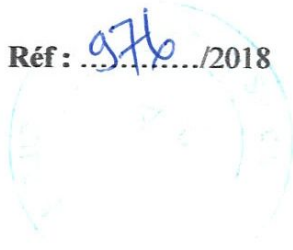


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf : 976/2018



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : MERARCHA Salih et MERARCHA Nabil

Thème

Etude et simulation des défauts statoriques du moteur asynchrone à cage

Soutenu publiquement, le 25 Juin 2018, devant le jury composé de :

M. BOULOUEH Messaoud	MCA	Univ. Guelma	Président, Encadreur
M. MENDACI Sofiane	MCA	Univ. Guelma	Examineur
M. LADJIMI Abdelaziz	MCA	Univ. Guelma	Examineur
M. BOUZIT Ali	MAA	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2017/2018

18/3795

Remerciement

Remerciements

Nos remerciements vont tout premièrement, Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la santé durant toutes ces années et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons ainsi à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à « M.BOULOUEH Messaoud », pour les conseils précieux, les orientations, et l'aide qu'il nous a accordé pour mener ce travail à terme.

Nous remercions également les membres de juré d'avoir accepté d'examiner ce travail. Notre profonde reconnaissance et nos respects les plus distingués à l'ensemble des enseignants de la faculté de technologie de l'université de 8 Mai 1945-Guelma, qui ont assuré notre formation tout au long de nos années d'études. Nous voudrions associer à nos remerciements toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. A ce jeu, il est impossible de ne pas oublier des noms.

On voudrait présenter d'avance nos excuses à ceux qui pourraient alors subir les affres de l'oubli.

Dédicace

Au terme de ce très modeste travail, je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes qui m'ont soutenue durant la réalisation de ce mémoire.

Mes très chers parents :

La mémoire de ma mère, la miséricorde de Dieu et entré le de vaste paradis.

Mon très cher père, je vous remercie pour votre soutien moral, vos encouragements et vos conseils qui mon guidés durant mon parcours.

A mes très chers frères et mes très chères sœurs.

A tous mes tantes, mes oncles et leurs familles.

A tous mes cousin et cousines.

Tous mes amies intimes, et à toute personne qui me connaît.

A tous les enseignants de ma formation à partir du primaire au master.

A tous mes collègues de l'Etude et particulièrement la promotion de master Réseaux électriques 2017/2018 surtout Aouissi Immad.

Nabil

Dédicace

Au terme de ce très modeste travail, je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes qui m'ont soutenue durant la réalisation de ce mémoire.

Mes très chers parents :

Mon père, vous avez toute ma gratitude, car c'est grâce à toi que j'ai atteint mon but....

Ma très chère mère, je vous remercie pour votre soutien moral, vos encouragements et vos conseils qui m'ont guidés durant mon parcours.

A mes très chers frères et mes très chères sœurs.

A tous mes tantes, mes oncles et leurs familles.

A tous mes cousin et cousines.

Tous mes amies intimes, et à toute personne qui me connaît.

A tous les enseignants de ma formation à partir du primaire au master et particulièrement mes profs de génie électrique au lycée.

A tous mes collègues de l'Etude et particulièrement la promotion de BAC 2013 et la promotion de master Réseaux électriques 2017/2018 surtout Aouissi Immad.

Salih

Sommaire

SOMMAIRE

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

Chapitre I : généralités sur les machines asynchrones

I.1 Introduction	2
I.2. Définition de la machine asynchrone	2
I.3 Constitution du moteur asynchrone	3
I.3.1 Le stator	3
I.3.2 Le rotor	4
I.3.3 Les roulements	5
I.4 Principe de fonctionnement	5
I.5 Différents types de moteurs asynchrones	6
I.5.1 Moteur asynchrone à rotor bobiné	6
I.5.2 Moteur asynchrone à cage	7
I.5.3 Moteur asynchrone à double cage	7
I.5.4. Moteur asynchrone à encoches profondes	7
I.6 Eléments de liaison et de transfert de puissance mécanique dans les entraînements électromécaniques	8
I.6.1 Accouplement mécanique	8
I.6.1.1 Les accouplements rigides	8
I.6.1.2 Les accouplements flexibles	9
I.6.1.3 Les accouplements élastiques	11
I.6.2 Transmissions par courroies et chaînes	12
I.6.3 Les roulements	13
I.6.3.1 Les roulements à billes à contact radial	13
I.6.3.2 Roulement à rotule sur billes	14
I.6.3.3 Roulement à billes à contacts obliques	14
I.6.3.4 Roulement à rouleaux coniques	15

I.6.3.5 Roulement à rouleaux cylindriques	15
I.6.3.6 Roulement rotule à rouleaux	16
I.7 Conclusion	16

Chapitre II : Défauts de la machine asynchrone et leurs méthodes de diagnostic

II.1 Introduction	17
II.2 Diagnostic des Machines Electriques	17
II.3 Différentes méthodes de diagnostic	17
II.3.1 Techniques mécaniques	18
II.3.1.1 diagnostic par mesure de la température	18
II.3.1.2 Diagnostic par mesure des vibrations	18
II.3.2. Diagnostic chimiques	19
II.3.3 Techniques magnétiques et électriques	19
II.3.3.1 Diagnostic par mesure du flux magnétique axial de fuite	19
II.3.3.2 Diagnostic par l'analyse du courant statorique .	20
II.3.4 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle	21
II.3.5 Diagnostic par analyse du vecteur de Park	21
II.4 Etude des différents défauts affectant le moteur asynchrone	22
II.4.1 Les causes des défauts :	22
II.4.2 Défauts statoriques	23
II.4.3 Défauts rotoriques	24
II.4.3.1 Défaut de rupture de barres et de segments cassés	24
II.4.3.2 Défaut de roulements	26
II.4.3.3 Défauts d'excentricité	28
II.5 Conclusion	30

Chapitre III : Simulation des défauts statoriques de la machine asynchrone

III.1 Introduction	31
--------------------	----

III.2. Modélisation du moteur asynchrone à cage :	31
III.3. Simulation de la Machine asynchrone :	34
III.3.1 Résultats de simulations d'un moteur saint :	35
III.3.2. Simulation des différents défauts statoriques :	36
III.3.2.1 Défaut de coupure d'une phase d'alimentation :	37
III.3.2.2 Moteur asynchrone en présence de défaut de surintensité (surcharge) :	40
III.3.2.3 Défaut de sous/surtension d'alimentation :	42
III.6 conclusion :	44
 Conclusion générale	 45
Bibliographic	46

Table de figure

Liste de figures

Figure	page
Figure I.1 : Les différents symboles de la machine asynchrone.	2
Figure I.2 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil.	3
Figure I.3 : Vue schématique en perspective du stator [5].	4
Figure I.4 : Vue schématique en perspective du rotor [5]	5
Figure I.5 : Stator, rotor à cage et les roulements de moteur asynchrone	5
Figure I.6 : Accouplement à disque	8
Figure I.7 : Accouplements rigides à douille	9
Figure I.8 : Accouplements rigides à plateau	9
Figure I.9 : Accouplement à denture	9
Figure I.10 : Exemple d'accouplement flexible à membrane	10
Figure I.11 : Exemple d'accouplement flexible à chaîne	10
Figure I.12 : Joints de cardans	10
Figure I.13 : Exemple d'accouplement élastique à éléments soumis à la pression	11
Figure I.14 : Exemple d'accouplement élastique de type PAULSTRA	11
Figure I.16 : Accouplement à engrenage (cisaillement)	11
Figure I.17 : Transmission par courroies	12
Figure I.18 : Transmission par chaînes	13
Figure I.19 : Les roulements à billes à contact radial	13
Figure I.20 : Roulement à rotule sur billes	14
Figure I.21 : Roulement à billes à contacts obliques	14
Figure I.22 : Roulement à rouleaux coniques	15

Figure I.23 : Roulement à rouleaux cylindriques	15
Figure 1.24 : Roulement rotule à rouleaux	16
Figure II.1 : Les différents grandeurs de diagnostic dans une machine.	17
Figure II.2 : Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.	20
Figure II.3 : Schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique	21
Figure II.4 : La répartition des pannes	23
Figure II.5 : Défauts statoriques	24
Figure II.6 : Points sensible ; à la rupture dans la cage rotorique du moteur à cage d'écureuil	25
Figure. II.7 : Schéma de fonctionnement du moteur sain	26
Figure. II.8 : Schéma de fonctionnement d'un moteur défaillant	26
Figure.II.9 : Les roulements à billes	27
Figure.II.10 : Moteur asynchrone avec rotor excentrique	29
Figure III.1 : Schéma de simulation sous Simulink	34
Figure III.2 : Résultats de simulation d'un démarrage à vide suivi d'application d'une charge de ($C_r=50 \text{ Nm}$) à ($t= 1.09\text{s}$)	36
Figure III.3 : Modèle de simulation de coupure d'une phase d'alimentation	37
Figure III.4 : Résultats de simulation durant le défaut de coupure de la phase A à $t= 1.18\text{s}$	39
Figure III.5 : Résultats de simulation au cours de différentes valeurs de surcharge du moteur	41
Figure III.6 : Résultats de simulation durant le défaut sous/surtension	44

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, les machines asynchrones sont considérées comme l'outil de conversion électromécanique le plus utilisé dans le milieu industriel. Cet engouement pour ce type de machine est justifié par sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique. Des applications de la machine asynchrone à vitesse variable, ont vu le jour dans divers domaines en l'occurrence l'aéronautique, la robotique et dans certains mécanismes industriels à haute précision. Toutefois, cette machine peut être affectée par des défauts potentiels qui se répercutent sur la sécurité de la production, la qualité du service et la rentabilité des installations. Par conséquent, il est très intéressant de développer des systèmes de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant surgir dans ce type de machines.

La surveillance d'un dispositif implique le diagnostic des défauts : il consiste en la détection d'un changement anormal dans le comportement ou l'état d'un système et dans la localisation de sa cause. Le but est de garantir la sécurité et la continuité de service et d'enregistrer les événements utiles pour la maintenance curative ou le retour d'expérience. Ce mémoire est scindé en trois chapitres:

Le premier chapitre présente des généralités sur la machine asynchrone à cage d'écurieil aussi sur les différents éléments de liaison et de transfert de puissance mécanique dans les entraînements électromécaniques.

Dans le deuxième chapitre, les différentes techniques de diagnostic seront exposés, ainsi qu'un résumé sur les principaux défauts de la machine asynchrone et leurs origines.

Le troisième chapitre, sera dédié aux résultats de simulation du moteur asynchrone dans les différentes conditions de fonctionnements du moteur sain et en présence défauts statoriques.

En fin on clôture notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les machines asynchrones

I.1 Introduction

Le développement des machines électriques est basé sur des caractéristiques bien définies, dans ce cas on trouve que les applications industrielles ou la traction électrique nécessitant la vitesse variable, utilisaient des machines à courant continu, car elles sont plus flexibles à commander. Mais elles exigent une maintenance périodique coûteuse de plus leur prix est relativement plus cher.

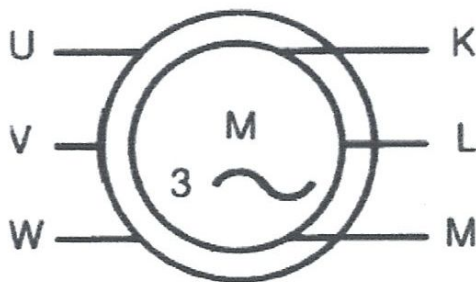
En revanche, la machine asynchrone qui fait actuellement l'objet d'un intérêt accru dans plusieurs applications, ceci étant dû essentiellement à sa fiabilité, son coût relativement faible, sa robustesse et sa simplicité de construction.

I.2 Définition de la machine asynchrone

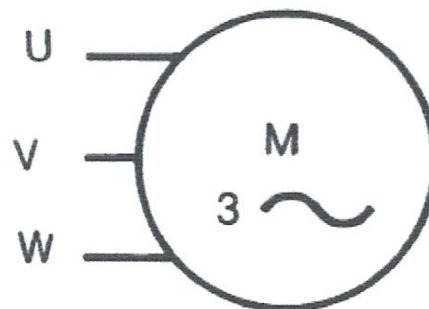
La machine asynchrone est une machine à courant alternatif, dont la vitesse de rotation du rotor est différente de celle du champ magnétique statorique à cause du glissement. En fonctionnement Moteur, le rotor est toujours en retard par rapport au champ statorique, la machine asynchrone est dite (machine à induction) car l'énergie est transférée du stator au rotor ou inversement par induction électromagnétique [1].

- **Symboles du moteur asynchrone**

Ci-dessous sont présentés les différents symboles employés pour représenter la machine asynchrone :



(a) Symbole du moteur asynchrone rotor bobiné.



(b) Symbole du moteur asynchrone à cage d'écureuil.

Figure I.1 : Les différents symboles de la machine asynchrone.

