

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 عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et Technologie
Département d'électrotechnique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques
Thème

Diagnostic Des Défaillances Des Moteurs asynchrones

Présenté Par :

- 1) Mr. NAIM Oussama
- 2) Mr. BENMIA Mohammed

Devant le jury composé de :

Pr ZELMAT Samir	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr ADJOU DJ Redouane	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. KEDIR Khadidja	M A B UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr.....	M A B UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrante

Année universitaire 2023/2024

Dédicace

A mes parents avec toute ma gratitude pour toutes ces années de sacrifices et
d'encouragement

A mes frères

A mes amis

A tous ceux que j'aime

Je dédie ce travail.

SYMBOLES:

MAS : Machine Asynchrone.

MCC : Machine à Courant Continu.

MLI : Modulation par Largeur d'Impulsion.

CVOF : Commande vectorielle par orientation du flux

OFR : orientation du flux rotorique

PI : Correcteur Proportionnelle Intégrateur.

A, B, C : Indice correspondants aux trois phases du rotor

a, b, c :Indice correspondants aux trois phases du stator

d : indice grandeurs liées à l'axe d.

q : indice grandeurs liées à l'axe q.

θ : l'angle électrique entre la phase « **A** » du rotor et la phase « **a** » du stator.

i_{sd}, i_{sq} : Courant statorique dans le référentiel

v_{dr}, v_{qr} : Tension statorique dans le référentiel

N_s : vitesse de rotation du champ tournant statorique.

P : nombre de paires de pôles.

V_s : tension statorique.

V_r : tension rotorique.

R_s : résistance statorique.

L_s : inductance statorique.

R_r : résistance rotorique.

L_r : inductance rotorique.

ϕ_s : flux statorique.

ϕ_r : flux rotorique

U_c : tension d'entrée de l'onduleur.

$V_{sd}; V_{sq}$: tension statorique.

I_{sd} ; I_{sq} : courant statorique

Φ_{sd} ; Φ_{sq} : flux statorique.

J : Moment d'inertie des pièces tournantes.

ω_r : Vitesse mécanique du rotor en tr /min

L_s : l'inductance cyclique du stator.

L_r : l'inductance cyclique du rotor.

L_{rb} : l'inductance homopolaire.

M : l'inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.

$[M_{sr}]$: la matrice des inductances mutuelles entre stator et rotor.

LISTE DE FIGURES :

Chapitre I :

Figure I. 1 : MOTEUR ASYNCHRONE	14
Figure I. 2:couplage Etoile/triangle.....	15
Figure I. 3:Rotor à cage d'écuruil	16
Figure I. 4:Rotor bobiné.....	16
Figure I. 5:symbole de les deux défèrent type de MAS.....	16
Figure I. 6:alimentation de MAS	17
Figure I. 7:réseau triphasé.....	18
Figure I. 8:schéma de redresseur	18
Figure I. 9: la tension redressée.....	19
Figure I. 10:schéma de filtrage	19
Figure I. 11:l'onduleur de tension.....	21
Figure I. 12:onduleur de tension commandé en tension	22
Figure I. 13:Détermination des instants de commutation	24
Figure I. 14:les défauts externes [19]	25
Figure I. 15:les défauts internes [19]	25
Figure I. 16:Principaux défauts de la machine asynchrone et leurs causes [12]	26
Figure I. 17:déférents types de défauts statoriques	27
Figure I. 18 : Défaut de court-circuit entre spires	28
Figure I. 19:Défaut de rupture de barres et d'anneau de court-circuit.....	29
figure I. 20:Ruptures de barres	30
Figure I. 21:Quatre types de défauts dans les enroulements à billes	31
Figure I. 22:Les différents types de la dissymétrie de l'entrefer.....	32
Figure I. 23:Les types d'excentricité.....	32

Chapitre II :

Figure II. 1: modèle de la machine asynchrone	37
Figure II. 2: repère de Park.....	40
Figure II. 3 : Enroulements triphasés avec court-circuit	45

Chapitre III :

Figure III. 1:schéma du principe de découplage pour la MAS par analogie avec MCC.....	51
Figure III. 2 : Technique d'orientation du flux.....	52
Figure III. 3 : schéma de La de commande vectorielle indirect	53
Figure III. 4: schéma de la commande vectorielle direct	54
Figure III. 5 : Reconstitutions des tensions V_{sd} , V_{sq}	56
Figure III. 6:transfert entre V_{sdref} et Φ_{rd}	56
Figure III. 7 : représentation de la commande par pi	57
Figure III. 8:schéma fonctionnel de la régulation de vitesse.....	57
Figure III. 9:boucle de régulation du flux	58

Chapitre IV :

Figure IV. 1:Les types de maintenance	61
Figure IV. 2:Explication des indices de court-circuit dans les enroulements triphasés	63
Figure IV. 3:Localisation d'un court-circuit entre bobines d'une même phase.....	64
Figure IV. 4 : CTP	66
Figure IV. 5:Dispositif électronique (LT3 - Télémécanique) à associer à trois sondes à thermistance, pour commander l'arrêt d'un moteur en dépassement de température	67
Figure IV. 6:Méthodes de surveillance d'une machine électrique soumise à un défaut	68
Figure IV. 7:Bobine exploratrice pour la mesure de flux de fuite axial	71
Figure IV. 8:Principe de la surveillance par analyse spectrale	72
Figure IV. 9:Court-circuit de 58 spires dans la phase as	72
Figure IV. 10:Densité spectrale de puissance des courants de ligne($f_s=50\text{Hz}$).....	74
Figure IV. 11:schéma block de la simulation	75
Figure IV. 12: Résultats de simulation en fonctionnement sain	76
Figure IV. 13 : Résultats de simulation du cas défaut	78

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE :	11
CHAPITRE I LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MACHINE ASYNCHRONE	
I.1 INTRODUCTION	14
I.2 CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE	14
I.2.1 Le stator	15
I.2.2 Le rotor	15
I.2.2.1 Rotor à cage d'écureuil	15
I.2.2.2 Rotor bobiné	16
I.2.3 Symbole	16
I.3 DESCRIPTION DE L'ALIMENTATION DES MOTEURS ASYNCHRONE	17
I.3.1 Source électrique triphasée	18
I.3.2 Le redresseur	18
I.3.3 Le filtrage	19
I.3.4 L'onduleur triphasé	20
I.3.4.1 L'onduleur de tension triphasé	20
I.3.4.2 Modélisations de l'onduleur	20
I.3.4.5 La commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)	23
I.3.4.5.2 Principe du la MLI sinus- triangulaire	24
I.4 Les défauts de la machine asynchrone	24
I.4.1 Défaillances d'ordre électriques	27
I.4.1.1 Défaillances au stator	27
I.4.1.2 Défauts de rotor	29
I.4.2 Défaillances mécanique	30
I.4.2.1 Défauts des roulements	30
I.4.2.2 Défaillances de flasque	31
I.4.2.3 Défaillances de l'arbre	31
I.4.2.4 Défaillances de d'excentricités	31
I.5 CONCLUSION	33

CHAPITRE II MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

II.1 INTRODUCTION	36
II.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE	36
II.2.1 Cas du moteur a cage	36
II.2.2 Cas du moteur a rotor bobiné	36
II.3 LA MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE	36
II.3.1 modèle mathématique de la machine asynchrone	37
II.3.2 Équations de la machine asynchrone triphasée	37
II.3.2.1 Équations électriques	37
II.3.2.2 Équations magnétiques	39
II.3.3 Transformation de Park	40
II.3.3.1 Équations électriques	41
II.3.3.2 Équations magnétiques	42
II.3.3.3 Équation du couple électromagnétique	43
II.3.3.4 Équation dynamique	43
II.3.4 MODELE DE LA MACHINE EN REPRESENTATION D'ETAT	43
II.4 MODELE DE LA MAS AVEC D'ÉFAUTS STATORIQUES DE TYPE COURT-CIRCUIT	44
II.4.1 Modélisation dans le repère diphasé	47
II.4.2 REPRESENTATION D'ETAT DU MODELE DE DEFAT STATORIQUE	48
II.5 CONCLUSION	49

CHAPITRE III LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MACHINE

ASYNCHRONE

III.1 INTRODUCTION	51
III.2 PRINCIPE DE LA COMMANDE VECTORIELLE DU MOTEUR ASYNCHRONE	51
III.2.1 Technique d'orientation du flux	52
III.2.2 Méthode de commande vectorielle à flux orienté	52
III.3 COMPARAISON ENTRE LES METHODES DIRECTE ET INDIRECTE	54
III.4 TECHNIQUE DE DECOUPLAGE	55
III.4.1 Découplage par compensation	55
III.5 REGULATION DE SYSTEME	57
III.5.1 La conception des régulateurs	57
III.5.2 Régulateur de vitesse	57
III.5.3 Régulateur de flux	58
III.6 CONCLUSION	59

Chapitre IV DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

IV.1 INTRODUCTION	61
IV.2 LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE	61
IV.2.1 La maintenance curative	62
IV.2.1.1 Méthode de mesure le courant et la résistance	62
IV.2.1.2 Méthode de division de l'enroulement	63
IV.2.2 Maintenance préventive	64
IV.2.2.1 Un phénomène thermique	65
IV.2.2.2 Un phénomène électrodynamique	65
IV.2.2.3 Les relais à sondes à thermistance CTP	66
IV.2.2.4 Un dispositif électronique	67
IV.2.3 Maintenance prédictive	67
IV.2.3.1 Diagnostic interne (avec modèle)	68
IV.2.3.2 Diagnostic par méthodes externes (sans modèle)	70
IV.3 RESULTATS DE SIMULATION DU MOTEUR ASYNCHRONE	74
IV.3.1 Simulation du cas sain	75
IV.3.2 Simulation du cas défaut	77
IV.3.3 Interprétation des résultats	78
IV.3.3.1 Résultats de simulation sain	78
IV.3.3.2 Résultats de simulation du cas défaut	78
IV.4 CONCLUSION	79
Annexe	80
BIBLIOGRAPHIE	81
Résumé	85

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Les machines électriques sont l'élément principal dans toute activité industrielle. Elle joue un rôle important dans de nombreux domaines, notamment dans les processus industriels, car leur rigidité, leur robustesse, leur faible prix, leur relative simplicité et leur facilité d'entretien nous permettent de les représenter comme un noyau de ces domaines.

Le moteur asynchrone à rotor bobiné a été utilisé jusqu'à un passé récent pour les entraînements à vitesse peut variable, mais il ne présentait pas une sensible amélioration par rapport au moteur à courant continu. Actuellement les entraînements électriques et plus particulièrement à cage d'écureuil représentent une part importante des actionneurs électriques, leur gamme de puissance étendue, et la facilité avec laquelle on peut le démarrer, et à son prix de revient, et leur souplesse d'utilisation liées au progrès de l'électronique de puissance ont contribué à leur succès.

Tous ces avantages justifient le regain d'intérêt de l'industrie vis-à-vis ce type de machine. De plus les développements récents de l'électronique de puissance et de comment permettre au moteur à cage d'avoir les mêmes performances que celle de la machine à courant continu. Ceci explique son développement dans l'industrie et le remplacement progressif des moteurs à courant continu.

Ces machines sont soumises pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures qui peut être due au vieillissement des constructions du moteur ou bien conditions d'utilisation au tout simplement à un défaut de fabrication dont l'effet serait imperceptible lors de la mise en service.

L'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur qui peuvent être d'origine mécanique (excentricité du rotor, défaut sur accouplement, usure des roulement...), électrique (court-circuit du bobinage statorique, rupture de barre ou d'anneau, cassure de dents,), ou magnétique (perte isolement entre tôle...).

Afin d'éviter des arrêts intempestifs, il est possible d'effectuer une maintenance périodique durant laquelle les éléments de la chaîne sont remplacés après une durée d'utilisation finie.

L'inconvénient est que les éléments d'un système ne sont pas à l'abri d'une panne, et que leurs durées de vie ne peuvent être définis au préalable. D'autre part cette méthode apparaît coûteuse en temps d'arrêt et en produits.

La détection des défauts à leur premier stade (maintenance préventive) est devenue une nécessité majeure pour éviter la défaillance totale de la machine. La plupart des techniques de diagnostic utilisent les grandeurs mécaniques (couple, vitesse, bruit...) qui nécessitent l'introduction de capteurs au niveau de la machine, ce qui est difficile et coûteux dans la plupart des cas.

Le court-circuit des spires ne sont pas des défauts apparents, mais leurs effets se reflètent dans les grandeurs du moteur principalement dans le flux, le courant, la tension, la vitesse, et le

couple. Cependant des signaux des courants présentent l'avantage d'être facilement mesurables et à moindre coût.

Notre travail consiste en une étude bibliographique sur la MAS et se termine par un diagnostic d'un défaut statorique. Il comporte quatre chapitres.

Le premier chapitre présente l'alimentation électrique de la machine asynchrone et les convertisseurs utilisés pour commander le moteur, il présente alors divers défauts et dysfonctionnements, tant mécaniques qu'électriques.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la modélisation du moteur asynchrone sain et avec défaut de court-circuit des spires.

Le troisième chapitre parle de la commande du moteur asynchrone.

Et dans le quatrième chapitre présente le diagnostic du moteur asynchrone, et nous présentons les résultats pour la simulation pour les différents cas de fonctionnement du moteur.

Enfin, une conclusion générale qui résume le travail accompli et en suggérant des orientations futures pour la recherche.

CHAPITRE I :

LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MACHINE ASYNCHRONE

CHAPITRE I : LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MAS

I.1 : INTRODUCTION :

Les moteurs asynchrones, également appelés moteurs à induction, sont largement utilisés dans diverses applications industrielles en raison de leur robustesse et de leur coût relativement faible. Cependant, ces machines conduisent à porter une attention de plus en plus sérieuse quant à leur fonctionnement et leur disponibilité.

Cependant, et malgré les dispositions constructives adoptées, il arrive que les moteurs asynchrones présentent des pannes électriques ou mécaniques qui peuvent provoquer leur arrêt total et interrompre ainsi le processus industriel, ce qui se répercute sur la production. Par conséquent, il est recommandé de détecter ces pannes afin d'améliorer la fiabilité du moteur, et augmenter sa durée de vie.

Dans ce premier chapitre, nous présentons la machine asynchrone, et les différents défauts affectant cette dernière, leurs causes et leurs conséquences.

I.2: CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE :

Le moteur asynchrone est le moteur le plus répandu. Ce moteur se compose d'un inducteur fixe ou stator et d'un induit mobile ou rotor, On appelle moteur asynchrone toute moteurs qui ayant $2p$ pôles et étant reliée à un réseau de fréquence f , ne tourne pas exactement à la vitesse synchrone N_s définie par $N_s = f/p$. [01] [02] [03]

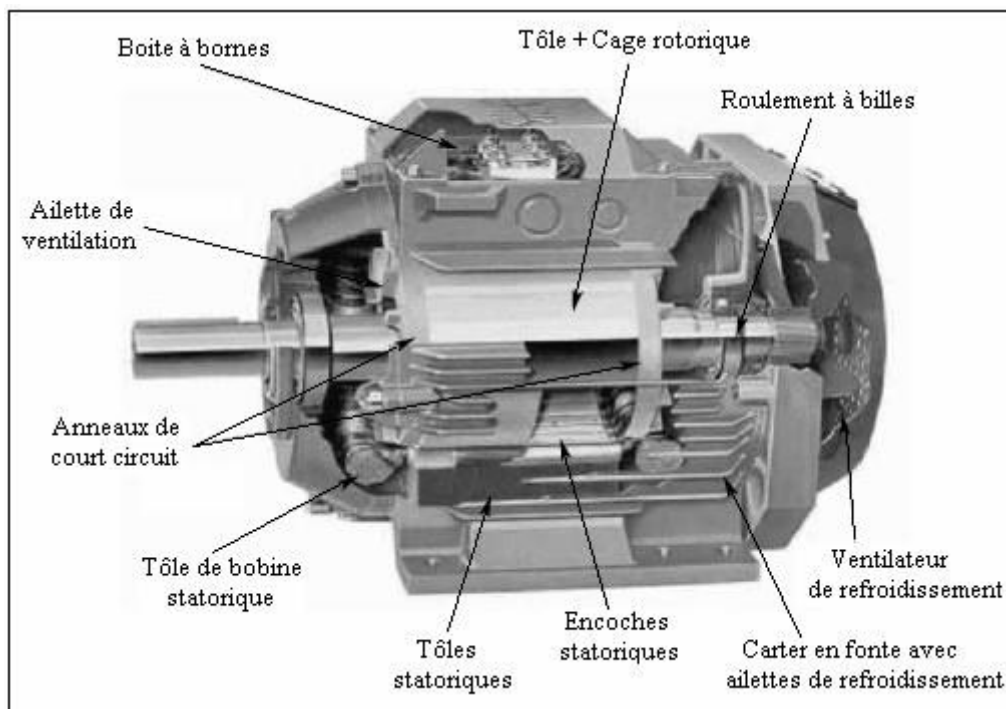


Figure I. 1 : MOTEUR ASYNCHRONE

CHAPITRE I : LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MAS

Le moteur asynchrone est formé :

I.2.1: Le stator :

Anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé semblable à celui d'un alternateur. Cet enroulement est presque toujours relié à la source et constitue le primaire. Les bobines du stator sont constituées par du fil de cuivre (l'aluminium n'est employé qu'en cas de pénurie de cuivre) isolé par plusieurs guipages de coton (ou de soie) ou le plus souvent aujourd'hui par l'émail. La section du fil est généralement ronde, quelquefois méplate pour les grosses machines.

Les bobines sont connectées les unes aux autres, est les extrémités des phases mises en étoile ou en triangle par simple déplacement des barrettes.

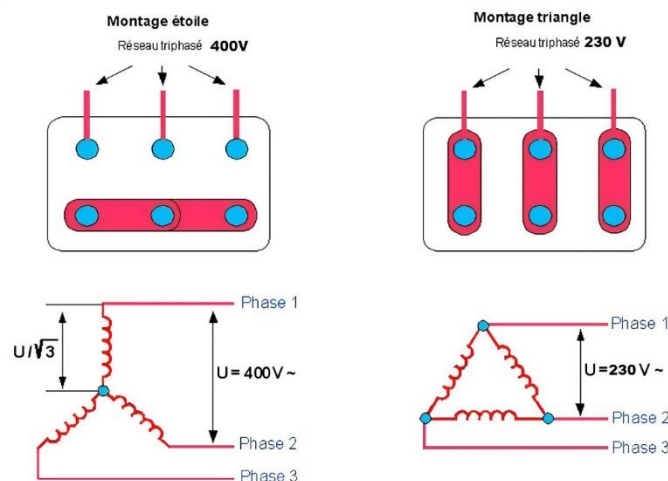


Figure I. 2:couplage Etoile/triangle

I.2.2: Le rotor :

Le rotor dans le moteur asynchrone c'est la partie tournante, Il n'est connecté à aucune source d'alimentation électrique, il existe 2 types de rotor :

- Rotor à cage d'écureuil
- Rotor bobiné.

I.2.2.1 : Rotor à cage d'écureuil :

Rotor à cage d'écureuil est constitué d'un cylindre de tôles d'acier, porte un ensemble de barres conductrices en aluminium, sont réunies par deux couronnes conductrices.

En fonctionnement, le stator est connecté à un courant alternatif, ce qui crée un champ magnétique tournant, Cela crée un courant dans le rotor et produit son propre champ magnétique.

