
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Présenté par

El Moctar Mohamed Vall El Zayza

&

Abdelmoumen Chriv Abdelmoumen

Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone à cage d'écureuil lors de l'ouverture d'une phase statorique

Promoteur : Dr KOUCHIH

Co promoteur : Mr. HACHELAF REDOUANE

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Dr. KOUCHIH ainsi que Mr. HACHELAF REDOUANE pour leur dévouement, leurs conseils et leur soutien moral tout le long de l'élaboration de ce travail.

Ainsi que nous remercions pour toute l'aide et le soutien qu'ils nous ont offert tout au long de nos études.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail. A nos parents.

A nos frères et sœurs.

Vous vous êtes dépensés pour nous sans compter.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour nous permettre d'atteindre cette étape de notre vie.

Avec toute la tendresse.

A tout nos familles.

A nos cousins et cousines.

Vous avez de près ou de loin contribué à notre formation.

Affectueuse reconnaissance.

Vous avez contribué en fonction de vos moyens à affermir notre formation.

Sincère gratitude.

A tous nos camarades du groupe « électrotechnique » de la faculté des sciences et de la technologie ; à tous les étudiants Mauritanien à Blida

ملخص:

يهدف عملنا إلى نمذجة وتقييم خلل فتح الطور لآلة قفص السنجاب غير المتزامن باستخدام برنامج FLUX-2D الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية. هذا لغرض تحليل تأثير الخلل على الخصائص الكهرومغناطيسية للآلة غير المتزامنة. يسمح التحليل الطيفي بواسطة تقنية FFT (تحويل فورييه السريع) بتمثيل أطيف تيار الجزء الثابت والسرعة الميكانيكية من أجل الحصول على فكرة أعمق عن تأثير هذا الخلل. النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة لها دقة عالية لأن طريقة العناصر المنتهية (FEM) تتطلب معرفة مفصلة بالآلة. علاوة على ذلك فإن عيب هذه الطريقة هو وقت المحاكاة الطويل نسبياً.

Résumé :

Notre travail consiste à faire une modélisation et évaluation du défaut de l'ouverture de phase d'une machine asynchrone à cage d'écureuil en utilisant le logiciel FLUX-2D qui est basée sur la méthode des éléments finis. Ceci est dans le but d'analyser l'impact du défaut sur les caractéristiques électromagnétiques de la machine asynchrone. Une analyse spectrale par la technique FFT (**Fast Fourier Transform**) permet de représenter les spectres du courant statorique et de la vitesse mécanique afin d'avoir une idée plus profonde de l'impact de ce défaut. Les résultats obtenus par simulation ont une grande précision car la méthode des éléments finis (**MEF**) nécessite une connaissance détaillée des paramètres de la machine. Par ailleurs, l'inconvénient de cette méthode est le temps de simulation plus au moins élevé.

Abstract:

Our work consists to do an assessment and an evaluation of a squirrel cage induction motor's phase opening fault using FLUX-2D which is based on the finite element method. This is in the purpose of analysing the impact of the fault on the electromagnetic characteristics of the induction motor. A spectrum analysis by the FFT technique (Fast Fourier Transform) allows representing the spectrum of the stator current and the mechanical speed in order to get a deeper idea of the impact of this fault. The obtained results by simulation have a great precision, because the finite element method requires a detailed knowledge of the machine's parameters. Otherwise, the only disadvantage of this method is the simulation time which is more or less high.

Sommaire

I : GENERALITE SUR LA MACHINE ASYNCHRONE

1.1	Introduction	1
1.2	Eléments de constitution de la machine asynchrone :	1
1.2.1	Stator	1
1.2.2	Rotor	2
1.3	Paliers	3
1.3.1	Palier lisses	4
1.3.2	Paliers à roulement	4
1.4	Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone	4
1.5	Glissement	5
1.6	Différentes caractéristiques de la machine asynchrone	5
1.7	Les avantages et les inconvénients de la machine asynchrone à cage.....	7
1.7.1	Avantage.....	7
1.7.2	Inconvénients.....	7
1.8	Diagnostic.....	7
1.8.1	Classification des méthodes de diagnostic	7
1.8.2	Approche signal.....	7
1.8.3	Méthodes sans modèles	8
1.8.4	Méthode à base de modèles.....	8
1.9	Défauts de la machine asynchrone	8
1.9.1	Introduction	8
1.9.2	Principaux défauts	8
1.9.3	Source des défauts.....	9
1.9.4	Défauts de roulement.....	10
1.9.5	Excentricité.....	11
1.9.6	Défauts rotoriques	12
1.9.7	Défauts de stator.....	13
<i>CHAPITRE02 : MODELISATION DE LA MAS PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS.17</i>		
2.1	Introduction	16
2.2	Méthode des éléments finis	16

2.2.1	Le modèle employé	17
2.2.2	Principe de la méthode des éléments finis.....	18
2.3	Présentation du logiciel FLUX2D :	19
2.3.1	Module Construction (Preflux).....	20
2.3.2	Module Solving Process	20
2.3.3	Module Analysis.....	20
2.4	Procédure de construction du modèle par FLUX2D	20
2.5	Paramètres dimensionnels et physiques :	21
2.5.1	Géométrie:	21
2.5.2	Circuit électrique :	21
2.5.3	Création des régions	22
2.5.4	Le maillage	23
2.6	Modélisation de la machine asynchrone triphasée avec rupture d'une phase	23
2.6.1	Introduction	23
2.6.2	Machine asynchrone en absence du défaut.....	24
2.6.3	Champ produit dans l'entrefer par un stator triphasé symétrique.....	25
2.6.4	Schéma équivalent par phase.....	26
2.6.5	Machine asynchrone en présence du défaut	26
2.6.6	Champ produit dans l'entrefer par un stator triphasé asymétrique	26
2.6.7	Schéma équivalent par phase.....	27
2.7	Modélisation de la machine asynchrone en absence du défaut	27
2.7.1	Expression des flux	27
2.7.2	Équations aux tensions	29
2.8	Machine asynchrone en présence du défaut	30
2.8.1	Modèle de simulation	30
2.9	Conclusion	32
CHAPITRE03 : Simulation de la Machine asynchrone à cage		33
3.1	INTRODUCTIO :	33
3.2	Résultats de simulation :	33
3.2.1	MAS en fonctionnement sain	33
3.2.2	Fonctionnement en cas de défaut :	37
3.3	La transformation de Fourier rapide FFT.....	41
3.3.1	Principe de la méthode d'analyse spectrale FFT	41

3.4	Analyse FFT du courant et de la vitesse :.....	41
3.4.1	Spectre du courant.....	41
3.4.2	Le spectre de la vitesse.....	43
3.5	Conclusion.....	44
4	Conclusion générale.....	45
5	Bibliographie.....	46

LISTE DES FIGURES :

FIGURE 1.1:ELEMENTS DE CONSTRUCTION.....	1
FIGURE 1.2:STATOR.....	2
FIGURE 1.3: ROTOR A SIMPLE CAGE.....	2
FIGURE 1.4:ROTOR A DOUBLE CAGE.....	3
FIGURE 1.5:REGLÉ DE 3 DOITS.....	5
FIGURE 1.6:INTERACTION ROTOR STATOR.....	6
FIGURE 1.7:REPARTITION DES DEFAUTS.....	9
FIGURE 1.8:DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES SELON LEURS ORIGINES.....	ERREUR !
SIGNET NON DEFINI.	
FIGURE 1.9:ROULEMENT A BILLE.....	11
FIGURE 1.10:A/ EXCENTRICITE STATIQUE, B/ EXCENTRICITE DYNAMIQUE, C/ EXCENTRICITE MIXTE.....	12
FIGURE 1.11:RUPTURE D'UNE BARRE DE COURT-CIRCUIT.....	13
FIGURE 1.12:DIFFERENTS DEFAUTS DU STATOR.....	14
FIGURE 1.13:(A) COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES DE LA MEME PHASE (B)ENROULEMENT COURT-CIRCUITE.....	15
FIGURE 2.1:FONCTION D'INTERPOLATION D'UN ELEMENT.....	19
FIGURE 2.2:CIRCUIT ELECTRIQUE DE LA MAS A CAGE.....	22
FIGURE 2.3: REGIONS SURFACIQUES.....	22
FIGURE 2.4:MAILLAGE DE LA MACHINE.....	23
FIGURE 2.5:CIRCUIT EQUIVALENT PAR PHASE DE LA MACHINE EN REGIME.....	26
FIGURE 2.6:CIRCUIT EQUIVALENT DE LA MACHINE AVEC RUPTURE D'UNE PHASE.....	27
FIGURE 3.1:VITESSE DE LA MAS A VIDE (SAIN).....	34
FIGURE 3.2:COUPLE DE LA MAS A VIDE (SAIN).....	34
FIGURE 3.3:LES COURANTS STATORIQUES.....	34
FIGURE 3.4:ZOOM SUR LES COURANTS STATORIQUES SUPERPOSEES.....	35
FIGURE 3.5:VITESSE EN CHARGE SANS DEFAUT.....	35
FIGURE 3.6:COUPLE EN CHARGE.....	36
FIGURE 3.7:COURANTS STATORIQUES EN CHARGE.....	36
FIGURE 3.8:VITESSE A VIDE AVEC DEFAUT.....	37
FIGURE 3.9:COUPLE.....	37
FIGURE 3.10:COURANTS STATORIQUES.....	38
FIGURE 3.11:ZOOM SUR LES COURANTS STATORIQUE LORS DU DEFAUT.....	38
FIGURE 3.12:VITESSE EN CHARGE AVEC DEFAUT.....	39
FIGURE 3.13:COUPLE EN PRESENCE DE DEFAUT.....	39
FIGURE 3.14:ZOOM SUR LES COURANTS STATORIQUES EN CAS DE DEFAUT.....	40
FIGURE 3.15:COURANTS ROTORIQUES.....	40
FIGURE 3.16:SPECTRE DU COURANT SAIN.....	42
FIGURE 3.17:SPECTRE DU COURANT STATORIQUE EN CAS DU DEFAUT.....	42
FIGURE 3.18:SPECTRE DU VITESSE SAIN.....	43
FIGURE 3.19:SPECTRE DE LA VITESSE EN PRESENCE DU DEFAUT.....	43

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1:DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES SELON LEURS ORIGINES	10
TABLEAU 2:TABLEAU 1: LES PARAMETRES GEOMETRIQUE DE LA MAS	21
TABLEAU 3:LES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE REGION	22
TABLEAU 4:QUALITE DU MAILLAGE	23

Liste des symboles

SYMBOLES UTILISEES :

$v_{s3} = [v_{sa} \quad v_{sb} \quad v_{sc}]^T$: tensions statoriques triphasées.
$v_{r3} = [v_{ra} \quad v_{rb} \quad v_{rc}]^T$: tensions rotoriques triphasées.
$i_{s3} = [i_{sa} \quad i_{sb} \quad i_{sc}]^T$: courants statoriques triphasés.
$i_{r3} = [i_{ra} \quad i_{rb} \quad i_{rc}]^T$: courants rotoriques triphasés.
$\varphi_{s3} = [\varphi_{sa} \quad \varphi_{sb} \quad \varphi_{sc}]^T$: flux magnétiques au stator.
$\varphi_{sr3} = [\varphi_{ra} \quad \varphi_{rb} \quad \varphi_{rc}]^T$: flux magnétiques au rotor.
$v_{s2} = [v_{sa} \quad v_{sb}]^T$: tensions statoriques diphasées dans le repère fixe .
$i_{s2} = [i_{sa} \quad i_{sb}]^T$: courants statoriques diphasés dans le repère fixe .
$\varphi_{s2} = [\varphi_{sa} \quad \varphi_{sb}]^T$: flux statoriques diphasés dans le repère fixe .
$i_{r2} = [i_{ra} \quad i_{rb}]^T$: courants rotoriques diphasés dans le repère fixe .
$\varphi_{r2} = [\varphi_{ra} \quad \varphi_{rb}]^T$: flux rotoriques diphasés dans le repère fixe .
L_r	: inductances statorique et rotorique principales.
L_{rp}	: inductances statorique et rotorique propres.
M_s	: mutuelle inductance entre deux phases du stator.
M_r	: mutuelle inductance entre deux phases du rotor.
M_{sr}	: matrice des mutuelles inductances entre le stator et le rotor.
M_{sr}	: maximum de la mutuelle inductance entre le stator et le rotor.
$L_s = L_s - M_s$: inductance statorique cyclique.
$L_r = L_r - M_r$: inductance rotorique cyclique.
$M = \frac{3}{2} M_{sr}$: mutuelle inductance cyclique entre le stator et le rotor.
M_r	: résistances statorique et rotorique.

Liste des symboles

R_r	: matrices diagonales des résistances statorique et rotoriques.
τ_r	: constantes du temps statorique et rotorique.
σ	: coefficient de dispersion.
σ_α	: coefficient de dispersion d'axe ss .
σ_β	: coefficient de dispersion d'axe ss .
f_s	: force magnétomotrice statorique.
S_k	: vecteur d'espace associé aux forces magnétomotrices statoriques.
C_{em}	: couple électromagnétique.
C_r	: couple de charge.
Ω	: vitesse mécanique de rotation du rotor.
$p\Omega$: pulsation électrique correspondante à Ω .
ω_r	: pulsation des grandeurs électriques rotoriques.
ω_s	: pulsation des grandeurs électriques statoriques.
θ	: position angulaire du rotor.
ψ	: position angulaire du repère tournant.
J	: moment d'inertie.
p	: nombre de paires de pôles.
g	: glissement.
ξ	: est un angle de repérage initial
λ	: coefficient de proportionnalité

Introduction Générale

Introduction générale :

Les machines électriques tournantes occupent une place prépondérante dans tous les secteurs industriels, les machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil sont les plus fréquemment utilisées grâce à leur robustesse, leur simplicité de construction et leur bas coût. 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 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.

L'objet de notre travail est d'analyser les effets de l'ouverture d'une phase statorique sur les grandeurs électromagnétiques d'une machine asynchrone.

Ce travail contient trois chapitres. Nous allons présenter dans le premier chapitre une généralité sur les machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil, un aperçu sur les différents défauts pouvant survenir dans la machine et leurs causes et les différentes méthodes de diagnostic. Le deuxième chapitre nous avons traité la modélisation de la MAS par la méthode des éléments finis, la modélisation numérique de la machine saine et en présence de défaut puis on a parlé du logiciel FLUX 2D.

Le troisième chapitre concerne la simulation de la MAS par logiciel flux 2D en différents cas possible de l'état de la machine sain en fonctionnement à vide et avec charge.

CHAPITRE 1 :
GENERALITES SUR LA MACHINE
ASYNCHRONE

1.1 Introduction

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués d'empilement de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles sont placées les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, Le rotor est monté sur un axe de rotation. [1]

1.2 Eléments de constitution de la machine asynchrone :

Il comporte un inducteur fixe nommé stator et un induit nommé rotor C'est un transformateur à champs tournant dont le primaire est le stator et dont le secondaire mis en court-circuit et libre de tourner et le rotor.

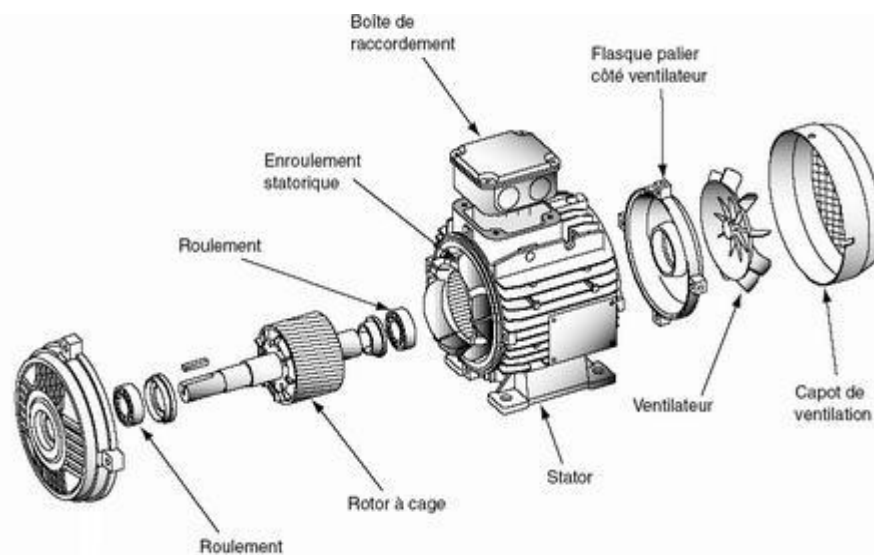


Figure 1.1:éléments de construction

1.2.1 Stator

Il est constitué par une couronne des tôles empilées. Ce sont des tôles minces (0.5mm), De la qualité 1.6 W/kg. Cette couronne est serrée dans une carcasse. Débouchant à l'intérieur de l'anneau ainsi formé, des encoches contiennent un enroulement Triphasé. Cet enroulement peut être bipolaire, tétra polaire, à six pole, etc.