I.3 Constitution du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est constituée des principaux éléments suivants (figure I.2 on a pris comme exemple le moteur asynchrone à cage d'écureuil)[2] :

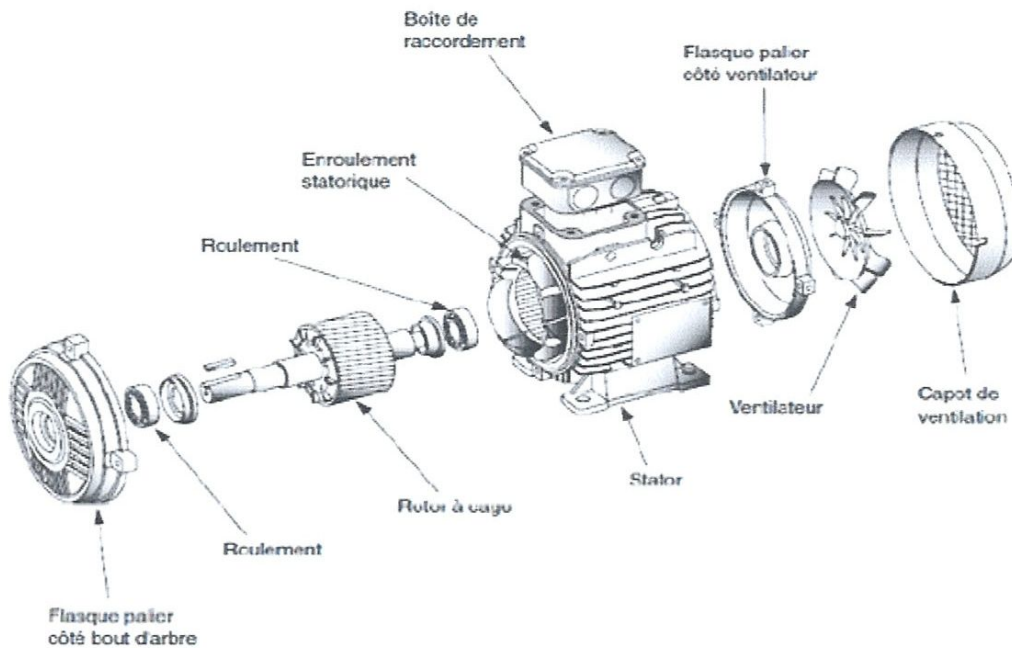


Figure I.2 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil.

I.3.1 Le stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les enroulements statoriques. Ces tôles sont découpées en une seule pièce pour les petites machines, alors qu'elles sont découpées par sections pour les machines de puissance plus importante. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entelles enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone. Le stator d'une machine asynchrone est aussi

pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. La figure I.3 représente la constitution du stator d'une machine asynchrone.

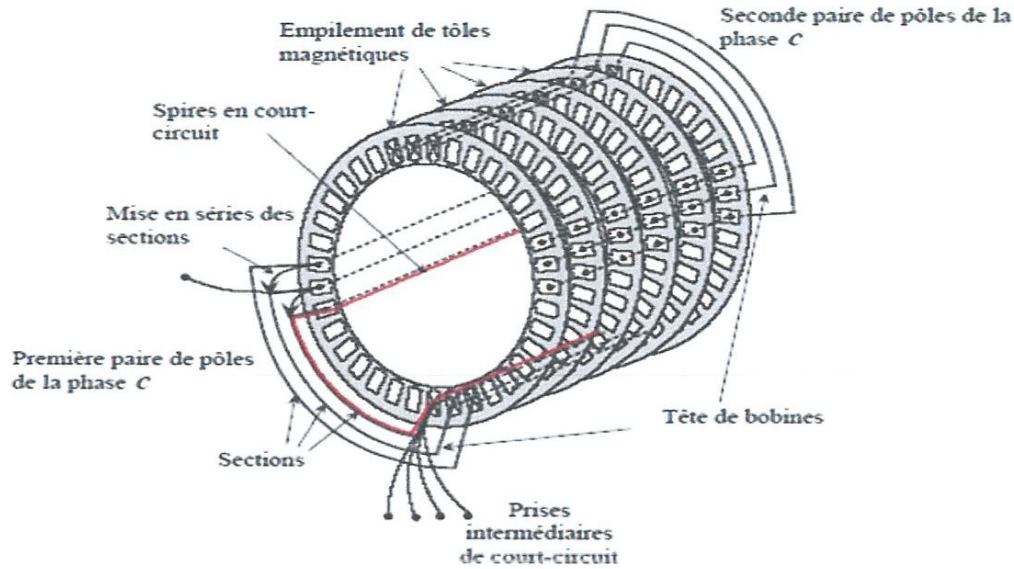


Figure I.3 : Vue schématisée en perspective du stator [5]

I.3.2 Le rotor

Le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobiné ou à cage d'écureuil (fig.I.2).

Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique. Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionnés sur l'arbre de la machine.

Concernant les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les moteurs de grande puissance ou d'aluminium pour les plus faibles puissances. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux de court-circuit, fabriqués en cuivre ou en aluminium. La figure I.4 présente les différents éléments de constitution d'un rotor à cage d'écureuil.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil (figure I.4), les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées dans les tôles du rotor. Généralement il n'y a pas d'isolation entre les barres rotoriques et le circuit magnétique. Mais la résistivité de l'alliage utilisé pour la construction de cette cage est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas à travers les tôles magnétiques, sauf lorsque la cage rotorique présente une rupture de barre [4].

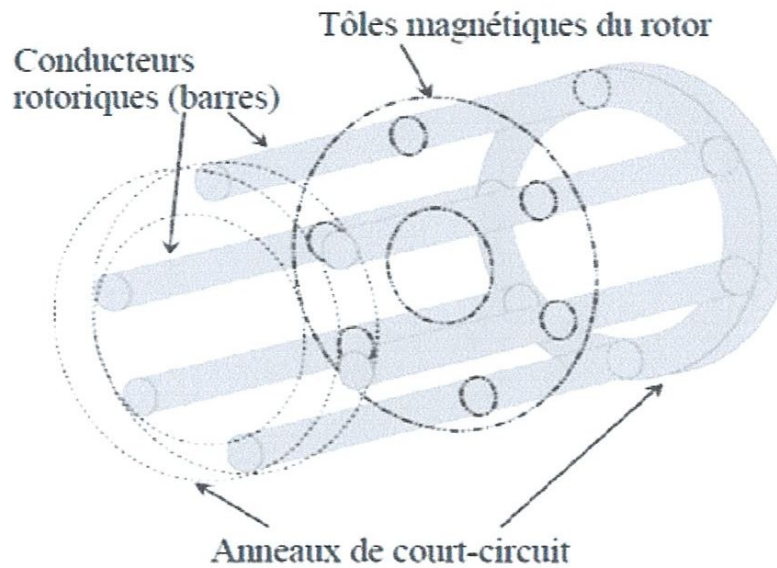


Figure I.4 : Vue schématique en perspective du rotor [5]

I.3.3 Les roulements

Les paliers sont constitués de roulements à billes et de flasques. Les roulements à billes sont insérés à chaud sur l'arbre, permettant ainsi d'assurer le guidage en rotation de l'arbre. Les flasques moulés en alliage de fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges deserrage comme le montre la (figure I.5). L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone.

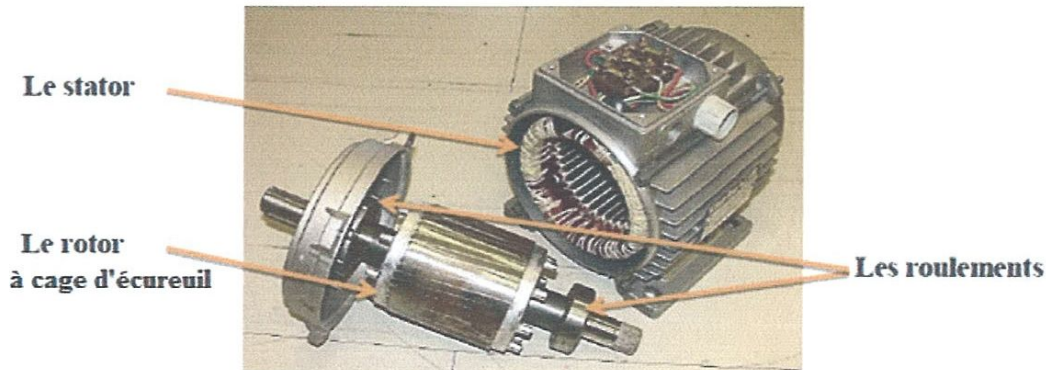


Figure I.5 : Stator, rotor à cage et les roulements de moteur asynchrone

I.4 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la machine repose sur les lois fondamentales de l'induction électromagnétique. En effet, le stator alimenté par un système de tensions triphasées équilibrées crée un champ magnétique tournant. La vitesse de rotation du champ

tournant statorique n_s , appelée vitesse synchrone, est rigidement liée à la fréquence de la tension d'alimentation f (Hz) et au nombre de paires de pôles p de chacun des enroulements par :

$n = 60f/p$ (tr/min). Soumis au champ tournant créé par le stator, les enroulements rotoriques sont le siège d'un système de forces électromotrices triphasées engendrant elles-mêmes trois courants rotoriques. Ces courants rotoriques par leurs effets vont s'opposer à la cause qui leur a donné naissance. Ainsi, les effets de l'induction statorique sur les courants induits rotoriques se manifestent par un couple électromagnétique qui lance le rotor à une vitesse n_r en essayant d'atteindre la vitesse synchrone mais en vain. Il est évident que le couple s'annule si le rotor arrive à tourner à la vitesse synchrone. Le fonctionnement du moteur est donc caractérisé par le glissement défini ainsi : $g = (n_s - n_r) / n_s$

Contrairement à la machine à courant continu et la machine synchrone, seuls les enroulements statoriques sont généralement reliés au réseau de tensions créent cette induction motrice. Les enroulements rotoriques ne sont pas reliés à aucune source de tension, mais court-circuités sur eux-mêmes c'est la raison pour laquelle, on l'appelle aussi la machine d'induction [3].

I.5 Différents types des moteurs asynchrones

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor. Dans tous les cas, le stator reste, au moins dans son principe, le même.

I.5.1 Moteur asynchrone à rotor bobiné

◆ Constitution et Principe de fonctionnement

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l'axe de la machine de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques.

Les extrémités des enroulements rotoriques sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires (résistances, électronique de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux.[7]

I.5.2 Moteur asynchrone à cage

▪ Constitution et Principe de fonctionnement

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné. Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400 V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand (soit en pratique, $N_b \geq 8xp$), la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate. Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service. Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes). [7]

I.5.3 Moteur asynchrone à double cage

▪ Constitution de rotor

Le rotor de moteur asynchrone double cage possède deux cages d'écureuil concentriques qui n'ont pas toujours le même nombre de barres :

- l'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, est plus résistante que l'autre, (5 à 6 fois plus).est placée près de l'entrefer,

- l'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer, ayant ainsi une inductance de fuites supérieure à la première.

I.5.4 Moteur asynchrone à encoches profondes

La machine d'induction à barres profondes, facile à construire par rapport à la machine double cage, On peut pallier cet inconvénient, tout en gardant une partie de ses avantages, en construisant une cage rotorique simple avec des barres très plates s'enfonçant profondément dans le circuit magnétique.

I.6 Eléments de liaison et de transfert de puissance mécanique dans les entraînements électromécaniques

I.6.1 Accouplement mécanique

L'accouplement est un organe qui permet la jonction du moteur au récepteur, les deux machines ayant des arbres quasiment alignés. Celui-ci permet la transmission de la puissance motrice vers le mécanisme à activer. C'est un produit courant du commerce qu'il convient de choisir et d'adapter à chaque montage particulier.



Figure 1.6 : Accouplement à disque

I.6.1.1 Les accouplements rigides

Les accouplements rigides transmettent des couples sans torsion et sans jeu. Ils sont utilisés en absence de défauts d'alignement. Sans usure et sans entretien. Pas de risque de desserrage des vis auto freinées. La transmission du couple nominal maximal ne peut être assurée qu'en cas de montage correct et de respect des diamètres des arbres. Ce type d'accouplements est utilisé pour une vitesse de rotation max. 4000 tr/min.

I.6.1.1.1 Accouplements rigides à douille

Les extrémités des arbres sont ajustées dans une douille puis goupillés.

Ce type d'accouplement est utilisé dans les cas de faible couple, sinon le goupillage est complété par un clavetage.



Figure I.7 : Accouplements rigides à douille

I.6.1.1.2 Accouplements rigides à coquille

Il se compose de deux coquilles pressées sur les deux bouts d'arbres, à l'aide de boulons. L'entraînement se fait par l'adhérence.

I.6.1.1.3 Accouplements rigides à plateau

Les plateaux sont encastrés sur le bout de l'arbre. Un clavetage est nécessaire pour le montage des deux plateaux. Les deux plateaux sont positionnés face à face, et s'encastrent l'un dans l'autre, l'ensemble est maintenu par le serrage de boulons.



Figure I.8 : Accouplements rigides à plateau

I.6.1.2 Les accouplements flexibles

Ces accouplements, dits de précision, sont rigides en torsion, mais permettent de corriger les défauts d'alignement des arbres. Ils sont très utilisés dans la robotique ou l'automatisme, car ils permettent de piloter des systèmes très précisément.

I.6.1.2.1 Accouplement flexible à denture interne

Les plateaux sont des roues dentées à denture liées complètement aux arbres à accoupler.



Figure I.9 : Accouplement à denture

I.6.1.2.2 Accouplement flexible à membrane

L'élément flexible est une membrane déformable mais rigide en torsion, cette membrane est fabriquée en tôle ou en matière plastique. L'accouplement est composé de deux flasques et d'une ou plusieurs membranes disposées à la demande et liées par une vis aux deux flasques.

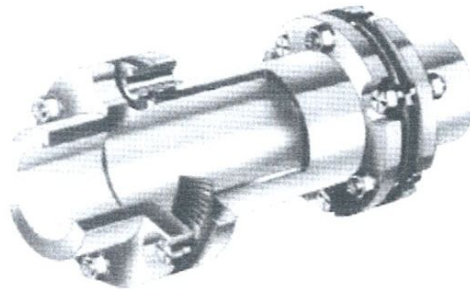


Figure I.10 : Exemple d'accouplement flexible à membrane

I.6.1.2.3 Accouplement flexible à chaîne

Chacun des plateaux forme un pignon denté. La liaison entre les deux plateaux est assurée par une chaîne double.

