

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Abderrahmane MIRA de Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER 2 en
Electromécanique

Filière : **Maintenance Industrielle**

INTITULE :

**Détection et localisation d'un défaut dans une
machine asynchrone**

Présenté par :

M : GUERCHOUCHE OUALID

M : DJENADI FAHIM

Encadré par :

M : S. TAMALOUZT

Mme: L. BOUHAFS

Promotion : 2022/2023

REMERCIEMENT

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier
vivement : Dieu qui nous a donné la force de terminer
cette étude.*

*A notre promoteur «Madame bouhafs et tamalouzd
» pour son aide et pour ces orientations précieuses.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des
enseignants d'université de l'électromécanique qui
ont contribué à notre formation.*

*Nous tenons enfin à remercier tous ceux qui nous ont
aidé de loin ou de près pour l'élaboration de ce
projet.*

Dédicace

**A celui qui m'a indiqué la bonne voie en
me rappelant que la volonté fait
toujours les grands hommes...**

à mon Père (paix à son âme inshallah).

**A celle qui a attendu avec patience les
fruits de sa bonne éducation,...**

à ma Mère.

Ainsi qu'à toute la famille.

Sans oublier ceux qui m'ont aidé.

Djenadi Fakim

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- L'esprit de ma très chère mère.***
- La mémoire de mes grands parents.***
 - Mon très cher père.***
 - Mes soeurs et mes frères.***
 - Toute ma famille.***
- Sans oublier ceux qui m'ont aidé.***

Guerchonche oualid

Sommaire

Introduction générale :

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I :

I.1. Introduction :	2
I.2. Etat de l'art de la Machine Asynchrone à rotor bobiné :	2
I.2.1. Définition de la machine asynchrone :	2
I.2.2. Constitution de la machine asynchrone	2
I.2.2.a. Le stator :	3
I.2.2.b. Le rotor :	5
I.2.3. Les différents types des machines asynchrones	5
I.2.3.a. stator :	5
I.2.3.b. rotor :	5
I.2.4. Domaine d'application de la machine asynchrone	8
I.2.5. Avantages et inconvénients de la machine asynchrone	8
I.3. Le diagnostic:	8
I.3.1. Définition :	8
I.3.2. Approche de diagnostic :	8
I.3.3. Approche modèle :	9
I.3.4. Approche signal :	9
I.3.5. Approche basé sur la connaissance :	9
I.4. Différentes défaillances au niveau de MAS :	9
I.4.1. Définition :	9
I.4.2. Défaillance mécanique	10
I.4.2.1. Défauts de roulements à billes :	10
I.4.2.2. Défauts d'excentricité	11
I.4.2.3. Défaut de balourd	11
I.4.3. Défaillance électrique :	12
I.4.3.1. Défaillance au stator :	12
I.4.3.2. Défaillance au rotor:	13

I.5. Les Technique utilisées pour la détection des défaillances des machines électriques :	14
I.5.1. Analyse des courants :	14
I.5.2.L'analyse du vecteur de Park :	14
I.5.3. Analyse spectrale de la puissance instantanée statorique :	14
I.5.4. Estimation paramétrique :	14
I.5.5. Reconnaissance des formes :	15
I.5.6. Analyse temps-fréquence et temps-échelle	15
I.6. Conclusion :	15

Chapitre II :

II.1 Introduction :	16
II.2 Hypothèses simplificatrices d'étude :	16
II.3 Modèle de la MAS triphasée dans le repère naturel (abc)	16
II.3.1 Equations électriques	16
II.3.2 Equations magnétiques	17
II.3.3 Equation du couple électromagnétique:	19
II.4 Modélisation et simulation des résultats de la MAS dans le repère naturel abc	19
II.5 Simulation et interprétations des résultats.....	19
II.6 Analyse spectral dans le repère (abc)	22
II.6.1 Analyse spectral de courant statorique de la phase 1 (as)	22
II.6.2 Analyse spectral du couple et de la vitesse	23
II.7 Conclusion.....	24

Chapitre III :

III.1. Introduction :	25
III.2. cas de défaut d'ouverture d'une phase rotorique (Déséquilibre électrique)	25
III.3 Analyse spectrale des résultats obtenus en présence de défaut rotorique	27
III.4 Modélisation et simulation de la MAS en tenant compte d'un court-circuit entre spires dans une phase statorique	27
III.4.1 Modèle du MAS avec défaut de court-circuit entre spire de la même phase dans le repère naturel (abc)	28

III.4.1.1. Equations magnétiques	30
III.4.1.2. Equation du couple électromagnétique	32
III.4.2 Simulation du MAS en présence d'un court-circuit entre spire au stator:	32
III.5 Analyse spectrale des résultats de simulation de la MAS dans le model (abc) en présence d'un défaut au stator	36
III.6. Conclusion	39

CONCLUSION GENERALE :

CONCLUSION GENERALE.....	40
--------------------------	----

Liste de figure:

Chapitre I :	
Figure I.1:Déférent partie du moteur asynchrone.....	03
Figure I.2: Photo de stator.....	03
Figure I.3 : Photo de rotor.....	04
Figure I.4 : Structure d'un Rotor en cage d'écureuil.....	05
Figure I.5 : structure d'un rotor bobiné.....	06
Figure I.6 : les composantes d'un roulement à bille.....	10
Figure I.7 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique.....	11
Figure I.8 : Défaut de balourd.....	11
Figure I.9 : représentation des différents défauts statoriques possibles.....	12
Chapitre II :	
Figure II.1 : Allures des courants statoriques.....	20
Figure II.2 : Allure de la vitesse de rotation.....	21
Figure II.3 : Allure du couple électromagnétique.....	21
Figure II.4 : Spectre du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état sain.....	22
Figure II.5 : Spectre de Hilbert du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état sain.....	22
Figure II.6 : Spectre de la vitesse à l'état sain.....	23
Figure II.7 : Spectre du couple électromagnétique à l'état sain.....	23
Chapitre III :	
Figure III.1 : Allures des courants statoriques.....	25
Figure III.2 : Allure de la vitesse de rotation.....	26
Figure III.3 : Allure du couple électromagnétique.....	26
Figure III.4 : Spectre du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état sain.....	27
Figure. III.5: Modèle général d'un court-circuit entre spires dans la phase	28
Figure III.6 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 5%.....	33
Figure III.7 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 10%.....	33
Figure III.8 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 25%.....	34
Figure III.9 : Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 5%.....	34

Figure III.10 : Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 10%.....	35
Figure III.11: Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 25%.....	35
Figure III. 12 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 5%.des spires d'une seule phase Statorique.....	36
Figure III.13 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 10% des spires d'une seule phase Statorique.....	37
Figure III.14 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 25% des spires d'une seule phase Statorique.....	37
Figure III.15 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court - circuit de 5% des spires d'une seule phase Statorique.....	38
Figure III.16 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court - circuit de 10% des spires d'une seule phase statorique.....	38
Figure III.17 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court - circuit de 25% des spires d'une seule phase statorique.....	39

Liste de symbole :

MAS : machine asynchrone

f_s : Fréquence des grandeurs statorique

f_r : Fréquence des grandeurs rotorique

R_s : Résistance des enroulements statoriques.

R_r : Résistance des enroulements rotoriques

L_s : Inductance propre d'une phase statorique

L_r : Inductance propre d'une phase rotorique

M_s : Inductance mutuelle entre deux phases du stator.

M_r : Inductance mutuelle entre deux phases du rotor

L_r : Inductance cyclique d'une phase rotorique

L_s : Inductance cyclique d'une phase statorique

a_s, b_s, c_s : Correspondent aux trois phases du stator.

a_r, b_r, c_r : Correspondent aux trois phases du rotor.

A,b,c: Indice correspondants aux trois phases

r,s :Indice du stator, du rotor

σ : Coefficient de dispersion.

d: Indice de l'axe direct.

q: Indice de l'axe en quadrature.

o: Indice de l'axe homopolaire.

[A]: Matrice de Park.

$[A]^{-1}$: Matrice inverse de Park.

θ_s : Position de stator (rad).

θ : Position entre l'axe statorique a_s et l'axe rotorique a_r (rad).

θ_s : Position électrique de rotor (rad).

ω_s : Pulsation statorique.

ω_r : Pulsation rotorique.

ω_{sr} : Pulsation électrique des grandeurs rotoriques (Pulsation de glissement).

ω_m : vitesse angulaire de rotation du rotor.

$[M_{rs}]$: Matrice des inductances mutuelles entre les phases du stator et du rotor (H).

M: Inductance mutuelle entre phases statoriques et rotoriques (H).

$[v_{as} \ v_{bs} \ v_{cs}]^t [v_{ar} \ v_{br} \ v_{cr}]^t$: Vecteurs des tensions statoriques et rotoriques (V).

$[i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}]^t [i_{ar} \ i_{br} \ i_{cr}]^t$: Vecteurs des courants statoriques et rotoriques (A).

$[\psi_{as} \ \psi_{bs} \ \psi_{cs}]^t [\psi_{ar} \ \psi_{br} \ \psi_{cr}]^t$: Vecteurs des flux statoriques et rotoriques (Wb).

ψ_{sn} : Flux statorique nominal (Wb).

C_e : Couple électromagnétique (N.m).

$C_{em} C_f C_r$: Couple électromagnétique, couple résistant et couple de frottement

C_r : Couple résistant (N.m).

J: Moment d'inertie des parties tournantes (Kg.m^2).

f : Coefficient de frottement (N.m.sec/rad).

p: Nombre de paires de pôles.

t: Temps

$\frac{d}{dt}$: Opérateur de Laplace.

$[P(\theta)]$: Matrice de Park

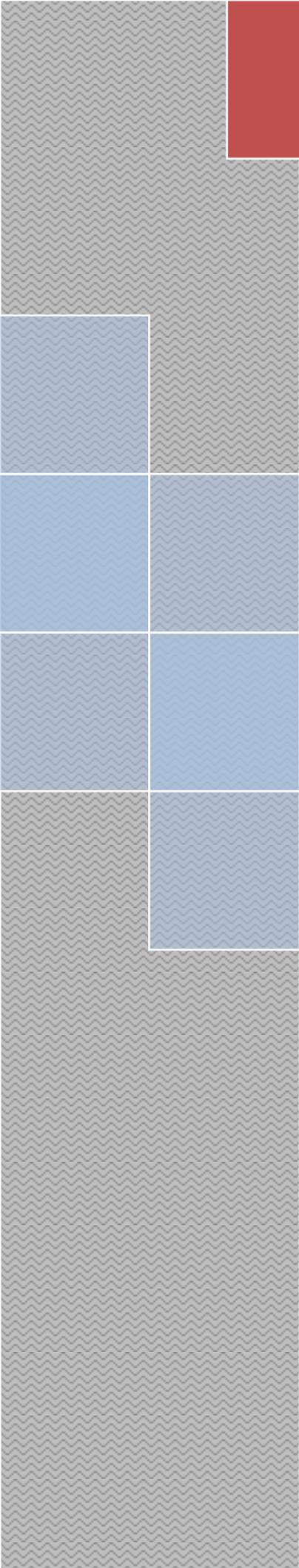
$[P(\theta)]^{-1}$: Matrice inverse de Park

ψ : Respectivement flux statorique et rotorique.

$\Phi_r \ \Phi_s$: Flux statorique, rotorique.

Liste des tableaux

Tableau 01: vitesse de rotation selon le nombre de paires de04



Introduction générale



Introduction générale

Dans ce mémoire, nous aborderons le sujet du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones à rotor bobiné, qui sont largement utilisés dans l'industrie. Un programme de maintenance comprenant des mesures correctives, préventives et conditionnelles est essentiel pour assurer le bon fonctionnement et la continuité de service de ces machines.

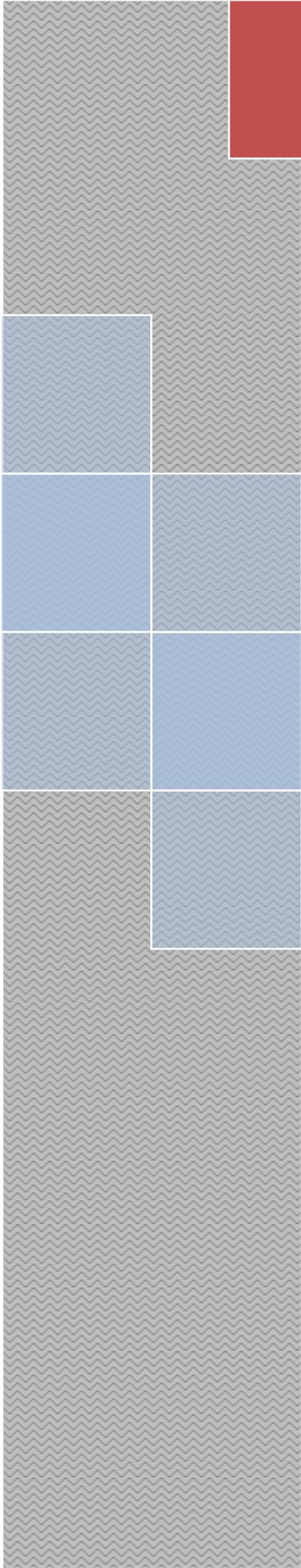
Nous examinerons les différentes techniques de détection de défauts dans les machines électriques, telles que l'analyse du courant et des vibrations. Cette approche nécessite la connaissance de l'état sain de la machine afin de comparer les signatures de l'état suspect avec celles de l'état de référence. Le mémoire est divisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous effectuerons une revue approfondie du fonctionnement des moteurs asynchrones et examinerons les différentes causes et natures des défauts auxquels ils peuvent être confrontés. Nous étudierons également les méthodes de diagnostic existantes, en mettant en évidence leurs avantages et leurs limitations. Cela nous permettra de dresser un état de l'art sur le sujet, mettant en évidence les lacunes qui apparaissent et apporter des améliorations.

Le deuxième chapitre de notre mémoire se concentre sur la modélisation d'un moteur asynchrone à rotor bobiné. Nous présenterons le modèle mathématique de la machine, décrivant les équations électriques, magnétiques et mécaniques dans son référentiel triphasé naturel (abc). Nous effectuerons des simulations numériques pour mettre en évidence les caractéristiques spécifiques de ces machines, en se concentrant sur les réponses électriques, magnétiques et mécaniques en cas de défauts au niveau du rotor.

Le troisième chapitre de notre étude se concentre sur la modélisation et la simulation de la machine asynchrone à rotor bobiné en présence de différents défauts au niveau du rotor et du stator, en utilisant le référentiel réel. Nous étudierons les changements induits par ces défauts sur les caractéristiques électriques, magnétiques et mécaniques de la machine, en mettant l'accent sur les signatures caractéristiques permettant le diagnostic des défauts.

En résumé, notre mémoire contribue à l'amélioration du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones à rotor bobiné en se concentrant sur les défauts au niveau du rotor. Nous allons donner des méthodes de détection fondées sur l'analyse du courant et des vibrations, en utilisant une approche comparative avec l'état sain de la machine. Ces méthodes de diagnostics visent à accroître la fiabilité et les performances de ces machines essentielles à de nombreuses industries. [1]



Chapitre I :

généralité sur la MAS



I.1. Introduction

La surveillance des systèmes complexes présente un défi important. Elle est cruciale afin de prévenir les pannes et d'améliorer la sûreté de fonctionnement du système. Ainsi, la détection précoce des défauts s'avère essentiel. Non seulement il permet d'optimiser les performances et la productivité des systèmes, mais il contribue également à réduire les conséquences potentiellement catastrophiques des pannes.

Dans ce chapitre, nous abordons une étude portant sur le fonctionnement de la MAS. Nous examinons à la fois ses avantages et ses inconvénients, ainsi que les divers défauts susceptibles de se produire sur cette machine. Nous mettons en évidence les causes de ces défauts ainsi que leurs effets sur le comportement de la machine. De plus, nous présentons brièvement les techniques de détection et de diagnostic couramment utilisées pour identifier ces différents défauts.

I.2. Généralités sur la Machine Asynchrone à rotor bobiné

I.2.1. Définition de la machine asynchrone

Un moteur à induction, également connu sous le terme "anglo-saxon", est un moteur à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone vient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence du courant qui la traverse. L'émergence de l'électronique de puissance. On les retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans les transports (métro, train, propulsion navale), l'industrie (machines-outils), l'électroménager. Ils n'étaient à l'origine utilisés que comme moteurs électriques, mais en raison du développement de l'électronique de puissance, ils sont de plus en plus utilisés comme générateurs. C'est le cas, par exemple, des éoliennes.

Pour fonctionner sur courant monophasé, ces machines nécessitent un système de démarrage. Pour les applications de puissance supérieure à quelques kilowatts, les moteurs asynchrones sont uniquement alimentés par un système à courant triphasé.[6]

I.2.2. Constitution de la machine asynchrone

Les moteurs asynchrones sont les moteurs les plus couramment utilisés car ils nécessitent peu d'entretien, sont relativement peu coûteux et sont de construction relativement simple, et sont également connus pour leur standardisation et leur robustesse. Dans la Figure I.1, nous montrons les différentes parties du moteur asynchrone

L'intérieur du stator constitue essentiellement de :

- Un noyau en fer feuilleté de manière à canaliser le flux magnétique,
- Les enroulements (ou bobinage en cuivre) des trois phases logés dans les encoches du noyau.

Les enroulements sont au nombre minimum de trois décalés l'un de l'autre de 120° dans un moteur triphasé

Lorsque l'enroulement du stator traverse le courant triphasé. Ceux-ci génèrent un champ magnétique qui tourne à une vitesse synchrone. La vitesse de synchronisation dépend de la fréquence et du nombre de paires de pôles du réseau d'alimentation. Parce que la fréquence est fixe. La vitesse de rotation du champ tournant du moteur ne peut varier qu'en fonction du nombre de paires de pôles.

Paires de pôles	1	2	3	4	6
Nombre de pôles	2	4	6	8	12
Vitesse [tr/min]	3000	1500	1000	750	500

Tableau I.1: Vitesse de rotation selon le nombre de paires de pôles

I.2.2.2. Rotor :

Le rotor du moteur supporte des enroulements similaires au stator MAS, les enroulements triphasés sont décalés de $2\pi/3$, et le nombre de pôles est le même que le stator MS. Les 3 enroulements sont couplés en étoile et court-circuités entre eux. Ce type de rotor est dit bobiné, mais on peut envisager un rotor plus basique constitué de barres conductrices court-circuitées aux deux extrémités par des anneaux conducteurs.

Le rotor bobiné est constitué de bobines reliées à des bagues de rotor. Ces bobines sont généralement fabriquées avec des conducteurs en cuivre isolés électriquement les uns des autres. [6]



Figure I.2: Photo du rotor.

