

Université ABBES LAGHROUR Khenchela



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

Présenté par

ABD ELGHAFOUR RAHALI

&

HEMZA LAOUAR

THEME

**MODELISATION ET SIMULATION DE LA
DETECTION DES DEFAUTS D'UNE
MACHINE ASYNCHRONE**

Soutenu le : devant la commission d'examen composée de :

<i>Dr.DAOUAD RAZZAK</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrour de Khenchela</i>	<i>Président</i>
<i>Dr . MAHDAOUI Rafik</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrour de Khenchela</i>	<i>Encadrant</i>
<i>Professeur.chaiba azzeddin</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrour de Khenchela</i>	<i>Examineur</i>

Promotion 2021/2022



Remerciements

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et volonté
d'entamer et de ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour
sans l'aide et l'encadrement de Dr. Mahdaoui Raffik, on le remercie pour la
qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa
disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciement s'adresse a Dr. Baddiaf Yassine pour son aide pratique et son
soutien morale et ses encouragements.*

*Nos remerciement s'adresse également a tout nos professeurs pour leurs
générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs
charge académiques et professionnelles.*

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail a:

*Mes très chers parents qui ont m'aide et m'encouragé pendant tout
ma vie d'étude et d'être ma source de bonheur et de réussite*

Mes chères sœurs.

Mes amis proches

Et à tous mes amis et mes collègues de ma promotion.

Ghafour rahali





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a:

***Ma très chère mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant tout
ma vie. Que dieu puisse m'aider à l'honneur. La servir et la
comblar.***

Mon très cher père

Mes très chers frères et sœurs

tout la famille Laouar

Tous mes amis

***Mon binôme ghafour rahali qui a contribué à la réalisation de ce
Modeste travail. Tout la promotion 2022***



Hemza Laouar

Liste des abréviations

Ns.....	vitesse
ra, rb, rc.....	correspondent aux trois phases de rotor,
sa, ab, ac	correspondent aux trois phases de stator,
v	la tension
R	résistance
I.....	courant
$d\phi/dt$	Dérivation flux
$vs = [vs \ vsb \ vsc]$	tensions statoriques triphasées.
$vr = [vravrbrvrc]$	tensions rotoriques triphasées.
$is = [isa \ isb \ isc]$	Courants statoriques triphasés.
$ir = [ira \ irb \ irc]$	Courants rotoriques triphasés.
$\phi_s = [\phi_{sa} \ \phi_{sb} \ \phi_{sc}]$	flux magnétiques au stator.
$\phi_r = [\phi_{ra} \ \phi_{rb} \ \phi_{rc}]$	flux magnétiques au rotor.
$[vs \ abc] = [V \ sa] [V \ sb] [V \ sc]T$	est le vecteur des tensions statoriques
$[Vs \ abc] = [V \ ra] [V \ rb] [V \ rc]T$	est le vecteur des tensions rotoriques
$[is \ abc] = [i \ ra] [i \ rb] [i \ rc]T$	est le vecteur des courants statoriques
$[Vs \ abc] = [\phi \ ra] [\phi \ rb] [\phi \ rc]T$	est le vecteur des flux statoriques
$[Vs \ abc] = [i \ ra] [i \ rb] [i \ rc] T$	est le vecteur des courants rotoriques
$[Vs \ abc] = [\phi \ ra] [\phi \ r b] [\phi \ rc]T$	est le vecteur des flux rotoriques;
M_s :.....	Mutuelle inductance entre deux phases du stator.
M_r :.....	Mutuelle inductance entre deux phases du rotor.
$[M_{sr}]$:	Matrice des inductances mutuelles du

couplage stator - rotor.

$[R_s]$, $[R_r]$ matrices diagonales des résistances statorique et rotoriques.

θ Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes

C_{em} couple électromagnétique

C_r couple de charge

J moment d'inertie

Ω_s Vitesse de synchronisme

Ω_r Vitesse de rotor.

ω_s pulsation des grandeurs électriques statoriques.

ω_r pulsation des grandeurs électriques rotoriques.

G glissement

f_v coefficient de frottement.

P nombre de paires de pôles.

AC..... Courant alternatif

DC..... Courant continu

T Couple transmis au rotor

C_u Couple utile.

P_{tr} Puissance électromécanique transmise au rotor.

P_r Puissance mécanique du rotor.

R Résistance entre phase du stator.

R Résistance d'un enroulement.

P_m Perte mécanique

P_{jr} Perte joule rotorique

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Introduction générale 2

Chapitre I : Généralités sur la Machine Asynchrone

I.1. Introduction.....	7
I.2. Historique.....	7
I.3.1 Définition 1	8
I.3.2 Définition 2	8
I.4. Classification de machines électriques tournantes.....	8
I.5. Principe de fonctionnement	9
I.6. Construction de la machine asynchrone.....	10
I.6.1 Le stator	10
I.6.2 Le rotor.....	11
I.6.3. Les paliers	12
I.6.4. L'entrefer	12
I.7. Le bobinage d'un moteur asynchrone	12
I.6. Branchement étoile ou triangle	13
I.7. Utilisation des machines asynchrones	14
I.7.1. Moteur asynchrone.....	14
I.7.2. Générateur asynchrone.....	14
I.8. Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones	14
I.8.1 Avantages.....	14
I.8.2 Inconvénients	14
I.8 Bilan des puissances	14
I.10. Conclusion	15

Chapitre 2 : Défaillance de la machine asynchrone

II.1. Introduction	17
II.2. Défaillances des machines asynchrones.....	17
II.2.1 Défauts statoriques	19
II.2.1.1 Court-circuit dans une phase	19
II.2.1.2 Circuit ouvert sur une phase	19
II.2.1.3 Court-circuit entre deux phases.....	20

II.2.1.4 Court-circuit avec le bâti	20
II.2.2 Défauts rotoriques :	21
II.2.2.1 Ruptures de barres	21
II.2.2.2 Ruptures d'anneaux.....	21
II.2.2.3 Excentricité dynamique et statique	22
II.3 Différentes techniques de diagnostic des machines électriques	23
II.3.1 Méthodes à base de modèle	23
II.3.2 La méthode Du modèle.....	24
II.3.3 La méthode de diagnostic par identification des paramètres.....	24
II.3.4 La méthode de diagnostic par estimation du vecteur d'état	24
II.3.5 Les méthodes s'appuyant sur une base de connaissance (Les méthodes externes).....	24
II.4 Conclusion	25

Chapitre 3 : Modélisation de la machine asynchrone

III.1. Introduction	27
III.2. Hypothèses simplificatrices :	27
III.3. Modèle mathématique de la machine asynchrone	28
III.4. Mise en équation du MAS	29
III.4.1 Equations électriques.....	29
III.4.2 Equations magnétiques	30
III.4.3 Equations mécaniques :	31
III.5 Transformation triphasée-diphasée.....	32
III.5.1 Transformation de Park	32
III.5.1.1 Principe de la transformation de Park	32
III.5.1.2 Résultat de transformation de Park :	33
III.6 Etude d'une machine asynchrone	33
III.6.1 Machine asynchrone en absence du défaut	33
III.6.2 Machine asynchrone en présence du défaut.....	34
III.7. Développement du modèle SIMULINK de la machine asynchrone	35
III.7.1 Schéma global de simulation:.....	35
III.7.2 Résultats de la simulation :	36
III.8. Conclusion.....	46
<i>Conclusion générale</i>	47
<i>Références Bibliographiques</i>	49

Introduction générale

Introduction générale

La machine asynchrone est un outil indispensable et essentiel dans les industries. Pour cela la disponibilité de cette dernière est une tâche cruciale pour les usines qui l'utilisent, afin de minimiser les coûts directe et indirect des arrêts des usines.

Donc, la fiabilité des machines asynchrone est très importantes pour les industriels, Donc nous devons les surveillés avec prudence pour qu'elles ne tombent pas en panne.

A cette effet-là, nous devons bien les diagnostique ou précocement détecter si notre machine asynchrone en état de marche ou en état de panne.

L'objectif de ce mémoire de fin d'études et la détection et le diagnostic des pannes et de la défaillance d'une machine asynchrone.

Pour atteindre cet objectif Ce mémoire est organisé en trois chapitres

Le premier chapitre sera une vision générale sur la machine asynchrone, commençant par un bref rappel sur la constitution technologique de la machine asynchrone à cage d'écureuil, puis on voir le principe de fonctionnement et quelques types de cette machine, on passe à citer les avantages et les inconvénients.

Le second chapitre sera consacré aux concepts de base du diagnostic des défaillances dans le monde industriel et précisément sur les machines asynchrones. Ensuite nous allons faire une classification des différents défauts pouvant affecter chaque élément de cette machine (causes, effets, études statistiques). Une synthèse des méthodes et technique s utilisées pour la détection des défauts.

Le troisième chapitre sera réservé à la simulation du modèle présenté. Les résultats obtenus seront étalés et interprétés, nous terminerons par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :
Généralités sur la
Machine Asynchrone

I.1. Introduction

La machine asynchrone connue également sous le terme « anglo-saxon » de la machine à induction, est une machine à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui la traversent. La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On les retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, train, propulsion des navires), de l'industrie (machine-outil), dans l'électroménager. Elles étaient à l'origine uniquement utilisées en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, sont de plus en plus souvent utilisées en génératrice. C'est par exemple le cas dans les éoliennes.

I.2. Historique

La paternité de la machine asynchrone est controversée. Elle pourrait être attribuée à trois inventeurs : en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferrarais publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 1888. En 1889, Michail Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891.

Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient, la machine asynchrone est aujourd'hui très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts.

Quand la machine asynchrone est alimentée par un réseau à fréquence fixe, il est difficile de faire varier sa vitesse. En outre, au démarrage, le couple est faible et le courant appelé est très élevé. Deux solutions historiques ont résolu ce dernier problème : le rotor à encoches profondes et le rotor à double cage mis au point en 1912 par Paul Boucherot. Grâce aux progrès de l'électronique de puissance, l'alimentation par un onduleur à fréquence variable permet maintenant de démarrer la machine convenablement et de la faire fonctionner avec une vitesse réglable dans une large plage. C'est pourquoi il est utilisé pour la motorisation des derniers TGV ainsi que des nouveaux métros parisiens.[1]

I.3.1 Définition 1

La machine asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Comme les autres machines électriques (machine à courant continu, machine synchrone), la machine asynchrone est un convertisseur électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant électrique (ici alternatif) et un dispositif mécanique.[2]

I.3.2 Définition 2

Machine électrique tournante réalisant la transformation de la puissance électrique reçue sous forme de courant alternatif en puissance mécanique. Ayant $2p$ pôles et étant reliée à un réseau de fréquence f , cette machine tourne à une fréquence légèrement inférieure à la fréquence synchrone n_s définie par :

I.4. Classification de machines électriques tournantes

Les moteurs électriques sont généralement classés selon le type du réseau électrique dans le quelle le moteur est relié : moteurs à courant continu (DC) et des moteurs à courant alternatif (CA). Les moteurs avec alimentation AC sont subdivisés en deux synchrones et asynchrones. La différence fondamentale entre une machine à induction et une machine synchrone réside dans la vitesse du rotor de la machine à induction sous charge ne coïncide pas (est asynchrone) avec la vitesse du champ magnétique, généré par la tension d'alimentation. Les moteurs à induction sont divisés en deux catégories principales : monophasé et triphasé, le premier type de moteurs à induction n'est pas étudié dans ce travail.

Les moteurs à induction triphasés sont classés en fonction du type du rotor : rotor à cage et rotor bobiné. La classification principale est illustrée à la figure (I.1) [3].

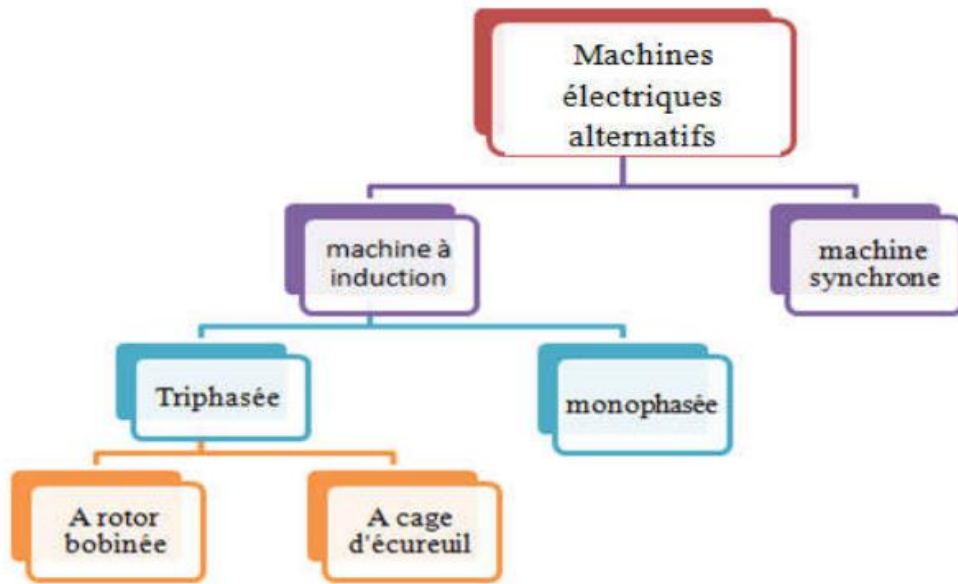


Figure : I.1 : classifications de machines électriques alternatives.