L'interaction résultant des deux sources de champs magnétiques produit un couple dans le rotor.

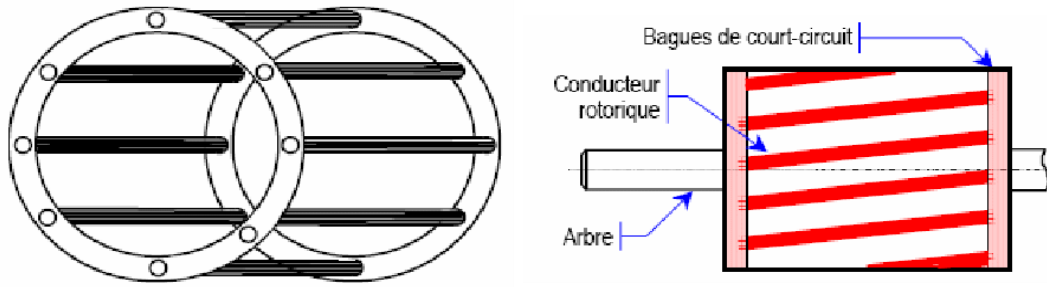


Figure I. 3:Rotor à cage d'écureuil

I.2.2.2: Rotor bobiné :

Les moteurs de moyenne puissance ont un rotor bobiné avec du fil de section ronde. Dans les gros moteurs, le plus souvent, les conducteurs ont une section rectangulaire. De plus, le bobinage est en manteau comme pour les induits de machines à courant continu [3]. Les enroulements sont généralement accessibles par l'intermédiaire de trois bagues et de trois balais, permettant ainsi de modifier les caractéristiques du moteur. Ces moteurs ont un coût de revient plus élevé que les moteurs à « cage d'écureuil ».

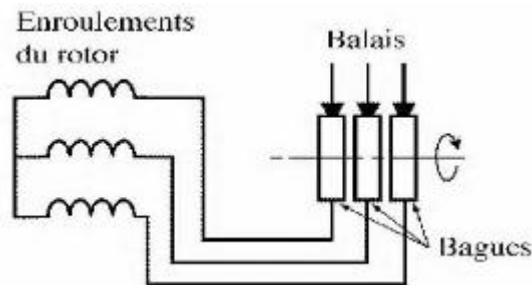


Figure I. 4:Rotor bobiné

I.2.3 : Symbole :

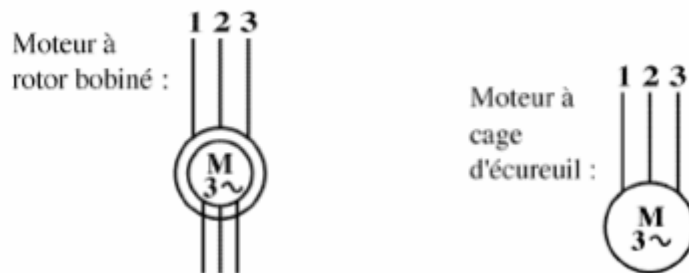


Figure I. 5:Symbole des deux différences type de MAS

I.3: DESCRIPTION DE L'ALIMENTATION DES MOTEURS ASYNCHRONE :

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans des applications nécessitant une vitesse variable. Ces machines ont la réputation d'être robuste et d'être adapter à des applications de forte puissance.

L'onduleur associé à d'autres organes forme l'équipement complet d'alimentation du MAS, qui comporte généralement :

- Une source électrique triphasée,
- Un redresseur triphasé double alternance à diodes,
- Un filtre passe bas de tension.

La source d'alimentation triphasée est équilibrée, d'amplitude, de tension et de fréquence constants. Le redresseur et le filtre de tension doivent être dimensionnés convenablement afin de les associer à l'onduleur de tension alimentant le MAS.[04], [05].

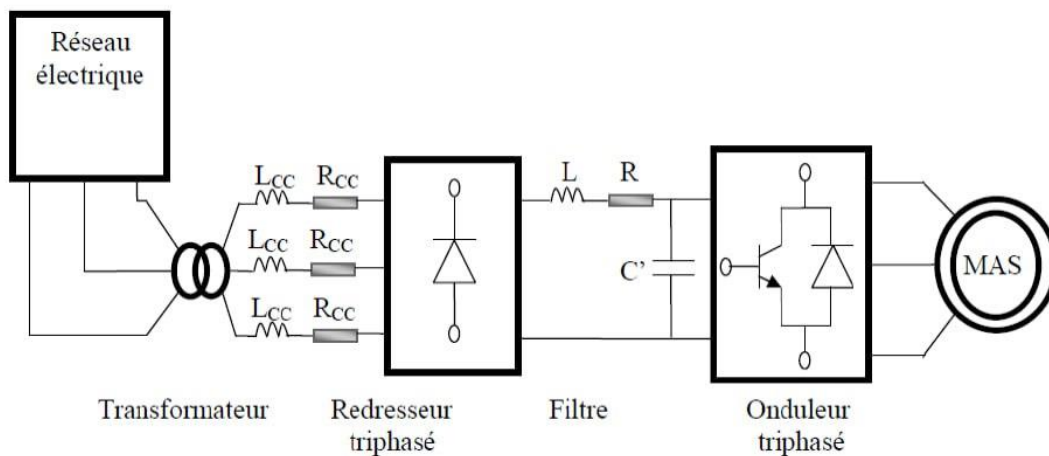


Figure I. 6:alimentation de MAS

I.3.1 : Source électrique triphasée :

Un système triphasé est un réseau à trois grandeurs (tensions ou courants) sinusoïdales de même fréquence et déphasées, les unes par rapport aux autres, d'un angle de 120° . Le système est équilibré si les grandeurs sinusoïdales sont de même valeur efficace.

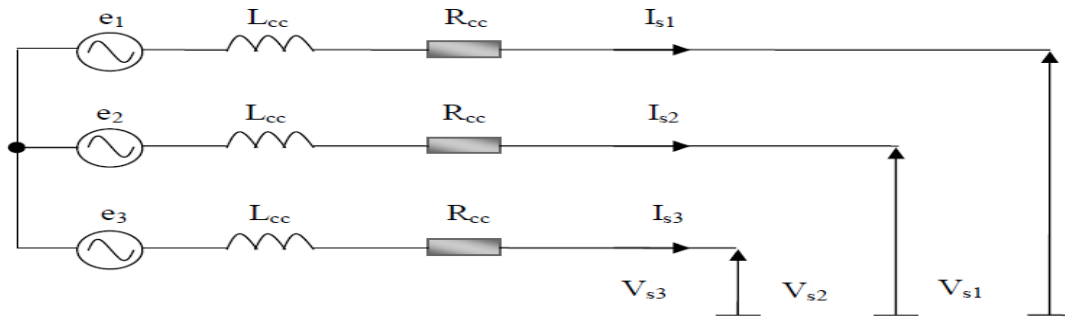


Figure I. 7:réseau triphasé

Avec :

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = 2 \cdot E \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix}$$

On a : $\omega : 2 \cdot \pi f$: pulsation du réseau.

I.3.2 : Le redresseur :

Les redresseurs sont des convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternative continue. Alimenté par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu les récepteurs branchés à leur sortie.

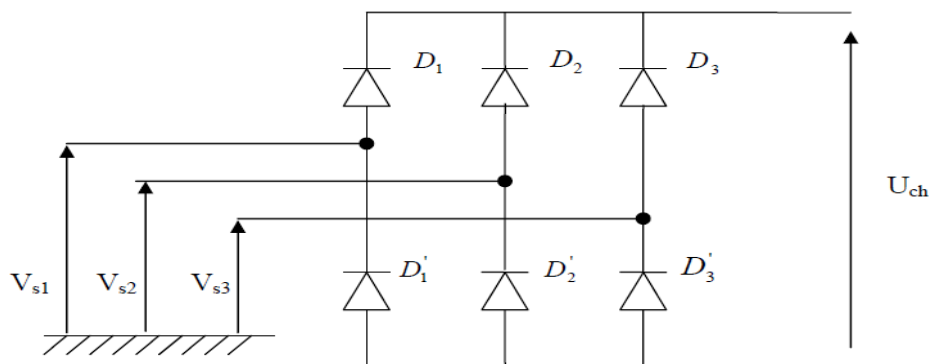


Figure I. 8:schéma de redresseur

Les trois diodes D1, D2, D3 forment un commutateur plus positif, qui laisse passer à tout instant la plus positive des tensions, et les diodes D'1, D'2, D'3 forment un commutateur plus négatif, qui laisse passer la plus négative des tensions. [06], [07]

CHAPITRE I : LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MAS

La tension redressée U_c est de la forme suivante :

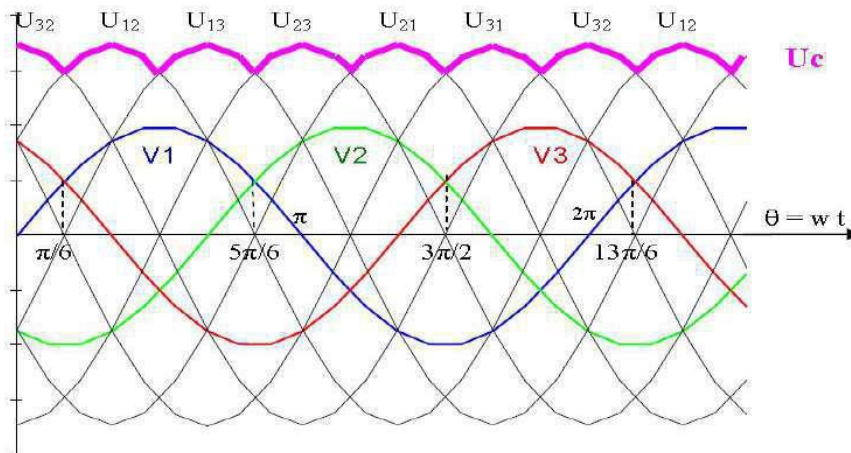


Figure I. 9: la tension redressée

I.3.3 : Le filtrage :

On insère à l'entrée de l'onduleur une capacité C pour corriger la source de tension continue.

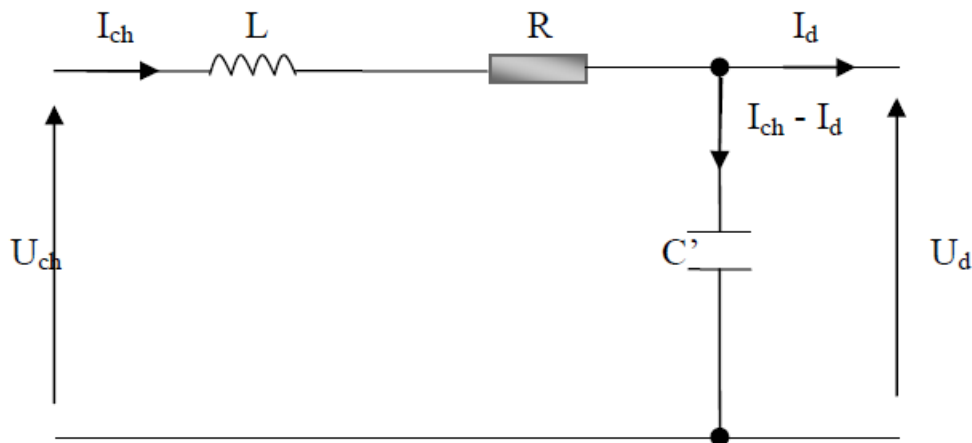


Figure I. 10:schéma de filtrage

Pour corriger la source de tension continue, on insère à l'entrée de l'onduleur une capacité C' , celle-ci absorbe la différence entre le courant unidirectionnel I_{ch} et le courant I_d , et supprime les brusques variations de U_d lors de la commutation ; par contre, pour réduire l'ondulation du courant I_d et protéger l'onduleur contre la vitesse critique de croissance de courant, on place en série une inductance de lissage L (de résistance interne R) l'ensemble.

I.3.4 : L'onduleur triphasé :

Le moteur asynchrone est utilisé le plus souvent pour des entraînements à vitesse variable. Les variateurs de ces moteurs sont construits à base de convertisseurs de fréquence. Parmi ces convertisseurs de fréquence l'onduleur autonome qui est un convertisseur statique assurant la conversion continue alternative, alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connections entre l'entrée et la sortie, et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie. Un onduleur autonome dépend essentiellement de la nature du générateur et du récepteur entre lesquels il est monté, cela conduit à distinguer :

- * les onduleurs de tension, alimentés par une source de tension continue.
- * les onduleurs de courant, alimentés par une source de courant continu.

Nous envisageons dans ce chapitre l'étude des onduleurs de tension ainsi que leurs différents modes de commande à savoir.

- * Commande à hystérésis.
- * commande MLI (modulation de largeur d'impulsion) [08], [09], [10],

I.3.4.1 : L'onduleur de tension triphasé :

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé, on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs. Chaque demi pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode. La source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur. Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif Ia, Ib, Ic, les interrupteurs S1, S'1 et S2, S'2, S3 et S'3 doivent être complémentaires deux à deux.

I.3.4.2 : Modélisations de l'onduleur :

Chaque groupe transistor-diode assemblé en antiparallèle forme un interrupteur commandable à l'ouverture et à la fermeture. Le séquençage imposé aux interrupteurs statiques réalise une modélisation de largeur des impulsions des tensions appliquées aux enroulements statorique de la machine.

La distribution des ordres sur les différents interrupteurs est faite à partir de l'intersection des sinusoides de référence et d'un signal triangulaire d'amplitude constante et de fréquence correspondant à la fréquence de commutation. [11]

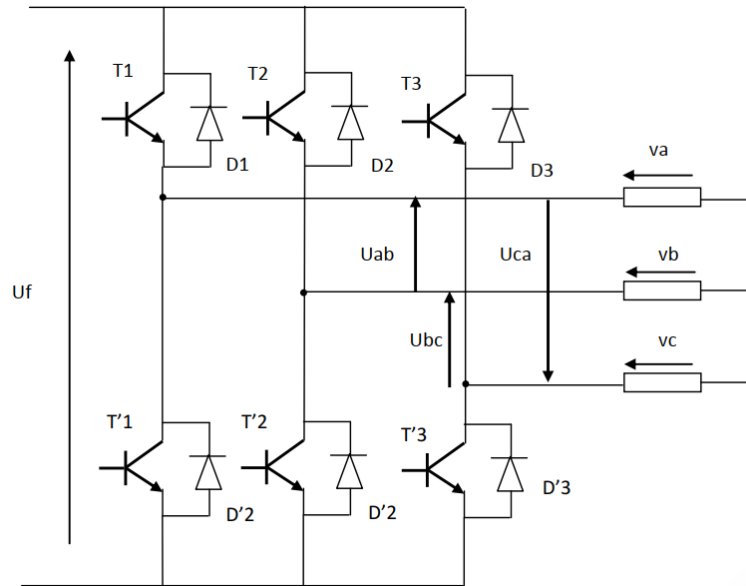


Figure I. 11:l'onduleur de tension

Soit V_a, V_b, V_c , les tensions simples de sortie et U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} , les tensions composées alors :

$$\begin{cases} V_a = \frac{1}{3} * (U_{ab} - U_{ca}) \\ V_b = \frac{1}{3} * (U_{bc} - U_{ab}) \\ V_c = \frac{1}{3} * (U_{ca} - U_{bc}) \end{cases} \quad \text{[I.1]}$$

$$\begin{cases} U_{ab} = V_a - V_b \\ U_{bc} = V_b - V_c \\ U_{ca} = V_c - V_a \end{cases} \quad \text{[I.2]}$$

Avec $V_a + V_b + V_c = 0$, (system triphasé équilibrer), l'onduleur est alimenté par une source de tension continu constant d'amplitude U_f .

A partir de la figure (I.11) donnant la tension aux bornes de chaque interrupteur, on déduit les expressions des tensions composées :

$$\begin{cases} U_{12} = V_{sa} - V_{sb} = V_2 - V_1 \\ U_{23} = V_{sb} - V_{sc} = V_3 - V_2 \\ U_{31} = V_{sc} - V_{sa} = V_1 - V_3 \end{cases} \quad \text{[I.3]}$$

$$\begin{bmatrix} U_{12} \\ U_{23} \\ U_{13} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \\ U_{sc} \end{bmatrix} \quad [I.4]$$

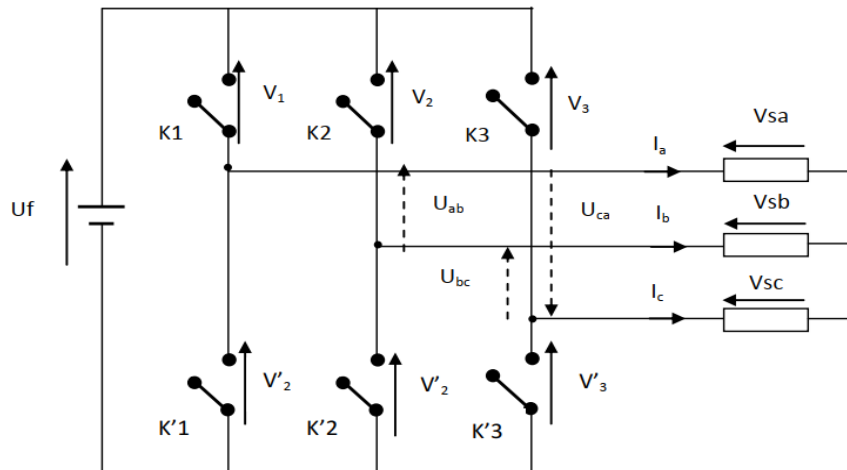


Figure I. 12: onduleur de tension commandé en tension

A chaque interrupteur ki on associe une fonction logique Fj ($j=1, 2,3$) défini comme suit :

- $Fj = 1$ si kj fermé
- $Fj = 0$ si kj ouvert

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_1 = 1 \Rightarrow V_1 = 0 \\ \text{Si } F_1 = 0 \Rightarrow V_1 = Uf \end{array} \right\} \longrightarrow V_1 = (F_1 - 1) Uf \quad [I.5]$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_2 = 1 \Rightarrow V_2 = 0 \\ \text{Si } F_2 = 0 \Rightarrow V_2 = Uf \end{array} \right\} \longrightarrow V_2 = (F_2 - 1) Uf \quad [I.6]$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_3 = 1 \Rightarrow V_3 = 0 \\ \text{Si } F_3 = 0 \Rightarrow V_3 = Uf \end{array} \right\} \longrightarrow V_3 = (F_3 - 1) Uf \quad [I.7]$$

Nous avons :

$$\begin{aligned} U_{ab} &= V_1 - V_2 \Rightarrow U_{ab} = (F_1 - F_2) * Uf \\ U_{bc} &= V_2 - V_3 \Rightarrow U_{bc} = (F_2 - F_3) * Uf \\ U_{ca} &= V_3 - V_1 \Rightarrow U_{ca} = (F_3 - F_1) * Uf \end{aligned} \quad [I.8]$$

Ce qui donne sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \\ U_{ca} \end{bmatrix} = U_f * \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad \text{[I.9]}$$

Avec :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \\ U_{ca} \end{bmatrix} \quad \text{[I.10]}$$

Alors :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * U_f * \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad \text{[I.11]}$$

I.3.4.5 :La commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

Les grandeurs de sortie des commandes analogiques ou numériques représentent les tensions ou courants désirés aux bômes de la machine. La technique de modulation de largeur d'impulsions (M.L.I. en Français et P.W.M. pour Pulse Width Modulation en anglais) permet de reconstituer ces grandeurs à partir d'une source fréquence fixe et tension fixe (en général une tension continue) par l'intermédiaire d'un convertisseur direct. Celui-ci réalise les liaisons électriques entre la source et la charge. Le réglage est effectué par les durées d'ouverture et De fermeture des interrupteurs et par les séquences de fonctionnement.