I.2.3. Différents types des machines asynchrones :

I.2.3.1. Moteur asynchrone à cage d'écureuil :

C'est le plus courant. Inventé au début des années 1890, ce type de rotor est constitué de tôles ferromagnétiques et de barres conductrices régulièrement réparties sur la circonférence du rotor. Les bandes sont reliées les unes aux autres par des anneaux de court-circuit. La plaque ferromagnétique sert à guider les lignes de flux, tandis que le barreau magnétique sert à contenir le courant d'induit. Pour les machines de faible puissance, le rotor est constitué d'un empilement de tôles découpées et isolées les unes des autres (laminées), dans lesquelles un matériau conducteur est injecté pour former les tiges et les anneaux de court-circuit. Pour les machines à forte puissance, insérez la barre dans le rotor, puis soudez ou brasez la bague de court-circuit à la barre. Le matériau constituant la tige et l'anneau de court-circuit est généralement un alliage à base d'aluminium, du cuivre ou du laiton peuvent également être utilisés. Habituellement les tiges sont légèrement inclinées selon l'axe du rotor de sorte que le nombre de tiges en dessous de la phase statorique est constant quelle que soit la position du rotor. Ce processus réduit la variation de la réluctance du circuit magnétique (ou « effet d'encoche ») pendant la relation du rotor, réduisant ainsi les oscillations de couple. C'est cette inclinaison des encoches qui donne à l'ensemble tige et anneau de court-circuit la forme d'une cage d'écureuil déformée. Les moteurs à cage d'écureuil sont de loin les plus utilisés : ils représentent 80% à 85% des environnements industriels

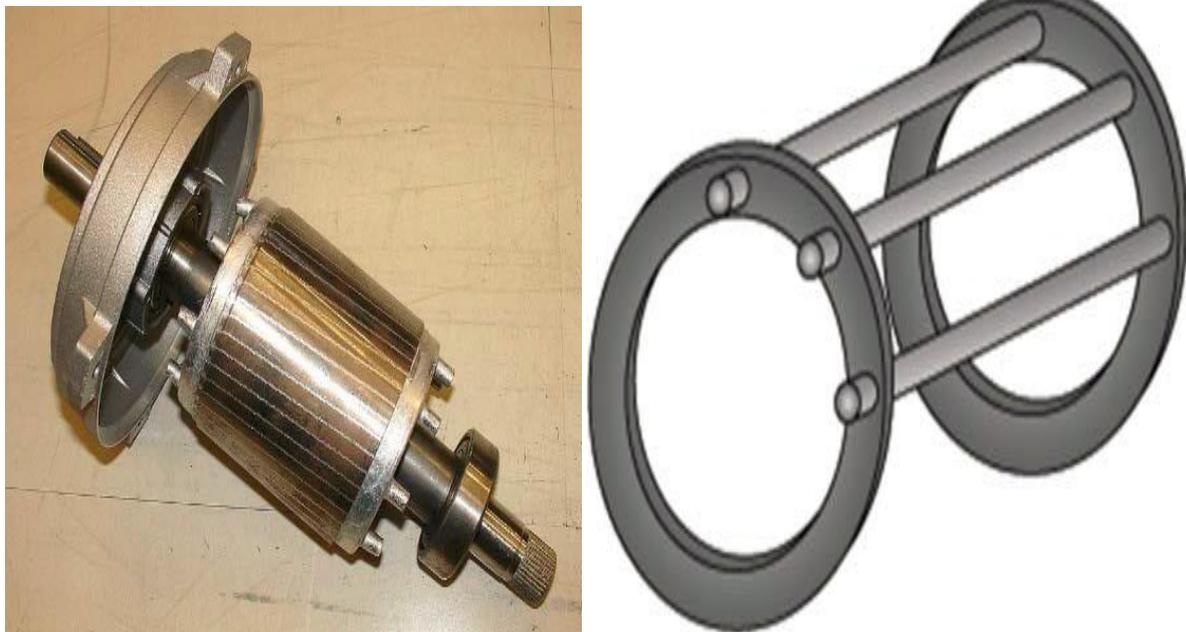


Figure I.5 : Structure d'un Rotor en cage d'écureuil.

I.2.3.2. Moteur asynchrone à rotor bobiné :(rotor à bague)

Avec l'avènement de contrôleurs électroniques de plus en plus performants, l'utilisation des moteurs à rotor bobiné dans les applications à vitesse variable tend à diminuer au profit des moteurs à cage d'écureuil associés à des variateurs de vitesse à commande vectorielle. Le flux permet de modifier la vitesse nominale du moteur. Ces anneaux fournissent des connexions électriques aux bobines du rotor. Ce type de rotor est conçu pour modifier la résistance du rotor en insérant une résistance en série avec la bobine pour obtenir le démarrage du rotor. Le dispositif permet ensuite de modifier la vitesse avec une efficacité acceptable grâce à un processus appelé cascade hypo synchrone.

Le coût élevé et l'avènement des variateurs de fréquence ont rendu ce type de machine obsolète. Comme le montre la figure 06 ci-dessous, les enroulements du rotor bobiné sont reliés à trois bagues collectrices montées sur l'arbre du moteur.

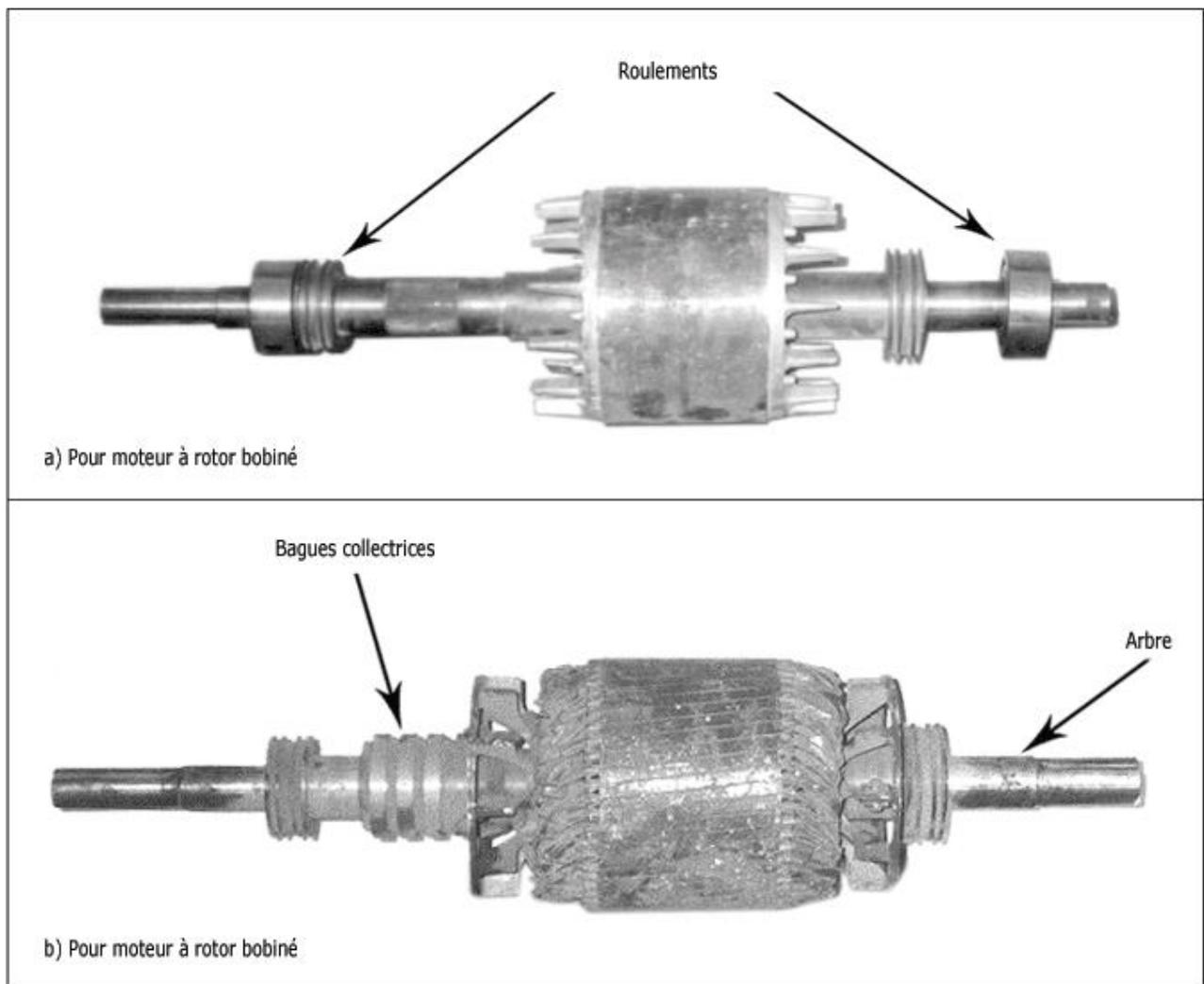


Figure I.6 : structure d'un rotor bobiné.

I.2.3.3. Moteur asynchrone a double cages :

Le rotor est fabriqué selon le principe du rotor à cage unique, mais avec deux cages électriquement indépendantes. La cage extérieure autour du rotor est en matériau résistif (laiton, bronze) à dispersion magnétique. La cage en cuivre interne a une faible résistivité et une dispersion magnétique importante.

I.2.3.4. Moteur asynchrone double encoches ou encoche profonde :

Ces rotors à cage utilisent l'effet de peau dans les conducteurs pour modifier la résistance du rotor en fonction de la vitesse de fonctionnement de la machine. L'effet de peau est un phénomène électromagnétique, ce qui signifie que plus la fréquence du courant est élevée, plus le courant a tendance à ne circuler qu'à la surface du conducteur. [11]

I.2.4. Domaine d'application de la machine asynchrone :

- Traction électrique
- Propulsion des navires
- Propulsion électrique automobile
- Machines-outils
- Ascenseur
- Treuil
- Pompes
- Electroménager
- Chariots élévateur

I.2.5. Avantage de la machine asynchrone :

- Robustesse : Les machines asynchrones sont connues pour leur robustesse et leur fiabilité. Elles sont capables de fonctionner dans des conditions importantes, telles que des variations de tension et de charge, sans subir de dommages.
- Coût : Les moteurs asynchrones sont généralement moins chers à fabriquer et à entretenir que d'autres types de moteurs, tels que les moteurs synchrones ou les moteurs à courant continu. Ils sont donc largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et commerciales.
- Maintenance réduite : Étant donné qu'il n'y a pas de contacts électriques directs entre le rotor et le stator, il n'est pas nécessaire d'entretenir régulièrement les balais ou les collecteurs. Cela a réduit les besoins en maintenance et les coûts associés.
- Fonctionnement à vitesse variable : Les machines asynchrones peuvent être utilisées avec des variateurs de fréquence pour régler la vitesse de rotation du moteur. Cela permet un contrôle précis de la vitesse dans de nombreuses applications, telles que les systèmes de ventilation et les convoyeurs.

I.2.6. Inconvénients de la machine asynchrone :

- Faible rendement à faible charge : Les moteurs asynchrones ont un rendement inférieur à faible charge par rapport à d'autres types de moteurs, tels que les moteurs synchrones. Cela signifie qu'ils peuvent être moins efficaces lorsque la charge est légère ou variable.
- Couple de d Fonctionnement à vitesse variable : Les machines asynchrones peuvent être utilisées avec des variateurs de fréquence pour régler la vitesse de rotation du

moteur. Cela permet un contrôle précis de la vitesse dans de nombreuses applications, telles que les systèmes de ventilation et les convoyeurs.

I.3. Diagnostic:

I.3.1. Définition :

Diagnostic c'est l'identification d'un état d'après des symptômes et le domaine de la recherche en ingénierie qui se concentre sur le diagnostic des défauts des machines pour détecter d'éventuels problèmes dans ces machines. Dans la plupart des cas, ce diagnostic est établi en analysant les signaux des machines en marche. Afin d'identifier d'éventuelles erreurs pouvant entraîner des dysfonctionnements, différentes méthodes de collecte de données sont utilisées. Les diagnostics sont effectués uniquement lorsque la surveillance détecte des anomalies ou des changements significatifs dans les signaux.

I.3.2. Approche de diagnostic :

La surveillance de l'état et la détection des défauts des machines électriques utilisent une grande variété de méthodes et d'analyses. Les techniques de diagnostic peuvent être classées en trois grandes catégories : les méthodes basées sur des modèles, les méthodes basées sur l'analyse du signal et les méthodes basées sur les connaissances. Chacune de ces méthodes fournit une méthode spécifique pour détecter et diagnostiquer les défauts en utilisant des modèles mathématiques, des caractéristiques du signal mesuré ou une connaissance experte du système.

I.3.1.1. Approche modèle :

Ils sont connus par une approche terminologique basée sur la redondance analytique. Ces méthodes sont basées sur des signaux d'entrée, des signaux de sortie et selon des modèles mathématiques développés, des méthodes de détection génèrent des estimations des paramètres du système pour les utiliser pour le diagnostic.

I.3.1.2. Méthode de signalisation :

La présence de défauts sur le système étudié produit des variations harmoniques au niveau spectral du signal. Les méthodes de signalisation reposent sur la collecte et l'analyse de données de processus mesurables pour permettre la détection et l'identification des défauts. De nombreux outils de traitement du signal permettent de caractériser l'origine des défauts à partir des spectres

I.3.1.3. Approche basée sur les connaissances :

Dans certaines applications industrielles où la complexité du système rend difficile l'obtention d'un modèle précis, des méthodes de diagnostic sans modèle sont utilisées. Ces méthodes exploitent les informations préalables de l'expérience précédente et utilisent une connaissance explicite des symptômes, des défauts et des relations causales entre les défauts. elles peuvent identifier les causes potentielles des défaillances du système sur la base de corrélations directes entre les effets observés et les causes possibles. Ces techniques sont particulièrement utiles pour établir des liens entre les symptômes et les défaillances sans avoir besoin de modèles de système détaillés. [1]

Les signatures de défauts obtenues par modélisation sont généralement classées dans une

base de données afin qu'elles puissent être traitées comme des connaissances préalables pour le diagnostic. Les techniques utilisées comprennent :

- La reconnaissance de forme ;
- Les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques ;
- Les systèmes experts.

I.4. Différentes défaillances au niveau de la MAS :

I.4.1. Définition :

Une défaillance est l'incapacité d'un composant à remplir sa fonction requise avec les performances définies dans la spécification technique. La collection n'est pas disponible après un échec.

L'ingéniosité peut se présenter sous de nombreuses variétés, et elles se répartissent en trois grandes catégories :

➤ **Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts :**

surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problèmes d'isolation, sur voltage d'alimentation....

➤ **Les amplificateurs des défauts :**

surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbé (instabilité de la tension ou de la fréquence, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement....)

➤ **Les erreurs humaines :**

défauts de fabrication, défektivité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine...

I.4.2. Défaillance mécanique :

I.4.2.1. Défauts de roulements à billes :

Les roulements à billes servent d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. De plus, ils représentent les éléments qui fixent l'arbre de la machine pour assurer la rotation correcte du rotor. La panne qui provoque les roulements à billes est plus fréquente sur les machines à haute puissance. Elle est généralement liée à l'usure des roulements et plus précisément à la dégradation des billes ou des bandes de roulement. Les raisons possibles sont :

- L'usure due au vieillissement ;
- La température de fonctionnement élevée ;
- La perte de lubrification ;
- L'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement) ;
- Le défaut de montage ;
- Les courants d'arbres ;
- Décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge sur le système.

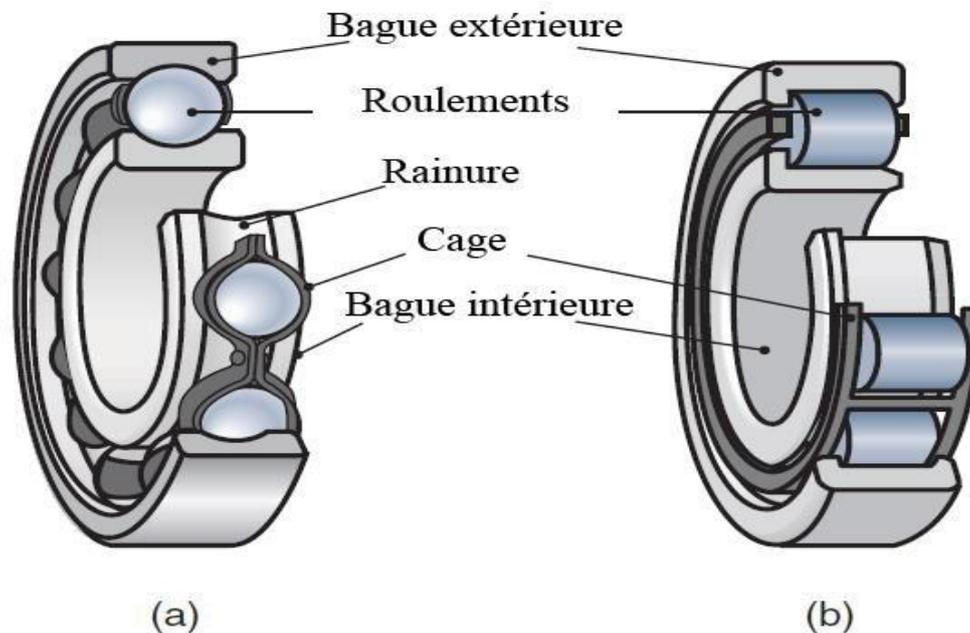


Figure I.7 : Composantes d'un roulement à bille [1]

I.4.2.2. Défauts d'excentricité :

L'excentricité est le résultat d'une inhomogénéité entre le stator et le rotor, entraînant des longueurs radiales différentes et une asymétrie d'entrefer. Cette dissymétrie se traduit par un décalage axial entre les deux composants dont l'épaisseur dépend de l'excentricité et de la longueur moyenne de l'entrefer. Les causes d'excentricité sont diverses : elles peuvent être dues à une flexion de l'arbre, à une usure, à un désalignement des roulements, à un mauvais positionnement du rotor ou du stator lors du montage, à une ellipse à l'intérieur du rotor ou du stator, ou à un moteur tournant au-delà de la vitesse limite provoquant une résonance

- **L'excentricité statique**

Dans ce type d'excentricité, la position de l'épaisseur minimale de l'entrefer est fixe dans l'espace. Cela pourrait être dû à un ovale à l'intérieur du stator ou à un mauvais positionnement du rotor ou du stator pendant la phase de construction. Cependant, le niveau d'excentricité statique ne change pas, si les composants entre rotor et l'arbre est rigide.