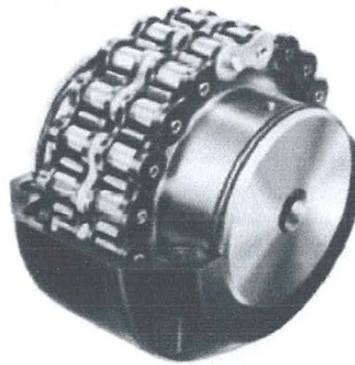


Figure I.11 : Exemple d'accouplement flexible à chaîne

I.6.1.2.4 Les joints de cardans

Ces derniers sont très rigides en torsion, et permettent de corriger des défauts angulaires importants.

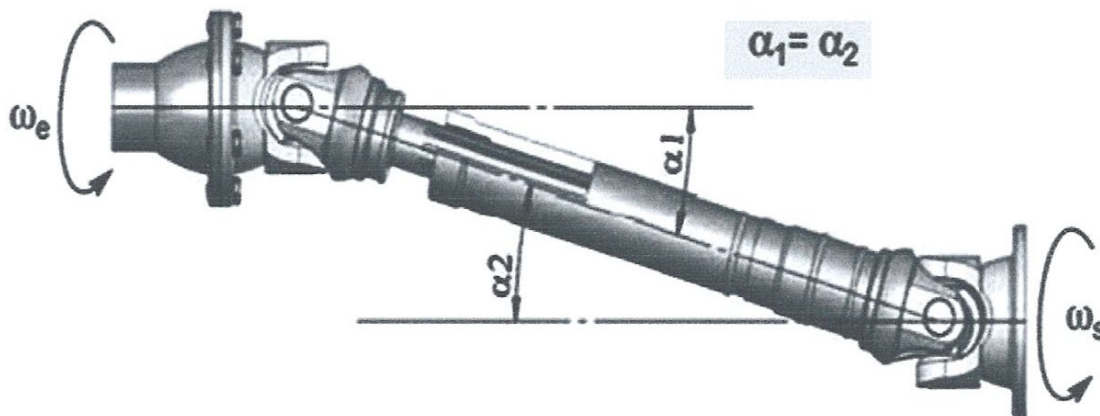


Figure I.12 : joints de cardans

I.6.1.3 Les accouplements élastiques

Les accouplements élastiques corrigent les défauts d'alignement, mais ne sont pas totalement rigides en torsion, ce qui leur permet de supporter plus d'effort en cas d'à-coups. (par exemple pour des pompes ou des groupes électrogènes).

I.6.1.3.1 A éléments soumis à la pression

Ce type d'accouplement est destiné à compenser les déplacements axiaux et à amortir les chocs dans la transmission.



Figure I.13: Exemple d'accouplement élastique à éléments soumis à la pression

I.6.1.3.2 De type PAULSTRA

Il est composé de deux moyeux ayant chacun trois bras radiaux. Un anneau de caoutchouc de forme hexagonale assure la liaison élastique. Cet anneau est soumis lors de fonctionnement. Ce type d'accouplement a une très importante élasticité torsionnaire axiale et conique.

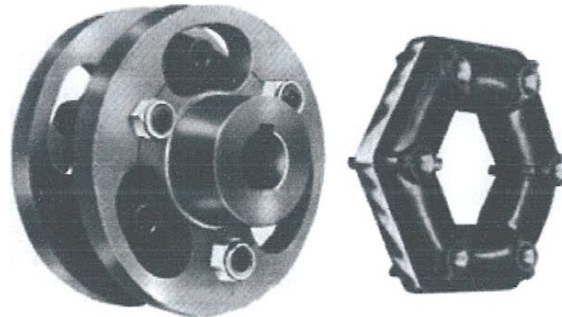


Figure I.14: Exemple d'accouplement élastique de type PAULSTRA

I.6.1.3.3 Éléments soumis au cisaillement

Ils permettent la transmission de puissance entre deux arbres alignés, de façon permanente, en régularisant les problèmes de 'pulsation' des machines.

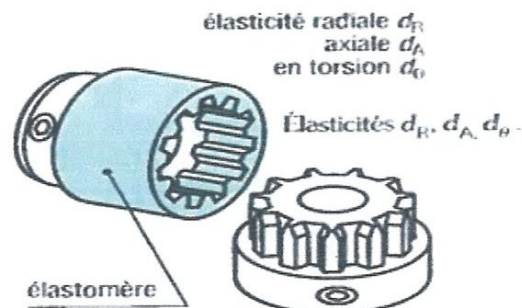


Figure I.16: Accouplement à engrenage (cisaillement)

I.6.1.3.4 Les limiteurs de couple

Les limiteurs de couple, quant à eux, servent à protéger un système en cas de sur couple: le limiteur sert de fusible au système. La plupart du temps, c'est un fusible qui ne se détruit pas, mais qui est réutilisable à volonté.

I.6.2 Transmissions par courroies et chaînes

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre, La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite d'un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception.

Le concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteur et récepteur, d'être économique, silencieuse et d'amortir les vibrations, les chocs et les à-coups de transmission. Cet élément de la chaîne d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre l'organe moteur et l'organe entraîné.

I.6.2.1 Transmission par courroies



Figure I.17 : Transmission par courroies

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite dans un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conceptionle concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteur et récepteur, d'être économique, silencieuse et d'amortir les vibrations, chocs et à-coups de transmission.

I.6.2.2 Transmissions par roues et chaînes

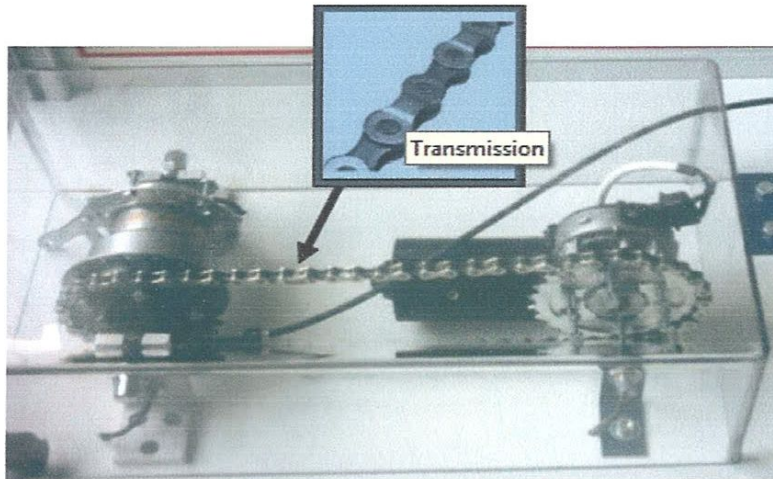


Figure I.18 : Transmission par chaînes

En construction mécanique, une chaîne à rouleaux est un ensemble de maillons reliés directement ou par l'intermédiaire d'axes. Une chaîne peut être fermée ou avoir ses extrémités ouvertes selon son utilisation.

I.6.3 Les roulements

Un roulement est un dispositif destiné à guider un assemblage en rotation, c'est-à-dire à permettre à une pièce de tourner par rapport à une autre selon un axe de rotation défini. Le roulement est donc un palier. Par rapport aux paliers lisses, le roulement permet d'avoir une très faible résistance au pivotement tout en supportant des efforts importants.

I.6.3.1 Les roulements à billes à contact radial

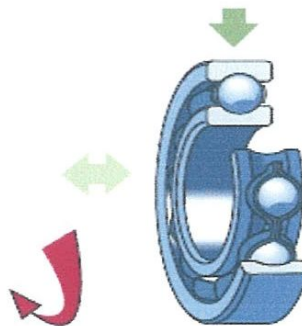


Figure I.19 : Les roulements à billes à contact radial

Egalement appelés roulements rigides à billes, sont les roulements les plus courants : ce sont à la fois les meilleurs sur le marché et les plus compacts. Ils peuvent admettre un roulage compris entre 2 et 16', mais ne tolèrent que des charges axiales modérées. Pour les

environnements agressifs (humidité, poussière), on utilise des roulements étanches : ils sont scellés par des flasques en polymère ou en tôle. Ils sont alors graissés à vie.

I.6.3.2 Roulement à rotule sur billes

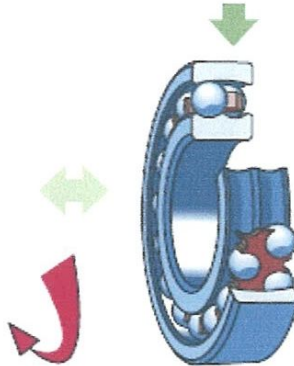


Figure I.20 : Roulement à rotule sur billes

C'est un roulement à double rangée de billes, dont le chemin extérieur est sphérique. Ce roulement accepte un roulage important, de 2 à 4°.

I.6.3.3 Roulement à billes à contacts obliques

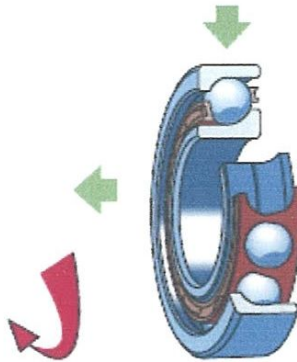


Figure I.21 : Roulement à billes à contacts obliques

Pour ce type de roulement, le contact entre la bille et les chemins se font selon un axe incliné par rapport au plan normal à l'axe de rotation de l'arbre. Ainsi, l'axe de rotation des billes est incliné par rapport à l'axe de rotation de l'arbre. Ce contact oblique permet de subir des efforts axiaux importants, mais dans un seul sens ; ils sont donc montés par paire, en opposition (en O ou en X, voir ci-dessous Roulement à rouleaux coniques). Par contre, ils n'acceptent qu'un faible roulage, de l'ordre de 1 à 2', ce qui implique un grand soin en termes d'usinage ou de réglage (alignement). Les angles de contact typiques sont de 15°, 25° et 40°.

I.6.3.4 Roulement à rouleaux coniques

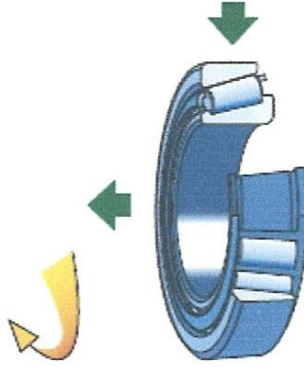


Figure I.22 : Roulement à rouleaux coniques

Ils supportent des efforts axiaux et radiaux importants. Du fait de la disposition des contacts de roulement, les bagues peuvent se désolidariser par translation axiale. Ils ne posent donc pas les mêmes problèmes d'assemblage que les roulements à billes. Ils constituent une liaison rotule équivalente (unilatérale) entre les bagues. D'une grande rigidité, ce type de composant est idéal pour les guidages de grande précision devant subir de gros efforts (pivot de roue de véhicules, broches de machines).

I.6.3.5 Roulement à rouleaux cylindriques



Figure I.23 : Roulement à rouleaux cylindriques

Ils supportent un léger défaut d'alignement. Il y a deux types de roulements à rouleaux :

1. Sur deux rangées de billes type BS : ils supportent des charges radiales élevées.
2. Sur deux rangées de rouleaux type SC : ils supportent des charges radiales encore plus élevées.

I.6.3.6 Roulement rotule à rouleaux

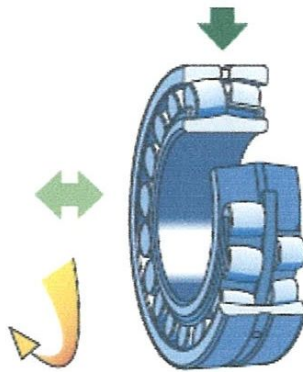


Figure 1.24 : Roulement rotule à rouleaux

Du fait de la forme et la disposition des rouleaux, ces roulements acceptent un grand déversement relatif des deux bagues (plusieurs degrés). Ils conviennent alors parfaitement pour le guidage d'arbres très longs, pour lesquels il est impossible d'aligner les portées lors de leur réalisation, comme le guidage d'arbre d'hélice de bateau.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques rappels sur la machine asynchrone et ses différents types, selon la construction de son rotor. En suite, nous avons présenté succinctement les éléments de liaison et de transfert de puissance mécanique dans les entraînements électromécaniques.

Chapitre II

Défauts de la machine asynchrone et leurs méthodes de diagnostic

II.1 Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons énumérer les différentes méthodes de diagnostic des moteurs asynchrones, ensuite nous donnons une description succincte des différents types de défauts statorique et rotorique affectant le moteur asynchrone à cage.

II.2 Diagnostic des Machines Electriques

Les machines électriques et les systèmes d'entraînement sont soumis à de nombreux types de défauts. Ces derniers peuvent être classés selon leurs causes en deux grandes familles: les défauts à causes internes et les défauts à causes externes. Les défauts externes sont provoqués par les tensions d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine. Les défauts internes sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques, bobinages du stator et du rotor, entrefer mécanique, cage rotorique,...).

II.3 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]. 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 II-1) [9].

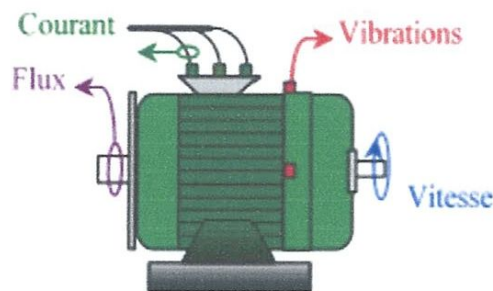


Figure II.1 : Les différentes grandeurs de diagnostic dans une machine.

II.3.1 Techniques mécaniques

Parmi ces techniques, on trouve :

II.3.1.1 diagnostique 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 rémanente 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 lequel peut être monté sur les enroulements ou inséré dans l'isolant électriquement isolé par rapport à son instrument de mesure.

II.3.1.2 Diagnostique par mesure des vibrations

Le diagnostique 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.

II.3.2. Diagnostique chimiques

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, malgré que les machines sont des moteurs électriques. 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.

