

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT : GENIE ÉLECTRIQUE
N° :.....



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTROMECHANIQUE
OPTION : MAINTENANCE DES
EQUIPEMENTS INDUSTRIELLES

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Diagnostic des Cassures des barres rotorique d'un Moteur asynchrone à cage

Proposé et dirigé par :

Dr CHERIF Bilal Djamal Eddine

Présenté par :

TAYOUB Tayeb

ABDELAZIZE Imad

Soutenu devant le jury composé de :

Mr Fouad BERRABAH

Examineur

Mr Mabrouk DEFDAF

Président

Mr Bilal Djamal Eddine CHERIF

Encadreur

2019/2020

Dédicace:

Je dédie ce fruit de travail :

A ma mère et à mon père qui ont tout le credit

A mes frères et tout La famille.

A tous les amis.

A tous mes professeurs

A tous mes callègues et régiment spécial

« Machine électriques ».

Tayeb, Imad

Remerciement :

*Notre premier Remerciement va à Allah Soubhanhou
watahala.*

*Je tiens à remercier vivement mon encadreur monsieur
" Cherif Bilal Djamal Eddine ",*

*Pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa contribution
Général à l'élaboration, de ce travail.*

*Je souhaiter également remercier nos enseignants de
la faculté de la technologie*

*Enfin, nous adressons notre plus sincère remerciement
à tout nos proches et amis qui nous ont toujours*

Soutenu et encouragé pour la réalisation de ce mémoire.

Liste des figures

Figure I.1 :	Constitution de la machine asynchrone à cage.	03
Figure I.2:	Stator.	04
Figure I.3:	Rotor à cage d'écureuil.	05
Figure I.4:	Rotor bobinée.	05
Figure I. 5 :	Constitution d'un roulement à billes.	09
Figure.II.1 :	Structure multi-enroulements du rotor.	11
Figure. II.2 :	Schéma électrique équivalent du rotor à cage.	14
Figure II.3 :	Champ créé par une maille rotorique.	18
Figure.II.4 :	Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique.	23
Figure.III.1 :	Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique cas d'une cassure un barre rotorique.	27
Figure.III.2 :	Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique cas d'une cassure deux barres rotoriques.	28
Figure.III.3 :	Spectre du courant statorique dans le cas sain.	29
Figure.III.4 :	Spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure un barre rotorique.	29
Figure.III.5:	Spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure deux barres rotoriques.	29

Table de matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etat de l'art	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Constitution de la machine asynchrone à cage.....	3
I.2.1. Stator.....	4
I.2.2. Rotor.....	4
I.2.3. Organes mécaniques.....	5
I.3. Présentation des différentes défaillances de la MAS à cage d'écureuil.....	6
I.3.1. Les défauts statoriques.....	6
I.3.1.1. Court-circuit entre spires.....	6
I.3.1.2. Court-circuit entre phases.....	7
I.3.1.3. Court-circuit phase / bâti.....	7
I.3.2. Défauts rotoriques.....	7
I.3.2.1. Cassure de la barre.....	8
I.3.2.2. Ruptures d'anneaux.....	8
I.3.3. Défauts d'excentricité.....	8
I.3.4. Défaut de roulement.....	9
I.4. Conclusion.....	9
Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements	
II.1. Introduction.....	11
II.2. Modèle multi-enroulements.....	11
II.3. Equations des tensions statoriques.....	12
II.4. Equations des tensions rotoriques.....	14
II.5. Calcul des inductances du modèle dont le flux d'entrefer est sinusoïdal.....	16
II.6. Equations mécaniques.....	20
II.7. Résultats de simulation.....	22
II.8. Conclusion.....	24
Chapitre III : Diagnostic de Défaut Cassure des Barres Rotoriques	
III.1. Introduction.....	25
III.2. Transformée de Fourier rapide (TFR).....	25
III.3. Conclusion.....	30
Conclusion général.....	31
Bibliographie.....	32
Annexe.....	34

Introduction générale

Le diagnostic des machines électrique s'est fortement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour certaine application, indispensable. Les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiable car une quelconque défaillance, même la plus anodine, peut mener à un dommage matériel ou l'arrêt du moteur ce qui provoque des pertes financières significatives. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche sur le plan mondial, s'emploie depuis plusieurs dizaines d'années à élaborer des méthodes de diagnostic. Celles-ci ont pour premier objectif de prévenir les utilisateurs d'un risque possible pouvant apparaître en un point particulier du système.

Notre projet de fin d'études est axé sur l'étude de ces deux techniques afin de montrer les performances de chacune d'elle. Ce mémoire est organisé en trois chapitres répartis comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons fait une synthèse bibliographique sur la machine asynchrone, et les différents défauts, et les différentes techniques de diagnostic.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des modèles de la machine asynchrone pour la simulation des ruptures de barres. Pour cela, nous utilisons le modèle multi-enroulement pour avoir un modèle plus proche de la réalité. Avec ce modèle on peut prendre en considération toutes les mailles formées par les barres de la cage, ce qui facilite la simulation d'une rupture de barre, tout en augmentant la résistance de la barre cassée.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une étude détaillée de la transformées de Fourier rapide (*TFR*) pour diagnostiquer les défauts de rupture des barres rotoriques.

Chapitre I :

Etat de l'art

I.1. Introduction

Les machines asynchrones sont les plus utilisées dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs avantages : simplicité, robustesse, prix peu élevée et entretien facile. Ainsi, Sa gamme de puissance est établie de quelques centaines de watts à plusieurs centaines de Kilowatts dont sa vitesse de rotation n'est pas liée à la fréquence du réseau d'alimentation. Noter bien que les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor dont le stator en principe le même [1].

I.2. Constitution de la machine asynchrone à cage

Le moteur d'induction triphasé (souvent appelé moteur asynchrone triphasé) comprend deux parties principales [2] :

- Un inducteur fixe nommé stator : le stator, partie fixe de la machine ou est connectée l'alimentation électrique.
- Un induit mobile nommé rotor: le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique. Plus la partie qui fait l'assemblage des deux nommée les paliers: partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

Les organes mécaniques permettent la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles [3].

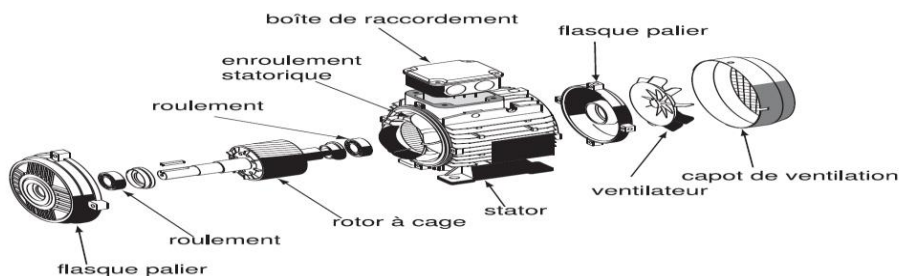


Figure I.1 : Constitution de la machine asynchrone à cage.

I.2.1. Stator

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles sur lesquelles sont découpées des encoches parallèlement à l'axe de la machine (voir figure I.2). Le bobinage statorique peut être décomposé en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant une circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre pour obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, et ainsi limiter les ondulations du couple électromagnétique [4].

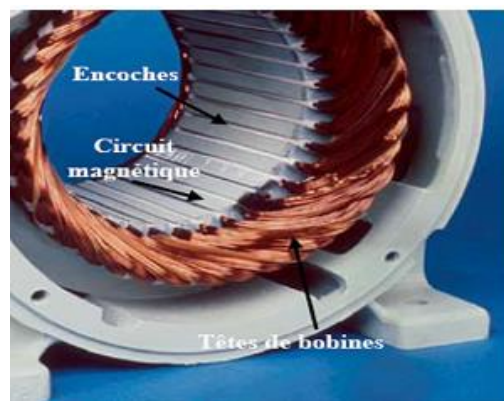


Figure I.2: Stator.

I.2.2. Rotor:

Le rotor, monté sur l'arbre moteur se compose d'un cylindre fait de tôles empilées. Des encoches sont percées à la périphérie extérieure destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0,4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotor [5]:

- **Le rotor à cage d'écureuil** : Des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor (figure I.3). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de

la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné triphasé. Cette couronne est serrée dans une carcasse en fonte [6].



Figure I.3: Rotor à cage d'écureuil.

- **Rotor bobiné:** Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant des bobinages. On peut accéder à ces bobinages par l'intermédiaire de trois bagues et trois balais. Ce dispositif permet de modifier les propriétés électromécaniques du moteur [7].



