

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie électrique et Electronique

Spécialité : Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques

Thème

**Modélisation et Simulation de La Machine
Asynchrone à Double Alimentation**

Proposé et dirigé par :

Mr: B.ZEGUEB

Réalisé par :

HOUAS MOURAD

MESSAI AHMED SACI

Sommaire

LISTE DES FIGURES

NOTATIONS SYMBOLIQUES

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction Générale 1

Chapitre I

Généralités sur la Machine Asynchrone à Double Alimentation

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction | 3 |
| I.2 Description de la machine à double alimentation | 3 |
| I.3 Description du fonctionnement de la MADA | 3 |
| I.3.1 Structure de la machine | 3 |
| I.3.2 Modes de fonctionnement de la MADA | 4 |
| I.3.2.1 Fonctionnement en mode moteur hypo synchrone | 4 |
| I.3.2.2 Fonctionnement en mode moteur hyper synchrone | 5 |
| I.3.2.3 Fonctionnement en mode générateur hypo synchrone | 5 |
| I.3.2.4 Fonctionnement en mode générateur hyper synchrone | 6 |
| I.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone à double alimentation | 6 |
| I.5 Régime de fonctionnement de la machine asynchrone à double alimentation | 8 |
| I.5.1 Régime de fonctionnement synchrone | 8 |
| I.5.2 Régime de fonctionnement asynchrone | 8 |
| I.6 Avantages et inconvénients de la MADA | 8 |
| I.6.1 Avantages de la MADA | 8 |
| I.6.2 Inconvénients de la MADA | 9 |
| I.7 Domaines d'application de la MADA | 10 |
| I.8 Conclusion | 11 |

Chapitre II

Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation

| | |
|--|----|
| II.1 Introduction | 12 |
| II.2 Modèle Mathématique de la MADA | 12 |
| II.2.1 Hypothèses de simplification | 12 |
| II.2.2 Modèle effectif de la MADA | 13 |
| II.2.3 Equations électriques de la MADA | 13 |
| II.2.4 Application de la transformation de Park à la MADA | 16 |
| II.2.5 Mise en équation de la MADA dans le repère de Park | 17 |
| II.2.5.1 Equations des tensions | 18 |
| II.2.5.2 Equations des flux | 18 |
| II.2.5.3 Choix du référentiel | 19 |
| II.2.5.4 Expression du couple électromagnétique de la MADA | 21 |
| II.3 Mise en équation d'état | 21 |
| II.4 Conclusion | 23 |

Chapitre III

Simulation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction | 24 |
| III.2 Schéma bloc de la simulation de la MADA | 24 |
| III.3 Résultats de simulation: ($V_r=7v$; $f_r=50Hz$) | 25 |
| III.4 Interprétations des résultats | 27 |
| III.5 Conclusion | 28 |
| Conclusion Générale | 29 |
| Annexes | |
| Bibliographie | |

Remerciements

Nous rendons nos profondes gratitude à dieu qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitude à nos parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Nous remercions nos encadreurs pour les efforts qu'ils ont déployés, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger.

Nous remercions aussi tout le corps enseignant et administratif qui ont contribué à notre formation universitaire.

Dédicace

*Avant tout, je tien à remercies le bon dieu, et l'unique
qui m'offre le courage .
et la volonté nécessaire pour affronter les différentes de
la vie,
Je dédie ce modeste travail*

A ma mère.

A mon père.

A mes frères et mes sœurs.

A ma touts famille.

A mes amis et mes collègues du promotion

2011

« Electrotechnique ».

A mes féaux amis (chaque un à son nom).

Mourad-saci

Chapitre I

| | |
|--|---|
| Figure(I.1) Principe du rotor bobiné | 3 |
| Figure(I.2) fonctionnement en mode moteur hypo synchrone | 4 |
| Figure(I.3) fonctionnement en mode moteur hyper synchrone | 5 |
| Figure(I.4) fonctionnement en mode générateur hypo synchrone | 5 |
| Figure(I.5) fonctionnement en mode générateur hyper synchrone | 6 |
| Figure (I.6) Fréquences de la MADA en fonction de glissement | 7 |
| Figure (I.7) Tension mesurée du rotor de la MADA en fonction de glissement | 7 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure(II.1) Représentation schématique d'une machine asynchrone à double alimentation | 13 |
| Figure(II.2) Principe de la transformation de Park appliquée à la MADA | 16 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Figure (III.1) Schéma bloc de la simulation de la MADA | 24 |
| Figure (III.2) Démarrage à vide de la MADA | 25 |
| Figure (III.3) Démarrage à vide avec application de couple de charge (5 N.m) à t = 1 s de la MADA | 26 |

NOTATIONS SYMBOLIQUES

| Symbole | Signification | Unité |
|----------------|--|-----------------|
| C_e | Couple électromagnétique | N.m |
| C_r | Couple résistant | N.m |
| f | Fréquence du réseau d'alimentation | Hz |
| f_r | Coefficient de frottement | N.m.s/rd |
| f_c | Fréquence de coupure | Hz |
| f_m | la fréquence de rotation du rotor | Hz |
| t | Temps | sec |
| i | Courant électrique | A |
| i_{abc} | Courants instantanés des phases statoriques | A |
| i_{ABC} | Courants instantanés des phases rotoriques | A |
| i_{dqor} | Composantes du courant rotorique dans le repère de Park | A |
| i_{dqos} | Composantes du courant statorique dans le repère de Park | A |
| i_{abc} | Courants instantanés des phases statoriques | A |
| u | Tension électrique | V |
| U_{abc} | Tensions instantanées des phases statoriques | V |
| U_{ABC} | Tensions instantanées des phases rotoriques | V |
| u_{dqor} | Composantes de tension rotorique dans le repère de Park | V |
| u_{dqos} | Composantes de tension statorique dans le repère de Park | V |
| U | Univers de discours | Sans unité |
| J | Moment d'inertie | $kg.m^2$ |
| L_r, L_s | Inductances cycliques, rotorique et statorique respectivement | H |
| L_{sr} | inductances mutuelles, entre le stator et le rotor | H |
| L_{aa} | Inductance propre d'une phase statorique | H |
| L_{ab} | Inductance mutuelle entre deux phases statoriques | H |
| L_{AA} | Inductance propre d'une phase rotorique | H |
| L_{AB} | Inductance mutuelle entre deux phases rotoriques | H |
| L_{aA} | Inductance mutuelle maximale entre une phase statorique et une phase rotorique | H |
| M | Inductance cyclique mutuelle | H |
| p | Nombre de paires de pôles | Sans unité |
| R_r, R_s | Résistances de phases, rotorique et statorique respectivement | Ω ou Ohm |
| ω_a | Vitesse angulaire du repère de park | rd/s |
| ω_r | Vitesse angulaire de rotation du rotor | rd/s |

| Symbole | Signification | Unité |
|----------------------|---|--------------|
| ω_n | Vitesse angulaire nominale de la machine | rd/s |
| ω_s | Vitesse angulaire de rotation du champ tournant | rd/s |
| Ω_r | Vitesse de rotation mécanique du rotor | rd/s |
| ϕ | Flux | Wb |
| ϕ_{abc} | flux statorique | Wb |
| ϕ_{ABC} | flux rotorique | Wb |
| ϕ_{dqr} | Composantes du flux rotorique dans le repère de Park | Wb |
| ϕ_{dqs} | Composantes du flux statorique dans le repère de Park | Wb |
| θ | Angle entre l'axe rotorique A et l'axe statorique a | rd |
| θ_r, θ_s | Angles électriques, rotorique et statorique | rd |
| X | Vecteur d'état | |
| A | Matrice d'évolution d'état du système | |
| B | Matrice de commande | |
| U | Vecteur du système de commande | |
| σ | Coefficient de dispersion de Blondel | Sans unité |

LISTE DES ABREVIATIONS

| Acronyme | Signification |
|-----------------|--|
| MADA | Machine Asynchrone à Double Alimentation |
| Park | Transformation de Park |

INTRODUCTION GENERALE

L'objectif de notre travail étudie la modélisation et simulation de la machine asynchrone à double alimentation .

La machine asynchrone à cage ou à double alimentation est essentiellement non linéaire, dû au couplage entre le flux et le couple électromagnétique. Le contrôle vectoriel par orientation du flux selon un axe privilégié permet d'assurer un découplage entre le flux et le couple. Un autre aspect extrêmement important dans la réalisation de variateurs est la notion de robustesse. Les modèles utilisés sont approximatifs et ont des paramètres variables selon l'état du système et son point de fonctionnement. La variation des paramètres électriques et mécaniques dégradent les performances des commandes et peuvent amener, dans certains cas, à des fonctionnements instables [6].

