

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Électrique
Filière : Électrotechnique
Option : Commande électrique

Réf :

**Mémoire de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

**Simulation du Fonctionnement du Moteur Asynchrone avec
Asymétrie Rotorique.**

Présenté par : CHEKIMA MESSAOUD

Soutenu le : 08 Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr SAHRAOUI MOHAME

Mr GHOGGAL ADEL

Mr YAHIA KHALED

M.C.B

M.C.A

M.C.B

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2013/2014

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Électrique
Filière : électrotechnique
Option : commande électrique

Mémoire de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Simulation du Fonctionnement du Moteur Asynchrone avec
Asymétrie Rotorique.**

Présenté par :

CHEKIMA MESSAOUD

Avis favorable de l'encadreur :

GHOOGAL ADEL

signature

Avis favorable du Président du Jury

SAHRAOUI MOHAMED

Signature

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Électrique
Filière : électrotechnique
Option : commande électrique

Thème

Simulation du Fonctionnement du Moteur Asynchrone avec Asymétrie Rotorique.

Proposé Et Dirigé par : M.C.A GHOGGAL ADEL

Résumé

Les progrès réalisés en matière d'électronique de puissance de circuits de commande en automatique ont contribué à l'utilisation grandissante des machines asynchrones dans les systèmes d'entraînements électriques. Le recours aux machines asynchrones est surtout lié à leur robustesse, leur puissance massique et coût de fabrication. Leur maintenance et surveillance permettent de rentabiliser les installations. Il est donc important de développer des outils de diagnostic pour détecter d'une manière précoce les défauts pouvant apparaître dans ces machines.

L'objectif de notre travail s'articule autour de la modélisation de la machine asynchrone pour la simulation des ruptures de barres et de l'application de la méthode appropriée du traitement de signal pour pouvoir détecter le défaut.

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir donné la foi et le courage de mener à terminer notre travail.

A notre encadreur GHOGGAL ADEL, Maître de conférences à l'Université de Biskra pour l'encadrement et l'aide par ses conseils et ses orientations.

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à monsieur SAHRAOUI MOHAMED, Maître de conférences à l'Université de Biskra Pour l'honneur qu'il ma fait en acceptant la présidence du jury de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont aussi à monsieur YAHIA KHALED, Maître de conférences à l'Université de Biskra pour qu'il a porté à ce travail en me faisant l'honneur de participer à ce jury.

A tout personne ayant participé de près ou de loin à réaliser ce travail, et tout personnes dont nous avons oublié de citer.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma mère avec toute mon affection.

A mes frères.

A ma famille.

A tous mes amis.

Chekima Messaoud

Notation et symboles

- Ns : nombre de spires statoriques par phase
- Nr : nombre de barres rotorique
- N : entier naturel.
- Fs : fréquence d'alimentation [Hz].
- E : l'épaisseur de l'entrefer [m]
- L_{BA} : Inductance mutuelle entre l'enroulement B et A [H].
- L_b : Inductance de fuite d'une barre rotorique [H].
- L_e : Inductance de fuite d'un segment d'anneau de court-circuit [H].
- L_{mr} : Inductance de magnétisation d'une maille rotorique [H].
- L_{Am} : Inductance de magnétisation d'une phase statorique [H].
- L_{fA} : Flux de fuite d'une phase statorique[H].
- φ_{BA} : Flux mutuelle total entre deux enroulements A et B.
- F : Force magnétomotrice.
- F : Force mécanique.
- g : Epaisseur de l'entrefer, ou fonction d'entrefer.
- g_0 : Epaisseur de l'entrefer de la machine symétrique.
- P : permeance de l'entrefer.
- g : Glissement.
- r : Rayon moyen de l'entrefer de la machine symétrique[m].
- R : Rayon de l'entrefer[Ω].
- R_b : Résistance d'une barre rotorique[Ω].

R_e : Résistance d'un anneau de court-circuit[Ω].

C_e : couple électromagnétique [N.m]

P : la puissance [W]

r_s : Résistance d'une phase statorique[Ω].

$[R_s]$: Matrice des résistances statoriques[Ω].

$[R_r]$: Matrice des résistances rotoriques[Ω].

$[R]$: Matrice globale des résistances de la machine[Ω].

$[V_s]$: Matrice des tensions statoriques[v].

$[V_r]$: Matrice des tensions rotoriques[v].

$[I_s]$: Matrice des courants statoriques [A].

$[I_r]$: Matrice des courants rotoriques[A].

Ω_r : Vitesse mécanique du rotor.

ω_s : Pulsation statorique.

Φ : Ouverture angulaire.

θ_r : Position mécanique du rotor.

J : Densité de courant.

J_T : Moment d'inertie totale [Kg.m²].

i : Courant électrique [A].

q : Nombre de bobines de l'enroulement A.

p : Nombre de bobines de l'enroulement B.

p : Nombre de paires de pôles.

N : Fonction d'enroulement.

N_s : Nombre de spires.

N_s : Nombre d'encoches statoriques.

N_s : Nombre de barres rotoriques.

n : Fonction de distribution.

δ_d : Degré d'excentricité dynamique.

δ : Degré d'excentricité total.

f_v : Coefficient de frottement visqueux.

f_s : Fréquence d'alimentation.

f_r : Fréquence rotorique.

I_a, I_b, I_c : courants des phases statorique.

V_{abc} : Les tensions statorique.

Sommaire

Introduction générale	1
 CHAPITRE : Défaut de la machine asynchrone	
Introduction	3
Défauts principaux de la machine asynchrone	31
I.1. Intérieurs	
1. Défauts statoriques	3
2. Défauts rotoriques	5
3. Roulement à billes	5
I .2. Spectre du courant statorique.	
I.1.2 L'excentricité	6
I.2.2 Le roulements	7
I.2.3. Les barres cassées	8
I.2.4. Court-circuit entre spires statique	9
I.3 Le diagnostic	9
I.3.1 Méthode détection et la localisation	10
1. aspect modélisation	11
2. Estimation des Paramètres physiques	10
3. Estimation d'état	11
4. Traitement de signaux	11
I.4. Les fenêtres de la pondération	11
Conclusion	12
 CHAPITRE II : Modalisation de la machine asynchrone	
Introduction	13
//-2 Modèle multi enroulement	13
II.3 Équations des tensions	14
II.4 équation de tension rotorique	15

II.5 équation du flux rotorique	16
II.5 Équation mécanique	17
<i>II.6 Système d'équation globale</i>	18
II.6 Calcule des inductances	19
II.6.1 Inductance statorique	19
II.6.2 Inductances rotoriques	20
II.6.2 Inductances rotoriques	21
Conclusion	23

CHAPITRE III : Simulation du modèle multi enroulement

Introduction	24
III-1 Cas d'une machine saine	24
<i>III.2 résultat de simulation d'un fonctionnement avec défaut rotorique</i>	28
III.3 Interprétation des résultats	30
III.4 Conclusion	30

CHAPITRE IV : analyse spectrale du courant statorique

Introduction	32
IV.1 Résultat de simulation d'analyse spectrale	33
IV.2 Interprétations	37
Conclusion	38

Listes des figures

Figure I.1 : le court-circuit entrer spires et faisceaux statorique	4
Figure I.2 : dimension du roulement à bille	7
Figure II.1 : structure multi enroulement du rotor	14
Figure II.2 : circuit électrique équivalent de la cage électrique	15
Figure II.3 : champ produit par nue maille rotorique	21
Figure III.1 : Grandeur mécanique du couple et de ...	25
Figure III-2 : différents grandeurs électriques pour un fonctionnement de ...	27
Figure III.3 : couple électromagnétique	27
Figure III.4 : différents grandeurs électriques avec défaut rotorique	29
Figure VI.1 : spectre du courant statorique	35
Figure VI.2 : spectre du couple électromagnétique	36

CHAPITRE I

Défauts de la machine asynchrone

Introduction générale

Les moteurs asynchrones triphasés sont maintenant largement utilisés dans des applications à vitesse variable, utilisés dans les commandes scalaires ou vectorielles, ces types de machines ont la réputation d'être robuste, et plus adaptés à des applications de forte puissance.

Cependant, malgré les qualités évoquées, ces moteurs présentent quelques défaillances provoquant un vieillissement prématuré, ou un dysfonctionnement. Parmi ces défauts on cite :

Cassures des barres, court-circuit des phases statique ou entre spires.

Ces défauts peuvent être analysés soit par un prélèvement d'un ou plusieurs signaux pour les buts :

- le traitement,
- l'analyser

Finalement conclure l'existence d'une défaillance ou non, avec certitude.

La surveillance est un moyen de garantir le bon fonctionnement de système, le diagnostic est une partie de la surveillance qui a pour objectif de trouver la cause de dysfonctionnement.

La tâche principale d'un maître est de garantir la fiabilité, la disponibilité et la sûreté de système industriel.

La responsabilité de garantir la disponibilité de système repose sur la maintenance et pour accomplir ces fonctions, la maintenance nécessite de connaître l'état de fonctionnement de système, la surveillance donne une réponse aux besoins d'une formation de la maintenance, les trois tâches de la surveillance sont les suivantes [1] :

- La supervision
- La protection automatique
- Le diagnostic

Dans notre mémoire on s'intéresse à la tâche de diagnostic, qui consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance, la procédure du diagnostic s'articule autour des étapes suivantes

- L'extraction des informations issues de capteur du système pour obtenir des indices à partir des indicateurs de défauts ou résidus, le résidu représente la différence entre l'observation et la valeur de la référence, avant de chercher la cause du défaut, il est important de valider l'information fournie par le résidu, la redondance est un moyen de valider cette information [1] deux grandes classes de redondance existent :
- La redondance matérielle.
- La redondance analytique.

La valeur de résidu doit être quantifiée afin de produire des symptômes cette étape de quantification est appelée évaluation de résidu, le problème d'évaluation consiste à définir le seuil à partir duquel on déclarera le défaut, l'étape d'évaluation pour l'objectif de décider s'il y a ou non du défaut dans la machine [1].

Le défaut peut provenir d'un capteur, d'un moteur ou du système un seul résidu suffit pour connaître l'existence d'un défaut dans le système en revanche plusieurs résidus sont nécessaires afin de trouver la cause du défaut.

La décision consiste la dernière étape de la tâche de diagnostic. Il s'agit de déclarer l'élément défaillant ou son nom à partir de la comparaison de la signature actuelle et de référence ou avec des valeurs (seuils) établies par le calcul ou par l'expérience, l'étape de la décision va nous permettre de différencier les défauts, c'est-à-dire de trouver la cause de l'anomalie dans la machine [1].

L'objectif de ce mémoire est l'étude de la défaillance du moteur asynchrone à cage au niveau du rotor et stator. Le défaut rotorique soit à une rupture totale ou partielle d'une barre ou d'anneau, par contre celui du stator correspond soit à un court-circuit statorique et les perturbations d'alimentation.

Ce travail peut être structuré selon quatre chapitres, dans le premier chapitre on cite une bibliographie sur les différents défauts qui peuvent provoquer la défaillance de la machine, par contre dans le second chapitre, on traite la formulation mathématique du modèle multi-enroulement de la machine ou on considère le rotor de la machine. Dans le troisième chapitre on présente les différents résultats de simulation. En fin dans le quatrième chapitre une analyse spectrale du courant statorique.

Introduction

Bien que la machine asynchrone soit réputée par ses qualités de robustesses cout de construction, il arrive néanmoins que celle-ci présente une panne électrique ou mécanique le but de ce chapitre est la mise au point des technique d'analyse des signatures des défauts au rotor tel que rupture partielle ou totale d'une barre de la cage d'écurueil ou d'une portion d'anneau et au stator tel que déséquilibre en amplitude ou en phase entre phase du stator.

I.1 Défauts principaux de la machine asynchrone

Il s'agit, à partir de l'analyse de défaut, de programmer l'arrêt d'un processus d'une chaine de fabrication pour le remplacement et la révision des élément défailants, le diagnostic et la détection précoces de défauts revêtent assez d'importance et soulèvent assez de difficultés pour mobiliser les chercheurs dans les domaines allant de l'électrotechnique à l'automatique en passant par le traitement du signal [3].

Un des défauts les plus difficiles à détecter concerne la rupture de barre ou celle d'une portion d'anneau de la cage rotorique, la mesure directe étant impossible. Les conséquences de ce type de défaut ne sont pas anodines, car elles induisent :

- Un vieillissement mécanique de la ligne d'arbre à cause des fluctuations de couple,
- Des risques plus élevés de ruptures des barres adjacentes qui supportent des courants plus élevés et des efforts électrodynamiques plus grands,
- Une influence sur les formes des signaux d'alimentation de la machine, donc sur le réseau ou sur le bus d'alimentation du site considéré [3].

Des statiques sont relevées par plusieurs auteurs[6][7], donnent des chiffres différents montrant que le défaut rotorique se place, en majorité, en seconde position tableau suivant :

Siège du sinistre	Répartition en fonction du nombre de sinistre
Enroulement statorique	51
Circuit rotorique	16
Circuit magnétiques du stator	9
Circuit magnétiques du rotor	6
paliers	8
Autres composants	10

De nombreux travaux ont été effectués dans ce domaine. Nous nous limiterons dans ce qui suit à quelques défauts

I.1.1. Intérieurs

La source de ces défauts est les comportements de la machine.

I. Défauts statoriques

Le stator est soumis plutôt à des contraintes électrique que mécanique, présentes essentiellement comme défaut la mise en court-circuit d'une ou plusieurs spires de son bobinage, ou l'ouverture d'une des phases d'alimentations.

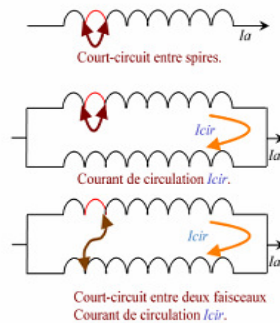


Figure I.1 : le court-circuit entrer spires et faisceaux statorique

- Court-circuit dans les spires d'une même phase
- Court-circuit entres phases,
- Coupure d'une phase,
- Défaut du circuit magnétique (rupture de tôles),
- Défaut d'isolation de tôles,
- Défaut d'isolation électrique au niveau du bobinage statorique suite à un vieillissement prématuré dues au milieu de fonctionnement hostile ou non et à la façon dont est alimenté le moteur.