I.5. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant (**Figure I.2**). De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur : le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui, dans le cas général, peut tourner à la vitesse de rotation donnée par le rapport suivant :

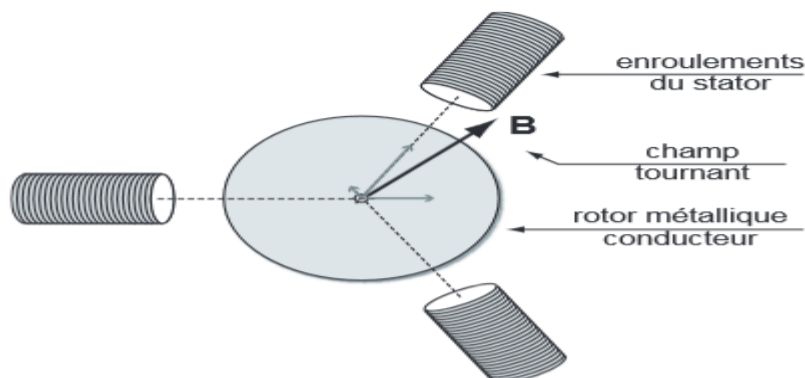


Figure : I.2 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

I.6. Construction de la machine asynchrone

La machine asynchrone est composée d'une partie fixe appelée stator et d'une partie tournante appelée rotor (**figure I.3**). Contrairement aux machines synchrones et à courant continu, seuls les enroulements statoriques sont couplés à un réseau d'alimentation dont les tensions (amplitude et fréquence) définissent

l'état magnétique de l'entrefer. Les enroulements du rotor sont raccordés sur eux-mêmes. Le moteur asynchrone ne possède donc ni enroulement d'excitation ni aimants permanents. Pour ce qui est du flux rotorique nécessaire pour la formation du couple électromagnétique, il est produit à partir de l'induction. La figure (**I.3**) représente la machine asynchrone. Du point de vue mécanique, la machine asynchrone est subdivisée en trois parties distinctes :

Le stator : partie immobile est la partie où est connectée l'alimentation électrique

Le rotor : partie tournante, elle permet de mettre en rotation la charge magnétique

Les paliers : organes de support, ces derniers constituent la partie mécanique permettant ainsi la mise en rotation de l'arbre moteur. [4]

L'entrefer : Cette partie est aimantée (c'est le vide entre le rotor et le stator)

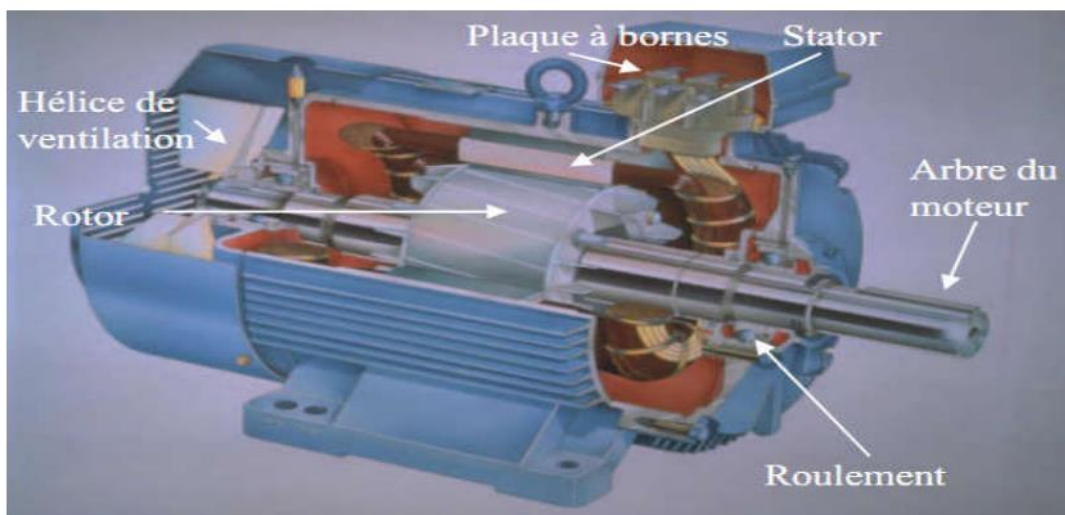


Figure :II.3 : constitution de la machine asynchrone [8].

I.6.1 Le stator

Le stator d'une machine asynchrone est constitué de tôles d'aciers découpées dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques, il comporte une couronne de tôles minces (0,35 et 0,50 mm) empilées pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique par l'effet

des courants de Foucault. Ces tôles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet de ce dernier, au finale elles sont assemblées les unes aux autre pour former le circuit magnétique statorique. Une fois l'assemblage est terminé les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentrique. Chaque type présente des avantages dans certaines applications. Pour les petits moteurs, et particulièrement lorsque la réalisation du bobinage est mécanisée, on utilise généralement l'enroulement concentrique. Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boite à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. [5, 6, 7]



Figure : I.4 Stator

1.6.2 Le rotor

Le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont en général de même origine que c'elles utilisées pour la construction du stator. C'est tôles sont, pour les petite machines découpées en une seule pièce et assemblées sur un arbre alors qu'elles sont, pour les machines de puissance importantes découpées par sections et montées sur un noyau. En ce qui concerne le rotor à cage d'écureuil les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées, les enroulements sont constitués de barres court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux. Très souvent, ces barres sont uniformément inclinées pour limités les harmoniques et ainsi diminuer très fortement le bruit lors de l'accélération de la machine asynchrone. Le rotor de la machine asynchrone est aussi pourvu d'ailettes de ventilation pour permettre un refroidissement de la cage le plus efficace possible [5, 8].



Figure : I.5 rotor

1.6.3. Les paliers

Qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage [5].

1.6.4. L'entrefer

Cette partie amagnétique (c'est un vide entre le stator et le rotor) est d'épaisseur la plus faible (de l'ordre du millimètre), cette épaisseur réduite rend la taille de l'entrefer sensible aux variations dues aux encoches statoriques. Ceci crée des harmoniques dites d'encoches, pour les réduire, les encoches sont fermées par des cales magnétiques qui maintiennent le bobinage. [9]

I.7. Le bobinage d'un moteur asynchrone

Les bobines sont logées dans les encoches du stator. Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située au dessus du moteur. On dispose ainsi de 6 connexions, une pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon le schéma suivant [10].

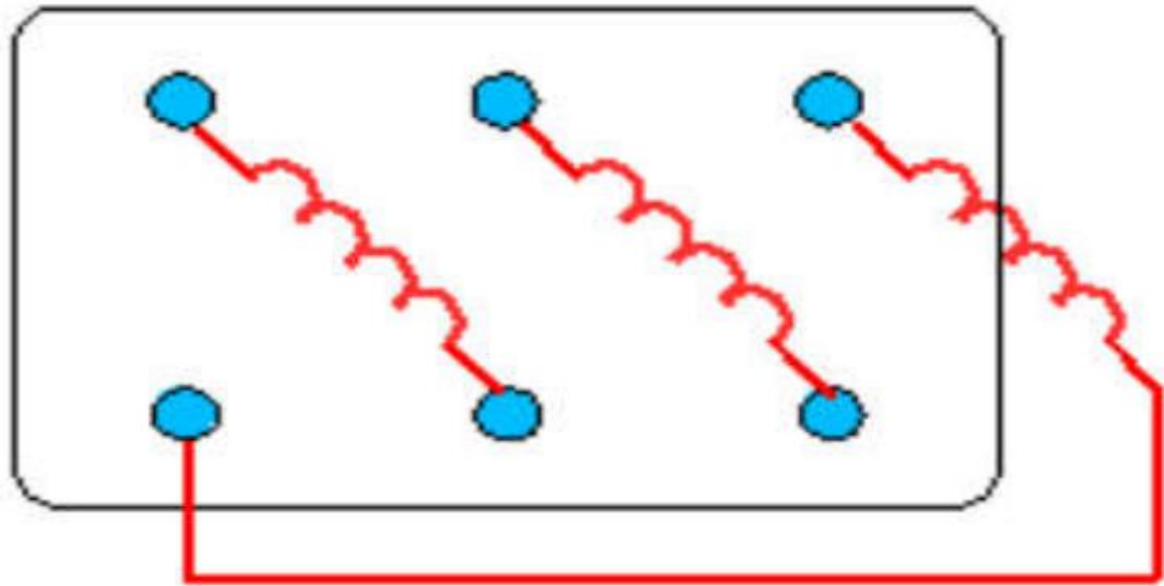


Figure I.6 : Branchements des bobines internes de la machines asynchrone [13].

I.6. Branchement étoile ou triangle

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle comme la figure ci-dessous montre [10].

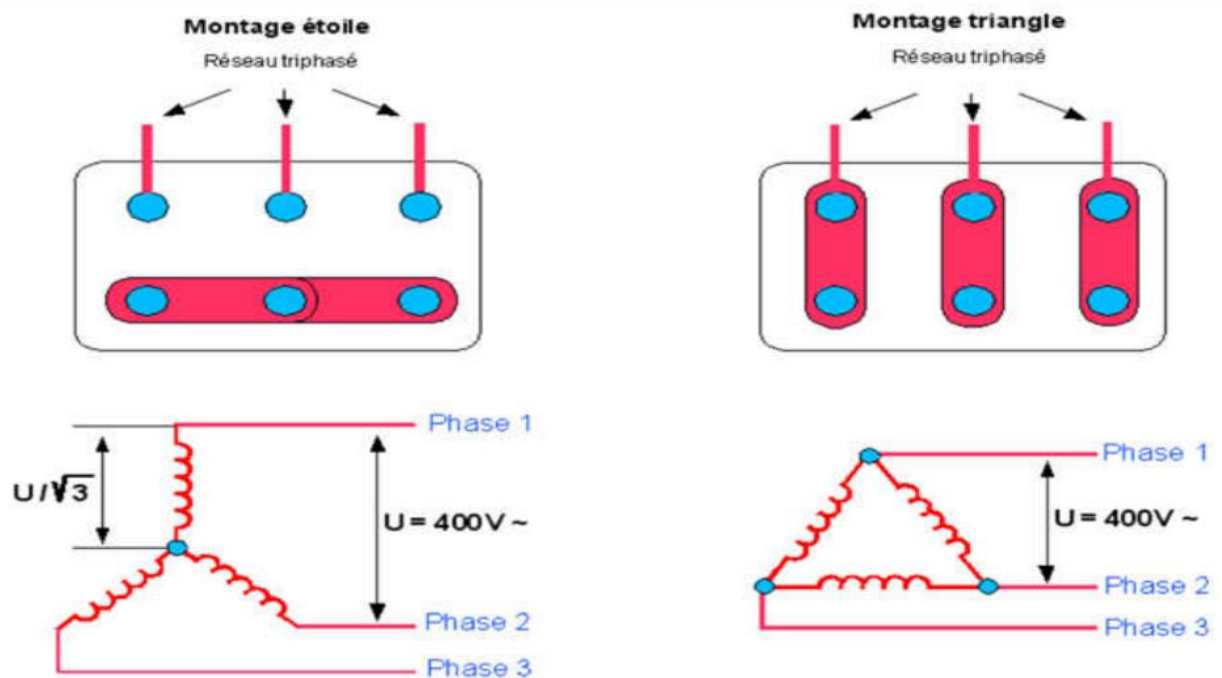


Figure I.7 : Les couplages des moteurs asynchrones (étoile et triangle) [13].

I.7. Utilisation des machines asynchrones

I.7.1. Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est le moteur industriel par excellence. La majorité des moteurs asynchrones utilisés sont avec un rotor à cage d'écureuil. Les progrès accomplis ces dernières années dans l'alimentation et la commande des machines n'ont fait que réduire la part des moteurs asynchrone à rotor bobiné par rapport à leurs homologues à cage d'écureuil

I.7.2. Générateur asynchrone

Le générateur asynchrone est beaucoup plus rare que l'alternateur, mais on le trouve dans quelques applications de puissance limitée comme les microcentrales hydrauliques, il occupe surtout la plus grande part du marché des éoliennes (GADA), le plus souvent avec des machines à cage d'écureuil pour les puissances modestes, mais aussi avec des machines à rotor bobiné pour les installations plus importantes

I.8. Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones

I.8.1 Avantages

Il y a plusieurs avantages dans le moteur asynchrone :

- Structure simple.
- Robuste et facile à construire.
- Utilisé dans la puissance moyenne et élevés.
- Relié directement aux réseaux industriels à tension et fréquence.
- Il tourne à vitesse variable différente de la vitesse synchrone.
- Il est utilisé pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse

I.8.2 Inconvénients

Parmi les inconvénients de la machine asynchrone :

- Le couple de démarrage très élevé que les couples nominaux.
 - La vitesse dépend de la charge.
 - Variation de vitesse (nécessité d'un variateur de vitesse).
 - La structure dynamique est fortement non linéaire et l'existence d'un fort couplage
- [11]

I.8 Bilan des puissances

Le principe de MAS consiste a transmettre une puissance absorbée (électrique) vers une puissance utile (mécanique) passe par quelques comme sur la figure ci-dessous [12] :

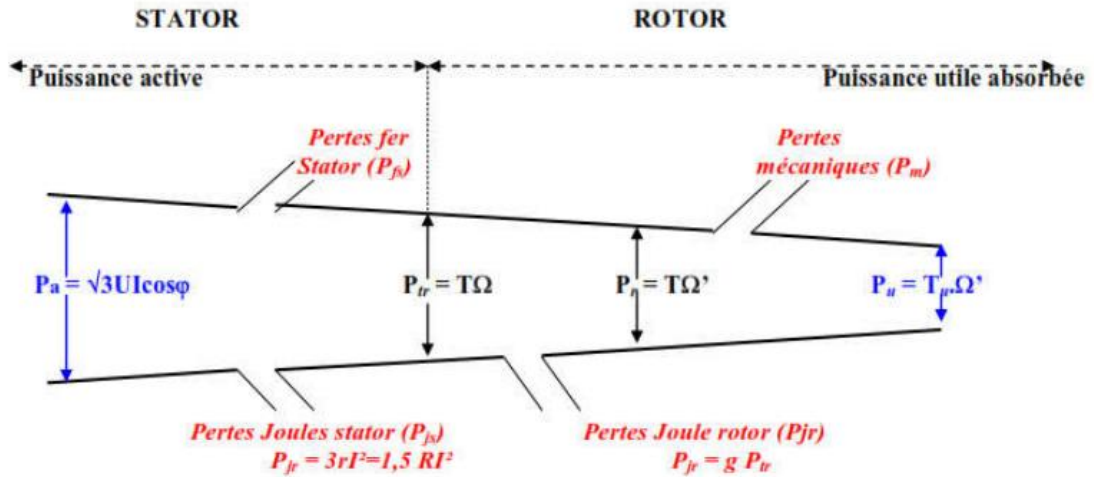


Figure 1.8 : Diagramme et bilan de puissance d'une machine asynchrone.

