

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



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Commande Electrique

Présenté par

KHATRAOUI abderrezak & ZAID mansour

Thème

Diagnostic des machines asynchrones Triphasées

Soutenu le 28/05/2017. Devant le jury composé de :

Mr. HALEM noura	Maitre de conférences	Président
Mr. ALLAL abderrahim	Maitre de conférences	Rapporteur
Mr. BESSOUS nour eddine	Maitre de conférences	Examineur

Année Universitaire 2016/2017



Remerciement

*Notre premier Remerciement va à Allah
Soubhanhou watahala.*

*Nous tenions à remercier vivement notre
encadreur, Monsieur "Allal Abderrahim",
pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa
contribution générale à L'élaboration
de ce travail.*

*Nous souhaiterons également remercier nos
enseignants de la faculté des sciences et
technologies*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères
remerciements à tous nos proches et amis qui nous
ont toujours soutenu et encouragé pour la
réalisation de ce mémoire.*



Dédicaces

Je dédie ce fruit de travail :

Pour la mère et le père qui ont tout le credit

À mes frères et toute la famille.

À tous les amis.

À tous mes collègues et régiment spécial

«commande électrique».

À vous tous un grand merci.

ABDERREZAK

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de mon père, que dieu l'accueille dans son vaste paradis ;

À ma mère, pour sa tendresse, sa bienveillance, son encouragement pour ce qu'elle a fait depuis mon enfance jusqu'à ce jour.

À mes chers frères et sœurs, tous par leurs noms

À toute ma grande famille ;

À tous mes amis, surtout et toute la promotion

"Commande électrique 2017 "

À tous mes professeurs

À mon binôme ABDERREZAK que je remercie pour avoir partagé avec moi ces moments pour la réalisation de ce modeste travail et j'espère en garder de très bons souvenirs.

MANSOUR

Notation et symboles

N_s : nombre de spires statoriques par phase.

N_r : nombre de barres rotorique.

n : entier naturel.

F.m.m : force magnétique.

s,r : indices stator et rotor respectivement.

e : l'épaisseur de l'entrefer [m].

f_s : fréquence d'alimentation [Hz].

μ₀ : perméabilité magnétique de l'air.

l : longueur active du circuit magnétique [m].

L_{sp} : inductance propre statorique [H].

L_{sf} : inductance de fuite rotorique [H].

L_b : inductance d'une barre rotorique [H].

L_e : inductance total de l'anneau de court-circuit [H].

L_{sc} : inductance cyclique [H].

I_e : courant dans l'anneau de court- circuit [A].

I_{bk} : courant de barre [A].

I_{rk} : courant dans la boucle rotorique [A].

I_{ek} : courant dans une portion d'anneau [A].

I_a , I_b , I_c : courants des phases statorique [A].

V_{abc} : les tensions statorique [V].

φ_{abc} : les flux statorique [wb].

φ_{rk} : le flux magnétique crée par une maille rotorique [Wb].

φ_s : flux magnétique par pole crée par le courant statorique [Wb].

M_s : mutuelle entre phase statorique [H].

θ_r : position du rotor [rd].

M_{sr} : mutuelle cyclique entre le stator [H].

a : angle électrique entre deux mailles rotorique [rd].

B_s : induction magnétique créée dans l'entrefer par le courant statorique [T].

R : rayant moyen de l'entrefer.

R_e : résistance totale de l'anneau de court-circuit [Ω].

R_r : résistance de l'enroulement rotorique [Ω].

R_s : résistance de l'enroulement statorique [Ω].

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

d, q : indices pour les composantes de PARK directe et quadrature, respectivement.

C_e : couple électromagnétique [N.m].

J : moment d'inertie [Kg.m²].

K_0 : coefficient de frottement.

ω_r : vitesse de rotation mécanique.

P : la puissance [W].

S : opérateur de Laplace.

p : nombre de paires de pôles.

θ : Angle décrivant une position particulière dans l'espace, mesuré par rapport à une référence fixée par rapport au stator.

g : glissement.

MAS : Machine asynchrone.

FFT : Fast Fourier Transform.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I		
Figure I.1	Eléments de constitution d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil utilisé pour avoir les résultats expérimentaux dans le laboratoire de la faculté Technologie (Université d' El Oued).	3
Figure I.2	La répartition des pannes.	4
Figure I.3	Défauts statoriques.	5
Figure I.4	Exemples de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone.	6
Figure I.5	Cassure des barres.	6
Figure I.6	Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte.	7
Figure I.7	Dimensions du roulement à bille.	8
Figure I.8	Les différentes grandeurs de diagnostic dans une machine.	11
Figure I.9	Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.	13
Figure I.10	Schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique utilisé pour avoir les résultats expérimentaux dans le laboratoire de la faculté Technologie (Université d' El Oued).	15
Chapitre II		
Figure II.1	Structure de la cage du rotor.	19
Figure II.2	Induction magnétique produite par une maille du rotor.	20
Figure II.3	Schéma équivalent des mailles rotorique.	22
Figure II.4	Principe de la Transformation de PARK.	27
Figure II.5	Schéma équivalent de la cage rotorique.	31

Chapitre III		
Figure III.1	Montage électrique Essai à rotor bloqué.	33
Figure III.2	Schéma équivalent en essai à rotor bloqué	34
Figure III.3	Montage électrique Essai à vide.	36
Figure III.4	Méthode de séparation des pertes ferromagnétiques et mécaniques.	38
Figure III.5	Essai de ralentissement.	39
Figure III.6	Caractéristique mécanique (sain).	42
Figure III.7	Caractéristique mécanique (avec défaut rotorique).	43
Figure III.8	Caractéristique mécanique (avec défaut statorique).	43
Figure III.9	Couple électromagnétique.	44
Figure III.10	Courant statorique.	44
Figure III.11	Vitesse de rotation mécanique.	45
Figure III.12	Courant rotorique.	45
Figure III.13	Schéma du principe de l'acquisition des résultats expérimentaux relative au courant statorique.	46
Figure III.14	Courant statorique sain.	46
Figure III.15	Courant statorique, court-circuit entre spire.	47
Figure III.16	Courant statorique, lors cassure de trois barres.	47
Chapitre IV		
Figure IV.1	Spectre de simulation du courant statorique (Etat sain).	52
Figure IV.2	Spectre expérimental du courant statorique (Etat sain).	52
Figure IV.3	Spectre de simulation du courant statorique (défaut rotorique).	53
Figure IV.4	Spectre expérimental du courant statorique (défaut rotorique).	53
Figure IV.5	Spectre de simulation du courant statorique (défaut statorique).	54
Figure IV.6	Spectre expérimental du courant statorique (défaut statorique).	54

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre III		
Tableau III.1	Coefficient empiriques de distribution des réactances de fuite asynchrones (selon AIEE test code).	35
Tableau III.2	Résultats de l'essai à vide.	37
Tableau III.3	Résultats des paramètres de la machine asynchrone.	40

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Notations et symboles

Liste des Figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I

Etat de l'art sur le diagnostic de défaut de la machine asynchrone

1-Introduction.....	3
2-Constitution de la machine asynchrone à cage.....	3
3-Causes des défauts.....	4
4-Différents défauts dans la machine asynchrone à cage.....	4
4-1-Défauts statoriques.....	4
4-2-Défauts rotorique.....	6
4-2-1-Cassure des barres.....	6
4-2-2-Défaut d'excentricité.....	7
4-2-3-Défaut dû au palier.....	8
5-Conséquences des défauts.....	9
6-Méthodes de diagnostic.....	9
6-1-Méthodes externes.....	9
6-2-Méthodes internes.....	10
6-3-Méthodes inductives.....	10
6-4-Méthodes déductives.....	10
7-Différentes méthodes de diagnostic.....	11
7-1-Techniques mécaniques.....	11
7-1-1-diagnostic par mesure de la température.....	11

7-1-2-Diagnostic par mesure des vibrations.....	12
7-2-Diagnostic chimiques.....	12
7-3-Techniques magnétiques et électriques.....	13
7-3-1-Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite.....	13
7-3-2-Diagnostic par l'analyse du courant statorique.....	14
8-Conclusion.....	15

Chapitre II

Modèle multi enroulement de la machine asynchrone

1-Introduction.....	16
2-Modèle de la machine asynchrone à cage.....	16
2-1-Approche analytique.....	16
2-2-Approche numérique.....	17
3-Modèle multi enroulement d'une machine asynchrone.....	17
4-Calcul des inductances.....	18
4-1-Partie Statorique.....	18
4-2-Partie Rotorique.....	19
4-3-Mutuelle inductances entre stator et rotor.....	21
5-Mise en équation.....	21
5-1-Equations statorique.....	21
5-2-Equations rotorique.....	22
5-3-Equation d'état de la machine.....	24
5-4-Transformation de PARK.....	27
5-5-Equation mécanique.....	29
6-Prise en compte du défaut dans le modèle.....	31
7-Conclusion.....	32

Chapitre III

Résultats expérimentaux et de simulation des grandeurs temporelles

1-Introduction.....	33
2-Identification paramétrique de la machine asynchrone à cage.....	33
2-1 Mesure des résistances statoriques.....	33
2-2-Méthode des essais classiques.....	33
2-2-1-Essai à rotor bloqué.....	33
2-2-2-Essai à vide.....	36
2-2-3-Méthode de séparation des pertes.....	37
2-3-Détermination des paramètres mécaniques.....	38
2-3-1-Détermination du moment d'inertie J ; (méthode de Routin).....	39
3-Résultat de simulation de la machine asynchrone.....	42
3-1-Simulation du modèle de la machine asynchrone.....	42
3-2-Cas d'une machine saine.....	42
3-3-Cas d'une machine défaut rotorique.....	43
3-4- Cas d'une machine défaut statorique.....	43
3-5-Cas d'une machine (saine, cassure de barre et court-circuit).....	44
4-Résultats expérimentaux de courant statorique.....	46
4-1 Cas d'une machine saine.....	46
4-2-Cas d'une machine avec défaut.....	47
5-Interprétation des résultats.....	48
5-1-Résultats simulation.....	48
5-2-Résultats expérimentaux.....	48
6-Conclusion.....	48

Chapitre IV

Analyse spectrale du courant statorique

1-Introduction.....	49
2-Techniques d'analyses des défauts.....	49
3-Analyse spectrale.....	49
3-1-Méthodes non- paramétriques.....	50
3-2- Méthodes paramétriques.....	50
4- Méthodes de détections de fréquence connues.....	50
5- Méthodes temps- fréquence et temps-echelle.....	50
5-1-Temps-fréquence.....	50
6-Application de l'analyse spectrale.....	51
7-Résultat de simulation d'analyse spectrale.....	51
8- Interprétations.....	55
9-Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	56
Bibliographies	
Résumé	

Introduction générale

Les machines asynchrones sont largement utilisées dans l'industrie. Pour assurer leur continuité de fonctionnement nécessite la mise en place de programmes de maintenance préventive et corrective. En effet, la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations[20].

La machine à rotor à cage d'écureuil était pour sa part réservée aux entraînements à vitesse constante à cause de la difficulté de sa commande et de la difficulté du suivi de ses paramètres rotoriques. Cependant, ce moteur présente de nombreux atouts : sa puissance massique, sa robustesse, son coût de fabrication relativement faible et un entretien minimum [21].

Malgré le fait que la machine asynchrone à cage soit réputée pour être la plus robuste des machines électriques, un certain nombre de contraintes de différentes natures (thermique, électrique, mécanique et d'environnement) peuvent affecter la durée de vie de celle-ci en faisant apparaître des pannes dans le stator et le rotor. Ces pannes occasionnent des pertes économiques considérables, obligeant les chercheurs de mettre en œuvre des systèmes de surveillance adéquats.

La surveillance est un moyen de garantir le bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic fait partie de la surveillance. Il a pour objectif de détecter d'une façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance totale de l'installation industrielle. Les deux principales tâches de diagnostic sont : la détection et la localisation des défauts. La détection consiste à signaler l'existence des défauts, tandis que la localisation a pour objet de trouver le type de défaut.

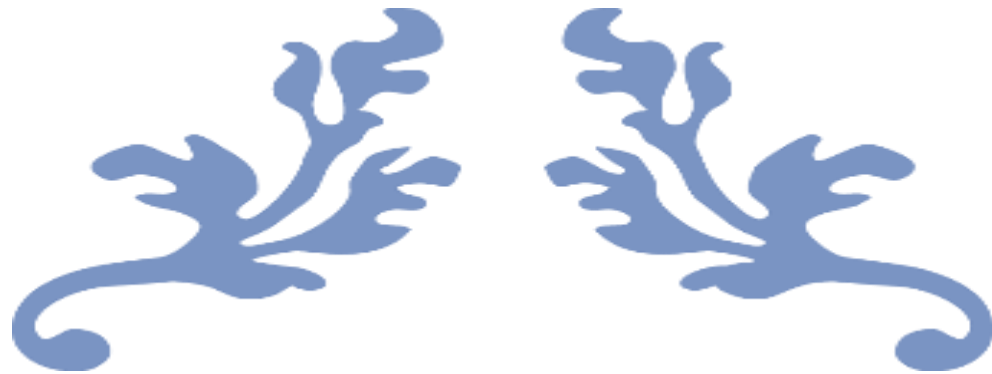
Une étude faite sur les pannes de machines asynchrones, 50 % sont concentrées au niveau du stator et 20 % au niveau du rotor, 20 % au niveau de la mécanique, le reste (10 %) touche d'autres parties de la machine. Les ruptures des barres ou d'anneaux de court-circuit ont fait l'objet de nombreux travaux [6].

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au diagnostic des défauts de la cassure de barres.

L'étude a été répartie en quatre chapitres:

- ✚ Dans le premier chapitre, on présente les causes et les natures des différents défauts et aussi les méthodes de diagnostic et le modèle de la machine asynchrone, dans un moteur à cage d'écureuil.
- ✚ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et la formulation mathématique du modèle multi-enroulement de la machine asynchrone triphasée à cage.
- ✚ Pour le troisième chapitre, on va présenter les résultats de simulation du modèle multi enroulement (à l'état sain, défaut avec cassure de barre et court-circuit entre spire).
- ✚ Dans le quatrième chapitre, on va étudier l'analyse des défauts à travers de l'analyse spectrale du courant statorique en utilisant transformation de Fourier rapide FFT.

Et on termine par une conclusion générale et perspective.



CHAPITRE I

Etat de l'art sur le diagnostic de défaut de
la machine asynchrone



2016/2017

1-Introduction :

Le moteur asynchrone à cage est une composante clé de la plupart des équipements industriels, du fait de sa grande robustesse et son prix de revient. Il est en effet, omniprésent dans les secteurs de pointes comme l'aéronautique, le nucléaire, la chimie,... Malgré toutes ces qualités, un certain nombre de contraintes de différentes natures (thermiques, électriques, mécaniques et d'environnement) peuvent affectés la durée de vie de la machine en faisant apparaître des pannes dans le stator et le rotor [1], [2]. Dans ce chapitre, on va présenter les différents défauts au niveau de la machine asynchrone.

2-Constitution de la machine asynchrone à cage :

La machine asynchrone souvent appelée machine à induction, comporte deux parties essentielles, l'une fixe appelée stator portant un bobinage triphasé logé dans les encoches et relié à la source d'alimentation et l'autre mobile ou rotor qui peut être soit bobiné soit à cage d'écureuil. Ces deux parties sont séparées par un entrefer. Dans ce travail, nous nous intéressons à la machine asynchrone à cage d'écureuil [3].

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la figure (I.1).



Machine Asynchrone



Stator



Rotor

Figure I.1: Eléments de constitution d'une moteur asynchrone à cage d'écureuil utilisé pour avoir les résultats expérimentaux dans le laboratoire de la faculté Technologie (Université d' El Oued).

3-Causes des défauts :

Les origines des défauts sont souvent de natures différentes, mais sont généralement fortement liées les uns aux autres, on cite comme causes majeures [4] :

- a) Causes thermiques : balourds thermique, points chauds, températures ambiantes élevées.
- b) Entourage du moteur (tension transitoire d'alimentation, inverseurs, air de refroidissement, mauvais courant de charge, sur charge, corrosion humidité...)
- c) Causes mécaniques et mauvais emploi du moteur (résonance avec la commande de la vitesse, chocs en service, vibrations, jeu excessifs, balourds mécaniques....)
- d) Les vices de fabrication.
- e) Erreurs pendant la réparation (taille et type impropriété d'enroulement, roulement inadéquat).
- f) Epuisements de la durée de vie du moteur.

Ces défauts se répartissent selon la figure suivante :

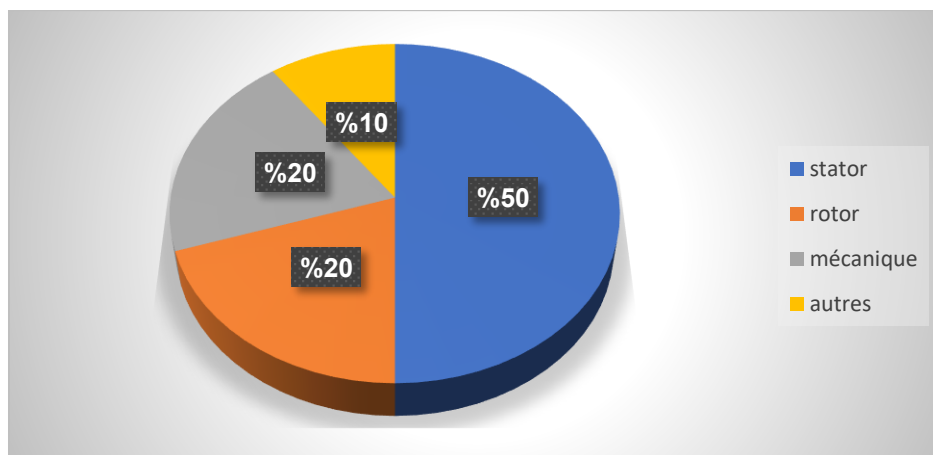


Figure I.2: La répartition des pannes.

4-Différents défauts dans la machine asynchrone à cage :

4-1-Défauts statoriques :

Ces défauts apparaissent souvent au niveau des enroulements statoriques (figure I.3) et sont dus à des dépassements de différentes natures [1]. On distingue :

- Court-circuit dans les spires d'une même phase .
- Court-circuit entre phases ou entre bobines.
- Coupure d'une phase.
- Défaut du circuit magnétique (rupture de tôles).
- Défaut de l'isolation masse.

A partir des études théoriques, il a été montré que le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit au stator, les fréquences additionnelles sont données par la relation suivante [4] [5] :

$$f_{cc} = f_s \left\{ \frac{n}{p} (1 - g) \mp k \right\} \quad (I.1)$$

Où

f_{cc} : fréquence de court-circuit ;

$n = 1, 2, 3, \dots, n \in \mathbb{N}$;

p = nombre de pair de pôles ;

g = glissement ;

$k = 1, 2, 3, \dots, k \in \mathbb{N}$.

Les différents courts-circuits sont représentés dans la figure ci-dessous :

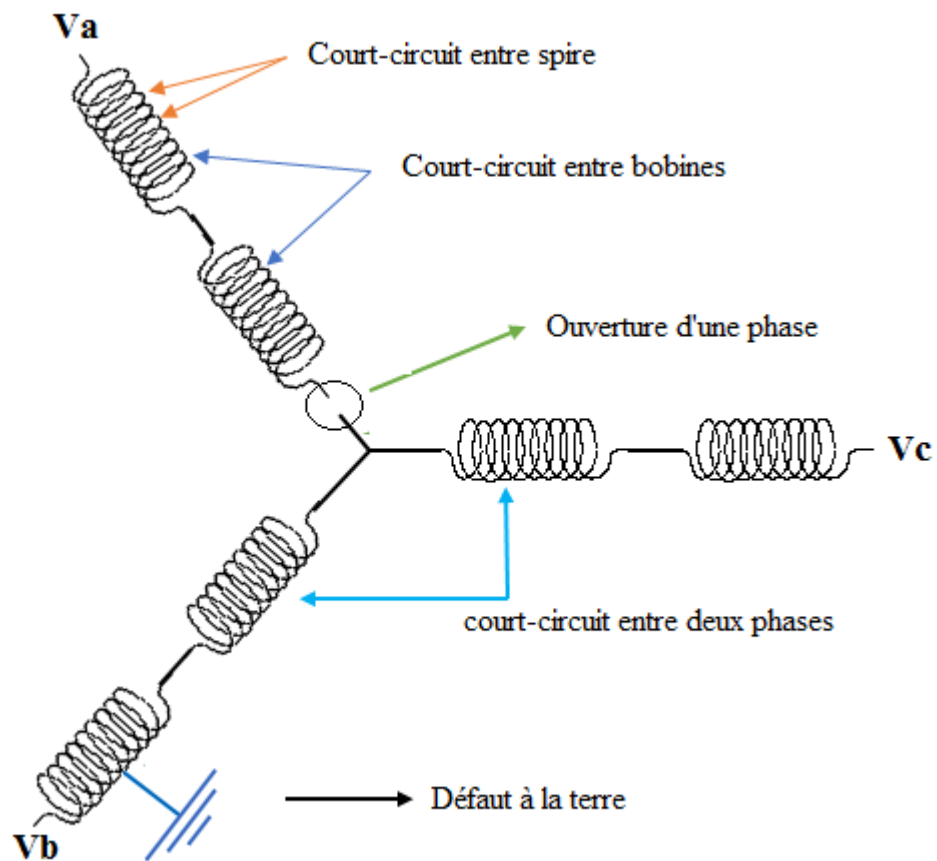


Figure II.3 : Défauts statoriques.



