

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI - LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE
Mémoire de MASTER

Domaine : Technologie et technique
Filière : Génie électrique
Option : Commande électrique

Présenté par :

❖ **BENCHAOUI Amir Aissa**

THEME

**Diagnostic d'un défaut d'excentricité d'une machine
asynchrone**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. KOUZI Katia	Professeur	Présidente
Mr. BESSEDIK Sid Ahmed	M.C.A	Examineur
Mr. CHEKIDEL RABAH	M.C.A	Rapporteur
Mr. MERIOUMA Takkieddine		

Année Universitaire 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce travail :

À Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

À Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

À Mes professeurs de département d'électrotechnique qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

À toute ma famille,

À tous mes amis (es) et collègues,

À tous ceux qui me sont chers et proches,

À tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue,

À tous ceux que j'aime

Ben chaoui Amir Aissa

Remerciements

Nos remerciements vont tout premièrement, le bon DIEU le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la santé durant toutes ces années et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Tout d'abord, nous tenons ainsi à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à Mr. Chekidel Rabah et Mr. Takkieddine Meriouma pour les conseils précieux, les orientations, et l'aide qu'ils nous a accordé pour mener ce travail à terme.

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Notre profonde reconnaissance et nos respects les plus distingués à l'ensemble des enseignants de la faculté de technologie de l'université de Laghouat, qui ont assuré notre formation tout au long de nos années d'études.

Nous voudrions associer à nos remerciements toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. A ce jeu, il est impossible de ne pas oublier des noms. On voudrait présenter d'avance nos excuses à ceux qui pourraient alors subir les affres de l'oubli.

Enfin, nous tiens remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre projet final et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire.

ملخص

إن الآلة المتزامنة لها نسبة معتبرة من الاستعمال مقارنة بباقي الأنواع لذلك فإن حمايتها و صيانتها وكذا اكتشاف اعطابها يعتبر من اهم الابحاث .

يضمن هذا العمل لمحاكاة الانحراف المركزي في الماكنة الكهربائية الامتزامنة , وذلك باستخدام تقنية التحليل الطيفي للتيار الكهربائي في الساكن , محاكاة الانحراف المركزي في المحرك الحثي تهدف اساسا الى التحقق من تأثير العطب على السلوك الكهربائي للماكنة

Résumé

Devant l'utilisation croissante de la machine asynchrone dans les divers domaines, les études en vue de la protection, la maintenance et de la détection des défauts est devenu l'un des plus importants axes de recherche.

Ce travail est consacré à la simulation de l'excentricité de la machine asynchrone triphasée en utilisant la technique d'analyse spectrale du courant statorique . La simulation de l'excentricité dans la machine asynchrone a le but de vérifier l'effet du défaut sur le comportement électrique de la machine asynchrone.

Abstract

The asynchronous machine has a significant percentage of use compared to the rest machines so the protection and maintenance as well as the discovery of defects are one of the most important researches .

This work is devoted to the simulation of eccentricity in the three-phase asynchronous machine using the spectral analysis technique of the stator current . The simulation of the eccentricity in the asynchronous machine has the purpose of verifying the effect on the electrical behaviour of the asynchronous machine.

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre I

Méthode et diagnostic des défauts dans la machine asynchrone

I.1 Introduction	3
I.2 Constitution de la machine asynchrone	3
I.2.1 Le stator	4
I.2.2 Le rotor	5
I.2.3 Le rotor bobiné	5
I.2.4 Le rotor a cage	5
I.2.5 Paliers	6
I.2.6 L'arbre	6
I.3 Principaux défauts d'une machine asynchrone	7
I.3.1 Défaillance due au réseau d'alimentation	7
I.3.2 défaillance d'ordre mécanique	8
1 Défaillance des roulement	8
2 Défaillance de flasque	9
I.3.3 Défaillance d'ordre électrique	9
I.3.3.1 Défaut statorique	9
1 Cout circuit entre spires	10
2 Cout circuit entre phase	11
I.3.3.2 Défaut rotorique	11
1 Ruptures de barres	11
2 Rupture d'anneaux	12
I.3.3.3 Défaut d'excentricité	12
1 Excentricité statique	12
2 Excentricité dynamique	12
I.4 Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone	13
I.5 méthode du diagnostic actuelle	14
I.5.1 Diagnostic par analyse fréquentielle du courant statorique	14
I.5.2 Diagnostic par analyse du vecteur de Park	15
I.5.3 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique	15

I.5.4 Diagnostic par mesure de la puissance instantanée	15
I.5.5 Diagnostic par estimation paramétrique	16
I.5.6 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle	17
I.6 Conclusion	17

Chapitre II

Modélisation de la machine asynchrone

II.1 Introduction.....	18
II.2 Modélisation de la machine asynchrone	18
II.2.1 Hypothèses simplificatrices	18
II.2.2 Equation de la machine	19
II.2.2.1 Equations électriques	19
II.2.2.2 Equations magnétiques	20
II.2.2.3 Equations mécaniques	20
II.2.3 Transformation triphasé- biphasé	21
II.2.3.1 Transformation de Park	21
II.2.3.2 La transformation de Clarke	22
II.2.3.3 La transformation de Concordia	24
II.2.4 Application aux équations de la machine	24
II.2.4.1 Equations des tensions	25
II.2.4.2 Equations des flux	26
II.2.4.3 Equations mécaniques	26
II.3 Choix du référentiel	26
II.3.1 Référentiel lié au stator	27
II.3.2 Référentiel lié au rotor	27
II.3.3 Référentiel lié au champ tournant	27
II.4 Modèle multi-enroulement	28
II.4.1 Hypothèses simplificatrices	28
II.4.2 Equations électriques du stator	28
II.4.3 Equations électriques du rotor	29
II.4.4 Equations mécaniques de la machine	31
II.5 Représentation d'état du modèle de la machine asynchrone	31
II.6 Le principe utilisé pour la modélisation du défaut	32
II.7 Conclusion	32

Chapitre III

Résultats du simulation

III.1 Introduction	33
III.2 Méthode de traitement de signal	33
III.2.1 La transformée de Fourier Rapide (FFT)	33
III.2.2 Propriétés de la FFT	34
III.3 Introduction à l'analyse spectrale	34
III.3.1 L'Analyse spectrale	34
III.4 Etude du comportement de la MAS dans un état sain et en présence du défaut	34
III.5 Résultats de simulations du model	35

Listes des Figures

Figures	page
Chapitre I	
1.1 Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil	3
1.2 Photo du stator d'une machine asynchrone	4
1.3 Rotor à cage d'écureuil	6
1.4 Répartition des pannes	7
1.5 Le roulement à bille	9
1.6 Représentation des différents défauts statoriques possible	10
1.7 Defaut d'un cout circuit statorique	10
1.8 Représentation de l'excentricité statique et dynamique	13
1.9 Spectre fréquentiel du courant statorique expérimental pour un rotor sain	14
1.10 Spectre fréquentiel du courant statorique expérimental pour un rotor défaillant (une barre cassée)	15
Chapitre II	
2.1 Représentation spatiale de la transformation triphasé/biphasé	21
2.2 Principe de la transformation de Clarke	23
2.3 Représentation angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique	25
2.4 Circuits éclectiques des trois phases statoriques	29
2.5 Schéma équivalent de la cage d'écureuil rotorique	30
Chapitre III	
3.1 Les tensions V_{sa} V_{sb} V_{sc} en regime permanents du moteur sain	35
3.2 La tension V_{sa} en régime permanents du moteur sain	36
3.3 Spectre du courant I_{sa} dans l'état sain	36
3.4 Visualisation de la tension V_{sa}	37
3.5 La FFT de la tension V_{sa}	38

3.6 Le contour de park Vs beta-Vs alpha	38
3.7 La FFT de la tension V_{sa} dans le cas sain	39
3.8 La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale a 0.3	39
3.9 La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale a 0.7	39
3.10 La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale a 1	40
3.11 Visualisation du courant I_{sa}	41
3.12 Le contour de Park Is beta -Is alpha	41
3.13 La FFT du courant I_{sa}	42
3.14 La FFT du courant I_{sa} dans le cas sain	42
3.15 La FFT du courant I_{sa} avec un facteur de battement égale a 0.3	43
3.16 La FFT du courant I_{sa} avec un facteur de battement égale a 0.7	43
3.17 La FFT du courant I_{sa} avec un facteur de battement égale a 1	43

Notations Symboliques

Liste des principaux symboles :

Symbole	Désignation
d, q	Axes correspondants au référentiel lié au champ tournant.
N	La vitesse de rotation du champ tournant.
P	Nombre de pair de pôles.
<i>uds</i>	Tension statorique d'axe d.
<i>uqs</i>	Tension statorique d'axe q.
<i>udr</i>	Tension rotorique d'axe d.
<i>uqr</i>	Tension rotorique d'axe q.
<i>Rs</i>	Résistance d'une phase statoriques.
<i>Rr</i>	Résistance d'une phase rotorique.
<i>ids, iqs</i>	Courant statorique d'axe (d,q).
<i>iqr, idr</i>	Courant rotorique d'axe (d,q).
<i>wr</i>	Vitesse de rotation électrique ($wr = p.\Omega$) [rad/s].
Ω	Vitesse de rotation mécanique [rad/s].
<i>$\psi ds, \psi qs$</i>	Flux statorique d'axe (d, q).
<i>$\psi dr, \psi qr$</i>	Flux rotorique d'axe (d, q).
<i>Cem</i>	Couple électromagnétique.
<i>Cr</i>	Couple résistant.
J	Moment d'inertie de la partie tournante de la machine.
<i>Vas, Vbs, Vcs</i>	Tensions d'alimentation du statoriques.
<i>Var, Vbr, Vcr</i>	Tensions d'alimentation du rotoriques.
<i>$\psi as, \psi bs, \psi cs$</i>	Tensions d'alimentation du rotoriques.
<i>$\psi ar, \psi br, \psi cr$</i>	Flux rotorique.
<i>ias, ibs, ics</i>	Courant statorique.
<i>iar, ibr, icr</i>	Courant rotorique.
<i>Ms, Mr</i>	Inductance mutuelle entre phases statoriques, rotorique.
<i>Ls, Lr</i>	Inductance propre d'une phase statorique, rotorique.
[P]	La matrice de transformation directe de Park.
[P]⁻¹	La matrice de transformation inverse de Park.
<i>ws</i>	Pulsation électrique statorique.

w

La pulsation électrique rotorique.

fr

Coefficient du frottement.

Introduction Générale

La machine asynchrone, est la machine la plus robuste et la moins chère du marché. La plus grande utilisation de cette machine est due à la standardisation, cette machine est largement utilisée dans la plupart des entraînements électriques dans plusieurs domaines industriels, et pour des applications à vitesse variable

Comme toute autre machine, la machine asynchrone n'est pas à l'abri d'un dysfonctionnement. Elle peut être affectée par des défauts électriques ou mécaniques au niveau du stator, ou du rotor, ou les deux en même temps.

Les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiables car une quelconque défaillance, même la plus anodine, peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable. Beaucoup de ces défaillances entraînent des vibrations de la machine défaillante. Les vibrations peuvent alors être comme des symptômes de défaillances qui permettraient de traduire l'état mécanique d'une machine tournante. Pour cela, ces vibrations doivent être traitées à travers d'outils d'aide à la détection et au diagnostic de défaillances. La terminologie d'usage pour qualifier ces interventions est riche : détection, localisation, diagnostic, surveillance [1].

Il est intéressant de détecter les défauts à leur début afin de minimiser les coûts de maintenance et d'éviter les temps d'arrêt imprévus.

Plusieurs défauts de la machine ont été étudiés dans la littérature, tels que les ruptures de barres ou d'anneaux d'extrémité, les courts circuits entre spires, et les excentricités, etc. et plusieurs méthodes ont été développées, et appliquées efficacement pour le diagnostic et l'identification des différents défauts.

Le travail réalisé dans ce mémoire présente le diagnostic du défaut de l'excentricité dans la machine asynchrone à cage d'écureuil. Les outils d'analyse et diagnostic du défaut sont à base de l'analyse spectral, pour mener cette étude, le mémoire est structuré en trois chapitres:

- Le premier chapitre, est consacré sur les principaux défauts de la machine asynchrone. ainsi que les différentes méthodes de détection et diagnostic de ces défauts.
- le second chapitre présente le modèle mathématique de la machine asynchrone

- Dans le troisième chapitre , on va analyser et discuter les résultats obtenus pour un défaut de l'excentricité . Dans ce chapitre on va comparer entre le fonctionnement du moteur sain et défectueux

Enfin , nous avons finaliser notre travail par une conclusion général .

Chapitre I

Méthode et diagnostic des défauts dans la machine asynchrone

I.1 Introduction :

Ce présent chapitre est consacré a le comportement de la machine asynchrone à cage d'écureuil et les différentes défaillances qui peuvent affecter le moteur asynchrone ainsi que les méthodes et les techniques du diagnostic pour la détection des défauts .

I.2 Constitution de la machine asynchrone

La machine asynchrone , souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor , constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor :Bobiné ou à cage d'écureuil.

Toutefois, nous admettons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, en nous intéressant à la machine asynchrone à cage d'écureuil.

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la Figure 1.1.

