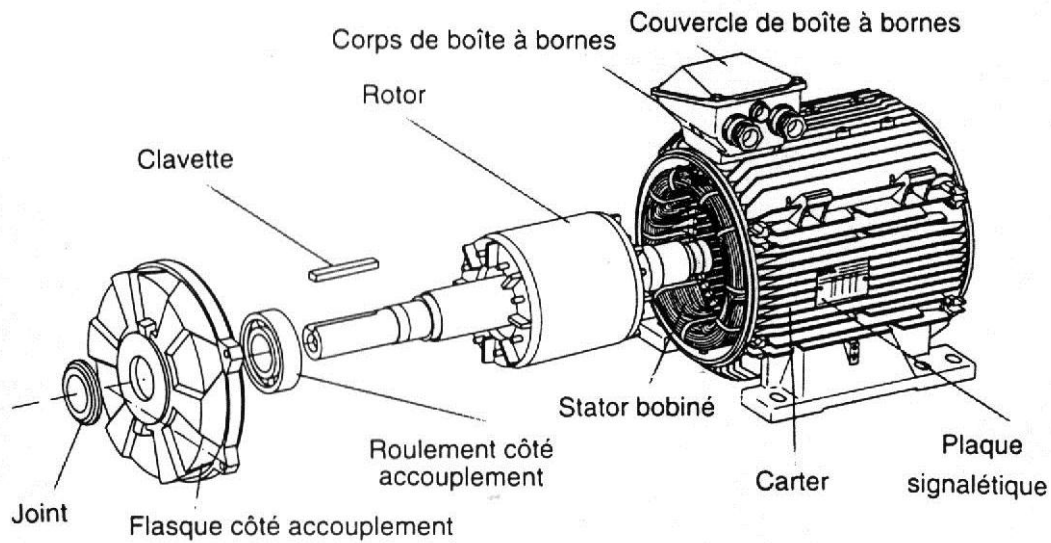


Figure I.1. Moteur asynchrone (à induction)

I.2.2.1. Le stator :

Il est constitué des enroulements bobinés répartis dans les encoches du circuit magnétique, ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine (figure 1.2). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes des bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre [4].



Figure I.2. Stator après bobinage

I.2.2.2. Le rotor :

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotorique) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor (figure 1.3). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine. Dans le cas de rotors à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables [4],[8].



Figure I.3. Rotor à cage d'écureuil

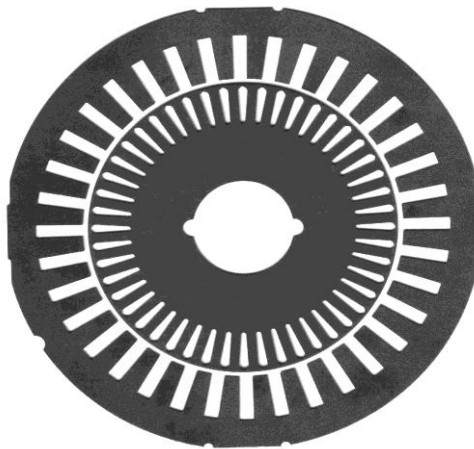


Figure I.4. Circuit magnétique constituant le stator et le rotor

I.2.2.3. Les organes mécaniques :

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé [4].

I.2.3. principe de fonctionnement :

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. 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 [4].

On appelle glissement la grandeur g .s'exprime en % :

$$g = \frac{\omega_r}{\omega_s} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (1.1)$$

ω_r : Pulsation rotorique

ω_s : Pulsation statorique

ω : Pulsation mécanique du rotor.

Dans une machine asynchrone, la condition de fréquence, $\omega_s = \omega_r + \omega$ est constamment satisfaite. Quand la pulsation mécanique ω est égale à la pulsation du champ tournant ω_s , le phénomène d'induction électromagnétique disparaît.

I.3 Modélisation électrique de la machine asynchrone:

La machine asynchrone est un système dynamique non linéaire. Par conséquent, sa commande nécessite la disponibilité d'un modèle représentant fidèlement son comportement au niveau de ses modes électrique, électromagnétique et mécanique.

La machine asynchrone est de nature triphasée et avec répartition sinusoïdale des champs magnétiques de chaque bobinage, les équations des circuits électriques font intervenir des inductances propres et mutuelles permettant de définir les flux en fonction des courants [4].

Pour un observateur lié au stator, les équations en grandeurs de phase sont :

$$U_{s(a, b, c)} = R_s I_{s(a, b, c)} + \frac{d\phi_{s(a, b, c)}}{dt} \quad (1.2)$$

Pour un observateur lié au rotor, les équations en grandeurs de phase sont :

$$U_{r(a, b, c)} = 0 = R_r I_{r(a, b, c)} + \frac{d\phi_{r(a, b, c)}}{dt} \quad (1.3)$$

Les équations des flux en fonction des courants s'obtiennent à partir des différentes inductances, dont certaines dépendent du temps par l'intermédiaire de l'angle électrique θ , position de la phase (a) du rotor par rapport à la phase (a) du stator (figure I.5).

