



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



UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA-BEJAÏA

**Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique
Spécialité Maintenance Industrielle**

Projet de Fin d'Etudes

**En vue de l'obtention du diplôme MASTER En Electromécanique
Option Maintenance Industrielle**

Thème

**Modélisation de la machine asynchrone a cage en vue de l'étude de ses
défauts rotoriques**

Présenté par :

KERBOUS Yanis

Devant le jury composé de :

Mme.ABDELI Radia

Promoteur

Mr.TAIB Nabil

Président

Mr.LAGGOUNE Redouane

Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'étude.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Madame ABDELI Radia pour son encadrement précieux tout au long de mon mémoire. Ses conseils d'experts et éclairés, ainsi que son soutien constant, ont grandement contribué à la réussite de mon travail.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail. Je les remercie sincèrement pour leur participation et leur précieuse contribution.

Je remercie également la personne la plus chère dans ma vie, ma maman, pour son sacrifice et son amour éternel. J'aimerais également rendre hommage à l'âme de mon papa qui rêvait de voir ce jour. De même, je suis reconnaissant envers mon petit frère, Hassan, qui me soutient face à tous les obstacles.

Enfin, mes amis Akila, Dihia, Thafrara, Dalila, Mamin, Jugurtha, Racim, Tahar et Lounis, je les remercie de m'encourager tout au long de ces années.

Yanis Kerbous

Table des matières

Remerciement	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction générale	IV
1 Chapitre 1 : Généralités sur les défaillances de la machine asynchrone	4
1.1 Introduction	4
1.2 La machine asynchrone	4
1.3 Eléments constitutifs de la machine asynchrone	5
1.3.1 Le stator	5
1.3.2 Le rotor	6
1.3.2.1 Le rotor a cage	7
1.3.3 Les organes mécaniques	7
1.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone	8
1.5 Présentation des défauts des machines asynchrone	8
1.6 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone	10
1.6.1 Quelques statistiques	10
1.6.2 Défaillances au stator	12
1.6.2.1 Défauts d'isolant dans un enroulement	12
1.6.2.2 Court-circuit entre spires	12
1.6.2.3 Court-circuit entre phases	13
1.6.2.4 Court-circuit phase-bâti	13
1.6.2.5 Défauts de circuit magnétique	14
1.6.3 Défauts de rotor	14
1.6.3.1 Ruptures de barres	14
1.6.3.2 Ruptures d'anneaux	15
1.6.3.3 Excentricité statique et dynamique	15

1.6.3.4	Défaillances mécaniques.....	17
1.6.3.4.1	Défauts des roulements.....	17
1.6.3.5	Autres défaillances.....	18
1.7	Conclusion.....	18
2	Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone sans et avec défaut.....	20
2.1	Introduction.....	20
2.2	Principale méthode de modalisation de la machine asynchrone en vue de son diagnostic.....	20
2.2.1	Théorie des circuits couplés magnétiques.....	20
2.2.2	Approche des multi circuits couplés magnétiquement.....	21
2.2.3	Modèle triphasé-triphasé.....	21
2.3	Machine asynchrone avec défauts au rotor.....	21
2.3.1	Hypothèses simplificatrices.....	21
2.3.2	Modélisation de la machine asynchrone saine par l'approche des multi circuits couplés.....	21
2.3.2.1	Equations au stator.....	22
2.3.2.2	Equations au rotor.....	25
2.3.2.3	Le couple électromagnétique.....	28
2.3.2.4	L'équation mécanique.....	28
2.3.3	Modèle de la machine dans le repère de Park.....	28
2.3.3.1	Transformation de Park.....	29
2.3.3.2	Equation électrique.....	29
2.3.3.3	Equation magnétique.....	30
2.3.3.4	Différentes expressions du couple électromagnétique.....	30
2.3.4	Modélisation de la machine avec défauts au rotor.....	31
2.3.4.1	Machine avec une seule barre cassée.....	31
2.3.4.2	Machine avec deux barres cassées adjacentes.....	34
2.3.5	Généralisation pour une machine avec (K) barres cassées.....	35

2.3.5.1	Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit.....	37
2.4	Machine asynchrone avec défaut au stator.....	38
2.5	Conclusion.....	39
3	Chapitre 3 : Résultats de simulation de la machine asynchrone	41
3.1	Introduction	41
3.2	Simulation du modèle de la machine asynchrone	41
3.3	Résultat de simulation	42
3.3.1	Cas d'une machine saine	42
3.3.2	Cas d'un défaut de cassure de deux barre	44
3.3.3	Cas d'un défaut de cassure de cinq barres.....	46
3.4	Interprétation des résultats :	47
3.5	Conclusion.....	48
Conclusion générale		V

Liste des figures

- Figure 1.1** : La machine asynchrone (page 4)
- Figure 1.2** : Les éléments constitutifs de la machine asynchrone MAS (page 5)
- Figure 1.3** : Vue schématiques en perspective du stator (page 6)
- Figure 1.4** : Le rotor à cage d'écureuil (page 7)
- Figure 1.5** : Principe de fonctionnement (page 8)
- Figure 1.6** : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances (page 10)
- Figure 1.7** : (a) Thomson 1999 (page 11)
- Figure 1.8** : (b) Bonnet 2008 (page 11)
- Figure 1.9** : Court-circuit entre spire (page 13)
- Figure 1.10** : Ruptures de barres (page 15)
- Figure 1.11** : Excentricité statique et dynamique (page 16)
- Figure 1.12**: Excentricité statique et dynamique (page 17)
- Figure 2.1** : La fonction définissant la (i^{ème}) maille rotorique (page 24)
- Figure 2.2** : Circuit équivalent d'un rotor à cage sain (page 27)
- Figure 2.3** : Circuit équivalent d'un rotor avec une seule barre (page 32)
- Figure 2.4** : Circuit équivalent d'un rotor à cage avec deux barres cassées (page 34)
- Figure 2.5** : Circuit équivalent d'un rotor à cage avec k barres cassées adjacentes (page 35)
- Figure 2.6** : Circuit équivalent d'un rotor avec une portion d'anneau de court-circuit cassé (page 37)
- Figure 3.1** : les courants statoriques aux régime permanent. (page 42)
- Figure 3.2**: les courants statoriques aux régime transitoire. (page 42)
- Figure 3.3**: vitesse de rotation. (page 43)
- Figure 3.4**: le couple électromagnétique (page 43)
- Figure 3.5**: courants statorique cas de cassure de deux barres. (page 44)
- Figure 3.6**: agrandissement des courant statoriques (page 44)
- Figure 3.7**: vitesse de rotation dans le cas de défaut de cassure de deux barres. (page 45)
- Figure 3.8**: le couple électromagnétique dans le cas de deux barres (page 45)
- Figure 3.9**: les courants statorique dans le cas de défaut de cinq barres. (page 46)
- Figure 3.10**: agrandissement des courants. (page 46)
- Figure 3.11**: Vitesse de rotation (page 47)

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : les types de défauts et leurs sources (page 9)

Introduction générale

Dans le domaine industriel, les machines électriques sont les éléments principaux les plus fréquemment utilisés. Parmi celles-ci, la machine asynchrone à cage se distingue par sa construction robuste et son coût abordable, ce qui explique sa popularité croissante. Sa simplicité de construction et son faible coût d'achat en font un choix privilégié sur le marché.

Cependant, avec le développement constant des moyens de production et l'importance accordée à la qualité des produits, il est devenu nécessaire de mettre en place plusieurs outils de maintenance moderne. Les études de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité, les méthodes et techniques de maintenance, la gestion de la maintenance assistée par ordinateur ainsi que les outils modernes de prédiction ont largement surpassé les anciennes pratiques d'entretien.

Problématique

Dans ce mémoire, notre attention se porte sur les éléments de construction de la machine asynchrone, tels que le stator, le rotor et les paliers, ainsi que sur les différents défauts pouvant survenir dans cette machine. Nous nous intéressons particulièrement aux défaillances des circuits électriques rotoriques, notamment les ruptures de barres rotoriques, et à leur influence sur le signal statorique, la vitesse de rotation et le couple électromagnétique.

Objectif

L'objectif de ce mémoire est de modéliser la machine asynchrone à cage afin d'étudier en détail ses défauts rotoriques. En utilisant des outils de détection des défauts, nous nous focaliserons spécifiquement sur les défaillances des circuits électriques rotoriques, telles que les ruptures de barres rotoriques. Notre objectif est de comprendre l'influence de ces défauts sur le signal statorique et d'analyser leur comportement à travers des simulations et des analyses temporelles.

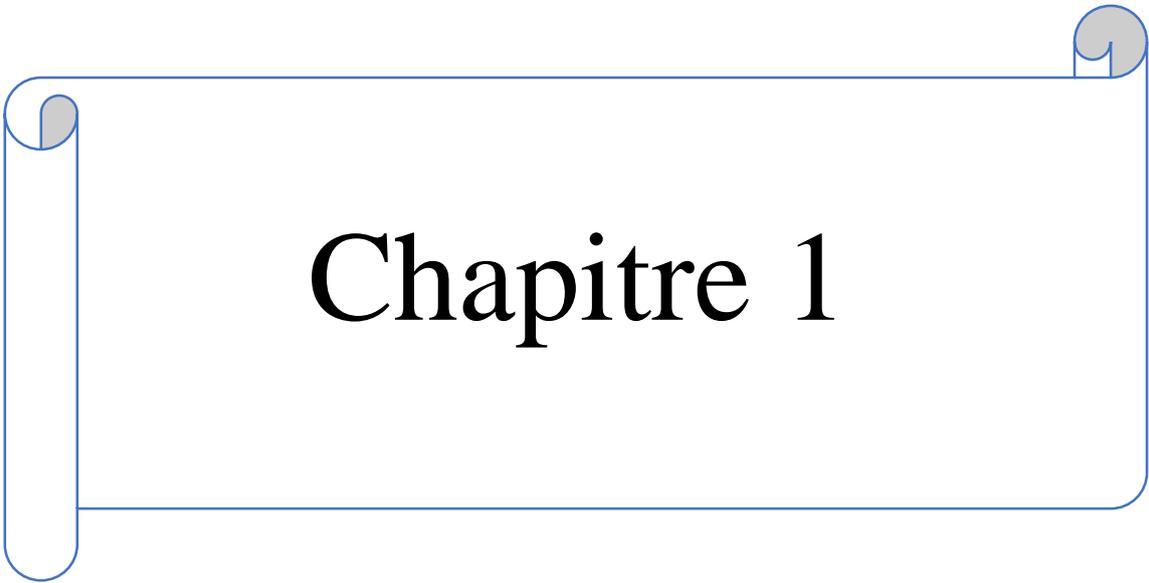
Organisation de mémoire

Dans mon mémoire j'ai poursuivi l'architecture suivante :

Le premier chapitre de ce mémoire se concentre sur les éléments de construction de la machine asynchrone, tels que le stator, le rotor et les paliers, ainsi que sur les différents défauts pouvant survenir dans cette machine. Nous nous intéressons spécifiquement aux défaillances des circuits électriques rotoriques, telles que les ruptures de barres rotoriques, et à leur influence sur le signal statorique, en utilisant des outils de détection des défauts de base.

Le deuxième chapitre traite de la modélisation du moteur en utilisant une approche basée sur les multi-circuits couplés magnétiquement. Nous avons réussi à représenter mathématiquement les ruptures de barres et les portions d'anneau au niveau du rotor, ainsi que l'ouverture d'une phase lors du fonctionnement au niveau du stator.

Enfin, dans le troisième et dernier chapitre, nous simulons le comportement de notre machine en bonne santé en introduisant des défauts tels que des cassures de barres rotoriques. Nous observons ce comportement à l'aide des résultats fournis par un logiciel et les comparons à l'état sain grâce à des analyses temporelles.



Chapitre 1

Chapitre 1 : Généralités sur les défaillances de la machine asynchrone

1.1 Introduction

La machine asynchrone, également connue sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif qui ne possède pas de connexion directe entre le stator et le rotor. Comme les autres machines électriques telles que la machine à courant continu et la machine synchrone, la machine asynchrone est un convertisseur électromécanique basé sur les principes de l'électromagnétisme. Elle permet la conversion bidirectionnelle de l'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant électrique (en l'occurrence un courant alternatif) et un dispositif mécanique. [1].

1.2 La machine asynchrone

Le moteur asynchrone est largement utilisé dans les applications de puissance supérieure à quelques kilowatts en raison de ses nombreux avantages. Parmi ces avantages figurent sa puissance massique élevée, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût. Cependant, malgré sa réputation de robustesse, la machine asynchrone, tout comme les autres machines électriques, peut présenter des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. En raison des conséquences importantes et coûteuses qu'une défaillance peut avoir sur un processus industriel, le diagnostic des défauts est devenu un sujet d'intérêt croissant au cours des dernières décennies. [2].

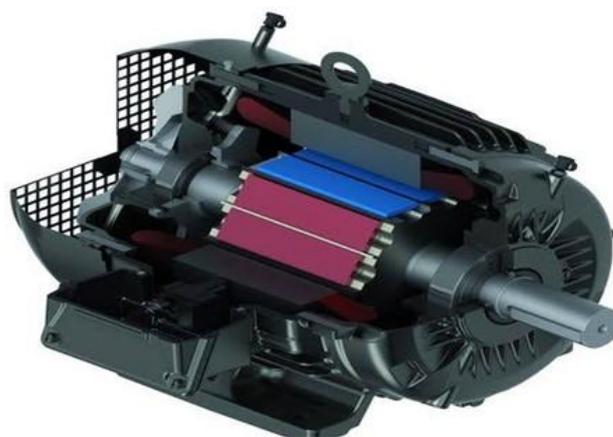


Figure 1.1 : La machine asynchrone

1.3 Eléments constitutifs de la machine asynchrone

Le sujet de notre étude est basé sur la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil.