II.3.3 Techniques magnétiques et électriques

II.3.3.1 Diagnostique 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 II-2) 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 telles 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.

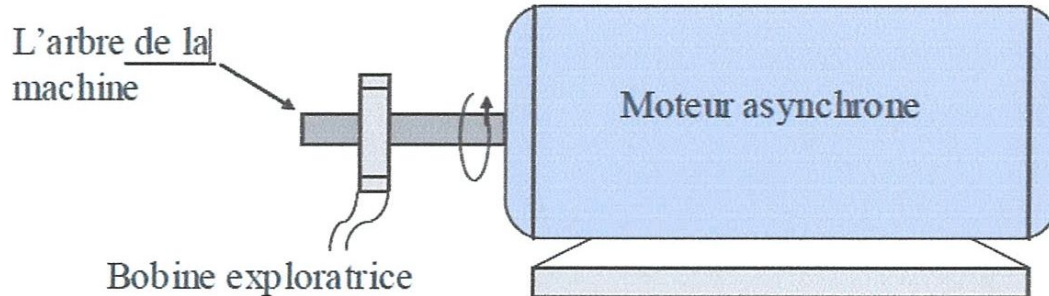


Figure II.2 : Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.

II.3.3.2 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 [10]. 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. Dans le cas d'une répartition non sinusoïdale de la FMM en plus du fondamental apparaît des harmoniques de l'encoche 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 (sf) , 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).

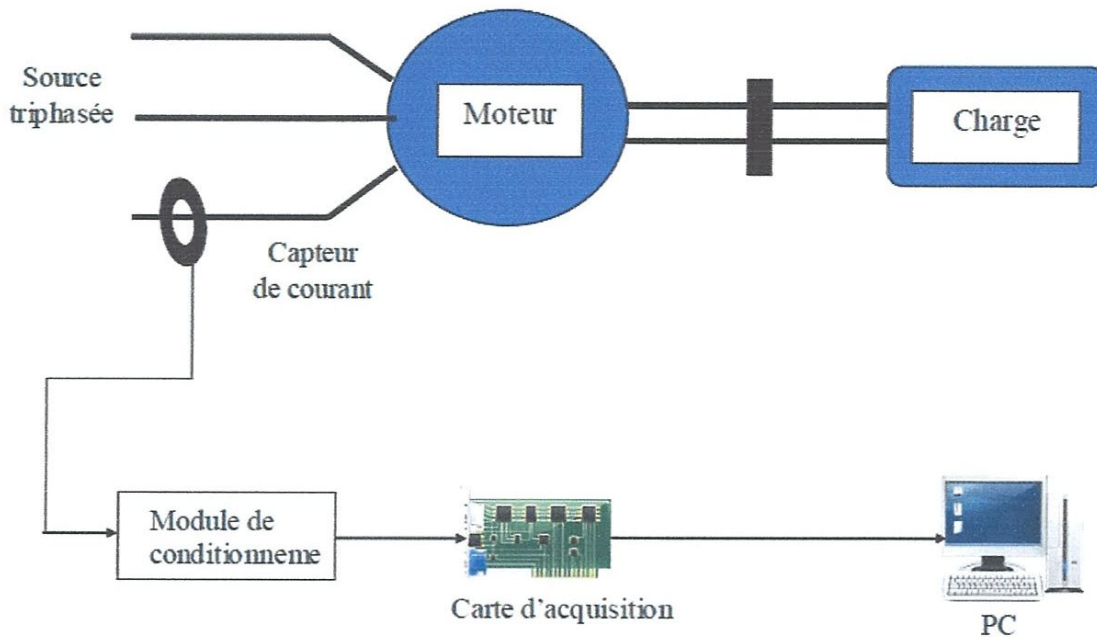


Figure II.3 : schéma synoptique du principe de la méthode du spectre du courant statorique

II.3.4 Diagnostic par utilisation des techniques d'intelligence artificielle

En dépit des diverses techniques mentionnées précédemment, ces dernières années, la surveillance et la détection de défaut des machines électriques se sont éloignées des techniques traditionnelles pour s'orienter vers des techniques dites d'intelligence artificielle. Ces méthodes sont basées sur la connaissance a priori du système et utilisent un ensemble de règles et de faits (données manipulées par les règles) qui constituent ce qu'on appelle la base de connaissance. Parmi ces méthodes, on peut citer :

- Logique floue,
- Réseaux neuronaux,
- Reconnaissance des formes.

II.3.5 Diagnostic par analyse du vecteur de Park

Deux versions d'analyse par cette méthode à savoir : La première utilise les grandeurs biphasées $i_{s\alpha}$ et $i_{s\beta}$, qui sont calculées à partir des trois courants d'alimentation, pour l'obtention de la courbe de Lissajous : $i_{s\beta} = f(i_{s\alpha})$. Le

Changement de l'épaisseur et de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut. La deuxième est appelée Vecteur de Park Étendu, qui est basée sur l'analyse spectrale du module du vecteur de Park. Elle présente beaucoup d'avantages quant à la détection des défauts statorique ou rotorique et même les défauts de roulement.

II.4 Etude des différents défauts affectant le moteur asynchrone

Bien que la machine asynchrone a la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme tout autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Notre objectif est de détecter ces défauts en cours d'évolution ou en cours d'apparition [9].

Parmi toutes les méthodes utilisées ou proposées, on se doit de prélever un ou plusieurs signaux pour :

- les traiter,
- les analyser,
- conclure à une défaillance ou non, avec certitude.

II.4.1 Les causes des défauts :

Pour le stator, les effets sont principalement dus à un problème [11] :

- thermique (surcharge),
- électrique (diélectrique),
- mécanique (bobinage),
- environnemental (agression).

Pour le rotor, les effets sont essentiellement dus à un problème :

- thermique (surcharge),
- électromagnétique (Force en fonction $B^2(t)$),
- résiduel (déformation),
- dynamique (arbre de transmission),
- mécanique (roulement),
- environnemental (agression).

Ces défauts se répartissent selon la figure suivante :

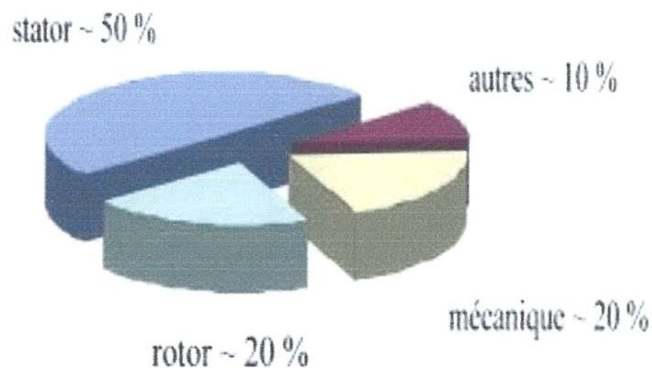


Figure II.4 : la répartition des pannes

II.4.2 Défauts statoriques

Ces défauts apparaissent souvent au niveau des enroulements statoriques (Fig.II.5) et sont dus à des dépassements de différentes natures [12]. 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 sont données par la relation [11]:

$$f_{cc} = [(n/p) \cdot (1-s) \pm k] \cdot f \text{ (Hz)} \quad (\text{II.1})$$

Où :

- f_{cc} = fréquence « de court-circuit » ;
- f = fréquence d'alimentation ;
- $n = 1, 2, 3, \dots, n \in N$;
- p = nombre de pair de pôles ;
- s = glissement ;
- $k = 1, 2, 3, \dots, k \in N$.

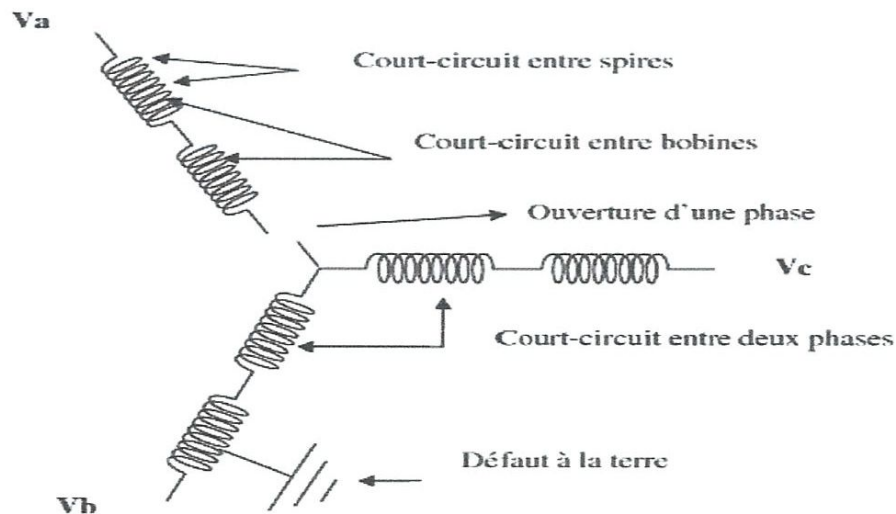


Figure II.5 : Défauts statoriques

II.4.3 Défauts rotoriques

Les différents éléments pouvant être défaillants se répartissent en 3 catégories. Celles-ci sont [9] :

- portion d’anneau ou de barre au rotor,
- roulement à billes,
- excentricité statique, dynamique, mixte.

Il est important de souligner que les défauts rotoriques peuvent être la cause de défauts dans les autres parties de la machine, et entraîner ainsi un dysfonctionnement plus grave.

II.4.3.1 Défaut de rupture de barres et de segments cassés

Un des défauts les plus difficiles à détecter concerne les ruptures de barres qui sont les pannes majeures pour les rotors à cage. Ces défauts représentent la particularité d’être progressives et partielles. Il s’agit d’un phénomène à évolution lente ce qui permet de poursuivre l’exploitation de la machine sans arrêt.

Les ruptures de barres (Fig. II.6) sont essentiellement liées à des erreurs d’exploitation (démarrage très lent non détecté, non-respect du délai de refroidissement entre démarrages successifs), ou à des défauts de fabrication (mauvaise coulée) [13].

Les conséquences de ce type de défaut ne sont pas anodines car elles induisent :

- Un vieillissement mécanique de la ligne d’arbre à cause des fluctuations de couple,
- Une rupture des autres barres du fait des courants plus importants qui les parcourent et des efforts électrodynamiques,
- Une influence sur les formes d’ondes des signaux d’alimentation de la machine.

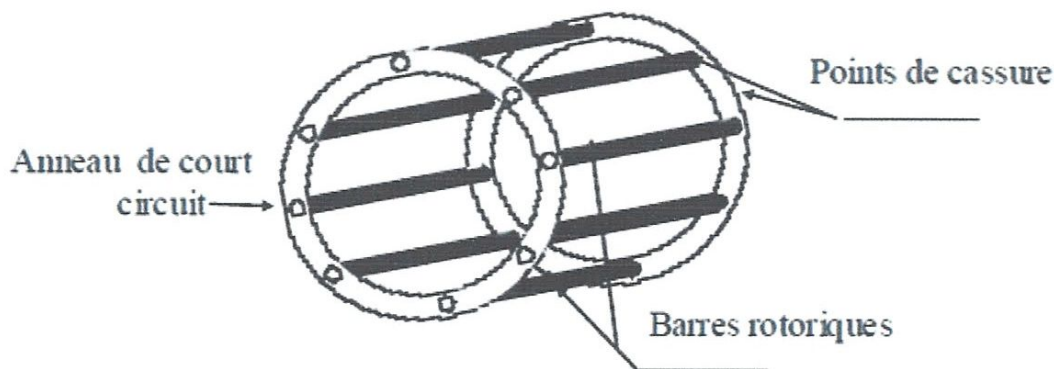


Figure II.6 : Points sensible ; à la rupture dans la cage rotorique du moteur à cage d’écureuil

Le rotor avec ce défaut crée, en plus du champ rotorique direct qui tourne à la vitesse $s\omega_s$ par rapport au rotor (le glissement de la machine), un champ inverse qui, lui tourne à une vitesse

$-s\omega_s$. L'interaction de ces champs avec celui issu du bobinage statorique donne naissance des composantes de fréquence s $2s\omega_s$ dans le couple électromagnétique. Ces composantes seront la cause d'oscillations de la vitesse. Cette dernière donne naissance à des f.é.m. aux pulsations ω_s $(1-2s)\omega_s$ $(1+2s)\omega_s$ et $(1-4s)\omega_s$ qui créent à leur tour des courants aux mêmes pulsations.

Les champs créent par ces courants vont à leur tour induire au rotor des courants directs et inverses. Ainsi par un processus identique, on retrouve dans le courant statorique des composantes de fréquences [14] :

$$fb = (1 \pm k \cdot s) f \quad (II.2)$$

Où k un entier positif, s le glissement, et f la fréquence d'alimentation.