Les entrées et les sorties des trois phases aboutissent à une plaque à borne. [2]



Figure 1.2:stator

1.2.2 Rotor

1.2.2.1 Rotor à simple cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné, est d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue, et de loin, la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones en service.

Son inconvénient majeur est qu'il ne permet pas d'insérer un rhéostat et qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et couple faible). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de moteur (rotor à double cage et rotor à encoches profondes) [4].

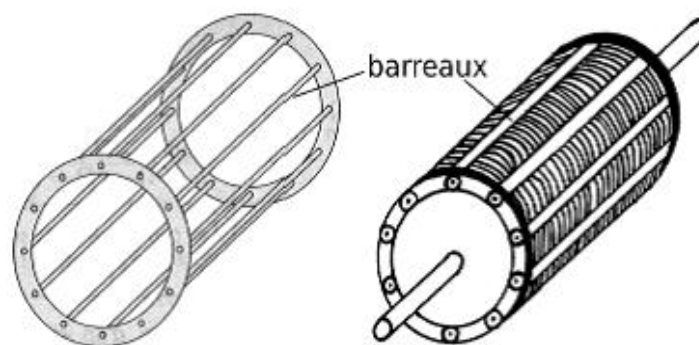


Figure 1.3: Rotor à simple cage

1.2.2.2 Rotor à double cage

Le rotor comporte deux cages coaxiales :

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

- l'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer
- l'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer, ayant ainsi une inductance des fuites supérieures à la première.

Au démarrage, le courant rotorique, de fréquence égale à la fréquence f du réseau d'alimentation, se répartit de façon inversement proportionnelle aux réactances des cages, qui sont alors grandes devant les résistances. Dans ces conditions, c'est la cage externe qui est parcourue par le maximum de courant ; sa relativement forte résistance réduit l'appel de courant et accroît le couple.

Au contraire, lorsque le moteur atteint son régime nominal de fonctionnement, normalement caractérisé par un faible glissement g et une fréquence basse fb , ce sont les résistances qui contrôlent la répartition du courant, ce qui favorise le passage du courant dans la cage interne de faible résistance.

On peut, ainsi, obtenir des couples de démarrages de l'ordre de deux à trois fois supérieurs à ceux du rotor à simple cage [4].

les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et assurent sa libre rotation. Les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers ; l'autre palier est libre

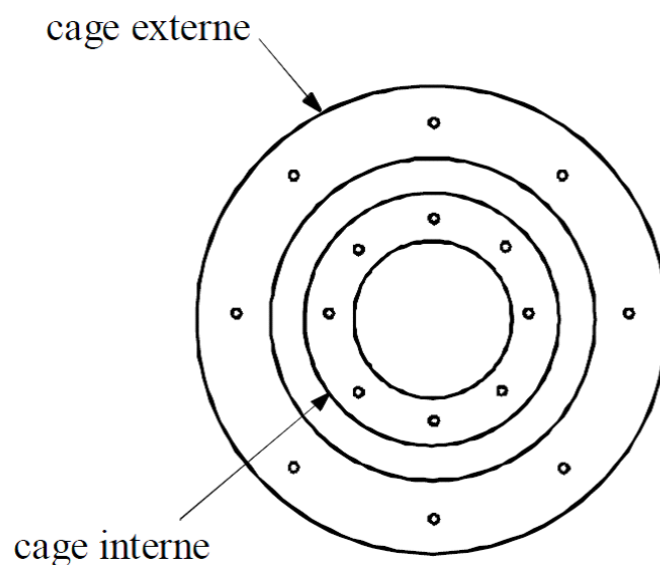


Figure 1.4: Rotor à double cage

1.3 Paliers

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et assurent sa libre rotation. Les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers ; l'autre palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Lorsque les forces axiales exercées sur le rotor sont importantes, le calage longitudinal est assuré par une butée. Les dissymétries des reluctances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante. On distingue deux types de paliers

1.3.1 Palier lisses

Ces paliers comportent deux parties principales, Corps de paliers et palier à pied le corps de palier flasque est généralement fixé sur la carcasse. Le rotor est alors centré dans le stator au moment de la construction de la machine. Le palier à pieds utilisé pour les machines de grandes dimensions et de masse supérieure à 20 tonnes, il est désolidarisé de la carcasse.

1.3.2 Paliers à roulement

Sont utilisés dans les petites et les moyennes machines, de masse inférieure à 20 tonnes, Leur encombrement est plus faible que celui des paliers lisses et les longueurs totales des machines sont donc réduites.[5]

1.4 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone

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 (Figure1.5). 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: [3]

$$n_1 = \frac{f \times 60}{p}$$

L'interaction électromagnétique des deux parties d'une machine asynchrone (sans collecteur) n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (n_1) diffère de celle du rotor (n), c'est-à-dire, lorsque $n \neq n_1$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $n = n_1$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique.

$$g = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Est appelé glissement d'une machine asynchrone.

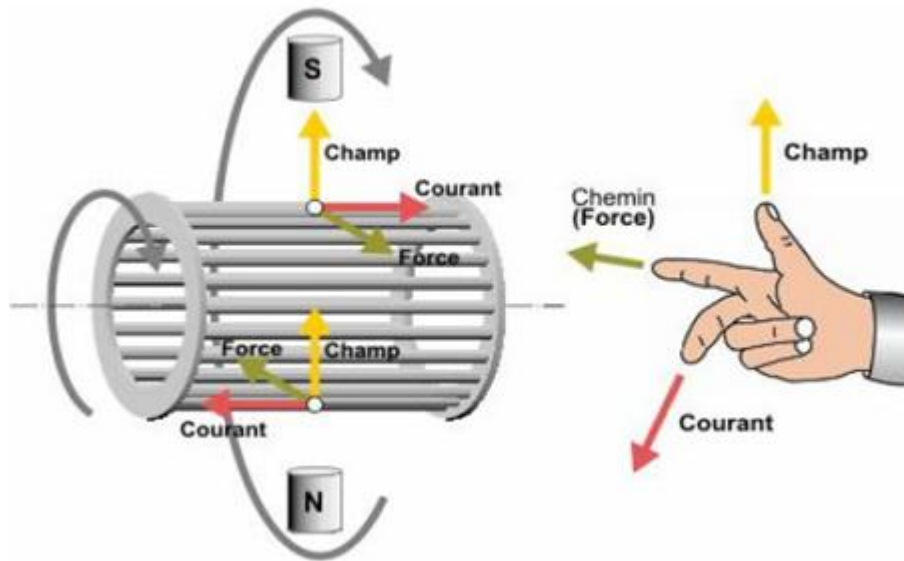


Figure 1.5:règle de 3 doigts

1.5 Glissement

Le rotor doit tourner à une vitesse électrique inférieure ou supérieure à celle du stator pour produire les courants de Foucault et le couple. Si la vitesse du rotor est inférieure, il produira un couple d'arbre à une charge. Si un couple est appliqué sur l'arbre dans le sens de rotation, le moteur peut fonctionner à une fréquence de rotor supérieure à synchrone et délivrer l'énergie électrique du stator.

La différence entre la vitesse de l'arbre et la vitesse synchrone est connue comme un glissement et est généralement exprimée en pourcentage ou par unité de synchrone la vitesse [4].

$$g = [(N_s - N) / N_s] \times 100$$

1.6 Différentes caractéristiques de la machine asynchrone

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique B_1 tournant à la pulsation de synchronisme :

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$$

Ω_s : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en rad/s. ω_s : Pulsation des courants alternatifs en rad/s.

$$\omega_s = 2\pi f$$

p : nombre de paires de pôles

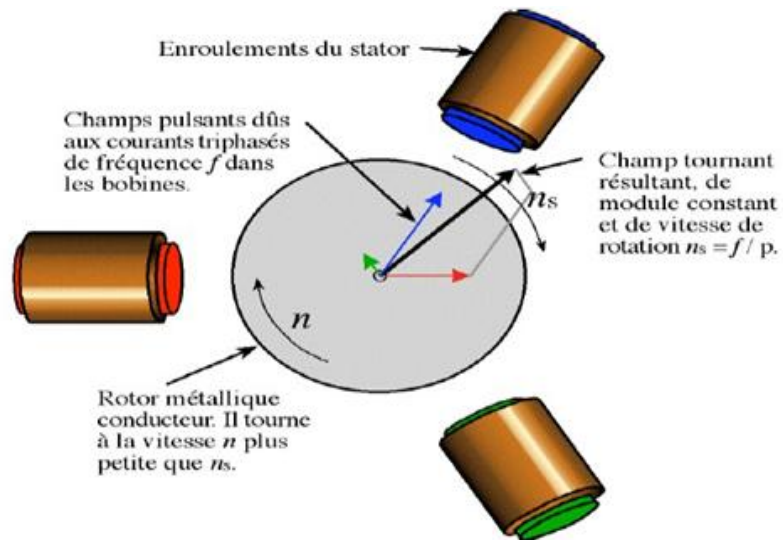


Figure 1.6: Interaction rotor stator

Le rotor n'est relié à aucune alimentation. Il tourne à la vitesse de rotation Ω

Des courants induits circulent dans le rotor

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor.

Glissement.

Le rotor tourne à la vitesse Ω plus petite que la vitesse de synchronisme Ω_s . On dit que le rotor glisse par rapport au champ tournant. Ce glissement g va dépendre de la charge [3].

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

n_s : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr/s)

n : vitesse de rotation du rotor (tr/s)

$$\Omega_s = 2\pi n_s$$

Et

$$\Omega = 2\pi n$$

1.7 Les avantages et les inconvénients de la machine asynchrone à cage

Parmi les avantages et les inconvénients dans le moteur asynchrone on site [3]

1.7.1 Avantage

Il ya 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 utilisée pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse.

1.7.2 Inconvénients

Parmi les inconvénients de la machine asynchrone :

- Le couple de démarrage très élevé que les couples nominales.
- 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

1.8 Diagnostic

ensemble d'actions visant à évaluer l'état d'un procédé à partir de la connaissance de son fonctionnement. A partir de l'observation du procédé on détermine, par comparaison avec les divers états de fonctionnement connus, le degré de défaillance du système, l'origine de ces défaillances et leurs causes [5]

1.8.1 Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic des défauts sont très variés .On les distingue à partir de leur type de connaissance utilisée pour vérifier la cohérence entre les observations réelles et de références. Ces dernières se répartissent en deux classes : les méthodes avec modèle et les méthodes sans modèle. Dans cette partie, nous présentons une classification des principales méthodes de diagnostic rencontrées dans la littérature [5]

1.8.2 Approche signal

Le diagnostic d'une défaillance ou d'une dégradation fait appel le plus souvent à l'utilisation de signatures. Ces signatures contiennent les informations jugées pertinentes par les spécialistes des matériaux pour la détection d'une défaillance ou d'une dégradation. La complexité des signatures dépend de la nature des systèmes et des matériels à diagnostiquer et

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

varie en fonction de l'anomalie recherchée. Cette approche fait appel à des techniques du traitement de signal [5]

1.8.3 Méthodes sans modèles

Cette méthode suppose que les connaissances du processus se limitent à son observation passée et présente. Elle repose sur l'expertise humaine. L'historique de ce système constitue une base de données qui sert à l'extraction de descripteurs dans divers mode de fonctionnements du processus.

1.8.4 Méthode à base de modèles

L'approche de diagnostic à base de modèles permet le suivi et la supervision en ligne du système. Elle consiste à embarquer un modèle du système permettant l'estimation de son état. Une faute est alors détectée par comparaison, en temps réel, de l'état prédit et des mesures issues des capteurs. Le diagnostic est ensuite établi en déterminant l'état (de faute) système qui est cohérent avec les mesures et qui permet d'expliquer la faute. On distingue trois grandes approches selon la connaissance: l'approche par estimation de paramètres, celle par estimation d'état (à base d'observateur) et enfin celle par espace de parité. La figure suivante montre le principe des méthodes de diagnostic avec modèles. [5]

1.9 Défauts de la machine asynchrone

1.9.1 Introduction

Pour avoir une idée précise de l'effet des défauts sur le comportement d'un moteur sans pour autant détruire des machines, nous pouvons les étudier avec un modèle qui représente la machine réelle. Le modèle triphasé-triphasé linéaire et celui de Park représentent le comportement électrique de la machine asynchrone. Ils négligent les phénomènes magnétiques ou électriques tels les courants de Foucault, la saturation magnétique, l'effet d'une géométrie complexe (encoches), ...

La considération du comportement électromagnétique local du moteur permet d'avoir une modélisation plus précise. La résolution numérique des équations de Maxwell régissant le comportement des champs électromagnétiques et la prise en considération des équations électriques représentant le circuit d'alimentation du moteur, permet de réduire les simplifications faites dans les modèles classiques et ainsi d'avoir un modèle plus proche de la machine électrique réelle

1.9.2 Principaux défauts

Les principaux défauts pouvant se produire dans une machine à cage peuvent être classés

comme suit:

Défauts au stator résultant d'une ouverture ou d'un court-circuit sur au moins une phase du stator

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

Connexion anormale des enroulements stator

Cassure de barre ou d'anneau de court-circuit au rotor

Excentricité dynamique ou statique.

Axe plié (proche de l'excentricité dynamique)

Roulements

Une étude conduite pour IEEE [IEE-85] a établi une statistique des différents défauts

Pouvant se produire sur une machine électrique (figure 1.7)

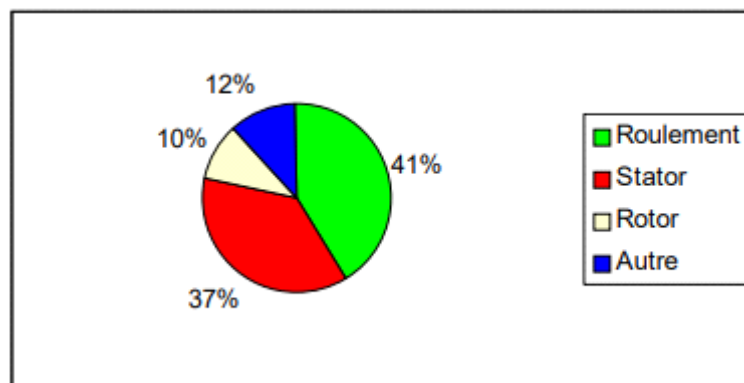


Figure 1.7: Répartition des défauts

A signaler que ces statistiques ne sont pas détaillées par type de branches industrielles; par conséquent, elles peuvent avoir des significations différentes selon qu'on parle d'industries d'hydrocarbures ou cimentières ou autres.

Comme nous ne sommes intéressés que par deux types de défaut, à savoir le défaut statorique et le défaut rotorique, nous ne détaillerons que ces deux là.

1.9.3 Source des défauts

Les défauts peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes :

- ✓ Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- ✓ Les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.
- ✓ Les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc [6].