- **L'excentricité dynamique :**

Pour l'excentricité dynamique, le centre du rotor n'est pas à son centre de rotation, de sorte que l'emplacement de l'épaisseur minimale de l'entrefer tourne avec le rotor. Les causes de cette excentricité sont la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou le désalignement de roulements, la résonance mécanique à des vitesses critiques.



L'excentricité statique



l'excentricité dynamique

Figure I.8 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique

I.4.2.3. Défaut de balourd :

Le balourd est l'une des principales causes de vibrations dans les machines tournantes. Il se caractérise par une répartition inégale de la masse du rotor lors de sa rotation autour de l'axe. Le principe du balourd est illustré dans la figure ci-dessous

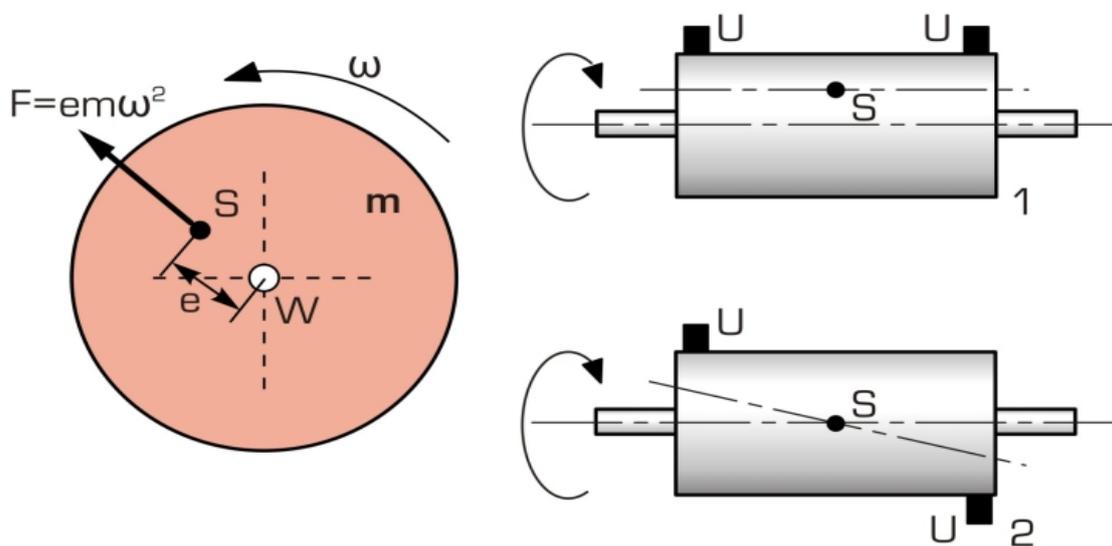


Figure I.9 : Défaut de balourd

Une mesure quantitative du balourd du rotor est obtenue en multipliant la masse de balourd m par le produit de la distance du rotor r à l'axe de l'arbre (dans le cas des roulements rigides, l'axe de rotation est l'axe de l'arbre).

La valeur ainsi calculée est appelée valeur de balourd U ou : $U = m * r$.

Les unités de valeur du balourd sont les grammes millimètres ($g \cdot mm$)

I.4.3. Défaillance électrique :

Les défauts électriques dans les machines tournantes peuvent avoir différentes origines et de multiples causes. Dans cette section, nous décrivons brièvement les différents défauts électriques rencontrés par les MAS au niveau du rotor et du stator.

I.4.3.1. Défaillance au stator :

Ces défaillances sont généralement associées à une dégradation des propriétés d'isolation électrique. Ils sont communément appelés défauts de court-circuit entre une ou plusieurs phases et/ou terres. Rappelons qu'un défaut stator peut être défini dans le schéma comme suit dans la figure.

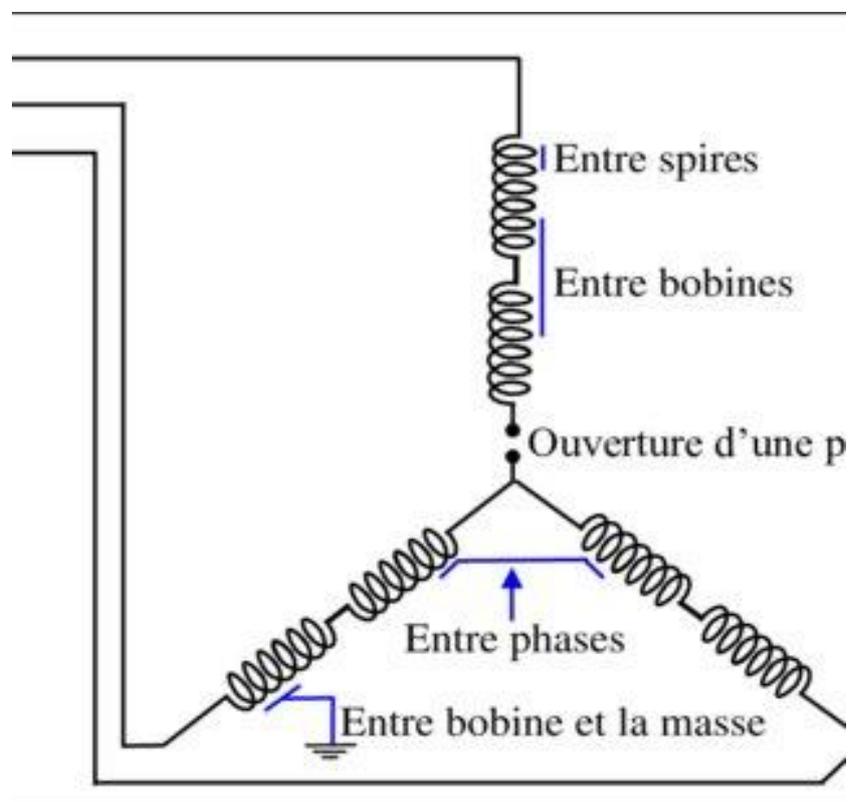


Figure I.10 : représentation des différents défauts statoriques possibles

- **Défaut d'isolation dans un enroulement**

Certains des principaux défauts pouvant entraîner un fonctionnement dégradé du système comprennent les surcharges thermiques, les vibrations mécaniques qui endommagent le stator, les pointes de tension qui peuvent réduire la fréquence et le contact électrique entre deux bobines, entraînant des problèmes de performances dégradées.

- **Court-circuit entre spires :**

Un court-circuit entre spires dans la même phase se produit de temps en temps, principalement causé par une mauvaise isolation des enroulements. Ce défaut se traduit par une augmentation du courant statorique dans la phase affectée, une légère modification de l'amplitude des autres phases, une modification du facteur de puissance et une amplification du courant dans le circuit rotorique de la machine électrique tournante.

- **Court-circuit entre phases :**

La détection de tels défauts peut être basée sur des déséquilibres de courant de phase. Cela peut arriver n'importe où dans l'enroulement, mais les conséquences varient en fonction de l'emplacement du défaut. Cette caractéristique rend difficile l'analyse de l'impact d'un tel défaut sur le système.

I.4.3.2. Défaillance au rotor:

La détection de telles pannes est souvent difficile étant donné que les machines continuent de fonctionner en présence de ces pannes. Ce dernier est un effet cumulatif. Par exemple, le courant transporté par un fil rompu est réparti sur des bandes adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, provoquant leur rupture, et ainsi de suite, jusqu'à ce que suffisamment de barres se cassent pour provoquer l'arrêt de la machine. Ils provoquent également une dissymétrie dans la distribution du courant au rotor et modifient la valeur du couple électromagnétique, entraînant des vibrations et l'apparition de pannes mécaniques.

Les défauts annulaires sont courants dans les moteurs asynchrones à cage d'écureuil. Cela peut être dû à la coulée de bulles d'air ou à des différences de dilatation entre la tige et l'anneau. Une autre défaillance courante est la rupture partielle de l'anneau. En raison de la difficulté à le détecter, ce défaut est généralement regroupé. La rupture d'une partie de l'anneau peut être provoquée par une surcharge mécanique (démarrages fréquents, etc.) et une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité, etc.).[2]

I.5. Les Techniques utilisées pour la détection des défaillances des machines électriques :

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à ce sujet, donnant lieu à de nombreux travaux. Seules les méthodes de diagnostic de pannes mécaniques et électriques les plus couramment utilisées sont décrites ci-dessous.

I.5.1. Analyse des courants :

La méthode basée sur l'inspection du courant statorique est appelée "l'analyse des signatures des courants du moteur" (MCSA). La méthode consiste à détecter les défauts en étudiant certaines composantes fréquentielles. Elle est largement utilisée en raison de sa simplicité, de son faible coût et de sa partie expérimentale facile à réaliser, ce qui le rend très populaire, notamment dans la détection des défauts statoriques, en particulier les défauts de court-circuit inter-spires. Recherche sur les principales fréquences caractéristiques des principaux défauts est présentée comme suit :

I.5.2. Analyse du vecteur de Park :

Cette méthode permet le diagnostic de la machine asynchrone triphasée en calculant des courants électriques dits de Park. A partir des courants de phase i_{sa} , i_{sb} et i_{sc} les courants de Park i_d et i_q peuvent être calculés en utilisant les deux relations suivantes :

$$i_d(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} i_a(t) - \frac{1}{\sqrt{6}} i_{sb}(t) - \frac{1}{\sqrt{6}} i_{sc}(t) \quad (01)$$

$$i_q(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} i_{sb}(t) - \frac{1}{\sqrt{6}} i_{sc}(t) \quad (02)$$

I.5.3. Analyse spectrale de la puissance instantanée statorique :

La méthode est basée sur la détection des composantes fréquentielles générées sur le spectre de puissance instantanée du stator dû aux déséquilibres provoqués par des défauts affectant différentes parties de la machine. Il est possible d'exploiter le contenu spectral d'une partie de la puissance instantanée (puissance instantanée de la phase stator), qui est égale au produit du courant de ligne et de la tension de ligne

I.5.4. Estimation paramétrique : Cette approche diagnostique est basée sur un modèle de connaissance. Par conséquent, en utilisant ces paramètres structurels, il peut ensuite extraire des paramètres système des lois de connaissance pour détecter et localiser les défauts de la machine. En fait, le type de défauts que l'on veut détecter dépend du modèle de connaissance utilisé. Le modèle utilisé initialement était relativement simple

I.5.5. La reconnaissance de formes: À ce jour, peu de méthodes de diagnostic ont utilisé la reconnaissance de formes. Un vecteur de forme est un vecteur contenant plusieurs paramètres extraits de mesures. Les observations décrites par des vecteurs de forme peuvent être classées selon des règles de décision pour les modes sans fautes. Il est donc nécessaire de disposer d'une base de données permettant de classer ces observations de telles ou telles opérations (fonctionnement normal à 0% de panne et fonctionnement à 100% de panne). Une autre approche consiste à calculer les paramètres du vecteur de forme en simulant numériquement la machine étudiée.

I.5.6. Analyse temps-fréquence et échelle de temps : Ces deux techniques surviennent du fait de la non-stationnarité du signal, notamment pour les machines fonctionnant en couplage de charge variable.

***Analyse temps-fréquence :** En supposant que le courant d'un moteur asynchrone est un signal non stationnaire (cas du couple résistant variable), les techniques utilisant la transformée de Fourier ne représenteront pas adéquatement ce type de signal. Ces dernières années, les transformées temps-fréquence sont apparues, qui constituent des méthodes efficaces pour traiter les signaux non stationnaires.

En 1999, une méthode d'analyse temps-fréquence adaptative pour détecter les ruptures de barres rotoriques et les défauts de roulement a été proposée. L'idée de base de la méthode est de convertir le courant machine en une représentation temps-fréquence pour capter la variation des composantes spectrales dans le temps. Cette méthode doit être suivie d'une analyse statistique du spectre pour comparer les conditions de fonctionnement actuelles avec les conditions normales de fonctionnement de la machine.

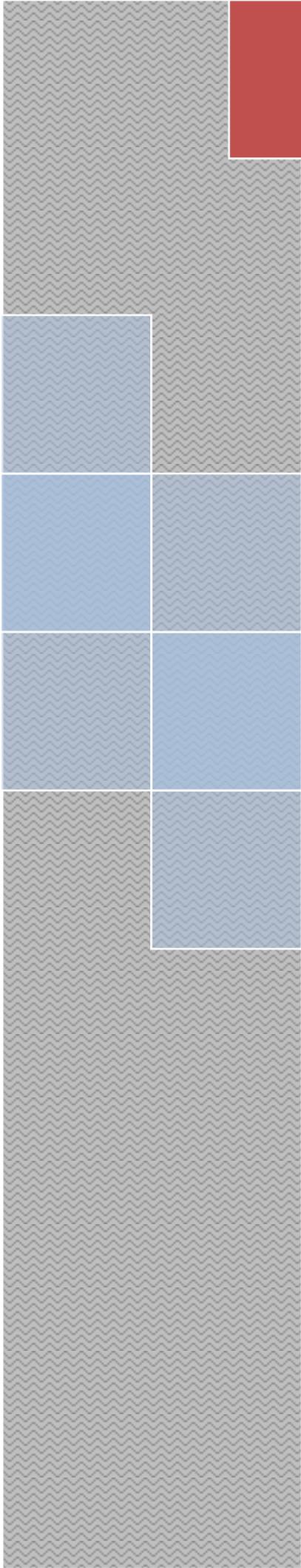
***Analyse temps-fréquence :** En supposant que le courant de la machine asynchrone est un signal non stationnaire (cas d'un couple de charge variable), les techniques utilisant la

transformée de Fourier ne seront pas suffisantes pour représenter ce type de signal. Ces dernières années, les transformations temps-fréquence ont vu le jour, constituant, ainsi, une méthode efficace pour traiter les signaux à caractère non-stationnaire.

En 1999, une méthode d'analyse temps-fréquence adaptative pour détecter les barres rotoriques cassées et les défauts de roulement a été proposée. L'idée fondamentale de cette méthode est de transformer le courant de la machine en une représentation temps-fréquence pour capturer la variation dans le temps des composantes spectrales. Cette méthode doit être suivie par une analyse statistique du spectre, pour comparer les conditions de fonctionnement actuel aux conditions de fonctionnement normal de la machine. [5]

I.6. conclusion :

.Après avoir passé en revue la généralité sur la MAS. Ce chapitre nous a permis d'acquérir une base solide de connaissances sur ce type de moteur (MAS). Nous avons pu comprendre ses avantages ,ainsi que l'importance d'un programme de maintenance adéquat. Nous avons également identifié les différentes techniques de détection de défauts, ainsi les bases nécessaires pour la suite de notre étude sur le diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones



Chapitre II: *modélisation de la MAS*



II.1 Introduction :

La modélisation d'une machine électrique est une étape cruciale dans son processus de développement. Elle revêt une importance fondamentale pour explorer et maîtriser son fonctionnement. Ce chapitre se concentre sur la modélisation d'une machine asynchrone (MAS). Nous commencerons par présenter le modèle mathématique de la machine asynchrone, dans son référentiel triphasé naturel (abc). Enfin, une simulation numérique sera effectuée qui va nous permettre de révéler les différentes caractéristiques de la MAS à rotor bobiné, d'une puissance de 15 kW, ainsi que les résultats de l'analyse spectrale des signaux correspondants, lorsque la machine se trouve dans un état de fonctionnement normal (état sain).

II.2 Hypothèses simplificatrices d'étude :

La modélisation de la MAS s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, qui sont : [12]

- Le circuit magnétique est non saturé ;
- Les pertes par hystérésis et courants de Foucault sont négligées ;
- Les forces magnétomotrices créées par chacune des phases des deux armatures sont à répartition sinusoïdale, la fmm est variable, les inductances propres sont des constantes et les inductances mutuelles entre deux enroulements sont des fonctions sinusoïdales de l'angle entre leurs axes magnétiques ;
- Les résistances ne varient pas avec la température et l'effet de peau est négligé ;
- La machine est de constitution symétrique ;
- L'entrefer est d'épaisseur uniforme et l'effet d'encochage est négligeable.

II.3 Modèle de la MAS triphasée dans le repère naturel (abc) :

II.3.1 Equations électriques :

Les équations de tensions de la MAS dans le repère abc représentent pour chaque enroulement sont données par :

$$\begin{cases} v_{as} = r_{as}i_{as} + \frac{d\psi_{as}}{dt} \\ v_{bs} = r_{bs}i_{bs} + \frac{d\psi_{bs}}{dt} \\ v_{cs} = r_{cs}i_{cs} + \frac{d\psi_{cs}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.01})$$

$$\text{Ou bien sous forme matricielle: } [v_s] = [R_s] [i_s] + \frac{d}{dt} [\psi_s] \quad (\text{II.02})$$

Pour le rotor :

$$\begin{cases} v_{ar} = v_{ar}r_{ar} + \frac{d\psi_{ar}}{dt} \\ v_{br} = v_{br}r_{br} + \frac{d\psi_{br}}{dt} \\ v_{cr} = v_{cr}r_{cr} + \frac{d\psi_{cr}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.03})$$

Ou sous forme matricielle: $[v_r] = [R_r] [i_r] + \frac{d}{dt}[\psi_r]$ (II.04)

Avec : $[v_s] = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix}$; $[v_r] = \begin{bmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{bmatrix}$: Vecteur des tensions statoriques et rotoriques respectivement;

$[i_s] = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}$; $[i_r] = \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix}$: Vecteurs des courants statoriques et rotoriques respectivement.

Les matrices des résistances statoriques et rotoriques sont :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} r_{as} & 0 & 0 \\ 0 & r_{bs} & 0 \\ 0 & 0 & r_{cs} \end{bmatrix} \text{ et } [R_r] = \begin{bmatrix} r_{ar} & 0 & 0 \\ 0 & r_{br} & 0 \\ 0 & 0 & r_{cr} \end{bmatrix}$$

Les enroulements statoriques et rotoriques étant symétriques, on aura :

$$r_{as} = r_{bs} = r_{cs} = r_s ; r_{ar} = r_{br} = r_{cr} = r_r$$

II.3.2 Equations magnétiques:

$$[\psi_s] = \begin{bmatrix} \psi_{as} \\ \psi_{bs} \\ \psi_{cs} \end{bmatrix} ; [\psi_r] = \begin{bmatrix} \psi_{ar} \\ \psi_{br} \\ \psi_{cr} \end{bmatrix}$$

Où : $[\psi_s]$ et $[\psi_r]$: Vecteurs des flux statoriques et rotoriques respectivement.