Figure I.4 : Exemples de dégâts dus au défaut de court-circuit statorique d'un moteur asynchrone

4-2-Défauts rotoriques :

L'analyse du spectre du courant statorique en régime permanent fournit des indications sur les défaillances rotoriques telles que les ruptures de barres, d'anneaux de court-circuit ou l'excentricité d'entrefer [4] [5].

4-2-1-Cassure des barres :

La cassure de barre rotorique provoque une dissymétrie du rotor. Le résultat de la dissymétrie réside dans la création d'un champ tournant de sens opposé à celui généré par le stator, et cela à la fréquence de glissement par conséquent, il y'aura création d'un courant supplémentaire dans le bobinage statorique.

La relation de la fréquence est donnée sous la forme :

$$f_{bc} = (1 \mp 2kg)f_s \quad (I.2)$$

f_{bc} : fréquence de barre cassé. f_s : Fréquence d'alimentation statorique.

$k = 1, 2, 3...$ g : glissement.

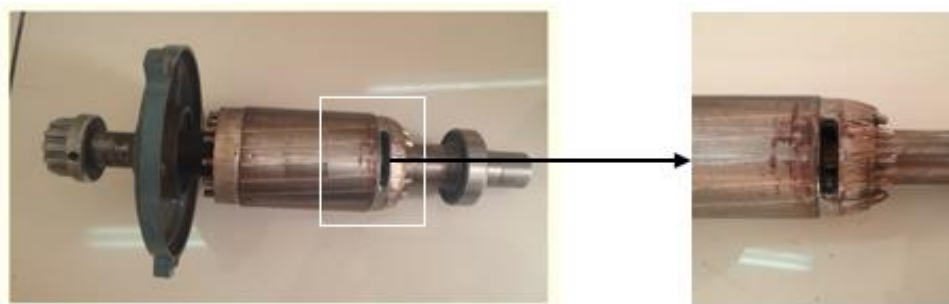


Figure I.5 : Cassure de barres.

4-2-2-Défaut d'excentricité [5] :

La géométrie du rotor peut présenter des dissymétries qui sont naturelles celles-ci relèvent de trois catégories qui sont pour l'essentiel :

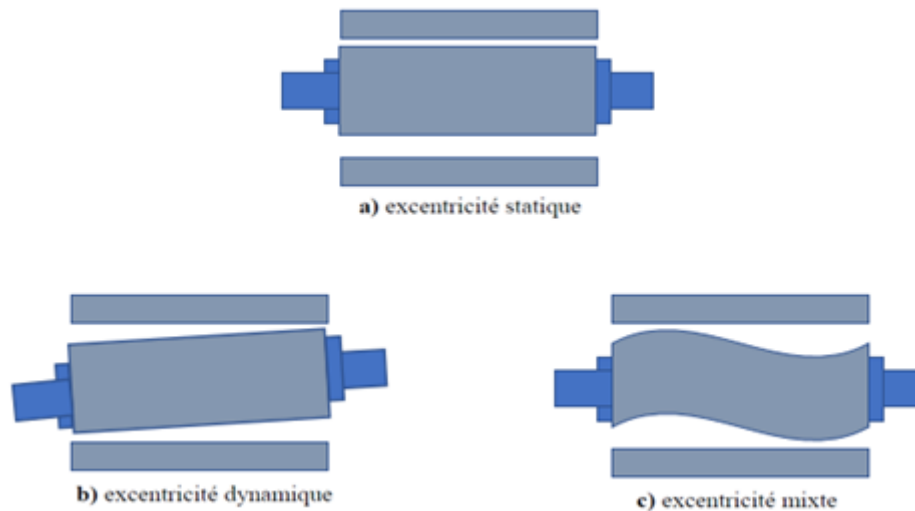


Figure I.6 : Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte.

Excentricité statique: déformation du corps du stator, positionnement incorrecte du rotor

Excentricité dynamique: le centre du rotor n'est plus confondu avec le centre de rotation.

L'apparition des deux types d'excentricité au même temps est généralement appelée:

Excentricité mixte: L'excentricité dans la machine à induction augmente l'apparition des composantes additionnelles dans le spectre du courant, leurs fréquences sont données par des composantes fréquentielles suivantes[25]:

$$f_{exc} = f_s \left(1 \mp k \cdot \frac{(1-g)}{p} \right) \quad (I.3)$$

avec $k = 1, 2, 3, \dots$

f_{exc} : Fréquence d'excentricité

Une seconde approche consiste à utiliser une expression liant le défaut de barre casée à celle de l'excentricité et des encoches au rotor. C'est ainsi qu'une équation sous forme compacte, fait apparaître les harmoniques de fréquences relatives à ces défauts et qui dépendent pour beaucoup du nombre de pair de pôles.

Les causes de l'excentricité peuvent être dues au positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à l'usure des paliers ou à la torsion de l'arbre.

4-2-3-Défaut dû au palier [6] :

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone, pour cela les harmoniques contenus dans le spectre du courant statorique peuvent être décrits par l'expression [6] :

$$f_{roul} = f_s \mp k f_v \quad (I.4)$$

D'où $k=1, 2, 3 \dots$, et f_v est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations

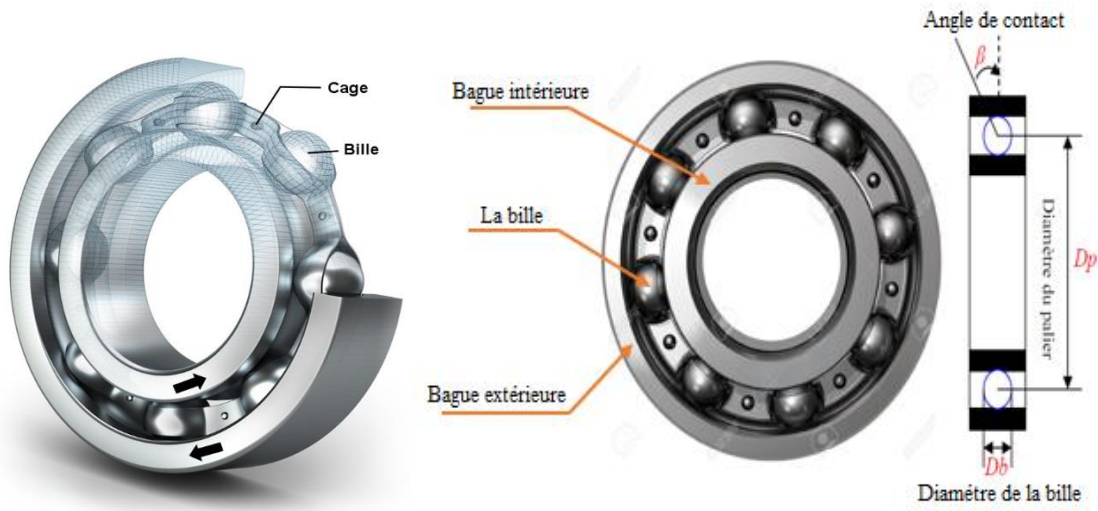


Figure I.7: Dimensions du roulement à bille.

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par un défaut et sont liées aux paramètres physiques du roulement. Selon [6], les fréquences de vibration qui caractérisent les défauts des roulements à bille sont :

- **Défaut au niveau d'une bille :**

$$f_b = \frac{PD}{BD} f_{rot} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (I.5)$$

- **Défaut sur la bague intérieure :**

$$f_{b.int} = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (I.6)$$

• **Défaut sur la bague extérieure :**

$$f_{b.ext} = \frac{n_b}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (I.7)$$

• **Défaut sur la cage :**

$$f_{b.cag} = \frac{1}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right] \quad (I.8)$$

Où : f_{rot} : fréquence de rotation du rotor

5-Conséquences des défauts :

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total. On cite parmi les conséquences des défauts :

- Dégradation des caractéristiques mécaniques au niveau du couple et de la vitesse.
- Appel supplémentaire de courant.
- Déséquilibre au niveau de la tension et de courant de ligne.
- Augmentation des arrêts non programmés, des pertes de production et par conséquent le rendement global.

6-Méthodes de diagnostic [4] [7] :

Le raisonnement et la connaissance sont deux éléments clés dans la solution d'un problème. Le diagnostic est au niveau conceptuel une distribution systématique des symptômes en diverses catégories de défauts. Par rapport à la connaissance et au raisonnement deux grandes classes des méthodes de diagnostic existent :

- les méthodes internes et externes.
- les méthodes inductives et déductives

6-1-Méthodes externes :

Les méthodes externes de diagnostic supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine acquise par apprentissage, ces méthodes se basent sur l'analyse des signaux que fournit la machine lors de son fonctionnement, les signaux utilisables peuvent être :

Flux d'entrefer, puissance instantanée, courant statorique et vibration acoustique.

6-2-Méthodes internes :

La connaissance du modèle permet de décrire les relations de cause à effet, ces méthodes requièrent une connaissance approfondie du fonctionnement sous la forme de modèle mathématique, ces méthodes utilisent un modèle pour reproduire le comportement du système.

On distingue ces méthodes suivant le modèle utilisé.

- **Modèle de simulation** : les modèles analytiques utilisés dans ce mode sont représentés par des équations d'état ou des fonctions de transfert.
- **Observateurs** : un module capable d'engendrer une approximation du vecteur d'état est appelé : estimateur d'état ou observateur d'état. Le modèle est décrit sous une représentation de variables d'état. L'analyse du comportement des estimations des états qui ont un sens physique permet la réalisation du diagnostic.
- **Estimation paramétrique** : c'est la détermination des vecteurs des paramètres qui gouvernent le comportement dynamique du système.
- **Modélisation des signaux** : dans cette méthode, le contenu spectral, l'évolution temporelle des variables mesurées sont exploitées pour détecter et localiser les défauts, l'analyse spectrale est très utilisée pour détecter des défaillances dans les machines électriques.

6-3-Méthodes inductives :

Elles correspondent à une approche montante ou recherche en avant, il s'agit de trouver le défaut à partir de ses effets sur le système, ces méthodes utilisent un mécanisme de raisonnement en avant qui a pour objectif d'interpréter les symptômes ainsi que leur combinaison afin de trouver le défaut.

6-4-Méthodes déductives :

Le raisonnement en arrière est la principale caractéristique de ces méthodes, la méthode déductive doit trouver quels sont les effets dans le système. Une vérification des effets trouvés par rapport aux effets possibles permet de confirmer l'existence d'un défaut.

Le diagnostic peut utiliser soit un seul type de raisonnement (avant ou arrière) soit une combinaison de raisonnement (avant et arrière) dans ce dernier cas le raisonnement appelé mixte ou avant arrière.

7-Différentes méthodes de diagnostic :

Les moteurs asynchrones sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures, l'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur.

Pour remédier au problème de détection des défauts, il existe une variété de techniques de diagnostic et de détection des défauts [8] [9]. Certaines d'entre elles sont basées sur l'observation et la mesure (mesure de champ magnétique, mesure de bruit) d'autres sont basées sur la surveillance et la comparaison des caractéristiques électromécaniques du moteur en défaut (courant statorique, couple et vitesse) (figure I.8) [10].

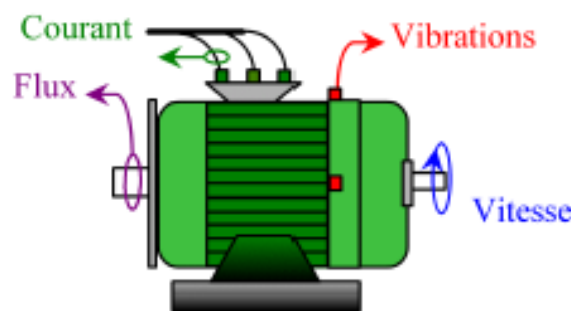


Figure I.8 : Différents grandeurs de diagnostic dans une machine.

Ces techniques peuvent être classées en trois catégories : les techniques mécaniques, les techniques chimiques et les techniques magnétiques et électriques.

7-1-Techniques mécaniques :

Parmi ces techniques, on trouve :

7-1-1-Diagnostic par mesure de la température :

Les températures des supports sont surveillées sur des bases de routine, et fournissent des informations utiles. Un volume de liquide refroidissant, débouché sur des températures, est aussi précieux pour l'indication des problèmes de refroidissement et pour le contrôle lorsqu'il est proposé de faire opérer la machine au-delà de sa puissance.

Les températures des bobines sont aussi impératives pour la détermination de la limite pour laquelle le moteur peut être chargé et pour l'estimation de la durée de vie résistante de l'isolation des enroulements. Elles sont rarement mesurées à cause des problèmes d'obtention de l'isolation électrique contre les conducteurs de haute tension, bien que les détecteurs de température soient parfois intercalés dans l'isolant renfermé sur le point surchauffé du conducteur, mais cela affaiblit l'intégrité de l'isolant.

Il demeure donc une nécessité pour le capteur de fortes températures avec lequel peut être monté sur les enroulements ou inséré dans l'isolant électriquement isolé par rapport à son instrument de mesure.

7-1-2-Diagnostic par mesure des vibrations :

Le diagnostic vibratoire est une méthode très ancienne et très utilisée pour la détection des défauts dans les machines électriques.

Toutes les machines électriques produisent du bruit et des vibrations. Leur analyse peut être employée pour fournir des informations sur l'état de la machine.

Plus souvent, les mesures sont faites comme une procédure non fréquente ou lorsqu'un problème est suspecté, les mesures sont faites en utilisant des accéléromètres ou des capteurs de vitesse à boulons.

Des sondes de déphasage sont aussi employées pour le contrôle du mouvement de l'arbre. Le désalignement entre les centres des supports donnant naissance à un entrefer non uniforme produit la vibration à une fréquence double, tandis que le déséquilibre mécanique engendre la vibration à la vitesse angulaire, au moment où les deux dépendent de la réponse mécanique à cette fréquence.

Les signaux de vibrations détectés contiennent des informations essentielles sur l'état de la machine. L'analyse spectrale de ces signaux nous renseigne sur les différents défauts qui sont à l'origine de ces vibrations.

7-2-Diagnostic chimique :

Plusieurs moteurs sont refroidis par l'air ou à l'aide d'un circuit fermé avec un échangeur de chaleur hydro réfrigéré. La dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produit le gaz d'oxyde de carbone qui apparaît dans le circuit de l'air refroidissant et qui peut être détecté par une technique d'absorption infrarouge.

L'air est tiré du moteur à travers le tube vers le détecteur infrarouge par une pompe auxiliaire. Seuls les moteurs en service sont échantillonnés et la forme de l'air de chaque moteur est analysée pendant deux minutes.

L'huile de roulement est aussi analysée régulièrement, et l'intervention est requise si les produits indiquant la dégradation sont présents [8] .

A ce stade, on peut conclure que la plupart des techniques précitées exigent l'emploi des capteurs, qui doivent être placés au niveau de la machine. C'est pour cette raison elles peuvent être utilisées que pour les machines de grande puissance.

Ces techniques sont basées généralement sur l'utilisation des grandeurs mécaniques, afin que les ingénieurs mécaniciens puissent faire leur interprétation. Bien que les machines soient des moteurs asynchrones. La présence des ingénieurs électriciens est nécessaire pour intervenir dans la partie électrique et pour cette raison les techniques de diagnostic sont de plus en plus orientées vers l'emploi des grandeurs électriques vu leur accessibilité et la simplicité du capteur utilisé.

7-3-Techniques magnétiques et électriques :

7-3-1-Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite :

Le flux de fuite axial peut être détecté par une bobine (bobine exploratrice) enroulée autour de l'arbre de la machine (figure I.9) et aussi par n'importe quel arrangement symétrique simple des bobines placées à l'extrémité de l'arbre de la machine ou par d'autres dispositifs sensibles tels que les sondes à effet hall.

Lorsque la bobine est enroulée autour de l'arbre d'une machine électrique, elle est le siège d'une force électromotrice (FEM) induite qui est liée aux flux de fuite axiaux.

Les flux de fuites sont présents dans toutes les machines électriques en raison des asymétries dans les circuits électriques et magnétiques qui sont dues aux fluctuations du réseau électrique et les tolérances pendant le processus de fabrication.

L'analyse spectrale de la tension induite peut être utilisée pour identifier les différentes asymétries et défauts. Le contenu d'harmoniques des flux de fuites axiaux du stator et du rotor est directement en relation avec les harmoniques contenus respectivement dans les courants du stator et du rotor.

La conséquence directe d'un défaut est l'augmentation du flux de fuite axial. Cette augmentation du flux est la condition nécessaire pour l'utilisation du flux de fuite axial comme une technique de diagnostic, c'est-à-dire ce dernier doit avoir une valeur importante.

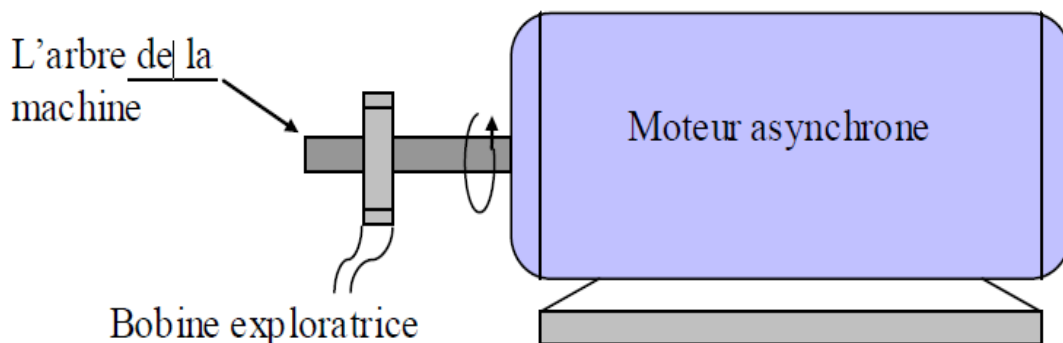


Figure I.9 : Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.

7-3-2-Diagnostic par l'analyse du courant statorique :

Cette méthode est un outil puissant pour détecter la présence des défauts mécaniques et électriques. Elle présente plusieurs avantages par rapport aux autres méthodes, parce qu'elle ne demande ni l'introduction d'un capteur au niveau de la machine ni l'utilisation d'un équipement coûteux et encombrant mais seulement un capteur de courant (sonde à effet de hall ou transformateur de courant) qui donne une image sur le courant de phase statorique. C'est cette méthode de diagnostic qui sera utilisée comme outil de diagnostic dans la recherche des différents défauts dans ce travail.

C'est une méthode de surveillance, qui consiste à utiliser le spectre du courant statorique. Sachant que dans un spectre de courant d'un moteur sans défaut apparaît uniquement la composante du fondamental, pour une répartition sinusoïdale de la Fmm [13] [12], [11] .

Dans le cas d'une répartition non sinusoïdale de la Fmm en plus du fondamental apparaît des harmoniques de l'encochage rotorique, cas d'un moteur à cage.

Pour montrer le principe de cette méthode, on considère le cas d'une asymétrie rotorique d'un moteur asynchrone, l'existence de ce défaut engendre un courant de défaut dans le rotor .Ce courant produit une Fmm pulsatoire dont la fréquence d'ondulation est (f_s), cette Fmm produit dans l'enroulement statorique une harmonique à deux composantes, la première ayant la fréquence $(1-2s)f$ et la deuxième ayant la fréquence $(1+2s)f$ (figure I.10).