Dans la majorité des cas, l'onde idéale est sinusoïdale. La M.L.I. permet de se rapprocher du signal désiré. Cependant, cette technique est imparfaite. Le contenu harmonique généré par une onde M.L.I. entraîne des pertes dans le réseau (pertes fer dans le transformateur, pertes Joule dans la ligne et le convertisseur), dans la charge (pertes Joule, fer et par courants de Foucault). Elles génèrent dans les machines tournantes des oscillations de couple, des bruits acoustiques et des résonances électromécaniques. Elle injecte du bruit sur la commande et introduit des non linéarités qui peuvent déstabiliser le système. Il faut donc minimiser ces harmoniques. **[12]**

I.3.4.5.1 : Les différentes techniques de la commande par MLI :

Il y a Plusieurs techniques de modulations ont été adoptées afin d'améliorer la Qualité de la tension à la sortie de l'onduleur, parmi lesquelles on peut citer :

- Modulation sinus-triangle.
- La modulation précalculée.
- Modulation vectorielle.

I.3.4.5.2 : Principe du la MLI sinus- triangulaire :

Le principe de cette technique consiste à comparer un signal triangulaire d'amplitude fixe et de fréquence nettement supérieure appelée porteuse, au trois signaux sinusoïdaux d'amplitude variable et de fréquence f appelée référence L'intersection de ces deux signaux donne les instants de commutation des interrupteurs comme montre la figure (I.13)

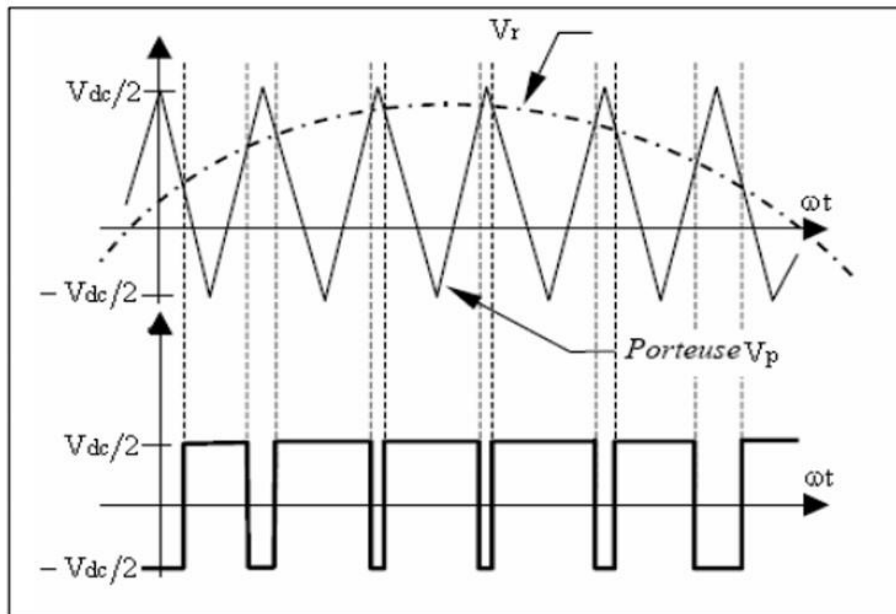


Figure I. 13: Détermination des instants de commutation

Les caractéristiques de la modulation sinusoïdale sont :

- L'indice de modulation m égal au rapport de la fréquence f_p de la porteuse à la fréquence f_r de la référence $m = f_p / f_r$
- Le coefficient de réglage en tension r égale au rapport de l'amplitude A_r de la référence à tension crête V_p de la porteuse : $r = V_r / V_p$. [13]

I.4 : Les défauts de la machine asynchrone :

Il existe 2 types de défauts principaux : Internes (figures I.14) et externes (figures I.15).

Nous pouvons ainsi remarquer que les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques rotorique et statorique, bobinages statoriques, entrefer mécanique, cage rotorique ...). Tandis que, les défauts externes sont provoqués, soit par les tensions d'alimentation et la charge mécanique, soit par l'environnement de l'utilisation de la machine.

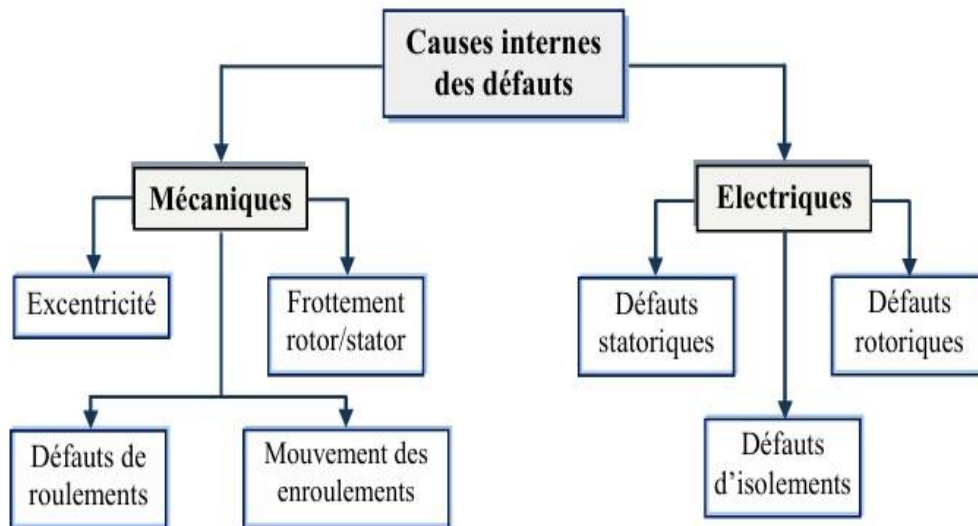


Figure I. 15:les défauts internes [19]

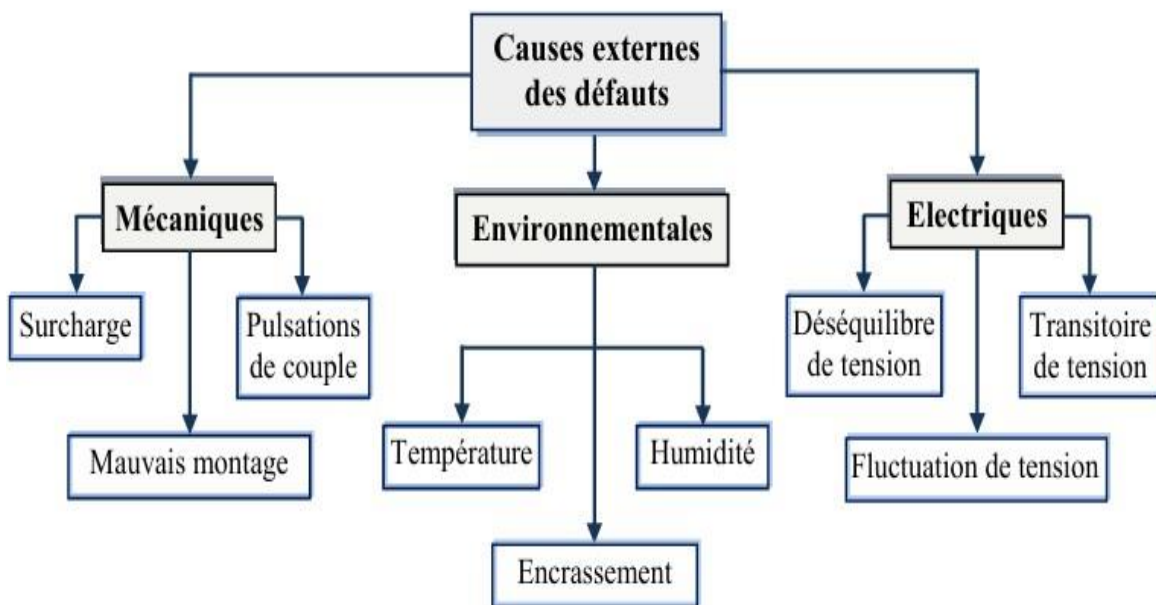


Figure I. 14:les défauts externes [19]

D’après les organigrammes (Fig.I.15), les origines des défauts sont diverses : mécanique, électrique ou encore environnemental. A titre indicatif, les démarrages fréquents provoquent des courants élevés dans les barres rotoriques [14]

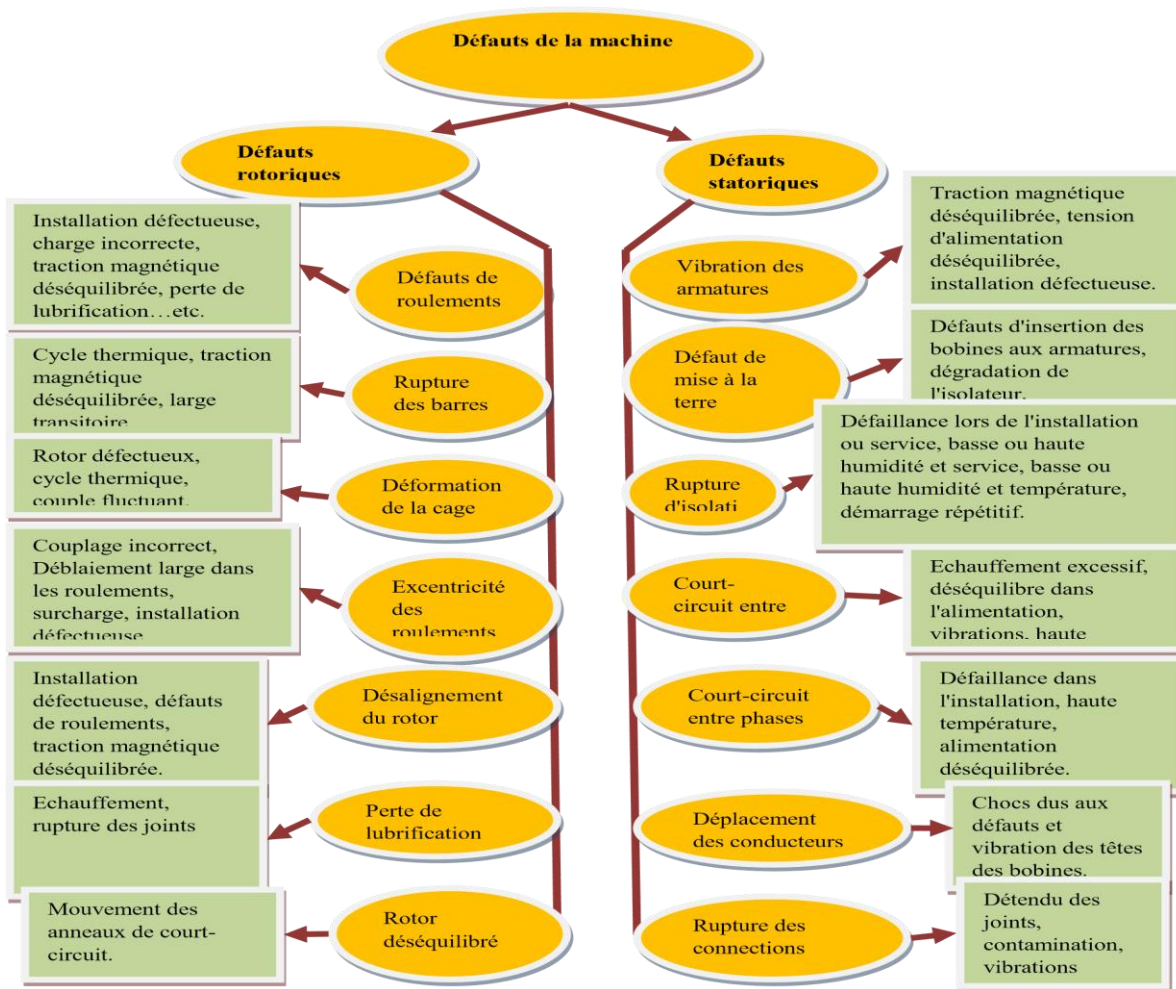


Figure I. 16:Principaux défauts de la machine asynchrone et leurs causes [12&16]

Ces courants dans les barres rotoriques engendrent, par conséquent, des réchauffements et des contraintes mécaniques conduisant à terme à des fissures puis à une cassure de barres. Par effet d’avalanche, la barre cassée accélère la rupture des barres adjacentes pouvant aboutir jusqu’à la destruction totale du rotor. De même, les efforts électrodynamiques que subissent les conducteurs des phases se traduisent par des vibrations mécaniques ayant pour effet de détériorer l’isolation. Sur le plan électrique, les fronts de tensions générés par les convertisseurs statiques accentuent le phénomène de décharges partielles et réduisent, par conséquent, la durée de vie de l’isolant. Quant aux origines environnementales, l’humidité et les produits corrosifs ou abrasifs sont les plus rencontrés. Au niveau de l’entrefer, les défauts se manifestent par une excentricité statique, une excentricité dynamique ou une excentricité mixte.

Le défaut d’excentricité statique est, généralement, dû à un désalignement de l’axe de rotation du rotor par rapport à l’axe du stator. Le défaut d’excentricité dynamique peut être causé aussi bien par une déformation du cylindre rotorique que par une déformation du cylindre statorique. L’excentricité mixte est une combinaison des 2 premiers. Au niveau de la cage, les

défauts se manifestent par la rupture de barres ou d'anneaux de court-circuit. Ces ruptures de barres ou de portions d'anneau peuvent être dues, par exemple, à une surcharge mécanique (démarrages fréquents, etc.) à un échauffement local excessif ou encore à un défaut de fabrication (bulles d'air ou mauvaises soudures). Au niveau des paliers, nous pouvons citer le défaut de décentrage des flasques conduisant, généralement, à une excentricité statique alors qu'une détérioration de roulements à billes conduit, le plus souvent, à une excentricité dynamique. Il est important de signaler que plusieurs études statistiques ont été menées dans le but de quantifier l'impact de chaque type de défaut sur la fiabilité de la machine et leurs pourcentages ont été cités dans plusieurs publications. Les résultats obtenus restent quand même assez différents d'une étude à l'autre. Cependant, toutes les études convergentes pour classer les défauts de paliers comme étant les plus fréquents, suivis par les défauts statoriques et, en dernier, les défauts de cage rotorique.

I.4.1 : Défaillances d'ordre électriques :

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine. Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défaillances qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celles qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.[17]

I.4.1.1 : Défaillances au stator :

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème thermique (surcharge), électrique (diélectrique), mécanique (bobinage,) et environnemental (agression, ...etc.). Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit : [14],[18]

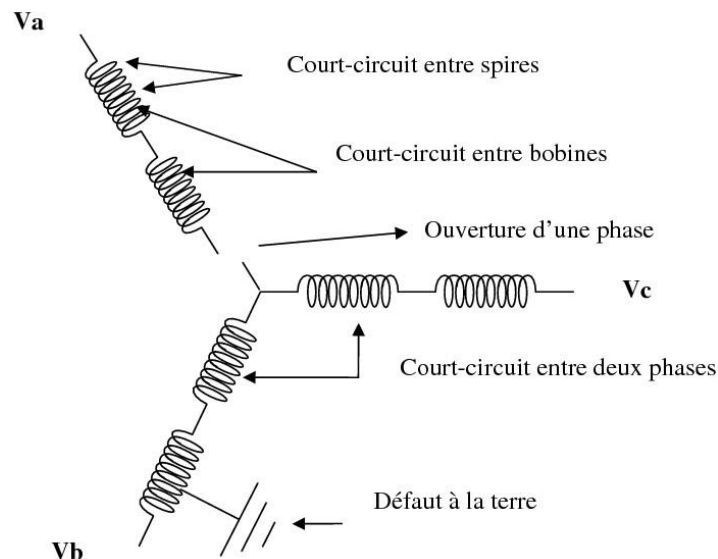


Figure I. 17:différents types de défauts statoriques

I.4.1.1.1 : Défaillance d'isolant dans un enroulement :

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique, etc.) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or, les matériaux d'isolation ont une limite thermique, électrique et mécanique. De ce fait, si

CHAPITRE I : LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MAS

l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, ce dernier se dégrade de manière prématurée ou accélérée, jusqu'à la cassure totale. Les différentes causes pour ce type de défaut sont :

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

I.4.1.1.2 : 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 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.

Au niveau des têtes de bobines



Au niveau des encoches



Figure I. 18 : Défaut de court-circuit entre spires

I.4.1.1.3 : Court-circuit entre phases-bâti :

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 2 phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. Les courants statoriques sont, totalement, déséquilibrés. 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

I.4.1.1.4: Court-circuit phase-bâti:

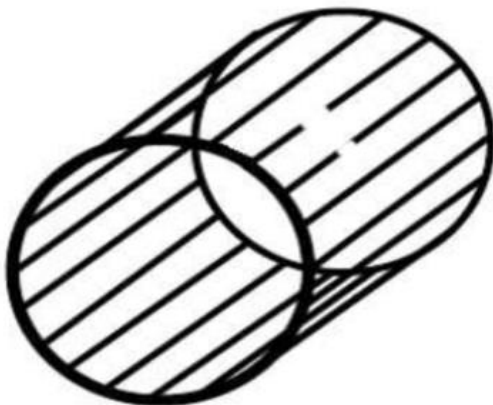
Le bâti a généralement, un potentiel flottant. Mais, pour des raisons de liaisons mécaniques, il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel. A l'exception des effets capacitifs, le bâti prend, 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. 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, ce type de 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

I.4.1.1.5 : Défaillance de circuit magnétique :

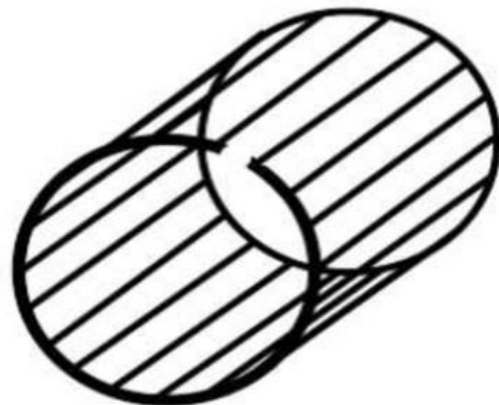
Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant, etc.

I.4.1.2 : Défaillances de rotor :

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie rotorique au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer des problèmes tels que : thermique (surcharge), électromagnétique (excentricité), résiduel (déformation), dynamique (arbre de transmission) et mécanique (roulement). Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit : [16] [17]



Rupture d'une barre rotorique



Rupture d'un anneau rotorique

Figure I. 19: Défaut de rupture de barres et d'anneau de court-circuit

I.4.1.2.1 : Ruptures de barres :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La

détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique par l'augmentation de l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation. Ceci engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît, rapidement, avec le nombre de barres cassées.