- Ω : vitesse de synchronisme.
- $\hat{\Omega} = \Omega$: vitesse de rotor.
- $T = Ce$: couple transmis au rotor ou couple électromagnétique.
- $Tu = Cu$: couple utile.
- P_{tr} : Puissance électromécanique transmise au rotor.
- P_r : Puissance mécanique du rotor.
- R : résistance entre phase du stator.
- R : résistance d'un enroulement.
- P_m : perte mécanique
- P_{jr} : Perte joule rotor

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté quelques généralités sur la machine asynchrone ses différents constituants ainsi que son principe de fonctionnement, ce qui va contribuer a entamé les autres chapitres et mettre en évidence le modèle mathématique de la MAS qui sera l'objectif du deuxième chapitre.

Chapitre 2 :
Défaillance de la
machine asynchrone

II.1. Introduction

Les machines électriques tournantes occupent une place prépondérante dans tous les secteurs industriels. Les machines asynchrones sont les plus fréquemment utilisées grâce à leur robustesse, leur simplicité de construction et leur coût bas. Néanmoins, celles-ci subissent au cours de leur durée de vie un certain nombre de sollicitations externes ou internes qui peuvent les rendre défaillantes. Les contraintes industrielles en fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité des équipements sont par ailleurs très fortes. C'est pourquoi le monde industriel est fortement intéressé par un ensemble de techniques permettant de déterminer l'état de santé de ces machines. Plus généralement, la surveillance et le diagnostic en génie électrique remettent en cause les concepts et les outils traditionnels utilisés en conception et commande des machines électriques tournantes. La modélisation des machines asynchrones en vue de la surveillance et du diagnostic s'insère dans ce contexte.

II.2. Défaillances des machines asynchrones

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone.

Elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques ou électriques. Leurs causes sont très variées. Plusieurs études ont été effectuées sur la fiabilité des machines électriques réalisées par différents groupes industriels. L'étude principale, effectuée par la compagnie "General Electric", a été publiée dans EPRI (Electric Power Research Institute) en 1982 ; elle couvre environ 5000 moteurs, dont approximativement 97% étaient des moteurs asynchrones

La figure (II.1) récapitule la distribution des défauts dans les moteurs examinés dans cette étude.

Il faut noter que cette figure représente des données de machines fonctionnant dans différentes applications et dans différentes branches dans l'industrie.

Il est connu que l'occurrence d'un type quelconque de défauts dépend fortement de l'application spécifique de la machine.

Par exemple, il a été constaté que dans des machines asynchrones, les défauts de la cage rotorique sont plus élevés que les défauts d'enroulement statorique pour les applications où la machine est fréquemment arrêtée et remise en marche sous une charge importante (machines à outils et les industries minières).

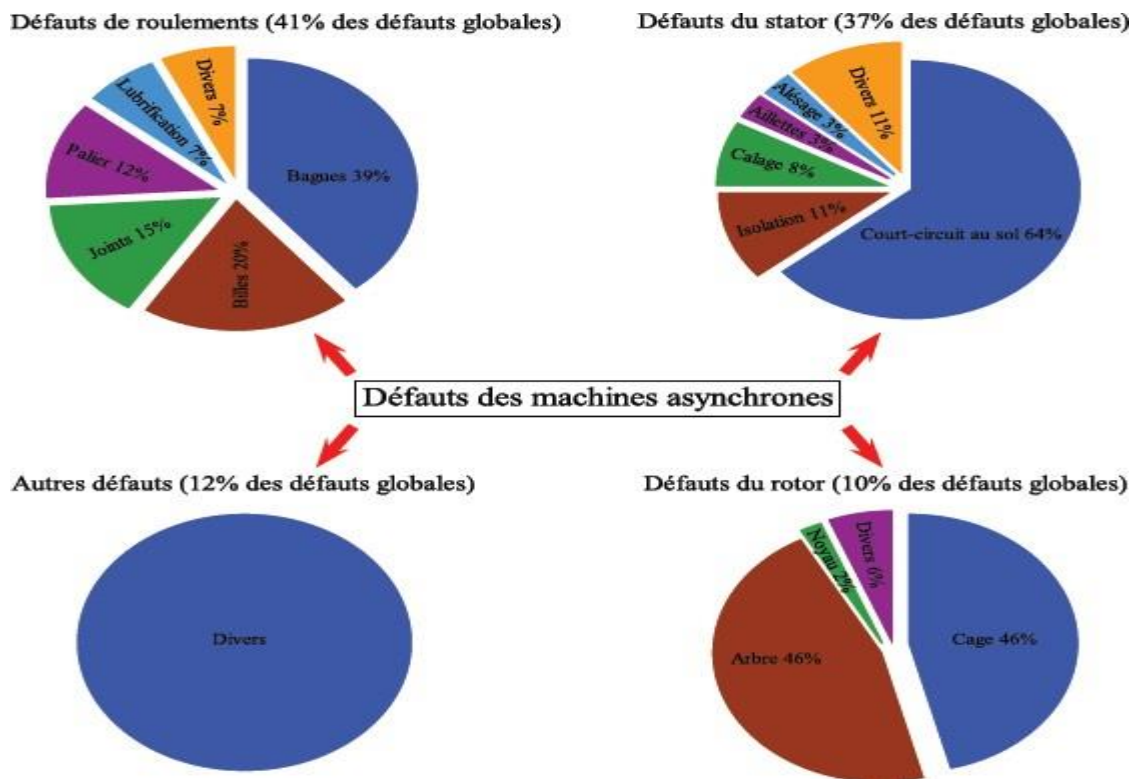


Figure II.1 Distribution des défauts

La figure II.2 résumant le travail de met en évidence la distribution de défauts parmi les composantes défectueuses dans 483 grands moteurs asynchrones fonctionnant dans un même domaine lié à l'industrie pétrochimique. De tels moteurs fonctionnent très souvent en conditions extrêmes dans des activités sous-marines. Ils sont souvent directement amorcés, ce qui génère de grands courants de démarrage et des variations de couple importantes. Ces conditions sont nocives pour le moteur, et mènent à l'usure rapide des différents composants de la machine. Comparant les résultats de ce travail à (figureII.1), il apparaît clairement que l'occurrence d'un type spécifique de défaut dépend considérablement de l'application spécifique de la machine et de l'environnement de fonctionnement.

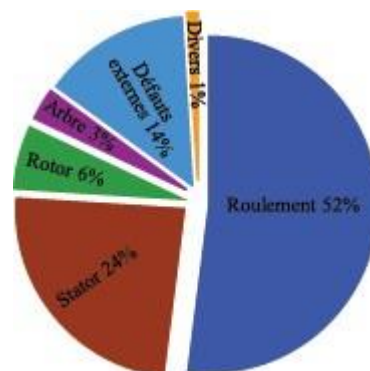


Figure.II.2 Distribution des défauts

Ces études montrent que certains défauts sont plus fréquents que d'autres, parmi ces défauts :

II.2.1 Défauts statoriques

La principale source de défauts dans un moteur électrique provient des bobinages. Les effets d'usure comme les frottement soule vieillissement des matériaux ont un effet sur l'intégrité des fils et de leur isolant. Si cet isolant est trop endommagé, ces bobinages peuvent alors se mettre en court-circuit ou alors, lorsque le fil lui-même est endommagé, en circuit ouvert. Il peut y avoir différents types de défauts dont les conséquences sont différentes. Ces différentes fautes sont données sur la figure (II.3) [17]

II.2.1.1 Court-circuit dans une phase

Un court-circuit dans une phase est un des problèmes les plus difficiles à tolérer [4]. Dans ce cas, la littérature présente la phase concernée comme perdue [5]. Sur une machine triphasée avec un onduleur à 3 bras, cela implique l'arrêt de la machine à cause des conséquences physiques sur le moteur en cas de maintien de l'alimentation. La conséquence la plus importante est l'apparition des courants de court-circuit, le principal problème étant l'échauffement important pouvant propager la faute. L'importance des courants de faute dépend directement du nombre des pires en court-circuit.

Il faut aussi prendre en compte le fait que des spires en court-circuit engendrent un couple résistant dû aux courants induits par le flux d'excitation circulant et les mutuelles de la machine en fonctionnement.

Ce couple résistant est une valeur à caractériser pour en prévoir les conséquences sur le fonctionnement suite à la panne de la machine.

II.2.1.2 Circuit ouvert sur une phase

Un circuit ouvert dans une phase a des conséquences moins graves qu'un court-circuit. L'ouverture d'une des phases ne fait pas circuler de courant de faute et ne pose donc pas de problème d'échauffement pouvant détériorer le reste de la machine. De même, un circuit ouvert ne crée pas de couple résistant lorsqu'un champ variable est appliqué à la bobine. Le seul problème est donc la perte d'une phase et donc de production de

Couple. Dans le cas d'un machine triphasé alimenté par un onduleur à trois bras, la seule manière de pouvoir assurer un minimum le fonctionnement est de piloter les deux phases restantes, c'est-à-dire avec un fonctionnement équivalent à une machine à une phase. Le problème vient alors des ondulations de couple importantes et du fait de ne pas pouvoir assurer un service nécessitant des changements des en de rotation et des phases marche/arrêt fréquentes (passage par une vitesse nulle).

II.2.1.3 Court-circuit entre deux phases

Un court-circuit entre deux phases est une faute grave qui peut avoir de lourdes conséquences sur une machine. La première est la perte de ces deux phases pour la production du couple. Dans une machine triphasée, ce l'implique l'arrêt de la machine de venue impossible à commander. La seconde est qu'un court-circuit entraîne des courants de défaut provoquant des échauffements pouvant engendrer

Des détériorations supplémentaires. De même que pour le cas du court-circuit dans une phase, ces spires en court-circuit engendrent un couple résistant en s'opposant aux variations du flux d'excitation.

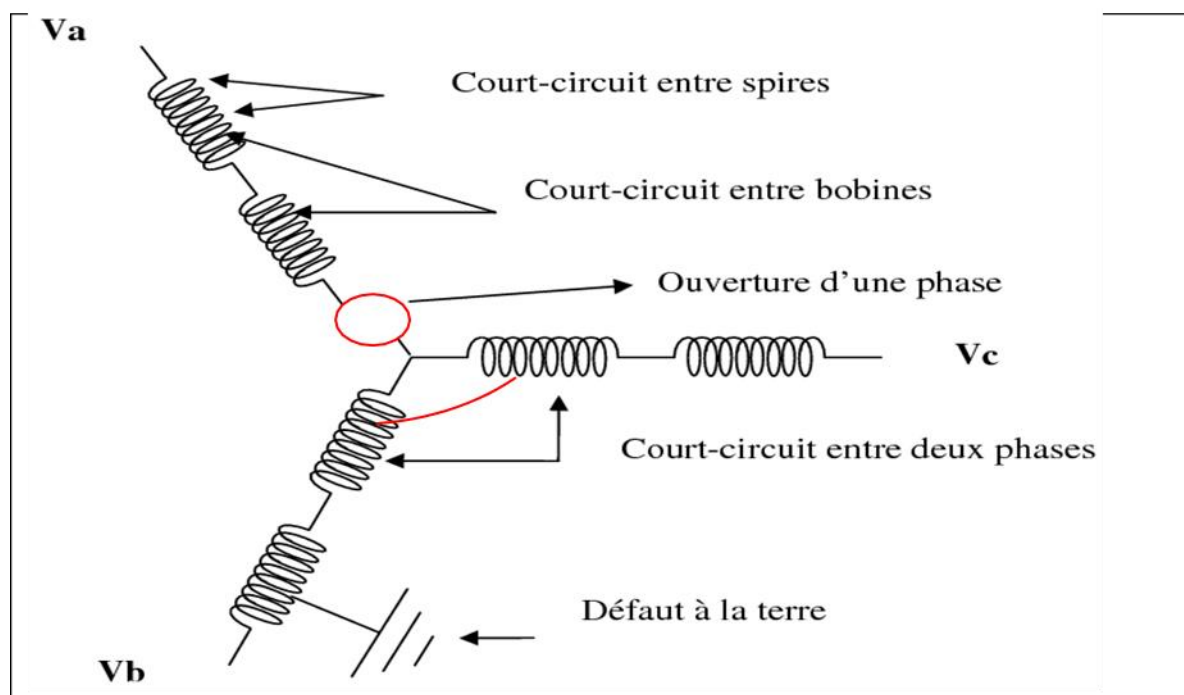


Figure II.3: Défauts statoriques

II.2.1.4 Court-circuit avec le bâti

Le bâti a généralement un potentiel flottant, mais pour des raisons de liaisons Mécaniques, il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, excepté les effets capacitifs, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit. Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels).