2. Défauts rotoriques

Parmi les défauts les plus étudiés la rupture d'une barre qui fait sans doute partie des plus courants, le rotor peut aussi être le siège d'autres défauts tels que :

- Excentricité statique et dynamique. Cette dernière est détectable par la surveillance des vibrations ou du courant,
- Cassure d'une barre ou plus,

- Cassure d'anneaux de court-circuit,
- Défaut de circuit magnétique,

3. Roulement à billes

A l'interface entre le rotor et le stator, le roulement à billes présente aussi un vieillissement relativement rapide. Classiquement ce type de défaut est diagnostiqué à partir du spectre d'une mesure acoustique ou vibratoire [8], on distingue

- Trous dans les gorges du roulement intérieures et extérieures,
- Ondulation de la surface du roulement,
- Attaque des billes,
- Corrosion due à l'eau,
- Défaut de graissage, problème dû à la température,
- Décollement, effritement de surface, provoquée par une surcharge [8].

1.2. Spectre du courant statorique.

Pour de faible défaut les analyses temporelles des grandeurs électrique et mécaniques sont peu importantes et ne nous donnerons pas d'information sur l'importance du défaut [10]. Des lors une analyse dans le domaine fréquentielle du courant statorique par le biais de la transformée de Fourier rapide (fast Fourier Transform) sera effectuée.

En effet, des études ont révélé que lorsqu'un défaut rotorique apparaissait, cela se traduisait dans l'analyse fréquentielle par l'apparition de parts et d'autre la raie fondamentale (le 50 Hz pour réseau électrique) des raies d'amplitude et de fréquence caractéristique [11][12][13]. L'intérêt d'une analyse par fft du courant statorique pour le diagnostic de défaut résidu dans la simplicité du capteur utilisé [14][2]

1.1.2 L'excentricité

L'excentricité se répartie en deux catégories statique et dynamique. L'excentricité statique se distingue par l'effet du centre du rotor qui n'est pas égal à celui du stator. Par centre l'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator.

La fréquence proches du fondamental sont données par la relation [8] :

$$f_{exc} = (1 \pm (\frac{1-g}{p}))f_s \quad (I-1)$$

Ou : f_{exc} : fréquence d'excentricité,

g : glissement,

f_s : Fréquence d'alimentation,

Cette relation a l'avantage de ne pas nécessiter de connaissance précise de la machine asynchrone car elle ne fait pas apparaître de terme lié à sa conception.

Une seconde approche consiste à utiliser une expression liant le défaut de barre cassée à celle de l'excentricité et des encoches au rotor. C'est ainsi qu'une équation, sous forme compacte, fait apparaître l'harmonique de fréquence relatives à se défaut, et qui dépendent pour beaucoup du nombre de pôles [8].

$$f_{exc} = [(K.N_r \pm N_1) (\frac{1-g}{p}) \pm N_2] f_s \quad (I-2)$$

Ou :

f_{exc} : fréquence d'excentricité $k : 1, 2, 3, \dots$

g : glissement,

p : nombre de pair des pôles

N_r : nombre de barre au rotor,

$N_1, N_2 = 1, 2, 3, \dots$

f_s : Fréquence d'alimentation,

Dans le cas d'excentricité statique $N_1=0$, alors que pour l'excentricité dynamique N_1 peut prendre les valeurs : 1,2,3.....(N_1 est connu sous le nom "ordre d'excentricité "). Le coefficient N_2 représente l'harmonique de temps lié à l'alimentation du moteur asynchrone

1.2.2 Le roulements

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toute les excentricité interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone .un défaut de roulement à bille manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieur comme intérieur[8].

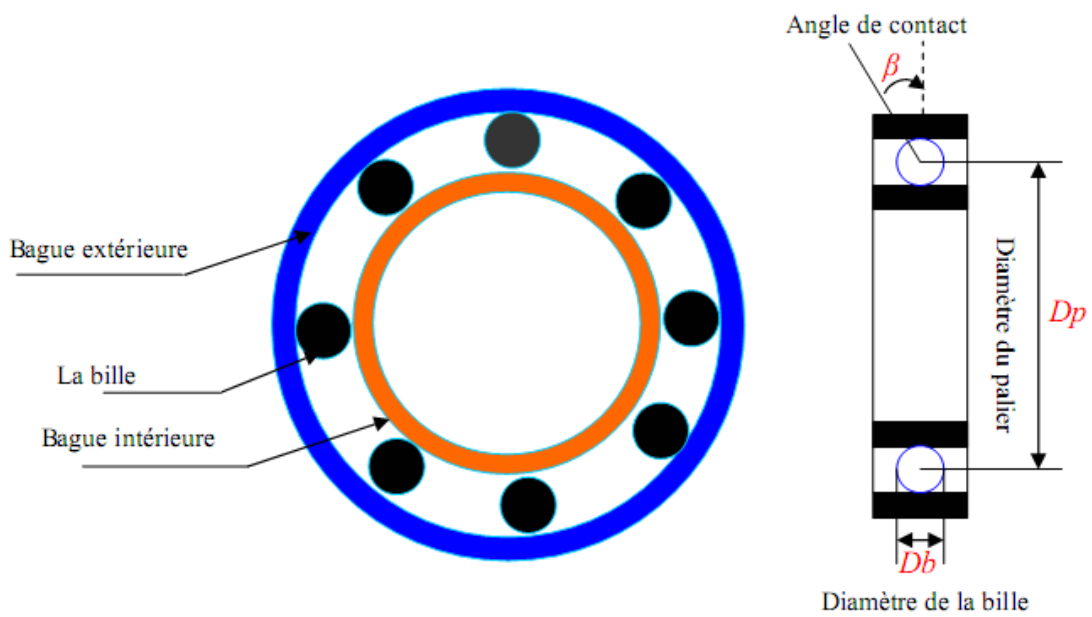


Figure I.2 : dimension du roulement à bille

La fréquence de répétition sera pour la cage intérieure et extérieure :

$$\begin{cases} f_{int} = \frac{n_b}{2} f_r (1 + \frac{D_b}{D_c} \cos\theta) \\ f_{ext} = \frac{n_b}{2} f_r (1 - \frac{D_b}{D_c} \cos\theta) \end{cases}$$

Le spectre en courant est alors décrit par :

$$f_{int,ext} = f_s \pm n \frac{n_b}{2} f_r (1 \pm \frac{D_b}{D_c} \cos\theta) \tag{I-3}$$

Cette expression contient des données spécifiques au roulement à billes.

g : le glissement,

f_s : Fréquence d'alimentation,

f_r : Fréquence de rotation mécanique, n= 1, 2, 3

n_b : Nombre des billes,

D_b : Diamètre des billes,

D_c : Distance de centre des billes,

θ : L'angle de contact de la bille avec le cage,

En considèrent que le nombre des billes et compris entre 6 et 12 habituellement, deux relations couramment rencontrées sont :

$$\begin{cases} f_{ext} = 0.4n_b f_r \\ f_{int} = 0.6n_b f_r \end{cases}$$

Donc le spectre en courant sera enrichi de :

$$f_{int,ext} = f_s \pm n \cdot f_{(int,ext)} \quad (I-4)$$

I.2.3. Les barres cassées

Suivant la puissance du moteur, la cage d'écurueil à des barres en cuivre ou aluminium. il peut donc exister ou non des courant inters barres le modelé diffère pour la simulation car le rang de la matrice affèrent au rotor n'est plus constant.

Néanmoins, les fréquences engendrées autour de la fréquence fondamentale de l'alimentation, par un défaut de barre ou de portion d'anneaux, sont [8]:

$$f_s = (1 \pm 2kg)f_s \quad (I-5)$$

Avec : $k=1, 2, 3, \dots$

Par contre, les harmoniques d'espaces gènèrent eux aussi des fréquences dont la relation est :

$$f_b = \left[\left(\frac{k}{b}\right)(1 - g) \pm g\right]f_s \quad (I-6)$$

Avec : $k=1, 2, 3, \dots$ Et p étant le nombre de pair de pôles

I.2.4. Court-circuit entre spires statique

A partir des études, il a été montré que le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit entre plusieurs spires au stator les fréquences sont données par la relation [15] :

$$f_{cc} = \left[\frac{n}{p}(1 - g) \pm k\right]f_s \quad (I-7)$$

Ou :

f_{cc} : Fréquence de court-circuit,

f_s : Fréquence d'alimentation,

g : glissement,

p : nombre de pair de pôles, $k=1,2,3,\dots, k \in \mathbb{N}$

I.3 Le diagnostic

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 [1] :

- L'extraction des informations issues de capteur de la machine pour obtenir des indicateurs de défauts ou résidu .le résidu représente la différence entre l'observation et la valeur de référence avant de chercher la cause du défaut.il important de valider l'information fournit par les résidus
- La valeur de résidu doit être quantifiée afin de produire des symptômes [16], cette étape de quantification est appelée évaluation de résidu. Le problème d'évaluation consiste à définir le seuil à partir duquel on déclarera le défaut. L'étape d'évaluation a pour objectif de décider s'il y a ou non un défaut dans la machine.
- La décision consiste la dernière étape de la tache de diagnostic il s'agit de déclarer l'élément défaillant ou non à partir de la comparaisant de la signature actuelle avec une l'expérience, l'étape de la décision va nous permettra de différencier les défauts c'est-à-dire de trouve la cause de l'anomalie dans la machine.

I.3.1 Méthode détection et la localisation

Pour effectuer le diagnostic d'une installation, les opérateur de maintenance analysent un certaine nombre de symptôme tels que le bruit, la température, la vibration, etc., en s'appuyant sur leur expérience, ces symptôme ne sont que la manifestation flagrante d'une modification des caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un certain nombre de grandeurs mesurables [1].

1. aspect modélisation

La modélisation et la simulation des machines constituent une étape primordiale en matière de diagnostic. Elles permettent la compréhension du fonctionnement défectueux, la vérification sur le prototype virtuel de l'efficacité des algorithmes de détection de défauts et elles apportent également la possibilité de construire des bases de données sur la manifestation électrique et magnétique de se défaut. Parmi les approches de modélisations existantes, nous privilégions trois qui représentent chacune un niveau de complexité différent [1] :

- approche analytique,
- méthode des schémas magnétiques,
- méthodes des éléments finis,

Ces trois méthodes ont chacune leur place sur la double échelle complexité/précision des approches de simulation. La méthode analytique est la plus simple à mettre en œuvre, vient ensuite celle des schémas magnétiques, enfin celle des éléments finis, c'est cette dernière qui nécessite des moyens et des temps de calculs les plus importants.

2. Estimation des Paramètres physiques

La détection est la localisation des défaillances par estimation paramétriques consistent à identifier les paramètres structuraux d'un modèle connaissance, puis d'extraire les paramètres physique de la machine à partir des lois de connaissance. Le point essentiel de diagnostic par identification paramétriques est le choix du modèle. De ce choix dépendra le type de défaut que l'on pourra détecter sur la machine. En effet, pour détecter et localiser un défaut au stator ou au rotor il faut que se dysfonctionnement puisse être discriminé au niveau de paramètre physique estimés. Les premiers travaux sur l'identification ont débutés avec le modèle simplifié utilisé en commande depuis plusieurs années. Ce modèle est développé dans le référentiel de Park et permettant de détecter un incident sur la machine. Une analyse fine des paramètres estimés conduit alors à la localisation de la panne. Ce modèle diphasé offre l'avantage de simplicité [1]

3. Estimation d'état

La détection de défaut par estimation d'état a surtout été étudiée avec le modèle de Park. La technique de détection de défauts la plus répandue en automatique repose sur la génération de résidu à partir d'un modèle de fonctionnement sain. Différentes approches, qui l'on peut classer sous le terme générique d'estimation d'état, ont été étudiées et évaluées pour plusieurs méthodes [1].

- Banc d'observateurs à entrées inconnues avec découplage non linéaire, sur la base du modèle de Park
- Observateur d'état à modes glissants,
- Génération de résidus par projection des équations du modèle de Park dans l'espace parité

4 .Traitement de signaux

Le traitement de signal, l'analyse spectrale plus particulièrement, est utilisé pour détecter des défaillances dans les machines, essentiellement les ruptures de barre, la dégradation des roulements, l'excentricité, les courts circuits dans les bobinages, ces nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquence directement liées à la vitesse de rotation,

L'analyse spectrale est certainement la méthode la plus naturelle pour le diagnostic des barres cassées. En règle générale, la seule grandeur intéressante accessible au stator est le courant et l'intérêt de son analyse est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence [1]

1.3.2 .Analyse spectrale du courant statorique

Grâce à l'analyse spectrale du courant statorique, nous pourrions observer les raies qui sont présentes autour du fondamental dont les fréquences correspondent à la relation mathématique selon [8] :

$$f_{1,2} = (1 \pm 2Kg)f_s \quad (I.8)$$

condition d'utilisation:

- *résolution spectral* : durée d'acquisition,
- *plage d'analyse* : fréquence d'acquisition,
- *une fenêtre* : il faut utiliser une fenêtre pour obtenir un spectre plus réel.
- *résolution fréquentielle* : inversement proportionnelle à la durée d'acquisition.

I.4. Les fenêtres de la pondération

On peut atténuer l'importance des phénomènes engendrés par ces discontinuités par l'emploi de fenêtre de pondération. Il en existe une grande variété, mais nous pouvons tout de même citer les plus utilisés telles que la fenêtre de Hamming, celle de Hamming, ou encore la fenêtre de Bartlett ou de Blackman. Si aucune de ces fenêtres n'est utilisée, alors le fenêtrage s'apparente à celle de la fenêtre naturelle dite rectangulaire. Cependant, celle-ci présente bien des défauts qui se répercutent sur l'enveloppe spectrale du signal analyse, engendrant donc des déformations. Cela peut donc fortement altérer les raies aux fréquences susceptibles de nous donner des indications sur l'amplitude du défaut

rotorique. Ces fonction de pondération est maximale au centre de l'intervalle et décroît de parts et d'autres [2].

La fenêtre est tout simplement une fonction de pondération qui atténue les valeurs de signal aux bords de l'intervalle d'observation. En d'autre terme. Une telle fonction vaut généralement 1 au centre de domaine considéré et 0 sur ses deux bords.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait état des différents défauts et leurs signatures interférant sur le contenu spectral du courant absorbé par le moteur asynchrone. Ces défauts peuvent être d'origine mécanique ou électrique. Nous avons mis l'accent sur les fréquences induites car la technique la plus répandue de nos jours est basée sur l'analyse spectrale du courant statorique. Ce chapitre présente aussi la définition des termes et de notions importantes utilisées en diagnostic et leurs méthodes.