Figure I.4: Rotor bobinée.

I.2.3. Organes mécaniques :

La carcasse servant de support joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-

accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc...), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, dépend de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire). Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et lui assurent une rotation libre. Le second palier assure les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petites et moyennes puissances [8].

I.3. Présentation des différentes défaillances de la MAS à cage d'écureuil

Les défaillances dans les entraînements électriques peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes [9]:

- Les générateurs de pannes ou initiateurs de défaut : surchauffe du moteur, défauts électriques (court-circuit), problèmes mécanique, rupture de fixation, problèmes d'isolation, survoltage d'alimentation.
- Les amplificateurs des défauts : surcharge fréquent, vibration mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent mauvais graissage, vieillissement....
- Les vices de fabrication et leur erreurs humaines : défauts de fabrication, défektivité des composantes, protection inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine.

Des études statistique nous relèvent que certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres, ce qui amène à axer notre étude vers les types de défauts les plus courantes. Parmi les pannes majeures, nous trouvons les suivantes :

I.3.1. Les défauts statoriques :

I.3.1.1. Court-circuit entre spires :

Ce défaut entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases, modifie le facteur de puissance et

amplifie les courants dans le circuit rotorique. Les courts-circuits entre spires de la même phase apparaissent, soit au niveau des têtes de bobines, soit dans les encoches [10].

I.3.1.2. Court-circuit entre phases :

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système. L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. Les courants statoriques sont totalement déséquilibrés et ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît. Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases [11].

I.3.1.3. Court-circuit phase / bâti:

Le bâti a généralement un potentiel flottant, mais pour des raisons de liaisons mécaniques, il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, excepté les effets capacitifs, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, cette défaillance va générer une composante. Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels). En présence de ce type de défaillance, la tension de la phase concernée ne change pas. Cependant le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut [12].

I.3.2. Défauts rotoriques:

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.

I.3.2.1. Cassure de la barre :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées [14].

I.3.2.2. Ruptures d'anneaux :

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux [15].

I.3.3. Défauts d'excentricité :

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor) du rotor qui se traduit par des oscillations du couple. Ce phénomène est appelé excentricité statique ou dynamique dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut de roulement, à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication [16].

Il y a trois cas d'excentricités généralement bien distinctes:

- Excentricité statique : le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour son axe.
- Excentricité dynamique : le rotor est positionné au centre de l'alésage stator mais ne tourne plus autour son axe. Exentération mixte, associe les deux cas précédemment définis.

Ces types des défauts modifient le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des

forces électromagnétiques qui agissent sur le noyau statorique et sur l'enroulement correspondant. Donc, engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence de frottements entre le stator et le rotor en raison des forces de l'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des vibrations considérables dans les enroulements [17].

I.3.4. Défaut de roulement :

Les roulements à billes sont constitués de deux bagues, extérieure et intérieure, entre lesquelles existe un ensemble de billes ou de rouleaux tournants [18].

Nous pouvons distinguer les types de défauts suivants:

- Défaut de bague extérieure.
- Défaut de bague intérieure.
- Défaut de billes.



Figure I. 5 : Constitution d'un roulement à billes

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir rappelé les terminologies utilisées en diagnostic, nous nous sommes intéressés à la constitution du moteur asynchrone ainsi qu'aux principaux défauts pouvant affecter les différentes parties du moteur. A noter, que nous nous sommes

Chapitre I : Etat de l'art

surtout intéressés aux défauts mécaniques, vu que statistiquement c'est les défauts les plus récurrents.

Chapitre II :

Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

II.1. Introduction

La modélisation décrite dans ce chapitre, a pour objet de représenter les barres et les anneaux de court-circuit individuellement pour une machine asynchrone multi-enroulement.

II.2. Modèle multi-enroulements [19]

Pour pouvoir nous concentrer sur la simulation des ruptures de barres et d'anneaux de court-circuit, nous avons modélisé le rotor par des mailles reliées entre elles électriquement et couplées magnétiquement, elles sont formées par deux barres adjacentes et les portions d'anneaux qui les relient. Chaque barre et segment d'anneau sont caractérisés par une résistance et une inductance (Figure II.1).

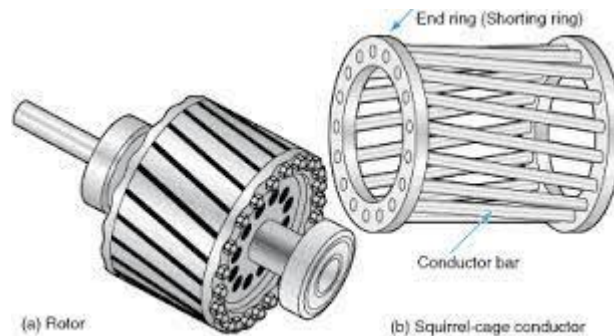


Figure.II.1 : Structure multi-enroulements du rotor.

Notre modélisation s'est établie à partir des hypothèses simplificatrices classiques :

- Entrefer lisse et constant (effet d'excentricité négligeable, champ radial);
- Distribution sinusoïdale de la force magnétomotrice statorique;

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

- Effet pelliculaire nul - courants de Foucault négligeables hors des barres rotoriques - absence de l'influence de l'échauffement.
- La négligence de la saturation magnétique et son influence sur les circuits magnétiques (perméabilité relative du fer infinie).

Parmi les conséquences importantes de ces hypothèses, on peut citer : La constance des inductances propres – l'additivité des flux – la loi de variation sinusoïdales des inductances mutuelles entre les enroulements du stator et du rotor en fonction de l'angle électrique.

Avec ces hypothèses, et en supposant un stator triphasé sain, de constitution symétrique, nous calculons les différents paramètres du modèle.

II.3. Equations des tensions statoriques [20]

Le système d'équations des tensions des trois phases statoriques s'écrit sous la forme matricielle suivante :

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

Où la matrice des flux statoriques $[\Psi_s]$ est donné par :

$$[\Psi_s] = [L_{ss}] [I_s] + [L_{sr}] [I_r] \quad (\text{II.2})$$

Les vecteurs des tensions et des courants de phases statoriques et celui des courants de mailles rotoriques sont respectivement:

$$[V_s] = [V_{sa} \quad V_{sb} \quad V_{sc}]^T \quad (\text{II.3})$$

$$[I_s] = [i_{sa} \quad i_{sb} \quad i_{sc}]^T \quad (\text{II.4})$$

$$[I_r] = [i_{r1} \quad i_{r2} \quad i_{r3} \quad \dots \quad \dots \quad i_{rn_b} \quad i_{re}]^T \quad (\text{II.5})$$

En notant que les indices sa, sb et sc font référence au stator et les indices $r1, r2, r3, \dots, rn_b, re$ aux mailles et anneaux rotoriques.

La matrice des résistances statoriques $[R_s]$ est donnée par :

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

La matrice des inductances statoriques $[L_{ss}]$ est donnée par :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

La matrice des inductances mutuelles entre les phases statoriques et les mailles rotoriques $[L_{sr}]$ est donnée par :

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{ar1} & L_{ar2} & \dots & L_{ar(nb-1)} & L_{arnb} & 0 \\ L_{br1} & L_{br2} & \dots & L_{br(nb-1)} & L_{brnb} & 0 \\ L_{cr1} & L_{cr2} & \dots & L_{cr(nb-1)} & L_{crnb} & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

En remplaçant l'équation (II.2) dans (II.1) on obtient :

$$[V_s] = [R_s] [I_s] + [L_{ss}] \frac{d[I_s]}{dt} + [L_{sr}] \frac{d[I_r]}{dt} + \frac{d[L_{sr}]}{dt} [I_r] \quad (\text{II.9})$$

Le quatrième terme de l'équation (II.9) peut être écrit comme suit :

$$\frac{d[L_{sr}]}{dt} [I_r] = \frac{d[L_{sr}]}{d\theta_r} \frac{d\theta_r}{dt} [I_r] \quad (\text{II.10})$$

Où θ_r est l'angle qui définit la position du rotor par rapport au stator.

et
$$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r \quad (\text{II.11})$$

avec ω_r la vitesse du rotor.

Par substitution de (II.10) et (II.11) dans (II.9), l'équation (II.9) devient :

$$[V_s] = [R_s] [I_s] + [L_{ss}] \frac{d[I_s]}{dt} + [L_{sr}] \frac{d[I_r]}{dt} + \omega_r \frac{d[L_{sr}]}{d\theta_r} [I_r] \quad (\text{II.12})$$

Nous obtenons donc un système d'équations différentielles d'ordre 3.