De nos jours, plusieurs travaux ont été orientés vers l'étude de la machine asynchrone à double alimentation. Cette dernière et grâce au développement des équipements de l'électronique de puissance et l'apparition des techniques de commande modernes présente une solution idéale pour les entraînements à hautes puissances et à vitesse variable. L'intérêt de telles machines est qu'elles assurent un fonctionnement à très basse vitesse. L'application potentielle de la MADA a été un sujet de recherche le long de la dernière décennie. L'association des machines asynchrones à double alimentation à des convertisseurs statiques permet de donner différentes stratégies de commande et présente un autre avantage d'utilisation de ces machines. L'alimentation du circuit rotorique à fréquence variable permet de délivrer une fréquence fixe au stator même en cas de variation de vitesse. Ce fonctionnement présente la machine asynchrone à double alimentation comme une alternative sérieuse aux machines synchrones classiques dans de nombreux systèmes de production d'énergie décentralisée. De plus, la présence d'un convertisseur entre le rotor et le réseau permet de contrôler le transfert de puissance entre le stator et le réseau [3].

Le premier chapitre présente une étude théorique sur la machine asynchrone à double alimentation concernant son principe de fonctionnement et les différentes stratégies de commande, ses inconvénients et ses avantages.

Le deuxième chapitre étudie la modélisation de la machine électrique est une phase primordiale de son développement, les progrès de l'informatique et du génie des logiciels permettent de réaliser des modélisations performantes et d'envisager l'optimisation des machines électriques.

Le troisième chapitre présenté la résultats de simulation de la machine asynchrone à double alimentation.

Chapitre : I

Généralités sur la MADA

I.1 Introduction:

Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence la machine asynchrone à double alimentation, afin d'étudier son principe de fonctionnement et d'évaluer les avantages et les performances apportées par cette machine, ainsi que les différents domaines d'application.

I.2 Description de la machine à double alimentation :

La machine à double alimentation en anglo-saxon "doubly-fed induction machine (DFIM) " est une machine triphasée à courant alternatif avec deux enroulements triphasés accessibles, dans lesquels la puissance peut être fournie ou extraite de la machine à travers les enroulements rotoriques.

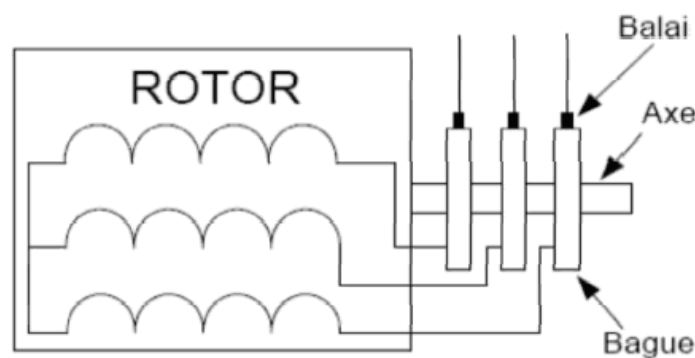
Ce type de machines nécessite une seule source d'alimentation qui peut être alimentée les deux cotés de la machine et ceci constitue un avantage principal surtout dans les domaines d'application à vitesse variable, où le glissement de la machine à double alimentation peut être contrôlé par l'association des convertisseurs de puissance du côté statorique ou rotorique ou bien des deux à la fois. Ceci dépend essentiellement du facteur technico-économique de construction, [1].

I.3 Description du fonctionnement de la MADA :

I.3.1 Structure de la machine:

Une MADA a un stator identique à celui d'une machine asynchrone à cage ou d'une machine synchrone. C'est le rotor qui diffère radicalement car il n'est pas composé d'aimants ou d'une cage d'écurieil mais d'enroulements triphasés disposés de la même manière que les enroulements statoriques.

On peut voir sur la figure (I.1) que les enroulements rotoriques sont connectés en étoile et les trois phases sont reliées à un système de contacts glissants (balais bagues collectrices) permettant d'avoir accès aux tensions et courants du rotor [2].



Figure(I.1) Principe du rotor bobiné.

I.3.2 Modes de fonctionnement de la MADA :

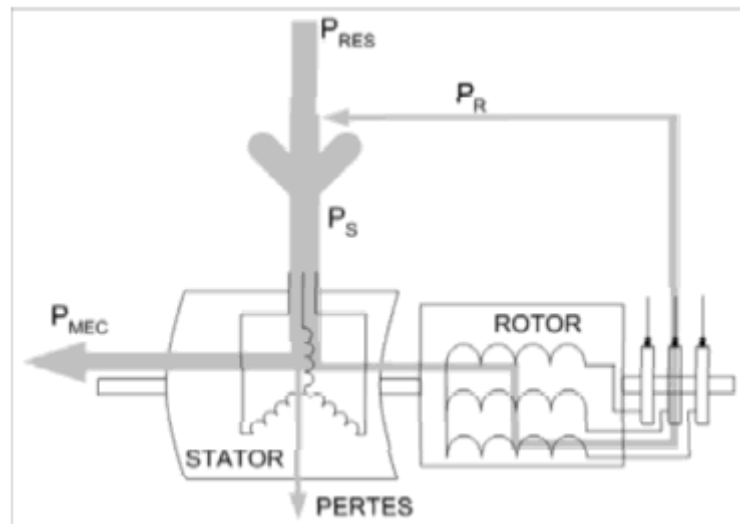
Seul le mode de fonctionnement avec le stator directement connecté au réseau et le rotor alimenté par un onduleur nous concerne dans cette étude.

Comme la machine asynchrone classique, la MADA permet de fonctionner en moteur ou en générateur mais la grande différence réside dans le fait que pour la MADA, ce n'est plus la vitesse de rotation qui impose le mode fonctionnement moteur ou générateur.

Effectivement, une machine à cage doit tourner en dessous de sa vitesse de synchronisme pour être en moteur et au dessus pour être en générateur. Ici, c'est la commande des tensions rotoriques qui permet de gérer le champ magnétique à l'intérieur de la machine, offrant ainsi la possibilité de fonctionner en hyper ou hypo synchronisme aussi bien en mode moteur qu'en mode générateur. Nous allons présenter successivement ces différents modes de fonctionnement [2].

I.3.2.1 Fonctionnement en mode moteur hypo synchrone:

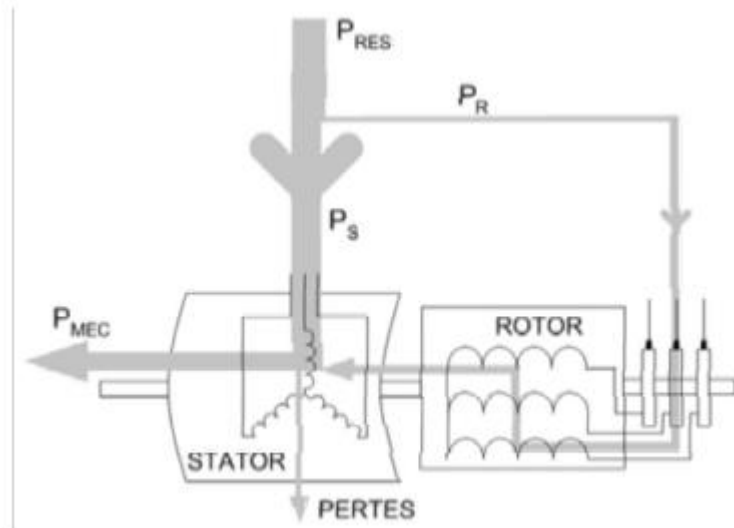
La figure (I.2) montre que la puissance est fournie par le réseau au stator et la puissance de glissement transite par le rotor pour être réinjectée au réseau. On a donc un fonctionnement moteur en dessous de la vitesse de synchronisme. La machine asynchrone à cage classique peut fonctionner ainsi mais la puissance de glissement est alors dissipée en pertes Joule dans le rotor [2].



Figure(I.2) fonctionnement en mode moteur hypo synchrone.

I.3.2.2 Fonctionnement en mode moteur hyper synchrone:

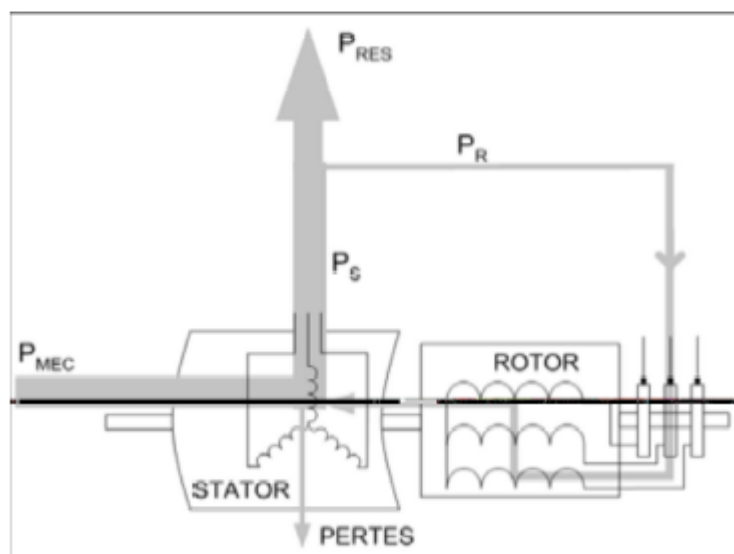
La figure (I.3) montre que la puissance est fournie par le réseau au stator et la puissance de glissement est également fournie par le réseau au rotor. On a donc un fonctionnement moteur au dessus de la vitesse de synchronisme. La machine asynchrone à cage classique ne peut pas avoir ce fonctionnement [2].



Figure(I.3) fonctionnement en mode moteur hyper synchrone.