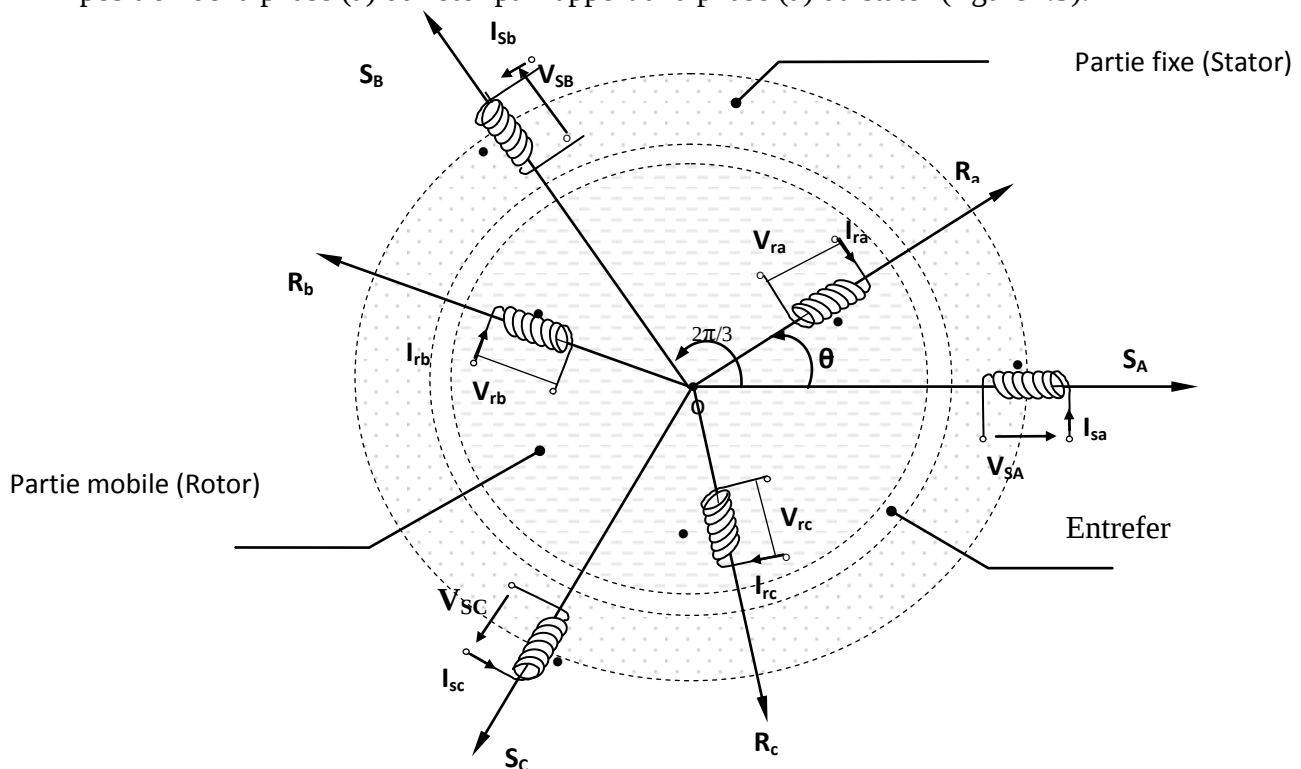


Figure I.5 Modélisation de la machine asynchrone dans un repère triphasé

- ✓ Le stator de la machine est formé de trois enroulements fixes décalés de 120° dans l'espace et traversés par trois courants variables (conditions du champ tournant).
- ✓ Le rotor peut être modélisé par trois enroulements identiques décalés dans l'espace de 120° . Ces enroulements sont en court-circuit et les courants qui y circulent sont induits grâce au champ tournant du stator.

Avec:

S_A, S_B et S_C : sont les trois enroulements du stator

R_a, R_b et R_c : les trois enroulements rotoriques

θ : Angle entre l'axe de la phase statorique et la phase rotorique.

I_{sabc}, V_{sabc} : les courants et les tensions statoriques.

I_{rabc}, V_{rabc} : les courants et les tensions rotoriques.

L'introduction du vecteur spatial permet de simplifier grandement le modèle décrit par les équations (1.2) et (1.3).

La représentation vectorielle d'une grandeur triphasée peut s'exprimer dans différents référentiels liés à la machine asynchrone. Ces référentiels sont de type biphasé, ce qui réduit considérablement la complexité du modèle en vue de commande. La structure symétrique et équilibrée de la machine permet le passage d'une représentation triphasée à une autre biphasée équivalente (transformations de Park et Concordia). Toutes les grandeurs électromagnétiques de la machine, statoriques ou rotoriques, sont ramenées à un seul référentiel.

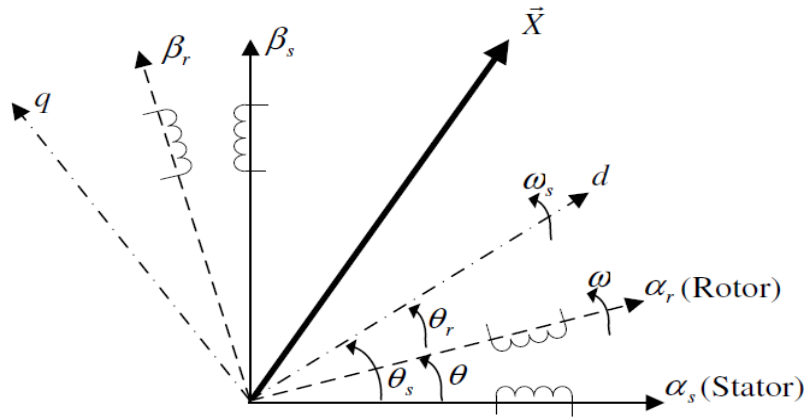


Figure I.6 Transformation de repères

Les deux référentiels les plus utilisés dans la commande de la machine asynchrone sont [7] :

- le référentiel tournant à la vitesse du champ statorique appelé (d, q).
- le référentiel fixe par rapport au stator (α_s, β_s), par convention appelé (α, β).

Les équations des tensions et des flux du stator et du rotor du modèle vectoriel de la machine dans un référentiel (d, q) tournant à une vitesse ω_s par rapport au stator sont :

$$\begin{cases} \vec{U}_s = R_s \vec{I}_s + \frac{d\vec{\Phi}_s}{dt} + j\omega_s \vec{\Phi}_s \\ \vec{U}_r = \vec{0} = R_r \vec{I}_r + \frac{d\vec{\Phi}_r}{dt} + j(\omega_s - \omega) \vec{\Phi}_r \end{cases} \quad (1.4.a)$$

$$\begin{cases} \vec{\Phi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_r \\ \vec{\Phi}_r = L_r \vec{I}_r + L_m \vec{I}_s \end{cases} \quad (1.4.b)$$

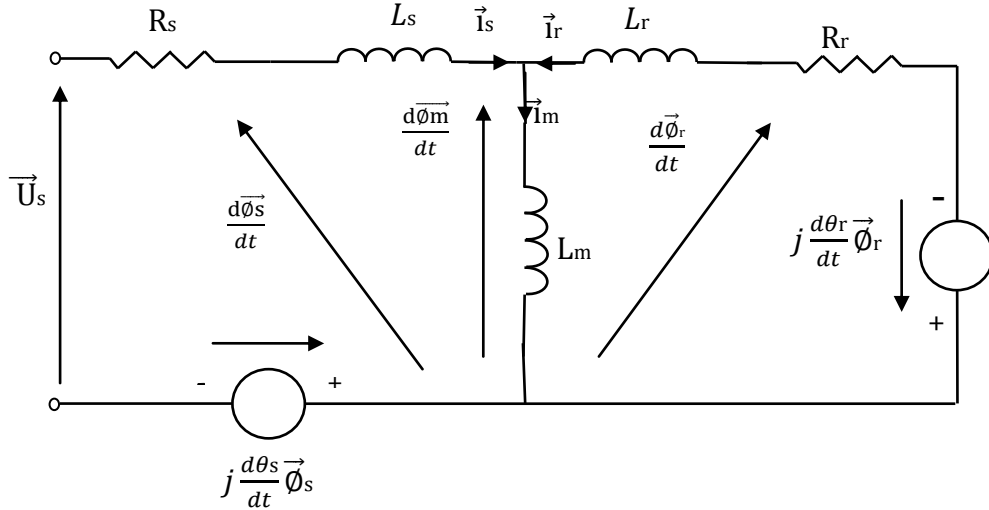


Figure I.7 Schéma équivalent dynamique dans un référentiel tournant

Les équations des tensions et des flux du stator et du rotor du modèle vectoriel de la machine dans un référentiel fixe lié au stator (α, β) sont :

$$\begin{cases} \vec{U}_s = R_s \vec{I}_s + \frac{d\vec{\Phi}_s}{dt} \\ \vec{U}_r = 0 = R_r \vec{I}_r + \frac{d\vec{\Phi}_r}{dt} - j\omega \vec{\Phi}_r \end{cases} \quad (1.5.a)$$

$$\begin{cases} \vec{\Phi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_r \\ \vec{\Phi}_r = L_r \vec{I}_r + L_m \vec{I}_s \end{cases} \quad (1.5.b)$$