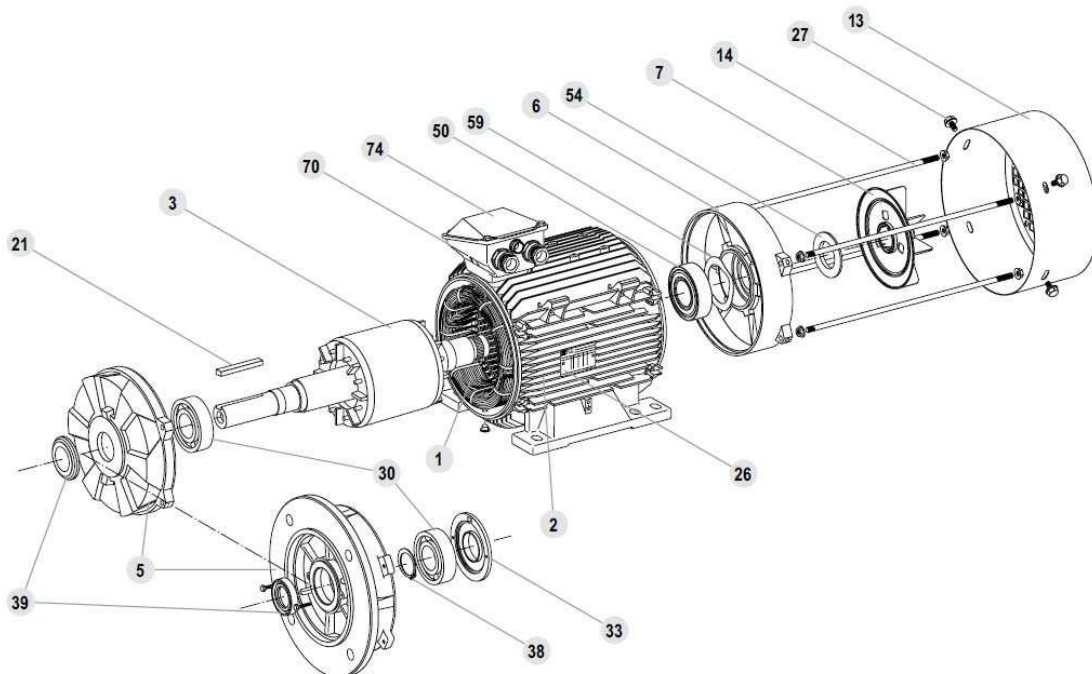


Figure 1.1

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	14	Tiges de montage	39	Joint côté accouplement
2	Carter	21	Clavette	50	Roulement arrière
3	Rotor	26	Plaque signalétique	54	Joint arrière
5	Flasque côté accouplement	27	Vis de fixation du capot	59	Rondelle de précharge
6	Flasque arrière	30	Roulement côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
7	Ventilateur	33	Chapeau intérieur côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement		

I.2.1 Le Stator :

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine (figure 1.2). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique .



Figure (1.2)

I.2.2 Le rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors des machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés ou à cage d'écureuil.

I.2.3 Le rotor bobiné

Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dit "de court-circuit", eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium

I.2.4 le rotor a cage

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor figure (1.3). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Dans le cas de rotors à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettés 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 et, de ce fait, son prix de revient est inférieur. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service [2].

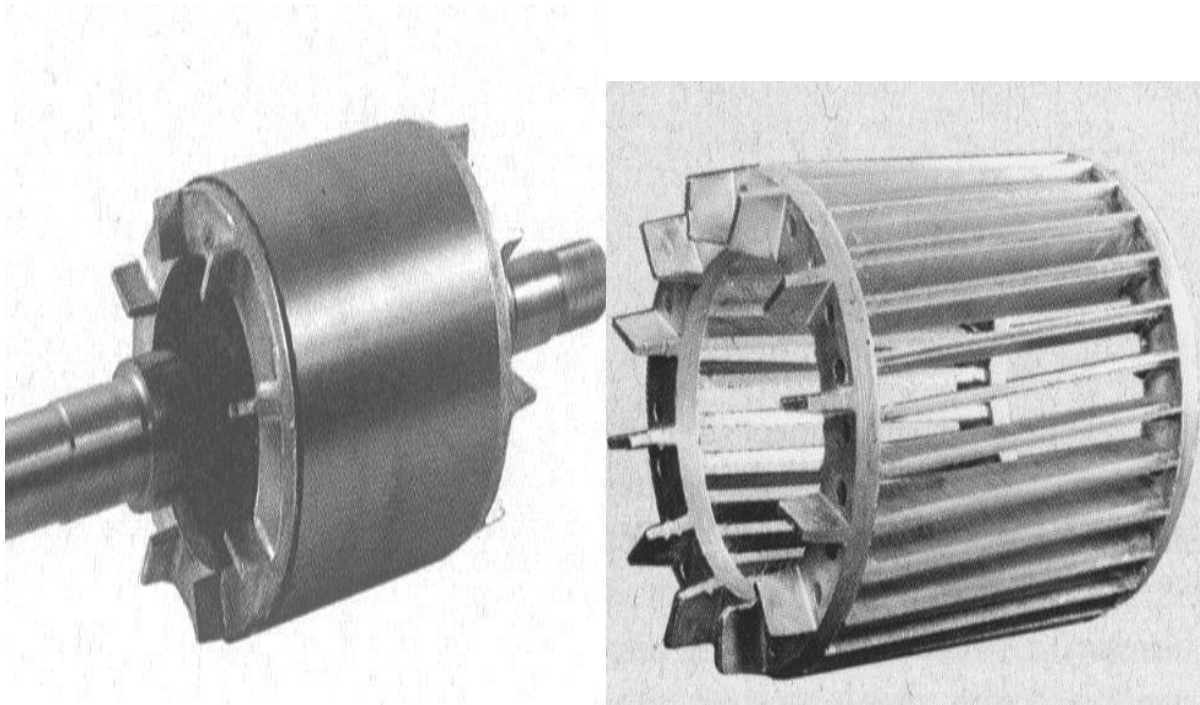


Figure (1.3) : Rotor à cage d'écureuil

I.2.5 Paliers:

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et assurent sa libre rotation. Les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers, l'autre palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre, Lorsque les forces axiales exercées sur le rotor sont importantes, le calage longitudinal est assuré par une butée.

Les dissymétries des reluctances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante [3]

I.2.6 L'arbre:

L'arbre de la machine électrique est un organe de transmission du mouvement de rotation, Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor, au circuit magnétique et aux enroulements tournants. L'arbre est lui-même supporté par un ou plusieurs paliers suivant la configuration de l'ensemble de la ligne d'arbre [4].

I.3 Principaux défauts d'une machine asynchrone:

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. La détection de ces défauts en cours d'évolution et en cours d'apparition est l'un des objectifs des chercheurs.

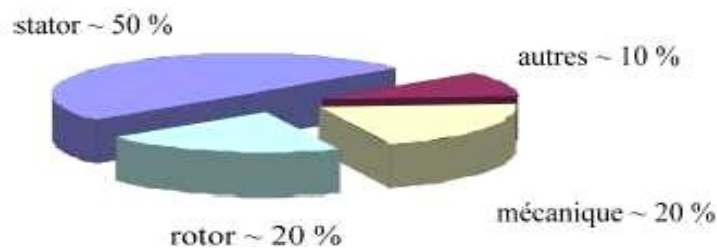


Figure (1.4) : Répartition des pannes

I.3.1 Défaillance due au réseau d'alimentation

Les réseaux et les installations électriques sont le siège d'incidents de nature aléatoire, dont les plus fréquents sont:

- Court-circuit entre les phases
- Coupure de phase d'alimentation
- Déséquilibre des tensions d'alimentation.

Les répercussions de ces anomalies sur la continuité du service et le fonctionnement des équipements dépendent de la nature du défaut. Ce dernier est provoqué soit dans les réseaux aériens soit par des contraintes de nature:

- Climatique (pluie, foudre ...)
- D'environnement (branches d'arbres, plombes de chasses,...)
- Par suite de l'interconnexion des différents réseaux.

Il en résulte que les installations électriques peuvent subir un nombre difficilement prévisible de perturbations de tension dont l'influence se caractérise par, soit une chute de tension transitoire, soit une coupure brève. Dans les cas les plus graves, cela provoque la coupure de longue durée [5]

I.3.2 défaillance d'ordre mécanique:

Les défaillances d'ordre mécaniques sont , en général, les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone , ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes , des flasques ou encore de l'arbre moteur , nous énumérons , dans la suite du document , certains de ces défauts sans pour autant en donner les détails , nous pouvons trouver dans la littérature des ouvrages très complets qui traitent de ces divers problèmes .

1 Défaillance des roulements :

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor , ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor , Dans l'article [] , l'auteur présente la plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme il a été présenté précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances , il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles :

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification
- l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage
- les courants d'arbres

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'ondulation de leur surface de roulement
- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine, dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur [1]

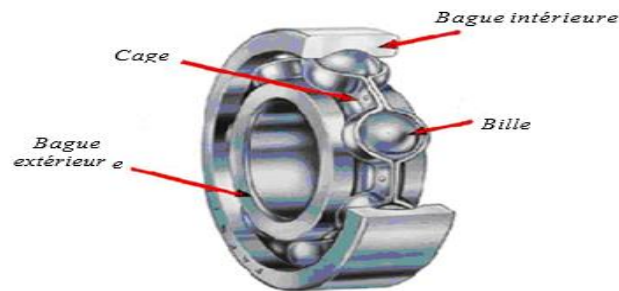


Figure (1.5) : Le roulement à billes

2 Défaillance de flasque :

Les défauts créés par les flasques de la machine asynchrone sont le plus généralement causés à l'étape de fabrication. En effet, un mauvais positionnement des flasques provoque un désalignement des roulements à billes, ce qui induit une excentricité au niveau de l'arbre de la machine. Il est possible de détecter ce type de défaillance par une analyse vibratoire ou une analyse harmonique des courants absorbés par la machine [3].

I.3.3 Défaillance d'ordre électrique:

Les défaillances d'origine électrique peuvent dans certains cas, être la cause d'un arrêt de la machine (au même titre que les défaillances d'ordre mécanique), ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes.

Nous pouvons citer les défaillances qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celles qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.

I.3.3.1 Défaut statorique :

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses, on peut citer à titre d'exemple, les

défauts de type courts-circuits entre-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques .

Ce type de défauts peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique , On peut citer aussi es courts-circuits qui apparaissent entre une phase et le neutre , entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou entre deux phases statoriques .

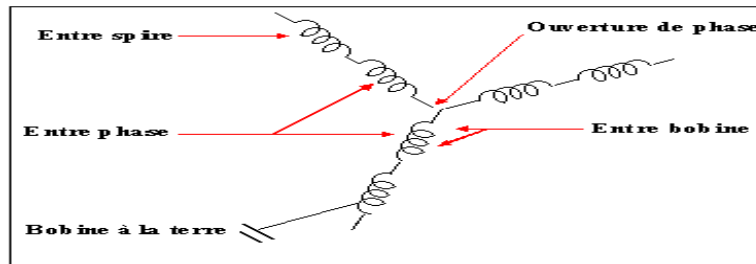


Figure (1.6) : Représentation des différents défauts statoriques possible



Figure (1.7) : Défaut d'un court circuit statorique

1 Court circuit entre spires :

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concernent il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée et une légère variation de l'amplitude sur les autres phases , modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotoriques ceci a pour conséquence une augmentation de la température niveau du bobinage et , de ce fait , une dégradation accélérée des isolants , pouvant provoquer ainsi , un défaut de 2-ème court – circuit , par contre le couple

électromagnétique délivré par la machine reste sensiblement présente une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut [6].

2 Cout circuit entre phase :

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions seront pas les mêmes selon la localisation, cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système.

L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs.

Les courants statoriques sont totalement déséquilibrés et ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît, Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases [6].

I.3.3.2 Défaut rotorique :

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie rotorique au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer des problèmes tels que : thermique (surcharge), électromagnétique (excentricité), résiduel (déformation), dynamique (arbre de transmission) et mécanique (roulement). Les défauts qui sont les plus récurrents localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit :

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 rotoriques, 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 croit rapidement avec le nombre de barres cassées.

Rupture 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 confondu, avec la rupture de barres, 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 [7].

Défaut d'excentricité:

Il existe deux types de défauts d'excentricité associés aux moteurs à induction : l'excentricité statique et l'excentricité dynamique, quand l'excentricité est statique l'épaisseur d'entrefer entre le stator et le rotor varie, mais la position de l'entrefer minimum reste fixe. L'excentricité dynamique (DE) existe lorsque l'axe de rotation coïncide avec l'axe du stator mais pas avec l'axe du rotor, l'emplacement de l'entrefer minimum change alors avec la position angulaire du rotor et tourne avec lui, pour l'excentricité mixte (ME), les deux défauts (SE) et (DE) sont présents en même temps et l'axe de rotation est différent des deux axes du stator et du rotor.

Excentricité statique :

Peut - être causée par des défauts de fabrication du noyau du stator (c'est-à-dire de forme ovale) et les problèmes d'installation, où le rotor peut ne pas être monté exactement dans le centre du stator.

Excentricité dynamique :

Peut - être causée par des défauts de fabrication du rotor, où le diamètre du rotor n'est pas concentrique avec le centre de l'arbre, et les problèmes de roulement, où il pourrait y avoir un mouvement radial dans le roulement dû à des défauts d'usure

ou de fabrication . Quand l'excentricité est dynamique , la différence d'entrefer entre le stator et le rotor varie mais la position de l'entrefer minimum tourne avec le rotor.