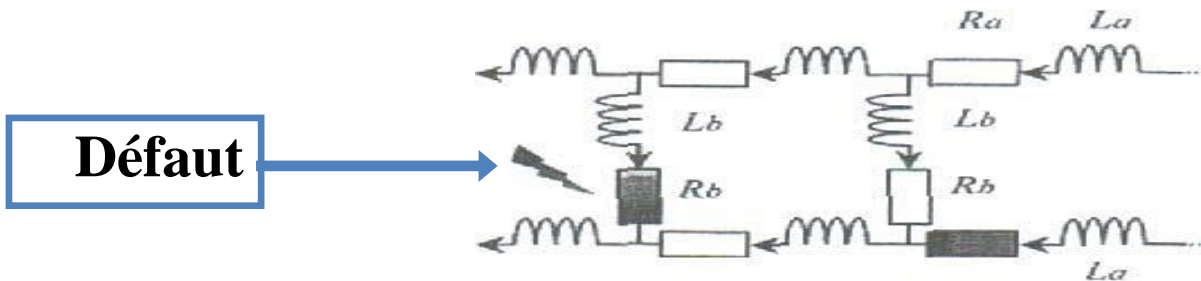


figure I. 20:Ruptures de barres

I.4.1.2.2 : Ruptures d'anneaux :

La rupture d'une 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. Comme, il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. 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, etc...) 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. De ce fait, elle engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaires à celui provoqué par la cassure de barres.

I.4.2 : Défaillances mécaniques :

Les défaillances d'ordre mécaniques sont, en général, les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone. Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques ou encore de l'arbre moteur. Nous énumérons, dans la suite du document, certains de ces défauts sans pour autant en donner les détails. Nous pouvons trouver dans la littérature des ouvrages très complets qui traitent de ces divers problèmes. [17] [18] [19]

I.4.2.1 : Défauts des roulements :

Les roulements à billes jouent un rôle très important dans le fonctionnement de tout type de machines électriques. Les défauts de roulements peuvent être causés par un mauvais choix de matériau à l'étape de fabrication. Les problèmes de rotation au sein de la culasse du roulement, causés par un roulement abîmé, écaillé ou fissuré, peuvent créer des perturbations au sein de la machine. Nous savons que des courants électriques circulent au niveau des roulements d'une machine asynchrone ce qui, pour des vitesses importantes, peut provoquer la détérioration de

ces derniers. La graisse, qui permet la lubrification et la bonne rotation des roulements peut, dans certaines applications, se rigidifier et causer une résistance à la rotation.

L'analyse vibratoire de la machine ou l'analyse harmonique des courants statoriques permet de détecter ce type de défaillances.

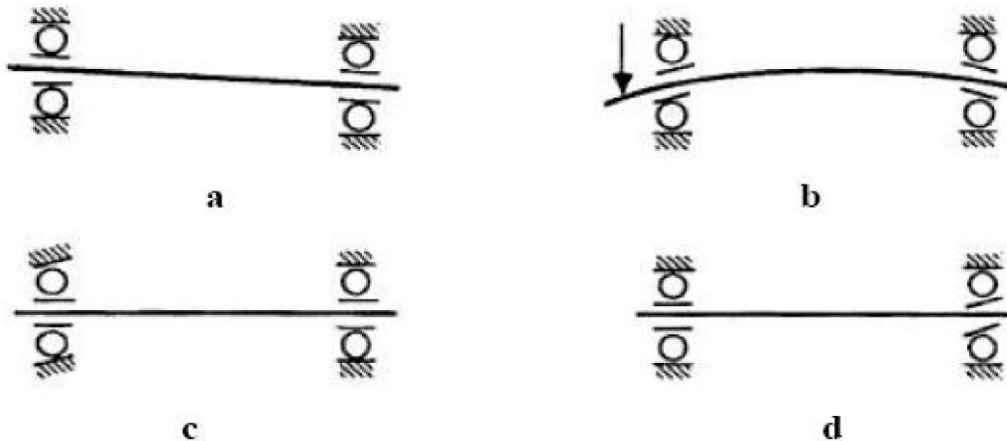


Figure I. 21: Quatre types de défauts dans des roulements à billes

I.4.2.2 : Défaillances de flasque :

Les défauts créés par les flasques de la machine asynchrone sont le plus généralement causés à l'étape de fabrication. En effet, un mauvais positionnement des flasques provoque un désalignement des roulements à billes, ce qui induit une excentricité au niveau de l'arbre de la machine. Il est possible de détecter ce type de défaillance par une analyse vibratoire ou une analyse harmonique des courants absorbés par la machine.

I.4.2.3 : Défaillances de l'arbre :

L'arbre de la machine peut laisser paraître une fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction. A court ou long terme, cette fissure peut mener à une fracture nette de l'arbre provoquant ainsi un arrêt irrémédiable de la machine asynchrone. Les milieux corrosifs peuvent aussi affaiblir la robustesse de l'arbre de la machine.

Par exemple, l'humidité peut provoquer des micros fissures et conduire à une destruction complète de la machine. Une excentricité statique, dynamique ou mixte peut induire des efforts considérables sur l'arbre moteur, amenant ainsi une fatigue supplémentaire. Une analyse vibratoire, une analyse par ultrason, une analyse fréquentielle des courants absorbés ou simplement une analyse visuelle de l'arbre de la machine permet de détecter ce type de défaillance.

I.4.2.4 : Défaillances de d'excentricités :

Ceux-ci provoquent la variation de l'entrefer dans le moteur, la 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. Quand l'excentricité devient grande, les forces radiales résultantes créées par le stator avec la bande du frottement du rotor provoquent des dommages du stator et du rotor.

La géométrie du rotor peut présenter des dissymétries d'ordre naturel. Celles-ci relèvent de trois catégories d'excentricité de l'entrefer (Figure I.22 et I.23) à savoir :

CHAPITRE I : LA CONSTITUTION ET LES DEFAUTS DE LA MAS

- L'excentricité statique : lorsque l'axe du stator coïncide avec l'axe de rotation et non avec l'axe du rotor.
- L'excentricité dynamique : lorsque l'axe de rotation du rotor ne coïncide pas avec l'axe de symétrie du stator.
- L'excentricité mixte : lorsque l'axe de rotation du rotor ne coïncide pas avec les axes de symétrie du rotor et du stator.

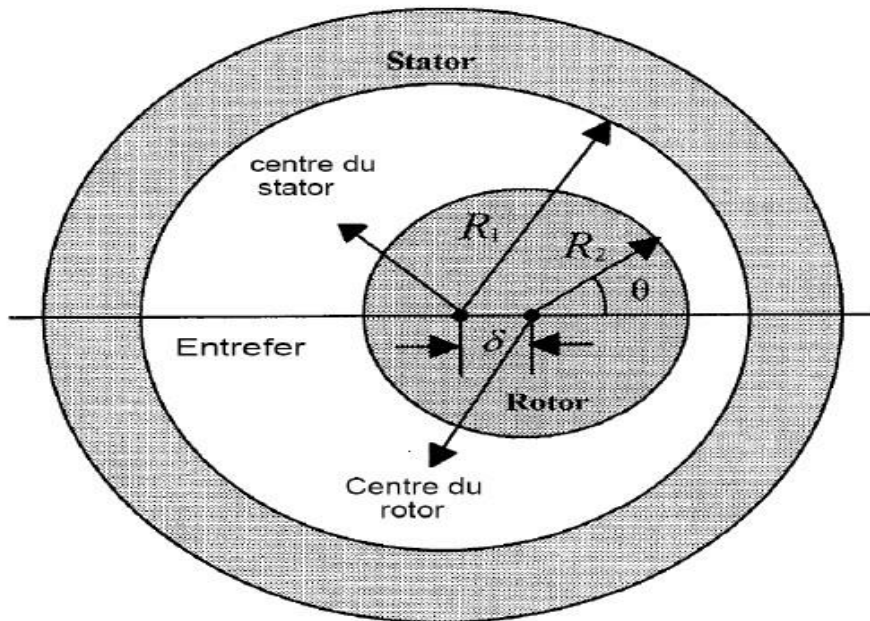


Figure I. 22: Les différents types de la dissymétrie de l'entrefer

Que :

R_1 : Rayon interne statorique, R_2 : Rayon externe rotorique, q : distance entre le centre de rotation et le centre du stator.

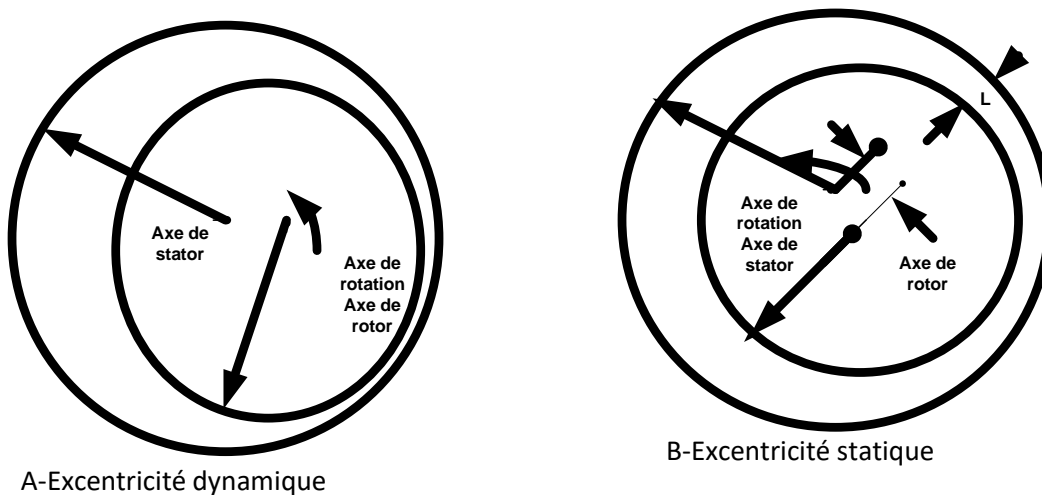


Figure I. 23: Les types d'excentricité

I.5 : CONCLUSION :

Ce chapitre aborde la constitution des machines asynchrones. Nous y soulignons que les éléments constitutifs d'une machine asynchrone triphasée peuvent présenter des défaillances, entraînant souvent un arrêt inopiné de la machine. Le diagnostic des défauts est devenu essentiel dans le milieu industriel pour remédier à ce problème. Nous examinons en détail les défauts couramment rencontrés au niveau des bobinages statoriques. De même, nous recensons les principaux défauts pouvant survenir au niveau du rotor, qu'ils soient liés à la fabrication ou à l'utilisation.

Le deuxième chapitre traite de la modélisation de la machine asynchrone sans défauts et avec défauts de court-circuit des spires statorique.

CHAPITRE II :

MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

II.1: INTRODUCTION :

Depuis quelques années les programme de simulation faisaient toujours intervenir la transformation de Park pour pouvoir effectuer une simulation de la machine asynchrone. Aujourd'hui grâce à l'évolution des technologies informatique, nous pouvons passer de ces informations, ce qui permet de calculer tous les courants rotoriques, et les courants statorique.

Dans ce chapitre nous détaillons le modèle de la machine asynchrone à cage d'écureuil en l'absence de défauts, puis nous introduisant la défaillance de court-circuit des spires statorique.

II.2: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE :

Le principe de fonctionnement des moteurs asynchrones est basé sur la production d'un champ tournant.

Le champ tournant est produit par trois bobines fixes, Géométriquement décalés de 120° et parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique. Les trois champs alternatifs qu'il produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante. [20]

II.2.1 : Cas du moteur a cage :

Les barres métalliques constituant la cage d'écureuil sont coupées par le champ tournant produit par le stator, ce qui donne naissance à des courants induits intenses.

Ceux-ci réagissent sur le champ tournant en donnant un couple moteur qui provoque la rotation de la cage.

II.2.2 : Cas du moteur a rotor bobiné :

Les enroulements du rotor sont couplés par l'intermédiaire de bagues et des balais sur une batterie de trois résistances réglables, montées en étoile.

Coupés par le champ tournant, les conducteurs formant les enroulements rotoriques produisent des courants induits qui parcourant la batterie de résistances.

Ces courants étant presque en phase avec les forces électromotrices qui les produisent.

Le couple de démarrage est très énergique et le rotor est entraîné dans le sens du champ tournant.

II.3: LA MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE :

La machine asynchrone est caractérisée par sa robustesse et sa simplicité de construction, mais elle présente un système d'équations très complexe à étudier. Il est donc nécessaire de faire développer un modèle simple qui représente fidèlement le comportement dynamique de la machine non seulement en régime permanent mais aussi en régime transitoire.

Ce modèle sera obtenu avec les hypothèses suivantes :

- la machine présente une parfaite symétrie triphasée de construction ;
- l'entrefer est de largeur constante, l'effet des encoches est négligé ;

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

- la répartition spatiale des tensions magnétique d'entrefer est sinusoïdal ;
- le circuit magnétique est linéaire ; la saturation, l'hystérésis et les pertes ferromagnétiques ne sont pas pris en compte ;
- les résistances sont constantes, la variation avec la température et l'effet de peau sont ignorés. [21] [22]

II.3.1: Modèle mathématique de la machine asynchrone :

La machine est représentée par le schéma de la figure II-1, se compose :

- Un circuit statorique fixe, et rotorique mobile comportant trois enroulements identiques décalés dans l'espace faisant eux de $2\pi/3$.
- Les trois enroulements rotoriques sont coupés en étoile et court-circuités.

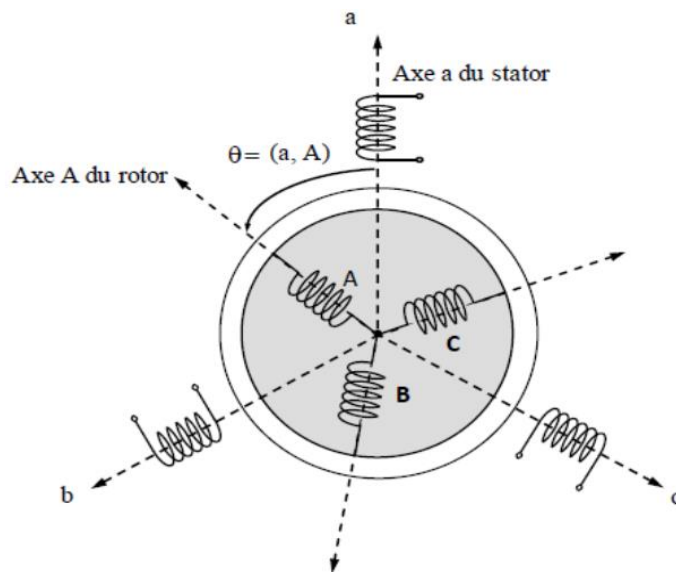


Figure II. 1: modèle de la machine asynchrone

θ : angle électrique de rotation du rotor mesurée entre l'axe magnétique de la phase statorique S_a et la phase rotorique R_a .

II.3.2: Équations de la machine asynchrone triphasée :

II.3.2.1: Équations électriques :

Chaque phase statorique présente une résistance R_s . Les tensions aux bornes des phases a,b,c sont respectivement appelées V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} ; les courants qui les parcourent i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} ; et les flux totaux a travers ces bobines $\phi_{sa}, \phi_{sb}, \phi_{sc}$; les lois des mailles s'écrivent ainsi :

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$\begin{cases} V_{sa} = R_s * i_{sa} + \frac{d}{dt} \Phi_{sa} \\ V_{sb} = R_s * i_{sb} + \frac{d}{dt} \Phi_{sb} \\ V_{sc} = R_s * i_{sc} + \frac{d}{dt} \Phi_{sc} \end{cases} \quad \text{[II.1]}$$

Ces relations peuvent s'écrire sous forme matricielle :

$$[V_{sabc}] = [R_s] * [I_{sabc}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{sabc}] \quad \text{[II.2]}$$

En posant :

$$V_s = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} ; \quad I_s = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} ; \quad \Phi_s = \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} ; \quad R_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}$$

Chaque phase rotorique présente une résistance R_r . Les tensions aux bornes des phases A, B, C sont respectivement appelées V_{rA} , V_{rB} , V_{rC} ; les courants qui les parcourent i_{rA} , i_{rB} , i_{rC} ; et les flux totaux à travers ces bobines Φ_{rA} , Φ_{rB} , Φ_{rC} ; les lois des mailles s'écrivent ainsi :

$$\begin{cases} V_{rA} = R_r * i_{rA} + \frac{d}{dt} \Phi_{rA} \\ V_{rB} = R_r * i_{rB} + \frac{d}{dt} \Phi_{rB} \\ V_{rC} = R_r * i_{rC} + \frac{d}{dt} \Phi_{rC} \end{cases} \quad \text{[II.3]}$$

Ces relations peuvent s'écrire sous forme matricielle :

$$[V_{rABC}] = [R_{rABC}] * [I_{rABC}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{rABC}] \quad \text{[II.4]}$$

En posant :

$$V_r = \begin{bmatrix} V_{rA} \\ V_{rB} \\ V_{rC} \end{bmatrix} ; \quad I_r = \begin{bmatrix} i_{rA} \\ i_{rB} \\ i_{rC} \end{bmatrix} ; \quad \Phi_r = \begin{bmatrix} \Phi_{rA} \\ \Phi_{rB} \\ \Phi_{rC} \end{bmatrix} ; \quad R_r = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

V_r est la matrice colonne des tensions, I_r la matrice colonne des courants, Φ_r la matrice colonne des flux totaux pour le rotor.

Dans le fonctionnement normal du moteur, l'enroulement du rotor est en court-circuité (c'est le seul cas possible pour un moteur à cage), est l'équation électrique du moteur devient :

$$0 = R_r * I_r + \frac{d}{dt} \Phi_r . \quad \text{[II.5]}$$

Avec:

$[V_{sabc}]$: tension instantanée des phases a, b, c statorique ;

$[V_{rabc}]$: tension instantanée des phases a, b, c rotoriques ;

$[i_{sabc}]$: courants instantanées des phases a, b, c statorique ;

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$[i_{rabc}]$: courants instantanées des phases a, b, c rotoriques,

$[\Phi_{sabc}]$ flux totaux à travers les phases a, b, c statorique ;

$[\Phi_{rabc}]$ flux totaux à travers les phases a, b, c rotorique ;

R_s, R_r : respectivement les résistances d'une phase statorique et d'une phase rotorique.

II.3.2.2 : Équations magnétiques :

Pour le stator :

$$\begin{cases} \Phi_{sa} = [L_s] * I_{sa} + [M_{sr}] * I_{rA} \\ \Phi_{sb} = [L_s] * I_{sb} + [M_{sr}] * I_{rB} \\ \Phi_{sc} = [L_s] * I_{sc} + [M_{sr}] * I_{rC} \end{cases} \quad \text{[II.6]}$$

Pour le rotor :

$$\begin{cases} \Phi_{rA} = [L_r] * I_{rA} + [M_{sr}] * I_{rA} \\ \Phi_{rB} = [L_r] * I_{rB} + [M_{sr}] * I_{rB} \\ \Phi_{rC} = [L_r] * I_{rC} + [M_{sr}] * I_{rC} \end{cases} \quad \text{[II.7]}$$

Les relations entre flux totaux et les courants peuvent s'écrire sous forme matricielle :

$$[\Phi_s] = [L_s] * [I_s] + [M_{sr}] * [I_r] \quad \text{[II.8]}$$

$$[\Phi_r] = [L_r] * [I_r] + [M_{rs}] * [I_s] \quad \text{[II.9]}$$

En posant :

$$L_{ss} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} ; \quad L_{rr} = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

Ou :

$$[M_{sr}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \text{[II.10]}$$

Notons que :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T$$

L_{ss}, L_{rr} : sont respectivement les matrices des inductances statorique et rotorique.