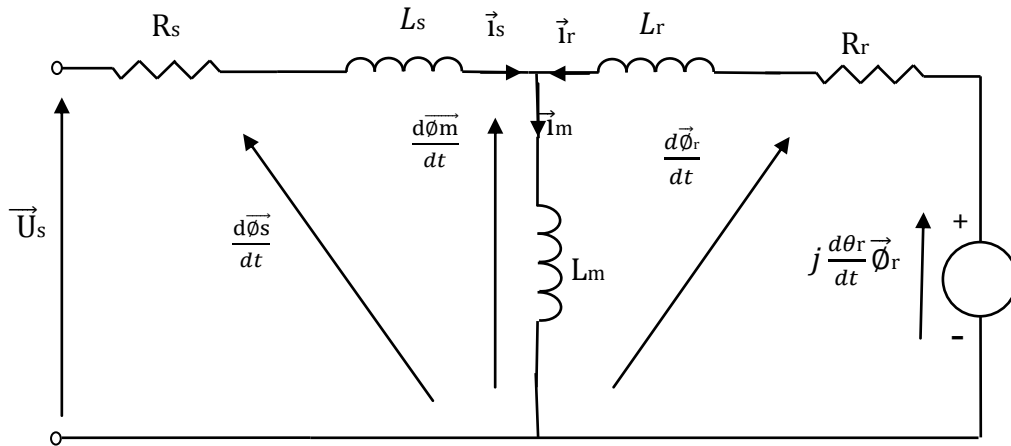


Figure I.8 Schéma équivalent dynamique dans un référentiel fixe

Les projections des équations du modèle vectoriel dans le référentiel tournant, sur les deux axes (d, q), permettent d'obtenir les équations de Park de la machine asynchrone :

$$\begin{cases} U_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \phi_{sq} \\ U_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \phi_{sd} \end{cases} \begin{cases} U_{rd} = 0 = R_r i_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \phi_{rq} \\ U_{rq} = 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \phi_{rd} \end{cases} \quad (1.6.a)$$

$$\begin{cases} \phi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \\ \phi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \end{cases} \begin{cases} \phi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \\ \phi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \end{cases} \quad (1.6.b)$$

Le changement de repères triphasé/biphasé (a, b, c)/(d, q) peut être réalisé par la transformation de Park.

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\rho) & \cos(\rho - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\rho + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\rho) & -\sin(\rho - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\rho + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

L'angle ρ correspond à la position du repère choisi pour la transformation.

La transformation inverse est donnée par :

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\rho) & -\sin(\rho) \\ \cos(\rho - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\rho - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\rho + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\rho + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Avec $\rho = \theta_s$ pour le stator ou $\rho = \theta_r$ pour le rotor.

Les projections des équations du modèle dans le référentiel fixe lié au stator, sur les deux axes (α , β) du référentiel, permettent d'obtenir les équations de Concordia de la machine asynchrone :

$$\begin{cases} U_{sa} = R_s i_{sa} + \frac{d\phi_{sa}}{dt} \\ U_{sb} = R_s i_{sb} + \frac{d\phi_{sb}}{dt} \end{cases} \begin{cases} U_{ra} = 0 = R_r i_{ra} + \frac{d\phi_{ra}}{dt} + \omega \phi_{r\beta} \\ U_{r\beta} = 0 = R_r i_{r\beta} + \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} - \omega \phi_{r\alpha} \end{cases} \quad (1.9.a)$$

$$\begin{cases} \phi_{sa} = L_s i_{sa} + L_m i_{ra} \\ \phi_{sb} = L_s i_{sb} + L_m i_{r\beta} \end{cases} \begin{cases} \phi_{ra} = L_r i_{ra} + L_m i_{sa} \\ \phi_{r\beta} = L_r i_{r\beta} + L_m i_{sb} \end{cases} \quad (1.9.b)$$

Le changement de repères triphasé/biphasé (a, b, c) $\rightarrow$ (α , β) peut être réalisé par la transformation de Concordia.

$$\begin{bmatrix} X\alpha \\ X\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xa \\ Xb \\ Xc \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

La transformation inverse est donnée par :

$$\begin{bmatrix} Xa \\ Xb \\ Xc \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X\alpha \\ X\beta \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

La transformation de Concordia (α, β) peut également être obtenue à partir des composantes de Park (d, q), et en faisant une rotation de l'angle ρ . Le passage des composantes de Park à celles de Concordia se fait par :

$$\begin{bmatrix} X\alpha \\ X\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\rho) & -\sin(\rho) \\ \sin(\rho) & \cos(\rho) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xd \\ Xq \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

On définit également la transformation inverse :

$$\begin{bmatrix} Xd \\ Xq \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\rho) & \sin(\rho) \\ -\sin(\rho) & \cos(\rho) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X\alpha \\ X\beta \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

Le modèle complet de la machine asynchrone comprend l'équation mécanique donnée par :

$$T_{em} - T_L = \frac{d\omega}{dt} + f_r \omega \quad (1.14)$$

Le couple électromagnétique est donné par :

$$T_{em} = p \frac{L_m}{L_r} \text{Im}(\vec{\Phi}_r \vec{i}_s) \quad (1.15)$$

Dans le référentiel tournant (d, q), le couple est défini par :

$$T_{em} = p \frac{L_m}{L_r} (\Phi_{rd} i_{sq} - \Phi_{rq} i_{sd}) \quad (1.16)$$

Dans le référentiel fixe (α, β), le couple est défini par :

$$T_{em} = p \frac{L_m}{L_r} (\Phi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Phi_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (1.17)$$

I.4 Modélisation en représentation d'état de la machine asynchrone en vue de Commande

La modélisation en représentation d'état en vue de commande est une approche appréciée par tout automaticien, surtout pour l'étude d'un système multi variable. Le choix des variables d'état, d'entrées et de sorties du système dépend des objectifs liés à la commande ou à l'observation [3]. Pour des applications de commande, un choix approprié pour le vecteur d'état, selon le repère choisi, est le suivant :

$$[X] = [i_{sa}(d) \ i_{s\beta}(q) \ \Phi_{sa}(d) \ \Phi_{s\beta}(q) \ \omega]^T \quad (1.18)$$

Le choix des courants statorique est justifié par le fait qu'ils sont accessibles par mesure. Les entrées du modèle de la machine sont les deux composantes de la tension statorique $\vec{U}_s$

Le modèle d'état de la machine asynchrone est celui d'un système multi variable non linéaire de la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = f(x) + g_1(x)u(t) \\ y(t) = h(x) \end{cases} \quad (1.19)$$

Le vecteur x appartient à l'ensemble $\Omega = \{x \in \mathbb{R}^5 : \Phi_{ra}^2 + \Phi_{r\beta}^2 \neq 0\}$

Les matrices $f(x)$, $g_1(x)$ et $h(x)$ sont définies selon le choix du repère.

En disposant de deux entrées indépendantes, deux sorties doivent être choisies afin d'obtenir un système carré, on peut choisir :

$$y = [\omega \sqrt{\Phi_{ra}^2 + \Phi_{r\beta}^2}]^T \quad (1.20)$$

I.4.1 Modèle d'état dans un référentiel tournant

Dans un référentiel (d, q) tournant à une vitesse ω_s , le modèle du moteur asynchrone, tiré des équations (1.6), (1.14) et (1.16), est défini par le système non linéaire, d'ordre 5, suivant :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \Phi_{rd} \\ \Phi_{rq} \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\gamma}_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{k}{T_r} \Phi_{sd} + pk\omega i_{rq} \\ -\omega_s i_{sd} - \dot{\gamma}_{sq} pk\omega i_{rd} + \frac{k}{T_r} \Phi_{sq} \\ \frac{l_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Phi_{rd} - (\omega_s - p\omega) \Phi_{rq} \\ \frac{l_m}{T_r} i_{sq} - (\omega_s - p\omega) \Phi_{rd} - \frac{1}{T_r} \Phi_{rq} \\ \frac{pl_m}{JL_r} i_{sq} (\Phi_{rd} i_{sd} - \Phi_{rq} i_{sd}) - \frac{f_r}{J} \omega - \frac{T_L}{J} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{sd} \\ U_{sq} \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

$$\text{avec: } \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}; k = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}; \gamma = \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right)$$

Le modèle de la machine dans le repère (d, q) est le modèle le plus général pour la représentation du moteur asynchrone.