Le schéma de la figure (II.7) permet une meilleure compréhension du fonctionnement du moteur avec un rotor sain alors que celui de la figure (II.8) décrit le phénomène dû à l'apparition du défaut rotorique sachant que :

$\omega_s = \frac{2\pi f}{p}$ représente la vitesse de synchronisme, p est le nombre de paires de pôles de la machine.

$$\omega_r = (1-s)\omega_s \text{ la vitesse de rotation,} \quad (II.4)$$

$$\omega = \omega_s - \omega_r \text{ la vitesse de glissement,} \quad (II.5)$$

$$S = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \text{ le glissement,} \quad (II.6)$$

Alors :

$$\omega_{\text{défaut}} = \omega_r - \omega_s = (1-s)\omega_s - s\omega_s \quad (II.7)$$

$$\omega_{\text{défaut}} = (1-2s)\omega_s \quad (II.8)$$

D'où la fréquence du défaut :

$$fb = (1-s)f - sf = (1-2s)f \quad (II.9)$$

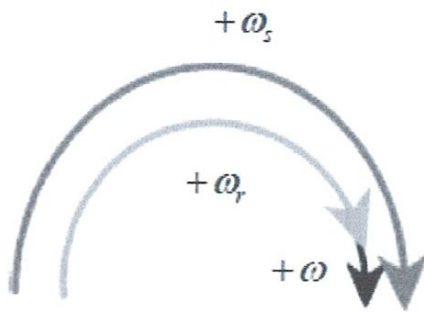


Figure. II.7 : schéma de fonctionnement du moteur sain

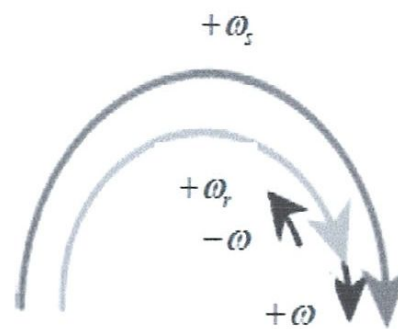


Figure. II.8 : schéma de fonctionnement d'un moteur défaillant

II.4.3.2 Défaut de roulements

Les études permettent de classer le défaut de roulement à bille comme suivant [7] :

- Trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- Ondulation de leur surface de roulement.
- Attaque des billes.
- Corrosion due à l'eau.
- Défaut de graissage, problème dû à la température.
- Découlement, effritement de surface, provoqués par une surcharge.

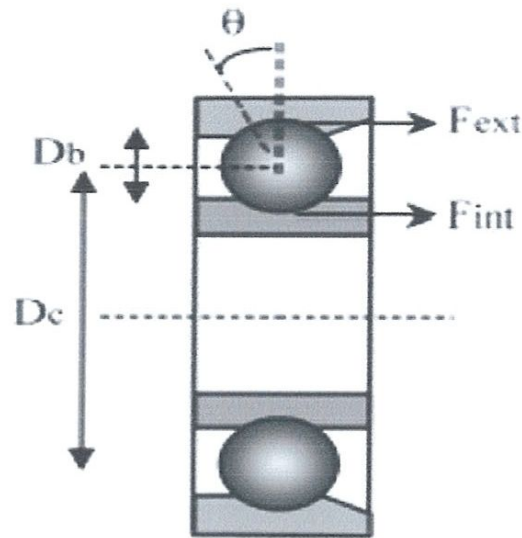


Figure.II.9 : les roulements à billes

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. Un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieure comme intérieure [9].

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

$$f_{int} = \frac{n_B}{2} f_r \left[1 - \frac{D_B}{D_C} \cos\theta \right] \quad (\text{II.10})$$

$$f_{ext} = \frac{n_B}{2} f_r \left[1 + \frac{D_B}{D_C} \cos\theta \right] \quad (\text{II.11})$$

Le spectre en courant est alors décrit par :

$$f_{int,ext} = f \pm n \frac{n_B}{2} f_r \left[1 \pm \frac{D_B}{D_C} \cos\theta \right] \quad (\text{II.12})$$

Cette expression contient des données spécifiques au roulement à billes.

- f = fréquence d'alimentation ;
- $r f$ = fréquence de rotation mécanique ;
- $n = 1, 2, 3, \dots, n \in N$;
- n_B = nombre de billes ;
- D_B = diamètre des billes ;
- D_C = La distance entre les centres des billes diamétralement opposées ;

- θ = l'angle de contact de la bille avec la cage.

En considérant que le nombre de billes est compris entre 6 et 12 habituellement, deux relations couramment rencontrées sont :

$$f_{ext} = 0.4n_b f_r \quad (\text{II.13})$$

$$f_{int} = 0.6n_b f_r \quad (\text{II.14})$$

Donc le spectre en courant sera enrichi de :

$$f_{int,ext} = f \pm n f_{(int,ext)} \quad \text{II.15}$$

II.4.3.3 Défauts d'excentricité

L'excentricité est un phénomène qui fait l'objet de nombreuses publications, car elle est responsable de multiples dommages sur les machines électriques, surtout lorsqu'il s'agit de la machine asynchrone où l'entrefer est volontairement d'épaisseur très faible. L'excentricité est le résultat de la non uniformité de ce dernier, ce qui signifie l'existence de longueurs radiales différentes entre le stator et le rotor, donc une asymétrie d'entrefer. Cette asymétrie faite, va décaler les axes des deux armatures l'un par rapport à l'autre d'une épaisseur qui dépend du degré d'excentricité et de la longueur moyenne de l'entrefer (Fig.II.10).

Les causes d'une excentricité sont multiples : elle peut être due à la flexion de l'arbre, à un phénomène d'usure ou au désalignement des roulements, à un positionnement incorrect du rotor ou du stator au moment de l'assemblage, à l'ovalité du rotor ou de la partie intérieure du stator ou à un fonctionnement du moteur au-delà d'une vitesse limite qui provoque des résonances [8].

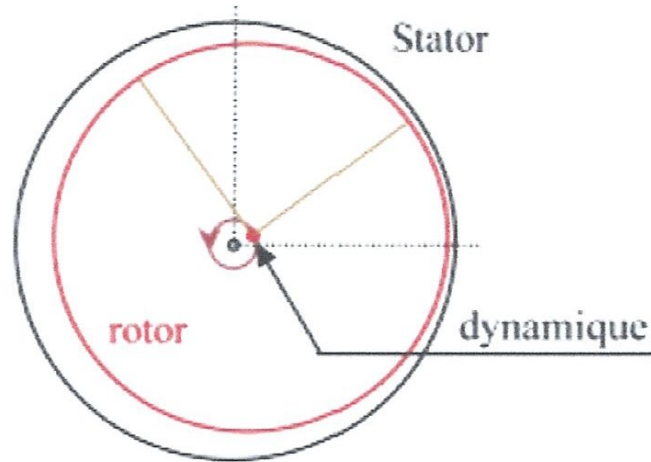


Figure.II.10 : Moteur asynchrone avec rotor excentrique

La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques s dans le spectre du courant statorique à des fréquences ($d.f$) données par l'expression ci-dessous [11] [12].

$$f_d = f \left[\frac{(kn_b \pm n_d)}{p} (1 - s) \pm v \right] \quad (\text{II.16})$$

Où :

- n_b le nombre de barres rotoriques,
- n_d le nombre d'ordre d'excentricité : $d n = 0$ pour l'excentricité statique et $n_d = 1, 2, 3, \dots$ pour l'excentricité dynamique,
- p le nombre de paires de pôles,
- v l'ordre des harmoniques de temps de la F.M.M, ($v = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \dots$ etc.)

La présence de l'excentricité mixte crée des harmoniques de basses fréquences données par la relation :

$$f_m = |f \pm k f_r| \quad (\text{II.17})$$

Où

$$f_r = f(1 - s)/p \text{ et } k=1,2,3 \quad (\text{II.18})$$

Ces défauts engendrent les problèmes suivants :

- déséquilibre des tensions et courants de ligne.
- augmentation des pulsations de couple.
- réduction du couple moyen.
- échauffement excessif.
- augmentation des pertes et réduction du rendement

II.5 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes de diagnostic et de détection de défauts Certaines d'entre elles se basent 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). Puis nous avons présenté les différents types de défauts statorique et rotorique, d'ordre électrique ou mécanique affectant le moteur asynchrone.

Dans le prochain chapitre nous allons voir les résultats de simulation de certains défauts statoriques du moteur asynchrone à cage.

Chapitre III Simulation des défauts statoriques de la machine asynchrone

III.1- Introduction :

Comme tout projet, l'expérimentation en laboratoire ou en atelier est une étape obligatoire pour valider un prototype mais la simulation numérique s'impose comme une deuxième approche dans la plupart des disciplines. Elle ne remet nullement en cause l'efficacité de l'expérimentation mais elle s'efforce à apporter des explications aux phénomènes étudiés pour mieux comprendre et prévoir des perspectives futures. Le logiciel MATLAB joue plus que jamais un rôle respectable dans le monde des logiciels de simulation, possédant une large base de données et incluant l'outil Simulink pour les simulations électrotechniques [15].

Dans ce chapitre, on étudiera les performances du moteur asynchrone saint et en présence de défauts, à partir de la signature des courants statoriques, de la vitesse de rotation et du couple électromagnétique pour plusieurs types de défauts statoriques, tels que : coupure d'une phase statorique, surcharge et sur / sous tension.

III.2. Modélisation du moteur asynchrone à cage :

Les équations générales (III.1, 2, 3, 4) décrivant le fonctionnement des moteurs à courant alternatif dans un référentiel d-q se retrouvent dans la littérature technique consacrée aux machines électriques.

$$u_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega_a \varphi_{qs} \quad (\text{III.1})$$

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega_a \varphi_{ds} \quad (\text{III.2})$$

$$u_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} - (\omega_a - \omega_r) \varphi_{qr} \quad (\text{III.3})$$

$$u_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} + (\omega_a - \omega_r) \varphi_{dr} \quad (\text{III.4})$$

En réécrivant les équations précédentes dans un référentiel stationnaire d-q ($\omega_a = 0$), on obtient le modèle de la partie électrique du moteur asynchrone :

$$u_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} \quad (\text{III.5})$$

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} \quad (\text{III.6})$$

$$0 = R_r i_{dr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} + \omega_r \varphi_{qr} \quad (\text{III.7})$$

$$0 = R_r i_{qr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} - \omega_r \varphi_{dr} \quad (\text{III.8})$$

Le rotor du moteur asynchrone à cage étant fermé sur lui même (court-circuité), donc on prend u_{dr} et u_{qr} égales à zéro.

Les flux couplés statoriques et rotoriques sont obtenus à partir des inductances propres et mutuelles :

$$\varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_{sr} i_{dr} \quad (\text{III.9})$$

$$\varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_{sr} i_{qr} \quad (\text{III.10})$$

$$\varphi_{dr} = L_r i_{dr} + L_{sr} i_{ds} \quad (\text{III.11})$$

$$\varphi_{qr} = L_r i_{qr} + L_{sr} i_{qs} \quad (\text{III.12})$$

L'équation du couple électromagnétique du moteur est :

$$C_{em} = \frac{3}{2}p[\varphi_{ds}i_{qs} - \varphi_{qs}i_{ds}] = \frac{3}{2}pL_{sr}(i_{qs}i_{dr} - i_{ds}i_{qr}) \quad (\text{III.13})$$

L'équation du mouvement, reliant les parties électrique et mécanique s'écrit comme suit :

$$J \frac{d\Omega_m}{dt} = C_{em} - C_r \quad (\text{III.14})$$

Les tensions biphasées dans l'équation (2) sont obtenues comme suit :

$$u_{ds} = \sqrt{\frac{2}{3}}(u_{as} - \frac{1}{2}u_{bs} - \frac{1}{2}u_{cs}) \quad (\text{III.15})$$

$$u_{ds} = \sqrt{\frac{2}{3}}(\frac{\sqrt{3}}{2}u_{bs} - \frac{\sqrt{3}}{2}u_{cs}) \quad (\text{III.16})$$

Les équations de transformation inverse des courants statoriques sont :

$$i_{as} = \sqrt{\frac{2}{3}}i_{ds} \quad (\text{III.17})$$

$$i_{bs} = \sqrt{\frac{2}{3}}(-\frac{1}{2}i_{ds} + \frac{\sqrt{3}}{2}i_{qs}) \quad (\text{III.18})$$

$$i_{cs} = \sqrt{\frac{2}{3}}(-\frac{1}{2}i_{ds} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{qs}) \quad (\text{III.19})$$

III.3. Simulation de la Machine asynchrone :