I.3.2.3 Fonctionnement en mode générateur hypo synchrone:

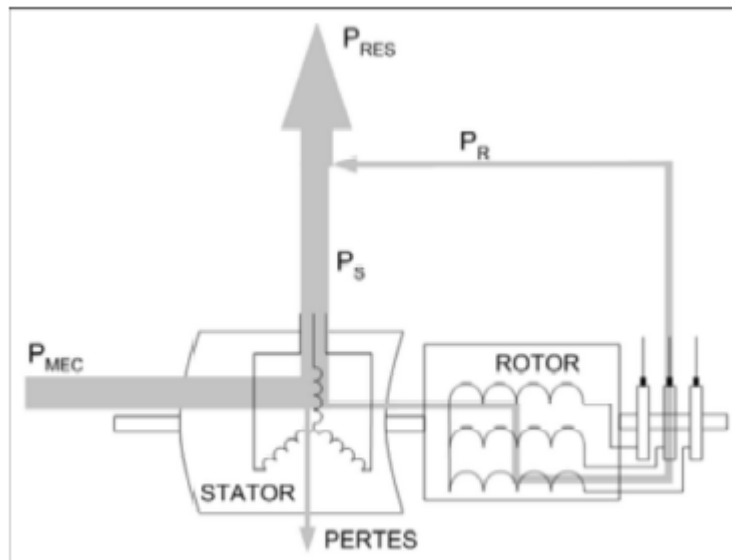
La figure (I.4) montre que la puissance est fournie au réseau par le stator. La puissance de glissement est aussi fournie par le stator. On a donc un fonctionnement générateur en dessous de la vitesse de synchronisme. La machine asynchrone à cage classique ne peut pas avoir ce mode fonctionnement [2].



Figure(I.4) fonctionnement en mode générateur hypo synchrone.

I.3.2.4 Fonctionnement en mode générateur hyper synchrone:

La figure (I.5) montre que la puissance est alors fournie au réseau par le stator et la puissance de glissement est récupérée via le rotor pour être réinjectée au réseau. On a donc un fonctionnement générateur au dessus de la vitesse synchronisme. La machine asynchrone à cage classique peut avoir ce mode de fonctionnement mais dans ce cas la puissance de glissement est dissipée en Joule dans le rotor [2].



Figure(I.5) fonctionnement en mode générateur hyper synchrone.

On peut donc remarquer que la MADA à deux principaux avantages sur la machine à cage classique: la production de puissance électrique quelle que soit sa vitesse de rotation (hypo ou hyper synchronisme) et la récupération de la puissance de glissement [2].

I.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone à double alimentation:

La MADA est une machine asynchrone à rotor bobiné avec l'enroulement du stator connecté directement au réseau. Le rotor a des enroulements triphasés reliés à un convertisseur de puissance bidirectionnel avec un système ballast bague. Le stator désigné par "s" et le rotor par "r", et par " n_p " le nombre de paires de pôles de la machine, défini par la relation entre la fréquence du stator et du rotor, comme suit :

$$f_s = f_r + n_p f_m \quad (\text{I.1})$$

Avec f_m : la fréquence de rotation du rotor.

Le glissement g est défini par :

$$g = \frac{f_r}{f_s} = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (\text{I.2})$$

n_m : est la vitesse mécanique du rotor et n_s la vitesse de synchronisme de la MADA donnée par :

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{n_p} \quad (\text{I.3})$$

Les figures (I-6) et (I-7) représentent l'évolution de la fréquence et de la tension du rotor en fonction du glissement, où le circuit du stator est alimenté directement par le réseau et le rotor en circuit ouvert, ces grandeurs dépendent de la vitesse opérationnelle de la machine, [12].

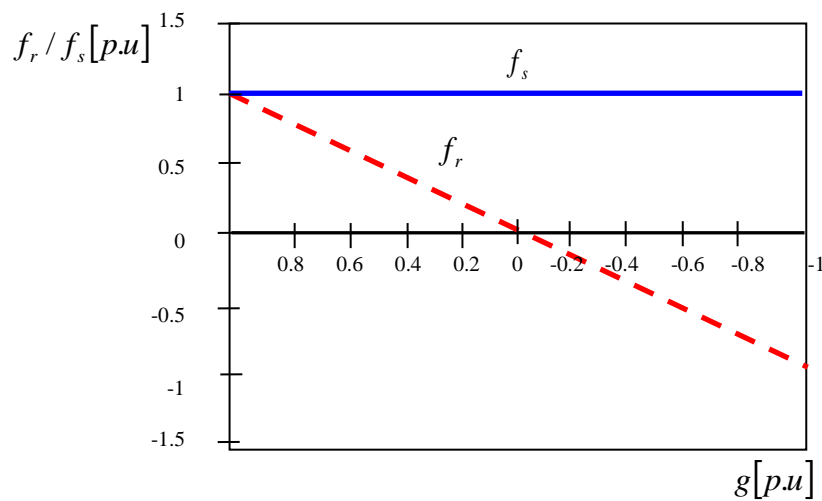


Figure (I.6) Fréquences de la MADA en fonction de glissement.

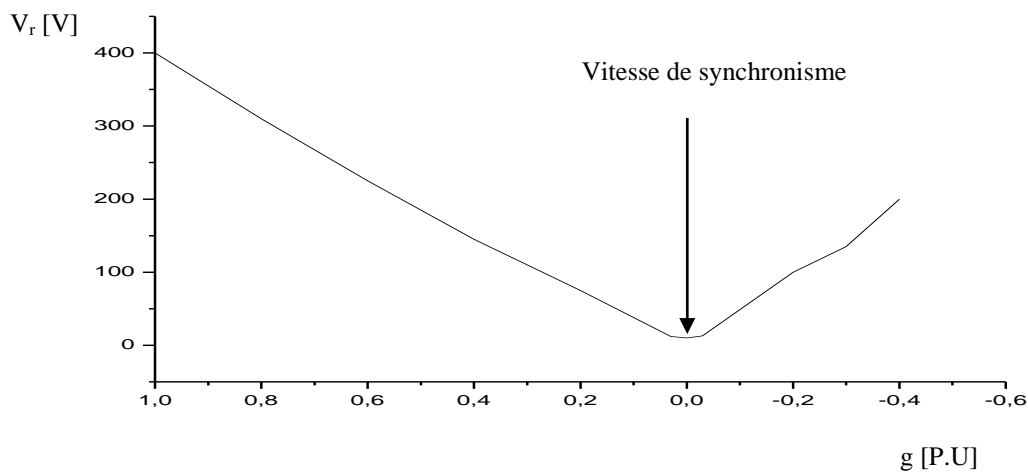


Figure (I.7) Tension mesurée du rotor de la MADA en fonction de glissement.

I.5 Régime de fonctionnement de la machine asynchrone à double alimentation:

Dans la machine à double alimentation, l'enroulement rotorique est couplé à une source de tension à fréquence variable. En fonction du type de régulation de fréquence, on distingue deux régimes fonctionnement : synchrone et asynchrone.

I.5.1 Régime de fonctionnement synchrone:

Pour ce régime, la fréquence du glissement est donnée indépendamment de la vitesse angulaire. alors à chaque signal de commande correspondent une fréquence déterminée f_r et une vitesse de fonctionnement ω_r qui ne dépend pas de la charge [4], en faisant varier la fréquence f_r , on peut varier la vitesse. En régime synchrone, la machine à double alimentation fonctionne comme une machine synchrone. Dans ce régime, on peut réguler la vitesse. Cependant il est difficile de maintenir la stabilité du régime pour des variations rapides de vitesse, de charge brusque, etc....

I.5.2 Régime de fonctionnement asynchrone :

Pour ce régime de fonctionnement, la fréquence de la tension du réseau appliquée à l'enroulement rotorique de la machine à travers un système de régulation est toujours maintenue égale à la fréquence du glissement $f_s g$. Dans ce cas, on ne régule que la valeur et la phase de la tension du réseau [4].

La machine à double alimentation fonctionne toujours comme un la machine asynchrone (même pour $\omega_r = \omega_s$); c'est à dire que le glissement du moteur varie la variation de la charge.

Dans la machine à double alimentation, il y a toujours deux sources de même fréquence v dans les enroulements rotoriques $f_s g$:

- La fem du rotor $E_{2cc} g$ (fem de court circuit).
- La tension externe d'alimentation du coté rotorique U_r .

I.6 Avantages et inconvénients de la MADA:

Comme les autres machines, la MADA présente quelques avantages et inconvénients qui sont liés à plusieurs facteurs, sa structure, sa stratégie de commande et ses applications.

I.6.1 Avantages de la MADA:

Comme avantages de la MADA, on peut citer :

- L'accessibilité au stator et au rotor offre l'opportunité d'avoir plusieurs degrés de liberté pour bien contrôler le transfert des puissances et le facteur de puissance avec

toutes les possibilités de récupération ou l'injection d'énergie dans les enroulements de la machine [5].