Figure (1.8) Représentation de l'excentricité statique et dynamique

I.4 Principe du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone :

Le diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance. La procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes :

Extraction des informations issues de capteurs de la machine pour obtenir des indicateurs de défauts ou résidus . Le résidu représente la différence entre l'observation et la valeur de référence. Avant de chercher la cause du défaut , il est important de valider l'information fournie par les résidus.

- la valeur du résidu doit être quantifiée afin de produire des symptômes. Le problème d'évaluation des résidus consiste à définir le seuil à partir duquel on déclarera le défaut.
- la décision constitue la dernière étape de la tâche du diagnostic. A partir de la comparaison de la signature actuelle avec celle de l'expérience, il s'agit de déclarer, dans un premier temps, si l'élément est défaillant ou non. Dans un second temps, s'il élément est défaillant, il faut trouver la cause de l'anomalie [6].

I.5 Méthode du diagnostic actuelle :

Il existe plusieurs méthodes de détection ou de diagnostic parce que le diagnostic il a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance . On peut citer quelque méthodes tel que :

I.5.1 Diagnostic par analyse fréquentielle du courant statorique :

L'analyse du courant statorique dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée car le spectre résultant contient une source de renseignement sur la majorité des défauts électriques et magnétiques pouvant apparaître au sein d'une machine asynchrone.

Les recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statoriques pour deux raisons : Les courants sont faciles à mesurer , ils fournissent des informations sur de nombreux défauts . L'apparition ou la modification de l'amplitude des raies du spectre représente des défauts de la machine.

A titre d'exemple , nous présentons sur les Figures (a) et (b) le spectre du courant statorique lorsque la machine fonctionne avec un rotor sain, et un rotor défaillant (une barre cassée) , on constate l'apparition des composantes en symétrie autour de la fréquence du réseau , ce qui traduit la présence d'un défaut au sein de la cage d'écurueil [8] .

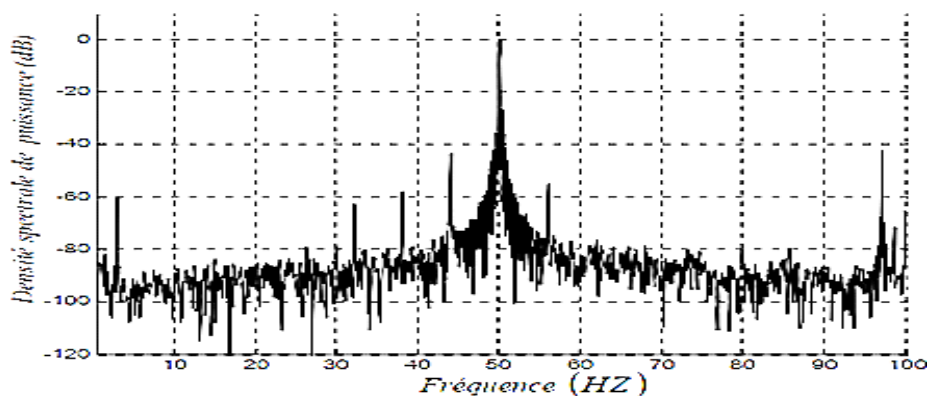


Figure (1.9) Spectre fréquentiel du courant statorique expérimental pour un rotor sain

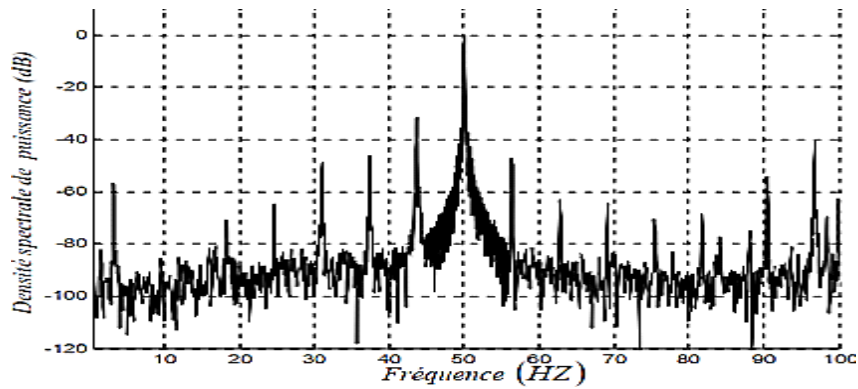


Figure (1.10) Spectre fréquentiel du courant statorique expérimental pour un rotor défaillant (une barre cassée)

I.5.2 Diagnostic par analyse du vecteur de Park :

Deux versions d'analyse par cette méthode à savoir:

La première utilise les grandeurs biphasées i_{ds} et i_{qs} , qui sont calculées à partir des trois courants d'alimentation, pour l'obtention de la courbe de Lissajous : $i_q = f(i_d)$.

Le changement de l'épaisseur et de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut.

La deuxième est appelée Vecteur de Park Etendu, qui est basée sur l'analyse spectrale du module du vecteur de Park, elle présente beaucoup d'avantages quant à la détection des défauts statoriques ou rotoriques et même les défauts de roulement [6]

I.5.3 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique :

Le couple électromagnétique développé dans la machine, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique.

L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé de la machine [10].

I.5.4 Diagnostic par mesure de la puissance instantanée :

La puissance instantanée est la somme des produits des courants et des tensions dans les trois phases statorique. Donc, le niveau d'informations apportées par cette grandeur, est plus

grand que celui apportées par le courant d'une seule phase. Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres [10] .

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans la machine asynchrone a fait l'objet de nombreux travaux.

1.5.5 Diagnostic par estimation paramétrique:

Cette méthode de diagnostic utilise les paramètres structuraux d'un modèle de connaissance et extrait par la suite des paramètres du système à partir des lois de connaissance pour détecter et localiser les défaillances. Le point essentiel dans l'efficacité de cette méthode est le choix du modèle de connaissance , En effet , le type de défaut que l'on voudra détecter sera fonction du modèle utilisé.

Les premiers travaux relatant de l'estimation de paramètres ont débuté avec des modèles relativement simples (modèle de Park par exemple utilisés depuis plusieurs années pour la commande des machines électriques , ces modèles n'ont besoin que de quatre paramètres pour effectuer le diagnostic de défaut ce qui , dans certain cas , ne permet pas de localiser avec précision la défaillance , l'étape suivante est donc nécessairement le passage à un modèle de connaissance plus fin de la machine , tout en gardant la possibilité d'identifier les paramètres souhaités , ces modèles peuvent être des modèles triphasés, qui s'affranchissent de l'hypothèse d'une machine magnétiquement équilibrée , ou encore des modèles à n phases , capables de refléter le fonctionnement de la machine sur une large bande de fréquences

Des algorithmes spécifiques ont été élaborés pour l'estimation séquentielle de paramètres , le filtre de Kalman apparaît comme le plus adéquat de tous mais aussi le plus délicat à mettre en œuvre , tout d'abord , en tant qu'algorithme d'identification en temps réel , le filtre de Kalman étendu délivre un modèle adaptatif , capable de prendre en compte les évolutions normales des paramètres de la machine telles que la variation des résistances en fonction

de la température ou encore la variation des inductances en fonction du niveau de saturation , par ailleurs , les paramètres estimés , eux-mêmes , permettent une première analyse des conditions de fonctionnement de la machine. Par exemple, une augmentation anormale de la valeur des résistances statoriques peut signifier un en fonction de la température ou encore la variation des inductances en fonction du niveau de saturation.

Par ailleurs, les paramètres estimés, eux-mêmes, permettent une première analyse des conditions de fonctionnement de la machine. Par exemple, une augmentation anormale de la valeur des résistances statoriques peut signifier un échauffement excessif et donc une dégradation progressive des enroulements [3].

I.5.6 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle :

En dépit des diverses techniques mentionnées précédemment, ces dernières années, la surveillance et la détection de défaut des machines électriques se sont éloignées des techniques traditionnelles pour s'orienter vers des techniques dites d'intelligence artificielle (IA). Ces méthodes sont basées sur la connaissance a priori du système et utilisent un ensemble de règles et de faits (données manipulées par les règles) qui constituent ce qu'on appelle la base de connaissance. Parmi ces méthodes, on peut citer [9] :

- Logique floue.
- Réseaux neuronaux.
- Reconnaissance des formes

I.6 Conclusion:

Ce chapitre présente la constitution de la machine asynchrone ainsi que les défauts qui pouvant affecter la machine tel que : court circuit entre phases, excentricité, rupture de barre.. ensuite nous avons présenté quelque méthode de diagnostic de la machine asynchrone à cage d'écuréuil.

L'identification des défauts d'un moteur à induction est la tâche la plus intrigante pour les Chercheurs, beaucoup de recherches ont examiné sur les machines à induction à vitesse constante, qui sont relativement faciles à contrôler.

Chapitre II

Modélisation de la machine asynchrone

II.1 Introduction :

La surveillance d'un dispositif s'appuie sur la connaissance de son comportement sain et quel que soit son point de fonctionnement. La maîtrise des différents modes de fonctionnement dits 'normaux' est alors indispensable lorsqu'on envisage une surveillance avancée de processus.

L'objectif de ce chapitre est la présentation d'un modèle mathématique de la machine asynchrone saine définie dans un référentiel biphasé, à partir du référentiel triphasé conventionnel.

Les machines électriques sont des systèmes très complexes, pour en tenir compte dans leur modélisations de tous les phénomènes physiques qu'elles contiennent. Il est alors essentiel d'admettre quelques hypothèses simplificatrices conventionnelles .

II.2 Modélisation de la machine asynchrone :

La modélisation de la machine asynchrone est une phase indispensable et nécessaire pour les différentes applications de commande, et également pour le diagnostic et la surveillance, le modèle mathématique permet d'observer et analyser des différentes évolutions de ses grandeurs électriques et électromagnétiques.

Cette partie traitera la modélisation de la machine asynchrone, basée sur la transformation de Park qui rapporte les équations électriques statoriques et rotoriques à des axes perpendiculaires électriquement appelés d , pour direct, et q , pour quadrature, [11],[12].

II.2.1 Hypothèses simplificatrices :

Afin de modéliser la machine asynchrone, un certain nombre d'hypothèses doit être pris en considération à savoir :

- La saturation dans le circuit magnétique est négligée , ce qui permet d'exprimer les flux comme fonctions linéaires des courants.
- Le circuit magnétique est parfaitement feuilleté afin de négliger les courants de foucault
- Les pertes par hystérésis et l'effet de peau sont négligées.

- L'épaisseur de l'entrefer est considérée constante sur toute la périphérie de la machine, en négligeant en plus l'effet des encoches.

- La force magnétomotrice, créée par chacune des phases, est à répartition sinusoidale, ce qui revient à ne considérer que la composante fondamentale, ceci signifie que le flux d'enroulement à travers chaque phase et l'inductance mutuelle entre un enroulement rotorique et statorique suivent une loi sinusoidale en fonction de l'angle rotorique.[13]

- De plus, la machine est considérée comme un système symétrique et équilibré.

II.2.2 Equation de la machine :

En tenant compte des Hypothèses simplificatrices et en adoptant la convention de signe moteur, les expressions générales de la machine en fonction des flux et des courants sont :

II.2.2.1 Equations électriques :

$$\begin{cases} [V_{abc}] = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{abc}] \text{ Au stator} \\ 0 = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{rabc}] \text{ Au rotor} \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

$[V_{sabc}] = [V_{sa} \ V_{sb} \ V_{sc}]^t$, et $[V_{rabc}] = [0 \ 0 \ 0]^t$: vecteurs tensions des trois phases statoriques et rotoriques respectivement.

$[i_{sabc}] = [i_{sa} \ i_{sb} \ i_{sc}]^t$ et $[i_{rabc}] = [i_{ra} \ i_{rb} \ i_{rc}]^t$: vecteurs courants traversant les enroulements statoriques et rotoriques.

$[\Phi_{sabc}] = [\Phi_{sa} \ \Phi_{sb} \ \Phi_{sc}]^t$ et $[\Phi_{rabc}] = [\Phi_{ra} \ \Phi_{rb} \ \Phi_{rc}]^t$: vecteurs flux total statoriques et rotoriques.

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

Matrice résistance statorique

Matrice résistance rotoriques

II.2.2.2 Equations magnétiques :

$$\begin{cases} [\Phi_{sabc}] = [L_s][i_{sabc}] + [L_{sr}][i_{rabc}] \\ [\Phi_{rabc}] = [L_{sr}][i_{sabc}] + [L_r][i_{rabc}] \end{cases} \quad (\text{II.2})$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

Matrice inductance propre statorique

Matrice inductance propre rotoriques

$$[L_{sr}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta_m) & \cos\left(\theta_m + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_m - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_m - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta_m) & \cos\left(\theta_m + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_m + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_m - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta_m) \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

$$[L_{sr}] = [L_{rs}]^t$$

θ_m : Angle entre la phase « a_s » du stator et la phase « a_r » du rotor avec $\omega = d\theta_m/dt$

L_s, L_r : Inductance propre respective d'une phase statorique et rotorique.

M_s, M_r : Inductance mutuelle respective entre deux phases statoriques et rotoriques.

L_{sr} : Inductance mutuelle maximale entre une phase du stator et une phase du rotor.

Sous une forme développée, les expressions deviennent :

$$\begin{cases} [V_{abc}] = [R_s][i_{sabc}] + [L_s] \frac{d}{dt} [i_{sabc}] + \frac{d}{dt} \{ [L_{sr}][i_{rabc}] \} \\ 0 = [R_r][i_{rabc}] + [L_r] \frac{d}{dt} [i_{rabc}] + \frac{d}{dt} \{ [L_{rs}][i_{sabc}] \} \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

D'après ses équations, il apparait clairement que le système est à coefficients variables dépendant de θ_m ; ce qui rend la résolution plus difficile.

