

**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'Etude
Présenté pour l'obtention du diplôme de**

LICENCE ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences et de Technologies
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques**

Thème

**DIAGNOSTIQUE DES DEFAUTS DANS
LA MACHINE ASYNCHRONE
TRIPHASÉE À CAGE**

Dirigé par :
B. Zegueb

Réaliser par:
Radhia ben amar
Khadidja ammari

Soutenu le 10 Juin 2012

Résumé

Cette recherche relève de l'un du domaine de Génie électrique (Electromécanique, l'Automatique et Electrotechnique), le diagnostic des entraînements électriques. L'objectif de ce recherche est d'effectuer quelques rappels élémentaires sur des notions de base du génie électrique, afin de préciser, parmi les nombreuses façons d'aborder les problèmes de surveillance, quels ont été nos choix quant objectifs recherchés, aux spécifications des performances désirées, aux modèles utilisés.

Le travail proposé s'attarde sur le diagnostic des machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil. La croissance de ce type de machine électrique, essentiellement due à sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et de fabrication, sa robustesse mécanique ou encore sa quasi-absence d'entretien, est telle que nous la trouvons maintenant dans tous les domaines industriels.

Dans ce travail nous avons intéressons de plus près à la réalisation pratique des enroulements statoriques et des encoches rotoriques. C'est pourquoi nous en arrivons, dans le travail au domaine plus spécifique de surveillance de la machine asynchrone. Nous y rappelons brièvement compréhension des différentes signatures des défauts envisagés, nous abordons la méthode de diagnostic par analyse spectrale ainsi que par l'analyse de la signature des courants statorique dans le plan de Park. Par la suite, cette méthode sera délaissée au profit de l'identification paramétrique, dont nous illustrerons les avantages dans ce mémoire.

Abstract

This research is one of the area of Electrical Engineering (Electro, the Automation and Electrical), diagnosis of electrical drives. The objective of this research is to perform some basic reminders on basic electrical engineering, to clarify, among the many ways to approach the problems of monitoring, what were our choices about goals, the specifications of desired performance, the models used.

The work focuses on the diagnosis machines in three-phase asynchronous squirrel cage. The growth of this type of electrical machinery, mainly due to its simple construction, low cost of purchasing and manufacturing, mechanical robustness and almost no maintenance is such that we now have all industrial. Specification areas of performance desired, the models used.

In this work we focus more closely on the practical implementation of stator windings and rotor slots. That is why we come in to work more specific area to monitor the induction machine. We recall briefly understanding of different signatures defects considered, we address the method of diagnosis by spectral analysis and the analysis of the signing of the stator currents in the Park. Thereafter, this method will be abandoned in favour of the parametric identification; we will explain the advantages in this theses.

Liste des symboles

V	Vecteur de tension
R	Résistance
i	Vecteur de courant
φ	Vecteur de flux
X_{abcs}	Vecteur des grandeurs statorique
X_{abcr}	Vecteur des grandeurs rotorique
α, β	Axes biphasés
d, q	Axes de Park
L	Inductance
M	Inductance mutuelle
l	Inductance cyclique propre
m	Inductance mutuelle propre
θ_s	Position statorique
θ_r	Position rotorique
R_s	Résistance statorique
R_r	Résistance rotorique
R_b	Résistance de barre
R_e	Résistance de barre
Ω	la vitesse de rotation de la machine
ω	la vitesse électrique
J	représente le moment d'inertie totale sur l'arbre moteur,
F_r	le couple de frottement visqueux,
C_e	le couple électromagnétique
C_r	le couple résistant appliqué à la machine

Table des figures

Chapitre I:

Figure (I.1): Principaux éléments de la machine asynchrone.....	5
Figure (I.2): Construction du stator.....	6
Figure (I.3): Construction du rotor.....	7
Figure (I.4): Causes, origines et types des défauts de la machine à synchrone	8
Figure (I. 5) : Répartition des défauts	10
Figure (I.6): (a) et (b) Excentricité statique et dynamique	13

Chapitre II:

Figure (II.1): Représentation schématique d'une MAS triphasée.....	16
Figure (II.2): Passage du triphasé au biphasé.....	19
Figure (II.3): Représentation schématique de la MSAP dans l'espace électrique.....	20
Figure (II.4): représentation des axes triphasés réels de la machine.....	21
Figure (II.5): Circuit équivalent du rotor.....	23
Figure (II.6): Circuit équivalent des mailles rotoriques.....	24

Chapitre III:

Figure III.1. Bloc diagramme de la MASY dans le référentiel α - β	26
Figure III.2. Couple, Vitesse, Le courant	26
Figure III.3. Les courants I_{sa} I_{sb} , I_{ra} , I_{rb}	27
Figure III.4. Ondulation du couple électromagnétique et la vitesse.....	28
Figure III.5. Les courants I_{sa} , I_{sb} , I_{ra} , I_{rb}	29

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: Construction et Défauts de la Machine Asynchrone	4
I.1.Introduction	5
I.2. Elements de consritation de la machine asynchrone	5
I.2.1. Stator	6
I.2.2. Rotor	7
I.2.3. Paliers	7
I.3.Présentation de défauts de la machine asynchrone	8
I.3.1. Causes de défauts de la machine asynchrone	9
I.3.2. Études statistiques	10
I.4.Types de défauts	11
I.4.1. Défauts du stator	11
I. 4.1.1. Défaut d'isolant	11
I. 4.1.2. Défauts de courts – circuits	11
I. 4.1.3. Déséquilibre d'alimentation	12
I.4.1.4. Défauts de circuit magnétique	12
I.5. Défauts du rotor	12
I.5.1. Ruptures de barres	12
I.5.2. Ruptures d'anneaux	12
I.5.3. Excentricité statique et dynamique	12
I.6. Conclusion	13
CHAPITRE II:Modélisation de la machine asynchrone	14
II.1.Introduction	15
II.2. Modélisation de la machine asynchrone	16
II.2.1 Représentation schématique d'une machine asynchrone	16
II.2.1.1. Equations électriques	16
II.2.1.2. Equations magnétiques	17
II.2.1.3. Equations mécaniques	18
II.3. Transformation de Park	18
II.4. Application de la transformation de Park à la machine asynchrone	20
II.4.1. Équations électriques	20
II.4.2. Equations magnétiques	20
II.4.3. Choix de référentiel	20
II.4.4. Les équations de la machine dans le référentiel lié au stator (α , β)	21
II.4.4.1. Équations électriques	22
II.4.4.2. Equations magnétiques	22
II.4.4.3. Expression du couple électromagnétique	23
II.5. Modèle proposé en vue de diagnostic	23
II.6.Conclusion	25
CHAPITRE III	26
III.1.Caractristiques Résultats de simulation de la machine asynchrone	
III.2. Caractéristiques de la MAS avec alimentation déséquilibrée	28
.CONCLUSION GENERALE	31

INTRODUCTION GENERALE

Les machines asynchrones, de par leur robustesse et leur rapport poids/puissance, sont largement utilisées en milieu industriel.

Assurer leur continuité de fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenances préventives et correctives.

En effet , la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la surété des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations.

Le travail proposé s'attarde sur la diagnostic des machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil.

La croissance de ce type de machine électriques est essentiellement due à sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse de plus dans tous les domaines industriels et en particulier dans les secteurs de pointe comme l'aéronautique, le nucléaire, la chimie ou encore les transports ferroviaires.

L'apparition d'un défaut conduit le plus souvent à un arrêt irrédiable de la machine asynchrone entraînant, en conséquence, un coût de réparation non négligeable pour l'entreprise et aussi une perte de production.

Dans le domaine industriel, il est indispensable d'assurer la sécurité des personnes et du matériel car aucun système, qu'il soit simple ou complexe, n'est à l'abri d'un dysfonctionnement.

Malheureusement, les contraintes nouvelles et l'intégration de ces machines dans des systèmes de conversion d'énergie de plus en plus complexes rendent le diagnostic plus difficile.

Il existe plusieurs méthodes de diagnostic des défauts dans les systèmes. Le choix d'une méthodes est lié à la connaissance que l'on souhaite acquérir sur le système, mais aussi à sa complexité.

Deux grande familles de méthodes de diagnostic dans le domaine du génie électrique sont à signaler : méthode à base de modèle analytique et méthode sans modèle.

Les méthodes à base de modèle analytique reposent sur le suivi des paramètres et des grandeurs de la machine, au moyen d'algorithmes d'observation. Elles détectent

les défaillances en comparant l'évolution de l'écart entre le modèle et le processus réel.

Le principal avantage de ces méthodes réside dans l'intégration d'une connaissance à priori du système et donc un filtrage de l'information.

Les méthodes sans modèle sont basées sur l'extraction d'information par le biais du traitement des signaux mesurés.

Les signaux mesurables (les courants, les tensions, la vitesse, les vibrations, la température, ...) peuvent fournir des informations significatives sur les défauts.

A partir de ces grandeurs caractérisant le fonctionnement des machines électriques, la mise en œuvre de méthodes décisionnelles comme la reconnaissance de forme, permet de concevoir des systèmes de surveillance ou des algorithmes performants au service du diagnostic.

Les performances de ces méthodes sont étroitement liées à la pertinence des indicateurs de défauts retenus et à la finesse d'analyse des mesures.

Notre travail vise de plus près le diagnostic de défauts dans une machine asynchrone.

Si cette machine tend effectivement à supplanter la machine à courant continu dans la plupart des entraînements à vitesse variable.