- La capacité de pouvoir augmenter la plage de variation de la vitesse autour de la vitesse de synchronisme. De plus, l'application de la commande vectorielle associée à une technique de commande moderne permet d'obtenir un couple nominal sur une grande plage de vitesse [6].
- Dans la MADA, le circuit rotorique peut être piloté par un convertisseur de fréquence de puissance relativement faible par rapport au stator. Ce convertisseur rotorique de haute commutation est utilisé pour réaliser de hautes performances dynamiques en terme de temps de réponse, de minimisation des harmoniques et d'amélioration de rendement [5].
- L'utilisation d'une MADA permet de réduire la taille des convertisseurs d'environ 70 % en faisant varier la vitesse par action sur la fréquence d'alimentation des enroulements rotoriques. Ce dispositif est par conséquent économique et, contrairement à la machine asynchrone à cage, il n'est pas consommateur de puissance réactive et peut même être fournisseur [3].
- En fonctionnement générateur, l'alimentation du circuit rotorique à fréquence variable permet de délivrer une fréquence fixe au stator même en cas de variation de vitesse. Ce fonctionnement présente la MADA comme une alternative sérieuse aux machines synchrones classiques dans de nombreux systèmes de production d'énergie décentralisée [3].
- Son utilisation est préférée pour ses propriétés de réglage de vitesse par action sur des résistances placées dans le circuit rotorique, et encore sa possibilité de démarrer sans demander un courant important du réseau [3].

Un fonctionnement en régime dégradé, si l'un des deux onduleurs tombe en panne, plus souple que la machine à simple alimentation [6].

I.6.2 Inconvénients de la MADA:

Tout d'abord, la MADA est une machine asynchrone ; alors le premier inconvénient est que sa structure est non linéaire, ce qui implique la complexité de sa commande. En plus de ça, on peut citer les inconvénients suivants :

- Le marché traditionnel est conquis par la MAS à cage, très étudiée et très connue, la nouveauté peut effrayer [7].

- Elle est plus volumineuse qu'une MAS à cage de puissance équivalente. L'aspect multi-convertisseurs, augmente le nombre de convertisseurs et par conséquent le prix [7].
- Nous utilisons un nombre des convertisseurs (deux redresseurs et deux onduleurs ou un redresseur et deux onduleurs) plus importants que la machine à cage (un redresseur et un onduleur) [6].
- Un autre inconvénient apparaît lors de l'étude de cette machine, ce dernier est la stabilité notamment en boucle ouverte. En effet, dans le cas de la machine asynchrone conventionnelle celle-ci est garantie par la relation fondamentale de l'autopilotage réalisant l'asservissement de la vitesse par la fréquence du stator. Par conséquent, les deux forces magnétomotrices du stator et du rotor deviennent synchronisées. Mais dans le cas de la machine asynchrone à double alimentation, la rotation des forces magnétomotrices devient fonction des fréquences imposées par les deux sources d'alimentation externes. De ce fait, une certaine synchronisation entre elles est exigée afin de garantir une stabilité à la machine [3].

I.7 Domaines d'application de la MADA :

Actuellement la machine asynchrone à double alimentation occupe une large place dans les applications industrielles, grâce à ces nombreux avantages. En effet, la MADA est très utilisée en mode générateur dans les applications d'énergie renouvelable notamment dans les systèmes éoliens [3].

De plus, le fonctionnement en générateur présente la MADA comme une alternative sérieuse aux machines synchrones classiques dans de nombreux systèmes de production d'énergie décentralisée telles que [3] :

- Les générateurs des réseaux de bord des navires ou des avions ;
- Les centrales hydrauliques à débit et vitesse variable ;
- Les groupes électrogènes pour lesquels la réduction de vitesse pendant les périodes de faible consommation permet de réduire sensiblement la consommation de carburant.

La MADA peut être utilisée aussi dans d'autres applications importantes nécessitant un fort couple de démarrage, telles que [7] :

- La métallurgie avec les enrouleuses et les dérouleuses de bobines ;
- La traction, avec notamment des applications de type transport urbain ou propulsion maritime ;

- Et enfin l'application de levage, les ascenseurs, les monte-charges etc... .

On note que les applications de la MADA en moteur sont relativement très limitées, parmi celles-ci on trouve principalement, la traction électrique et les systèmes de pompage.

I.8 Conclusion:

Dans ce chapitre un aperçu général sur les machines électriques et leurs applications ont été donnés ainsi que les différents types de fonctionnement. De même que le principe de fonctionnement de cette dernière ont été présentés.

La maîtrise et la compréhension du comportement de ce type des machines passe obligatoirement par une étude modélisation, qui est l'objectif du chapitre suivant.

Chapitre : II

Modélisation de la MADA

II.1 Introduction :

La modélisation de la machine électrique est une phase primordiale de son développement, les progrès de l'informatique et du génie des logiciels permettent de réaliser des modélisations performantes et d'envisager l'optimisation des machines électriques.

Ainsi la modélisation permet de guider les développements par une quantification des phénomènes. En outre elle est d'un apport précieux en permettant d'une part de restituer une image de ce que l'on peut observer expérimentalement et d'autre part de prévoir des comportements de la machine plus variés que ceux de l'observation expérimentale.

Pour obtenir le modèle d'un système ; trois tâches doivent être accomplies : choisir le modèle, déterminer ses paramètres et enfin vérifier sa validité [8].

II.2 Modèle Mathématique de la MADA:

Mathématiquement, les machines électriques sont représentées par des modèles entrées/sorties sous forme de fonction de transfert ou encore sous forme standard d'équations en variable d'état. Ce modèle mathématique a pour but de simplifier l'étude de la machine, il est basé sur la transformation des enroulements de la machine originale en des enroulements équivalents du point de vue électrique et magnétique disposés selon des axes fictifs. Cette transformation a pour effet de rendre les inductances propres et mutuelles du modèle indépendantes de la rotation [9].

II.2.1 Hypothèses de simplification :

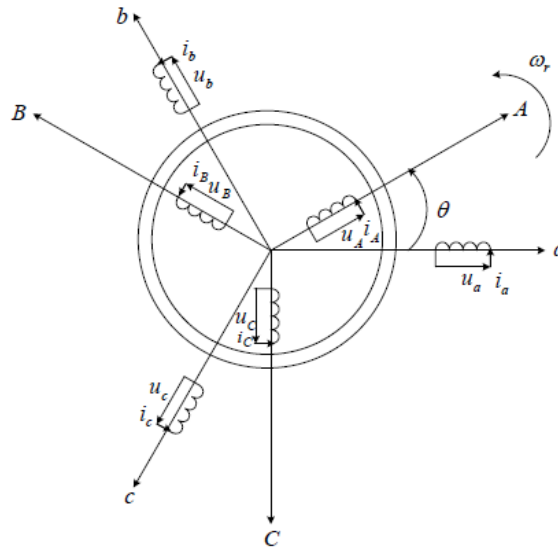
Pour simplifier l'étude de la machine asynchrone idéalisée, on considère les hypothèses simplificatrices suivantes [9] :

- ❖ La parfaite symétrie de la machine tant magnétique qu'électrique.
- ❖ Les forces magnétomotrices créées par chaque phase du stator ou rotor ont une répartition sinusoïdale.
- ❖ L'effet de la variation de la température sur les résistances statorique et rotorique est négligeable.
- ❖ On néglige l'effet de peau.
- ❖ L'entrefer est constant.
- ❖ Le circuit magnétique non saturé et perméabilité constante.
- ❖ Les pertes ferromagnétiques négligeables.

II.2.2 Modèle effectif de la MADA :

La machine asynchrone à double alimentation peut être modélisée par six équations électriques et une seule équation mécanique qui concerne la dynamique du rotor. Elle peut être schématisée par la figure (II.1).

Les phases sont désignées par a, b, c pour le stator et A, B, C pour le rotor. L'angle électrique θ définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases statoriques et rotoriques.



Figure(II.1) Représentation schématique d'une machine asynchrone à double alimentation.

II.2.3 Equations électriques de la MADA :

Les enroulements illustrés par la figure (II.1) obéissent aux équations électriques qui s'écrivent sous la forme matricielle suivante.

$$[U_{abc}] = R_s [i_{abc}] + \frac{d[\phi_{abc}]}{dt} \quad (\text{II.1})$$

$$[U_{ABC}] = R_r [i_{ABC}] + \frac{d[\phi_{ABC}]}{dt} \quad (\text{II.2})$$

Où :

R_s est la résistance d'une phase statorique ;

R_r est la résistance d'une phase rotorique.

Les matrices suivantes représentent respectivement :

$[U_{abc}] = [U_a U_b U_c]$: le vecteur des tensions statoriques ;

$[i_{abc}] = [i_a i_b i_c]$: le vecteur des courants statoriques ;

$[\phi_{abc}] = [\phi_a \phi_b \phi_c]^t$: le vecteur des flux statoriques.

On définit de même, par changement d'indices, les vecteurs rotoriques :

$[U_{ABC}] = [U_A U_B U_C]^t$: le vecteur des tensions rotoriques ;

$[i_{ABC}] = [i_A i_B i_C]^t$: le vecteur des courants rotoriques ;

$[\phi_{ABC}] = [\phi_A \phi_B \phi_C]^t$: le vecteur des flux rotoriques.