II.2.2.3 Equations mécaniques :

L'équation du couple s'exprime comme :

$$C_{em} = \frac{1}{2} [i]^t \left\{ \frac{d}{dt} [L][i] \right\} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

$$[i]^t = [i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}, i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}]^t \quad \text{et} \quad [L] = \begin{bmatrix} L_s & L_{sr} \\ L_{sr} & L_r \end{bmatrix}$$

Sachant que les matrices L_s et L_r contiennent des termes constants, alors l'expression du couple électromagnétique sera :

$$C_{em} = \frac{1}{2} [i_{abc}]^t \left\{ \frac{d}{d\theta_m} [L_{sr}] [i_{ABC}] \right\} \quad (\text{II.6})$$

On aboutit ainsi à un système de six équations différentielles et une expression du couple dont certains coefficients font intervenir des fonctions sinusoïdales dues au mouvement de rotation du rotor, ce qui a pour conséquence une certaine complexité dans la résolution analytique. Afin de surmonter cette difficulté, nous adoptons la transformation triphasée–biphasée dite de « Park ».

II.2.3 Transformation triphasé- biphasé :

II.2.3.1 Transformation de Park [6] :

La transformation de Park (fig. II.2) est très ancienne (1929) ; si elle devient à l'ordre du jour c'est grâce au progrès de la technologie des composants permettant maintenant de la réaliser à temps réel.

La transformation de Park est constituée d'une transformation triphasé-diphasé suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère « abc » vers le repère « $\alpha\beta$ », puis le repère « dq ».

Le repère « $\alpha\beta$ » est toujours fixe par rapport au repère « abc », par contre le repère « dq » est mobile. Il forme avec le repère « $\alpha\beta$ » un angle qui est appelé l'angle de transformation de Park ou angle de Park.

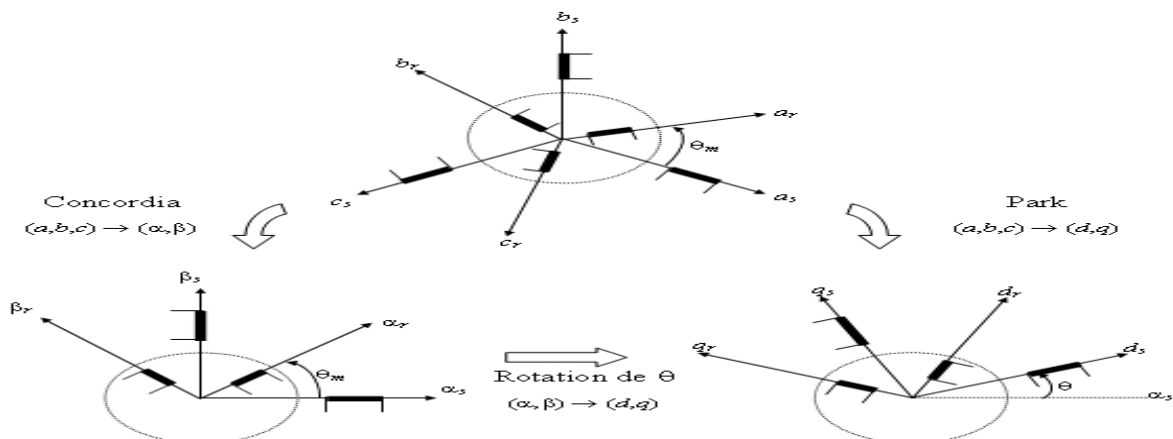


Figure (2.1) : Représentation spatiale de la transformation triphasé/biphasé

Ces transformations utilisées doivent conserver non seulement la puissance instantanée, mais aussi, la réciprocité des inductances mutuelles, ce qui permet d'établir une expression du couple électromagnétique dans le repère correspondant au système transformé qui reste variable pour la machine réelle .

il est possible de définir une matrice $[P(\theta)]$, permettant le passage des Composantes x_{ABC} du système triphasé aux composantes x_{dqo} du système biphasé tournant à la même vitesse.

$$[P](\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

θ : étant l'angle entre l'axe « α_s » du stator et l'axe « d_s » du référentiel de Park.

La matrice de changement de base $[P(\theta)]$ étant orthonormée, aussi le calcul de sa matrice inverse est très simple définie par :

$$[P(\theta)]^{-1} = [P(\theta)]^t$$

$$[P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

II.2.3.2 La transformation de Clarke [14] :

L'idée de Miss Clarke repose sur le fait qu'un champ tournant créé par un système triphasé de courant, peut l'être aussi par un système diphasé de courant déphasés de 90° dans le temps et parcourant deux enroulements décalés de 90° dans l'espace, à condition que les forces magnétomotrices et la puissance instantanée soit conservées [9], [11].

La transformation permet le passage trois grandeurs réelles (x_a, x_b, x_c) , vers deux grandeurs fictives (x_α, x_β) , pour des grandeurs quelconques (tensions, courant, flux, etc..) et en l'absence de la composante homopolaire $(x_a + x_b + x_c = 0)$.

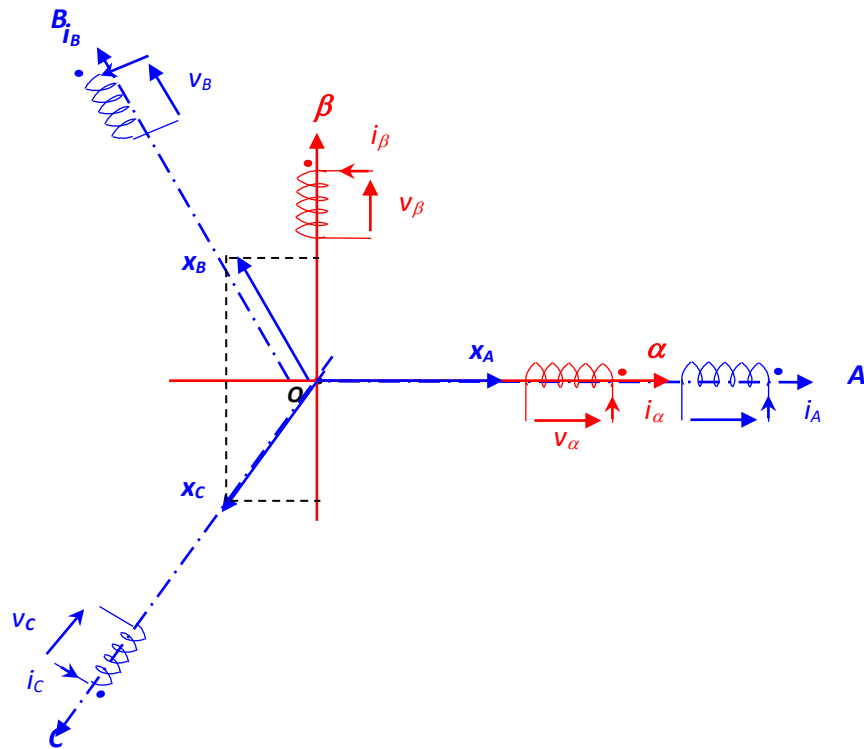


Figure (2.2) : Principe de la transformation de Clarke

On la définit de la manière suivante : $[x_{\alpha\beta}] = [Cl] \cdot [x_{abc}]$ (II.9)

$$\begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

La transformation inverse est définie par : $[x_{abc}] = [Cl]^{-1} \cdot [x_{\alpha\beta}]$ (II.11)

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ -1 & \sqrt{3} \\ -1 & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.12})$$

$[Cl]$ et $[Cl]^{-1}$ représentent respectivement les matrices de passage et inverse de Clarke.

La transformation de Clarke conserve l'amplitude des grandeurs, mais pas la puissance ni le couple, sa matrice de passage n'étant pas orthogonale, afin de conserver ces grandeurs invariantes on doit multiplier par le coefficient $3/2$ [9], [15]. La (fig. II.3) illustre la transformation de Clarke .

II.2.3.3 La transformation de Concordia [14] :

La transformation de Concordia est définie de la manière suivante :

$$[X_{\alpha\beta 0}] = [Co][X_{abc}] \quad (\text{II.13})$$

$$\begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \\ x_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

La transformation inverse est définie par :

$$[x_{abc}] = [Co]^{-1} \cdot [x_{\alpha\beta 0}] = [x_{abc}] = [Co]^{-t} \cdot [x_{\alpha\beta 0}] \quad (\text{II.15})$$

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \\ x_0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

$[Co]$ et $[Co]^{-1}$ représentent respectivement les matrices de passage et inverse de Concordia

II.2.4 Application aux équations de la machine [12] :

La transformation de Park peut être représentée par la (fig.2.3).

Avec :

θ_r : Angle entre la phase « a_r » rotorique et l'axe « d » de Park.

θ_s : Angle entre la phase « a_s » statorique et l'axe « d » de Park.

$\theta_s - \theta_r$: Angle entre la phase « a_r » rotorique et l'axe « a_s » statorique.

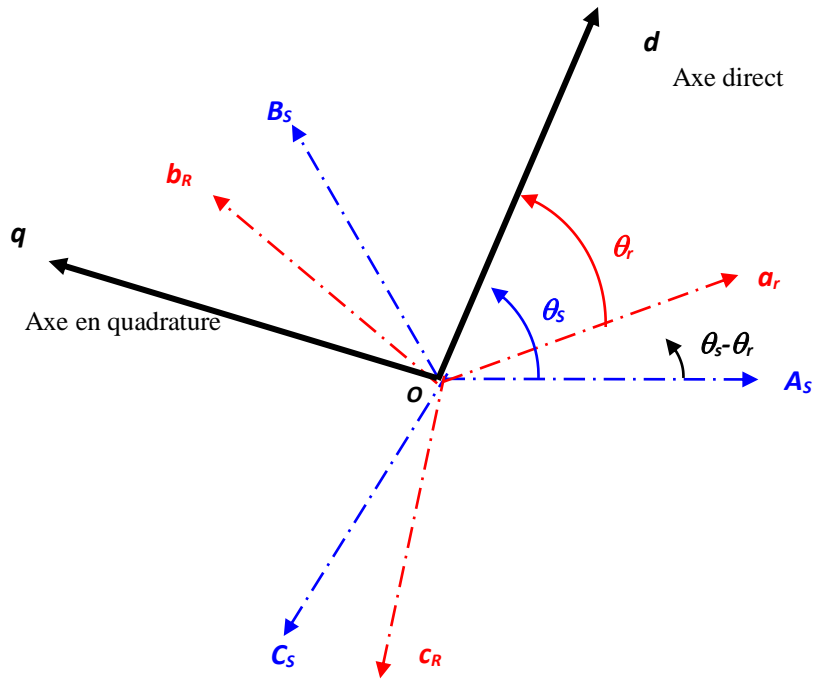


Figure (2.3) : Représentation angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique

II.2.4.1 Equations des tensions :

Dans le repère biphasé de Park d'axe « dq » tournant à la vitesse de rotation du référentiel, les équations électriques de tensions s'écrivent :

Au stator

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

Au rotor

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \Phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} + (\omega_s - \omega_r) \Phi_{dr} \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

II.2.4.2 Equations des flux :

Dans ce même repère les équations de flux s'écrivent :

Au stator

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_{sr} \Phi_{qr} \\ \Phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_{sr} \Phi_{dr} \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

Au rotor

$$\begin{cases} \Phi_{dr} = L_r i_{dr} + L_{sr} \Phi_{qs} \\ \Phi_{qr} = L_r i_{qr} + L_{sr} \Phi_{ds} \end{cases} \quad \text{Au rotor} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

$\omega_s = d\theta_s/dt$ La vitesse de rotation du référentiel.

$\omega_r = p\Omega = p d\theta_r/dt$ La vitesse électrique de rotation du rotor.

L_s, L_r : Inductances propres cycliques du stator et du rotor respectivement :

$L_s = L_{as} - M_{as}$ et $L_r = L_{ar} - M_{ar}$

L_m : Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor ($L_{sr} = 3/2 M_{sr}$).

M_{sr} : Inductance mutuelle entre une phase statorique et une phase rotorique.

II.2.4.3 Equations mécaniques :

D'une manière générale, l'expression du couple, pour une machine à « P » paires de pôles, est donnée par :

$$C_{em} = \frac{P}{L_r} \frac{L_{sr}}{L_r} (i_{qs} \Phi_{dr} + \Phi_{qr} i_{ds}) \quad (\text{II.21})$$

II.3 Choix du référentiel [6] :

Il existe trois différents types de référentiels : un lié au rotor, l'autre au stator, et un autre au champ tournant, le choix est lié au type de problème étudié.

II.3.1 -Référentiel lié au stator :

Ce référentiel est immobile par rapport au stator et est adopté pour l'étude du démarrage et freinage des machines à courant alternatif avec branchement de résistances .

Il est caractérisé par, ($\omega_s=0$), donnant les équations électrique suivantes :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} \end{cases} \quad (\text{II.22})$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} + \omega_r \Phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} - \omega_r \Phi_{dr} \end{cases} \quad (\text{II.23})$$

Ce référentiel est également très intéressant dans le cas où l'on veut étudier la variation de la vitesse de rotation avec une fréquence d'alimentation fixe .

II.3.2 Référentiel lié au rotor :

Ce référentiel est immobile par rapport au rotor.