L_s, L_r : sont respectivement les inductances propres d'une phase statorique et d'une phase rotorique.

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

M_s, M_r : sont respectivement les inductances mutuelles entre deux phases statoriques et entre deux phases rotoriques.

M_{sr} : est la valeur maximale de l'inductances mutuelles entre la phase statorique et la phase rotorique.

On note que le modèle obtenu de la machine étudiée présente un inconvénient majeur :

- Un membre important de variable couplées entre elles ;
- Des paramètres des équations différentielles et les matrices $[M_{sr}]$, $[M_{rs}]$ dépendent de l'angle de rotation θ entre stator et rotor.

Pour pallier à ce problème, on cherche une transformation linéaire des variables triphasées de la machine qui permet la réduction de la complexité du système à étudier, on peut citer la transformation de Park qui sera utilisée dans notre travail.

II.3.3 Transformation de Park :

La transformation de Park permet de transformer les trois phases statorique et rotoriques du système triphasé (a, b, c) par un système biphasé (d, q, h) constitué des grandeurs équivalentes d'axes d et q et une composante homopolaire (h) qui n'est pas prise en compte dans le modèle de la machine (figure II-2)

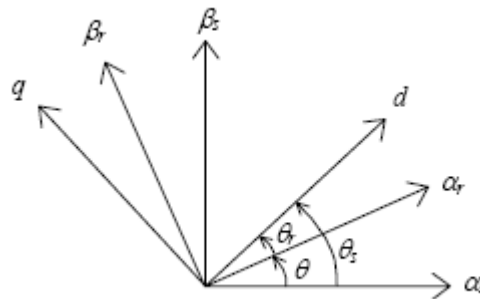


Figure II. 2: repère de Park

Les angles sont liés à l'angle électrique définissant la position du rotor par :

θ_s : Angle électrique entre (od) et le stator

$\theta_r = \theta_s - \theta$: (angle de glissement), angle électrique entre (od) et le rotor est :

$$\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt} \quad [\text{II.11}]$$

$$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} \quad [\text{II.12}]$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(\theta_s - \theta_r)}{dt} \quad [\text{II.13}]$$

$$\text{alors : } \omega = \omega_s - \omega_r. \quad [\text{II.14}]$$

La matrice de transformation directe de Park permet d'obtenir les composantes du système réel à partir des composantes du systèmes fictif.

$$[X_{dq}] = P(\theta) * [X_{abc}] \quad \text{[II.15]}$$

On a:

$$P(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2*\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2*\pi}{3}) \\ \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \quad \text{[II.16]}$$

La matrice de transformation inverse de Park permet d'établir les valeurs des composantes fictives du système réel.

Le passage de système triphasé abc vers le système diphasé dq:

$$[X_{abc}] = P(\theta)^{-1} * [X_{dq}] \quad \text{[II.17]}$$

On a:

$$P(\theta)^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \sqrt{\frac{1}{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & \sqrt{\frac{1}{2}} \\ \cos(\theta + \frac{2*\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2*\pi}{3}) & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \quad \text{[II.18]}$$

II.3.3.1 Équations électriques :

Exprimons les matrices colonnes des grandeurs triphasées (V_s pour les tensions, I_s pour les courants et Φ_s pour les flux totaux) en fonction des matrices colonnes des composantes de Park (V_{sP} pour les tensions, I_{sP} pour les courants et Φ_{sP} pour les flux totaux)

$$\begin{cases} V_s = P_s^{-1} * V_{sP} \\ I_s = P_s^{-1} * I_{sP} \\ \Phi_s = P_s^{-1} * \Phi_{sP} \end{cases} \quad \text{[II.19]}$$

Remplaçant ces grandeur dans l'équation des tensions :

$$P_s^{-1} V_{sP} = R_s * P_s^{-1} I_{sP} + \frac{d}{dt} (P_s^{-1} \Phi_{sP}) \quad \text{[II.20]}$$

Utilisons la formule de la dérivée d'un produit :

$$P_s^{-1} * V_{sP} = R_s * P_s^{-1} * I_{sP} + \Phi_{sP} * \frac{d}{dt} (P_s^{-1}) + P_s^{-1} * \frac{d}{dt} (\Phi_{sP}) \quad \text{[II.21]}$$

Multiplions a gauche par la matrice de Park :

$$V_{sP} = R_s * I_{sP} + \Phi_{sP} * P_s \frac{d}{dt} (P_s^{-1}) + \frac{d}{dt} (\Phi_{sP}) \quad \text{[II.22]}$$

Effectuons le produit matriciel :

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$P_s \frac{d}{dt} (P_s^{-1}) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{d\theta_s}{dt} \quad [\text{II.23}]$$

Nous pouvons en déduire les relations entre les composantes de Park :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s * I_{sd} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sd}) - \Phi_{sq} \frac{d\theta_s}{dt} \\ v_{sq} = R_s * I_{sq} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sq}) + \Phi_{sd} \frac{d\theta_s}{dt} \end{cases} \quad [\text{II.24}]$$

Introduisons la vitesse angulaire électrique du repère dq, définie par :

$$\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}$$

Les expressions des tensions deviennent ainsi :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s * I_{sd} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sd}) - \Phi_{sq} * \omega_s \\ v_{sq} = R_s * I_{sq} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sq}) + \Phi_{sd} * \omega_s \end{cases} \quad [\text{II.25}]$$

La même démarche appliquée au rotor conduit à :

$$\begin{cases} 0 = R_r * i_{rd} - \Phi_{rq} * \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d}{dt}(\Phi_{rd}) \\ 0 = R_r * i_{rq} + \Phi_{rd} * \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d}{dt}(\Phi_{rq}) \end{cases} \quad [\text{II.26}]$$

Avec : $\omega = \omega_s - \omega_r$, Alors : $\omega_r = \omega_s - \omega$.

Donc les expressions des tensions rotoriques deviennent ainsi :

$$\begin{cases} 0 = R_r * i_{rd} - \Phi_{rq} * (\omega_s - \omega) + \frac{d}{dt}(\Phi_{rd}) \\ 0 = R_r * i_{rq} + \Phi_{rd} * (\omega_s - \omega) + \frac{d}{dt}(\Phi_{rq}) \end{cases} \quad [\text{II.27}]$$

Alors le modèle électrique de la MAS est décrit par le système d'équation :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s * I_{sd} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sd}) - \Phi_{sq} * \omega_s \\ v_{sq} = R_s * I_{sq} + \frac{d}{dt}(\Phi_{sq}) + \Phi_{sd} * \omega_s \\ 0 = R_r * i_{rd} - \Phi_{rq} * (\omega_s - \omega) + \frac{d}{dt}(\Phi_{rd}) \\ 0 = R_r * i_{rq} + \Phi_{rd} * (\omega_s - \omega) + \frac{d}{dt}(\Phi_{rq}) \end{cases} \quad [\text{II.28}]$$

II.3.3.2 Équations magnétiques :

Partons de la relation : $\Phi_s = L_s * I_s + M_{sr} * I_r$

Les expressions des composantes de Park des flux totaux du stator sont :

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$\begin{cases} \Phi_{sd} = L_s * i_{sd} + M * i_{rd} \\ \Phi_{sq} = L_s * i_{sq} + M * i_{rq} \end{cases} \quad [\text{II.29}]$$

Les expressions des composants de Park des flux totaux du rotor :

$$\begin{cases} \Phi_{rd} = L_r * i_{rd} + M * i_{rd} \\ \Phi_{rq} = L_r * i_{rq} + M * i_{rq} \end{cases} \quad [\text{II.30}]$$

L_s : c'est l'inductance cyclique du stator.

L_r : c'est l'inductance cyclique du rotor.

L_{rb} : sont inductance homopolaire.

M : est l'inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.

Alors le modèle magnétique de la MAS est décrit par le système d'équation :

$$\begin{cases} \Phi_{sd} = L_s * i_{sd} + M * i_{rd} \\ \Phi_{sq} = L_s * i_{sq} + M * i_{rq} \\ \Phi_{rd} = L_r * i_{rd} + M * i_{rd} \\ \Phi_{rq} = L_r * i_{rq} + M * i_{rq} \end{cases} \quad [\text{II.31}]$$

II.3.3.3 Équation du couple électromagnétique :

$$C_e = \frac{3}{2} * p \frac{M}{L_r} (\Phi_{rd} * I_{sq} - \Phi_{rq} * I_{sd}) \quad [\text{II.32}]$$

II.3.3.4 Équation dynamique :

$$C_e - C_r = J \frac{d\omega_r}{dt} + f \omega_r \quad [\text{II.33}]$$

J : Moment d'inertie des pièces tournantes.

ω_r : Vitesse mécanique du rotor en tr /mn

II.3.4 MODELE DE LA MACHINE EN REPRESENTATION D'ETAT :

La représentation d'état de la machine asynchrone dépend du repère choisi et du choix des variables d'état. On écrit les équations dans le repère (d, q) car c'est la solution la plus générale. Le choix des variables d'état dépend des objectifs soit pour la commande soit pour l'observation. Pour le modèle complet, on considère la vitesse mécanique ω_r est une variable d'état. Nous avons choisi comme variables d'état, les deux courants statoriques, les deux flux rotoriques et la vitesse mécanique. Notre choix est donc le vecteur d'état suivant : [16] [23]

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$X = [i_{sd} \ i_{sq} \ \phi_{rd} \ \phi_{rq} \ \omega_r]^T$$

Le choix des courants statoriques i_{sq} , i_{sd} justifié par le fait qu'ils sont mesurables, tandis que celui du flux rotorique se justifié par le fait que l'on veut contrôler la norme de flux rotorique dans le cadre de la commande vectorielle qui sera traité par la suite Pour la commande vectorielle nous utilisons le modèle de la MAS dans le repère (d, q). Le modèle de la machine utilisée pour la commande est donné sous forme d'un système d'équations d'état non linéaire.

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{sd} \\ \frac{d}{dt} i_{sq} \\ \frac{d}{dt} \phi_{rd} \\ \frac{d}{dt} \phi_{rq} \\ \frac{d}{dt} \omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda * i_{sd} + \omega_s * i_{sq} + \frac{K}{T_r} * \phi_{rd} + p * \omega_r * k * \phi_{rq} \\ -\omega_s * i_{sd} - \lambda * i_{sq} - p * \omega_r * k * \phi_{rd} - \frac{K}{T_r} * \phi_{rq} \\ \frac{L_m}{T_r} * i_{sd} - \frac{1}{T_r} * \phi_{rd} + (\omega_s - p * \omega_r) * \phi_{rq} \\ \frac{L_m}{T_r} * i_{sq} - (\omega_s - p * \omega_r) * \phi_{rd} - \frac{1}{T_r} * \phi_{rq} \\ \frac{3}{2} * p * \frac{L_m}{j * L_r} (\phi_{rd} * i_{sq} - \phi_{rq} * i_{sd}) - \frac{c_r}{j} - \frac{f_r}{j} * \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma * L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma * L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} \quad \text{[II.34]}$$

Avec :

$$\begin{cases} T_r = \frac{L_r}{R_r}; \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}. \\ K = \frac{L_m}{\sigma * L_s * L_r}; \lambda = \frac{1}{T_s * \sigma} + \frac{1}{T_r} \left(\frac{1-\sigma}{\sigma} \right); T_s = \frac{L_s}{R_s} \end{cases} \quad \text{[II.35]}$$

Avec :

σ : coefficient de dispersion de Blondel .

T_r : Constante de temps rotorique,

T_s : Constante de temps statorique.

II.4 : MODELE DE LA MAS AVEC D'ÉFAUTS STATORIQUES DE TYPE COURT-CIRCUIT :

Le modèle dynamique de la machine asynchrone est établi en tenant compte des hypothèses de base suivantes :

- La machine est symétrique à entrefer constant.
- La répartition dans l'entrefer de la force magnétomotrice et du flux est sinusoïdale.
- Le circuit magnétique n'est pas saturé et a une perméabilité constante.
- Les pertes fer par hystérésis et courants de Foucault, l'effet de peau et les effets de dentures sont négligés.
- L'effet des encoches est négligé. [16], [23]
- La réduction de spires qui intervient dans une phase à la suite d'un court-circuit est négligeable.

Les équations électriques des trois phases statoriques et rotoriques servent de point de départ à l'élaboration du modèle dynamique de la machine asynchrone à cage. Une machine

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

asynchrone triphasée à cage d'écureuil est constituée au stator de trois bobines alimentées par une source triphasée et au rotor, de trois bobines effectives équivalentes en court-circuit. On définit les vecteurs des tensions et courants statoriques par V_s et I_s ainsi que le vecteur des courants rotoriques par I_r sur les trois bobinages triphasés au stator et au rotor :

$$V_s = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} ; \quad I_s = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} ; \quad I_r = \begin{bmatrix} i_{rA} \\ i_{rB} \\ i_{rC} \end{bmatrix}$$

Lorsqu'un court-circuit de spires apparaît, l'application du théorème d'Ampère montre qu'il se crée en plus du champ tournant, une excitation magnétique stationnaire notée de pulsations due au nouveau bobinage court-circuité parcouru par un courant de court-circuit (Figure II.3)

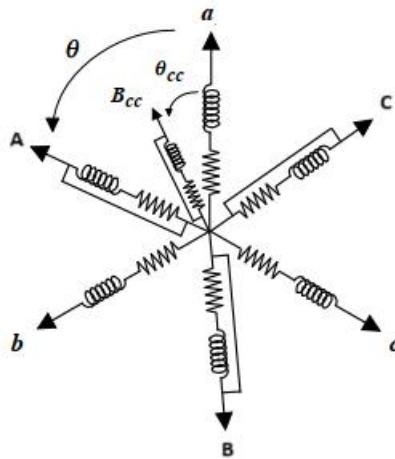


Figure II. 3 : Enroulements triphasés avec court-circuit

En faisant l'hypothèse de la linéarité, cette situation est donc équivalente à un fonctionnement « commun » produisant un champ tournant, et d'un fonctionnement « différentiel » à l'origine d'un champ supplémentaire orienté selon l'axe de la bobine en défaut. Les équations de tensions et de flux de la machine asynchrone en défaut de court-circuit s'écrivent alors :

$$\begin{cases} V_s = [R_s] * [I_s] + \frac{d}{dt} [\Phi_s] \\ 0 = [R_r] * [I_r] + \frac{d}{dt} [\Phi_r] \\ 0 = [R_{cc}] * [I_{cc}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{cc}] \end{cases} \quad \text{[II.36]}$$

$$\begin{cases} \Phi_s = [L_s] * I_s + [M_{sr}] * I_r + [M_{scc}] * I_{cc} \\ \Phi_r = [M_{rs}] * I_s + [L_r] * I_r + [M_{rcc}] * I_{cc} \\ \Phi_{cc} = [M_{ccs}] * I_s + [M_{ccr}] * I_r + [L_{cc}] * I_{cc} \end{cases} \quad \text{[II.37]}$$

Avec :

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_{sa} & 0 & 0 \\ 0 & R_{sb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{sc} \end{bmatrix} \quad \text{[II.38]}$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_{ra} & 0 & 0 \\ 0 & R_{rb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{rc} \end{bmatrix} \quad \text{[II.39]}$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{psa} + L_{fsa} & -\frac{L_{sab}}{2} & -\frac{L_{sac}}{2} \\ -\frac{L_{sab}}{2} & L_{psb} + L_{fsb} & -\frac{L_{sbc}}{2} \\ -\frac{L_{sac}}{2} & -\frac{L_{sbc}}{2} & L_{psc} + L_{fsc} \end{bmatrix} \quad \text{[II.40]}$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{pra} + L_{fra} & -\frac{L_{rab}}{2} & -\frac{L_{rac}}{2} \\ -\frac{L_{rab}}{2} & L_{prb} + L_{frb} & -\frac{L_{rbc}}{2} \\ -\frac{L_{rac}}{2} & -\frac{L_{rbc}}{2} & L_{prc} + L_{frc} \end{bmatrix} \quad \text{[II.41]}$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} M_{Sara} \cos \theta & M_{Sarb} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & M_{Sarc} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ M_{Sbra} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & M_{Sbrb} \cos \theta & M_{Sbrc} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ M_{Scra} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & M_{Scrb} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & M_{Scrc} \cos \theta \end{bmatrix} \quad \text{[II.42]}$$

Avec :

R_{sx} R_{rx}: résistance propre d'une phase statorique-rotorique

L_{psx} et L_{fsx} : inductance principale et inductance de fuite statorique

L_{psx} + L_{fsx} : inductance propre d'une phase statorique

L_{prx} et L_{frx} : inductance principale et inductance de fuite rotorique

L_{prx} + L_{frx} : inductance propre d'une phase rotorique

L_{sxy} L_{rxxy} : mutuelle inductance entre deux phases statoriques-rotoriques

M_{sxy} : mutuelle inductance entre une phase statorique x et une phase rotorique y

M_{sec}, M_{rcc} : mutuelle inductance entre une phase statorique-rotorique et la bobine en court-circuit

θ : angle électrique de la position du rotor

p : nombre de paires de pôles.

Les résistances étant directement proportionnelles au nombre de spires, la résistance R_{cc} de la bobine B_{cc} s'écrit simplement en fonction de la résistance R_s des trois phases statoriques sans défaut

$$R_{cc} = \eta_{cc} * R_s \quad \text{[II.43]}$$

Avec :

CHAPITRE II : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

$$\eta_{cc} = \frac{\text{Nombre de spires en court - circuit}}{\text{Nombre de spires sur une phase saine}} .$$

Les différentes inductances et mutuelles de la phase en court-circuit entre spires (de la bobine B_{cc}) s'exprime par :

$$L_{cc} = n_{cc}^2(L_p + L_f) \quad [\text{II.44}]$$

$$\begin{aligned} [M_{ccs}] &= n_{cc}L_p \left[\cos(\theta_{cc}) \cos\left(\theta_{cc} - \frac{2\pi}{3}\right) \cos\left(\theta_{cc} + \frac{2\pi}{3}\right) \right] = \\ &\sqrt{\frac{3}{2}} n_{cc}L_p [\cos(\theta_{cc}) \sin(\theta_{cc})] T_{23} \end{aligned} \quad [\text{II.45}]$$

$$[M_{scc}] = [M_{ccs}^r] = \sqrt{\frac{3}{2}} n_{cc}L_p T_{32} [\cos(\theta_{cc}) \sin(\theta_{cc})]^T \quad [\text{II.46}]$$

$$\begin{aligned} [M_{cc}] &= n_{cc}3L_p \left[\cos(\theta_{cc} - \theta) \cos\left(\theta_{cc} - \theta - \frac{2\pi}{3}\right) \cos\left(\theta_{cc} - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right] = \\ &\sqrt{\frac{3}{2}} n_{cc}L_p [\cos(\theta_{cc}) \sin(\theta_{cc})] P(\theta) T_{23} \end{aligned} \quad [\text{II.47}]$$

$$[M_{rcc}] = [M_{ccr}^r] = \sqrt{\frac{3}{2}} n_{cc}L_p T_{32} P(-\theta) [\cos(\theta_{cc}) \sin(\theta_{cc})]^T \quad [\text{II.48}]$$

II.4.1 Modélisation dans le repère diphasé :

La transformation triphasé-biphasée est effectuée uniquement sur les grandeurs du régime sain (axes triphasés équilibrés de la machine). Le principe du modèle de défaut établi étant de découpler le mode commun (modèle triphasé équilibre) du mode différentiel correspondant à la bobine en défaut, le déséquilibre agit uniquement sur ce dernier. Ainsi, en présence d'un court-circuit, la machine devient certes non-équilibrée du fait de la présence d'un champ supplémentaire au stator mais ce déséquilibre est directement traduit par le bobinage de défaut B_{cc} . Les grandeurs de court-circuit sont localisées sur une direction fixe au stator, leurs

Projections sur les axes α_s et β_s permettent de leur associer des vecteurs stationnaires par rapport au stator :

$$X_{\alpha\beta s} \begin{bmatrix} X_{\alpha cc} \\ X_{\beta cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{cc}) \\ \sin(\theta_{cc}) \end{bmatrix} * X_{cc} \quad [\text{II.49}]$$

Avec :

X : représente le flux ϕ ou le courant i .