II.4. Equations des tensions rotoriques [21]

La cage rotorique est représentée par un circuit maillé de n_b mailles, où chaque maille est constituée de deux barres adjacentes et les deux portions d'anneaux les reliant à chaque extrémité. La figure.II.2, illustre une partie du rotor sous la forme d'un schéma électrique équivalent.

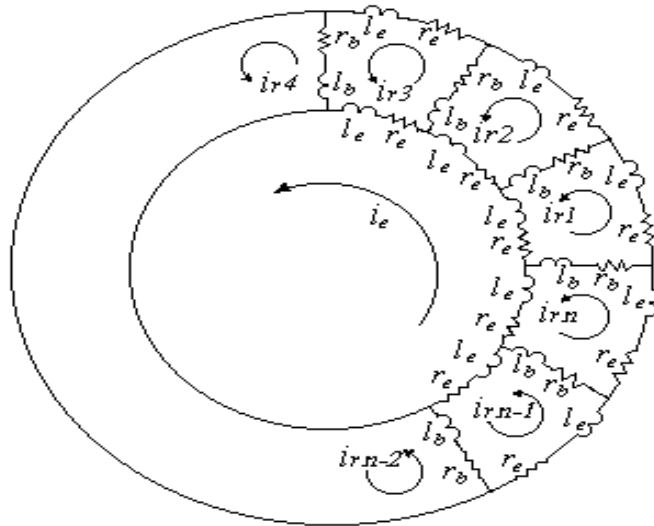


Figure. II.2 : Schéma électrique équivalent du rotor à cage.

La modélisation de la cage rotorique consiste à écrire les équations de tensions des n_b mailles parcourues par n_b courants indépendants et de tenir compte d'un des deux anneaux de court-circuit. Nous obtenons ainsi un système de n_b+1 équations qui est donné par la relation matricielle suivante :

$$[V_r] = [R_r] [I_r] + \frac{d[\Psi_r]}{dt} \quad (II.13)$$

$$[\Psi_r] = [L_{rr}] [I_r] + [L_{rs}] [I_s] \quad (II.14)$$

Sachant que les tensions rotoriques sont nulles, et que :

$$[R_r] = \begin{bmatrix} 2(R_b + R_e) & -R_b & 0 & \dots & 0 & -R_b & -R_e \\ -R_b & 2(R_b + R_e) & -R_b & \dots & 0 & 0 & -R_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2(R_b + R_e) & -R_b & -R_e \\ -R_b & 0 & 0 & \dots & -R_b & 2(R_b + R_e) & -R_e \\ -R_e & -R_e & -R_e & \dots & -R_e & -R_e & n_b R_e \end{bmatrix} \quad (II.15)$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

Où R_b et R_e sont respectivement la résistance d'une barre rotorique et celle d'un segment d'anneau de court-circuit.

La matrice des inductances rotoriques est donnée par :

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r1r2} - L_b & L_{r1r3} & \dots & L_{r1r(nb-1)} & L_{r1rnb} - L_b & -L_e \\ L_{r1r2} - L_b & l_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r2r3} - L_b & \dots & L_{r2r(nb-1)} & L_{r2rnb} & -L_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{r(nb-1)r1} & L_{r(nb-1)r2} & L_{r(nb-1)r3} & \dots & l_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r(nb-1)rnb} - L_b & -L_e \\ L_{rnb r1} - L_b & L_{rnb r2} & L_{rnb r3} & \dots & L_{rnb r(nb-1)} & l_{mr} + 2(L_b + L_e) & -L_e \\ -L_e & -L_e & -L_e & \dots & -L_e & -L_e & n_b L_e \end{bmatrix}$$

Avec

L_{mr} , inductance de magnétisation d'une maille rotorique.

L_b , inductance de fuite d'une barre rotorique.

L_e , inductance de fuite d'un segment d'anneau de court-circuit.

L_{rirj} , inductance mutuelle entre la $i^{\text{ème}}$ et la $j^{\text{ème}}$ maille rotorique.

La matrice des inductances mutuelles entre les mailles rotoriques et les phases statoriques $[L_{rs}]$ est égale à la transposée de la matrice $[L_{sr}]$ dans le cas d'un moteur avec entrefer uniforme. $[L_{rs}] = [L_{sr}]^T$

En remplaçant l'équation (II.13) dans (II.14), on obtient :

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

$$\frac{d[L_{rs}]}{dt} [I_s] = \frac{d[L_{rs}]}{d\theta_r} \frac{d\theta_r}{dt} [I_s] \quad (\text{II.16})$$

Il en résulte que :

$$[V_r] = [R_r] [I_r] + [L_{rr}] \frac{d[I_r]}{dt} + [L_{rs}] \frac{d[I_s]}{dt} + \omega_r \frac{d[L_{rs}]}{d\theta_r} [I_s] \quad (\text{II.17})$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

Le système obtenu est un système d'équations différentielles d'ordre n_b+1 .

Afin d'obtenir le système d'équations électriques global de la machine, on rassemble les deux systèmes (III.12) et (III.17) sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} [V_s] \\ [V_r] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R_s] & 0 \\ 0 & [R_r] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} + \omega_r \frac{d}{d\theta_r} \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

En posant :

$$[V] = \begin{bmatrix} [V_s] \\ [V_r] \end{bmatrix}, [R] = \begin{bmatrix} [R_s] & 0 \\ 0 & [R_r] \end{bmatrix}, [L] = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix}, [I] = \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} \quad (\text{II.19})$$

On obtient :

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

Le système ainsi obtenu est de n_b+4 équations différentielles à coefficients variables (les inductances dépendent de la position du rotor par rapport au stator). Pour le résoudre il faut avoir les valeurs des différentes inductances de la machine.

II.5. Calcul des inductances du modèle dont le flux d'entrefer est sinusoïdal [22]

Considérant que l'intensité du champ magnétique H produit par une bobine statorique dans le fer est très faible par rapport à sa valeur dans l'entrefer et la symétrie du dispositif, d'après le théorème d'ampère on a :

$$\oint H \cdot dl = \frac{N_s i_s}{p} \quad (\text{II.21})$$

Partant de l'expression (II.21) l'induction maximale dans l'entrefer est égale à :

$$B_{\max} = \mu_0 \frac{N_s i_s}{2pe} \quad (\text{II.22})$$

La décomposition de l'induction en série de Fourier fournit le fondamental :

$$B_1(\theta) = \frac{2\mu_0 N_s i_s}{ep\pi} \cos(p\theta) \quad (\text{II.23})$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

Dans ce modèle, nous supposons que l'enroulement statorique triphasé est à distribution idéale autour de la périphérie de l'entrefer. Par conséquent, le champ résultant a une forme sinusoïdale. Le déphasage entre chaque phase de l'enroulement statorique est de $2\pi/3$ degré électrique. L'expression de FMM de la phase "a" est donnée par la relation suivante:

$$F_a(\varphi) = \frac{2 N_s}{\pi p} i_{sa} \cos(p\varphi) \quad (\text{II.24})$$

N_s le nombre de tours de l'enroulement de la phase, p le nombre de paires de pôles et φ un angle décrivant une position dans l'espace.

D'où l'induction créée dans l'entrefer :

$$B_a(\varphi) = \frac{2 \mu_0 N_s}{\pi g p} i_{sa} \cos(p\varphi) \quad (\text{II.25})$$

Où, μ_0 la perméabilité magnétique de l'air et g l'épaisseur d'entrefer.

Le flux magnétique dans l'entrefer par pôle est obtenu par intégration de l'expression (II.25) autour d'un intervalle polaire le long de la machine :

$$\Phi = BS = \int_0^l dz \int_{-\frac{\pi}{2p}}^{\frac{\pi}{2p}} B_a(\varphi) r d\varphi \quad (\text{II.26})$$

Il en résulte :

$$\Phi = \frac{4 \mu_0 N_s r l}{\pi g p^2} i_{sa} \quad (\text{II.27})$$

Où, r le rayon moyen de la machine et l la longueur de la machine.