Certaines utilisations de ces machines ne tolèrent pas les défauts intempestifs. Ces défauts peuvent être d'origine mécanique (excentricité du rotor, défaut sur les accouplements, usure, des roulements,) électrique ou magnétique (court circuit du bobinage statorique, rupture de barre ou d'anneau, cassure de dents,..).

les imperfections peuvent aussi être dues à d'autres éléments de l'entraînement, comme les défauts d'alimentation provenant de la source d'alimentation.

Tous ces défauts qui apparaissent dans la machine électrique ont des causes variées.

Ils peuvent être dus au vieillissement des constituants du moteur, aux conditions d'utilisation ou bien encore, tout simplement à un défaut de fabrication dont l'effet serait imperceptible lors de la mise en service.

Le développement d'outils ou de capteurs de surveillance et de détection des pannes paraît une solution un peu plus coûteuse à l'investissement, mais elle s'amortit sur le long terme.

Les signaux mesurables tels que les courants, les tensions, la vitesse, les vibrations ou bien encore la température peuvent fournir des informations

significatives sur les défauts et ainsi servir à déterminer un ensemble de paramètres représentant les signatures des défauts du moteur.

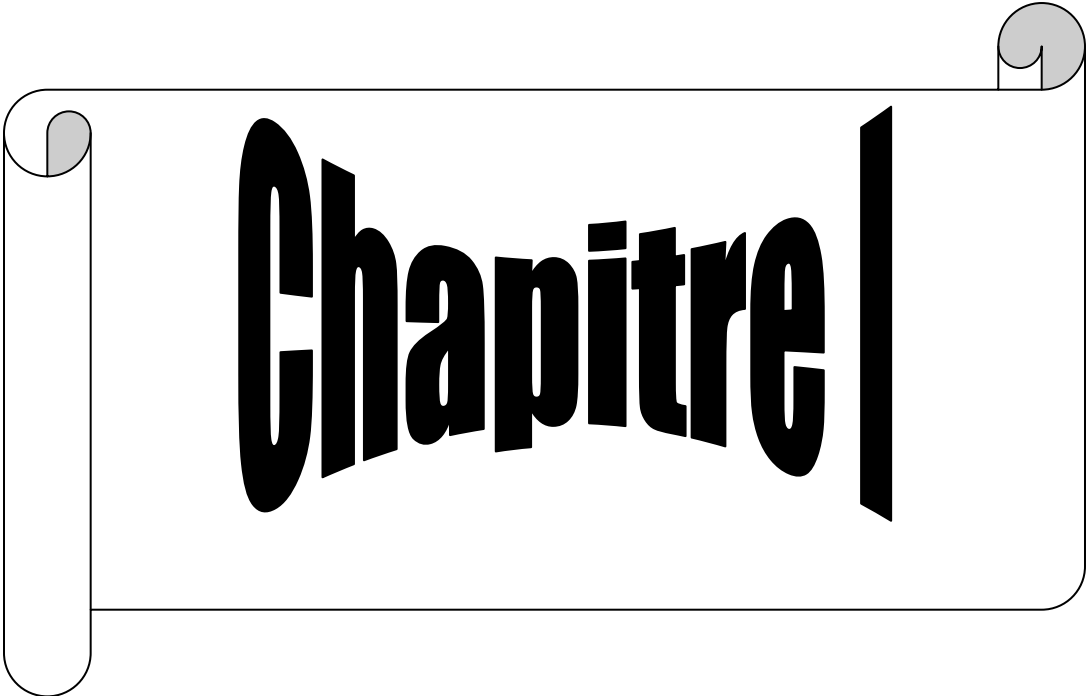
A partir de ces paramètres, la mise en place des méthodes décisionnelles peut permettre de concevoir des systèmes de surveillance performances de cette approche de supervision sont étroitement liées à la pertinence des signatures de défauts déterminées et à la finesse d'analyse des mesures.

Dans ce contexte, le mémoire comporte trois chapitres.

La première partie, présente les démarches classiques d'analyse, de construction et fonctionnement des machines asynchrones.

La seconde partie, présente la modélisation de la machine asynchrone dans l'espace d'état en vue de diagnostic de défaut d'excentricité.

Enfin, la troisième partie de ce mémoire, est réservée à la simulation. L'outil de simulation que nous avons utilisé est Simulink de Matlab, lequel offre la possibilité de présenter dans un environnement simple d'applications de la méthode de diagnostic de défaut d'excentricité dans la machine asynchrone.



Chapitre 1

Chapitre I

Construction et Défauts de la Machine Asynchrone

I.1 Introduction

Dans ce travail, nous décrivons le système électromécanique étudié qui se limite, dans notre cas, à la machine asynchrone triphasée.

Nous effectuons une analyse des différents défauts pouvant survenir sur la machine. Nous présentons ensuite divers outils issus des techniques de diagnostic et de détection ainsi que la localisation des défauts électrique et / ou mécanique.

Dans la partie suivante nous présenterons les méthodes de diagnostic actuellement appliquées à la machine asynchrone en précisant leurs avantages et leurs inconvénients.

Avant de présenter les différentes techniques de diagnostic des défauts de la machine asynchrone, nous présentons les éléments de constitution des machines asynchrones.

Cette description permet de comprendre le principe de fonctionnement de cette machine.

La machine asynchrone se compose, du point de vue mécanique, de trois parties distinctes:

I.2. Elements de constitution de la machine asynchrone

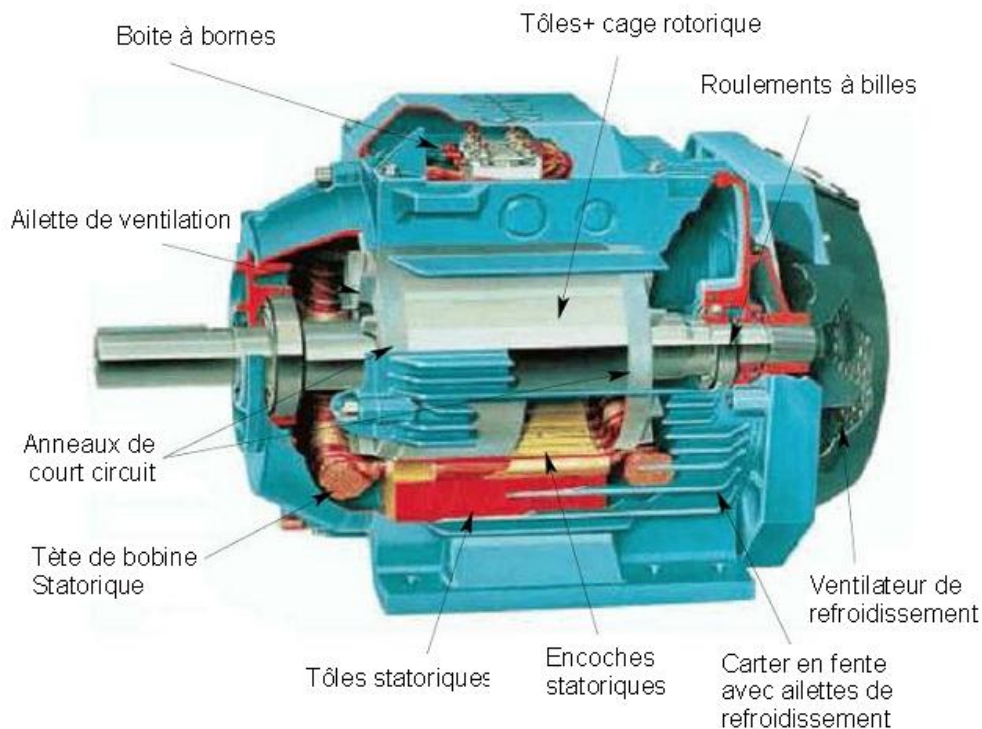


Fig I.1. Principaux éléments de la machine asynchrone

La machine asynchrone triphasée est largement utilisée dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien.

Elle est constituée d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative (rotor).

Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault [7].

I. 2.1. Stator



Fig I.2. Construction du stator

Le stator est la partie fixe de la machine, il est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobines statoriques.

Ces tôles sont, pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont, pour les machines de puissances plus importantes, découpées en sections.

Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault.

Elles sont reliées les unes au autres pour former les enroulements statoriques. Ces derniers sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ils peuvent être insérés de manière imbriquée, ondulée ou encore concentrique [6].

L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement.

Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches.

L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.

I.2.2. Rotor



Fig I.3. Construction du rotor

Le rotor est la partie mobile de la machine asynchrone.

Dans le rotor à cage, les anneaux de court circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre) à l'autre.

Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor.

Dans le cas de rotor à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées 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, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre.

Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné, son prix de revient est inférieur.

De plus, il dispose d'une plus grande fiabilité.

I.2.3. Paliers

Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre.

Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des tiges de serrage comme nous présentons sur la figure (I.3) .

L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage d'écureuil.

I.3. Présentation de défauts de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non-conforme de la machine. Certaines fois, nous pouvons aussi incriminer le milieu dans lequel la machine est utilisée.