Il est caractérisé par, ($\omega_r=0$), donnant les équations électrique suivantes :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases} \quad (\text{II.24})$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} \end{cases} \quad (\text{II.25})$$

Ce référentiel est choisi en vue de l'étude des problèmes qui apparaissent durant les régimes transitoires où l'entraînement est à vitesse constante alors que la fréquence d'alimentation varie . Citons, à titre d'exemple, la commande $v/f=\text{cst}$.

II.3.3 Référentiel lié au champ tournant :

Dans ce référentiel, les axes (d, q) sont immobiles par rapport au champ électromagnétique créée par les deux étoiles du stator ($\omega_a = \omega_s$).

Nous pouvons alors écrire :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases} \quad (\text{II.26})$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \Phi_{qs} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} + (\omega_s - \omega_r) \Phi_{ds} \end{cases} \quad (\text{II.27})$$

Il est à préciser que ce référentiel est le seul qui n'introduit pas de simplifications dans les équations de la machine et est principalement utilisé dans le cas de commande en vitesse avec variation et/ou non de la fréquence d'alimentation du système. Il est à noter que dans notre étude ce référentiel a été adopté.

II.4 Modèle multi-enroulement [15] :

II.4.1 Hypothèses simplificatrices [15] :

Pour mettre en évidence l'influence des défauts électriques sur les grandeurs temporelles de la machine asynchrone, il est indispensable de poser certaines hypothèses qui ont pour but de faciliter la mise en équations des circuits électriques de la machine. Mais, il faut imposer un minimum d'hypothèses si nous voulons que le vecteur de sortie soit le plus exploitable possible

- Circuit magnétique linéaire (la perméabilité du fer très grande devant 1).
- Effet de peau est négligeable.
- Barres rotoriques sont isolées les unes des autres.
- Pertes fer, les effets capacitifs et les effets thermiques sont négligeables.

II.4.2 Equations électriques du stator [15] :

Le stator de la machine étudiée est un stator triphasé de m encoches statoriques. Une phase statorique est composée de plusieurs bobines logées dans les encoches du stator. Ces bobines statoriques sont placées de sorte à obtenir une distribution de la force magnétomotrice la plus sinusoïdale possible le long de l'entrefer. La figure (2.5) donne une représentation de modélisation choisie pour les trois phases statoriques de la machine asynchrone, la valeur

des inductances est fonction du nombre de bobines ainsi que du type de bobinage mis en place dans les encoches statoriques (concentrique, imbriqué,..) , celle des résistances dépend essentiellement de la longueur , de la section et du type de cuivre utilisé .

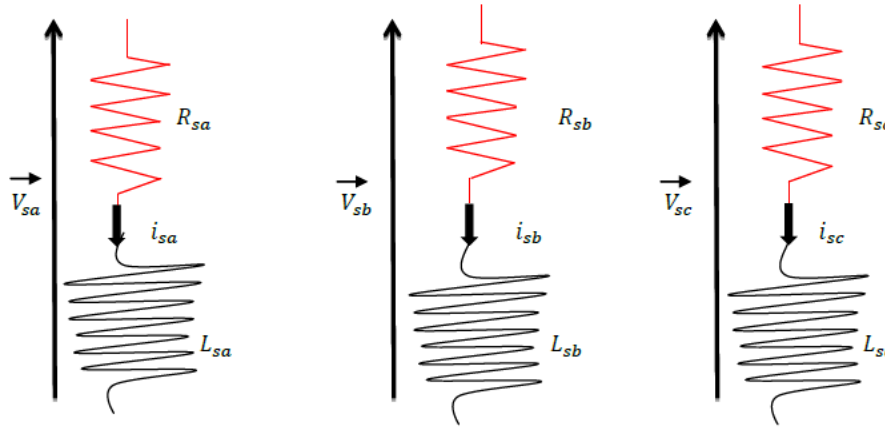


Figure (2.4) Circuits électriques des trois phases statoriques.

L'équation de tension statorique se met sous la forme suivante :

$$[V_s] = [R_s] \cdot [i_s] + \frac{d}{dt} \Phi_s \quad (\text{II.28})$$

Où

$[V_s]$ représenter le vecteur de tension

$[i_s]$ le vecteur de courant

$[\Phi_s]$ le vecteur de flux.

$$[\Phi_s] = [L_s][i_s] + [M_{sr}][J_r] \quad (\text{II.29})$$

Le vecteur $[J_r]$ regroupe les $(N_r + 1)$ courants de boucles rotoriques :

$$[J_r] = [J_{r1} J_{r2} J_{r3} \dots J_{rk} \dots J_{rNr} J] \quad (\text{II.30})$$

II.4.3 Equations électriques du rotor [15] :

La cage d'écuriel de la machine se compose de N_r encoches rotoriques qui peuvent être soit ouvertes soit fermées sur l'entrefer . La cage rotorique peut se décomposer en $(N_r + 1)$ circuits électriques rotoriques indépendants . En effet , si nous considérons deux barres rotoriques adjacentes ainsi que les segments d'anneau de court-circuit les reliant nous obtenons une boucle rotorique fermée qui peut être étudiée sous forme de circuit

électrique Un des anneaux de court-circuit crée par conséquent une boucle supplémentaire ce qui porte le nombre de boucle totale à $(N_r + 1)$. Nous associons à chacune de ces boucles un courant, ce qui nous amène à calculer $(N_r + 1)$ courants rotoriques. Chaque barre rotorique est modélisée par une inductance en série avec une résistance, tout comme chaque segment d'anneau de court-circuit, la figure (2.6) nous donne la forme des circuits comme chaque segment d'anneau de court-circuit .

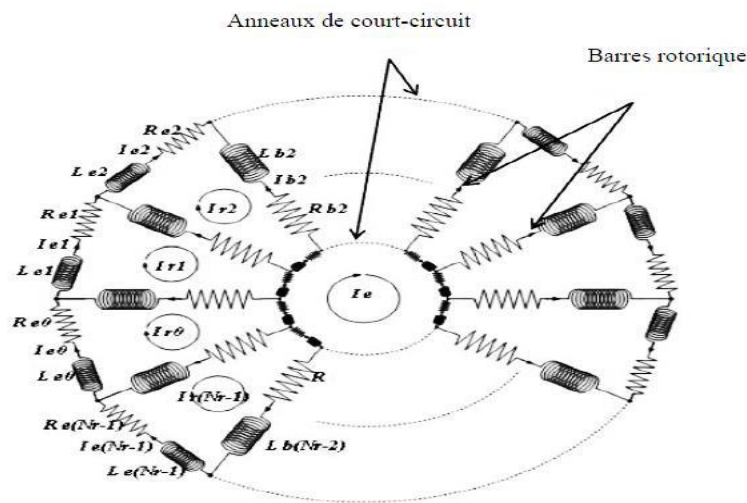


Figure (2.6) Schéma équivalent de la cage d'écureuil rotorique

Tout comme pour les équations du stator de la machine asynchrone, les équations des circuits électriques rotoriques peuvent se mettre sous une forme matricielle. On relie les tensions de chacune des boucles rotoriques avec les courants et les flux, grâce à l'équation

$$[V_r] = [R_r] \cdot [j_r] + \frac{d}{dt} \Phi_r \tag{II.31}$$

Le vecteur $[\Phi_r]$, donné dans l'équation précédente, se décompose de la façon suivante :

$$[\Phi_r] = [\Phi_{r1} \Phi_{r2} \Phi_{r3} \dots \Phi_{rk} \dots \Phi_{rNr} \Phi] t \tag{II.32}$$

$$[\Phi_r] = [L_r][j_r] + [M_{rs}][i_r] \tag{II.33}$$

II.4.4 Equations mécaniques de la machine [15] :

Les équations mécaniques qui régissent le fonctionnement de la machine asynchrone peuvent se mettre sous la forme :

$$J \frac{d}{dt} \Omega = C_e - C_r - C_f \quad (\text{II.34})$$

Avec :

$$C_f = f \Omega \quad \Omega = \omega/p \quad \text{et} \quad \omega = \frac{d}{dt} \Phi$$

II.5 Représentation d'état du modèle de la machine asynchrone :

En considérant d'une part, les tensions statoriques (V_{ds}, V_{qs}) , et la pulsation ω_s comme variables de commande et d'autre part, les courants statorique (i_{ds}, i_{qs}) , les flux rotoriques (Φ_{qr}, Φ_{dr}) et la vitesse mécanique Ω_r comme variables d'état, la représentation d'état du modèle mathématique de la machine asynchrone dans le repère lié au champ tournant est donnée par la forme matricielle suivante [10] :

$$[x] = [A][X] + [B][U] \quad (\text{II.35})$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{-R_s}{\sigma L_s} & \omega_s & \frac{L_{sr}}{\sigma L_s L_r T_r} & \frac{L_{sr}}{\sigma L_s L_r} \cdot \omega_r \\ -\omega_s & \frac{-R_s}{\sigma L_s} & \frac{L_{sr}}{\sigma L_s L_r} \cdot \omega_r & \frac{L_{sr}}{\sigma L_s L_r T_r} \\ \frac{L_{sr}}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & (\omega_s - \omega_r) \\ 0 & \frac{L_{sr}}{T_r} & (\omega_s - \omega_r) & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.36})$$

$[X]$: vecteur d'état, $X = [i_{ds} \ i_{qs} \ \Phi_{dr} \ \Phi_{qr}]^t$

$[U]$: vecteur de commande, $U = [V_{ds} \ V_{qs} \ 0 \ 0]^t$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} \quad \text{et} \quad \sigma = 1 - \frac{L_{sr}^2}{L_s L_r}$$

II.6 Le principe utilisé pour la modélisation du défaut :

L'excentricité est basé essentiellement sur le centre géométrique du stator, centre géométrique du rotor et centre de rotation du rotor .

Une excentricité statique correspond à une situation où le centre géométrique du stator est différent de celui du rotor qui est le centre de rotation .

Dans ce programme on a créé un constant (λ , facteur de battement) pour avoir un déphasage angulaire pour que le contour de Park ne soit pas identique c'est-à-dire que l'entrefer n'est pas uniforme , il est constant en fonction du temps pour tout point donné du stator , l'inductance mutuelle aussi devient variable dans le temps et aura une fréquence .

Alors que à la fin on va simuler différents facteurs de battement pour faire une discussion du résultats

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les modèles mathématique de le moteur asynchrone qui nous semblent les plus couramment utilisés pour la modélisation , le modèle triphasé-triphasé ne contient aucune transformation il s'agit un changement de repère pour d'obtenir une représentation biphasée équivalente de la machine comme le modèle de PARK , Clarke , Concordia ainsi que le principe utilisé pour la modélisation du défaut .

Chapitre III
Résultats du simulation

III.1 Introduction :

Plusieurs techniques sont développées pour effectuer la tâche de diagnostic. La plupart de ces techniques se basent sur la comparaison des grandeurs de la machine à l'état sain et à l'état avec défaut. Dans ce chapitre, Nous présenterons, l'analyse spectrale du courant statorique (expérimentalement, courant statorique instantané I_{sa}) de la machine asynchrone triphasé à cage saine et avec défaut en utilisant la transformé de Fourier rapide (Fast Fourier Transform) « FFT ». Nous montrerons comment cette méthode permet de détecter les signatures de défaut de l'excentricité. En plus, on va montrer aussi, l'influence de l'excentricité sur le contenu spectral du courant statorique

III.2 Méthode de traitement de signal :

Pour des raisons de simplicité, l'approche signal est très utilisée actuellement en diagnostic, cette approche repose sur la connaissance du comportement du système sain, elle est ensuite comparée avec les signaux mesurés. La méthode courante d'analyse des signaux de diagnostic est l'analyse spectrale [16]

III.2.1 La transformée de Fourier Rapide (FFT) :

La transformée de Fourier rapide ou Fast Fourier Transformation (FFT), est une technique mathématique de calcul rapide élaborée en 1965 par J. W. Cooley et J. W. Tuckey. La FFT permet de ramener le calcul de la transformée de Fourier discrète de N^2 à $N \cdot \log(N)$ opérations, Cette réduction de la complexité de calcul a suffi à faire passer facilement résolubles de nombreux problèmes liés à l'analyse spectrale, pour une meilleure visualisation d'une analyse fréquentielle. Juste nous voudrions rappeler que la FFT reste inadaptable pour les signaux non stationnaires, c'est pour ça on fait souvent l'étude du régime permanent [17].

III.2.2 Propriétés de la FFT :

La FFT est un algorithme permettant de transformer les données du domaine temporel au domaine fréquentiel , puisque c'est exactement ce que nous voulions réaliser pour l'analyse spectrale il semble facile d'implanter un tel algorithme sur un analyseur .

La FFT est un algorithme de calcul qui va nécessiter l'échantillonnage du signal temporel pour quantifier numériquement les valeurs du signal [18] .

III.3 Introduction à l'analyse spectrale :

L'analyse des signaux électriques est un problème fondamental pour les techniciens et les scientifiques même si le phénomène étudié n'est pas directement électrique , le phénomène physique est souvent transformé en un signal électrique par l'intermédiaire de transducteurs , cette transformation se justifie par le nombre d'instruments disponible pour l'analyse dans le domaine temporel que fréquentiel .

III.3.1 L'Analyse spectrale [8] :

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques , essentiellement les ruptures de barres au rotor des machines asynchrones , les excentricités , la dégradation des roulements , et les courts circuits dans les bobinages , ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition des fréquences directement liées à la vitesse de rotation ou à des multiples de la fréquence d'alimentation

III.4 Etude du comportement de la MAS dans un état sain et en présence du défaut :

Les techniques de détection des défauts sont basées sur une analyse spectrale du courant statorique, les résultats de simulation seront présentés et analysés.