Pour un enroulement statorique ou enroulement rotorique, il faut intervenir: l'inductance propre statorique ou rotorique; les inductances mutuelles entre les deux autres phases statoriques ou phases rotoriques; les inductances mutuelles entre les trois enroulements rotoriques (statoriques) qui dépendent de la position rotorique par rapport la position statorique. Chaque flux comporte une interaction avec les courants de toutes les phases.

Exemple de la phase *a* statorique :

$$\psi_{sa} = l_s i_{as} + m_{ab} i_{bs} + m_{ac} i_{cs} + m_{aA} i_{Ar} + m_{aB} i_{Br} + m_{aC} i_{Cr} \quad (\text{II.05})$$

Sous forme matricielle pour toutes phases :

$$\begin{bmatrix} \psi_{as} \\ \psi_{bs} \\ \psi_{cs} \\ \psi_{Ar} \\ \psi_{Br} \\ \psi_{Cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & m_{ab} & m_{ac} & m_{aA} & m_{aB} & m_{aC} \\ m_{ba} & l_s & m_{bc} & m_{bA} & m_{bB} & m_{bC} \\ m_{ca} & m_{ab} & l_s & m_{cA} & m_{cB} & m_{cC} \\ m_{Aa} & m_{Ab} & m_{Ac} & l_r & m_{AB} & m_{AC} \\ m_{Ba} & m_{Bb} & m_{Bc} & m_{BA} & l_r & m_{BC} \\ m_{Ca} & m_{Cb} & m_{Cc} & m_{CA} & m_{CB} & l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \\ i_{Ar} \\ i_{Br} \\ i_{Cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.06})$$

Où :

$l_s = l_{fs} + l_{ms}$: Inductances propre, fuite et mutuelle statoriques respectivement;

$l_r = l_{fr} + l_{mr}$: Inductances propre, fuite et mutuelle rotoriques respectivement.

L'expression (4) devient :

$$\begin{bmatrix} \Psi_{as} \\ \Psi_{bs} \\ \Psi_{cs} \\ \Psi_{Ar} \\ \Psi_{Br} \\ \Psi_{Cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [M_{sr}] \\ [M_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \\ i_{Ar} \\ i_{Br} \\ i_{Cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.07})$$

$$\text{Avec : } [L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_{fs} + l_{ms} & -\frac{l_{ms}}{2} & -\frac{l_{ms}}{2} \\ -\frac{l_{ms}}{2} & l_{fs} + l_{ms} & -\frac{l_{ms}}{2} \\ -\frac{l_{ms}}{2} & -\frac{l_{ms}}{2} & l_{fs} + l_{ms} \end{bmatrix};$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_{fr} + l_{mr} & -\frac{l_{mr}}{2} & -\frac{l_{mr}}{2} \\ -\frac{l_{mr}}{2} & l_{fr} + l_{mr} & -\frac{l_{mr}}{2} \\ -\frac{l_{mr}}{2} & -\frac{l_{mr}}{2} & l_{fr} + l_{mr} \end{bmatrix};$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = \begin{bmatrix} l_m \cdot \cos(\theta_r) & l_m \cdot \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) & l_m \cdot \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ l_m \cdot \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & l_m \cdot \cos(\theta_r) & l_m \cdot \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \\ l_m \cdot \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) & l_m \cdot \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & l_m \cdot \cos(\theta_r) \end{bmatrix}$$

Où : $l_m = l_{ms} = l_{mr}$

II.3.3 Equation du couple électromagnétique :

Le couple électromagnétique s'exprime par la dérivée partielle d'énergie électromagnétique stockée par rapport à l'angle géométrique de rotation du rotor.

$$C_{em} = \frac{\partial W_e}{\partial \theta_{geo}} = p \frac{\partial W_e}{\partial \theta_{geo}} \quad (\text{II.08})$$

Avec :

$$W_e = \frac{1}{2} ([i_s]^t [\Psi_s] + [i_r]^t [\Psi_r]) \quad (\text{II.09})$$

Le couple électromagnétique est donné par l'expression suivante :

$$C_{em} = \frac{p}{2} ([i_s]^t \frac{d}{d\theta_r} [M_{SR}] [i_r] + [i_r]^t \frac{d}{d\theta_r} [M_{RS}] [i_s]) \quad (\text{II.10})$$

II.4 Modélisation et simulation des résultats de la MAS dans le repère naturel abc :

Le modèle du MAS dans le repère réel (abc) à implémenter sous MATLAB/Simulink est le suivant :

$$\frac{d}{dt} ([i_s]) = [L_{ss}]^{-1} \left\{ V_s - [R_s] \cdot [i_s] - [M_{sr}] \frac{d}{dt} ([i_r]) - P \Omega_r \frac{d}{d\theta_r} [M_{sr}] i_r \right\} \quad (\text{II.11})$$

$$\frac{d}{dt} ([i_r]) = [L_{rr}]^{-1} \left\{ -[R_r] \cdot [i_r] - [M_{rs}] \frac{d}{dt} ([i_s]) - P \Omega_r \frac{d}{d\theta_r} [M_{rs}] i_s \right\} \quad (\text{II.12})$$

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (P [i_s]^t \left\{ \frac{d}{d\theta_r} [M_{sr}] \right\} i_r - C_r - K_f \cdot \Omega_r) \quad (\text{II.13})$$

II.5 Simulation et interprétations des résultats :

Nous présentons les résultats d'une simulation de démarrage à vide de la MAS dans le model (abc) sous l'environnement MATLAB/Simulink, qui est alimentée par un système de tension triphasé (220-50Hz). Par la suite, une charge d'une valeur nominale de 100 (N.m) est appliquée à l'instant $t = 2$ s.

Les courants de phase du stator ont une forme sinusoïdale et une amplitude uniforme. Cependant, ils présentent des dépassements excessifs qui entraînent une forte demande en courant, comme indiqué dans la figure II.1. Cependant, ces dépassements disparaissent après quelques alternances, soit environ 0,48 s, laissant place à des formes sinusoïdales d'amplitude constante comme indiqué dans la figure II.1 en régime permanent. Ensuite, à l'instant $t=2$ s, lorsque la charge est appliquée, on observe une augmentation du courant statorique.

La vitesse mécanique traverse également une période transitoire d'une durée de 0,4 s, atteignant une valeur maximale de 157 rad/s. Ensuite, la vitesse se stabilise autour de 0,58 s, proche de la vitesse de synchronisme, à une valeur de 155 rad/s. Lors de l'application du couple de charge, on observe une décroissance avec des oscillations jusqu'à atteindre une valeur de 153 rad/s.

Lors du démarrage à vide, le couple électromagnétique traverse une période de transition. Il subit des oscillations atteignant une valeur maximale de 190 (N.m), puis revient à une valeur très faible, pour compenser les pertes causées par les frottements et la ventilation. Cela se produit en régime établi ou permanent. Ensuite, avec l'application de la charge à l'instant $t=2s$, on observe une augmentation du couple magnétique jusqu'à atteindre une valeur de 100 (N.m).

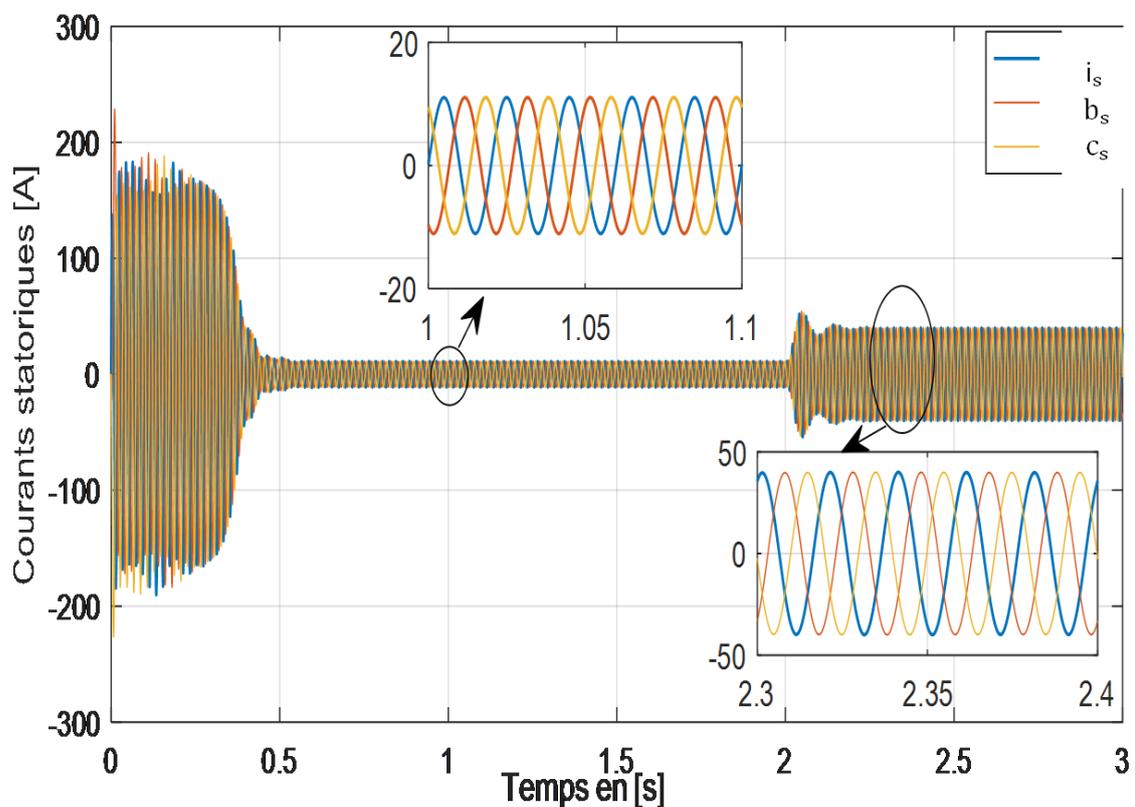


Figure II.1 : Allures des courants statoriques à l'état sain

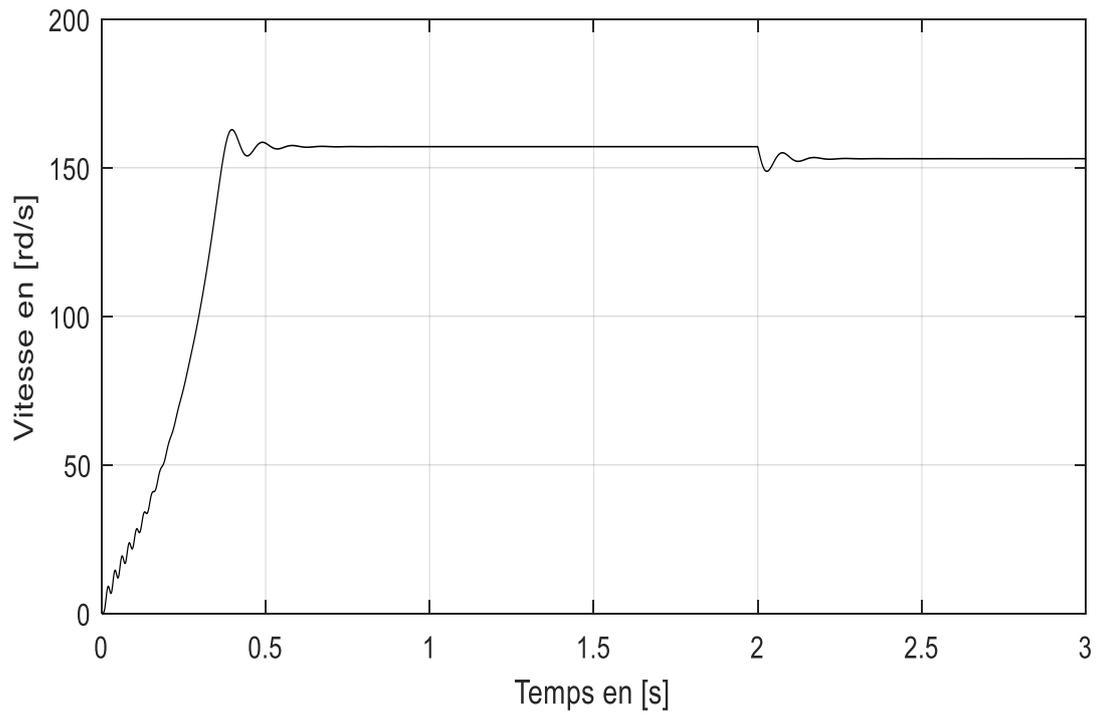


Figure II.2 : Allure de la vitesse de rotation à l'état sain

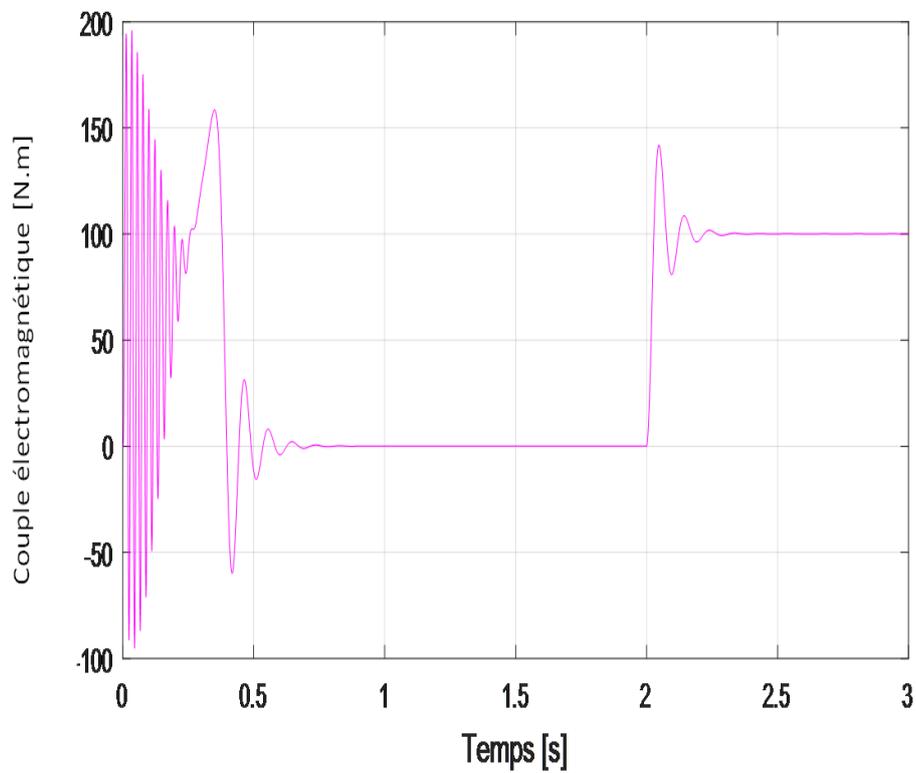


Figure II.3 : Allure du couple électromagnétique à l'état sain

II.6 Analyse spectral dans le repère (abc) :

II.6.1 Analyse spectral de courant statorique de la phase 1 (i_{as}) :

Une analyse spectrale du courant d'une phase statorique de la MAS, en état sain et en régime permanent, a été réalisée. Au cours de cette analyse, nous avons observé un pic à une fréquence égale à la fréquence de synchronisme de 50 Hz, comme indiqué dans la figure (II.4).

D'après la figure (II.4), nous remarquons que la signature du défaut est absente, grâce à spectre de Hilbert qui permet de localiser un défaut.

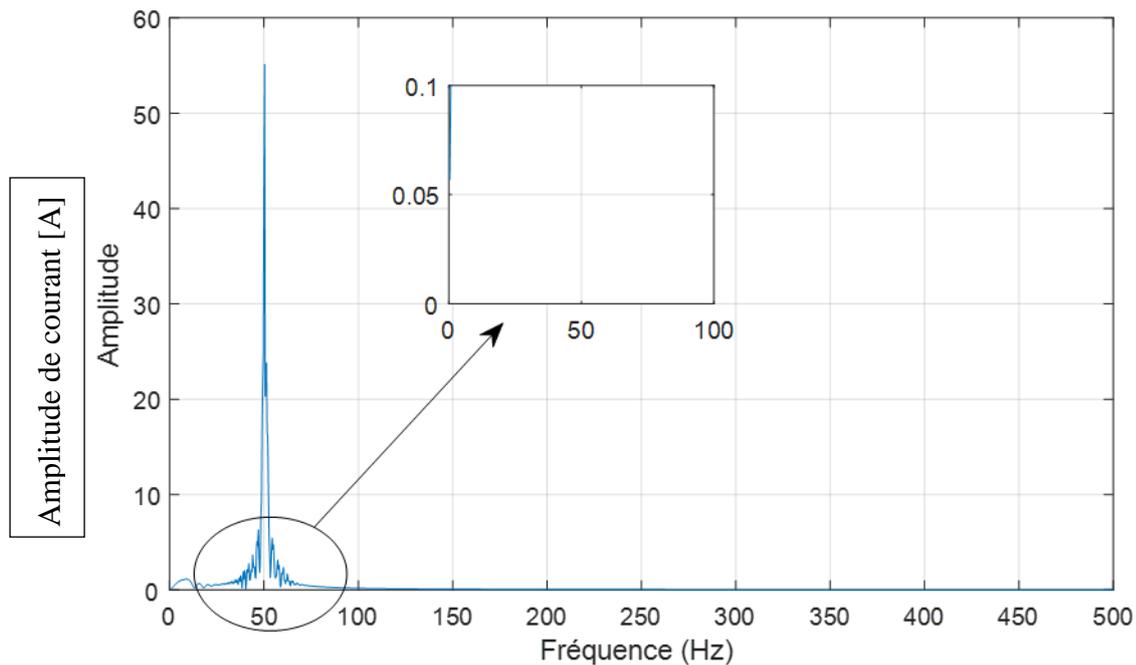


Figure II.4 : Spectre du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état sain

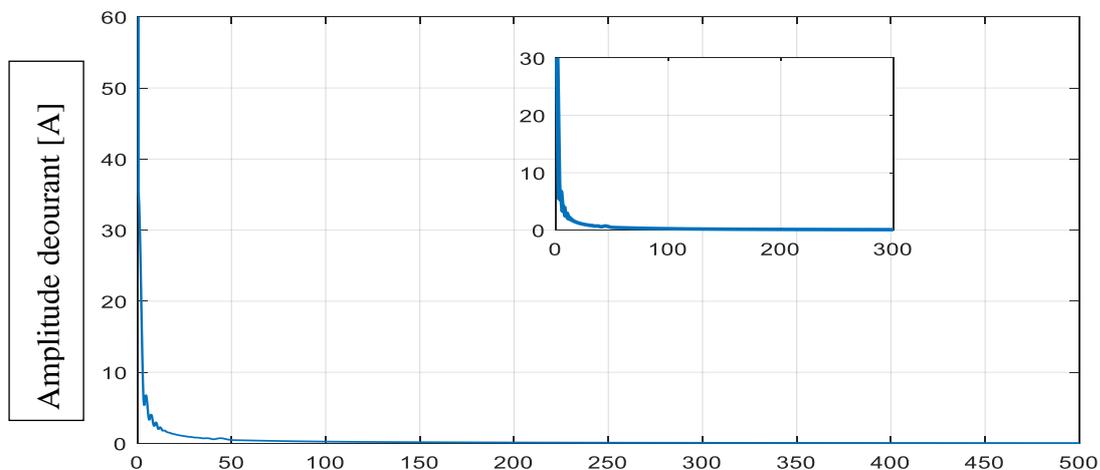


Figure II.5 : Spectre de Hilbert du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état sain

II.6.2 Analyse spectral du couple et de la vitesse :

Une analyse spectrale du couple et de la vitesse de la MAS en état sain a été réalisée en régime permanent. Les spectres présentés dans les figures (II.6) et (II.7) révèlent la présence d'une composante fréquentielle continue, confirmant ainsi que ces grandeurs sont des signaux continus, conformément aux considérations prises lors de l'analyse.