En présence de ce type de défaillance, la tension de la phase concernée ne change pas. Cependant le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, cette défaillance va générer une composante homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut.[18]

II.2.2 Défaits rotoriques :

Les défauts rotoriques se situent au niveau de la cage ou au niveau de l'entrefer. 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. Au niveau de l'entrefer les défauts se manifestent par une excentricité statique, dynamique ou mixte

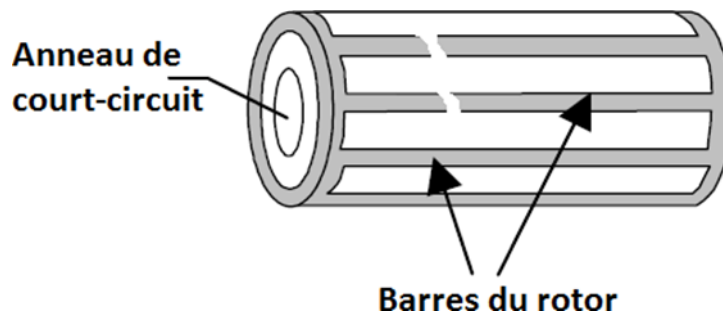


Figure : II.4: Défaut d'un rotor à cage d'écureuil, rupture de barres

II.2.2.1 Ruptures de barres

Cassure ou la rupture de barre est l'une des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer 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, qu'elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi le couple diminue en même temps que 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.

II.2.2.2 Ruptures d'anneaux

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que le cas sur de barres. Ces ruptures sont dues à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux. Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voire confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques.[18]

Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. 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 rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques

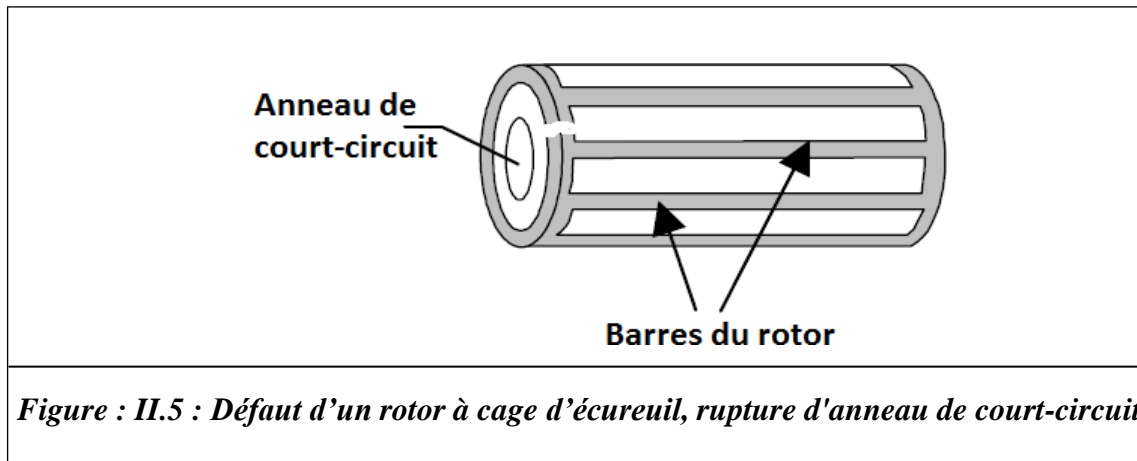


Figure : II.5 : Défaut d'un rotor à cage d'écureuil, rupture d'anneau de court-circuit

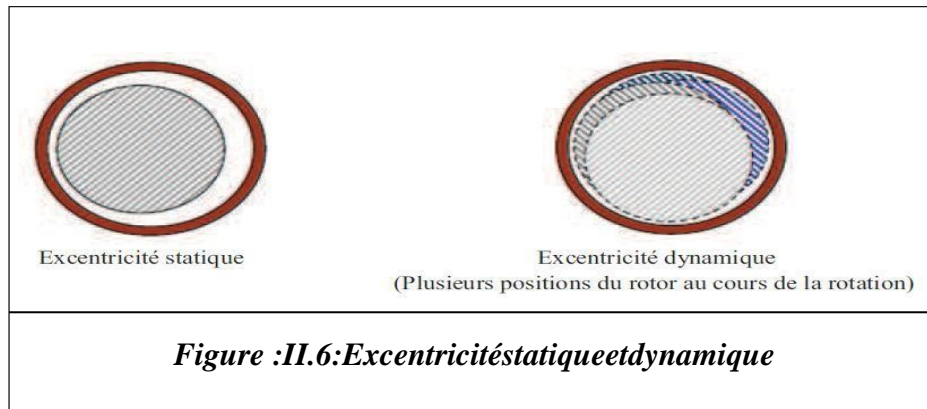
II.2.2.3 Excentricité dynamique et statique

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).

Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) son origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut de roulement (usure), à un défaut de charge ou à un défaut de fabrication. [19]

Trois cas d'excentricités sont généralement distingués :

- L'excentricité statique : le rotor est déplacé du centre de l'alésage mais tourne toujours autour de son axe.
- L'excentricité dynamique : le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- L'excentricité mixte : associant les deux cas, statique et dynamique.



Ce défaut modifie le comportement magnétique et mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entre fer du it une augmentation des forces électromotrices, ce qui agit directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquences des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent les systèmes. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements.

II.3 Différentes techniques de diagnostic des machines électriques

Dans l'objectif d'établir un dispositif de sureté de fonctionnement il est important de bien connaître les signatures des défauts à surveiller. Il est évident dans les différents travaux publiés que les indices de défauts différents la technique appliquée parmi ces techniques son distingue :

- Les méthodes à base de modèle (les méthodes internes).
- Les méthodes s'appuyant sur une base de connaissance (Les méthodes externes).[19]

II.3.1 Méthodes à base de modèle

Les méthodes à base de modèle sont issues principalement de l'automatique et supposent une connaissance apriori du système, elles prennent en compte les équations régissant les phénomènes internes du système et qui expriment les connaissances profondes dessous la forme d'un modèle mathématique, les méthodes proposées dans ce contexte peuvent être regroupées en 3 catégories.

II.3.2 La méthode Du modèle

La méthode de diagnostic de défaillance par la méthode du modèle consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. [20]

II.3.3 La méthode de diagnostic par identification des paramètres

Cette méthode s'applique au cas très particulier où l'on souhaite suivre l'évolution de certains paramètres physiques critiques pour le fonctionnement d'un processus et qui ne sont pas mesurables directement.

II.3.4 La méthode de diagnostic par estimation du vecteur d'état

La généralisation du principe de diagnostic de défaillance par la méthode de l'identification des paramètres a été rendue possible en considérant les modèles physiques d'un processus sous la forme d'équation d'état.

Bien que ces approches soient différentes, leur but est le même; il consiste à générer un vecteur caractéristique: le résidu (Signal conçu comme indicateur d'anomalies). L'objectif du résidu est d'être sensible aux défauts, en l'absence de défaut, le résidu doit avoir une valeur nulle, en présence d'un défaut, le résidu aura une valeur non nulle. De ce fait, le problème de diagnostic des défauts par ces méthodes peut se reformuler sous la forme d'un problème de génération de résidus. [21]

II.3.5 Les méthodes s'appuyant sur une base de connaissance (Les méthodes externes)

Ces méthodes ont la particularité de ne pas nécessiter la connaissance d'un modèle mathématique ou structurel du procédé contrairement aux méthodes à base de modèle.

Seulement la disponibilité de grande quantité de données historiques du processus (signatures déjà observées) est nécessaire. Il y a diverse façon de traiter ces données et de les présenter en tant que connaissance a priori pour le diagnostic.

Les signatures de défauts obtenues par modélisation ou par mesure sur maquette sont [18]

Généralement classées dans une base de données. On peut citer:

- Les réseaux de neurones.
- La reconnaissance de formes.
- Approche signal.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu donner une vision globale sur les différentes parties constituant la machine asynchrone, après on a mis l'accent sur les défauts qui affectent fréquemment cette dernière, leurs causes et leurs signatures, ainsi que les différentes méthodes de diagnostic. L'objectif de notre mémoire est de trouver un moyen optimal afin de pouvoir diagnostiquer au mieux la machine.

Chapitre 3 :
Modélisation de la
machine asynchrone

III.1. Introduction

Une démarche d'étude des machines électriques est basée sur la modélisation analytique qui régit le fonctionnement réel de la machine.

Ce fonctionnement est déterminé par les couplages électromagnétiques des enroulements situés au stator et/ou au rotor. Chaque couplage électromagnétique peut être caractérisé par une inductance.

De cette manière, on peut définir des impédances globales stator/stator, rotor/stator..., Si l'on adopte quelques considérations simplificatrices pour la structure ferromagnétique de la machine on obtient des valeurs des inductances quasi-linéaires, ce qui donne des modèles simples à traiter qui permettent de caractériser aisément le comportement général de la machine.

Le modèle de la machine asynchrone « triphasée » est un système de six équations différentielles dont les coefficients sont des fonctions périodiques du temps, les variables fortement couplées, la matrice inverse de l'inductance est calculée pour chaque pas de calcul, nécessite des outils informatiques très rapide..., ce qui rend le modèle de la machine difficilement exploitable. Pour pallier à cet inconvénient, nous allons utiliser des transformations mathématiques dites (transformations diphasées de Park), qui permettent de décrire le comportement de la machine à l'aide d'équations différentielles à coefficients constants, plus simples. Ces modèles sont utilisés par la suite pour le développement des algorithmes de détection, localisation et reconfiguration du système en cas de présence d'un défaut sur le système électrique.

III.2. Hypothèses simplificatrices :

Dans ce qui suit la machine asynchrone est considérée fonctionner en moteur ; ce dernier avec la répartition de ses enroulements et son organisation complexe des phénomènes difficile à contrôler qui se manifestent dedans tel la saturation, l'hystérésis, les courants de Foucault et d'autres ; alors certaines hypothèses simplificatrices négligent ces phénomènes sont à prendre en considération afin d'aboutir à des résultats suffisamment satisfaisants.

Les hypothèses simplificatrices admises dans le modèle de la machine asynchrone sont,

- L'absence de saturation et de pertes dans le circuit magnétique (l'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables).
- La parfaite symétrie de la machine.
- La répartition spatiale sinusoïdale des différents champs magnétiques le long de l'entrefer (l'entrefer est constant).
- L'équivalence du rotor en court-circuit à un enroulement triphasé monté en étoile.

- L'alimentation est réalisée par un système de tension triphasée équilibré.
- Les résistances des enroulements ne varient pas avec la température on néglige l'effet de peau.

Ainsi, parmi les conséquences importantes de ces hypothèses on peut citer

- La constance des inductances propres ;
- La constance des résistances statoriques et rotoriques ;
- La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelle entre les enroulements statoriques et rotoriques en fonction de l'angle de leurs axes magnétiques. [13, 14]

III.3. Modèle mathématique de la machine asynchrone

Le modèle mathématique permet principalement d'observer les différentes évolutions des grandeurs électromécaniques d'une part, et d'autre part de prévoir le contrôle nécessaire pour palier aux différents problèmes qui accompagnent les opérations de variation de charge, de vitesse...etc.

La machine est alimentée en tension, les composantes du vecteur de commande de l'équation d'état seront donc des tensions. Les différentes grandeurs seront, dans un premier temps exprimé dans leurs repères respectifs. Le stator est constitué de trois enroulements répartis dans l'espace, et séparés d'un angle électrique de 120° , les mêmes propos s'appliquent au rotor qu'il soit à cage d'écureuil ou formé de trois bobines.

La figure (III.1) illustre la disposition des enroulements statoriques et rotoriques :

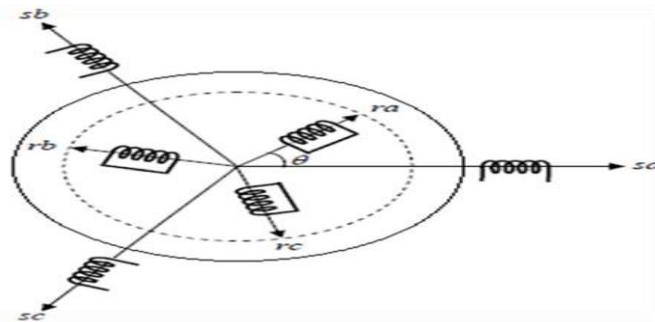


Figure III.1 : Modèle des enroulements statoriques et rotoriques d'une MAS

- r_a, r_b, r_c : correspondent aux trois phases de rotor,
- s_a, s_b, s_c : correspondent aux trois phases de stator,

Les enroulements des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques dans l'espace peuvent être représentés comme indiqué sur la figure (III.4). Les phases rotoriques sont court-

circuitées sur elles-mêmes. Et θ représente l'angle électrique entre l'axe de la phase statorique et la phase rotorique.

III.4. Mise en équation du MAS

Beaucoup de représentation sont adoptées pour cette mise en équation selon le référentiel choisi pour repérer les enroulements statoriques et rotoriques. A cet effet, le comportement de la machine asynchrone peut être traduit par trois types d'équations :

- Equations électriques
- Equations magnétiques
- Equations mécaniques

III.4.1 Equations électriques

Le choix d'un modèle de représentation se fait en fonction du type de commande à réaliser. Ainsi, pour un moteur alimenté en tension, les composantes du vecteur de commande de l'équation d'état seront des tensions. Les équations électriques du moteur asynchrones à cage d'écurueil sont celles du flux et de la tension des phases rotorique et statoriques.