Défaillances des machines électriques	Interne	Mécaniques	Contacte entre le stator et le rotor
			Défaillance de roulement
			excentricité
		électriques	Mouvement des enroulements et des tôles
			Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
	externe	Mécaniques	Défaillance au niveau du circuit électrique
			Charge aussillante
			Surcharge de la machine
		Environnementale	Défaut de montage
			Humidité
			Température
			Propreté
électriques	électriques	Fluctuation de la tension	
		Source de tension déséquilibrée	
		Réseau bruité	

Tableau 1: Défautes des machines électriques selon leurs origines

1.9.4 Défautes de roulement

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. La plupart des défauts Survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme il a été présenté précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles :

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification
- l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage
- les courants d'arbres (Shaft Current)

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

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

- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur [7]

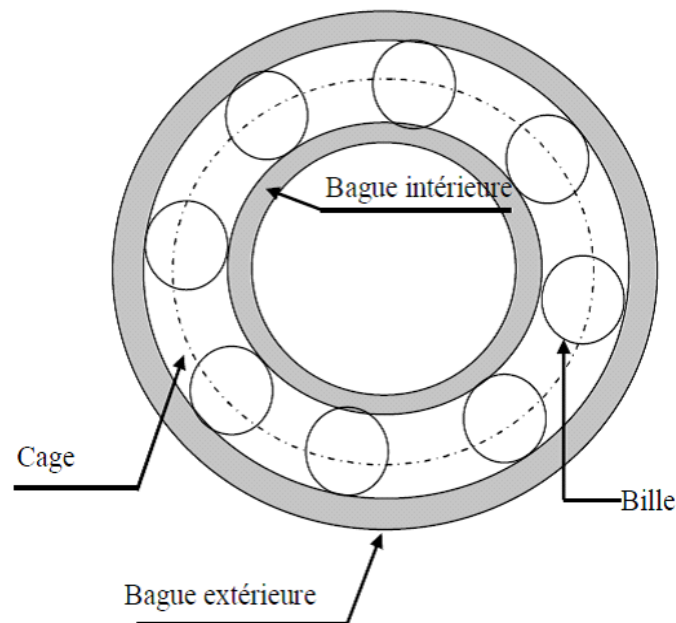


Figure 1.8:roulement à bille

1.9.5 Excentricité

L'excentricité se répartie en deux catégories, Excentricité statique et excentricité dynamique. L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas égal à celui du stator. L'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre de stator.

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. Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage. A un défaut de roulement (usure). A un défaut de charge. Ou à un défaut de fabrication (usinage)

Celui-ci provoque la variation de l'entrefer dans le moteur. Une répartition non homogène des courants dans le rotor et le déséquilibre des courants statoriques. Le déséquilibre des efforts sur les barres génère un couple global non constant.

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

Quand l'excentricité devient du rotor, ce qui conduit à des dommages du stator et du rotor.

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

L'excentricité statique, dans laquelle l'axe du rotor reste fixe. Elle peut provenir de problème d'assemblage ou d'une légère ovalie du stator et ou du rotor.

L'excentricité dynamique dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator. A cause de l'usure des roulements, des espaces se créent entre les billes et les anneaux. Suite à des manipulations d'entretien de la machine, des jeux apparaissent entre les flasques et les anneaux.

L'excentricité mixte dans laquelle l'axe du rotor tourne autour d'un axe différent de celui du stator. Elle est donc la combinaison des excentricités statique et dynamique. Dans la plupart des machines tournantes, on observe cette dernière forme d'excentricité.

L'excentricité statique résulte soit d'une imperfection dans l'alésage du stator, soit d'un mauvais positionnement du rotor et/ ou du stator à l'assemblage. Supposant que l'arbre du rotor suffisamment raide, le niveau de l'excentricité statique ne change pas.

L'excentricité dynamique peut être provoquée par plusieurs facteurs, tels que des tolérances de fabrication, usure des roulements, désalignement, résonance mécanique à la vitesse critique, ou aussi à des pièces endommagées à la Fabrication [8].

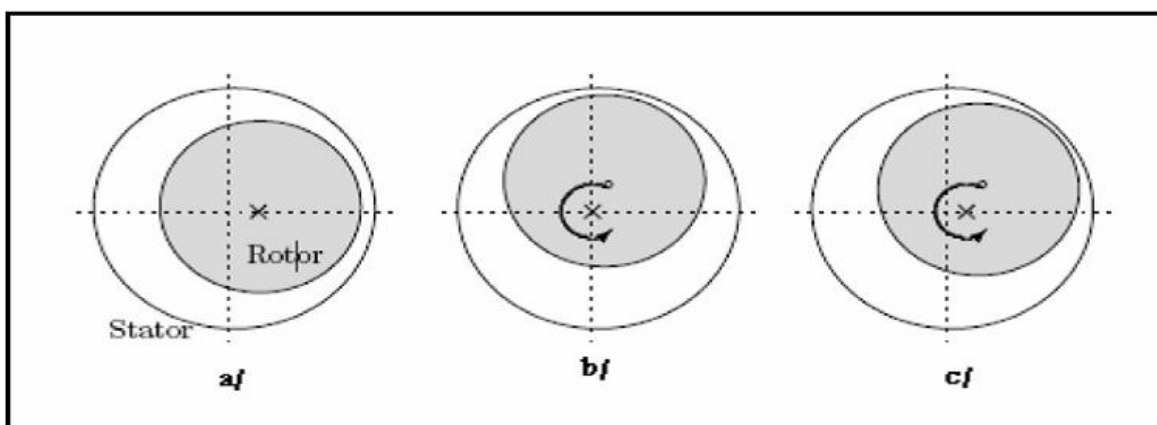


Figure 1.9:a/ excentricité statique, b/ excentricité dynamique, c/ excentricité mixte

1.9.6 Défauts rotoriques

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème

- thermique (surcharge, ...)
- électromagnétique (force en $B_2(t)$, ...)
- résiduel (déformation, ...)
- dynamique (arbre de transmission, ...)

- mécanique (roulement, ...)
- environnemental (agression, ...)

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit [9]

1.9.6.1 Ruptures des barres conductrices

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées.

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leur apparition la machine continue à fonctionner. Le courant que conduisait une barre cassée par, exemple, se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisant pour provoquer l'arrêt de la machine [10]

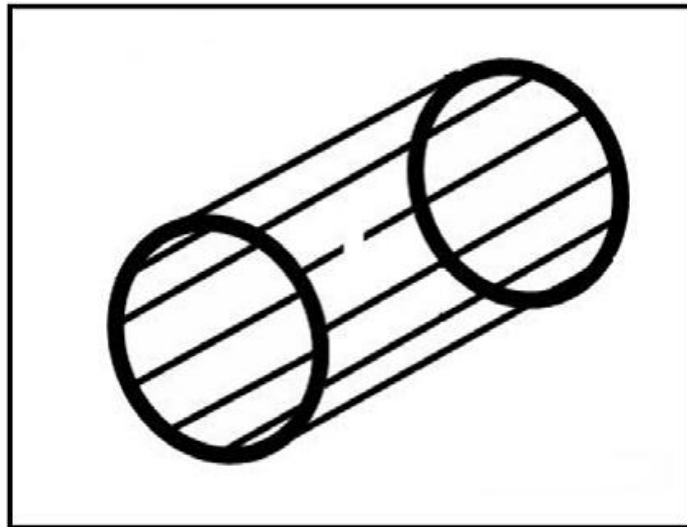


Figure 1.10:Rupture d'une barre de court-circuit

1.9.6.2 Rupture des anneaux 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. Cette rupture déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres [8].

1.9.7 Défauts de stator

Les défauts statoriques sont principalement dus à un problème thermique ou électrique, parmi lesquels [9]:

Un grand noyau du stator ou la température d'enroulements est élevé.

Attachement lâché à la fin de l'enroulement.

Contamination due à l'huile.

Surtension, décharges électriques.

Les fuites dans les systèmes de refroidissement.

Dégradation des isolants

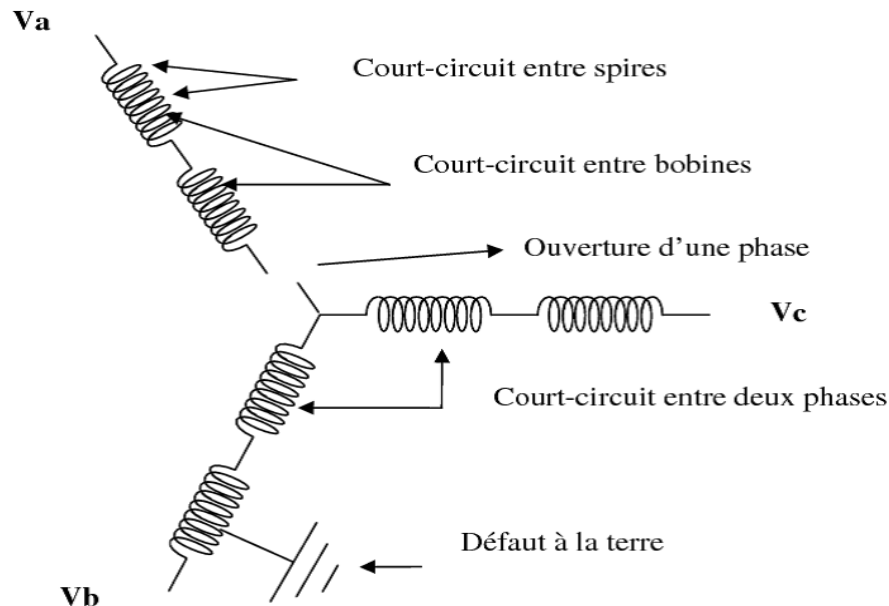


Figure 1.11:différents défauts du stator

1.9.7.1 Ouverture de phase

L'ouverture d'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 moteur 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 de sens de rotation et des phases marche/arrêt fréquentes (passage par une vitesse nulle) [11]

1.9.7.2 Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne 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

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

courants dans le circuit rotorique. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage. De ce fait, une dégradation accélérée des isolants, peut provoquer, ainsi un défaut en cascade (apparition d'un 2ème court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste, sensiblement, identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut.

Les courts-circuits entre spires de la même phase apparaissent soit au niveau des têtes des bobines soit dans les encoches. Ce sont des défauts très fréquents. Ils peuvent se manifester soit entre des spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre. [10]

Le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit entre plusieurs spires au stator où les fréquences caractéristiques de ce type de défaut sont données par la relation :

$$f_c(\text{Hz}) = \left(\frac{n}{p} (1 - g) \pm k \right) \cdot f$$

avec : f_c est la fréquence de court-circuit, $n=1,2, 3, \dots$, $k = 1,3, 5, \dots$

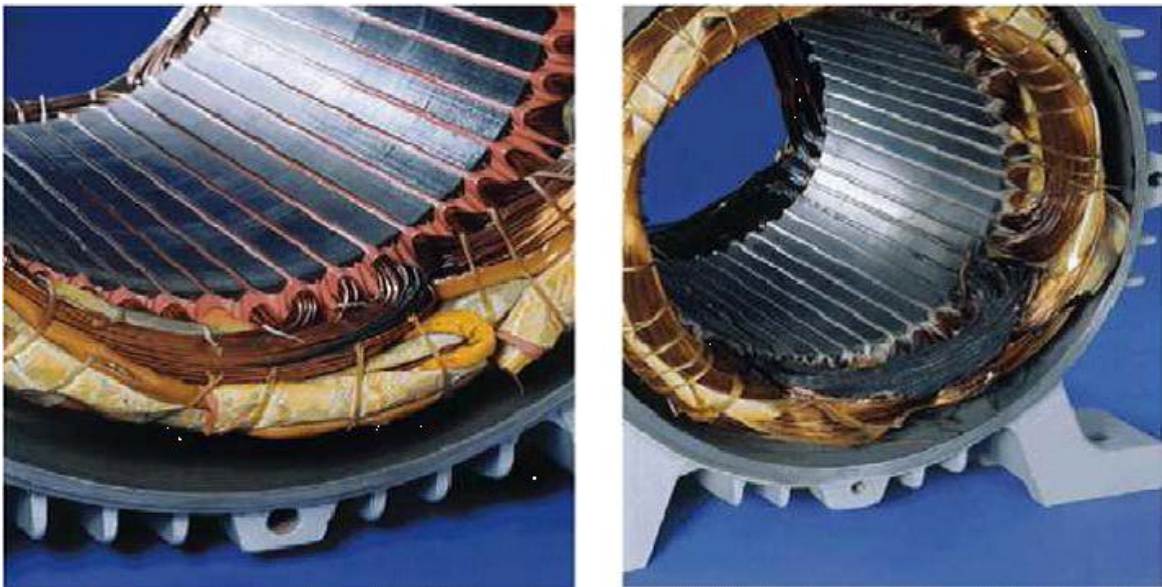


Figure 1.12:(a) Court-circuit entre spires de la même phase (b)Enroulement court-circuité

1.9.7.3 Court-circuit entre 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

Chapitre 01 : Généralités sur la machine asynchrone

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. [10]

***2 CHAPITRE : MODELISATION DE
LA MAS PAR LA METHODE DES
ELEMENTS FINIS***

2.1 Introduction

La conception des dispositifs électromagnétiques requiert une connaissance sans cesse améliorée des phénomènes électromagnétiques. Les méthodes de calcul empiriques ou analytiques basées sur des modèles simplifiés deviennent insuffisantes, dès que la complexité de la géométrie s'accroît et que certains matériaux possèdent des caractéristiques non linéaires. La résolution de tels problèmes nécessite de recourir à des méthodes numériques. La méthode numérique la plus courante est la méthode des éléments finis, qui est une méthode très attractive dans la conception et l'analyse des dispositifs électromagnétiques. C'est une méthode très générale pour la résolution des divers problèmes rencontrés en pratique : stationnaires ou non, linéaires ou non, définis dans un domaine géométrique quelconque à une, deux ou trois dimensions. Dans ce qui suit, nous présenterons la méthode des éléments finis, ainsi son application à la modélisation d'un moteur asynchrone à cage. Les principales étapes de la mise en œuvre de cette méthode sont donc présentées.

2.2 Méthode des éléments finis

Cette méthode est basée sur la résolution numérique des équations de Maxwell. Les informations fournies par ce type de simulation sont d'une grande précision et elles nous apportent la prise en compte de la géométrie de la machine, la saturation des matériaux magnétiques, ainsi que l'effet de peau dans les barres rotoriques, lorsque le problème est correctement posé (géométrie, physique, lien avec les équations de circuit...) et que l'on utilise le mode de résolution adéquate (magnétostatique, magnétodynamique, magnétique évolutif). D'autre part, d'un point de la machine (fréquence et flux magnétisant), en modifiant, directement, les paramètres dans le programme du calcul (Logiciel) d'où une grande souplesse d'utilisation.

Dans les machines électriques les équations qui régissent le champ électromagnétique sont les équations de Maxwell associées aux relations constitutives du milieu considéré. On les définit comme suit, [12] :

- Les relations de couplage électromagnétique :

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.2)$$

- Les relations de la conservation des flux :

$$\overrightarrow{\text{div}} \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\overrightarrow{\text{div}} \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

- La relation régissant les propriétés des matériaux magnétiques :

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (2.5)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.6)$$

• La relation de la loi d'Ohm :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.7)$$

Où,

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{E} : Champ électrique (V/m)

\vec{B} : Induction magnétique (T)

\vec{B}_r : Induction rémanente des aimants (T)

\vec{J} : Densité de courant totale (A/m²)

μ : Perméabilité magnétique (H/m)

σ : Conductibilité électrique ($\Omega^{-1}m^{-1}$)

2.2.1 Le modèle employé

Selon les résultats escomptés et le temps de simulation dont on dispose, trois modes de résolutions peuvent être employé :

2.2.1.1 Le mode magnétostatique

Ce mode ne pourra donc être utilisé que pour simuler un instant donné d'un fonctionnement essentiellement à vide (sans courants induits) de la machine car il impose de connaître les valeurs des courants dans les différentes barres du rotor. On s'en servira essentiellement pour la détermination de l'inductance magnétisante du moteur. Dans ce mode les sources sont indépendantes du temps.

Le terme $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$ (2.8)

Par conséquent, les équations du modèle deviennent :

$$\overrightarrow{rot} \vec{H} = \vec{J} \quad (2.9)$$

$$\overrightarrow{div} \vec{B} = 0 \quad (2.10)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + \vec{B}_r \quad (2.11)$$

La condition (2.6) permet de définir une fonction en vecteur potentiel A telle que :

$$\overrightarrow{rot} \vec{A} = \vec{B} \quad (2.12)$$

Pour que A soit totalement défini, il faut également fixer la valeur de sa divergence. On ajoute alors la condition $\text{div}(\vec{A}) = 0$ appelée jauge de Coulomb. Qui vérifiée automatiquement l'unicité de la solution.