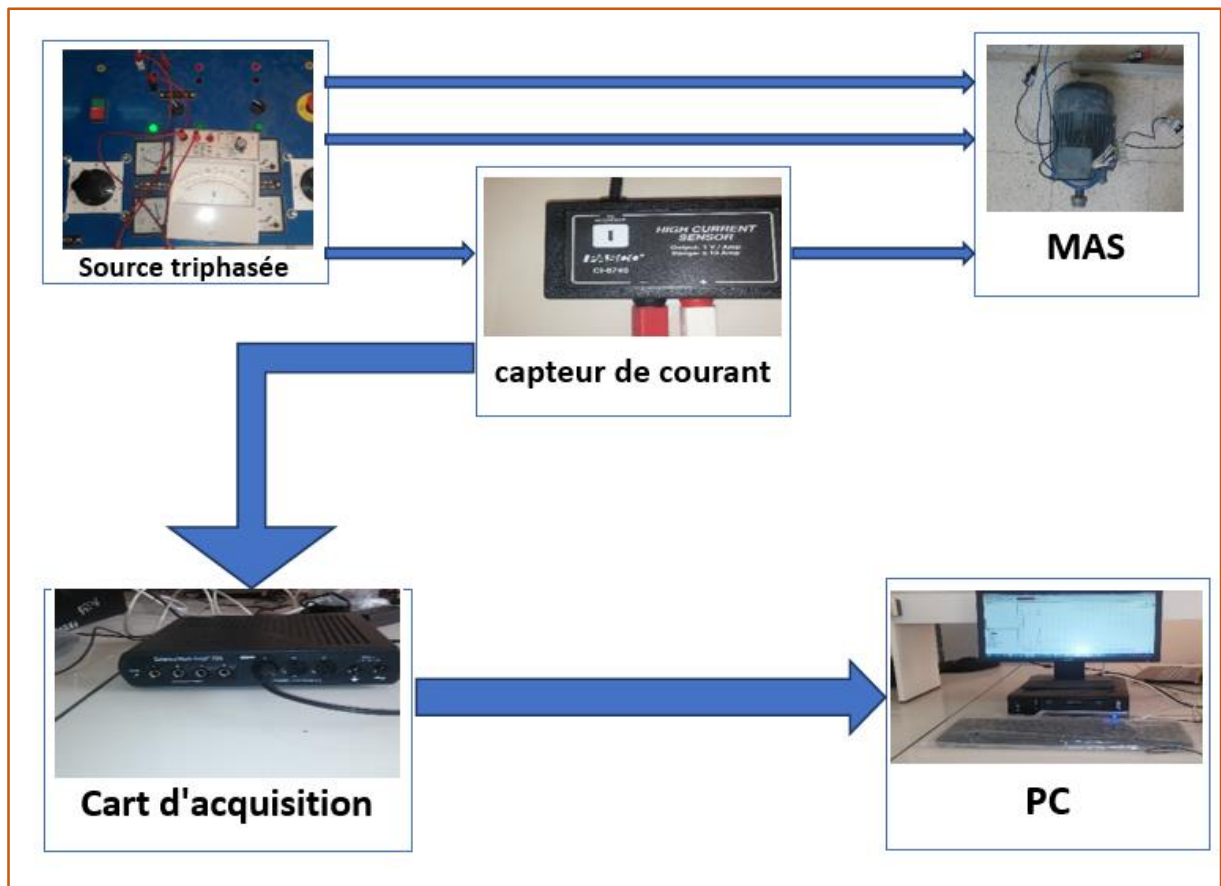
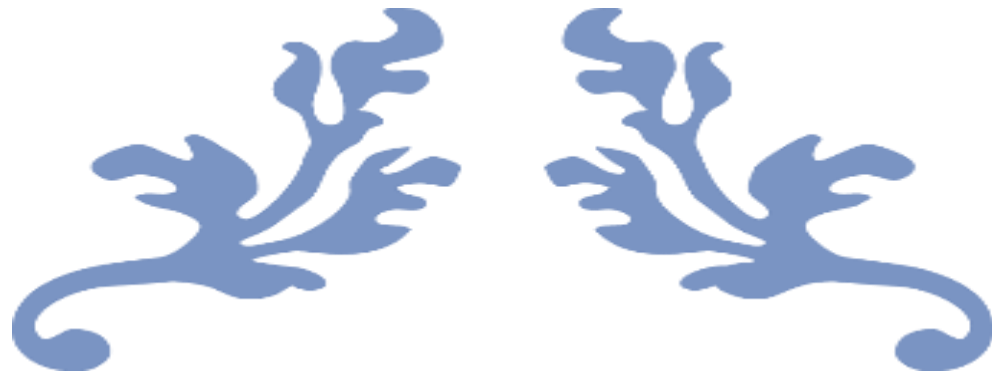


Figure I.10: Schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique utilisé pour avoir les résultats expérimentaux dans le laboratoire de la faculté Technologie (Université d' El Oued).

8-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés des notions très importantes en diagnostic, tels que les défauts pouvant affecter la machine asynchrone, leurs causes et leurs conséquences, ainsi que les méthodes utilisées en diagnostic. Notre travail est consacré à l'étude et à la détection des cassures de barres dans la cage rotorique et aux courts-circuits entre les spires d'une même phase statorique d'un moteur asynchrone. Pour cela, il faut disposer d'un bon modèle mathématique, décrivant le comportement dans l'état sain et avec défaut. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.



CHAPITRE II

Modèle multi enroulement de la machine
asynchrone



2016/2017

1-Introduction :

La machine asynchrone présente l'avantage d'être robuste, peu coûteuse et de construction simple, cette simplicité s'accompagne toutefois d'une grande complexité physique liée aux interactions électromagnétiques entre le stator et le rotor.

Dans ce chapitre, nous recherchons une meilleure compréhension des effets des défauts de roulement sur la machine et comment s'effectue le transfert des informations mécaniques vers les grandeurs électriques.

Les modèles simples (d, q), négligeant un certain nombre de phénomènes, ses modèles sont fréquemment affectés par les transformations et le changement d'axe. Donc, il a fallu s'orienter vers le modèle multi enroulement pour une description adaptée aux défauts.

La modélisation décrite, dans ce chapitre, a pour objet de représenter les barres ou les anneaux de court-circuit pour une machine asynchrone à cage. Dans cette perspective, nous avons développé un modèle basé sur un circuit maille représentant la cage rotorique, nous avons privilégié l'approche analytique afin de disposer d'un modèle mathématique ne nécessitant pas d'outils de calcul complexe.

2-Modèle de la machine asynchrone à cage :

La modélisation et la simulation des machines constituent une étape primordiale en matière de diagnostic. Elles permettent la compréhension du fonctionnement défectueux, la vérification sur prototype virtuel de l'efficacité des algorithmes de détection de défaut et elles apportent également la possibilité de construire des bases de données sur les manifestations électriques et magnétiques de ces défauts. Parmi les approches de modélisations existantes, on cite [4], [7] :

2-1-Approche analytique :

Les modélisations analytiques reposent sur le concept d'inductance, notion qui caractérise par une relation linéaire entre le flux et le courant. Cette approche globale des phénomènes électromagnétiques permet d'établir un schéma électrique équivalent de la machine, la théorie des circuits permet de trouver les équations différentielles caractérisant le fonctionnement de la machine [4], [14].

2-2-Approche numérique

On cite deux méthodes :

- **La méthode des réseaux de perméance :**

Elle consiste à découper la machine en plusieurs tubes du flux caractérisés par des perméance. Le mouvement de la machine est pris en compte par l'intermédiaire de perméance d'entrefer variable selon la position du rotor. Cette tient en compte aussi la saturation. [6].

- **La méthode des éléments finis :**

Il s'agit de découper la machine en éléments de tailles suffisamment petites, pour que le matériau magnétique puisse être considéré comme linéaire sur les surfaces correspondantes, et à partir des équations de MAXWELL, il est possible d'exprimer le problème à résoudre.

La méthode des éléments finis permet de reproduire fidèlement le comportement électromagnétique de la machine, et de simuler les défauts d'une manière plus proche de la réalité. Cependant, les moyens et le temps de calcul freinent l'utilisation de telles méthodes en simulation des algorithmes de détection des défauts.

3-Modèle multi enroulement d'une machine asynchrone :

L'objectif est de procéder à un développement d'un modèle de la machine asynchrone qui mette en évidence l'influence des défauts étudiés sur les grandeurs mesurables de la machine, principalement les courants. Deux approches sont possibles, la première s'appuie sur la distribution des champs et des courants en tout point de la machine est permet de simuler son fonctionnement en régime des défauts .La seconde approche retenue ici consiste a interprété la machine du point de vue de la théorie des circuits pour faciliter la simulation et la mise au point les problèmes de rupture de barres et d'anneaux de court-circuit [4],[15].

4-Calcul des inductances :

4-1-Partie statorique [4] :

En premier temps, on suppose que les enroulements statoriques soient idéalement distribués autour du périphérique de l'entrefer de telle sorte que l'induction résultante puisse être sinusoïdale, dans ce cas l'expression de la Fmm sera :

$$F(\theta) = \frac{2N_s}{\pi \cdot P} \cos(\theta) \quad (\text{II-1})$$

D'après le théorème d'Ampère, on peut écrire :

$$F(\theta) = \oint H \, dl = \frac{N_s I_s}{P} \quad (\text{II -2})$$

La décomposition de l'induction sera :

$$B(\theta) = \frac{\mu_0 N_s I_s}{e \, p \, \pi} \cos(P\theta) \quad (\text{II -3})$$

Par conséquent, le flux magnétique dans l'entrefer est obtenu par l'intégration de l'expression (2-3), on écrit :

$$\Phi_s = \iint_S B_s \, ds = \int_{-\frac{\pi}{2P}}^{\frac{\pi}{2P}} B_s \, Rl \, d\theta$$

On obtient :

$$\Phi_s = \frac{4}{\pi} \mu_0 \frac{N_s}{e \cdot p^2} Rl I_s \quad (\text{II -4})$$

Le flux total traversant l'enroulement de la phase « a » est :

$$\Psi_{sa} = N_s \Phi_s = N_s I_s \frac{2\mu_0 N_s Rl}{e \, p \, \pi} \int_{-\frac{\pi}{2P}}^{\frac{\pi}{2P}} \cos(P\theta) \, d\theta \quad (\text{II -5})$$

Donc :

$$\Psi_{sa} = L_{sp} I_s$$

L'inductance principale de la phase « a » statorique d'après (II -5) est donnée par :

$$L_{sp} = 4\mu_0 \frac{N_s^2}{e \, p^2 \, \pi} Rl \quad (\text{II -6})$$

Le flux de fuite est donné par :

$$\Phi_{fs} = L_{fs} + I_s \quad (\text{II -7})$$

L'inductance totale de la phase "a" est égale à la somme de l'inductance de magnétisation et l'inductance de fuite :

$$L_{as} = L_{sp} + L_{fs} \quad (\text{II -8})$$

Puisque les enroulements statoriques sont symétriques, les inductances propres des trois phases sont considérées égaux ($L_{as} = L_{bs} = L_{cs} = L_s$)

4-2-Partie rotorique :

La figure (II.1) illustre la modélisation du rotor par son schéma électrique équivalent, le rotor a été décomposé en circuit élémentaire (mailles) constitué de deux barres et de deux portions d'anneaux les reliant à chaque extrémité. Cette topologie des circuits rotoriques nous permettra d'envisager la rupture de n'importe quelle barre ou de portion d'anneau [4].

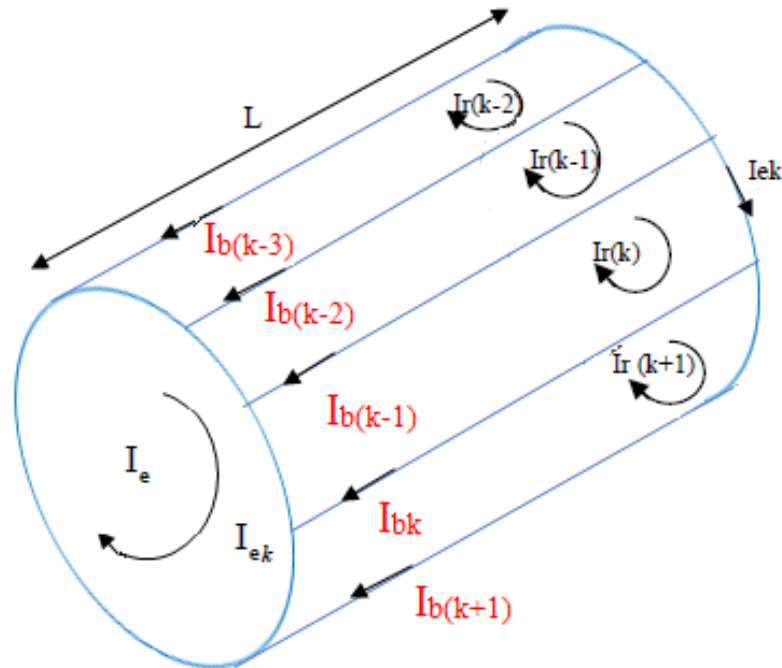


Figure II.1 : Structure de la cage du rotor.

La figure (II.2) représente en fonction de θ , l'allure de l'induction magnétique supposée radiale produite par une maille rotorique dans l'entrefer en remarque que contrairement au stator, elle ne peut se ramener au fondamental de sa décomposition en série de Fourier [4] [16].

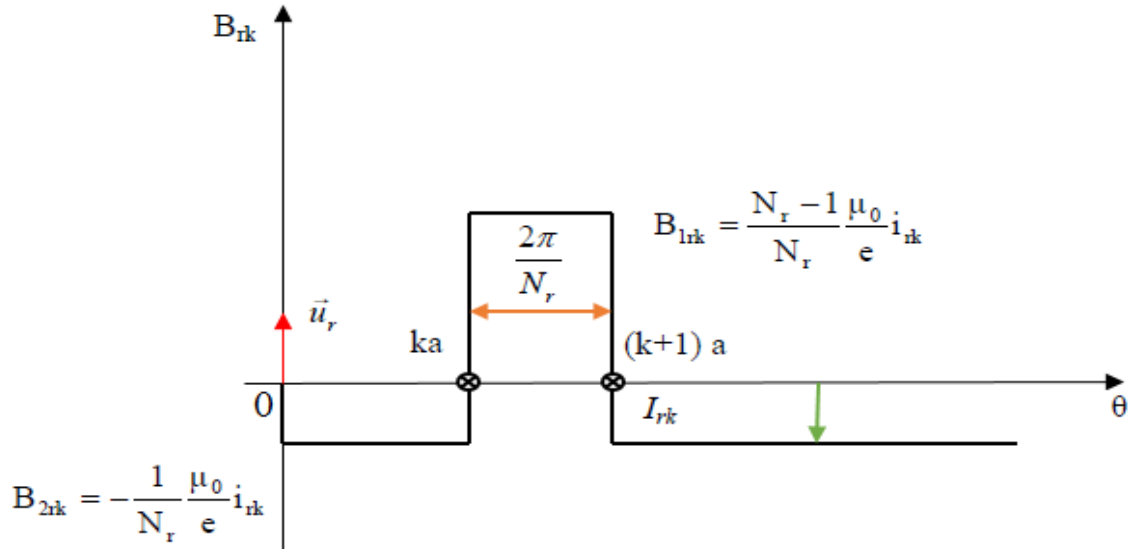


Figure II.2 : Induction magnétique produite par une maille du rotor.

La distribution spatiale du champ dû à la $k^{\text{ème}}$ boucle de courant rotorique, est considérée comme étant rectangulaire, l'inductance principale et l'inductance mutuelle d'une maille rotorique sont données par l'expression du flux propre de la maille k .

On a donc:

$$\Phi_{rp k} = \int_{ka}^{(k+1)a} B_{1rk} R l d\theta$$

$$\Phi_{rp k} = \frac{N_r - 1}{N_r^2} \mu_0 \frac{2\pi R l}{e} I_{rk} \quad (\text{II -9})$$

L'inductance propre d'une boucle rotorique est :

$$L_{rp} = \frac{N_r - 1}{N_r^2} \mu_0 \frac{2\pi R l}{e} \quad (\text{II -10})$$

L'inductance totale de la $k^{\text{ème}}$ maille rotorique est égale à la somme de son inductance principale, des inductances de fuite des deux barres et des inductances de fuites de deux portions d'anneaux de court-circuit fermant la maille k .

$$L_{rr} = L_{rp} + 2 L_b + 2 L_e \quad (\text{II -11})$$

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

$$\Phi_{rjpk} = \int_{ja}^{(j+1)a} B_{2rk} R l d\theta$$

$$\Phi_{rjpk} = \int_{ja}^{(j+1)a} \left(-\frac{1}{N_r} \frac{\mu_0}{e} R l I_{rk} \right) d\theta \quad (\text{II -12})$$

D'après l'équation (II -12), on obtient l'inductance mutuelle :

$$M_{rr} = -\frac{1}{N_r^2} \frac{\mu_0}{e} 2 \pi l R \quad (\text{II -13})$$

4-3-Mutuelles inductances entre stator et rotor :

L'induction produite par la bobine de la phase « n » dans la k^{ème} maille rotorique est donnée par :

$$B_{msr} = \frac{2\mu_0 N_s I_s}{e p \pi} \cos(p\theta - n \frac{2\pi}{3}) \quad (\text{II -14})$$

Avec n= (1, 2,3)

Le flux traversant la maille k, est donné par :

$$\Phi_{rka} = \int_{ka}^{(k+1)a} B_{msr} R l d\theta$$

On obtient:

$$\Phi_{rka} = \frac{2\mu_0}{e p \pi} N_s R l I_s \frac{1}{p} \left[\sin \left(p\theta - n \frac{2\pi}{3} \right) \right]_{ka}^{(k+1)a} \quad (\text{II -15})$$

L'inductance mutuelle entre la phase « a » du stator et la maille rotorique est :

$$M_{rka} = -M_{sr} \cos \left(p\theta - n \frac{2\pi}{3} + ka \right) \quad (\text{II -16})$$

$$\text{Avec } M_{rka} = \frac{4\mu_0 N_s R l}{\pi e p^2} \sin \left(\frac{a}{2} \right), \quad a = p \frac{2\pi}{N_r}$$

5-Mise en équation :

L'objectif de cette étape est de trouver un modèle adéquat de la machine asynchrone pour la simulation.

5-1-Equations statoriques :

Les équations de la tension et du flux statorique sont :

$$\begin{cases} [V_{abc}] = [R_s][I_{abc}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{abc}] \\ [\Phi_{abc}] = [L_s][I_{abc}] + [M_{sr}][I_{rk}] \end{cases} \quad (\text{II -17})$$

Avec :

$$[V_{abc}] = [V_a \ V_b \ V_c]^t$$

$$[I_{abc}] = [I_a \ I_b \ I_c]^t$$

$$[I_{rk}] = [I_{r0} \ I_{r1} \ \dots \ I_{r(N_r-1)}]^t$$

$$[\Phi_{abc}] = [\Phi_a \ \Phi_b \ \Phi_c]^t$$

La matrice des résistances statoriques est :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix}$$

La matrice d'inductance statorique s'écrit :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{sp} + L_{sf} & M_s & M_s \\ M_s & L_{sp} + L_{sf} & M_s \\ M_s & M_s & L_{sp} + L_{sf} \end{bmatrix}$$

Les inductances mutuelles entre phases statorique et maille rotorique s'écrit :

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} \dots & -M_{sr} \cos(\theta_r + ka) & \dots \\ \dots & -M_{sr} \cos\left(\theta_r + ka - \frac{2\pi}{3}\right) & \dots \\ \dots & -M_{sr} \cos\left(\theta_r + ka - \frac{4\pi}{3}\right) & \dots \end{bmatrix}$$

Avec $k=0, 1, 2, \dots, N_r-1$

5-2-Equations rotorique :

La figure (II.3) présente une boucle k du rotor, et montre les conventions choisies pour les courants.

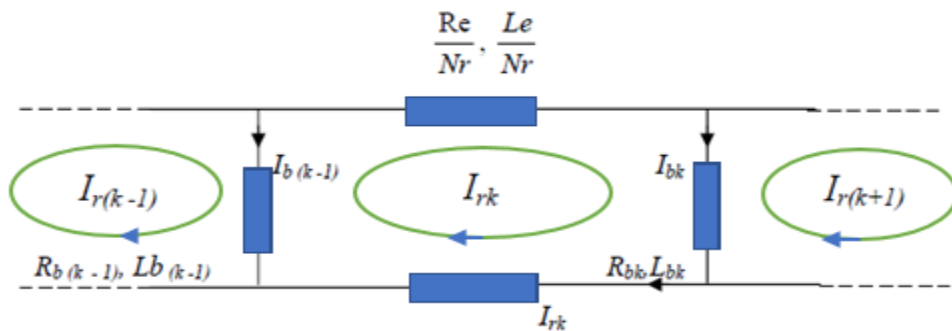


Figure II.3 : Schéma équivalent des mailles rotorique.

Sachant que:

$$\begin{cases} I_{ek} = I_{rk} - I_e \\ I_{bk} = I_{rk} - I_{r(k-1)} \end{cases}$$

L'équation électrique relative à la maille k est donnée par :

$$\frac{R_e}{N_r} I_{rk} - R_{b(k-1)} \cdot I_{b(k-1)} + \frac{R_e}{N_r} I_{ek} + R_{bk} I_{bk} + \frac{d}{dt} \Phi_{rk} \quad (\text{II -18})$$

Le flux totalisé Φ_{rk} pour un circuit élémentaire k est la somme des termes suivants :

♦ Le flux principal:

$$\Phi_{rk} = L_{rp} \cdot I_{rk}$$

♦ Le flux mutuel avec les autres circuits du rotor :

$$\Phi_{rk} = M_{rr} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^{N_r-1} I_{rj}$$

♦ Le flux mutuel avec le stator est :

$$\Phi_{rk} = M_{sr} \left[\cos(\theta_r + ka) : \cos\left(\theta_r + ka - \frac{2\pi}{3}\right) : \cos\left(\theta_r + ka - \frac{4\pi}{3}\right) \right] [I_{abc}]$$

L'équation (II -19) devient donc:

$$\begin{aligned} 0 = & \left(2 \frac{R_e}{N_r} + R_{b(k-1)} + R_{bk} \right) I_{rk} - R_{b(k-1)} I_{r(k-1)} - R_{bk} I_{r(k+1)} - \frac{R_e}{N_r} I_e + \frac{d\Phi_{rk}}{dt} \\ \Phi_{rk} = & \left(L_{rp} + \frac{L_e}{N_r} + 2L_b \right) I_{rk} - M_{rr} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^{N_r-1} I_{rj} - L_b (I_{r(k-1)} + I_{r(k+1)}) - \frac{L_e}{N_r} \\ & - M_{sr} \left[\cos(\theta_r + ka) : \cos\left(\theta_r + ka - \frac{2\pi}{3}\right) : \cos\left(\theta_r + ka - \frac{4\pi}{3}\right) \right] [I_{abc}] \end{aligned} \quad (\text{II -19})$$

D'où :

Avec $k= 0,1,2,\dots\dots\dots (N_r - 1)$

L'équation relative à l'anneau de court-circuit est :

$$\frac{L_e}{N_r} \sum_{k=0}^{N_r-1} \frac{dI_{rk}}{dt} - L_e \frac{dI_e}{dt} - \left(R_e I_e - \frac{R_e}{N_r} \sum_{k=0}^{N_r-1} I_{rk} \right) = 0$$

De même façon, on utilise les équations de $I_{e(k)}$ et $I_{b(k)}$ et on trouve :

$$\frac{R_e}{N_r} \sum_{k=0}^{N_r} I_{r(k)} + \frac{L_e}{N_r} \sum_{k=1}^{N_r} \frac{d}{dt} I_{r(k)} - L_e \frac{d}{dt} I_e - R_e I_e = 0 \quad (\text{II -20})$$

5-3-Equation d'état de la machine :

Le système est mis sous la forme suivant :

$$[V] = [R][I] + [L] \frac{d}{dt} [I] + \frac{d[L]}{dt} [I] \quad (\text{II -21})$$

Avec :

$[V] = [V_a V_b V_c : 0 \ 0 \ \dots \ 0 : 0]^t$: Le vecteur global des tensions $((N_r+4) \times 1)$, il contient les trois tensions statorique et les N_r tensions des mailles rotoriques, ainsi que la tension de l'anneau de court-circuit.