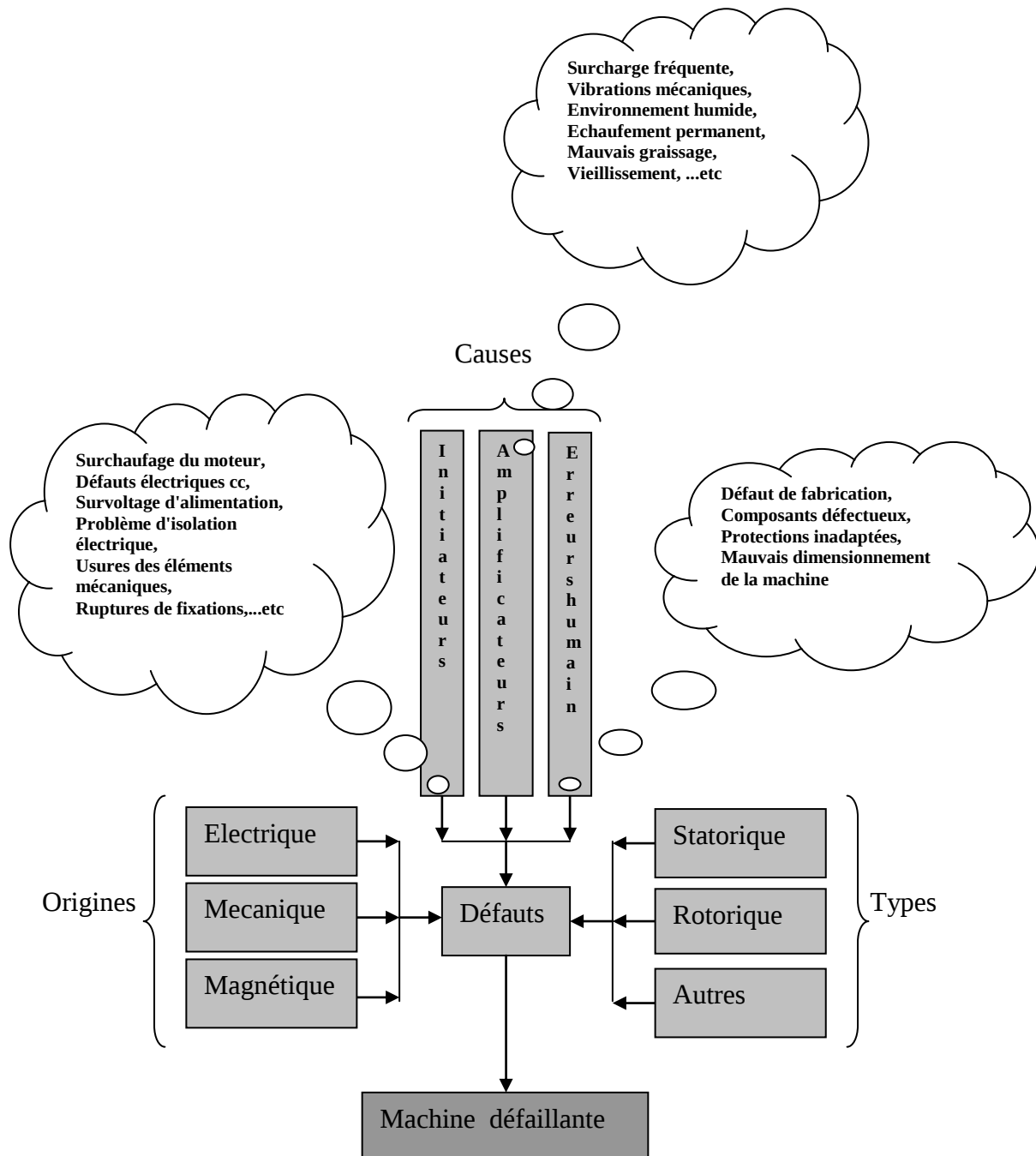


Fig I.4. Causes, Origines et Types des défauts de la MAS

I.3.1. Causes de défauts de la machine asynchrone

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes:

- **Les générateurs de défaut ou initiateurs de défauts :** surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage d'alimentation.
- **Les amplificateurs de défauts:** surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement....
- **Les vices de fabrication et les erreurs humaines :** défauts de fabrication, défectuosité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine....

	Défauts	Causes
Défauts statoriques	Vibration du support	Un déséquilibre magnétique, mouvement des enroulements, un déséquilibre de l'alimentation, surcharge, mauvaise installation, un contact avec le rotor.
	Un défaut entre le stator et la carcasse	Écrasement des spires par la carcasse, le cycle thermique, une abrasion de l'isolant, présence de points anguleux dans les encoches, un choc.
	Défaut d'isolation	endommagement de l'isolant lors de l'insertion des enroulements, démarrage fréquent, condition de température ou d'humidité extrême.
	Court-circuit inter spires	Température excessive, humidité, vibration, surtension.
	Court-circuit inter phases	Défaut d'installation, haute température, alimentation déséquilibrée, contrainte d'écrasement au niveau des enroulements.
	Déplacement des conducteurs	choc du à un défaut, démarrage fréquent, vibration des têtes de bobines.
	Défaillance des connecteurs	Écrasement des conducteurs, vibration excessive.
Défauts	Défaut de roulements	Mauvaise installation, déséquilibre magnétique, perte de lubrifiant, haute température, manque de propreté, charge déséquilibrée.
	Rupture de barres	Déséquilibre magnétique, régime transitoire à longue durée, fatigue thermique.
	Défaut du circuit magnétique	Défaut de fabrication, fatigue thermique, surcharge.

	Désalignement des roulements	Défaut de couplage, surcharge, mauvaise installation, jeu au niveau des paliers.
	Désalignement du rotor	Mauvaise installation, déséquilibre magnétique, défaut de roulements
	Roulements mal lubrifiés	Température excessive, mauvaise qualité de lubrifiant.
	Déséquilibre mécanique	Mouvement des anneaux de court-circuit, problème d'alignement.

Tableau I.1. Les causes des défauts de la machine asynchrone

I.3.2. Études statistiques des défauts

Plusieurs études statistiques, ont été effectuées sur les défauts de la machine asynchrone, elles donnent les statistiques suivantes

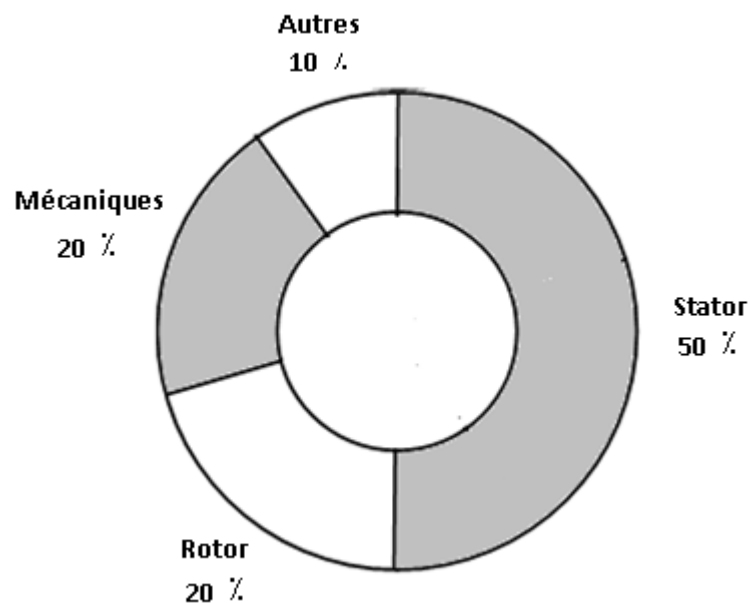


Fig I.5. Répartition des défauts

Plusieurs études montrent qu'entre 1973 et 1988 les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'alimentation des isolants sur cette période et le milieu d'utilisation.

Une autre étude faite par [3] sur des machines de grande puissance donne les pourcentages suivants: roulements 41% , autres 34%, enroulement statorique 13%, défaut au rotor 8% et mécanique 4%.

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce explique le taux élevé des défauts aux roulements. Ces machines exigent une maintenance mécanique accrue.

I.4. Types de défauts

Les études statistiques sur les défauts de la machine électrique nous révèlent que certains défauts sont plus fréquents que d'autres, ce qui nous amène à étudier en priorité les défauts les plus courants.

I.4.1. Défauts du stator

Les défauts du stator sont principalement, dues à un problème : Thermique, électrique, mécanique et environnement.

Les défauts les plus courants, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit:

Défaut d'isolant, défauts de court circuit, déséquilibre d'alimentation et défaut de circuit magnétique.

I. 4.1.1. Défaut d'isolant

Les différentes pertes de puissances (joule, fer, mécanique,...) engendrent des phénomènes thermiques qui se traduisent par une augmentation de température des différents constituants du moteur.

Les matériaux d'isolation ont une limite de température, de tension et mécanique. Lorsque l'environnement de travail d'un matériaux d'isolation dépasse une de ces limites.

Il provoque une dégradation des isolants dans les enroulement des courts-circuits.

I. 4.1.2. Défauts de courts – circuits

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques du stator de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses.

Nous pouvons citer, par exemple, les défauts de type court-circuits inter-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques.

Ce type de défaut peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique.

Nous pouvons citer aussi les courts-circuits apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou encore entre deux phases du stator.

Ces défauts ont le plus souvent une origine mécanique.

En effet, des vibrations excessives peuvent mener à un desserrement des boulons de la plaque à bornes de la machine créant ainsi le court-circuit.

Une cosse mal serrée à la jonction du câble d'alimentation et des bornes de la machine peut être à l'origine d'une ouverture de phase.

Ces défauts peuvent être détectés par une analyse harmonique des courant absorbés par la machine [2].

I. 4.1.3. Déséquilibre d'alimentation

I.4.1.4. Défauts de circuit magnétique

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant.

