



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE MASTER

Réalisé par :
MOKHTARI MOURAD
HADJADJ AHMED

DOMAINE : science et Technologie
FILIERE : Electrotechnique
OPTION : Machines Electriques

Thème

**Etude, conception et réalisation d'un banc d'essai pour
diagnostic des défauts rotorique et statorique d'un MAS
triphase**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. M.Mekhanath	MCA	Président
Mr. M.Biram	MAA	Examinateur
Mr. M.SAROUT	MCA	Encadreur
Mr. BESSEDIK Sid Ahmed	MCA	Co- Encadreur

Promotion : 2020/2021

Remerciements

Le premier à remercier et à louer pendant la nuit et à la fin de la journée est Dieu Tout-Puissant, qui nous a comblé de ses innombrables bénédictions et nous a accordé sa subsistance sans fin, il a illuminé nos chemins, nous a facilité et nous a permis d'accomplir cet humble travail. A Lui est la louange jusqu'à ce que la louange atteigne sa limite.

Dans nos derniers pas dans la vie universitaire, nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous les professeurs en général qui ont été la raison de mon arrivée à ce jour par leurs efforts et leur générosité d'information. Et à mes professeurs encadrant, en particulier, qui ont eu tout le mérite de la réalisation de cette recherche scientifique, en leur présence, M. Sarout Muhammad au niveau pratique et M. Bessedik sid Ahmed au niveau théorique ainsi que le jury qui nous honorera à la discussion de cette thèse, M. Biram Mohammad et M. Hadjadj Merouane. Sans oublier M. Karboun Khaled, qui a contribué à faciliter le travail en mettant à disposition un laboratoire.

Soyez un érudit.... Si vous ne pouvez pas, alors soyez éduqué.... Si vous ne pouvez pas, alors aimez les érudits Enfin, nous espérons que nous aurons ajouté une goutte dans la mer de la connaissance et que cet humble travail sera utile aux chercheurs et aux étudiants.

Dédicaces

Ahmed

*A qui le Seigneur - Gloire à Lui - a placé le Paradis sous ses pieds, et la vénéré dans Son Livre
Puissant ma chère mère*

Mme. khaira

*A celui qui a été le meilleur exemple pour le chef de famille, qui n'a jamais hésité à m'ouvrir le
chemin du bien et du bonheur. A mon estimé père*

M. Abdessalam

*Sur qui je compte dans chaque grand et petit, mes frères : Abdelkader, Akram. et sœurs : Wafa et
Samah*

A tous ceux qui n'ont pas hésité à me tendre la main

Je vous dédie mon humble travail.

Mourad

A mes parents

*Source de mes joies, secret de ma force, qui m'ont donné courage et m'ont toujours incitée à aller
de l'avant, qui m'ont offert l'espoir d'atteindre mon but et qui n'ont jamais cessé de croire en moi et
qu'ils voient en ce travail le fruit de leurs sacrifices*

A mes sœurs et bien sûr à mon cher frère Abderrahmane

A ma chère amie Chabni Milina

A mon binôme de ce mémoire : Hadjadj Ahmed

*En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés
ensemble, je te remercie.*

الملخص : تعد الآلة غير المتزامنة واحدة من أكثر الأجهزة شيوعا في الصناعة، وذلك بفضل كلفتها المنخفضة والمتانة والموثوقية التي تتميز بها. ومع ذلك، تتأثر هذه الآلة بالأعطاب المختلفة التي يمكن أن تؤدي إلى توقف الإنتاج. من أجل ضمان استمرارية الإنتاج وتقليل تكاليف الصيانة، يصبح تشخيص هذه الأجهزة أمرا لا مفر منه. يتعلق هذا العمل بنمذجة وتحليل محرك غير متزامن ثلاثي الطور ذو قفص السنجاب في التشغيل الطبيعي (الحالة الصحية) وغير الطبيعي، كوجود عيب على مستوى الثابت على وجه الخصوص، اعطاب الدارة قصيرة بين حلقات الجزء الثابت وايضا اعطاب الجزء المتحرك المتمثلة في وجود تشققات او كسر في قفص السنجاب

الكلمات المفتاحية : التشخيص، اعطاب ، دارة قصيرة، عطب جزء الدوار،آلات غير متزامنة.

Résumé : La machine asynchrone est l'une des machines les plus consultées dans l'industrie, grâce à son faible coût, sa robustesse et sa fiabilité. Cependant, cette machine est impactée par des divers défauts qui peuvent mener à l'arrêt de la production. Afin de garantir la continuité de la production et diminuer les coûts de maintenance, le diagnostic de ces machines devient incontournable. Ce travail porte sur la modélisation et l'analyse d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil en fonctionnement normal (état sain) et anormal (présence d'un défaut statorique). En particulier, nous sommes intéressés au diagnostic de défauts de court-circuit entre spires d'un enroulement statorique et la rupture ou fissure de cage rotorique

Mots clés : Diagnostic, Défauts, Court-circuit, défaut rotorique, Machines asynchrones.

Abstract: The asynchronous machine is one of the most popular machines in the industry, because of its low cost, robustness and reliability. However, this machine is impacted by various faults that can lead to production stoppage. In order to guarantee the continuity of production and reduce maintenance costs, the diagnosis of these machines becomes essential. This work involves the modeling and analysis of a three-phase squirrel cage asynchronous motor in normal (healthy) and abnormal (presence of a stator defect). In particular, we are interested in the diagnosis of short-circuit faults between the turns of a stator winding and the rupture or fissure of rotor cage.

Keywords : Diagnosis, Faults, Short-circuit, rotor defect, Asynchronous machines.

Liste des figures

Partie I

Figure (I.1) Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil	3
Figure (I.2) Cage d'écureuil	4
Figure (I.3) Répartition des pannes sur les moteurs de faibles et moyennes puissances	6
Figure (I.4) Répartition des pannes des machines de fortes puissances	6
Figure (I.5) Différents défauts statorique	8
Figure (I.6) Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte.	9
Figure (I.7) Défaut rupture de barres et d'anneau de court-circuit	9
Figure (I.8) Représentation les repères $\alpha\beta$, dq	12
Figure (I.9) Les courants statorique au fonctionnement sain du moteur	14
Figure (I.10) La vitesse rotorique (sain)	14
Figure (I.11) Le couple mécanique (sain)	14
Figure (I.12) Caractéristique mécanique de la machine saine	15
Figure (I.13) Les courants statorique de la machine en court-circuit de 1% dans la phase 2	15
Figure (I.14) La vitesse rotorique au défaut statorique	15
Figure (I.15) Le couple mécanique au défauts statorique	15
Figure (I.16) Les caractéristiques mécaniques de machine avec défaut statorique	16
Figure (I.17) Les courants statorique de la machine avec un défaut rotorique	16
Figure (I.18) La vitesse rotorique au défaut rotorique	16
Figure (I.19) Le couple mécanique au défaut rotorique	16
Figure (I.20) Caractéristiques mécaniques au défaut rotorique	17
Figure (I.21) Les courants statorique dans la machine avec défauts mixtes	17
Figure (I.22) La vitesse rotorique au défauts mixtes	17
Figure (I.23) Le couple mécanique au défaut mixtes	17
Figure (I.24) Caractéristiques mécaniques avec défauts mixtes	18

Partie II

Figure (II.1) Plaque signalétique de notre machine	20
Figure (II.2) Repérage de flasque	20
Figure (II.3) Démontage des flasques et les fils de connexion	21

Figure (II.4) Mesure le poids des bobines (a) et le diamètre de fil	21
Figure (II.5) Nettoyage de stator	22
Figure (II.6) Couper le papier d'isolation	22
Figure (II.7) Former l'isolateur	22
Figure (II.8) Monter l'isolateur	22
Figure (II.9) Mesure de gabarit de bobines (a) (b), et former les bobines (c) (d)	23
Figure (II.10) Schéma de bobinage du moteur	23
Figure (II.11) Montage des bobines dans le stator	24
Figure (II.12) Soudure des fils de connexion	24
Figure (II.13) Coudre le bobinage	24
Figure (II.14) Vernissage de bobinage	24
Figure (II.15) Finalisation des moteurs	25
Figure (II.16) Les défèrent connexion des bobines	25
Figure (II.17) Perçage de barre rotorique	26
Figure (II.18) Plaque des bornes de notre moteur	26
Figure (II.19) Les étapes de conception du chariot	27
Figure (II.20) Schéma de montage	28
Figure (II.21) Le courant de la phase 1 et l'analyse FFT	29
Figure (II.22) Capteur de courant LTS 25-NP [annexe]	29
Figure (II.23) Courant de phase 1 au défaut -0.5% spires (à vide)	30
Figure (II.24) Courant de phase 1 au défaut -3% spires (en charge)	30
Figure (II.25) Courant de phase 1 au défaut rotorique (à vide)	31
Figure (II.26) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -1% spires a vide	32
Figure (II.27) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -1% et -3% spires à vide	33
Figure (II.28) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -3% spires en charge	34
Figure (II.29) Courants statoriques a l'état sain	35
Figure (II.30) Courants statoriques pour un défaut de -3 % de spires sur la phase 3 (c) et la phase Isb (d)	35
Figure (II.31) Courant statorique au défaut d'une rupture de barre	36
Figure (II.32) Courant statorique phase 1 au défaut fissure d'une barre	36

Liste des tableaux

Partie I

Tableau I.1 : Défauts des machines électriques selon leurs origines	5
---	---

Partie II

Tableau (II.1) Résultat des mesures de l'essai à vide	28
Tableau (II.2) Résultat des mesures a rotor bloqué	28
Tableau (II.3) Résultat des courants statorique au défaut de court-circuit à vide	29
Tableau (II.4) Résultat des courants statorique au défaut -3% spires en charge	29
Tableau (II.5) Résultat des mesures de l'essai à vide	30
Tableau (II.6) Résultat des mesures a rotor bloqué	30
Tableau (II.7) Résultat des courants statorique au défaut mixte à vide	31
Tableau (II.8) Résultat des courants statorique au défaut mixte -3% spires en charge	31

Liste abrégations

x_{dq0}	Système biphasé
x_{abc}	Système triphasé
d, q	Axes correspondants au référentiel lié au champ tournant.
N	La vitesse de rotation du champ tournant.
P	Nombre de pair de pôles.
V_{sd}	Tension statorique d'axe d
V_{sq}	Tension statorique d'axe q.
V_{rd}	Tension rotorique d'axe d.
V_{rq}	Tension rotorique d'axe q.
R_s	Résistance d'une phase statoriques.
R_r	Résistance d'une phase rotorique
i_{sd}, i_{sq}	Courant statorique d'axe (d,q).
i_{rd}, i_{rq}	Courant rotorique d'axe (d,q).
ω_r	Vitesse de rotation électrique ($\omega_r = p.\Omega$) [rad/s].
Ω	Vitesse de rotation mécanique [rad/s].
$\varphi_{sd}, \varphi_{sq}$	Flux statorique d'axe (d, q).
$\varphi_{rq}, \varphi_{rd}$	Flux rotorique d'axe (d, q).
C_{em}	Couple électromagnétique.
C_r	Couple résistant.
J	Moment d'inertie de la partie tournante de la machine.
$V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}, V_{sabc}$	Tensions d'alimentation du statoriques.
V_{rabc}	Tensions d'alimentation du rotoriques.
$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}, \varphi_{abc}$	Flux statorique.
$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$	Flux rotorique.
$i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}, I_{abc}$	Courant statorique.
$i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}, i_{rabc}$	Courant rotorique.
Msr	Inductance mutuelle entre phases statoriques, rotorique.
Ls, Lr	Inductance propre d'une phase statorique, rotorique.

$[T]$	La matrice de transformation directe de Park.
$[T]^{-1}$	La matrice de transformation inverse de Park.
ω_s	Pulsation électrique statorique
ω	La pulsation électrique rotorique.
f_r	Coefficient du frottement.
\dot{X}	Vecteurs d'état
R_f	Résistance de fuite
L_f	Inductance de fuite

Sommaire

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

Partie I

Introduction	2
I.1 Constitution de la machine asynchrone	3
I.1.1 Stator	4
I.1.2 Rotor	4
I.1.3 Paliers.....	4
I.2 Défaillances de la machine asynchrone	5
I.3 Défauts statoriques.....	7
I.3.1 Défauts d'isolant dans un enroulement	7
I.3.2 Court-circuit enter-spikes d'une même phase	7
I.3.3 Court-circuit entre deux phases.....	7
I.4 Défauts rotorique	8
I.4.1 Défauts de roulements.....	8
I.4.2 Excentricité	8
I.4.3 Défauts de rupture de barres et d'anneau de court-circuit	9
I.5 Modélisation de la machine asynchrone	10
I.5.1 Les équations électriques	11
I.5.2 Les équations magnétiques	11
I.5.3 L'équation du mouvement	12
I.5.4 Transformation de Park.....	12
I.5.5 Le modèle biphasé	13
I.5.5.1 Les équations électriques selon Park.....	13
I.5.5.2 Les équations des flux	13
I.5.5.3 Equation mécanique	13
I.5.5.4 Les vecteurs d'état	14
I.6 Simulation de la machine asynchrone.....	14
I.6.1 Simulation de machine saine.....	14
I.6.2 Simulation machine avec défaut statorique.....	15
I.6.3 Simulation machine avec défaut rotorique.....	16
I.7 Conclusion	18

Partie II

Introduction	20
II.1 Présentation des moteurs	20
II.2 Les étapes de rebobinage des moteurs.....	20
II.2.1 Le bobinage des moteurs	22
II.3 Défaut statorique.....	25
II.4 Défaut rotorique.....	26
II.5 La plaque des bornes	26
II.6 Fabrication de chariot	27
II.7 Essai moteur sain	28
II.7.1 Essai à vide	28
II.7.2 Essai rotor bloqué	28
II.7.3 Les résultats	28
II.8 Essai moteur avec défaut statorique	29
II.8.1 Les courbes	29
II.9 Défauts rotorique	30
II.9.1 Essai à vide	30
II.9.2 Essai à rotor bloqué	30
II.9.3 Les résultats	30
II.10 Défauts mixtes statorique et rotorique.....	31
II.11 Les interprétations	35
II.11.1 Etat moteur sain	35
II.11.2 Etat moteur au défaut statorique	35
II.11.3 Etat moteur au défaut rotorique	36
II.11.4 Etat moteur au défaut mixte.....	37
II.12 Conclusion	37
Conclusion générale	38
Bibliographie.....	39
Annexe	41

Introduction générale

Ce travail entre dans le cadre du diagnostic des défauts dans les machines électriques et spécialement le moteur asynchrone à cage d'écureuil. Le moteur asynchrone à cage est un composant clé de la plupart des équipements industriels, du fait de sa grande robustesse et son faible coût. Il est en effet, omniprésent dans les secteurs de pointes comme l'aéronautique, le nucléaire, la chimie, ...