CHAPITRE II

Modélisation de la machine asynchrone à cage

II.1 Introduction

Tant dans le domaine du diagnostic dans celui de la commande des machines électriques, il est intéressant de disposer de modèle capable de représente le comportement du système en présence de déséquilibre structurels. La mise en point d'une procédure de diagnostic à base de modèle analytique pour la machine asynchrone recouvre un certain nombre de problèmes qui doivent être résolus. L'un de ce problème est de loin le plus délicat, est le problème de la synthèse de modèle décrivant le comportement de la machine. Ceci non pas d'une façon moyenne comme pour la commande, mais d'une façon plus exact en intégrant certains paramètres pour décrire le plus précisément possible le comportement de la machine.

Pour cela il fallut s'orienter vers des modèles plus sophistiqués (modèle d'étude circuit, modèle multi enroulement) pour une description adapté aux que ce soit pour une simulation plus réaliste ou pour une utilisation dans la méthode détection [1].

Dans ce chapitre, nous présentons le développement du modèle multi-enroulement et ce dernier demande un calcul des différentes inductances propres et mutuelles du stator et du rotor qui interviennent explicitement dans le modèle. Ce calcul sera donné dans l'Annexe

II-2 Modèle multi enroulement

La figure II.1 représente le rotor d'une machine asynchrone à cage assimilé à un enroulement polyphasé, chaque maille est constituée de deux barres adjacentes et de deux portions d'anneau de court-circuit. Le circuit statorique est composé d'un enroulement triphasé qui peut être placé dans les encoches statoriques selon différentes manières définissant ainsi le type de bobinage adopté.

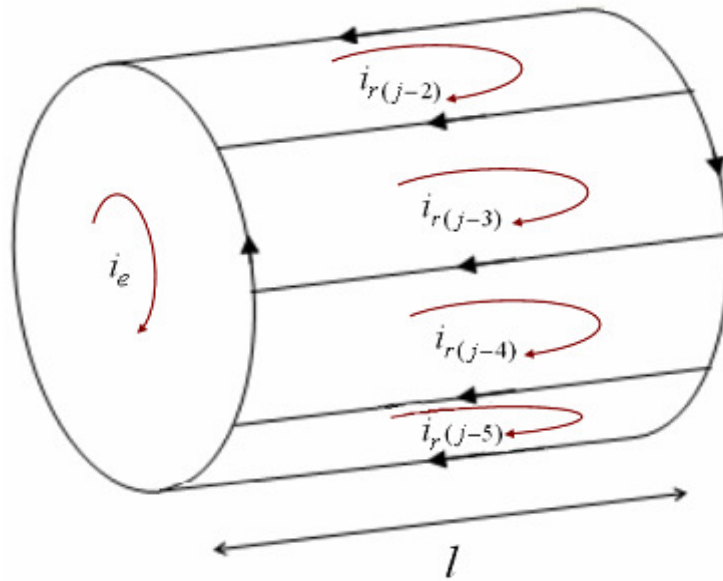


Figure II.1 : structure multi enroulement du rotor

Partant de cette représentation, il serait possible d'établir les équations générales régissant le fonctionnement en se basant sur des hypothèses simplificatrices dont les plus importantes sont:

1. Pas de saturation dans le circuit magnétique.
2. L'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.
3. Pas de phénomène de l'effet de peau.
4. La perméabilité du fer est supposée infinie.

II.3 Équations des tensions

La figure II.2 montre le circuit électrique équivalent d'une maille rotorique, là où les barres rotoriques et les portions d'anneaux de court-circuit sont représentées par leurs résistances et inductances de fuite correspondantes.

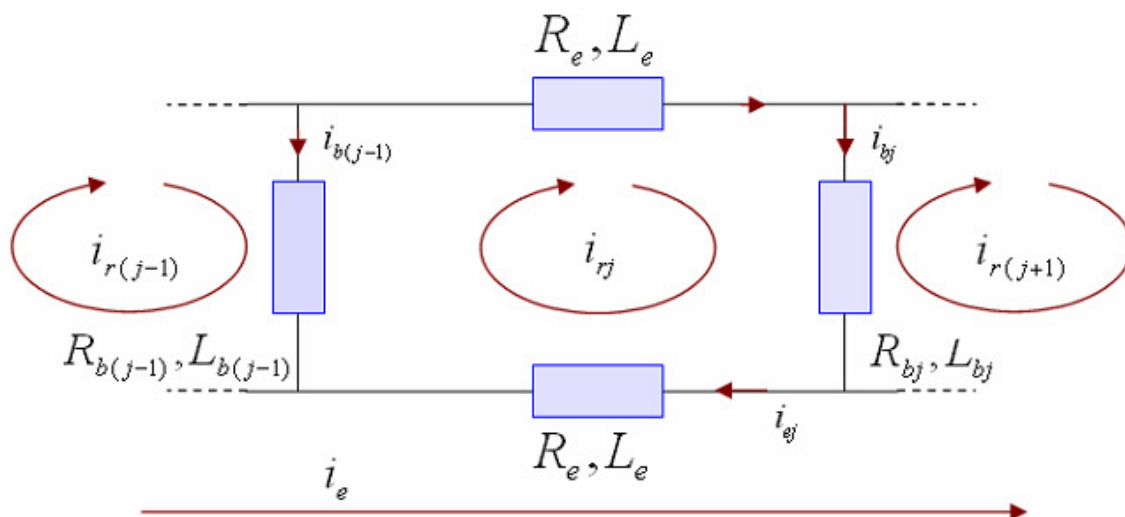


Figure II.2 : circuit électrique équivalent de la cage électrique

En faisant référence à la figure, les équations des tensions des trois phases statoriques et des $(Nb+1)$ mailles rotoriques seront :

$$[V_S] = [R_S][I_S] + \frac{d[\psi_S]}{dt} \tag{II-1}$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[\psi_r]}{dt} \tag{II-2}$$

II.4 équation de tension rotorique

La figure présente une boucle j du rotor montre les conventions choisies pour les courants :

L'équation électrique de cette boucle est :

$$\frac{R_e}{N_r} i_{rj} - R_{b(j-1)} i_{b(j-1)} + \frac{R_e}{N_r} i_{ej} + R_{bj} i_{bj} + \frac{d\psi_{rj}}{dt} = 0. \tag{II-4}$$

Avec :

$$i_{e(j)} = i_{r(j)} - i_e \tag{II.5}$$

$$i_{b(j)} = i_{r(j)} - i_{r(j-1)} \tag{II.6}$$

Le flux totale ψ_{rj} pour un circuit élément d'indice j est composé de la somme de flux suivants [1] :

- flux principal :

$$\{l_{rp} i_{r(j)}\} \tag{II.7}$$

- flux de fuite rotorique(barre et anneaux) :

$$l_b(i_{r(j)}-i_{r(j-1)}) + l_b(i_{r(j)}-i_{r(j+1)}) + \frac{l_e}{N_r} i_{rj} + \frac{l_e}{N_r} (i_{r(j)}-i_e) \quad (II.8)$$

- flux mutuel avec les autres mailles :

$$M_{rr} \sum_{k=1, k \neq j}^{N_r} i_{rk} \quad (II.9)$$

Les matrices des résistances sont des matrices symétriques. $[R_s]$ est une matrice 3x3, tandis que $[R_r]$ possède $(N_b+1) \times (N_b+1)$ éléments qu'on peut reconstituer à partir des lois relatives aux circuits électriques.

Soit dans ce cas: $[R_s] = r_s [i]$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_{r1} + R_{rN_b} + 2R_e & -R_{r1} & 0 & \dots & -R_{rN_b} & \vdots & -R_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -R_{r(j-1)} & R_{rj} + R_{r(j-1)} + 2R_e & -R_{rj} & 0 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_{rN_b} & 0 & \dots & \dots & R_{r(N_b-1)} + R_{rN_b} + 2R_e & \vdots & -R_e \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_e & \dots & \dots & \dots & -R_e & \vdots & N_b R_e \end{bmatrix} \quad (II.10)$$

Tel que :

$$R_{rp} = r_{bj} + r_{b(j-1)} + 2R_e \quad (II.11)$$

Ce sont les termes de diagonal. Si les résistances des barres rotorique sont identiques alors tous les termes de diagonal sont tous égaux :

$$R_{rp} = 2r_b + 2R_e \quad (II.12)$$

II.5 équation du flux rotorique

L'équation de flux rotoriques'écrit :

$$[\psi_r] = [L_r][I_r] + [M_{rs}][I_s] \quad (II.13)$$

Avec : $[M_{rs}] = [M_{rs}]^t$

$[M_{rs}]^t$: c'est la transposé de la matrice $[M_{rs}]$.

Et la matrice d'inductance rotorique :

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r1r2} - L_b & \cdots & L_{r1r(N_b-1)} & L_{r1rN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{r2r1} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \cdots & L_{r2r(N_b-1)} & L_{r2rN_b} & \vdots & -L_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{r(N_b-1)r1} & L_{r(N_b-1)r2} & \cdots & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r(N_b-1)rN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{rN_b r1} - L_b & L_{rN_b r2} & \cdots & L_{rN_b r(N_b-1)} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \vdots & -L_e \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & \vdots & N_b L_e \end{bmatrix} \quad (II.14)$$

Après la construction des différentes matrice rotorique, on peut faire donc la représentation de l'équation électrique de rotore sous la forme matricielle :

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[L_r]}{dt}[I_r] + [L_r] \frac{d[I_r]}{dt} + \frac{d[M_{rs}]}{dt}[I_s] + [M_{rs}] \frac{d[I_s]}{dt} \quad (II.15)$$

II.5 Équation mécanique

Selon l'application à laquelle est désigné le moteur, il est possible de définir l'équation mécanique du mouvement associé.

$$J_r \cdot \frac{d\Omega_r}{dt} + f_v \cdot \Omega_r = C_e - C_r \quad (II.16)$$

C_e est le couple électromagnétique, C_r le couple résistant, f_v le coefficient de frottement visqueux et J_r le moment d'inertie total des parties tournantes.

Pour un circuit magnétique linéaire, la Co-énergie est égale à l'énergie emmagasinée.

De ce fait vient :

$$C_e = \left[\frac{\partial W_{co}}{\partial \theta_r} \right] \quad (II.17)$$

Avec :

$$W_{co} = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot [L] \cdot [I], \quad (II.18)$$

C_e qui donne finalement l'expression du couple électromagnétique.

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} \cdot [I]. \quad (II.19)$$

Si $[L_{SS}]$ et $[L_{rr}]$ sont constantes, et $[L_{sr}] = [L_{rs}]$, on obtient l'équation suivante du couple :

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I_s]^T \cdot \frac{d[L_{sr}]}{d\theta_r} \cdot [I_r] \quad (II.20)$$

II.6 Système d'équation globale

Nous pouvons regrouper ces équations dans une représentation matricielle unique pour aboutir à [11]:

$$\begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ([R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r}) & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ -\frac{1}{2}[I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_V & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{1} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L] & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & J_r & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{[I]} \\ \dot{\Omega}_r \\ \dot{\theta}_r \end{bmatrix} \quad (II.21)$$

et une forme condensée :]

$$[U] = [B] \cdot [X] + [A][\dot{X}] \quad (II.21)$$

où le vecteur $[\dot{X}]$ peut être écrit comme suit :

$$[\dot{X}] = [A]^{-1} \cdot [U] - [A]^{-1} \cdot [B] \cdot [X] \quad (II.22)$$

Nous faisons, ainsi, apparaître le vecteur d'état $[X]$ et le vecteur $[U]$ contenant les grandeurs externes à la machine tel que :

$$[U] = \begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (II.23)$$

$$[X] = \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} \quad (II.24)$$

Avec la définition des matrices A et B donnée par:

$$[A] = \begin{bmatrix} ([R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r}) & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ -\frac{1}{2}[I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_V & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{1} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (II.25)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} [L] & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & J_r & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (II.26)$$

On se retrouve ainsi face à un système d'équations différentielles régissant le fonctionnement de la machine. Pour parvenir à la solution, une méthode numérique doit être mise en œuvre, la méthode explicite de Runge Kutta s'avère la plus utilisée dans ces cas. Bien avant ça, nous devons définir les matrices A et B de manière à traduire l'état interne de la machine, à savoir, état sain ou état de défaut.

II.6 Calcule des inductances

II.6.1 Inductance statorique

En premier temps, on suppose que les enroulements statoriques sont idéalement distribués autour du périphérique de l'entrefer de sorte que l'induction résultante puisse être supposée sinusoïdale. Dans ce cas, l'expression de la FMM de la première phase statorique A sera [49]:

$$F_A(\varphi) = \frac{2N_s}{\pi \rho} \cdot i_A \cos(\rho\varphi), \quad (\text{II.27})$$

N_s est le nombre total des tours de chaque phase, p le nombre de paires de pôles, φ un angle décrivant une position particulière dans l'espace ; cet angle est mesuré par rapport à une référence fixe par rapport au stator, et i_A le courant traversant la phase A. La densité du flux radial créée dans l'entrefer tiendra l'expression:

$$B_A(\varphi) = \frac{2u_0 N_s}{\pi g_0 p} \cdot i_A \cos(\rho\varphi), \quad (\text{II.28})$$

Où u_0 désigne la perméabilité magnétique de l'air, et g_0 l'épaisseur de l'entrefer de la machine symétrique (entrefer constant).

Sachant que :

$$d\phi = B_A ds, \quad (\text{II.29})$$

Par intégration de l'expression (2.1) autour d'un intervalle polaire, nous obtenons l'expression du flux magnétique dans l'entrefer par pôle tel que :

$$\phi = \int_0^t dz \int_{\frac{\pi}{2p}}^{\frac{\pi}{2p}} B_A(\varphi) r d\varphi, \quad (\text{II.30})$$

Etant donné que l'entrefer de la machine est supposé uniforme, et qu'on néglige toute asymétrie axiale, l'expression (2.2) se réduit à:

$$\phi = \frac{4u_0 N_s r l}{\pi g_0 p^2} \cdot i_A, \quad (\text{II.31})$$

Où : r désigne le rayant moyen de l'entrefer de la machine symétrique, et l la longueur effective de la machine.