Le flux total traversant l'enroulement de la phase "a" dû au courant i_{sa} est donné par :

$$\Psi_{sa} = \Phi N_s = \frac{4 \mu_0 N_s^2 r l}{\pi g p^2} i_{sa} \quad (\text{II.28})$$

L'inductance de magnétisation de la phase "a" est exprimée par :

$$L_{am} = \frac{\Psi_{sa}}{i_{sa}} = \frac{4 \mu_0 N_s^2 r l}{\pi g p^2} \quad (\text{II.29})$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

L'inductance totale de la phase "a" est égale à la somme de l'inductance de magnétisation, et l'inductance de fuite correspond au flux de fuite d'encoche, flux de fuite des têtes de bobines...etc, dont l'expression est :

$$L_{aa} = L_{am} + L_{fa} \quad (\text{II.30})$$

Les enroulements statoriques sont séparés par $2\pi/3$, Par conséquent les inductances mutuelles entre phases statoriques sont exprimées par :

$$\begin{cases} L_{ab} = L_{ba} = L_{am} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{L_{am}}{2} \\ L_{bc} = L_{cb} = L_{am} \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) = -\frac{L_{am}}{2} \\ L_{ca} = L_{ac} = L_{am} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{L_{am}}{2} \end{cases} \quad (\text{II.31})$$

Etant donné que les enroulements statoriques sont symétriques, par conséquent les inductances propres des trois phases et les inductances mutuelles sont égales.

Nous supposons que les barres rotoriques sont identiques et régulièrement décalées, séparées l'une de l'autre par un angle $\alpha = 2\pi/nb$. La figure II.3 représente le champ créé par une maille parcourue par le courant i_{rj} .

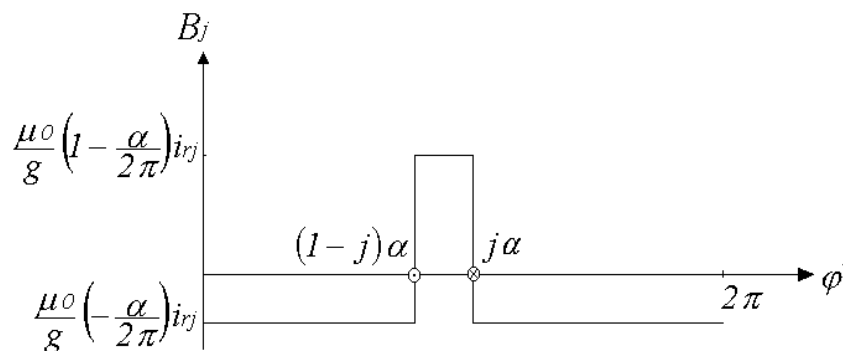


Figure II.3 : Champ créé par une maille rotorique.

Chaque maille rotorique est considérée comme une bobine à une seule spire, parcourue par le courant i_{rj} est le siège d'un flux propre exprimé par la relation [23] :

$$\Psi_{rjrj} = \int_0^l dz \cdot \int_{(j-1)\alpha}^{j\alpha} \frac{\mu_0 r}{g} \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi}\right) i_{rj} d(\varphi') \quad (\text{II.32})$$

D'où,

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

$$\Psi_{rjrj} = \frac{\mu_0 r l}{g} \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi}\right) \alpha i_{rj} \quad (\text{II.33})$$

Le flux traversant la $k^{\text{ème}}$ maille, produit par le courant i_{rj} circulant dans la maille j est donné par :

$$\Psi_{rkrj} = \int_0^l dz \cdot \int_{(k-1)\alpha}^{k\alpha} \frac{\mu_0 r}{g} \left(\frac{\alpha}{2\pi}\right) i_{rj} d(\varphi') \quad (\text{II.34})$$

Avec $k \neq j$, d'où,

$$\Psi_{rkrj} = \frac{\mu_0 r l}{g} \left(\frac{\alpha}{2\pi}\right) \alpha i_{rj} \quad (\text{II.35})$$

L'inductance de magnétisation de la maille j , est exprimée par la relation :

$$L_{mrj} = \frac{\Psi_{rjrj}}{i_{rj}} = \frac{2\pi\mu_0 (n_b - 1) r l}{g n_b^2} \quad (\text{II.36})$$

L'inductance totale de la $j^{\text{ème}}$ maille rotorique est égale à la somme de son inductance de magnétisation, des inductances de fuite des deux barres et des inductances de fuite des deux segments d'anneaux de court-circuit fermant la maille et dont l'expression est donnée par :

$$L_{rj} = L_{mrj} + L_{bj} + L_{b(j+1)} + 2L_e \quad (\text{II.37})$$

Les mailles rotoriques sont magnétiquement couplées par l'intermédiaire du flux rotorique d'entrefer. Les inductances mutuelles entre la $j^{\text{ème}}$ maille, les mailles adjacentes et non adjacentes sont exprimées par les relations suivantes :

$$L_{r(j+1)j} = \frac{\Psi_{r(j+1)rj}}{i_{rj}} - L_{b(j+1)} = -\frac{2\pi\mu_0 r l}{g n_b^2} - L_{b(j+1)} \quad (\text{II.38})$$

$$L_{r(j-1)j} = \frac{\Psi_{r(j-1)rj}}{i_{rj}} - L_{bj} = -\frac{2\pi\mu_0 r l}{g n_b^2} - L_{bj} \quad (\text{II.39})$$

$$L_{rkj} = \frac{\Psi_{rkrj}}{i_{rj}} = -\frac{2\pi\mu_0 r l}{g n_b^2} \quad (\text{II.40})$$

De la transformation dans le repère lié au rotor de l'équation (II.26) de la densité de flux d'entrefer créée par le courant i_{sa} , il en résulte :

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

$$B_a(\varphi') = \frac{2}{\pi} \frac{\mu_0 N_s}{g p} i_{sa} \cos[p(\varphi' + \omega_r t)] \quad (\text{II.41})$$

Avec :

$$\varphi = \varphi' + \omega_r t \quad (\text{II.42})$$

D'où le flux traversant la maille j est :

$$\Psi_{rja} = \int_0^l dz \int_{(j-1)\alpha}^{j\alpha} B_a(\varphi') r d\varphi' \quad (\text{II.43})$$

L'intégrale de l'équation ci-dessus conduit à :

$$\Psi_{rja} = M i_{sa} \cos \left[p \left(\frac{(2j-1)\pi}{n_b} + \omega_r t \right) \right] \quad (\text{II.44})$$

Avec ;

$$M = \frac{4 \mu_0 N_s r l}{\pi g p^2} \sin \left(\frac{\pi p}{n_b} \right) \quad (\text{II.45})$$

L'inductance mutuelle entre la maille rotorique j et la phase "a" est donnée par la relation :

$$L_{rja} = \frac{\Psi_{rja}}{i_{sa}} = M \cos \left[p \left(\frac{(2j-1)\pi}{n_b} + \omega_r t \right) \right] \quad (\text{II.46})$$

De même, les inductances mutuelles entre la $j^{\text{ème}}$ maille et les phases statoriques "b" et "c" sont exprimées par :

$$L_{rjb} = \frac{\Psi_{rjb}}{i_{sb}} = M \cos \left[p \left(\frac{(2j-1)\pi}{n_b} + \omega_r t \right) - \frac{2\pi}{3} \right] \quad (\text{II.47})$$

$$L_{rjc} = \frac{\Psi_{rjc}}{i_{sc}} = M \cos \left[p \left(\frac{(2j-1)\pi}{n_b} + \omega_r t \right) + \frac{2\pi}{3} \right] \quad (\text{II.48})$$

II.6. Equations mécaniques [25]

L'équation mécanique du mouvement dépend des caractéristiques de la charge qui diffère largement d'une application à l'autre. Dans cette étude, nous ne prenons en considération que le couple d'inertie et le couple externe qui constitue le couple de charge de la machine. Par conséquent l'équation mécanique du mouvement s'écrit sous la forme suivante :

$$J \frac{d\omega_r}{dt} + T_c = T_e \quad (\text{II.49})$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

et :

$$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r \quad (\text{II.50})$$

J : le moment d'inertie du rotor –charge combinée.

T_c : le couple de charge.

θ_r : l'angle de déplacement.

ω_r : la vitesse de rotation.

Où θ_r l'angle de déplacement du rotor, ω_r la vitesse de rotation, J le moment d'inertie, T_c le couple de charge, et T_e le couple électromagnétique produit par la machine.