La surveillance et le diagnostic des machines électriques représentent un enjeu scientifique et économique motivé par les objectifs de sûreté de fonctionnement et de continuité de service des entraînements électriques. Dès les premières applications industrielles des machines électriques, ce souci de continuité de service a motivé les ingénieurs électrotechniciens. Afin d'éviter les pannes, ils ont utilisé le retour d'expérience pour perfectionner la construction des machines et les rendre robustes. De plus, ils ont accumulé la connaissance des défauts et développé des techniques de diagnostic « manuelles », à l'image de ce qui s'est passé en mécanique et surtout en maintenance automobile. [1]

L'objectif principal de notre travail est l'étude des défauts statorique et les cassures de barres rotorique dans un moteur asynchrone triphasé à cage.

Pour cela, notre mémoire sera organisé comme suit :

Dans la première partie, nous allons présenter les constituants de la machine asynchrone triphasé puis nous citons les différentes défaillances qui pouvant survenir sur la machine en se basant sur les défauts statorique et rotorique, à la fin de cette partie nous allons faire une modélisation de la machine asynchrone triphasé afin d'y arriver à sa simulation. Les résultats de cette dernière seront comparés avec les résultats de la réalisation de la deuxième partie.

Dans la deuxième partie, nous présentons les moteurs que nous allons rebobiner d'une manière permettant de simuler les différents défauts. Puis nous allons fabriquer un Chariot en respectant les dimensions de la table du laboratoire. Tout cela afin d'y avoir un banc d'essai qui sera utilisé dans le diagnostic des machines. A la fin nous allons faire des essais sur nos moteurs qui nous permet de voir l'empreinte des courants en machine saine et avec des défauts soit rotorique/statorique ou leur combinaison.

Finalement, la conclusion générale récapitule le travail développé, commente les résultats trouvés et indique les perspectives de recherche ouvertes par cette étude.

Partie I

Etude théorique sur les défauts de MAS

Introduction

La machine asynchrone est la plus utilisée en industrie car elle présente de nombreux avantages tels que sa puissance massique, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre, son faible coût etc... Elle est composée de trois éléments essentiels à savoir le stator, le rotor et les organes mécaniques (les paliers). De nombreuses défaillances peuvent apparaître sur les machines asynchrones. Elles peuvent être électriques, mécaniques ou magnétiques. [4]

Dans cette partie, nous présentons les différents constituants de la machine asynchrone et les défauts qu'elle peut présenter. Les deux défauts choisis sont le défaut statorique du type court-circuit entre spires d'une même phase et le défaut rotorique du type rupture des barres. Ensuite, nous présenterons la modélisation de la MAS dans le repère triphasé et biphasé, A la fin de cette partie nous simulons le modèle de la machine saine et avec défauts. Puis on trace les courbes des résultats.

I.1 Constitution de la machine asynchrone

La machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants :

- Le stator (partie fixe) constitué de disques en tôles magnétiques portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.
- Le rotor (partie tournante) constitué de disques en tôles magnétiques empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement injecté.
- Les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles.

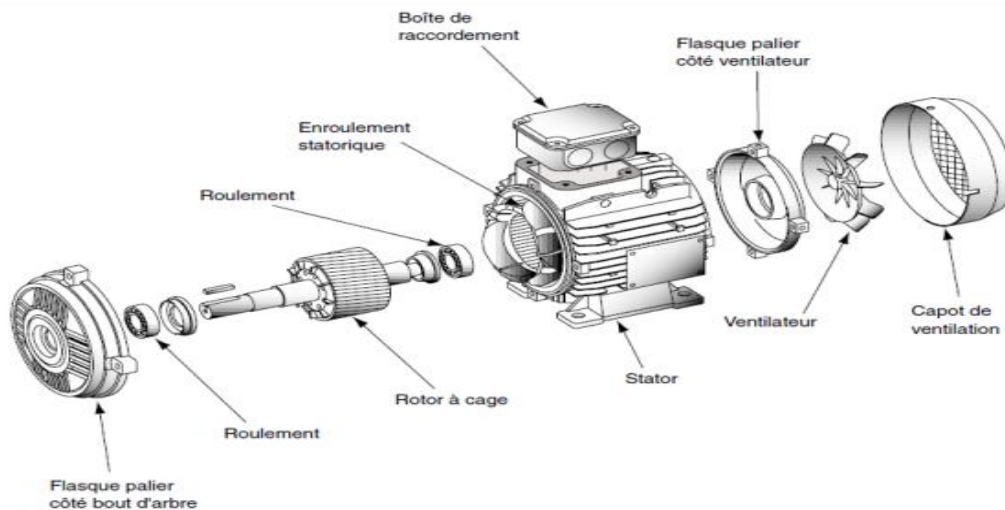


Figure (I.1) Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil

I.1.1 Stator

Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique formé d'un empilage de tôles. Ces tôles sont pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont pour les machines de puissance plus importante, découpées par sections. 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. Le stator d'un moteur asynchrone triphasé porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentriques. Il est couplé en étoile ou en triangle.

I.1.2 Rotor

C'est l'élément mobile du moteur, deux grandes catégories de moteurs asynchrones apparaissent suivant la structure de leur rotor qui peut être bobine ou à cage. Pour ces deux variantes, le circuit magnétique du rotor est un assemblage des tôles ferromagnétiques muni d'encoches. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0,4 à 2 mm

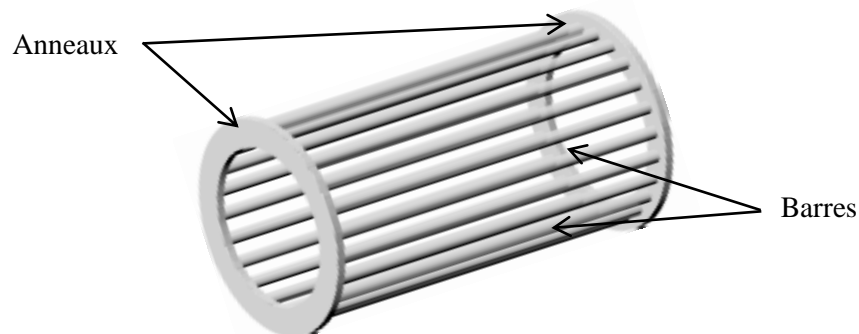


Figure (I.2) Cage d'écurieil

I.1.3 Paliers

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et permettre sa libre rotation, les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers, sur le second palier ces déplacements sont laissés libres pour compenser la dilatation thermique de l'arbre. Les dissymétries des reluctances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante [6]. On distingue deux types de paliers

- Paliers lisses
- Paliers à roulements

I.2 Défaillances de la machine asynchrone

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone. Elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques ou électriques. Leurs causes sont très variées. Dans le but d'une présentation synthétique, ces défauts peuvent se classer en deux familles principales interne et externe. [10]

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électrique, mécanique, magnétique, environnementale

Le tableau (I.1) donne un résumé les Défauts des machines électriques selon leurs origines

Tableau (I.1) : Défauts des machines électriques selon leurs origines

Défaillances de la machine asynchrone	Interne	Mécanique	Contacte entre le stator et le rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
			Mouvement des enroulement et des tôles
		Electrique	Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
	Défaillance au niveau du circuit magnétique		
	Externe	Mécanique	Charge oscillante
			Sur charge de la machine
			Défaut de montage
		Environnement	Humidité
			Température
			Propreté
		Electrique	Fluctuation de la tension
			Source de tension déséquilibré
Réseau bruité			

Une étude statistique [10], effectuée en 1988 par une compagnie allemande de systèmes industriels sur les pannes des moteurs asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants représentés par la figure (I.3)

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

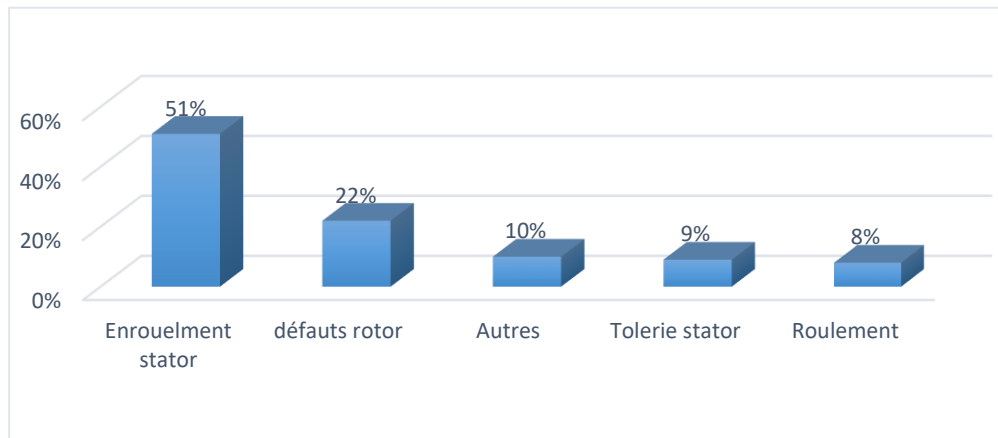


Figure (I.3) Répartition des pannes sur les moteurs de faibles et moyennes puissances

Les défauts statoriques sont les plus rencontrés dans ces types de machines.

Une autre étude statistique [10], faite sur des machines de grande puissance (100KW à 1MW) a donné les résultats suivants Figure (1.4)

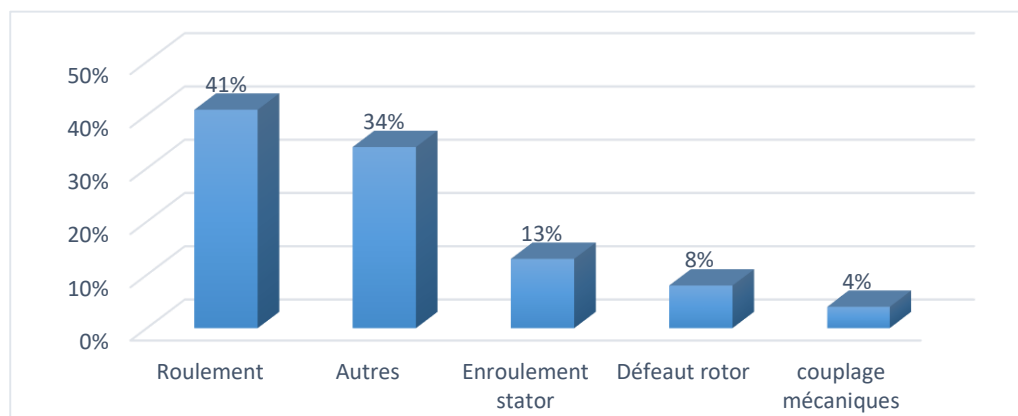


Figure (1.4) Répartition des pannes des machines de fortes puissances

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements.

Les défauts dans le stator et le rotor sont de moins en moins fréquents, la principale source de défaillances est constituée actuellement par les roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue.

Ces études montrent que certains défauts sont plus fréquents que d'autres, on cite les défauts suivants

I.3 Défauts statoriques

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. Nous pouvons citer, par exemple, les défauts de type suivant

I.3.1 Défauts d'isolant dans un enroulement

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des court-circuit. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique...) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or les matériaux d'isolation ont une limite de température, de tension et mécanique. De ce fait, si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, ce matériau se dégrade de manière prématurée ou accélérée, puis finit par ne plus assurer sa fonction. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné [11].

I.3.2 Court-circuit enter-spires d'une même phase

Est un défaut fréquent qui peut apparaître soit au niveau des têtes de bobines soit à l'intérieur des encoches statoriques, ce qui entraîne une diminution du nombre de spires effectives de l'enroulement. D'autre part, il entraîne aussi une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée. Une légère variation de l'amplitude sur les autres phases modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique [3].

I.3.3 Court-circuit entre deux phases

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

Nous pouvons citer aussi les court-circuit apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine, aussi l'ouverture d'une phase.

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

Ces défauts ont généralement pour cause principale le vieillissement prématuré des isolants dû aux vibrations et échauffements excessifs de la machine ainsi qu'aux surtensions provoquées par les circuits de commande.