Par substitution nous obtenons l'équation électromagnétique en magnétostatique, exprimée par le système d'équations suivant :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(v \cdot \overrightarrow{\text{rot}} \vec{A}) = \vec{J} + \overrightarrow{\text{rot}}(v \cdot \vec{B}_r) \quad (2.13)$$

Où

$v = 1/\mu$: est la réflectivité magnétique.

2.2.1.2 Le mode magnétodynamique

Ce modèle s'applique aux dispositifs qui ont des sources du courant ou de la tension varient en fonction du temps,

Le terme $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ n'est pas nul.

Et qui suppose la densité de courant sinusoïdale, et simuler en régime permanent. Ce qui permet d'obtenir des valeurs convenables du courant efficace. Ce mode pourra être utilisé pour étudier un schéma équivalent de la machine.

Le système à résoudre est le suivant :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(v \cdot \overrightarrow{\text{rot}} \vec{A}) + j\omega\sigma\vec{A} = \vec{J} \quad (2.14)$$

$\omega = 2\pi f$: pulsation électrique (rad. s⁻¹), j : unité imaginaire ($i^2 = -1$)

2.2.1.3 Le mode magnétique transitoire

Est le plus complet. Il traduit fidèlement la rotation du moteur. Dans ce cas l'alimentation est en courant transitoire, le traitement du système précédent des équations caractéristiques, nécessite une discrétisation pas à pas dans le temps.

Donc le système à résoudre est le suivant :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(v \cdot \overrightarrow{\text{rot}} \vec{A}) + \sigma \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} - \overrightarrow{\text{rot}} \vec{B}_r + \sigma \overrightarrow{\text{grad}} V = 0 \quad (2.15)$$

2.2.2 Principe de la méthode des éléments finis

Le principe fondamental de la méthode des éléments finis réside dans le découpage du domaine d'étude en domaines élémentaires de dimension finie. Sur chaque domaine appelé élément fini, Le vecteur potentiel, dans un élément de découpage peut être approchée par des fonctions d'approximations (dites fonctions de formes), dont l'expression varie d'un type à un autre. Ces fonctions d'approximations doivent assurer la continuité du potentiel aux interfaces des éléments. La majorité des formes d'approximations du potentiel dans un élément sont des approximations polynomiales [13].

Pour élément triangulaire on a :

$$A_e(x, y) = a + bx + cy$$

Pour les éléments quadrilatéraux on a :

$$A_e(x, y) = a + bx + cy + dxy$$

Les constantes a b c et d sont à déterminer. Le potentiel A_e est en générale non nul dans l'élément et nul ailleurs.

La valeur approchée du potentiel dans un point du domaine (Ω) de résolution est donnée par :

$$A(x, y) = \sum_{e=1}^{ne} A_e(x, y)$$

e : Numéro d'élément.

ne : Le nombre totale des éléments du domaine (Ω).

Le potentiel en tous points d'un élément ainsi que la densité de courant sont parfaitement définis par les valeurs des potentiels de ses trois sommets.

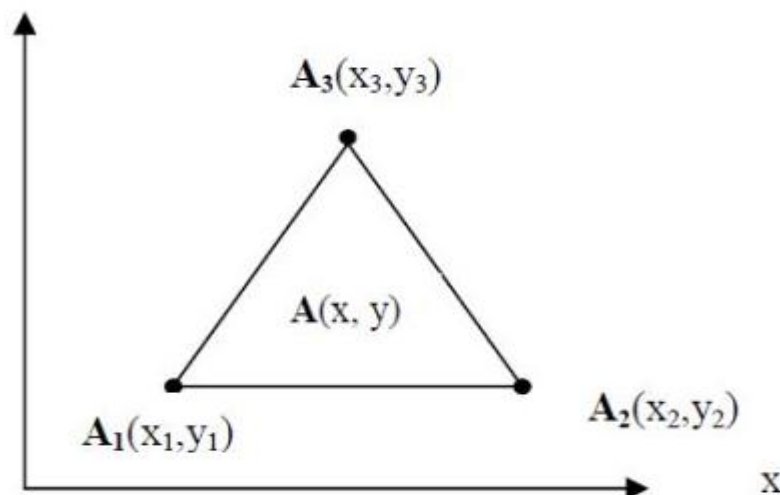


Figure 2.1: fonction d'interpolation d'un élément

2.3 Présentation du logiciel FLUX2D :

C'est un logiciel de modélisation par éléments finis prenant en compte les phénomènes magnétiques et thermiques et permettant des régimes évolutifs. C'est donc un logiciel parfaitement adapté à nos besoins. Le logiciel permet de calculer et de visualiser les grandeurs utiles à l'ingénieur, pour des dispositifs bidimensionnels ou à symétrie de révolution comportant des matériaux à caractéristiques linéaires ou non, isotropes ou non. C'est un logiciel complet ayant l'avantage de permettre le couplage avec les équations de circuits ainsi que l'ajout d'une région surfacique particulière dite " bande de roulement " pour l'étude des

machines tournantes avec différentes positions du rotor, sans avoir à modifier la géométrie et le maillage. La résolution d'un problème fait appel à des modules spécialisés : [14]

2.3.1 Module Construction (Preflux)

Il contient trois fonctions :

➤ (**geometry&physics**) ; permet de définir la géométrie et le maillage du dispositif à étudier, de déterminer le type du problème (magnétostatique, magnétodynamique ou transitoire) et associer des matériaux et des propriétés (magnétiques et électriques) à chaque élément de la géométrie.

(**Circuit**) définit le schéma et les données du circuit électrique

➤ (**Materials data base**)) permet de choisir et de construire une banque de matériaux.

Ce module assure aussi le couplage entre le circuit magnétique et le circuit électrique d'alimentation.

2.3.2 Module Solving Process

Constitué principalement d'un module de résolution 2D (Direct) des différents modèles usuels de l'électromagnétisme et des problèmes thermiques.

2.3.3 Module Analysis

Permet, entre autres, de tracer les équipotentielles ou les lignes de flux, le maillage, la géométrie et les courbes 2D ou 1D selon un chemin prédéfini. Il permet aussi de calculer des grandeurs globales telles que le couple ou la force appliqués à un contour fermé, les inductions, les flux, les inductances, etc.

2.4 Procédure de construction du modèle par FLUX2D

Pratiquement, il suffit pour une machine saine de considérer un seul pôle grâce à la symétrie électrique et magnétique de la machine par rapport à son axe de rotation, mais ce n'est pas le cas pour une machine avec défaut où elle perd sa symétrie. Il faut donc réaliser la géométrie complète de la machine pour étudier son comportement avec défaut.

Pour simplifier la méthode de construction, on commence par faire entrer des paramètres et des systèmes de coordonnées pour le modèle puis schématiser la première encoche statorique et la première barre rotorique. Le reste de la géométrie et du maillage est créé par propagation.

Les paramètres à entrer représentent les dimensions des différentes parties de la machine, mais sont indépendants d'aucune unité de mesure. L'intérêt de ces paramètres est qu'ils simplifient l'entrée du problème et les modifications dans la géométrie par définition

Chapitre02: Modélisation de la MAS par la méthode des éléments finis

des coordonnées des points en fonction de ces paramètres, par exemple, on définit le diamètre intérieur de stator comme et si on veut le changer il suffit de changer son paramètre, Flux2D vas automatiquement mettre à jour les points et les lignes correspondants a ce paramètre et le maillage. Sans ce paramètre il faut redéfinir les coordonnées de chaque point et chaque ligne cités à cette distance ainsi que le maillage.

Lorsque on entre les points de l'encoche statorique et de celle rotorique et relie entre eux par des lignes et des arcs, les surfaces des régions sont automatiquement construits par ces lignes. Puis on construit les deux lignes intérieure et extérieure du rotor et celle extérieure de stator [14]

2.5 Paramètres dimensionnels et physiques :

Les paramètres géométriques sont indiqués dans le tableau :

Nombre	commentaire	Valeur
1	nombre de pole	6
2	nombre d'encoche	36
3	nombre de barre	28
4	diamètre d'arbre	33mm
5	diamètre du rotor	109mm
6	diamètre intérieur du stator	110mm
7	diamètre extérieur du stator	168mm
8	l'entrefer	0,5mm
9	profondeur d'encoche	14,5mm
10	ouverture d'encoche	3mm
11	pas d'encoche	10°

Tableau 2:Tableau 1: les parametres geometrique de la MAS

2.5.1 Géométrie:

La géométrie de la machine est une liaison entre des points avec des segments et arcs selon les étapes suivantes :

- ✓ Création des systèmes de coordonnées
- ✓ Introduction des points en respectant le type de coordonnée de système
- ✓ Introduction de segments et des arcs
- ✓ Connexion des segments et des arcs en formant des surfaces fermées pour la création des faces

2.5.2 Circuit électrique :

Le circuit électrique de la MAS contient des effets d'extrémités, résistances de tête bobinées, annaux de court-circuit et inductances.

On a ajouté une (switch) sans la phase (3) qui a pour role d'assurer l'ouverture de la phase à un certain instant (programmée).

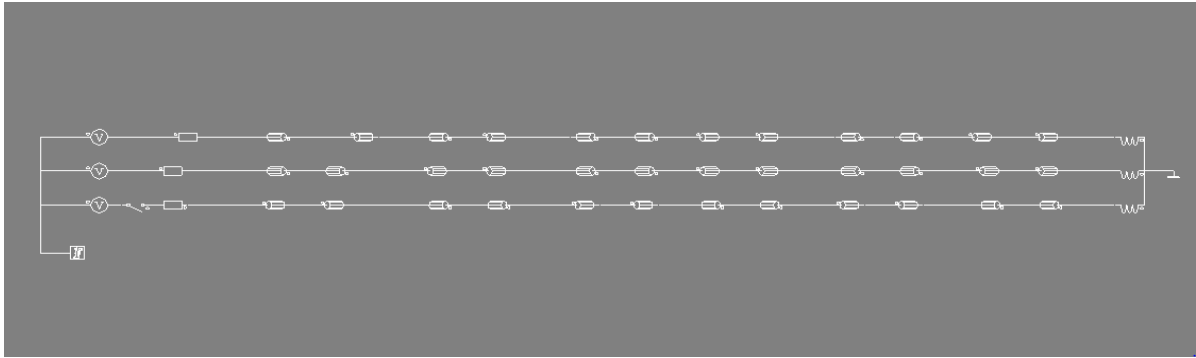


Figure 2.2:circuit électrique de la MAS à cage

2.5.3 Création des régions

Les régions de surface sont créées en entrant des noms, les propriétés des matériaux, des composants des circuits, des ensembles mécaniques et des couleurs.

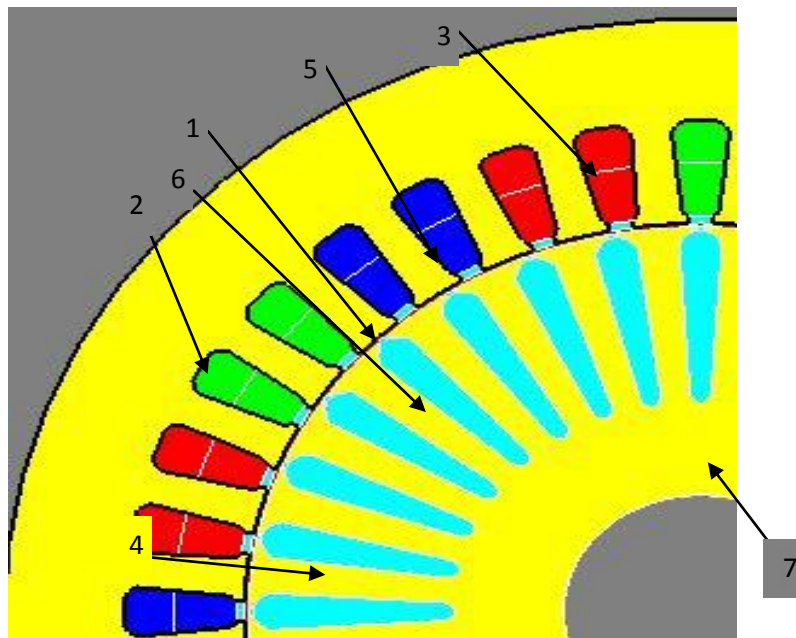


Figure 2.3: régions surfaciques

nombre	nom	matériaux utilisé	l'ensemble mécanique
1	l'encoche de l'enroulement b	cuivre	fixe
2	stator	fer	fixe
3	l'encoche de l'enroulement a	cuivre	fixe
4	l'entrefer	air	entrefer
5	l'encoche de l'enroulement c	cuivre	fixe
6	barre rotorique	aluminium	tournant
7	rotor	fer	tournant

Tableau 3:les caractéristiques de chaque région

2.5.4 Le maillage

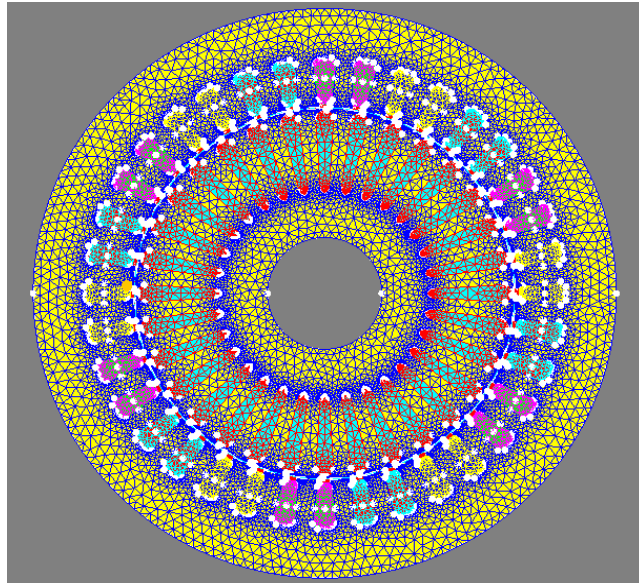


Figure 2.4: maillage de la machine

éléments de maillage	pourcentage
nombre des éléments non évolués	0%
nombre des éléments d'excellente qualité	99,48%
nombre des éléments de bonne qualité	0,51%
nombre des éléments de qualité moyenne	0%
nombre des éléments de qualité médiocre	0%
nombre des éléments anormaux	0%

Tableau 4: qualité du maillage

2.6 Modélisation de la machine asynchrone triphasée avec rupture d'une phase

2.6.1 Introduction

La structure triphasée des enroulements de la machine asynchrone fournit un moteur avec des capacités de fonctionnement, même avec une de ses phases du stator est en circuit ouvert. Toutefois, lorsqu'il fonctionne avec une telle condition de structure déséquilibrée, les propriétés dynamiques du moteur vont changer considérablement son état équilibré.

La modélisation du moteur asynchrone en absence ou présence du défaut consiste classiquement à rechercher l'ensemble des équations reliant les variables internes aux grandeurs externes : tensions aux bornes de la machine, courants absorbés et couple disponible. Les différentes approches pour l'étude reposent sur la résolution des équations de l'électromagnétisme et de la mécanique.

On peut modéliser les machines asynchrones selon différentes méthodes, en fonction des

objectifs recherchés. Ci-après les modèles suivants qui peuvent être élaborés :

- Le modèle triphasé en abc, découlant des équations différentielles à coefficients périodiques régissant le fonctionnement de la machine; il est utilisé essentiellement pour l'étude des régimes permanents.
- Le modèle issu de la transformation triphasée – biphasée, utilisé couramment pour l'étude des régimes transitoires et pour l'élaboration des lois de commande.

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur la modélisation de la machine asynchrone triphasée et leur comportement quand elle subit un défaut de rupture d'une phase.

Après une première mise au point concernant la constitution et le fonctionnement de cette machine, le modèle mathématique de cette dernière sera établi : on présentera d'abord le modèle dans un référentiel à trois axes lié à l'alimentation triphasée dont la particularité est de n'introduire aucune transformation. Par la suite un modèle diphasé pourrait être déterminé à partir d'une transformation triphasée biphasée conforme.