Les équations des flux totalisés couplés avec les phases statoriques et rotoriques, sont données par les expressions suivantes :

Pour le stator :

$$[\phi_{abc}] = [L_s][i_{abc}] + [L_{sr}][i_{ABC}] \quad (\text{II.3})$$

Pour le rotor :

$$[\phi_{ABC}] = [L_r][i_{ABC}] + [L_{sr}][i_{abc}] \quad (\text{II.4})$$

Où : $[L_s]$ est la matrice des inductances statoriques, elle est donnée par :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{aa} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{ab} & L_{aa} \end{bmatrix}$$

$[L_r]$ est la matrice des inductances rotoriques, elle est donnée par :

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AB} \\ L_{AB} & L_{AA} & L_{AB} \\ L_{AB} & L_{AB} & L_{AA} \end{bmatrix}$$

Et $[L_{sr}]$ est la matrice des inductances mutuelles, entre le stator et le rotor, elle est donnée par:

$$[L_{sr}] = L_{aA} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos \theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos \theta \end{bmatrix}_{AB}$$

Avec :

L_{aa} : C'est l'inductance propre d'une phase statorique ;

L_{ab} : C'est l'inductance mutuelle entre deux phases statoriques ;

L_{AA} : C'est l'inductance propre d'une phase rotorique ;

L_{AB} : C'est l'inductance mutuelle entre deux phases rotoriques ;

L_{aA} : C'est l'inductance mutuelle maximale entre une phase statorique et une phase rotorique.

En introduisant les équations (II.3) et (II.4) dans les équations (II.1) et (II.2) respectivement, on obtient :

$$[U_{abc}] = R_s [i_{abc}] + [L_s] \frac{d[i_{abc}]}{dt} + \frac{d([L_{sr}] [i_{ABC}])}{dt} \quad (\text{II.5})$$

$$[U_{ABC}] = R_r [i_{ABC}] + [L_r] \frac{d[i_{ABC}]}{dt} + \frac{d([L_{sr}]^t [i_{abc}])}{dt} \quad (\text{II.6})$$

La dernière relation importante complétant le modèle de la machine asynchrone à double alimentation, est l'équation fondamentale mécanique décrivant la dynamique du rotor [10]. Cette équation est donnée par :

$$J \frac{d\Omega_r}{dt} + f_r \Omega_r = C_{em} - C_r \quad (\text{II.7})$$

Où :

J est le moment d'inertie du rotor de la machine en (kg.m²) ;

Ω_r est la vitesse angulaire mécanique du rotor en (rad/s) ;

$$\text{Avec : } \quad \Omega_r = \frac{\omega_r}{p}$$

Tel que :

p : est le nombre de paires de pôles ;

Ω_r : est la vitesse angulaire électrique de rotation du rotor ;

f_r : est le coefficient de frottement en (N.m.s/rd) ;

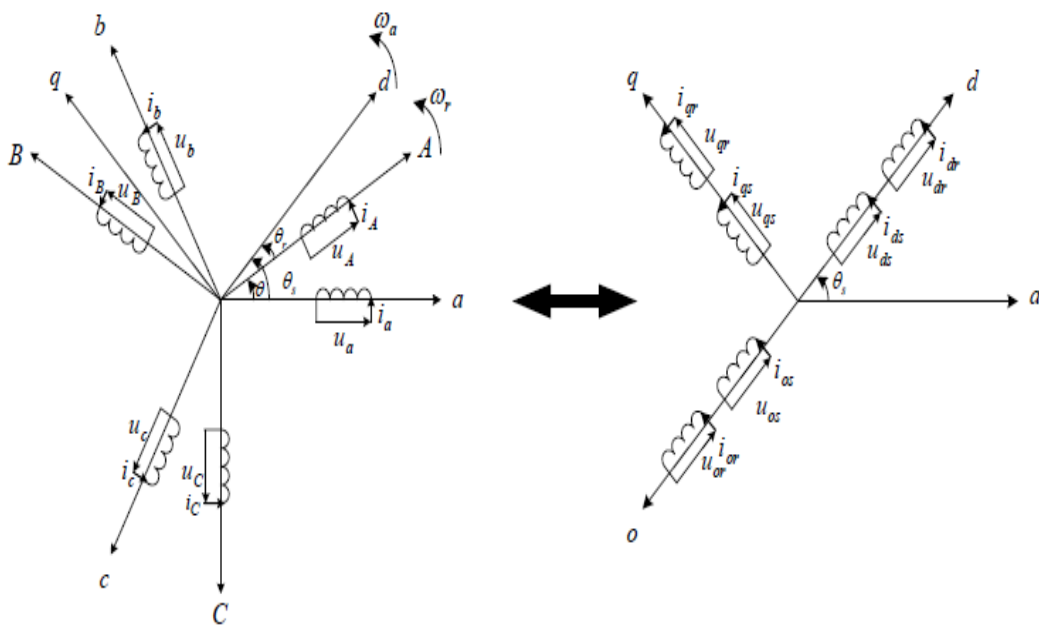
C_{em} est le couple électromagnétique en (N.m) ;

C_r est le couple résistant en (N.m).

Le modèle réel de la machine asynchrone à double alimentation est composé d'un ensemble d'équations différentielles ordinaires à coefficients variables en fonction de l'angle de rotation θ (voir la matrice des inductances mutuelles entre le stator et le rotor). On utilise la transformation de Park qui permet d'obtenir un système d'équations à coefficients constants, en transformant les enroulements statoriques et rotoriques en enroulements orthogonaux équivalents.

II.2.4 Application de la transformation de Park à la MADA:

Transformation de Park consiste à transformer un système d'enroulements triphasés d'axes a, b, c, en un système équivalent à deux enroulements biphasés d'axes d, q créant la même force magnétomotrice. La composante homopolaire intervient pour équilibrer le système transformé, c'est-à-dire, elle ne participe pas à la création de cette fmm de sorte que l'axe homopolaire peut être choisi orthogonal au plan (d,q). La condition de passage du système triphasé au système biphasé est la création d'un champ électromagnétique tournant avec des forces magnétomotrices égales. Ceci conduit à la conservation de puissances instantanées et la réciprocité des inductances mutuelles, et permet d'établir une expression du couple électromagnétique dans le repère correspondant au système transformé, qui reste invariable pour la machine réelle [11]. Le schéma de la figure (II-2) montre le principe de la transformation de Park appliquée à la machine asynchrone à double alimentation.



Figure(II.2) Principe de la transformation de Park appliquée à la MADA.

Où :

θ : est l'angle entre l'axe rotorique A et l'axe statorique a ;

θ_r : est l'angle entre l'axe rotorique A, et l'axe de Park direct d ;

θ_s : est l'angle entre l'axe statorique a, et l'axe de Park direct d ;

ω_a : est la vitesse angulaire du système d'axes (d, q) ;

ω_r : est la vitesse angulaire électrique rotorique.

Grâce à cette transformation, on définit une matrice unique appelée matrice de Park donnée par :

$$[A] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

Les grandeurs statoriques et rotoriques dans le repère de Park sont exprimées en utilisant les deux transformations suivantes :

- Pour le stator :

$$[X_{dqo}]_s = [A_s][X_{abc}] \quad (\text{II.8})$$

-Pour le rotor :

$$[X_{dqo}]_r = [A_r][X_{ABC}] \quad (\text{II.9})$$

Telle que X est une grandeur qui peut être une tension U, un courant I, ou un flux ϕ .

Avec :

$$[A_s] = [A(\psi = \theta_s)] \text{ et } [A_r] = [A(\psi = \theta_r)].$$

II.2.5 Mise en équation de la MADA dans le repère de Park:

Dans le repère de Park, on a les transformations suivantes :

- Pour les tensions :

$$[U_{dqo}]_s = [A_s][U_{abc}] \quad (\text{II.10})$$

$$[U_{dqo}]_r = [A_r][U_{ABC}] \quad (\text{II.11})$$

- Pour les courants :

$$[i_{dqo}] = [A_s][i_{abc}] \quad (\text{II.12})$$

$$[i_{dqo}] = [A_r][i_{ABC}] \quad (\text{II.13})$$

- Pour les flux :

$$[\phi_{dqo}]_s = [A_s][\phi_{abc}] \quad (\text{II.14})$$

$$[\phi_{dqo}] = [A_r][\phi_{ABC}] \quad (\text{II.15})$$

II.2.5.1 Equations des tensions:

Pour le stator, on a :

$$[U_{abc}] = R_s [i_{abc}] + \frac{d[\phi_{abc}]}{dt} \quad (\text{II.16})$$

En multipliant l'équation (II.16) par la matrice $[A_s]$, il vient :

$$[A_s][U_{abc}] = [A_s]R_s [i_{abc}] + [A_s] \frac{d[\phi_{abc}]}{dt} \quad (\text{II.17})$$

Alors :

$$[U_{dqo}] = R_s [i_{dqo}] + [A_s] \frac{d[\phi_{abc}]}{dt} \quad (\text{II.18})$$

Le développement de l'équation (II.18) donne :

$$U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_a \phi_{qs} \quad (\text{II.19})$$

$$U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} - \omega_a \phi_{ds} \quad (\text{II.20})$$

$$U_{os} = R_s i_{os} + \frac{d\phi_{os}}{dt} \quad (\text{II.21})$$

Où : $\omega_a = \frac{d\theta_s}{dt}$ est la vitesse angulaire du système d'axes (d,q).