La loi de Faraday et la loi d'ohm permettent de relier les tensions appliquées sur les enroulements aux flux totalisés et aux courants dans ces bobinages comme suit :

$$\mathbf{V} = \mathbf{R}\mathbf{i} + \frac{d\boldsymbol{\varphi}}{dt} \quad (\text{III.1})$$

Les équations de tension dans le repère (a, b, c) :

Au stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = [R_s] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sd} \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

Cette écriture peut être écrite sous forme condensée comme suit :

$$[V_{sabc}] = [R_s] [i_{sabc}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{sabc}] \quad (\text{III.3})$$

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

Au rotor

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = [R_s] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.4})$$

$$[V_{rabc}] = [R_s] [i_{rabc}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{rabc}] \quad (\text{III.5})$$

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

$[V_{sabc}] = [V_{sa}] [V_{sb}] [V_{sc}]^T$: est le vecteur des tensions statoriques ;

$[V_{rabc}] = [V_{ra}] [V_{rb}] [V_{rc}]^T$: est le vecteur des tensions rotoriques ;

$[i_{sabc}] = [i_{sa}] [i_{sb}] [i_{sc}]^T$: est le vecteur des courants statoriques ;

$[\varphi_{sabc}] = [\varphi_{sa}] [\varphi_{sb}] [\varphi_{sc}]^T$: est le vecteur des flux statoriques ;

$[i_{rabc}] = [i_{ra}] [i_{rb}] [i_{rc}]^T$: est le vecteur des courants rotoriques ;

$[\varphi_{rabc}] = [\varphi_{ra}] [\varphi_{rb}] [\varphi_{rc}]^T$: est le vecteur des flux rotoriques ;

III.4.2 Equations magnétiques

Les hypothèses que nous avons présentées conduisent à des relations linéaires entre les flux et les courants. Elles sont exprimées sous forme matricielle comme suit

Au stator :

$$\begin{matrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{matrix} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + m_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.6})$$

Cette écriture peut être écrite sous forme condensée comme suit :

$$[\varphi_{rabc}] = [L_s] [i_{sabc}] + [M_{sr}] [i_{rabc}] \quad (\text{III.7})$$

Avec

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

Au rotor :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Lr & Mr & Mr \\ Mr & Lr & Mr \\ Mr & Mr & Lr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} isa \\ isb \\ isc \end{bmatrix} = m_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} isa \\ isb \\ isc \end{bmatrix} \quad (\text{III.9})$$

$$[Lr] = \begin{bmatrix} Lr & Mr & Mr \\ Mr & Lr & Mr \\ Mr & Mr & Lr \end{bmatrix} \quad (\text{III.10})$$

Sachant que :

$$[Msr] = [Mrs] [m] + \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (\text{III.11})$$

[Msr]: Matrice des inductances mutuelles du couplage stator - rotor.

θ : Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes rotoriques et les axes statoriques qui sont choisis comme axes de références.

III.4.3 Equations mécaniques :

Le couple électromagnétique est donné par l'expression (III.12) Pour simuler la machine, en plus des équations électriques il faut ajouter l'équation du mouvement du système:

$$C_e - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f v \Omega \quad (\text{III.12})$$

L'expression du couple électromagnétique C_{em} peut être déterminée par la relation :

$$\begin{aligned} C_{em} &= \frac{1}{2} \frac{[Is]^T}{[Ir]} \frac{d}{dt} \frac{[Msr]}{[Lr]} \frac{[Is]}{[Ir]} \\ C_{em} &= \frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L]}{d\theta} [I] \quad (\text{III.13}) \end{aligned}$$

III.5 Transformation triphasée-diphasée

Le but de cette transformation est de passer d'un système triphasé (a, b, c) vers un système diphasé $\alpha\beta$. Pour cet objet, on utilise deux sortes de transformation importante : **Park**

III.5.1 Transformation de Park

III.5.1.1 Principe de la transformation de Park

La transformation de PARK permet le passage du système triphasé au système biphasé en faisant correspondre aux variables réelles (a, b, c) leurs composantes homopolaire, directe et en quadrature ($d, q, 0$). Cette dernière, assure l'invariance de la puissance instantanée entre les repères triphasés et « dqo »

Dans la théorie de Park, on utilise la transformation unique pour les courants, tensions et flux, ce qui rendre les deux modèles identiques du point de vue électrique et magnétique. Le choix de vecteurs propres judicieux permet d'exprimer la matrice de transformation de Park sous la forme orthonormée suivante :

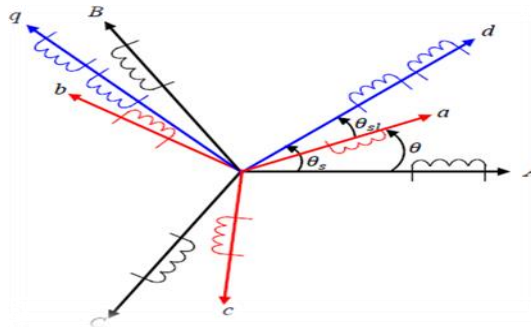


Figure III.2 Position des axes dq par rapport aux axes des enroulements de la MAS.

La matrice $P(\theta)$ de Park est donnée sous la forme suivante :

$$[X\alpha\beta 0] = [P(\theta)]^{-1} [Xabc] \quad (\text{III.14})$$

$$P(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

(III.15)

La matrice $P(\theta)^{-1}$ inverse de Park est donnée sous la forme suivante :

$$[Xabc] = [P(\theta)]^{-1} [X\alpha\beta 0] \quad (\text{III.16})$$

$$P[\theta]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.17})$$

θ : l'angle de la transformation de Park.

III.5.1.2 Résultat de transformation de Park :

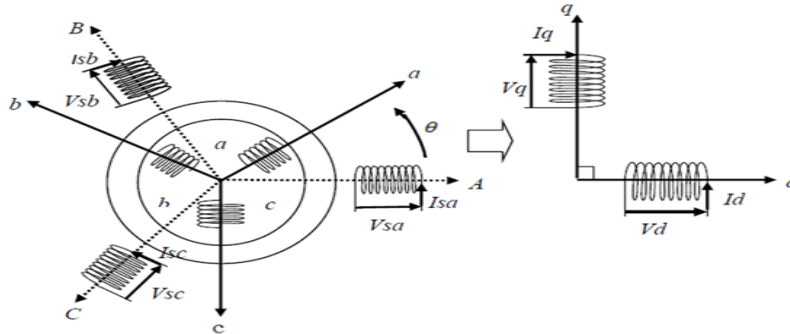


Figure III.3 Modèle de Park de la MAS dans le repère (dq)

III.6 Etude d'une machine asynchrone

III.6.1 Machine asynchrone en absence du défaut

Le moteur asynchrone se comporte comme un transformateur à couplage par champ tournant et à secondaire en court-circuit. Les terminologies utilisées pour une machine asynchrone se rapprochent donc de celles utilisées dans l'étude des transformateurs.

Le primaire alimenté par des courants à la pulsation ω_s crée un champ tournant à la vitesse synchrone $\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$ ou p désigne le nombre de paires de pôles de la machine.

Ce champ balaie le rotor de sorte que les enroulements secondaires sont traversés par un flux variable. Celui-ci est à l'origine de f.é.m. (forces électromotrices) induites. Les courants qui en résultent donnent naissance à un moment magnétique qui, sous l'action du champ primaire, provoque l'apparition d'un couple électromagnétique

Si le rotor tourne à la vitesse synchrone, le flux à travers le secondaire ne varie plus, donc il n'y a pas de f.é.m. induites, donc pas de couple.

Le rotor du moteur tourne à une vitesse Ω d'autant inférieure à Ω_s que le couple développé est important, puisque la variation de flux, donc des f.é.m. et des courants du secondaire, est liée à la vitesse relative $\Omega_s - \Omega$.

En général, cette différence de vitesse relative est évaluée par le glissement :

$$\mathbf{g} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega} \quad (\text{III.18})$$

III.6.2 Machine asynchrone en présence du défaut

Il y a un certain nombre de raisons pratiques pour lesquelles il est utile de maintenir les grandeurs non transformées de la machine asynchrone. Cela signifie que les variables qui définissent l'état électromagnétique dans les enroulements du stator et du rotor restent sous la forme triphasée naturelle. Ce type de modélisation peut être réalisé efficacement dans le cas du maintien d'une structure fixe d'un système triphasé mais avec une phase non alimentée. La conservation des variables non transformées permet d'obtenir une asymétrie dans les enroulements de la machine. Par conséquent, il est possible d'appliquer des tensions d'alimentation asymétriques avec des formes d'onde arbitraires, en particulier d'effectuer le fonctionnement sous une alimentation monophasée.

III.7. Développement du modèle SIMULINK de la machine asynchrone

La figure représente le modèle SIMULINK de la machine asynchrone, le bloc « Transformation abc---dq » est réalisé à partir de l'équation (15). Le contenu du bloc est représenté à la figure (III.4)

III.7.1 Schéma global de simulation :

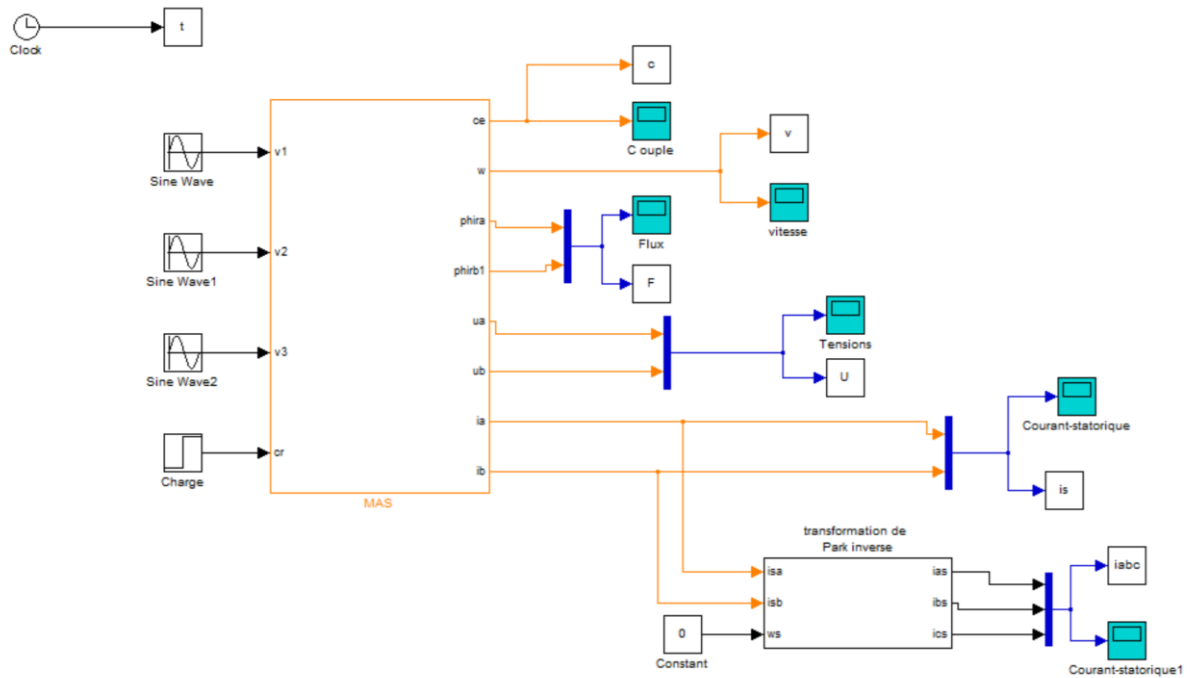


Figure III.4 : schéma bloc global de simulation

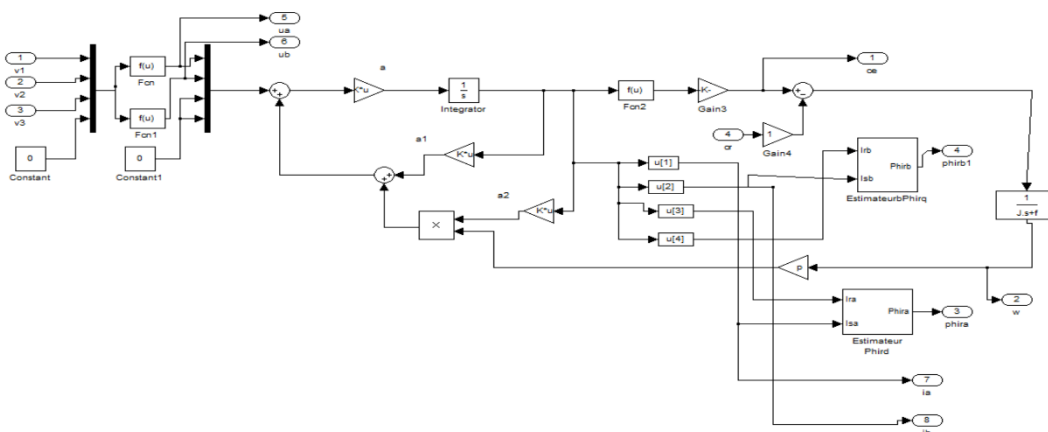


Figure III.5 schémas de la machine asynchrone

III.7.2 Résultats de la simulation :

✓ Test normal de la machine : Démarrage direct sur le réseau

Paramètres de la machine :

$r_s=4.85$; $l_s=0.274$; $r_r=3.805$; $l_r=0.274$; $m=0.258$; $J=0.031$; $p=2$; $f=0.001136$;

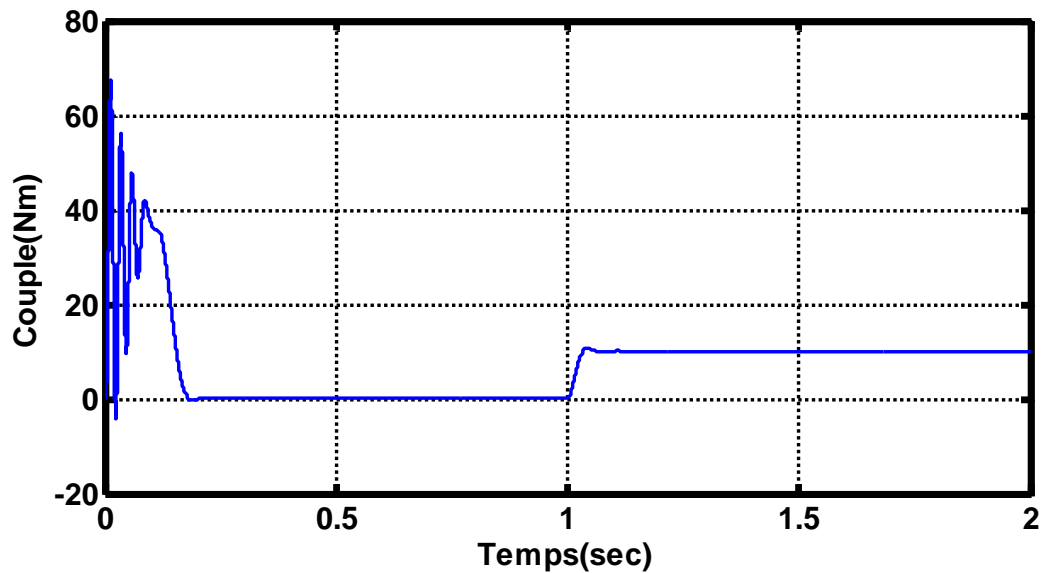


Figure (III.6) : Caractéristique de couple.