Le flux total traversant l'enroulement de la phase A dû au courant i_A est donné par.

$$\psi_A = \Phi \cdot N_s = \frac{4\mu_0 N_s r l}{\pi g_0 p^2} \cdot i_A, \quad (\text{II.32})$$

L'inductance de magnétisation et le flux par unité de courant. Par conséquent, elle est égale à :

$$L_{Am} = \frac{\psi_A}{i_A} = \frac{4\mu_0 N_s^2 r l}{\pi g_0 p^2}, \quad (\text{II.33})$$

L'inductance totale dans la phase A est égale à la somme de l'inductance de magnétisation et l'inductance de fuite correspondant au flux de fuite d'encoches, au flux de fuite des têtes de bobines...etc. Son expression est :

$$L_A = L_{Am} + L_{fA}. \quad (\text{II.34})$$

Les enroulements statoriques étant identiques et symétriques, ce qui fait que :

$$L_A = L_B = L_C \quad (\text{II.35})$$

Et du fait qu'ils sont décalés de $\frac{2\pi}{3}$, les inductances mutuelles entre enroulements statoriques auront pour valeurs :

$$\begin{aligned} L_{BA} = L_{AB} &= L_{Am} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = \frac{-L_{BA}}{2}. \\ L_{BC} = L_{CB} &= L_{Am} \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) = \frac{-L_{Am}}{2}. \\ L_{AC} = L_{CA} &= L_{Am} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = \frac{-L_{Am}}{2}. \end{aligned} \quad (\text{II.36})$$

II.6.2 Inductances rotoriques

En définissant les flux rotoriques qui entrent en jeu, et en faisant référence à la représentation équivalente du rotor, il sera possible de donner l'expression des différentes inductances. La figure II.3 représente, en fonction de l'ouverture angulaire φ dans un référentiel lié au rotor, l'allure de l'induction magnétique dans l'entrefer, supposée radiale, produite par une maille rotorique. Cela en admettant que les barres

rotoriques sont identiques, régulièrement décalées et séparées l'une de l'autre par un angle $\alpha_r = 2\pi/N_r$ (rad).

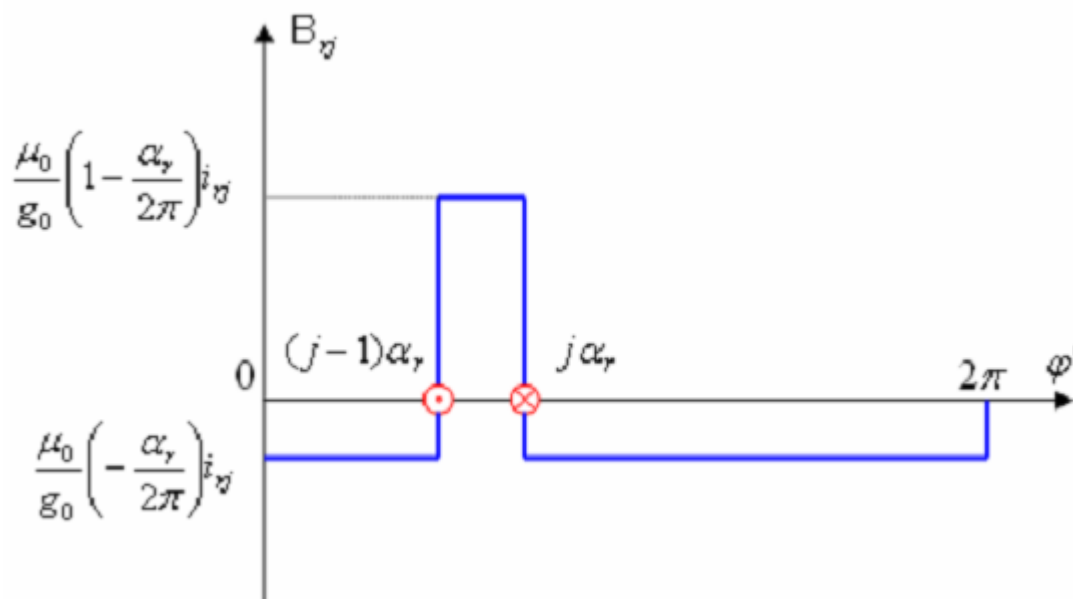


Figure II.3 : champ produit par une maille rotorique

Chaque maille rotorique est considérée comme étant une bobine à une spire parcourue par un courant i_{rj} , et qui sera le siège d'un flux propre Ψ_{rjrj} tel que :

$$\Psi_{rjrj} = \int_0^t dz \int_{(j-1)\alpha_r}^{j\alpha_r} \frac{\mu_0}{g_0} \left(1 - \frac{\alpha_r}{2\pi}\right) i_{rj} d\phi \quad (\text{II.37})$$

Il en résulte que:

$$\Psi_{rjrj} = \frac{\mu_0 r l}{g_0} \left(1 - \frac{\alpha_r}{2\pi}\right) \alpha_r \cdot i_{rj} \cdot \quad (\text{II.38})$$

Par conséquent, l'inductance de magnétisation est égale à :

$$L_{mrj} = \frac{\Psi_{rjrj}}{i_{rj}} = \frac{2\pi(N_b - 1)r l}{g_0 N_b^2} \quad (\text{II.39})$$

L'inductance totale de la $j^{\text{ème}}$ maille rotorique s'obtient par la sommation de l'inductance de magnétisation de cette maille et les inductances de fuite des deux barres et des deux portions d'anneau de court-circuit formant la maille. Son expression sera :

$$L_{rj} = L_{mrj} + L_{bj} + L_{b(j-1)} + 2L_e = L_{mrj} + 2(L_b + L_e) \quad (\text{II.40})$$

Les mailles rotoriques sont magnétiquement couplées par l'intermédiaire du flux rotorique d'entrefer. Le flux traversant $K^{ème}$ la maille rotorique, produit par le courant i_{rj} circulant dans la $j^{ème}$ maille rotorique est donné par :

$$\Psi_{rjrkj} = \int_0^t dz \int_{(k-1)a}^{ka} \frac{u_0}{g_0} \left(\frac{-\alpha_r}{2\pi} \right) i_{rj} d\varphi \quad (II.41)$$

Avec $K \neq j$, d'où :

$$\Psi_{rjrkj} = \frac{u_0}{g_0} r l \left(\frac{-\alpha_r}{2\pi} \right) \alpha_r i_{rj} \quad (II.42)$$

De ce fait, l'expression L_{rkrj} de sera donnée par :

$$L_{rkrj} = \frac{\Psi_{rkrj}}{i_{rj}} \quad (II.43)$$

Tenant compte des inductances de fuites, il est possible de déduire les expressions des inductances mutuelles entre la $j^{ème}$ maille et les autres mailles du circuit rotorique.

$$L_{r(j+1)j} = \frac{\Psi_{r(j+1)rj}}{i_{rj}} - L_{b(j+1)} = \frac{-2\pi u_0}{g_{0N_b^2}} r l - l_b \quad (II.44)$$

$$L_{r(j-1)j} = \frac{\Psi_{r(j-1)rj}}{i_{rj}} - L_{bj} = \frac{-2\pi u_0}{g_{0N_b^2}} r l - l_b. \quad (II.45)$$

Et pour les mailles non adjacentes on obtient :

$$L_{rkrj} = \frac{\Psi_{rkrj}}{i_{rj}} = \frac{-2\pi u_0}{g_{0N_b^2}} r l \quad (II.46)$$

II.6.3 Inductances mutuelles entre enroulements statoriques et rotoriques

Sachant que :

$$\varphi = \varphi' + \theta_r = \varphi' + \Omega_r t. \quad (II.47)$$

Le champ magnétique dans l'entrefer dû au courant i_a s'écrit en fonction de φ' de la manière suivante:

$$B_A(\varphi') = \frac{2u_0 N_s}{\pi g_0 P} \cdot i_a \cos[p(\varphi' + \Omega_r t)]. \quad (II.48)$$

Le flux parcourant la maille r_j sera :

$$\psi_{rjA} = \int_0^l dz \int_{(j-i)\alpha}^{j\alpha} B_A(\varphi') \cdot r d\varphi'. \quad (\text{II.49})$$

et tenant compte de (II.49), il résulte:

$$\psi_{rjA} = M \cdot i_A \cos \left[P \left(\frac{(2j-1)\pi}{N} + \Omega_r t \right) \right]. \quad (\text{II.50})$$

Avec :

$$M = \frac{4\mu_0 N_S r l}{\pi g_0 P^2} \sin \left(\frac{\pi p}{N_b} \right). \quad (\text{II.51})$$

Les inductances mutuelles entre la $j^{\text{ème}}$ maille rotorique et les phases statoriques seront données par :

$$L_{rjA} = \frac{\psi_{rjA}}{i_A} = M \cos \left[P \left(\frac{(2j-1)\pi}{N_b} + \Omega_r t \right) \right]. \quad (\text{II.52})$$

$$L_{rjB} = \frac{\psi_{rjB}}{i_B} = M \cos \left[P \left(\frac{(2j-1)\pi}{N_b} + \Omega_r t \right) - \frac{2\pi}{3} \right]. \quad (\text{II.53})$$

$$L_{rjC} = \frac{\psi_{rjC}}{i_C} = M \cos \left[P \left(\frac{(2j-1)\pi}{N_b} + \Omega_r t \right) - \frac{4\pi}{3} \right]. \quad (\text{II.54})$$

Conclusion

Nous avons proposé un modèle multi enroulement de la machine asynchrone à cage qui tient compte de la structure du rotor, qui nous permis de voir l'évolution des grandeurs qui circulent dans la cage (courants, flux des barres). Ce modèle est pratique en ce sens que l'introduction du défaut se traduit à une simple augmentation de la résistance de la barre dont on veut simuler la rupture.

CHAPITRE III

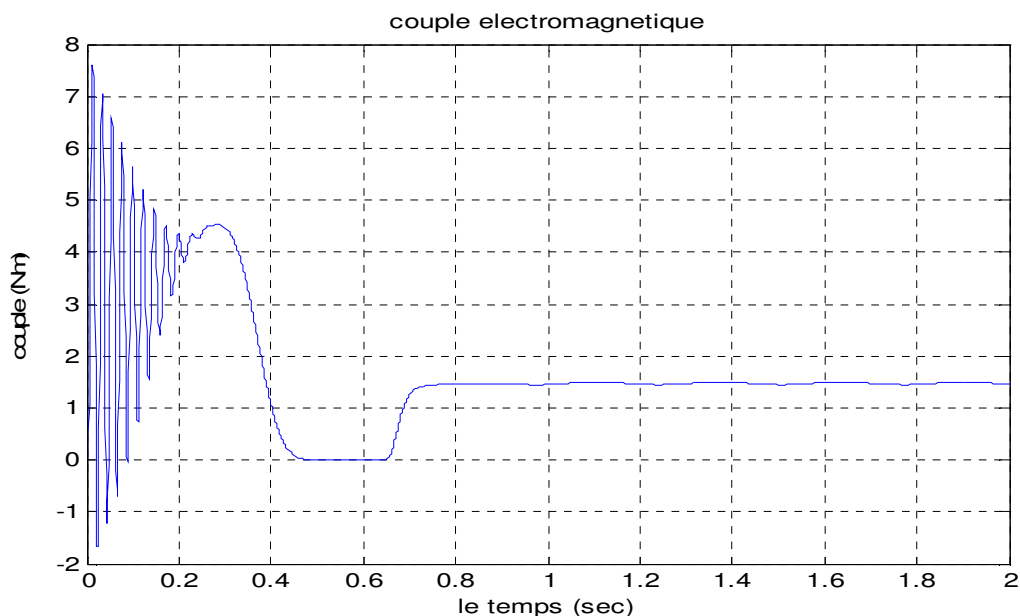
Simulation du modèle multi enroulement

Introduction

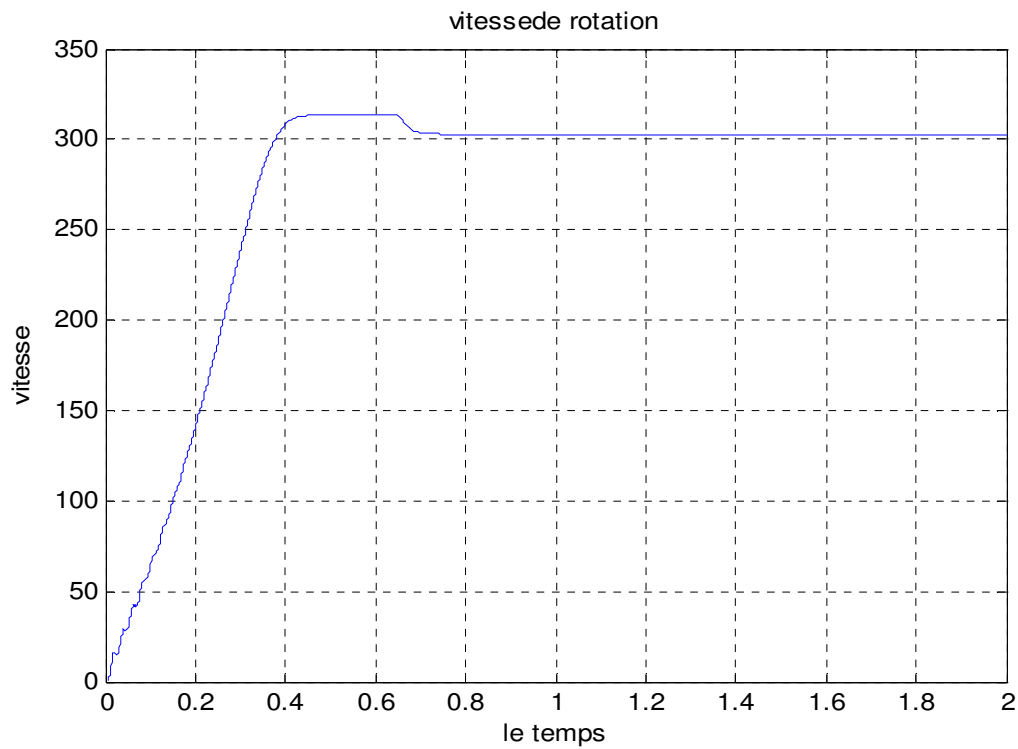
Dans ce chapitre, on considère la simulation du modèle multi enroulement, permettant de représenter les différentes courbes du courant statorique, du courant dans les barres rotoriques, le couple et la vitesse selon les différentes conditions de fonctionnement. Tel que on considère la machine à l'état sain et avec défaut. En suite, on présente une analyse détaillée des différents défauts rotoriques et statoriques, qui a pour objectif d'analyser les phénomènes observés sur les grandeurs électrique et mécanique du moteur, tels que les oscillations du couple et de la vitesse. Ainsi que la modulation de l'enveloppe du courant statorique.