$[I] = [I_a I_b I_c : I_{r0} \ I_{r1} \ \dots \ I_{rk} \ \dots \ I_{r(N_r-1)} : I_e]^t$: Le vecteur global des courants $((N_r+4) \times 1)$, il contient les courants statorique et les N_r courants des mailles rotoriques, ainsi que le courant de l'anneau de court-circuit.

La matrice globale des résistances est :

$$[I] = \begin{bmatrix} [R_s]_{3 \times 3} & \vdots & [0]_{3 \times (N_r+1)} \\ \dots & \dots & \dots \\ [0]_{(N_r+1) \times 3} & \vdots & [R_s]_{(N_r+1) \times (N_r+1)} \end{bmatrix}$$

La matrice des résistances rotoriques.

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_{b0} + R_{b(N_r-1)} + 2\frac{R_e}{N_r} & -R_{b0} & \dots & 0 & \dots & \dots & -R_{b(N_r-1)} & \dots & \frac{R_e}{N_r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & -R_{b(k-1)} & R_{bk} + R_{b(k-1)} + 2\frac{R_e}{N_r} & -R_{bk} & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_{b(N_r-1)} & \dots & 0 & \dots & \dots & -R_{b(N_r-2)} & R_{b(N_r-1)} + R_{b(N_r-2)} + 2\frac{R_e}{N_r} & \dots & \frac{R_e}{N_r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{R_e}{N_r} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{R_e}{N_r} & \dots & R_e \end{bmatrix}$$

La matrice globale des inductances est donnée par :

$$[L] = \begin{bmatrix} [L_s]_{3 \times 3} & \vdots & [M_{sr}]_{3 \times (N_r+1)} \\ \dots & \dots & \dots \\ [M_{sr}]_{(N_r+1) \times 3} & \vdots & [L_r]_{(N_r+1) \times (N_r+1)} \end{bmatrix}$$

La matrice des inductances rotoriques :

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{rp} + 2L_b + 2\frac{L_e}{N_r} & M_{rr} - L_b & \dots & 0 & M_{rr} & \dots & M_{rr} - L_b & \dots & -\frac{L_e}{N_r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{rr} - L_b & \dots & M_{rr} - L_b & L_{rp} + 2L_b + 2\frac{L_e}{N_r} & M_{rr} - L_b & M_{rr} & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{rr} - L_b & \dots & M_{rr} & \dots & \dots & M_{rr} - L_b & L_{rp} + 2L_b + 2\frac{L_e}{N_r} & \dots & -\frac{L_e}{N_r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\frac{L_e}{N_r} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -\frac{L_e}{N_r} & \dots & L_e \end{bmatrix}$$

La matrice $[L_{tr}]$ est donnée par :

$$\begin{bmatrix}
 Ls + 2Ms & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & Ls - Ms & 0 & \vdots & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos(a) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos((Nr-1)a) & \vdots & 0 \\
 0 & 0 & Ls - Ms & \vdots & 0 & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin(a) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin((Nr-1)a) & \vdots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 0 & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} & 0 & \vdots & Lrp + 2Lb + 2\frac{Le}{Nr} & Mrr - Lb & Mrr & \dots & Mrr - Lb & \vdots & -\frac{Le}{Nr} \\
 0 & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos(a) & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin(a) & \vdots & Mrr - Lb & Lrp + 2Lb + 2\frac{Le}{Nr} & Mrr - Lb & Mrr & \dots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos((Nr-1)a) & \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin((Nr-1)a) & \vdots & Mrr - Lb & \dots & Mrr & Mrr - Lb & Lrp + 2Lb + 2\frac{Le}{Nr} & \vdots & -\frac{Le}{Nr} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 0 & 0 & 0 & \vdots & -\frac{Le}{Nr} & \dots & \dots & \dots & -\frac{Le}{Nr} & \vdots & Le
 \end{bmatrix}$$

La matrice $[R_{tr}]$ est donnée par :

$$\begin{bmatrix}
 r_s & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & r_s & \omega_r(Ls - Ms) & \vdots & 0 & -\omega_r \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin(a) & \dots & \dots & -\omega_r \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \sin((Nr-1)a) & \vdots & 0 \\
 0 & \omega_r(Ls - Ms) & r_s & \vdots & \omega_r \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} & \omega_r \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos(a) & \dots & \dots & \omega_r \sqrt{\frac{3}{2}}L_{sr} \cos((Nr-1)a) & \vdots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 0 & 0 & 0 & \vdots & R_{s0} + R_{s/(Nr-1)} + 2\frac{Re}{Nr} & -R_{s0} & 0 & \dots & -R_{s/(Nr-1)} & \vdots & -\frac{Re}{Nr} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & -R_{s/(k-1)} & R_{sk} + R_{s/(k-1)} + 2\frac{Re}{Nr} & -R_{sk} & \ddots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & \vdots & -R_{s/(Nr-2)} & 0 & \dots & -R_{s/(Nr-2)} & R_{s/(Nr-1)} + R_{s/(Nr-2)} + 2\frac{Re}{Nr} & \vdots & -\frac{Re}{Nr} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 0 & 0 & 0 & \vdots & -\frac{Re}{Nr} & \dots & \dots & \dots & -\frac{Re}{Nr} & \vdots & Re
 \end{bmatrix}$$

La dérivée de la matrice globale des inductances est :

$$\frac{d[M]}{dt} = \begin{bmatrix} [0] & \frac{d[M_{sr}]}{dt} \\ \frac{d[M_{sr}]^t}{dt} & [0] \end{bmatrix}$$

5-4-Transformation de PARK :

Pour obtenir un système des équations à coefficients constants, il est usuel de faire appel à une transformation de PARK elle permet le passage du repère réel triphasé (a, b, c)

Au repère d'axe (h, d, q).

Le système des grandeurs triphasées est tel que la somme instantanée des grandeurs est nulle. Ceci permet d'annuler la composante homopolaire par conséquent, le repère (h, d, q) peut être réduit à un repère biphasé (d, q) [4].

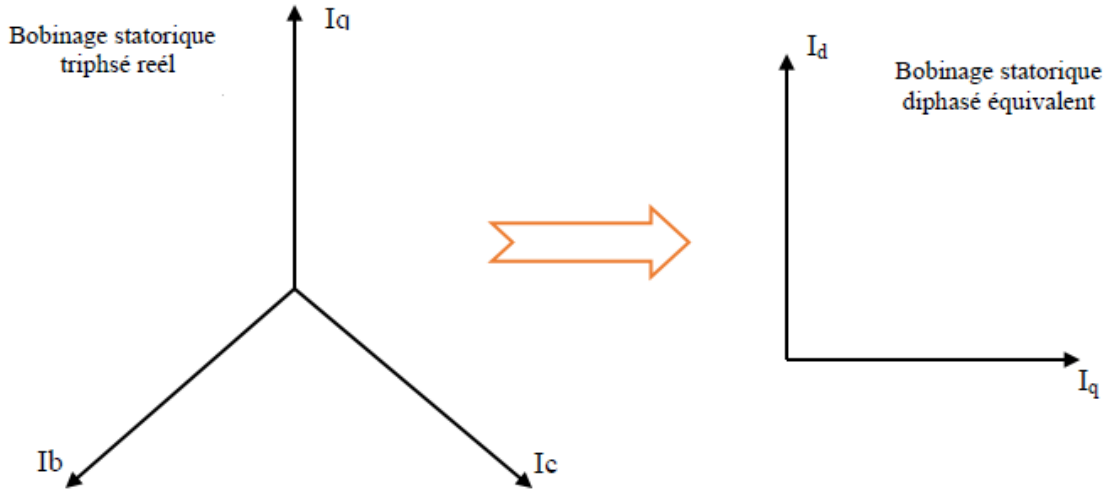


Figure II.4 : Principe de la Transformation de PARK.

La matrice de Park modifiée est définie par :

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \cos \theta & -\sin \theta \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (\text{II -22})$$

La dérivée de la matrice de Park est :

$$\frac{d}{dt} [P(\theta)] = -\omega \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta & \cos \theta \\ 0 & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ 0 & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix}$$

On définit la matrice globale de Park de dimension $(N_r + 4) \times (N_r + 4)$ comme :

$$[T] = \begin{bmatrix} [P(\theta)] & \vdots & [0] \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [0]^t & \vdots & [1]_{(N_r+1) \times (N_r+1)} \end{bmatrix} \quad (\text{II -23})$$

L'inverse de la matrice globale de Park est :

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} [P(\theta)]^{-1} & \vdots & [0] \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [0]^t & \vdots & [1]_{(N_r+1) \times (N_r+1)} \end{bmatrix}$$

Sachant que :

$$[V] = [T][V_{tr}] \quad , \quad \text{avec : } [V_{tr}] = [V_{os} \quad V_{ds} \quad V_{qs} \quad : 0 \dots 0 \quad : 0]^t$$

$$[I] = [T][I_{tr}] \quad , \quad \text{avec : } [I_{tr}] = [I_{os} \quad I_{ds} \quad I_{qs} \quad : I_{r0} \dots I_{r1} \dots I_{r(N_r+1)} \quad : I_e]^t$$

A partir de l'équation (2-22) :

$$[T][V_{tr}] = [R][T][I_{tr}] + \frac{d[L]}{dt} [T][I_{tr}] + [L] \frac{d[T]}{dt} [I_{tr}] + [L][T] \frac{d[I_{tr}]}{dt}$$

$$[V_{tr}] = \left(\underbrace{[T]^{-1}[R][T]}_A + \underbrace{[T]^{-1} \frac{d[L]}{dt} [T]}_B + \underbrace{[T]^{-1}[L] \frac{d[T]}{dt}}_C \right) [I_{tr}] + \underbrace{[T]^{-1}[L][T]}_D \frac{d[I_{tr}]}{dt}$$

$$[V_{tr}] = (A + B + C)[I_{tr}] + D \frac{d[I_{tr}]}{dt}$$

$$A = [T]^{-1}[R][T] = \begin{bmatrix} [P(\theta)]^{-1}[R][P(\theta)] & \vdots & [0] \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [0] & \vdots & [R_r] \end{bmatrix}$$

$$B = [T]^{-1} \frac{d[L]}{dt} [T] = \begin{bmatrix} [P(\theta)]^{-1}[L_s] \frac{d[P(\theta)]}{dt} & \vdots & [0] \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [M_{sr}] \frac{d[P(\theta)]}{dt} & \vdots & [0] \end{bmatrix}$$

$$C = [T]^{-1}[L] \frac{d[T]}{dt} = \begin{bmatrix} [0] & \vdots & [P(\theta)]^{-1} \frac{d[M_{sr}]}{dt} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [P(\theta)] \frac{d[M_{sr}]}{dt} & \vdots & [0] \end{bmatrix}$$

$$D = [T]^{-1}[L][T] = \begin{bmatrix} [P(\theta)]^{-1}[L_s][P(\theta)] & \vdots & [P(\theta)]^{-1}[M_{sr}] \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ [M_{sr}]^t[P(\theta)] & \vdots & [L_r] \end{bmatrix}$$

La mise en équation du modèle de la machine conduit à un système complet de dimension N_r+4 ;

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_{os} \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = [R_{tr}] \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_{os} \\ \vdots \\ I_{r0} \\ \vdots \\ I_{r(N_r-1)} \\ \vdots \\ I_e \end{bmatrix} + [L_{tr}] \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_{os} \\ \vdots \\ I_{r0} \\ \vdots \\ I_{r(N_r-1)} \\ \vdots \\ I_e \end{bmatrix} \quad (II -24)$$

$[L_{tr}]$ et $[R_{tr}]$ sont les matrices globales des résistances et des inductances après la transformation de Park.

A ces équations, on ajoute les équations électromagnétiques (II -25) (II -26) afin d'avoir la vitesse électrique et la position électrique θ_r du rotor.

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (C_e - C_r - k_0 \omega_r) \quad (II -25)$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r \quad (II -26)$$

5-5-Equation mécanique:

La puissance absorbée de la machine asynchrone s'écrit :

$$P_e = V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c = V_{ds} I_{ds} + V_{qs} I_{qs} + V_{os} I_{os}$$

En pesant :

$$[X_{dq0}] = \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [X_{dq0}] = \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix}$$

Avec $X = (i, v, \Phi)$ et Φ est le flux d'induction totalisé dans l'enroulement

Soit $[P]$ la matrice de transformation directe, de telle sorte que : $[X_{dq0}] = [P][X_{abc}]$

Dans ces conditions la puissance instantanée a pour expression :

$$P_e = [X_{abc}]^t [I_{abc}] = [V_{dqo}]^t [I_{dqo}] \quad (\text{II -27})$$

$$[V_{dqo}] = [R_s][I_{dqo}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{dqo}] + [P] \frac{d[P]^{-1}}{dt} [\Phi_{dqo}] \quad (\text{II -28})$$

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_{er} \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_{er} \Phi_{ds} \\ V_{os} = R_s I_{os} + \frac{d}{dt} \Phi_{os} \end{cases}$$

$$P_e = \left(R_s I_{ds}^2 + \left(\frac{d}{dt} \Phi_{ds} \right) I_{ds} - \omega_{er} \Phi_{qs} I_{ds} \right) + \left(R_s I_{qs}^2 + \left(\frac{d}{dt} \Phi_{qs} \right) I_{qs} + \omega_{er} \Phi_{ds} I_{qs} \right) + \left(R_s I_{os}^2 + \left(\frac{d}{dt} \Phi_{os} \right) I_{os} \right)$$

$$P_e = (R_s I_{ds}^2 + R_s I_{qs}^2) + I_{ds} \left(\frac{d\Phi_{ds}}{dt} \right) + I_{qs} \left(\frac{d\Phi_{qs}}{dt} \right) + \omega_{er} (\Phi_{ds} I_{qs} - \Phi_{qs} I_{ds})$$

♦ $P_j = R_s (I_{ds}^2 + I_{qs}^2)$: La puissance dissipée en pertes joules.

♦ $P_v = I_{ds} \left(\frac{d\Phi_{ds}}{dt} \right) + I_{qs} \left(\frac{d\Phi_{qs}}{dt} \right)$: La puissance représentant les échanges d'énergie électromagnétique.

♦ $P_m = \omega_{er} (\Phi_{ds} I_{qs} - \Phi_{qs} I_{ds})$: La puissance mécanique.

Or, la puissance mécanique égale à $(C_e \cdot \Omega)$ ou $C_e \cdot \frac{\omega}{p}$, on tire l'expression scalaire du couple :

$$C_e = p |\Phi_{ds} I_{qs} - \Phi_{qs} I_{ds}| \quad (\text{II -29})$$

On remplace Φ_{ds} et Φ_{qs} par ces expressions et on obtient :

$$C_e = \frac{3}{2} p \cdot M_{sr} \left(I_{ds} \sum_{k=0}^{N_r-1} I_{r(k)} \sin(k \cdot a) - I_{qs} \sum_{k=0}^{N_r-1} I_{r(k)} \cos(k \cdot a) \right) \quad (\text{II -30})$$

6-Prise en compte du défaut dans le modèle :

Il est assez difficile de décrire exactement la succession des phénomènes physiques entrant en jeu lors d'une rupture d'une barre.

On peut modéliser la cassure d'une barre par l'annulation du courant qui traverse cette barre. Les matrices des inductances et des résistances sont modifiées de telle façon que : si la barre k est cassée, le courant I_{bk} dans cette barre s'annule. Dans ce cas, le courant dans la maille $(k-1)$ devient égal au courant dans la maille (k) , c'est-à-dire, $(I_{r(k-1)} = I_{rk})$ figure (II.5). Ceci est traduit dans les matrices des inductances et les matrices des résistances par l'addition des deux colonnes et des deux lignes liées aux courants $I_{r(k-1)}$ et I_{rk} , ou d'autre terme l'ordre du système est réduit [4], [6].

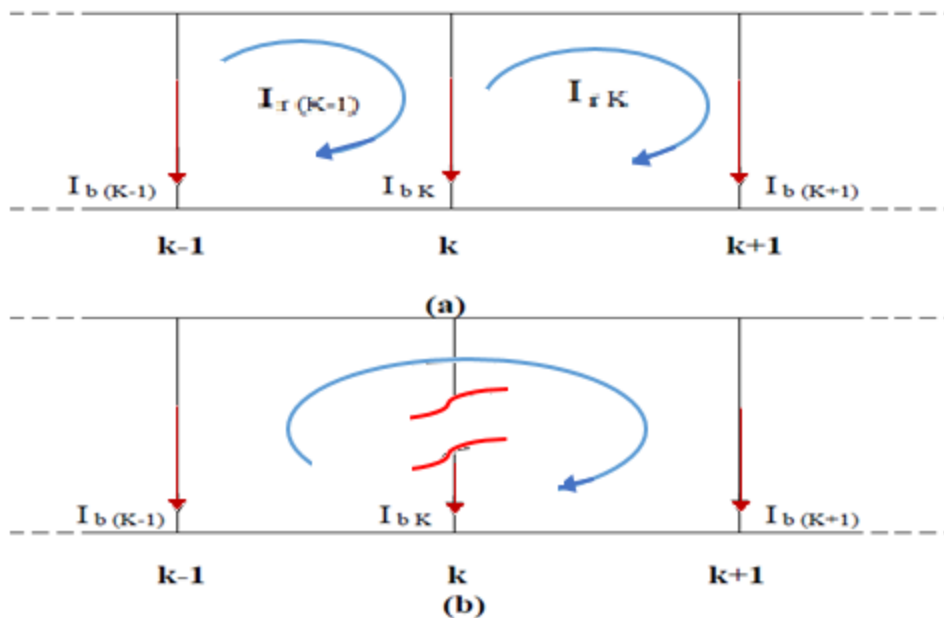


Figure II.5 : Schéma équivalent de la cage rotorique.

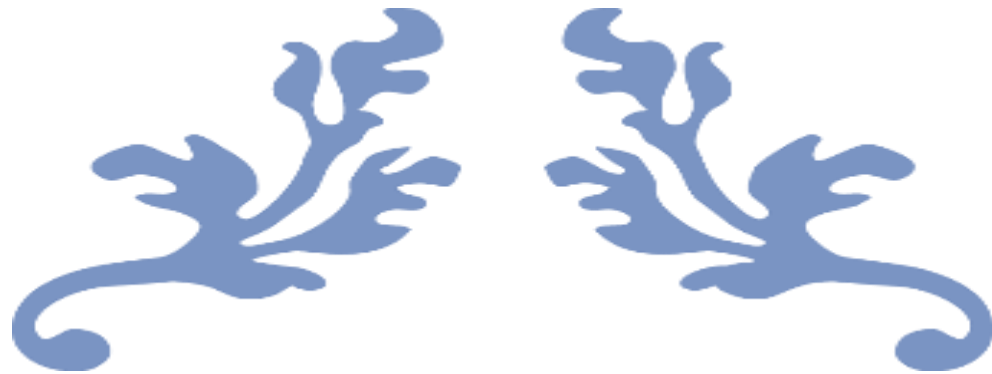
(a). état sain. (b). avec une barre rompue.

En comparant entre les résultats de simulation, lorsqu'on modélise la cassure d'une barre par la méthode décrite ci-dessus, et les résultats expérimentaux, on trouve que cette méthode est limitée ceci est dû aux hypothèses simplificatrices, puisque dans le modèle mathématique, on a négligé les courants de fuite entre les barres. En réalité le courant dans une barre rompue n'est jamais nul, il existe toujours un courant qui passe tangentiellement à travers les tôles du rotor vers les barres adjacentes.

Par contre, il est possible de modéliser ces défauts statoriques par le changement des matrices de résistance statorique qui nous donne l'image du défaut désiré.