I.5. Défauts du rotor

I.5.1. Ruptures de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine.

Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées.

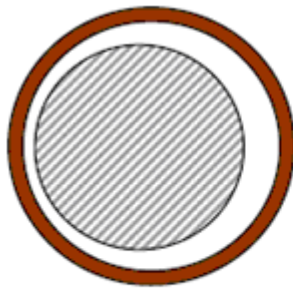
I.5.2. Ruptures d'anneaux

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

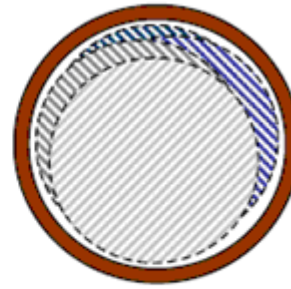
La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres.

I.5.3. Excentricité statique et dynamique

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor, figure I.6).



Excentricité statique



Excentricité dynamique (plusieurs positions du rotor au cours de la rotation)

Fig I.6. Modélisation schématisée de l'excentricité statique et dynamique

Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage).

Trois cas d'excentricité[Sob 98] ,[Dev 01] sont généralement distingués :

- l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités.

Ce défaut modifie le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements.

I.5. Conclusion

Les causes de défauts dans une machine asynchrone sont des sources différentes. Ces défauts provoquent inévitablement des pertes instables si elles ne sont pas détectées et diagnostiquées d'une manière précoce. Cependant, la surveillance est devenue nécessaire pour assurer une productivité et une technicité de qualité.

A cet effet, toutes les méthodes de diagnostic visent à détecter et irremédier à temps avant que le défaut cause un arrêt intempestif.



Chapitre II

Chapitre II

Modélisation de la machine asynchrone

II.1. Introduction

Le développement des machines électriques asynchrones dans les domaines industriels est essentiellement dû à leurs simplicités de construction, robustesse mécanique, leur faible coût d'achat et de fabrication [1]. En conséquence, le diagnostic de défauts de telles machines est devenu une tâche essentielle et nécessaire car la volonté d'obtenir un fonctionnement d'une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour la plus part des applications industrielles indispensable. Cependant, les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection performants puisque une quelconque défaillance peut provoquer des endommagements matériel ou /et corporels inévitables. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche, s'emploie depuis

Plusieurs dizaines d'années à élaborer des méthodes de diagnostic. Celles-ci ont pour objectif principal, de prévenir les utilisateurs du risque qui pourra éventuellement apparaître en un point particulier du système. Ainsi, le travail que nous développerons à travers cette contribution concerne une méthode de détection du défaut d'excentricité mixte dans une machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil. La machine asynchrone à cage est modélisée à base d'une approximation de circuits couplés magnétiquement et les fonctions permettant de calculer les inductances sont synthétisés et appliquées.

La machine asynchrone à cage d'écureuil est constituée de trois enroulements logés symétriquement dans les encoches du stator et d'une cage d'écureuil conductrice au rotor. Cette dernière est assimilable à trois enroulement en court-circuit et identiques, en fonctionnement sain. On modélise la machine asynchrone à cage dans le repère physique a, b, c en émettant les hypothèses simplificatrices suivantes:

- les pertes fer sont négligées,
- la saturation du circuit magnétique est négligée,
- l'effet d'extrémité des têtes de bobines est négligé,
- le stator considéré comme lisse et l'entrefer constant (l'effet des encoches est négligé)
- les harmoniques de toute origine, autre que temporel, sont négligés.

II.2. Modélisation de la machine asynchrone

La modélisation de la machine asynchrone est établie sous les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Entrefer constant (pas d'effet d'encoches).
- Circuit magnétique non saturé.
- Symétrie de construction de la machine.
- Pertes ferromagnétiques négligeables.
- Assimilation de la cage à un bobinage en court-circuit de même nombre de phases que le bobinage statorique.

Ces hypothèses constituent généralement une approche acceptable dans la plupart des fonctionnements, normaux des machines à induction.

II.2.1 Représentation schématique d'une machine asynchrone

Soit une machine asynchrone triphasée au stator et au rotor représentée schématiquement par la figure (II.1), et dont les phases sont repérées respectivement (A, B, C) et (a, b, c). L'angle électrique variable en fonction du temps définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases (A) et (a) choisis comme axes de référence.

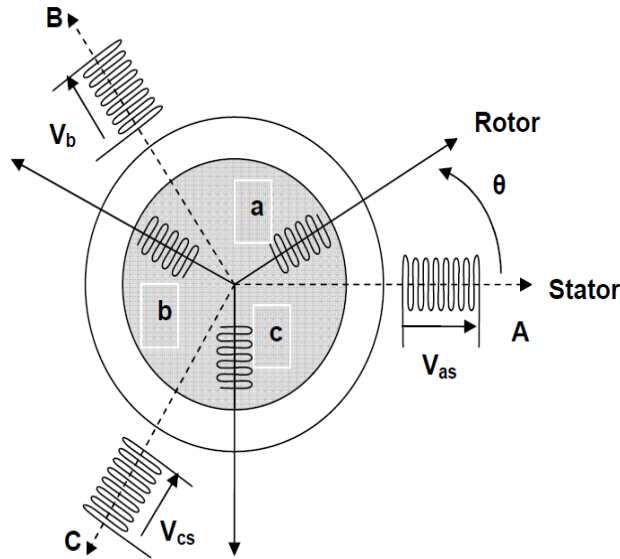


Fig II.1. Représentation schématique d'une MAS triphasée

II.2.1.1. Equations électriques

Les six enroulements statoriques et rotoriques (a, b, c) et (A, B, C) représentés par la Fig.(II.1) obéissent aux équations matricielles suivantes

$$\begin{cases} [V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\varphi_s] \\ [V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\varphi_r] \end{cases} \quad (II.1)$$

Tel que:

$[V_s]$: vecteur de tension statorique.

$[i_s]$: vecteur de courant statorique.

$[\Phi_s]$: vecteur de flux total statorique.

$[R_s]$: vecteur de résistance statorique.

$[V_r]$: vecteur de tension rotorique.

$[i_r]$: vecteur de courant rotorique.

$[\Phi_r]$: vecteur de flux total rotorique.

$[R_r]$: matrice de résistance rotorique.

Pour l'ensemble des enroulements statoriques, on écrira en notation matricielle:

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2})$$

Pour l'ensemble des enroulements rotoriques, on écrira en notation matricielle :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

II.2.1.2. Equations magnétiques

Les relations entre les flux totaux et les courants des enroulements statoriques peuvent être décrites par les équations matricielles suivantes:

$$\begin{cases} \varphi_s = [L_{ss}] \cdot [I_s] + [M_{sr}][I_r] \\ \varphi_r = [L_{rr}] \cdot [I_r] + [M_{rs}][I_s] \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

L'écriture matricielle ci-dessous résume les 3 équations du flux statoriques :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} + L_m \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

De façon similaire, on aura au rotor :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} + L_m \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

D'où :

$$\begin{cases} [V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}([L_{ss}][I_s]) + \frac{d}{dt}([M_{sr}][I_r]) \\ [0] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}([L_{rr}][I_r]) + \frac{d}{dt}([M_{rs}][I_s]) \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

Tel que:

$[L_{ss}]$: matrice d'inductances statoriques.

$[L_{rr}]$: matrice d'inductances rotoriques.

$[M_{sr}] = [M_{rs}]$: matrice d'inductances mutuelles du couplage stator- rotor.

II.2.1.3. Equations mécaniques

Le couple électromagnétique développé s'écrit:

L'équation mécanique d'un moteur s'écrit :

$$\begin{cases} J \cdot \frac{d}{dt} \Omega + F_r \cdot \Omega = C_e - C_r \\ \omega = p \cdot \Omega \\ \omega = \frac{d\theta}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

Ω : la vitesse de rotation de la machine

ω : la vitesse électrique

J : représente le moment d'inertie totale sur l'arbre moteur,

F_r : le couple de frottement visqueux,

C_e : le couple électromagnétique,

C_r : le couple résistant appliqué à la machine

θ : la position du rotor par rapport au stator.

La résolution analytique dans ce repère est très difficile, car le système d'équations est à coefficients variables en fonction de θ (angle de rotation de la machine). On fait donc appel aux modèles orthogonaux de la machine.

Dans le cadre de ces techniques, la machine est remplacée par une machine fictive ayant des enroulements mutuellement couplés et placés sur deux axes orthogonaux. Deux différents modèles sont déduits : le modèle (d, q), dit de Park et le modèle (α , β) de Concordai. Ces deux modèles représentent bien le comportement et les propriétés de la machine réelle. Ils permettent d'étudier le comportement transitoire des machines ainsi que leurs performances en régime déséquilibré[11].

II.3. Transformation de Park

Cette transformation permet le passage du système triphasé d'axes (a, b, c) au système biphasé équivalent d'axes (d, q).