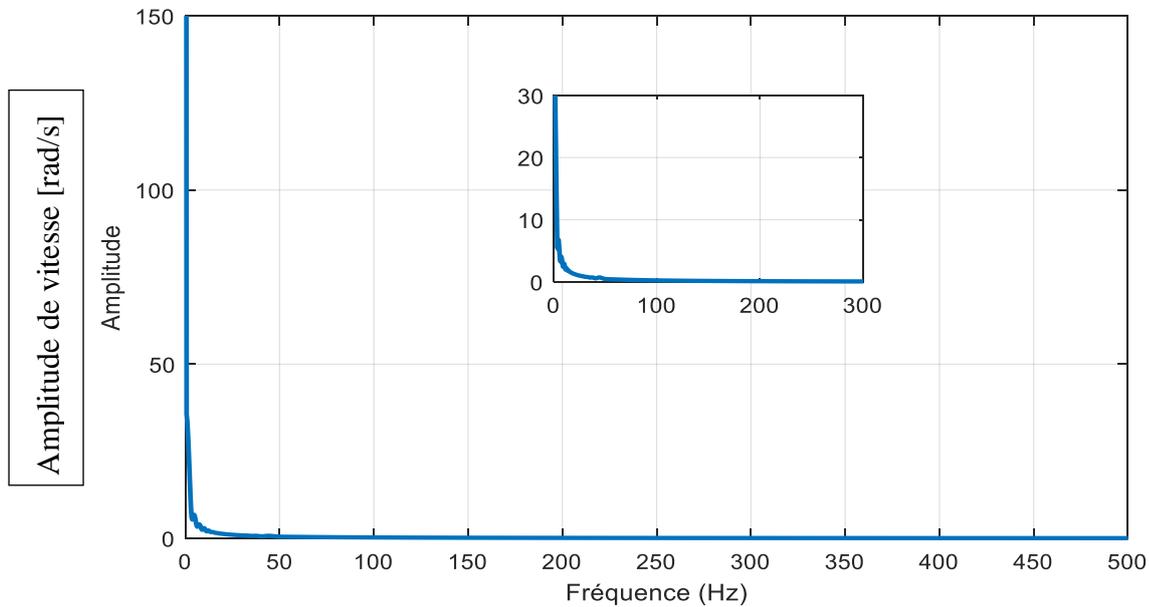


Figure II.6 : Spectre de la vitesse à l'état sain

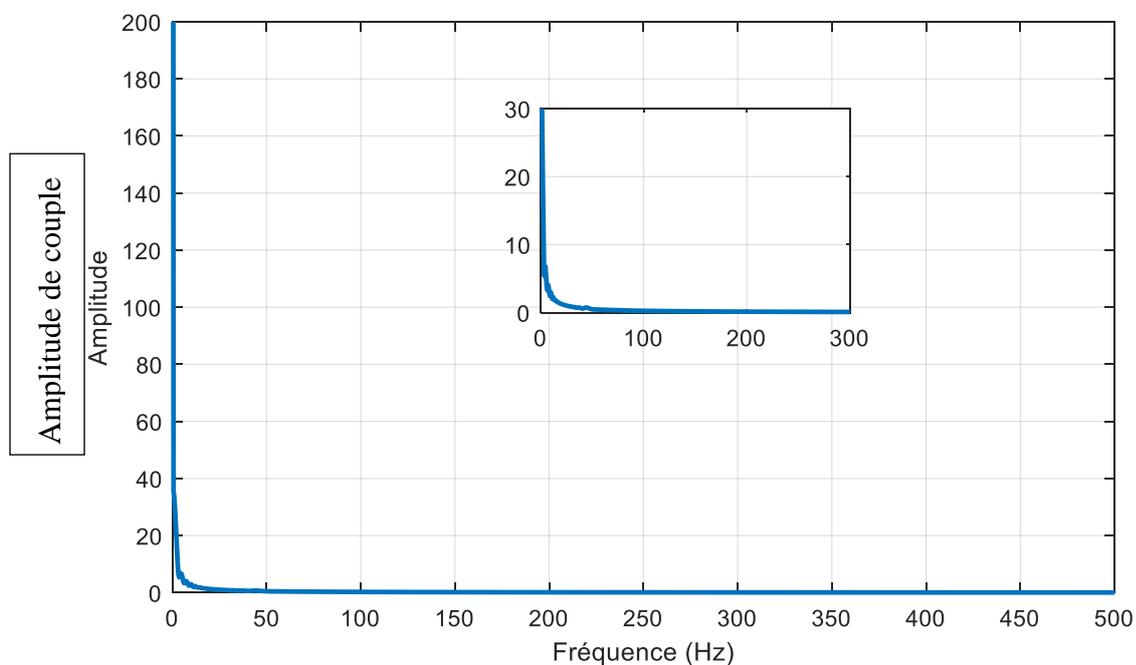
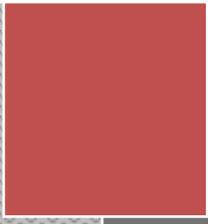


Figure II.7 : Spectre du couple électromagnétique à l'état sain

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons utilisé quelques hypothèses simplificatrices pour modéliser la machine asynchrone dans le référentiel naturel (abc). En utilisant le logiciel MATLAB/Simulink, nous avons réalisé des simulations de la MAS dans le référentiel naturel afin d'étudier ses caractéristiques lorsqu'elle est directement alimentée par une source sinusoïdale équilibrée. Nous avons constaté que les résultats de simulation dans le référentiel abc étaient clairs et informatifs. Ainsi, ce modèle dans le référentiel naturel nous permettra de réaliser de nouvelles simulations en présence de défauts, c'est-à-dire en régime dégradé. De plus, l'analyse spectrale nous permettra de comparer les résultats de ces simulations dans le dernier chapitre, ce qui nous aidera à mieux comprendre l'influence des défauts sur les grandeurs de la machine asynchrone.



Chapitre III:

Étude de défaut de court-circuit sur la MAS



III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, notre étude se concentre sur la modélisation et la simulation de la MAS en présence de différents défauts au niveau du rotor et du stator et leur influence, en utilisant le référentiel réel. Le premier défaut concerne l'ouverture d'une phase rotorique, tandis que le second défaut est un court-circuit entre les spires d'une phase statorique. Enfin, nous analyserons les résultats de simulation en utilisant l'analyse spectrale afin de suivre l'évolution des défauts et les changements observés dans les grandeurs du courant, de la vitesse et du couple électromagnétique.

III.2. cas de défaut d'ouverture d'une phase rotorique (Déséquilibre électrique) :

À l'aide de modèle de la MAS que nous avons développé sur l'environnement MATLAB, nous avons réalisé une simulation dans le but d'étudier le fonctionnement de la MAS en présence d'un défaut au niveau du rotor. Les paramètres de la MAS étudiée, tels que la tension d'alimentation et le couple de charge, sont maintenus constants. En régime permanent, à partir de l'instant $t = 1$ s, nous avons observé les effets d'ouverture d'une phase rotorique. Nous avons constaté une légère modulation de l'amplitude du courant de phase statorique (fig. III.1). De plus, nous pouvons remarquer que le courant de la première phase de MAS à rotor bobiné diminue progressivement jusqu'à s'annuler. À l'instant $t = 2$ s, et une augmentation significative de la modulation d'amplitude du courant, ainsi que des oscillations de la vitesse et du couple de la machine, comme indiqué respectivement sur les figures (III.2) et (III.3) Ces phénomènes sont dus au défaut d'ouverture de la phase rotoriques. [12]

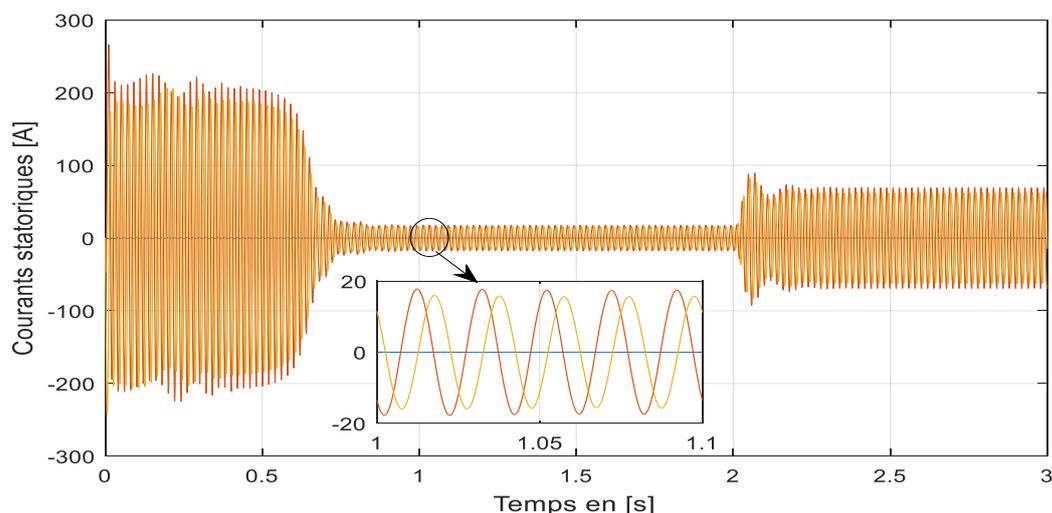


Figure III.1 : Allures des courants statoriques à l'état défectueux

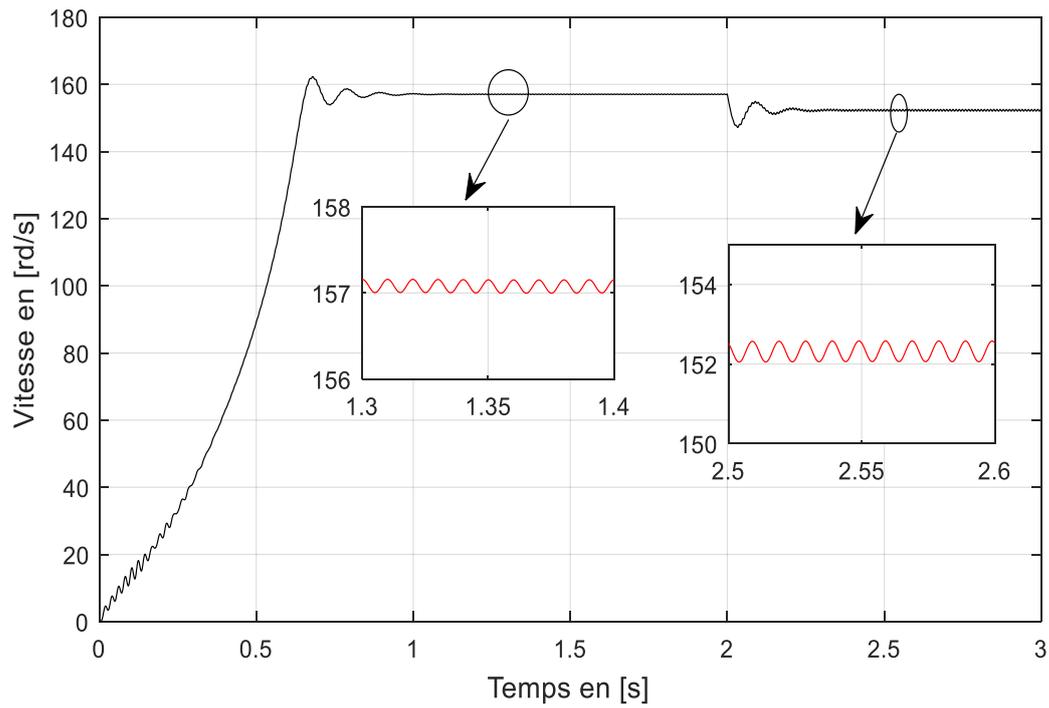


Figure III.2 : Allure de la vitesse de rotation à l'état défectueux

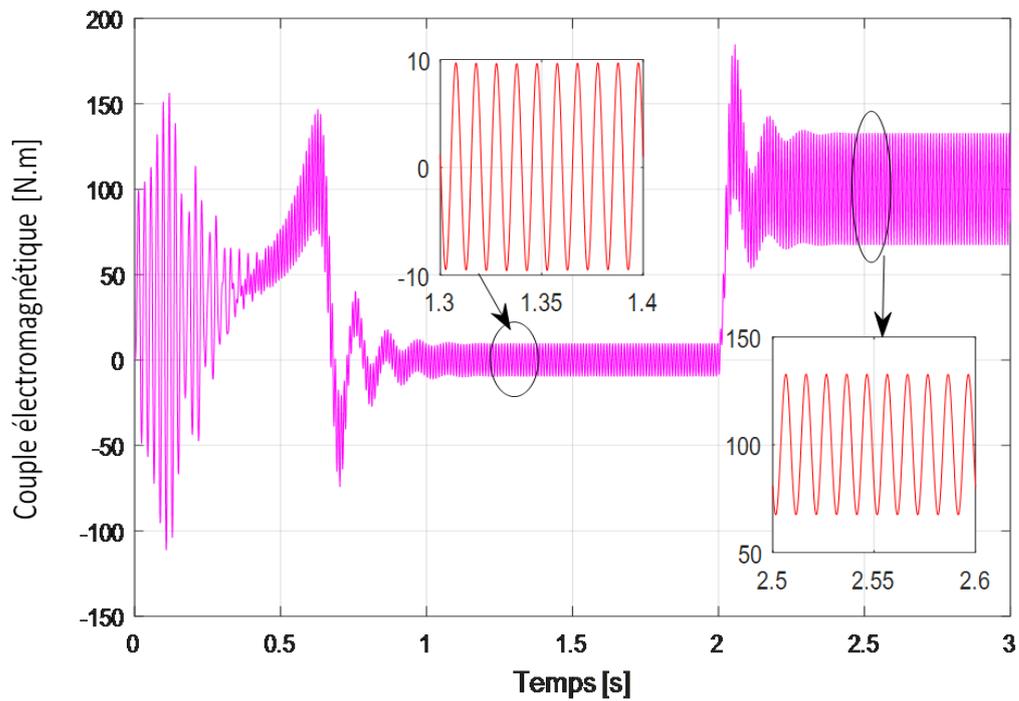


Figure III.3 : Allure du couple électromagnétique à l'état défectueux

III.3 Analyse spectrale des résultats obtenus en présence de défaut rotorique :

Lorsqu'il y a l'ouverture d'une phase, il est difficile d'analyser directement le courant statorique. En effet, celui-ci ne présente qu'une légère modulation presque invisible (figure III.4). Par conséquent, l'analyse spectrale est utilisée pour mettre en évidence le défaut en calculant le spectre du signal.

Lors de l'analyse des spectres des grandeurs dans le cas d'ouverture d'une phase rotoriques, la situation diffère de celle de l'état sain. On observe l'apparition de composantes fréquentielles caractéristiques du défaut à la fréquence ce qui entraîne une modulation d'amplitude autour de la fréquence d'alimentation, soit 48 Hz et 53 Hz (Figure III.4).

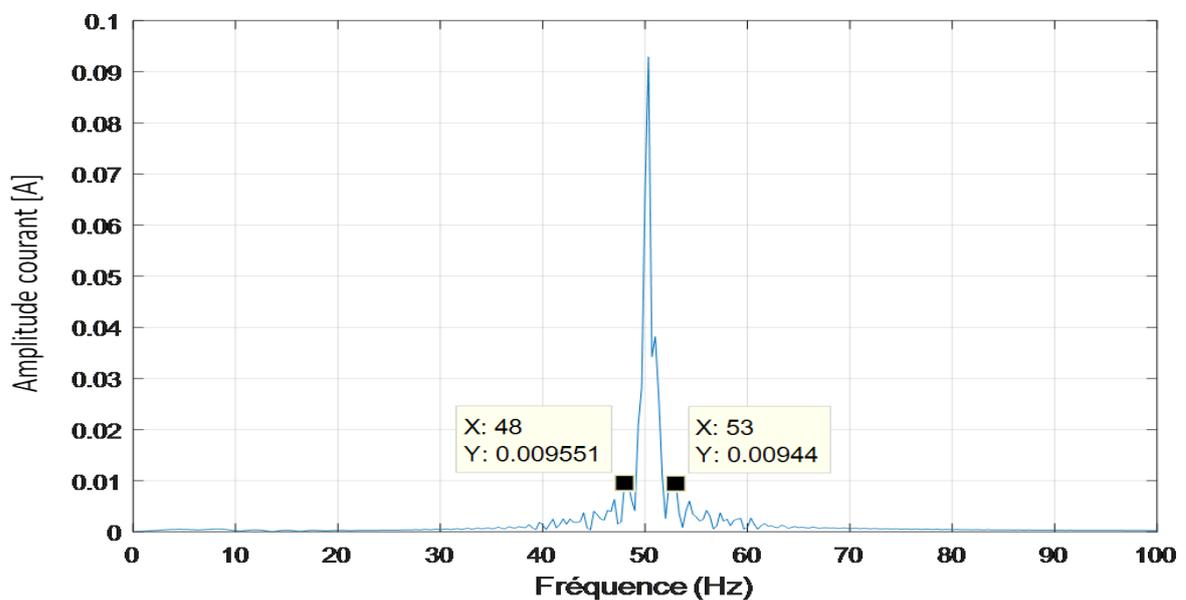


Figure III.4 : Spectre du courant d'une phase statorique de la MAS à l'état court-circuit

III.4 Modélisation et simulation de la MAS en tenant compte d'un court-circuit entre spires dans une phase statorique :

Cette partie porte sur la modélisation et la simulation d'un défaut entre spires, qui se manifeste sous la forme d'un court-circuit, indiquant une dégradation de l'isolant entre deux spires d'un enroulement d'une phase statorique. Le défaut d'isolation est modélisé par l'ajout d'une résistance qui relie deux points de la bobine, dont la valeur dépend de la gravité du défaut.