La connaissance de ses éléments de constitution permet de voir de quelle façon le système est réalisé, et de quelle manière ses défaillances sont parvenues. Du point de vue mécanique, la machine asynchrone se décompose en trois parties distinctes tel que [2] :

- Le stator : partie fixe, connectée au réseau d'alimentation.
- Le rotor : partie mobile entraînant la charge mécanique.
- Les paliers : ils permettent la mise en rotation de l'arbre moteur

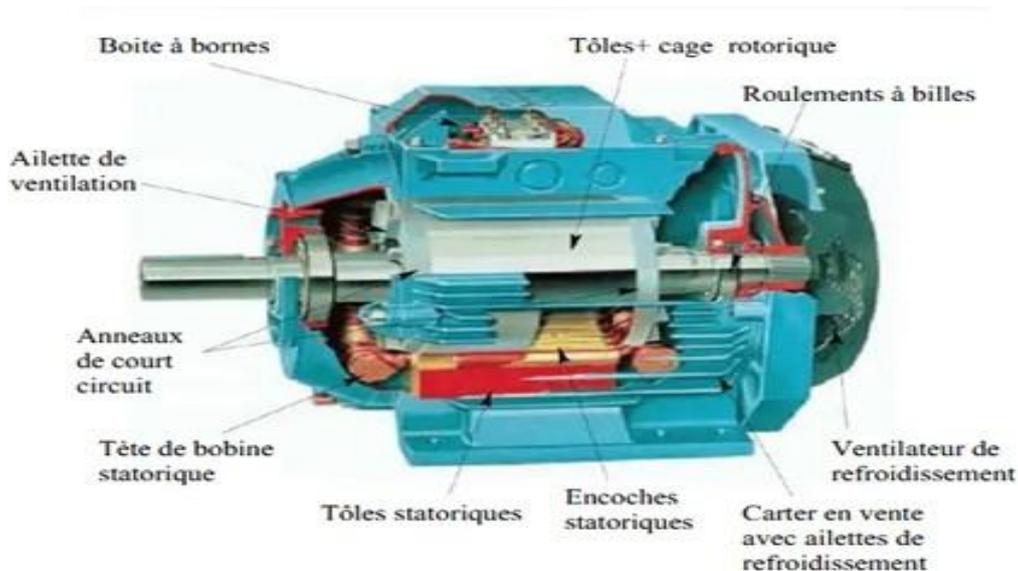


Figure 1.2 : Les éléments constitutifs de la machine asynchrone

1.3.1 Le stator

L'inducteur, également connu sous le nom de bobinage statorique, est composé d'un enroulement réparti bobiné dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est formé d'un empilement de tôles découpées en encoches parallèles à l'axe de la machine (voir figure 1.2). Le bobinage statorique peut être divisé en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches génèrent le champ magnétique dans l'entrefer, responsable de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent la fermeture des courants en assurant une circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir une distribution de courant la plus sinusoïdale possible à la surface de l'entrefer, afin de réduire les variations du couple électromagnétique. Une fois cet assemblage terminé, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches

prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriquée, ondulée ou concentrique [3].

L'enroulement concentrique est souvent utilisé lorsqu'un bobinage mécanique est réalisé pour les grosses machines. Les enroulements sont constitués de mêplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre l'enroulement électrique et les tôles d'acier est réalisée à l'aide de matériaux isolants de différents types, en fonction de l'utilisation de la machine asynchrone. Le stator d'une machine asynchrone est également équipé d'une boîte à bornes à laquelle l'alimentation électrique est connectée.

La figure 1.3 représente les différentes parties constitutives du stator d'une machine asynchrone. On peut observer la présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement de la machine lorsqu'elle fonctionne en charge [3].

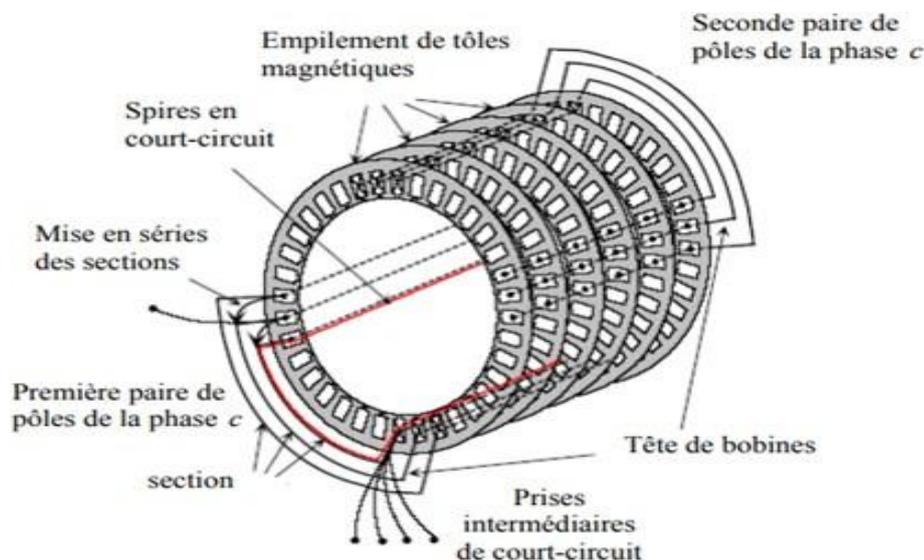


Figure 1.3 : Vue schématiques en perspective du stator

1.3.2 Le rotor

Le rotor, également connu sous le nom d'induit ou de circuit magnétique rotorique, est composé de tôles d'acier qui proviennent généralement de la même source que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors des machines asynchrones peuvent être de deux types : bobiné ou à cage d'écureuil.

Le rotor bobiné est construit de la même manière que le bobinage statorique, avec l'insertion des enroulements dans les encoches du rotor. Les phases rotoriques sont alors accessibles grâce à un système de bague balais positionné sur l'arbre de la machine.

En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres en cuivre pour les gros moteurs ou en aluminium pour les petits moteurs. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux appelés "anneaux de court-circuit", qui sont également fabriqués en cuivre ou en aluminium [3].

1.3.2.1 Le rotor a cage

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit assurent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotorique) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties et constituent le circuit du rotor, comme illustré dans la figure. La cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique composé de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine, similaire à celui du moteur à rotor bobiné, comme le montre la figure 1.4 [4].

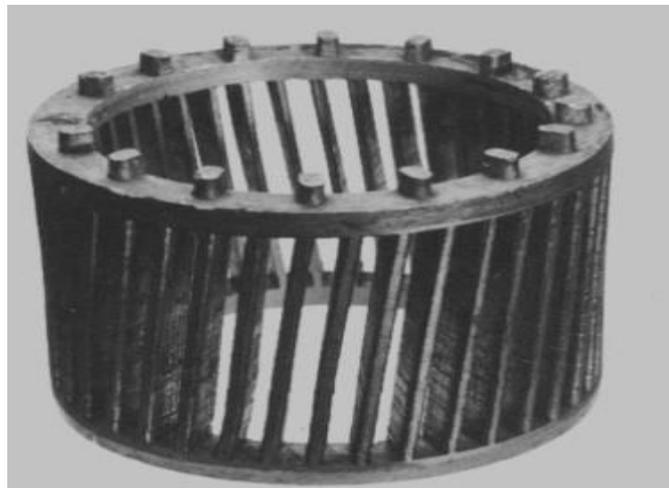


Figure 1.4 : Le rotor à cage d'écureuil

1.3.3 Les organes mécaniques

La carcasse remplit un rôle de support et agit comme une enveloppe protectrice contre l'environnement extérieur. L'arbre est un élément de transmission qui comprend une partie centrale qui soutient le corps du rotor, ainsi qu'une extrémité sur laquelle est fixé un demi-accouplement. Il est généralement fabriqué en acier moulé ou forgé. Sa dimension est déterminée en fonction des contraintes de flexion (telles que la force centrifuge qui s'exerce sur lui et l'attraction magnétique radiale), des contraintes radiales et tangentes causées par les forces centrifuges, ainsi que des contraintes de torsion (comme le couple électromagnétique transmis en régime permanent ou transitoire) [5].

1.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le moteur asynchrone fonctionne en se basant sur l'interaction électromagnétique entre le champ tournant créé par le courant triphasé fourni par un réseau triphasé équilibré aux enroulements statoriques, et les courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ magnétique tournant (loi de Lenz). Cette interaction électromagnétique entre les deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de celle du rotor [5].



Figure 1.5 : Principe de fonctionnement de machine asynchrone

1.5 Présentation des différents défauts des machines asynchrone

Cette partie présente les différents défauts, causes de défauts et classifications du moteur. Une panne moteur représente tout événement provoquant un comportement anormal d'une machine et pouvant entraîner son endommagement à court ou long terme. Les causes de défaillance des machines électriques tournantes proviennent de la conception, des tolérances de fabrication, de l'assemblage, de l'installation, de l'environnement d'exploitation, de la nature des charges et des calendriers de maintenance.

Les dysfonctionnements peuvent être divisés en deux catégories selon leur origine : «internes et externes». Les défauts internes sont provoqués par les composants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cages du rotor, entrefers mécaniques, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation électrique, la charge mécanique et l'environnement dans lequel la machine est utilisée [1].

Défauts à cause externes

Sont cause par les tensions d'alimentation, charge mécanique et par l'environnement d'utilisation de la machine.

Défauts à cause internes : Provoqué par les composants de la machine (circuit magnétique, électrique, entrefer et cage du rotor). Les défaillances de la machine sont sensibles aux conditions d'utilisation de celle-ci. Tous ces échecs produisent les symptômes suivants :

- Déséquilibre du courant et de la tension de ligne.
- Augmentation des oscillations de couple.
- Le couple moyen chute.
- Augmentation des pertes et donc réduction de l'efficacité énergétique.
- Echauffement excessif et donc vieillissement accéléré.

Par conséquent, les défauts des moteurs à induction peuvent être divisés en deux catégories : les défauts qui se produisent dans le groupe motopropulseur à l'extérieur du moteur (externes) et les sources de défauts qui se produisent à l'intérieur du moteur (internes) Les défauts présents dans le moteur sont classés selon leur origine [2].

Le tableau ci-dessous résume les types de défauts et leurs sources :

Les défaillances des machines Electriques	Internes	Electrique	Exemple	Défaillances au niveau de l'isolation
				Rupture des barres
				Défaillances au niveau du circuit magnétique
		Mécanique	Exemple	Contacte entre le stator et le rotor
				Excentricité
				Mouvement des enroulements et des tôles
	Externes	Electrique	Exemple	Fluctuation de tension
				Sources de tension déséquilibré
				Réseau bruite
		Mécanique	Exemple	Surcharge de la machine
				Défaut de montage
				Charge oscillante
Environnementale	Exemple	Humidité et Poussière		
		Température		

Tableau 1.1 : les types de défauts et leurs sources

1.6 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone

Les pannes peuvent provenir de diverses sources, électriques, mécaniques ou même magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent être divisées en trois catégories [3]

- **Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts :** Surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, mesure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- **Les amplificateurs de défauts :** Surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais, graissage, vieillissement, etc.
- **Les vices de fabrication et les erreurs humaines :** le Défauts de fabrication, défaillances de composants, protection inappropriée, dimensions de machine incorrectes, etc. Une étude statistique menée par une compagnie d'assurance allemande en 1988 système industriel [3]

1.6.1 Quelques statistiques

Sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance de (50kW `a200kW) adonne les résultats suivants figure 1.6 [4].

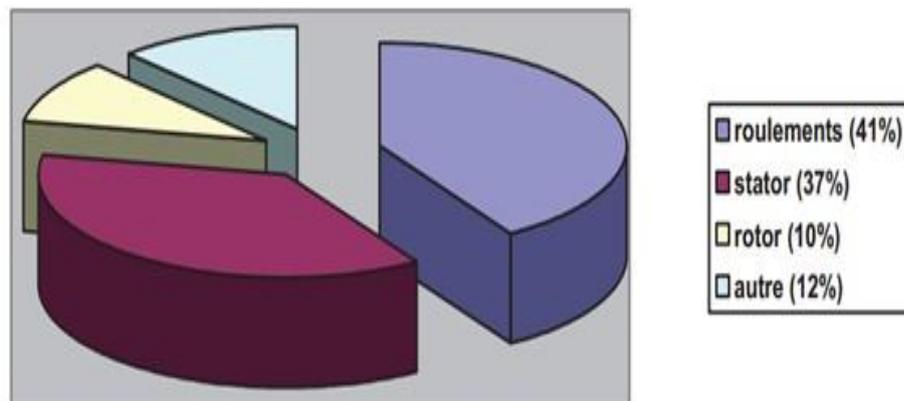


Figure 1.6 : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances

Depuis les années 80 jusqu'à nos jours, de nombreuses études statistiques ont été faites sur les machines, toutes ces statistiques mentionnées dans la figure ci-dessous concernent des moteurs asynchrones de moyenne et forte puissance utilisés dans l'industrie. Dans les années

1990, les études de Thorsen (plus tard référencé par Thomson) sur les moteurs asynchrones de forte puissance (de 100 KW à 1 MW) ont montré que dans cette gamme certaines pannes étaient plus fréquentes que d'autres, les plus courantes étant de type pannes mécaniques (voir les deux chiffres). La plupart d'entre eux sont sur roulements 41% et stators 37%. Le moins courant est 10 % des pannes de rotor, d'autres types constituent 12 %. [4] [7].

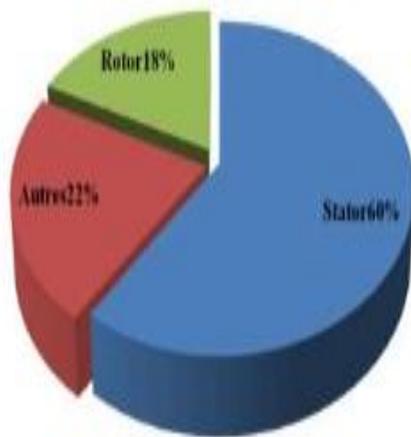


Figure 1.7 : (a) Thomson 1999

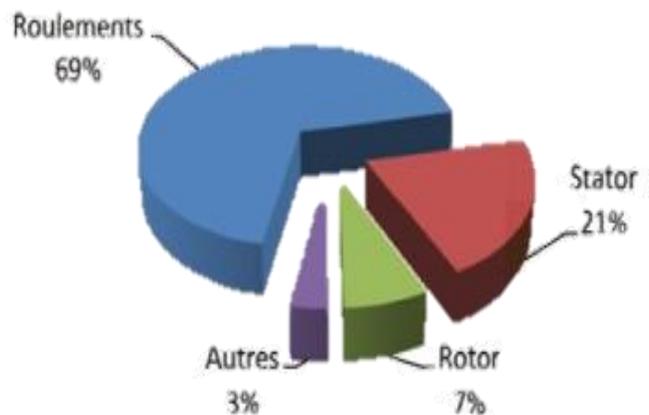


Figure 1.8 : (b) Bonnet 2008

Selon une étude de Bonnett en 2008 sur les moteurs asynchrones de forte puissance couramment utilisés dans l'industrie pétrochimique, 69% des défauts sont localisés sur les roulements, suivis des défauts sur le stator à 21%, et 7% sur le rotor. Les 3 % restants sont utilisés dans d'autres zones de la machine (voir Figure 1.8) [8]

Comme nous l'avons déjà vu dans l'étude (Thomson), la distribution présentée dans (Bonnett) confirme que les défaillances des machines de forte puissance proviennent Principalement des roulements et des enroulements du stator (voir les deux Figures 1.7, 1.8). [8]. D'autre part, ces études ont montré que la répartition en pourcentage de ces défauts a changé sur une période de dix ans, les défauts de roulement passant de 41 % à 69 %, les défauts de stator de 37 % à 21 % et les défauts de roulement augmentant. Du rotor De 10 % à 7 %, on constate que les défauts du stator et du rotor sont moins fréquents. Cela est dû aux améliorations de la technologie de fabrication des moteurs (par exemple : amélioration des isolateurs). La principale source de panne reste le roulement [8].