III-1 Cas d'une machine saine

La figure III -1 montrent respectivement, l'évolution du couple électromagnétique, le courant statorique, la vitesse de rotation ainsi que les courants des barres rotoriques, le courant de barre 1 et la valeur efficace des courants rotoriques. Dans ce cas on va simuler le modèle global de la machine à l'état sain, à partir de $t=0.6s$ on applique une charge de 1.5 Nm.

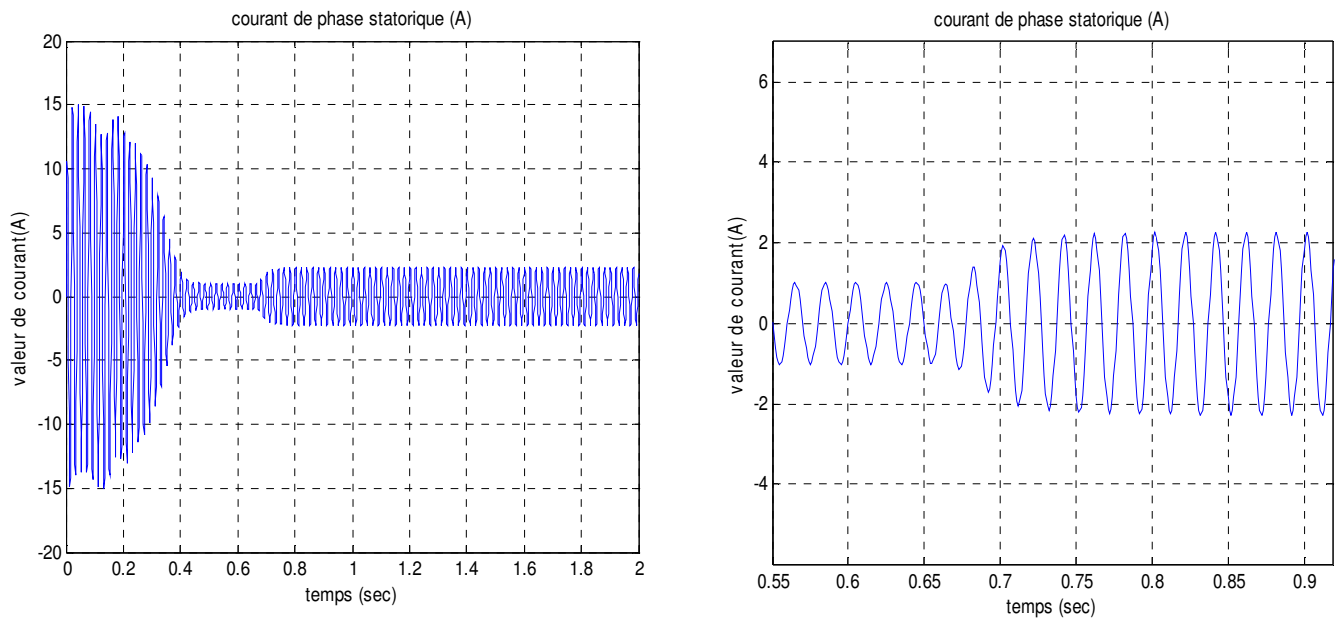


a : couple électromagnétique

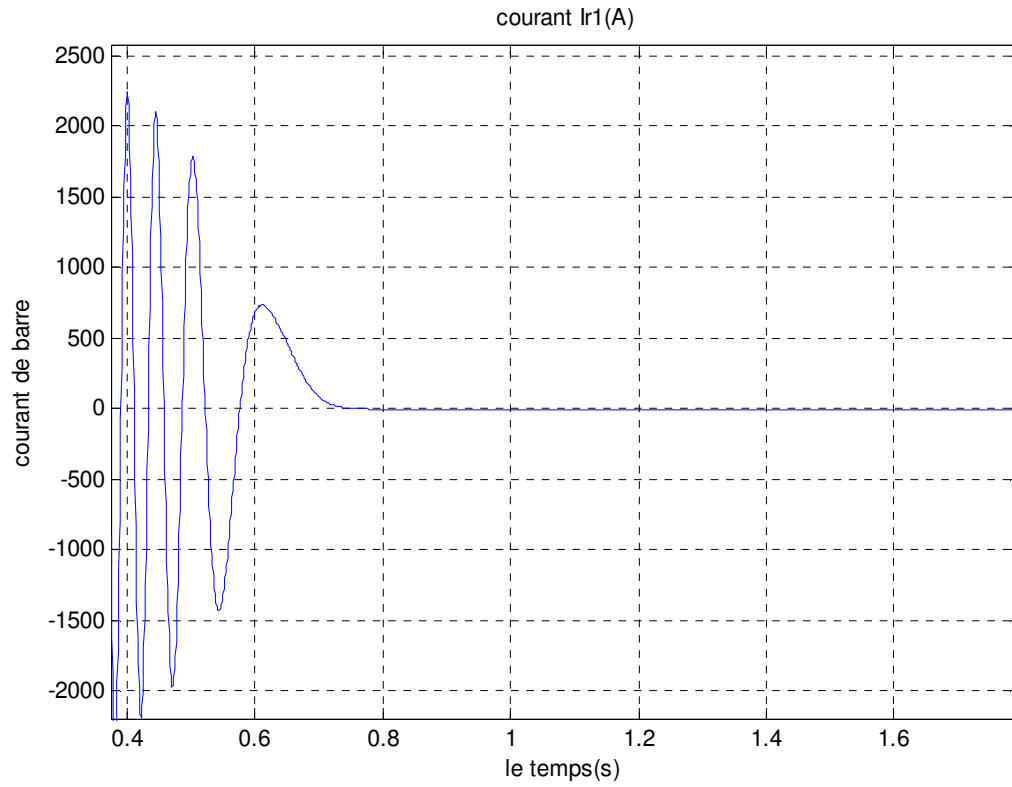


B : vitesse de rotation

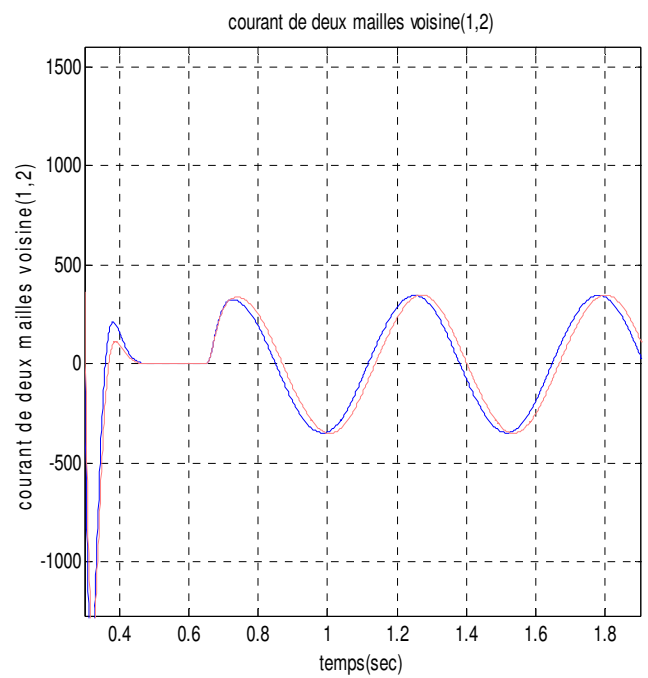
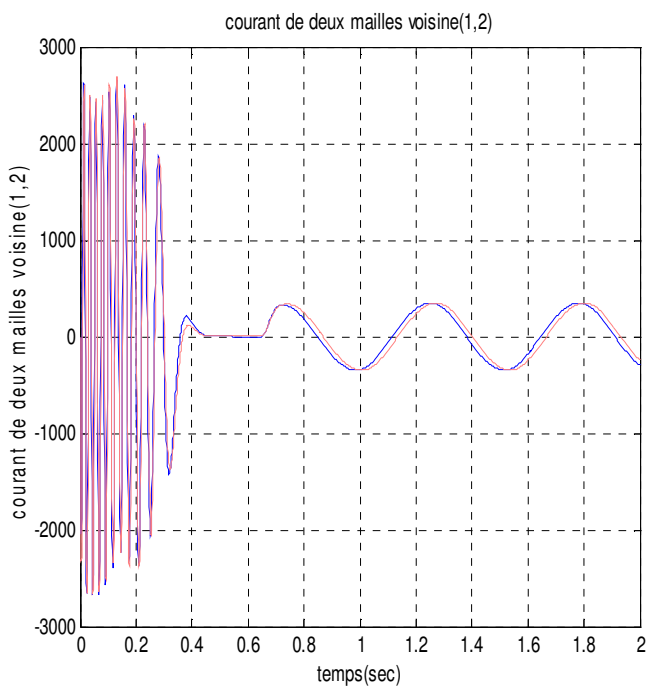
Figure III-1 : grandeur mécanique du couple et de vitesse de la machine asynchrone état sain



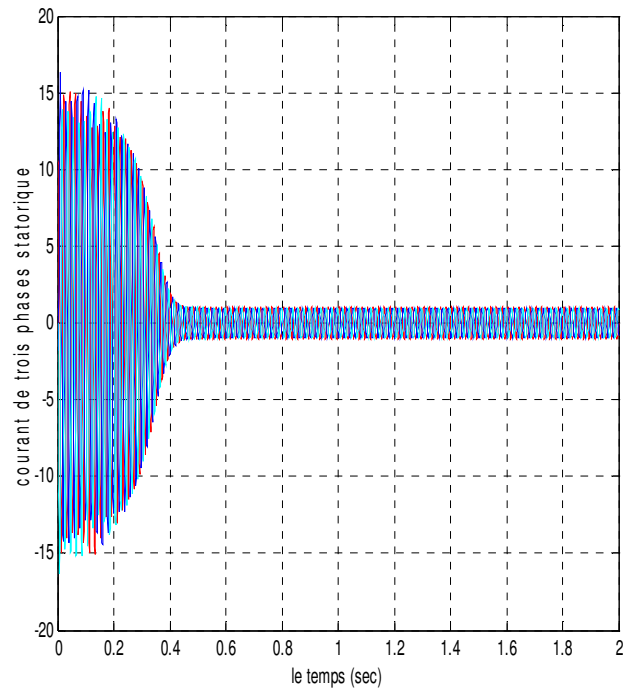
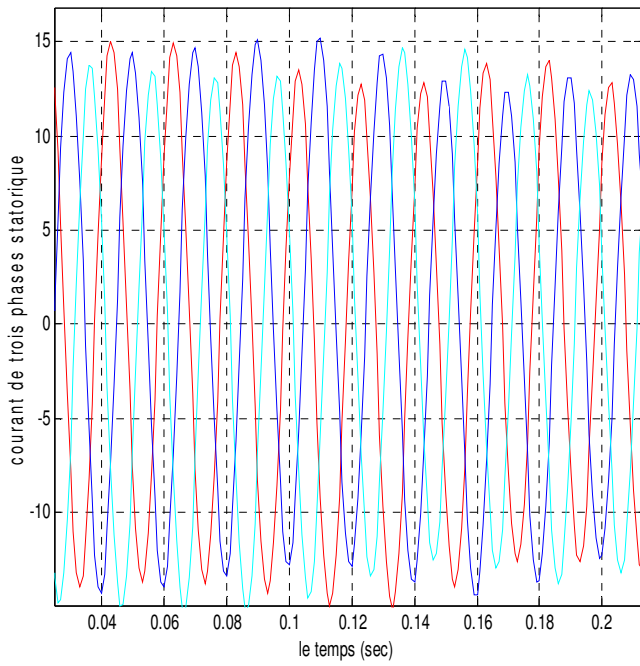
c : Courant statorique état sain



D : Courant de barre1(A)



e : courant de deux mailles rotoriques adjacents (1,2)



f : courant statorique des trois phases

Figure III-2 : différents grandeurs électriques pour un fonctionnement de la machine sain