Le spectre du courant statorique d'une machine asynchrone saine est alimentée en tension et entraînant une charge en régime permanent .

En effet, les différentes fréquences présentes dans ce spectre sont :

- La raie spectrale fondamentale relative à la fréquence d'alimentation f_s ,
- des harmoniques dépendant du double de la fréquence du glissement g (glissement lié à la charge), du type $(f_s \pm 2 \cdot g \cdot k \cdot f_s)$, avec k entier.

nous proposons d'analyser le contenu du spectre du courant statorique relatif aux conditions de simulation du système en mode sain , nous présentons ci-après le spectre obtenu pour un fonctionnement en mode sain. La simulation est réalisée par un programme écrit sur MATLAB.

III.5 Résultats de simulations du model :

Les résultats de simulation que nous allons présenter dans cette partie nous permettrons d'analyser le comportement des grandeurs de la MAS pour un fonctionnement sain et avec défaut d'excentricité statique .

-Fonctionnement du moteur sain :

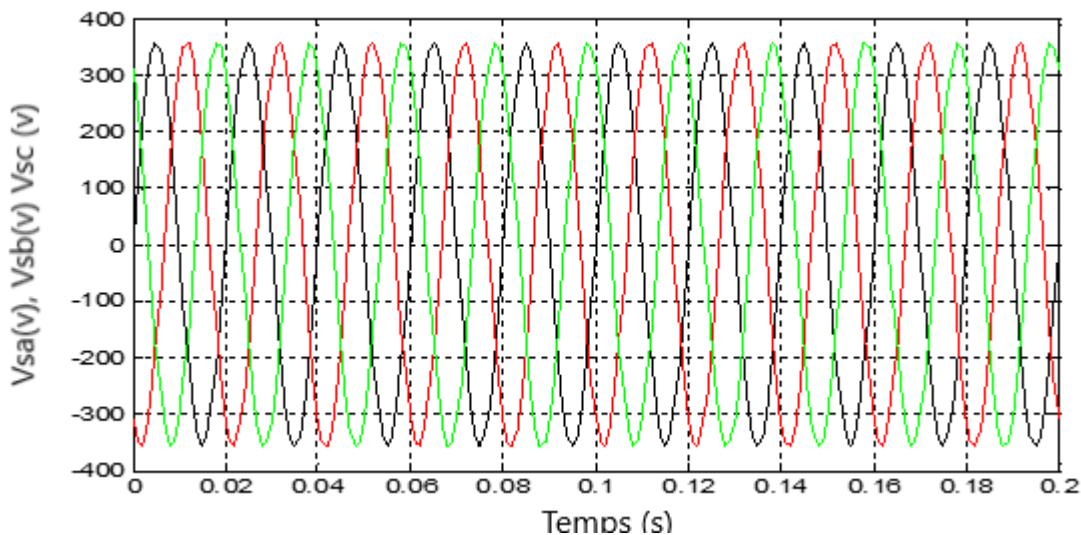


Figure (3.1) Les tensions Vsa Vsb Vsc en régime permanents du moteur sain

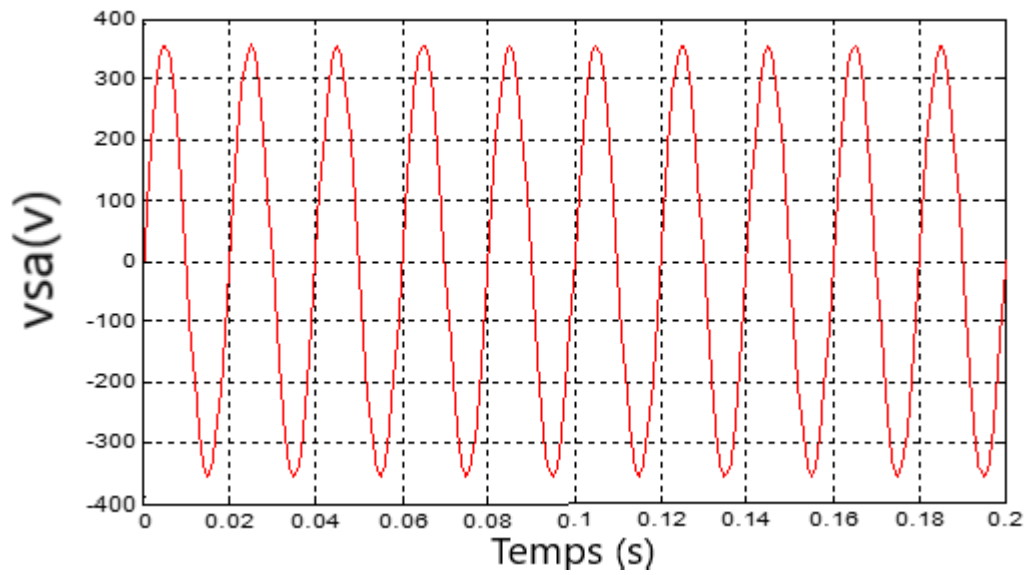


Figure (3.2)- La tension V_{sa} en régime permanents du moteur sain

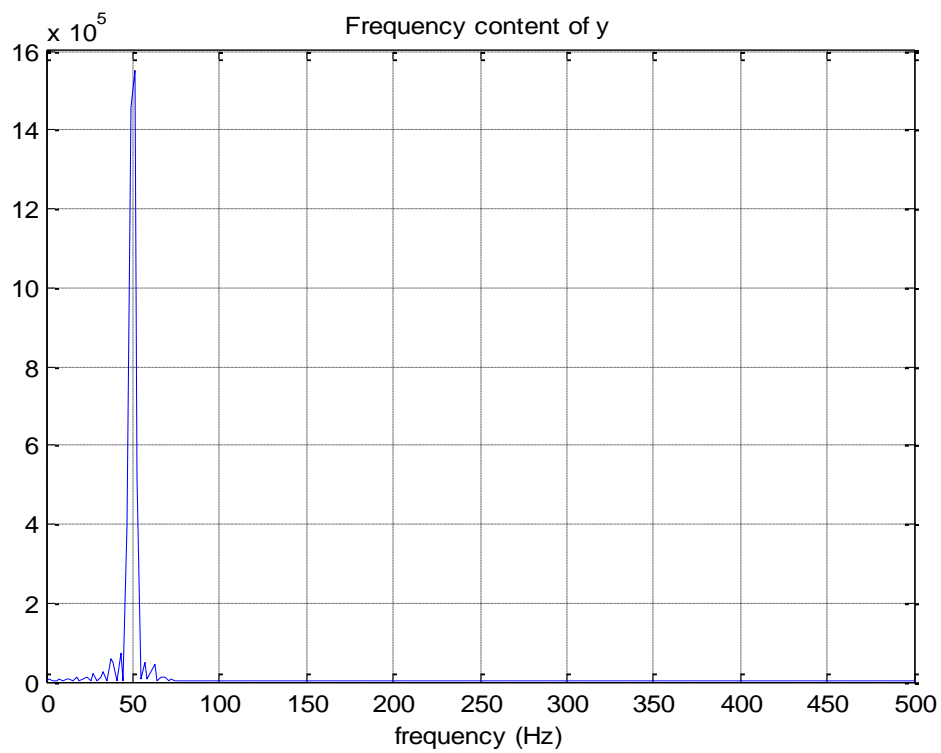


Figure (3.3) Spectre du courant I_{sa} dans l'état sain

Les figures (3.1) et (3.2) présentent respectivement les trois phases du tension de la machine et la tension d'une phase dans le cas sain , la forme du tension est une forme sinusoïdale , il est très clair que les allures de ce grandeur ne présentent pas des ondulations

D'après la figure (3.3) on constate que pour la machine à l'état sain aucune composante fréquentielle n'est présente dans le spectre du courant statorique I_{sa} , sauf pour les composantes permanentes: les harmoniques de la saturation et les harmoniques de la force magnétomotrice .

Fonctionnement en présence de défaut de l'excentricité statique :

Pour ce cas on visualise la tension V_{sa} :

