الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ .YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Projet de Fin d'etude

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Automatique *Option* :
Automatique et systemes

THÈME

Diagnostic des défauts statoriques dans une machine asynchrone triphasé

Proposé et dirigé par,

Mr.N HENINI

Préparé et présenté par,

Melle. TCHOKETCH Afaf

Mr. BELBRAHIM walid

Année Universitaire 2017-2018

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ .YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Projet de Fin d'etude

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Automatique *Option* :
Automatique et systemes

THÈME

Diagnostic des défauts statoriques dans une machine asynchrone triphasé

Proposé et dirigé par,

Mr.N henini

Préparé et présenté par,

Melle. TCHOKETCH Afaf

Mr. BELBRAHIM walid

Année Universitaire 2017-2018

بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicaces

Au nom d'Allah le Miséricordieux le très miséricordieux.

J'ai l'immense honneur de dédier ce mémoire :

A mes très chers parents qui étaient présents pour

moi durant toute ma vie.

A mes frères et ma famille.

A mes amis.

A mes chers spéciaux.

A tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

.

Remerciements

Au terme de ce travail :

***N**ous tenons à remercier tout d'abord **Dieu** le tout puissant et maître de l'univers qui nous a donné la force nécessaire, la fort volonté et la patience a fin d'accomplir ce travail.*

***N**ous tenons à exprimer notre gratitude à nos enseignants de Département Génie Electrique et d'Informatique de l'université DR. Yahia Fares De Medea.*

***N**ous remercions également par la même occasion, notre promoteur Monsieu N.hennini pour l'aide quel nous a apporté, pour sa disponibilité, ainsi pour ses précieux conseils. L'honneur qu'il nous a fait, en présidant le jury de cette thèse.*

***N**ous exprimons, également nos remerciements à l'examinateur qui participer à l'examen de ce travail.*

Enfin nous adressons nos reconnaissances à tous ceux qui nous ont aidés de prés ou de loin.

.

ملخص :

في هذه المذكرة ، سوف نقدم طريقة للكشف عن العيوب في الآلات غير المتزامنة ثلاثية الطور. تعتمد هذه الطرق على .للإشارات المحتملة للتيار الثابت والمحايدة التحليل الطيفي

العمل المقدم في هذه المذكرة يختص في دراسة اشتغال محرك كهربائي لا متزامن مغذى بواسطة مأخذ كهربائي مضطرب.

الهدف المنشود هو التنبؤ بكيفية عمل لمحرك اللامتزامن مع وجود اختلالات على مستوى التغذية وهذا من أجل تحسين أداء المحرك

اعتمادا على طريقة تحليلية دراستنا على المحرك اللامتزامن الذي يشتغل في وجود التوترات اللاجيبية والغير متوازنة تمت في المرحلة الدائمة باستخدام الدارة المكافئة مستنتجين العبارات التحليلية للعزوم 'التيارات الكهربائية ' الإستطاعات والضياعات. بواسطة برنامج حاسوبي مكنتنا هذه العبارات من إجراء عملية محاكاة لمختلف مقادير ومميزات المحرك.

كلمات مفتاحية : النمذجة , تشخيص الأعطال,الكمائن الغيرالمتزامنة

Résumé :

Dans ce mémoire, nous allons présenter méthode pour détection des défauts dans une machines asynchrone triphasé. Ces méthodes sont basées sur l'analyse spectrale (par FFT) des signaux du courant statorique et potentiel de point neutre.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude d'un fonctionnement d'un moteur asynchrone alimenté par une source de tension perturbée. L'objectif visé est la prédiction du comportement d'un moteur asynchrone en présence des perturbations au niveau de l'alimentation afin d'améliorer sa fiabilité.

Basée sur une méthode analytique, notre étude sur la machine asynchrone fonctionnant en présence des harmoniques et de déséquilibre se fait en régime permanent par l'utilisation de son schéma équivalent tout en déduisant les expressions analytiques des couples, des courants, des puissances et des pertes. Par l'utilisation du logiciel MATLAB, ces expressions nous permettent de simuler les différentes grandeurs et caractéristiques du moteur en présence des perturbations électriques.

Mots clés : Modélisation, Diagnostics des defauts ,Machines asynchrones

Abstract :

In this memoir, we will present method for detecting defects in three-phase asynchronous machines. These methods are based on spectral analysis (FFT) of the stator current and neutral point potential signals.

This memoir proposes the performance analysis of an induction motor supplied by a disturbed network. The objective is to predict the induction motor behavior under disturbed electrical supply conditions in order to improve its reliability.

The influence of a distorted and unbalanced voltage upon the steady state performance of a three-phase induction motor has been studied using an analytical method. The conventional induction motor equivalent circuit is very useful in calculating the expressions of torques, currents, powers and losses. By using MATLAB, these expressions allow us to simulate different signals and characteristics of the motor under disturbed conditions.

Key words : Modeling, Diagnoses of faults, Asynchrones machines

Table des matières

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des acronymes
Introduction générale 1

Chapitre 1

Les défauts des machines asynchrone et leur diagnostic

I.1 Introduction 3
I.2 Constitution des machines asynchrones 3
I.2.1 Le stator : 4
I.2.2 Le rotor : 5
I.2.3 Les roulements : 6
I.3 Diagnostic des Machines Electriques 6
I.4 Les défauts des machines asynchrones 8
I.4.1 Les causes des défauts de la machine asynchrone : 9
I.4.2 Défauts mécaniques : 11
I.4.3 Défauts de roulements : 12
I.4.4 Défauts d'excentricité : 12
I.4.5 Défauts électriques : 12
I.4.a Au niveau du stator : 13
I.4.b Au niveau du rotor : 14
I.5 Les méthodes de diagnostic des machines asynchrones 15
I.5.1 Méthodes sans modèle : 15
I.5.2 Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites : 15
I.5.3 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique : 15
I.5.4 Diagnostic par analyse du courant statorique : 16
I.5.5 Diagnostic par analyse du vecteur de Park……...16
I.5.6 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle……..……...16
I.6.Conclusion 17

Chapitre II

Modélisation et simulation de la machine asynchrone triphasée en régime sain

II.1 Introduction 19
II.2 Modélisation triphasée-triphasée de la machine asynchrone à rotor bobiné : 20
II.3.Présentation de modèle 21
II.3.1 Equations électriques de la machine :..... 21
II.3.2 Expression du flux :..... 22
II.3.3 Expression du couple électromagnétique : 23
II.3.4 Equation mécanique : 23
II.3.5 Etablissement du modèle d'état : 24
II.4 Validation du modèle triphasé-triphasé de la machine..... 27
II.4.1 Résultats de simulation de la machine asynchrone en régime sain 29
II.4.2 Interprétation des résultats de simulation ……32
II.5. Conclusion 33

Chapitre III

Simulation de la machine asynchrone en présence d'un défaut de déséquilibré

III.1 Introduction 35
III.2 Définition du déséquilibré 35
III.3 Résultats de simulation d'un fonctionnement défectueux 35
III.3.1 Validation du modèle de la machine asynchrone en présence de défaut de (15%,-15%) Déséquilibré d'alimentation Sur la phase a et c : 35
III.4 Interprétation des résultats 39
III.5 Application d'analyse 40
III.5.1 L'analyse spectrale Du courant statorique 40
III.5.2 potentiel de point neutre (Vn) 42
III.6 CONCLUSION 44

Conclusion général 45

Bibliographie

Annexe

Liste des symboles

Liste des figures

Figures **Titre** **page**

CHAPITRE I

I.1 Moteur asynchrone a cage d'écureuil ……..4

I.2 Stator et rotor de moteur asynchrone …….....5

1.3 Classification des défauts selon leurs origines ……....6

1.4 Pourcentage des défauts (2008) ……....8

I.5 Pourcentage des défauts (1995)……9

I.7 Différents défauts au niveau de stator de la machine asynchrone ……....13

CHAPITRE II

II.1 Représentation de la machine asynchrone triphasée …….....20

II.2 Organigramme du simulation de la machine ……..28

II.3 évolution Du la vitesse Du rotation……29

II.4 évolution Du couple électromagnétique ……29

II.5 Evolution de courant dans la phase ar du rotor……...30

II.6 Evolution de courant dans la phase a_s du stator …….....30

II.7 Courants dans les trois phases du rotor ……31

II.8 Courants dans les trois phases du stator ……31

CHAPITRE III

III.1 courbe de la vitesse [rad/sec]…….36

III.2 couple électromagnétique [N.m]……... 36

III.3 potentiel du point commun de la machine [V]……..37

III.4 Courants dans les trois phases du rotor[A]……37

III 5 Courants dans les trois phases du stator……38

III 6 Evolution du courant dans la phase as du rotor…… 38

III 7 Evolution du courant dans la phase as du Stator…….....39

III 8 spectre de courants statorique avec une alimentation équilibré……41

III 9 spectre du courant statorique avec une alimentation déséquilibré…….....41

III 10 potentiel point neutre (Vn) avec augmentation de tension vA (30%)……...42

III 11 potentiel point neutre (Vn) avec diminuti3 co n 6 ; de tension vA (-40%)……43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau **Titres** **page**

CHAPITRE I

I.1 Les causes des défauts de la machine asynchrone ……10

Liste Des Acronymes

MCSA	**Motor Current Signature Analysis**
LF	**Logique Floue**
CEMC	**Circuits Electriques Magnétiquement Couplés**
CEM	**couple électromagnétique**
RK4	**Rung-kutta d'ordre 4**
FFT	**Transformer fourier rapide**

Dans les secteurs industriels, les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiables, car une quelconque défaillance peut mener un à dommage matériel ou corporel inévitable. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche, sur le plan mondial, s'emploie depuis plusieurs dizaines d'années à élaborer des techniques de diagnostic. La problématique du diagnostic est en effet liée à celle de la maintenance, or celle-ci fait intervenir des facteurs économiques (coût de la maintenance par rapport au gain espéré), des facteurs humains (qualification, formation du personnel) et des facteurs industriels difficiles à évaluer [1]. Le diagnostic des défaillances des systèmes industriels lorsqu'il est réalisé avec efficacité et s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à obtenir un meilleur gain de productivité. Sa vocation première est de détecter et puis de localiser une possible défaillance des matériels.

Le travail proposé porte sur le diagnostic des machines asynchrones triphasées. Ces dernières, de part leur robustesse, leur simplicité de construction et leur faible coût d'achat, sont largement utilisées en milieu industriel. Leur continuité de fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenance préventive et corrective, permettant en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations [2].

En effet, l'apparition d'un défaut conduit le plus souvent à un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone entrainant, en conséquence, un cout de réparation non négligeable pour l'entreprise sans oublier la perte de production occasionnée.

Il existe plusieurs procédures de diagnostic. Le choix d'une approche est lié à la connaissance que l'on souhaite acquérir sur le système, mais aussi à la complexité de ce système. Ainsi deux types de procédures sont utilisés dans le domaine du diagnostic : les méthodes de diagnostic à base de modèles analytiques et les méthodes sans modèle. Les méthodes à base de modèles analytiques 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 a priori du système et donc un filtrage de l'information [2]. 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, …) peuvent fournir des informations significatives sur les défauts.

L'objectif principal de notre travail est l'élaboration de modèles de simulation de la machine asynchrone à rotor bobiné, et à rotor à cage d'écureuil, cela en régime sain et en présence des défauts, en utilisant la méthode des Circuits Electriques Magnétiquement Couplés**(CEMC)**. Cette dernière est basée sur la représentation des bobinages de la machine par des circuits électriques distribués sans utiliser aucune transformation. Ce type d'approche offre un modèle de machine flexible, un temps de calcul raisonnable et ne nécessite aucun recours au calcul de champs. Le défaut étudié est déséquilibré d'alimentation pour la machine asynchrone. le modèle de la machine est programmée et simulé sous logiciel **MATLAB**.

Ce mémoire comporte trois chapitres. Dans le premier chapitre, est consacré sur le diagnostic de défaut de la machine asynchrone. Une citation des divers défauts pouvant affecter le bon fonctionnement de la machine asynchrone ainsi que les différents méthodes de détection et diagnostique de ces défauts

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation de la machine asynchrone à rotor bobiné, le modèle présenté est un modèle réel triphasé-triphasé.

Le troisième chapitre présente un modèle de la machine asynchrone à rotor bobiné, en présence de défaut de déséquilibré d'alimentation, pour certaine pourcentage de ce modèle nous permet d'étudier l'analyse spectral de ce défaut sur l'évolution des grandeurs de la machine telle que le courant.

I.1 Introduction

Ce chapitre dresse un panorama des défauts des machines électriques et leur diagnostic, avec une référence particulière aux machines asynchrones et leur détection de défauts, sachant que ces techniques peuvent être facilement étendues à d'autres types de machines électriques.

La surveillance des machines électriques, pour le diagnostic et la prévision de pannes, a suscité de nombreux travaux ces dernières années, à cause de son influence considérable sur la continuité opérationnelle de nombreux processus industriels.

Un bon diagnostic et une détection précoce de défauts permettent de minimiser le temps d'arrêt ainsi que le temps de maintenance du processus en question. Ils permettent aussi d'éviter les conséquences nuisibles, parfois dévastatrices, des défauts ainsi que de réduire les pertes financières.

Une bonne procédure de détection doit prendre les mesures minimales nécessaires à partir du processus en question, ainsi que d'extraire un diagnostic donnant une indication claire des modes de défaillance, par l'analyse des donnant, dans un minimum de temps.

Le but de ce chapitre est de présenter les défauts et les méthodes de diagnostic appliquées à la machine asynchrone. Ces méthodes sont classées en deux catégories, celles qui utilisent un modèle mathématique du système et celles qui consistent à analyser les signaux mesurés.

I.2 Constitution des machines asynchrones

On se propose, dans cette section, de rappeler brièvement la constitution de la machine asynchrone. Cette description va nous permettre de mieux appréhender les défauts de cette machine, dans leur dimension physique.

Les machines asynchrones peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en trois parties distinctes (figure I.2):

- le stator, partie fixe de la machine ou est connectée l'alimentation électrique.
- le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique.

- les paliers, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.