Alors, les équations de tensions et du flux deviennent :

$$\begin{cases} V_{\alpha\beta s} = R_s I_{\alpha\beta s} + \frac{d}{dt} \phi_{\alpha\beta s} \\ 0 = R_r I_{\alpha\beta r} + \frac{d}{dt} \phi_{\alpha\beta r} - wP \left(\frac{\pi}{2}\right) \phi_{\alpha\beta r} \\ 0 = n_{cc} R_s I_{\alpha\beta cc} + \frac{d}{dt} \phi_{\alpha\beta cc} \end{cases} \quad [\text{II.50}]$$

$$\begin{cases} \Phi_{\alpha\beta s} = (L_m + L_f) * I_{\alpha\beta s} + L_m * I_{\alpha\beta r} + \sqrt{\frac{2}{3}} * n_{cc} * L_m * I_{\alpha\beta cc} \\ \Phi_{\alpha\beta r} = (I_{\alpha\beta s} + I_{\alpha\beta}) * L_m + \sqrt{\frac{2}{3}} * n_{cc} * L_m * I_{\alpha\beta cc} \\ \Phi_{\alpha\beta cc} = \sqrt{\frac{2}{3}} * n_{cc} * L_m * Q(\theta_{cc})(I_{\alpha\beta s} + I_{\alpha\beta r}) + \left(\frac{2}{3}L_m + L_f\right) n_{cc}^2 * Q(\theta_{cc}) * I_{\alpha\beta cc} \end{cases} \quad \text{[II.51]}$$

Avec :

$L_m : \frac{3}{2} * L_p$: inductance magnétisante.

$$Q(\theta_{cc}) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{cc}) \\ \sin(\theta_{cc}) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\theta_{cc}) & \sin(\theta_{cc}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{cc})^2 & \cos(\theta_{cc}) * \sin(\theta_{cc}) \\ \cos(\theta_{cc}) * \sin(\theta_{cc}) & \sin(\theta_{cc})^2 \end{bmatrix} \quad \text{[II.52]}$$

II.4.2 : REPRESENTATION D'ETAT DU MODELE DE DEFAUT STATORIQUE :

En considérant les dynamiques des flux rotoriques et des courants statoriques aux dynamiques électromécaniques (θ), le système peut alors être décrit par le système d'équations non linéaires suivants : [16], [23]

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g u \\ y = h(x) + H(x) u \end{cases} \quad \text{[II.53]}$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} -\frac{R_s+R_r}{L_f} I_{sd} + \omega I_{sq} + \frac{R_r}{L_m L_f} \Phi_{rd} + \frac{\omega}{L_f} \Phi_{rq} \\ -\omega I_{sd} - \frac{R_s+R_r}{L_f} I_{sq} - \frac{\omega}{L_f} \Phi_{rd} + \frac{R_r}{L_m L_f} \Phi_{rq} \\ R_r I_{sd} - \frac{R_r}{L_m} I_{sq} \\ R_r I_{sq} - \frac{R_r}{L_m} I_{sd} \\ \frac{n_p^2}{J} (I_{sq} \Phi_{rd} - I_{sd} \Phi_{rq}) - \frac{f_r}{J} \omega \\ \omega \end{bmatrix} \quad \text{[II.54]}$$

$$g = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{n_p}{J} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{[II.55]}$$

$$h(x) = \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \omega \end{bmatrix} \quad [\text{II.56}]$$

$$H(x) = \begin{bmatrix} \frac{2}{3R_s} \sum_{k=1}^3 n_{cok} P(-\theta) Q_{cck} P(\theta) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [\text{II.57}]$$

II.5 : CONCLUSION :

Cette étude nous a permis d'analyser les comportements dynamiques de la machine et pour mettre en place les différentes stratégies de commande. Les équations des tensions statorique et rotoriques sont fortement non linéaires et couplées.

Ensuite nous présentons le modèle de la MAS avec défauts statoriques, et les hypothèses simplificatrices, nous avons aussi vu les transformations d'un système triphasé vers un système diphasé équivalent.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder le sujet de la commande vectorielle. **[24]**

CHAPITRE III :

LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

III.1 : INTRODUCTION :

La difficulté pour commander une machine asynchrone réside dans le fait qu'il existe un fort couplage entre le flux et le couple, et toute action sur l'une se répercute sur l'autre. Dans une machine à courant continu à excitation séparée, on maintient le flux constant par le circuit inducteur, le couple de la machine est commandé indépendamment par le circuit d'induit. La machine à courant continu offre comme principale avantage d'être facilement commandable, le couple et le flux sont découplés et contrôlable indépendamment.

On utilise la commande vectorielle qui permet d'envisager un découplage entre le flux et le couple de la machine asynchrone.

Dans ce chapitre, notre étude sera consacrée la commande vectorielle, et en particulier l'orientation de flux rotorique.

III.2 : PRINCIPE DE LA COMMANDE VECTORIELLE DU MOTEUR ASYNCHRONE :

Dans une commande Vectorielle du moteur asynchrone à cage, le but est d'obtenir un couple électromagnétique proportionnel à la composante en quadrature du courant statorique i_{sq} (à flux constant) et de pouvoir commander le flux en agissant sur la composante directe de ce courant i_{sd} . Ceci permet de commander ce type de machines de façon analogue à celle d'une machine à courant continu à excitation séparés. Le découplage du moteur asynchrone à cage et ainsi réalisée par son alimentation dans tension d'amplitude de fréquence et de phase bien déterminée. Ces conditions sont assurées grâce au bloc orientation à flux dont le but est de calculer ses consignes de tension à partir de consigne de couple et d'une consigne de flux.

Dans une machine à courant continu à excitation séparée le couple électromagnétique est donné par :

$$C_e = K I_a I_f \quad \text{[III.1]}$$

Où I_a est le courant d'induit, I_f est le courant inducteur. K est une constante. En maintenant le courant I_f constant par le circuit de réglage de l'inducteur, le couple C_e uniquement de courant I_a . Dans le repère synchrone, le couple de la machine asynchrone est donné par :

$$C_e = \frac{3}{2} \frac{p L_m}{L_r} (\Phi_{rd} i_{sq} - \Phi_{rq} i_{sd}) \quad \text{[III.2]}$$

En analysant cette expression, nous constatons que le couple est découplé du flux si Φ_{rd} est indépendant de i_{sq} et C_e est en fonction uniquement de i_{sd} donc $\Phi_{rd}=0$.

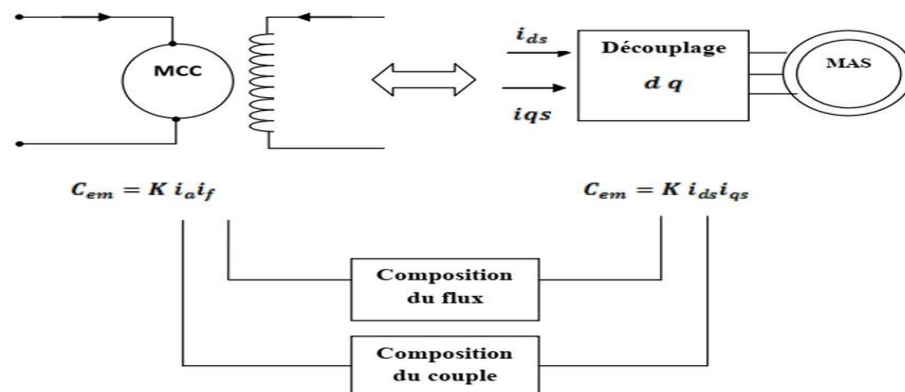


Figure III. 1:schéma du principe de découplage pour la MAS par analogie avec MCC

CHAPITRE III : LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MAS

III.2.1 : Technique d'orientation du flux :

La commande par méthode de flux orienté est une technique qui malgré la structure complexe et non linéaire de la MAS, permet sa commande de façon similaire à celle de la machine à courant continu, cette méthode à flux orienté basée sur le modèle de la machine asynchrone, on fait orienter le système d'axes (d, q) de manière à ce que l'axe d ou q devienne en phase avec le flux, d'où le nom de commande vectorielle à flux orienté. [16].

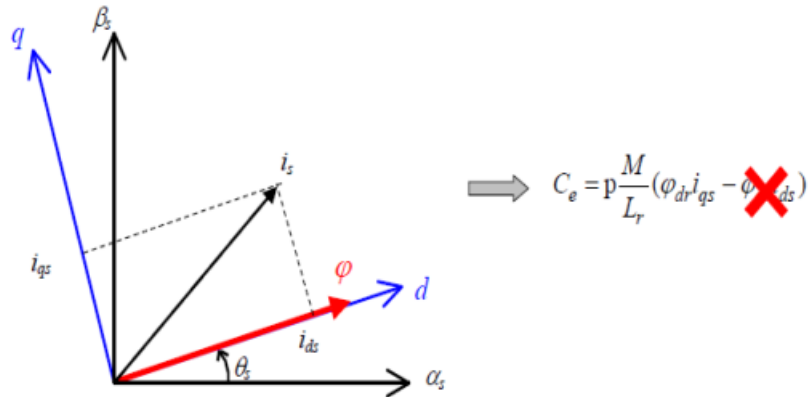


Figure III. 2 : Technique d'orientation du flux

Pour obtenir le découplage entre le flux et le couple, trois techniques d'orientation de flux de la machine asynchrone sont possibles

1. Soit le flux rotorique avec les conditions : $\Phi = \Phi_{rd} = \Phi_r \quad \Phi_{rq} = 0$ [III.3]

L'expression de couple électromagnétique devient : $C_e = \frac{3}{2} * \frac{p * L_m}{L_r} * \Phi_{rd} * i_{sq}$

2. Soit le flux statorique avec les conditions : $\Phi = \Phi_{sd} = \Phi_s \quad \Phi_{sq} = 0$ [III.4]

L'expression de couple électromagnétique devient : $C_e = \frac{3}{2} * p * \Phi_{sd} * I_{sq}$

3. Soit le flux entrefer avec les conditions : $\Phi = \Phi_{md} = \Phi_m \quad \Phi_{mq} = 0$ [III.5]

L'expression de couple électromagnétique devient : $C_e = C_e = \frac{3}{2} * p * \Phi_{gq} * I_{sq}$

III.2.2 : Méthode de commande vectorielle à flux orienté :

Il existe deux méthodes de commande vectorielle peuvent être distinguées à savoir :

- Commande vectorielle indirecte
- Commande vectorielle directe.

III.2.2.1 : Méthode indirect :

Dans cette méthode, on ne régule pas le flux rotorique et on n'a donc besoin ni de capteur, ni d'estimateur ou d'observateur de flux. Elle se base sur les équations régissant le fonctionnement de la machine avec orientation du flux ou la position du flux est déduite de la relation donnant la vitesse de glissement. L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'on n'utilise pas l'amplitude du flux rotorique mais seulement sa position.

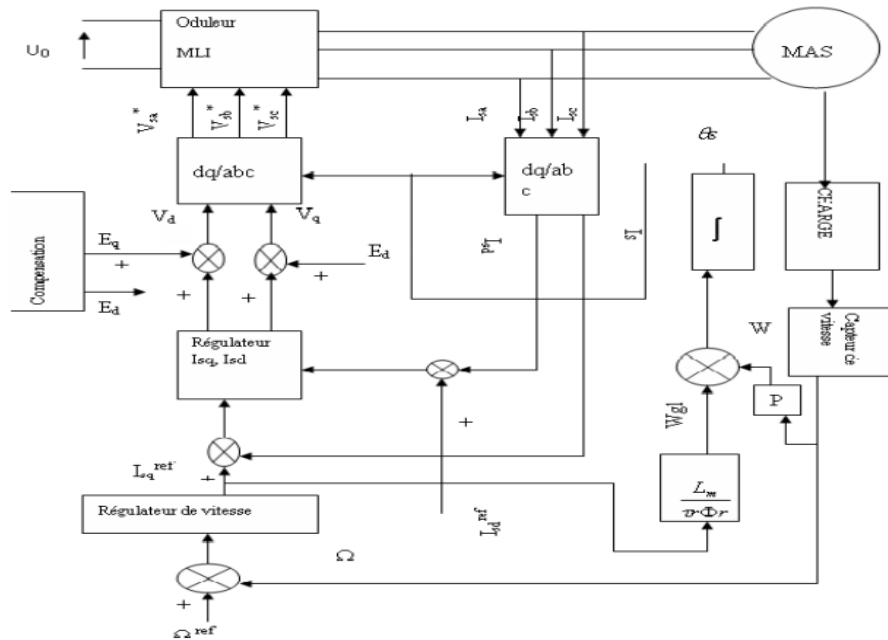


Figure III. 3 : schéma de la de commande vectorielle indirect

III.2.2.2 : Méthode direct :

Concernant la seconde méthode qui est commande vectoriel directe, la connaissance du flux (module et phase) est requise pour assurer le découplage entre le couple et le flux. Ce dernier peut-être mesurer directement à l'aide de capteur ou estimé à partir du courant (et ou) tension statorique.

Les capteurs mécaniquement fragiles, sont soumis à des conditions sévères due aux vibrations et aux échauffements. Ainsi l'utilisation d'un moteur équipé de capteur de flux augmente considérablement le coût de fabrication. [25]

Le flux Φ_r étant orienté sur l'axe d en imposant la condition (III.6) aux équations du modèle de la machine asynchrone alimenté en tension on obtient le système réduit suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} i_{sd} = -\lambda * i_{sd} + \omega_s * i_{sq} + \frac{K}{T_r} * \Phi_r + \frac{1}{\sigma * L_s} * V_{sd} \\ \frac{d}{dt} i_{sq} = -\omega_s * i_{sd} - \lambda * i_{sq} - p * \omega_r * K * \Phi_r + \frac{1}{\sigma * L_s} * V_{sq} \\ \frac{d}{dt} \Phi_r = \frac{L_m}{T_r} * i_{sd} - \frac{\Phi_r}{T_r} \\ \omega_s = \omega + \frac{L_m}{T_r} * \frac{i_{sq}}{\Phi_r} \\ j * \frac{d}{dt} \omega_r = C_e - C_r - f * \omega_r \end{array} \right. \quad \text{[III.6]}$$

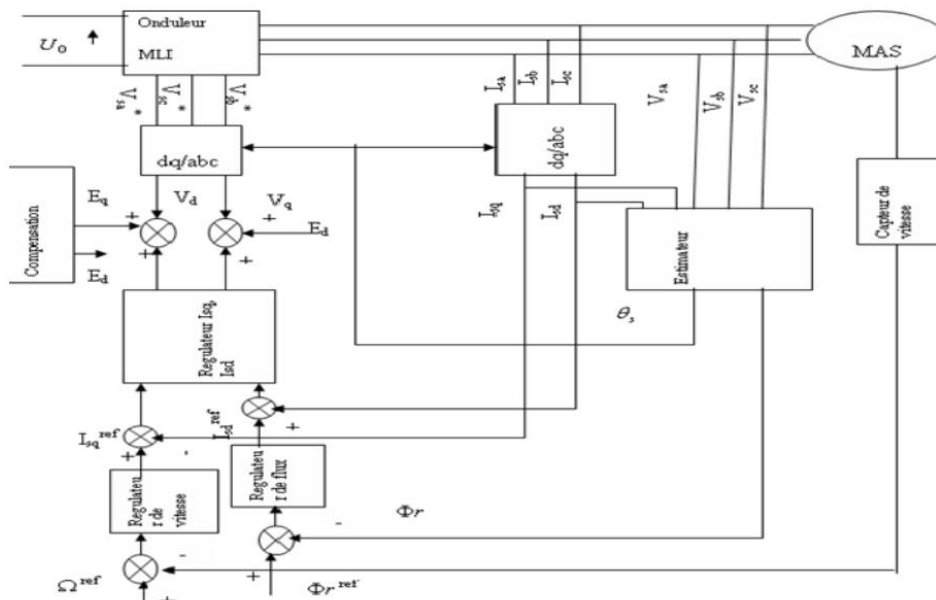


Figure III. 4: schéma de la commande vectorielle direct

III.3 : COMPARAISON ENTRE LES METHODES DIRECTE ET INDIRECTE :

Après la présentation des méthodes directe et indirecte de commande vectorielle, nous pouvons comparer suivant leur complexité et leur robustesse par rapport aux paramètres, tel qu'indique dans la table : [16]

	Direct	Indirect
Calcul de l'angle θ	A partir de la position du flux	A partir des pulsations ω_{sl} et ω
Estimateur de flux	Nécessaire	Pas nécessaire
Influence des paramètres	R_r (avec estimateur de Φ_r R_s Φ_s)	R_r
Boucles de commande	-courant statorique -vitesse -flux	-courant statorique -vitesse -flux (optionnel)

Tableau III-1 : comparaison entre la commande vectorielle directe et indirecte

Il est important de souligner qu'un estimateur de flux est nécessaire pour la commande vectorielle directe, tandis qu'il ne l'est pas dans le cas de commande vectorielle indirecte.

Parmi les paramètres des machines, c'est la résistance rotorique qui varie le plus selon la température.

CHAPITRE III : LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MAS

Par conséquent, elle a la plus grande influence sur la performance du système de commande, car cette grandeur est utilisée pour calculer la pulsation de glissement dans le cas de commande vectorielle indirecte et pour estimer le flux rotorique dans le cas de commande vectorielle directe. Pour éviter ce problème, un estimateur de flux statorique peut être utilisé dans la commande vectorielle directe.

Cependant, cette approche est limitée par le fait qu'un découplage parfait entre le couple et le flux est garanti seulement à haute vitesse par ce qu'il est très difficile d'estimer le flux de manière précise à basse vitesse à partir de signaux de tension. De plus des capteurs de tension sont nécessaires pour cet estimateur de flux statorique.

En générale, la méthode indirecte est plus simple que la méthode directe, mais le choix de méthodes ainsi que stratégies varient d'une application à l'autre.

III.4 : TECHNIQUE DE DECOUPLAGE :

Il y a trois techniques de découplage :

- Découplage par régulateur.
- Découplage par compensation.
- Découplage par retour d'état.

Nous travaillerons ici avec la technique de Découplage par compensation [16] [26] [07]

III.4.1 : Découplage par compensation :

Le découplage est possible par l'introduction des deux nouvelles variables de commande V_{sd}^{ref} et V_{sq}^{ref} ; On a les expressions suivantes :

$$\begin{cases} V_{sd}^{ref} = V_{sd} - E_q \\ V_{sq}^{ref} = V_{sq} - E_d \end{cases} \quad \text{[III.7]}$$

Avec

$$\begin{cases} E_q = \frac{\sigma L_s}{T_r} * K * \Phi_{rd} + \sigma * L_s * \omega_s * i_{sq} \\ E_d = -\sigma * L_s * p * \omega_r * K * \Phi_{rd} - \sigma * L_s * \omega_s * i_{sd} \end{cases} \quad \text{[III.8]}$$

$$\begin{cases} V_{sd} = \sigma * L_s * \lambda * i_{sd} + \sigma * L_s * \frac{d}{dt} i_{sd} \\ V_{sq} = \sigma * L_s * \lambda * i_{sq} + \sigma * L_s * \frac{d}{dt} i_{sq} \end{cases} \quad \text{[III.9]}$$

E_d, E_q : les termes de couplage.