L'enroulement statorique de la MAS avec un défaut entre spires est illustré dans la figure (III.5). Les parties a_{s1} et a_{s2} représentent respectivement les parties saines et défectueuses de l'enroulement de la phase a_s . Lorsque la résistance de défaut diminue jusqu'à zéro, le défaut entre spires évolue vers un court-circuit entre les spires au sein d'une phase.

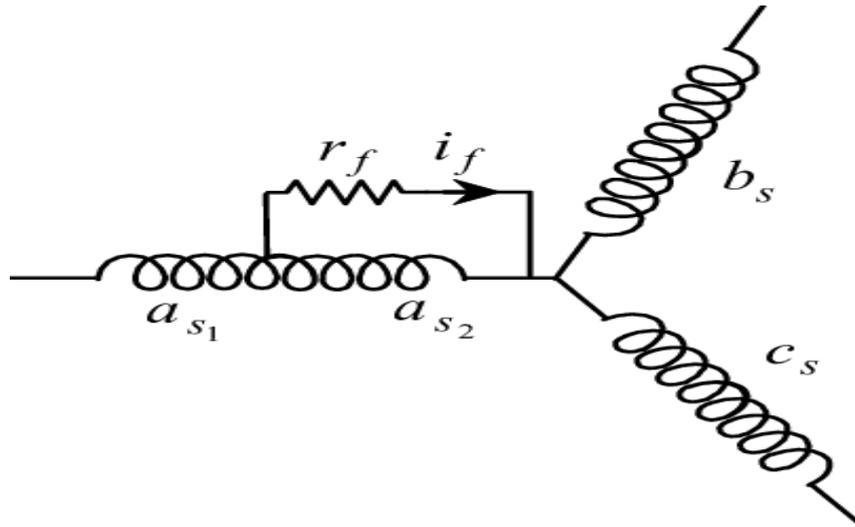


Figure. III.5: Modèle général d'un court-circuit entre spires dans la phase a_{s1} .

III.4.1 Modèle du MAS avec défaut de court-circuit entre spire de la même phase dans le repère naturel (abc) :

Avant de commencer à formuler les équations électriques, il est essentiel de prendre en compte certains éléments pour obtenir un système facile à mettre en œuvre et pratique. Voici les points à considérer:

- Le défaut est survenu au stator sur l'enroulement de la phase (a_s) ;
- La résistance ($r_f = 0$) représente une résistance de défaut ;
- La tension de la phase (a_s) est supposée égale à la somme des deux tensions v_{as1} et v_{as2} ;
- Le coefficient (μ) représente le nombre de spire en court-circuit par rapport au nombre de spires de l'enroulement de la phase (a_s) :

$$\mu = \frac{N_{as2}}{N_{as1} + N_{as2}} = \frac{N_{as2}}{N_{as}} \quad (\text{III.01})$$

Les équations des tensions de la MAS dans le repère (abc) sont données comme suit :

Pour le stator

$$\begin{cases} v_{as1} = r_{as1} i_{as1} + \frac{d\phi_{as1}}{dt} \\ v_{bs} = r_{bs} i_{bs} + \frac{d\phi_{bs}}{dt} \\ v_{cs} = r_{cs} i_{cs} + \frac{d\phi_{cs}}{dt} \\ v_{as2} = r_{as2} i_{as2} + \frac{d\phi_{as2}}{dt} \end{cases} \quad (\text{III.02})$$

On réécrit le système d'équations sous la forme matricielle suivante :

$$[v_s] = [R_s][i_s] + \frac{d}{dt}[\Phi_s] \quad (\text{III.03})$$

Pour le rotor, on obtient :

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{1r} = r_{1r}i_{1r} + \frac{d\phi_{1r}}{dt} \\ v_{2r} = r_{2r}i_{2r} + \frac{d\phi_{2r}}{dt} \\ v_{3r} = r_{3r}i_{3r} + \frac{d\phi_{3r}}{dt} \\ \vdots \\ v_{(N-1)r} = r_{(N-1)r}i_{(N-1)r} + \frac{d\phi_{(n-1)r}}{dt} \\ v_{Nr} = r_{Nr}i_{Nr} + \frac{d\phi_{nr}}{dt} \end{array} \right. \quad (\text{III.04})$$

On réécrit aussi le système d'équations sous la forme matricielle suivante :

$$[v_{rr}] = [R_{rr}][i_{rr}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{rr}] \quad (\text{III.05})$$

Les vecteurs des tensions, courants, flux (statoriques et rotoriques) sont :

$$[v_s] = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix}; [v_r] = \begin{bmatrix} v_{1r} \\ v_{2r} \\ v_{3r} \\ \vdots \\ v_{(N-1)r} \\ v_{Nr} \end{bmatrix}; [i_s] = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}; [i_r] = \begin{bmatrix} i_{1r} \\ i_{2r} \\ i_{3r} \\ \vdots \\ i_{(N-1)r} \\ i_{Nr} \end{bmatrix}; [\Phi_s] = \begin{bmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \end{bmatrix};$$

$$[\Phi_r] = \begin{bmatrix} \Phi_{1r} \\ \Phi_{2r} \\ \Phi_{3r} \\ \vdots \\ \Phi_{(N-1)r} \\ \Phi_{Nr} \end{bmatrix};$$

Et la matrices des inductances rotoriques qui s'écrit:

$[L_r]=$

$$\begin{bmatrix} i_{rr} + l_{mb} & l_{mb} \cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) & l_{mb} \cdot \cos\left(\frac{2.2\pi}{N}\right) & \dots & l_{mb} \cos\left(\frac{(N-1).2\pi}{N}\right) \\ l_{mb} \cos\left(\frac{2\pi}{Nb}\right) & i_{rr} + l_{mb} & \cos\left(\frac{2.2\pi}{N}\right) & & l_{mb} \cos\left(\frac{(N-2).2\pi}{N}\right) \\ l_{mb} \cos\left(\frac{2.2\pi}{Nb}\right) & l_{mb} \cos\left(\frac{2\pi}{Nb}\right) & i_{rr} + l_{mb} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{mb} \cos\left(\frac{(N-1).2\pi}{N}\right) & l_{mb} \cos\left(\frac{(Nb-2).2\pi}{N}\right) & l_{mb} \cos\left(\frac{(N-3).2\pi}{N}\right) & \dots & i_{rr} + \ddot{l}_{mb} \end{bmatrix} \quad (06)$$

Les matrices des inductances de couplage entre stator et rotor et inversement $[M_s]$ et $[M]$ s'écrivent :

$[M_s] = [M]^t =$

$$\begin{bmatrix} (1 - \mu) \sin\left(\theta_r + \frac{\pi}{N}\right) & (1 - \mu) \sin\left(\theta_r + \frac{3\pi}{N}\right) & (1 - \mu) \sin\left(\theta_r + \frac{5\pi}{N}\right) & \dots & (1 - \mu) \sin\left(\theta_r + \frac{(2N-1)\pi}{N}\right) \\ \sin\left(\theta_r + \frac{\pi}{N} - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{3\pi}{N} - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{5\pi}{N} - \frac{2\pi}{3}\right) & \dots & \sin\left(\theta_r + \frac{(2N-1)\pi}{N} + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta_r + \frac{\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{3\pi}{N} + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{5\pi}{N} + \frac{2\pi}{3}\right) & \dots & \sin\left(\theta_r + \frac{(2N-1)\pi}{N} + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \mu \sin\left(\theta_r + \frac{\pi}{N}\right) & \mu \sin\left(\theta_r + \frac{3\pi}{N}\right) & \mu \sin\left(\theta_r + \frac{5\pi}{N}\right) & \dots & \mu \sin\left(\theta_r + \frac{(2N-1)\pi}{N}\right) \end{bmatrix} \quad (III.07)$$

Le coefficient μ introduit les différentes matrices des résistances statorique et rotorique sont données comme suit :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} r_{as1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{bs} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{cs} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{as2} \end{bmatrix}; [R_{rr}] = \begin{bmatrix} r_{1r} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & r_{2r} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & r_{3r} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & r_{Nbr} \end{bmatrix}; \quad (III.08)$$

$r_{as} = r_{bs} = r_{cs} = r_s; r_{1r} = r_{2r} = \dots = r_{(N-1)} = r_{Nr} = r_{rr}$, avec $r_{as1} = (1 - \mu)r_{as}; r_{as2} =$

μr_{as}

III.4.1.1. Equations magnétiques :

Les expressions des flux statorique et rotorique sont données par la forme matricielle suivante :

$$\begin{cases} [\Phi_{ss}] = [L_{ss}][i_s] + [M_s][i_{rr}] \\ [\Phi_{rr}] = [L_s][i_{rr}] + [M_{ss}][i_s] \end{cases} \quad (III.09)$$

La matrice des inductances statoriques avec ce type de défaut statorique qui s'écrit :

$$L_{ss} = l_{fs} \begin{bmatrix} (1-\mu)^2 & 00 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 01 & 0 \\ 0 & 00 & 1 \end{bmatrix} + l_{ms} \begin{bmatrix} (1-\mu)^2 & \frac{-(1-\mu)-(1-\mu)}{2} & \mu(1-\mu) \\ \frac{-(1-\mu)}{2} & 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-\mu}{2} \\ & \frac{-(1-\mu)}{2} & \frac{-1}{2} & 1 & \frac{-\mu}{2} \\ -\mu(1-\mu) & \frac{-\mu-\mu}{2} & \mu^2 \end{bmatrix}$$

Le système d'équation précédente devient :

$$\begin{cases} [v_s] = [R_s][i_s] + [L_{ss}] \frac{d}{dt} ([i_s]) + [M_s] \frac{d}{dt} ([i_{rr}]) + \omega_r \frac{d[M_s]}{d\theta_r} [i_r] \\ [v_{rr}] = [R_{rr}][i_{rr}] + [L_r] \frac{d}{dt} [i_s]([i_{rr}]) + [M] \frac{d}{dt} ([i_s]) + \omega_r \frac{d[M]}{d\theta_r} [i_s] \end{cases} \quad (III.10)$$

On peut réécrire le système précédent sous la forme d'un système d'équations différentielles suivant :

$$\begin{cases} \left[\frac{d}{dt} ([i_s]) \right] = [L_{ss}]^{-1} \left\{ V_s - [R_s][i_s] - [M_{sr}] \frac{d}{dt} ([i_r]) - \omega_r \frac{d[M_{sr}]}{d\theta_r} i_r \right\} \\ \left[\frac{d}{dt} ([i_r]) \right] = [L_{rr}]^{-1} \left\{ -[R_r][i_r] - [M_{rs}] \frac{d}{dt} ([i_s]) - \omega_r \frac{d[M_{rs}]}{d\theta_r} i_s \right\} \end{cases} \quad (III.11)$$

Les dérivées de l'inductance mutuelle entre le stator et le rotor sont :

Avec : M_{sb} Maximum d'inductance mutuelle stator/rotor

En introduisant les expressions des flux dans les équations de la tension du stator et du rotor (III 27 b) et (III 29), on obtient :

$$\begin{cases} [v_s] = [R_s] \cdot [i_s] + \frac{d}{dt} ([L_{ss}][i_s] + M_s([i_{rr}])) \\ [v_{rr}] = [R_{rr}] \cdot [i_{rr}] + \frac{d}{dt} ([L_r][i_{rr}] + [M]([i_s])) \end{cases} \quad (III.12)$$

On peut réécrire le système (précédent) sous la forme suivante :

$$\begin{cases} [v_s] = [R_s] \cdot [i_s] + [L_{ss}] \frac{d}{dt} ([i_s]) + [M_s] \frac{d}{dt} ([i_r]) + \frac{d[M]}{dt} [i_{rr}] \\ [v_{rr}] = [R_{rr}] \cdot [i_{rr}] + [L_r] \frac{d}{dt} ([i_{rr}]) + [M] \frac{d}{dt} ([i_s]) + \frac{d[M]}{dt} [i_s] \end{cases} \quad (III.13)$$

$$\frac{d[M_s]}{d\theta_r} = \frac{d[M]^t}{d\theta_r} = -M_s$$

$$\begin{bmatrix} (1-\mu) \sin(\theta_r + \frac{\pi}{Nb}) & (1-\mu) \sin(\theta_r + \frac{3\pi}{Nb}) & (1-\mu) \sin(\theta_r + \frac{5\pi}{Nb}) & \dots & (1-\mu) \sin(\theta_r + \frac{(2Nb-1)\pi}{Nb}) \\ \sin(\theta_r + \frac{\pi}{Nb} - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_r + \frac{3\pi}{Nb} - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_r + \frac{5\pi}{Nb} - \frac{2\pi}{3}) & \dots & \sin(\theta_r + \frac{(2Nb-1)\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_r + \frac{\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_r + \frac{3\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_r + \frac{5\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}) & \dots & \sin(\theta_r + \frac{(2Nb-1)\pi}{Nb} + \frac{2\pi}{3}) \\ \mu \sin(\theta_r + \frac{\pi}{Nb}) & \mu \sin(\theta_r + \frac{3\pi}{Nb}) & \mu \sin(\theta_r + \frac{5\pi}{Nb}) & \dots & \mu \sin(\theta_r + \frac{(2Nb-1)\pi}{Nb}) \end{bmatrix}$$

III.4.1.2. Equation du couple électromagnétique :

L'expression du couple électromagnétique est donnée :

$$C_{em} = \frac{p}{2} \begin{bmatrix} i_s \\ i_{rr} \end{bmatrix}^t \left\{ \frac{d}{d\theta_r} \begin{bmatrix} L_{ss} & M_s \\ M & L_r \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} i_s \\ i_{rr} \end{bmatrix} \quad (III.14)$$

Ou :

$$C_{em} = p [i_s]^t \left\{ \frac{d}{d\theta_r} [M] \right\} [i_{rr}] \quad (III.15)$$

III.4.2 Simulation du la MAS en présence d'un court-circuit entre spire au stator :

Pour étudier le défaut de court-circuit entre spires, nous avons réalisé des simulations à l'aide du modèle développé précédemment. Des courts-circuits ont été appliqués uniquement sur le bobinage de la phase a_s , en fixant la résistance de défaut à zéro ($r_f = 0$). Le nombre de spires court-circuitées est de 5%, 10% et 25% du nombre total de spires de la même phase.

Suite à la simulation du défaut de court-circuit sur la phase "a", nous avons observé l'apparition d'ondulations dans la vitesse de rotation de la machine asynchrone, comme illustré dans les figures (III.9, III.10 et III.11). Ces ondulations sont principalement causées par le déséquilibre d'amplitude des courants statoriques. Ce déséquilibre est principalement provoqué par la diminution de la résistance de la phase "a".

Les figures (III.6, III.7 et III.8) présentent les conséquences d'un court-circuit entre spires dans une phase du stator, où l'on peut observer l'apparition d'amplitudes anormales des grandeurs de la machine asynchrone, et ces amplitudes augmentent avec la sévérité de défauts avec la présence d'un courant de court-circuit dans les courants statorique.

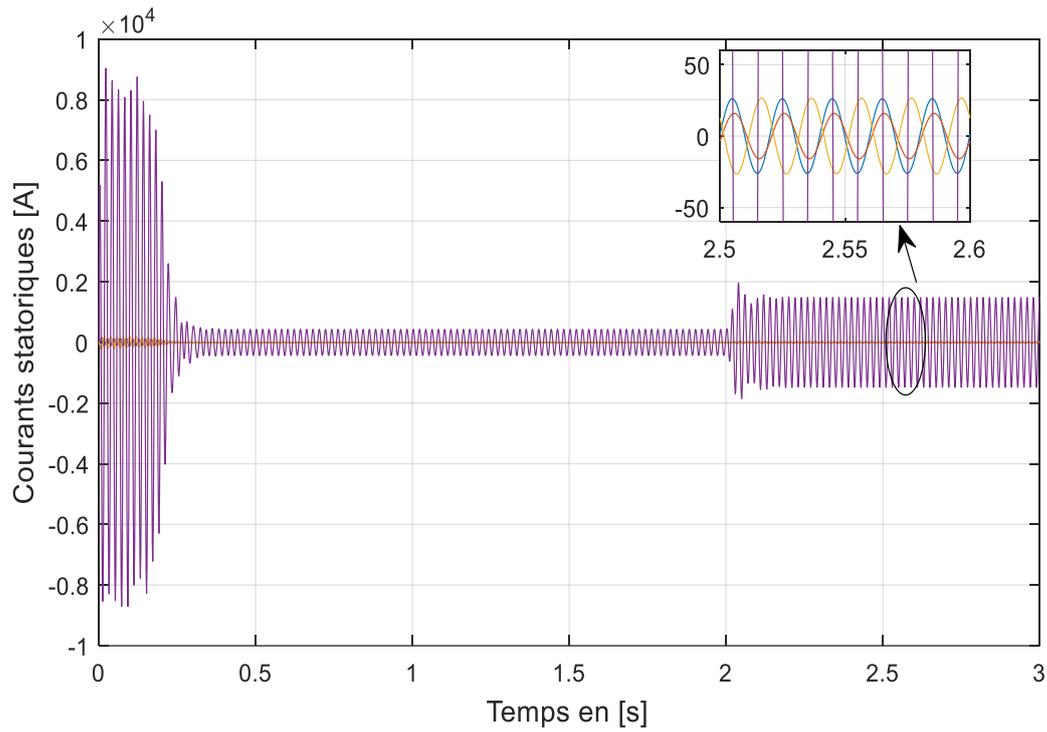


Figure III.6 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 5%.