Le couple électromagnétique est déduit de la co-énergie magnétique W_{co} à l'aide de l'équation suivante :

$$T_e = \left[\frac{\partial W_{co}}{\partial \theta_r} \right]_{(I_s, I_r \text{ constants})} \quad (\text{II.51})$$

La co-énergie est l'énergie emmagasinée dans le circuit magnétique, par conséquent dans le cas du moteur à cage, elle peut être exprimée par la relation ci-dessous :

$$W_{co} = \frac{1}{2} \left[I_s^t L_{ss} I_s + I_s^t L_{sr} I_r + I_r^t L_{rs} I_s + I_r^t L_{rr} I_r \right] \quad (\text{II.52})$$

Le couple électromagnétique est donné par la relation :

$$T_e = \frac{1}{2} \left[I_s^t \frac{\partial L_{ss}}{\partial \theta_r} I_s + I_s^t \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta_r} I_r + I_r^t \frac{\partial L_{rs}}{\partial \theta_r} I_s + I_r^t \frac{\partial L_{rr}}{\partial \theta_r} I_r \right] \quad (\text{II.53})$$

Si les deux matrices $[L_{rr}]$ et $[L_{ss}]$ sont constantes, l'équation (II.53) devient :

$$T_e = \frac{1}{2} \left[I_s^t \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta_r} I_r + I_r^t \frac{\partial L_{rs}}{\partial \theta_r} I_s \right] \quad (\text{II.54})$$

Et si $[L_{sr}]$ et $[L_{rs}]$ sont égaux, nous obtenons l'expression suivante du couple :

$$T_e = I_s^t \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta_r} I_r, \quad T_e = \frac{1}{2} [I]^t \frac{d[L]}{dt} [I]$$

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

Dans le but de faire une étude du fonctionnement de la machine du point de vue électromécanique l'équation mécanique générale donnée dans (II-51) est associée au système d'équations électriques (II-12). Le modèle complet de la machine prend la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} [V] \\ [Te - Tc] \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R] + \frac{d[L]}{d\theta_r} & [0] \\ [0 \ 0] \\ [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L] \\ [0] \\ [0] \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [I] \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} \quad (\text{II-55})$$

D'où on tire :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [I] \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L] & [0] \\ [0] & [J \ 0] \\ [0] & [0 \ 1] \end{bmatrix}^{-1} \left[\begin{bmatrix} [V] \\ [Te - Tc] \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} [R] + \frac{d[L]}{d\theta_r} & [0] \\ [0] & [0 \ 0] \\ [0] & [1 \ 0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} \right] \quad (\text{II-56})$$

D'où la forme générale suivante :

$$\frac{d}{dt} [X] = [A]^{-1} \left([U] - [B] [X] \right) \quad (\text{II.57})$$

Étant donné que ces équations d'ordre n_b+6 , qui sont non linéaires, une méthode numérique doit être mise en œuvre. Pour parvenir à la solution, nous avons choisi la méthode explicite et classique de Runge Kutta d'ordre 4.

II.7. Résultats de simulation

Les résultats obtenir à travers des travaux de simulation. Ces allures sont obtenues lors d'un démarrage à vide sous une tension nominale du moteur. A l'instant $t = 0.8 \text{ s}$, nous procédons à un échelon de couple résistant de 50 Nm, le couple électromagnétique vient équilibrer le couple résistant et la vitesse de rotation diminue. Les courants statoriques et le courant rotorique augmentent à des valeurs proportionnelles au couple résistant appliqué.

La figure.II.4, montre les formes d'ondes du courant statorique, courant rotorique, la vitesse de rotation et le couple électromagnétique.

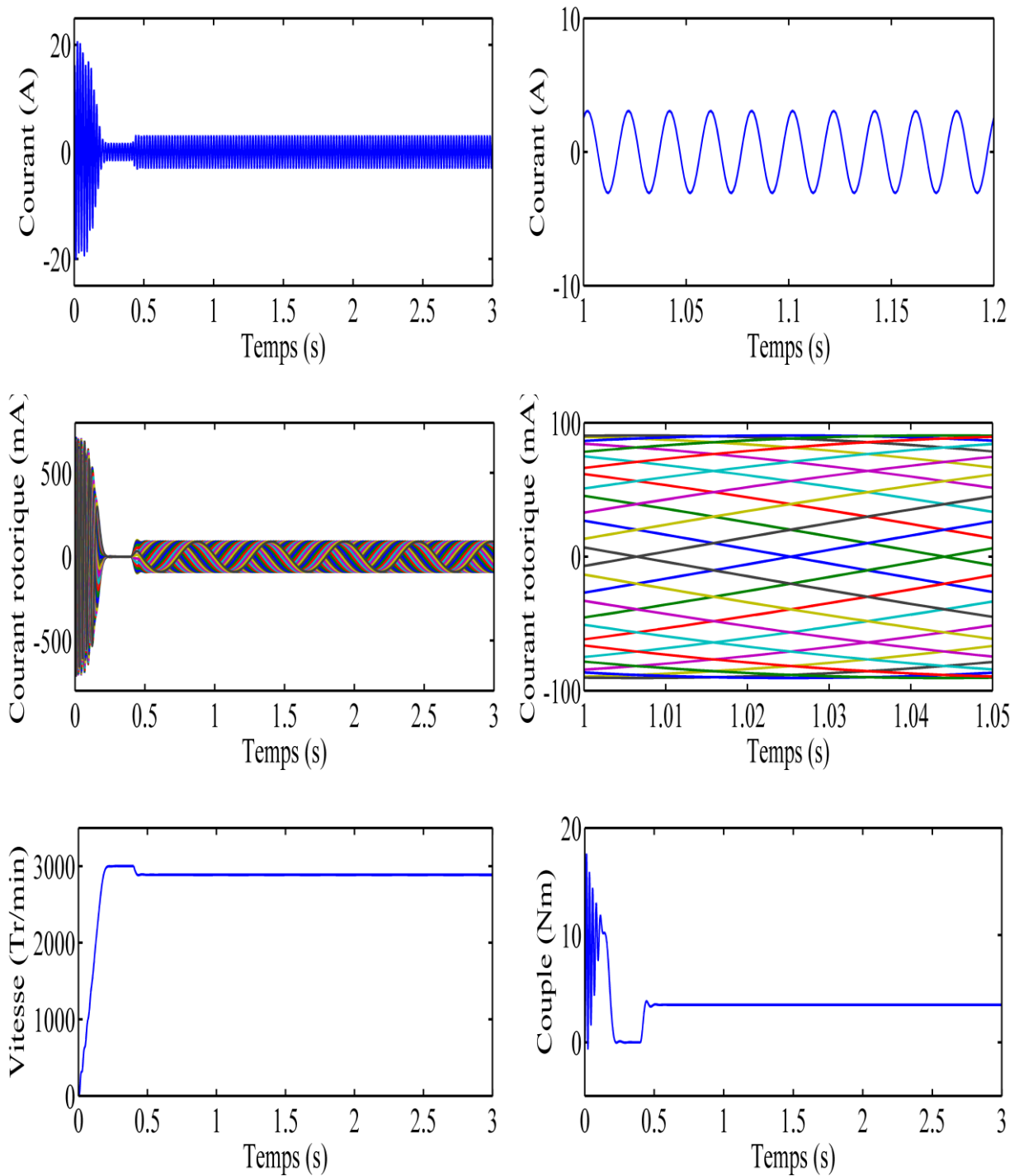


Figure.II.4 : Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique.

Le démarrage de ce moteur s'effectue à vide. Nous constatons que le temps d'établissement de ces variables est rapide (23s). Le couple atteint une valeur maximale, avant de se stabiliser à une valeur nulle en régime permanent.

Chapitre II : Modélisation d'un Moteur Asynchrone Multi-Enroulements

A l'instant $t=0.4s$ on applique un couple de charge nominal de 3.5 Nm qui nous permet de constater que le couple électromagnétique rejoint sa valeur pour compenser cette sollicitation avec une réponse quasiment instantanée. Une décroissance de la vitesse qui traduit par un glissement.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle permettant la simulation de la machine asynchrone triphasée multi-enroulement. Ce modèle nous permet de bien modéliser les défauts de cassure de barres rotoriques. Le chapitre suivant sera consacré diagnostic du défaut cassure des barres rotoriques.

Chapitre III :

Diagnostic de Défaut Cassure des Barres Rotoriques

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la méthode de diagnostic du défaut cassure des barres rotoriques basée sur la transformée de Fourier rapide (TFR).