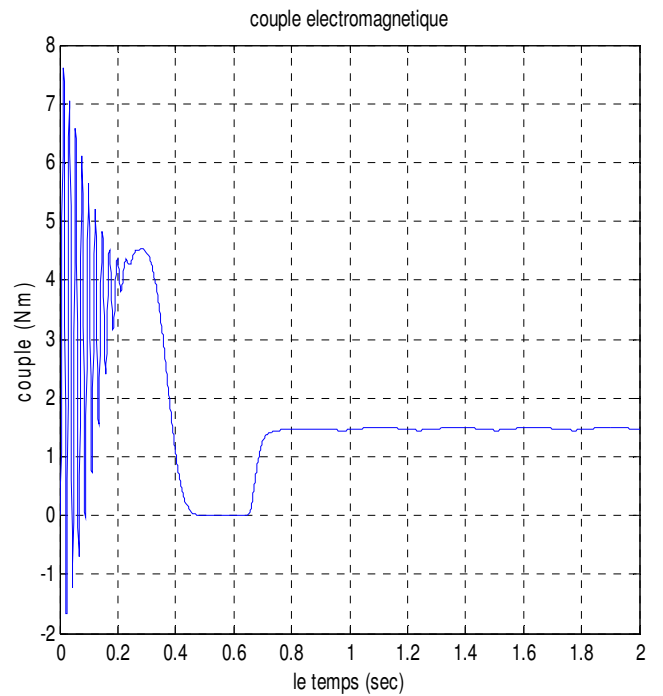
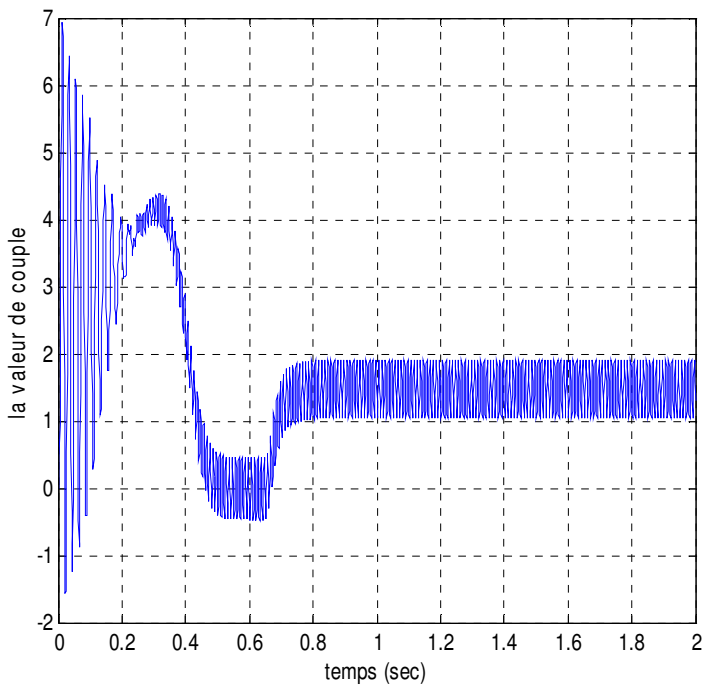
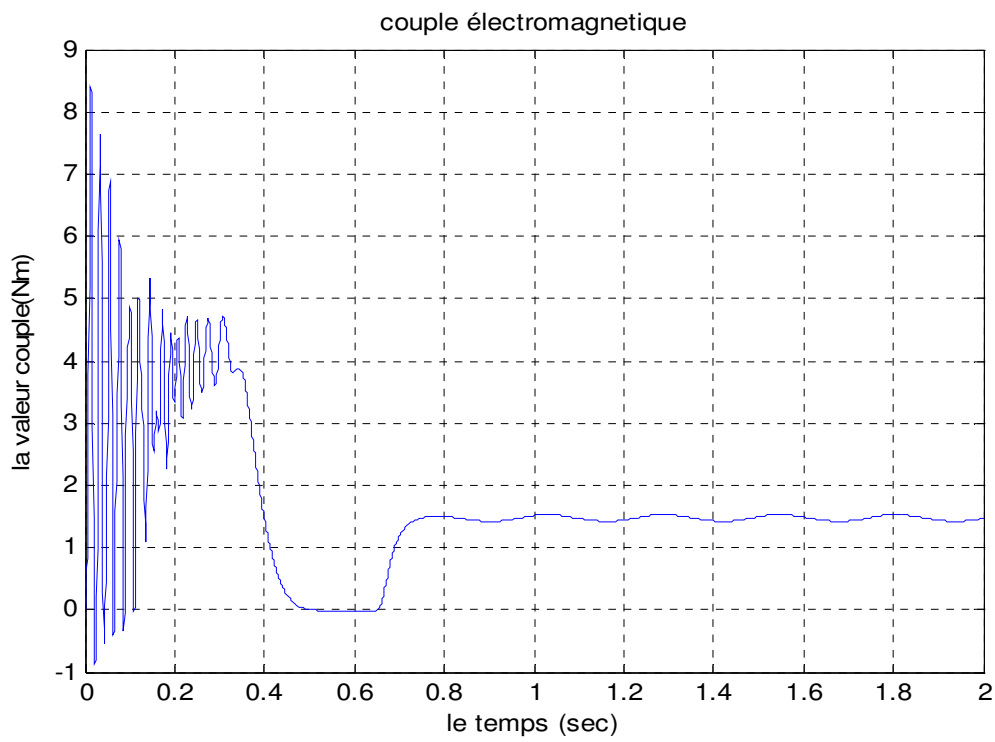
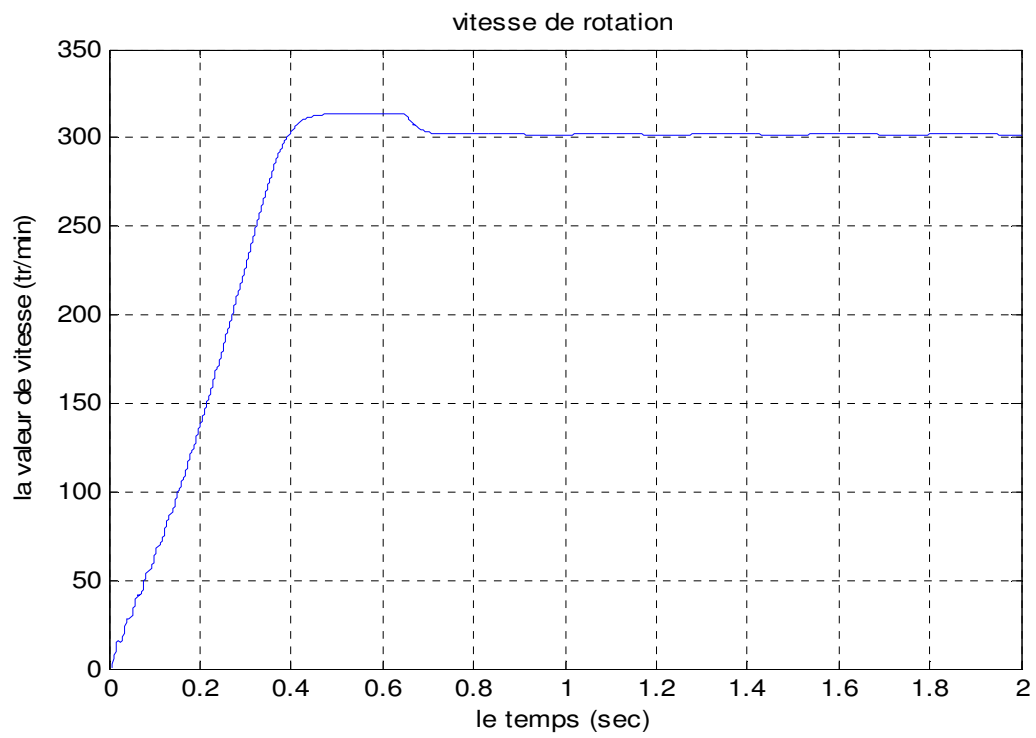


Figure III.3 :couple électromagnétique

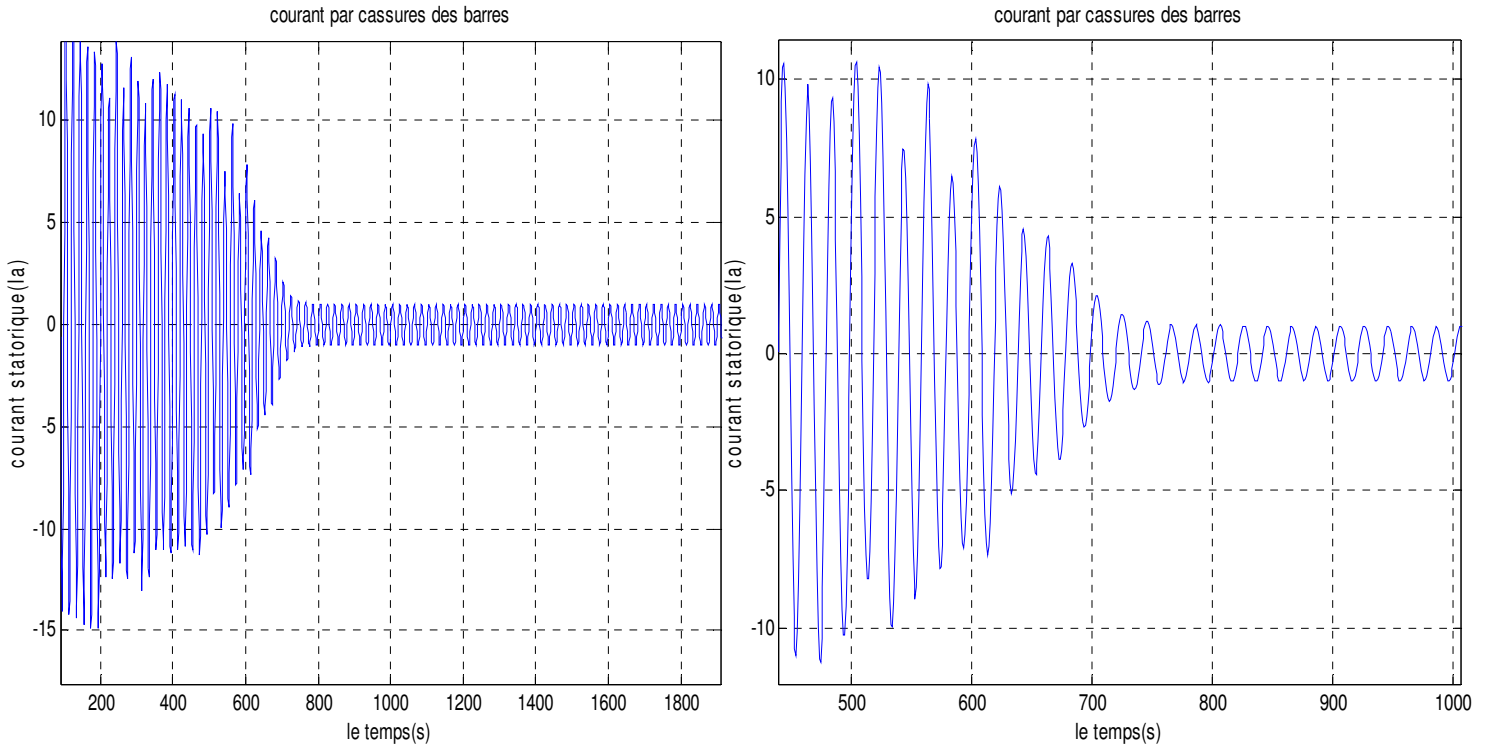
III.2 résultat de simulation d'un fonctionnement avec défaut trotoirique



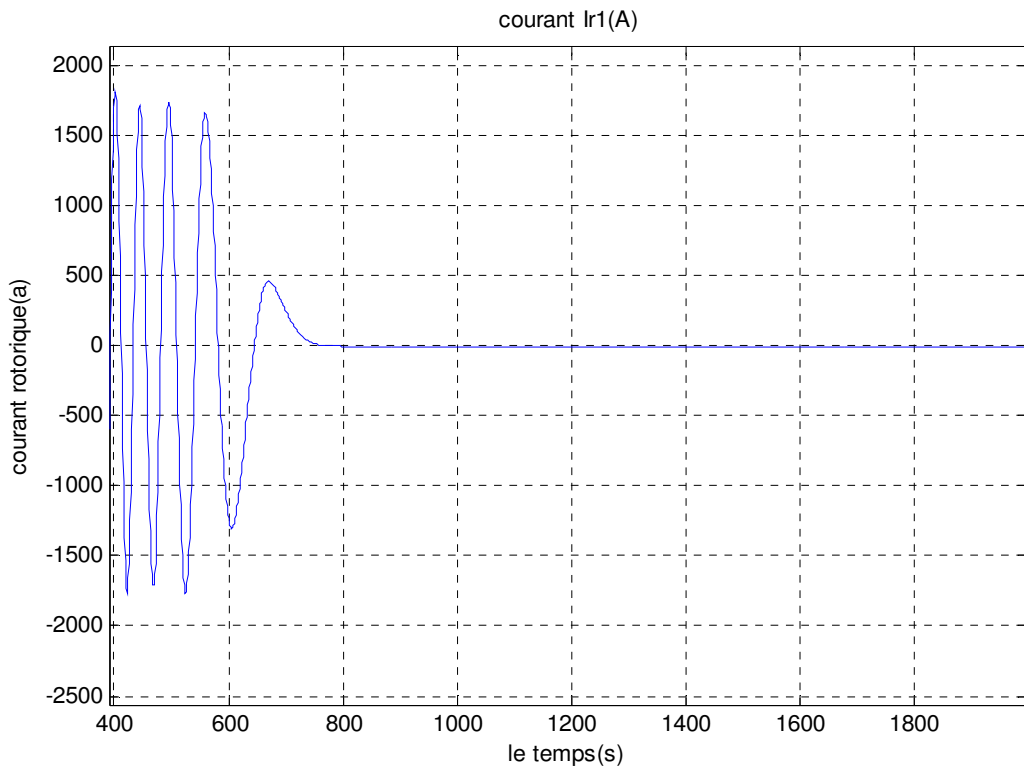
A :couple électromagnétique



b : La vitesse de rotation



C : Courant statorique



D: Courant de barre 1

Figure III.4 : différents grandeurs électriques avec défaut rotorique

III.3 Interprétation des résultats

- On remarque dans la figure (a) du couple électromagnétique une augmentation de l'amplitude des ondulations après la rupture de la barre 1, et des ondulations plus grandes que les premières après la rupture de la barre 2.
- La figure (b) représente l'allure de la vitesse de la rotation après la rupture de la barre 1, puis la rupture de la barre 2. On remarque des oscillations après la rupture de la barre 1 et la rupture de la barre 2, par conséquent la valeur moyenne de la vitesse est diminuée.
- La figure (c) permet de vérifier la modulation de l'enveloppe du courant statorique après la rupture d'une barre puis de deux barres (1 et 2). On note également l'augmentation de l'amplitude de modulation quand une deuxième barre est cassée. L'amplitude du courant statorique augmente avec le nombre de barres rompues.
- La figure (f) montre les courants des barres cassées on constate que l'amplitude du courant diminue juste après la cassure de la barre. On remarque l'amplitude du courant au niveau des barres rompues s'approche du zéro alors que les barres voisines supportent des courants plus forts que les autres.

Quand on a changé la phase (déséquilibre) on voit pulsation oscillation de couple électromagnétique augmenter.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une simulation d'un moteur asynchrone triphasé à cage, pendant les différentes conditions de fonctionnement (en charge, variations de rupture de barres). La rupture d'une barre provoque des oscillations dans le couple et dans la vitesse, ainsi qu'une modulation de l'enveloppe du courant statorique, on peut constater que ces oscillations sont proportionnelles avec le nombre de barres cassées. On voit bien que l'amplitude du couple, la vitesse de rotation et le courant statorique dans le cas de cassure de deux barres adjacentes on remarque aussi que le temps du régime transitoire augmente avec la sévérité du défaut de barre.