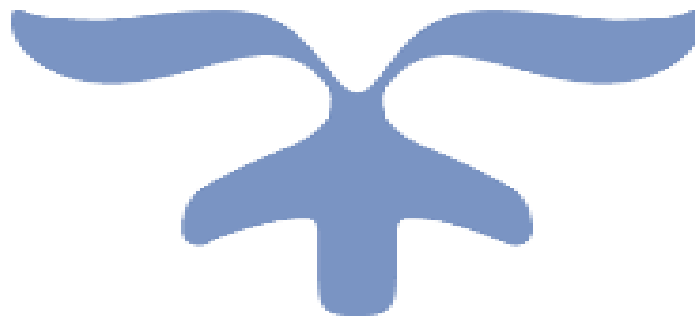
7-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le développement d'un modèle mathématique multi enroulement qui prend en considération la structure du rotor, le choix d'un tel modèle est imposé par l'objectif de pouvoir simuler une rupture de barre ou de court-circuit entre spires statoriques. Ce type de défaut est modélisé par l'augmentation de la résistance de l'élément défectueux ou le changement des matrices de résistance statoriques. Dans le chapitre suivant, nous présenterons l'identification paramétrique de la MAS et les résultats de la simulation obtenus à l'aide de ce modèle.



CHAPITRE III

Résultats expérimentaux et de simulation des
grandeurs temporelles



2016/2017

1-Introduction :

Le début de ce chapitre sera marqué par le traitement du fonctionnement du moteur asynchrone à cage dans son état sain. Les résultats de expérimentaux et simulation obtenus pour un moteur sain pour différents charges seront alors utilisés comme une référence pour étudier les différentes types de défauts qui pouvant apparaître dans un moteur. Dans notre travail, seront étudiés les défauts de court-circuit et défauts de barres.

2-Identification paramétrique de la machine asynchrone à cage :

Cette technique est basée sur l'identification paramétrique du modèle électrique de la machine. Exprimé dans le repère diphasé de Park, un modèle original de la machine asynchrone en défaut de rupture de barres rotoriques est présenté. La procédure de diagnostic, appliquée sur l'ensemble des modèles de défaut proposés, a été validée expérimentalement.

2-1 Mesure des résistances statoriques :

La résistance statorique R_s est mesurée en connectant un ohmmètre aux bornes d'un enroulement statorique. La mesure doit être effectuée à chaud. La valeur indiquée à la suite de la lecture est :

$$R_s = 3\Omega .$$

2-2-Méthode des essais classiques [17], [18] :

Les essais envisagés permettent de déterminer tous les paramètres du schéma équivalent lorsque les paramètres du rotor sont ramenés au stator connecté en étoile (figure III.1),

À savoir : $[R_s R_r' L_{sc} L_{\sigma r} L_{\mu}]^t$

2-2-1-Essai à rotor bloqué :

- Montage électrique

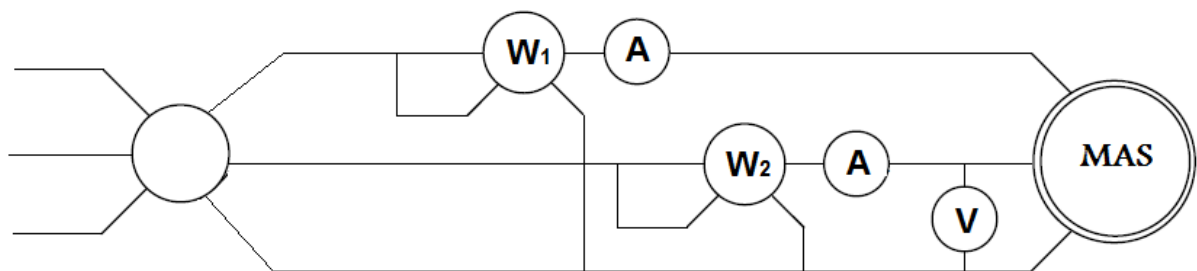


Figure III.1 : Montage électrique

Pour le cas des machines de puissance ne dépassant pas 18.4 kW, nous pouvons effectuer cet essai à tension réduite et fréquence nominale.

Avec le rotor bloqué (vitesse nulle), on alimente le moteur progressivement (à partir d'une tension initiale nulle) jusqu'à $I \leq I_n$. Et, on relève les grandeurs mesurées : la tension U_{cc} , le courant absorbé I_{cc} , la puissance active P_{cc} ainsi que la puissance réactive Q_{cc} .

Dans cet essai, où les courants rotoriques sont importants, la branche d'excitation est négligée figure (III.2).

- Le courant de l'inductance magnétisante est négligeable donc $I_s = I_r'$
- le glissement vaut 1.

Ce qui nous permet de déterminer R_r' et X_{or}' . En négligeant les pertes fer, le schéma sera :

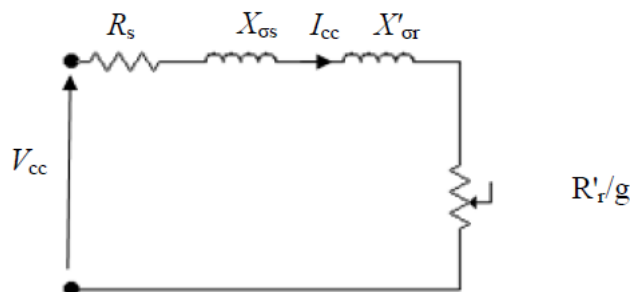


Figure III.2 : Schéma équivalent en essai à rotor bloqué

Les valeurs mesurées sont :

$$V_{cc} = 60V$$

$$W_1 = 400W$$

$$P_{cc} = 460W$$

$$I_{cc} = 6.2A$$

$$W_2 = 60W$$

$$Q_{cc} = 588.90W$$

2-2-1-1-Calcul de R_r' :

On a : $V_{cc} = Z_{cc} \cdot I_{cc}$

$$\text{Donc } |Z_{cc}| = \frac{|V_{cc}|}{|I_{cc}|} \rightarrow |Z_{cc}| = \frac{|U_{cc}|}{\sqrt{3}|I_{cc}|} = \frac{60}{\sqrt{3}(6.2)} = 9.67\Omega$$

D'autre part :

$$P_{cc} = 3R_s I_{cc}^2 + 3R_r' I_{cc}^2$$

$$\rightarrow R_r' = (P_{cc}/3I_{cc}^2) - R_s$$

$$\rightarrow R_r' = (460/3(6.2)^2) - 3 \quad \text{d'où} \quad R_r' = 0.98\Omega$$

2-2-1-2-Calcul de X_{sf} et X'_{rf} :

A l'aide du tableau qui présente les coefficients empiriques de distribution des réactances de la machine asynchrone, nous déterminons les valeurs des réactances.

Tableau III.1 : Coefficient empiriques de distribution des réactances de fuite asynchrones
(Selon AIEE test code)

Distribution empirique des réactances de fuite entre le stator et le rotor des machines asynchrones			
Classe	Caractéristiques	Fraction de $(X_{sf} + X'_{rf})$	
		X_{sf}	X'_{rf}
A	Couple de démarrage normal Courant de démarrage normal	0.5	0.5
B	Couple de démarrage normal Bas courant de démarrage	0.4	0.6
C	Couple de démarrage élevé Bas courant de démarrage	0.3	0.7
D	Couple de démarrage élevé Glissement élevé	0.5	0.5
Rotor bobiné		0.5	0.5

La machine que nous utilisons est de classe A, par conséquent, on considère comme égales, les réactances de fuites statorique et rotorique ramenée au stator, soit : $X_{sf} = X'_{rf}$

$$X_{sf} = \frac{1}{2} \sqrt{Z_{cc}^2 - (R_s + R'_r)^2}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{(9.67)^2 - (3 + 0.98)^2}$$

Donc, on obtient

$$X_{sf} = X'_{rf} = 4.40 \, \Omega$$

Ce qui permet de déterminer les inductances de fuite :

$$L_{sf} = L'_{rf} = \frac{X_{sf}}{\omega} = \frac{4.40}{100\pi} = 13.8 \cdot 10^{-3} H$$

2-2-2-Essai à vide :

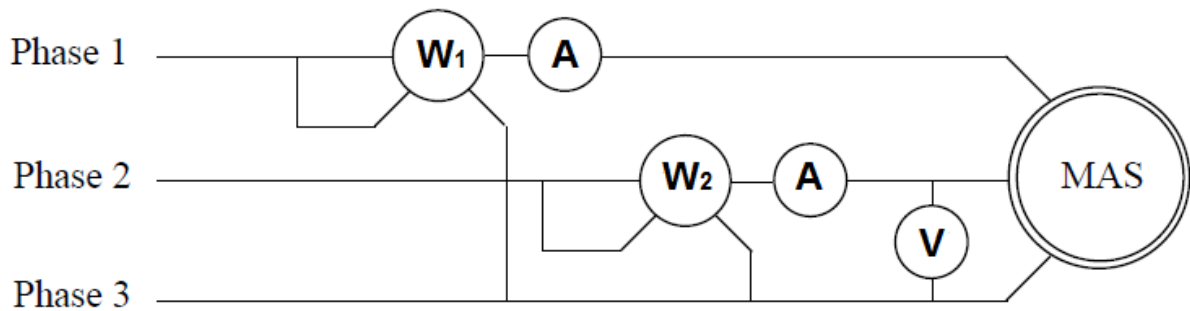


Figure III.3 : Montage électrique.

La machine à vide est alimentée à tension nominale, dans ce cas, $g \cong 0$ la résistance R_r' devient très grande, ceci entraîne un courant presque nul dans la branche rotorique.

Les mesures ont été faites selon la méthode des deux wattmètres comme montré au schéma précédent. Le bilan de puissance de l'essai à vide sous tension nominale puis à tension décroissante permet de déterminer :

- Les pertes joule à vide (R_s a été mesurée précédemment).
- Les pertes fer.
- Les pertes mécaniques.

On relève P_1 , P_2 , V_{10} et I_{10} , on procède à certains calculs qui utilisent $P_{10} = (P_1 + P_2)$,

$V_s = 380\text{v}$ les pertes par effets joules $P_j = 3R_s I_{10}^2$.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.2 : Résultats de l'essai à vide

Nb essai	U_{10}	I_{10}	P_1	P_2	P_{10}	P_J	$P_{10}-P_J$	$U_{10}^2/100$
1	120	0.65	70	-10	60	3.80	56.2	144
2	140	0.7	96	-20	76	4.41	71.59	196
3	160	0.89	120	-38	82	7.12	74.88	256
4	180	1.33	140	-50	90	9.54	80.46	324
5	200	1.1	160	-64	96	10.89	85.11	400
6	240	1.3	220	-100	120	15.21	104.79	576
7	280	1.6	370	-170	200	23.04	176.96	784
8	300	1.7	395	-190	205	26.01	178.99	902
9	340	2.1	490	-280	210	39.69	170.31	1159
10	360	2.3	570	-348	222	47.61	174.39	1296
11	380	2.5	654	-366	288	56.25	231.7	1444
12	390	2.8	714	-414	300	70.56	229.7	1521

2-2-3-Méthode de séparation des pertes [19] :

La méthode de séparation des pertes repose sur les propriétés des pertes fer et des pertes mécaniques.

-Les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension.

-La vitesse à vide de la machine ne décroît pratiquement pas, c'est-à-dire, elle est considérée Comme constante lors des variations de la tension de la valeur nominale à 20% de cette dernière par suite les pertes mécaniques le seront également.

On construit une courbe dont l'axe des ordonnées aura pour grandeur $P_{10} - P_J$ et pour abscisse $V^2/100$. Le carré de la tension à l'abscisse permet d'avoir une courbe linéaire des pertes fer. Le prolongement de cette caractéristique coupe l'axe des ordonnées au point qui détermine les pertes mécaniques. Les pertes fer sont tirées du graphe au point de la tension nominale. Ceci est montré sur la figure suivante :

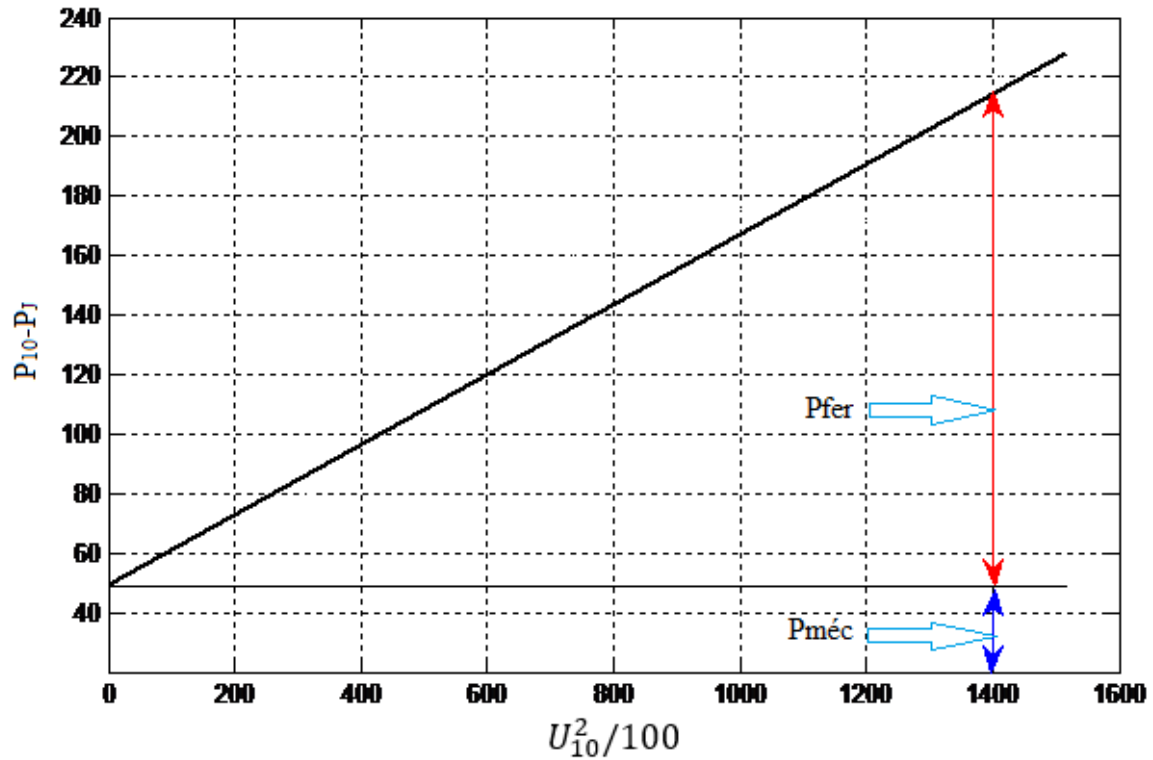


Figure III.4 : Méthode de séparation des pertes ferromagnétiques et mécaniques

De la courbe de la Méthode de séparation des pertes, on tire à partir des valeurs nominales, les pertes mécaniques et les pertes fer.

$$P_{\text{méc}} = 50 \text{ W} \quad \text{et} \quad P_{\text{fer}} = 181.7 \text{ W}$$

On rappelle que les pertes fer sont assez supérieures devant les pertes mécaniques pour des machines de faibles puissances, ce qui est notre cas

2-3-Détermination des paramètres mécaniques :

Les équations électriques sont liées à l'équation mécanique par la position angulaire du rotor qui intervient dans l'expression des inductances mutuelles stator-rotor.

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{\text{mot}} - C_{\text{res}}$$

2-3-1-Détermination du moment d'inertie J ; (méthode de Routin) :

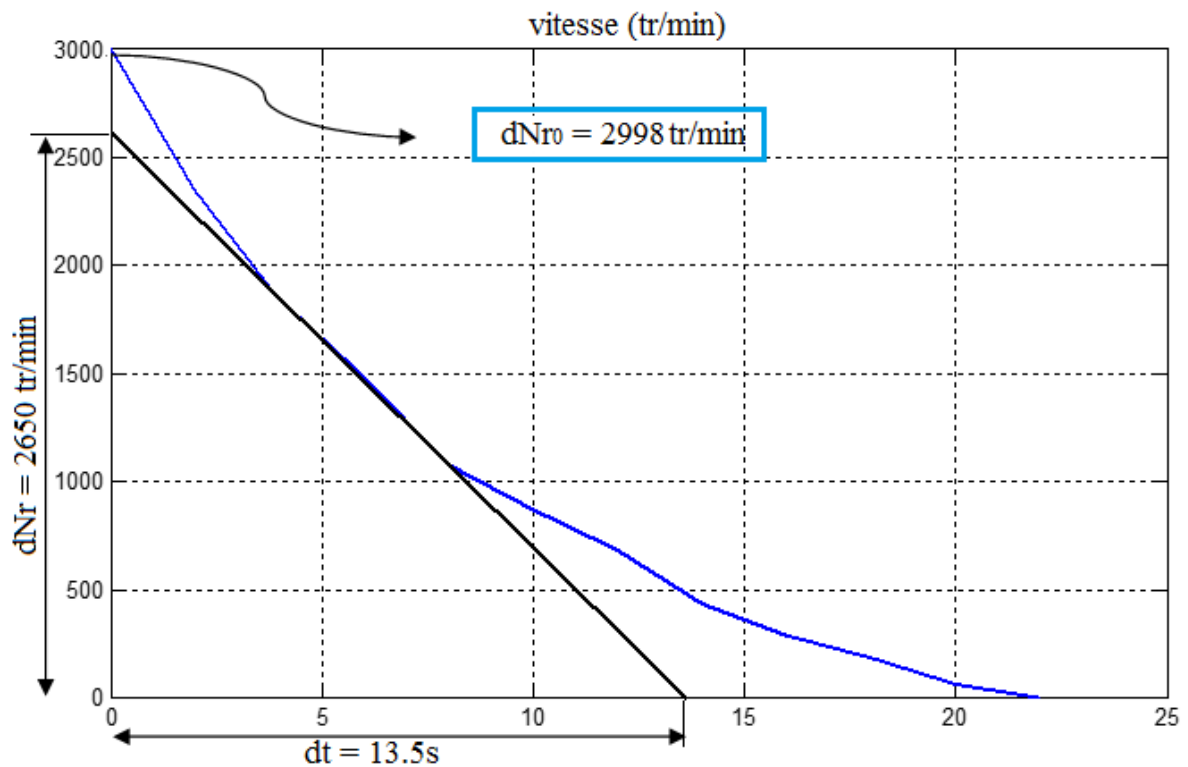


Figure III.5 : Essai de ralentissement

2-3-1-1-Essai de ralentissement :

Le principe de la méthode de ralentissement utilisée consiste à lancer la machine à sa valeur nominale W_n puis à couper l'alimentation et à laisser la machine ralentir sous l'effet des frottements.

La vitesse diminue progressivement sous l'effet des pertes mécaniques ($-F_r \Omega^2$)

On a donc :

$$P_{\text{méc}} = -F_r \Omega^2 = J \Omega \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)$$

Le terme $\Delta\Omega_r/\Delta t$ représente la pente de la tangente à la courbe de ralentissement au point A. Ce point A est généralement le point où la vitesse est la moitié de la vitesse nominale, car c'est à cette vitesse que les pertes sont connues.

Avec : $P_{\text{méc}} = 50 \text{ W}$

Ω_r : est la vitesse angulaire du rotor en (rad/s).

D'après l'expression du couple résistant, l'inertie peut être calculée par :

$$J = \frac{P_{méc}}{\Omega_{ro} \frac{d\Omega_r}{dt}}$$

A partir de la figure (4.8), on trouve

$$\Omega_{ro} = 324.63 \text{ rad/s}$$

$$d\Omega_r = 277.50 \text{ rad/s}$$

$$dt = 13.5 \text{ s}$$

Donc
$$J = \frac{50}{324.63 \cdot \frac{277.50}{13.5}}$$

on obtient $J = 0.0077 \text{ kg.m}^2$

2-3-1-2-Détermination du coefficient de frottement f_r :

On a $dt = \frac{J}{f_r}$

On peut écrire : $f_r = \frac{J}{dt} = \frac{0.0077}{22} = 5.70 \cdot 10^{-4} \text{ Nm.s / rad}$

On obtient alors : $f_r = 5.70 \cdot 10^{-4} \text{ Nm.s / rad}$

Le tableau suivant donne les principaux paramètres de la machine asynchrone :

Tableau III.3 : Résultats des paramètres de la machine asynchrone

Symboles	Paramètres	Valeurs
V_n	Tension nominale	220/380 V
N_r	Nombre de barres rotoriques	24
p	Nombre de paires de pôles	1
N_t	Nombre de spires en série par phase	360
f_s	Fréquence d'alimentation	50 Hz
J	Moment d'inertie	0.0077 kg.m^2
e	Epaisseur de l'entrefer	$0.172 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
R_s	Résistance d'une phase statorique	3Ω
R_e	Résistance d'un segment d'anneau de court-circuit	$1.23 \cdot 10^{-6} \Omega$
R_b	Résistance d'une barre rotorique	$1.93 \cdot 10^{-4} \Omega$
L_b	Inductance de fuite d'une barre rotorique	$0.6031 \cdot 10^{-6} \Omega$
L_e	Inductance de fuite d'un anneau de court-circuit	$2 \cdot 10^{-9} \text{ H}$

L_{sl} ou L_{sf}	Inductance de fuite d'une phase statorique	$13.8 \cdot 10^{-3} H$
L	Longueur de la machine	0.096 m
R	Rayon moyen de l'entrefer	$39.55 \cdot 10^{-3} m$
f_r	coefficient de frottement	$5.70 \cdot 10^{-4} Nm.s / rad$

La méthode a permis d'élaborer un modèle mathématique de la machine composé par un système d'équations intégro-différentielles qui régissent le fonctionnement de celles-ci. Ce système contient un certain nombre de coefficients ou de paramètres qu'il faut impérativement connaître avant d'envisager tout projet (commande, diagnostic, etc....).