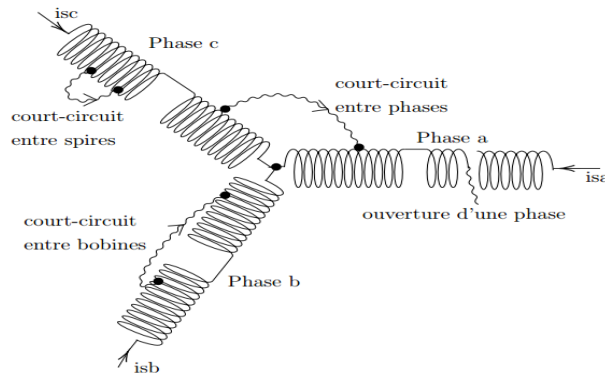


Figure (I.5) Différents défauts statorique

I.4 Défauts rotorique

Il y a plusieurs défauts qui sont apparaissent au niveau du rotor, on peut citer les défauts suivants

I.4.1 Défauts de roulements

La raison principale des défaillances de machine asynchrone concerne les défauts des roulements à billes qui ont de nombreuses causes telles que l'écaillage de fatigue, la contamination du lubrifiant une charge excessive ou des causes électriques comme la circulation de courants de fuite induits par les onduleurs [1].

Les roulements peuvent présenter l'effets mécaniques suivants

- Augmentation au niveau de sonore
- L'apparition de vibration
- Induisent des variations dans le couple de charge

I.4.2 Excentricité

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor (figure I.6). Ce phénomène est appelé excentricité [2]. On distingue généralement trois types d'excentricité

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

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

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

Excentricité mixte la plus fréquentes, est associant les deux cas, statique et dynamique.

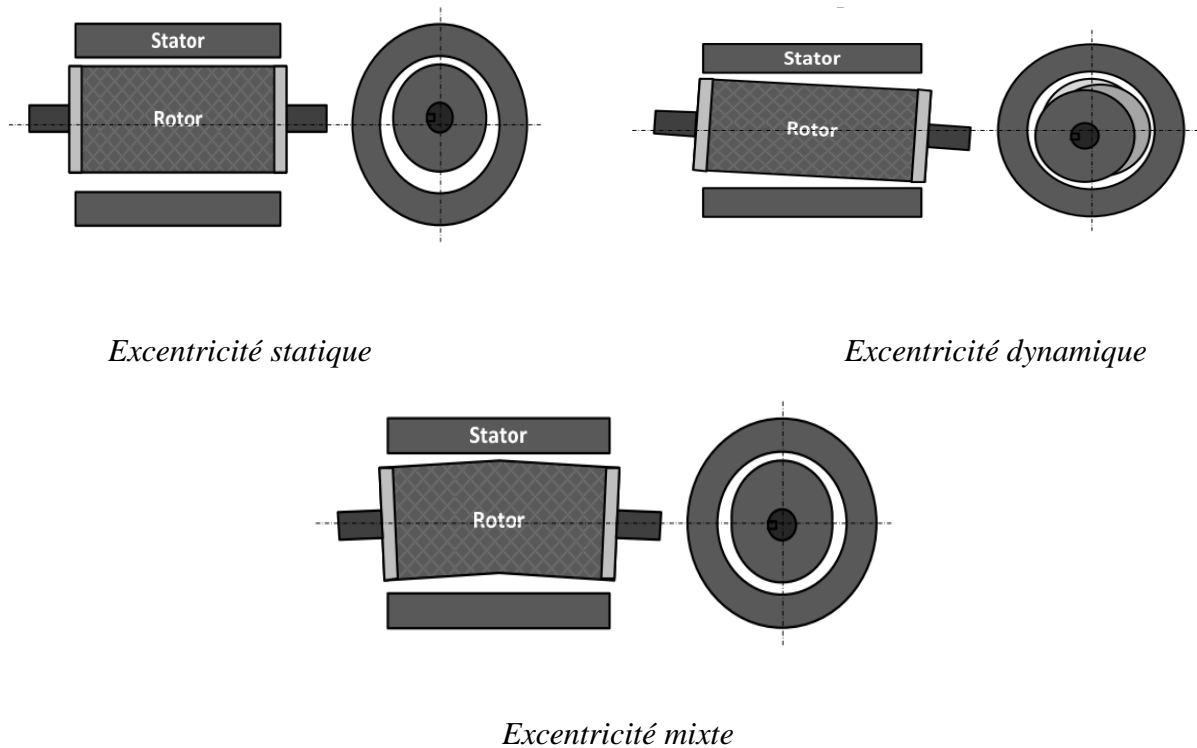


Figure (I.6) Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte.

I.4.3 Défauts de rupture de barres et d'anneau de court-circuit

Au niveau de la cage les défauts se résument à la rupture de barres de la cage ou à la rupture d'anneaux de court-circuit. Figure (I.7)

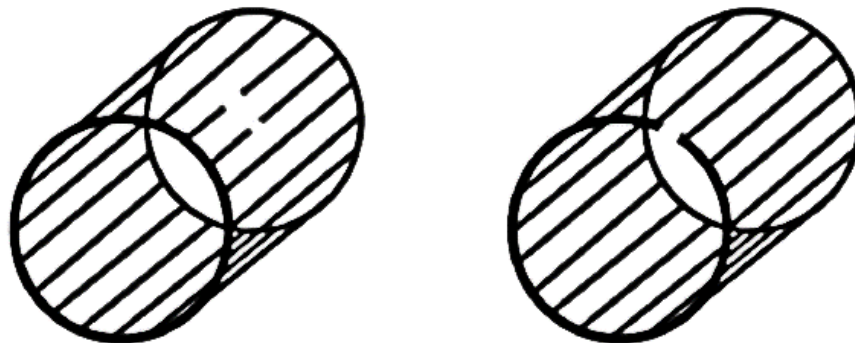


Figure (I.7) Défaut rupture de barres et d'anneau de court-circuit

Rupture des barres

La rupture de barres d'une machine asynchrone est le défaut le plus fréquent au rotor et le plus couramment étudié aux laboratoires. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées. [11]

Rupture d'anneau de court-circuit

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotorique [3]. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotorique et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres [2]

I.5 Modélisation de la machine asynchrone

La modélisation de la machine asynchrone est une phase indispensable et nécessaire pour les différentes applications de commande, et également pour le diagnostic et la surveillance, le modèle mathématique permet d'observer et analyser des différentes évolutions de ses grandeurs électrique et électromagnétique [8]. Mathématiquement, les machines électriques sont représentées par des modèles entrées sorties sous la forme de fonction de transfert ou encore sous forme standard d'équations en variables d'état. C'est ce dernier type de modèle que nous allons utiliser pour reproduire au mieux le comportement de la MAS en fonctionnement normal ou défectueux [7].

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

I.5.1 Les équations électriques

$$\begin{cases} V_{sabc} = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{sabs}] \\ 0 = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{rabs}] \end{cases} \quad (I.1)$$

$[V_{sabc}] = [V_{sa} \ V_{sb} \ V_{sc}]^t$ et $[V_{rabc}] = [0 \ 0 \ 0]^t$ vecteurs tensions des trois phases statorique et rotorique respectivement.

$[i_{sabc}] = [i_{sa} \ i_{sb} \ i_{sc}]^t$ et $[i_{rabc}] = [i_{ra} \ i_{rb} \ i_{rc}]^t$ vecteurs courants traversent les enroulements statorique et rotorique.

$[\Phi_{sabc}] = [\Phi_{sa} \ \Phi_{sb} \ \Phi_{sc}]^t$ et $[\Phi_{rabc}] = [\Phi_{ra} \ \Phi_{rb} \ \Phi_{rc}]^t$ vecteurs flux total statorique et rotorique.

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad [R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \quad R_s, R_r : \text{les résistances des enroulements statorique et}$$

rotorique.

I.5.2 Les équations magnétiques

Les expressions des flux sous forme matricielle sont

$$\begin{cases} [\Phi_{sabc}] = [L_s][i_{sabc}] + [L_{sr}][i_{rabc}] \\ [\Phi_{rabc}] = [L_{sr}][i_{sabc}] + [L_r][i_{rabc}] \end{cases} \quad (I.2)$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s \\ l_s & l_s & m_s \\ m_s & m_s & l_s \end{bmatrix} = l_s \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [L_r] = \begin{bmatrix} l_r & m_r & m_r \\ m_r & l_r & m_r \\ m_r & m_r & l_r \end{bmatrix} = l_r \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

l_s, l_r : les inductances propres statorique et rotorique

m_s, m_r : les inductances mutuelles statorique et rotorique, avec L'inductance mutuelle entre le stator et le rotor est définie par

$$[M_{sr}] = [M_{max}] \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (I.3)$$

Où M_{max} représente la valeur maximale des coefficients d inductance mutuelle stator-rotor obtenue lorsque les bobinages sont en vis-à-vis [9].

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

I.5.3 L'équation du mouvement

Selon l'application à laquelle est désigné le moteur, il est possible de définir l'équation mécanique du mouvement associé par

$$C_{em} \cdot C_r = J \frac{d\Omega_r}{dt} - f_r - \Omega_r \quad (I.4)$$

Où C_{em} est le couple électromagnétique, C_r le couple résistant, f_r le coefficient de frottement visqueux et J le moment d'inertie total des parties tournantes.

I.5.4 Transformation de Park

La transformation de Park est constituée d'une transformation triphasé-biphasé suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère (abc) vers le repère (α , β) puis le repère (d, q). Le repère $\alpha\beta$ est toujours fixe par rapport au repère abc (Figure I.8), par contre le repère dq est mobile. Il forme avec le repère fixe $\alpha\beta$ un angle qui est appelé l'angle de la transformation de Park ou angle de Park.

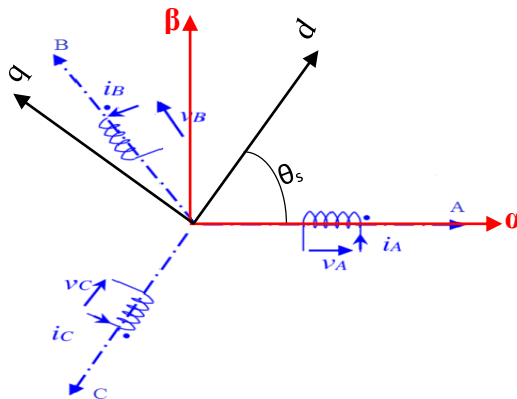


Figure (I.8) Représentation les repères $\alpha\beta$, dq

Où θ_s la position du repère 'd-q' par rapport au stator

Il existe principalement deux transformations : Clarke [C] et Concordia [T].

La transformation de Clarke conserve l'amplitude des grandeurs mais pas la puissance ni le couple (on doit multiplier par un coefficient $2/3$). Tandis que celle de Concordia, qui est normée, elle conserve la puissance mais pas les amplitudes. [9]

$$[T] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

$$[C] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (I.6)$$

I.5.5 Le modèle biphasé

La matrice [T], permettant le passage des Composantes x_{abc} du système triphasé aux composantes x_{dqo} du système biphasé tournant à la même vitesse. Si θ_s est nul alors on obtient la matrice [C]. [11]

La transformation des courants, des tensions et des flux, est décrite par les relations suivante

$$[v_{dqo}] = [T][v_{abc}]$$

$$[I_{dqo}] = [T][I_{abc}]$$

$$[\varphi_{dqo}] = [T][\varphi_{abc}]$$

La matrice $[T]^{-1}$, permettant le passage inverse des Composantes x_{dqo} du système biphasé aux composantes x_{abc} du système triphasé

I.5.5.1 Les équations électriques selon Park

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot i_{sd} \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sd} \\ V_{sq} = R_s \cdot i_{sq} \frac{d\varphi_{sq}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sq} \\ V_{rd} = 0 = R_r \cdot i_{rd} \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \varphi_{rq} \\ V_{rq} = 0 = R_r \cdot i_{rq} \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \cdot \varphi_{rd} \end{cases} \quad (I.7)$$

I.5.5.2 Les équations des flux

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = l_s \cdot i_{sd} + M \cdot i_{rd} \\ \varphi_{sq} = l_s \cdot i_{sq} + M \cdot i_{rq} \\ \varphi_{rd} = l_s \cdot i_{rd} + M \cdot i_{sd} \\ \varphi_{rq} = l_s \cdot i_{rq} + M \cdot i_{sq} \end{cases} \quad (I.8)$$

I.5.5.3 Equation mécanique

$$C_{em} = p \cdot (\varphi_{sd} \cdot i_{sq} - \varphi_{sq} \cdot i_{sd}) \quad (I.9)$$

Où p est le nombre de paires de pôles de la machine.

Partie I : Etude théorique sur les défauts de MAS

I.5.5.4 Les vecteurs d'état

Les composantes du vecteur d'état sont les courants statoriques et les flux rotorique dans la mesure où ils conduisent à un modèle relativement simple (4 paramètres) dans lequel les tensions et les courants statoriques sont respectivement les grandeurs d'entrée et de sortie du système. Le modèle continu de la MAS dans le repère de Park liée au rotor se présente alors sous la forme :

$$\dot{X} = [A][X] + [B][V]$$

Où X vecteurs d'état

I.6 Simulation de la machine asynchrone

Nous avons simulé le modèle en fonction des paramètres de nos moteurs, en appliquant une charge à l'instant 1s, puis des défauts à l'instant 3s.