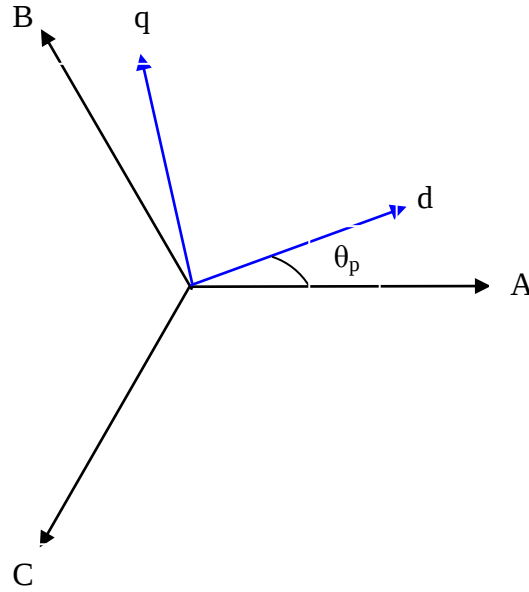


Fig II.2. Passage du triphasé au biphasé.

La matrice de passage du système triphasé- biphasé est donné par la matrice de Park $[P(\theta_p)]$:

$$[P(\theta_p)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_p) & \cos(\theta_p - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_p + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_p) & -\sin(\theta_p - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_p + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

La matrice de passage du système biphasé - triphasé est donné par la matrice de Park matrice $[P(\theta_p)]^{-1}$ inverse:

$$[P(\theta_p)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_p) & -\sin(\theta_p) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta_p - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_p - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta_p + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_p + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

La transformation de Park et Park inverse sera appliquée aux courants, tensions, et aux flux de la machine. On peut alors exprimer les grandeurs statorique et rotorique comme suit:

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = P(\theta_p) \cdot \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_o \end{bmatrix} \quad ; \quad \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_o \end{bmatrix} = P^{-1}(\theta_p) \cdot \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

X : représente une tension, un courant ou un flux.

X_o : est la composante homopolaire.

II.4. Application de la transformation de Park à la machine asynchrone

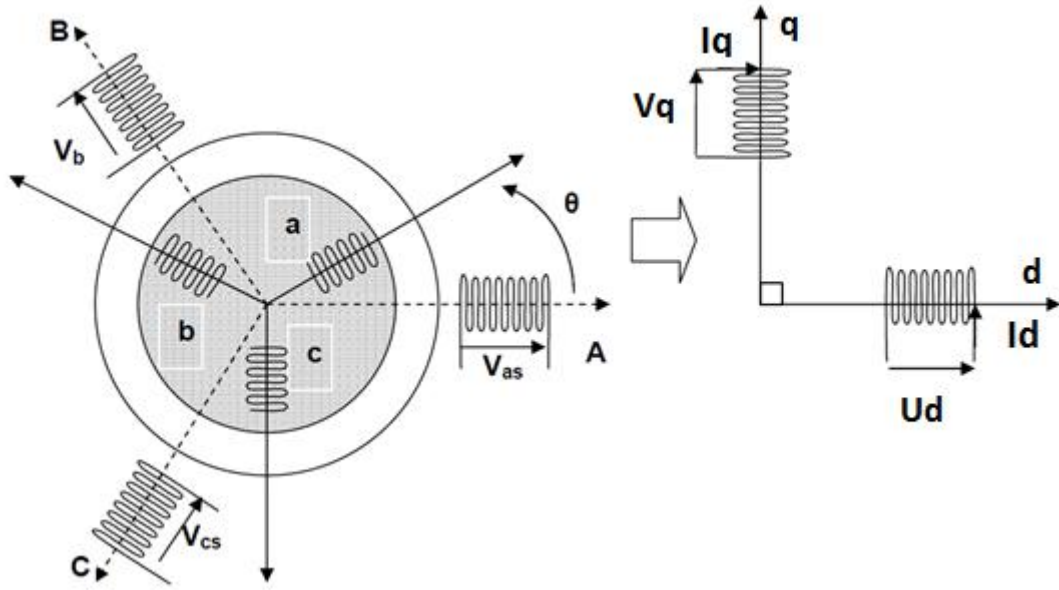


Fig II.3. Représentation schématique de la MSAP dans l'espace électrique

On applique la transformation de Park aux courants, aux tensions et aux flux, les équations (II.1) et (II.4) de la machine deviennent :

II.4.1. Équations électriques

Dans le repère de Park (d, q) tournant à la vitesse angulaire $\omega_p = d\theta_p/dt$, les équations (II.1) et (II.4) s'écrivent :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{ds} - \omega_p \cdot \varphi_{qs} \\ V_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{qs} + \omega_p \cdot \varphi_{ds} \\ V_{dr} = R_r \cdot I_{dr} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{dr} - (\omega_p - \omega) \cdot \varphi_{qr} \\ V_{qr} = R_r \cdot I_{qr} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{qr} + (\omega_p - \omega) \cdot \varphi_{dr} \end{cases} \quad (II.12)$$

Avec : $(\omega_p = \frac{d}{dt} \theta_p \text{ et } \omega = \frac{d}{dt} \theta)$

II.4.2. Equations magnétiques

$$\begin{cases} \varphi_{ds} = L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_{dr} \\ \varphi_{qs} = L_s \cdot I_{qs} + M \cdot I_{qr} \\ \varphi_{dr} = L_r \cdot I_{dr} + M \cdot I_{ds} \\ \varphi_{qr} = L_r \cdot I_{qr} + M \cdot I_{qs} \end{cases} \quad (II.13)$$

II.4.3. Choix de référentiel : [4], [5]

Selon le repère ou se référer, la position des deux axes (d, q) peut être située selon :

- Référentiel lié au stator ($\omega_p=0$), d'axes (α, β)
- Référentiel lié au rotor ($\omega_p=\omega_r$), d'axes (d, q).
- Référentiel lié au champ tournant ($\omega_p=\omega_s$), d'axes (x, y).

Il existe pratiquement trois possibilités pour le choix de l'orientation du repère d'axes (d, q), qui dépendent évidemment des objectifs de l'application.

N. B : dans les trois cas, les axes biphasés sont orthogonaux.

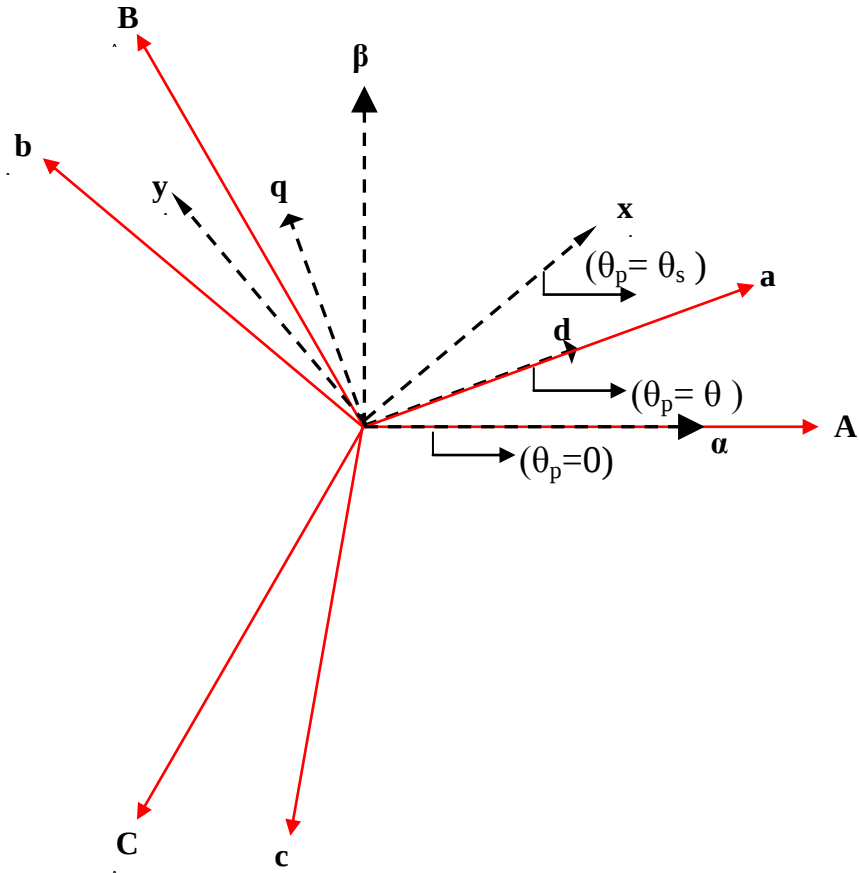


Fig II.4. représentation des axes triphasés réels de la machine
et des axes biphasés (α, β) , (x, y) et (d, q) .

Axes (α, β) : système biphasé lié au stator $(\theta_p = 0 \Rightarrow \omega_p = 0)$

Axes (d, q) : système biphasé lié au rotor $(\theta_p = \theta \Rightarrow \omega_p = \omega)$

Axes (x, y) : système biphasé avec lié au champ tournant $(\theta_p = \theta_s \Rightarrow \omega_p = \omega_s)$

II.4.4. Les équations de la machine dans le référentiel lié au stator (α, β)

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} ; [P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

II.4.4.1. Équations électriques

$$\begin{cases} V_{\alpha s} = R_s \cdot I_{\alpha s} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{\alpha s} \\ V_{\beta s} = R_s \cdot I_{\beta s} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{\beta s} \\ 0 = R_s \cdot I_{\alpha r} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{\alpha r} + \omega \cdot \varphi_{\beta r} \\ 0 = R_s \cdot I_{\beta r} + \frac{d}{dt} \cdot \varphi_{\beta r} - \omega \cdot \varphi_{\alpha r} \end{cases} \quad (\text{II.15})$$

II.4.4.2. Equations magnétiques

$$\begin{cases} \varphi_{\alpha s} = L_s \cdot I_{\alpha s} + M \cdot I_{\alpha r} \\ \varphi_{\beta s} = L_s \cdot I_{\beta s} + M \cdot I_{\beta r} \\ \varphi_{\alpha r} = L_r \cdot I_{\alpha r} + M \cdot I_{\alpha s} \\ \varphi_{\beta r} = L_r \cdot I_{\beta r} + M \cdot I_{\beta s} \end{cases} \quad (\text{II.16})$$

$L_s = l_s - M_s$: inductance cyclique propre statorique

$L_r = l_r - M_r$: inductance cyclique propre statorique

$M = 3/2 \cdot M_{sr}$: inductance mutuelle cyclique stator rotor.