III.2. Transformée de Fourier rapide (TFR) [26]

Considérons le signal $x(t)$ à temps continu. Si x est d'énergie finie, sa transformée de Fourier rapide (TF) à la fréquence f est la suivante:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (III.1)$$

Son inverse est donnée par :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(f)e^{j2\pi ft} df \quad (III.2)$$

Sa transformée de Fourier discrète (TFD) de N points avec une période d'échantillonnage T est donnée par :

$$X\left(\frac{f}{NT}\right) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N-1} x(kT)e^{-\frac{j2\pi f k T}{NT}} \quad (III.3)$$

Et sa relation inverse est donnée par :

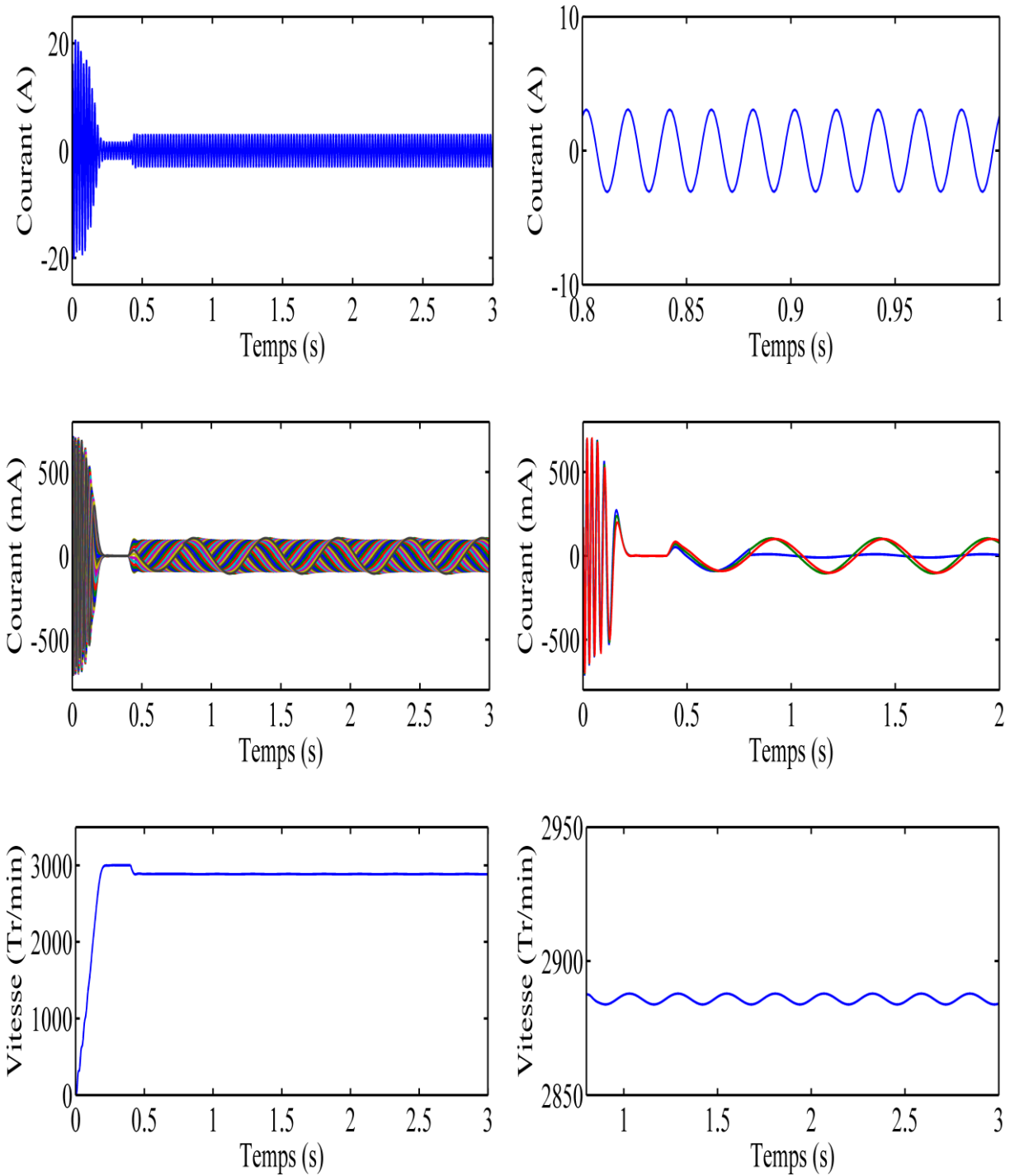
$$x(kT) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N-1} X\left(\frac{f}{NT}\right)e^{\frac{j2\pi f k T}{NT}} \quad (III.4)$$

La transformée de Fourier rapide (TFR) est un algorithme de calcul rapide de la TFD. L'algorithme de base de cette transformé utilise un nombre de points N égal à une puissance

Chapitre III : Diagnostic de Défaut Cassure des Barres Rotoriques

de 2, ce qui permet d'obtenir un gain en temps de calcul, par rapport à un calcul avec la TFD, de $2N / \log(N)$.

La figure.III.1, montre les formes d'onde : courant statorique, courant rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique dans le cas d'une cassure un barre rotorique.



Chapitre III : Diagnostic de Défaut Cassure des Barres Rotoriques

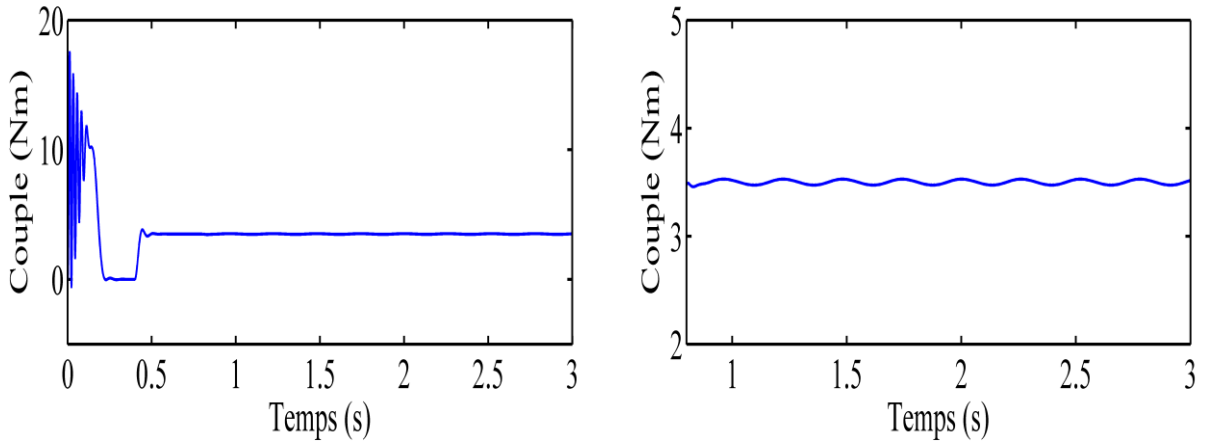
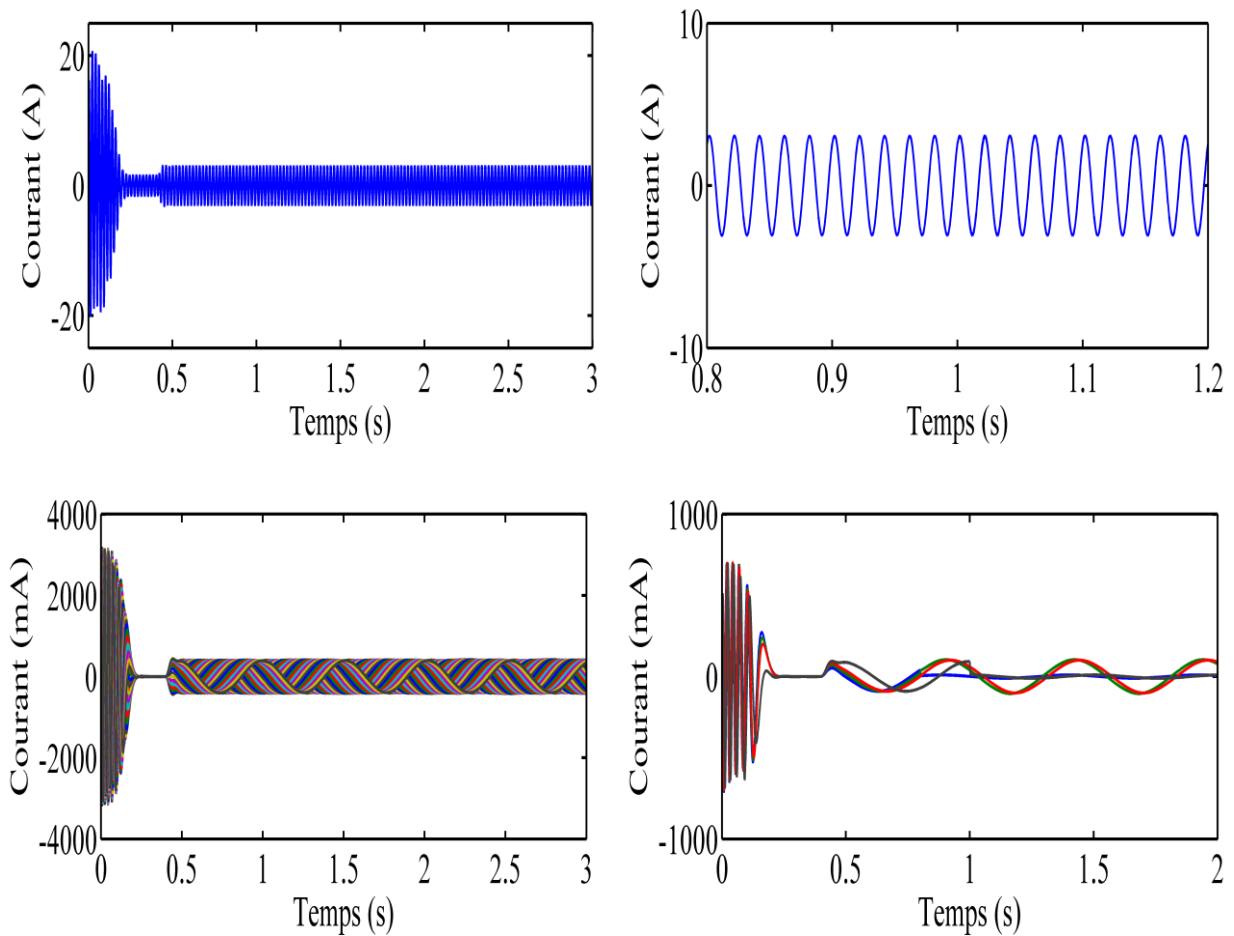