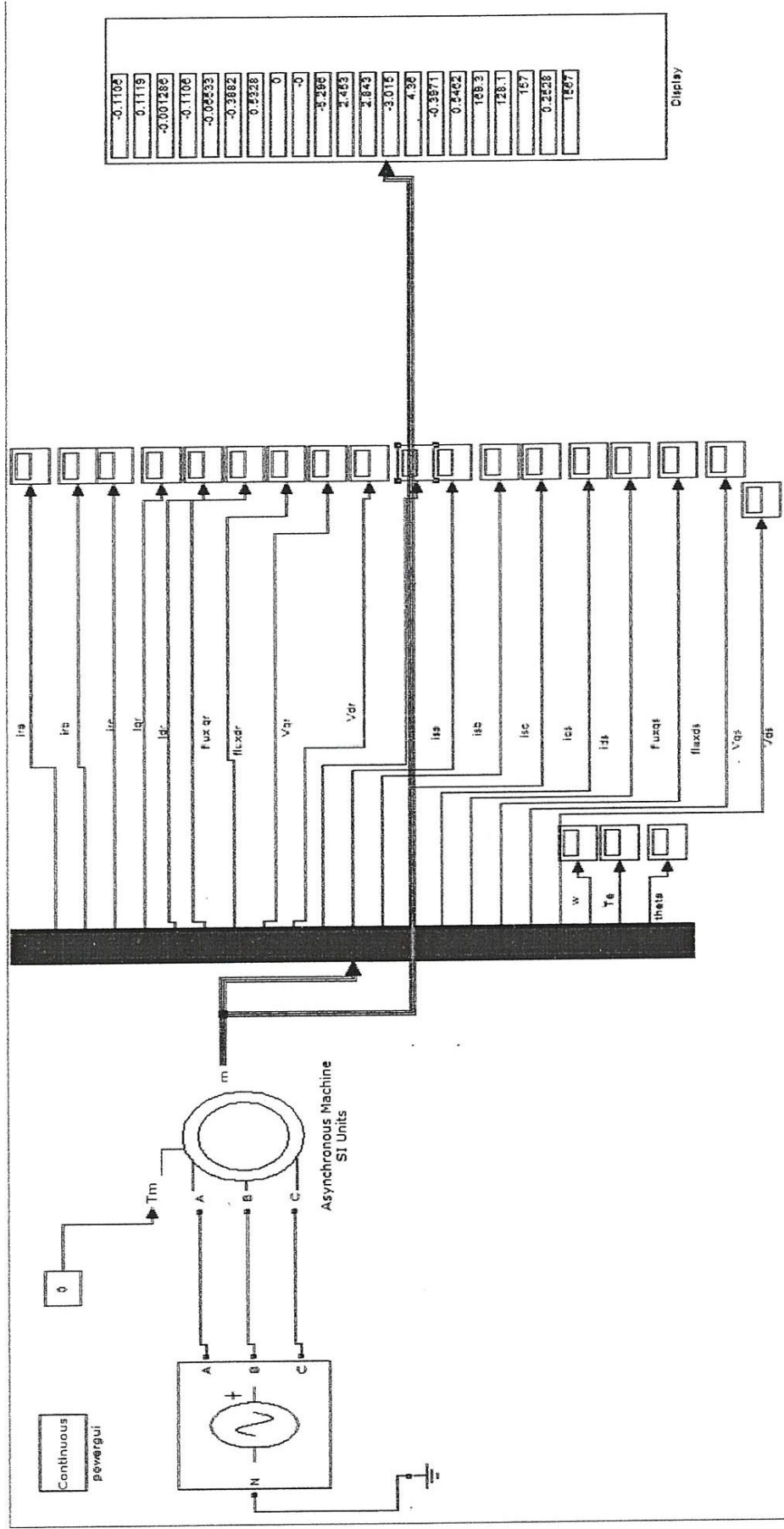
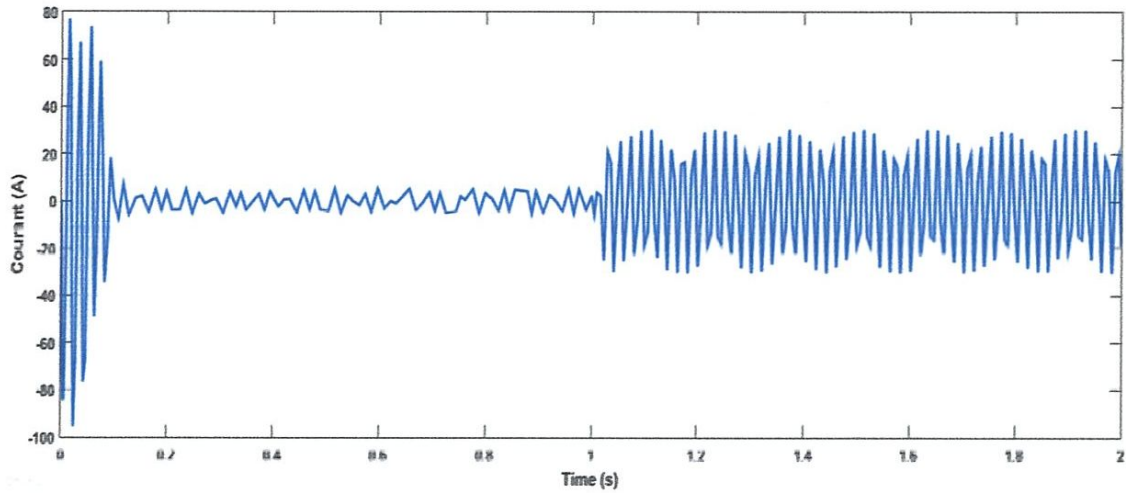


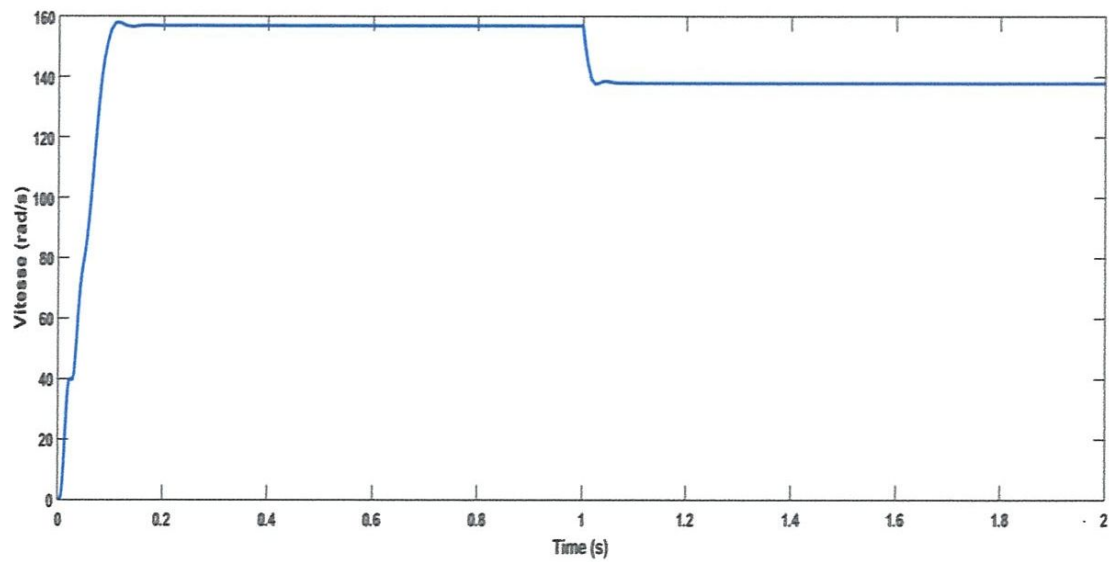
Figure III.1 : Schéma de simulation sous Simulink

III.3.1 Résultats de simulation d'un moteur saint:

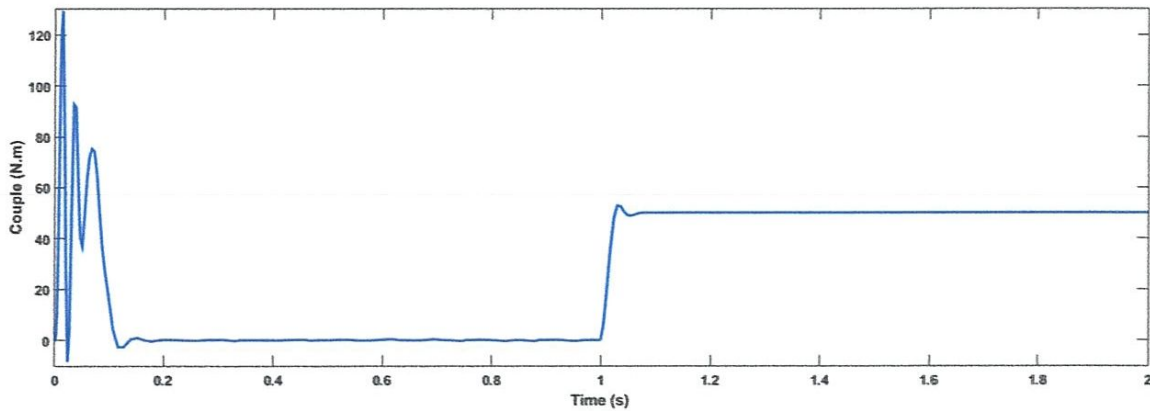
La figure III.2 suivante montre les résultats de simulation du processus de démarrage à vide du moteur asynchrone saint, suivi de l'application d'une charge de 50 Nm à l'instant 1.00s. Les figures a, b, c représentent respectivement les courbes du courant statorique, de la vitesse et du couple électromagnétique.



(a)



(b)



(c)

Figure III.2 : Résultats de simulation d'un démarrage à vide suivi d'application d'une charge de ($C_r=50$ Nm) à ($t= 1.00s$)

On remarque que le régime transitoire est oscillatoire pendant une durée de 0.1s qui caractérise la phase de démarrage, suivi de la marche à vide entre 0.1s et 1 s, pour les différentes grandeurs de la machine à savoir le courant statorique, la vitesse de rotation et le couple :

- On note que les courants statoriques ont une valeur importante au démarrage avant la convergence vers des faibles valeurs due l'effet réactif de la machine asynchrone.
- La vitesse atteint une valeur proche de (158rad/s), durant le fonctionnement à vide.
- Le couple électromagnétique atteint une valeur maximale de (130 N.m) durant la phase de démarrage.

Lors de l'application de la charge, nous remarquons que la machine répond à cette perturbation, par une augmentation du courant absorbé, une diminution de la vitesse et une augmentation du couple électromagnétique qui atteint la valeur du couple de charge (50 Nm).

III.3.2. Simulation des différents défauts statoriques :

III.3.2.1 Défaut de coupure d'une phase d'alimentation :

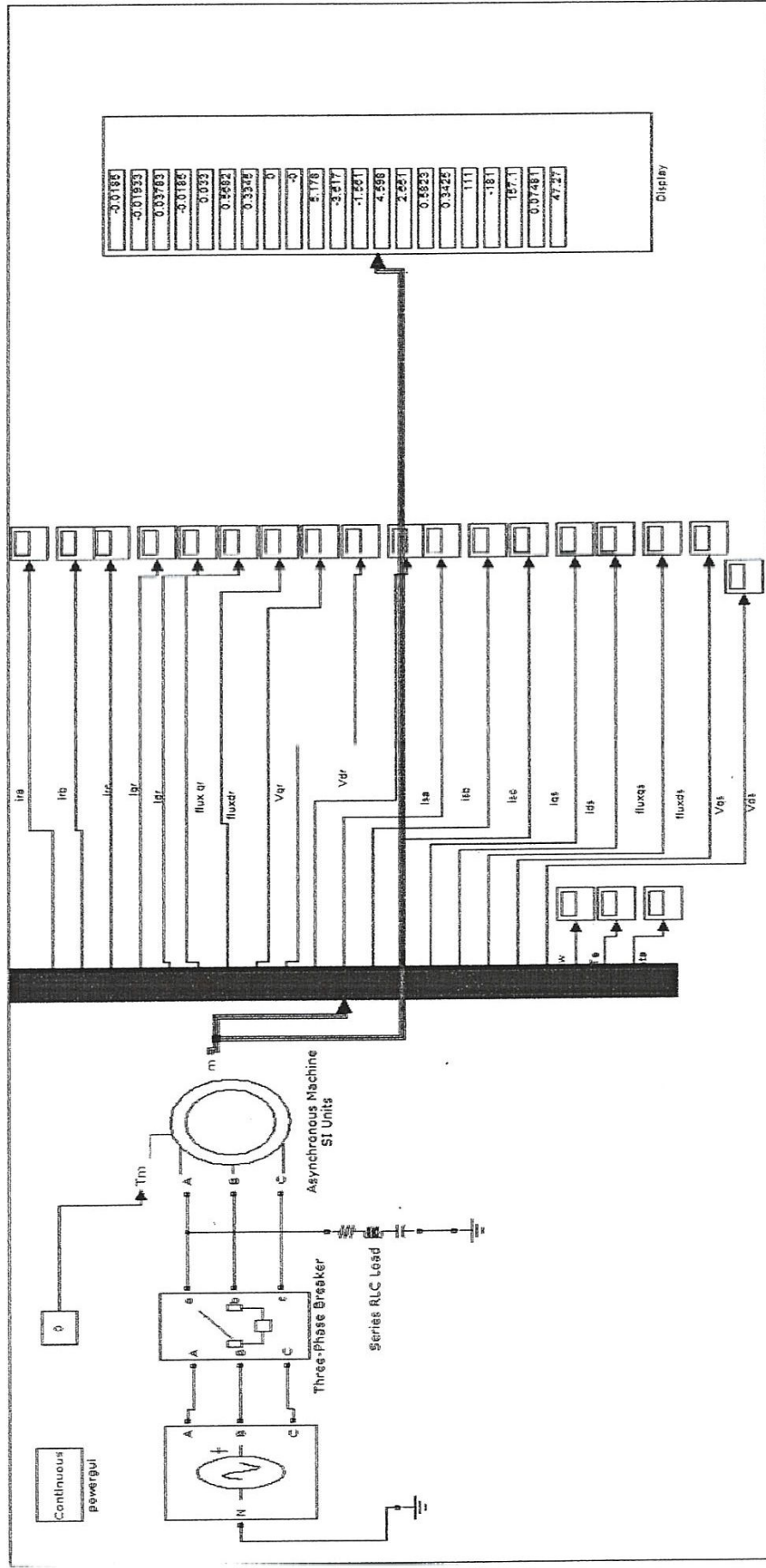
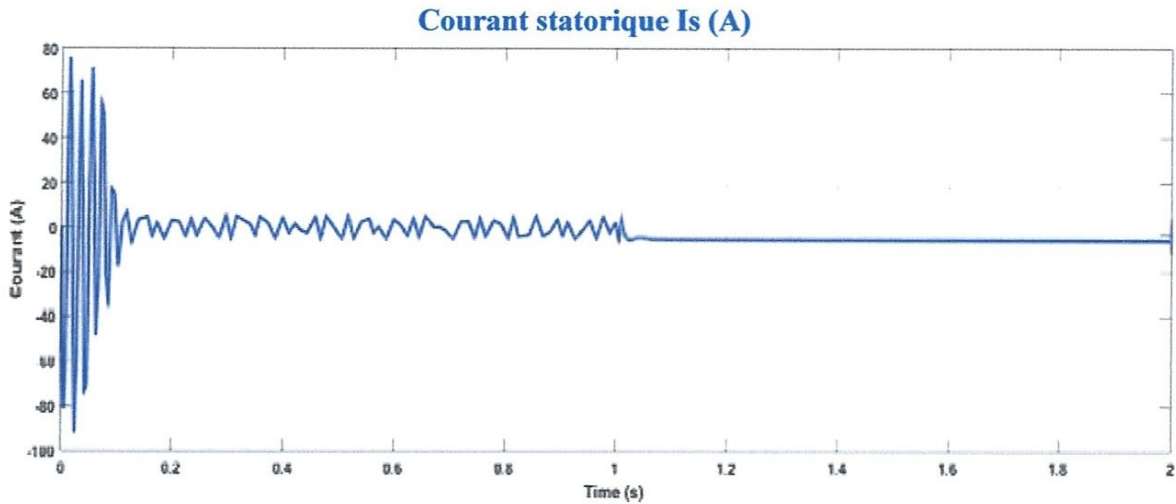
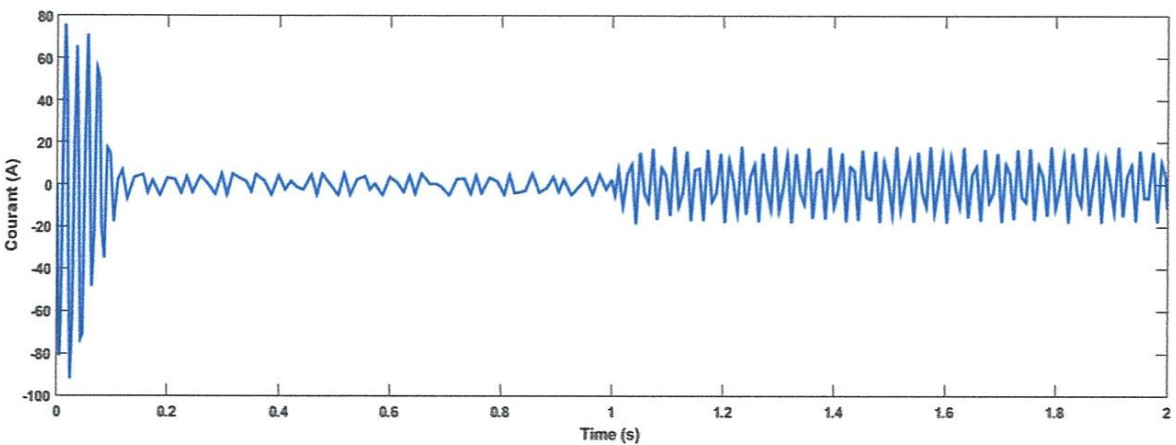