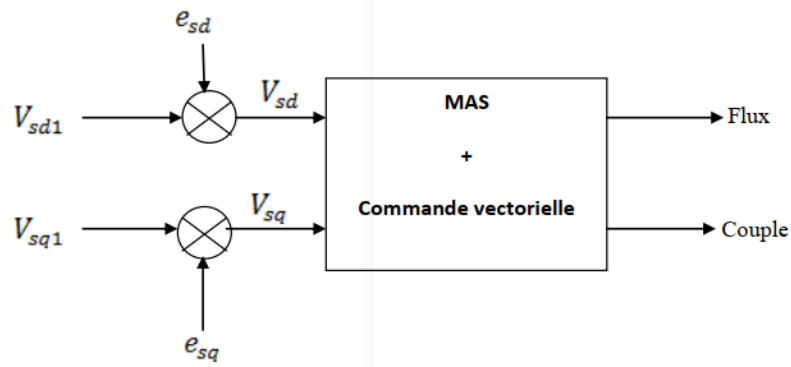


Figure III. 5 : Reconstitutions des tensions V_{sd}, V_{sq}

Combinant les systèmes d'équation (III-7), (III-8) et (III-9), nous obtiendrons un niveau système pour lequel les actions sur l'axe d et q sont découplées.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma * L_s * \frac{d}{dt} I_{sd} = -\sigma * L_s * \lambda * I_{sd} + V_{sd}^{ref} \\ \sigma * L_s * \frac{d}{dt} I_{sq} = -\sigma * L_s * \lambda * I_{sq} + V_{sq}^{ref} \\ \frac{d}{dt} \Phi_{rd} = \frac{L_m}{\tau_r} * I_{sd} - \frac{1}{\tau_r} * \Phi_{rd} \\ \frac{d}{dt} \Phi_{rq} = \frac{L_m}{\tau_r} * I_{sq} - (\omega_s - n_p * \Omega) * \Phi_{rd} \\ \frac{d\Omega}{dt} = \frac{n_p * L_m}{\tau_r * L_r} * \Phi_{rd} * I_{sq} - \frac{1}{J} * C_e - \frac{1}{J} * f * \Omega \end{array} \right. \quad [III.10]$$

Le système [III.10] a une structure simplifiée :
La dynamique de flux est parfaitement linéaire

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \Phi_{rd} = \frac{1}{\tau_r} * \Phi_{rd} + \frac{L_m}{\tau_r} * I_{sd} \\ \sigma * L_s * \frac{d}{dt} I_{sd} = -\sigma * L_s * \lambda * I_{sd} + V_{sd}^{ref} \end{array} \right. \quad [III.11]$$

Ce flux peut être contrôlé indépendamment par V_{sd} via un contrôleur PI :

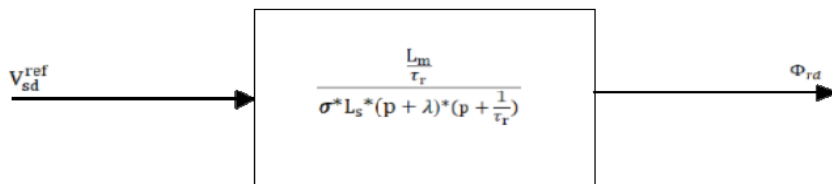


Figure III. 6:transfert entre V_{sd}^{ref} et Φ_{rd}

III.5 : REGULATION DE SYSTEME :

On choisit d'utiliser de régulateurs de type proportionnel-intégrateur (PI), étant donné qu'ils sont simples à mettre en œuvre. Ce type de régulateur assure une erreur statique nulle grâce à l'intégration, tandis que la rapidité de réponse est établie par l'action proportionnelle. En appliquant dans la synthèse des régulateurs la technique de compensation du pôle de la fonction de transfert associée en boucle ouverte, Le régulateur ou le correcteur PI améliore la stabilité de la réponse et l'élimination de l'erreur statique en régime permanent.

L'objectif de la régulation, en général, est d'avoir un système de hautes performances. [18]

III.5.1 : La conception des régulateurs :

Soit : $Y(t)$: le signal de sortie du système à contrôler.

$Y^*(t)$: le signal à suivre

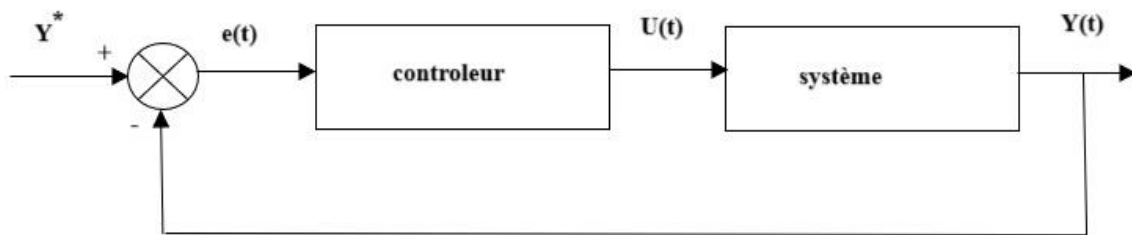


Figure III. 7 : représentation de la commande par pi

La loi de commande est définie par : $U(t) = Kp e(t) + ki \int e(t)$

- Action proportionnelle (P)

Il y a deux types de correction

- la correction est rapide : Kp est grand ; Le risque de dépassement et d'oscillation dans la sortie s'accroît.

- la correction est lente : Kp est faible ; moins de risque d'oscillations.

- Action Intégral (I) Cette action, elle assure un rattrapage progressif de la consigne. Tant qu'il y aura encore une erreur la grandeur $U(t)$ diminue ou augmente jusqu'à l'annulation de l'erreur.

III.5.2 : Régulateur de vitesse :

Si la régulation du courant i_{sq} , est considérée très rapide vis-à-vis de la vitesse, la chaîne de régulation de vitesse peut être représentée par le schéma fonctionnel suivant figure (1.9). On choisit comme précédemment un régulateur PI, la fonction de transfert en boucle ouverte (BO), s'écrit :

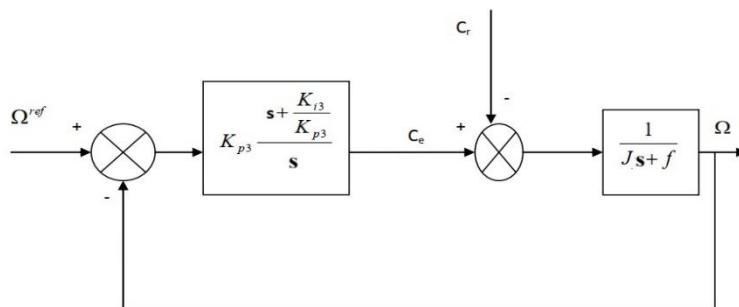


Figure III. 8: schéma fonctionnel de la régulation de vitesse

CHAPITRE III : LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MAS

$$\frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \left(\frac{K_{pv}s + K_{iv}}{s} \right) \left(\frac{1}{Js+f} \right) = K_{iv} \left(\frac{(K_{pv}/K_{iv})s+1}{s} \right) \left(\frac{1/f}{(J/f)s+1} \right) \quad \text{[III.12]}$$

En choisissant $K_{pv}/K_{iv} = J/f$, la fonction de transfert se simplifie et donne :

$$\frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \left(\frac{K_{iv}/f}{s} \right) \quad \text{[III.13]}$$

On cherche à caractériser la réponse de la vitesse par un premier ordre, et en appliquant la méthode des pôles dominants, la fonction de transfert en boucle fermée (BF) est donnée par :

$$\frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \frac{1}{(f/K_{iv})s+1} = \frac{1}{\tau_{\Omega}s+1} \quad \text{[III.14]}$$

Le système bouclé va se comporter comme un premier ordre dont le temps de réponse apparente est pris :

$$\tau_r = 3(f/K_{iv}) \quad \text{[III.15]}$$

Nous avons à résoudre le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \frac{J}{k_{i3}} = \frac{1}{\omega_n^2} \\ J * \omega_n^2 = k_{i3} \\ \frac{K_{p3}+f}{K_{i3}} = \frac{2*\varepsilon}{\omega_n} \end{cases} \Rightarrow k_{i3} = \frac{(K_{p3}+f)*\omega_n}{2*\varepsilon*J} \quad \text{[III.16]}$$

III.5.3 : Régulateur de flux :

A partir du découplage défini par la figure (III.9), on peut écrire :

$$\frac{\Phi_r(p)}{V_{sd}^{ref}} = \frac{\alpha * L_m}{(p+\lambda)(p+\alpha) * \sigma * L_s} \quad \text{[III.17]}$$

Avec : $\sigma = \frac{1}{\tau_r}$

Le système est représenté par le schéma fonctionnel suivant :

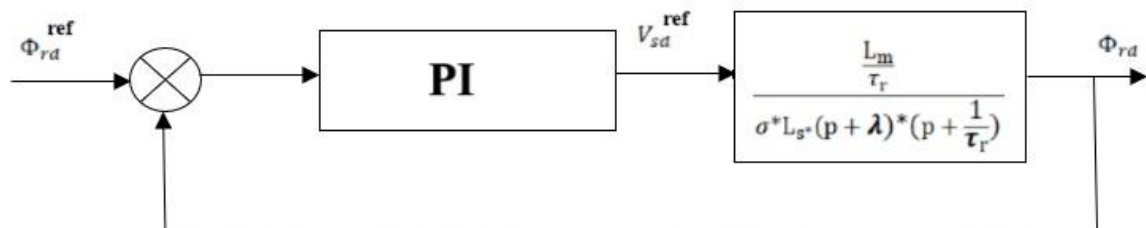


Figure III. 10: boucle de régulation du flux

CHAPITRE III : LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MAS

$$PI = K_{p1} + \frac{K_{i1}}{p} = K_{p1} * \frac{p + \frac{K_{i1}}{K_{p1}}}{p} \quad [\text{III.18}]$$

La fonction du transfert du système en boucle fermée est donnée par :

$$\text{FTBF}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\sigma * L_S * \lambda}{K_{p1} * \alpha * L_m} * p + \frac{\sigma * L_S * p^2}{K_{p1} * \alpha * L_m}} \quad [\text{III.19}]$$

Nous souhaitons obtenir en boucle fermée une réponse similaire à celle d'un système du 2^{ème} ordre dont la forme canonique est :

$$\frac{1}{1 + \frac{2 * \varepsilon}{\omega_n} * p + \frac{1}{\omega_n^2} * p^2} \quad [\text{III.20}]$$

Par identification, nous obtenons :

$$\begin{cases} \frac{\sigma * L_S}{K_{p1} * \alpha * L_0} = \frac{1}{\omega_n^2} \\ \frac{\sigma * L_S * \lambda}{K_{p1} * \alpha * L_m} = \frac{2 * \varepsilon}{\omega_n} \end{cases} \quad [\text{III.21}]$$

Le gain K_{p1} est donné par :

$$K_{p1} = \frac{\sigma * L_S * \lambda^2}{\alpha * L_m * (2 * \varepsilon)^2} \quad [\text{III.22}]$$

Avec :

$$K_{i1} = \alpha * K_{p1} \quad [\text{III.23}]$$

III.6 : CONCLUSION :

Dans notre étude, on a réalisé le principe de la stratégie de la commande vectorielle de la MAS, ainsi que ses différents types à savoir la commande directe et indirecte.

Nous avons aussi étudié le régulateur Proportionnel intégral (PI) qui a le rôle d'assurer le bon fonctionnement et obtenir un système de haute performance.

Dans le chapitre suivant on va voir les techniques de diagnostics des défauts statoriques de la machine asynchrone, et la simulation de la commande et interpréter les résultats.

CHAPITRE IV :

DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

IV.1 : INTRODUCTION :

Une fois les modèles de la machine asynchrone à cage d'écureuil et de son alimentation sont établis, nous pouvons aborder l'aspect lié à la simulation de celles-ci, qui va être présentée dans ce chapitre.

Trois axes de recherche font l'objet d'une attention particulière : la modélisation, les lois de commande et la simulation.

Pour mettre en « évidence des performances élevées de la commande vectorielle indirecte et réalisé grâce au découplage du flux et du couple et en vue d'améliorer ces performances. Il a été procédé à des outils de travail comme le logiciel MATLAB sous environnement SIMULINK.

Dans ce chapitre, on s'intéressera de connaître les différents types de maintenance industrielle et leur importance, étudier le diagnostic des défauts constatés dans le moteur asynchrone, et nous donnerons un exemple de défaut du stator du moteur et comment le résoudre.

IV.2 LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE :

En général, le terme « Maintenance » pourrait être défini comme : L'intégration de toutes les actions techniques et administratives possibles, y compris la planification, la supervision, la surveillance et le contrôle, visant à conserver un élément, un système, une machine pour restaurer son état fonctionnel d'origine dans lequel ils peuvent exécuter les fonctions prévues.

L'objectif de la maintenance pendant le cycle de vie du produit est de minimiser le ratio suivant :

$$\frac{\text{Dépense de maintenance} + \text{cout des arrêts forcés}}{\text{Service rendu}}$$

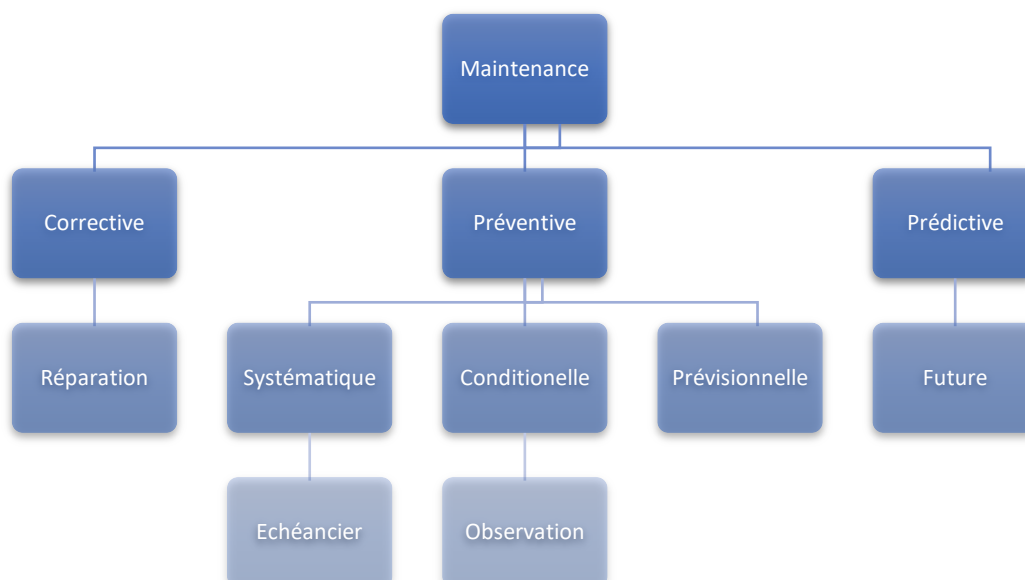


Figure IV. 1:Les types de maintenance

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

En plus de la maintenance, incluez des actions de protection et de correction pour maintenir le système opérationnel de l'usine dans les conditions prévues ou pour maintenir les conditions de fabrication acceptables. Les politiques de maintenance optimales visent à maintenir la fiabilité et la robustesse du système à un coût minimum. Parallèlement au progrès de l'industrie, l'augmentation des coûts du système, du matériel et de la main d'œuvre, la demande croissante de robustesse et la structure complexe des machines augmentent également l'importance des politiques de maintenance. L'une des principales raisons de l'inefficacité et des incohérences des systèmes de production est le manque de politiques de maintenance appropriées ou le manque de mise en œuvre de celles-ci. Cependant, ces dernières années, l'importance des politiques de maintenance a été perçue par les secteurs de l'industrie, de l'ingénierie et des disciplines académiques au sein de la gestion opérationnelle et une attention particulière a été apportée. Les types de maintenance peuvent être divisés en trois parties principales en norme AFNOR (Association Française de Normalisation) NF-X 60 000, à savoir dans la figure précédent (figure IV.1) [27]

IV.2.1 : La maintenance curative :

La maintenance curative est une maintenance effectuée après défaillance. Les interventions de maintenance curative ont pour but rétablir les fonctions et performances d'un dispositif après sa défaillance totale, où la dégradation de ses fonctions.

Elle comprend la localisation de la défaillance, et son diagnostic. La remise en état et le contrôle du bon fonctionnement avant la remise en service.

D'où proviennent les pannes statoriques dans la machine asynchrones ?

Si les vibrations des conducteurs d'encoches, et les divers frottements qui en résultent, suite à des grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure de l'isolant, il reste que le facteur principal du vieillissement est l'échauffement anormal des bobinages. En effet pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière, et humidité viennent de déposer pour les machines fermées entre les ailettes extérieures. Et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobines, affaiblissant ainsi l'isolation électriques et court-circuitant du fait les conducteurs.

Le court-circuit des spires est le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontre au stator qui due a l'échauffement du circuit de court-circuit A cet effet, il convient de débrancher et de palper l'enroulement. L'enroulement ne doit être palpé qu'après sa mise hors tension. Pour rechercher un défaut dans la machine Asynchrone, il convient de caler le rotor et de brancher le stator sur le réseau d'alimentation.

Dans le cas de la mise en court-circuit d'une partie considérable de l'enroulement de moteur de grande puissance, le freinage a tension nominale devient impossible a réaliser parce qu'il fait naître dans le stator une intensité de courant élevés et amène donc le fonctionnement des dispositifs de protection du moteur. Dans de tel cas, il convient de procéder aux essais sous une tension réduite.[28]

IV.2.1.1 : Méthode de mesure le courant et la résistance :

Lorsque l'enroulement comporte plusieurs dérivation un court-circuit dans l'une des dérivation de la phase (en cas d'un grand nombre de spires court-circuitées) peut provoquer l'échauffement de l'autre dérivation qui ne présente pas de court-circuit parce que celle-ci se trouve court-circuitée par les spires de la dérivation avariée de l'enroulement (pour la

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

localisation des défauts dans des cas pareils) la phase comportant un court-circuit peut être détectée d'après l'asymétrie du courant consommé au réseau. Lorsque l'enroulement est couplé en étoile (figure IV-2-a) le courant A_3 dans la phase comportant un court-circuit sera plus élevé que dans les deux autres phases. En cas de couplage en triangle (figure IV-2-b), les courants (A_1 et A_3) dans les deux phases du réseau, entre lesquelles est branchée la phase défectueuse seront les plus élevés que le courant dans la troisième phase (A_2). Il est recommandé d'effectuer l'expérience de localisation d'une phase défectueuse sous une tension réduite ($1/3$ à $1/4$ de la valeur nominale), le rotor peut tourner ou être calé.