En introduisant les expression des flux (II.18) dans le système (II.18), celui-ci devient

$$\begin{cases} V_{\alpha s} = R_s \cdot I_{\alpha s} + L_s \frac{d}{dt} \cdot I_{\alpha s} + M \frac{d}{dt} \cdot I_{\alpha r} \\ V_{\beta s} = R_s \cdot I_{\beta s} + L_s \frac{d}{dt} \cdot I_{\beta s} + M \frac{d}{dt} \cdot I_{\beta r} \\ 0 = R_r \cdot I_{\alpha r} + L_r \frac{d}{dt} \cdot I_{\alpha r} + M \frac{d}{dt} \cdot I_{\alpha s} + \omega \cdot L_r \cdot I_{\beta r} + \omega \cdot M \cdot I_{\beta s} \\ 0 = R_r \cdot I_{\beta r} + L_r \frac{d}{dt} \cdot I_{\beta r} + M \frac{d}{dt} \cdot I_{\beta s} - \omega \cdot L_r \cdot I_{\alpha r} - \omega \cdot M \cdot I_{\alpha s} \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

Le système d'équation (II.20) peut être exprimé sous la forme matriciel :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha s} \\ V_{\beta s} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha s} \\ I_{\beta s} \\ I_{\alpha r} \\ I_{\beta r} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha s} \\ I_{\beta s} \\ I_{\alpha r} \\ I_{\beta r} \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \\ -L_r & 0 & M & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha s} \\ I_{\beta s} \\ I_{\alpha r} \\ I_{\beta r} \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

on peut écrire le système d'équation (II.21) sous la forme réduite suivante :

$$[V] = [R][I] + \frac{d}{dt} [L][I] + \omega [A][I] \quad (\text{II.19})$$

Tel que :

$$[R] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} ; [L] = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} ; [A] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \\ -L_r & 0 & M & 0 \end{bmatrix}$$

$$[I] = \begin{bmatrix} I_{\alpha s} \\ I_{\beta s} \\ I_{\alpha r} \\ I_{\beta r} \end{bmatrix} ; [V] = \begin{bmatrix} V_{\alpha s} \\ V_{\beta s} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A partir de l'expression (II.19) on peut écrire :

$$\frac{d}{dt}[I] = (-[L]^{-1}[R] - \omega[L]^{-1}[A]) \cdot [I] + ([L]^{-1}) \cdot [V] \quad (\text{II.20})$$

Cette expression représente la forme équivalente de l'équation d'état

$$\frac{dX}{dt} = AX + BU \quad (\text{II.21})$$

Tel que :

X : Vecteur d'état

U : Vecteur de commande

II.4.4.3. Expression du couple électromagnétique

Afin d'étudier les phénomènes transitoires avec une vitesse rotoriques variable (démarrage, freinage, variation de charge) , il faut compléter le modèle par les équation du mouvement.

Dans le repère (α, β) l'équation de couple s'écrit sous les fomes suivantes:

$$\begin{aligned} C_e &= p \cdot (\varphi_{\alpha s} \cdot I_{\beta s} - \varphi_{\beta s} \cdot I_{\alpha s}) \\ C_e &= p \cdot M \cdot (I_{\beta s} \cdot I_{\alpha r} - I_{\alpha s} \cdot I_{\beta r}) \end{aligned} \quad (\text{II.22})$$

L'équation mécanique d'un moteur s'écrit :

$$J \cdot \frac{d}{dt} \Omega + F_r \cdot \Omega = C_e - C_r \quad (\text{II.23})$$

II.5. Modèle proposé en vue de diagnostic

Considérons initialement que la machine est constituée d'un stator à bobinage reparté et d'un rotor à cage d'écureuil. Le modèle proposé est basé sur une approximation des circuits couplés magnétiquement où le courant dans chaque maille de la cage rotor est une variable indépendante .donc on peut modéliser chaque barre de la cage rotorique par une résistance R_b en série avec une inductance de fuite L_b et chaque portion d'anneau de court circuit par une résistance R_e en série avec une inductance de fuite L_e comme le montre la figure III.4 suivante :

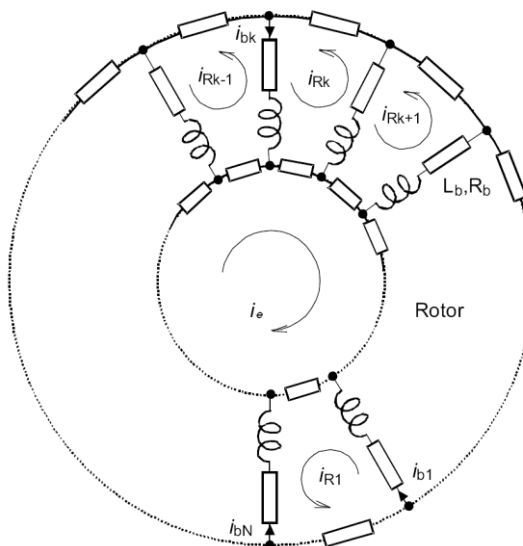


Fig II.5. Circuit équivalent du rotor

D'où, on peut représenter sur la figure 2, le circuit électrique des mailles rotoriques adjacentes.

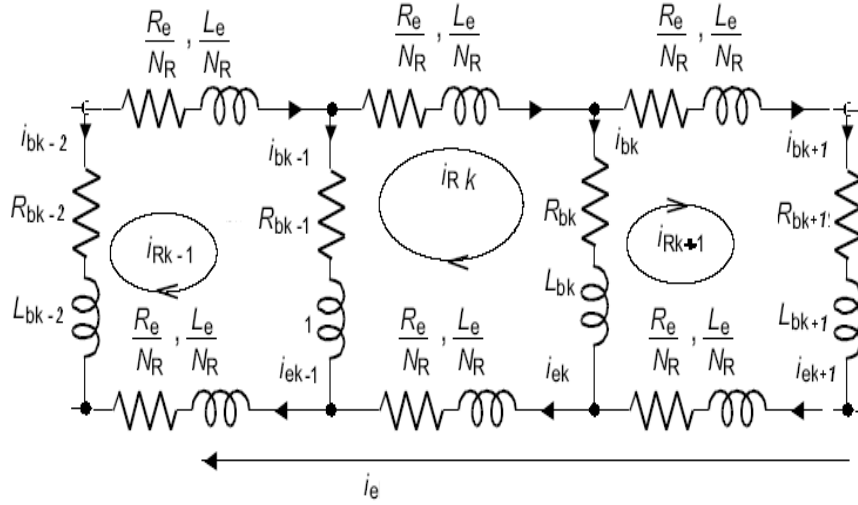


Fig II.6. Circuit équivalent des mailles rotoriques

Une maille rotorique est donc formée par deux barres consécutives reliées à leurs extrémités par deux portions d'anneaux de court-circuit. d'ou

L'application de la loi de kirchoff sur une maille k nous donne :

$$2.(R_b + R_e).i_k - R_b.i_{k+1} - R_b.i_{k-1} - R_e.i_e + \frac{d}{dt}[(L_{rKrK}) + 2(L_b + L_e).i_k + (L_{rkrk+1} - l_b).i_{k+1} + (L_{rkrk-1} - l_b).i_{k-1} + \dots - L_e.i_e + L_{rks1}.i_{s1} + \dots + L_{rksm}] = 0 \quad (II.23)$$

Pour le stator, on suppose qu'il est formé de m phases constituées chacune par des bobines mises en série, réparties régulièrement dans des encoches sur la totalité de son alésage. Nous allons développer un modèle analytique de la machine asynchrone (MAS) à partir des équations générales et on va calculer les différentes inductances de la machine. En suite, on déterminera analytiquement les différentes fonctions intervenant pour le calcul des inductances. Par conclusion le modèle multienroulement est le bien conseillé pour diagnostiquer les machines asynchrones [22], ce modèle sera le futur projet de notre recherche.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons la modélisation de la machine asynchrone dans l'espace d'état, on commence en premier temps par la représentation d'état de la machine asynchrone dans un repère triphasé quelconque selon les trois axes physiques abc , et puis on a présenté la modélisation biphasé dans repère $\alpha\beta$ et la représentation de Park, ainsi que le passage d'un repère triphasé en repère biphasé et vice versa, telque la transformation de Concordia, Clarcke et $\alpha\beta$. La dernière étape est consacré pour présenté la modélisation de la machine avec l'apparition d'un défaut de rupture de barre ou d'avveau au rotor qui est provoque un défaut d'excentricité statique, dynamique ou mixte dans la machine asynchrone.