1.6.2 Défaillances au stator

Pour les stators, les défaillances sont principalement dues à des problèmes thermiques (surcharge), électriques (diélectrique), mécaniques (bobinage) et environnementaux (agression, etc.). Les défauts les plus courants sont localisés au niveau du stator et peuvent être définis comme suit [9] :

1.6.2.1 Défauts d'isolant dans un enroulement

La dégradation de l'isolation des enroulements peut provoquer des court-circuits. En effet, les pertes diverses (joules, fer, mécaniques) génèrent des phénomènes thermiques qui conduisent à une augmentation de la température des différents composants du moteur. Cependant, les matériaux isolants ont des limitations thermiques, électriques et mécaniques. Ainsi, si l'environnement de fonctionnement du matériau isolant dépasse l'une de ces limites, celui-ci se dégradera prématurément ou accélérera jusqu'à la rupture complète. Il existe différentes raisons à de tels échecs [2].

- Dégradation de l'isolant à la fabrication.
- Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- Vibrations mécaniques.
- Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, ou à une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température de gardant prématurément le matériau d'isolation.
- Vieillesse naturelle des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation normale, l'isolant finit naturellement par se dégrader.
- Fonctionnement dans un environnement sévère.

1.6.2.2 Court-circuit entre spires

Le court-circuit entre spires dans la même phase est un défaut relativement courant. Ce défaut est causé par un ou plusieurs défauts d'isolement des enroulements associés. Il provoque une augmentation du courant statorique dans la phase affectée. De légers changements d'amplitude sur d'autres phases modifient le facteur de puissance et amplifient le courant dans le circuit du rotor.

Cela provoque une augmentation de la température de l'enroulement. Par conséquent, une dégradation accélérée de l'isolant peut entraîner des défaillances en cascade (court-circuits secondaires). En revanche, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine est

sensiblement le même, à l'exception d'une augmentation des oscillations proportionnelle à la panne [2]



Figure 1.9 : Court-circuit entre spire

1.6.2.3 Court-circuit entre phases

Ce type de défaut peut survenir en tout point du bobinage. Cependant, l'impact varie selon l'endroit. Cette caractéristique rend difficile l'analyse de l'impact de telles défaillances sur le système. La présence d'un schéma de court-circuit 1.9, à proximité de l'alimentation composée, induit des courants très importants qui peuvent entraîner la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou l'ouverture des dispositifs de protection. Par contre, un court-circuit entre deux phases proches du neutre crée un déséquilibre sans faire fondre les conducteurs. Les courants statoriques sont complètement déséquilibrés. Ce déséquilibre est directement proportionnel à la défaillance qui se produit. Lorsque ce défaut se produit, le courant à la fois dans la tige et dans l'anneau augmente. La détection de tels défauts peut être basée sur le déséquilibre des courants de phase [9].

1.6.2.4 Court-circuit phase-bâti

Les cadres ont généralement un potentiel flottant. Cependant, il est généralement mis à la terre pour des raisons de connexion mécanique. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le châssis est discutable. En plus des effets capacitifs, le châssis est alors soumis au potentiel des enroulements au court-circuit. Par contre, du point de vue de la sécurité

des personnes, cette panne est très dangereuse. Ensuite, un dispositif de protection (disjoncteur différentiel) doit être installé. Dans le cas d'un tel défaut, la tension de la phase concernée ne change pas [9].

Cependant, le courant circulant pendant cette phase augmente à mesure que la résistance et l'inductance diminuent. Cette augmentation du courant entraîne une augmentation de la température, ce qui peut entraîner une défaillance de l'isolation dans les enroulements. De plus, de tels défauts génèrent une composante unipolaire, conduisant à l'apparition de couples pulsatives. La mesure du courant de fuite permet de détecter ce type de défaut [9].

1.6.2.5 Défaux de circuit magnétique

Dans la plupart des cas, ces défaillances entraînent un fonctionnement asymétrique de la machine, ce qui à son tour exacerbe le problème par Surchauffe, surtension, augmentation importante du courant, etc. [3].

1.6.3 Défaux de rotor

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie rotorique au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer des problèmes tels que :

- Thermique (surcharge).
- Electromagnétique (excentricité).
- Résiduel (déformation).
- Dynamique (arbre de transmission).
- Mécanique (roulement).

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit [2] :

1.6.3.1 Ruptures de barres

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

de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croit rapidement avec le nombre de barres cassées [10] [11].



Figure 1.10 : Ruptures de barres

1.6.3.2 Ruptures d'anneaux

La rupture partielle de l'anneau est une défaillance qui se produit aussi fréquemment que la rupture des barres d'armature. Ces ruptures sont dues à des bulles d'écoulement ou à des dilatations différentielles entre la tige et l'anneau. Parce qu'il est difficile de le détecter [3]. Dans la recherche statistique, ce type de défaut est généralement classé comme identique à la rupture de la ligne de colonne, voire confondu.

Ces parties de l'anneau de court-circuit transportent plus de courant que les barres du rotor. Ainsi, un mauvais dimensionnement des bagues, une dégradation des conditions de fonctionnement (température, humidité...) ou des surcharges de couple et de courant peuvent provoquer leur rupture. La rupture de la portion d'anneau déséquilibre la répartition du courant dans les barres rotoriques et produit ainsi un effet de modulation d'amplitude sur le courant statorique similaire à celui provoqué par une rupture de barre.

1.6.3.3 Excentricité statique et dynamique

Il arrive parfois que la machine électrique subisse un désalignement du rotor, ce qui se manifeste par des oscillations de couple. Ce désalignement correspond à un décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor [9].

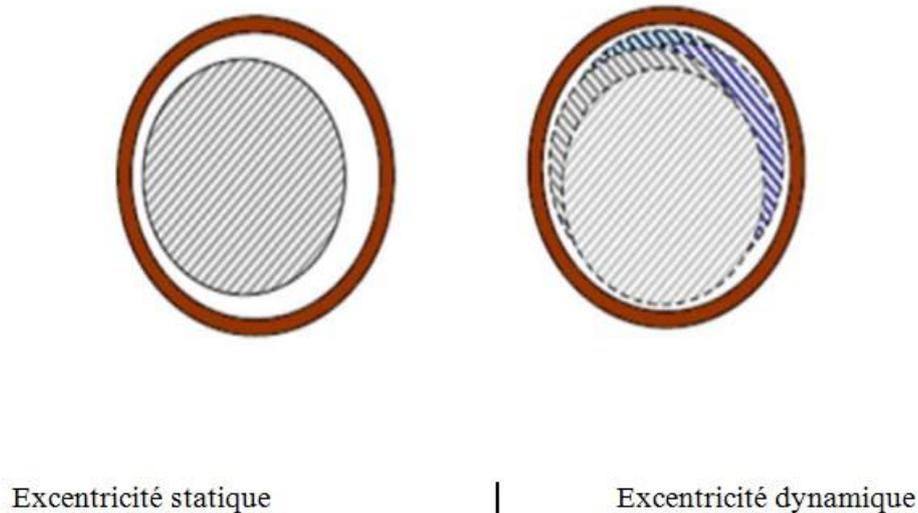


Figure 1.11 : Excentricité statique et dynamique

Plusieurs positions du rotor au cours de la rotation)

Le phénomène en question est connu sous le nom d'excentricité (statique et dynamique), dont l'origine peut être attribuée à divers facteurs tels qu'un mauvais positionnement des paliers lors de l'assemblage, une défaillance du roulement (usure), un problème de charge ou un défaut de fabrication (usinage). En général, on distingue trois types d'excentricité [9].

Excentricité statique : Le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.

Excentricité dynamique : Le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.

L'excentricité mixte : Ces deux cas mentionnés précédemment sont caractérisés par un défaut d'excentricité qui altère à la fois le comportement magnétique et mécanique de la machine. En effet, une augmentation de l'excentricité dans l'entrefer entraîne une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique et l'enroulement correspondant. Cela entraîne une détérioration de leur isolation. D'autre part, cette augmentation peut provoquer des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Cela se traduit par d'importants niveaux de vibrations dans les enroulements [12].

1.6.3.4 Défaillances mécaniques

1.6.3.4.1 Défauts des roulements

Les roulements à billes remplissent un rôle essentiel en tant qu'interface électromécanique entre le stator et le rotor. De plus, ils assurent le maintien de l'axe de la machine, permettant ainsi une rotation fluide du rotor. Les défauts les plus fréquents survenant dans les roulements des moteurs à induction, ainsi que les raisons de leur vieillissement, ont été présentés précédemment. Ce type de défaut est particulièrement courant dans les machines de forte puissance et est généralement associé à l'usure du roulement, plus précisément à la dégradation des billes ou de la surface de roulement. Parmi les causes possibles, on trouve [13].

- L'usure due au vieillissement.
- La température de fonctionnement élevée.
- La perte de lubrification.
- L'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou delà bande de roulement).
- Le défaut de montage.



Figure 1.12: défauts des roulements

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- Des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- L'ondulation de leur surface de roulement.
- L'attaque des billes.

- La corrosion due à l'eau.
- Défaut de graissage, problème dû à la température.
- Décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge.

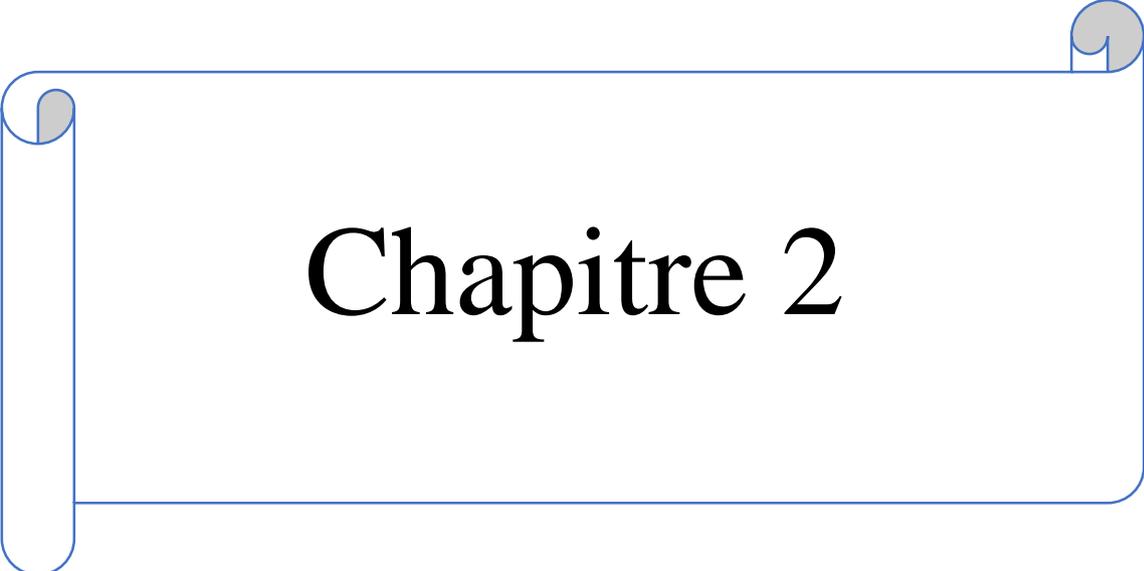
Ce type de défaut se manifeste sur le système par des oscillations du couple de charge, l'apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement, ce qui entraîne des vibrations dues aux déplacements du rotor le long de l'axe longitudinal de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut entraîner le blocage complet du moteur [13].

1.6.3.5 Autres défaillances

Dans le stator, où il n'y a pas de pièces mobiles, on pourrait supposer qu'il n'y a pas de défaillances mécaniques. Cependant, des phénomènes d'oxydation peuvent survenir en raison de l'environnement de la machine, en particulier du taux de salinité qui influence l'étanchéité et les contacts [13].

1.7 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons montré que les principaux éléments de la constitution d'une machine asynchrone triphasée peuvent présenter des défaillances qui peuvent induire un arrêt intempestif de la machine, aussi des études statistiques ont été présentées pour illustrer l'impact de ces défauts dans le domaine industriel.



Chapitre 2

Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone sans et avec défaut

2.1 Introduction

La Modélisation et la simulation de machines asynchrones pour le dimensionnement et le contrôle des prises de courant à fait toujours l'objet de nombreux travaux. Dans le cadre d'évaluer la machine, l'intérêt d'un modèle de simulation est toutefois différent, cela a stimulé le développement de nouveaux modèles, à savoir dédié à la simulation d'erreurs. Dans cette section, nous commencerons par une petite bibliographie pour montrer les méthodes essentielles de modélisation pour le diagnostic des machines asynchrones, ensuite nous abordons le modèle de la machine asynchrone sans et avec défauts dans le stator et le rotor en utilisant la méthode de couplage multi-circuits.

2.2 Principale méthode de modalisation de la machine asynchrone en vue de son diagnostic

Généralement, le problème de diagnostic de défaut compter sur la définition du type d'erreur avec le maximum d'informations sur le temps, le format et le lieu de la défaillance, c'est pourquoi de nombreux modèles mathématiques, pour les machines asynchrones ont été développés au cours de ces dernières années, le nombre de ces méthodes peuvent regrouper trois catégories importantes à savoir.

2.2.1 Théorie des circuits couplés magnétiques

La théorie citée [14] repose sur l'utilisation de la méthode des éléments finis en combinaison avec des modèles espace d'états. Elle se base sur la formulation des équations de Maxwell en prenant en compte la géométrie des machines et les propriétés magnétiques des matériaux.

Cette approche présente l'avantage de modéliser avec une grande précision la saturation magnétique, un aspect souvent négligé dans d'autres modèles. Cependant, il convient de noter que la méthode des éléments finis n'est pas en mesure de simuler les défauts liés au rotor, ce qui limite son utilisation. De plus, elle requiert un temps de simulation considérable et ne garantit pas un diagnostic en temps réel.

2.2.2 Approche des multi circuits couplés magnétiquement

Approche multi-circuits à couplage magnétique [14] basée sur la loi. Kirchhoff, si dans cette méthode la saturation est ignorée, alors. Peut être observé les erreurs au stator et au rotor dues au modèle détaillé de la machine sont exprimées en m circuit de stator et N_r barre de rotor.

2.2.3 Modèle triphasé-triphasé

Ce modèle [14] représente une machine triphasée au stator et au rotor, il permet de détecter certains types de défauts principalement liés au stator comme : le circuit ouvert, court-circuit phase-phase, phase-neutre. Mais avec ce modèle, il est impossible d'accéder aux problèmes liés aux barres de rotor ou aux anneaux de court-circuit.

2.3 Machine asynchrone avec défauts au rotor

2.3.1 Hypothèses simplificatrices

Pour faciliter l'étude, nous acceptons les hypothèses suivantes :

- La saturation du circuit magnétique, l'hystérésis et les courants de Foucault peuvent être négligence.
- La résistance de la bobine ne change pas avec le changement de température.
- La force magnétique dynamique produite par chaque phase du stator et du rotor est distribution sinusoïdale

2.3.2 Modélisation de la machine asynchrone saine par l'approche des multi circuits couplés

L'équation d'une machine asynchrone à cage d'écureuil utilisant un modèle triphasé. Le courant instantané réel circulant dans le jeu de barres ne peut pas être déterminé rotor et ne peut donc pas détecter un défaut du rotor. C'est pourquoi le modèle de circuit combinaison est développée. Nous présenterons dans la section suivante, un modèle de rotor composé de plusieurs phases ceci permet aux courants circulant dans les mailles du rotor d'être courant de phase rotorique.