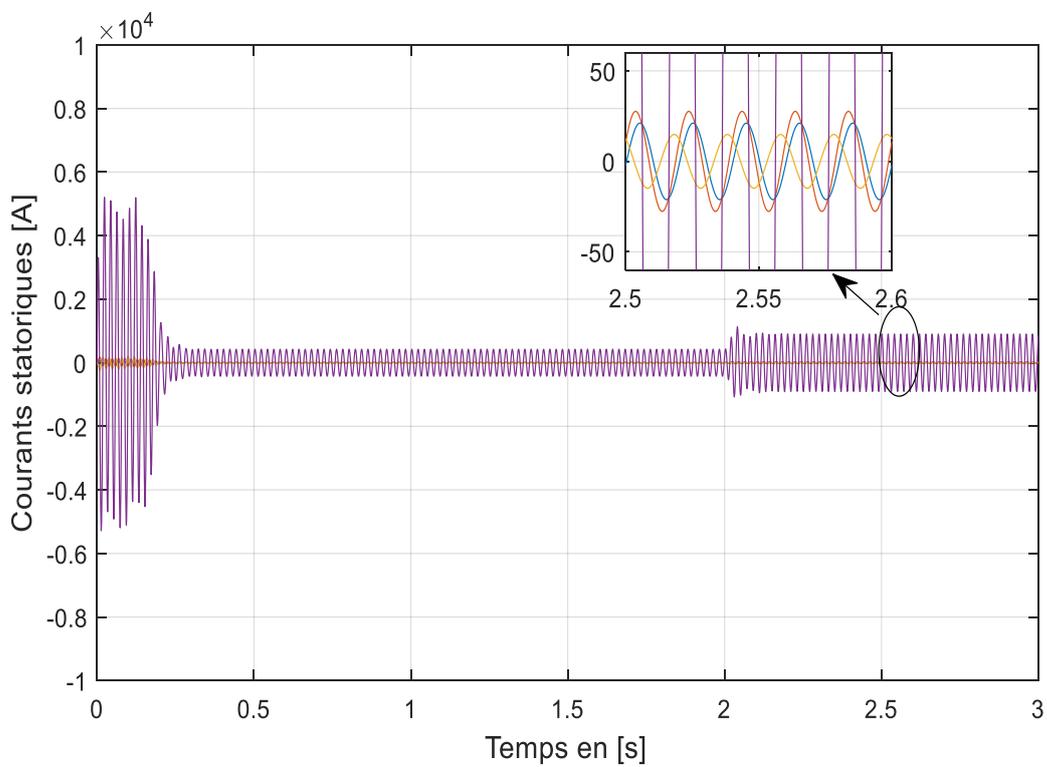


Figure III.7 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 10%.

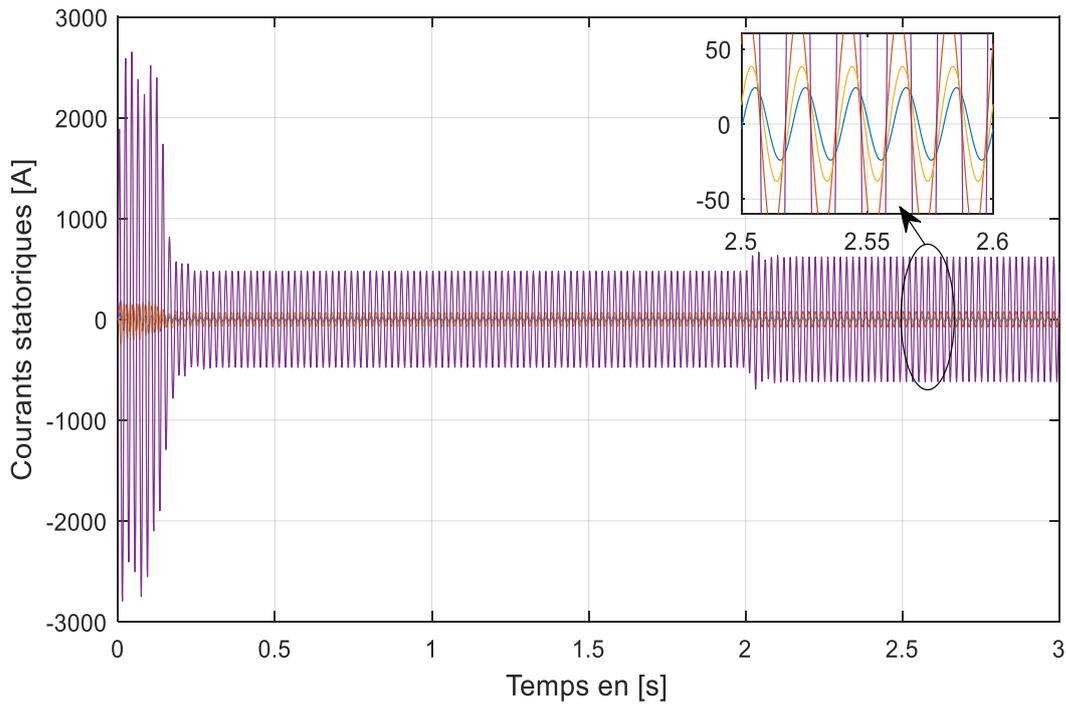


Figure III.8 : Allures des courants statoriques en présence de court-circuit en phase A de 25%.

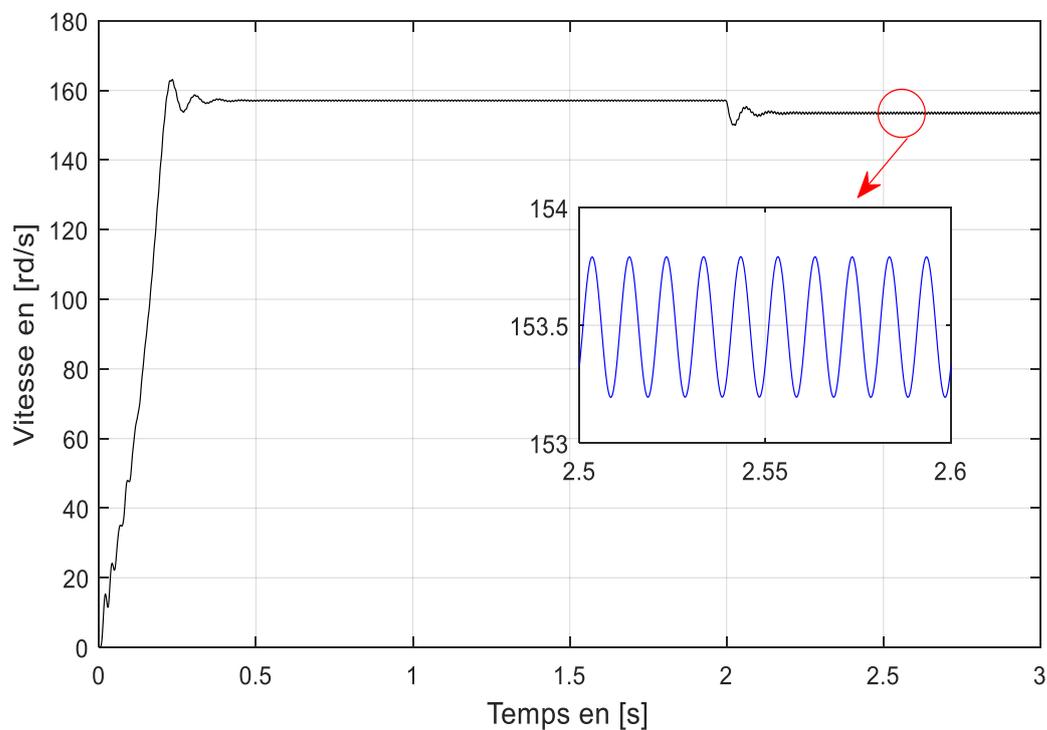


Figure III.9 : Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 5%.

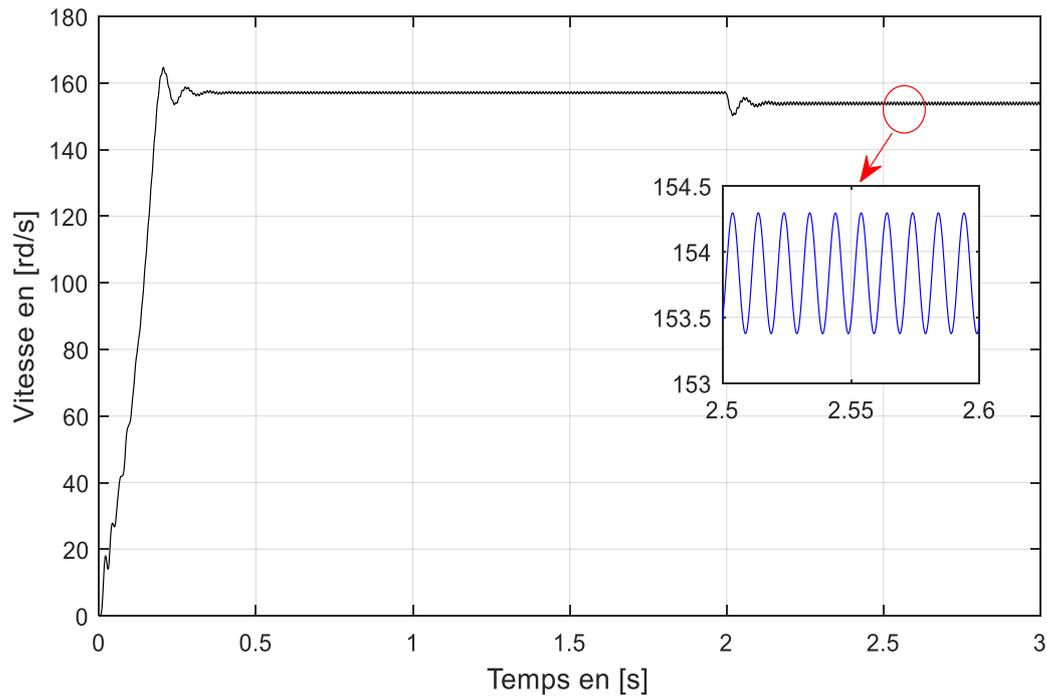


Figure III.10 : Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 10%.

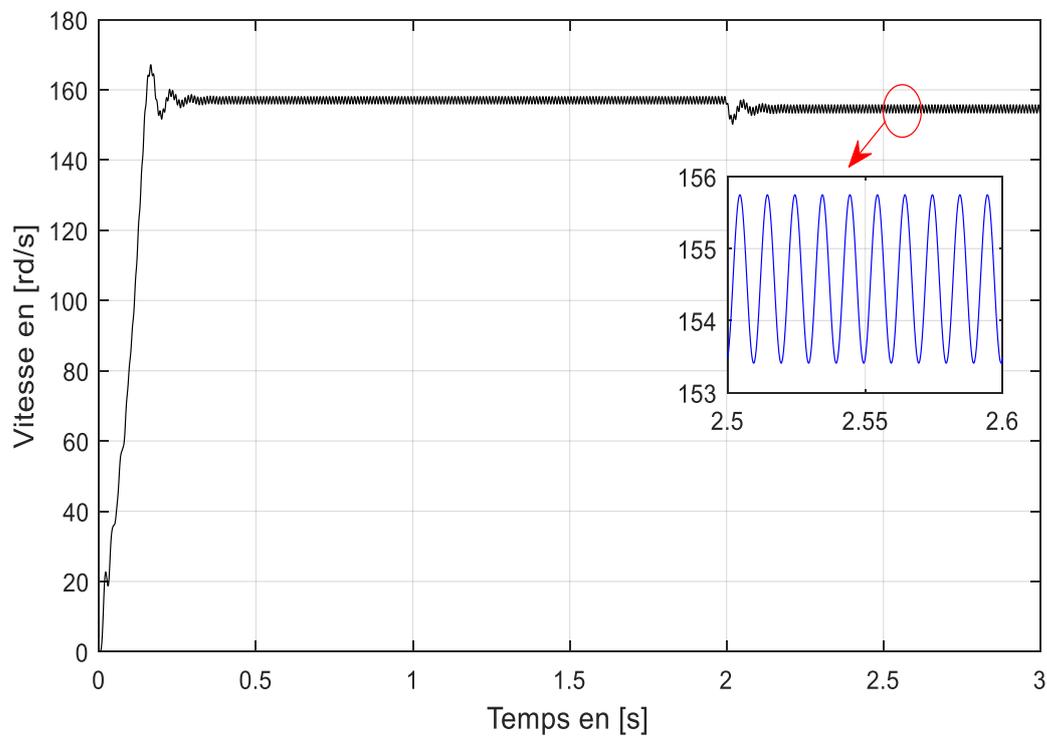


Figure III.11: Allures de vitesse de rotation en présence de court-circuit en phase A de 25%.

III.5 Analyse spectrale des résultats de simulation de la MAS dans le model (abc) en présence d'un défaut au stator :

En analysant les spectres du courant d'une phase statorique obtenus lors des simulations avec un taux différents de court-circuit entre spires : 5%, 10% et 25%, présentés dans la figure (III.12, III.13 et III.14), on peut observer deux harmoniques distinctes. L'une correspond à la fréquence fondamentale (50 Hz) et l'autre à 150 Hz, contrairement au spectre à l'état sain qui ne contient que la composante du fondamental. Quant aux spectres et ceux de la vitesse dans la figure (III.15, III.15 et III.17) on peut remarquer la présence d'une composante à 100 Hz (deux fois la fréquence d'alimentation f).

Les amplitudes des composantes pour un défaut de 10% sont plus élevées que celles pour un défaut de 5%, et celles pour un défaut de 25% sont encore plus élevées que celles pour un défaut de 10%. Ces composantes fréquentielles sont utilisées comme indicateurs de diagnostic pour détecter les défauts du stator. On constate que l'amplitude de ces fréquences dépend fortement de la gravité du défaut.

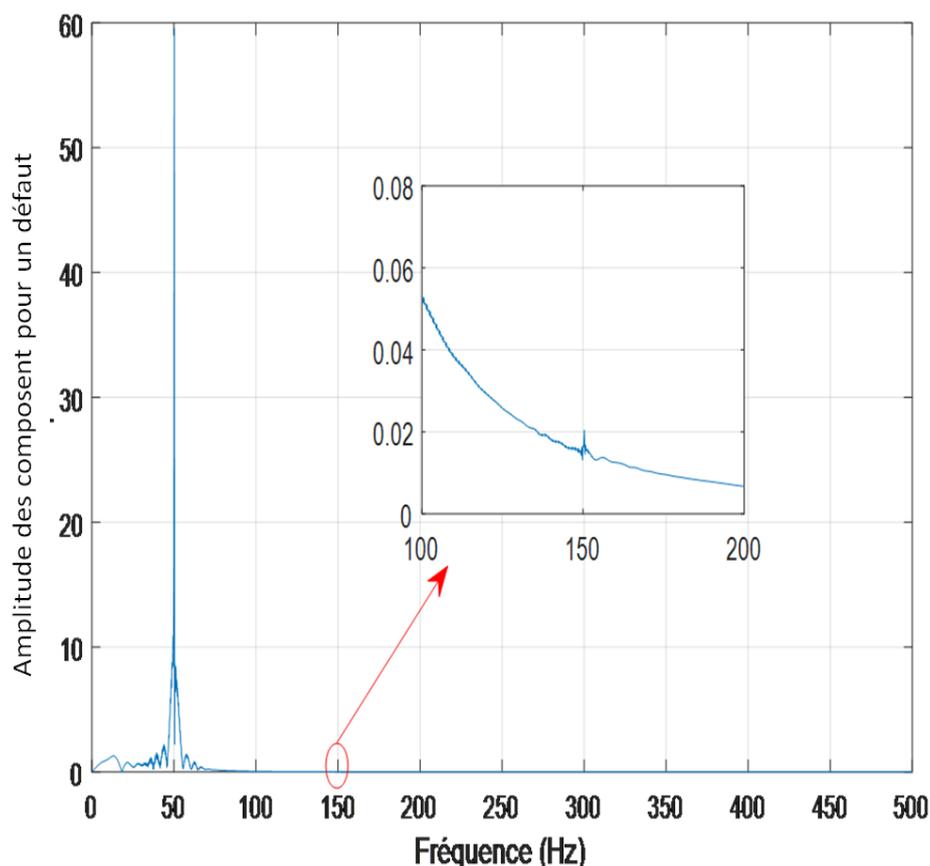


Figure III.12 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 5% des spires d'une seule phase Statorique.

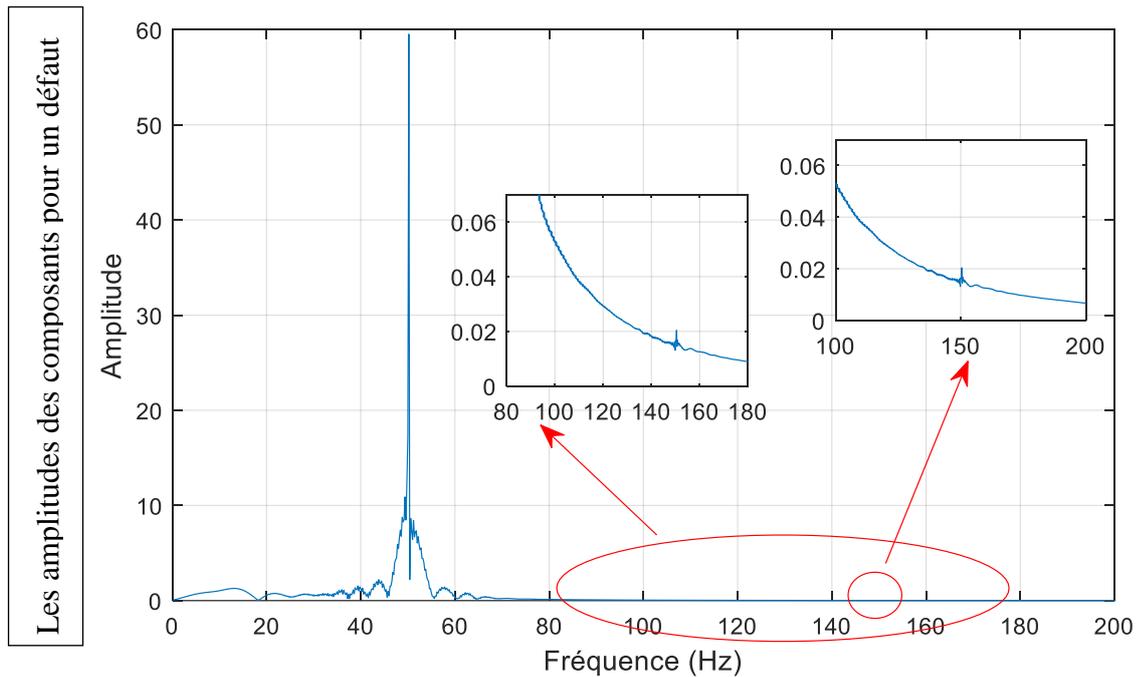


Figure III.13 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 10% des spires d'une seule phase Statorique.