I.6.1 Simulation de machine saine

Dans le but de représenter et d'étudier les grandeurs électriques de la machine en fonctionnement sain. Nous avons simulé le modèle de la machine asynchrone triphasé, cette simulation permet de tracer les courbes ci-dessous

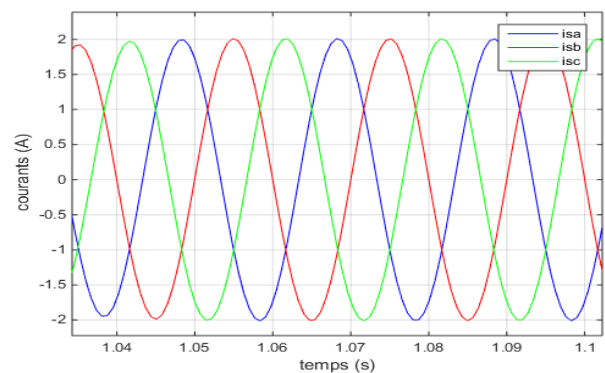
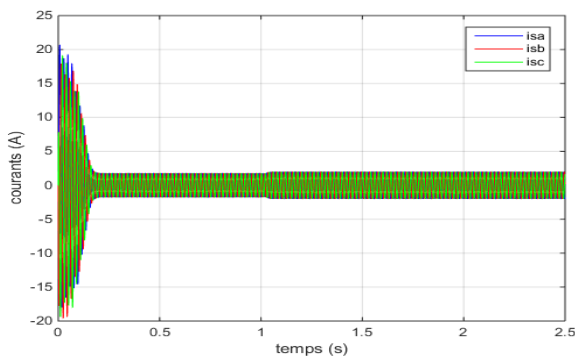


Figure (I.9) Les courants statorique au fonctionnement sain du moteur

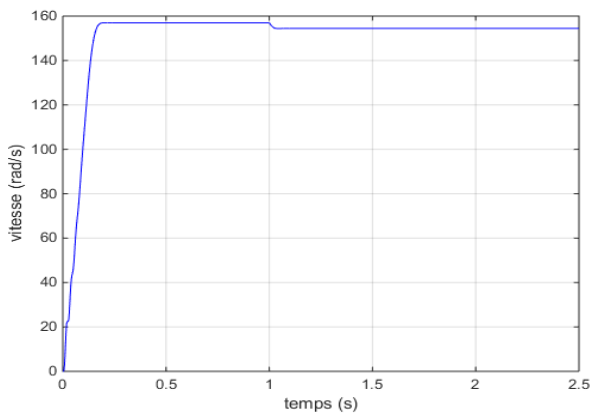


Figure (I.10) La vitesse rotorique (sain)

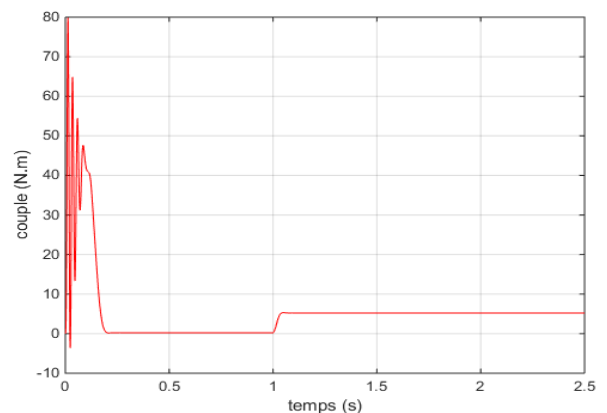


Figure (I.11) Le couple mécanique (sain)

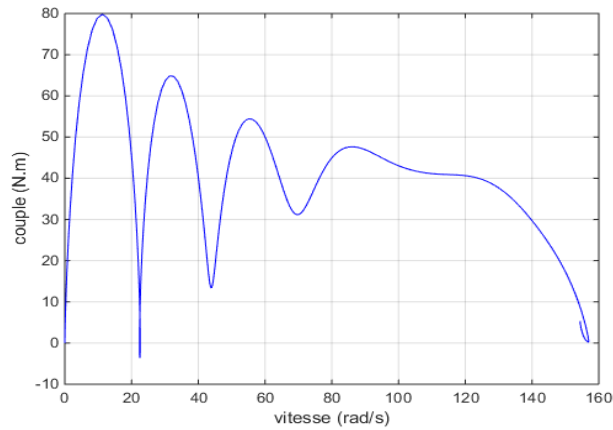


Figure (I.12) Caractéristique mécanique de la machine saine

I.6.2 Simulation machine avec défaut statorique

Pour étudier l'effet du défaut de court-circuit sur les caractéristiques de la machine, nous simulons le modèle de court-circuit entre spires de la MAS, et tracer ces courbes

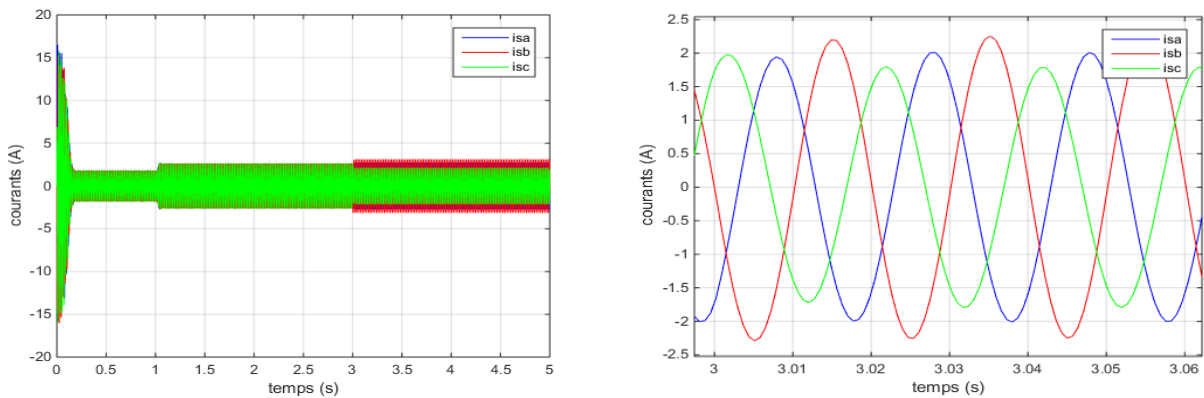


Figure (I.13) Les courants statorique de la machine en court-circuit de 1% dans la phase 2

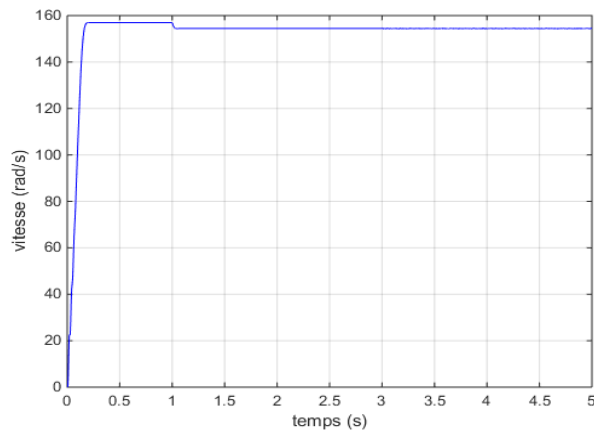


Figure (I.14) La vitesse rotorique au défaut statorique

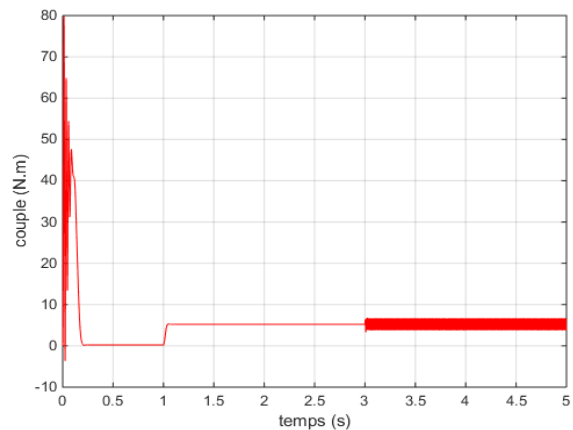


Figure (I.15) Le couple mécanique au défaut statorique

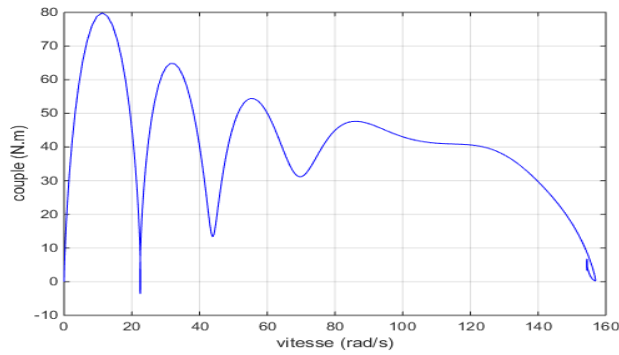


Figure (I.16) Les caractéristiques mécaniques de machine avec défaut statorique

I.6.3 Simulation machine avec défaut rotorique

Nous avons simulé le modèle de la machine MAS avec défaut de rupture d'une seule barre rotorique