I.2.4 Modèle d'état dans un référentiel fixe au stator

Dans un référentiel (α, β) fixe au stator ($\omega_s=0$), le modèle du moteur asynchrone, tiré des équations (1.9), (1.14) et (1.17), est défini par le système non linéaire, d'ordre 5, suivant :

$$\dot{X}(t) = f(x) + g_1 u(t) \quad (1.22)$$

$$X = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \Phi_{r\alpha} \\ \Phi_{r\beta} \\ \omega \end{bmatrix}; f(x) = \begin{bmatrix} -\dot{\gamma}_{s\alpha} + \frac{k}{T_r} \Phi_{s\alpha} + pk\omega i_{r\beta} \\ -\dot{\gamma}_{s\alpha} pk\omega i_{r\alpha} + \frac{k}{T_r} \Phi_{s\beta} \\ \frac{l_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p\omega \Phi_{r\beta} \\ \frac{l_m}{T_r} i_{s\beta} + p\omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} \\ \frac{pl_m}{JL_r} i_{s\beta} (\Phi_{r\alpha} i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta} i_{s\alpha}) - \frac{f_r}{J} \omega - \frac{T_L}{J} \end{bmatrix}; g_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; u = \begin{bmatrix} U_{s\alpha} \\ U_{s\beta} \end{bmatrix}$$

I.5 Modélisation en représentation d'état de la machine asynchrone en vue d'observation

Dans la plupart des applications industrielles de la machine asynchrone, l'information sur le flux rotorique, nécessaire dans le système d'entraînement de la machine, n'est pas disponible par mesure; l'observation est une option pour remédier à ce problème. Le modèle de la machine utilisé pour l'observation peut être simplifié à un modèle linéaire d'ordre 4 en prenant la vitesse, qu'on suppose la connaître par mesure, comme un paramètre variable. Le vecteur d'état est le suivant :

$$[X] = [i_{s\alpha} i_{s\beta} \Phi_{r\alpha} \Phi_{r\beta}]^T \quad (1.23)$$

Le modèle d'état est celui d'un système linéaire d'ordre 4 à paramètres variant dans le temps

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \Phi_{r\alpha} \\ \Phi_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\gamma & 0 & \frac{k}{T_r} & pk\omega(t) \\ 0 & -\gamma & -pk\omega(t) & \frac{k}{T_r} \\ \frac{L_m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & -pk\omega(t) \\ 0 & \frac{L_m}{T_r} & p\omega(t) & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \cdot + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{s\alpha} \\ U_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

I -6 Validation du modèle par simulation

En ingénierie, la simulation est un moyen efficace et économique, couramment utilisé pour faire des études préliminaires et/ou comparatives, tant au stade du développement (conception), qu'au cours du fonctionnement normal des systèmes.

Actuellement, plusieurs outils de simulations parmi lesquels le logiciel Matlab qui est largement utilisé dans le domaine de la commande des machines.

Les figures (1-9) et (1-10) représentent les résultats de simulation du modèle de la machine asynchrone alimentée en tension dans le référentiel (α, β) . La machine asynchrone est simulée sous charge nominale après un démarrage à vide.

Lors du démarrage, un fort appel de courant apparaît qui est nécessaire pour développer un couple moteur vainquant l'inertie de la machine à l'arrêt. Ce couple atteint donc un puis se stabilise après quelques oscillations à une valeur pratiquement nulle en régime permanent à vide.

De même, l'introduction d'un couple de charge de 5 N.m à l'instant $t=0,5s$ ou on s'aperçoit que la vitesse a diminué puisque plus la charge augmente, de même pour le flux rotorique.

Les résultats de simulation montrent bien le fort couplage existant entre les différentes variables (couple, flux) indiquant le caractère non linéaire de la machine asynchrone.

Les résultats de simulation sont donnés par les figures (I.9) et (I.10) sur la base des paramètres de la machine asynchrone avec les caractéristiques principales suivantes:

$$\begin{aligned} R_s &= 8 \, \Omega ; R_r = 3.6 \, \Omega ; & L_s &= 0.47 \, \text{H} ; & L_r &= 0.47 \, \text{H} ; & M &= 0.452 \, \text{H} & p &= 2 ; \\ J &= 0.015 \, \text{Kg.m}^2 ; & f &= 0.01 \, \text{N.m.s}^{-1} ; & \phi_r &= 1.14 \, \text{Wb} ; & C_{nom} &= 5 \, \text{Nm} \end{aligned}$$