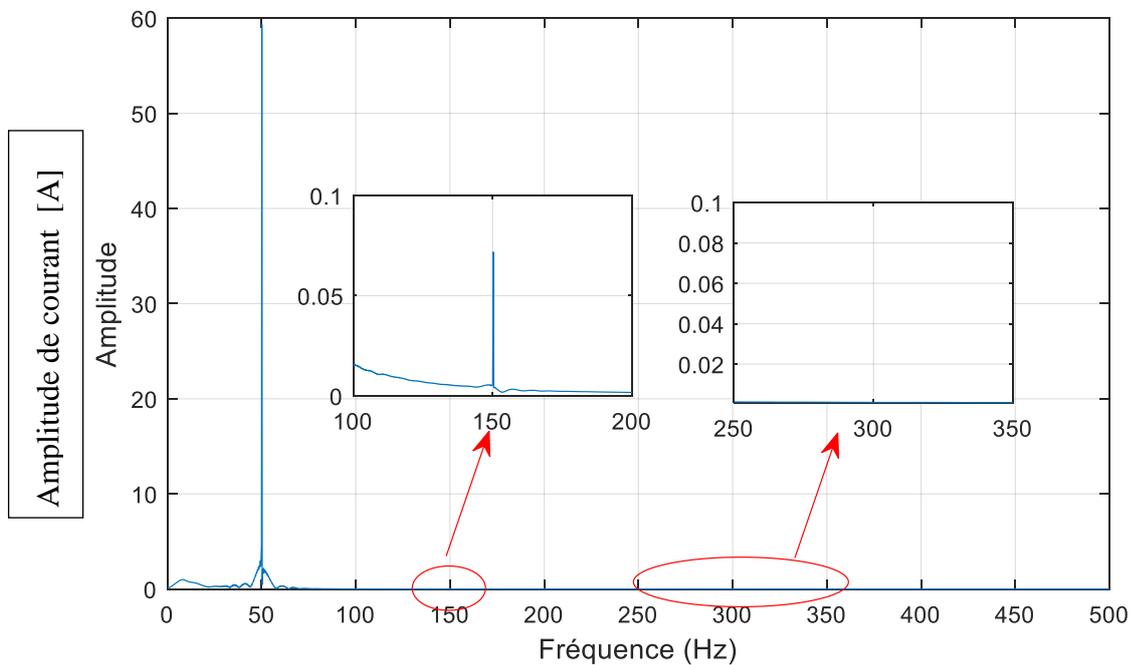


Figure III.14 : Spectres du courant statorique lors d'un défaut de court-circuit de 25% des spires d'une seule phase Statorique.

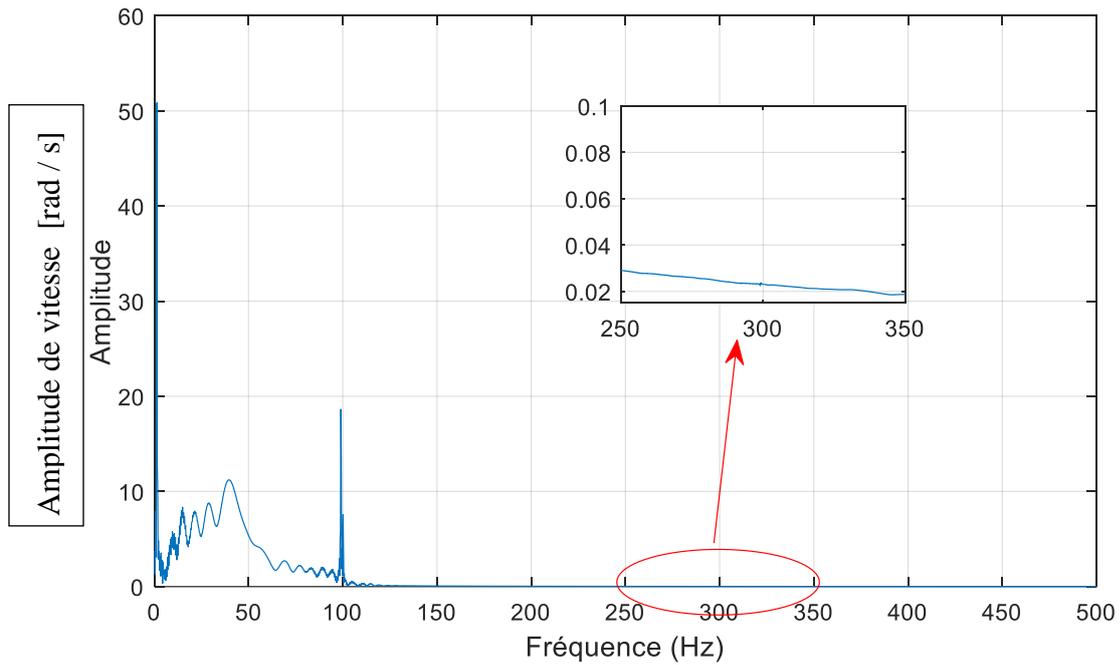


Figure III.15 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court -circuit de 5% des spires d'une seule phase statorique.

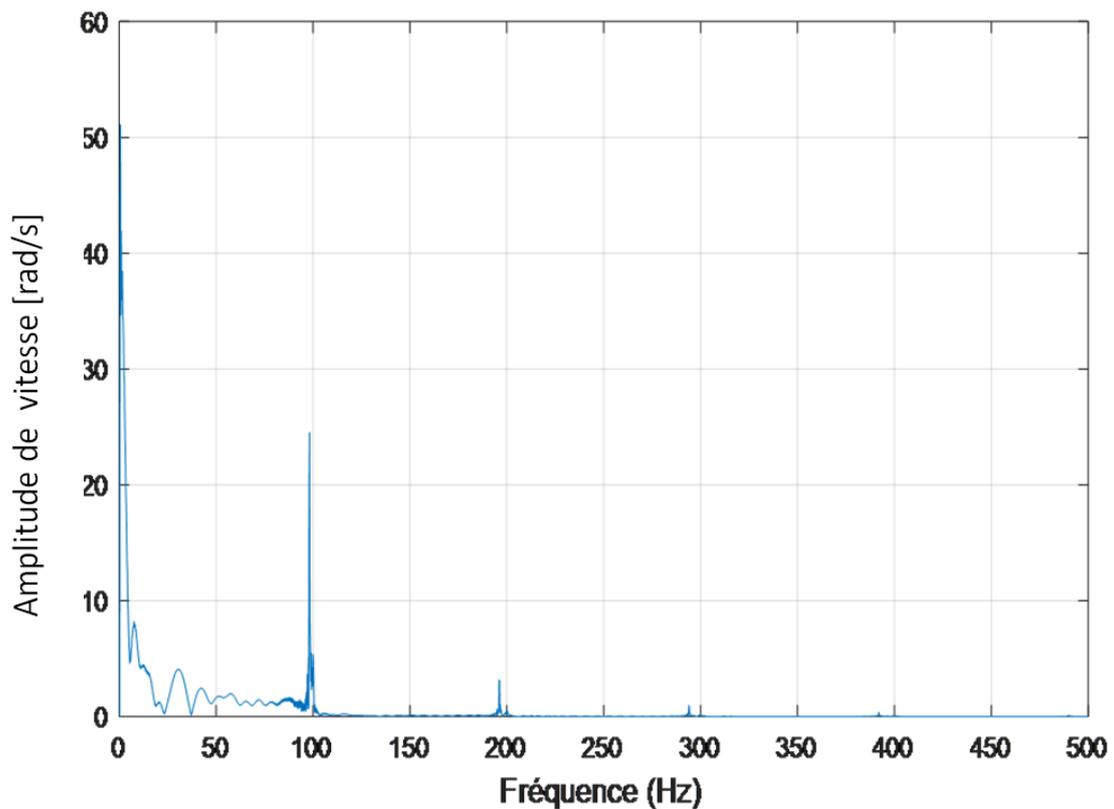


Figure III.16 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court -circuit de 10% des spires d'une seule phase statorique.

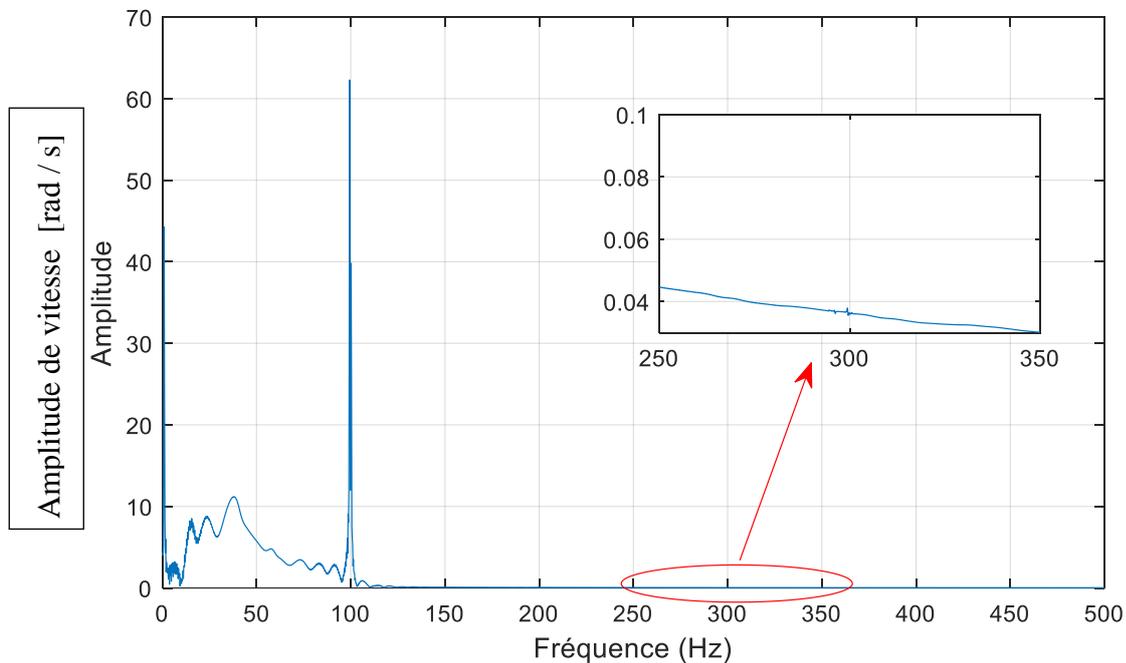
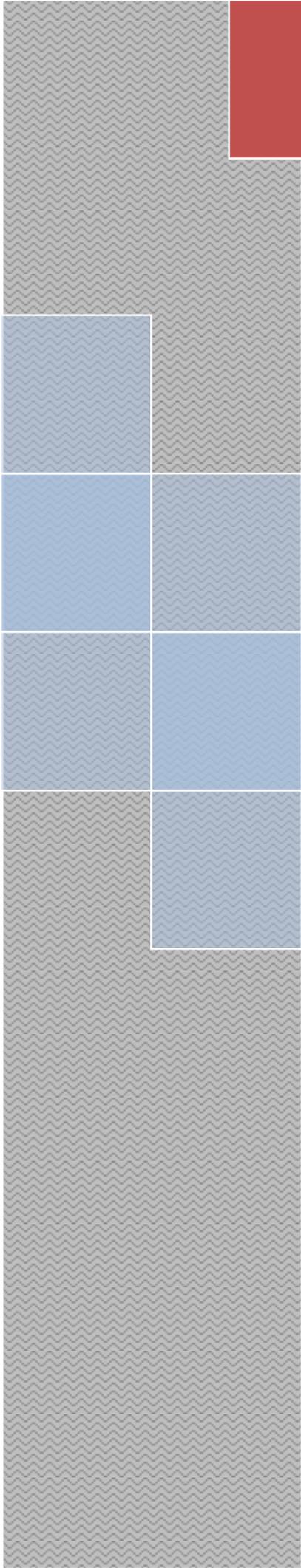
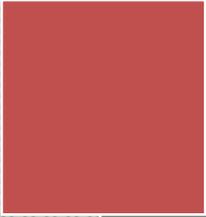


Figure III.17 : Spectres de la vitesse de rotation lors d'un défaut de court -circuit de 25% des spires d'une seule phase statorique.

III.6. Conclusion :

Ce chapitre se concentre sur l'étude de l'influence des défauts électriques au niveau du rotor et du stator sur la machine asynchrone sur les grandeurs électriques et mécaniques. Des résultats et des commentaires sont tirés de ces études. À la fin de cette partie, une analyse spectrale utilisant les transformations de Fourier et Hilbert sont réalisées sur les signaux des courants statoriques, de la vitesse et du couple. Nous avons observé l'apparition de raies correspondant aux harmoniques liées à la présence de défauts, dont l'amplitude est liée à la fréquence caractéristique de défaut avec la sévérité de défaut.



Conclusion générale



Conclusion générale

L'objet de ce mémoire est la détection et la localisation des défauts des moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné. La compréhension du fonctionnement des moteurs à induction ainsi que le diagnostic des pannes sont des aspects importants de cette étude.

Dans le premier chapitre, nous avons abordé en détail les principaux composants qui composent un moteur asynchrone, tels que le stator et le rotor. De plus, nous avons examiné les différents types de pannes pouvant survenir avec cette machine, en identifiant leurs causes et leurs conséquences. Grâce à l'analyse préliminaire, nous comprenons l'importance de détecter et de localiser les défauts pour assurer le fonctionnement normal du moteur asynchrone.

Le deuxième chapitre de ce mémoire se concentre sur la modélisation des moteurs à induction dans le cadre de référentiel naturel (abc) en utilisant des hypothèses simplificatrices. Nous utilisons le logiciel MATLAB/Simulink pour simuler un moteur à induction alimenté par une source sinusoïdale équilibrée. Ces simulations permettent d'étudier le comportement des moteurs à induction dans des conditions normales de fonctionnement.

Dans le chapitre 3, notre attention est focalisée sur l'étude des effets des défauts électriques aux niveaux du rotor et du stator sur les machines à induction. Nous avons examiné l'effet de ces pannes sur les grandeurs électriques et mécaniques de la machine. Des résultats importants ont été obtenus de ces études et des évaluations pertinentes ont été présentées. De plus, nous avons effectué une analyse spectrale des signaux de courant, de vitesse et de couple du stator à l'aide des transformées de Fourier et de Hilbert. Cette analyse spectrale nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques uniques du défaut et de comparer les résultats obtenus lors de la simulation.

les résultats de la simulation dans le référentiel naturel (abc) sont très clairs et instructifs. Ce modèle de machine asynchrone dans un référentiel naturel va nous permettre de réaliser de nouvelles simulations en présence de défauts. De plus, l'analyse spectrale nous offrira la possibilité de comparer les résultats de ces simulations, ce qui est essentiel pour la détection et la localisation précise des défauts dans les moteurs à induction.

En conclusion, notre mémoire apporte une contribution significative à l'amélioration du diagnostic des défauts moteurs dans les asynchrones à rotor bobiné. Nous avons proposé des méthodes de détection basées sur l'analyse du courant et des vibrations, en utilisant une approche comparative avec l'état sain de la machine. En combinant des techniques d'analyse et de modélisation, nous avons pu identifier et diagnostiquer avec précision les défauts au niveau du rotor, ce qui contribue à améliorer la fiabilité et les performances des moteurs asynchrones utilisés dans diverses industries.

Références bibliographique

[1] A.Gahmouche ,« Diagnostic de la machine asynchrone par mesure de champ Magnétique de dispersion» Mémoire de master Biskra 2019

[2] : M. Touati , «différents défauts de la machine asynchrone »Synthèse doctorat mercredi 16 février 2011

[3] : S. Haddad ,«Etude de l'association d'une génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) et d'un convertisseur multiniveaux »Mémoire de Fin d'Etudes université tizi-ouazou2014

[4] : Y .Bounnani ,« Contribution à la commande d'une génératrice asynchrone à double alimentation »mémoire fin de cycle université Bejaia 2014/2015

[5] : Y.TAMER , « Détection de Défauts de la Génératrice Asynchrone a Double Alimentation (DFIG) » Mémoire en vue de l'obtention de diplôme de Magister université d'Oran 2011.

[6] :A.Chahmi , « Intitulé Identification Paramétrique de La Machine Asynchrone Dédiée au Diagnostic », Thèse de Doctorat d'Université Des Sciences et de La Technologie D'Oran ,2017

[7] : Kinzi. R, Izem. D, « Etude d'un Moteur Asynchrone à Cage avec Différents Défauts », Mémoire Master d'Université Abderrahmane Mira Bejaïa ,2020

[8] : A.Chahmi , « Intitulé Identification Paramétrique de La Machine Asynchrone Dédiée au Diagnostic », Thèse de Doctorat d'Université Des Sciences et de La Technologie D'Oran ,2017

[9] : CH. Otmane , «Modélisation et commande d'une machine Asynchrone à double alimentation » mémoire fin de cycle université Ttizi-ouzu 2010/2011

[10] : S. Mokrane, « étude et simulation d'une machine asynchrone alimente par un onduleur de tension à commande MLI » Mémoire de Fin d'Etudes 2005

[11]Article kabelliséen 2007.

[12]K. Benabdallah ;«Conception de la commande d'une machine asynchrone»Mémoire en vue de l'obtention de diplôme de Magisteruniversité d'Oran

[13] Y. Bekakra «surveillance étude des principaux défauts »cours technique Octobre 2014

Annexe

Données du moteur asynchrone (MAS)

Tension nominale stator	398/690 V
Tension nominale rotor	225/389 V
Puissance nominale	1.5 MW
Nombre de paires de pôles	2
Vitesse rotation	1450 tr/min
Résistance rotorique	0.021 Ω
Résistance statorique	0.012 Ω
Inductance statorique	0.0137 H
Inductance rotorique	0.0136 H
Inductance mutuelle	0.0135 H
Fréquence nominale	50 HZ
Coefficient de frottement	0.0024 N.m/s

Résume :

Le travail présenté vise à diagnostiquer les moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné en utilisant des techniques classiques telles que l'analyse spectrale et l'analyse d'enveloppe. Cependant, il est impossible d'explorer simultanément toutes les combinaisons de défauts qui peuvent apparaître sur ces moteurs. Cependant, l'étude de ces défauts au niveau du stator et du rotor peut révéler leur impact sur les caractéristiques électriques et mécaniques de la machine. Pour cela, nous avons établi un modèle de la machine afin d'analyser au mieux le comportement en l'absence ou en présence de ces défaillances. Les résultats obtenus par simulation sont ensuite étudiés dans le domaine fréquentiel afin de comparer le fonctionnement normal avec le fonctionnement dégradé.

Abstract:

The work presented aims at diagnosing three-phase asynchronous wound-rotor motors using classical techniques such as spectral analysis and envelope analysis. However, it is impossible to simultaneously explore all the combinations of faults which may appear on these engines. However, the study of these faults at the level of the stator and the rotor can reveal their impact on the electrical and mechanical characteristics of the machine. For this, we have established a model of the machine in order to better analyze the behavior of its behavior in the absence or in the presence of these failures. The results obtained by simulation are then studied in the frequency domain in order to compare normal operation with degraded operation.