Il sera alors possible de se pencher sur le cas de l'apparition de l'alimentation asymétrique, pour cela on étudiera le cas de rupture de la troisième phase statorique où nous présenterons deux méthodes de simulation pour analyser l'effet de ce défaut sur les grandeurs caractéristiques de la machine. [11]

2.6.2 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 $\Omega_s = \omega_s/p$

Où 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 plus 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 : [11]

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

2.6.3 Champ produit dans l'entrefer par un stator triphasé symétrique

Le stator de la machine asynchrone est constitué de trois bobinages à pp paire de pôles, notés par les indices a , b et c . Notons par i_a , i_b et i_c les courants les parcourant. Les trois bobinages sont répartis autour de l'entrefer à décalage angulaire tel que

$$\alpha_a = 0, \alpha_b = 2\pi/3 \text{ et } \alpha_c = -2\pi/3 .$$

Considérons le cas où les trois courants forment un système triphasé sinusoïdal équilibré I_{sm} :

$$\begin{aligned} i_{sa}(t) &= I_{sm} \cos(\omega_s t) \\ i_{sb}(t) &= I_{sm} \cos(\omega_s t - 2\pi/3) \end{aligned} \tag{2.16}$$

$$i_{sc}(t) = I_{sm} \cos(\omega_s t + 2\pi/3)$$

L'expression du champ produit par un bobinage monophasé à répartition sinusoïdal est rappelée comme :

$$B(\xi, t) = \lambda i(t) \cos(p(\xi - \alpha)) \tag{2.17}$$

où ξ est un angle de repérage initial et λ est un coefficient de proportionnalité dépend essentiellement de la construction du bobinage.

En chacun des trois bobinages, on obtient l'expression du champ total :

$$B(\xi, t) = \lambda (i_a(t) \cos(p\xi) + i_b(t) \cos(p(\xi - 2\pi/3)) + i_c(t) \cos(p(\xi + 2\pi/3))) \tag{2.18}$$

en remplaçant des expressions les courants et en développant les expressions des cosinus, on obtient la formule suivante :

$$B(\xi, t) = \frac{3}{2} \lambda I_{sm} \cos(\omega_s t - p\xi) \tag{2.19}$$

Cette formulation illustre l'onde du champ tournant à la vitesse ω_s à répartition sinusoïdale donné par l'angle $p\xi$.

2.6.4 Schéma équivalent par phase

En régime permanent, toute machine à induction possède un circuit équivalent par phase pouvant être représenté par la Figure 2.5. Les équations du circuit sont alors données par les équations (2.20). Ce schéma suppose que la machine est parfaitement saine et équilibrée : modèle sain en régime permanent. [11]

$$\begin{aligned} V &= (R_1 + j\omega l_1)I_1 + j\omega l_m (I_1 + I_2) \\ 0 &= (I_1 + I_2) + \left(\frac{R_2}{g} + j\omega l_2\right)I_2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

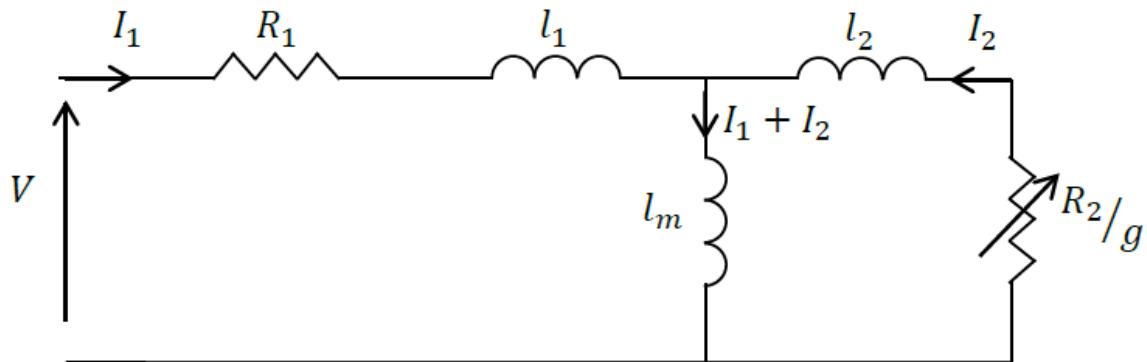


Figure 2.5: Circuit équivalent par phase de la machine en régime

2.6.5 Machine asynchrone en présence du défaut

Un moteur asynchrone triphasé dès qu'il perde une de ses phases d'alimentation pendant le fonctionnement, continue à fonctionner essentiellement comme un moteur asynchrone monophasé sous la tension de ligne à travers les deux phases restant alimentées. Le comportement de la machine se ramène à celui de la machine monophasée (phase principale et phase secondaire) [15].

2.6.6 Champ produit dans l'entrefer par un stator triphasé asymétrique

Si l'une des trois phases statorique est accidentellement coupée, supposons ici la troisième, le système (2.16) devient :

$$\begin{aligned} i_{sa}(t) &= I_{sm} \cos(\omega_s) \\ i_{sb}(t) &= I_{sm} \cos(\omega_s - 2\pi/3) \end{aligned} \quad (2.21)$$

l'expression (2.18) peut être réécrite comme suit :

$$B(\xi, t) = \lambda (i_a(t)\cos(p\xi) + i_b(t)\cos(p(\xi - 2\pi/3))) \quad (2.22)$$

soit encore

$$B(\xi, t) = \lambda I_{sm} (\cos(\omega_s t - p\xi) - \frac{1}{2} \cos(\omega_s t + p\xi - 2\pi / 3)) \quad (2.23)$$

Dans ce fonctionnement en mode dégradé, les courants statoriques créent un champ magnétique tournant, décomposable en un champ direct B_d et un champ inverse B_i . L'amplitude du B_d est le double de celle du B_i , ce qui démontre que la trajectoire du champ total est de forme elliptique. Ce champ assure toujours la rotation du rotor [16].

2.6.7 Schéma équivalent par phase

La figure 2.6 représente le schéma équivalent de la machine en présence du défaut de rupture d'une phase. Le rotor est soumis à l'action de deux champs résultants, champ direct et champ inverse, par suite, deux forces électromotrices induites de fréquence gf et $(2 - g)f$ apparaissent dans cette partie du moteur, car le glissement relatif au champ direct étant g , celui relatif au champ inverse est $(2 - g)$. Les courants qui circulent dans le rotor produisent aussi deux champs tournant dans l'entrefer aux vitesses $g\Omega$ et $(2 - g)\Omega$ par rapport au rotor lui-même. [11]

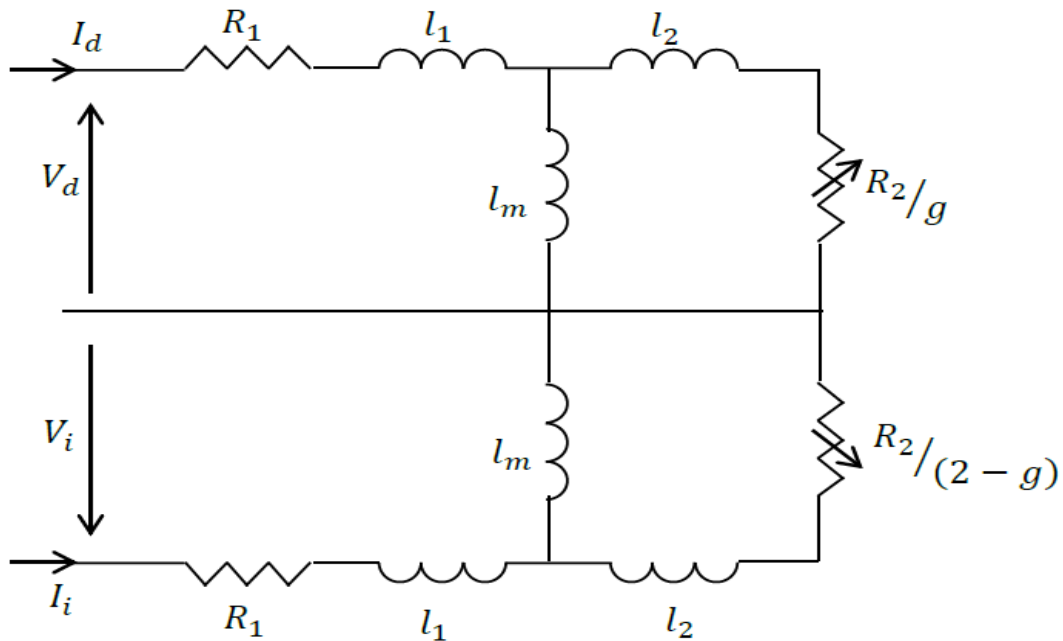


Figure 2.6: Circuit équivalent de la machine avec rupture d'une phase

2.7 Modélisation de la machine asynchrone en absence du défaut

2.7.1 Expression des flux

En notant $L_s = l_{sf} + L_{sp}$ l'inductance principale d'un enroulement du stator et $L_r = l_{rf} + L_{rp}$ celle d'un enroulement du rotor, les flux s'écrivent alors : pour le stator

$$\varphi_{s_p a}(t) = L_s i_{s_a}(t) + M_s i_{s_b}(t) + M_s i_{s_c}(t)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{s_{pb}}(t) &= M_s i_{sa}(t) + L_s i_{sb}(t) + M_s i_{sc}(t) \\ \varphi_{s_{pc}}(t) &= M_s i_{sa}(t) + M_s i_{sb}(t) + L_s i_{sc}(t)\end{aligned}\quad (2.24)$$

et pour le rotor

$$\begin{aligned}\varphi_{r_{pa}}(t) &= L_r i_{ra}(t) + M_r i_{rb}(t) + M_r i_{rc}(t) \\ \varphi_{r_{pb}}(t) &= M_r i_{ra}(t) + L_r i_{rb}(t) + M_r i_{rc}(t) \\ \varphi_{r_{pc}}(t) &= M_r i_{ra}(t) + M_r i_{rb}(t) + L_r i_{rc}(t)\end{aligned}\quad (2.25)$$

Ces équations se mettent sous forme vectorielle

$$\varphi_{s_p} = \mathcal{L}_s i_{s3} \quad (2.26)$$

$$\varphi_{s_p} = [\varphi_{s_{pa}} \quad \varphi_{s_{pb}} \quad \varphi_{s_{pc}}]^T \quad \text{et} \quad i_s = [i_{sa} \quad i_{sb} \quad i_{sc}]^T$$

Et

$$\varphi_{r_p} = \mathcal{L}_r i_{r3}$$

$$\varphi_{r_p} = [\varphi_{r_{pa}} \quad \varphi_{r_{pb}} \quad \varphi_{r_{pc}}]^T$$

$$\text{et} \quad i_r = [i_{ra} \quad i_{rb} \quad i_{rc}]^T$$

$$\mathcal{L}_s = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix}$$

Et

$$\mathcal{L}_r = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

Notons φ_{sra} , φ_{srb} et φ_{src} les flux du stator produits par le rotor. En notant M_{sr} la mutuelle inductance maximale entre un enroulement du stator et un enroulement du rotor. On obtient pour le flux du stator produit par le rotor :

$$\begin{aligned}\varphi_{sra} &= M_{sr} \cos(\theta) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta + 2\pi/3) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta - 2\pi/3) i_{ra}(t) \\ \varphi_{srb} &= M_{sr} \cos(\theta - 2\pi/3) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta + 2\pi/3) i_{ra}(t) \\ \varphi_{src} &= M_{sr} \cos(\theta + 2\pi/3) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta - 2\pi/3) i_{ra}(t) + M_{sr} \cos(\theta) i_{ra}(t)\end{aligned}\quad (2.27)$$

Ce qui se met sous la forme $\varphi_{sr3} = M_{sr}(\theta) i_{3r}$

$$\varphi_{sr3} = [\varphi_{sra} \quad \varphi_{sra} \quad \varphi_{sra}]^T \text{ et } M_{sr}(\theta) = M_{sr} \rho(\theta)$$

$$\rho(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

Le flux produit par le stator sur le rotor s'écrit avec la même matrice :

$$\varphi_{rs3} = M_{rs}(\theta) i_{3s}$$

$$\varphi_{rs3} = [\varphi_{rsa} \ \varphi_{rsb} \ \varphi_{rsc}]^T \text{ et } M_{rs}(\theta) = M_{sr}^T(\theta)$$

Le flux total reçu au stator est la somme du flux propre produit au stator et du flux produit au rotor, soit $\varphi_{s3} = \varphi_{s_{p3}} + \varphi_{sr3}$; de même, pour les flux produits au rotor, on a :

$$\varphi_{r3} = \varphi_{r_{p3}} + \varphi_{rs3},$$

ce qui donne les relations :

$$\varphi_{s3} = \mathcal{L}_s i_{s3} + M_{sr}(\theta) i_{3r}$$

$$\varphi_{r3} = \mathcal{L}_r i_{r3} + M_{sr}^T(\theta) i_{3s} \quad (2.28)$$

2.7.2 Équations aux tensions

Le modèle triphasé découle directement des équations différentielles régissant le fonctionnement du moteur asynchrone. Par application de la loi d'Ohm généralisé à chaque enroulement de la machine [11], il vient pour le stator :

$$v_{as}(t) = r_s i_{sa} + \frac{d\varphi_{sa}(t)}{dt}$$

$$v_{bs}(t) = r_s i_{sb} + \frac{d\varphi_{sb}(t)}{dt} \quad (2.29)$$

$$v_{cs}(t) = r_s i_{sc} + \frac{d\varphi_{sc}(t)}{dt}$$

et pour le rotor

$$v_{ar}(t) = 0 = r_r i_{ra} + \frac{d\varphi_{ra}(t)}{dt}$$

$$v_{br}(t) = 0 = r_r i_{rb} + \frac{d\varphi_{rb}(t)}{dt} \quad (2.30)$$

$$v_{cr}(t) = 0 = r_r i_{rc} + \frac{d\varphi_{rc}(t)}{dt}$$

avec r_s la résistance d'un enroulement du stator et r_r celle d'un enroulement du rotor. Ce qui se met sous forme vectorielle :

$$v_{s3} = R_s i_{s3} + \frac{d\varphi_{s3}}{dt} \quad (2.31)$$

$$0 = R_r i_{r3} + \frac{d\varphi_{r3}}{dt}$$

$$\text{Avec } v_{s3} = [v_{sa} \ v_{sb} \ v_{sc}]^T$$

Équation du couple électromagnétique

$$C_{em} = \frac{1}{2} \left(i_{s3}^T \frac{dM_{sr}(\theta)}{dt} i_{r3} + i_{r3}^T \frac{dM_{sr}(\theta)}{dt} i_{s3} \right) \quad (2.32)$$

En notant que $\frac{dM_{sr}(\theta)}{dt} = M_{sr}(\theta + \pi / 2)$ et que les deux termes de la somme sont identiques, le couple se réécrit :

$$C_{em} = p M_{sr} i_{s3}^T \rho(\theta + \pi / 2) i_{r3} \quad (2.33)$$

2.8 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 [17].

2.8.1 Modèle de simulation

Le type de défaut que nous étudions est la rupture de la troisième phase d'alimentation de la machine asynchrone. Nous allons montrer l'impact d'un tel défaut sur l'évolution temporelle des différentes grandeurs de la machine.

La simulation de ce type de défaillance peut être faite en utilisant deux méthodes différentes, le but étant d'annuler le courant qui traverse la phase qui subit ce défaut. Une première méthode de modélisation consiste à reconstituer totalement le circuit électrique statorique. Dans ce type d'approche, la troisième phase statorique est enlevée du circuit électrique, ce qui oblige à reformuler les matrices du stator (modèle de dimension 2*3). En effet, la suppression de cette phase nous donne des matrices de rang inférieur à celles développées pour la machine saine (modèle de dimension 3*3).

La deuxième méthode consiste à introduire une résistance élevée dans la phase en rupture d'alimentation de manière à avoir un courant qui y circule nul alors que la tension correspondante existe.