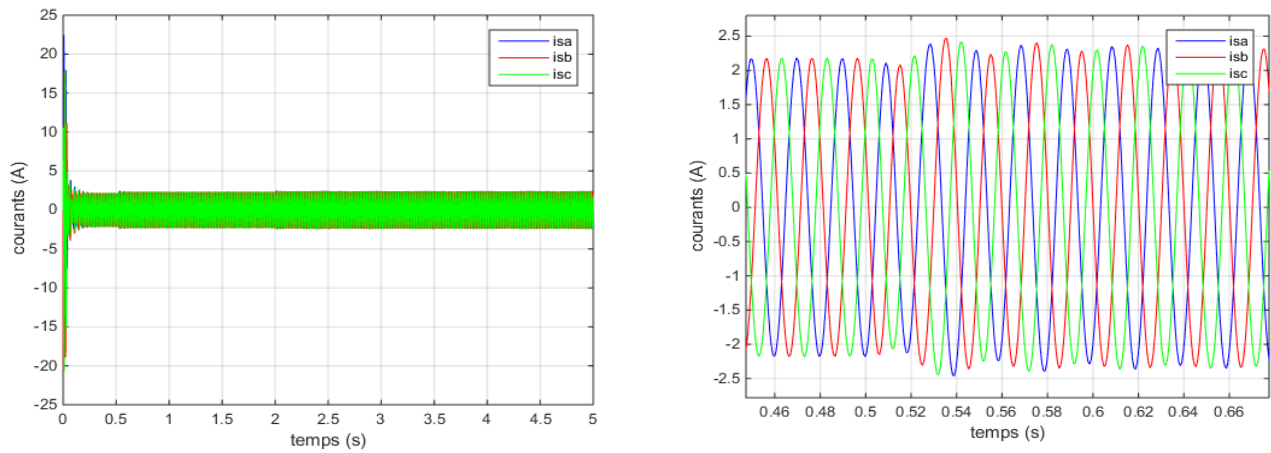


Figure (I.17) Les courants statorique de la machine avec un défaut rotorique

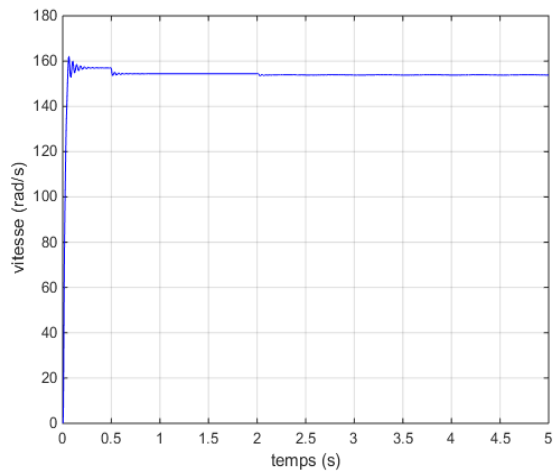


Figure (I.18) La vitesse rotorique au défaut rotorique

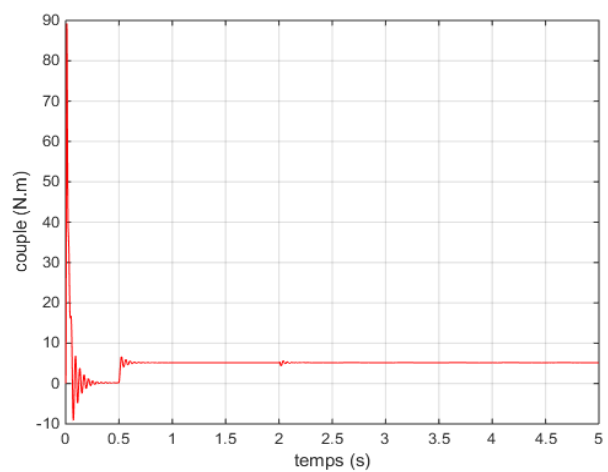


Figure (I.19) Le couple mécanique au défaut rotorique

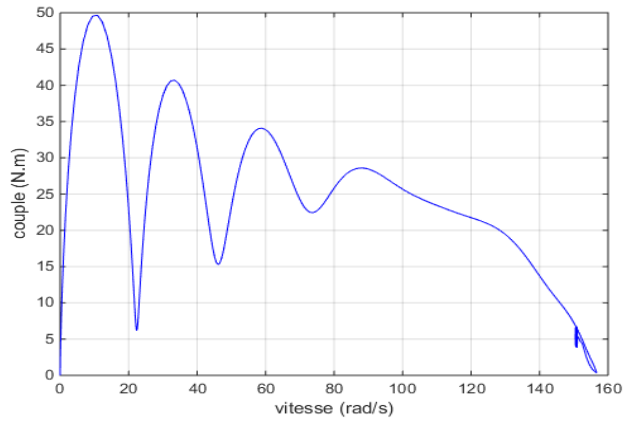


Figure (I.20) Caractéristiques mécaniques avec un défaut rotorique

I.6.4 Simulation machine avec défaut mixte statorique et rotorique

Dans ce modèle on simule les deux défauts statorique et rotorique

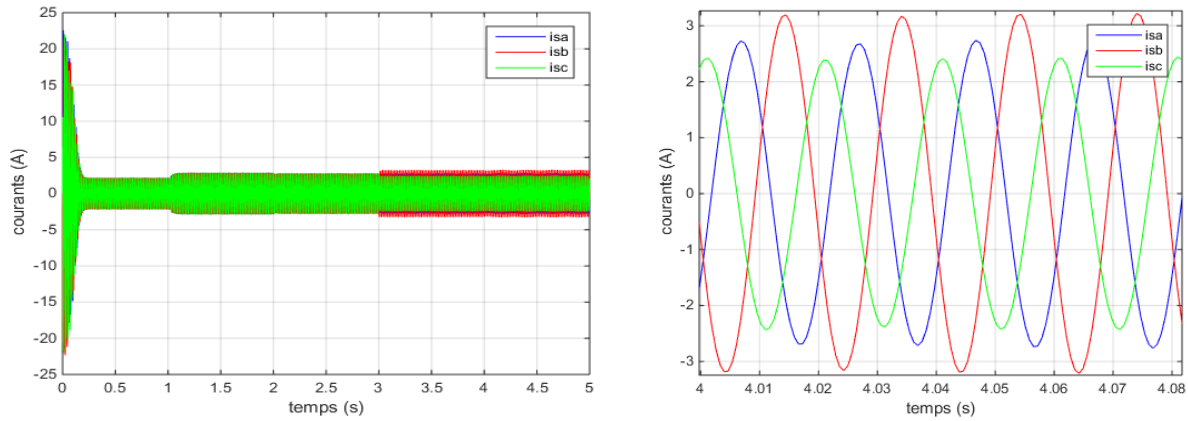


Figure (I.21) Les courants statorique dans la machine avec défauts mixtes

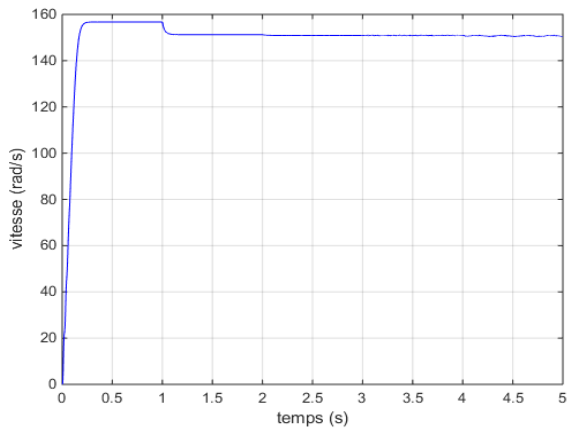


Figure (I.22) La vitesse rotorique au défauts mixtes

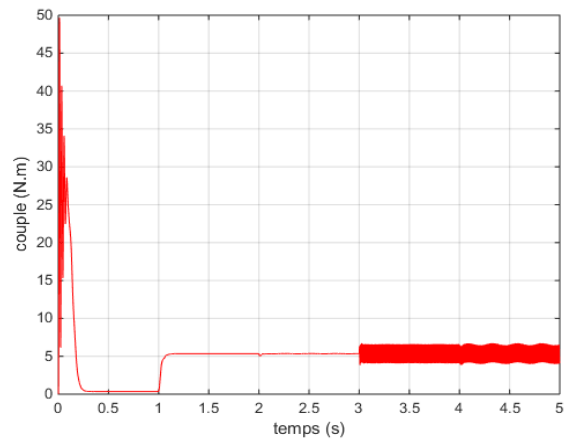


Figure (I.23) Le couple mécanique au défauts mixtes

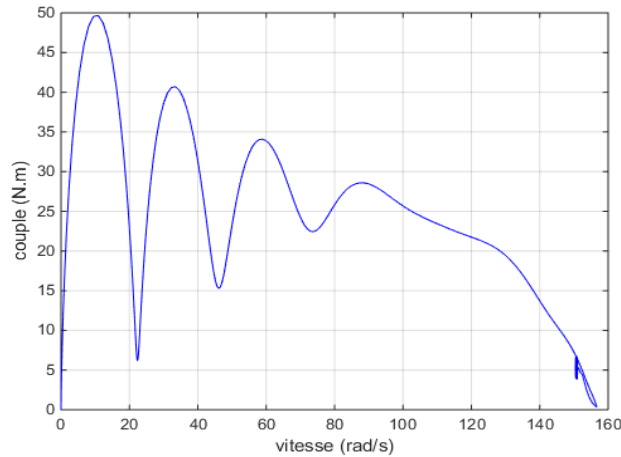


Figure (I.24) Caractéristiques mécaniques avec défauts mixtes

I.7 Conclusion

Dans cette partie, nous avons décrit d'une manière non exhaustive la constitution de la MAS à cage d'écureuil. Nous avons également cité les différents types de défauts qui peuvent se produire au sein de la machine. Nous nous sommes volontairement attardés sur les deux défauts fréquemment rencontrés et qui sont le sujet de cette étude. Ces deux défauts sont : défaut statorique du type court-circuit entre spires d'une même phase et défaut rotorique du type rupture de barres.

A la fin nous avons présenté la simulation de la machine asynchrone triphasée à cage. Et ses résultats vont être comparés avec les résultats des essais pratiques de la partie II, dont le but d'utiliser ces résultats pour le diagnostic des défauts statorique des machines asynchrones triphasé.

Partie II

Etude expérimentale et réalisation

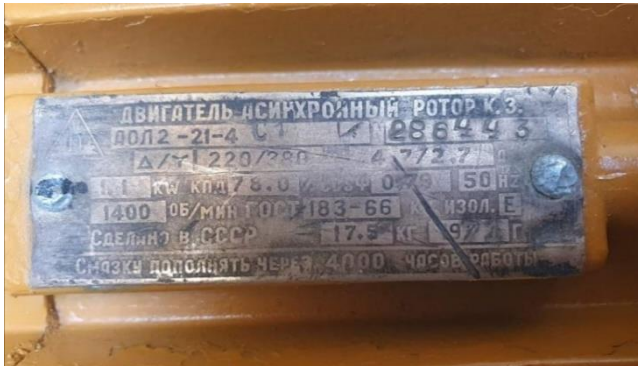
| Partie II : Etude expérimentale et réalisation

Introduction

Dans son ensemble, les travaux sur le diagnostic des machines électriques sont essentiellement axés sur la machine asynchrone, parce qu'elle est en basse tension, et la plus répandue dans le domaine industriel grâce à sa simplicité, sa robustesse, son coût peu élevé et son entretien facile. Pour faire le diagnostic des machines nous devons réaliser un banc d'essais qui permettant de simuler les défauts de nos études, pour cela nous avons apporté deux moteurs asynchrone triphasé identiques d'une puissance de 1,1 kW, par la suite on les rebobine.

A la fin de cette partie, nous allons faire des essais sur les moteurs et prendre les empreintes des courant, de la vitesse, du couple et des vibrations.

II.1 Présentation des moteurs



U	220/380 V	I	4.7/2.7 A
P	1.1 Kw	η	78%
$\cos \phi$	0.79	f	50 Hz
N	1400 tr/min	Classe	E
Poids	17.5 Kg	Année	1971
		Cycle de graissage	4000 h

Figure (II.1) Plaque signalétique de notre machine

II.2 Les étapes de rebobinage des moteurs

On commence par pointer les flasques de manière à pouvoir les repérer lors du remontage
Figure (II.2)



Figure (II.2) Repérage de flasque

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation

Puis on ouvre le moteur, on sépare ses pièces (le rotor, les flasques avant arrière, les roulements), et on réchauffe les bobines par un air chaud, après cela nous coupons le fil à coudre pour isoler les bobines, ensuite nous devons observer et prendre les notes utiles du bobinage, nous citons quelques identifications des fils d'entrées et sorties, les connexions entre les bobines, le nombre de bobine en série, le nombre de pôles, l'angle électrique entre les phases, et le nombre d'encoche. Après ce processus, on coupe les têtes des bobines puis on les retire de l'autre côté. Et à la fin on calcule le nombre des spires d'enroulement, le diamètre de fil du bobinage et le poids.



(a)



(b)

Figure (II.3) Démontage des flasques et les fils de connexion



(a)



(b)

Figure (II.4) Mesure le poids des bobines (a) et le diamètre de fil

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation

II.2.1 Le bobinage des moteurs

Dans cette étape, il est important de nettoyer les encoches par le papier verre et on le peint. Maintenant on mesure les dimensions d'encoche pour couper et former le papier isolant puis le monter sur les encoches.



Figure (II.5) Nettoyage de stator



Figure (II.6) Couper le papier d'isolation



Figure (II.7) Former l'isolateur



Figure (II.8) Monter l'isolateur

Nous pourrons alors fabriquer les bobines du moteur, pour les façonner il faut mettre une spire dans la culasse en respectant le nombre d'encoches par phase et par pole, puis on place la spire dans un gabarit identique et on le fixe.

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure (II.9) Mesure de gabarit de bobines (a) (b), et former les bobines (c) (d)

Ensuite, On installe les bobines dans le moteur selon le schéma ci-dessous

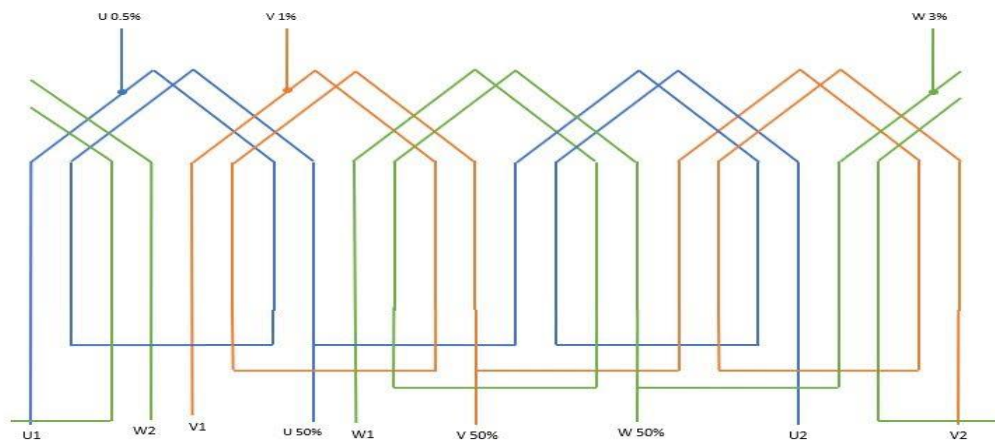
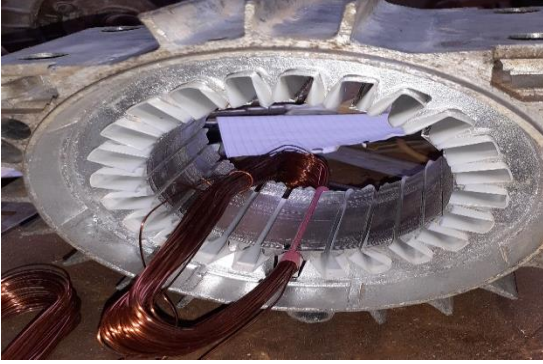


Figure (II.10) Schéma de bobinage du moteur

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation



(a)



(b)

Figure (II.11) Montage des bobines dans le stator

Finalement, on place l'isolant de l'encoche et les cales, puis nous lions les différentes bobines entre elles afin de garantir un parfait positionnement. Ensuite, nous préparons les différentes connexions des bobines avant la soudure vers les câbles d'alimentation, il faut placer une gaine thermique dans chaque point de brassage. On doit coudre le bobinage et lui ajouter une couche de vernis.

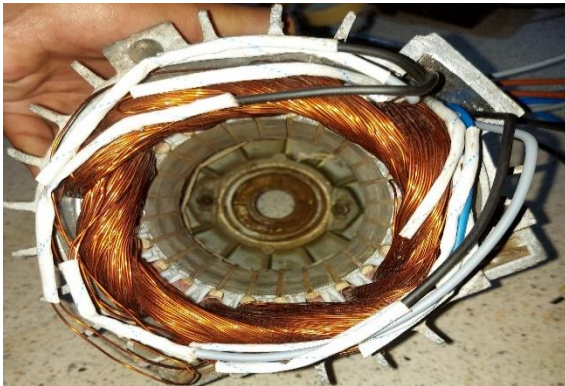


Figure (II.12) Soudure des fils de connexion

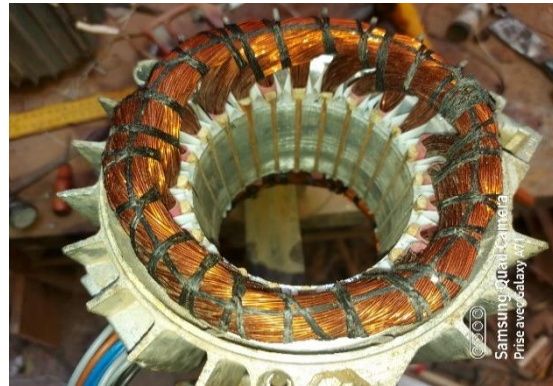


Figure (II.13) Coudre le bobinage



Figure (II.14) Vernissage de bobinage

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation

Nous effectuons différents tests afin de s'assurer que le moteur satisfait à toutes les exigences pour un fonctionnement optimal, puis fermer le moteur.



Figure (II.15) Finalisation des moteurs

II.3 Défaut statorique

Nous avons créé un court-circuit entre les spires dans chaque phase tel façon de schéma de figure (II.10)

Les entrees de court-circuit



Figure (II.16) Les défèrent connexion des bobines

La phase 1 court-circuit de 0.5%

La phase 2 court-circuit de 1%

La phase 2 court-circuit de 3%

II.4 Défaut rotorique

Nous avons percé une barre rotorique sans les couper.