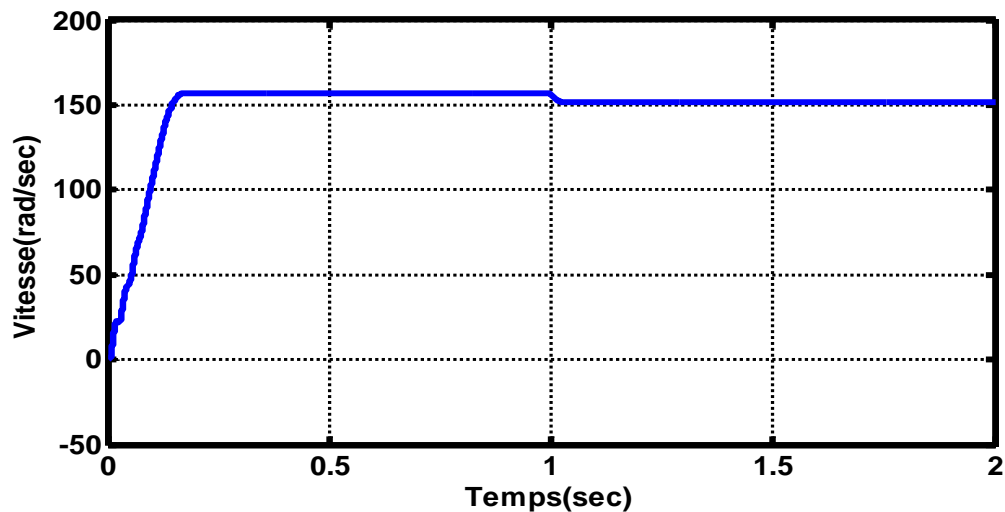


Figure (III.7) : Caractéristique de vitesse

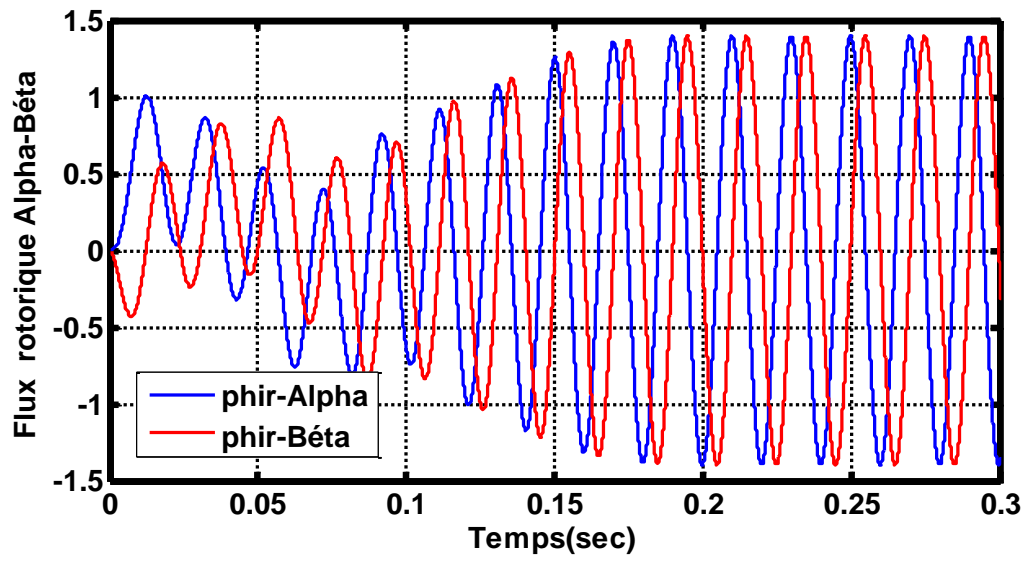


Figure (III.8) : Caractéristique de Flux rotorique.

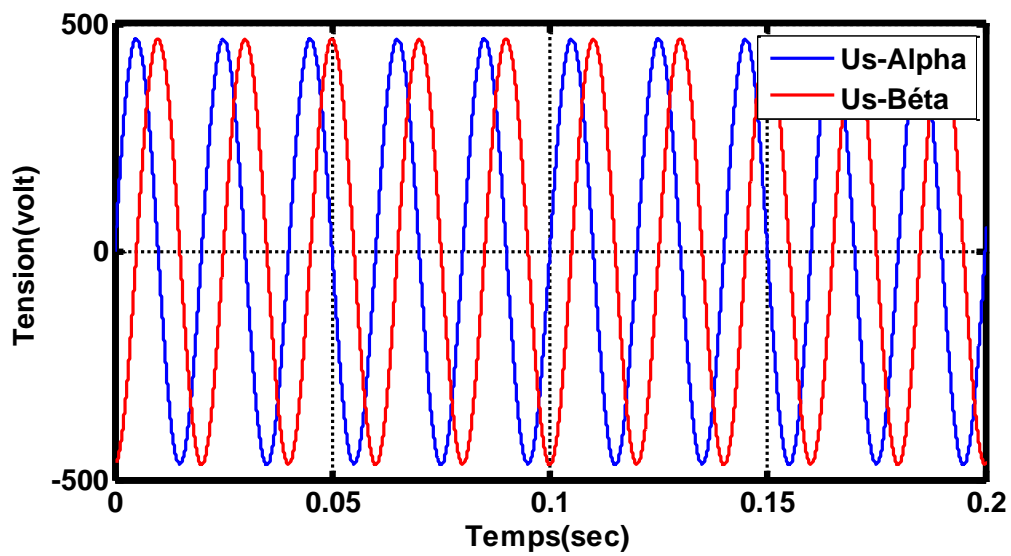


Figure (III.9) : Caractéristique de Tension.

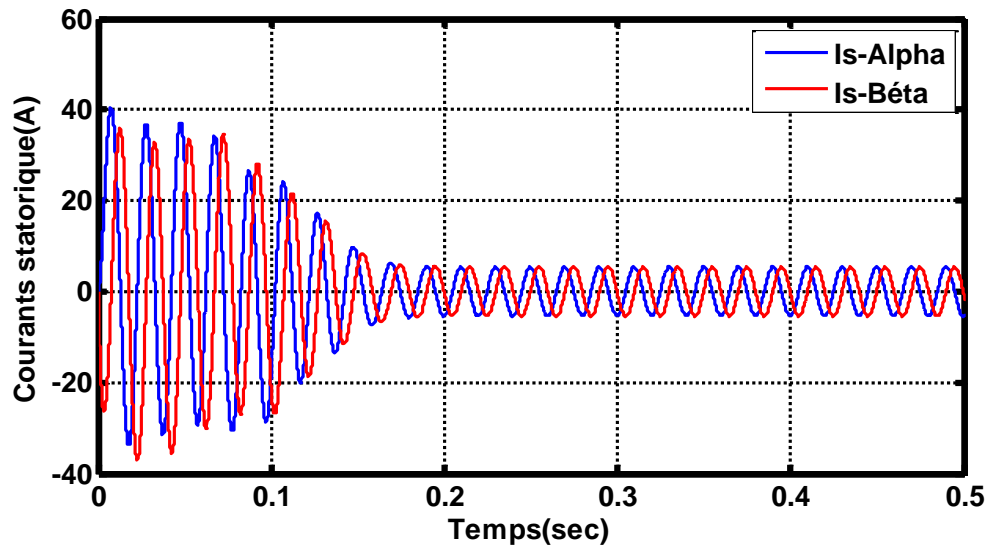


Figure (III.10) : Caractéristique de Courant statorique.

A partir des résultats ci-dessus, La montée en vitesse est quasi linéaire au début du démarrage, à l'instant 0.3 s la vitesse atteint la vitesse de référence (157 rad /sec). Lors de l'application d'un couple de charge de 10 Nm à $t = 1s$, une diminution permanente de la vitesse apparaît, ceci est dû au fait qu'il n'y a pas de régulation,

Nous remarquons qu'au démarrage à vide la machine demande un fort courant statorique (40A) comme le montre la (Figure III.10), il représente huit fois le courant nominal qui est de 5 A, ceci confirme le principe théorique de la machine asynchrone, c'est-à-dire le courant de démarrage peut atteindre au moins trois la valeur du courant nominal. Donc en pratique, il faut prendre en considération ce phénomène. Sur cette même figure, on remarque l'appel important du courant statorique durant l'application de charge (10A).

La caractéristique du couple électromagnétique est illustrée sur la figure (III.6), au démarrage le couple atteint la valeur maximale de 15 Nm et Après un temps de réponse de 0.3s il atteint se stabilise à la valeur nominale presque nulle.

Les résultats obtenus de simulation confirment la faisabilité du modèle mathématique utilisé, et justifie les valeurs des paramètres de la machine obtenues par identification de l'auteur

- ✓ *Test avec défauts*
- ✓ **Variation de la résistance rotorique : $R_r=3.805/3=1.268 \Omega$**

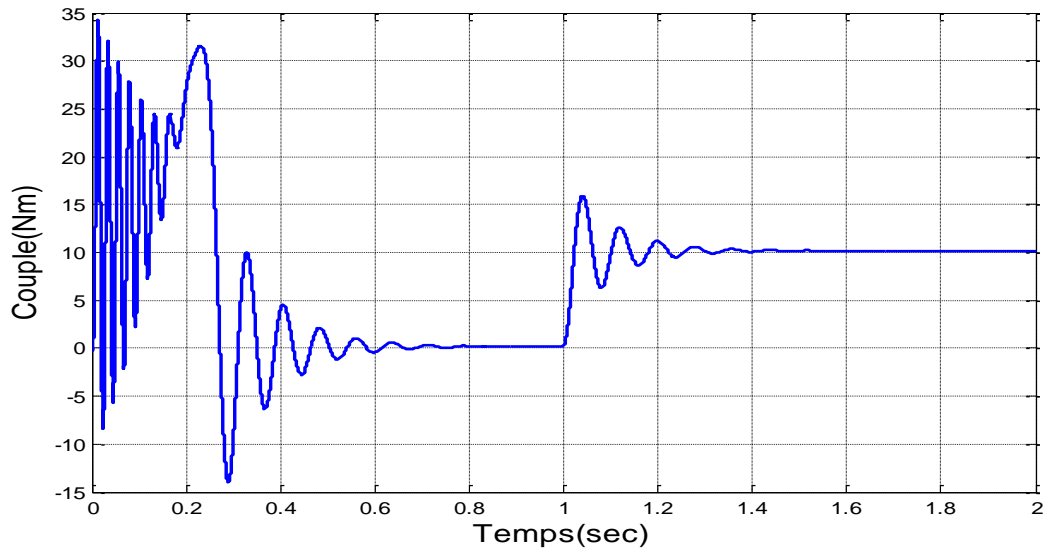


Figure (III.11) : Caractéristique de couple (Nm)

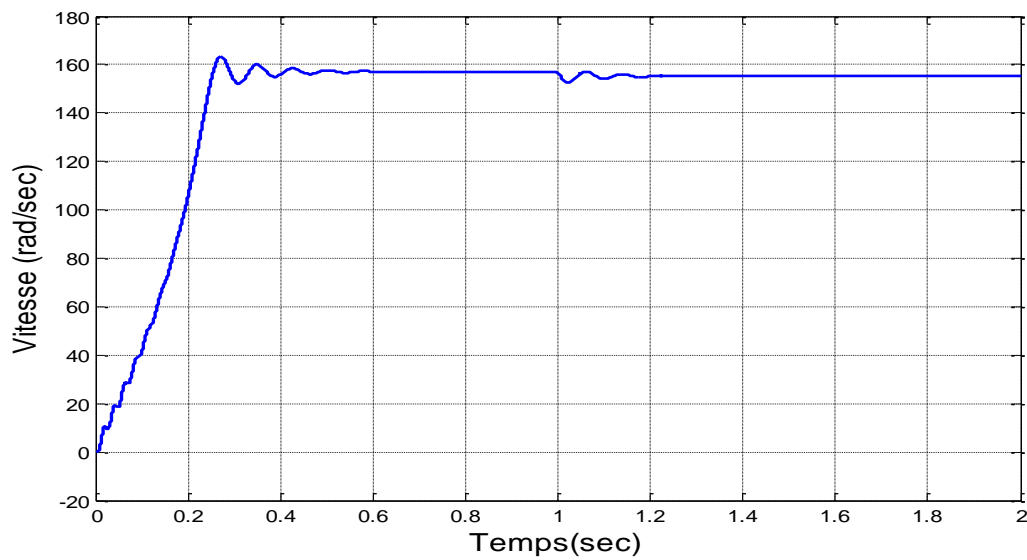


Figure (III.12) : Caractéristique de Vitesse (rad /sec).