2.3.2.1 Equations au stator

Au stator, l'équation électrique est :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d[\Phi_s]}{dt} \quad (2.1)$$

Avec :

$$[V_s] = [v_a \ v_b \ v_c]^T, [I_s] = [i_a \ i_b \ i_c]^T \quad (2.2)$$

La matrice des résistances R_s contient les résistances de chaque enroulement :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Le flux total statorique est représenté par :

$$[\Phi_s] = [\Phi_{ss}] + [\Phi_{sr}] \quad (2.4)$$

Avec :

Φ_{ss} : Le flux statorique du au courant statorique.

Φ_{sr} : Le flux statorique du au courant rotorique.

Pour une distribution sinusoïdale des enroulements, le flux est exprimé par :

$$[\Phi_{ss}] = \begin{bmatrix} \Phi_{ass} \\ \Phi_{bss} \\ \Phi_{css} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & -L_{ms}/2 & -L_{ms}/2 \\ -L_{ms}/2 & L_{ls} + L_{ms} & -L_{ms}/2 \\ -L_{ms}/2 & -L_{ms}/2 & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Avec :

L_{ls}, L_{ms} : Sont respectivement l'inductance de fuite et de magnétisation des enroulements statoriques.

L'inductance de magnétisation pour un enroulement ayant N_s spires par phase est donnée par :

$$L_{ms} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot N_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (2.6)$$

Chaque grille du rotor est constituée de deux tiges adjacentes et d'un anneau les reliant et est en combinant la magnétisation avec toutes les autres mailles du rotor et avec trois phases du stator. Le flux statorique causé par le courant rotorique est donné par :

$$[\Phi_{sr}] = \begin{bmatrix} \Phi_{asr} \\ \Phi_{bsr} \\ \Phi_{csr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{a1} & L_{a2} & \cdots & \cdots & L_{aN_r} \\ L_{b1} & L_{b2} & \cdots & \cdots & L_{bN_r} \\ L_{c1} & L_{c2} & \cdots & \cdots & L_{cN_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ i_{rN_r} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

La mutuelle inductance entre deux bobines quelconques i, j de la machine est calculée en supposant que la permittivité du fer est infinie.

$$L_{ij}(\theta) = \mu_0 \cdot l \cdot r \int_0^{2\pi} g^{-1}(\varphi, \theta) \cdot N_i(\varphi, \theta) \cdot N_j(\varphi, \theta) \cdot d\varphi \quad (2.8)$$

Avec :

θ : La position du rotor par rapport au stator.

φ : La position angulaire le long de la surface intérieure du stator.

$g^{-1}(\varphi, \theta)$: La fonction inverse de l'entrefer, dans le cas où l'entrefer est constant et petit par rapport au rayon du stator, la fonction est constante et égale à $(1/g)$.

$N_i(\varphi, \theta)$: La fonction de l'enroulement i , elle représente la distribution spatiale de la force magnétomotrice le long de l'entrefer pour un courant unitaire circulant dans l'enroulement i

Démonstration

On peut déterminer la force magnétomotrice de l'entrefer produite par la circulation d'un courant i_a le long de l'enroulement a par :

$$F_a = N_a(\theta) \cdot i_a \quad (2.8)$$

Le flux dans l'entrefer est lié à la force magnétomotrice par la relation :

$$\phi = F_a \cdot \lambda$$

Avec :

λ, F_a : Sont respectivement la permittivité et la force magnétomotrice de l'entrefer.

La différentielle du flux à travers l'entrefer du rotor au stator à travers la section $(r \cdot d\theta \cdot l)$ est :

$$d\phi = \frac{F_a(\theta) \cdot \mu_0 \cdot l \cdot r \cdot d\theta}{g} \quad (2.9)$$

La différentielle du flux de fuite de la bobine (B) est :

$$d\phi_{ba} = \frac{N_a(\theta) \cdot N_b(\theta) \cdot i_a \cdot \mu_0 \cdot l \cdot r \cdot d\theta}{g} \quad (2.10)$$

D'où l'expression du flux de fuite total est :

$$\phi_{ba} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r \cdot i_a}{g} \int_{\theta_{b1}}^{\theta_{b2}} N_a(\theta) \cdot N_b(\theta) \cdot d\theta \quad (2.11)$$

De cette expression, on détermine l'inductance entre les deux bobines A et B par :

$$L_{ba} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_{\theta_{b1}}^{\theta_{b2}} N_a(\theta) \cdot N_b(\theta) \cdot d\theta \quad (2.12)$$

Remarque :

Les inductances mutuelles sont calculées en posant (i=j).

Les fonctions d'enroulement statoriques sont :

$$L_{ba} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_{\theta_{b1}}^{\theta_{b2}} N_a(\theta) \cdot N_b(\theta) \cdot d\theta \quad (2.13)$$

$$N_a = \frac{N_s}{2} \cos \theta$$

$$N_b = \frac{N_s}{2} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (2.14)$$

$$N_c = \frac{N_s}{2} \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right)$$

La fonction définissant la $i^{ème}$ maille rotorique est :

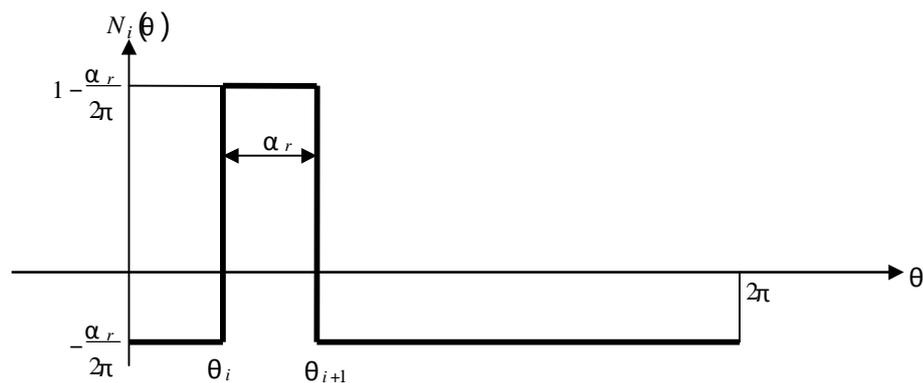


Figure 2.1 : La fonction définissant la ($i^{ème}$) maille rotorique

$$N_i(\theta) = \begin{cases} -\frac{\alpha_r}{2\pi} & 0 < \theta \leq \theta_i \\ 1 - \frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_i < \theta \leq \theta_{i+1} \\ -\frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_{i+1} < \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.14)$$

Avec :

α_r : L'angle entre deux barres rotoriques adjacentes.

θ_i : L'angle correspondant à la $i^{\text{ème}}$ maille rotorique.

L'inductance mutuelle entre la phase a et la $i^{\text{ème}}$ maille rotorique est la suivante :

$$L_{ai} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_a(\theta) \cdot N_b(\theta) \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \frac{N_s}{2} [\sin \alpha \cdot \cos \theta_i - (1 - \cos \alpha_r) \sin \theta_i] \quad (2.15)$$

Puisque chaque maille rotorique est placée symétriquement le long de la périphérie du rotor, θ_i peut être exprimée en termes de l'angle arbitraire rotorique θ_r et l'angle α_r comme suit :

$$\theta_i = \theta_r + (i - 1) \cdot \alpha_r \quad (2.16)$$

En utilisant les transformations trigonométriques, l'inductance mutuelle peut être écrite comme suit :

$$[L_{sr}] = L_m \begin{bmatrix} \cos(\theta_r + \delta) & \cos(\theta_r + \alpha_r + \delta) & \cdots & \cos(\theta_r + (N_r - 1)\alpha_r + \delta) \\ \cos\left(\theta_r + \delta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \alpha_r + \delta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cdots & \cos\left(\theta_r + (N_r - 1)\alpha_r + \delta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r + \delta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \alpha_r + \delta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cdots & \cos\left(\theta_r + (N_r - 1)\alpha_r + \delta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}$$

Avec :

$$L_m = \frac{4 \cdot L_{ms}}{\pi \cdot N_s} \sin \delta, \alpha_r = \frac{2 \cdot \pi}{N_r}, \delta = \frac{N_r}{2} \quad (2.18)$$

2.3.2.2 Equations au rotor

Le rotor à cage d'écureuil d'une machine asynchrone est simulé par un circuit électrique L'équivalent contient (N_r) mailles. Chaque grille est définie par deux barres de rotor adjacentes reliées entre elles par un anneau court-circuit, remplacer chaque piquet et chaque spire par un circuit équivalent représenté par une résistance et une inductance. A partir de ces circuits équivalents, on peut déduire l'équation électrique rotorique suivante :

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[\Phi_r]}{dt} \quad (2.19)$$

Avec

$$V_r = \begin{bmatrix} V_{r1} \\ V_{r2} \\ \vdots \\ \vdots \\ V_{rNr} \end{bmatrix}, [I_r] = \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ \vdots \\ i_{rNr} \end{bmatrix}, [\Phi_r] = \begin{bmatrix} \phi_{r1} \\ \phi_{r2} \\ \vdots \\ \vdots \\ \phi_{rNr} \end{bmatrix}$$

Puisque les circuits rotoriques de la machine asynchrone sont court-circuités, $v_{rk} = 0$ pour ($k = 1, 2, \dots, N_r$), on aura donc :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & -R_b & 0 & \cdot & -R_b \\ -R_b & R_0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -R_b & \cdot & \cdot & -R_b & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ \vdots \\ i_{rNr} \end{bmatrix} + \frac{d}{d(t)} \begin{bmatrix} \phi_{r1} \\ \phi_{r2} \\ \vdots \\ \vdots \\ \phi_{rNr} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Le flux total rotorique est défini par :

$$[\Phi_r] = [\Phi_{rr}] + [\Phi_{rs}] \quad (2.21)$$

Avec :

Φ_{rr} : Le flux rotorique dû aux courants rotoriques.

Φ_{rs} : Le flux rotorique dû aux courants statoriques.

Le flux Φ_{rs} est donné par l'équation suivante :

$$[\Phi_{rs}] = [L_{sr}]^T \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$[\Phi_{rr}] = \begin{bmatrix} L_0 & L_{12} - L_b & L_{13} & \cdot & L_{1(Nr-1)} & L_{1Nr} - L_b \\ L_0 & L_0 & L_{23} - L_b & \cdot & \cdot & L_{2Nr} \\ L_{32} - L_b & L_{32} - L_b & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & L_{Nr(Nr-1)} - L_b \\ L_{Nr1} - L_b & \cdot & \cdot & \cdot & L_{Nr(Nr-1)} - L_b & L_0 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Avec :

$$R_0 = 2(R_b + R_e)$$

$$L_0 = L_{kk} + 2(L_b + L_e)$$

$$L_{kk} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_i^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \alpha_r \left(1 - \frac{\alpha_r}{2\pi}\right)$$

$$L_{ki} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_k(\theta) \cdot N_i(\theta) \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \left(-\frac{\alpha_r^2}{2\pi}\right)$$

$$L_{kk} = L_{ki} + \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \alpha_r$$

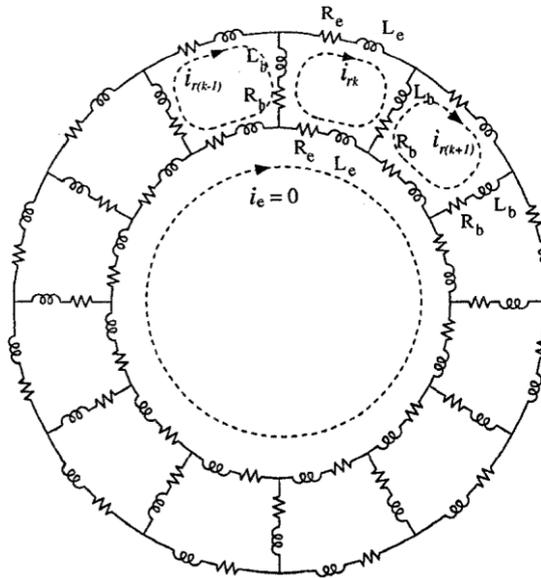


Figure 2.2 : Circuit équivalent d'un rotor à cage sain

Les courants dans les barres sont exprimés en fonction des courants rotoriques par la relation (2.24) suivante déduite par l'application des lois de Kirchhoff :

$$i_{bk} = i_{rk} - i_{r(k+1)} \quad (2.24)$$

De la même façon, les courants circulant dans les sections d'anneau sont donnés par :

$$i_{ek} = i_{rk} - i_{e=rk} \text{ puisque } i_e = 0 \quad (2.25)$$

2.3.2.3 Le couple électromagnétique

L'expression du couple électromagnétique peut être donnée par la co-énergie magnétique W_{co} par :

$$C_{em} = \left[\frac{\partial W_{co}}{\partial \theta} \right] \quad (2.26)$$

avec : I_s, I_r constants.

Sachant que les éléments des deux matrices d'inductances $[L_{SS}]$ et $[L_{Sr}]$ sont constants et que le couple électromagnétique est une quantité scalaire.

L'expression finale du couple sera réduite à :

$$C_{em} = \frac{p}{2} [I_s]^T \frac{\partial [L_{Sr}]}{\partial \theta_r} [I_r] \quad (2.27)$$

2.3.2.4 L'équation mécanique

Le point essentiel de la modélisation des moteurs asynchrones est d'établir l'équation son mécanisme de description de mouvement. Cette équation est :

$$J \frac{d\Omega_m}{dt} + f\Omega_m = C_{em} - C_r \quad (2.28)$$

2.3.3 Modèle de la machine dans le repère de Park

Pour pouvoir fixer le modèle de la machine asynchrone dans le repère (d-q), il faut d'abord définir la transformation Park

2.3.3.1 Transformation de Park

La transformation de Park correspond à une modification de la base pour pouvoir la diagonaliser les inductances matricielles, ce changement permet de remplacer l'enroulement à n phases par une bobine biphasée

$$\begin{cases} [G_{dq}] = [P(\theta)][G_{1,\dots,n}] \\ [G_{1,\dots,n}] = [P(\theta)]^T [G_{dq}] \end{cases} \quad (2.29)$$

Avec :

$[G]$: Un vecteur désignant une grandeur quelconque.

$[P(\theta)]$: La matrice de transformation de Park.