Figure (I.1) Moteur asynchrone a cage d'écureuil

I.2.1 Le stator :

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôlés d'acier dans lesquelles sont places les bobinages statoriques. Pour les petites machines, ces tôlés sont découpées en une seule pièce, alors qu'elles sont découpées par sections pour les machines de puissance plus importantes. Ces tôlés sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault ; elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de rivets ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique. Les enroulements statoriques sont places dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insères de manière imbriquée, ondulée ou encore concentrique[3].

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

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boite à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique.La (figure I.2) présente, entre autre, les différentes parties constituant le stator d'une machine asynchrone.

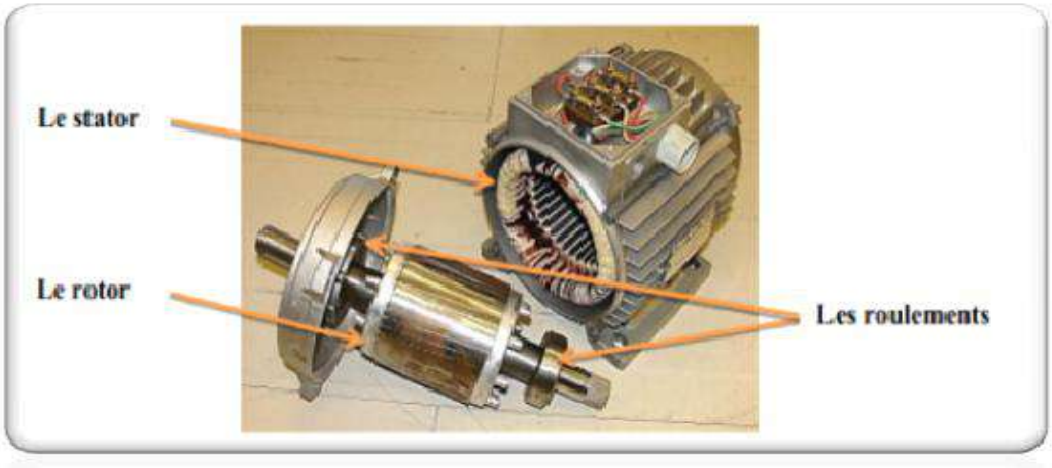


Figure (I.2) stator et rotor de moteur asynchrone

I.2.2 Le rotor :

Le circuit magnétique rotorique est constitué de tôlés d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobiné ou a cage d'écureuil.

Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique. Les phases rotorique sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionne sur l'arbre de la machine.

Concernant les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les moteurs de grande puissance ou d'aluminium pour les plus faibles puissances. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux de court-circuit, fabriques en cuivre ou en aluminium. On présente à la figure (I.2) les différents éléments de constitution d'un rotor à cage d'écureuil.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil (figure I.2), les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées dans les tôlés du rotor. Généralement il n'y a pas d'isolation entre les barres rotorique et le circuit magnétique. Mais la résistivité de l'alliage utilisé pour la construction de cette cage est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas à travers les tôlés magnétiques, sauf lorsque la cage rotorique présente une rupture de barre[4] .

I.2.3 Les roulements :

Les paliers sont constitués de roulements à billes et de flasques. Les roulements à billes sont insères à chaud sur l'arbre, permettant ainsi d'assurer le guidage en rotation de l'arbre. Les flasques, moulés en alliage de fonte, sont fixes sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme le montre la (figure I.2). L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone.

I.3 Diagnostic des Machines Electriques

Les machines électriques et les systèmes d'entraînement sont soumis à de nombreux types de défauts. Ces derniers peuvent il est classes selon deux grandes familles (figure I.1) : les -défauts à causes internes et les- défauts à causes externes. Les défauts externes sont provoqués par les tensions d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine. Les défauts internes sont causes par les constituants de la machine (circuits magnétiques, bobinages du stator et du rotor, entrefer mécanique, cage rotorique,...). A titre d'exemple, nous pouvons citer d'une manière non exhaustive les défauts suivants :

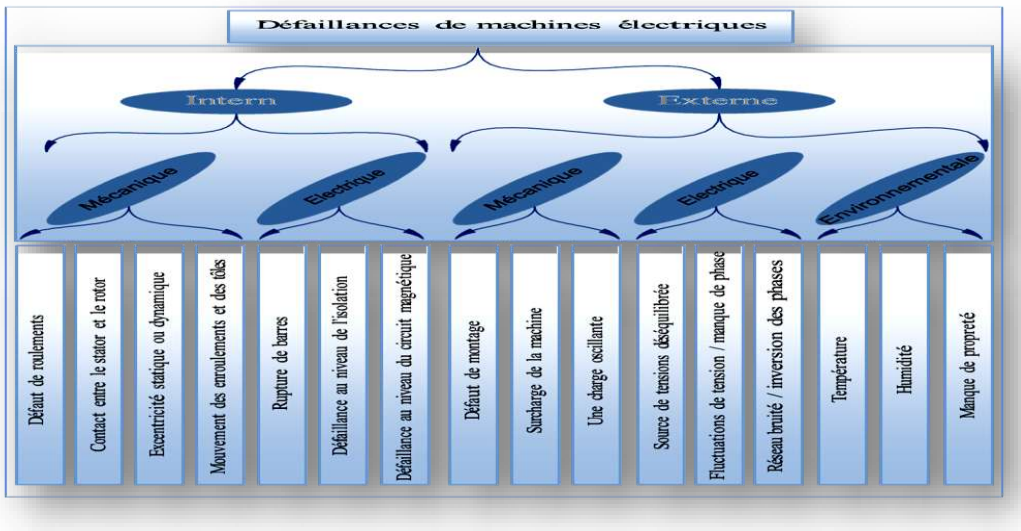


Figure (I.3) Classification des défauts selon leurs origines

- les défauts électriques au niveau stator, qui se manifestent par l'ouverture d'une phase ou un court- Circuit au sein d'une même phase, entre deux phases ou entre une phase et la carcasse du stator.

- les défauts électriques au niveau rotor, qui comprennent une ouverture ou un court-circuit des spires pour les machines a rotor bobine et de rupture ou fissure des barres et/ou des anneaux de court-circuit pour les machines à cage.

- les défauts mécaniques au niveau de l'alésage du stator, ou au niveau du rotor telsque les défauts de roulement, d'excentricité et d'alignement.

- une défaillance au niveau des composants électroniques de puissance de la commande du système D'entraînement.

En raison de la symétrie des machines électriques, toute apparition d'un défaut induit une distorsion au niveau du champ magnétique tournant, qui règne dans l'entrefer de cette dernière. Elle provoque l'apparition d'harmoniques, caractérisant ces défauts, sur les signaux de mesures. La mesure de signaux pertinents nous permet de surveiller, d'une manière non invasive, le fonctionnement de la machine. Ces signaux peuvent être

électriques ou mécaniques tels que les courants, les tensions, le flux, le couple et la vitesse. Les techniques de détection et d'identification des défauts font encore

L'objet de nombreux travaux de recherche, car il reste encore plusieurs questions ouvertes :

- la définition d'une unique procédure de diagnostic pour la détection et l'identification de tout type de défaut.

- l'augmentation de la robustesse des techniques de détection en les rendant insensibles aux conditions d'exploitation.

- la détection able des pannes pour un fonctionnement avec un contrôle de position, de vitesse et de couple.

- la détection fiable de pannes dans des conditions de travail variables.

Un diagnostic efficace ouvre la voie à une commande tolérante aux défauts, et doit par conséquent augmenter la robustesse du processus industriel. Ces derniers décennies, l'avènement de l'électronique de puissance a permis d'envisager des nouvelles applications, ainsi que de retirer les meilleures performances du fonctionnement des machines électriques. Néanmoins cette avancée technologique a apporté d'autres risques de défaillance au niveau des processus d'entrainements électriques.

Actuellement, plusieurs laboratoires de recherche se penchent sur la conception et l'élaboration de nouvelles stratégies de commande[5], permettant de rattraper les pertes de performances, qui suivent l'apparition des défauts au niveau de la machine ou de la commande.

1.4 Les défauts des machines asynchrones

Bien que la machine asynchrone soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts se déclarent dans les différentes parties de la machine en commençant par la connexion des phases statoriques et en finissant par l'accouplement mécanique du rotor a la charge.

Ces défaillances peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques, électriques ou magnétiques, et leurs causes sont très variées.

Une étude statistique menée par [6] sur les machines asynchrones à cage d'écureuil, exploitées dans le domaine de l'industrie pétrochimique, nous révèle que certaines défauts sont plus fréquentes que d'autres comme exposé par le diagramme de les (figures I.4) en présentant le pourcentage de Défauts susceptibles d'affecter ces machines de grande puissance.

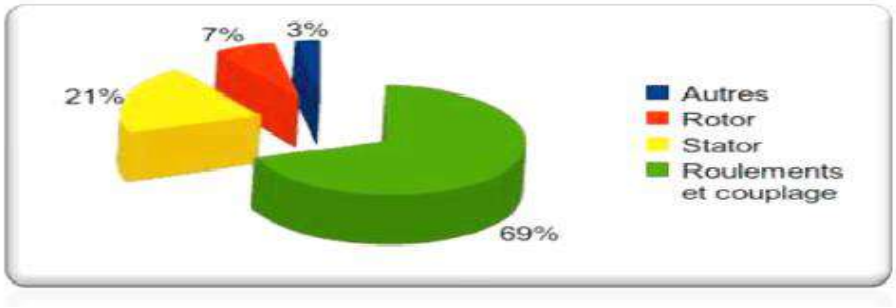


Figure (I.4) Pourcentage des défauts (2008)

Cette répartition montre que les défauts des machines de grande puissance proviennent principalement de roulements et du bobinage statorique, ceci est dû aux contraintes mécaniques plus importantes dans le cas de ces machines.

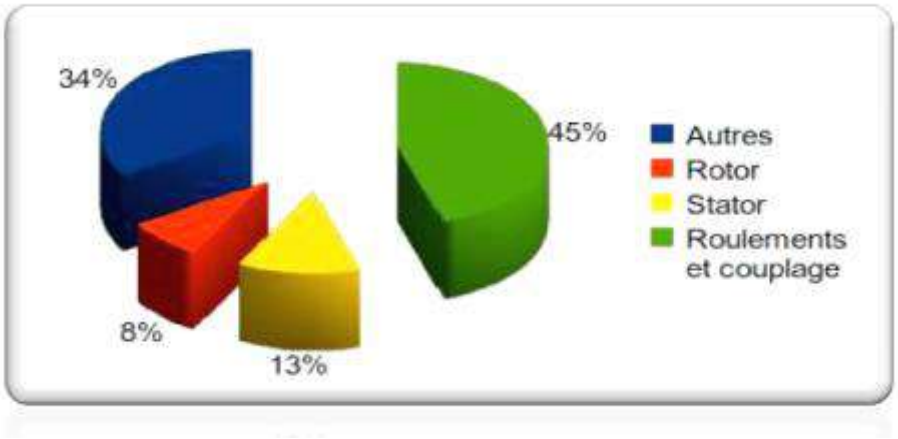


Figure (I.5) Pourcentage des défauts (1995)

I.4.1 Les causes des défauts de la machine asynchrone :

En comparant ces résultats à ceux issus de publications plus anciennes, données par le diagramme de la (figures I.5), réalises par[7] sur des machines de même type (100KW a 1MW), nous remarquons que, ces derniers décennies, la répartition du pourcentage de ces défauts a changé, du fait des conditions de fabrication des moteurs. Les défauts dans le stator et le rotor sont de moins en moins fréquents, la principale source de défaillances est constituée actuellement par les roulements. L'avancée technologique dans le domaine de l'électronique de puissance a permis aussi d'introduire des nouvelles techniques de commande des machines électriques. Dans le cas des machines commandées par des convertisseurs de puissance, les enroulements sont excites par des tensions comprenant des harmoniques de rang élevé. Cette dernière option est devenue la norme pour le contrôle des systèmes électriques. Ce type d'alimentation accélère le vieillissement de l'isolation du bobinage statorique. Une solution est le développement d'une meilleure isolation de matériaux.

Ces statistiques ne sont pas pour autant valables pour toutes les circonstances, il est à noter que ces défauts sont très sensibles aux conditions d'exploitation de ces machines et que leurs origines peuvent être très variées[8]. Recensons, par exemple, les origines :

- **mécaniques**: mauvaise fabrication, vibrations de la machine, forces électromagnétiques déséquilibrées, forces centrifuges, fluctuations de la charge ;
- **électriques** : dégradations d'isolement, décharges partielles, étincelles ;
- **thermiques** : pertes dans le cuivre, manque de refroidissement général ou localise ;
- **environnementales** : humidité, poussière, . . .

Le (tableau I.1) [9] présente un résumé des causes provocant des défauts statorique et rotorique.

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

	Defaults	**Causes**
Defauts statorique	Un défaut entre le stator et les carcasses	Ecrasement des spires par la carcasse, le cycle thermique, une abrasion de l'isolant, présence de points anguleux dans les encoches, un choc.
	Défaut dissolution	endommagement de l'isolant lors de l'insertiondes enroulements, démarrage fréquent, condition de température ou d'humidité extrême
	Court-circuit enter spires	Température excessive,humidité,vibration, surtension
	Court-circuit enter phases	Défaut d'installation, haute température, alimentation déséquilibrée, contrainte d'écrasement au niveau des enroulements.
	déplacement des conducteurs	choc dû à un défaut, démarrage fréquent, vibration des têtes de bobines
	Défaillance des connecteurs	Ecrasement des conducteurs, vibration excessive
Defauts rotorique	Défaut de roulements	Mauvaise installation, déséquilibre magnétique, perte de lubrifiant, haute température, manque de propreté, charge déséquilibrée
	Rupture de barres	Déséquilibre magnétique, régime transitoire a longue durée, fatigue thermique.
	Défaut du circuit magnétique	Défaut de fabrication, fatiguethermique, surcharge.
	Désalignement des roulements	Défaut de couplage, surcharge, mauvaise installation, jeu au niveau des paliers.
	Désalignement du rotor	Mauvaise installation, déséquilibré magnétique, défaut de roulements.
	Roulements mal lubrifiés	Température excessive, mauvaise qualité de lubrifiant.

Lorsque plusieurs défauts présentent les mêmes symptômes, il devient indispensable, pour l"opérateur, de rechercher systématiquement l'existence des symptômes en plus.

Il faut insister d'emblée sur le fait que certains de ces symptômes ne sont pas spécifiques à un défaut en particulier et c'est l'analyse minutieuse qui doit faire montrer cela.