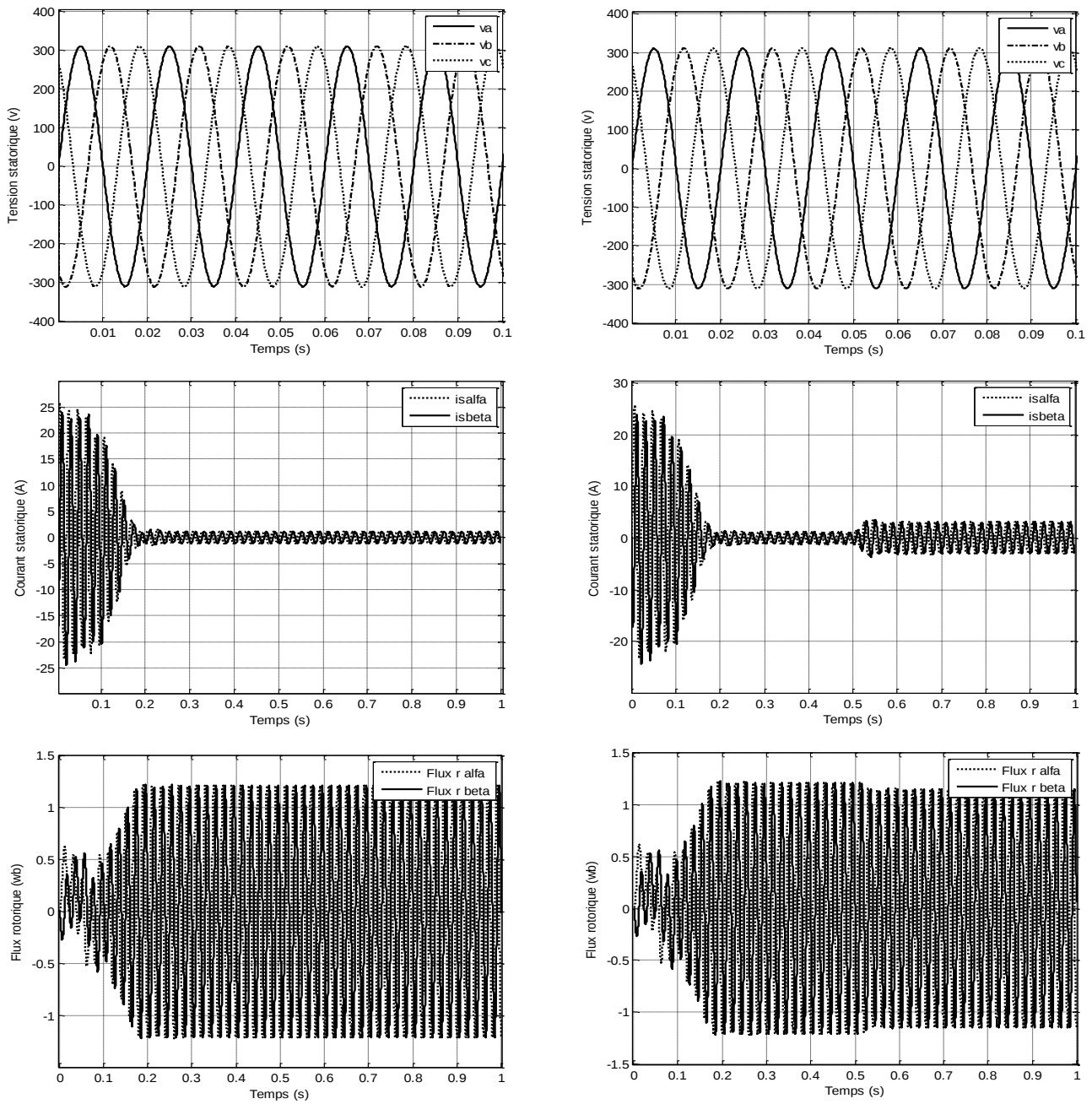


Figure I.9: Résultats de simulation de la M.AS en tension à vide et sous charge nominale V_{abc} , $i_{s\alpha\beta}$, $\Phi_{r\alpha\beta}$ dans le de référentiel (α, β)

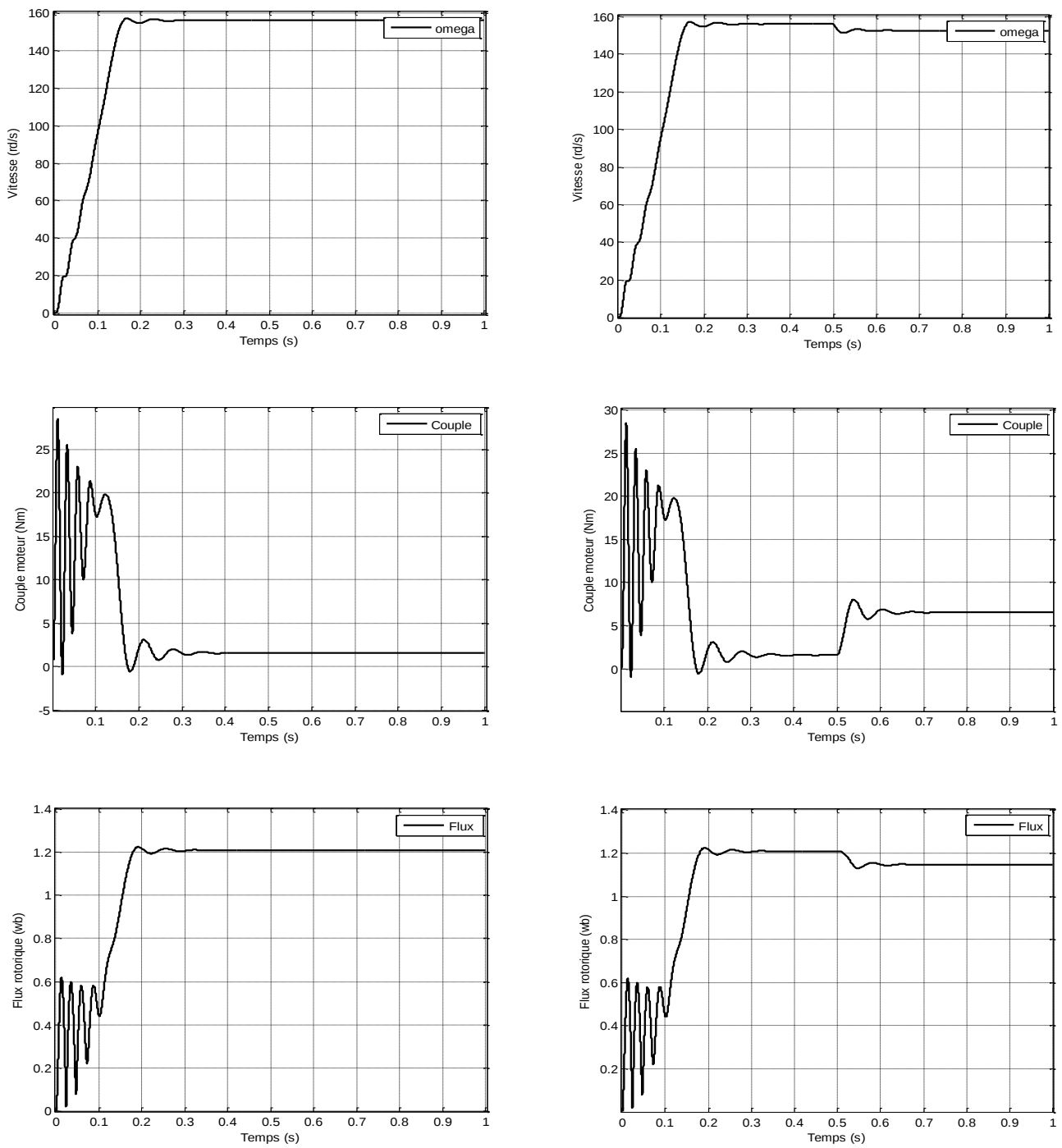


Figure I.10: Résultats de simulation de la M.AS de l'argument de couple et vitesse et flux à vide et sous charge nominale

I-7 Conclusions

La simulation du modèle de la machine asynchrone nous permet de valider le modèle établi et de montrer notamment le caractère bien connu entre les grandeurs flux et couple spécialement lorsque une charge (perturbation) est appliquée.

Dans ce chapitre, différentes approches de modélisation de Park de la machine asynchrone ont été présentées brièvement, l'accent étant mis sur les modèles biphasés représentés dans les deux repères tournant et fixe. Le choix de cette représentation permet de modéliser la machine sous forme d'un modèle d'état qu'on peut utiliser pour la commande.

Le choix des sorties est lié à la nature de l'étude effectuée sur la machine. les sorties sont la vitesse rotorique et la norme du flux rotorique qui seront exploitées dans le chapitre deux .

Chapitre 2

Modélisation inverse de la machine asynchrone

II -1 Introduction

Le moteur asynchrone est un système non linéaire, multi-variables et fortement couplé, ses paramètres varient continuellement dans le temps et il est sujet à des perturbations inconnues. Toutes ces caractéristiques rendent la commande de cette machine de plus en plus complexe. Par conséquent, la conservation de la nature non linéaire de la machine, la poursuite de trajectoires prédéterminées, la robustesse aux variations paramétriques et le rejet des perturbations inconnues sont des objectifs à satisfaire lors d'une mise en œuvre d'une stratégie de commande.

Dans [4], [7], les auteurs proposent une solution pour la commande non linéaire par l'utilisation un modèle de poursuite pour générer les trajectoire de référence pour stabiliser la machine autour des trajectoires, c'est l'objectif de notre travail. Il s'agit d'introduire la notion de commande de référence non linéaire en boucle ouverte où la machine asynchrone permettant de réaliser un suivi de trajectoires de référence .alors le chapitre expose le détail des équations et de calculs permettant de remonter à l'expression de la commande en tension et illustrer à travers des résultats de simulation l'application de la commande en tension sur la machine asynchrone.