On mesure toutes les difficultés à exploiter directement les résultats pour détecter un défaut, et tout particulièrement quand il s'agit de la première barre cassée, seules

méthodes basées sur l'analyse spectrale des signaux, issus de la machine, offrent une porte de sortie pour le diagnostic de ce type de défaut. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITR IV

Analyse spectrale du courant Statorique

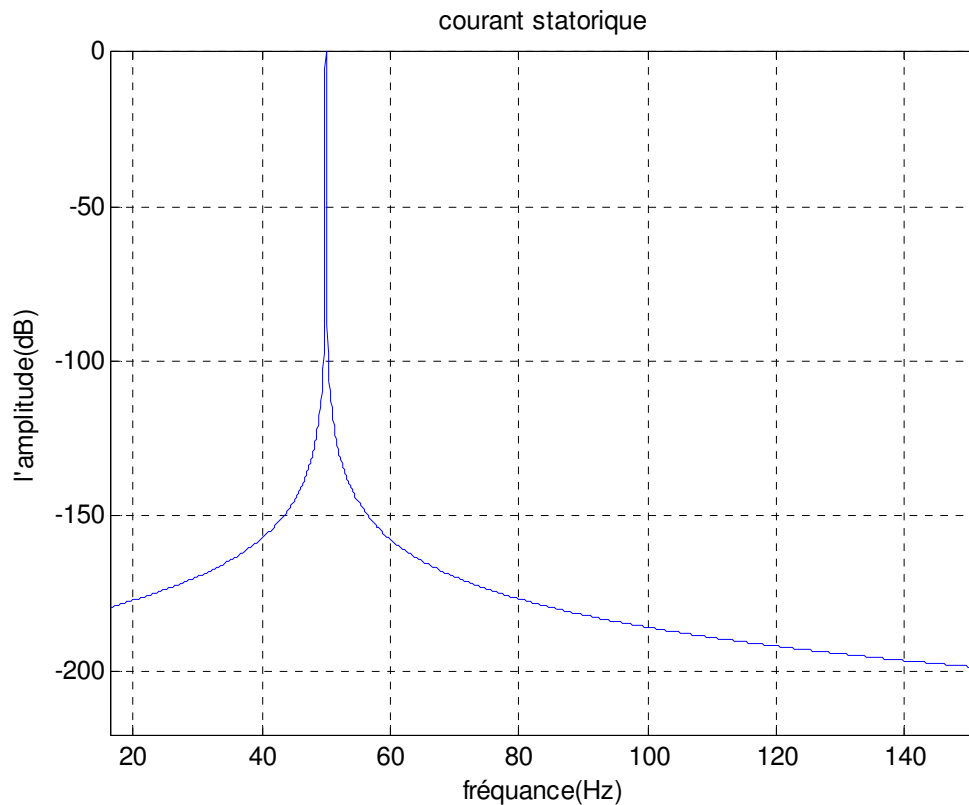
Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude et l'analyse spectrale, différentes méthodes sont présentées dans le but de retirer des informations qui sont contenues dans le signal d'origine.

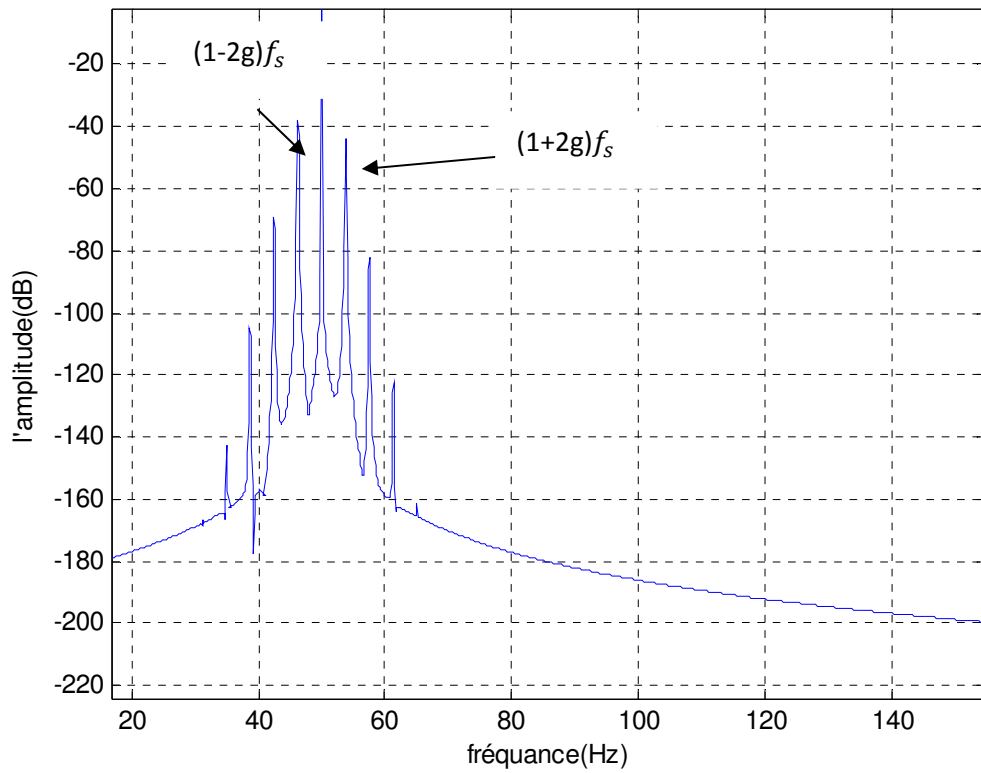
L'interprétation directe des résultats temporels est difficile, pour cela on passe à l'analyse fréquentielle.

IV.1 Résultat de simulation d'analyse spectrale

Nous présenterons dans ce chapitre, l'analyse spectrale du courant statorique, du couple en utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT). Nous montrerons comment cette méthode permet de déterminer le contenu fréquentiel du courant statorique, du couple, donc de retrouver les raies associées aux défauts de barres. Nous montrerons aussi, l'influence de barres adjacentes (1 et 2).

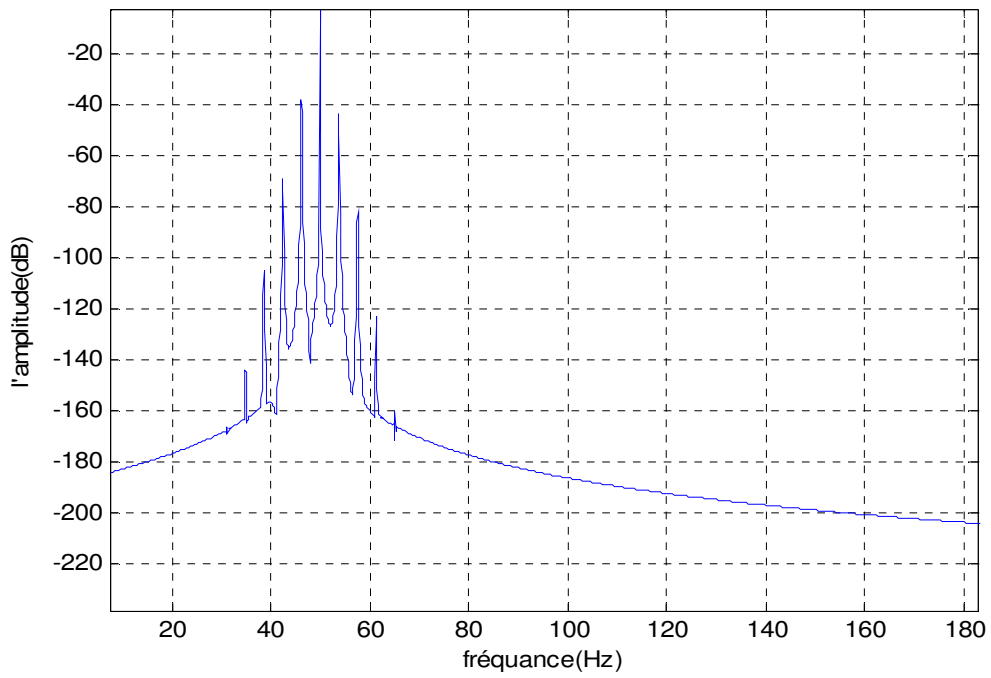


a : courant statorique état sain

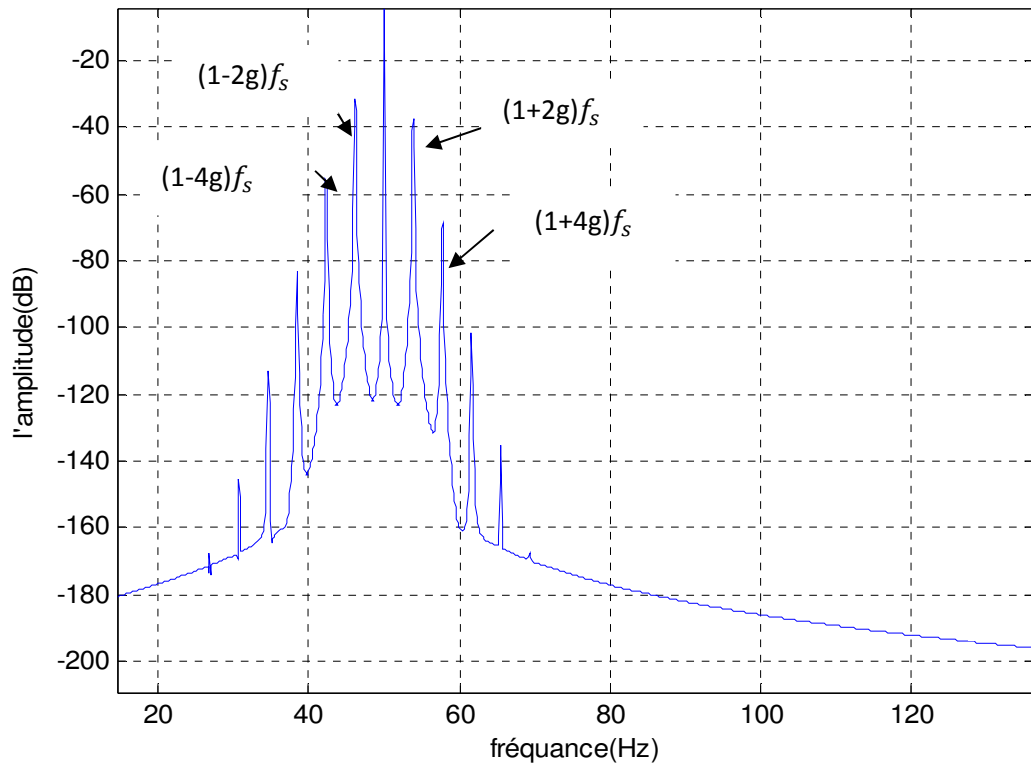


=

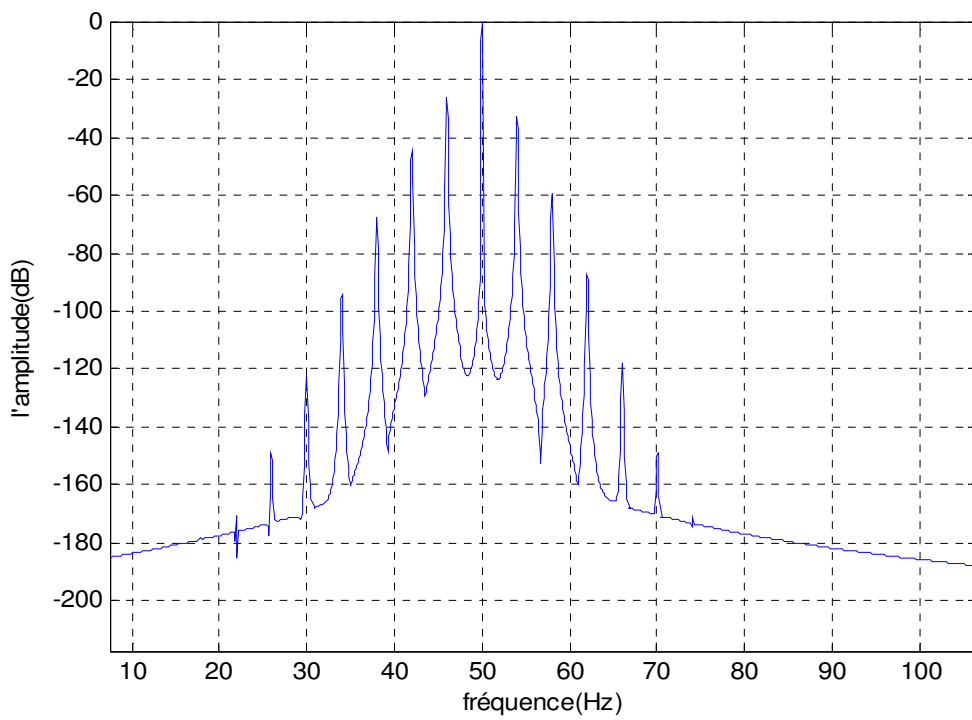
B : Rupture de barre 1



C : rupture de barre 2



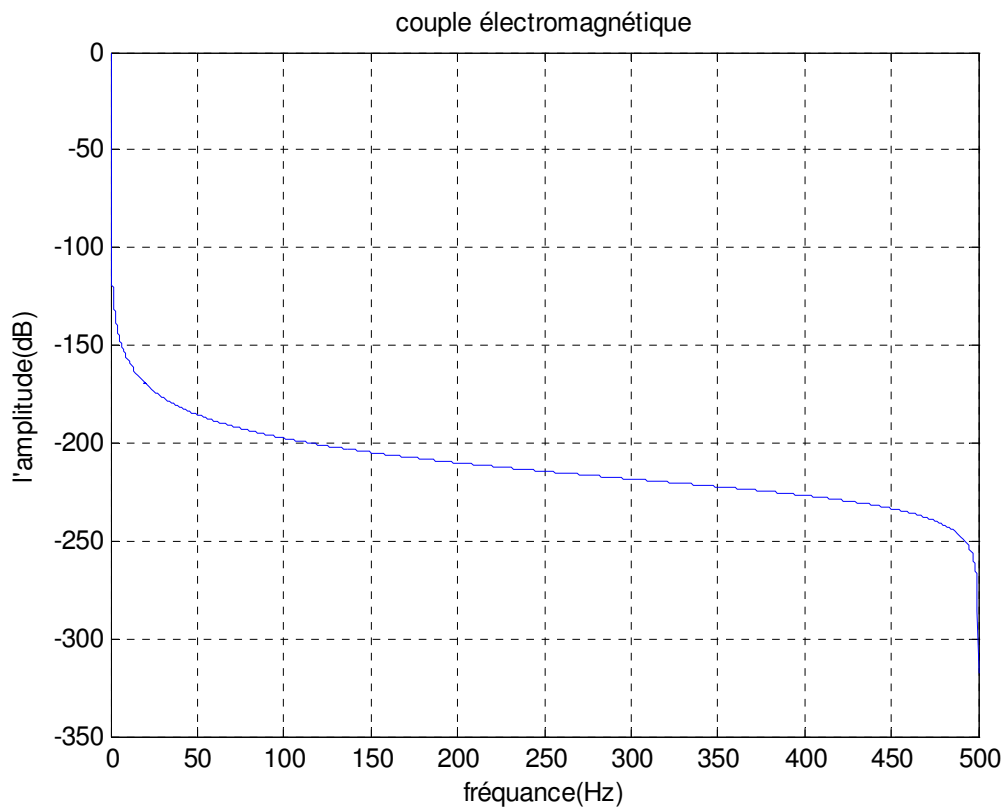
D : ruptures des barres(1,2)