Le diagnostic des défauts est facile lorsqu'il est fait en temps réel et lorsque les symptômes sont clairs.

Ces défauts produisent un ou plusieurs symptômes qui peuvent être :

- un déséquilibre des courants de ligne et des tensions ;
- une augmentation des oscillations du couple ;
- une diminution du couple moyen ;
- une augmentation des pertes et donc une réduction de l'efficacité énergétique ;
- un échauffement excessif et donc un vieillissement accéléré.

Ainsi, dans le but d'une présentation synthétique, nous avons classe ces défauts en deux familles principales : les défauts mécaniques et les défauts électriques. Ces défauts sont donc rappelés brièvement dans l'organigramme de (tableau I.1).

L'étude des défauts des machines asynchrones à un double objectif :

- Comprendre leur genèse de manière à prévoir leur gravite et leur développement.
- Analyser leur impact sur le comportement de la machine et en déduire les signatures permettant, a posteriori, de remonter jusqu'à la cause de la défaillance.

I.4.2 Défauts mécaniques :

Plus de 40% de défauts de moteurs asynchrones sont des défauts mécaniques. Ces défauts peuvent être des défauts de roulements, des défauts d'excentricité, . . .

I.4.3 Défauts de roulements :

La raison principale des défaillances des machines concerne les défauts des roulements à billes qui ont de nombreuses causes telles que la contamination du lubrifiant, une charge excessive ou encore des causes électriques comme la circulation de courants de fuite induits par les onduleurs a MLI[10].

Les défauts de roulements entrainent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations. Il a et montre également que les défauts de roulements induisent des variations dans le couple de charge de la machine asynchrone.

I.4.4 Défauts d'excentricité :

Les conséquences des défauts mécaniques se manifestent généralement au niveau de l'entrefer : par des défauts d'excentricité statique, dynamique[11](figure1.6) ou mixte :

- Le défaut d'excentricité statique est généralement dû à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator, dont la cause la plus fréquente est un défaut de centrage des asques.

- Le défaut d'excentricité dynamique peut être cause par une déformation du cylindre rotorique, ou la détérioration des roulements à billes.
- L'excentricité mixte, la plus fréquente, est la combinaison d'une excentricité statique et d'une excentricité dynamique.

I.4.5 Défauts électriques :

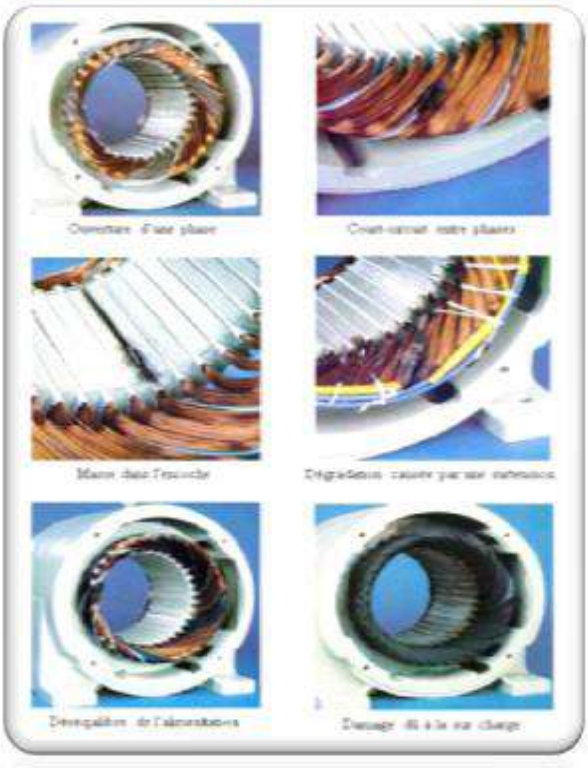
Les défaillances électriques, au niveau du stator ou au niveau du rotor, peuvent avoir plusieurs formes et plusieurs causes. A titre d'exemple : le déséquilibre des tensions d'alimentation de la machine ou encore les démarrages fréquents provoquent un échauffement excessif des bobinages statorique conduisant à terme à une destruction locale de l'isolant. De même, les efforts électrodynamiques que subissent les conducteurs des phases, se traduisent par des vibrations mécaniques ayant pour effet de détériorer l'isolant. Sur le plan électrique, les fronts de tension génères par les convertisseurs statiques accentuent le phénomène et réduisent, par conséquent, la durée de vie de l'isolant des conducteurs. Quant aux origines environnementales, nous pouvons

citer l'humidité, les produits corrosifs ou abrasifs, . . .

I.4.a Au niveau du stator :

Les défauts statorique se manifestent sous la forme d'un court-circuit inter-spires, d'un court- circuit entre deux phases ou d'un court-circuit entre une phase et la carcasse[12] (figures I.7). Il est schématisé par la connexion franche entre deux points du bobinage. Le court-circuit entre phases apparaît préférentiellement dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient. Le court-circuit entre spires de la même phase peut apparaitre soit au niveau des têtes de bobines soit dans les encoches, ce qui entraine une diminution du nombre de spires effectives de l'enroulement.

Un court-circuit entre phases provoquerait un arrêt net de la machine. Cependant, un court- circuit entre une phase et le neutre (via la carcasse) ou entre spires d'une même phase. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui a une répercussion directe sur le couple. Ce type de défaut perturbe aussi sensiblement les commandes développées sur la base du modèle de Park (hypothèse d'un modèle équilibré)



Figure(I.7) Différents défauts au niveau de stator de la machine asynchrone

I.4.b Au niveau du rotor :

Un rotor bobiné peut être affecté par les mêmes défauts que le stator. Pour un rotor à cage les défauts se résument à la rupture de barres ou à la rupture d'anneaux de court-circuit .

Ces ruptures de barres ou de portions d'anneau peuvent être dues, par exemple, à une surcharge mécanique (démarrages fréquents,. . .), à un échauffement local excessif ou encore à un défaut de fabrication (bulles d'air ou mauvaises soudures)[5]. Ce défaut fait apparaître des oscillations sur les courants et le couple électromagnétique d'autant plus apparentes que l'inertie est très grande (vitesse constante). Lorsque l'inertie de l'entrainement est plus faible, des oscillations apparaissent sur la vitesse mécanique et sur l'amplitude des courants statorique.

La cassure de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. En fait les cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux, d'autant que les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotorique. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge de couple et donc des courants peuvent entrainer leur cassure.

Un défaut de rupture de barres n'induit pas à un arrêt de la machine, du fait que le courant qui traversait la barre cassée se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, ce qui peut conduire à leur rupture, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine.

Devant la multitude des défauts envisageables et les conséquences de leurs apparitions, les techniques de surveillance se sont rapidement imposées auprès des utilisateurs des machines électriques. Elles commencent également à intéresser les concepteurs.

I.5 Les méthodes de diagnostic des machines asynchrones

I.5.1 Méthodes sans modèle :

Ces méthodes sont basées soit sur le traitement de signaux issus de capteurs de grandeurs physiques affectées par les défauts ou soit par des systèmes experts mettant en œuvre des techniques d'intelligence artificielle. Puisque les allures temporelles ne donnent pas beaucoup d'information, on est obligé d'aller vers les techniques de traitement de signal.

Les méthodes se basant sur l'analyse des signaux d'acquisition ont l'avantage d'être indépendante des fluctuations internes du système. Ainsi, l'information contenue dans les signaux n'est pas affectée par une éventuelle erreur de modélisation.

Plusieurs techniques de traitement de signal ont été utilisées depuis longtemps pour analyser le contenu spectral des différents signaux issus des machines électriques tels que : les courants, les puissances, le couple, la vitesse, le flux, les vibrations,…etc.

I.5.2 Diagnostic par l'analyse des tensions statorique induites :

Cette technique est basée sur l'exploitation du contenu fréquentiel de la tension induite par le flux rotorique dans les enroulements statorique pendant la déconnexion de la machine du réseau. En utilisant cette approche, les effets de non idéalité de la source (déséquilibres et présence des harmoniques) ainsi que le non linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine peuvent être évitées.

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 signale du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'Etat de santé de la machine [13].

I.5.4 Diagnostic par analyse du courant statorique :

Parce qu'il est facilement accessible, et vue sa capacité de détecter aussi bien les défauts électromagnétiques que mécaniques, l'analyse du courant statorique occupe une place privilégiée dans le diagnostic par analyse des signaux. Cette technique est connue sous l'abréviation MCSA (Motor Current Signature Analysis). La MCSA était l'objet de plusieurs travaux de recherche, elle consiste à affecter à chaque défaut une signature spectrale le caractérisant. Dans le même contexte, il a été démontré que la sévérité du défaut est fonction de l'amplitude des composantes fréquentielles qu'il génère, et notamment, des raies déjà présentes dans le moteur sain (harmoniques d'espace).

I.5.5 Diagnostic par analyse du vecteur de Park :

Deux versions d'analyse par cette méthode à savoir :

La première utilise les grandeurs biphasées isα et isβ, qui sont calculées à partir des trois courants d'alimentation, pour l'obtention de la courbe de Lissajous : isβ = f (isα). 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 statorique ou rotorique et même les défauts de roulement.

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. 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 :

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

I.6 Conclusion

La protection des moteurs est une fonction essentielle pour la continuité du fonctionnement des machines. Le choix du dispositif de protection doit être fait avec rigueur. La recherche d'anomalies et la rapidité de remise en route seront ainsi nettement améliorées.

De là vient le rôle du diagnostic des machines électriques a été (et il est encore) un thème de recherche très important depuis plusieurs décennies. Dans ce chapitre nous avons essayé de regrouper le maximum d'information sur les symptômes qu'une machine asynchrone peut manifester. Pour chaque symptôme, une liste de causes possibles est nécessaire pour la détermination les possibles origines pour chaque type de défaut.

II.1 Introduction

La machine asynchrone peut être modélisée selon différentes méthodes, en fonction des objectifs recherchés, nous pouvons citer deux modèles :

- les modèles en grandeurs de phases, découlant des équations différentielles à coefficients périodiques régissant le fonctionnement de la machine, ils sont utilisés essentiellement pour l'étude des régimes permanents.
- les modèles issus de la transformation de Park, utilisés couramment pour l'étude des régimes transitoires et pour la commande vectorielle des machines.
- Les modèles triphasés-triphasés.

Ce chapitre est consacré à la modélisation de la machine asynchrone à rotor bobiné, la méthode utilisée dans notre étude est la méthode des Circuits Electriques Magnétiquement Couplés (CEMC), il s'agit de représenter les bobinages de la machine par des circuits électriques distribués dont les inductances propres et mutuelles sont calculées en utilisant les fonctions de bobinage issues des expressions analytiques du dimensionnement de la machine asynchrone[15][16], ce type de modélisation offre un bon compromis en terme de précision et de temps de calcul, de plus, elle permet de prendre en compte un certain nombre de défauts d'origine électromagnétique tels que les défauts de court-circuit entre spires statoriques, et les défauts de type rupture de barre rotorique [17] [18].Nous présentons en premier lieu les différentes équations électriques, magnétiques et mécaniques caractérisant le modèle de la machine. La simulation de modèle est alors fondée sur l'intégration numérique d'une représentation d'état continue de la machine qui nécessite l'expression analytique de l'ensemble des équations différentielles indépendantes régissant l'évolution de la machine et son alimentation et de déterminer les valeurs numériques des paramètres du modèle [19]. Dans notre cas il s'agit des résistances et des inductances.

II.2 Modélisation triphasée-triphasée de la machine asynchrone à rotor bobiné

Le moteur asynchrone est constitué de trois bobinages répartis au stator alimentés en triphasé par un système de tension, et de trois enroulements en court circuit au rotor. Le modèle de la machine est caractérisé par des paramètres électriques et mécaniques.

On modélise la machine asynchrone dans le repère a, b, c en émettant les hypothèses simplificatrices suivantes :

- La saturation du circuit magnétique, l'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.
- L'entrefer est constant et les inductances propres sont des constantes et que les inductances mutuelles entre deux enroulements au stator et au rotor sont des fonctions sinusoïdales de l'angle entre leurs axes magnétiques.
- L'influence de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

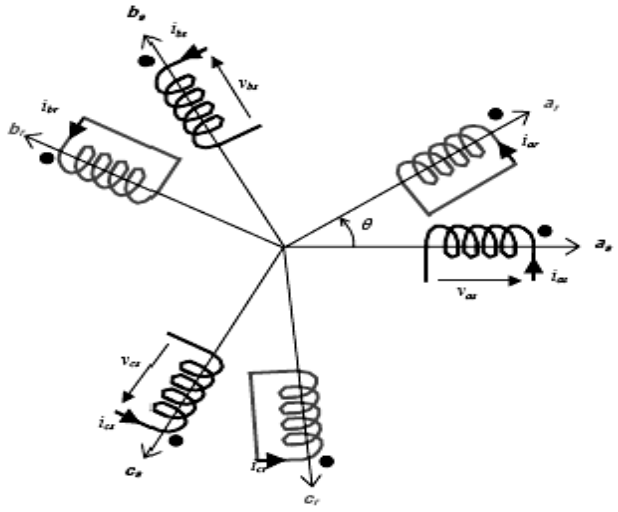


Figure II.1 Représentation de la machine asynchrone triphasée

La figure (II.1) montre la représentation spatiale d'une machine asynchrone comprenant un Enroulement triphasé au stator $(a_s, b_{s,} c_s)$comme au rotor $(a_r, b_{r,} c_r)$. Le système D'alimentation en tension est sinusoïdal.