En procédant d'une façon analogue à celle du stator, on trouve pour le rotor :

$$U_{dr} = R_s i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} - (\omega_a - \omega_r) \phi_{qr} \quad (\text{II.22})$$

$$U_{qr} = R_s i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} - (\omega_a - \omega_r) \phi_{dr} \quad (\text{II.23})$$

$$U_{or} = R_s i_{or} + \frac{d\phi_{or}}{dt} \quad (\text{II.24})$$

II.2.5.2 Equations des flux :

Pour le stator, en multipliant l'équation (II.3) par $[A_s]$ on trouve :

$$[A_s] [\phi_{abc}] = [A_s] [L_s] [i_{abc}] + [A_s] [L_{sr}] [i_{ABC}] \quad (\text{II.25})$$

Donc :

$$[\phi_{dqo}] = [A_s] [L_s] [i_{abc}] + [A_s] [L_{sr}] [i_{ABC}] \quad (\text{II.26})$$

Après la simplification, on trouve :

$$\phi_{ds} = L_s i_{ds} + M i_{dr} \quad (\text{II.27})$$

$$\phi_{qs} = L_s i_{qs} + M i_{qr} \quad (\text{II.28})$$

$$\phi_{os} = L_s i_{os} \quad (\text{II.29})$$

Pour le rotor, et de la même manière, on trouve :

$$\phi_{dr} = L_r i_{dr} + M i_{ds} \quad (\text{II.30})$$

$$\phi_{qr} = L_r i_{qr} + M i_{qs} \quad (\text{II.31})$$

$$\phi_{or} = L_r i_{or} \quad (\text{II.32})$$

Avec :

$L_s = L_{aa} - L_{ab}$: est l'inductance cyclique statorique ;

$L_{os} = L_{aa} + 2 L_{ab}$: est l'inductance homopolaire statorique ;

$M = \frac{2}{3} L_{aA}$: est l'inductance mutuelle cyclique entre le stator et le rotor ;

$L_r = L_{AA} - L_{AB}$: est l'inductance cyclique rotorique ;

$L_{or} = L_{AA} + 2 L_{AB}$: est l'inductance homopolaire rotorique

Jusqu'à maintenant, le modèle de Park n'est pas complètement défini, puisque la vitesse de rotation ω_a du repère (d,q) par rapport au stator est quelconque. Les équations des tensions sont affectées, par le choix du référentiel, c'est-à-dire de la vitesse de rotation ω_a .

II.2.5.3 Choix du référentiel :

En général, l'étude du comportement dynamique des machines électriques peut se faire suivant la transformation de Park pour différents référentiels. Le choix du référentiel s'effectue suivant le phénomène à étudier et les simplifications offertes par ce choix. Trois types de référentiels sont intéressants en pratique :

- **Référentiel lié au stator** : Ce référentiel est appelé aussi système d'axes (α, β). Dans ce cas, ($\omega_a = 0$). Ce système est utilisé pour étudier les régimes de démarrage et de freinage des machines électriques [3]. Les équations électriques de la machine deviennent :

Au stator :

$$U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} \quad (\text{II.33})$$

$$U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} \quad (\text{II.34})$$

$$U_{os} = R_s i_{os} + \frac{d\phi_{os}}{dt} \quad (\text{II.35})$$

Au rotor :

$$U_{dr} = R_s i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} + \omega_r \phi_{qr} \quad (\text{II.36})$$

$$U_{qr} = R_s i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} + \omega_r \phi_{dr} \quad (\text{II.37})$$

$$U_{or} = R_s i_{or} + \frac{d\phi_{or}}{dt} \quad (\text{II.38})$$

- Référentiel lié au rotor : Dans ce cas, le système d'axes (d,q) est immobile par rapport au rotor et tourne avec la vitesse ($\omega_a = \omega_r$). Ce système d'axes est utilisé pour étudier les processus transitoires dans les machines synchrones et asynchrones avec une connexion non symétrique des circuits du rotor [3].

Les équations électriques de la machine dans ce référentiel deviennent :

Au stator :

$$U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_r \phi_{qs} \quad (\text{II.39})$$

$$U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_r \phi_{ds} \quad (\text{II.40})$$

$$U_{os} = R_s i_{os} + \frac{d\phi_{os}}{dt} \quad (\text{II.41})$$

Au rotor :

$$U_{dr} = R_s i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} \quad (\text{II.42})$$

$$U_{qr} = R_s i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} \quad (\text{II.43})$$

$$U_{or} = R_s i_{or} + \frac{d\phi_{or}}{dt} \quad (\text{II.44})$$

-Référentiel lié au champ tournant :

Ce référentiel est appelé aussi système d'axes(X,Y) il tourne avec la vitesse du champ électromagnétique, c'est-à-dire($\omega_a = \omega_s$) les équations électriques deviennent :

Au stator :

$$U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_s \phi_{qs} \quad (\text{II.45})$$

$$U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_s \phi_{ds} \quad (\text{II.46})$$

$$U_{os} = R_s i_{os} + \frac{d\phi_{os}}{dt} \quad (\text{II.47})$$

Au rotor :

$$U_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \phi_{qr} \quad (\text{II.48})$$

$$U_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \phi_{dr} \quad (\text{II.49})$$

$$U_{or} = R_r i_{or} + \frac{d\phi_{or}}{dt} \quad (\text{II.50})$$

II.2.5.4 Expression du couple électromagnétique de la MADA :

Pour étudier les phénomènes transitoires (démarrage, freinage, variation de la charge) avec une vitesse rotorique variable, il faut ajouter l'équation du mouvement (II.7) au système d'équations différentielles modélisant la machine [5].

La forme générale du couple électromagnétique d'une machine asynchrone triphasée modélisée dans le repère de Park est donnée par la relation suivante :

$$C_{em} = \frac{3pM}{2L_r} (\phi_{dr} i_{qs} - \phi_{qr} i_{ds}) = \frac{3p}{2} (\phi_{dr} i_{qs} - \phi_{qr} i_{ds}) \quad (\text{II.51})$$

II.3 Mise en équation d'état:

Pour la machine asynchrone à double alimentation les variables de contrôle sont les tension statorique et rotorique. En considérant les courants statorique et rotorique comme des vecteurs d'état, alors le modèle de la MADA est par l'équation d'état suivante:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} = A X + B U \quad (\text{II.52})$$

Avec:

X : Vecteur d'état.

A : Matrice d'évolution d'état du système.

B : Matrice de commande.

U : Vecteur du système de commande.

Où:

$$X = \begin{bmatrix} i_{sd} & i_{sq} & i_{rd} & i_{rq} \end{bmatrix}^T ;$$

$$U = \begin{bmatrix} V_{sd} & V_{sq} & V_{rd} & V_{rq} \end{bmatrix}^T ;$$

D'après l'équation (II-27), (II-28), (II-30) et (II-31) nous avons :

$$\begin{cases} i_{dr} = \frac{1}{L_r} \Phi_{dr} - \frac{L_m}{L_r} i_{ds} \\ i_{qr} = \frac{1}{L_r} \Phi_{qr} - \frac{L_m}{L_r} i_{qs} \end{cases} \quad (\text{II.53})$$

on remplace les équations dans l'équation (II-45), (II-46) et (II-48), (II-49) après le calcul et la simplification, on obtient le système d'équations suivant:

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \frac{di_{ds}}{dt} - \omega_s (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) i_{qs} - \omega_s \frac{L_m}{L_r} \Phi_{qr} + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) i_{qs} + \omega_s (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) i_{ds} + \omega_s \frac{L_m}{L_r} \Phi_{dr} + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\Phi_{qr}}{dt} \\ V_{dr} = -R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds} + \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega_m) \Phi_{qr} \\ V_{qr} = -R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs} + \frac{R_r}{L_r} \Phi_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_m) \Phi_{dr} \end{cases} \quad (\text{II.54})$$

Tel que :

$$\sigma = L_s [1 - (\frac{L_m^2}{L_s L_r})] = (L_s - \frac{L_m^2}{L_r})$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r}$$

Après l'arrangement du système d'équations (II-54), on obtient :

L'écriture Sous forme matricielle devient :

$$\dot{X} = A X + B U$$

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \frac{di_{ds}}{dt} \\ \frac{di_{qs}}{dt} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\left(\frac{R_s}{\sigma} + \frac{L_m^2}{L_r \sigma T_r}\right) & (\omega_s) & \left(\frac{L_m}{\sigma T_r L_r}\right) & \left(\omega_m \frac{L_m}{\sigma L_r}\right) \\ -(\omega_s) & -\left(\frac{R_s}{\sigma} + \frac{L_m^2}{\sigma T_r L_r}\right) & -\left(\omega_m \frac{L_m}{\sigma L_r}\right) & \left(\frac{L_m}{\sigma T_r L_r}\right) \\ \left(\frac{L_m}{T_r}\right) & 0 & -\left(\frac{1}{T_r}\right) & (\omega_s - \omega_m) \\ 0 & \left(\frac{L_m}{T_r}\right) & -(\omega_s - \omega_m) & -\left(\frac{1}{T_r}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{\sigma}\right) & 0 & -\left(\frac{L_m}{\sigma L_r}\right) & 0 \\ 0 & \left(\frac{1}{\sigma}\right) & 0 & -\left(\frac{L_m}{\sigma L_r}\right) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.55})
\end{aligned}$$