On redéfinit les vecteurs statoriques, tensions, courants et flux comme suit :

$$v_{s2} = [v_{sa} \quad v_{sb}]^T, \quad \varphi_{s2} = [\varphi_{sa} \quad \varphi_{sb}]^T, \quad i_{s2} = [i_{sa} \quad i_{sb}]^T \quad (2.34)$$

La rupture d'une phase réduit à 2 l'ordre des matrices résistances et inductances statoriques

$$\mathcal{L}_{sab} = \begin{bmatrix} L_s & M_s \\ M_s & L_s \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Le rotor garde leur structure symétrique, les vecteurs et la matrices, résistances et inductances rotoriques restent inchangeables :

$$\varphi_{r3} = [\varphi_{ra} \ \varphi_{rb} \ \varphi_{rc}]^T, \quad i_{r3} = [i_{ra} \quad i_{rb} \ i_{rc}]^T \quad (2.36)$$

$$\mathcal{L}_r = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$M_{sr}(\theta) = M_{sr} \rho(\theta) \quad (2.38)$$

$$\rho(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi / 3) & \cos(\theta - 2\pi / 3) \\ \cos(\theta - 2\pi / 3) & \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi / 3) \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

$$M_{rs}(\theta) = M_{sr}^T(\theta) = M_{sr} \rho(\theta)^T \quad (2.40)$$

Avec

$$\rho(\theta)^T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi / 3) \\ \cos(\theta + 2\pi / 3) & \cos(\theta) \\ \cos(\theta - 2\pi / 3) & \cos(\theta + 2\pi / 3) \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

La modification de l'ordre des matrices statoriques oblige à recalculer les lois électriques et magnétiques.

$$v_{sab} = R_{sab} i_{s2} + \frac{d\varphi_{s2}}{dt} \quad (2.42)$$

$$0 = R_r i_{r3} + \frac{d\varphi_{r3}}{dt} \quad (2.43)$$

Avec

$$\varphi_{s2} = \mathcal{L}_{sab} i_{s2} + M_{sr}(\theta) i_{3r} \quad (2.44)$$

$$\varphi_{r3} = \mathcal{L}_r i_{r3} + M_{sr}^T(\theta) i_{s2} \quad (2.45)$$

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les équations de Maxwell, sur la base des quelles tous les phénomènes électromagnétiques peuvent être modélisés puis nous avons présenté les modèles permettant la simulation d'une machine asynchrone à cage d'écureuil lors du

3 CHAPITRE : Simulation de la Machine asynchrone à cage

3.1 INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de simulation d'une machine asynchrone à cage dans le cas où la machine a l'état sain puis le cas de la présence de défaut, principalement l'ouverture de phase. Les simulations sont réalisées à partir d'un Logiciel flux2d dans son origine à l'étude des machines électriques dans le cas général où la méthode des éléments finis est adoptée pour résoudre les problèmes électromagnétique et mécanique régis par des équations aux dérivées partielles caractéristiques aux phénomènes physiques à traiter dans certains cas de nos simulations. L'effet d'encoche et de la saturation magnétique des parties ferromagnétiques de la machine sont pris en compte. Cette étude a pour but de vérifier l'impact des défauts de l'ouverture de phase

3.2 Résultats de simulation :

Après avoir étudié les modes mathématiques de la machine asynchrone en état de fonctionnement sain et en présence de l'ouverture de phase (phase 3 dans ce cas), on présente maintenant le comportement des grandeurs physiques de la MAS après la simulation par le logiciel FLUX2D.

3.2.1 MAS en fonctionnement sain

Le couple admet une forte valeur (fort appel de courant au démarrage, bref mais important) avec des oscillations puis se rétablit à zéro (charge nulle).

L'allure de la vitesse présente des oscillations dans les premiers instants de démarrage avec un accroissement presque linéaire. Le régime établi est atteint au bout de (0.6s).

Le courant de démarrage est excessif et est dû à l'appel de puissance pour pouvoir démarrer la machine. Ces pulsations de courant disparaissent au bout de quelques alternances pour donner une forme sinusoïdale d'amplitude constante.

3.2.1.1 MAS à vide

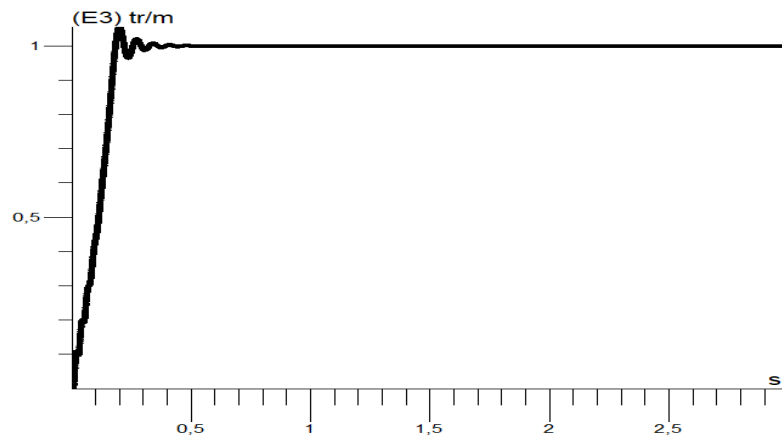


Figure 3.1:vitesse de la MAS à vide (sain)

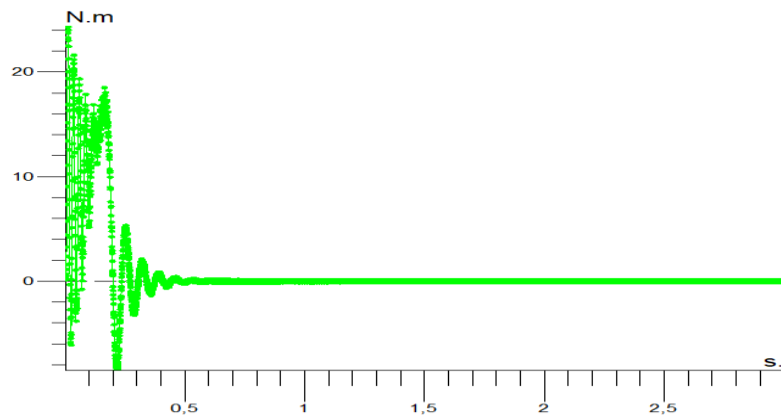


Figure 3.2:couple de la MAS à vide (sain)

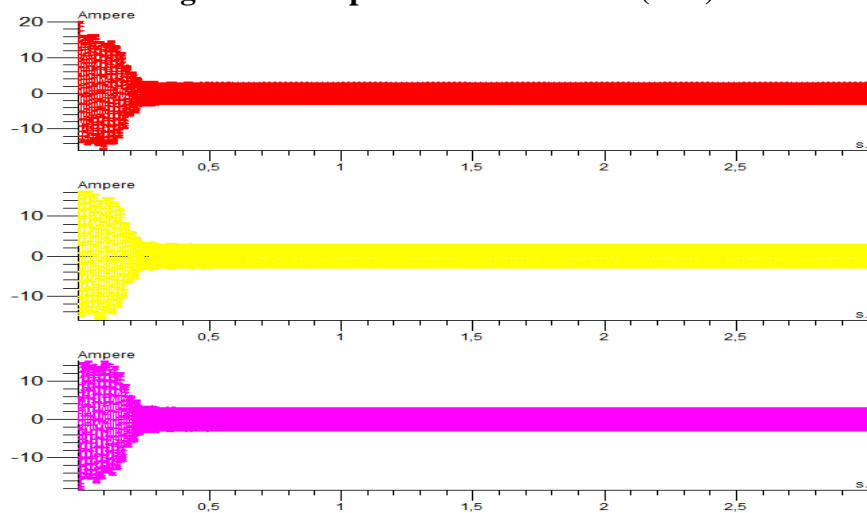


Figure 3.3:les courants statoriques

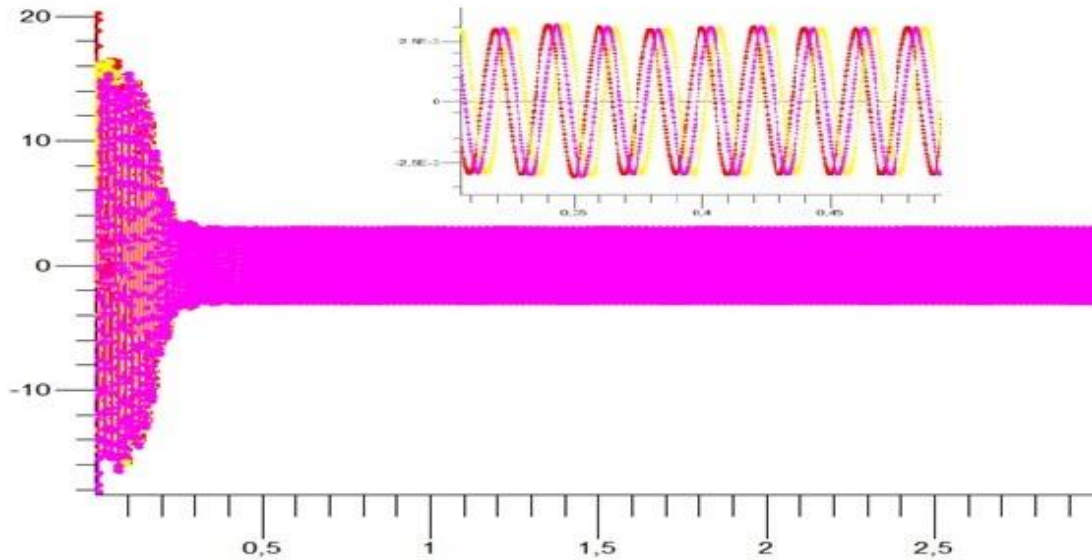


Figure 3.4: zoom sur les courants statoriques superposés

3.2.1.2 La MAS en charge

On constate un temps de réponse plus long (0.75s) que celui de la machine à vide et c'est dû à la charge (6Nm), ce qui provoque un pique de courant lors du démarrage avant de se stabiliser en oscillant sinusoidalement avec une amplitude constante.

Le couple revient pour se stabiliser à sa valeur (6Nm) après une forte pique oscillatoire au démarrage.