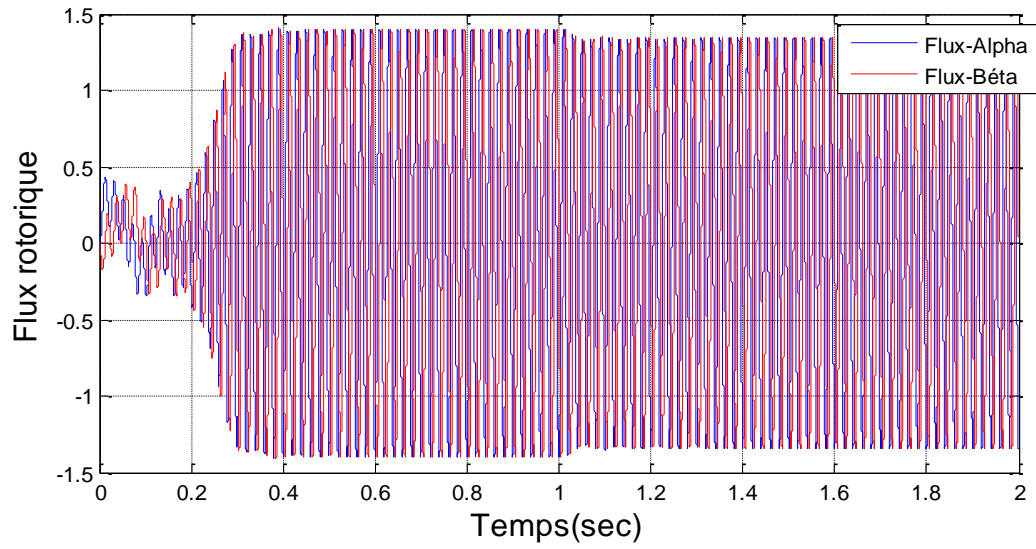


Figure (III.13) : Caractéristique de Flux rotorique.

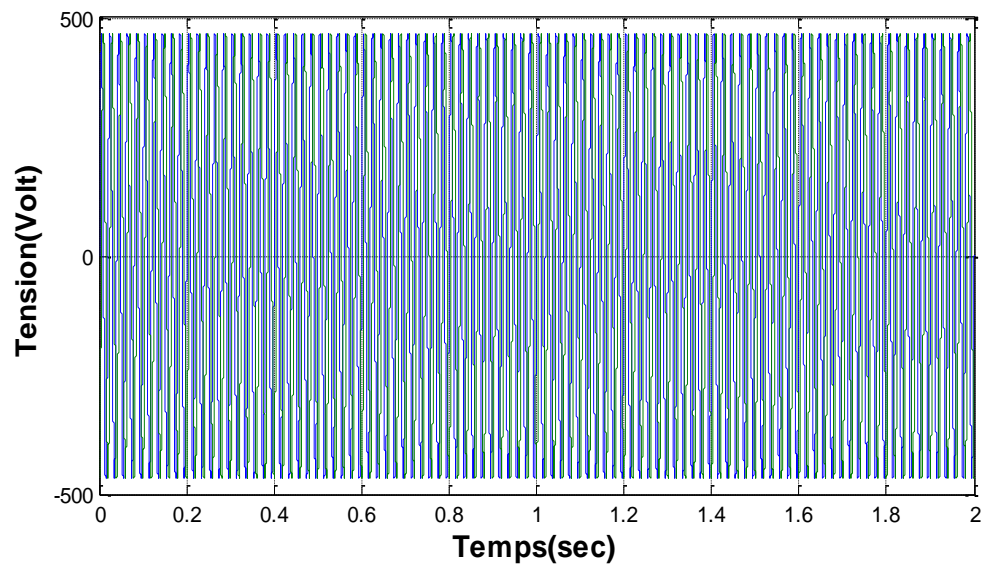


Figure (III.14) : Caractéristique de Tension.

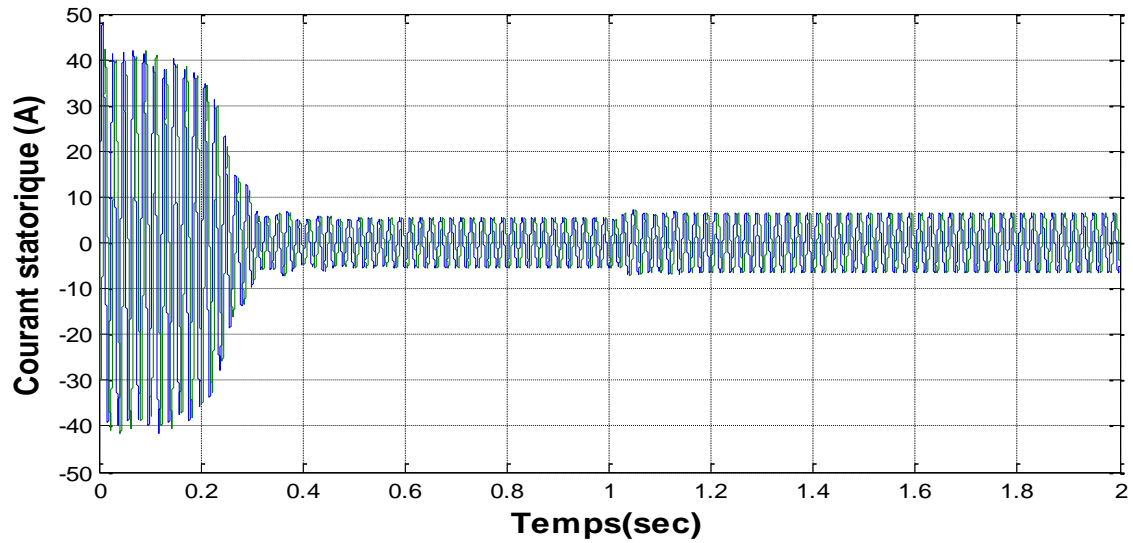


Figure (III.15) : Caractéristique de courant statorique.

A partir des résultats ci-dessus, La figure (III.11) montre que le couple présente des ondulations au démarrage et pendant l'application de la charge, cela est du à la variation de la constante de temps T_r . Cette ; variation de ce paramètre influe directement sur le comportement de la vitesse comme le montre la figure (II.12).

D'après ces résultats, pour tenir compte de la variation de la résistance rotorique il faut appliquer une commande robuste.

✓ Test avec absence d'une phase : Démarrage direct sur le réseau

Schéma de simulation :

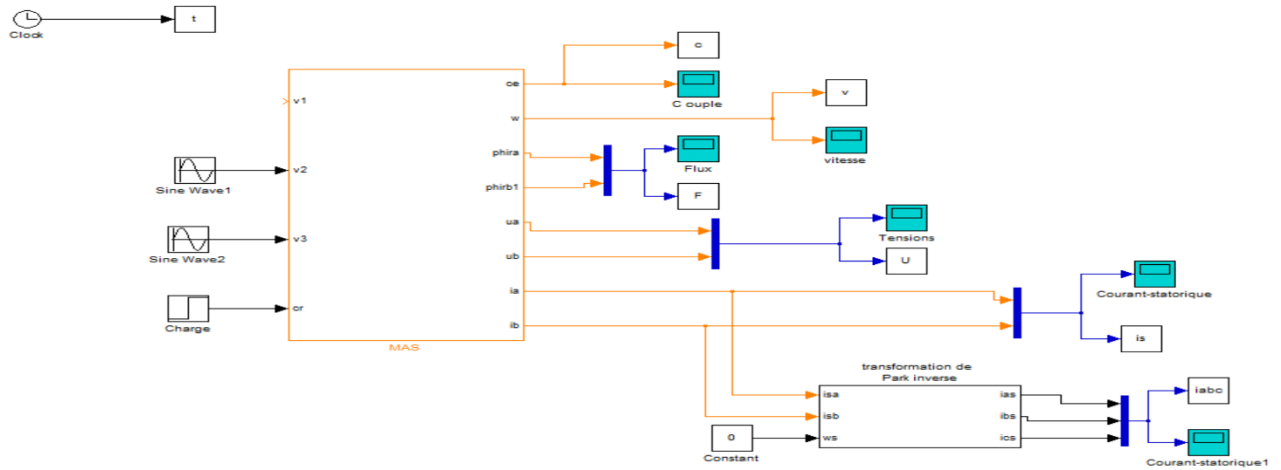


Figure (III .16) schéma bloc global de simulation rupture une phase 1

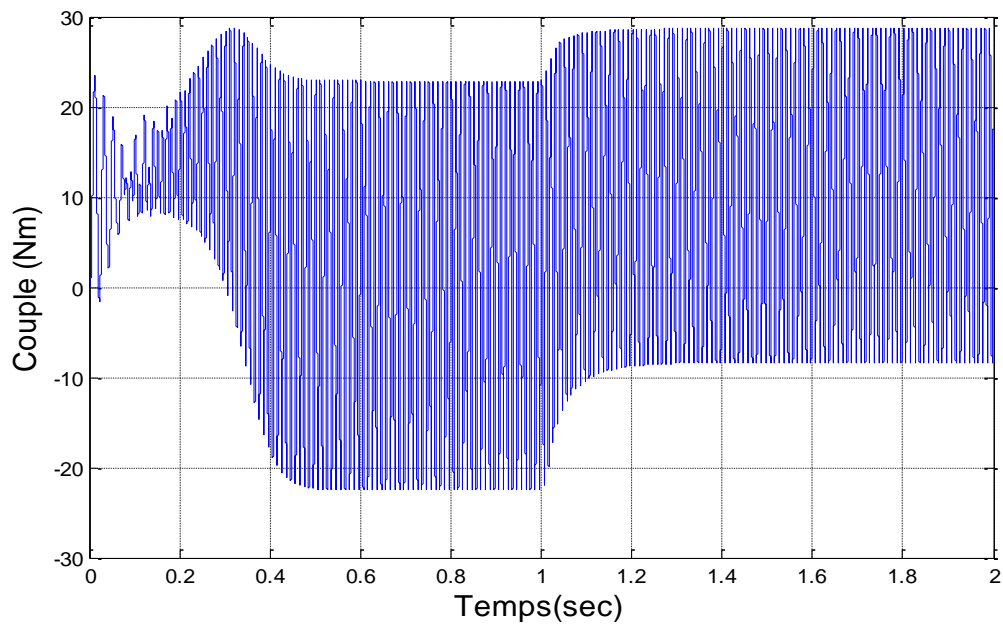


Figure (III.17) : Caractéristique de couple (Nm) .

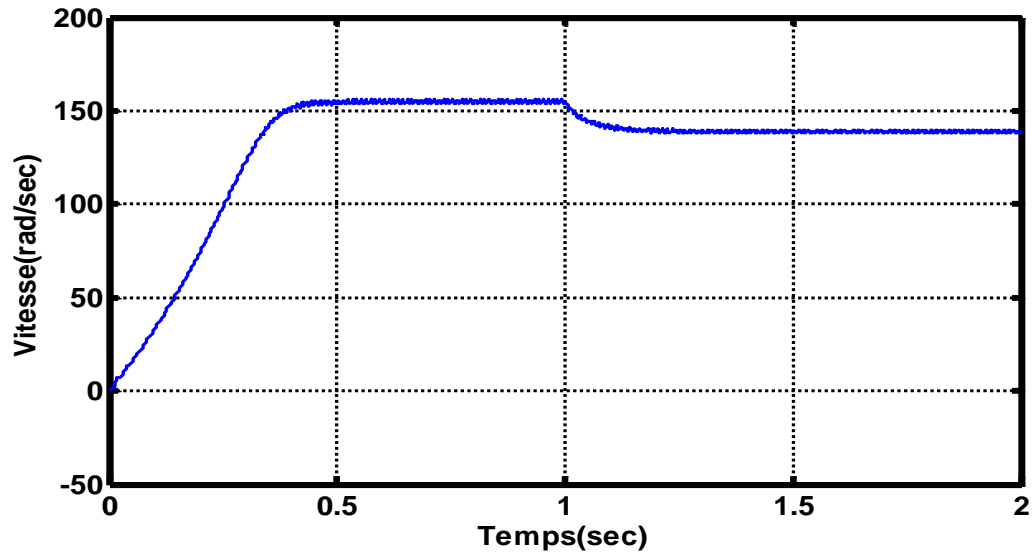


Figure (III.18) : Caractéristique de vitesse (rad /sec) .