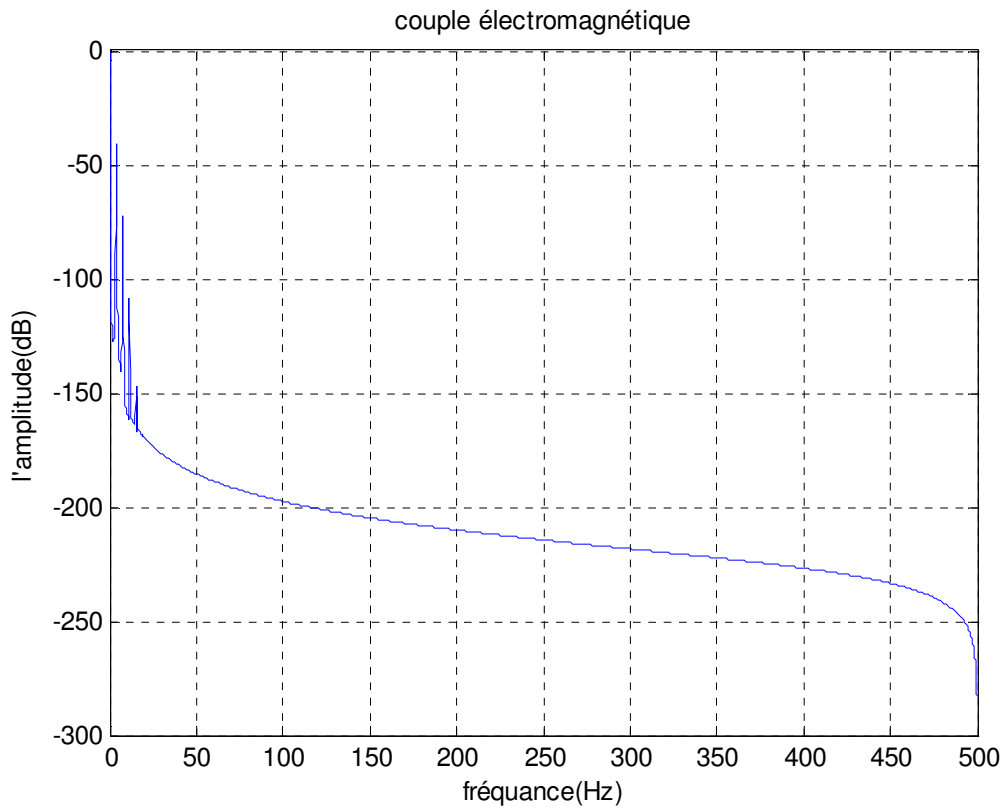
e : reptures des barres(1,2,3)

Figure VI.1 : spectre du courant statorique

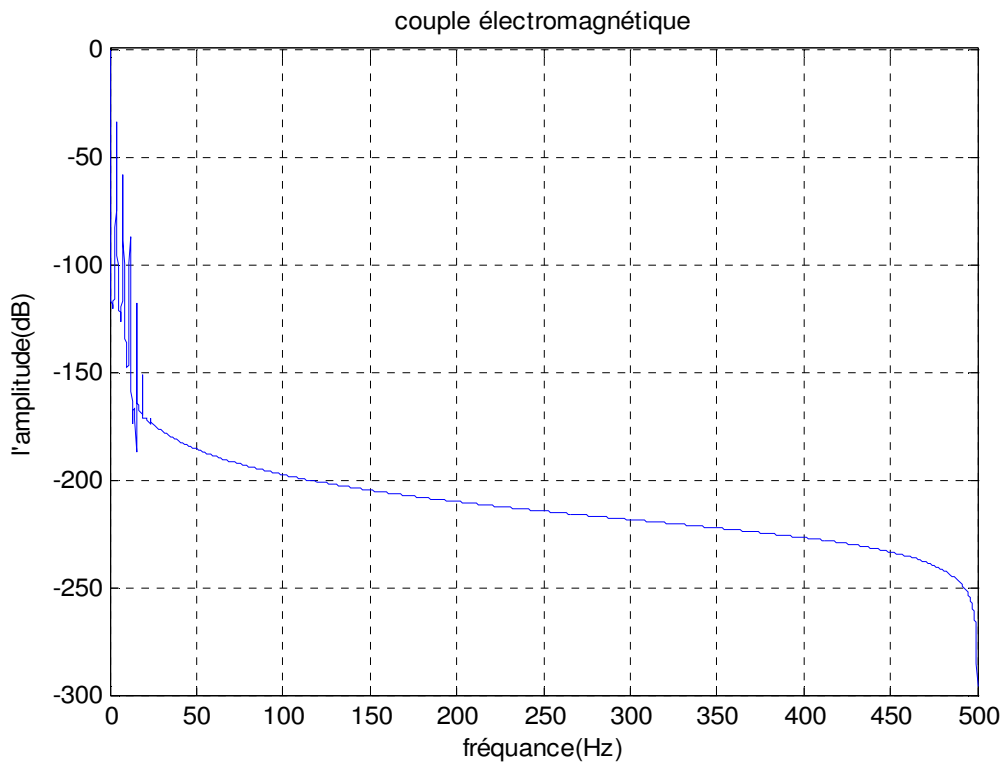
► **Le couple électromagnétique** : dans ce cas en va utiliser la fenêtre de hanning pour détecter le défaut rotorique sur le couple électromagnétique dans les différentes cas.



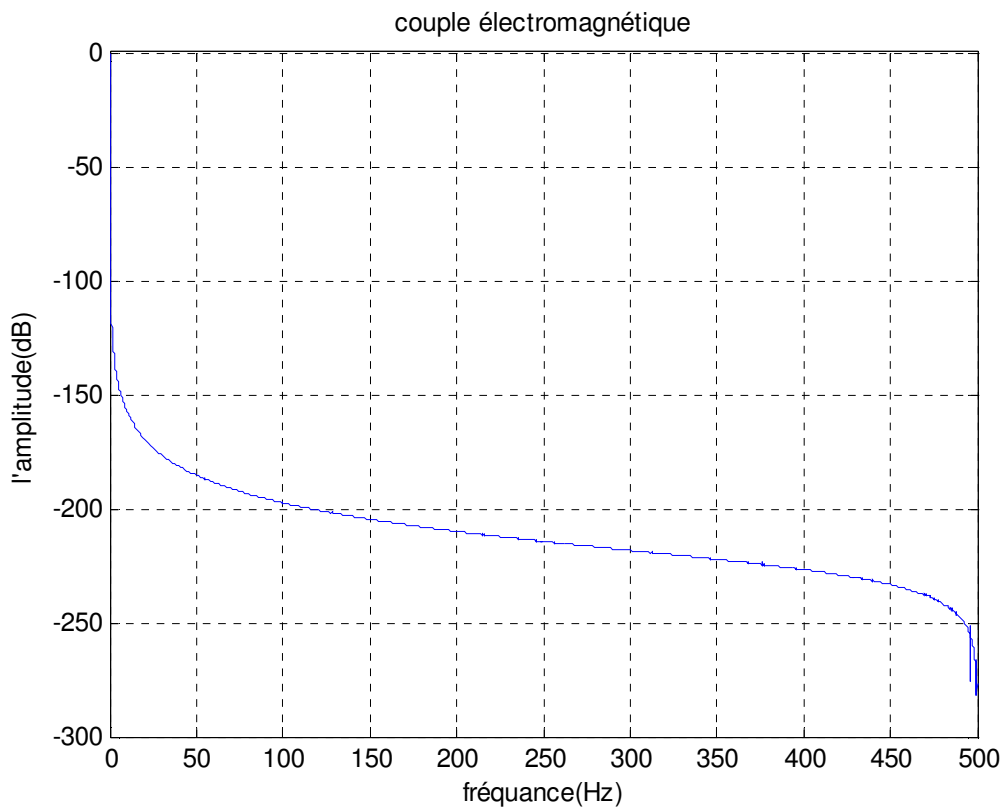
a : couple électromagnétique état sain



B : rupture de barre 1



C : rupture des barres (1,2)



D : marche à vide

Figure VI.2 : spectre du couple électromagnétique

IV.2 Interprétations

♦ La figure IV.1, représente le spectre du courant statorique en charge pour plusieurs cas :

- la figure (a), représente le courant statorique à l'état sain. C'est évident qu'on n'observe aucune raie latérale. Il est important de noter qu'en réalité, il y a toujours un certain degré d'asymétrie naturelle (de construction) dans le rotor, ce qui engendre l'apparition des raies, mais avec des amplitudes faibles.

- Lorsque une barre est rompue (figure (b)), on remarque l'apparition des raies latérales aux fréquences et avec amplitudes.

Lorsque une deuxième barre adjacente est rompue (figure(D)), on observe une augmentation l'amplitudes sur la raie $(1-2)fs$ on remarque aussi augmentation sur la raie $(1+2) fs$.

◆la même chose pour le spectre du couple (figure IV.2), avec le spectre du couple donne des information plus claires.

Cependant, le couple dépend du comportement global du dispositif mécanique constitué du moteur, du dispositif entraîné, de l'accouplement..., ainsi que des défauts qui peuvent affecter chacun de ces éléments. Il possible d'observer une composante oscillatoire de couple d'origine purement mécanique, ceci peut conduit à un diagnostic erroné. D'autre part, le coût des capteurs mécaniques limite l'utilisation de ces techniques.

Conclusion

L'analyse spectrale du couple, et du courant statorique par la transformée de Fourier rapide, nous a permis de déterminer la composition fréquentielle de ces signaux,et donc de retrouver les raies associées au défaut de barres. Il s'est avéré que la détection des défauts est plus aisée sur le courant statorique que sur le couple. En effet, la mesure du courant puis son traitement est plus simple et moins onéreux qu'une analyse de couple. La comparaison entre tous ces méthodes, du point de vu sensibilité au degré de sévérité du défaut, nous a permis de constater que l'analyse de courant statorique reste la meilleure méthode pour détecter les ruptures de barres rotoriques.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés. Nous avons focalisé l'étude sur les moteurs à cage pour deux raisons, la première est parce que les moteurs asynchrone à cage sont les plus répandus dans le monde industriel, tandis que la deuxième réside dans le fait que d'un point de vue structure multi enroulements. Les ruptures de barres ont été le centre de notre intérêt dans ce présent travail. Au début de ce travail, nous avons rappelé les différents défauts qui peuvent affectés le bon fonctionnement de la machine asynchrone triphasée à cage, ainsi que leurs causes. Les méthodes du diagnostic et les approches utilisées pour la modélisation sont aussi représentés.

Nous avons développé l'étude de la machine asynchrone, il permet de simuler le comportement de la machine lors des défaillances de barres rotoriques. Afin de représenter le comportement de la machine, lors d'un fonctionnement normal (état sain) et (avec défaut) nous avons développé un modèle mathématique multi- enroulement pour la cage rotorique. Ce modèle, conduit à un gain notable en termes de temps de calcul tout en introduisant l'apparition d'un défaut par un changement significatif des résistances de la sous matrice liée au rotor.

Ensuite, nous avons construit un programme de simulation à l'aide du MATLAB. Ceci nous a permis de visualiser les performances de la machine, en considérant les différentes conditions de fonctionnement de la machine (sans et avec défauts).

Nous avons fait la simulation des performances de la machine (le couple, la vitesse de rotation, le courant statorique...) à l'état sain puis avec défaut de deux barres cassées adjacentes.

A la fin de ce travail on a fait état d'une méthode permettant la surveillance d'une machine asynchrone triphasée lorsqu'un défaut apparaît. Pour cette surveillance nous avons développés un modèle de la machine qui permet d'étudier les phénomènes répercutés sur les performances de la machine. L'analyse spectrale ayant recours à la procédure de la transformée de Fourier rapide (FFT), l'analyse spectrale de ces performances a permis de

détecter et de quantifier la valeur des défauts survenue sur la partie rotorique de la machine.

BIBLIOGRAPHIE

[ABE 02] : ABED Aicha «Contribution à l'étude et Au Diagnostic de la Machine Asynchrone », Thèse de Doctorat Université Henri, Nancy Soutenue Publiquement le 28 mars 2002

[BEL 05] : BELHAMDI Saad « Prise en Compte D'un Défaut Rotorique Dans la Commande d'un Moteur Asynchrone »Thèse de Magister, Université Mohamed Khider Biskra, Soutenue 2005

[BOU 01] : BOUMEGOURA.T, "Recherche de Signale électromagnétique des défauts dans une machine asynchrones et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic", thèse de doctorat Ecole centrale de Lyon France, 2001.

[CAS 92] : ROLAND Casimir « Diagnostic des Défauts Des Machines Par Reconnaissance Des Formes », Thèse Doctorat, préparé aux sein de L'école Doctorale Electronique, Electrotechnique, automatique De Lyan, 03 /1992

[GHO 05] : GHOGGAL Adel : « Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée : Dédié à la Détection Des Défauts »Thèse de Magister, Université de Batna, Soutenue 2005

[HUB 02] : HUBERT Razik « Le Contenu Spectral Du Courant Absorbé Par La Machine Asynchrone En Cas de Défaillance »Faculté des Sciences, Nancy, CEDEX, juin 2002.

[REZ 03] : Rezzoug. A, Hubert R, Abed .A « Un modèle du moteur asynchrone à cage dédiée à la simulation et au diagnostic », Université Henri Poincaré Nancy1,Noter de cours 2003 .

[SAH 03] : SAHRAOUI Mohamed «Contribution aux Diagnostic des Machines Asynchrones Triphasées à cage »Université Mohamed Khider Biskra,10 /2003

[8] N.A. Al-Nuaim and H.A. Toliyat, "A novel method for modeling dynamic air- gap eccentricity in asynchrones machines based on modified winding function theory,"

[12] W.T. Thomson, "On-line MCSA to diagnostiseshorted turns in low voltage stator windings of 3-phase induction motors prior to failure," in Proceeding of IEMDC 2001.

[14] :A. Abdel,F.weinachter,H,razik,A,rezzoug, (real-time quand elle tombe en panne)

ANNEXE

Les paramètres du moteur utilisé dans cette étude

- $g_0 = 0.0008m$.

- $r = 0.082m$.

- $l = 0.011m$.

- $w = 28$.

- $N_b = 27$.

- $L_b = 95Nh$.

- $L_{fA} = 0.062H$.

- $R_S = 1.75\Omega$.

- $R_b = 31\mu\Omega$.

- $j_T = 0.0475 \text{ Kgm}^2$

- $\theta = \text{rad } 86 / \pi \theta$.