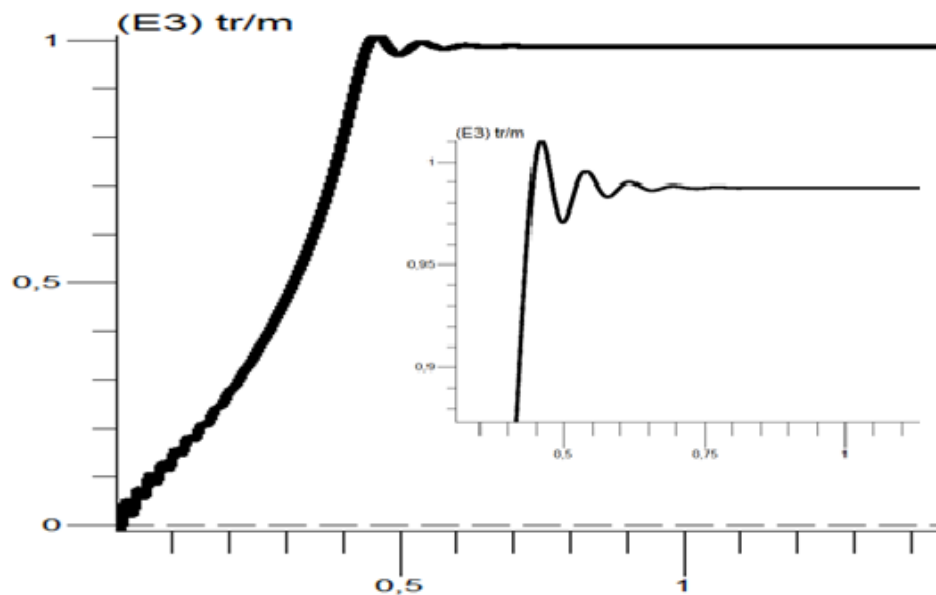


Figure 3.5: vitesse en charge sans défaut

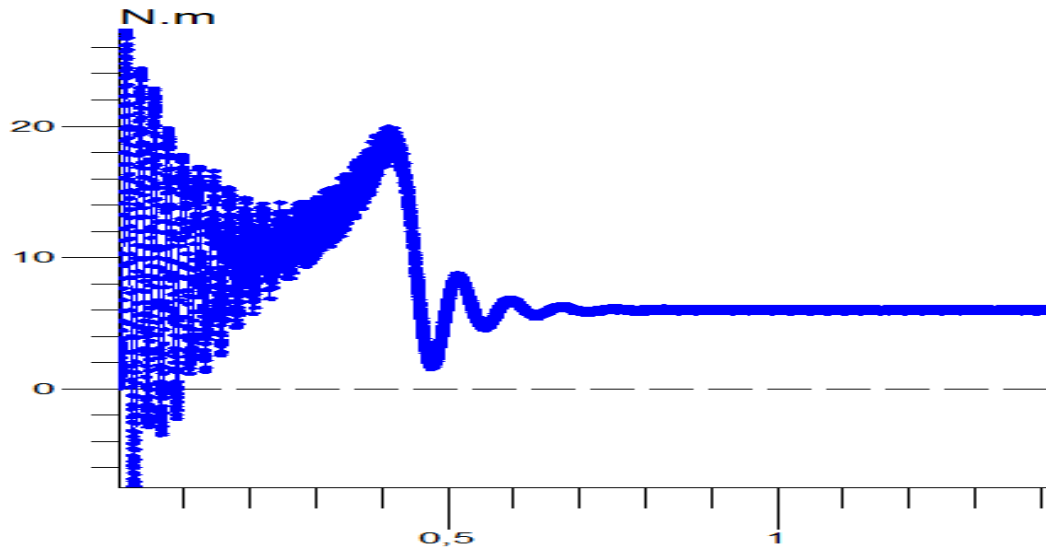


Figure 3.6:couple en charge

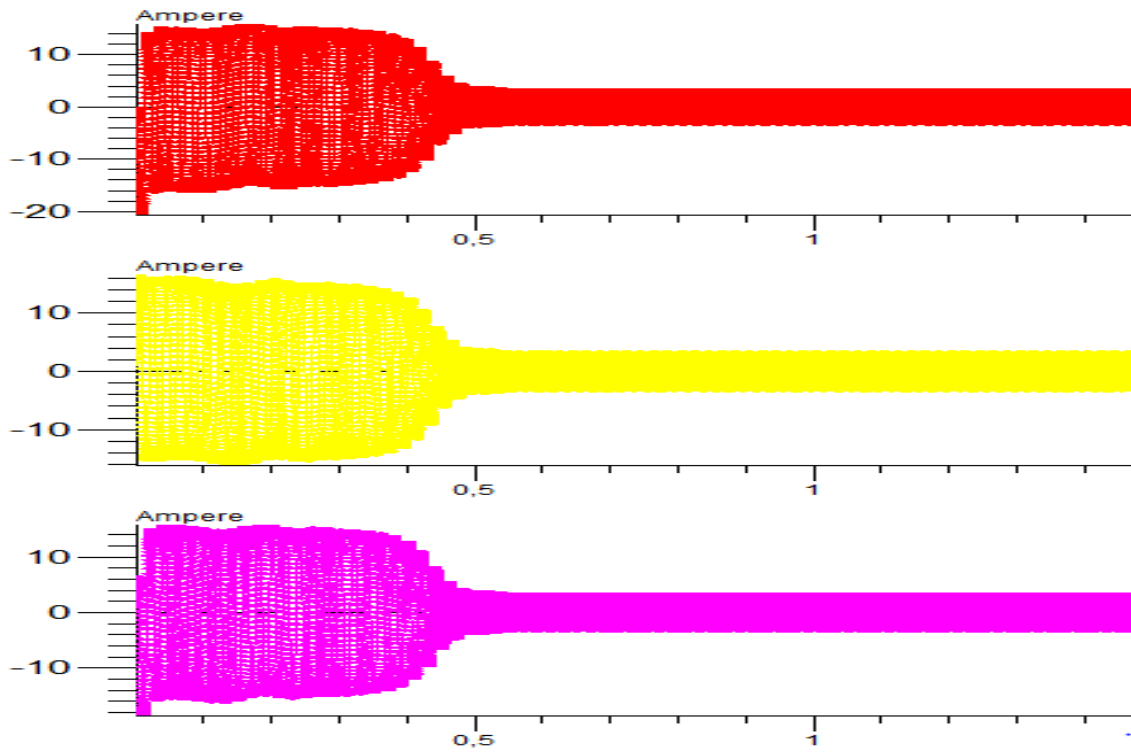


Figure 3.7:courants statoriques en charge

3.2.2 Fonctionnement en cas de défaut :

3.2.2.1 MAS a vide avec défaut

La MAS subisse une ouverture de phase(3) a $t=1.5s$

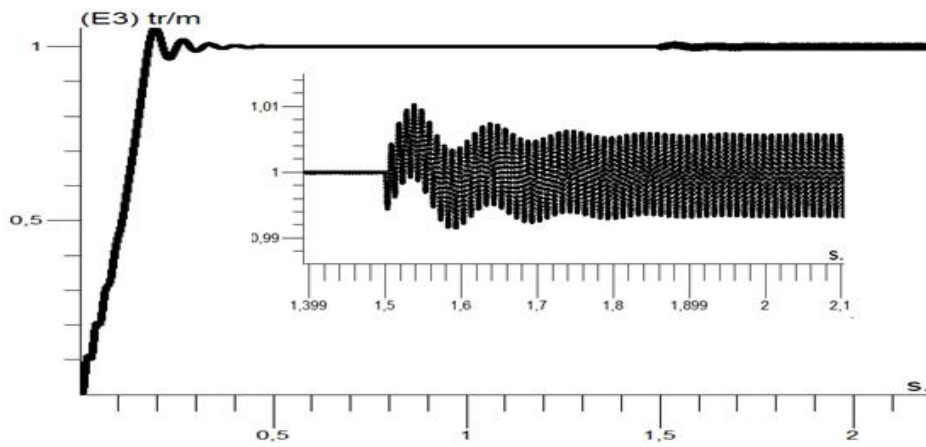


Figure 3.8:vitesse à vide avec défaut

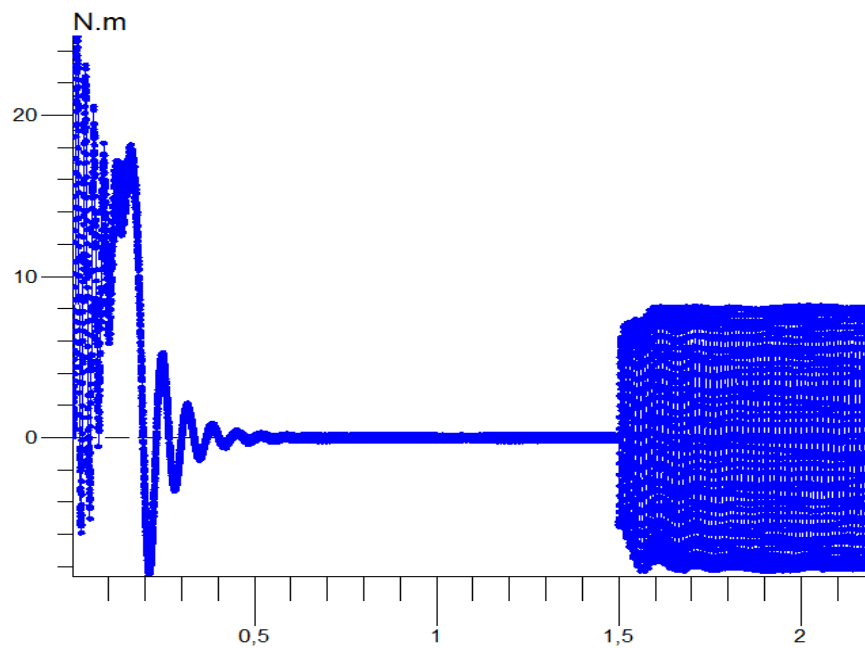


Figure 3.9:couple

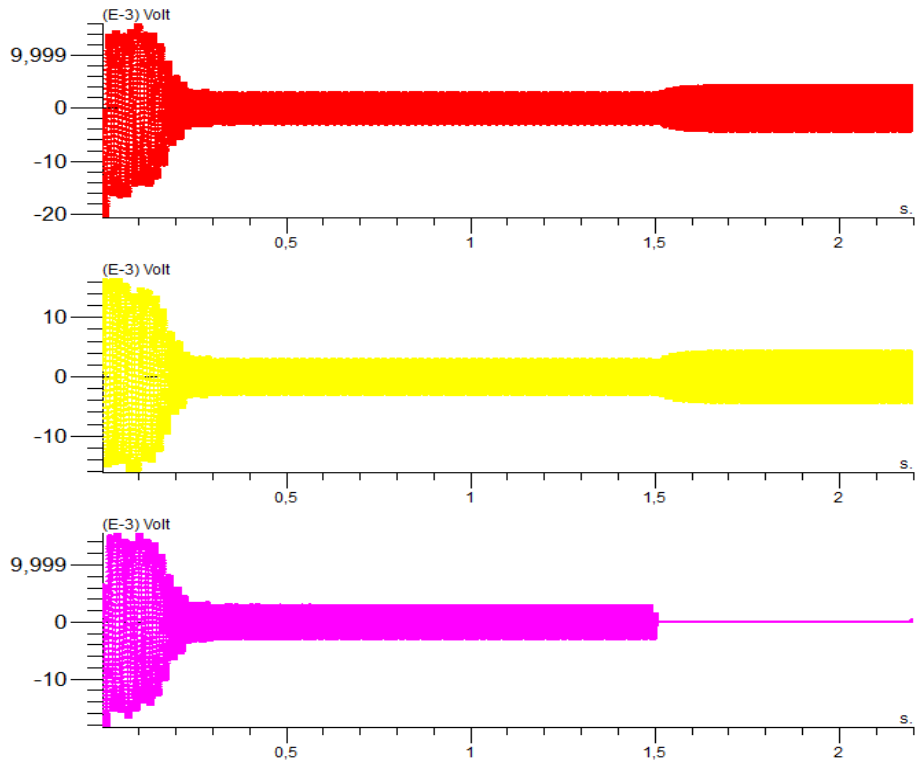


Figure 3.10:courants statoriques

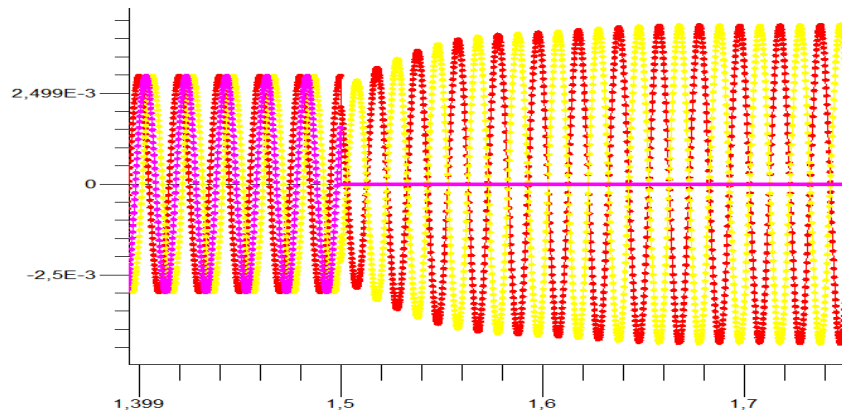


Figure 3.11:zoom sur les courants statorique lors du défaut

3.2.2.2 MAS en charge avec défaut

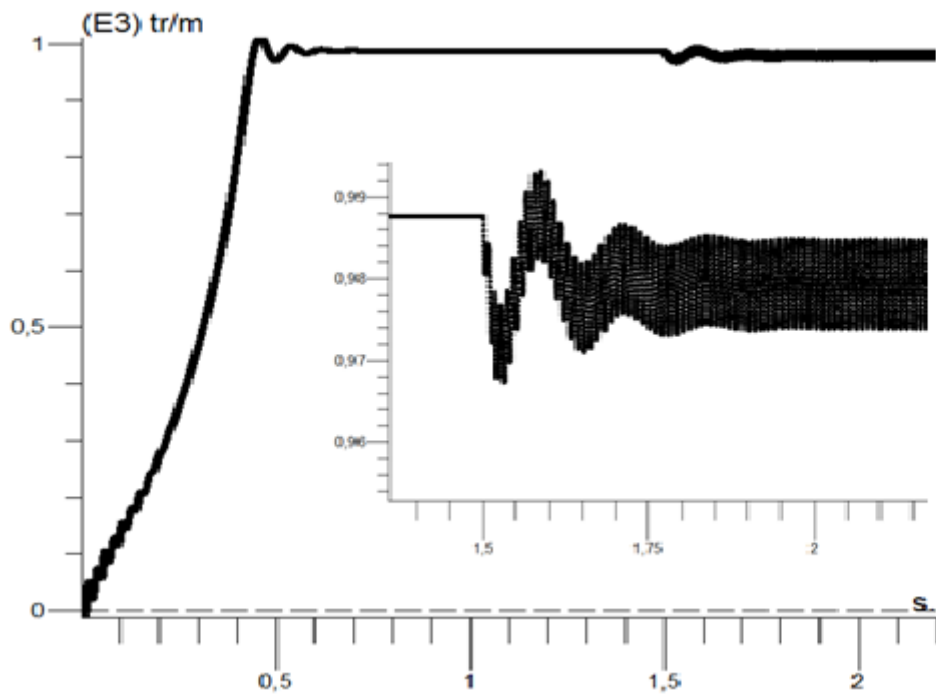


Figure 3.12:vitesse en charge avec défaut

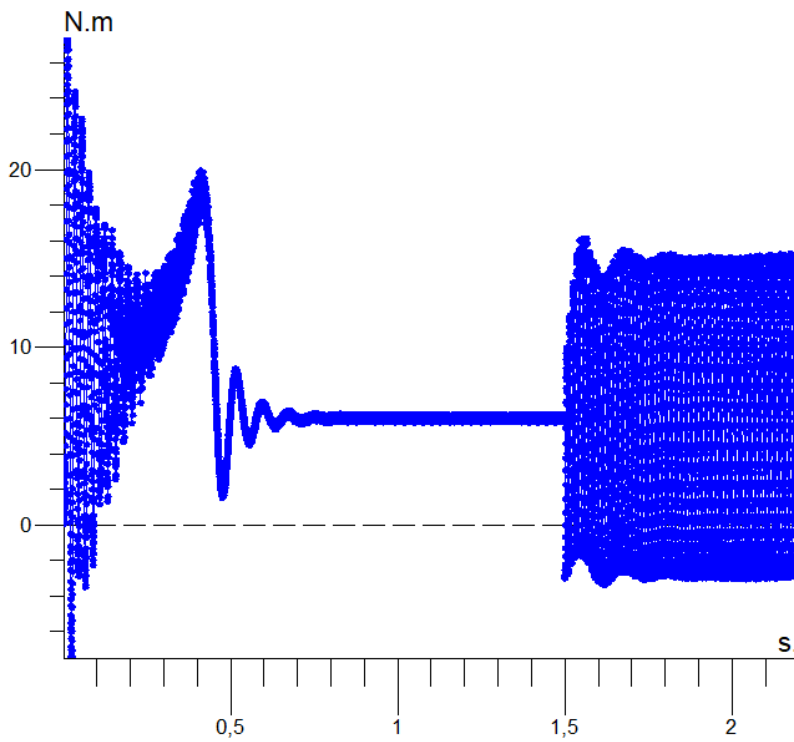


Figure 3.13:couple en présence de défaut

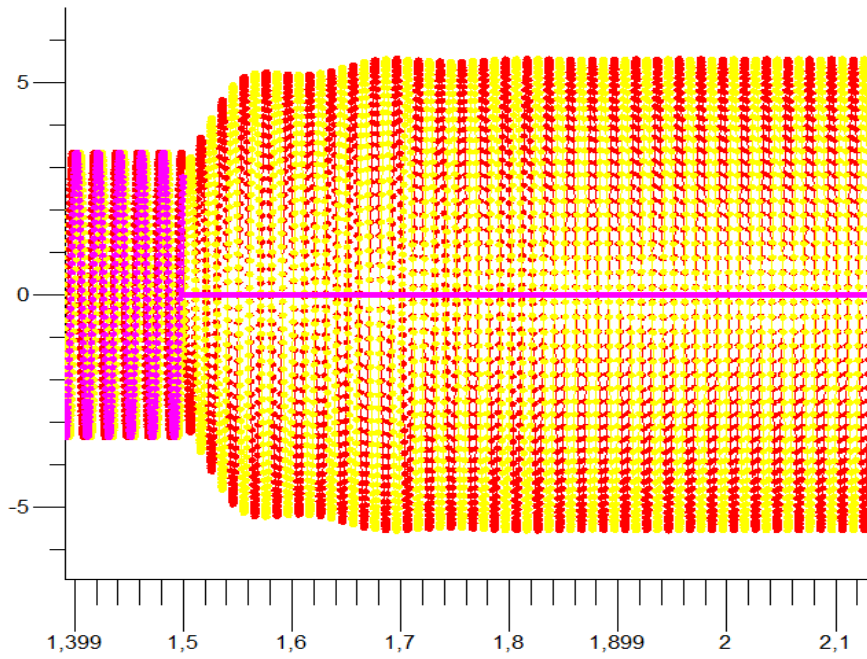


Figure 3.14: zoom sur les courants statoriques en cas de défaut

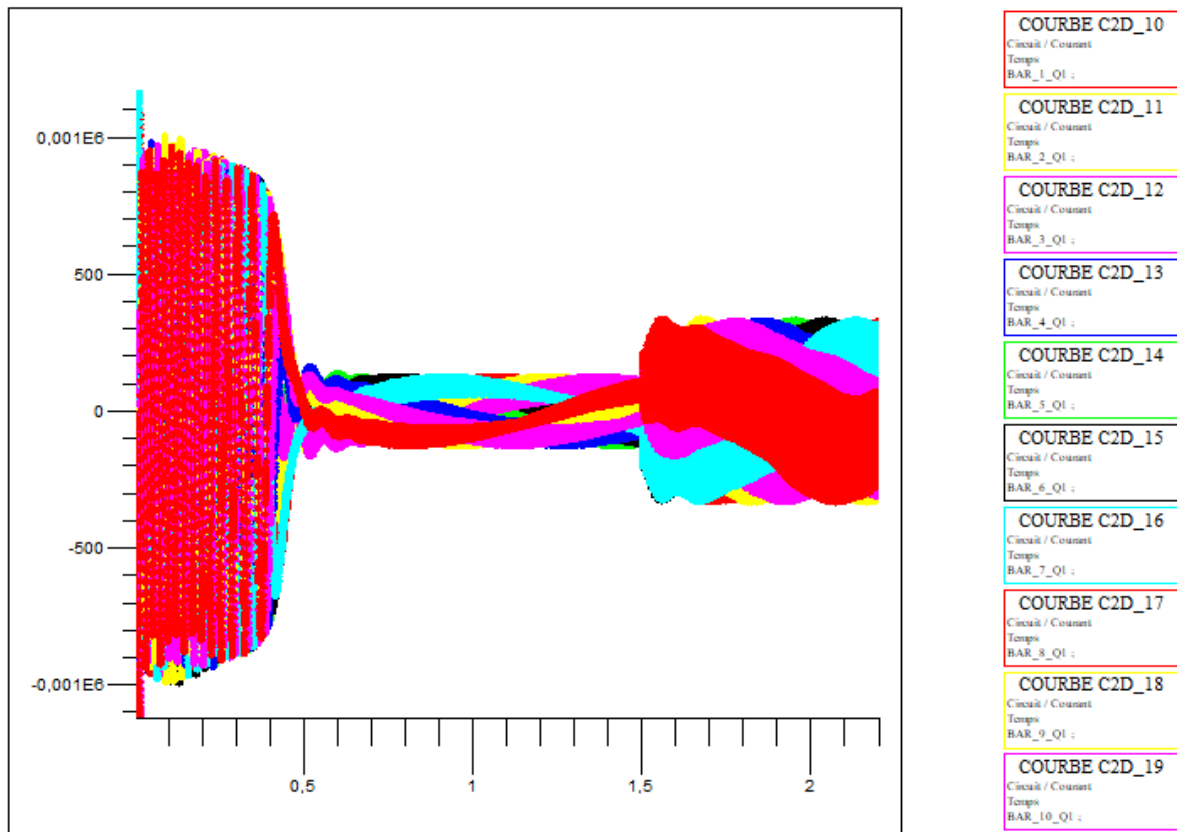


Figure 3.15: courants rotoriques

3.2.2.3 Interprétation de la simulation en cas de défaut :

Nous présentons sur les figures (3.8 ... 3.15) l'évolution temporelle des grandeurs de la machine asynchrone lorsque nous passons d'un fonctionnement sain à un fonctionnement défaillant. Pour analyser l'effet de la rupture de la troisième phase sur ces grandeurs, nous avons choisi de la rendre déconnectée à l'instant $t=1.5$ secondes.

L'analyse du couple électromagnétique montre une modification importante de son allure lorsque le défaut apparaît se manifestant avec des oscillations de la grandeur sensée être continue et constante.