II.2 Modélisation inverse de la machine asynchrone

Le but de l'approche proposée en [4], est d'exploiter les équations générales de la représentation biphasée du système d'axe (α, β) lié au stator pour concevoir un modèle inverse de la machine qu'on peut utiliser comme modèle de référence dans la commande . Ce modèle est exprimé à partir des sorties choisies (vitesse et flux) , ainsi qu'un nombre fini de leurs dérivées.

On peut schématiser l'application de la Modélisation inverse de la machine asynchrone d'une manière plus simple par la figure ci-dessous :

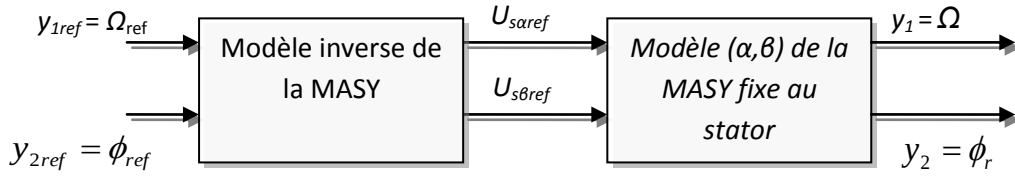


Figure II.1 : Modèle inverse de la machine asynchrone + *Modèle (α,β) de MAS*

À partir de la modélisation deux phases présentées au premier chapitre, nous mettons en évidence la possibilité de remonter la Modélisation inverse en tension c'est-à-dire que l'entrée de la machine correspond aux deux composantes du vecteur tension $U_{s\alpha}$ et $U_{s\beta}$ alors que le vecteur de sortie est:

$$y = \begin{pmatrix} y_1 = \omega \\ y_2 = \sqrt{\phi_{r\alpha}^2 + \phi_{r\beta}^2} = \phi_r \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Le modèle inverse est développé à partir des équations électromécanique et électriques de la machine.

L'équation électromécanique :

$$J \frac{d\omega}{dt} = p l_m (\vec{\phi}_r \vec{I}_r) - f_r \omega - TL \quad (2.2)$$

Le flux rotorique est exprimé sous sa forme complexe:

$$\text{Où } \vec{\phi}_r = \phi_r e^{j\rho} \quad (2.3)$$

Avec ϕ_r : représente l'amplitude du flux rotorique.

ρ : représente sa position.

L'équation électrique du rotor :

$$\frac{d\vec{\phi}_r}{dt} - j\rho \omega \vec{\phi}_r + R_r \vec{I}_r = 0 \quad (2.4)$$

Le couple produit par le moteur est le suivant :

$$T_{em} = p l_m (\vec{\phi}_r \vec{i}_r) = \frac{p}{R_r} \phi_r^2 (\dot{\rho} - p\omega) \quad (2.5)$$

En remplaçant T_{em} de (2.5) dans (2.3), l'équation électromécanique devient :

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{R_r} \phi_r^2 (\dot{\rho} - p\omega) - f_r \omega - T_L \quad (2.6)$$

Alors:

$$\rho = \frac{R_r}{p} \int_0^t \left(\frac{J\dot{\omega}}{\phi_r^2} + \frac{f_r \omega}{\phi_r^2} + \frac{T_L}{\phi_r^2} + \frac{p^2}{R_r} \omega \right) d\tau \quad (2.7)$$

En considérant le couple de charge T_L nul, pour avoir des relations seulement en fonction des sorties, le flux rotorique peut être déterminé en fonction des sorties prédéterminées :

$$\vec{\phi}_r = y_2 \exp \left(j \frac{R_r}{p} \int_0^t \left(\frac{J\dot{y}_1}{y_2^2} + \frac{f_r y_1}{y_2^2} + \frac{p^2}{R_r} y_1 \right) d\tau \right) \quad (2.8)$$

À partir de (2.4) et (2.8), le courant rotorique peut être exprimé par :

$$\vec{i}_r = -\frac{1}{R_r} \left(\frac{d\vec{\phi}_r}{dt} - j p \omega \vec{\phi}_r \right) = -\frac{1}{R_r} \left[\dot{y}_2 + j \frac{R_r}{p} \left(\frac{J\dot{y}_1}{y_2} + \frac{f_r y_1}{y_2} \right) \right] \exp(j\rho) \quad (2.9)$$

À partir de (2.8), (2.9) et l'équation du flux rotorique :

$$\vec{\phi}_r = L_m \vec{i}_s + L_r \vec{i}_r \quad (2.10)$$

on obtient le courant statorique :

$$\vec{i}_s = \frac{1}{L_m} \left[y_2 + T_r (\dot{y}_2 + j(\dot{\rho} - p y_1) y_2) \right] \exp(j\rho) \quad (2.11)$$

Le flux statorique est donné par :

$$\vec{\Phi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_r \quad (2.12)$$

À partir de (2.9), (2.11) et le flux statorique de (2.12) peut être exprimé par :

$$\vec{\Phi}_s = \left(\frac{L_s}{L_m} y_2 + \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m R_r} (\dot{y}_2 + j(\dot{\rho} - p y_1) y_2) \right) \exp(j\rho) \quad (2.13)$$

Finalement, la tension statorique peut être exprimée par:

$$\begin{aligned} \vec{U}_s &= u_{s\alpha} + j u_{s\beta} = R_s \vec{I}_s + \frac{d\vec{\Phi}_s}{dt} \\ &= \frac{R_s}{L_m} (y_2 + T_r (\dot{y}_2 + j(\dot{\rho} - p y_1) y_2)) \exp(j\rho) + \frac{d}{dt} \left\{ \left(\frac{L_s}{L_m} y_2 + \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m R_r} (\dot{y}_2 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. j(\dot{\rho} - p y_1) y_2) \right) \exp(j\rho) \right\} \end{aligned} \quad (2.14)$$

En décomposant la tension $\vec{U}_s$ dans le référentiel (α, β) , les expressions suivantes sont obtenues :

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = (y_2 \cos \rho + T_r \dot{y}_2 \cos \rho - T_r y_2 (\dot{\rho} - p y_1) \sin \rho) + \frac{L_s}{L_m} (\dot{y}_2 \cos \rho - y_2 \dot{\rho} \sin \rho) + \\ \quad \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m R_r} (\ddot{y}_2 \cos \rho - y_2 (\dot{\rho} - p y_1) \dot{\rho} \cos \rho - y_2 (\ddot{\rho} - p \dot{y}_1) \sin \rho - \dot{y}_2 \dot{\rho} \sin \rho - \dot{y}_2 (\dot{\rho} - p y_1) \sin \rho) \\ u_{s\beta} = \frac{R_s}{L_m} (y_2 \sin \rho + T_r \dot{y}_2 \sin \rho + T_r y_2 (\dot{\rho} - p y_1) \cos \rho) + \frac{L_s}{L_m} (\dot{y}_2 \sin \rho + y_2 \dot{\rho} \cos \rho) + \\ \quad \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m R_r} (\ddot{y}_2 \sin \rho - y_2 (\dot{\rho} - p y_1) \dot{\rho} \sin \rho + y_2 (\ddot{\rho} - p \dot{y}_1) \cos \rho + \dot{y}_2 \dot{\rho} \cos \rho + \dot{y}_2 (\dot{\rho} - p y_1) \cos \rho) \end{cases} \quad (2.15)$$

Les variables d'état $(\phi_{r\alpha}, \phi_{r\beta}, i_{s\alpha}, i_{s\beta}, \Omega)$, ainsi que la tension d'entrée du stator sont complètement exprimées dans la formulation désirée mais une intégration apparaît dans l'expression des états et de commande, il est ainsi possible de calculer numériquement une commande de référence en boucle ouverte à partir des trajectoires planifiées du vecteur de

sortie (y_1, y_2) c'est-à-dire de réaliser un suivi de trajectoires en vitesse avec maintien du flux dans le rotor.