La matrice $[P(\theta_s)]$ est donnée selon le nombre des phases du modèle initial. Pour le stator, nous avons une transformation de type : triphasé, biphasé, la matrice de transformation $[P(\theta_s)]$ est donnée par :

$$[P(\theta_s)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta_s & \cos\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_s + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta_s & -\sin\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_s + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Pour le rotor, nous avons un système de N_r phases correspondant au nombre de mailles rotoriques, la matrice de transformation généralisée s'écrit comme suit :

$$[P(\theta_r)] = \sqrt{\frac{2}{N_r}} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \cos(\theta_r - \alpha_r) & \dots & \cos(\theta_r - (N_r - 1)\alpha_r) \\ -\sin \theta_r & -\sin(\theta_r - \alpha_r) & \dots & -\sin(\theta_r - (N_r - 1)\alpha_r) \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

En appliquant cette transformation sur le modèle réel de la machine asynchrone, on obtient le nouveau modèle suivant :

2.3.3.2 Equation électrique

En multipliant les deux équations (2.1), (2.19) par respectivement les deux matrices $[P(\theta_s)]$ et $[P(\theta_r)]$, on obtient les deux équations électriques suivantes :

$$\begin{cases} [V_{dq}]_s = [R_s][I_{dq}]_s + \frac{d[\Phi_{dq}]_s}{dt} + \omega_s [J_2][\Phi_{dq}]_s \\ [V_{dq}]_r = [R_r][I_{dq}]_r + \frac{d[\Phi_{dq}]_r}{dt} + (\omega_s - \omega) [J_2][\Phi_{dq}]_r \end{cases} \quad (2.32)$$

Les vecteurs statoriques dans la base de Park correspondant respectivement à la tension, au courant et au flux

Avec :

$$[J_2] = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3.3.3 Equation magnétique

Les équations magnétiques de la machine asynchrone dans le repère de phase s'écrivent comme Suit :

$$\begin{cases} [\Phi_s] = [L_s][I_s] + [L_{sr}][I_r] \\ [\Phi_r] = [L_s][I_s] + [L_{sr}][I_s] \end{cases} \quad (2.33)$$

En multipliant la première et la deuxième équation de cet ensemble respectivement par $[P(\theta_s)]$ et $[P(\theta_r)]$, on obtient l'ensemble suivant dans le repère (d-q) :

$$\begin{cases} \phi_{ds} = \ell_s i_{ds} + m i_{dr} \\ \phi_{qs} = \ell_s i_{qs} + m i_{qr} \\ \phi_{dr} = \ell_r i_{dr} + m i_{ds} \\ \phi_{qr} = \ell_s i_{qr} + m i_{qs} \end{cases} \quad (2.34)$$

ℓ_s : Inductance cyclique statorique = $L_s - L_{ms}$

ℓ_r : Inductance cyclique rotorique.

m : Mutuelle cyclique stator rotor.

2.3.3.4 Différentes expressions du couple électromagnétique

$$C_{em} = p(\phi_{ds} i_{qs} - \phi_{qs} i_{ds}) \quad (2.35)$$

$$C_{em} = p(\phi_{qr} i_{dr} - \phi_{dr} i_{qr}) \quad (2.36)$$

$$C_{em} = p \frac{m}{\ell_s} (\phi_{qs} i_{dr} - \phi_{ds} i_{qr}) \quad (2.37)$$

$$C_{em} = m(i_{qs}i_{dr} - d_{ds}i_{qr}) \quad (2.38)$$

$$C_{em} = p \frac{m}{\ell_r} (\phi_{dr}i_{qs} - \phi_{qr}i_{ds}) \quad (2.39)$$

$$C_{em} = p \frac{1 - \sigma}{\sigma - m} (\phi_{dr}\phi_{qs} - \phi_{qr}\phi_{ds}) \quad (2.40)$$

On obtient le système d'équations non linéaires régissant le mouvement de la machine sous la forme matricielle différentielle suivante :

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -\omega_s \ell_s & 0 & -\omega_s m \\ \omega_s \ell_s & R_s & \omega_s m & 0 \\ 0 & -\omega_r m & R_r & -\omega_r \ell_r \\ \omega_r m & 0 & \omega_r \ell_r & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell_s & 0 & m & 0 \\ 0 & \ell_s & 0 & m \\ m & 0 & \ell_s & 0 \\ 0 & m & 0 & \ell_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

$$J \frac{d\Omega_m}{dt} = C_{em} - C_r - f\Omega_m$$

2.3.4 Modélisation de la machine avec défauts au rotor

Dans cette section, nous nous concentrerons sur les défauts qui se produisent sur les barres de rotor (cassés) et lors de la rupture de parties du court-circuit.

2.3.4.1 Machine avec une seule barre cassée

Casser une tige au niveau du rotor crée un changement dans les équations et surtout dans calculer l'inductance propres et mutuelles et la résistance. Si c'est la tige cassée par les courants i_{rj} et i_{rj+1} , on a ($i_{rj} = i_{rj+1}$), ce qui signifie Supposons que le courant i_{rj} traverse une grille deux fois plus large et que la grille ($j + 1$) soit rejetée comme le montre la Figure 2.3 ci-dessous

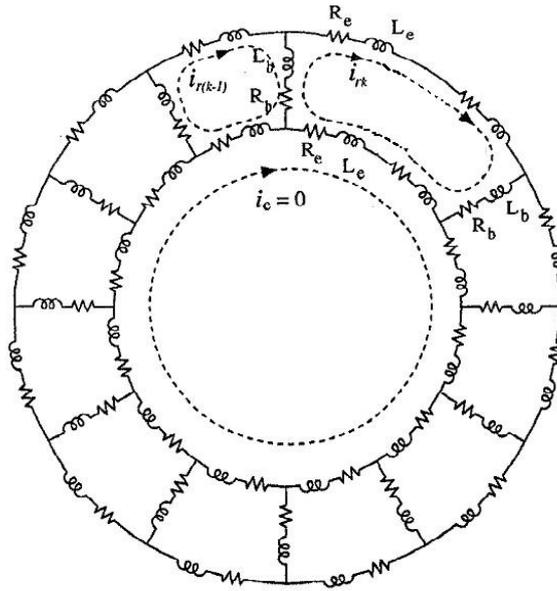


Figure 2.3 : Circuit équivalent d'un rotor avec une seule barre cassée

Dans la matrice d'inductance, on élimine donc la ligne et la colonne $(j + 1)$, et les termes relatifs à la colonne j sont calculés en utilisant l'équation (2.6) et en tenant compte de la nouvelle fonction de l'enroulement correspondante à la $j^{\text{ème}}$ maille du rotor.

$$N_j(\theta) = \begin{cases} -\frac{\alpha_r}{2\pi} & 0 < \theta \leq \theta_j \\ 1 - \frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_i < \theta \leq \theta_{j+2} \\ -\frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_{j+2} < \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.42)$$

La nouvelle inductance propre correspondante à la maille j s'écrit sous la forme :

$$L_{0j} = L_{jj} + 2(L_b + 2 \cdot L_e) \quad (2.43)$$

Avec :

$$L_{jj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_i^2(\theta) \cdot d\theta = 2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \alpha_r \left(1 - \frac{3 \cdot \alpha_r}{4 \cdot \pi} \right) \quad (2.44)$$

La mutuelle inductance rotor- rotor L_{rirj} est dans ce cas :

$$L_{rirj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_i(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = -2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \left(\frac{\alpha_r^2}{2\pi} \right) \quad (2.45)$$

Alors la matrice inductance rotorique devient :

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_0 & L_{12} - L_b & \cdot & L_{1j} & L_{1(j+2)} & \cdot & L_{1Nr} L_B \\ L_{12} L_B & L_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & L_{2Nr} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ L_{j1} & L_{j2} & \cdot & L_{0j} & L_{j(j+2)} L_B & \cdot & \cdot \\ L_{(j+2)1} & \cdot & \cdot & L_{(j+2)j} L_b & L_0 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ L_{(Nr-1)1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ L_{Nr1} L_B & L_{Nr2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & L_0 \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

La mutuelle inductance L_{aj} entre l'enroulement statorique (a) et la maille j s'obtient à partir de :

$$L_{aj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_a(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = L_m \cdot \cos(\theta_r + 2 \cdot (j - 1) \cdot \alpha_r + \delta) \quad (2.47)$$

La matrice des résistances rotoriques est aussi affectée par la cassure d'une barre, elle est obtenue à partir de cette nouvelle représentation :

$$\begin{bmatrix} R_0 & -R_b & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & -R_b \\ -R_b & R_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & R_{0j} & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & R_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -R_b & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & -R_b & R_0 \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Avec :

$$R_{0j} = 2 \cdot (R_b + 2R_e) \quad (2.49)$$

2.3.4.2 Machine avec deux barres cassées adjacentes

En cas de défaillance de deux tiges adjacentes, le nombre de mailles du rotor est réduit deux, si la première ligne est traversée par des courants i_{rj}, i_{rj+1} et la deuxième ligne est

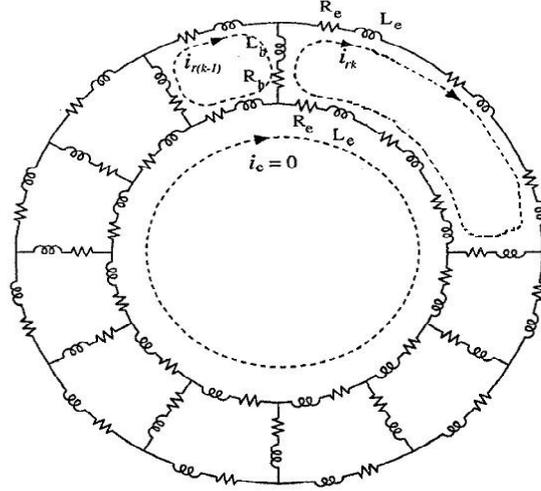


Figure 2.4 : Circuit équivalent d'un rotor à cage avec deux barres cassées

traversée par i_{rj+1}, i_{rj+2} , en cas de coupure, ces trois courants sont nécessairement égaux ($i_{rj} = i_{rj+1} = i_{rj+2}$), ce qui signifie que le courant i_{rj} traverse une grille trois fois plus large que mentionné dans l'illustration ci-dessous 2.4

La fonction de l'enroulement j dans ce cas est :

$$N_j(\theta) = \begin{cases} -\frac{\alpha_r}{2\pi} & 0 < \theta \leq \theta_j \\ 1 - \frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_j < \theta \leq \theta_{j+3} \\ -\frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_{j+3} < \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.50)$$

Le même type de relations appliqué dans le cas d'une seule barre cassée est employé pour le calcul des nouvelles matrices d'inductance et de résistance dans ce cas :

$$L_{0j} = L_{jj} + 2(L_b + 3.L_e) \quad (2.51)$$

Avec :

$$L_{jj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_j^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \alpha_r \cdot \left(3 - \frac{5 \cdot \alpha_r}{2 \cdot \pi}\right) \quad (2.52)$$

La mutuelle inductance stator-rotor est :

$$L_{rirj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_i(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = -3 \cdot \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \left(\frac{\alpha_r^2}{2\pi} \right) \quad (2.53)$$

La mutuelle inductance stator-rotor est :

$$L_{ai} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_a(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = L_m \cdot \cos(\theta_r + 3 \cdot (j - 1) \cdot \alpha_r + \delta) \quad (2.54)$$

La nouvelle résistance rotorique pour la maille j s'écrit dans ce cas :

$$R_{0j} = 2 \cdot (R_b + 3 \cdot R_e) \quad (2.55)$$

2.3.5 Généralisation pour une machine avec (K) barres cassées

La même raison que dans le cas d'une barre et de deux barres cassées est vérifiée dans le cas où il y aurait beaucoup de barres adjacentes brisées.

Par itération mathématique, on définit un modèle général pour k barres détruites.

Le nombre d'équations du rotor sera réduit du nombre de barres et de mailles cassées par rapport au défaut à éliminer, la grille j sera $(k+1)$ fois plus large.

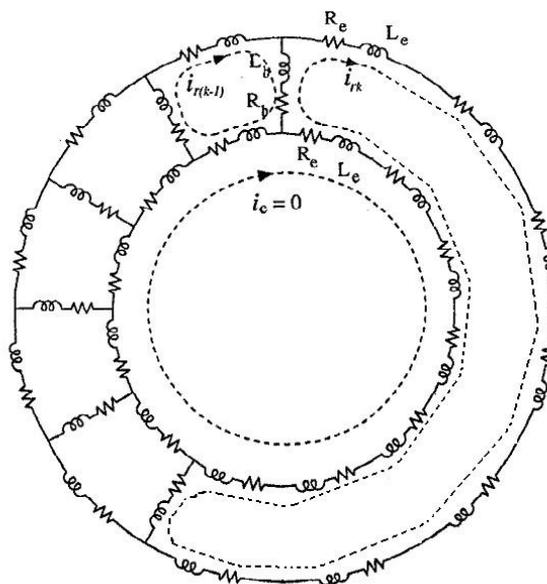


Figure 2.5 : Circuit équivalent d'un rotor à cage avec k barres cassées adjacentes

$$N_j(\theta) = \begin{cases} -\frac{\alpha_r}{2\pi} & 0 < \theta \leq \theta_j \\ 1 - \frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_j < \theta \leq \theta_{j+(k+1)} \\ -\frac{\alpha_r}{2\pi} & \theta_{j+(k+1)} < \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.56)$$

$$L_{0j} = L_{jj} + 2(L_b + (k+1).L_e) \quad (2.57)$$

Avec :

$$L_{jj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_j^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \alpha_r \cdot \left((k+1) \frac{(2k+1) \cdot \alpha_r}{2 \cdot \pi} \right) \quad (2.58)$$

L_{rirj} sera défini par :

$$L_{rirj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_i(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = -(k+1) \cdot \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \cdot \left(\frac{\alpha_r^2}{2\pi} \right) \quad (2.59)$$

La mutuelle inductance stator rotor est déterminée par l'expression suivante :

$$L_{aj} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot r}{g} \int_0^{2\pi} N_a(\theta) \cdot N_j(\theta) \cdot d\theta = L_m \cdot \cos(\theta_r + (k+1) \cdot (j-1) \cdot \alpha_r + \delta) \quad (2.60)$$

La matrice des résistances du rotor devient :

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_0 & -R_b & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & -R_b \\ -R_b & R_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & 2 \cdot (R_0 + (k+1) \cdot R_e) & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & R_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -R_b & -R_b & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -R_b & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & -R_b & R_0 \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

2.3.5.1 Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit

La rupture d'une partie de boucle de court-circuit associée à la grille j montre que le type l'équation réduite par une seule équation. Ensuite, annulez simplement la $j^{\text{ème}}$ ligne avec la $j^{\text{ème}}$ colonne de la matrice d'inductance du rotor, la même procédure pour la matrice de résistance rotorique. Cependant, les autres éléments de ces matrices restent les mêmes.