II.3 Présentation de modèle

II.3.1 Equations électriques de la machine :

Les équations au stator et au rotor sont alors données sous formes matricielles condensées suivantes :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d[\emptyset_s]}{dt} \quad \text{II.1}$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[\emptyset_r]}{dt} \quad \text{II.2}$$

Avec :

$$[V_s]=\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \qquad [I_s]=\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \qquad [\varphi_s] = \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad \text{II.3}$$

$$[V_r]=\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} \qquad [I_r]=\begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \qquad [\varphi_r] = \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad \text{II.4}$$

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_{sa} & 0 & 0 \\ 0 & R_{sb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{sc} \end{bmatrix} \qquad [R_r]=\begin{bmatrix} R_{ra} & 0 & 0 \\ 0 & R_{rb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{rc} \end{bmatrix} \quad \text{II.5}$$

$[V_s], [V_r]$ vecteurs des tensions statoriques et rotoriques ,

$[I_s], [I_r]$ vecteurs des courants statoriques et rotoriques,

$[\varphi_s], [\varphi_r]$ vecteurs des flux statoriques et rotoriques,

$[R_s], [R_r]$ matrices des résistances statoriques et rotoriques,

$R_{sa,}R_{sb,}R_{sc}$ résistance statorique de la phase $a_{s,}b_{s,}c_{s,}$

$R_{ra,}R_{rb,}R_{rc}$ résistance rotorique de la phase $a_{r,}b_{r,}c_{r,}$

II.3.2 Expression du flux :

Le flux s'expriment en fonction des courants de la manière suivante :

II.6

$$[\emptyset_s] = [L_s].[I_s] + [M_{sr}].[I_r]$$
$$[\emptyset_r] = [L_r].[I_r] + [M_{rs}].[I_s] \quad \text{II.7}$$

L'isotropie et la symétrie de la machine font que les inductances propres des phases statoriques sont égales et de même pour celles du rotor

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \qquad [L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \quad \text{II.8}$$

$[L_s], [L_r]$ Matrice des inductances statoriques et rotoriques,

$L_{s,} L_r$ Inductances propres statoriques et rotoriques,

M_s Inductance mutuelle entre phases statoriques,

M_r Inductance mutuelle entre phases rotoriques,

La matrice des inductances mutuelles entre les phases du stator et du rotor dépend de la position angulaire θ entre l'axe du stator et celui du rotor est définie comme étant

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = M_{sr}\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2.\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2.\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2.\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2.\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2.\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2.\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad \text{II.9}$$

M_{sr} Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase du stator et la phase correspondante du rotor.

II.3.3 Expression du couple électromagnétique :

Le calcul de couple électromagnétique est déterminé a partire de la dérivée de la coénergie magnétique par rapport à θ donnée par l'équation

$$w_{co}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}[I_s]\\[I_r]\end{bmatrix}^T\cdot\begin{bmatrix}[L_s] & [M_{sr}]\\[M_{rs}] & [L_r]\end{bmatrix}\begin{bmatrix}[I_s]\\[I_r]\end{bmatrix} \quad \text{II.10}$$

θ représente la position du rotor par rapport au stator.

$$C_{em}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}[I_s]\\[I_r]\end{bmatrix}^T\frac{d}{d\theta}\begin{bmatrix}[L_s] & [M_{sr}]\\[M_{rs}] & [L_r]\end{bmatrix}\begin{bmatrix}[I_s]\\I_r\end{bmatrix} \quad \text{II.11}$$

$$C_{em}=\frac{1}{2}[I]^T\frac{d[L]}{d\theta}[I] \quad \text{II.12}$$

$[I]=[i_{sa}\quad i_{sb}\quad i_{sc}\quad i_{ra}\quad i_{rb}\quad i_{rc}]$ vecteur courant

II.3.4 Equation mécanique :

L'équation mécanique qui régit le fonctionnement de la machine peut se mettre sous la Forme suivante

$$\text{j.}\frac{d\Omega_r}{dt}+f_{r.}\Omega_r=C_{em}-C_r \quad \text{II.13}$$

$$\Omega_r=\frac{d\theta}{dt} \quad \text{II.14}$$

C_r Couple résistant extérieur,

J moment d'inertie,

Ω_r vitesse angulaire mécanique du rotor,

ω pulsation mécanique,

f coefficient de frottement,

II.3.5 Etablissement du modèle d'état:

En remplaçant les équations II.6 et II.7 dans les équations électriques de la machine (II.1) et (II.2), nous obtenons

$$[V_s] = [R_s].[I_s] + \frac{d}{dt}\{[L_s][I_s] + [M_{sr}][I_r]\} \quad \text{II.15}$$

$$[V_r] = [R_r].[I_r] + \frac{d}{dt}\{[L_r][I_r] + [M_{rs}][I_s]\} \quad \text{II.16}$$

Car $\varphi = [L].[I]$

En posant $[V] = \left[[V_s].[V_r]\right]^T$ et en sachant que le vecteur $[V_r]$ est nul, nous obtenons l'équation électrique de la machine

$$[V] = [R].[I] + \frac{d([L][I])}{dt} \quad \text{II.17}$$

$$[V] = [R].[I] + [I]\frac{d([L])}{dt} + [L]\frac{d[I]}{dt} \quad \text{II.18}$$

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

$$[V] = [R].[I] + [I]\Omega_r.\frac{d([L])}{d\theta} + [L].\frac{d[I]}{dt} \quad \text{II.20}$$

En associant l'équation mécanique II.13 et celle du couple II .12, nous obtenons le modèle D'état suivant

$$\begin{bmatrix}[V]\\ -C_r\\ 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}[R] + \Omega_r\frac{d[L]}{d\theta} & 0 & 0\\ -\frac{1}{2}.[I]^T.\frac{d[L]}{d\theta} & f_v & 0\\ 0 & -1 & 0\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}[I]\\ \Omega_r\\ \theta\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}[L] & 0 & 0\\ 0 & J_t & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}[\dot{I}]\\ \dot{\Omega}\\ \dot{\theta}\end{bmatrix} \quad \text{II.21}$$

Une forme condensée est obtenue sous l'écriture suivante :

$$[U]=[B].[X]+[A].[\dot{X}]. \quad \text{II.22}$$

Le vecteur $[\dot{X}]$ peut s'écrire

$$[\dot{X}] = [A]^{-1}.([U] - [B].[X]) \quad \text{II.23}$$

Où $[U]$ est le vecteur de commande qui a pour expression :

$$[U]=([V].[C_r].[0])^T \quad \text{II.24}$$

Et le vecteur d'état $[X]$ est donné par :

$$[X]= ([I].[\Omega_t].[\theta]\ )^{\ t} \quad \text{II.25}$$

La matrice $[A]$obtenue s'écrit sous la forme

$$[A] = \begin{bmatrix} [L_s] & [M_{sr}] & 0 & 0 \\ [M_{rs}] & [L_r] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad \text{II.26}$$

La matrice $[A]$ est dépendante de l'angle rotorique et il nous faudra l'actualiser pour ensuite L'inverser à chaque pas de calcul lors de la simulation. Les diverses matrices constituant la Matrice $[A]$ sont définies précédemment

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M_{sr} \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \\ f_3 & f_1 & f_2 \\ f_2 & f_3 & f_1 \end{bmatrix} \quad \text{II.27}$$

$f_1 = \cos(p.\theta)$,

$f_2 = \cos\left(p.\theta + \frac{2.\pi}{3}\right)$,

$f_3 = \cos\left(p.\theta - \frac{2.\pi}{3}\right)$,

P nombre de paires de pôles, En considérant le cas où le stator et le rotor ont le même nombre de spires en série par Phase, que les bobinages sont identiques et que le moteur asynchrone est connecté en étoile au Réseau électrique , on obtient alors

$$M_s = -\frac{1}{2} L_s = M_r = -\frac{1}{2} L_r \quad \text{II.28}$$

$i_{as} + i_{bs} + i_{cs}$ Et $i_{ar} + i_{br} + i_{cr} = 0$ II.29

En introduisant l'inductance cyclique $L_{sc} = 3 / 2L_{s,r,}$, la matrice inductance $[L]$ de la

Machine asynchrone peut se réécrire sous la forme suivante :

$$[L]=\begin{bmatrix} L_{sc} & 0 & 0 & M_{sr}.f_1 & M_{sr}.f_2 & M_{sr}.f_3 \\ 0 & L_{sc} & 0 & M_{sr}.f_3 & M_{sr}.f_1 & M_{sr}.f_2 \\ 0 & 0 & L_{sc} & M_{sr}.f_2 & M_{sr}.f_3 & M_{sr}.f_1 \\ M_{sr}.f_1 & M_{sr}.f_3 & M_{sr}.f_2 & L_{rc} & 0 & 0 \\ M_{sr}.f_2 & M_{sr}.f_1 & M_{sr}.f_3 & 0 & L_{rc} & 0 \\ M_{sr}.f_3 & M_{sr}.f_2 & M_{sr}.f_1 & 0 & 0 & L_{rc} \end{bmatrix} \qquad \text{II.30}$$

La matrice $[B]$ est donnée sous la forme

$$[B]=\begin{bmatrix} [R_s] & \left[\Omega_r.\frac{dM_{sr}}{d\theta}\right] & 0 & 0 \\ \left[\Omega_r.\frac{dM_{rs}}{d\theta}\right] & [R_r] & 0 & 0 \\ c_{1\ldots\ldots} & c_6 & f_v & 0 \\ 0\ldots. & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \qquad \text{II.31}$$

$[R_s]$ =$R_s.[II]$, $[R_r]$=$Rr.[II]$

Où $[II]$ représente la matrice identité. Les deux matrices intervenant dans l'expression de $[B]$ sont :

$$\left[\Omega_r,\frac{dM_{sr}}{d\theta}\right]=\left[\Omega_r,\frac{dM_{rs}}{dt}\right]^T=-M_{sr}\begin{bmatrix} g_1 & g_2 & g_3 \\ g_3 & g_1 & g_2 \\ g_2 & g_3 & g_1 \end{bmatrix} \qquad \text{II.32}$$

Avec

$g_1=\Omega_r.p.\sin(p.\theta)$,

$g_2=\Omega_r.p.\sin(p.\theta+\frac{2\pi}{3})$,

$g_3=\Omega_r.p.\sin(p.\theta-\frac{2\pi}{3})$,

Les éléments $C_{1\ldots.6}$ contenus dans la matrice B sont obtenus à partir de l'équation du couple et de l'équation mécanique

$C_1=0.5.M_{sr}.p.(i_{sa}.h_1+i_{sb}.h_2+i_{sc}.h_3)$

$C_2=0.5.M_{sr}.p.(i_{sa}.h_3+i_{sb}.h_1+i_{sc}.h_2)$

$C_3=0.5.M_{sr}.p.(i_{sa}.h_2+i_{sb}.h_3+i_{sc}.h_1)$

$C_4 = 0.5.M_{sr}.p.(i_{ra}.h_1 + i_{rb}.h_3 + i_{rc}.h_2)$

$C_5 = 0.5.M_{sr}.p.(i_{ra}.h_2 + i_{rb}.h_1 + i_{rc}.h_3)$

$C_6 = 0.5.M_{sr}.p.(i_{ra}.h_3 + i_{rb}.h_2 + i_{rc}.h_1)$

$h_1 = \sin(p.\theta)$,

$h_2 = \sin\left(p.\theta + \frac{2\pi}{3}\right)$,

$h_3 = \sin\left(p.\theta - \frac{2\pi}{3}\right)$,

II.4 Validation du modèle triphasé-triphasé de la machine

Après avoir décrit le modèle de la machine asynchrone à rotor bobiné, un programme écrit Sous l'environnement ***Matlab*** nous a permis de mettre en évidence le comportement de la Machine.

Pour la résolution du système différentiel nous avons utilisé la méthode Rung-kutta Selon l'organigramme illustré dans la figure (II.2).

Les paramètres de la machine utilisée sont Donnés dans l'annexe A

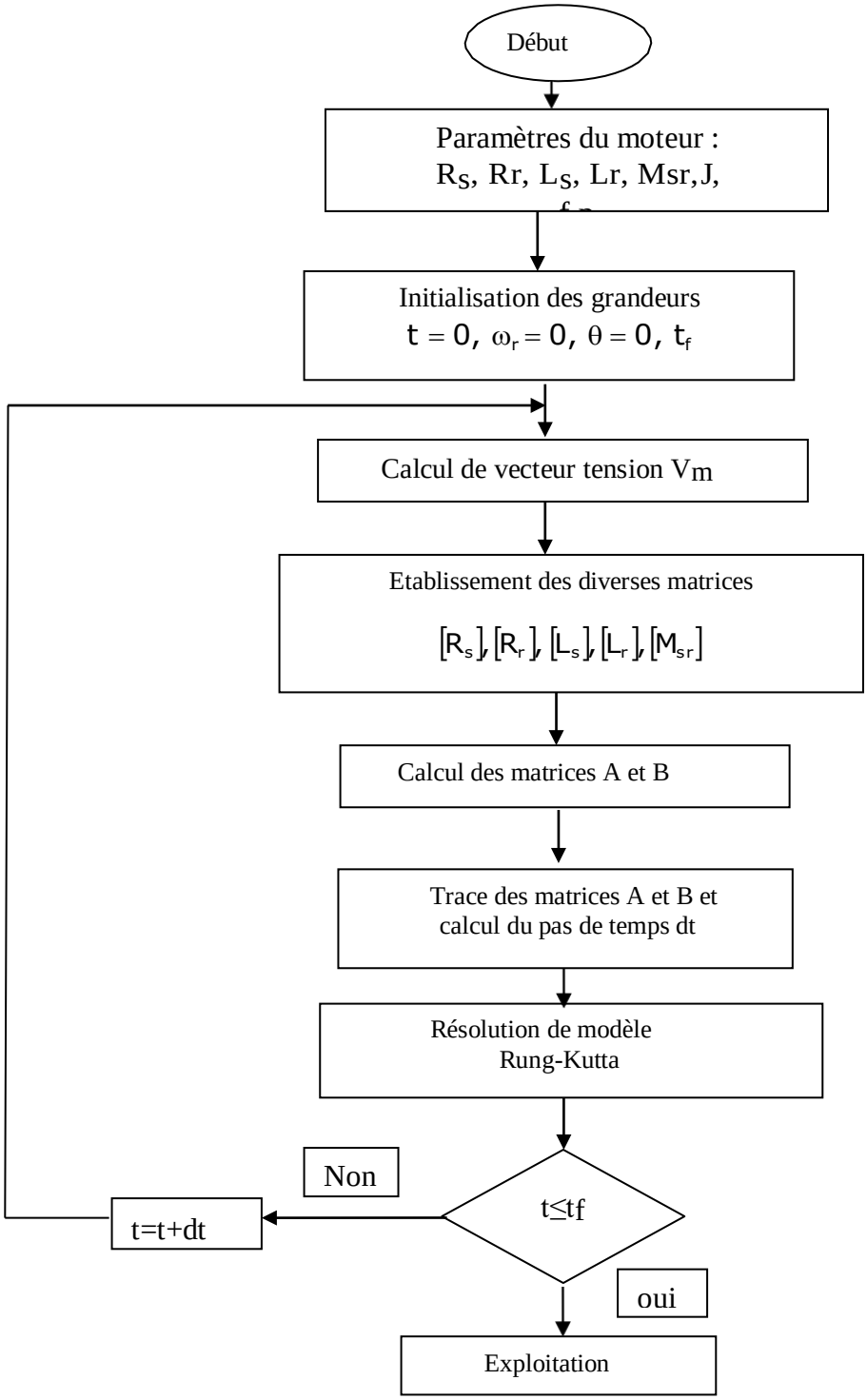


Figure II.2 Organigramme du simulation de la machine

II.4.1 Résultats de simulation de la machine asynchrone en régime sain :