A partir des deux équations précédentes, on remarque qu'il y a besoin de calculer les dérivées jusqu'à l'ordre deux des trajectoires de référence désirées (y_{1ref}, y_{2ref}), aussi la dérivée de l'angle ρ et la première dérivée de δ , ces dérivées sont obtenues à partir des équations (2-7) et (2-11) de la façon suivante :

$$\dot{\delta} = \frac{R_r}{p\phi_r^2} (J\dot{\delta} + f\Omega) \quad (2-16)$$

$$\dot{\delta} = \dot{\delta} + p\Omega \quad (2-17)$$

On applique maintenant cette loi de commande à la machine asynchrone modélisée dans le repère (α, β) lié au stator comme nous l'avons vu auparavant dans le premier chapitre.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \Phi_{r\alpha} \\ \Phi_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\gamma & 0 & \frac{k}{T_r} & pk\omega(t) \\ 0 & -\gamma & -pk\omega(t) & \frac{k}{T_r} \\ \frac{L_m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & -pk\omega(t) \\ 0 & \frac{L_m}{T_r} & p\omega(t) & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{s\alpha} \\ U_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

On peut déduire un schéma de l'application de cette commande non linéaire en tension en boucle ouverte pour la vitesse et le flux d'après la figure suivante:

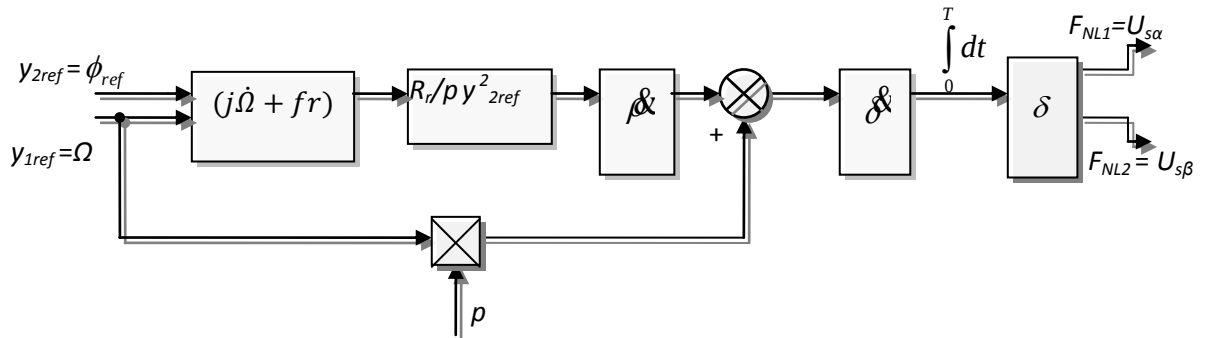


Figure II. 2 : schéma général du calcul de la commande en tension

II -3 Application de la commande non linéaire en tension à la machine asynchrone

Nous avons vu que la commande non linéaire en tension fait apparaître pour la vitesse et le flux des dérivées jusqu'à l'ordre deux. De manière générale pour les trajectoires de référence, la méthodologie choisie est d'appliquer aux consignes de vitesse et de flux un filtre du second ordre distincts, permettant d'obtenir les trajectoires de référence finales qui soient dérivables deux fois. Pour le flux rotorique nous avons pris une trajectoire de référence constante de (1.14 Wb) correspondant au niveau du flux nominal et pour le trajectoire de la vitesse, la consigne choisie est comme suivante :

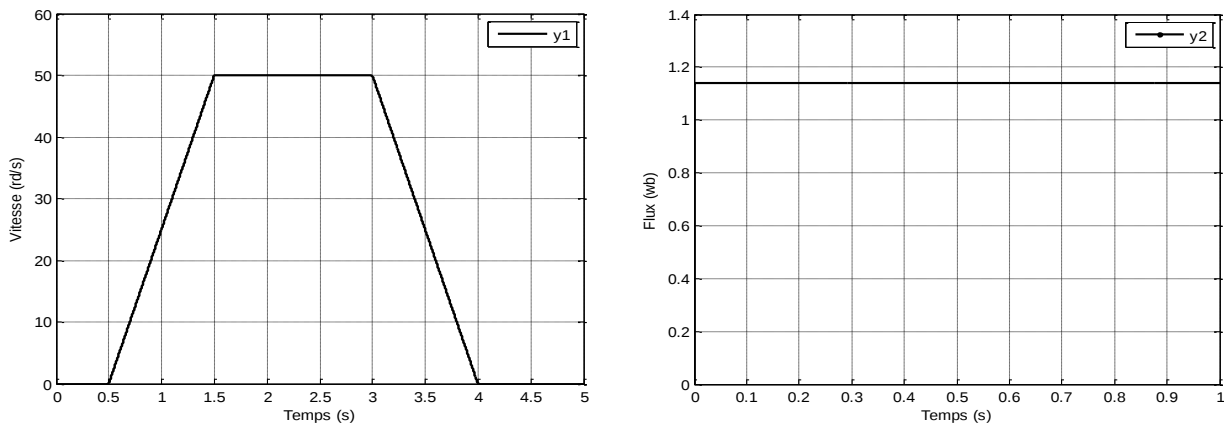


Figure II. 3: trajectoire de référence du flux et de la vitesse

II.4 Résultats de simulation

Les résultats de simulation sont donnés par la figure (II.4) sur la base des paramètres de la machine asynchrone avec les caractéristiques principales suivantes:

$$\begin{aligned}
 R_s &= 8 \, \Omega ; R_r = 3.6 \, \Omega ; & L_s &= 0.47 \, \text{H}; & L_r &= 0.47 \, \text{H}; & M &= 0.452 \, \text{H} & p &= 2 ; \\
 J &= 0.015 \, \text{Kg.m}^2 ; & f &= 0.01 \, \text{N.m.s}^{-1}; & \phi_r &= 1.14 \, \text{Wb}; & C_{nom} &= 5 \, \text{Nm}
 \end{aligned}$$