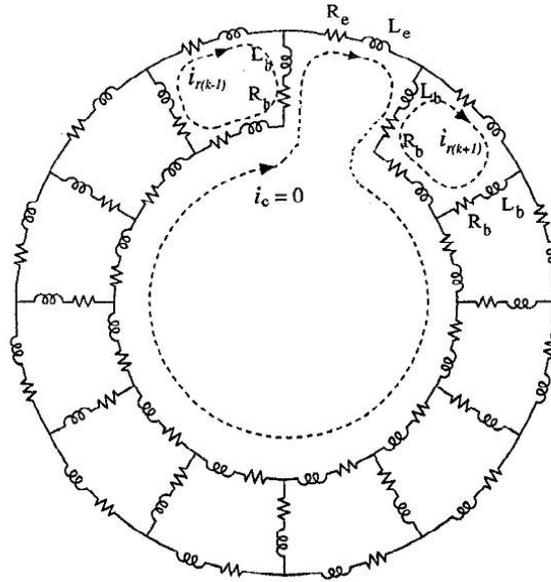


Figure 2.6 : Circuit équivalent d'un rotor avec une portion d'anneau de court-circuit

Les matrices des inductances et des résistances sont représentées comme suit :

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_0 & L_{12} - L_b & \dots & L_{1(j-1)} & 0 & L_{1(j+1)} & \dots & L_{1Nr} - L_b \\ L_{21} - L_0 & L_0 & \dots & \cdot & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ L_{(j-1)1} & \cdot & \dots & L_0 & 0 & L_{(j-1)(j+1)} & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ L_{(j+1)1} & \cdot & \dots & L_{(j+1)(j-1)} & 0 & L_0 & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ L_{Nr1} - L_b & \cdot & \dots & L_{Nr(j-1)} & 0 & \cdot & \dots & L_0 \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_0 & -R_b & 0 & . & . & 0 & 0 & . & . & . & 0 & -R_b \\ -R_b & R_0 & -R_b & . & . & . & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & -R_b & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & -R_b & R_0 & 0 & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & 0 & R_0 & -R_b & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & -R_b & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & -R_b \\ -R_b & 0 & . & . & . & 0 & 0 & . & 0 & . & -R_b & R_0 \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Dans le cas général, si il y a un grand nombre de portions d'anneaux cassées (k), le modèle d'équations sera diminué de k équations, avec l'annulation des mailles liées à ces portions.

2.4 Machine asynchrone avec défaut au stator

L'erreur étudiée dans cette section est un problème "monophasé", qui est modélisé en supprimant la tension correspondant à la phase ouverte, c'est-à-dire la phase a, de sorte qu'Alimentation électrique du système vers la machine

$$\begin{cases} v_{ab} = 220/0 \\ v_{bc} = 440/180 \\ v_{ca} = 220/0 \end{cases} \quad (2.64)$$

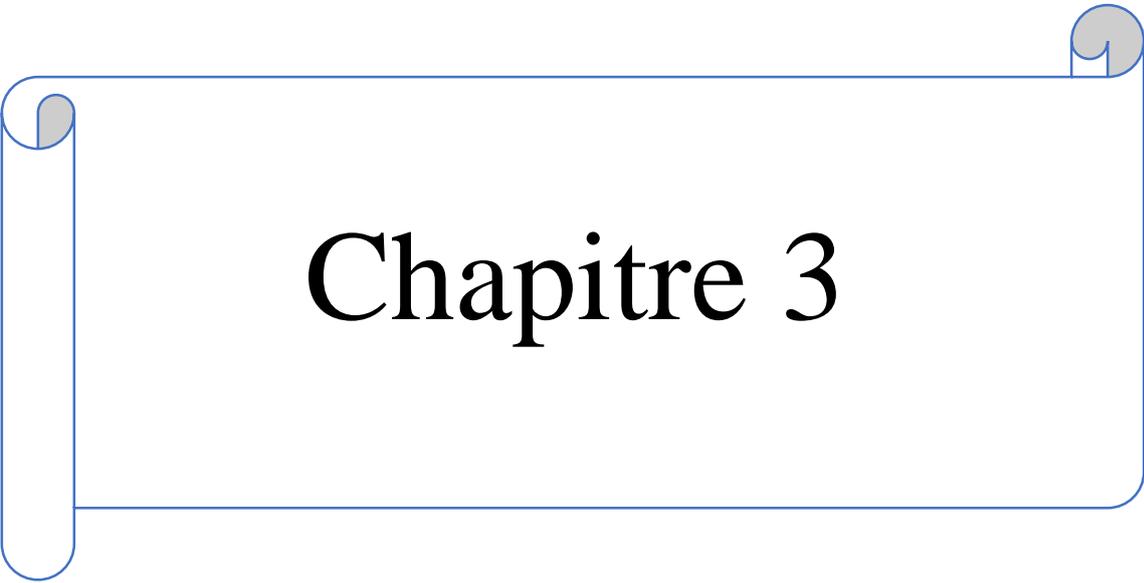
Ce système déséquilibré ne peut jamais faire tourner l'axe de la machine, mais une fois alimentée, la machine continue de tourner lorsque l'une de ses trois phases statoriques est déconnectée réseau. Ce déséquilibre de la tension d'alimentation pose des problèmes importants pour la machine, citons-en deux principales : Vibration de l'arbre de la machine due à l'ondulation du couple solénoïde et vitesse de rotation. Un courant considérable circule dans les barres du rotor, ce qui peut altérer l'isolation bruit et contribue à provoquer une surchauffe dangereuse de la machine

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle détaillé de la machine asynchrone à cage d'écureuil, elle est basée sur la loi de Kirchhoff et contient un grand nombre d'équations correspond au nombre de phases dans le stator et au nombre de barres dans le rotor.

Ce modèle a été spécialement modifié au niveau des équations du rotor pour représenter Mathématiquement, divers défauts d'hélice ont été étudiés, on commence par représente l'échec d'une seule barre et de deux barres pour arriver à une généralisation de (k) barres brisées adjacentes ainsi que de l'échantillon correspondant à une rupture d'une boucle de court-circuit. Dans cette section également, nous avons donné la transformée de Park générale pour la phase (N_r) .

Aller au rotor pour trouver un modèle simplifié de la machine dans un cadre biphasé (d-q) prêt applications de la théorie des perturbations singulières, sujet de notre prochain chapitre. Enfin, une défaillance du stator est introduite en raison de l'annulation de la tension correspondant à la phase ouvrir la machine à la perfection et fournir un moteur mathématique complet et exploitable et nécessaires à la poursuite de nos travaux.



Chapitre 3

Chapitre 3 : Résultats de simulation de la machine asynchrone

3.1 Introduction

La surveillance et le diagnostic des défauts de fonctionnement de tout système sont devenus incontournables en raison des contraintes croissantes imposées par les exploitants.

Ces défauts sont essentiellement dus aux échauffements excessifs, à une fatigue causée par les forces électromagnétiques et les contraintes de l'environnement par exemple la poussière que doit subir la machine asynchrone pendant son usage.

Les procédés de détection de ces défauts a fait une révolution dans les milieux industriels pour prévoir et apercevoir les moindres signes de défaillances, ce qui renvoie des inters économiques congédiables.

3.2 Simulation du modèle de la machine asynchrone

Une fois le modèle de la machine asynchrone à cage établie, nous pouvons aborder l'aspect lié à la simulation de celle-ci en utilisant MATLAB 6.5 SIMILINK. Cela permet de mettre en évidence le comportement du moteur asynchrone dans le cas où le rotor à l'état sain et dans le cas où le rotor à l'état défaillant.

3.3 Résultat de simulation

3.3.1 Cas d'une machine saine

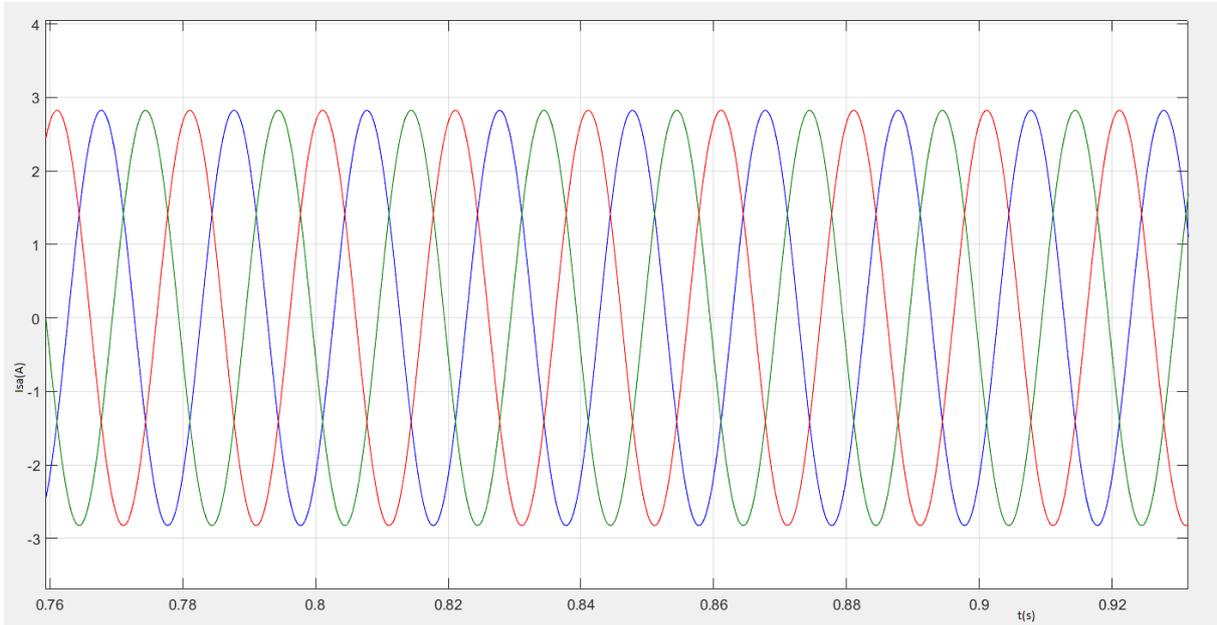


Figure 3.1 : les courants statoriques aux régime permanant.

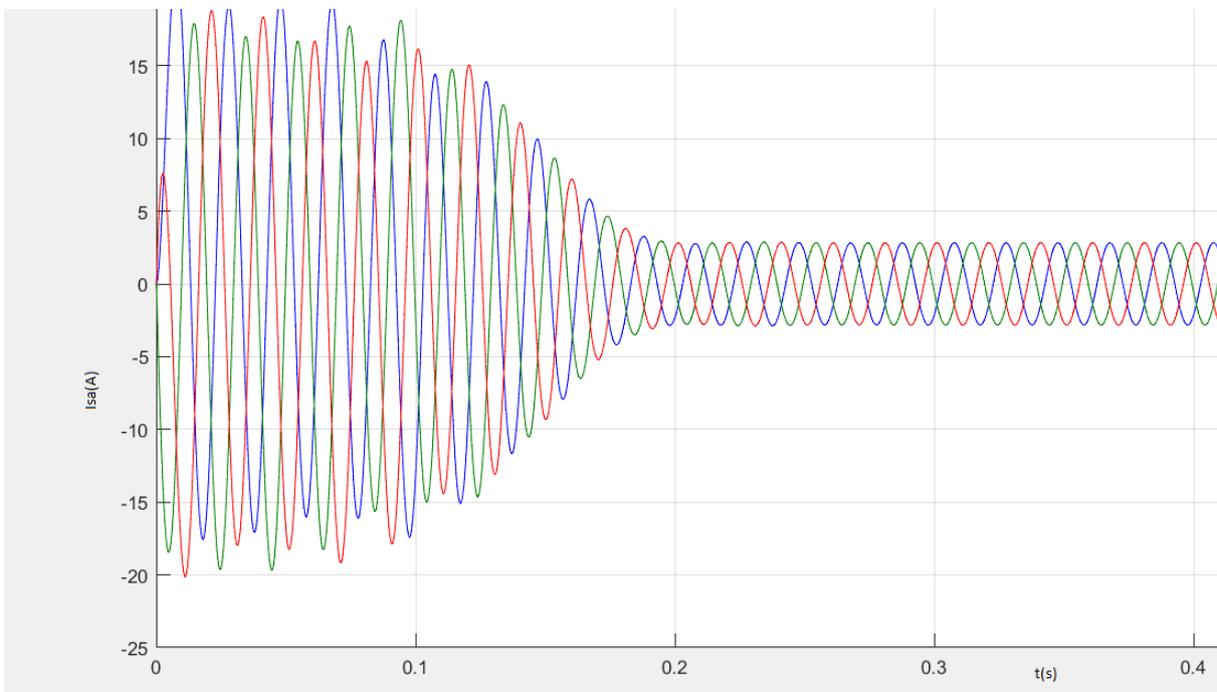


Figure 3.2: les courants statoriques aux régime transitoire.

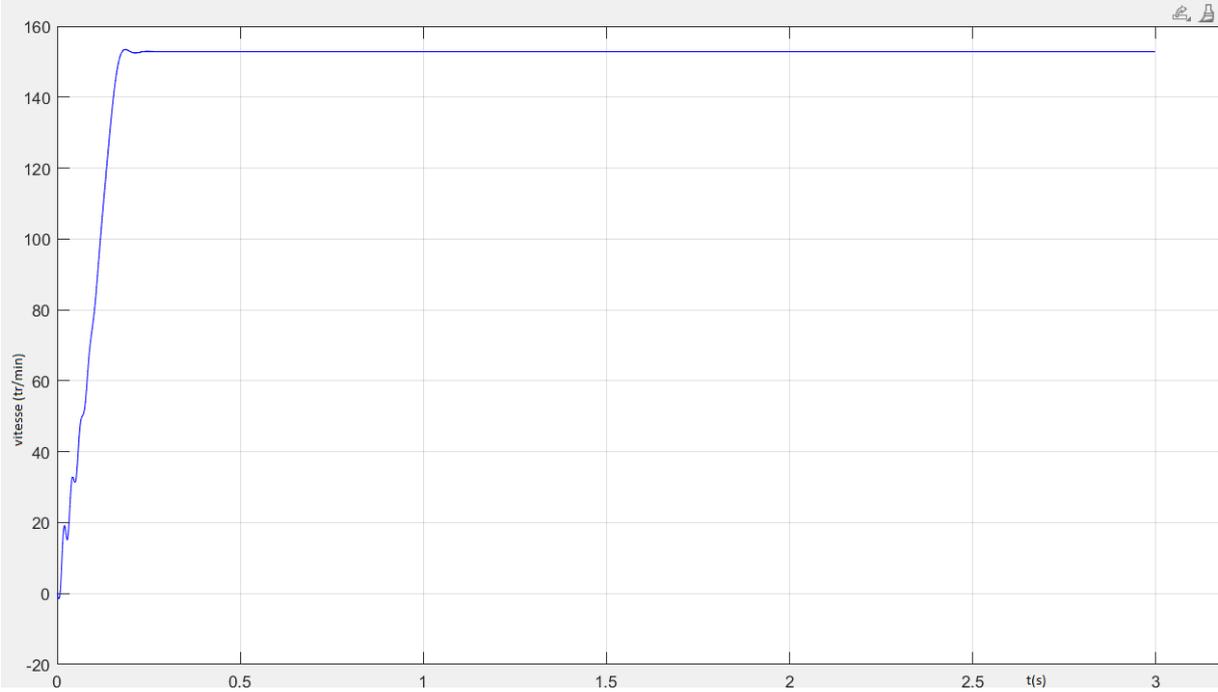


Figure 3.3: vitesse de rotation.