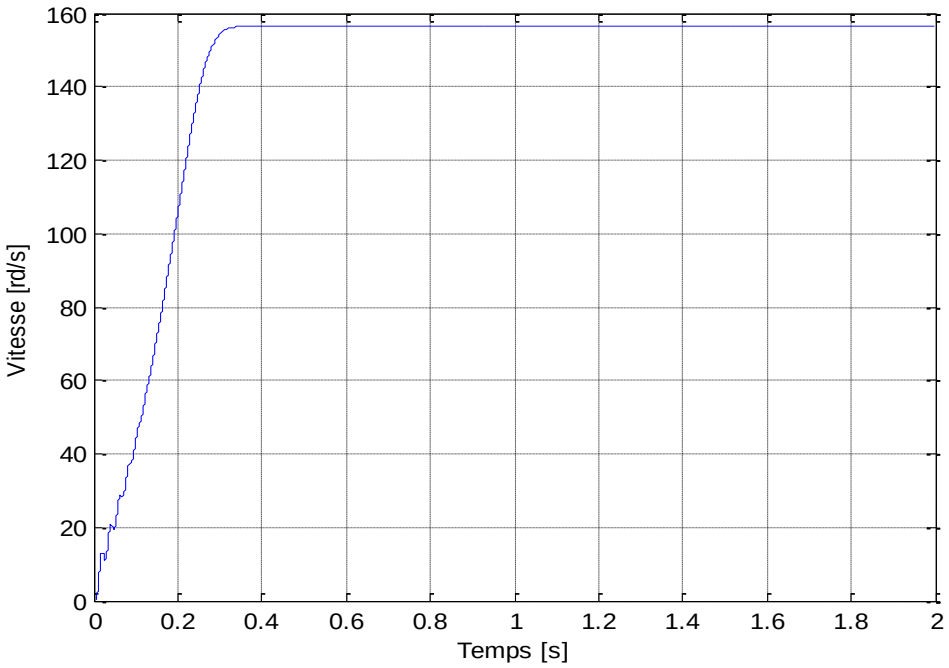


Figure II.3 évolution du la vitesse du rotation

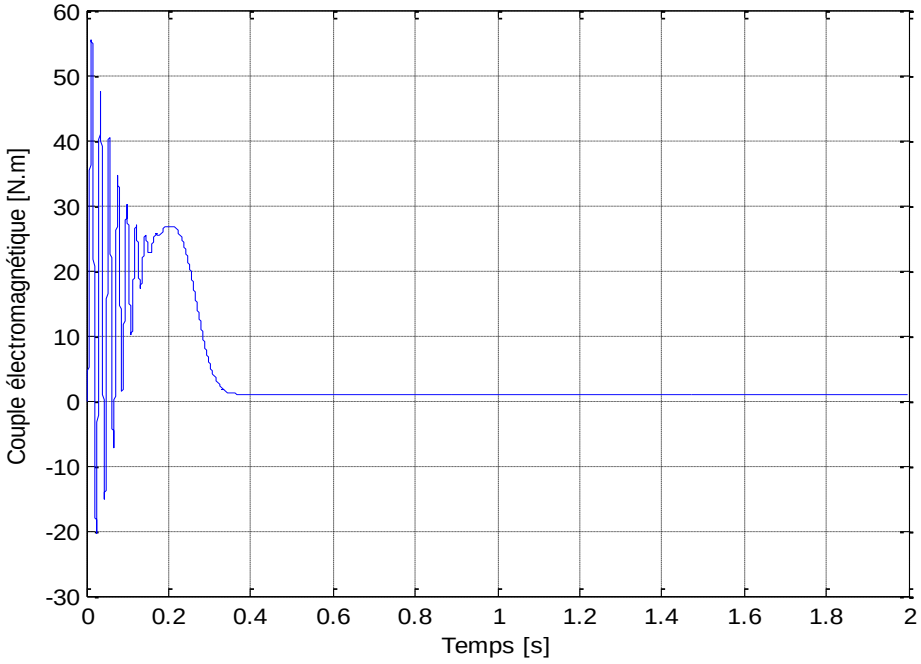


Figure II.4 évolution du couple électromagnétique

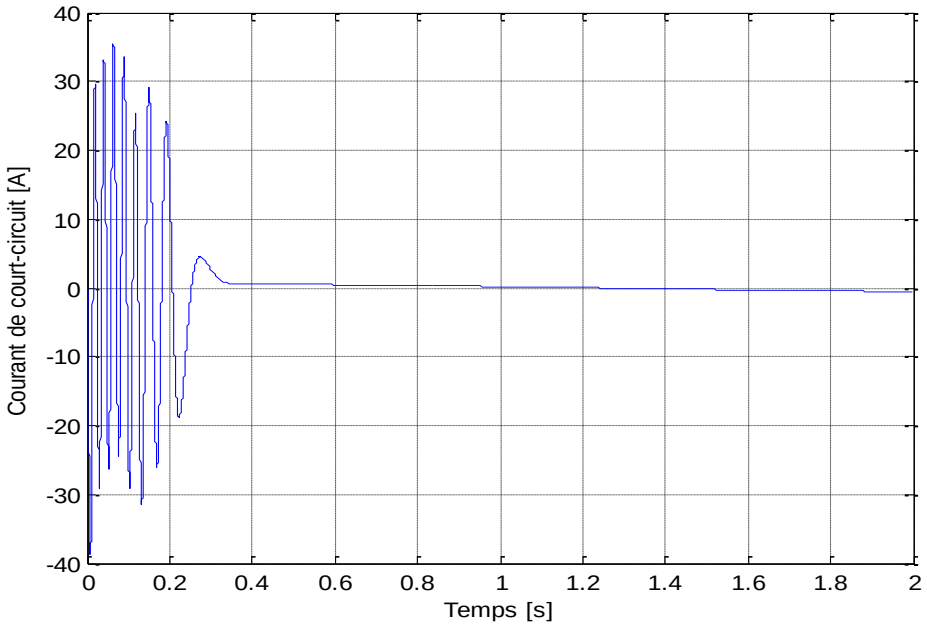


Figure II.5 Evolution de courant dans la phase ar du rotor

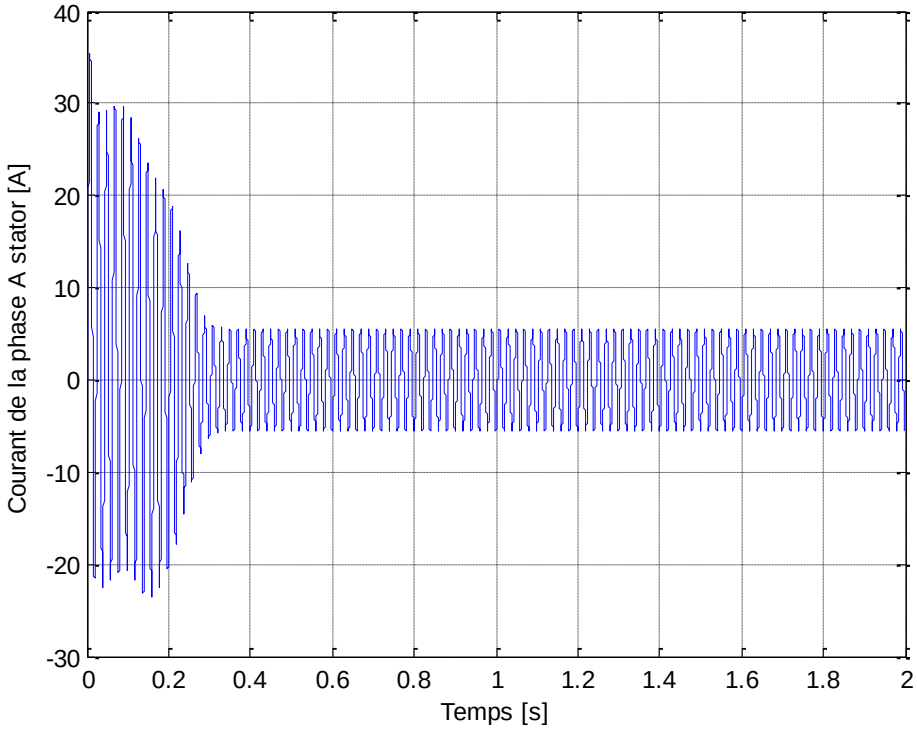


Figure II.6 Evolution de courant dans la phase a_S du stator

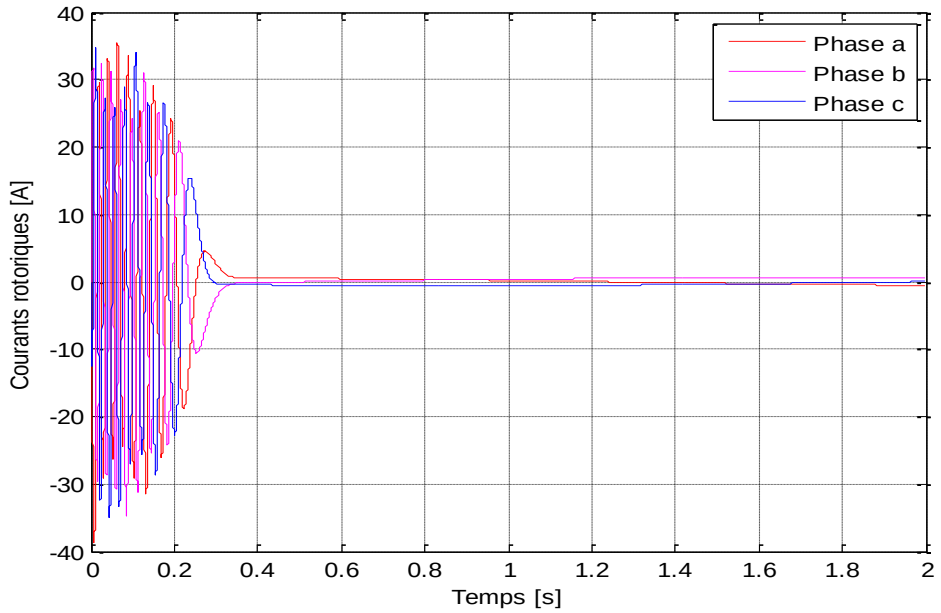


Figure II.7 Courants dans les trois phases du rotor

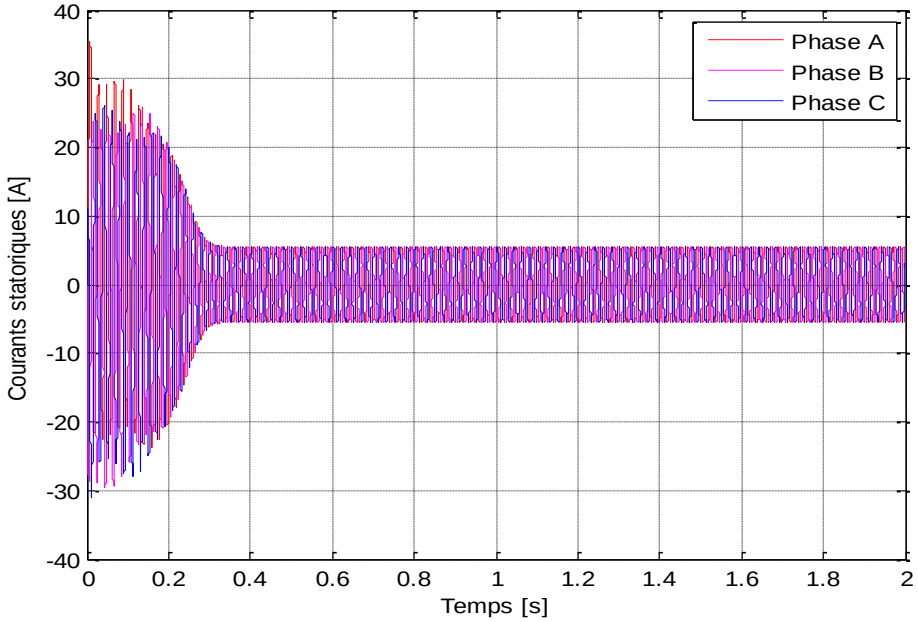


Figure II.8 Courants dans les trois phases du stator

II.4.2 Interprétation des résultats de simulation :

La simulation de la machine asynchrone à rotor bobiné alimenté par des tensions sinusoïdales, nous a permis d'observer le comportement de celle- ci, les courbes présentées par les figure (II.3, II.4, II.5, II.6) détaillent respectivement l'évolution de la vitesse, du couple électromagnétique, et de courant.

La figure II.3 représente l'évolution de la vitesse de rotation de la machine, nous remarquons que la monté en vitesse est linéaire au début de démarrage, qui en régime permanent se stabilise à 156. rad/s, puisque la machine possède une paire de pôles.

la figure II.4 représenté Le couple électromagnétique, au démarrage, le couple est fortement pulsatoire, il atteint une valeur maximale de 54.8 N.m, ceci explique le bruit engendré par la partie mécanique et après disparition du régime transitoire, le couple tend vers zéro, cette valeur représente le couple de frottement,

La figure II.7 représente l'évolution des courants rotoriques, nous remarquons qu'au démarrage, les courants oscillent autour d'une valeur de 35A, ce qui illustre le régime transitoire.