(a)

(b)

Figure (II.17) Perçage de barre rotorique

II.5 La plaque des bornes

On fabrique une plaque de manière d'alimenté le moteur sain ou avec défaut de court-circuit entre les spires d'une ou plusieurs phases selon le type ci-dessous

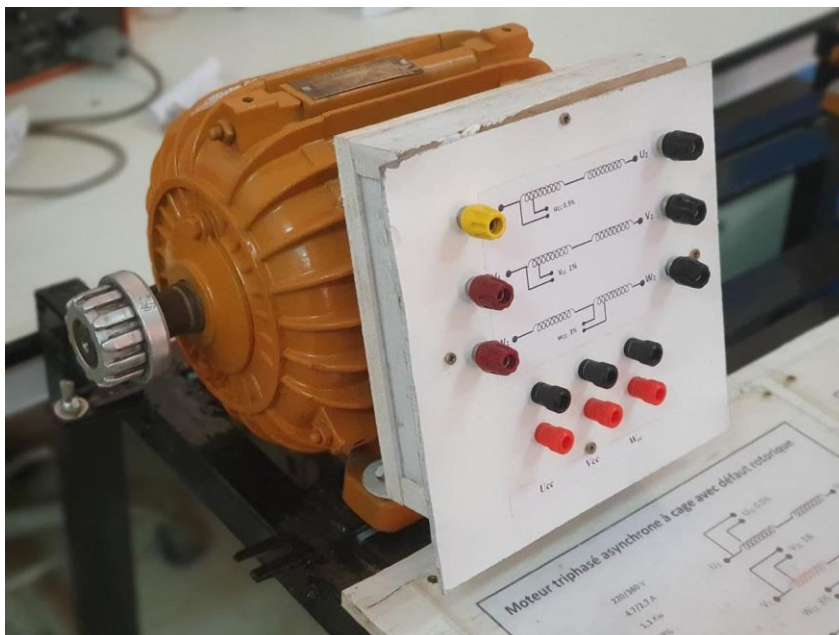


Figure (II.18) Plaque des bornes de notre moteur

II.6 Fabrication de chariot

Nous avons fabriqué un chariot en fer pour adapter les moteurs et les attacher à la charge. Cela été fait en suivant les dimensions des tables du laboratoire et celles du frein à poudre magnétique.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure (II.19) Les étapes de conception du chariot

II.7 Essai moteur sain

On commence par les essais sur le moteur à l'état sain à vide, et rotor bloqué pour déterminer les paramètres de notre machine saine.

II.7.1 Essai à vide

On a fait l'essai à vide pour déterminer l'inductance mutuelle, selon le montage suivant

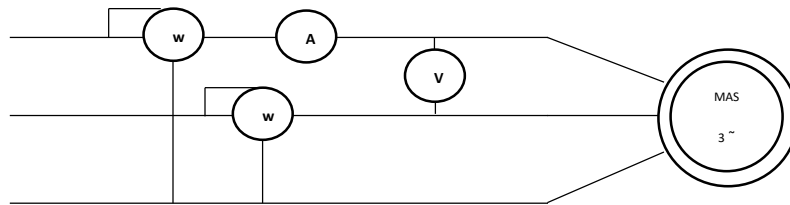


Figure (II.20) Schéma de montage

Tableau (II.1) Résultat des mesures de l'essai à vide

U ₁₀	I ₁₀	-P ₁	P ₂	P ₁₀	P _j	P ₁₀ '	U ₁₀ ²
150	0.5	80	240	160	4.2	155.8	22500
250	0.86	280	560	280	12.42	267.58	62500
380	1.7	1040	1620	580	48.552	531.5	144400

II.7.2 Essai rotor bloqué

L'essai à rotor bloqué permet de déterminer la résistance rotorique

Tableau (II.2) Résultat des mesures a rotor bloqué

valeurs	U _{1cc}	I _{1cc}	P ₁	P ₂	P _{1cc}	Q _{1cc}
Réduites	75	2.5	190	9.375	199.375	256.36
Nominales	380	12.66	-	-	5115.35	6577.57

II.7.3 Les résultats

On fait les calcule des paramètres de la machine selon les équations d'identification [5]

$$R_s = 5.7 \, \Omega \quad R_r = 4.94 \, \Omega \quad R_f = 316.375 \, \Omega$$

$$L_f = 6.84 \, \text{H}$$

$$L_s = L_r = 533.77 \, \text{mH}$$

$$M = 512 \, \text{mH}$$

$$J = 0.073 \, \text{kg.m}^2 \quad f_r = 3 \cdot 10^{-3} \, \text{Nm.s/rad}$$

Partie II : Etude expérimentale et réalisation

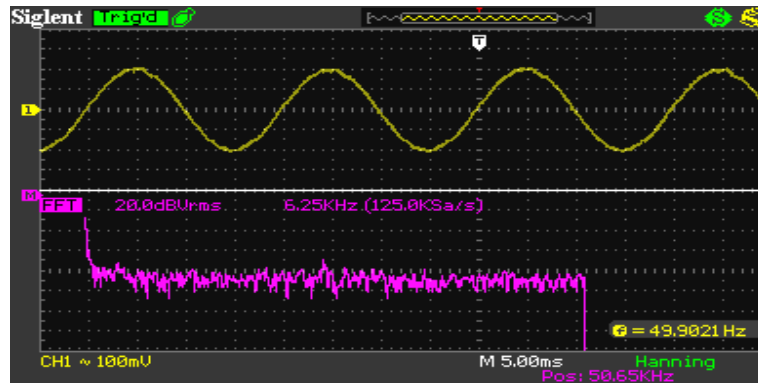


Figure (II.21) Le courant de la phase 1 et l'analyse FFT

II.8 Essai moteur avec défaut statorique

Nous avons créé un court-circuit entre les spires de même phase, et en différent cas. On cite le résultat dans le tableau suivant

Tableau (II.3) Résultats des courants statorique au défaut de court-circuit à vide

U_{10} (V)	cas de cc	Court-circuit %	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
380	Phase 1	0.5	1.8	1.9	1.9
	Phase 1-2	0.5 - 1	1.9	1.7	2.2
	Phase 3	3	1.7	2	2

Tableau (II.4) Résultats des courants statorique au défaut -3% spires en charge

U (V)	Court-circuit %	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	Couple (N.m)
380	3	2.7	2.65	3.1	8

II.8.1 Les courbes

On utilise un capteur de courant LTS 25-NP et un oscilloscope numérique pour tracer les empreintes des courants de notre moteur



Figure (II.22) Capteur de courant LTS 25-NP[Annexe]

Partie II : Etude expérimentale et réalisation

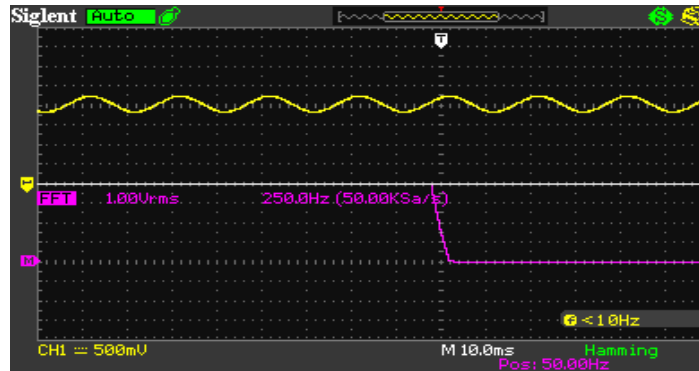


Figure (II.23) Courant de phase 1 au défaut -0.5% spires (à vide)

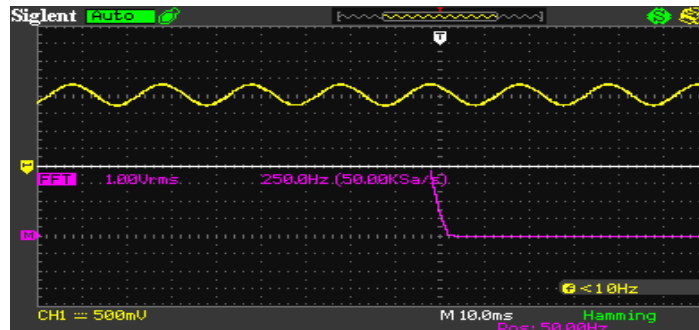


Figure (II.24) Courant de phase 1 au défaut -3% spires (en charge)

II.9 Défaits rotorique

De la même méthode utilisée dans l'essai à moteur sain, on détermine les paramètres du moteur avec défaut rotorique

II.9.1 Essai à vide

Tableau (II.5) Résultat des mesures de l'essai à vide

U ₁₀	I ₁₀	-P ₁	P ₂	P ₁₀	P _j	P ₁₀ '	U ₁₀ ²
150	0.6	80	240	160	7.29	152.71	22500
250	1.05	320	680	360	22.325	337.685	62500
380	2.15	1200	2000	800	93.6	706.4	144400

II.9.2 Essai à rotor bloqué

Tableau (II.6) Résultat des mesures a rotor bloqué

valeurs	U _{1cc}	I _{1cc}	P ₁	P ₂	P _{1cc}	Q _{1cc}
Réduites	75	2.5	190	9.375	199.375	256.36
Nominales	380	12.66	-	-	5115.35	6577.57

II.9.3 Les résultats

On fait les calcule des paramètres de la machine selon les équations d'identification [5]

Partie II : Etude expérimentale et réalisation

$$R_S = 6.75 \Omega \quad R_r = 4.45 \Omega \quad R_f = 221.7 \Omega$$

$$L_f = 14.11 \text{ H}$$

$$L_s = L_r = 452.25 \text{ mH}$$

$$M = 429.8 \text{ mH}$$

$$J = 0.0244 \text{ kg.m}^2$$

$$f_r = 2.244 * 10^{-3} \text{ Nm.s/rad}$$

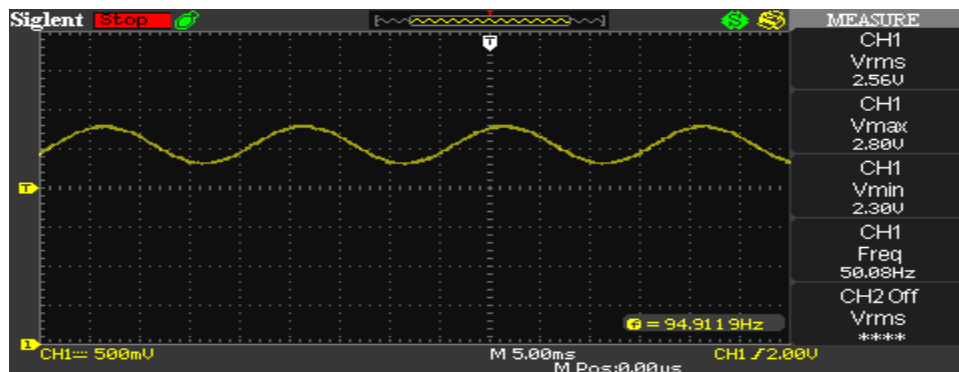


Figure (II.25) Courant de phase 1 au défaut rotorique (à vide)

II.10 Défaits mixtes statorique et rotorique

Nous avons créé un court-circuit entre les spires de même phase, et en différent cas. On cite le résultat dans le tableau suivant

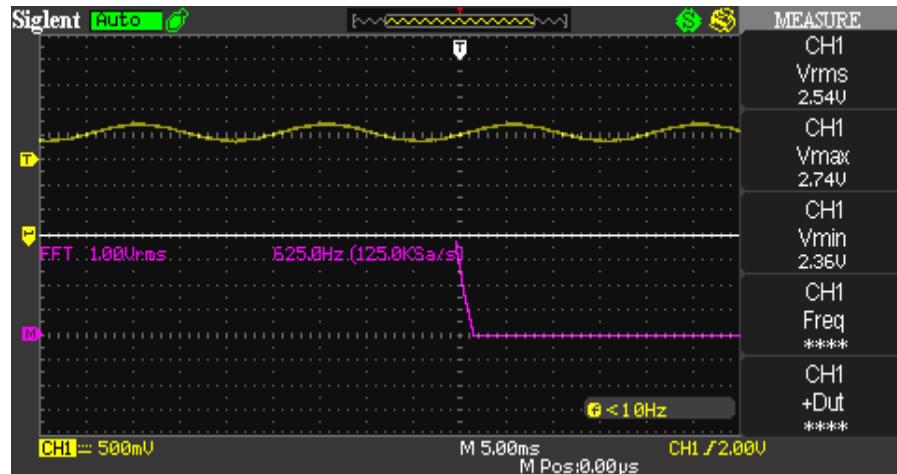
Tableau (II.7) Résultats des courants statorique au défaut mixte à vide

U_{10} (V)	cas de cc	Court-circuit %	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
380	Phase 2	1	2.19	2.15	2.1
	Phase 1-3	0.5 - 3	2.23	2.19	2.15

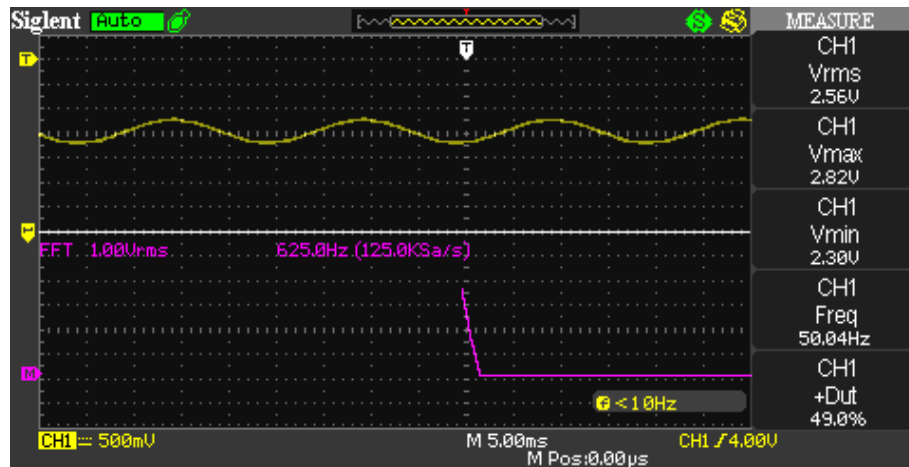
Tableau (II.8) Résultats des courants statorique au défaut mixte -3% spires en charge