La plaque signalétique ou les données fournies par le constructeur ne sont pas assez suffisants pour connaître directement ces paramètres. L'identification est une opération qui intervient pour les déterminer. Il s'agit évidemment de déterminer aussi bien les paramètres électriques que mécanique.

Nous avons également montré que le modèle diphasé équivalent que nous avons adopté est utile pour valider les paramètres après identification expérimentale par les méthodes classiques de mesure. Ainsi, nous pouvons dire que les deux modèles présentés ne doivent pas apparaître comme concurrents mais plutôt complémentaires.

3-Résultat de simulation de la machine asynchrone :

3-1-Simulation du modèle de la machine asynchrone :

A l'aide d'un logiciel mathématique en utilisant MATLAB R2009b qui permet de mettre en évidence le comportement de la machine asynchrone, MATLAB est un système de très grandes performances pour plusieurs domaines de recherche, le secret de ce pouvoir réside dans ces multiples applications et ces outils efficaces qu'il offre fonction et visualisation. La résolution des équations différentielles obtenues est réalisée par la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4.

Montrent respectivement, l'évolution du couple électromagnétique, le courant statorique, la vitesse de rotation mécanique ainsi que les courants rotorique. Dans ce cas on va simuler le modèle global de la machine à l'état saine et défaut, (0-2, à l'état saine) à partir de $t=2s$, on applique défaut cassure de trois barre et a partir $t=4s$ on applique défaut court-circuit

3-2-Cas d'une machine saine :

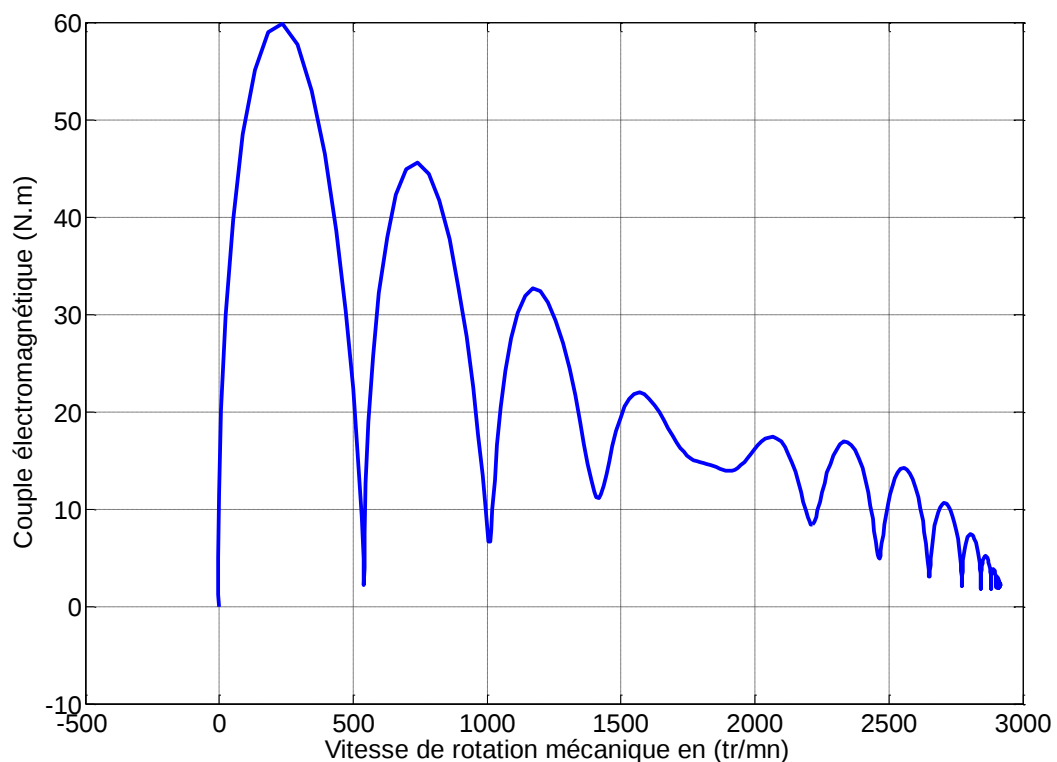


Figure III.6 : Caractéristique mécanique (sain).

3-3-Cas d'une machine défaut rotorique:

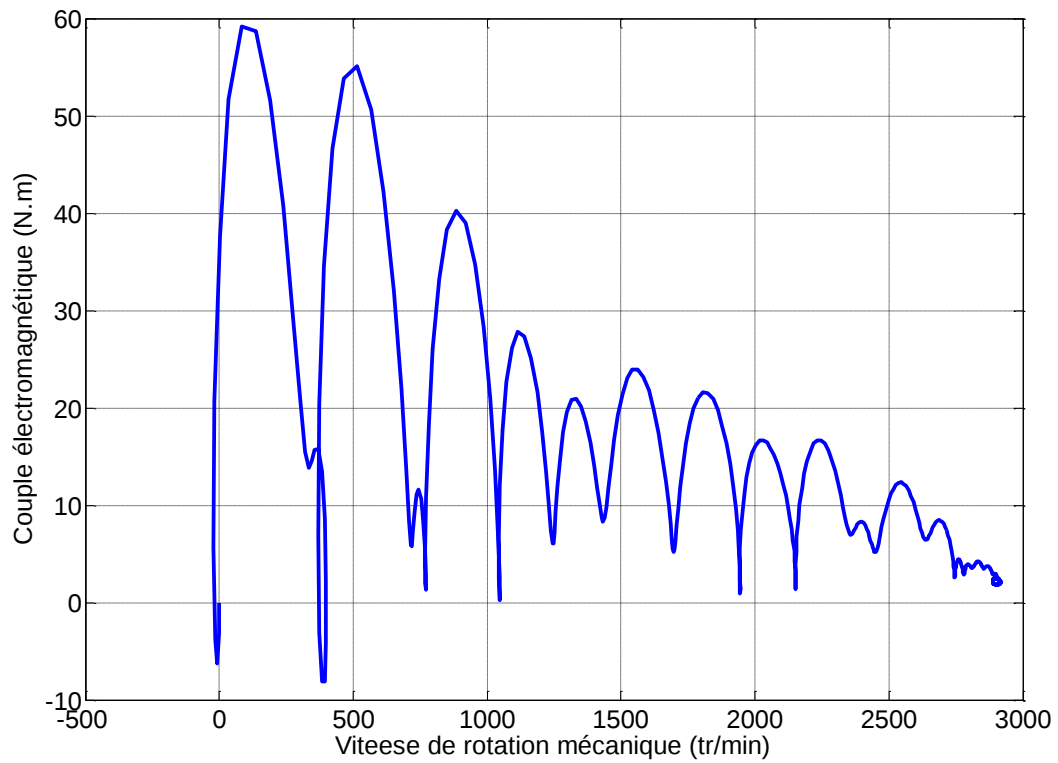


Figure III.7 : Caractéristique mécanique (avec défaut rotorique).

3-4- Cas d'une machine défaut statorique :

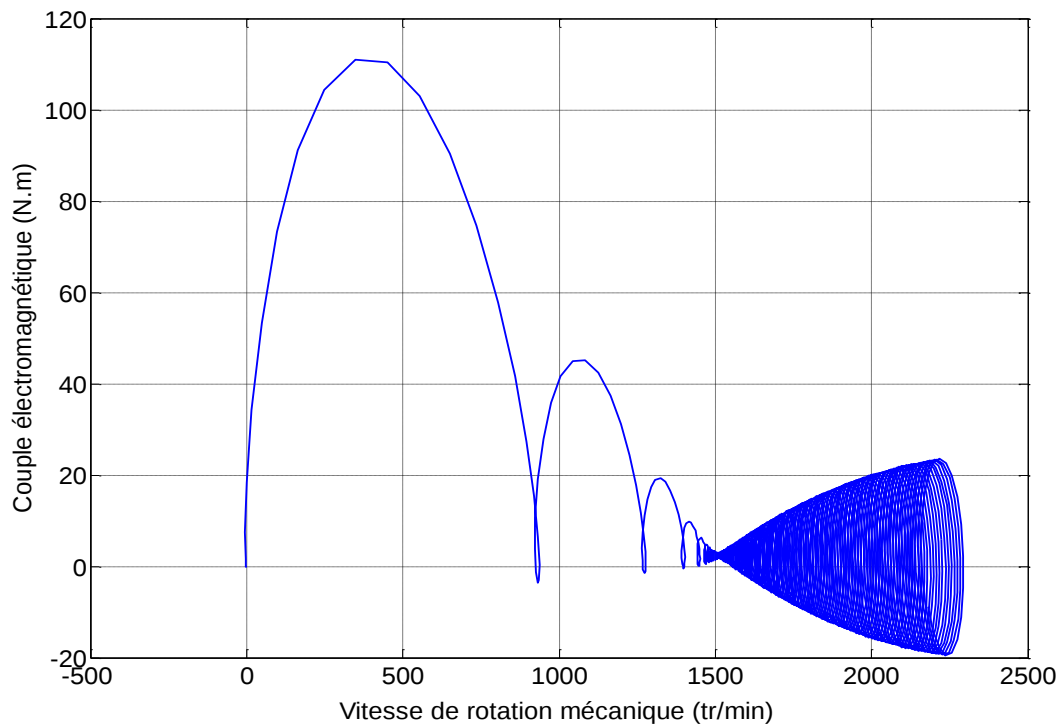


Figure III.8 : Caractéristique mécanique (avec défaut statorique).

3-5-Cas d'une machine (saine, cassure de barre et court-circuit) :

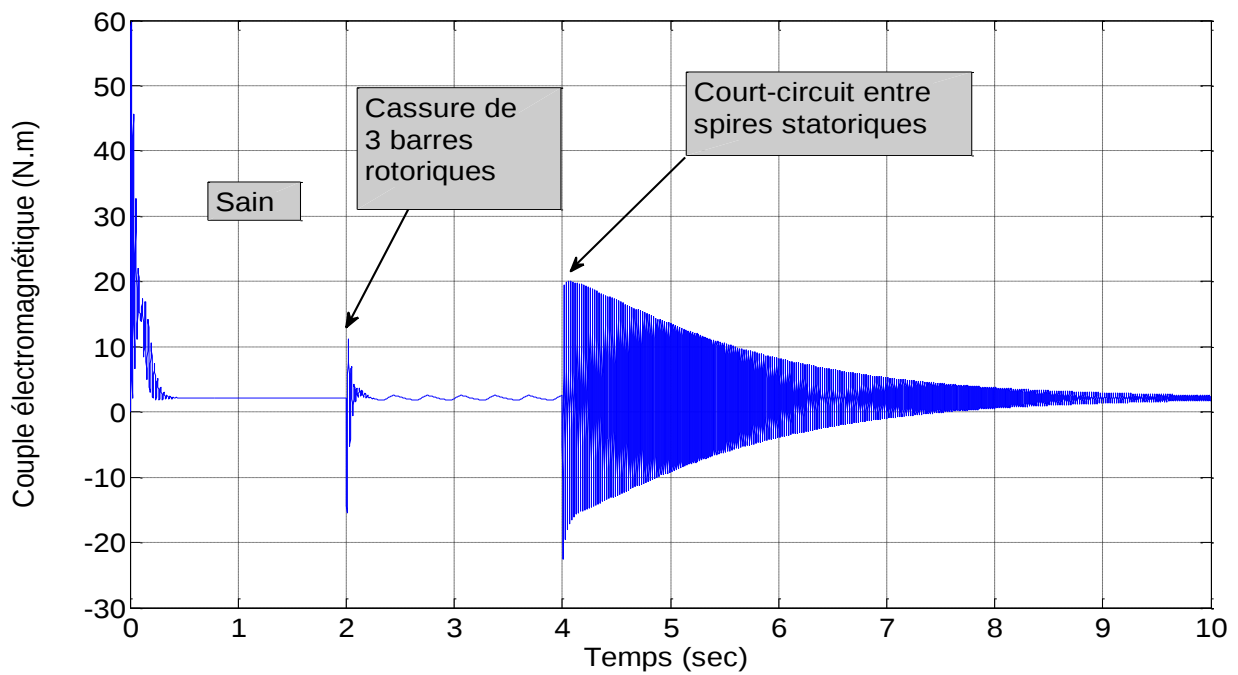


Figure III.9 : Couple électromagnétique.

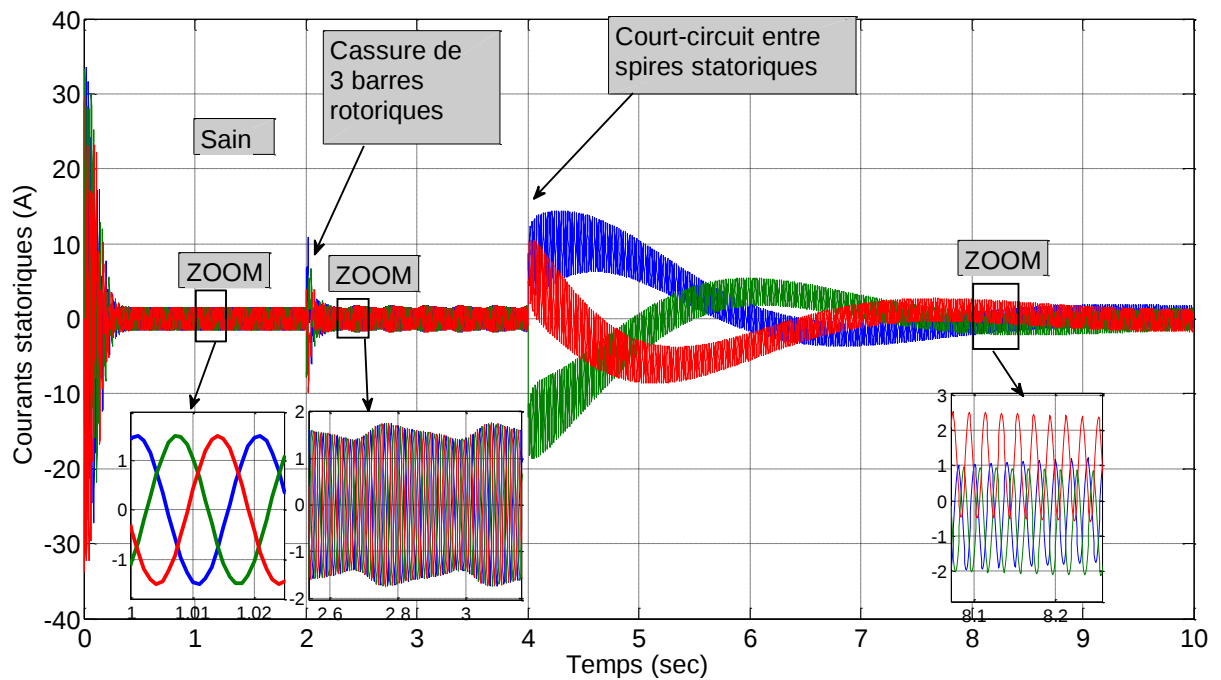


Figure III.10 : Courant statorique.

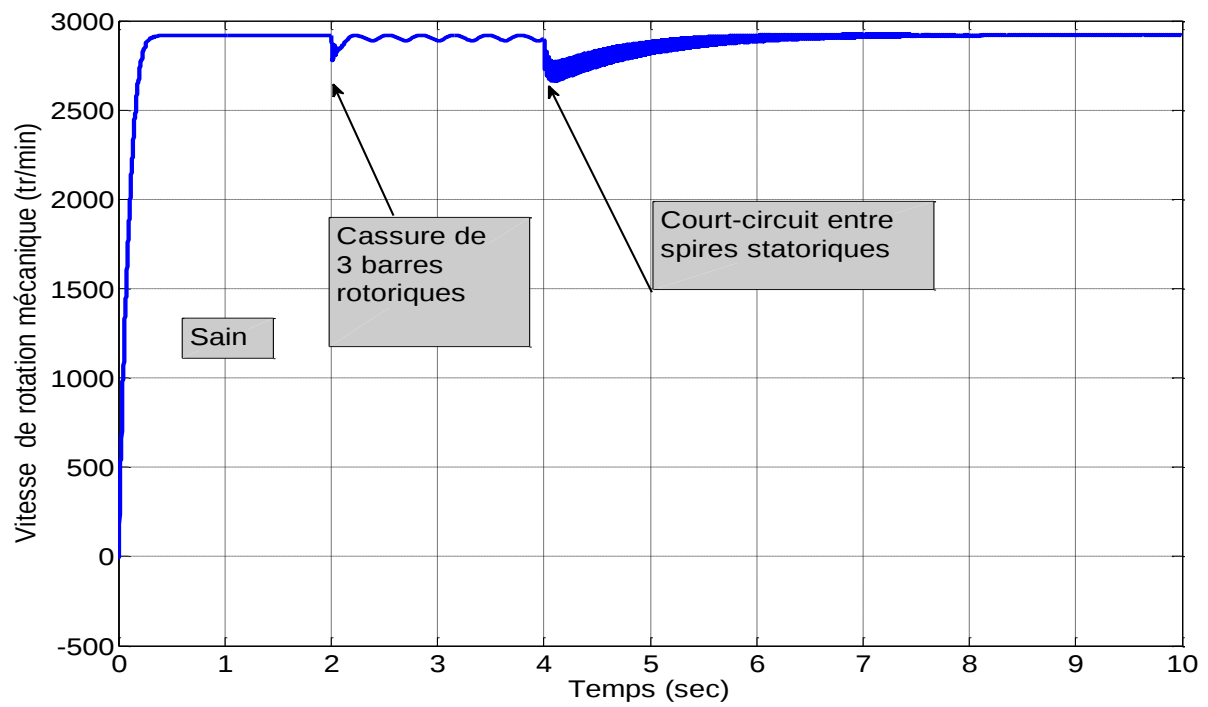


Figure III.11 : Vitesse de rotation mécanique.

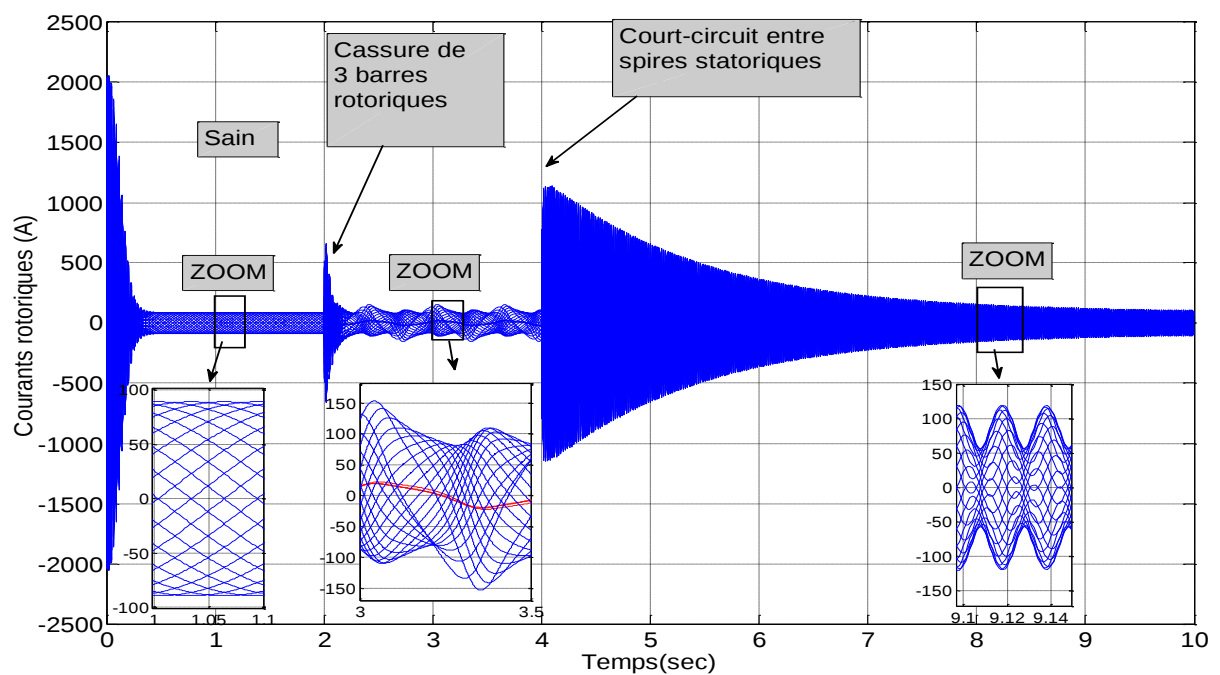


Figure III.12 : Courant rotorique.

4-Résultats expérimentaux de courant statorique :



Figure III.13 : Schéma du principe de l'acquisition des résultats expérimentaux relative au courant statorique.