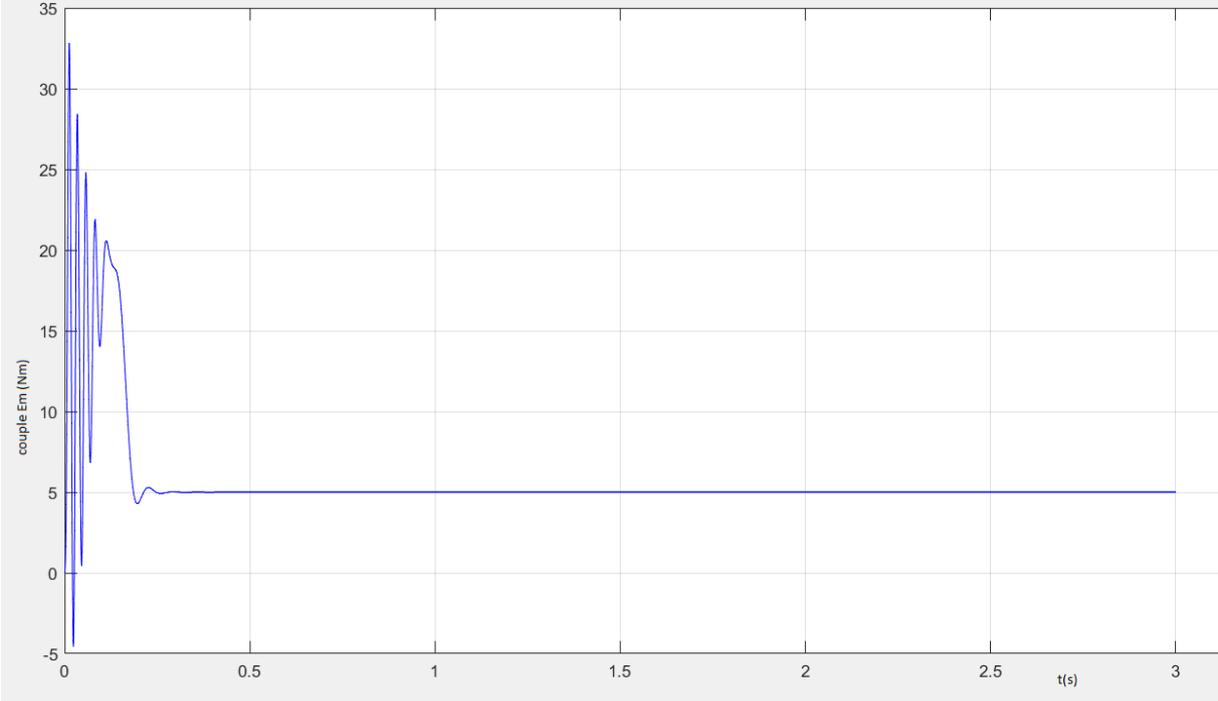


Figure 3.4: le couple électromagnétique.

3.3.2 Cas d'un défaut de cassure de deux barre

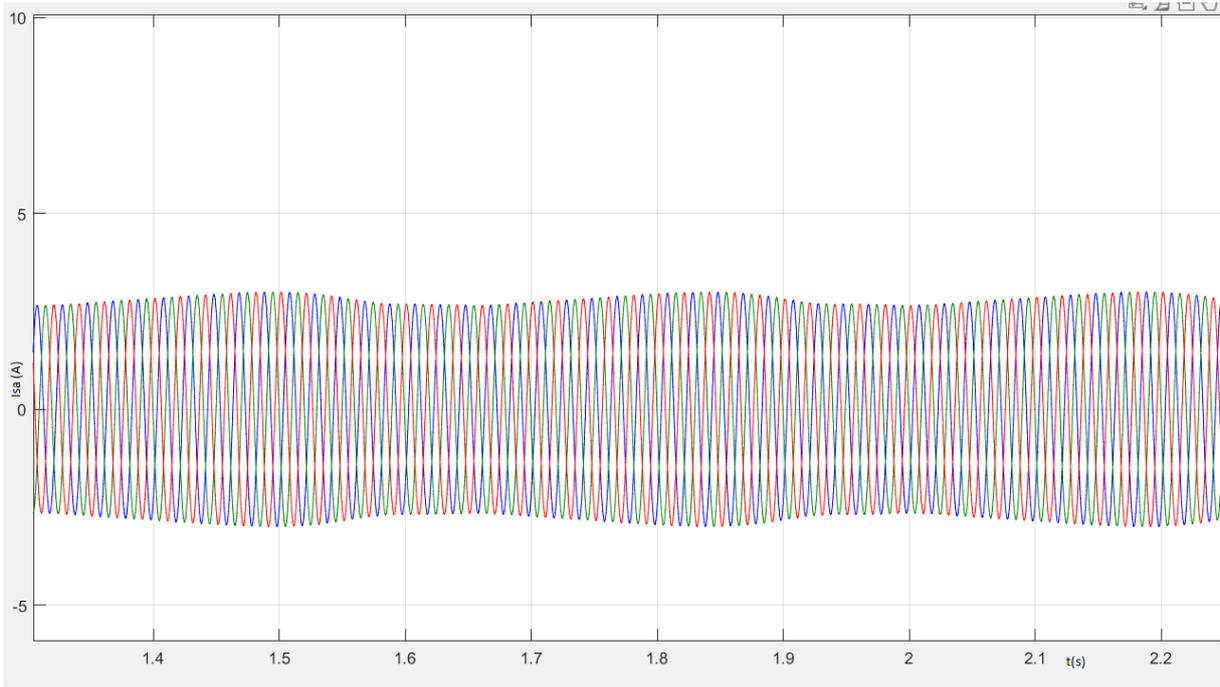


Figure 3.5: courants statorique cas de cassure de deux barres.

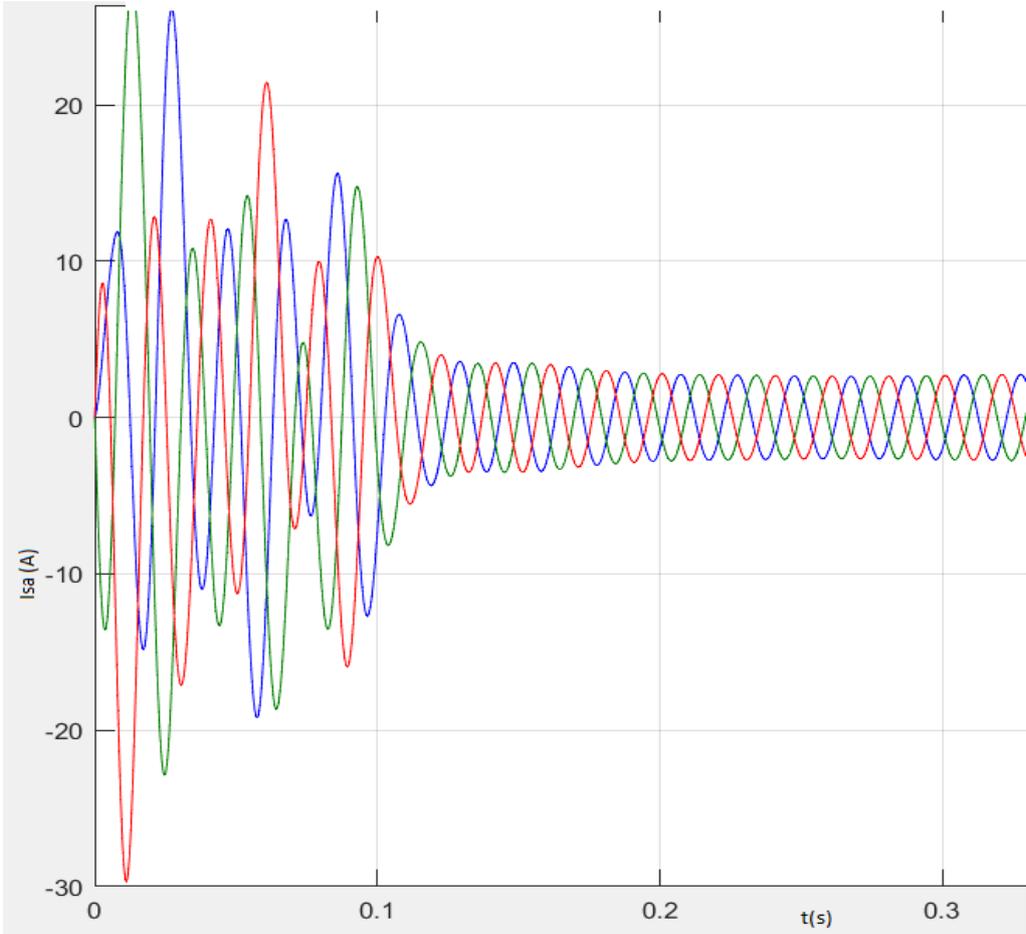


Figure 3.6: agrandissement des courant statoriques

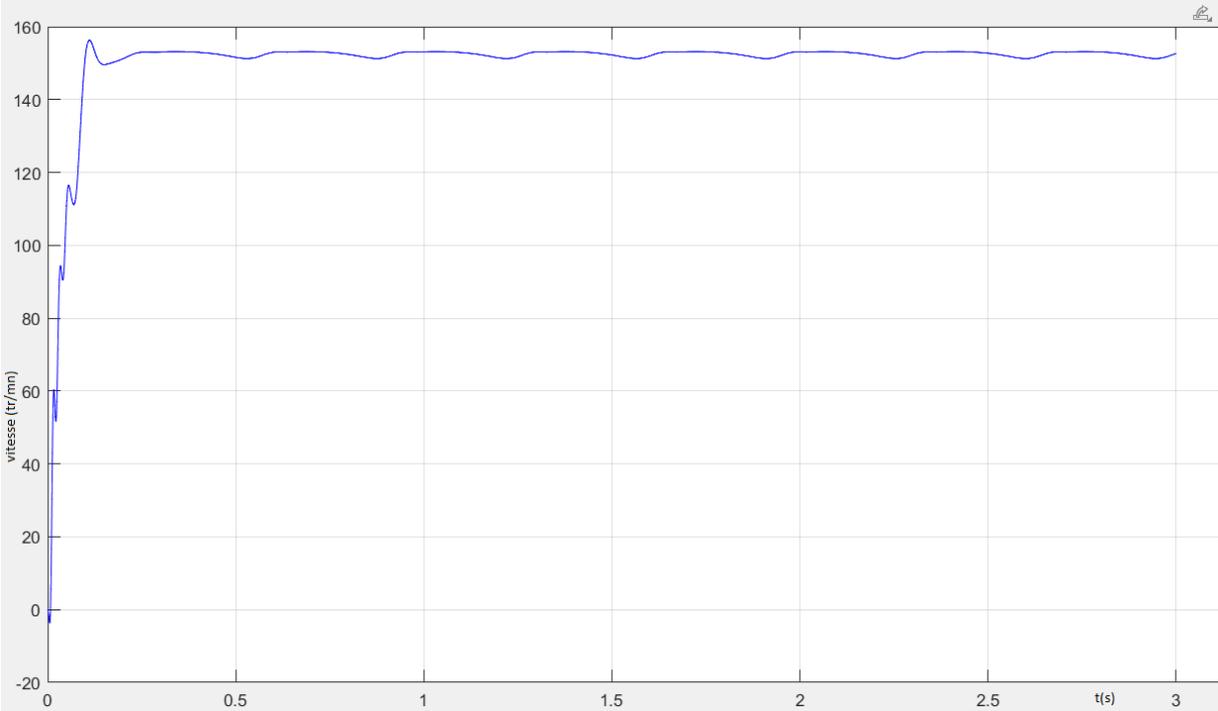


Figure 3.7: vitesse de rotation dans le cas de défaut de cassure de deux barres.