U (V)	Court-circuit %	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	Couple (N.m)
380	3	2.8	2.65	2.6	4.5

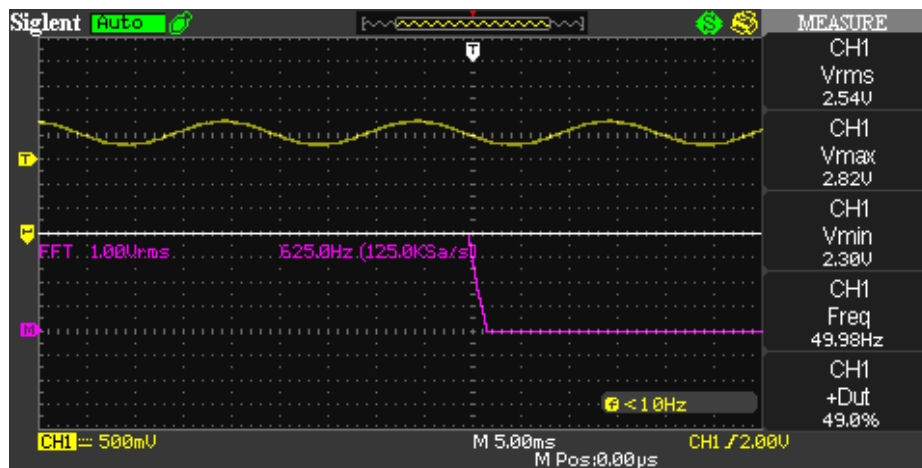
| Partie II : Etude expérimentale et réalisation



(a)



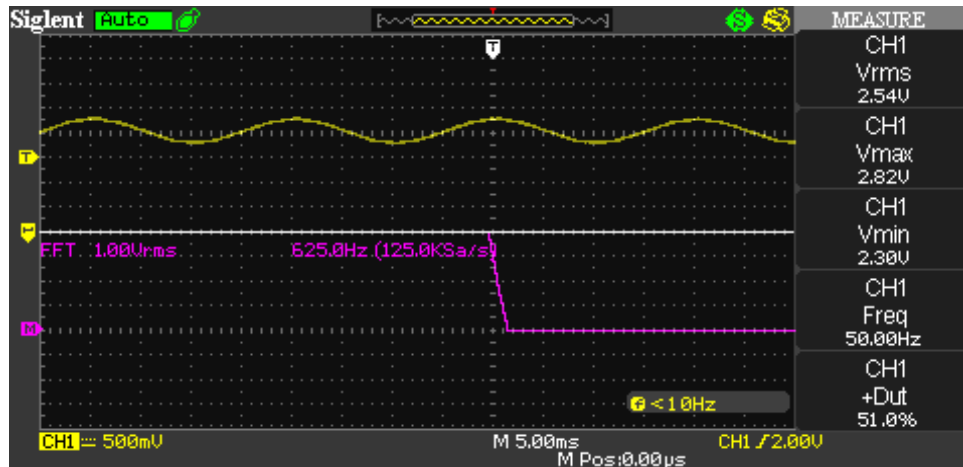
(b)



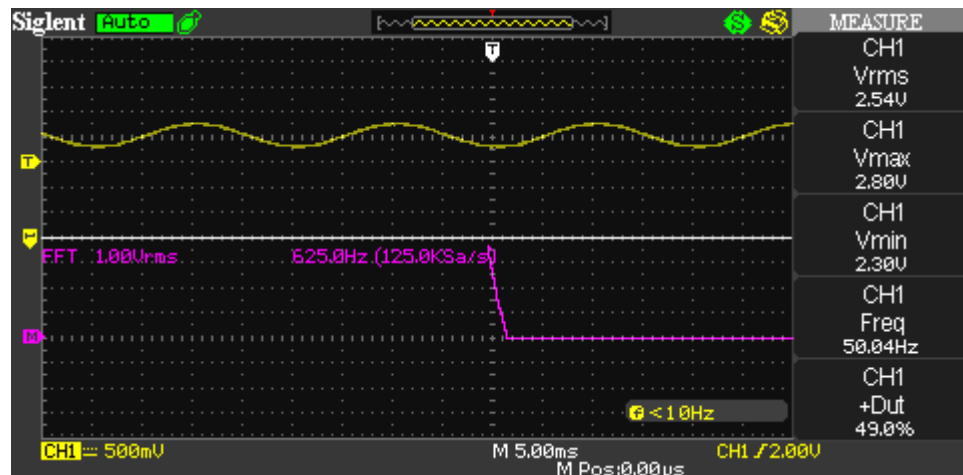
(c)

Figure (II.26) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -1% spires a vide

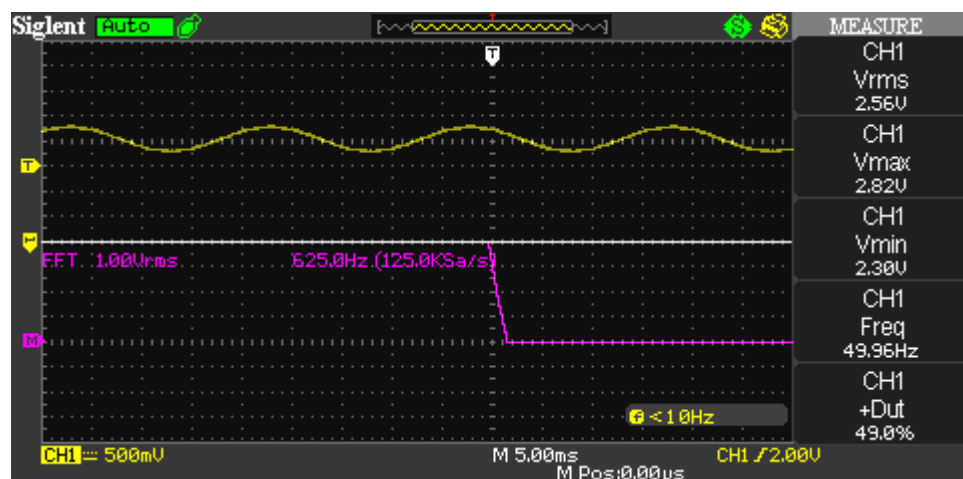
| Partie II : Etude expérimentale et réalisation



(a)



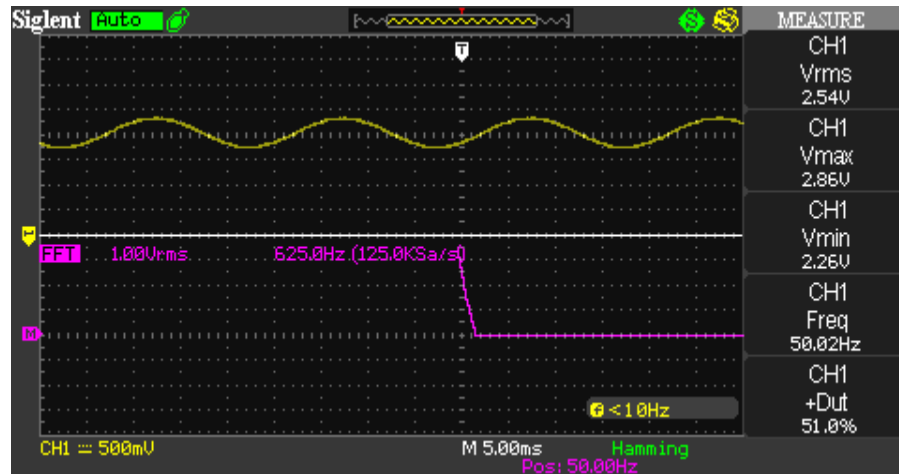
(b)



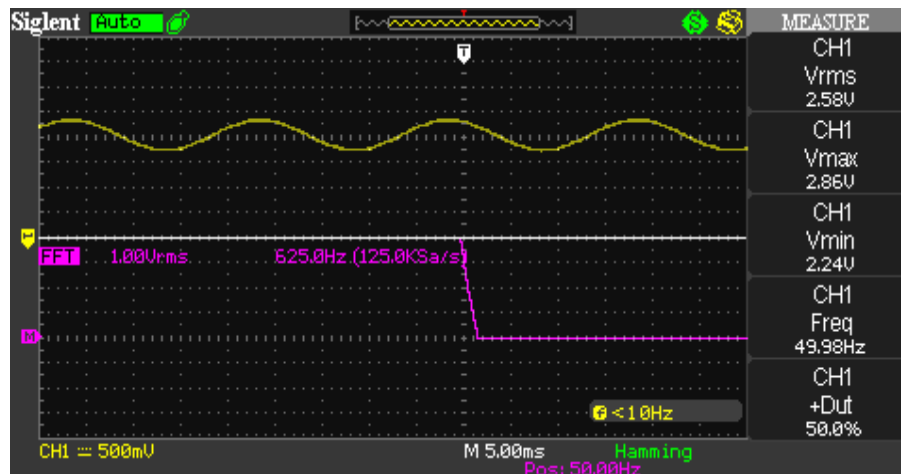
(c)

Figure (II.27) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -1% et -3% spires à vide

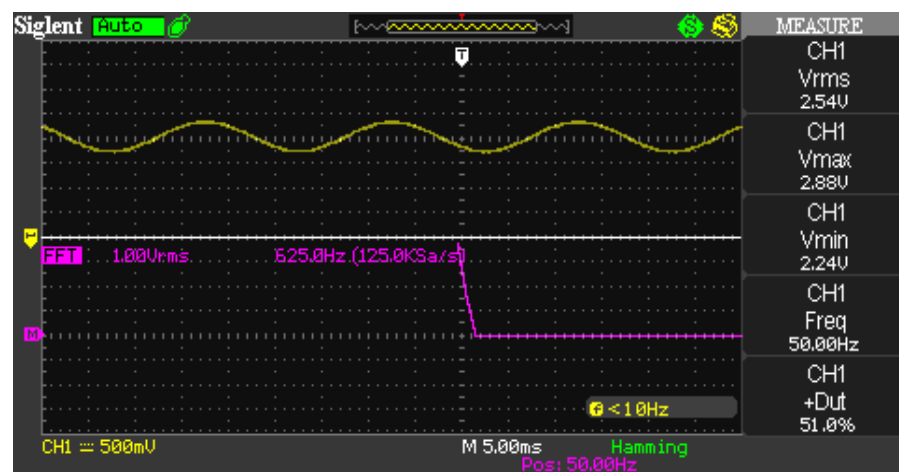
| Partie II : Etude expérimentale et réalisation



(a)



(b)



(c)

Figure (II.28) Courant phase 1 (a), phase 2 (b), phase 3 (c) au -3% spires en charge

II.11 Les interprétations

On interprète les résultats de réalisation puis on les compare avec les résultats de simulation

II.11.1 Etat moteur sain

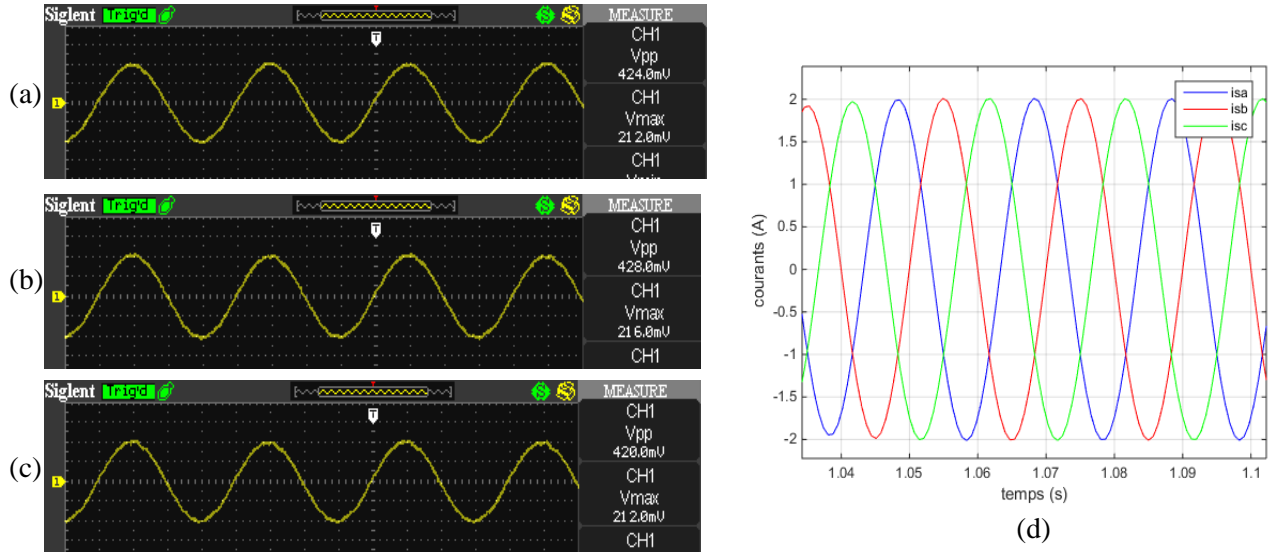


Figure (II.29) Courants statoriques a l'état sain

D'après la figure (II.29a, II.29b, II.29c) qui illustre l'évolution des courants statoriques de la machine à vide en fonctionnement sain, nous constatons que les trois courants de ligne sont bien équilibrés comme les résultats de simulation la figure (II.29d).