En régime permanent, les courants chutent vers une valeur presque nulle, cela est dû au fait que la vitesse du rotor s'approche de celle du champ tournant statorique (vitesse de synchronisme).

la figure II.8 représenté L'évolution des courants statoriques absorbés par les trois phases du stator, en régime transitoire qui dure, les courants oscillent autour de l'axe zéro avec une amplitude de 35.45 A.

puis il se stabilisent à une valeurs efficace de 5.5 A en régime permanant.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle externe de simulation de la machine asynchrone à rotor bobiné en régime sain, dit modèle triphasé-triphasé. Ce modèle consiste à modéliser les trois phases statoriques ce qui permet de différencier le comportement de chaque phase, les enroulements rotoriques sont représentés par trois phases également. Cette modélisation consiste à la résolution numérique du système d'équation différentielle, en utilisant la méthode Rung –kutta d'ordre quatre, un programme écrit sous l'environnement matlab nous a permis d'analyser le comportement de la machine en régime sain.la particularité de ce modèle réside dans l'utilisation des paramètres réels de la machine sans passer par la transformation de Park ce qui permet de discriminer un comportement défectueux d'un comportement duà un fonctionnement normal de la machine. Les résultats de simulation obtenus traduisent bien le comportement connu du fonctionnement de la machine. La modélisation de la machine en présence de défaut de déséquilibré d'alimentation fera l'objet du prochain chapitre.

III.1 Introduction

Le diagnostic des machines électriques s'est largement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaine de production de plus en sure devient pour certaines application, indispensable [20]. le travail proposé est sur le diagnostic des machines asynchrone triphasé, alors l'apparition d'un défaut dans la machine asynchrone conduit le plus souvent, a un arrêt irréparable. Par conséquent, un cout de réparation élevé pour les entreprises en raison de leur forte puissance, auquel vient s'ajouter les pertes de production. Dans littérature, sont présentées plusieurs techniques de détection de défauts qui utilisent majoritairement la modélisation de la machine asynchrone basé sur déséquilibré d'alimentation certaines méthodes sont couramment rencontrées dans le diagnostic des défauts électriques et/ou mécaniques, telle que l'analyse et le traitement des signaux temporelle (courants), la vibration, les flux et couple. Cette méthode est basé sur la transformé de Fourier rapide FFT et potentiel du point commun.

III.2 Définition du déséquilibré

Un système triphasé ou asymétrique, si les tensions ou les courants triphasés N'ont pas la même Amplitude, les différents cas de déséquilibré de tension alimentation sont :

- **sous-tension :** diminution d'une seule phase ou deux phases ou les trois phases en même temps.
- **sur-tension :** augmentation d'une seule phase ou deux phases ou les trois phases en même temps.
- **déphasage :** le déphasage d'une seule phase n'est pas égal a 120 ° ou deux phases ne sont pas de 120 °.

III.3 Résultats de simulation d'un fonctionnement défectueux

III.3.1 Validation du modèle de la machine asynchrone en présence de défaut de (15%,-15%) Déséquilibré d'alimentation Sur la phase a et c :

L'alimentation triphasé asymétrique, va influencer sur le fonctionnement de la machine asynchrone et entraine des perturbations et des modifications aux performances de la machine .d'après les différents causes du déséquilibré que l'on a cité déjà, une tension asymétrique alimenté le moteur, une augmentation et diminution de tension de 15%,-15%, est appliquée sur les deux phases a et c , nous avons provoqué le défauts sur les phases concernées âpres un temps t=1s.

Les résultats sont présentées a les figures suivantes :

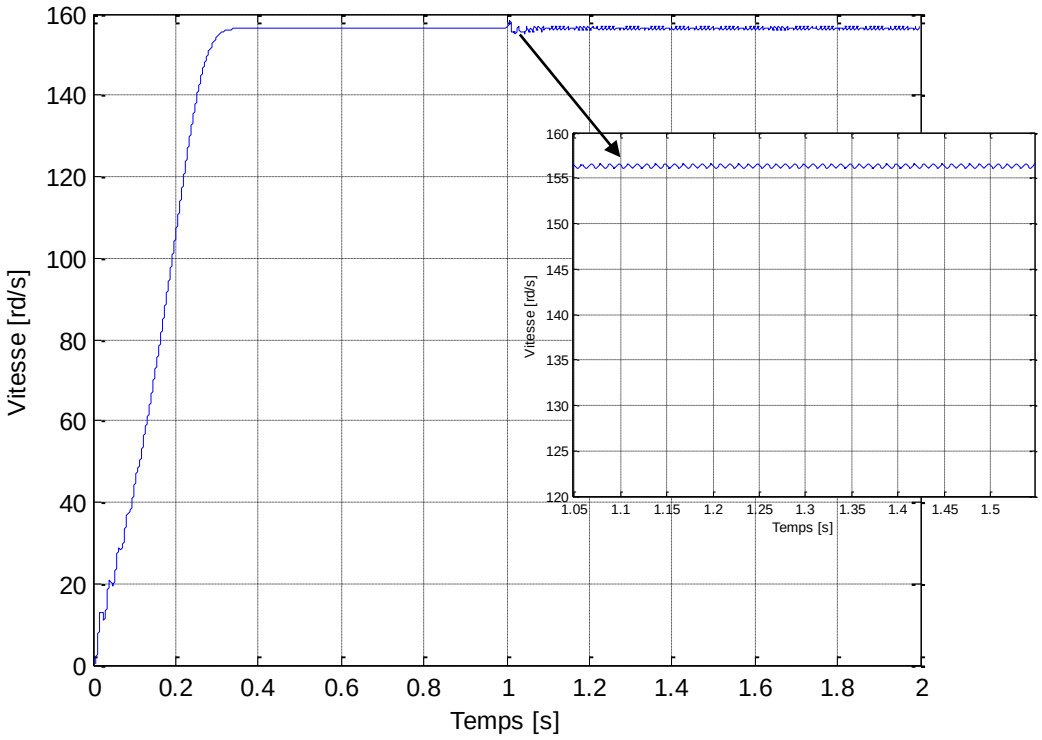


Figure III.1 courbe de la vitesse [rad/sec]

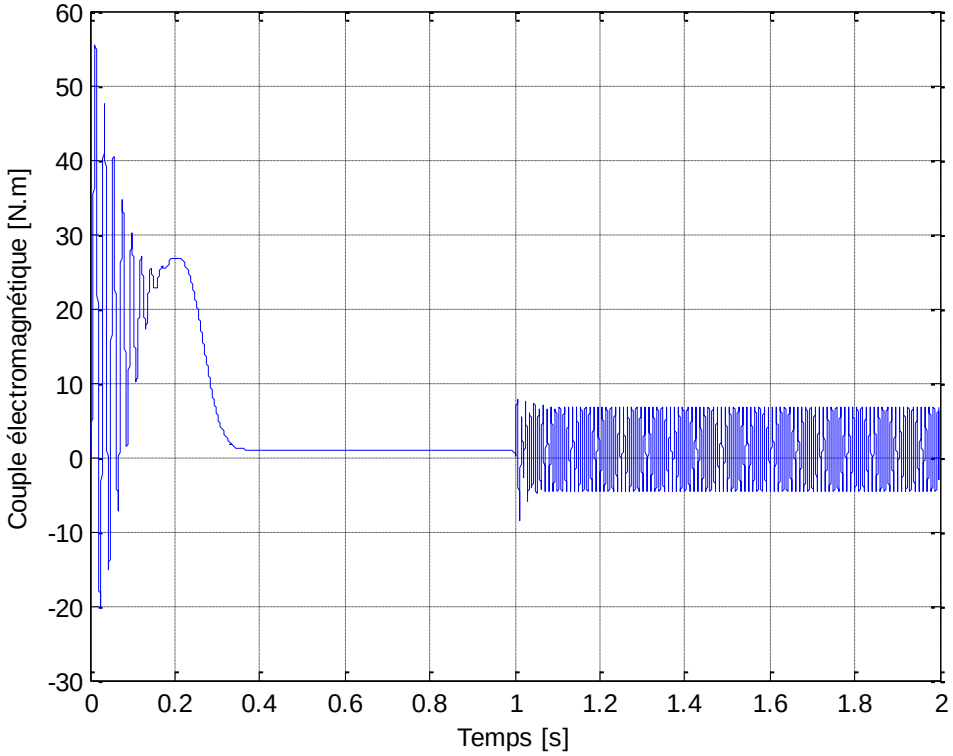


Figure III.2 Couple électromagnétique [N.m]

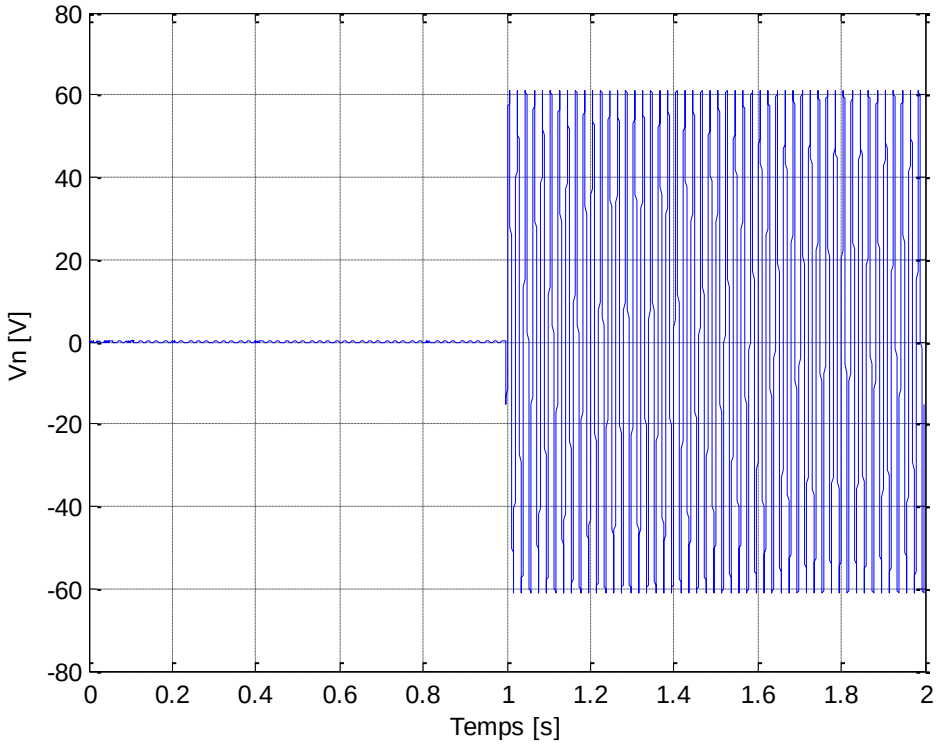


Figure III.3 potentiel du point commun de la machine [V]

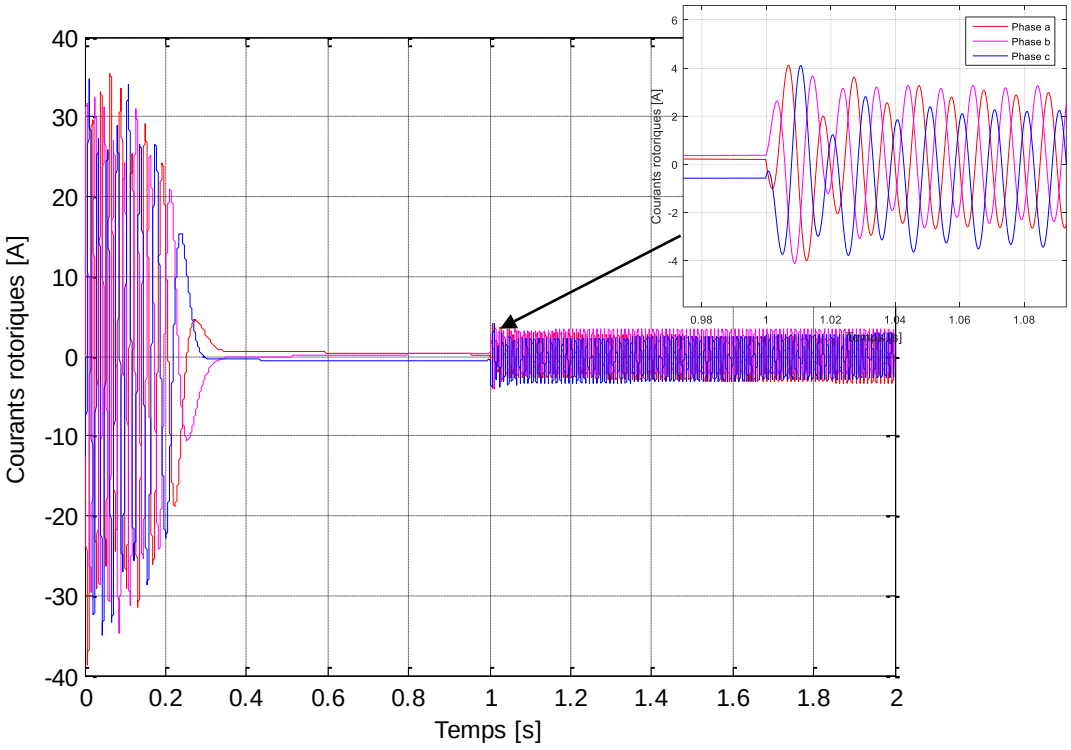


Figure III.4 Courants dans les trois phases du rotor [A]