Figure.III.1 : Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique cas d'une cassure un barre rotorique.

La figure.III.2, montre les formes d'onde : courant statorique, courant rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique dans le cas d'une cassure deux barres rotoriques.



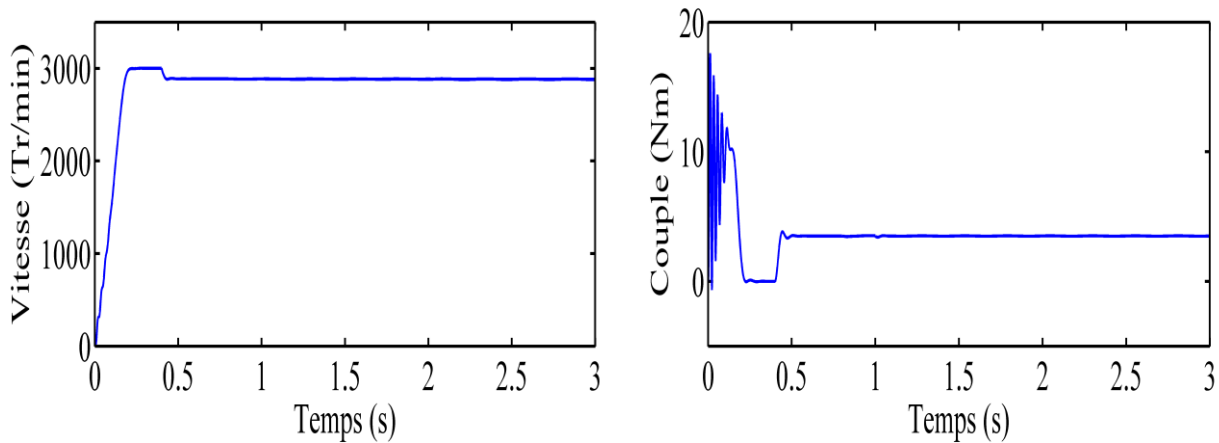


Figure.III.2 : Courant statorique et rotorique, vitesse de rotation et le couple électromagnétique cas d'une cassure deux barres rotoriques.

A $t = 0,8s$, le défaut de rupture de barres est provoqué, nous constatons :

- 1- La détérioration de la barre réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et fait apparaître des oscillations sur le couple et la vitesse de rotation.
- 2- Les courants des phases statoriques sont toujours déphasés de 120° . Cependant une ondulation de l'amplitude des courants apparaît avec la cassure de la barre.
- 3- Il est à remarquer que l'augmentation du nombre de barres cassées provoque l'augmentation de l'amplitude des oscillations de la vitesse (w) et du couple électromagnétique (C_e), ce qui a pour effet la détérioration des enroulements de la machine.
- 4- L'amplitude des courants des phases statoriques est proportionnelle au nombre de barres cassées.
- 5- Dans le cas de défauts rotoriques, les courants dans les barres cassées chutent pratiquement à zéro, tandis que les courants dans les barres voisines deviennent déséquilibrés. Les courants qui traversaient les barres cassées se répartissent alors dans les barres voisines.

La figure.III.3, montre le spectre du courant statorique dans le cas sain.

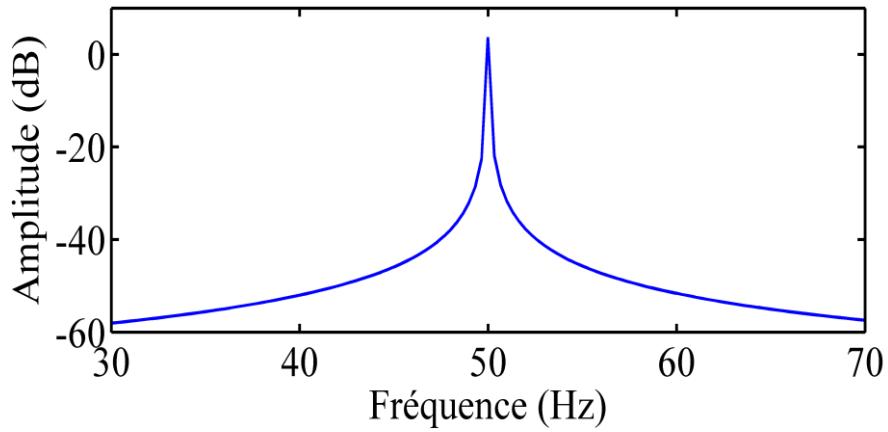


Figure.III.3 : Spectre du courant statorique dans le cas sain.

La figure.III.4, montre le spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure un barre rotorique.

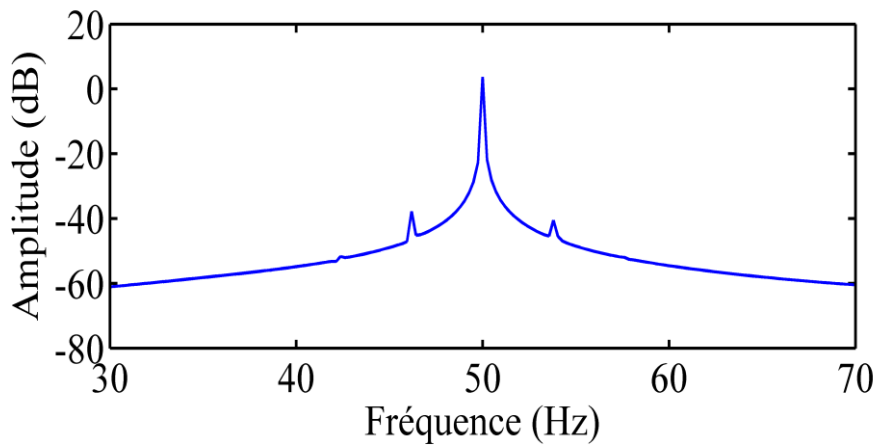


Figure.III.4 : Spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure un barre rotorique.

La figure.III.5, montre le spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure deux barres rotoriques.

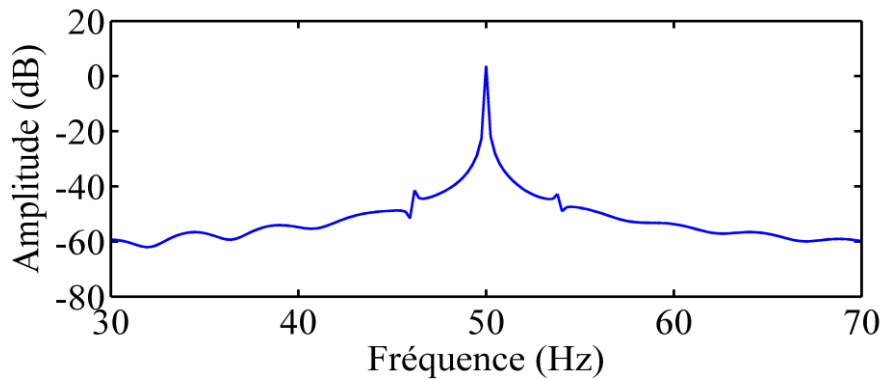


Figure.III.5: Spectre du courant statorique dans le cas d'une cassure deux barres rotoriques.