Chapitre III

III.1. Caractéristiques de la machine asynchrone à l'état saine

Nous avons simulé notre machine alimentée par un réseau triphasé équilibré 380/220V, $f = 50\text{Hz}$. Les simulations ont été effectuées sous Matlab-Simulink. Les paramètres de la machine sont donnés dans l'annexe

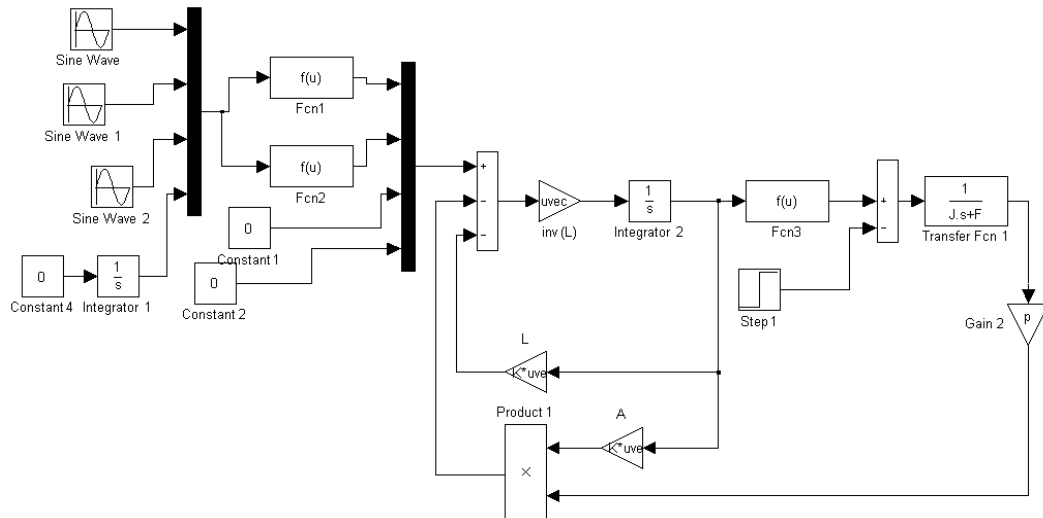


Figure III.1. Bloc diagramme de la MAS dans le référentiel $\alpha\text{-}\beta$

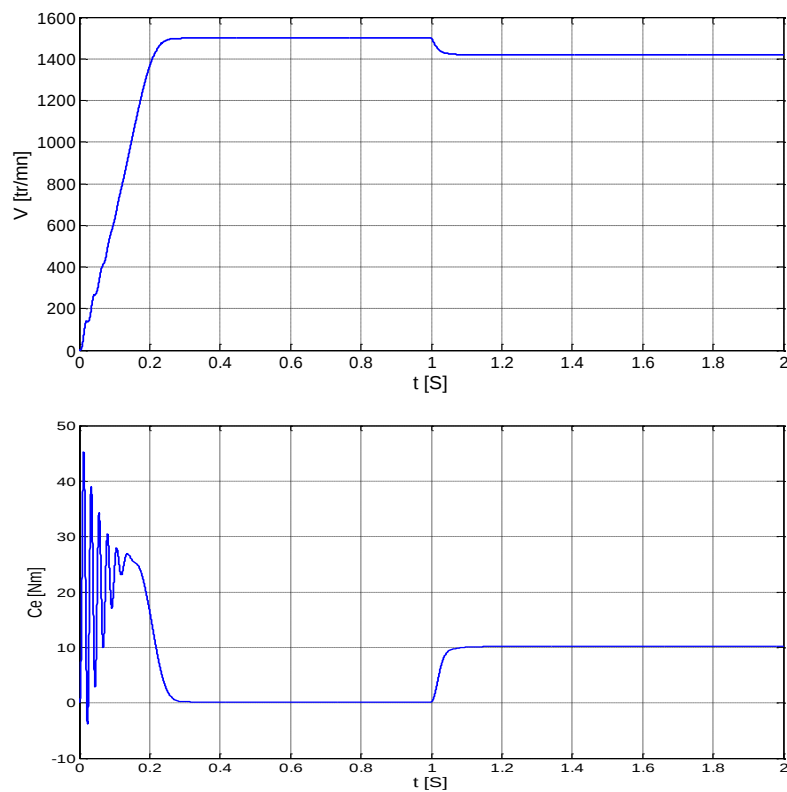


Figure III.2. Couple, Vitesse, Le courant

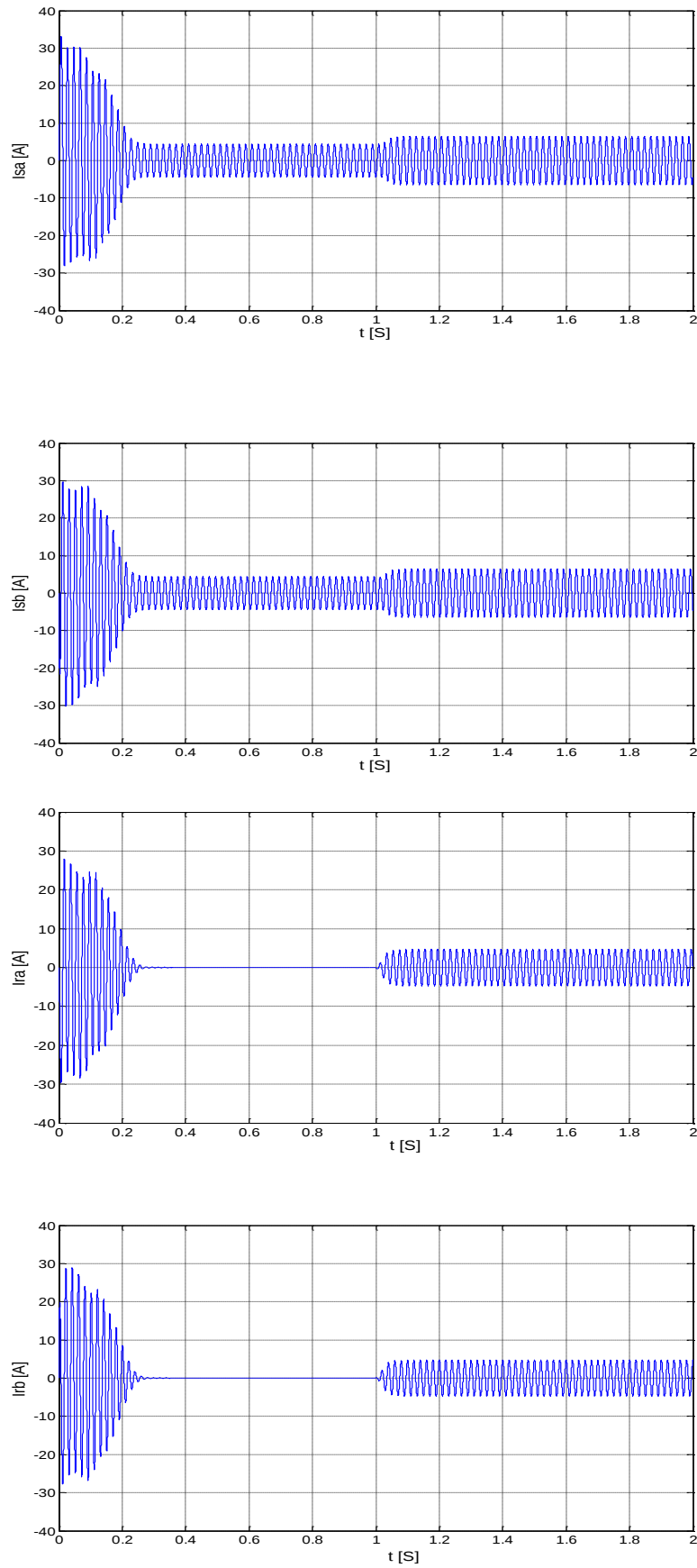


Figure III.3. Les courants I_{sa} , I_{sb} , I_{ra} , I_{rb}

Interprétation des résultats de simulation

- On constate que l'allure de vitesse présente des oscillations pendant le régime transitoire, ce régime qui prend presque 0.23 sec, puis cette vitesse atteint sa valeur nominale de 1500 tr/mn en régime permanent pour un couple nul, cette réponse est assez rapide, car l'inertie de la machine est très faible.
- On remarque aussi que l'allure du couple électromagnétique $C_e=f(t)$ présente aux premiers instants de démarrage des battements importants dans un intervalle de temps court avec un pic de 46 N.m, puis tendre vers le régime où le couple s'annule.
- D'autre part, pour l'allure des courants on constate au début de démarrage des pics assez importants pendant un temps très court, et cela s'explique par la f.e.m qui est due à une faible vitesse au démarrage, puis s'établissent à leurs valeurs en régime permanent.
- A $t=1$ s, on applique un couple de charge de 10 N.m. D'après les résultats de simulation, on remarque que l'insertion du couple de charge entraîne une variation dans les différents réponses pendant cette perturbation (diminution de la vitesse de rotation), puis se stabilise en régime permanent.
- Ces résultats montre bien le fort couplage existant entre ces différents variables indiquant le caractère non linéaire de la machine