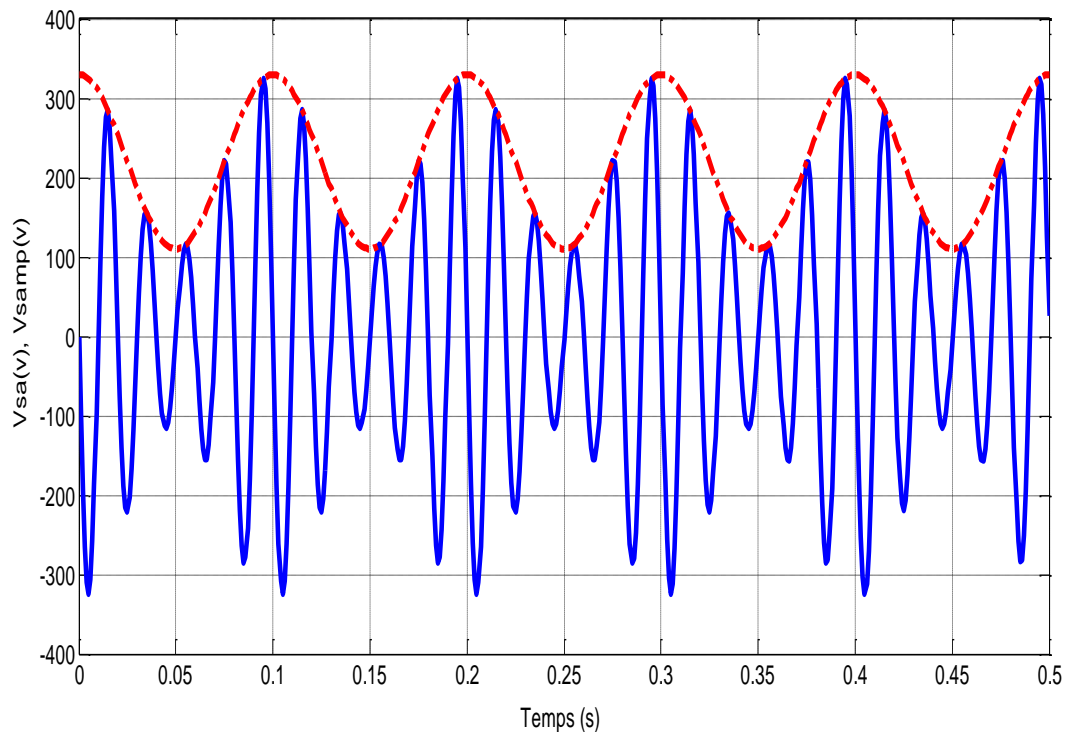


Figure (3.4) : visualisation de la tension V_{sa}

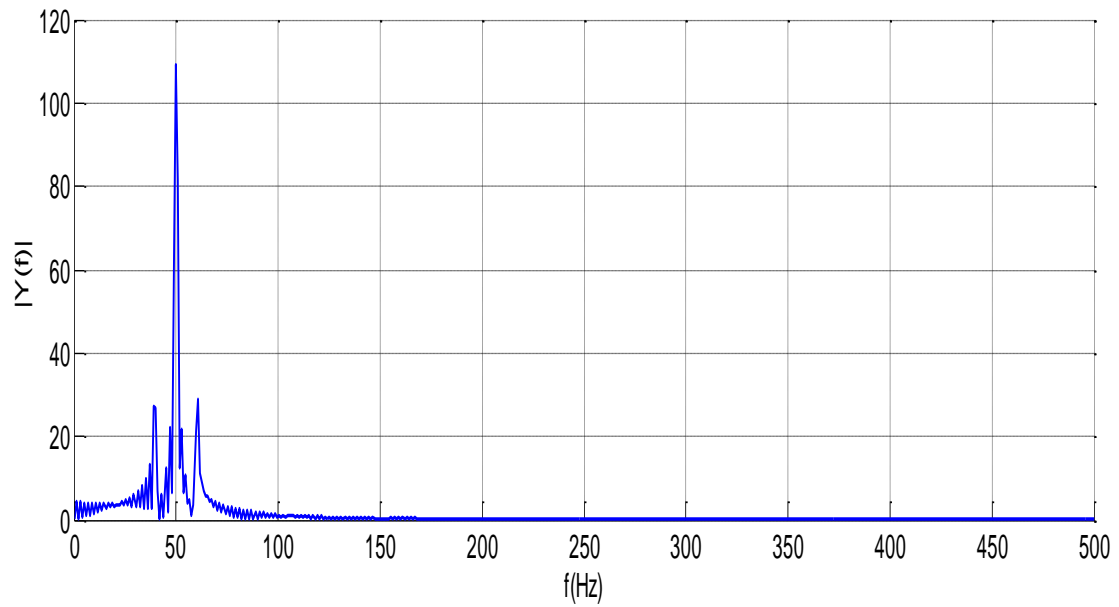


Figure (3.5) La FFT de la tension V_{sa}

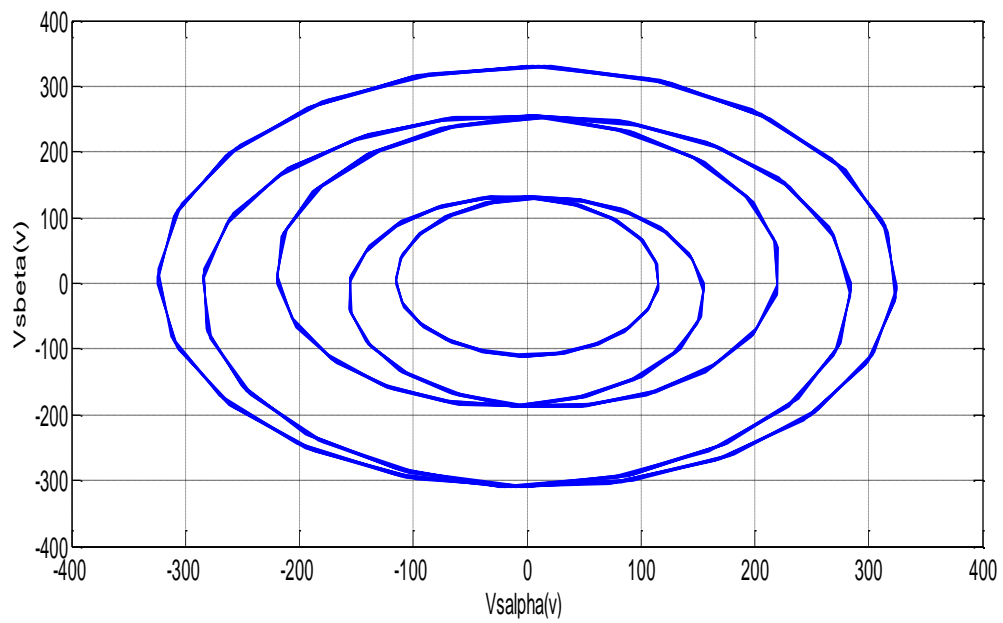


Figure (3.6) Le contour de Park V_{β} - V_{α}

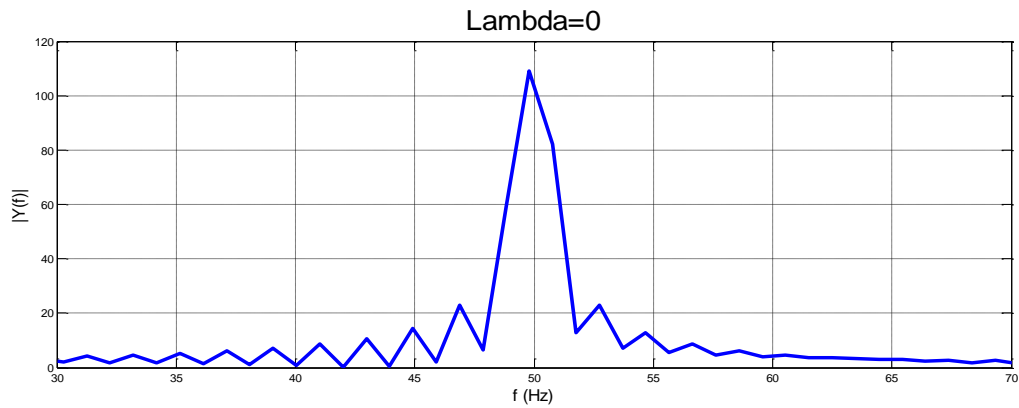


Figure (3.7) La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale à 0

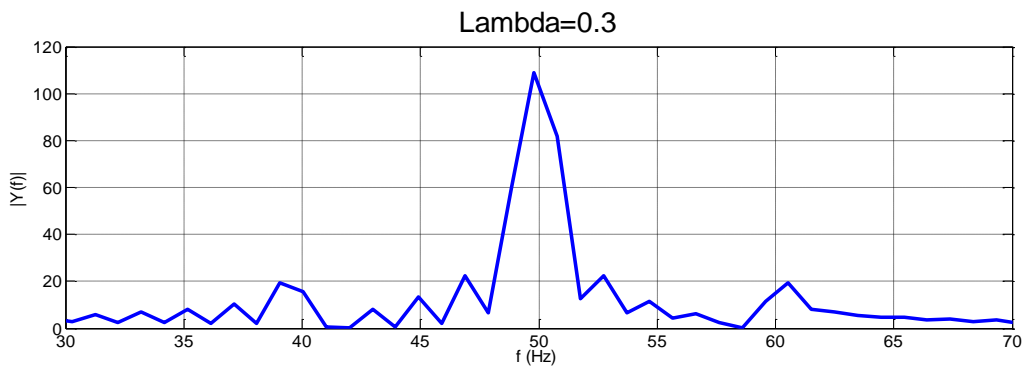


Figure (3.8) La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale à 0.3

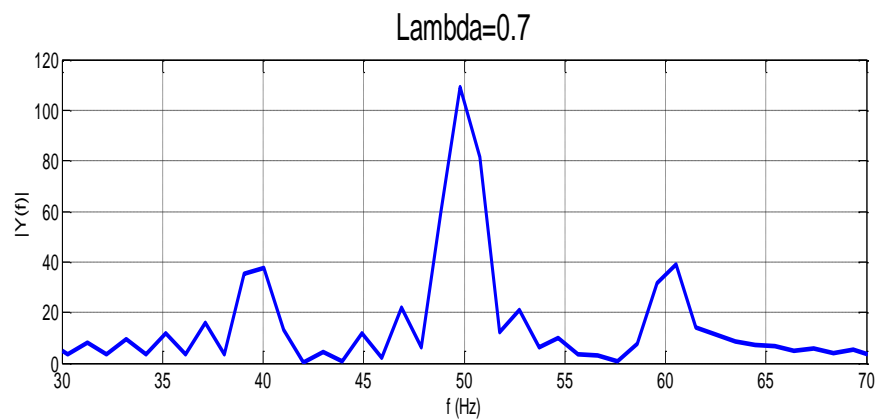


Figure (3.9) La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale a 0.7

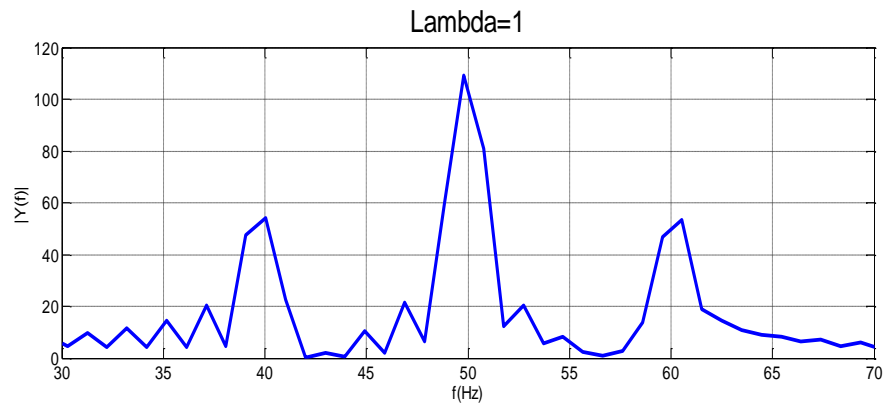


Figure (3.10) La FFT de la tension V_{sa} avec un facteur de battement égale a 1

- L'influence du défaut apparait clairement sur le graphe de tension V_{sa} Figure (3-4), on remarque une modulation de son amplitude, elle n'est plus constante mais elle oscille avec une fréquence F_d .

- Le contour de Park figure (3.6) eu des tensions V_s alpha et V_s beta ne ressemble pas à celui de l'état sain qui est une cercle mais il forme dans ce cas plusieurs cercles de diamètres différents

- Les figures (3.5), (3.8), (3.9), (3.10) représente la FFT de la tension V_{sa} , dans le cas d'un défaut d'excentricité, il y a une apparition de deux harmoniques symétriques par rapport à la composante fondamentale 50 Hz, qui ont moins d'amplitude et une fréquence $f = \pm(f_s - f_d)$.

-Le facteur de battement « lambda » désigne le pourcentage de l'excentricité, tel que :

$$0 \leq \lambda \leq 1.$$

En le changeant, l'amplitude des harmoniques change aussi proportionnellement.

Pour $\lambda=0$ on est dans le fonctionnement sain, et quand $\lambda = 1$ c'est une excentricité

100% c'est à dire le rotor touche le stator.

Pour ce cas on visualise le courant I_{sa} :