Figure III.3 : Modèle de simulation de coupure d'une phase d'alimentation

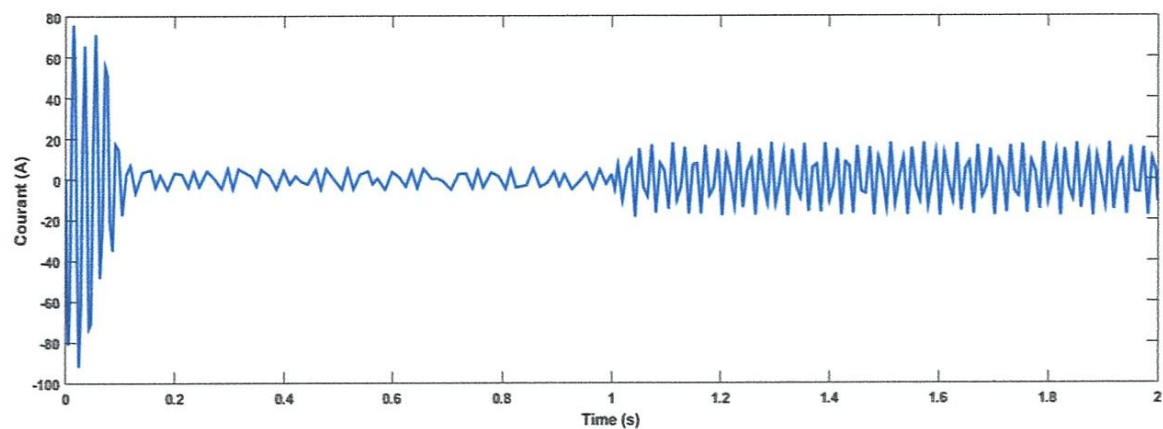
Le défaut de coupure d'une phase est simulé avec l'une des trois phases d'alimentation. Le courant est maintenue à zéro, à l'instant $t= 1.00s$, les résultats de simulation de la Figure (III.4) sont obtenues pour un défaut de coupure de la phase (a). D'après ces résultats de simulation, on constate qu'au cours du fonctionnement du moteur avec deux phases, pour compenser le courant de la phase A, le courant circulant dans les deux phases prend des valeurs excessives supérieures à la valeur nominale. De ce fait, une température plus élevée sera générée dans l'enroulement statorique qui peut provoquer l'endommagement du bobinage. Le modèle de simulation de ce défaut est donné par la figure III.3.



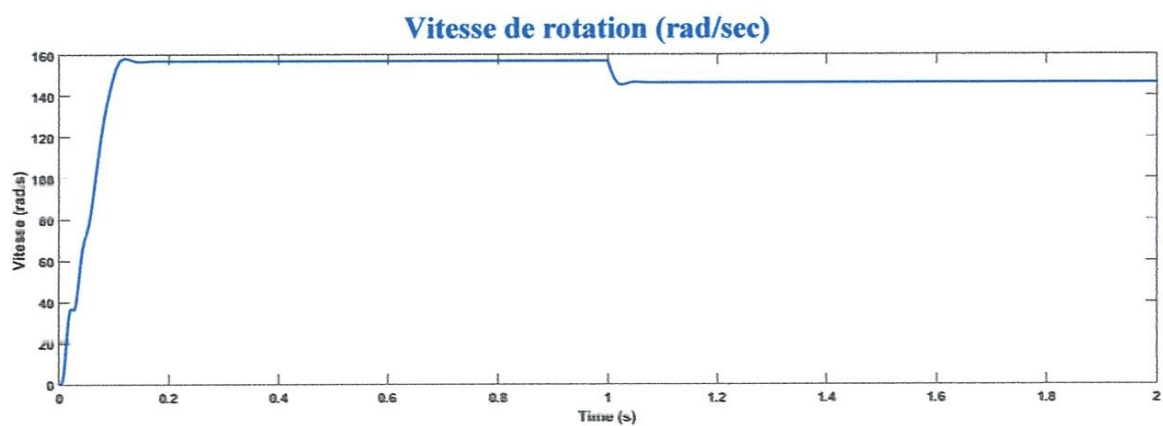
I_{sa}



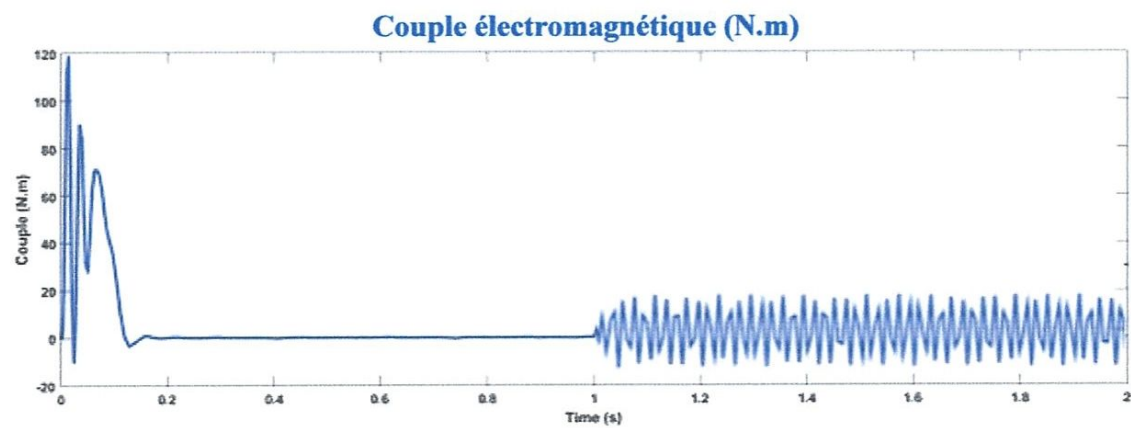
I_{sb}



Isc



Vitesse de rotation (rad/sec)



Couple électromagnétique (N.m)

Figure III.4 : Résultats de simulation durant le défaut de coupure de la phase A (à $t= 1.18s$)

III.3.2.2 Moteur asynchrone en présence de défaut de surintensité (surcharge) :

Le défaut de surcharge est simulé en augmentant le couple de charge du moteur, en changeant le couple résistant C_r . Les courants statoriques, la vitesse de rotation et le couple électromagnétique au cours de différentes situations sont présentés dans la Figure III-6. D'après les résultats de simulation dans les conditions de défaut de surcharge, on constate que le moteur fait appel des courants forts du réseau électriques ce qui provoque la surchauffe de la machine, la vitesse du moteur tend vers zéro lorsque le couple résistant dépasse 175 Nm.

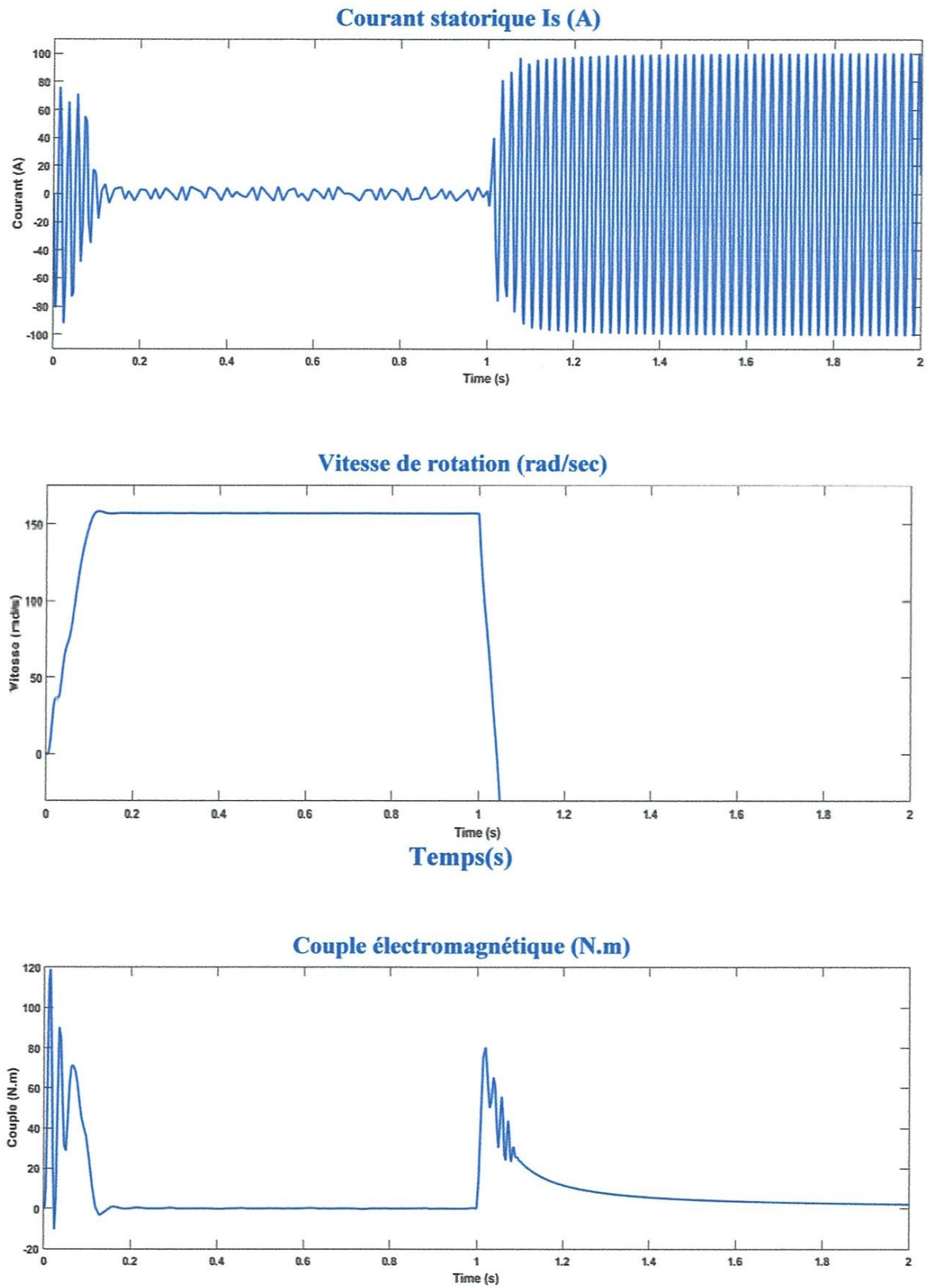


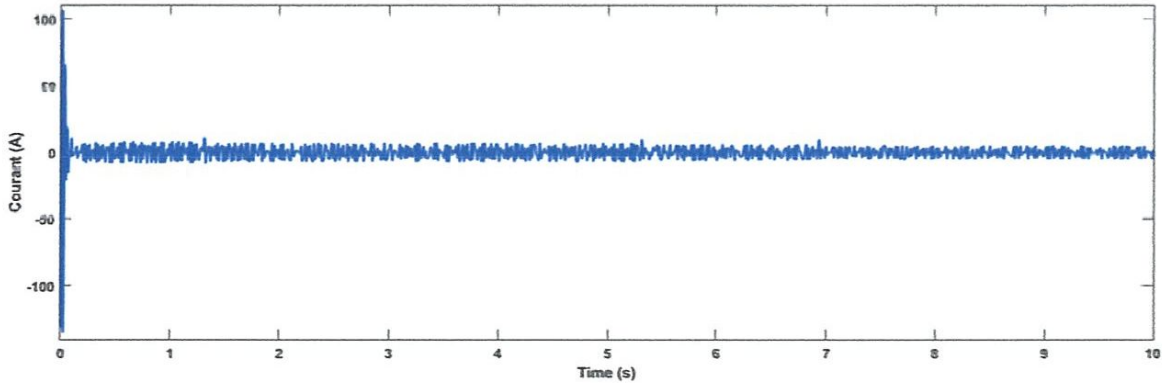
Figure III.5 : Résultats de simulation en cas de surcharge du moteur

III.3.2.3 Défaut de sous/surtension d'alimentation :

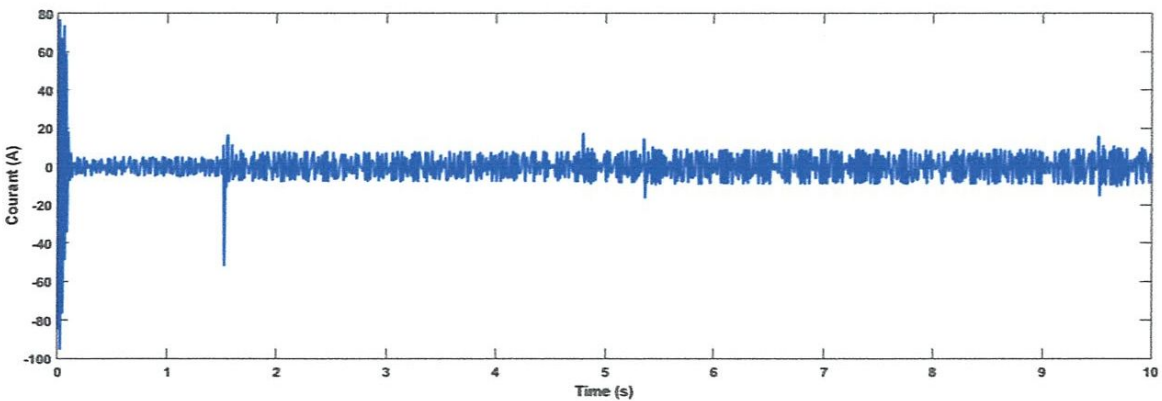
Le défaut de sous tension est simulé par la réduction de la tension maximale sur les trois phases d'un certain pourcentage lorsque le moteur fonctionne dans des conditions normales. Les figures III-6 (a) montre les caractéristiques de performance au cours de l'état de sous-tension à vide.