4-1 Cas d'une machine saine:

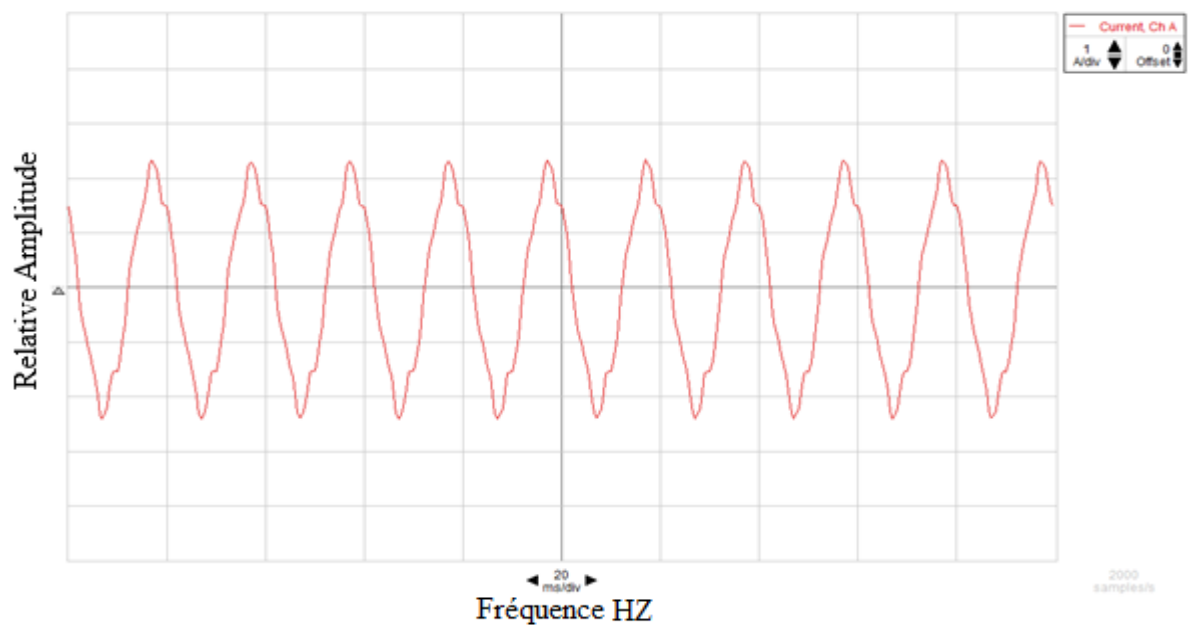


Figure III.14 : Courant statorique sain.

4-2-Cas d'une machine avec défaut:

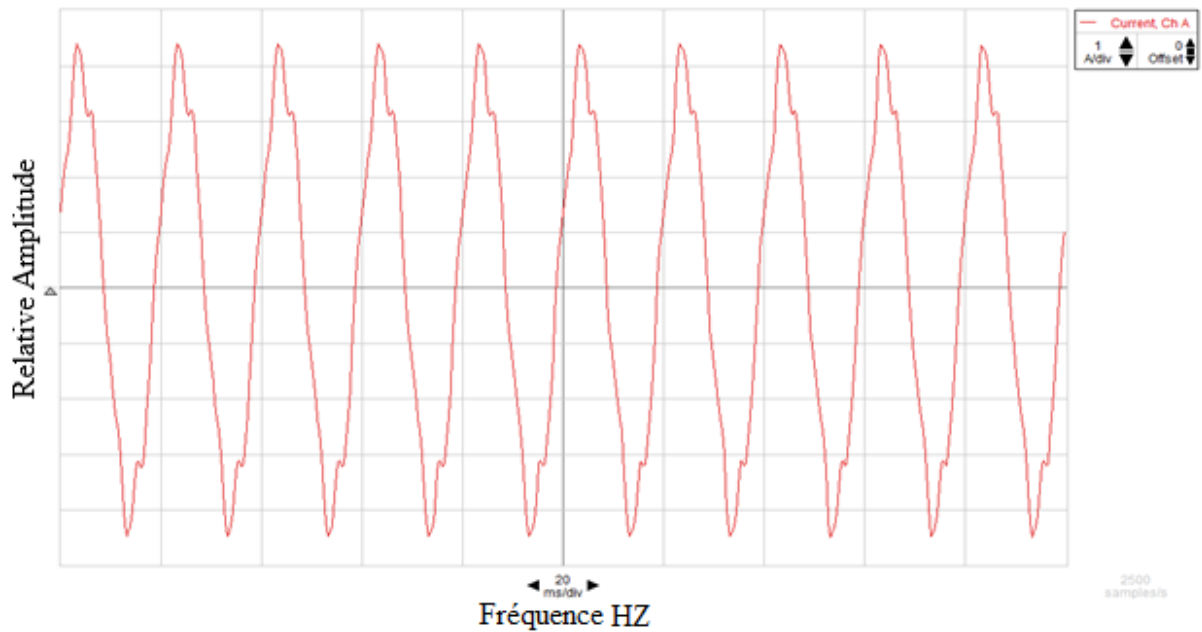


Figure III.15 : Courant statorique, court-circuit entre spire.

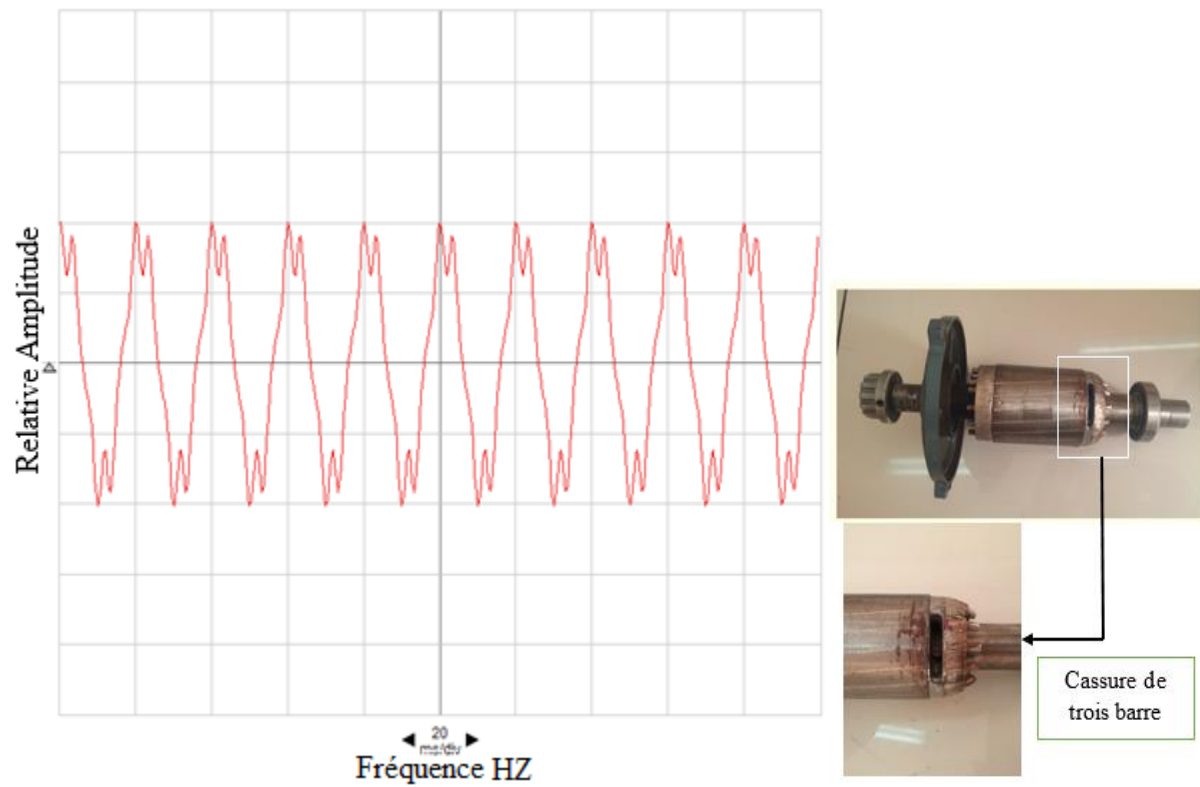


Figure III.16 : Courant statorique, lors cassure de trois barres.

5-Interprétation des résultats:

5-1-Résultats simulation:

D'après la figure (III.7), On remarque une augmentation des ondulations du couple électromagnétique après la rupture des trois barres, par conséquent la valeur moyenne de la vitesse est diminuée.

Selon la figure(III.8), nous observons des oscillations qui apparaissent sur l'allure du couple électromagnétique et de la vitesse de rotation ainsi que d'une modulation d'amplitude sur la courbe de la caractéristique mécanique et de l'évolution temporelle courants. Ces oscillations augmentent sensiblement avec les trois barres cassées, la valeur moyenne de la vitesse est diminuée fortement.

Les figures (III.9, III.10 et III.12), nous font remarquer qu'à (2s) il y a l'apparition d'une modulation et une forte ondulation à (4s) ainsi qu'une augmentation brusque d'amplitude.

La figure (III.11) nous amène à remarquer que le court-circuit entre spires statoriques a un effet négatif plus que de la cassure le trois barre pour la vitesse rotation.

5-2-Résultats expérimentaux:

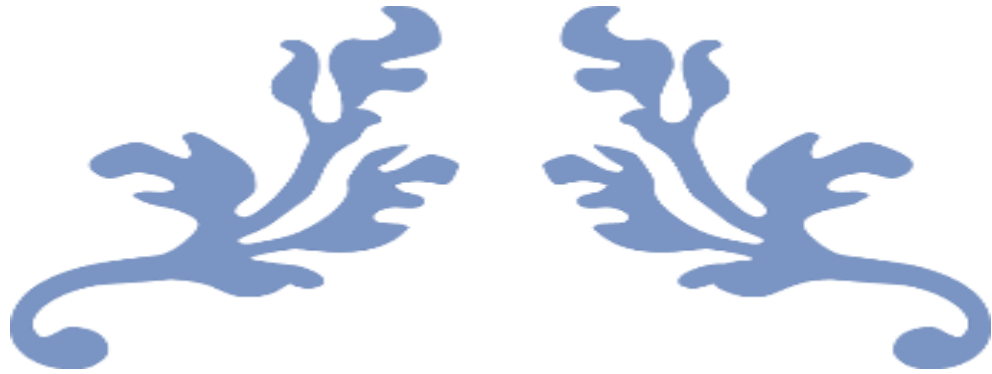
D'après la figure (III.15) après le défaut de court-circuit, il y a une augmentation de l'amplitude du courant statorique, ce qui conduit à l'élévation du RMS.

Selon la figure (III.16), on constate un défaut de cassure de trois barres, il y a une forte modulation après la déformation du courant, ce qui conduit à l'oscillation du couple électromécanique.

6-Conclusion :

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

On a analysé tous les résultats des défauts, tout particulièrement quand il s'agit de barre cassée et de court-circuit entre spires, d'après la méthode basée sur l'analyse spectrale des signaux, issus de la machine, qui offrent une porte ouverte pour le diagnostic de ce type de défaut. L'étude de ce sujet de l'analyse spectrale sera l'objet dans le prochain chapitre.



CHAPITRE IV

Analyse spectrale du courant statourique



1-Introduction :

La signature fréquentielle spécifique au défaut "barres cassées" est la forte modulation disharmoniques du courant par la fréquence de glissement. Dans cette analyse fréquentielle, il est préférable de faire une étude globale sur les courants. Il est vrai qu'un défaut rotor est visible sur le spectre des trois courants de ligne. Mais faire une FFT sur chaque courant risque d'être pénalisant en temps de calcul. C'est pour cela que nous avons opté pour l'analyse spectrale.

2-Techniques d'analyses des défauts :

Pour effectuer le diagnostic dans une installation, les opérateurs de maintenance analysent un certain nombre de paramètres, tel que la température, le bruit, les vibrations... En s'appuyant sur leur expérience, ces symptômes ne sont que la manifestation flagrante d'une modification des caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un certain nombre de grandeurs mesurables.

L'analyse spectrale du signal, est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, en particulier les ruptures de barres au rotor, la dégradation des roulements, les excentricités, les courts-circuits dans les bobinages. Les méthodes d'analyse spectrale sont principalement utilisées dans les machines directement alimentées par le réseau et fonctionnant en régime permanent [4] [7].

Toutes les méthodes de traitement de signal disponibles pour le diagnostic des machines tournantes peuvent être classées dans quatre groupes différents : l'analyse spectrale, l'analyse cepstrale, l'analyse temporelle, l'analyse temps -fréquence ou temps- échelle. Dans ce qui suit, on présente quelques méthodes qui sont utilisées dans le diagnostic des ruptures de barres.

3-Analyse spectrale :

L'analyse spectrale est certainement la méthode la plus naturelle pour le diagnostic des barres cassées. En règle générale, la seule grandeur intéressante accessible au stator est le courant et l'intérêt de son analyse spectrale est de pouvoir détecter et identifier l'élément défectueux en fonction de sa fréquence [20].

Pour obtenir le spectre en fréquence, il existe plusieurs méthodes. On distingue principalement deux approches :

- les méthodes non-paramétriques,
- les méthodes paramétriques.

3-1-Méthodes non- paramétriques :

Pour ces méthodes, on trouve tous les estimateurs à base d'analyse de Fourier.

Les spectres basés sur l'utilisation de la transformation de Fourier sont obtenus :

- soit par le calcul direct sur des segments d'échantillons temporels, puis au moyen de la transformée de Fourier, des segments pondérés par une fenêtre d'apodisation.
- soit par le calcul du spectre sur la fonction d'auto corrélation [4] [7].

3-2- Méthodes paramétriques :

Les méthodes d'analyse fréquentielles paramétriques sont basées sur la détermination d'un modèle représentant le signal à analyser et pour lequel les paramètres sont utilisés pour estimer le spectre de puissance. L'estimation du spectre nécessite trois étapes. La première consiste à sélectionner un type de modèle. Ensuite, on estime les paramètres du modèle retenu en utilisant les échantillons du signal. La dernière étape enfin, concerne l'estimation spectrale à partir des paramètres du modèle estimé [4].

4- Méthodes de détections de fréquence connues :

Ces méthodes reposent sur le principe que les défauts se caractérisent par l'apparition ou le renforcement d'une raie à une fréquence fixe ou proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine.

5- Méthodes temps- fréquence et temps-échelle :

5-1-Temps-fréquence :

Les méthodes d'analyse temps – fréquence ont été développées pour l'étude des signaux non stationnaires [4]. Plus généralement, elles s'appliquent à des signaux dont le contenu fréquentiel ou les propriétés statistiques évoluent au cours du temps. Pour décrire cette évolution temporelle, il faut réaliser une analyse spectrale évolutive, d'où les méthodes temps fréquence. Parmi les techniques de l'analyse temps fréquence, la transformation de Wigner – Ville permet des diagnostics précis. Cette transformation est une fonction réelle qui définit une distribution d'énergie dans le plan temps- fréquence. Elle peut être interprétée comme une densité spectrale instantanée [20].

Cependant, cette analogie est tempérée par l'existence de valeurs négatives qui en rendent l'interprétation délicate. Des procédures de lissage (fréquentiel et temporel) par fenêtrage permettent de réduire les interférences entre les différentes composantes fréquentielles du signal. La représentation temps fréquence a permis ainsi de mettre en évidence la modulation de fréquence linéaire en fonction du temps.

Le temps de calcul d'une représentation temps- fréquence peut être prohibitif. De plus l'inter présentation d'une image est souvent difficile [20].

5-2-Temps- échelle :

Ce mode de représentation est utilisé pour détecter des phénomènes qui se déroulent sur des échelles de fréquence différentes rencontrés dans un signal. La transformation en ondelette a été formalisée par Grossman et Morle.

6-Application de l'analyse spectrale :

Il existe de nombreux types de fenêtres qui privilégient des aspects particuliers par rapport aux autres. Il convient donc de choisir la fenêtre adéquate pour le signal en fonction du problème particulier que l'on doit résoudre.

Cette caractéristique porte essentiellement sur trois points :

- la largeur et la hauteur du lobe principal,
- la hauteur du premier lobe secondaire,
- l'atténuation des lobes secondaires,

On utilise la fenêtre de Henning.

7-Résultats de simulation de l'analyse spectrale :

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

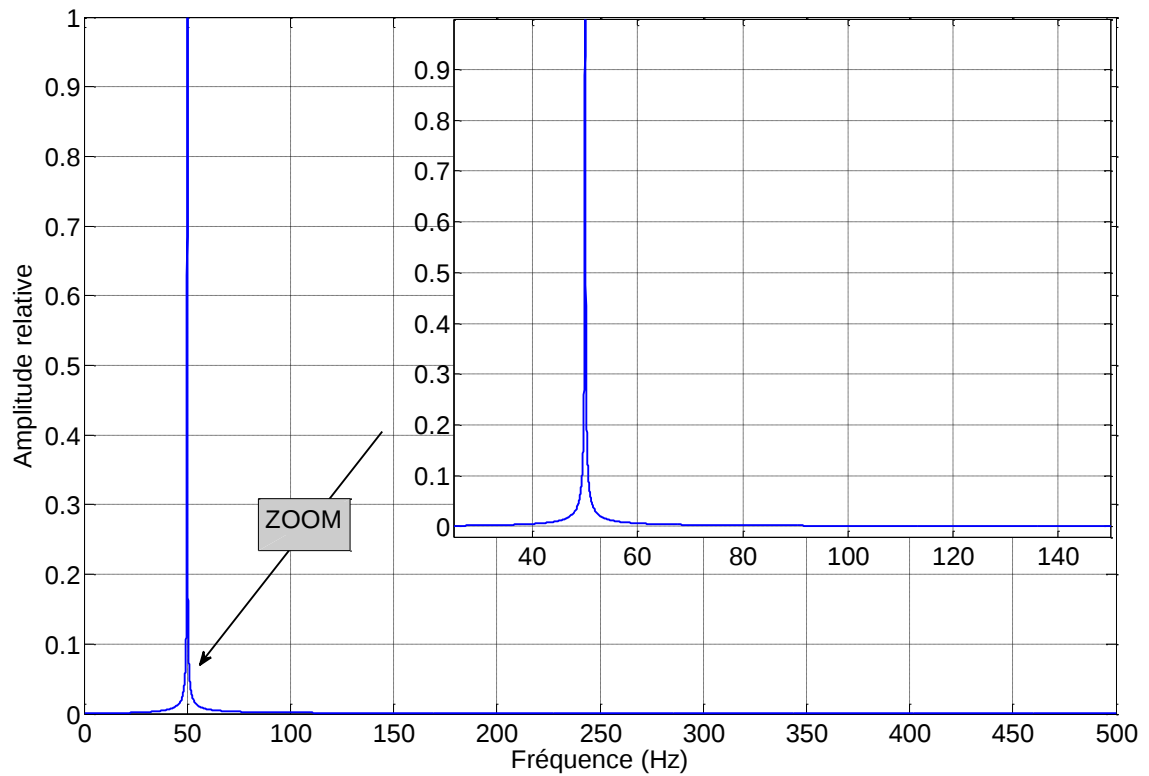


Figure IV.1 : Spectre de simulation du courant statorique (Etat sain).

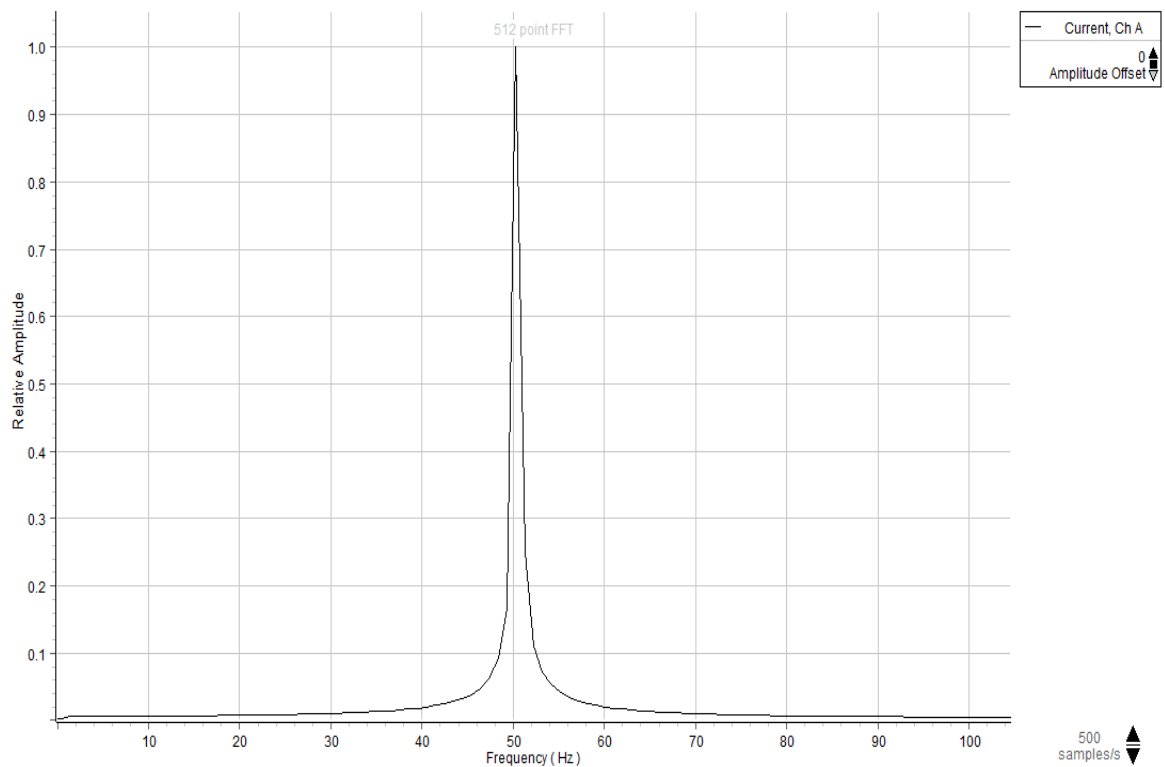


Figure IV.2 : Spectre expérimental du courant statorique (Etat sain).