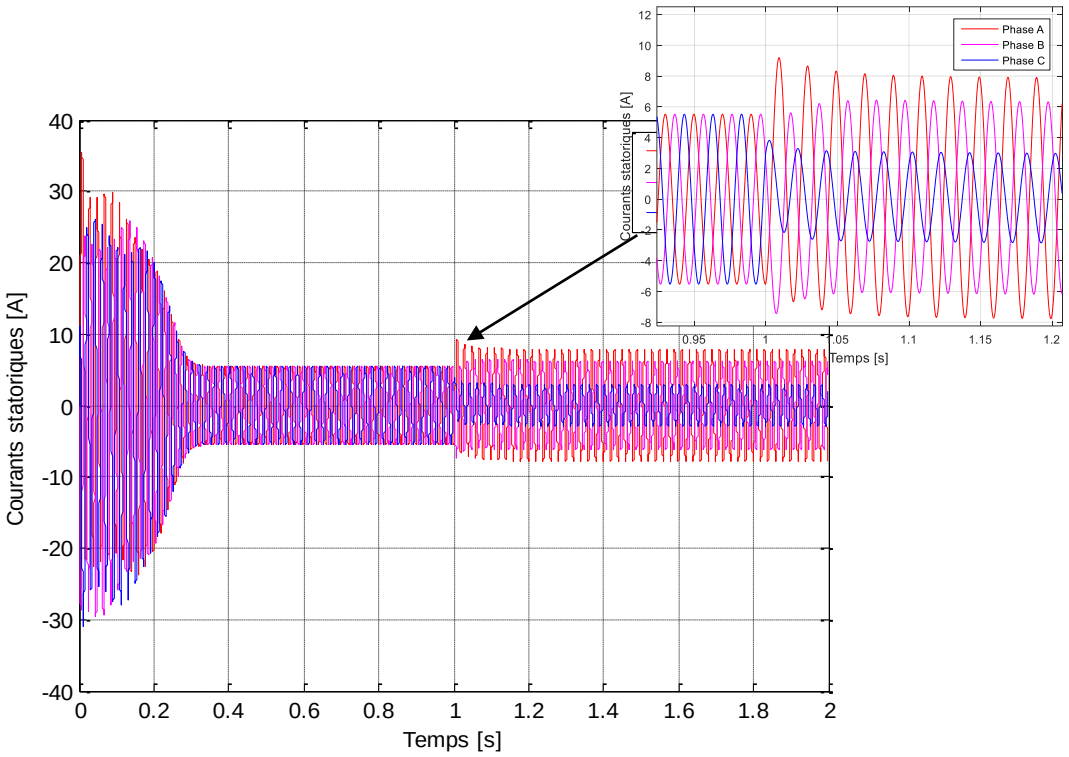


Figure III.5 Courants dans les trois phases du stator[A]

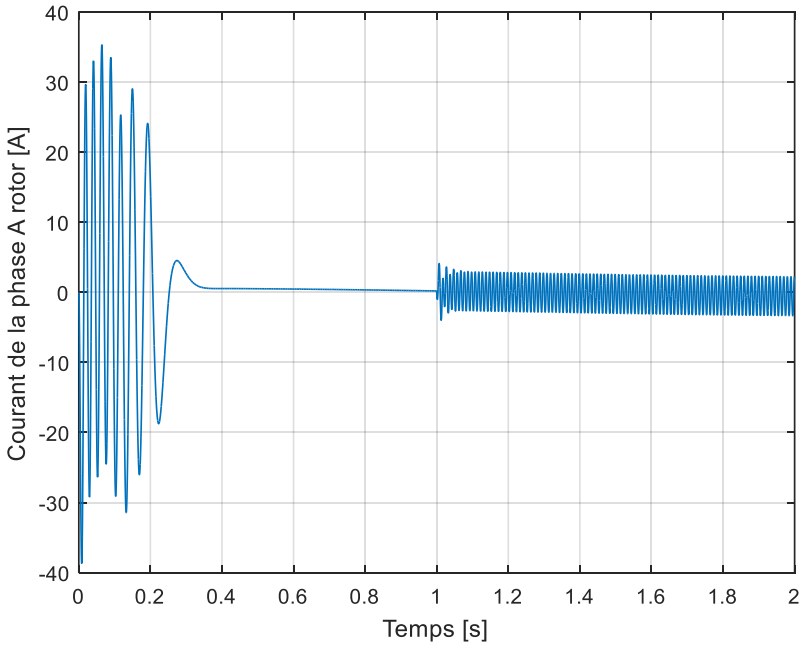


Figure III.6 Evolution du courant dans la phase as du rotor

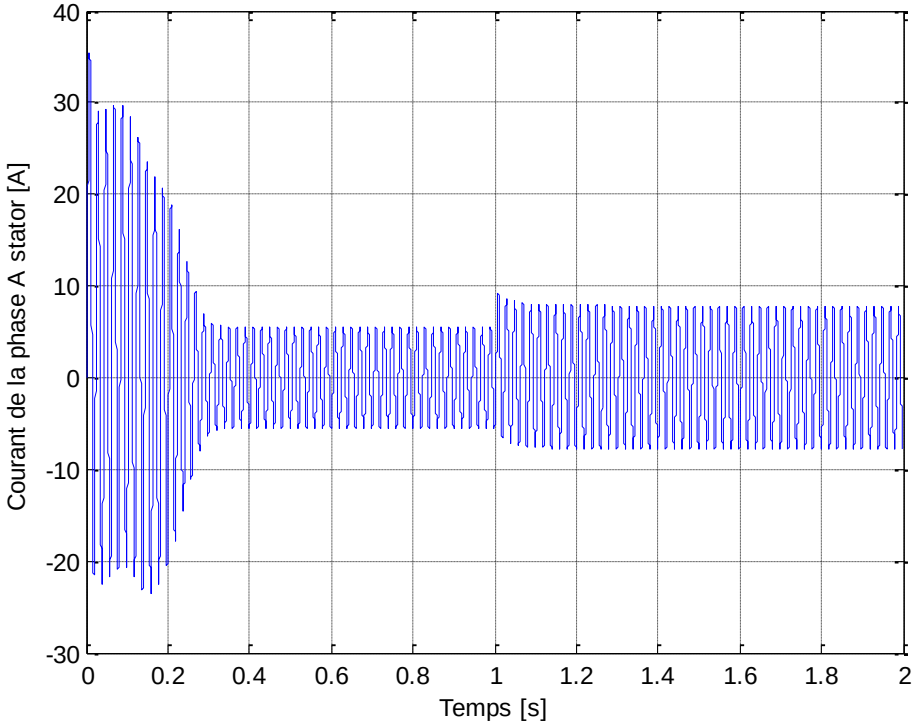


Figure III.7 Evolution du courant dans la phase as du Stator

III.4 Interprétation des résultats

Nous avons introduit à l'instant 1 secondes un défaut de type déséquilibré d'alimentation de 15%, et de -15% sur la phase a et c de la machine.

La figure III.1 représente l'allure de la vitesse de rotation. Lors de l'application de défaut de 15% Nous remarquons que la vitesse augmente et oscille avec des ondulations, causées par le défaut, d'amplitude 156.5 rad/sec, ces ondulations croient en augmentant (FIG.III.1) Lors de la création du Défaut dans les phases, une nouvelle interaction entre la phase déséquilibré, cette interaction est à l'origine des ondulations du couple, qui s'amplifient avec l'augmentation en déséquilibré, comme c'est montré dans les figures (III.2).

La figure (III-3) le potentiel du point commun peut atteindre des valeurs extrêmement élevées produisant des chutes de tensions importantes au stator.

Les figures (III.5) montrent l'évolution du courant dans les trois phases du stator, suite à un défaut lors de 15% et -15% de déséquilibré respectivement. les courants croîts brusquement et oscille avec des ondulations d'amplitude égale à 5.60A et 3.3A, pour les phases bs,cs respectivement, ce qui est dû au couplage magnétique des trois phases statoriques, et de 9,19A pour la phase as affectée. Ces résultats concordent avec ceux trouvées par d'autres travaux [19].

La figure (III.4) représenté Les courants dans les trois phases du rotor, dans Une déformation de la forme des courants est observée, ce qui peut être expliquée par la modification du comportement magnétique dans l'entrefer, due au champ stationnaire crée par les défauts, qui s'ajoute au champ tournant crée par les trois phases statoriques en régime sain.

III.5 Application d'analyse

Deux voix d'analyse :

- FFT du courant.
- Potentiel du point neutre.

III.5.1 L'analyse spectrale Du courant statorique :

L'analyse spectrale Des courant statoriques est très utilisée depuis de nombreuses années, pour détecter des défaillances dans les machines électriques .Ces défauts se traduisent par l'apparition des fréquences sur le spectre .alors le contenue spectrale des courants statoriques est alors modifier par l'appariation des signatures fréquentielles, qui indiques la nature des défauts [21].

Nous représentons sur les figures suivantes les spectres du courant statoriques pour un fonctionnement sain de la machine et un fonctionnement sous un déséquilibré de tension d'alimentation.

La composante fondamentale de fréquence 50Hz (l'harmonique d'ordre 1) est le continue spectrale du courant statorique sous les conditions idéales, comme illustré par la figure III.8

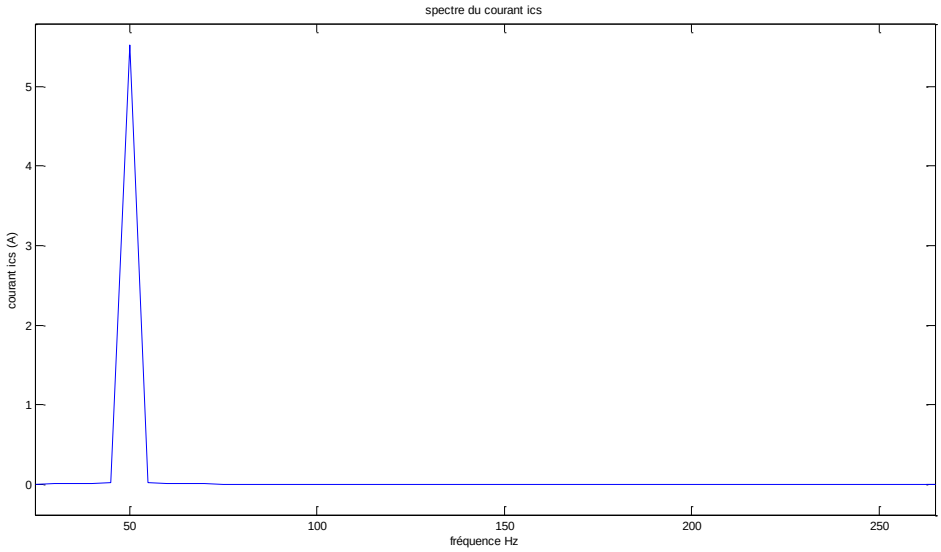


Figure III.8 spectre de courants statorique avec une alimentation équilibré

D'après [22], le déséquilibré staoriques, peut êtres détecté par une analyse harmoniques des courants statoriques, la signature fréquentielle des tensions statoriques déséquilibrés, est le harmonique d'ordre 3 de la fréquence alimentation (3fs), alors le spectre du courante statorique comporte deux composantes : le première et le troisième harmoniques (50Hz-150Hz) pour les tensions statoriques déséquilibré (FIG III.9) .

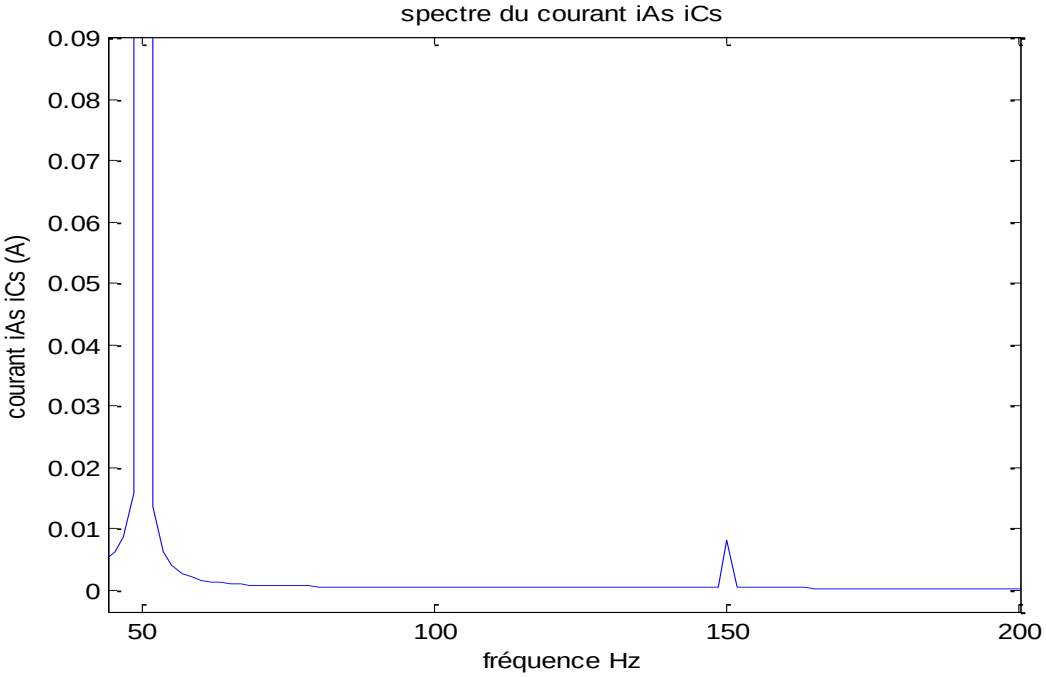


Figure III.9 spectre du courant statorique avec une alimentation déséquilibré

III.5.2 potentiel de point neutre (Vn) :

- le cas de déséquilibre causé par une seule phase les résultats sont présentées a les figures suivantes :