Le défaut de surtension est simulé par l'application d'une tension supérieure à la nominale d'un certain pourcentage, entre les trois phases du moteur fonctionnant à vide. Les figures III-6 (b) montre les caractéristiques de performance au cours de l'état de surtension à vide.

Courant statorique I_s (A)

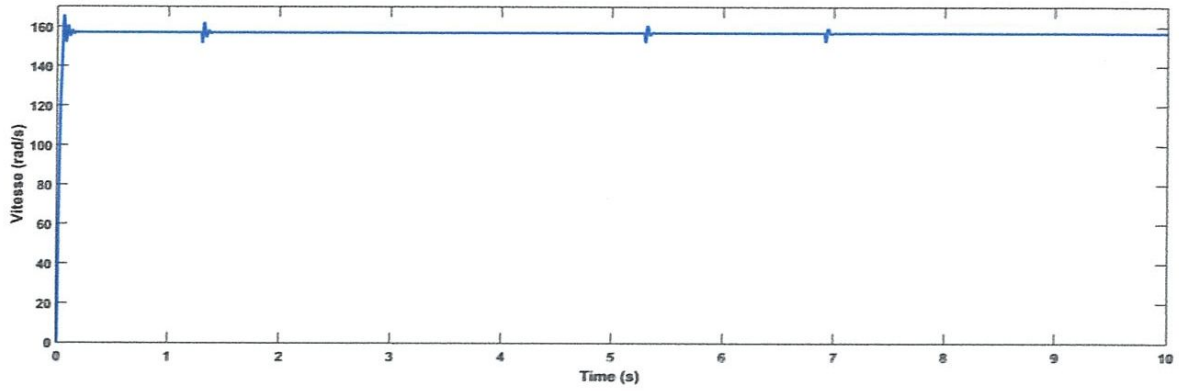


(a)

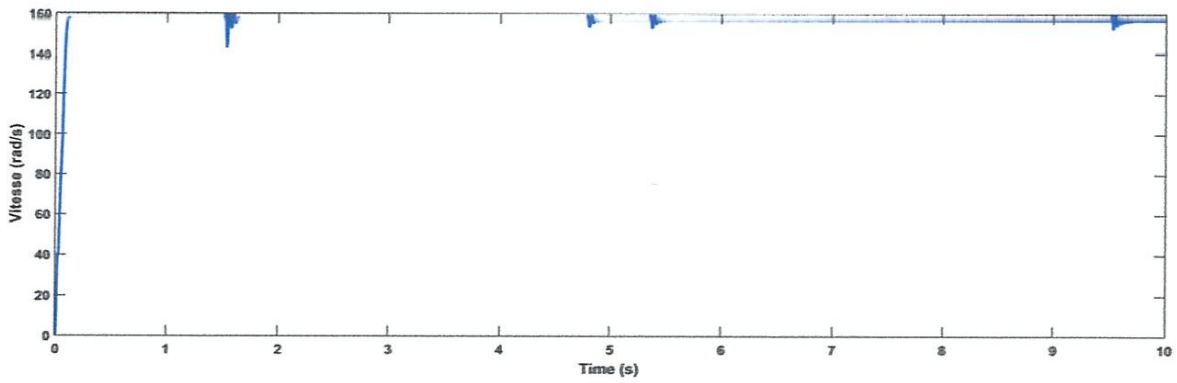


(b)

Vitesse de rotation (rad/sec)



(a)



(b)

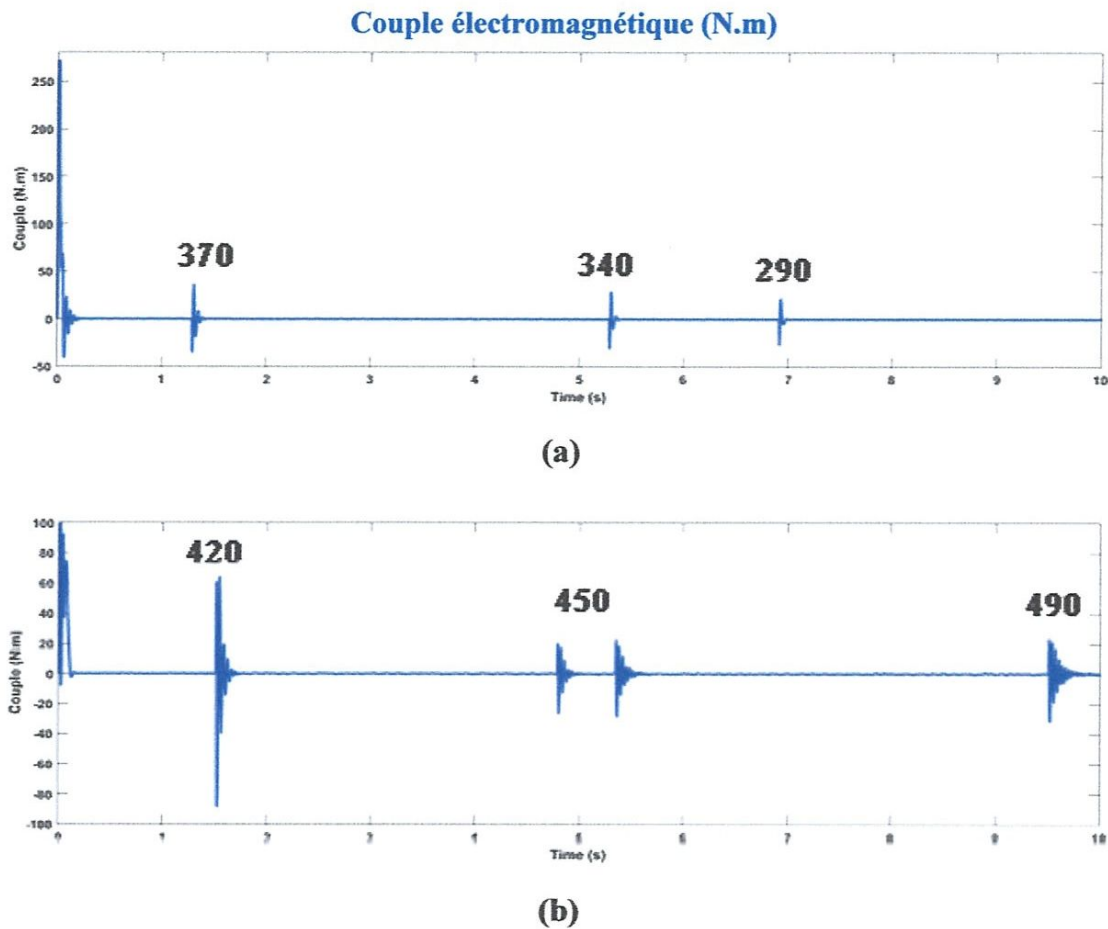


Figure III.6 : Résultats de simulation durant le défaut sous/surtension

a) sous tension b) sur tension

III.4 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances du moteur asynchrone triphasé en présence de défauts statoriques externe en utilisant MATLAB/SIMULINK.

La simulation sous MATLAB/SIMULINK nous a permis de prévoir le comportement du moteur en cas de présence de certains défauts, que nous avons étudié, pour prendre les précautions nécessaires qui nous permettent d'éviter d'endommager le moteur durant son fonctionnement.

Nous avons remarqué à travers les résultats de simulation obtenus que la machine peut entrer dans un état de déséquilibre ou être complètement endommagée, en cas de rupture d'une phase, de surcharge ou en cas de sous ou surtension. Dans ce cas un système de protection s'avère nécessaire pour la protéger.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le choix du moteur asynchrone est justifié par le succès grandissant qu'il a suscité, notamment, dans les entraînements électriques à vitesse variable. Sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique, surtout sa quasi-absence d'entretien, justifient son omniprésence dans le secteur industriel. Malgré ces avantages, il est donc important de développer des systèmes de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant apparaître dans ce type de machines.

Pour aborder l'étude du diagnostic des défauts, qui a fait l'objet de ce mémoire, nous avons donné une description succincte de la machine asynchrone triphasée, puis nous avons présenté quelques concepts de la liaison mécanique de la machine asynchrone avec le mécanisme entraîné, pour lui transmettre la puissance. De ce fait, tout défaut dans la liaison mécanique conduit à l'échec de la machinerie et sa dégradation.

Après avoir identifié les différents défauts affectant la machine asynchrone à cage et les différentes méthodes de leurs diagnostics, nous avons fait une simulation sous MATLAB/SIMULINK de cette machine à l'état sain et en présence des défauts statoriques externe, grâce à ces résultats, nous avons identifié l'impact de ces problèmes sur les caractéristiques électromécaniques du moteur (courant statorique, couple et vitesse), ce qui permet de prendre les précautions nécessaires qui nous permettent d'éviter d'endommager le moteur durant son fonctionnement.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] "ABID Abderahmane " La Commande par DTC-SVM d'une machine asynchrone triphasé à cage " Mémoire de fin d'études " Université M'hamed Bougara De Boumerdes 2012.
- [2] "www.schneider-electric.com" [Les moteurs électriques]
- [3] DIDIER Yacine, " Modélisation et Simulation des Machines Asynchrones" Mémoire de fin d'études université de 2007
- [4] MULLER G., LANDY C., "Vibration produced in squirrel-cage induction motors having broken rotor bars and interbar currents", International Conferences on Electrical Machines, 1994.
- [5] Bachir S, « Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique », Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 2002.
- [6] D.Sator-Namane, "Machine à courant alternatif". Edition Ellipses, 2010.
- [7] MACHINES ASYNCHRONES "Cours et Problèmes" O1MM 2e année
Cahier technique n° 207.
- [8] P.J. Travner, B.G. Gaydon and D.M. Ward, "Monitoring generator and large motors", IEE Proceeding May, 1986.
- [9] Hubert Razik et Gaëtan Didier, "Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone", Notes de cours, I.U.F.M. de Lorraine, Maxéville, 7 janvier 2003.
- [10] 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.
- [11] Hubert Razik, " Le contenu spectral du courant absorbé par la machine asynchrone en cas de défaillance, un état de l'art", Green-UHP.Faculté des Sciences. Revue 3EI n°29-Juin 2002 page 48- 52.
- [12] A. H. Bonnett and G.C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 28, no. 4, July/August 1992, pp. 921-937.

Bibliographie

- [13] Drif.Malika, “Diagnostic des Défaits dans les Machines Electriques et leur Surveillance par Emploi de l’Intelligence Artificielle ”, Thèse Magister 2004.USTMBO.
- [14] A. Bendiabdellah, N.Benouzza, D.Toumi, “Cage motor faults detection algorithm using speed estimation and current analysis”, Acta Electrotechnica et Informatica No. 2, Vol. 7, 2007.
- [15] Chaouche Riadh, Chetti Sif Eddine “ *Détection et diagnostic de défauts statorique externe d’un moteur asynchrone triphasé à l’aide de la carte ARDUINO MEGA 2560* ” mémoire fin d’études, université KASDI MERBAH- OUARGLA.
- [16] Sadki nour elhouda « simulation des défauts statorique d’un moteur asynchrone » thèse master université de ouargla,. Juan 2015.
- [17] Mr. BENSMAINE Mustapha, “ Réalisation d’un Banc d’Essai Destiné au Diagnostic des Défaits d’Excentricité “mémoire de fin d’études, université, Mohamed BOUDIAF Orane, 2012.
- [18] MEDOUED AMMAR, “ surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : application aux moteurs asynchrones “ thèse doctorat, Université du 20 Août 1955-Skikda.

Annexes

Annexe

Paramètres du moteur	
Puissance	7.5 kw(10 Hp)
Nombre de pair de pôle	2
Facteur de frictions	0.000503
Voltage	400
Moment d'inertie	0.0343
Résistance d'une phase rotorique	0.7402
Résistance d'une phase statorique	0.7384
Inductance de fuite d'une phase statorique	0.003045
Inductance de fuite d'une barre rotorique	0.003045