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -\left[\frac{R_s}{\sigma} + \frac{L_m^2}{L_r T_r \sigma}\right] i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \left[\frac{L_m}{L_r T_r \sigma}\right] \Phi_{dr} + \left[\frac{L_m}{L_r \sigma}\right] \omega_m \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma} V_{ds} - \left[\frac{L_m}{L_r \sigma}\right] V_{dr} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} - \left[\frac{R_s}{\sigma} + \frac{L_m^2}{L_r T_r \sigma}\right] i_{qs} - \left[\frac{L_m}{L_r \sigma}\right] \omega_m \Phi_{dr} + \left[\frac{L_m}{L_r T_r \sigma}\right] \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma} V_{qs} - \left[\frac{L_m}{L_r \sigma}\right] V_{qr} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{ds} - \frac{1}{T_r} \Phi_{dr} + (\omega_s - \omega_m) \Phi_{qr} + V_{dr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{qs} - (\omega_s - \omega_m) \Phi_{qr} - \frac{1}{T_r} \Phi_{qr} + V_{qr} \end{cases}$$

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu que la machine asynchrone à double alimentation, a été ramenée à une machine biphasée équivalente à l'aide de la transformation de Park permettant le passage d'un repère triphasé à un autre biphasé.

La simulation de la machine asynchrone à double alimentation, qui est l'objectif du chapitre suivant.

Chapitre : III

Simulation de la MADA

III.1 Introduction:

La simulation qui se fait avec le programme MATLAB/SIMILINK est nécessaire pour comprendre le comportement de la machine électrique avant leur utilisation.

Dans ce chapitre on présente le schéma bloc qu'il permet d'obtenir les caractéristiques de ces machines (le courant, le couple utile, la vitesse de rotation.....).

III.2 Schéma bloc de la simulation de la MADA:

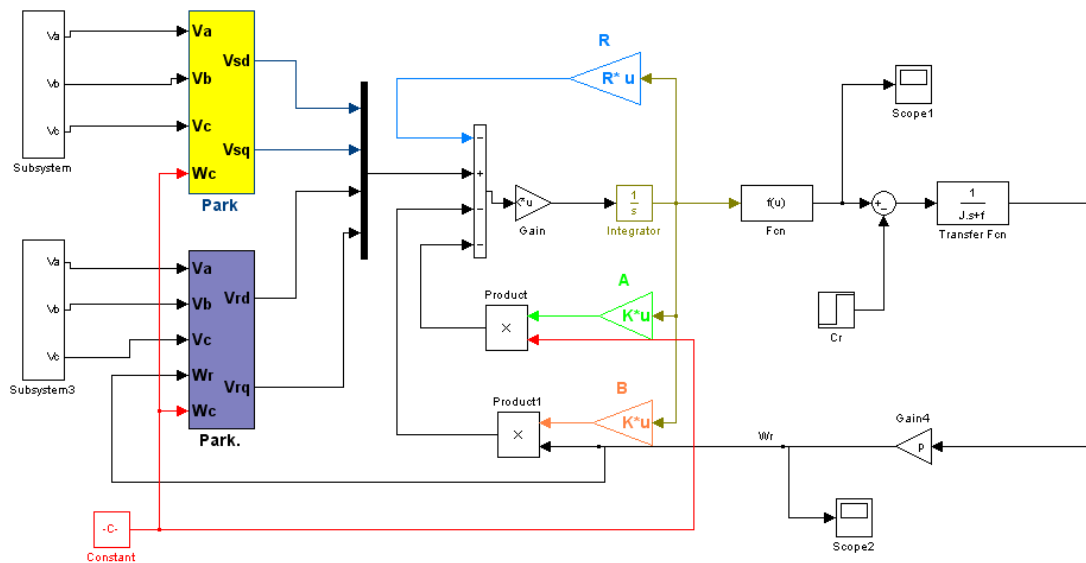
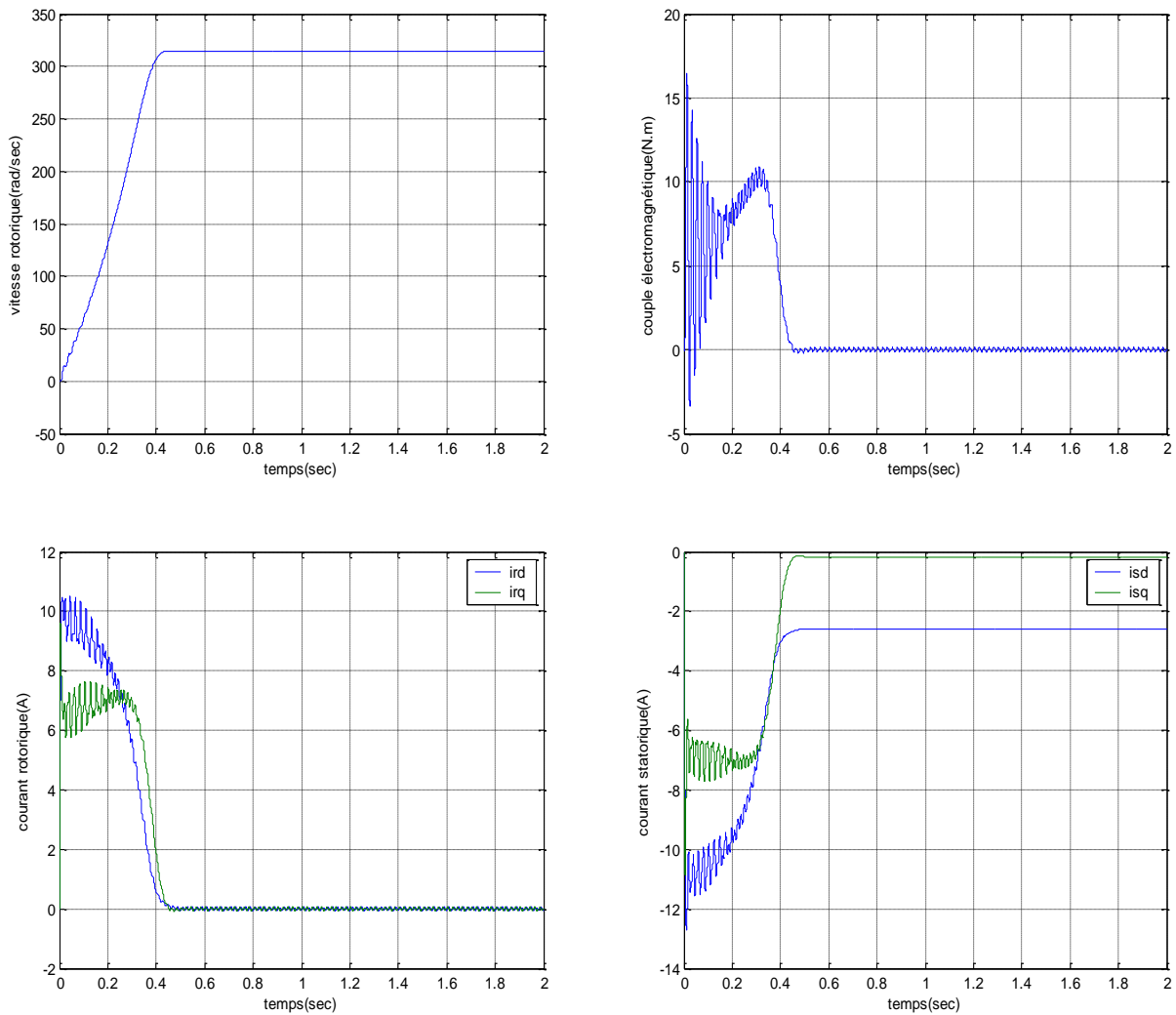


Figure (III.1) Schéma bloc de la simulation de la MADA.

III.3 Résultats de simulation: ($V_r=7v$; $f_r=50Hz$)**A vide: $C_r = 0$:****Figure (III.2)** Démarrage à vide de la MADA.