En analysant l'évolution de la vitesse de rotation qui diminue d'une valeur de 9.8tr/mn (en cas du charge) tandis qu'à vide elle oscille toujours autour de sa valeur nominale, nous visualisons l'apparition d'une légère ondulation lorsque le défaut de rupture de phase apparaît.

L'évolution des courants absorbés par les phases statoriques . Comme pour les deux grandeurs précédentes, le défaut de rupture de la troisième phase induit une modulation d'amplitude importante des courants des deux autres phases restées connectées

3.3 La transformation de Fourier rapide FFT

La transformation de Fourier rapide (sigle anglais : *FFT* ou *fast Fourier transform*) est un algorithme de calcul de la transformation de Fourier discrète (TFD).

Cet algorithme est couramment utilisé en traitement numérique du signal pour transformer des données discrètes du domaine temporel dans le domaine fréquentiel, Son efficacité permet de réaliser des filtrages en modifiant le spectre et en utilisant la transformation inverse (filtre à réponse impulsionnelle finie). Il est également à la base des algorithmes de multiplication rapide.

3.3.1 Principe de la méthode d'analyse spectrale FFT

Pour identifier le type de défaut on utilise la méthode d'analyse spectrale des courant statorique (F F T), la technique d'analyse spectrale du courant statorique ou bien d'un autre signal dans la machine à diagnostiquée nécessite une connaissance précoce très forte et sure du contenu spectral de ces signaux à l'état sain.

d'ailleurs cette technique par principe compare le contenu spectral du signal choisi à l'état sain avec le contenu spectral du signal à l'état défaillant.

3.4 Analyse FFT du courant et de la vitesse :

3.4.1 Spectre du courant

Densité spectrale de puissance du courant statorique à l'état sain et en présence du défaut :

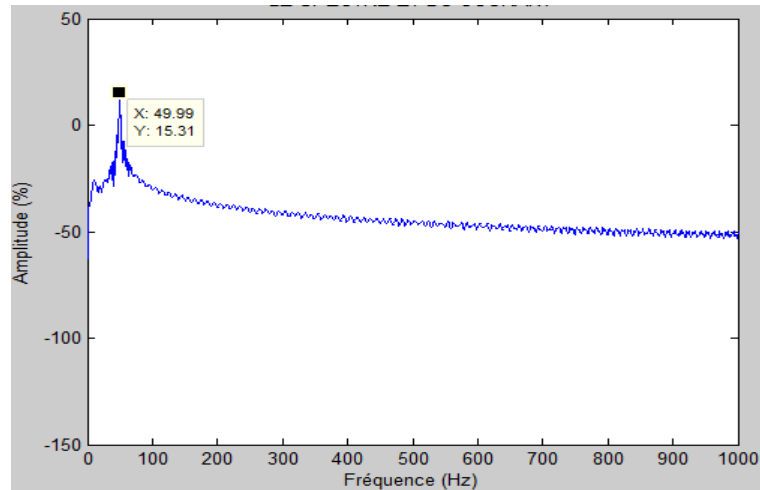


Figure 3.16: spectre du courant sain

On constate que la densité spectrale du courant statorique en fonctionnement sain ne présente qu'une seule raie à la fréquence 50Hz.

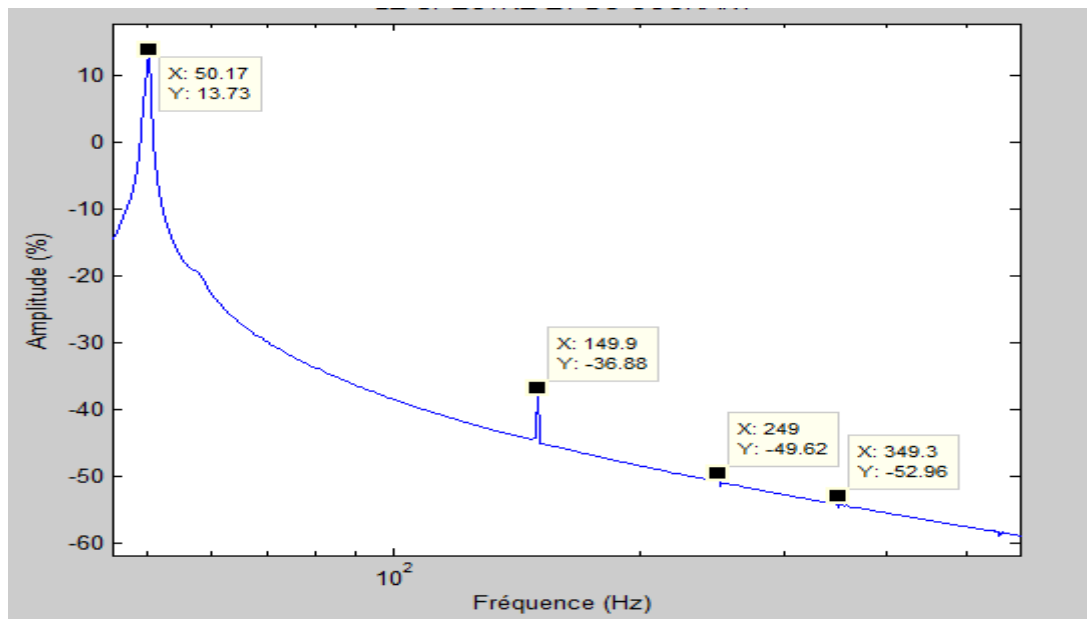


Figure 3.17: spectre du courant statorique en cas de défaut

La présence du défaut d'ouverture de phase provoque des modulations d'amplitude du courant, la densité spectrale de puissance du courant présenté sur la figure(3.17) montre la présence des raies aux fréquences $((2n+1)f)$. Donc l'ouverture de phase a pour effet principale l'introduction d'une modulation de phase de courant.

3.4.2 Le spectre de la vitesse

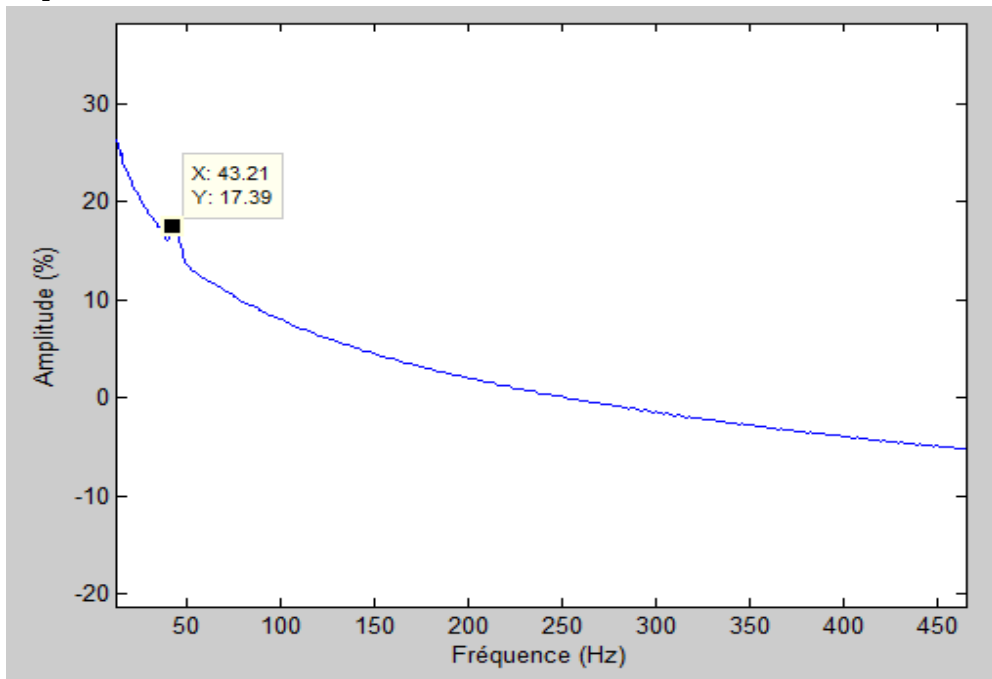


Figure 3.18: spectre de la vitesse saine

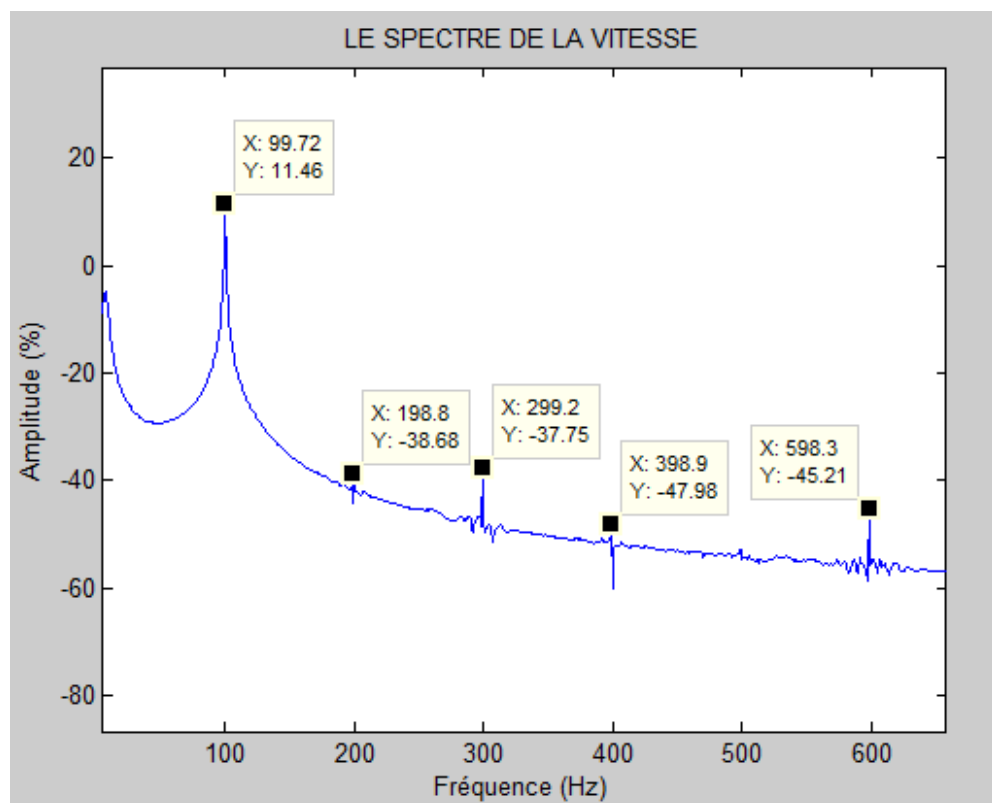


Figure 3.19: spectre de la vitesse en présence du défaut

Le défaut d'ouverture de phase affecte aussi la vitesse de rotation du moteur, cela apparaît dans la densité spectrale de puissance de la vitesse. On constate la présence des raies aux fréquences multiple de 100.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une simulation du moteur asynchrone dans deux cas différents sain et avec une charge puis on a ajouté un défaut de l'ouverture de phase sur les deux cas.

Nous avons observé l'effet de ce défaut sur les courants statoriques du moteur et le couple électromagnétique et la vitesse de la machine.

Puis nous avons fait une analyse spectrale de chacun de la vitesse et les courants statorique par la FFT pour évaluer et préciser l'impacte et la nature du défaut sur ces deux grandeurs.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Pour aborder notre étude nous avons commencé par une généralité sur la machines asynchrones pour mettre en évidence la structure et les composants d'une MAS, le principe de fonctionnement puis on a passé à citer les différents types des défauts qui peuvent survenir lors du fonctionnement qu'ils soient mécaniques ou électriques, leurs sources et conséquences et surtout le défaut type qui est l'exemple de cette étude (l'ouverture d'une phase statorique).

Notre projet de fin d'étude a pour but de modéliser une machine asynchrone qui fonctionne en présence et en absence d'un défaut de l'ouverture d'une phase statorique dans les deux cas en charge et à vide et évaluer l'impacte de ce défaut sur ses grandeurs physiques. Cette modélisation a été réalisée par logiciel de simulation FLUX-2D qui est basé sur la méthode des éléments Finis

L'inconvénient de cette méthode (éléments finis-Flux 2D) est de prendre beaucoup de temps de calcul pour effectuer la simulation.

Nous avons montré que les principales grandeurs de la machine asynchrone peuvent présenter des défaillances totales ou partielles.

Et en faisant les analyses spectrales des courants statoriques par FFT. Les interprétations des résultats de simulation montrent qu'un défaut de l'ouverture d'une phase engendre des harmoniques d'ordre $((2n+1) f)$ dans les courants statoriques ainsi que des raies d'harmonique de la densité de puissance spectrale de la vitesse qui sont multiple de 100.

Finalement, on peut dire que les résultats obtenus depuis la simulation montrent les différents effets de l'ouverture d'une phase statorique sur les grandeurs de la MAS (courant, vitesse, couple...etc.) et que ces effets sont moins dangereux que certains autres défauts comme les court-circuit, les cassures des barres rotoriques...etc. car Un moteur asynchrone triphasé dès qu'il perd une de ses phases d'alimentation pendant le fonctionnement, continue à fonctionner essentiellement comme un moteur asynchrone monophasé sous la tension de ligne à travers les deux phases restant alimentées.

Le comportement de la machine se ramène alors à celui de la machine monophasée (phase principale et phase secondaire).

Bibliographie

- [1] S. REZGUI, «commande de machine électrique en environnement matlab/simulink et temps réel» mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électrotechnique. univercité de Constantine, 2009.
- [2] M. B. e. A. GALICHON, «Machines électriques » Electricité industrielle LIBRAIRIE DELAGRAVE., 15, rue Soufflot, 75005 Paris.
- [3] M. H. Adil, «*Modélisation numerique d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil*», PFE Master , Univercité blida1,2015.
- [4] M. G. « *Diagnostic par reconnaissance des formes : Application à la machine asynchrone* » *Mémoire de magistère en automatique.*, Tizi OUSOU, 2012.
- [5] M. A. LEBAROUD, «*Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables*»,*Thèse doctorat Constantine* 2006.
- [6] C. ANDRIAN, « *Méthode global de diagnostic des machines électriques* » *thèse de doctorat université*, Lille de Nord de France, 2012.
- [7] C. PREVE. R. JEANNOT, «*Guide de conception des réseaux électriques industriels* » Schneider Electric, 1997.
- [8] S. BELHAMDI, « *Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone Contrôlée Par Déférentes Techniques De Commande* » *Thèse de doctorat en électrotechniques.*, Université Mohamed KHIDER de ,Biskra, 2014.
- [9] A. BOUGUERNE, « *Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones* » *Mémoire de Magistère en Electrotechniques.*, CONSTANTINE: Université MENTOURI , 2009.
- [10]A. M. e. M. MEKRACHE, « *Diagnostic Des Défauts De La Machine Asynchrone* » *Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique*», Ecole Nationale Polytechnique,Alger, 2009.
- [11]B. Adel, «*Modélisation, Diagnostic et Commande d'une Machine Asynchrone avec Rupture d'une Phase*»*Mémoire de master*, batna, 2013.
- [12]L. Meftah, «*simulation et commande de la MAS double etoil pour aerogeneration*», *Mémoire de Master*,SETIF: UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-1, 2014.
- [13]A. Assam, « *Identification des Machines Asynchrones en Vue de Leurs diagnostiques* »,

Bibliographie

- Thèse de magister*, Sétif: l'Université de Sétif, 2010.
- [14]E. B. N. EDDINE, «*Modélisation et diagnostic d'une MADA*», *PFE Master, Université Blida1* , 2019.
- [15]O. Chee-Mun, «*dynamic simulation of electric machinery using Matlab/Simulink*», london: Hall International (UK, 1998.
- [16]J.-P. C. e. J.-P. Hautier, «*Modélisation et commande de la machine asynchrone*», Paris, 1995.
- [17]W. Piotr, «*Dynamics and control of electrical drives*», Opole, Poland, 2011.
- [18]M. T. e. O. RAHMANI, «*Diagnostic de défauts électriques de la MAS à Rotor à Cage d'écureuil par les réseaux de neurones*»,*PFE Master*, El-Harrach: Ecole Nationale Polytechnique, 2009.
- [19]C. P. e. R. JEANNOT, «*Guide de conception des réseaux électriques industriels* », Schneider Electric, 1997.