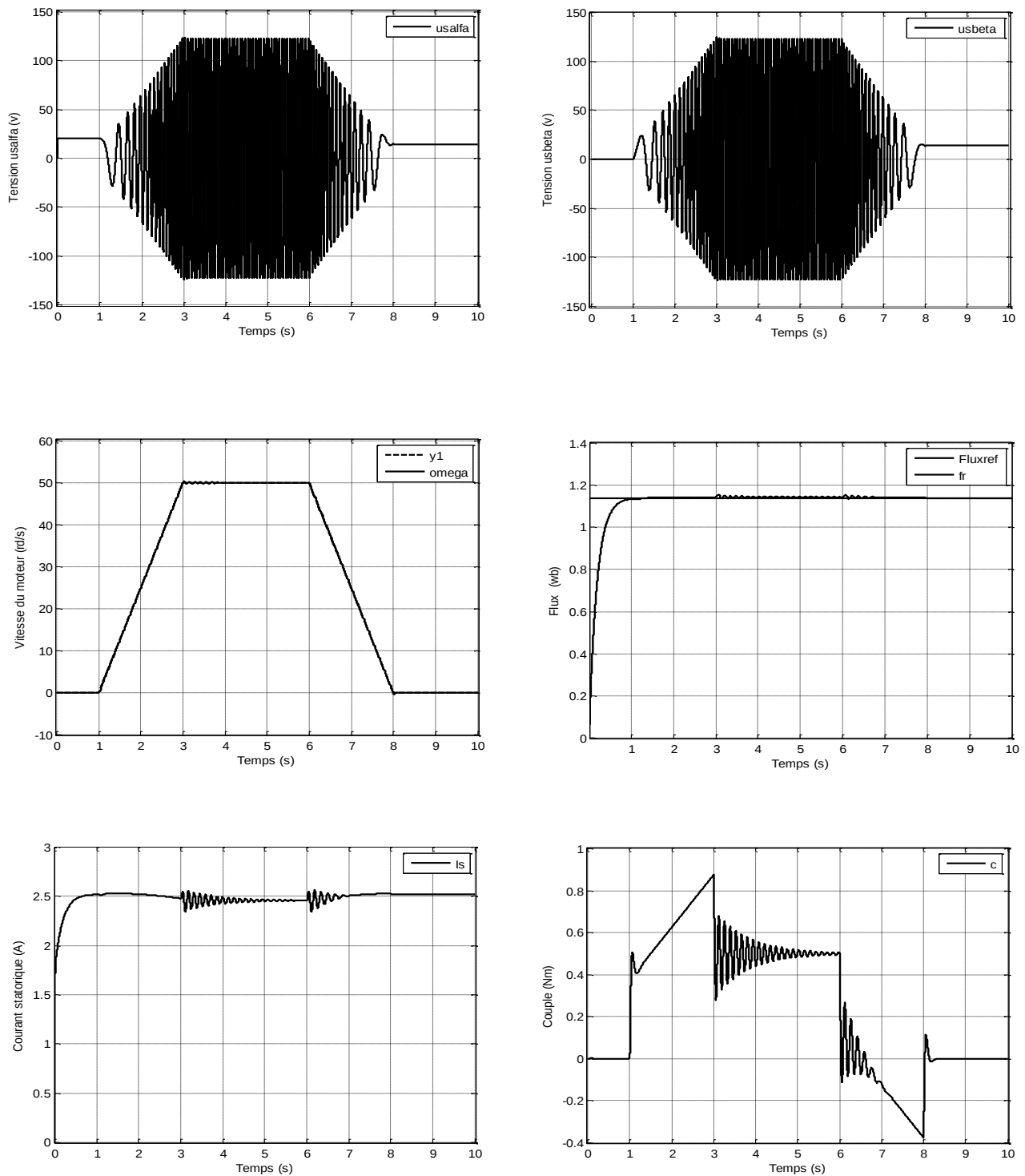


Figure II.4: résultats de simulation de la commande en tension +Machine

Les résultats de simulation obtenus mettent en évidence les remarques suivantes :

- ✓ La modélisation inverse de la machine asynchrone est fonction des sorties à contrôler (vitesse et flux) car l'enveloppe des tensions correspondant à la dynamique de la vitesse avec un flux constant.
- ✓ Les résultats montrés la possibilité de résoudre le problème de poursuite de trajectoires prédéterminées pour un moteur asynchrone avec de bonnes performances.
- ✓ Le courant statorique suit à son tour les variations du couple moteur.

II.5 Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons pu voir, la mise au point de la commande de référence en tension est obtenue par inversion du système, à partir de la planification des trajectoires de références de la vitesse et du flux rotorique. La commande en tension est déterminée uniquement en fonction des sorties choisies pour l'objectif de commande (vitesse et flux). En effet, la démarche d'écrire tout l'état en fonction des sorties planifiée permet de résumer le comportement du système par le profil des trajectoires de références.

La commande, décrite dans ce chapitre est en boucle ouverte, ce qui ne permet pas de corriger l'erreur entre la sortie du système et la référence. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir une stratégie de stabilisation autour des trajectoires en boucle fermée.

Conclusion générale

Dans Ce mémoire, différentes approches de modélisation de la machine asynchrone ont été présentées brièvement, l'accent étant mis sur les modèles biphasés représentés dans des repères tournant et fixe. Le choix de cette représentation permet de modéliser la machine sous forme d'un modèle d'état qu'on peut utiliser pour la commande et l'observation. En plus, un modèle inverse de la machine est présenté, où les états et les entrées du modèle de la machine peuvent être définis en fonctions de ses sorties . Ce modèle peut être utilisé dans des applications de commande.

Le modèle d'état choisi dans ce travail pour décrire le moteur asynchrone est celui d'un système non linéaire avec comme entrées les tensions statoriques. Le choix des sorties est lié à la nature de l'étude effectuée sur la machine. Dans le cas de la commande d'un système, les sorties sont la vitesse rotorique et la norme du flux rotorique. Pour l'observation d'état, les sorties doivent être connues par mesure, alors les courants statoriques sont pris comme sorties.

L'étude théorique de la modélisation inverse de la machine asynchrone a montré la possibilité de résoudre le problème de poursuite de trajectoires prédéterminées pour un moteur asynchrone avec de bonnes performances (exigé dans le domaine de la robotique surtout).

Cette commande est moins performante (pas de corriger l'erreur entre la sortie du système et la référence du moment) que cette commande non linéaire est en boucle ouverte, d'où la nécessité d'un bouclage fermé pour stabiliser les sorties autour des trajectoires de références.

Perspectives

Le travail réalisé ouvre un certain nombre de perspectives. Parmi les problèmes qui n'ont pas été abordés ici et qui peuvent faire l'objet d'une recherche future, on peut citer les points suivants:

- ✓ nécessité d'un bouclage fermé pour stabiliser les sorties autour des trajectoires de références(contrôleur PID , PI ou prédictive) pour augmenter les performances de suivi de trajectoires.
- ✓ Insertion d'observateur pour l'estimation du flux rotorique
- ✓ Inclure dans la modélisation du moteur asynchrone les équations de l'onduleur, pour agir directement au niveau du modèle en ce qui concerne le problème des temps morts de l'onduleur pour une commande en tension.

Bibliographie

- [1] **zine bachir.** contrôle directe de couple de la machine asynchrone , mémoire d'ingénieure , université Batna 2010.

- [2] **Lameche Toufik,** "Développement et Implémentation par Logique Floue d'une Commande DTC d'un Moteur à Induction Alimenté par un Onduleur de Tension PWM,". Thèse de Magister, Université de Sétif, 2003.

- [3] **D. aguglia.** Identification des paramètres du moteur à induction triphasé en vue de sa commande vectorielle . Maître ès Sciences (M.S.c) Université Laval 2004.

- [4] **A. Merabet .** Commande non linéaire à modèle prédictif pour une machine asynchrone. Thèse doctorat, Université du Québec Mai 2007.

- [5] **G. Abdelhalim.** Diagnostic et surveillance de la machine asynchrone triphasé . mémoire de majester, Université de Batna 2007.

- [6] **Z. saida.** Commande non linéaire du moteur à induction. mémoire de majester, Université de Batna 2006.

- [7] **L.zakaria.** Commande prédictive non linéaire de la machine à induction. mémoire de majester, Université d'Oum El Bouaghi. 2009.

- [8] **H. Tamrabet..** Roubustesse d'un contrôle vectoriel de structure minimale d'une machine asynchrone.Thèse de Magister Batna 2006.