III.2. Caractéristiques de la MAS avec alimentation déséquilibrée

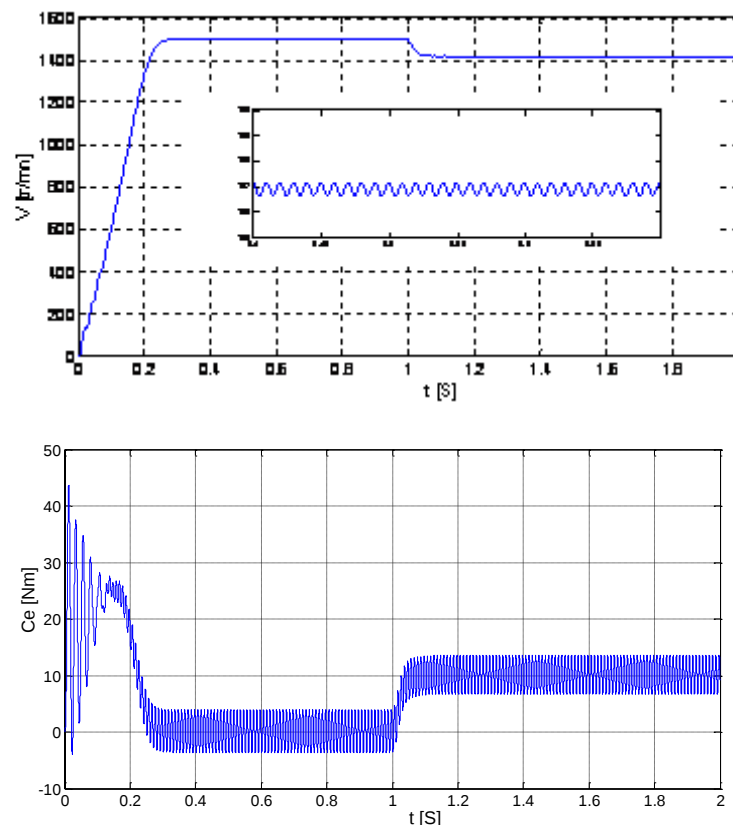


Figure III.4. Ondulation du couple électromagnétique et la vitesse

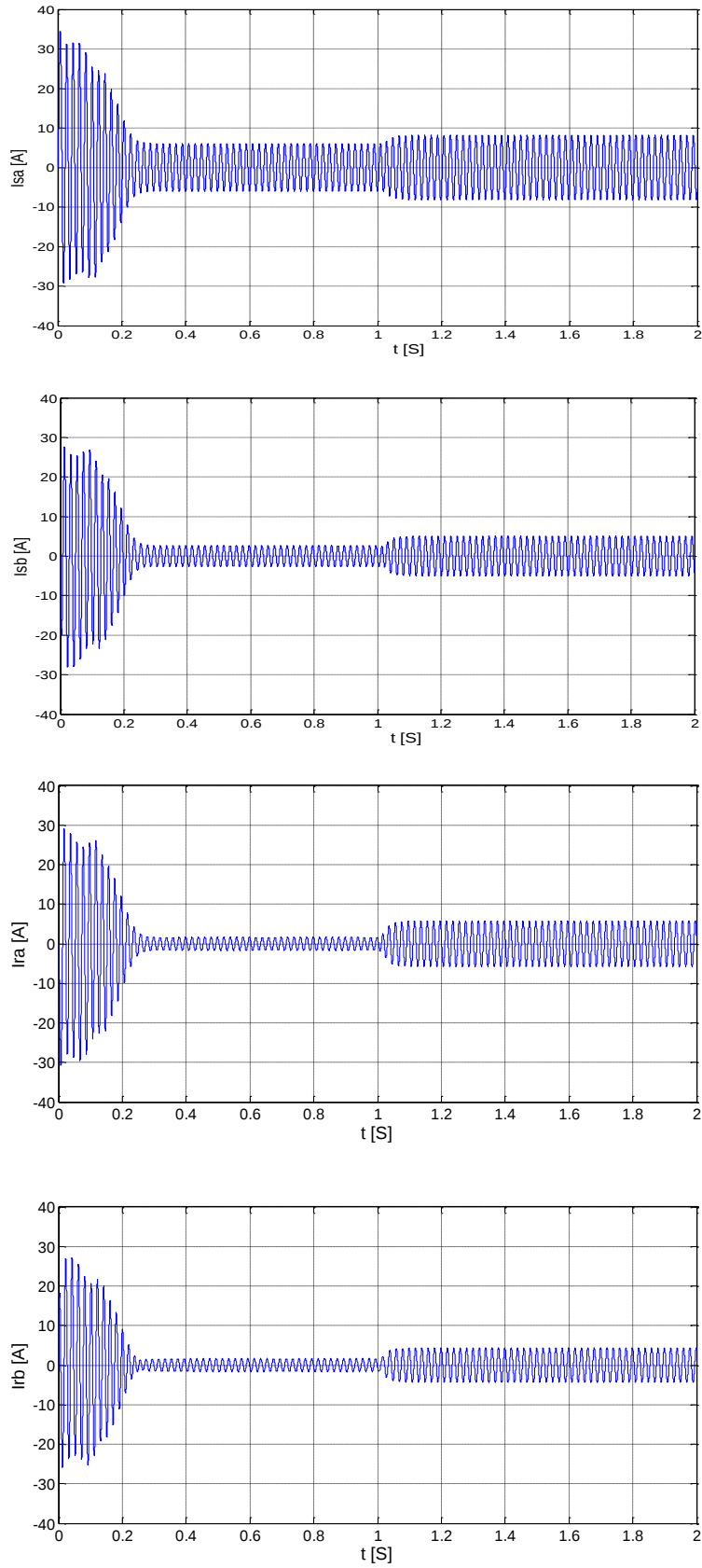


Figure III.5. Les courants I_{sa} , I_{sb} , I_{ra} , I_{rb}

On constate que l'allure de vitesse présente des oscillations pendant le régime transitoire, ce régime qui prend presque 0.23s, puis cette vitesse atteint sa valeur nominale de 1500 tr/min en régime permanent avec des faibles oscillations.

L'allure du couple électromagnétique présente aux premiers instants de démarrage des battements importants dans un intervalle de temps court avec un pic de 46 N.m, puis tend vers le régime permanent avec des fortes oscillations.

D'autre part, pour l'allures des courants présentent on constate au démarrage des pics assez importants pendant un temps très court, puis s'établissent à leurs valeurs en régime permanent avec des faibles oscillations.

Conclusion générale

Les machines électriques nécessitent une détection rapide et précoce de leurs défauts, à cause de leurs utilisations fréquentes dans diverses applications. Le travail présenté dans ce mémoire expose l'apport des méthodes de plan de phase et d'analyse fréquentielle au diagnostic des défauts des machines asynchrones.

Pour aborder l'étude, nous avons établi un état des défauts pouvant intervenir dans la machine asynchrone et des méthodes permettant de les identifier. Ce contexte préliminaire a mis en évidence deux méthodes en vue du diagnostic de défauts dans la machine asynchrone.

La première est directement liée à l'évolution temporelle des signaux et à la représentation dans le plan de phase du courant stator. La méthode utilisée peut être utilisée pour fournir une estimation fiable des grandeurs difficilement mesurables. Les signaux et paramètres de sortie sont alors utilisés pour la surveillance et le diagnostic de défauts de la machine asynchrone.

La deuxième méthode a été consacrée à la description d'une méthode de diagnostic qui permet la détection d'un défaut naissant au rotor d'une machine asynchrone. Cette méthode s'appuie sur l'évaluation de l'amplitude des composantes présentes dans le spectre du courant statorique pour détecter l'apparition d'une barre rotorique partiellement cassée.

Les résultats de simulation par le logiciel MATLAB obtenus ont permis de détecter la présence d'un défaut d'excentricité naissant de la rupture d'une barre rotorique.

Annexe

Inductance statorique : $l_s=0.274$ H

Inductance rotorique : $l_r=0.274$ H

Résistance du stator : $r_s=4.850$ Ω

Résistance du rotor : $r_r=3.805$ Ω

Inductance mutuelle: $m=0.258$ H

Moment d'inertie du rotor : $J=0.031$ Kgm^2

Coefficient de frottement : $F=0.00114$ Nm/rads

Nombre de pôles : $p=2$

Fréquence nominale : $f=50$ Hz

Vitesse $\omega_s=2*\pi*f$ rd/s

Références

- [1]. B. Dubuisson., 2001, Automatique et statistique pour le diagnostic, Hermès, Paris.
- [2]. O. Ondel., 2006, Diagnostic par reconnaissances de formes, Application a un ensemble convertisseur- machine asynchrone, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon.
- [3]. G. Didier., 2004, Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillance, Thèse de doctorat, université de Henri Poincaré- Nancy.
- [6]. I. Bachir., 2002, Contribution du diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique, Thèse de doctorat, Université de Poitiers,
- [7]. D. Henry, A. Zolghadri, and M. Monsion., 1999, Integrity monitoring of induction motors using frequency-domain model invalidation techniques, *European Control Conference ECC'99*, (Karlsruhe, Germany), pp. Paper F 1056-1060.
- [11]. B. Bensaker, A. Maouche, A. Metatla and H Kherfane., 2004, Sensorless control and monitoring of induction motor, *2nd international symposium of hydrocarbons and chemistry*, Ghardaia, Algeria.
- [Dev 01] .V. Devanneaux, H. Kabbaj, B. Dagues et J. Faucher, "An accurate model of squirrel cage induction machines under static, dynamic or mixed eccentricity" Proc. IEEE SDEMPED 2001 – Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, pp.121-126, 1-3 Septembre 2001 Grado, Italie
- [Sob 98] .T. J. Sobczyk, A. Izworski, "Recognition of rotor eccentricity of induction motor based on the fourier spectra of phase currents" Proc. ICEM'98, pp. 408 – 413 , Vol 1, september 2 - 4 1998 Istanbul Turkey
- [22]. A. Abed, "Contribution à l'Etude et au Diagnostic de la Machine Asynchrone", Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-1, mars 2002.