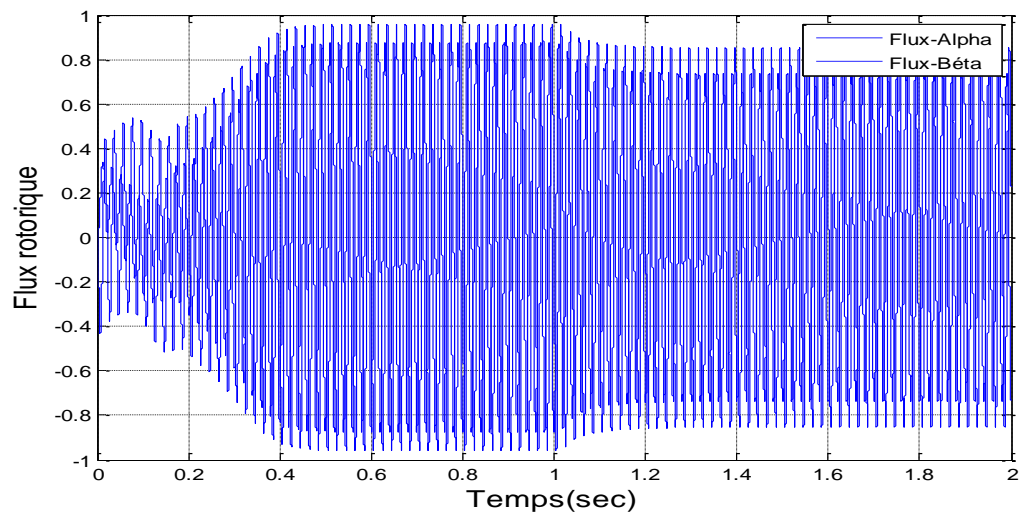


Figure (III.19) : Caractéristique de flux rotorique .

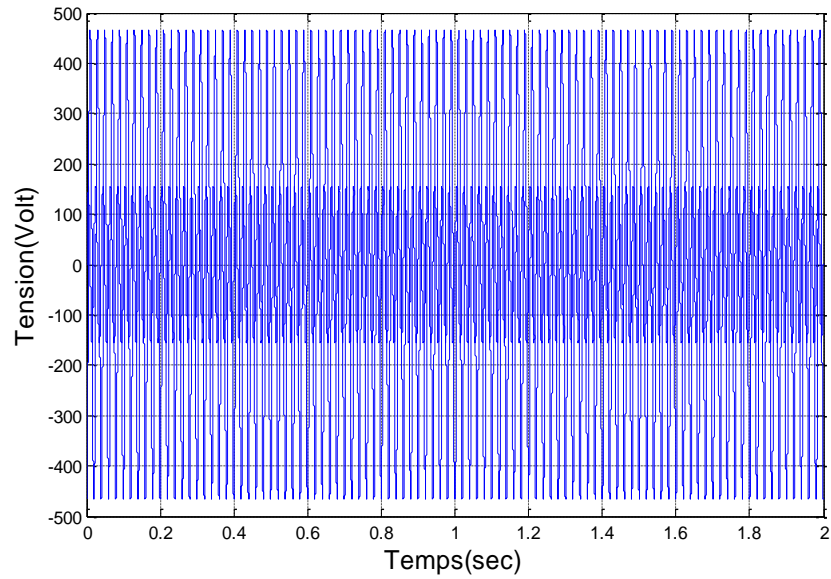


Figure (III.20) : Caractéristique de Tension (volt) .

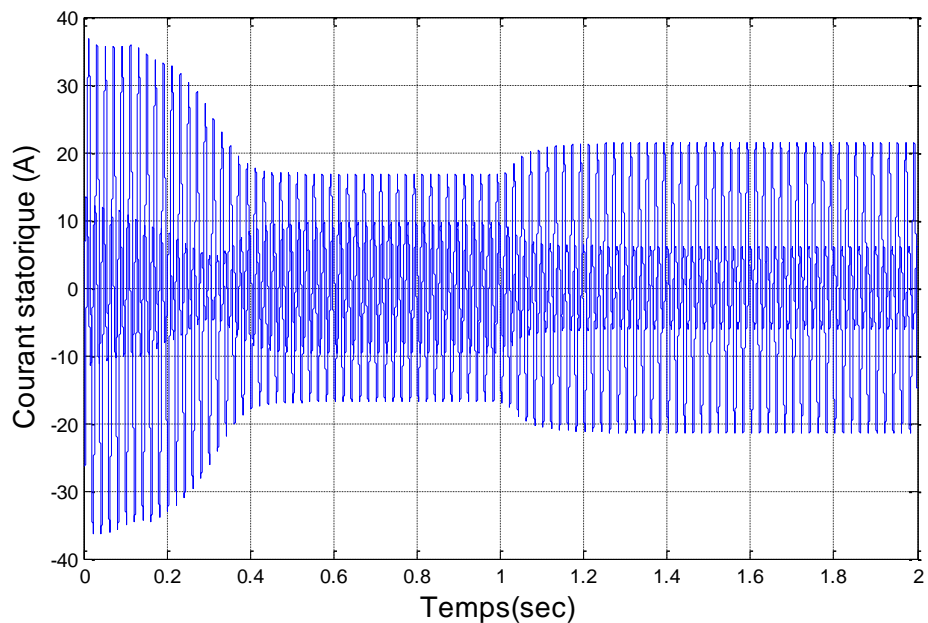


Figure (III.21) : Caractéristique de courant statorique.

Les résultats obtenus dans ce cas montrent l'importance de ce défaut sur le fonctionnement de la machine lors d'un démarrage direct sur le réseau. La figure (III.18) montre un phénomène d'oscillation de la vitesse et l'augmentation du temps de démarrage, cela est dû au déséquilibre causé par l'absence d'une phase.

D'autre part on remarque sur la figure (III.17) que l'allure de la caractéristique du couple indique que la machine est réellement à l'arrêt. Les valeurs des courants absorbés sont très importantes durant toute la période d'essais, ceci est dû au freinage de la machine, ceci confirme la nécessité de protection de la machine contre ce genre de problème. Cette même figure illustre clairement le déséquilibre entre les phases en cas de d'absence d'une d'elle.

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la modélisation et la simulation d'un moteur asynchrone triphasé à cage. Les résultats obtenus par simulation avec le logiciel MATLAB/SIMULINK confirme notre choix du modèle, ainsi que la justification des paramètres de la machine utilisée, malgré que le modèle mathématique de ce type de machine est fortement non linéaire. En conclusion, les résultats de simulation nous a éclaircis l'impact des défauts sur le bon fonctionnement de la machine et la nécessité de sa protection.

Conclusion
générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone où nous avons choisi cette machine qui présente un bon compromis technico-économique.

Le premier chapitre a tout d'abord permis la reconnaissance de la machine asynchrone, et savoir sa structure générale, ainsi que le principe de fonctionnement, puis on a donné les types les plus fréquents dans le domaine industrie, on a terminé par citer les avantages et les inconvénients de la machine asynchrone.

Le deuxième chapitre nous a permis de prendre une vision générale sur le diagnostic de la machine asynchrone et de positionner notre étude en dressant un état de l'art des principaux défauts pouvant intervenir dans la machine asynchrone. Afin de savoir les causes principales de ces derniers.

Dans le troisième chapitre nous avons finalisés notre travail par la modélisation de la machine asynchrone avec une simulation des différents scénarios premièrement par une modélisation de fonctionnement normale d'une machine asynchrone ensuite nous avons provoqué une défaillance ou déviation d'une des paramètres de cette machine et nous voyons comme notre système de diagnostic avait réagi.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : techno-science.net/glossaire-definition/Machine-asynchrone
- [2] : M. Poloujadoff, Machines asynchrones - Régime permanent, D 3480, Encyclopédie de Techniques de l'ingénieur, 1998.
- [3] : Sabour.K, Elazazi.S, « Commande vectorielle da la machine asynchrone à double alimentation » mémoire master, université AKLI Mohaned Oulhadj de Bouira, année 2015.
- [4] : Cherier.F, Amade. G, « Modélisation en vue du diagnostic des défauts dans une machine asynchrone » mémoire d'Ingénieur d'Etat, Université M'hamed Bougara-Boumerdès, 2009.
- [5] : G. Didier, « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances, » Thèse de Doctorat, Université de Henri Poincaré, 29/10/2004.
- [5] : G. Didier, « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances, » Thèse de Doctorat, Université de Henri Poincaré, 29/10/2004.
- [6] : M. Shahbazi, « Contribution à l'étude des convertisseurs statique AC-DC-AC Tolérants aux défauts, » Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 17/09/2012.
- [7] : A. Hamadou, A. Nessissen, « Modélisation numérique d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil, » Mémoire fin d'étude, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2015.
- [8] : A. Aibeche, « Commande vectorielle robuste d'une machine asynchrone avec estimation du flux rotorique en temps réel, » Mémoire de Magister en génie électrique de l'Université M'hamed Bougara Boumerdes-Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie-Laboratoire d'Automatique Appliquée-Juin 2009.
- [9] : Z. Damech, B. Mokhtari, « Modélisation et simulation d'une génératrice asynchrone en saturation, » Mémoire fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [10] : Alain Charbonne, « Le moteur asynchrone triphase », Site internet
«<https://sti.discip.ac-caen.fr> » avril2018
- [11] : Damech Zakaria, Mokhtari Brahim, « modélisation et simulation d'une génératrice asynchrone en saturation », thèse de master en génie électrique, 2011/2012, Université Kasdi Merbah–Ouargla

- [12] : Hakima Cherif, « détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes » mémoire de magister, Université mohamed khider biskra, 2014
- [13] : Liu. Fenglong, « Synthèses d'observateurs à entrées inconnues pour les systèmes non linéaires», Thèse de Doctorat, Université de Caen, France, 2007.
- [14] : B. Tarek, « Commande du moteur asynchrone avec compensation des effets des variations paramétriques », Thèse de doctorat, Université d'Oran, 2012.
- [15] : A. Aibeche, « Commande vectorielle robuste d'une machine asynchrone avec estimation du flux rotorique en temps réel, » Mémoire de Magister en génie électrique de l'Université M'hamed Bougara Boumerdes-Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie-Laboratoire d'Automatique Appliquée-Juin 2009
- [16] : Allal. A « Grandeurs Non Invasives Pour Le Diagnostic Des Machines Asynchrones » Magister en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif, année 2010.
- [17] : Kaikaa. M.Y « Modélisation de la machine asynchrone avec prise en compte de la non uniformité de l'entrefer. Application au diagnostic » Doctorat en électrotechnique, Université Mentouri Constantine, année 2010.
- [18] : Merad. R « outils de diagnostic appliqués a la machine asynchrone à cage d'écureuil, magister en électrotechnique option machine électrique » Université de Constantine, année 2005/2006.
- [19] : Lebaroud. A « Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables » Thèse de Doctorat, Université de Constantine Alegria, année 2006.
- [20] : D. Toumi « Détection des défauts rotoriques dans la machine asynchrone (cassure des barres et excentricité) » Mémoire de Magistère, Université Mohamed Boudiaf, Oran Avril 2002.
- [21] : Djouadi. A « Alimentation et commande d'une machine synchrone polyphasée en régime dégradé : application a la machine synchrone double étoile » Thèse magister en électrotechnique, UHBBC, année 2014.
- [22] : Bibliographie [11]. Rouaibla. R « Détection et diagnostic des défauts des moteurs asynchrones » Magister en électronique, UBMA Annaba, année 2009.

Résumé

Les machines asynchrones est le moteur le plus répandue au monde industriel à cause de ses différents avantages comme son coût relativement faible, ça disponibilité, ça fiabilité. Néanmoins comme n'importe quelle machine, la machine asynchrone à une durée de vie, des pannes, de défaillances, elle aussi besoin d'une maintenance périodique même corrective. L'objectif de ce mémoire de fin d'études est la détection et le diagnostic des défauts, fautes et défaillances d'une machine asynchrone. Nous avons utilisé le logiciel Simulink-Matlab pour simuler notre machine asynchrone, nous avons fait un ensemble des scénarios pour modéliser le comportement cette dernière en fonctionnement normale et en fonctionnement avec la présence d'un dysfonctionnement.

Mots clés : machine asynchrone MAS. Modélisation et simulation, défaillance, diagnostic, détection.

Abstract

The asynchronous machines are the Most responsive motor in the industrial world because of its various advantages such as its relatively low cost, availability, reliability. However, like any machine, the asynchronous machine has a lifetime, breakdowns, failures, it also needs periodic maintenance even corrective. The objective of this thesis is the detection and diagnosis of defects, faults, and failures of an asynchronous machine. We used the Simulink-matlab software to simulate our asynchronous machine, we made a set of scenarios to model the behavior of the latter in normal operation and in operation with the presence of a malfunction.

Keywords: MAS asynchronous machine. Modeling and simulation, failure, diagnosis, detection.

ملخص

الآلات غير المتزامنة هي المحرك الأكثر استجابة في العالم الصناعي بسبب مزاياها المختلفة مثل التكلفة المنخفضة نسبياً، وتوافرها، وموثوقيتها. ولكن مثل أي آلة، فإن الآلة غير المتزامنة لها عمر افتراضي، واعطال، وتحتاج أيضاً إلى صيانة دورية حتى تصحيحية. الهدف من هذه الأطروحة هو اكتشاف وتشخيص العيوب والأعطال وحالات الفشل في آلة غير متزامنة. استخدمنا برنامج Simulink-Matlab لمحاكاة آلتنا غير المتزامنة، ووضعنا مجموعة من السيناريوهات لنمذجة سلوك الأخيرة في التشغيل العادي وفي التشغيل مع وجود عطل.

الكلمات المفتاحية: آلة غير متزامنة. النمذجة والمحاكاة، الفشل، التشخيص، الكشف