En charge: $C_r = 5 \text{ N.m}$ à $t = 1 \text{ s}$:

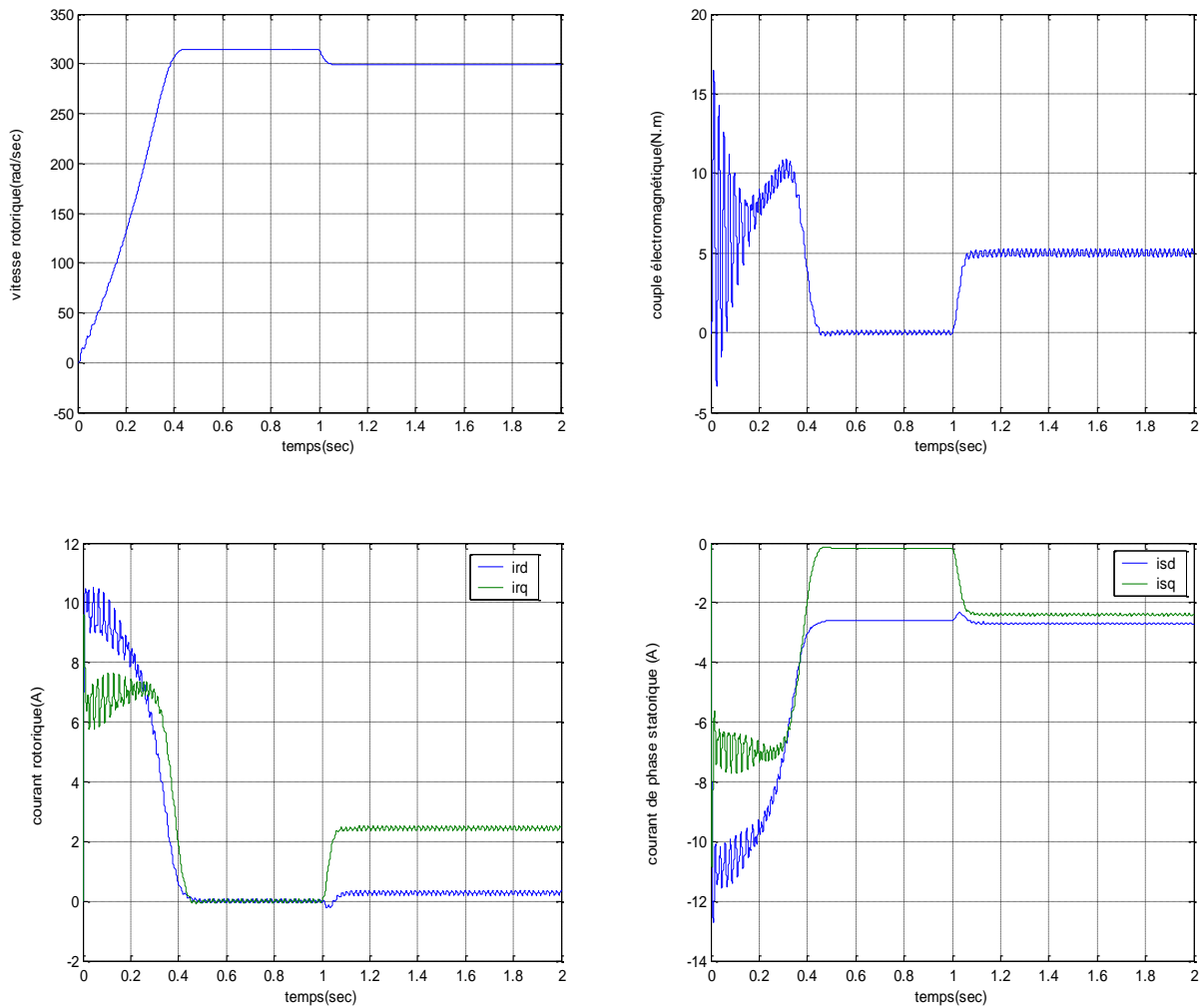


Figure (III.3) Démarrage à vide avec application de couple de charge (5 N.m) à $t = 1 \text{ s}$ de la MADA.

III.4 Interprétations des résultats:

Les résultats de simulation donnés par la figure (III.2) et la figure (III.3), représente l'évolution de quelques variables fondamentales de la machine asynchrone à savoir la vitesse (N), le couple électromagnétique (C_e), les courants (i_{rd} , i_{rq} , i_{sd} , i_{sq}).

Nous avons simulé le fonctionnement de la machine asynchrone alimentée directement par le réseau standard [220/ 380V, 50Hz] et rotor [7V, 50Hz] , à vide et en charge.

- **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'environ 0.4sec la vitesse de rotation s'établit à une valeur proche de la vitesse de synchronisme.

La courbe du couple C_e présente aux premiers instants du démarrage une pulsation très important, après 0.4sec le couple tend vers zéro.

Les courant rotorique présentent des oscillations successives autour de zéro avec une amplitude maximale jusqu'à 0.4sec, après ce temps l'amplitude de ces oscillations est reste constant.

- **En charge :**

Cet essai est similaire au cas précédent sauf que, dans ce cas on introduit un couple de charge de 5 N.m à l'instant ($t = 1$ sec). Les résultats obtenus sont représentés par la figure (III.3).

On note d'après cette figure que l'introduction d'un couple de charge provoque une diminution de la vitesse de 314 rad/sec à 300 rad/sec environ, traduite par une augmentation du glissement de la machine. Le couple électromagnétique marque un pic de 10.7 N.m lors de l'insertion de la charge puis s'établit à une valeur de 5 N.m en régime permanent pour équilibrer le couple de la charge et le couple des frottements à la fois.

Les résultats obtenus montrent bien le couplage existant entre les différentes variables de la machine, l'importance des pics de courant et du couple et les mauvaises performances dynamiques et statiques de la vitesse. Donc, pour améliorer la réponse dynamique de la machine et éliminer le couplage existant.

III.5 Conclusion :

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

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail est consacré à l'étude de la modélisation et simulation de la machine asynchrone à double alimentation.

On a établi le modèle de la machine asynchrone à double alimentation où le stator est alimenté par une source de tension constante et au rotor par une source de tension supposée parfaite, équilibrée, sinusoïdale, d'amplitude et de fréquence réglable à partir de ses équations (électrique, mécanique), le but assigné de cette modélisation est d'avoir l'influence des variations appliquées aux fréquence rotorique et couple résistant.

Grâce au développement dans la commande électrique et l'apparition de diverses structures des convertisseurs de l'électronique de puissance permettant à présent de disposer de sources d'alimentation à fréquence variable, la MADA présente une solution idéale pour les entraînements à grandes puissances. L'étude des machines électriques en général et la MADA en particulier exige une bonne modélisation mathématique décrivant l'ensemble de la machine et le système à entraîner.

ANNEXE**Paramètres:**

R_s (Résistance du stator) = 10 Ω .

R_r (Résistance du rotor) = 6.3 Ω .

L_s (Inductance du stator) = 0.4642 H.

L_r (Inductance de rotor) = 0.4612 H.

M (Inductance mutuelle) = 0.4212 H.

Constantes mécaniques:

J (Inertie de rotor) = 0.02 kg.m²

ff (Coefficient de frottement) = 0.00 I.S.

Bibliographie

- [1] A.Dendouga., "Commande par mode glissant de la machine à double alimentation alimentée par un onduleur de tension ," Thèse de Magister, Université de Batna, 2004.
- [2] Boyette A., "Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne," Thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-I, 2006.
- [3] Elbia Y., " Commande Floue Optimisée d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation et à Flux Orienté," Thèse de magister de l'université de Batna, 2009.
- [4] D.Bakkaye., " Contribution à la commande de la MADA," Mémoire d'ingénieur d'Electrotechnique Université de Batna, 2001.
- [5] Drid S., " Contribution à la modélisation et à la commande robuste d'une machine à induction double alimentée à flux orienté avec optimisation de la structure d'alimentation: théorie et expérimentation," Thèse de doctorat en electrotechnique, université de Batna, 2005.
- [6] Salloum G., " Contribution à la commande robuste de la machine asynchrone à double alimentation," Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Mars 2007.
- [7] Paul-Etienne V., " Commande non-Linéaire d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation," Thèse de Doctorat en Génie Electrique, Institut National Polytechnique de de Toulouse, France, 2004.
- [8] Mémoire d'ingénieur., " Commande vectorielle et adaptative de la MADA," Université de Batna, 2002.
- [9] A.Khatir et Chemouri Salah., " Contribution a l'étude comportement de la machine asynchrone double alimentation commande par un Onduleur de Tension MLI," Mémoire d'ingénieur d'Electromécanique, Université de M' sila, 2004.
- [10] B.Mokhtari., " Application à la Machine Asynchrone Alimentée par des Onduleurs de Tension à Deux à Trois Niveaux," Mémoire Magister, Université de Batna, 2004.
- [11] Tamrabet H., "Robustesse d'un Contrôle Vectoriel de Structure Minimale d'une Machine Asynchrone," Thèse de magister de l'université de Batna, 2006.
- [12] N. Dujardin, C.Iweins, www.lei.ucl.ac.be/multimedia/eLEE/FR.
-

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE LICENCE LMD EN ELECTROTECHNIQUE**

OPTION : COTROLE ET DIAGNOSTIC DE SYSTEME ELECTRIQUE

Proposé et dirigé par :

B.ZEGUEB

Etudié par:

1 - HOUAS MOURAD

2- MESSAI AHMED SACI

Thème:

**Modélisation et Simulation de La Machine Asynchrone à Double
Alimentation**

Résumé:

La machine à double alimentation s'apparente fortement du point de vue technologique à la machine asynchrone à rotor bobiné classique.

La double alimentation concerne les machines à courant alternatif ayant des enroulements statorique et rotorique biphasés où le stator est alimenté par un réseau de tension fixe et le rotor par une alimentation variable que peut être une source de tension ou une source de courant. Elle est utilisée dans les grandes puissances d'entraînement.

Ce présent travail est consacré à l'étude la modélisation et simulation de la machine asynchrone à double alimentation .

Mots clés :

La machine asynchrone à double alimentation, l'étude la modélisation et la simulation.