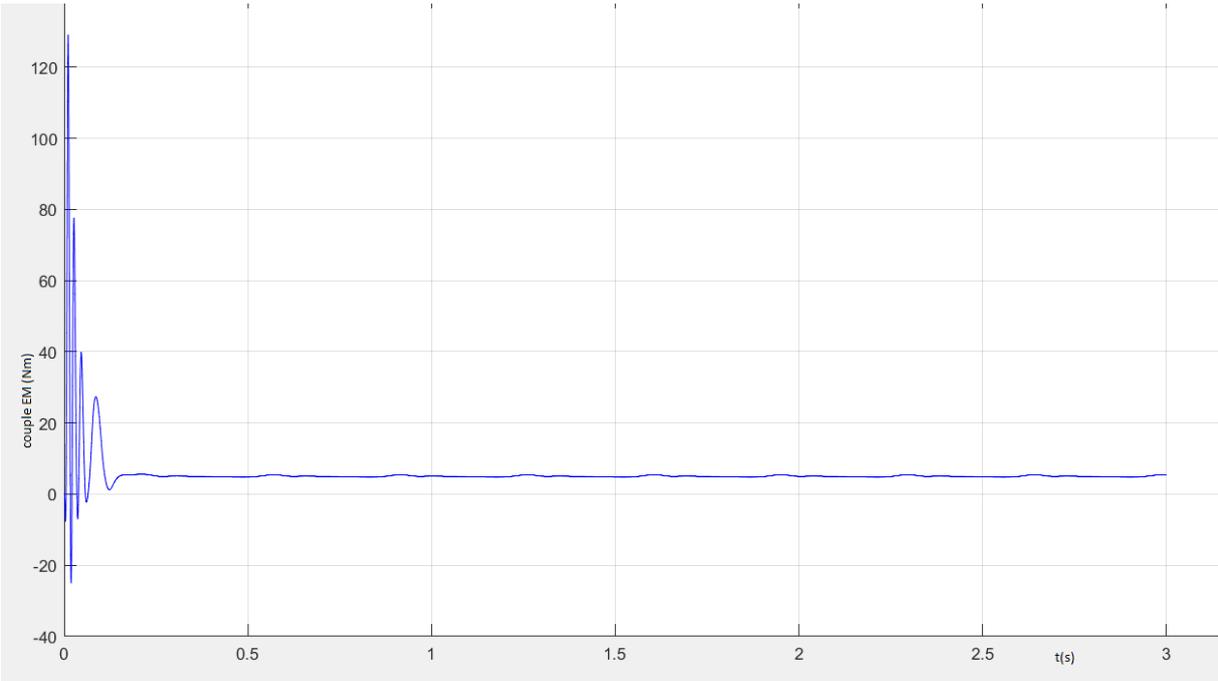


Figure3.8: le couple électromagnétique dans le cas de deux barres

3.3.3 Cas d'un défaut de cassure de cinq barres

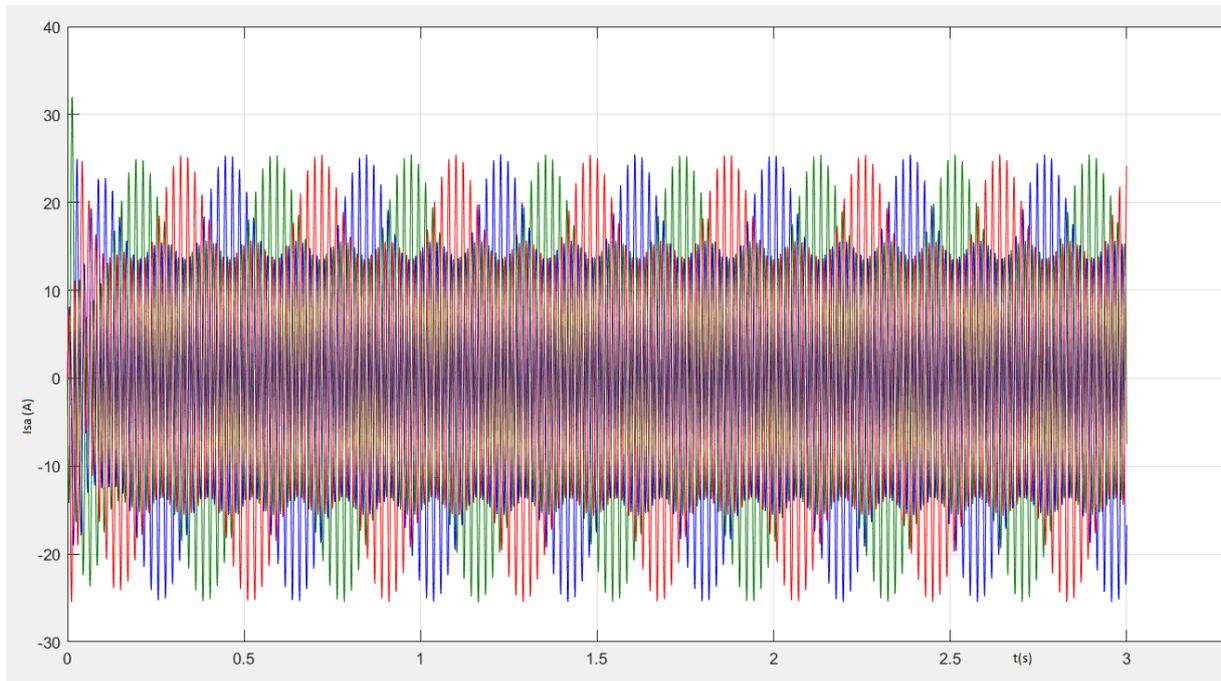


Figure 3.9: les courants statorique dans le cas de défaut de cinq barres.

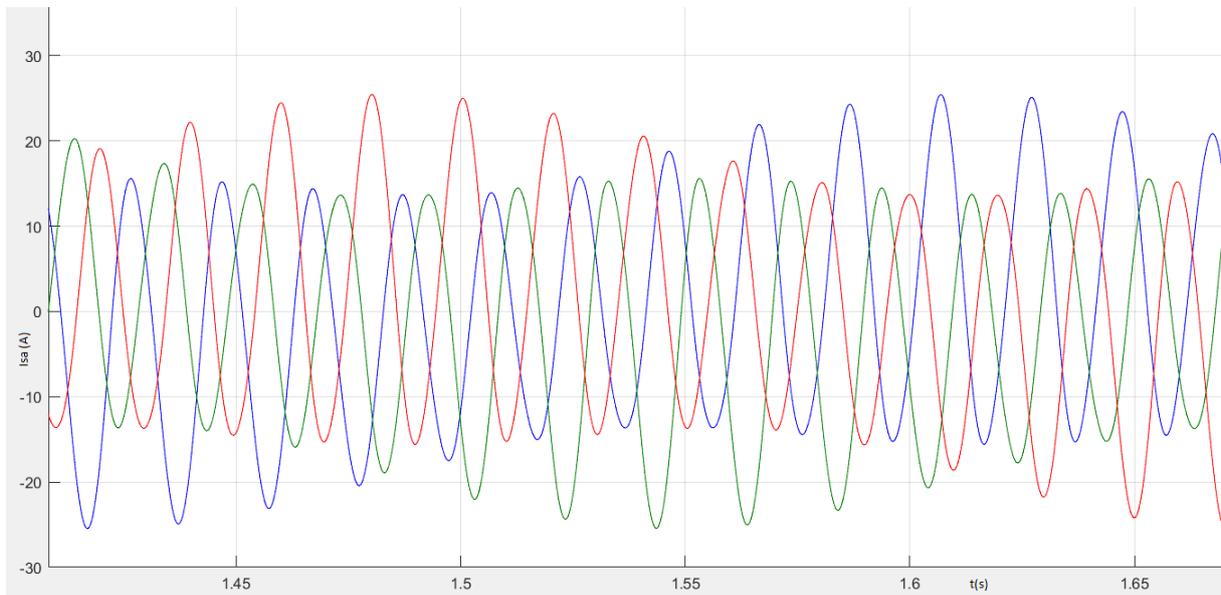


Figure 3.10: agrandissement des courants.

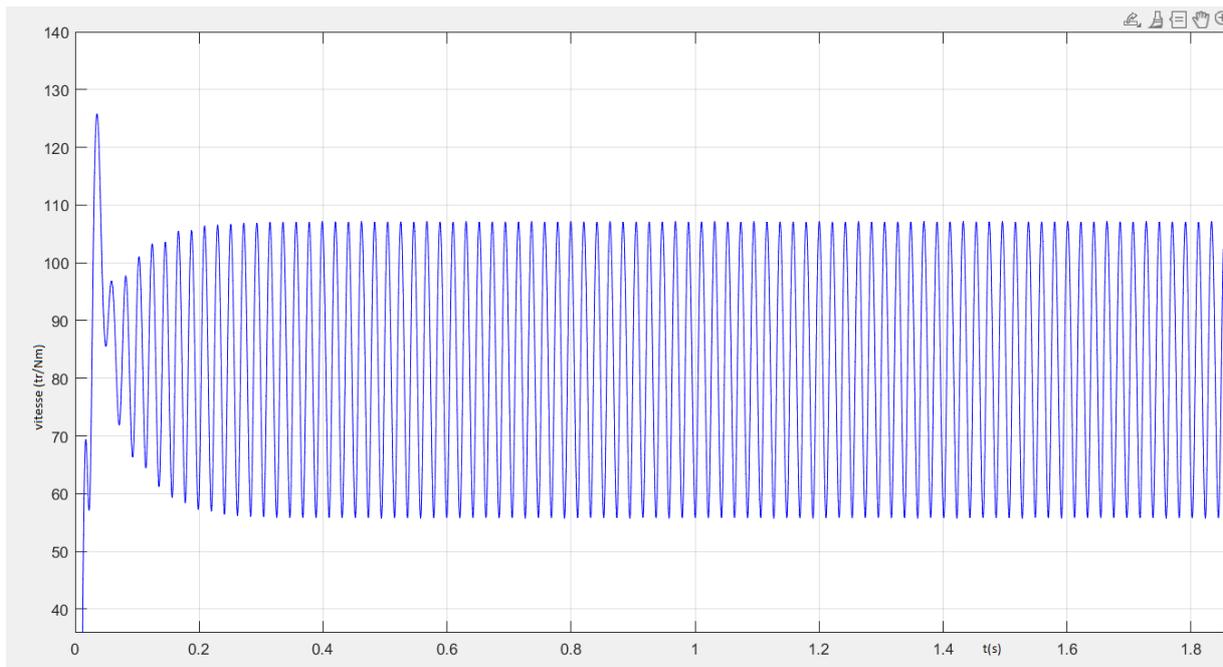


Figure 3.11: Vitesse de rotation.

3.4 Interprétation des résultats :

- On remarque que dans le cas sain, le signal des courants statoriques est parfaitement équilibré.
- D'après les figures on peut observer que le défaut de rupture des barres rotoriques génère des oscillations de vitesse. Ces variations dues aux fluctuations de couple sont de faible fréquence. On constate que ces oscillations deviennent plus visibles lorsque le nombre de barre cassée augmente.
- On remarque dans les figure du couple électromagnétique une augmentation de l'amplitude des ondulations après les ruptures des barres, et les ondulations devient plus grandes après la rupture de la barre 2.
- D'après les figures représentant l'allure de la vitesse de rotation après la rupture des barres, On remarque des oscillations après la rupture de la barre 2 et , par conséquent la valeur moyenne de la vitesse est diminué.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une simulation d'un moteur asynchrone triphasé à cage, pendant les différentes conditions de fonctionnement. Nous avons trouvé que 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. L'amplitude de ces oscillations augmente avec le nombre de barres cassées. On voit bien que l'amplitude du couple, la vitesse de rotation et le courant statorique dans le cas de cassure de deux barres adjacentes est plus grand par rapport à deux barres espacées. Nous avons remarqué que la durée du régime transitoire augmente avec la sévérité du défaut de barres.

Conclusion générale

L'évolution croissante des machines asynchrones dans le secteur industriel, et leur taux élevé d'utilisation met en évidence l'impératif de se prémunir contre l'apparition de tout défaut qui provoque le plus souvent un arrêt de la machine ce qui revient par des dommages matériels et financiers pour l'utilisateur.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic de défauts au sein des machines asynchrones à cage d'écurueil triphasés. Plus particulièrement, le défaut traité est la rupture de barres.

Le chapitre 1 présente les généralités de la machine asynchrone, fournissant ainsi une base solide pour comprendre son fonctionnement. Il aborde les principaux composants de la machine, tels que le stator, le rotor et les enroulements, ainsi que les principes fondamentaux de son fonctionnement. De plus, il met en évidence les différentes caractéristiques et avantages de la machine asynchrone, la positionnant comme une solution couramment utilisée dans de nombreux domaines.

Le chapitre 2 se concentre sur la modélisation de la machine asynchrone, en examinant à la fois les modèles idéaux et les modèles prenant en compte les défauts potentiels. Il explique comment les différentes perturbations et défauts peuvent affecter le fonctionnement de la machine, tels que les déséquilibres de tension et de courant, les court-circuits, les défauts d'isolation, etc. Ces modèles permettent d'évaluer les performances et le comportement de la machine en présence de défauts.

Le chapitre 3 présente les résultats et les simulations obtenus à partir des modèles développés. Les simulations permettent de visualiser et d'analyser les effets des défauts sur les grandeurs électriques de la machine, tels que le courant, la tension, le couple, etc. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour la détection et le diagnostic des défauts, ainsi que pour la mise en place de stratégies de maintenance préventive.

En résumé, ces chapitres offrent une vision complète de la machine asynchrone et de ses défaillances. Ils mettent en évidence l'importance de la modélisation pour comprendre le comportement de la machine en présence de défauts et soulignent l'utilité des simulations pour évaluer les performances et élaborer des stratégies de maintenance efficaces. Ces connaissances sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des machines asynchrones dans diverses applications industrielles.

Référence Bibliographie

- [1] Ablabouguerne. « Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrone ». PhD thesis, université Mentouri Constantine, 2009
- [2] REDA, R. «détection et diagnostic des défauts des moteur asynchrones». PhD thesis, Université badji mokhtar annaba, 2009.
- [3] BABECHE Yacine, B. S. «Diagnostic des machines ´électriques par la méthode des éléments finis». PhD thèses, université Mohamed Boudiaf M’sila, 2018.
- [4] O’Donnell, P. Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, part i. IEEE Transactions on Industry Applications IA-21, 4 (1985), 853–864.
- [5] Didier, G. modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances. PhD thesis, université Henri Poincaré, Nancy-1, 2004.
- [6] Kerszenbaum, I., and Landy, C. The existence of large inter-bar currents in three Phase squirrel cage motors with rotor-bar and/or end-ring faults. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-103 (1984), 1854–1862.
- [7] Thorsen, O., and Dalva, M. A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries. IEEE Transactions on Industry Applications 31, 5 (1995), 1186–1196.
- [8] Ceban, A. Méthode globale de diagnostic des machines électriques
- [9] *Ondel, O.* Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur - machine asynchrone. (diagnosis by pattern recognition : application on a set inverter - induction machine)
- [10] Said, M. S. N., Benbouzid, M. E. H., and Benchaib, A. Detection of broken bars in induction motors using an extended kalman filter for rotor resistance sensorless estimation. IEEE Transactions on Energy Conversion 15 (2000), 66–70.
- [11] Elkasabgy, N. M., Eastham, A. R., and Dawson, G. E. The detection of broken bars in the cage rotor of an induction machine. Conference Record of the 1988 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (1988), 181–187 vol.1
- [12] *Metatla, A., Bahi, T., Hadjadj, I., and Medoued, A.* Failure detection of eccentricity in asynchronous machine. 2008 International Conference on Computer Engineering & Systems (2008), 315–318.
- [13] Bonnett, A. H. Cause and analysis of anti-friction bearing failures in ac induction motors. Conference Record of 1993 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference

(1993), 36–46.

[14] Abdelli Radia. Perturbations Singulieres au Modele de machine asynchrone avec Défauts Au Stator et Rotor. Mémoire de magister, Polytechnique Hassan Badi, El-Harrach, Alger 2007

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'étude des défauts rotoriques dans la machine asynchrone à cage, utilisée dans l'industrie pour sa robustesse et son coût abordable. L'objectif est de modéliser ces défauts et d'analyser leur impact sur le fonctionnement de la machine. Les éléments de construction de la machine sont présentés, en mettant l'accent sur les défaillances des circuits électriques rotoriques et leur influence sur le signal statorique. La modélisation est réalisée à l'aide d'une approche basée sur les multi-circuits couplés magnétiquement, incluant les ruptures de barres rotoriques. Des simulations sont effectuées pour étudier le comportement de la machine en présence de défauts, notamment les cassures de barres rotoriques. Les résultats sont analysés temporellement et comparés à l'état sain de la machine, permettant de mieux comprendre les conséquences de ces défauts. Ce mémoire contribue à améliorer la fiabilité et la disponibilité des machines asynchrones à cage en fournissant des modèles détaillés et des analyses approfondies des défauts rotoriques. Les connaissances acquises peuvent être utilisées pour développer des techniques de détection précoce et de maintenance préventive, améliorant ainsi les performances et la durabilité de ces machines dans les applications industrielles.

Abstract

This thesis focuses on the study of rotor faults in the cage induction machine, which is used in the industry for its robustness and affordable cost. The objective is to model these faults and analyze their impact on the machine's operation. The construction elements of the machine are presented, with an emphasis on rotor circuit failures and their influence on the stator signal. The modeling is done using a magnetically coupled multi-circuit approach, including rotor bar breaks. Simulations are conducted to study the machine's behavior in the presence of faults, particularly rotor bar breaks. The results are analyzed over time and compared to the healthy state of the machine, allowing for a better understanding of the consequences of these faults. This thesis contributes to improving the reliability and availability of cage induction machines by providing detailed models and in-depth analyses of rotor faults. The acquired knowledge can be used to develop early detection techniques and preventive maintenance, thereby enhancing the performance and durability of these machines in industrial applications.