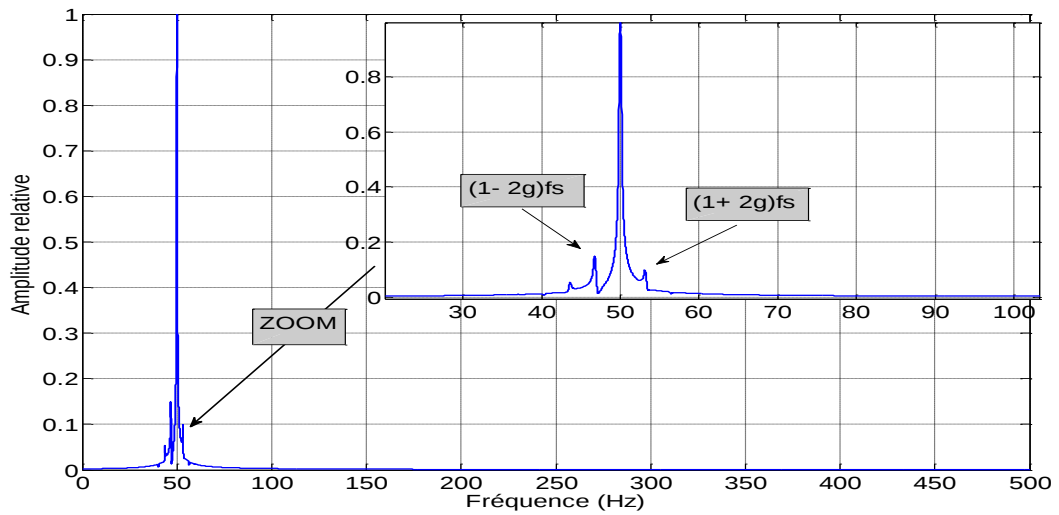


Figure IV.3 : Spectre de simulation du courant statorique (défaut rotorique).

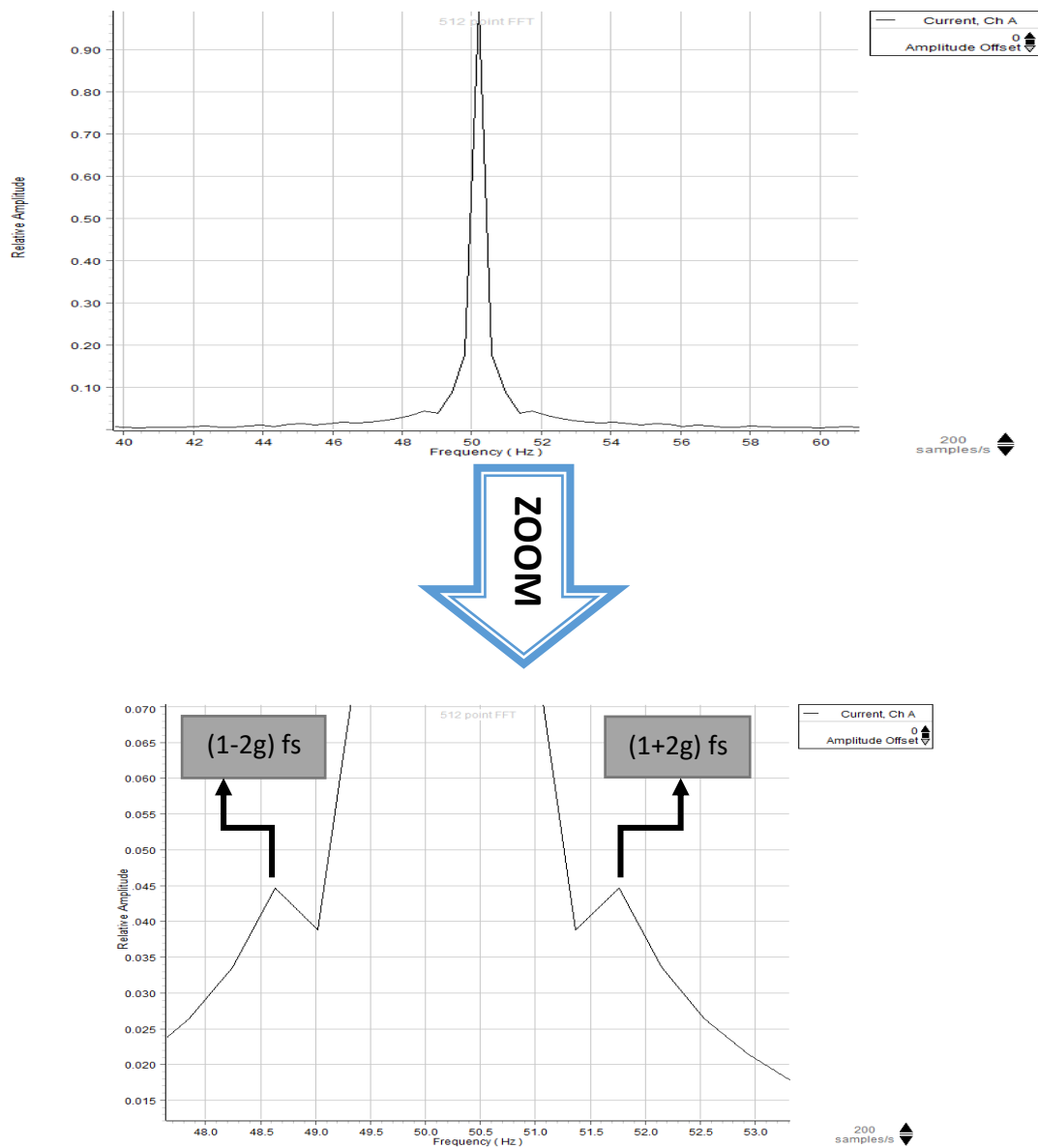


Figure IV.4 : Spectre expérimental du courant statorique (défaut rotorique).

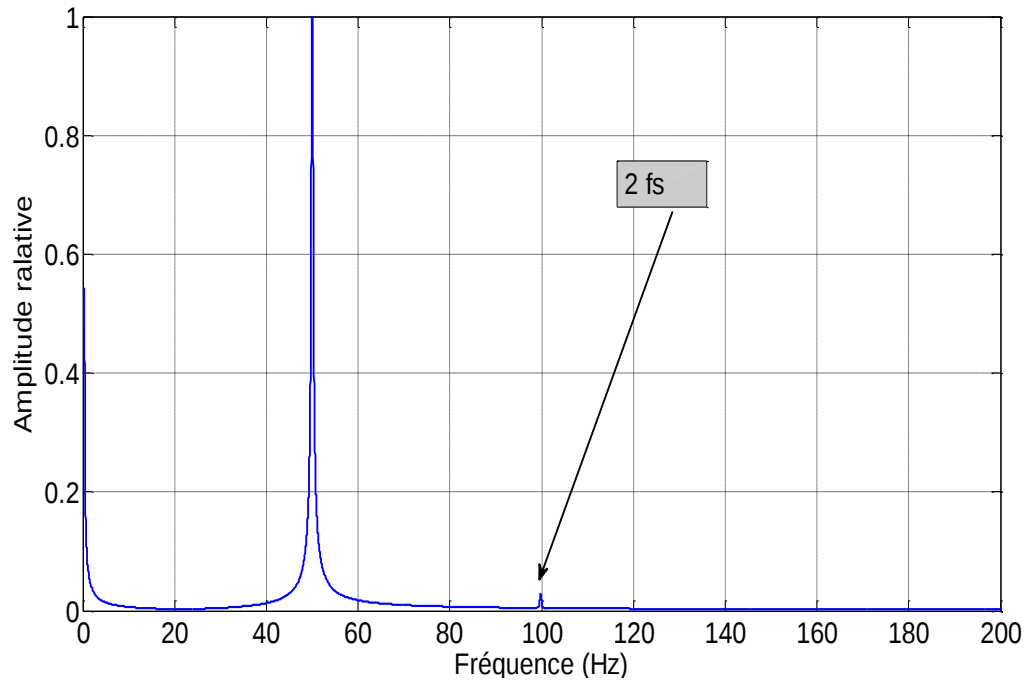


Figure IV.5 : Spectre de simulation du courant statorique (défaut statorique).

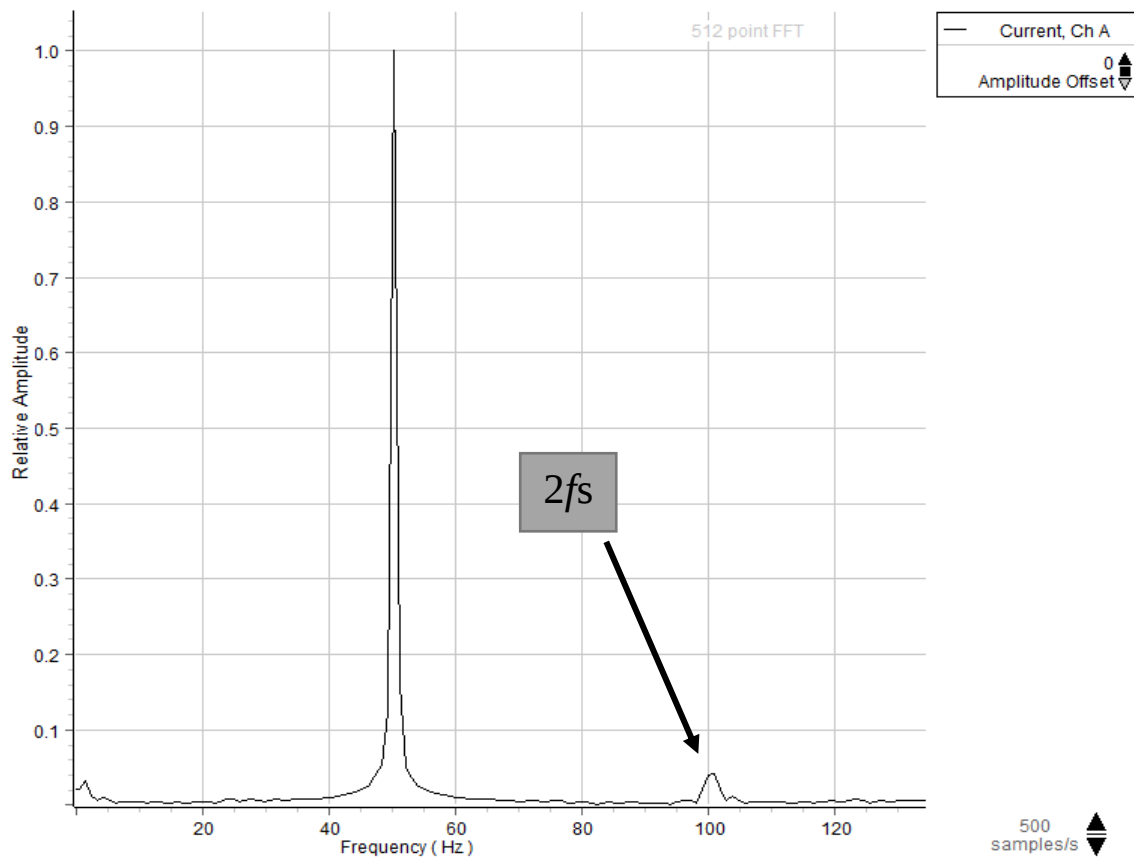


Figure IV.6 : Spectre expérimental du courant statorique (défaut statorique).

8- Interprétations :

Comparaison entre les spectres de simulation et expérimentaux du courant statorique nous remarquons :

- ❖ Les figures (IV.1 et IV.2) représentent le courant statorique à l'état sain. C'est évident qu'on n'observe aucune raie latérale. Il est important de noter qu'en réalité, il y a toujours un certain degré d'asymétrie naturelle (de construction) dans le rotor, ce qui engendre l'apparition des raies, mais avec des amplitudes faibles.
- ❖ La figure (IV.3 et IV.4) mettent en évidence l'apparition des harmoniques des défauts de barres avec les fréquences caractéristiques $(1-2g) f_s$ et $(1+2g) f_s$
- ❖ Les figures (IV.5 et IV.6) nous font remarquer les harmoniques dont les fréquences caractéristiques des défauts statorique ($2*f_s$) ici nous observons 100 Hz.

9-Conclusion :

L'analyse spectrale du courant statorique par la transformée de Fourier rapide, nous a permis de déterminer la composition fréquentielle de ces signaux, et donc de retrouver les raies associées au défaut de barres. Il s'est avéré que la détection des défauts est plus aisée sur le courant statorique que sur la vitesse ou sur le couple. Nous avons analysé le spectre du courant statorique expérimentaux et simulation à (état sain, défaut rotorique et défaut statorique). En effet, la mesure du courant puis son traitement est plus simple et moins onéreux qu'une analyse de la vitesse ou du couple. La comparaison entre tous ces méthodes, du point de vue sensibilité au degré de sévérité du défaut, nous a permis de constater que l'analyse de courant statorique reste la meilleure méthode pour détecter les ruptures de barres rotoriques et de court-circuit entre spires statoriques.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés. Nous avons focalisé l'étude sur les moteurs à cage pour deux raisons, la première est par ce que les moteurs asynchrone à cage sont les plus répondus dans le monde industriel, tandis que la deuxième réside dans le fait que d'un point de vue structure multi enroulement.

Les ruptures de barres et le court-circuit entre spires statoriques ont été le centre de notre intérêt dans ce présent travail.

Au début de ce travail, nous avons rappelé les différents défauts qui peuvent affectés le bon fonctionnement de la machine asynchrone triphasée à cage, ainsi que leurs causes. Les méthodes du diagnostic et les approches utilisées pour la modélisation sont aussi représentés.

Nous avons développé un modèle (d,q) pour l'étude de la machine asynchrone, il permet de simuler le comportement de la machine lors des défaillances de barres rotoriques et de portion d'anneau.

Afin de représenter le comportement de la machine, lors d'un fonctionnement normal (état sain) et (avec défaut) nous avons développé un modèle mathématique multi-enroulement pour la cage rotorique.

Ce modèle, conduit à un gain notable en termes de temps de calcul tout en introduisant l'apparition d'un défaut par un changement significatif des résistances de la sous matrice liée au rotor.

Nous avons ,ensuite, fait identification paramétrique de la machine asynchrone à cage pour extraire paramètre du moteur et comparer les résultats avec simulation Matlab.

Ensuite, nous avons construit un programme de simulation à l'aide du MATLAB R2009b. Ceci nous a permis de visualiser les performances de la machine, en considérant les différentes conditions de fonctionnement de la machine (sans et avec défauts).

Nous avons fait la simulation des performances de la machine (le couple, la vitesse de rotation, le courant statorique...) à l'état sain puis avec défaut de trois barres cassées adjacentes et le court-circuit entre spires statoriques.

A la fin de ce travail, on a fait l'état d'une méthode permettant la surveillance d'une machine asynchrone triphasée lorsqu'un défaut apparaît. Pour cette surveillance, nous avons développé un modèle de la machine qui permet d'étudier les phénomènes répercutés sur les performances de la machine.

L'analyse spectrale ayant recours à la procédure de la transformée de Fourier rapide (FFT), l'analyse spectrale de ces performances a permis de détecter et localiser la nature des défauts ainsi que leur sévérité pour les mettre au service du diagnostic en générale.

Notre perspective est d'étudier le diagnostic avec les méthodes d'intelligence artificiel telles que : réseaux de neurones, algorithme génétique,....

Bibliographie

- [1]** A. H. Bonnett and G. C. Soukup, "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel- Cage Induction Motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No 4, July/August 1992, pp. 921-937.
- [2]** Y. Han, Y. H. Song, "Condition Monitoring Techniques for Electrical Equipment – A Literature Survey", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, January 2003, pp. 4-13.
- [3]** Abba Bouguerne, Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones CONSTANTINE 2009.
- [4]** BELHAMDI Saad « Prise en Compte D'un Défaut Rotorique Dans la Commande d'un Moteur Asynchrone »Thèse de Magister , Université Mohamed Khider Biskra, Soutenue 2005.
- [5]** HUBERT Razik « Le Contenu Spectral Du Courant Absorbé Par La Machine Asynchrone En Cas de Défaillance »Faculté des Sciences , Nancy, CEDEX , juin 2002.
- [6]** SAHRAOUI Mohamed «Contribution aux Diagnostic des Machines Asynchrones Triphasées à cage » Université Mohamed Khider Biskra,10 /2003.
- [7]** ABED Aicha «Contribution à l'étude et Au Diagnostic de la Machine Asynchrone », Thèse de Doctorat Université Henri, Nancy Soutenue Publiquement le 28 mars 2002.
- [8]** P.J. Travner, B.G. Gaydon and D.M. Ward, "Monitoring generator and large motors", IEE Proceeeding May 1986.
- [9]** Austin H.Bonnett, "Safety considération for the application instalationopération,and maintenance of industriel AC induction motors", IEEE Trans.Ind.Appli; vol25, September /October 1989.
- [10]** Hubert Razik et Gaëtan Didier, "Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone", Notes de cours, I.U.F.M. de Lorraine, Maxeville, 7 janvier 2003.

- [11]** M.Drif, N.Benouzza, B.Kraloua, A. Bendiabdellah and J.A.Dente, "Squirrel cage rotor faults detection by instantaneous power spectrum approach", Proceeding of IEEE SDEMPED 01, Sep. 1-3, 2001, Gorizia, Italy.
- [12]** M.Drif, N.Benouzza, B.Kraloua, A. Bendi abdellah and J. A. Dente, "Induction motor load effect diagnostic by instantaneous power spectrum", Proceeding of ACEMP 2001, June 27-29, 2001, Kujadasi, Turkey.
- [13]** D. Yang and J. Penman, "Intelligent detection of induction motor bearing faults using current and vibration monitoring", Proceeding of COMADEM 2000, 3-8 December 2000pages 461-470.
- [14]** L. BAGHLI, "Modélisation et commande de la machine asynchrone", IUFM de lorraine, 2005.
- [15]** Rezzoug.A, Hubert R, Abed .A « Un modèle du moteur asynchrone à cage dédiée à la simulation et au diagnostic », Université Henri Poincaré Nancy1,Noter de cours 2003 .
- [16]** L. Baghli, '' Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques '', thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-I, 14 janvier 1999.
- [17]** Guy Segulier, Francis Notelet «électrotechnique industrielle».
- [18]** Encadré par S.E. Zouzou «identification des paramètres d'un moteur asynchrone à cage en vue de diagnostic», Thèse d'ingénieur.
- [19]** J. Chatlan «introduction à l'électrotechnique».
- [20]** BOUMEGOURA.T, "Recherche de Signale électromagnétique des défauts dans une machine asynchrones et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic", thèse de doctorat Ecole centrale de Lyon France, 2001.

[21] ROLAND Casimir « Diagnostic des Défaits Des Machines Par Reconnaissance Des Forms », Thèse Doctorat, préparé aux seins de L'école Doctorale Electronique, Electrotechnique, automatique De Lyan, 03 /1992.

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

[23] HAKIMA CHERIF " détection des défauts statorique et rotorique dans une machine asynchrones en utilisant lanalyse par FFT et ondelettes" Univ Mohmmmed khider 30/09/2014.

[24] HARIR Miloud " Etude des Défaits dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée " Universitaire 2008/2009.

[25] MAGHRAOUI Abdelwahab, DEBOUCHA Abdelhakim "*Diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés à cage*"UNIV MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA 2005 / 2006.

Résumé

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

- ✚ Etat de l'art sur le diagnostic de défaut de la machine asynchrone.
- ✚ Modèle multi enroulement de la machine asynchrone.
- ✚ Résultats expérimentaux et de simulation des grandeurs temporelles.
- ✚ Analyse spectrale du courant statorique.

La thématique du diagnostic de défaut se base sur l'application de technique de signal qui est une solution efficace pour le problème de diagnostic des défauts sur l'analyse spectrale du courant statorique (FFT).

Mots clés :

Moteur asynchrone, Défaut rotorique, Diagnostic, Modèle multi-enroulement, Analyse spectrale ,FFT.

ملخص

قد ساهم التقدم في مجال الالكترونيات الدوائر والتحكم الآلي في القدرة على الاستخدام المتزايد للآلات الغير متزامنة في نظم المحركات الكهربائية، إن استخدام الآلات غير متزامن يرتبط أساسا على المتانة، كثافة الطاقة وتكلفة التصنيع، والصيانة والرقابة الجيدة عليها نحصل على قيمة جيدة للمنشآت. ولذلك فمن المهم لتطوير أدوات التشخيص للكشف في وقت مبكر عن العيوب في هذه الآلات. يتركز هذا العمل في رصد وتشخيص الأخطاء الآلة الغير متزامنة ذات قفص السنجاب عبر المراحل التالية:

➤ مراحل تشخيص الأعطاب في آلة غير متزامنة.

➤ نموذج متعدد اللغات للآلة الغير متزامنة.

➤ النتائج التجريبية والمحاكاة بدلالة الزمن.

➤ التحليل الطيفي للتيار الجزء الثابت.

يستند موضوع تشخيص الأعطاب في معالجة الإشارة على التحليل الطيفي للتيار الجزء

الثابت (FFT) وهو الحل الفعال لتشخيص الأعطاب.

الكلمات المفتاحية:

محرك غير متزامن، خطأ الدوار، تشخيص، نموذج متعدد اللغات، التحليل الطيفي، FFT.