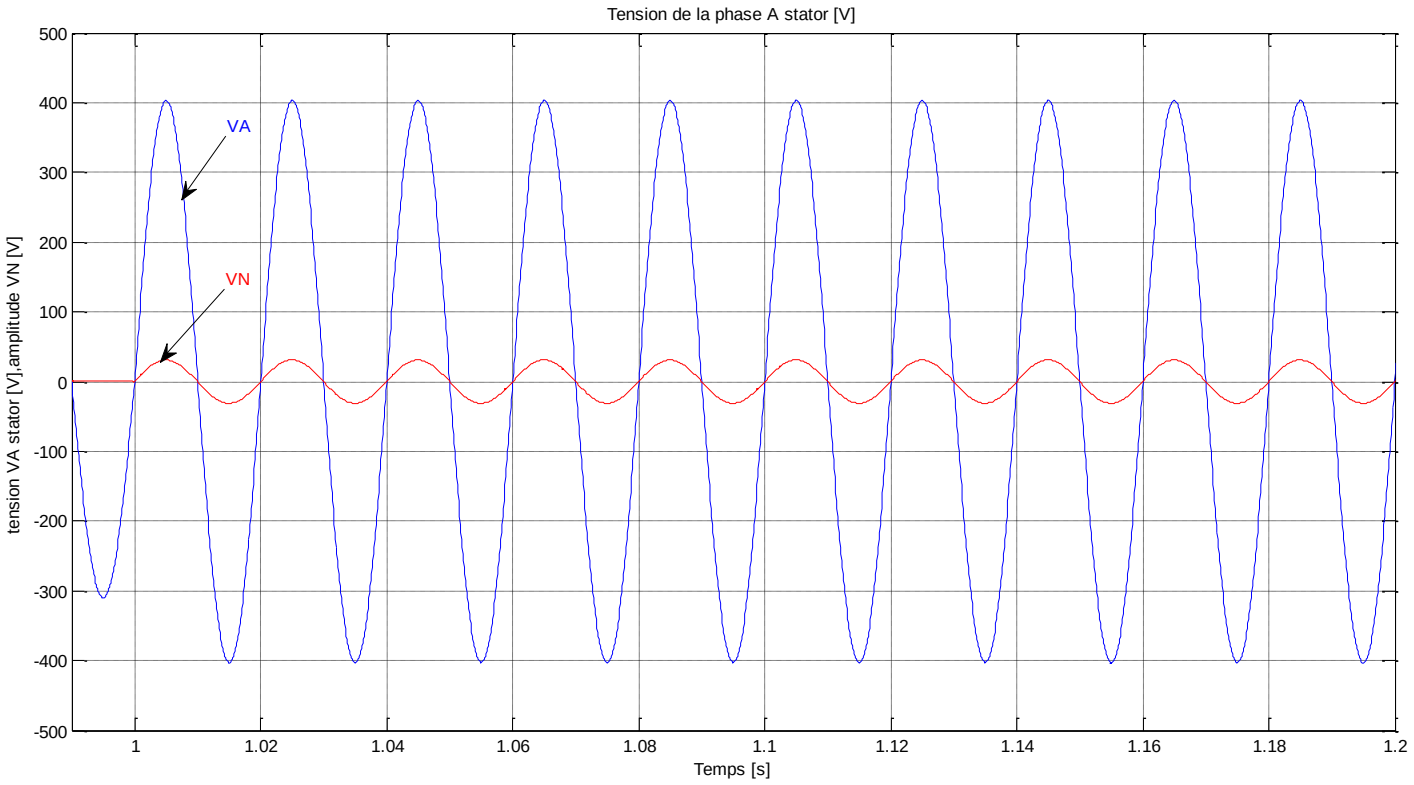


Figure III.10 potentiel point neutre (Vn) avec augmentation de tension vA

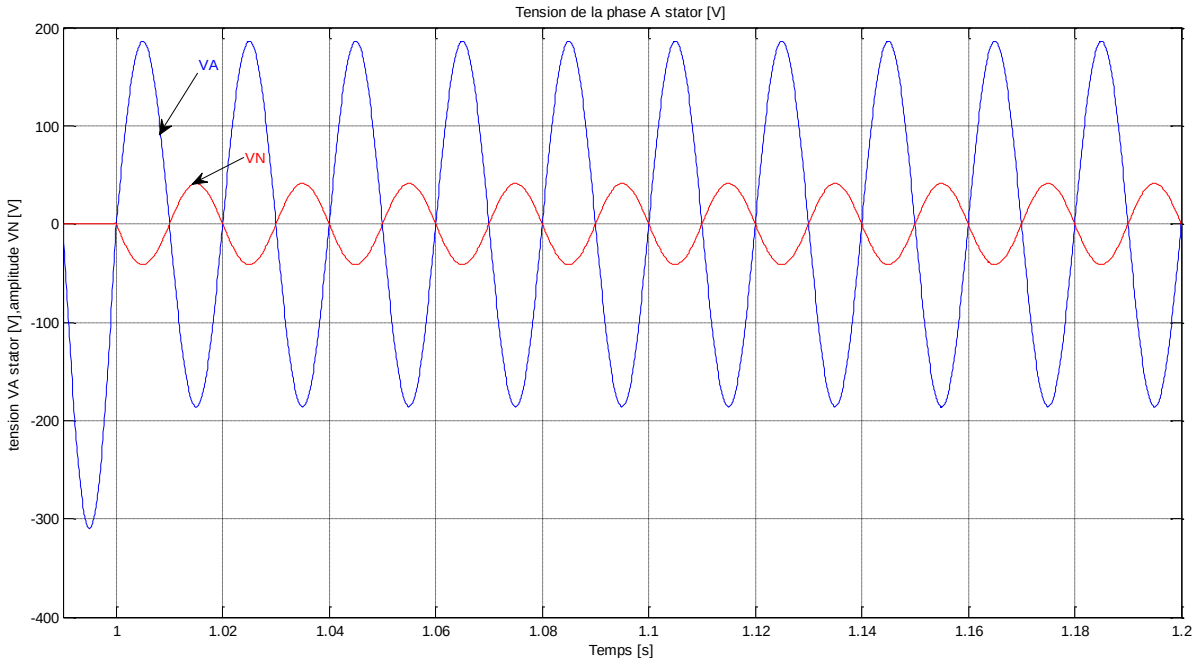


Figure III.11 potentiel point neutre (Vn) avec diminution de tension VA

- Amplitude de Vn correspond aux taux augmentation ou la diminution de tension dans une phase.
- La phase nous donne l'information sur l'augmentation ou la diminution de l'Amplitude d'une phase.
- on peut distinguer la phase concernée par le déséquilibré.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances du moteur asynchrone triphasé pendant les défauts statorique externe en utilisant MATLAB/SIMULINK. Cette étude nécessite l'implémentation de différents relais de protection et de détection de défauts.

on présenté les effets de déséquilibré de tension sur la machine asynchrone, tel que :

- les oscillations sur le couple et la vitesse.
- déséquilibré d'amplitudes aux niveaux de deux courants statorique.

La nécessité d'identifier le défaut d'une manière certaine, a nous conduits à étudier le contenu spectral du courant statorique et le potentiel du point commun. on peut distinguer la phase concernée par le déséquilibré par Le Vn, L'apparition de l'harmonique d'ordre 3 sur le spectre du courant statorique, est la signature significative du déséquilibré de tension d'alimentation.

Dans les applications industrielles, les machines électriques, nécessitent une détection rapide de leurs défaillances à cause de leurs utilisations fréquentes dans la plupart des domaines industriels. La maintenance de ces machines justifie l'accent mis sur la recherche dans le diagnostic de défauts des entraînements électriques, notamment en vitesse variable. Le travail présenté dans ce mémoire a traité donc du diagnostic des défauts statoriques pouvant survenir au sein des machines asynchrones. Ce domaine très vaste, ouvre de larges perspectives pour ces différents types de machine. L'étude des défauts a un double objectif :

- comprendre leur genèse de manière à prévoir leur gravité et leur développement.
- Analyser leur impact sur le comportement de la machine et en déduire les signatures permettant, a posteriori, de remonter jusqu'à la cause de la défaillance. Il est donc important de développer des outils de diagnostic pour détecter de manière précoce ces défauts.

L'objectif est avant tout de posséder un modèle de la machine asynchrone qui met en évidence l'influence des défauts sur les grandeurs mesurables de la machine, principalement les courants, afin d'étudier les phénomènes mis en jeu. Deux approches sont possibles, la première s'appuie sur la distribution des champs et des courants en tout point de la machine, et permet de simuler son fonctionnement en régime de défaut, cette méthode coûteuse en temps de calcul, et nécessite la connaissance des paramètres géométriques et des caractéristiques des matériaux relatifs au moteur asynchrone. La seconde approche dite méthode des Circuits Electriques Magnétiquement couplés **(CEMC),** consiste à modéliser le rotor de la machine par des mailles reliées entre elles électriquement et couplées magnétiquement, c'est à cette dernière que nous nous sommes intéressée afin de disposer d'un modèle mathématique où les paramètres mesurables apparaissent explicitement et ne nécessitent pas d'outils de calcul complexes. Le défaut étudié déséquilibré d'alimentation.

Pour aborder cette étude, nous avons établi un état de l'art sur la constitution de la machine asynchrone en mettant l'accent sur les possibilités d'apparition des défauts tant au stator ainsi que les divers outils utilisés pour la détection et le diagnostic des défauts et les différents types de maintenance. Nous nous sommes intéressés ensuite à la présentation d'un modèle réel de la machine asynchrone triphasée à rotor bobiné, en développant les différentes équations régissant le fonctionnement de la machine, une représentation d'état est alors obtenue dont la résolution permet

de retrouver l'évolution de toutes les grandeurs de la machine. Un programme écrit sous **MATLAB** nous a permis de valider ce modèle.

En conclusion, ce travail pourrait donner lieu à des études complémentaires tels que :

- Approfondir l'étude des défauts dans la machine, en particulier les défauts mécaniques et magnétiques
- L'étude de l'association machine asynchrone- convertisseur et la prise en compte des harmoniques.
- Les méthodes de diagnostic doivent être améliorées, c'est-à-dire que des essais complémentaires sur des moteurs de différentes puissances doivent être effectuées pour les rendre plus fiables et plus sures.

Bibliographie

[1] Gaetan Didier, « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence des défaillances.» Thèse de doctorat, université de Henry poincaré , Nancy-I,2004

[2] Roland Casimir, « Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissances des formes. » thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2003

[3] GAUTHIER J., Hammouri H., Othman S., "Asimple observer for n on-linear systems applications to bioreactors", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 37, no. 6, p. 875-880, 1992.

[4] MULLER G., LANDY C., "Vibration produced in squirrel-cage induction motors having broken rotor bars and interbar currents", International Conferences on Electrical Machines, 1994.

[5] BIANCHI Bolognani S., Pré M.D., « Strategies for the fault-tolerant current control of a five-phase permanent-magnet motor", IEEE Transaction on industry Applications, vol.43, no.4, p. 960-970, July-August 2007.

[6] BONNETT A.H., YUNG C., "Increased efficiency versus increased reliability", IEEE industry Applications Magazine, p.1077-2618, January-February 2008.

[7] THORSEN O.V., DALVA M., " A survey of fault on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gaz terminals, and oil refineries", IEEE industry Application Magazine, vol. 31, no. 5, September 1995.

[8] THORSEN O.V., DALVA M., "Failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry", Conference Publication, IEE 1997, no. 444, Condition monitoring methods, 1September 1997.

[9] KAZZAZ S.A.S.A., Singh G.K., « Experimental investigations on induction machine condition monitoring and fault diagnosis using digital signal processing techniques", Electric Power Systems Research, vol. 65, p. 197-221, Elsevier, 2003.

[10] STACK J.R., HABETLER T.G., Harley R.G., "Experimentally generating faults in rolling element bearings via shaft current", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, no. 1, p. 25-29, January-February 2005.

[11] SAHRAOUI M., GHOGGAL A., ZOUZOU S., BENBOUZID M., « Dynamic eccentricity in squirrel- cage induction motor-simulation and analytical study of its spectral signature on stator-cage induction motor-Simulation.

[12] BAZINE S., Conception et implémentation d"un Méta-modèle de machines asynchrones en défaut, PhD thesis, University of Poitiers, Ecole nationale d"ingénieurs de Tunis, June 2009.

[13] J.P Caron, J.P Hautier, „Modélisation Et Commande De La Machine Asynchrone", Edition Technique, Paris 1995.

[15] Diagnostic de la machine asynchrone en présence de défauts. » *EF' 2003 Electrotechnique du future 9 ET 10 Décembre 2003 Supélec.*

[16] « Diagnostic des machines asynchrones utilisation du modèle multi enroulements.» *4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007 ; 03-04 November 2007*

[17] « la détection d'un défaut au rotor des moteurs asynchrones. » *Publié dans la revue 3EI,N°.27Décembre2*

[18] H.Razik, G.Didier «Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone. » *Chercheur de GREEN. Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy.GREEN.-UHP.- UMR- 7037. Université Henri Poincaré- nancy 1-B.P.239 Janvier 2003.*

[19] Schaeffer. Emmanuelle « Diagnostic des machines asynchrones, modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts. » *Thèse de doctorat, université de Nantes, Décembre 1999.*

[20] Mellakhi A., 2010 –analyse spectrale du courant statorique pour détecter les cassures de barres dans le moteur asynchrones triphasé en tenant compte des harmoniques d'espace .revue ''nature &technologie '', N 02,3540.

[21] Smail Bachir, « modélisation et diagnostic de la machine asynchrone par identification paramétrique à vitesse constante. » Thèse de doctorat, Ecole Supérieur d'ingénieur de Poitiers, 2002

[22] Bachir .,S 2002-contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation parametriques , thèse de doctorat de l'université de Poitiers .

[23] Benbouzid M.E.H.,2000-A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection ,IEEE trans ,industrial Electronics ,Vol .47,N5,984-993.

1Paramètres de la machine asynchrone à rotor bobiné

Caractéristiques nominales

Puissance nominale	P_n=3 Kw
Tensions nominales	220V/380V
Fréquence	50Hz
Nombre de pairs de pôles	p=2

paramètres de la machine

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Résistance de l'enroulement statorique	R_s	*1.59*	[Ω]
Résistance de l'enroulement rotorique	R_r	*1.91*	[Ω]
Inductance propre de l'enroulement statorique	L_s	0.1076	[H]
Inductance propre de l'enroulement rotorique	L_r	0.057	[H]
Inductance de fuite au stator	L_{sf}	0.0077389	[H]
Inductance de fuite au rotor	L_{rf}	0.0090127	[H]
Inductance cyclique de l'enroulement statorique	L_{sc}	(3/2)*(Ls+Ls1)	[H]
Inductance cyclique de l'enroulement rotorique	L_{rc}	(3/2)*(Lr+Lrl)	[H]
Inductance mutuelle entre le stator et le rotor	M_{sr}	0.078	[H]
Moment d'inertie	J	0.04	[Kg.m^2]
Coefficient de frottement visqueux	f	0.0066	[N.m.s / rd]

Liste des symboles

$[V_s], [V_r]$	vecteurs des tensions statoriques et rotoriques
$[I_s], [I_r]$	vecteurs des courants statoriques et rotoriques
$[\varphi_s], [\varphi_r]$	vecteurs des flux statoriques et rotoriques
$[R_s], [R_r]$	matrices des résistances statoriques et rotoriques
R_{sa}, R_{sb}, R_{sc}	résistance statorique de la phase a_s, b_s, c_s
R_{ra}, R_{rb}, R_{rc}	résistance rotorique de la phase a_r, b_r, c_r
$[L_s], [L_r]$	Matrice des inductances statoriques et rotoriques
L_s, L_r	Inductances propres statoriques et rotoriques
M_s	Inductance mutuelle entre phases statoriques
M_r	Inductance mutuelle entre phases rotoriques
C_r	Couple résistant extérieur
J	moment d'inertie
Ω_r	vitesse angulaire mécanique du rotor
Ω	pulsation mécanique
f	coefficient de frottement