II.11.2 Etat moteur au défaut statorique

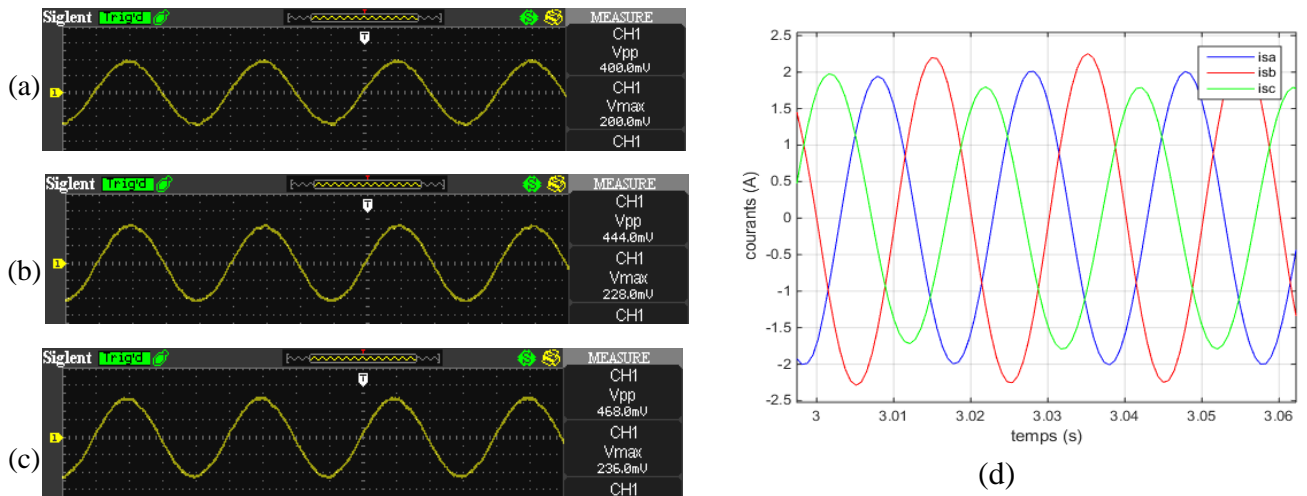


Figure (II.30) Courants statoriques pour un défaut de -3 % de spires sur la phase 3 (c) et la phase I_{sb} (d)

| Partie II : Etude expérimentale et réalisation

D'après la figure (II.30), nous constatons un déséquilibre au niveau des courants statoriques sous forme d'une augmentation au niveau du courant de la phase où s'est produit le défaut et une diminution pour les phases qui suivent par rapport l'essai de moteur sain.

II.11.3 Etat moteur au défaut rotorique

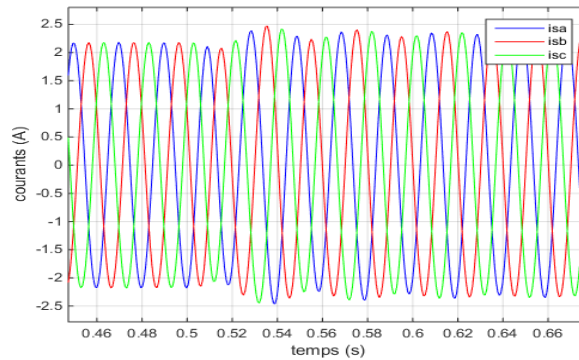


Figure (II.31) Courant statorique au défaut d'une rupture de barre

D'après la figure (II.31), nous pouvons remarquer que lors d'un défaut de rupture de barres au rotor, il y a apparition d'ondulations identiques sur les trois courants statoriques.

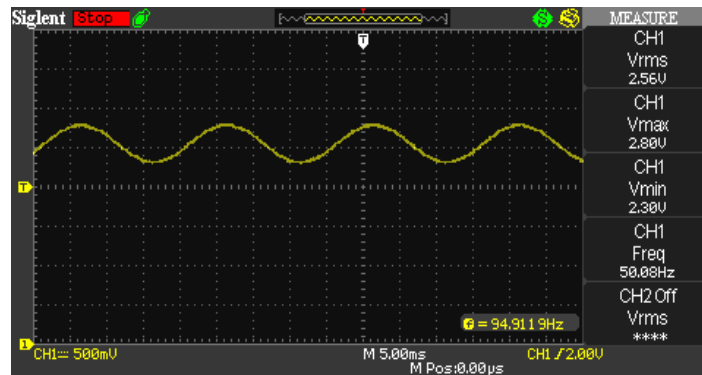


Figure (II.32) Courant statorique phase 1 au défaut fissure d'une barre

À partir du tableau (II.1) et (II.5), nous observons une élévation de courant dans les phases.

Et selon la figure (II.32) nous remarquons que l'amplitude du courant de la phase 1 est stable sans l'apparition d'ondulation.

II.11.4 Etat moteur au défaut mixte

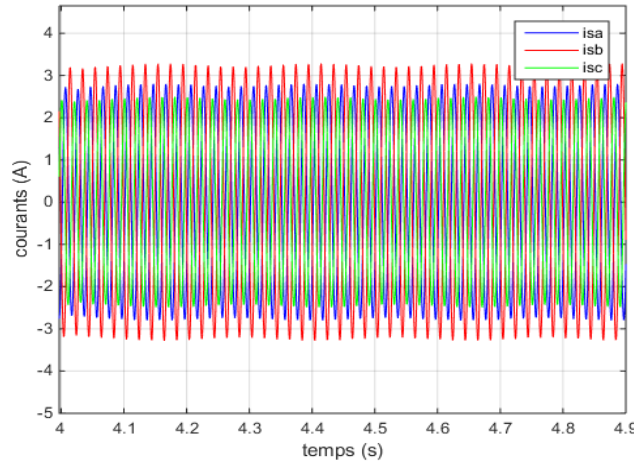


Figure (II.33) Courant statorique au défaut mixte

Conformément à figure (II.32), nous signalons l'augmentation importante du courant dans la phase Isb où s'est produit le défaut (cas de défaut stator), et la présence des ondulations identiquement sur les trois courants (cas de défaut rotor). Et à partir de la figure (II.28) nous signalons que l'augmentation importante du courant dans la phase 3 où s'est produit le défaut sans la présence des ondulations.

II.12 Conclusion

Dans cette partie nous avons réalisé un banc d'essai pour diagnostic les différents défauts statorique et rotorique, l'utilisation de ce dernier est simple, souple et facile à utiliser par une simple combine de straps pour court-circuitée des spires statorique.

Nous avons fait des essais sur nos moteurs puis on a pris la forme des courants comme empreinte dans différents défauts de la machine. En guise de conclusion nous avons fait une comparaison entre la simulation et les résultats de la réalisation du courant sain et celui en défauts du moteur asynchrones. Les résultats sont satisfaisants et montrent la validité de nos résultats.

Conclusion générale

Nous avons commencé notre étude par présenté l'importance de la machine asynchrone triphasé dans le domaine industriel du fait de sa grande robustesse et son faible coût. Nous avons fait un rappel de la constitution de la machine asynchrone, suivi d'une classification des défaillances susceptibles d'affecter les différentes parties des machines électriques.

Dans notre travail, nous avons effectué une étude théorique et expérimentale pour le diagnostic de défauts statorique et rotorique de la machine asynchrone à rotor à cage d'écureuil. Notre choix s'est porté sur la réalisation d'un banc d'essai qui nous a permis de simuler d'une façon simple et souple le court-circuit entre les spires de la même phase et défaut de fissure un barre rotorique. Aussi on peut créer d'autres défauts comme le désalignement, l'excentricité et le balourd.

Nous avons effectué plusieurs essais, les résultats étaient très satisfaisants, on a pu conclure sur les graphes du courant, entre l'état du moteur sain et le moteur en défauts.

En perspective, pour améliorer notre étude du diagnostic des défauts de la machine, l'étude pourrait être élargit en considérant d'autre type des défauts rotorique et statoriques (Excentricité statique et/ou dynamique, court-circuit entre phases, le désalignement, le balourd, coupure d'une phase...) et d'autre outil de diagnostic et de détection avancées (traitement du signal reconnaissances des formes, ...) ou par estimation paramétrique surtout en régime variable.

Finalement, on peut dire que notre banc d'essai est apte pour faire une grande variété de défauts qui sera un support pédagogique pour le diagnostic des moteurs asynchrone triphasés.

Bibliographie

- [1] Jean-Claude Trigeassou, diagnostic des machines électriques, génie électrique, Lavoisier ,2011.
- [2] ZERROUK Ahmed, Diagnostic des défauts de cassure de barres rotorique dans la machine asynchrone triphasée : Mémoire master, Université Mohamed Khider Biskra, 2013
- [3] ANDRIAN CEBAN, METHODE GLOBALE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ELECTRIQUES, Thèse de doctorat, Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI Université d'Artois, 2012
- [4] MERABET SADDEK, HOUASSINE DJAAFAR, Diagnostic de défauts de la machine asynchrone à cage d'écureuil par la méthode de reconnaissance des formes., Projet de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, 2007
- [5] M. SAROUT, cours identification et diagnostic des machines électriques, master 2 machines électriques, 2020.
- [6] Tahar ACHOUR, Diagnostic de défauts électriques et mécaniques de la machine asynchrone a simple cage d'écureuil : Etude expérimentale, Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, 2008
- [7] Monia BEN KHADER BOUZID, Diagnostic de défauts de la machine asynchrone par réseaux de neurones, Thèse de doctorat, ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE TUNIS, 2009

[8] Dameche Salah Eddine, Lamri Marouane, Diagnostic des défauts statorique dans les machines asynchrones par l'approche Neuro-Floue de type ANFIS ; Mémoire master en Electromécanique Université Amar Telidji de Laghouat ,2019

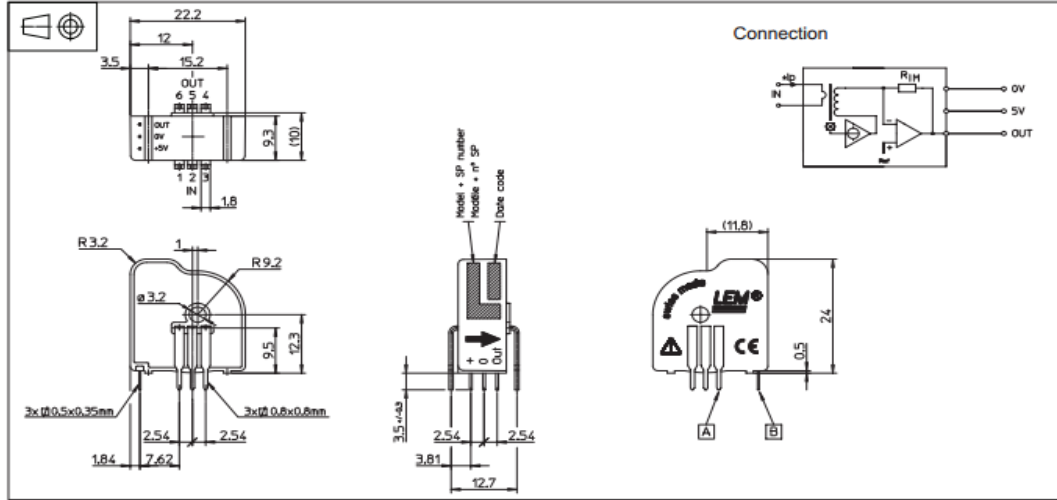
[9] Rachid Abdessemed ; Modélisation et simulation des machines électriques. Éditions-ellipses, paris 2011.

[10] KHATIR Abdelfatah, Etude comparative des modèles des MAS utilisés en diagnostic des défauts, Mémoire de Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF, 2008

[11] Olivier Ondel, Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur - machine asynchrone, Thèse de doctorat, L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON, 2006

Annexe

Dimensions LTS 25-NP (in mm)



Number of primary turns	Primary nominal RMS current	Nominal output voltage V_{out}	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
1	±25	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	±12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	
3	±8	2.5 ± 0.600	1.62	0.12	

Mechanical characteristics

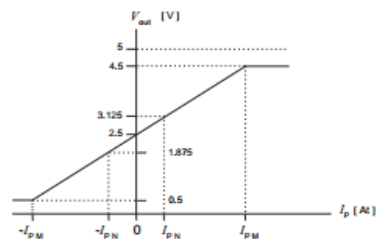
- General tolerance: ±0.2 mm
- Transducer fastening of primary: 6 pins 0.8 × 0.8 mm
Recommended PCB hole: 1.3 mm
- Transducer fastening of secondary: 3 pins 0.5 × 0.35 mm
Recommended PCB hole: 0.8 mm
- Primary through-hole: ∅ 3.2 mm

Remarks

- V_{out} swings above 2.5 V when I_p flows from terminals 1, 2, 3 to terminals 6, 5, 4 (with the arrow).
- Temperature of the primary conductor should not exceed 100 °C.
- Installation of the transducer must be done unless otherwise specified on the datasheet, according to LEM Transducer Generic Mounting Rules. Please refer to LEM document N°ANE120504 available on our Web site: [Products/Product Documentation](#).

- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Output voltage - Primary current



Paramètres de machine saine [Matricule : 2864 38]

$$R_s = 5.7 \, \Omega \quad R_r = 4.94 \, \Omega \quad R_f = 316.375 \, \Omega$$

$$L_f = 6.84 \, \text{H}$$

$$L_s = L_r = 533.77 \, \text{mH}$$

$$M = 512 \, \text{mH}$$

$$J = 0.073 \, \text{kg.m}^2$$

$$f_r = 3 * 10^{-3} \, \text{Nm.s/rad}$$

Paramètres de machine au défaut rotorique [Matricule :2864 41]

$$R_s = 6.75 \, \Omega \quad R_r = 4.45 \, \Omega \quad R_f = 221.7 \, \Omega$$

$$L_f = 14.11 \, \text{H}$$

$$L_s = L_r = 452.25 \, \text{mH}$$

$$M = 429.8 \, \text{mH}$$

$$J = 0.0244 \, \text{kg.m}^2$$

$$f_r = 2.244 * 10^{-3} \, \text{Nm.s/rad}$$