Chapitre III : Diagnostic de Défaut Cassure des Barres Rotoriques

Sur la figure.III.3 est présenté le spectre de fréquence du courant autour de 50Hz. A cet effet, il est à remarquer que lors de la simulation du moteur sain, nous n'observons aucune raie latérale. Par contre, lorsqu'une barre est rompue, on remarque l'apparition des raies latérales à 46 Hz et 54 Hz au voisinage du fondamental $f_s = 50\text{Hz}$ (voir figure.III.4 et III.5), Par ailleurs, avec l'augmentation du nombre de barres casées, on obtient des valeurs de plus en plus importantes de l'amplitude des raies. On peut conclure que l'analyse spectrale du courant statorique fait apparaître les composantes latérales par rapport à la fondamentale (à 46 Hz et 54 Hz -fréquences correspondantes à la fréquence de **Deleroi** $(1 \pm 2.g)f_s$).

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre la simulation du moteur asynchrone a été effectuée, d'une part, en présence de défaut cassure des barres rotoriques. A cet effet, nous avons constaté que les paramètres de la machine (courant, vitesse et couple) changent d'une façon considérable en présence des défauts. En effet, la cassure de barres, fait apparaître des oscillations sur le courant, le couple et la vitesse. En plus, l'analyse harmonique des courants statoriques permet de constater une corrélation entre le défaut et les amplitudes des composantes à la fréquence $f_s(1 \pm 2.g)$.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur le diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée en utilisant la transformée de Fourier rapide (TFR).

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les principaux éléments constituant de la machine asynchrone à cage d'écureuil, les différents défauts de cette machine avec leurs causes.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté un modèle permettant la simulation de moteur asynchrone triphasée à cage. Ce modèle nous a permis de bien modéliser et simuler les défauts de cassure de barres rotoriques. Les résultats de simulation ont confirmé les performances de notre modèle.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté une étude plus détaillée de la transformée de Fourier rapide (*TFR*) où nous avons tirés les avantages de cette méthode au régime non stationnaire.

Bibliographie

- [1] Dehar Kheir eddine, Oudaa Cheikh, « Comparaison entre la Technique Vibratoire et la Technique du Courant Statorique. Application au Diagnostic des Moteurs Asynchrone », thèse de master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Mohamed Boudiaf, Oran, Algérie, Juin 2018.
- [2] G. Zwinglstein, « Diagnostic des Défaillances. Théorie et Pratique pour les Systèmes industriels », Edition Hermes, Paris, 1995.
- [3] Pr. Ahmed Bellaouar, « Fiabilité Maintenabilité Disponibilité », polycopié, Cours FMD, Université Constantine I, Algérie, 2013.
- [4] Ryad Zemouri, « Contribution à la Surveillance Des Systèmes de Production à l'aide Des Réseaux de neurones dynamiques : Application à la Maintenance », thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, France, Novembre 2003.
- [5] M. Khov, « Surveillance et Diagnostic des Machines Synchrones à aimants Permanents, Détection des Court-circuit par suivi paramétrique », thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, Décembre 2009.
- [6] Mahgoun Hafida, « Analyse Non Stationnaire Des Signaux Vibratoire Dans La Surveillance Des Machines et la Prévention des Défaillance », thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, Juin 2013.
- [7] Baba Fatima, « Contribution à la Modélisation et à La Commande de la Machine Asynchrone : Application au diagnostic des défauts statoriques », thèse de doctorat, Université Constantine 1, Algérie, Juin 2014.
- [8] Bouzaouit Azzedine, « Influence de la Vibration sur la Durée de Vie des Roulements », thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 2008.
- [9] K. Merah, « Diagnostique des Défauts de Roulement d'un Moteur par Analyse Vibratoire (Etude Comparative avec l'Analyse du Courant Statorique) », thèse de magistère, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Algérie, 2016.
- [10] GGB « Bearing Technology », www.ggbearings.com
- [11] Yassa Nacera, « Modélisation des Machines Asynchrones Dédiées au Diagnostic des Défauts de Court-Circuit Inter- Spires et des Cassures de Barres et d'Anneaux », thèse de magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, Mai 2009.
- [12] Saidji Rebiha, Abdellouad Samia, « L'Impact des Défauts de l'Onduleur Triphasé sur le Diagnostic du Moteur Asynchrone », mémoire de master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Algérie, Juin 2017.
- [13] Andrian Ceban, « Méthode Globale de Diagnostic des Machines Electriques », thèse de doctorat, Université d'Artois, France, Février 2012.

- [14] O. V. Thorsen and M. Dalva, « A survey of Faults on Induction Motors in Offshore Oil Industry, Petrochemical Industry, Gas Terminals, And Oil Refineries » Industry Applications, IEEE Transactions on, vol. 31, pp. 1186-1196, 1995.
- [15] W. T. Thomson, « A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques For Three-Phase Squirrel Cage Induction Motors–Past, Present and Future », in 2nd IEEE International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives - SDEMPED '99, pp. 3-17, Gijon, Spain, 1999.
- [16] A. H. Bonnett and C. Yung, « Increased Efficiency Versus Increased Reliability» Industry Applications Magazine, IEEE, vol. 14, pp. 29-36, 2008.
- [17] Didier G, « Modélisation et Diagnostic de la Machine Asynchrone en Présence de Défaillance », thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-1, France, 2004.
- [18] Isri Imen, Seddik Asmaa Khadidja, « Diagnostic des Défauts de Roulements d'un Moteur Asynchrone par la Technique Vibratoire et la Technique du Courant Statorique », mémoire de master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Juin 2017.
- [19] Radouane BOUSSEKSOU, «Modélisation analytique des machines Asynchrone application au diagnostic », mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, 2007.
- [20] A, Aboubou, «Contribution au Diagnostic des Défauts et Condition De Surveillances des Machines à Induction », Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider de Biskra, 2005.
- [21] Andrzej, M. Trzynadlowsk, and Ritchie, «Comparative Investigation of Diagnostic Media for Induction Motors: A Case of Rotor cage Faults», IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol, 47, No. 5, October 2000.
- [22] R.Casimir, «Diagnostic des Défaut des Machines Asynchrones par Reconnaissance des Formes », Thèse de Doctorat, L'Ecole Centrale de Lyon, Décembre 2003.
- [23] G. Didier, «Modélisation et Diagnostic de la Machine Asynchrone en Présence de Défaillances » Thèse de doctorat, Université de Henri Poincaré, Nancy-I, Octobre2004.
- [24] Y. Khaled, «Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée par une Approche signal », Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra 2010.
- [25] K. Abdelfattah, «Etude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts», Mémoire magister université FERHAT ABBAS – SETIF UFAS 11 / 04 / 2009.
- [26] Z. Ahmed, «Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée», Mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.

Résumé

L'utilisation de la machine asynchrone est la plus croissante dans les différents domaines industriels. Pour cela, la nécessité impose plusieurs projets de maintenance et la détection des défauts de ces moteurs.

Notre étude porte sur la présentation de la machine asynchrone et les différents défauts qu'ils peuvent réduire le bon fonctionnement de cette dernière. Une modélisation en multi enroulements et la méthode de la transformée de Fourier rapide ont été présentées pour diagnostiquer les défauts de cassure de barres rotoriques de moteur asynchrone à cage.

Mots-clés: Machine asynchrone, Diagnostic, Défauts, Modèle multi-enroulements, TFR.

Abstract

The use of the asynchronous machine is the most increasing in different industrial fields. For this, the need imposes several maintenance projects and the detection of faults of these engines.

Our study focuses on the presentation of the asynchronous machine and the various faults that they can reduce the proper functioning of the latter. A multi-winding modeling and the fast Fourier transform method were presented to diagnose the fracture faults of rotor bars of asynchronous squirrel cage motors.

Keywords: Asynchronous machine, Diagnosis, Faults, Multi-winding model, TFR.

ملخص

يعد استخدام الآلة غير المتزامنة هو الأكثر تزايداً في المجالات الصناعية المختلفة. ولهذا فإن الحاجة تفرض عدة مشاريع صيانة وكشف أعطال هذه المحركات.

تركز دراستنا على عرض الآلة غير المتزامنة والأخطاء المختلفة التي يمكن أن تقلل من الأداء السليم للأخيرة. تم تقديم نمذجة متعددة اللفات وطريقة تحويل فورييه السريعة لتشخيص عيوب الكسر لقضبان الدوار لمحركات القفص السنجاي غير المتزامن.

الكلمات المفتاحية: آلة غير متزامنة ، تشخيص ، أعطال ، نموذج متعدد الملفات ، معدل الخصوبة الكلي.