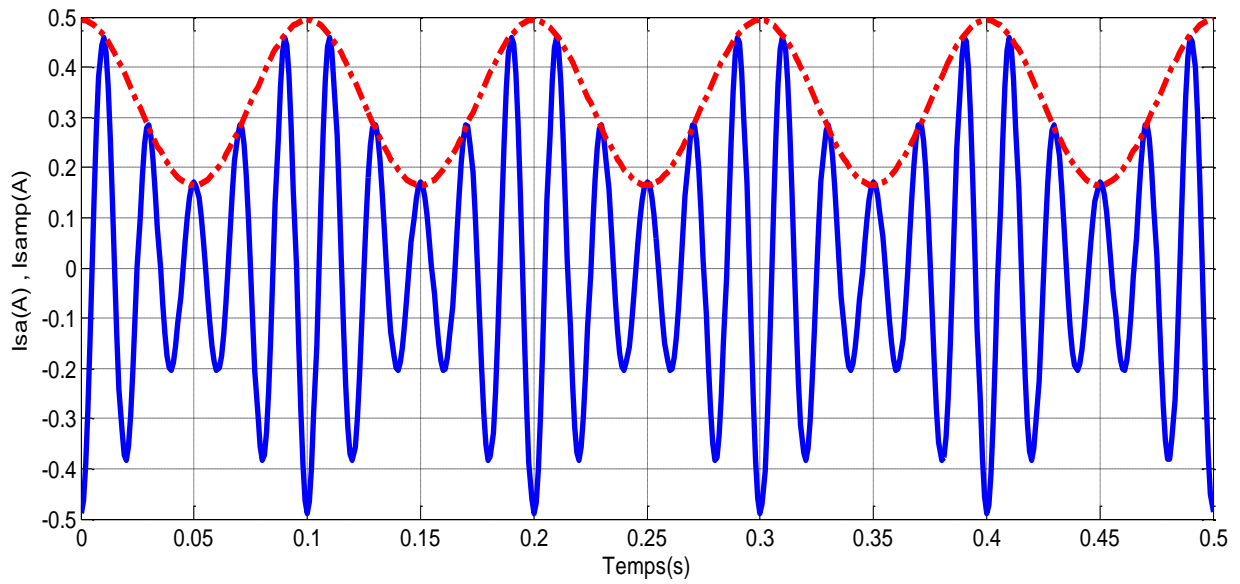


Figure (3.11) : Visualisation du courant I_{sa}

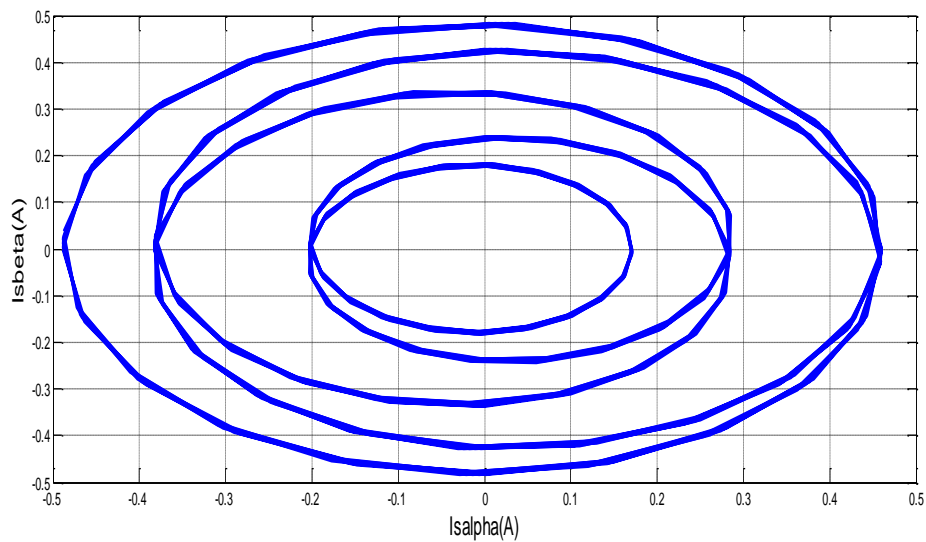


Figure (3.12) : Le contour de Park Is beta -Is alpha

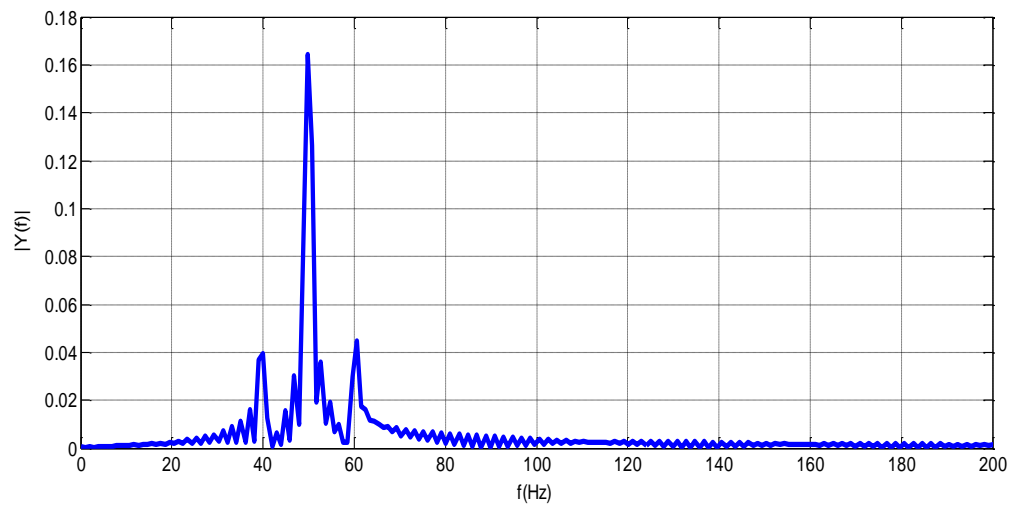


Figure (3.13) : La FFT du courant *Isa* dans le cas défaut

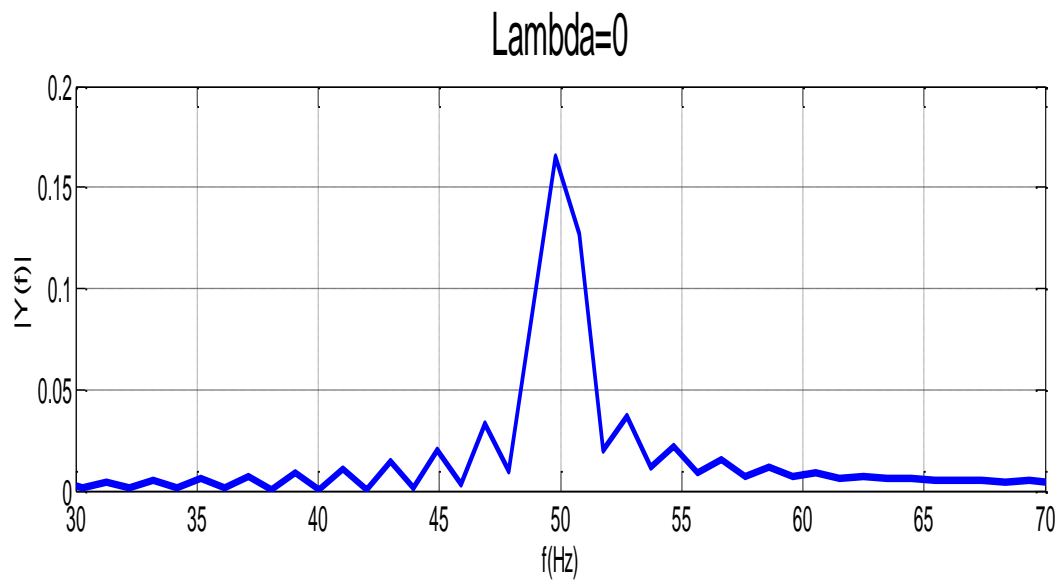


Figure (3.14) La FFT du courant *Isa* avec un facteur de battement égale à 0

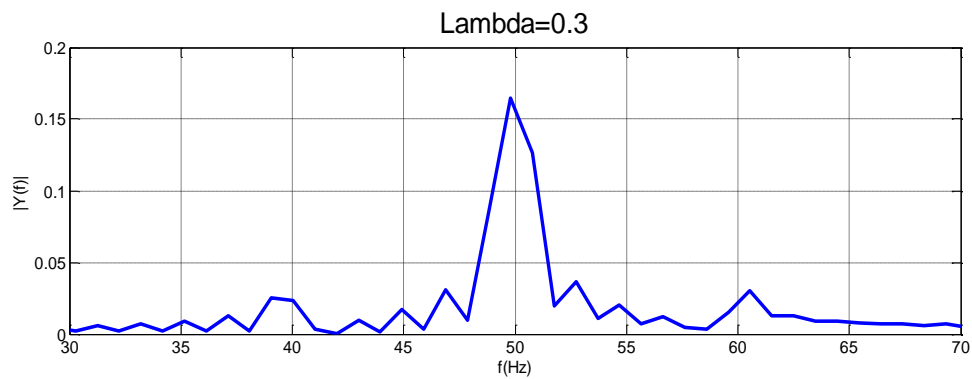


Figure (3.15) La FFT du courant *Isa* avec un facteur de battement égale à 0.3

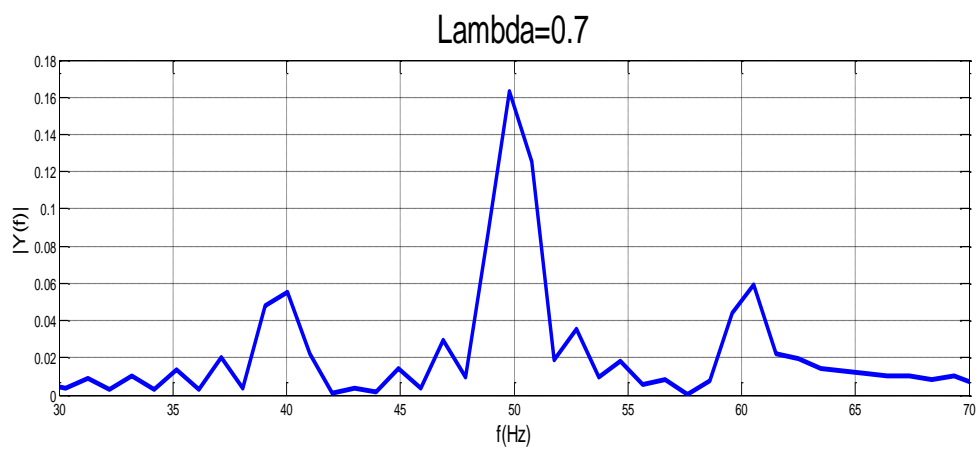


Figure (3.16) La FFT du courant *Isa* avec un facteur de battement égale à 0.7

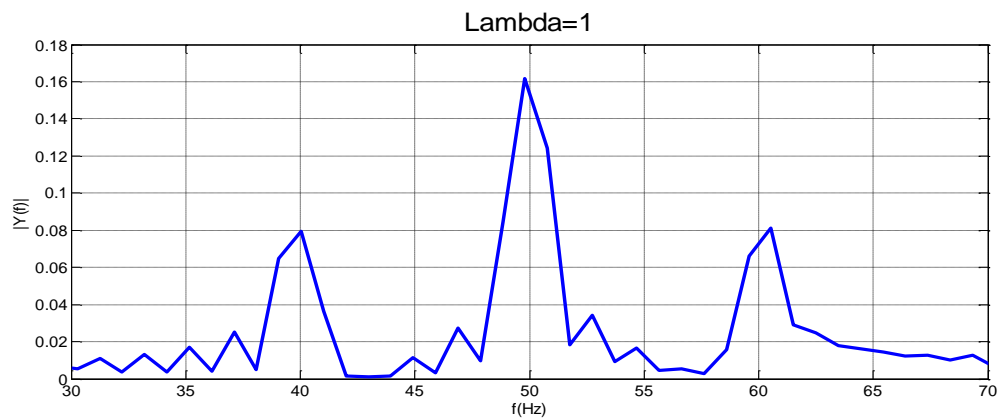


Figure (3.17) La FFT du courant *Isa* avec un facteur de battement égale à 1

- Une non homogénéité des flux à cause de l'excentricité va induire des courants avec une amplitude max variable comme montré dans les figures (3.15) , (3.16) , (3.17)

- Le contour de Park figure (3.12) est une illustration de l'effet du défaut sur les courants statoriques où on remarque qu'il ne s'agit pas d'un cercle mais de plusieurs cercles de différents rayons .

- La FFT du courant I_{sa} quand la machine est en défaut montre l'apparition de nouveaux harmoniques symétriques par rapport au fondamentale 50 Hz

-L'amplitude des deux harmoniques produites à cause du défaut dépend du facteur de battement « lambda » , où elle est petite pour une excentricité légère et grande pour une grande excentricité .

III.6 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude sur l'application de la MCSA pour le diagnostic de défaut de l'excentricité dans un moteur asynchrone en utilisant les signaux du courant statorique instantané (I_{sa}).

- Aussi nous avons présenté des résultats de la machine asynchrone à l'état sain et avec défaut.
- Au cours de ce chapitre nous avons fait une comparaison entre les spectres.
- Nous avons trouvé que le défaut de l'excentricité provoque des oscillations dans le courant, cet indice peut argumenter la présence d'un défaut mais ne peut pas le préciser , la méthode d'analyse spectrale du courant statorique (MCSA) est donc efficace.
- l'analyse de spectre nous permet d'avoir une bonne analyse et obtenir le maximum d'information sur l'état du moteur

Conclusion général

Le travail présenté dans ce mémoire se base sur le diagnostic du défaut de l'excentricité dans la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil en utilisant la technique de l'analyse spectral

Le diagnostic de défaut par l'analyse spectrale du courant statorique en régime permanent , a été fait dans notre étude . Cette approche reste , largement , la méthode la plus utilisée par les auteurs pour plusieurs raisons, notamment à cause de l'accessibilité du courant statorique extérieurement et surtout pour la sensibilité des harmoniques associées aux défauts de la machine par rapport aux sévérités de ces derniers.

Nous avons localisé l'étude sur les moteurs à cage parce que les moteur asynchrones à cage sont les plus utilisés , tandis que la deuxième raison réside dans le fait que d'un point de vue structure multi - enroulement , les moteurs à rotors bobinés constituent un cas particulier des moteurs à cage

Le défaut de l'excentricité est le centre de notre intérêt dans le présent travail par la technique de l'analyse spectrale du courant statorique.

La MCSA consiste à affecter à chaque défaut une signature spectrale caractérisant le défaut étudié Il est important, ici, de noter à la relation entre la sévérité du défaut et l'amplitude de composantes fréquentielles qu'il génère.

Dans ce mémoire on a traité les méthodes du diagnostic ensuite on a écrit le modèle mathématique de la machine , et à la fin on a traité l'aspect lié à la simulation et à l'interprétation des résultats obtenues , dans le but d'avoir un ordre de grandeur sur l'effet de défauts sur les machines à l'état sain et à l'état défectueux.

Il s'est avéré que la détection des défauts est plus aisée par le FFT du courant statorique.

Cette constatation s'explique en partie par le fait que le courant statorique est plus accessible et mesurable extérieurement [17] .

« Références Bibliographiques »

- [1] A. Medoued : "Surveillance et Diagnostic des défauts des machines électriques : Application aux moteurs asynchrone ", Thèse de doctorat, Université de skikda , 08 mars 2012 .

- [2] O. Ondel : "Diagnostic par Reconnaissance des Formes : Application à un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone ", Thèse de doctorat, École Centrale de Lyon, France,2006.

- [3] G. DIDIER : "Modélisation et diagnostic de la machine en présence de défaillances", Thèse de doctorat , Nancy-I , 29 octobre 2004 .

- [4] S. BACHIR : " Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique ", Thèse préparée au sein du Laboratoire d'automatique et d'informatique industrielle de Poitiers , 17 décembre 2002 .

- [5] S. Belhamdi : "Prise en compte d'un défaut rotorique dans la commande d'un moteur asynchrone" , thèse de magister, université de Biskra, 2005 .

- [6] H. Sadki : "Simulation des défauts statorique d'un moteur asynchrone ", Mémoire de master ,université Kasdi Merbah , 08 juin 2016 .

- [7] N. Benouzza : "Approche des Vecteurs de Park Appliquée à la Détection des Défauts dans les Moteurs Asynchrones à Cage d'Ecureuil ", Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 06 Décembre 2006

- [8] B. VASEGHI : "Contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entre-spores ", Thèse , L'institut national polytechnique de lorraine , génie électrique , 2009.

- [9] A. Menacer, "Contribution à l'identification des paramètres et des états d'une machine à induction pour diagnostic et développement de commande robuste : robustesse vis-à-vis de défauts", Thèse de doctorat, Université de Batna, Décembre 2007.

- [10] M. Sahraoui, "Contribution aux diagnostics des machines asynchrones triphasées à cage," Mémoire de Magistère, Université Mohamed Khider, Biskra, Décembre 2003.
- [11] A. Khatir. Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts. Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas de Sétif. Algérie 2009.
- [12] Caryn M. Riley, Student Member, IEEE, Brian K. Lin, Thomas G. Habetler, Senior Member, IEEE, and Randy R. Schoen, Member, IEEE, "A Method for Sensorless On-Line Vibration Monitoring of Induction Machines", IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 34, No. 6, Nov. /Dec. 1998.
- [13] J. Ragot 'Diagnostic des systèmes linéaires' collection pédagogique d'automatique.
- [14] J.R. Cameron and al. "Vibration and Current Monitoring for Detecting Airgap eccentricity eccentricity in Large Induction Motors", IEEE Proceedings, Vol. 133, Pt. B, No. 3, May 1986, pp. 155-163.
- [15] S. Benkattas et S. Bouchnak, " diagnostic des défauts entre spires statoriques des machines asynchrones", Mémoire de master département d'électrotechnique, université de laghouat juin 2018
- [16] A. abed, L. Baghli, H. Razik et A. Rewwoug, Modelling induction motors for diagnosis purposes, EPE'99, Lausanne, Suisse, pp. 1-8, September 1999.
- [17] P. Vas Transient modeling oriented to diagnostics of induction machines with rotor asymmetries, ICEM'94, December 1994.
- [18] INTERNET (www.bacmoteur.wordpress.com / www.fr.m.wikipedia.org/wiki.com).

Paramètre de la machine

Les paramètres de la machine asynchrone triphasée utilisée sont :

Puissance nominale	1.1 KW
Couple nominal	7 N.m
Fréquence nominale	50 HZ
Tension nominale	230/380V
Courant nominal	4.5/ 2.6A
Vitesse nominale	1425 tr/min
Nombre de spires par phase	464
Nombre des encoches au stator	48
Nombre de barres au rotor	28
Nombre de pair de pole	2

$$R_r = 6.3 \Omega$$

$$R_s = 7.828 \Omega$$

$$J = 0.006093 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$$

$$R = 0.03575 \text{ m (Rayon)}$$

$$L = 0.065 \text{ m (Longueur)}$$

$$e = 0.00025 \text{ m}$$