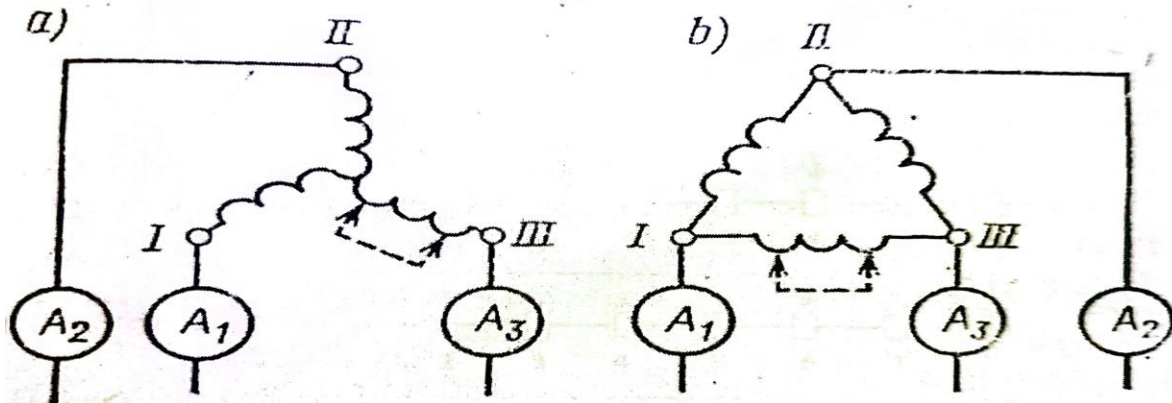


Figure IV. 2: Explication des indices de court-circuit dans les enroulements triphasés

Une phase en court-circuit peut être également localisée d'après la valeur de sa résistance, mesurée avec la méthode d'un ampèremètre et d'un voltmètre : la phase comportant un court-circuit aura une résistance plus faible que les autres phases. Lorsque les phases sont couplées en étoile (figure IV.2.a) la plus grande valeur de la résistance sera obtenue lors de la mesure entre les extrémités des phases ne comportant pas de court-circuit ; les deux autres résistances seront égales entre elles et inférieures à la première. En cas de couplage en triangle (figure IV.2.b), la résistance la plus faible sera obtenue lors de la mesure entre les extrémités de la phase comportant un court-circuit ; les deux autres mesures donneront deux résistances égales entre elles et supérieures à la première.

Les groupes de bobines ou les bobines distinctes comportant des courts-circuits peuvent être détectés si on alimente en courant alternatif soit tout l'enroulement, soit seulement la phase défectueuse. Dans ce cas, on juge d'après l'échauffement ou d'après la valeur de la chute de tension mesurée entre leurs extrémités. Les groupes de bobines ou les bobines distinctes comportant un court-circuit seront fortement échauffés et donneront une chute de tension plus faible (pour la mesure de la tension il est commode d'utiliser des palpeurs pointus qui percent l'isolation des conducteurs de connexion). Dans ce cas, les bobines défectueuses peuvent être localisées d'après la valeur de la résistance.

IV.2.1.2 : Méthode de division de l'enroulement :

Dans des cas compliqués (mise en circuit d'un grand nombre de bobines) ainsi que dans le cas où la dérivation en court-circuit de l'enroulement ne peut pas être localisée pour une cause

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

quelconque, on a recours à la méthode de division de l'enroulement en plusieurs parties. A ce effet, tout d'abord on divise l'enroulement en deux parties égales et on vérifie au mégohmmètre si ces parties sont en court-circuit. Ensuite, on divise l'une de ces parties de nouveau en deux parties égales et on vérifie le court-circuit entre ces parties et la première partie et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on cherche les bobines comportant un court-circuit.

Pour illustrer cette méthode, la (figure IV.3) représente schématiquement la localisation d'un défaut dans une phase possédant huit groupes de bobines et comportant un court-circuit entre les bobines 2 et 6. La division de l'enroulement en partie est représentée par étape successive.

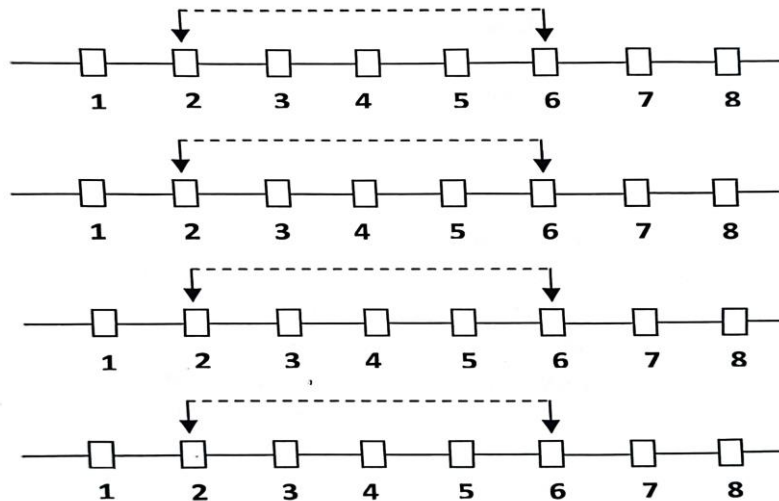


Figure IV. 3:Localisation d'un court-circuit entre bobines d'une même phase

Le procédé de division successive en parties égales permet de se limiter à un nombre de dessoudures plus petit qu'en cas de division de tout l'enroulement en groupe de bobines. Dans le cas où le court-circuit s'est produit entre deux phases, l'endroit de défaut est localisé en procédant de la même manière que précédemment, en déconnectant les enroulements phase par phase. On divise les bobines de l'une des phases comportant un court-circuit en deux parties et on vérifie au mégohmmètre s'il y a court-circuit entre chacune de ces parties et la deuxième phase. Ensuite, la partie qui est en court-circuit avec une autre phase, est divisée de nouveau en deux parties dont chacune est vérifiée, ect...

Étant donné que les courts-circuits entre phases ou entre groupe de bobines se produisent le plus souvent dans les têtes des bobines ou les conducteurs de connexion, on arrive parfois à localiser tout de suite l'endroit de court-circuit, en soulevant et en remuant les têtes des bobines, tout en effectuant une vérification au mégohmmètre.

IV.2.2 : Maintenance préventive :

Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement. La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

La maintenance préventive comprend :

- Les contrôles ou visites systématiques,
- Les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- Les remplacements systématiques,
- La maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : allez voir si l'état de tel organe est bon au moyen d'une liste des points à examiner. Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. Il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive. Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable (1 mois, par exemple) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet).

Un court-circuit survient lorsqu'il y a une connexion directe entre deux points ayant des potentiels électriques différents. En courant alternatif, cela peut se produire entre phases, entre une phase et le neutre, entre une phase et une masse conductrice, ou entre les spires d'une même phase.

Les causes possibles d'un court-circuit sont variées : détérioration de l'isolant des conducteurs, desserrage ou rupture des fils ou câbles, dénudage accidentel, présence de corps métalliques étrangers, dépôts conducteurs (comme la poussière ou l'humidité), pénétration de liquides conducteurs, détérioration des récepteurs, ou erreurs de câblage lors de l'installation ou de la maintenance.

Lorsqu'un court-circuit se produit, le courant augmente brutalement, pouvant atteindre en quelques millisecondes des valeurs plusieurs centaines de fois supérieures au courant normal. Cela peut entraîner des dégâts importants sur le matériel et avoir des effets dévastateurs. Il se caractérise par deux phénomènes :

IV.2.2.1 : Un phénomène thermique :

Il correspond à la quantité d'énergie libérée dans le circuit électrique parcouru par le courant de court-circuit I durant un temps. Cet effet thermique peut provoquer :

- La fusion des contacts du contacteur,
- La destruction des éléments thermiques d'un relais à bilame si la coordination est de type I,
- La génération d'arcs électriques,
- La calcination des matériaux isolants,
- L'incendie dans l'équipement.

IV.2.2 .2 : Un phénomène électrodynamique :

Il se traduit entre les conducteurs par des efforts mécaniques intenses, provoqués par le passage du courant avec les manifestations suivantes :

- Déformation des conducteurs formant les enroulements du moteur,
- Casse des supports isolants des conducteurs,
- Répulsion des contacts (à l'intérieur des contacteurs) pouvant entraîner leur fusion et leur soudure.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

De telles manifestations sont dangereuses à la fois pour les biens et pour les personnes. Il est donc impératif d'utiliser contre les court-circuités des dispositifs de protection chargés de détecter le défaut, et d'interrompre le circuit très rapidement, avant que le courant n'atteigne sa valeur maximale.

Pour cela, deux dispositifs de protection sont communément employés :

- Les fusibles (coupe-circuits) qui interrompent le circuit par leur fusion, laquelle nécessite ensuite leur remplacement,
- Les disjoncteurs à déclencheur magnétique, souvent dénommés plus simplement "disjoncteurs magnétiques", qui interrompent automatiquement le circuit par ouverture de leurs pôles et dont la remise en service ne nécessite qu'une manœuvre de réenclenchement.

La protection contre les court-circuités peut aussi être intégrée à des appareils à fonctions multiples tels que les disjoncteurs-moteurs et les contacteurs-disjoncteurs. [15][29]

IV.2.2.3 : Les relais à sondes à thermistance CTP :

Les relais de sonde à thermistance PTC (ou PTC, « Positive Température Coefficient ») sont des dispositifs de protection thermique utilisés principalement pour les moteurs électriques et les convertisseurs de fréquence. Ces sondes surveillent et protègent les équipements contre la surchauffe en intégrant une résistance qui augmente rapidement à une température critique spécifique.

Lorsque la température dépasse le seuil défini, la résistance de la thermistance augmente soudainement, déclenchant le relais de protection, coupant ainsi l'alimentation électrique ou déclenchant une alarme. Les relais de protection à thermistance peuvent également détecter les circuits ouverts et les courts-circuits, garantissant ainsi une protection fiable contre une variété de défauts.[05]

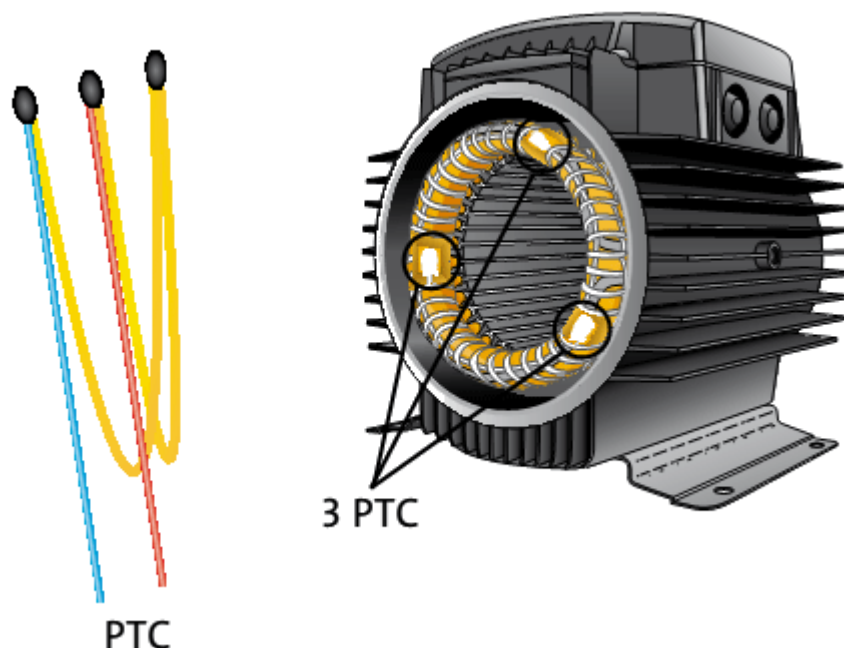


Figure IV. 4 : CTP

IV.2.2.4 : Un dispositif électronique :

Il est en alternatif ou en courant continu et mesure en permanence la résistance des sondes qui lui sont associées. Lorsque la TNF est atteinte, le circuit à seuil détecte la brusque élévation de résistance de la sonde et commande alors le changement d'état des contacts de sortie. Selon les sondes choisies, ce mode de protection peut être utilisé :

Soit pour fournir une alarme sans arrêt de la machine (TNF inférieure à la température maximale prescrite pour l'élément à protéger),

Soit pour commander l'arrêt (TNF correspondant à la température maximale prescrite)

L'emploi de ce mode de protection doit être prévu à l'avance car les sondes doivent être incorporées aux enroulements lors de la fabrication du moteur, ou lors d'un rebobinage éventuel après un incident.

Le choix des sondes CTP à incorporer dépend de la classe d'isolation et de la structure du moteur. Ce choix est normalement fait par les constructeurs de moteurs ou les rebobineurs qui, seuls, possèdent les compétences nécessaires.

Ces deux contraintes ne font que ce choix de protection via des sondes CTP est plutôt réservé à des équipements haut de gamme dont les moteurs sont d'un coût élevé.[15]

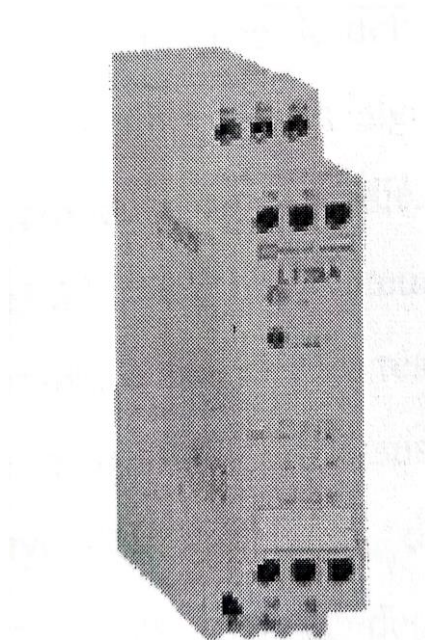


Figure IV. 5:Dispositif électronique (LT3 - Télémécanique) à associer à trois sondes à thermistance, pour commander l'arrêt d'un moteur en dépassement de température

IV.2.3 : Maintenance prédictive :

Est celle basée sur l'analyse des mesures de certains paramètres de l'équipement pour tenter d'éviter l'apparition d'un dysfonctionnement. On peut analyser les paramètres par deux méthodes

- Diagnostic interne (à connaissance a priori)
- Diagnostic externe (sans connaissance a priori).

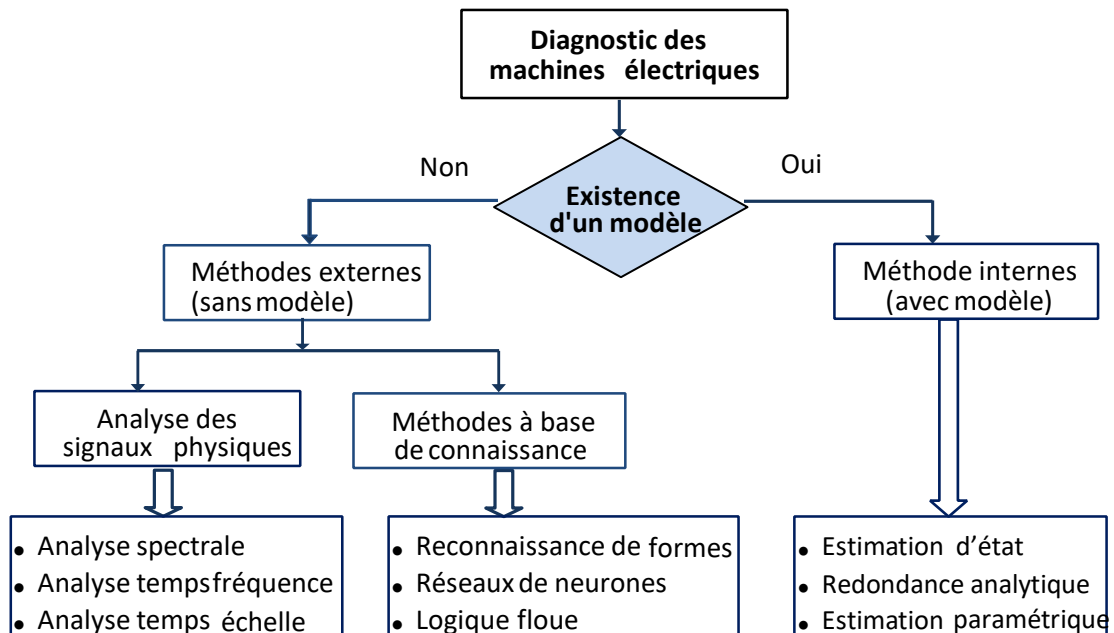


Figure IV. 6: Méthodes de surveillance d'une machine électrique soumise à un défaut

IV.2.3.1 : Diagnostic interne (avec modèle) :

Ces méthodes sont issues principalement de l'automatique et supposent une connaissance a priori du système. Elles s'appuient sur le suivi d'évolution des paramètres caractéristiques du système étudié ou sur la différence entre le modèle et le processus. Une comparaison entre les paramètres mesurés ou calculés et ceux associés à un mode de fonctionnement normal (sain) nous renseigne sur la présence éventuelle d'un défaut.[23] .

IV.2.3.1.1 : Méthodes de diagnostic basées sur des modèles paramétriques

Deux approches peuvent être utilisées pour diagnostiquer les défauts à partir des modèles paramétriques.

La première repose sur le suivi des paramètres électriques caractérisant les modèles. Il s'agit de détecter un écart entre l'évolution des paramètres au cours d'un fonctionnement sain et celle suivie par le système en présence de défauts. L'identification des paramètres peut se faire hors ligne. Elle se base alors sur un algorithme d'optimisation de l'erreur entre les paramètres du modèle et ceux du système étudié. Les paramètres peuvent aussi être identifiés en cours de fonctionnement à l'aide d'observateurs étendus.

La deuxième approche consiste à analyser les résidus générés à partir d'un modèle proche du système à surveiller. Le modèle de processus est constitué de relations de contraintes dynamiques liant deux types de variables des variables inconnues (variables internes, perturbations, entrées inconnues, ...) et des variables connues (consignes, variables mesurées). Les résidus sont théoriquement nuls en fonctionnement normal et différents de zéro lorsqu'une défaillance survient.[30][31] [13]

IV.2.3.1.2 : Diagnostic base sure une modélisation de la MAS en fonctionnement sain :

IV.2.3.1.2.1 Modèle triphasé :

Le modèle triphasé-triphasé modélise les trois phases statoriques ce qui permet de différencier le comportement de chaque phase.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

La modélisation des enroulements stator (respectivement rotor) par des paramètres distincts permet de discriminer un comportement défectueux d'un comportement dû à un fonctionnement normal. En effet les paramètres peuvent évoluer même lors d'un régime sain.

Par exemple la résistance peut varier avec la température :

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T), \text{ avec } R_0 : \text{ valeur de } R \text{ à } T_0 = 25^\circ\text{C} \quad \text{[IV.1]}$$

α : coefficient de température de la résistance

ΔT : variation de la température

En ce qui concerne les défauts statoriques, utilise le modèle triphasé pour localiser l'origine du défaut entre les trois phases. Ainsi, à l'aide d'un algorithme d'estimation des paramètres, il obtient les estimations des paramètres suivants :

$$\theta' = [R_{sa} \ R_{sb} \ R_{sc} \ L_{fsa} \ L_{fsb} \ L_{fsc} \ R_r \ L_{pr}]$$

Dans ce vecteur, seulement deux paramètres caractérisent le rotor et les six autres sont utilisés pour les enroulements stator.

En termes de localisation, l'auteur tire les enseignements suivants :

Défauts sur la phase a	Défauts sur la phase b	Défauts sur la phase c
$\downarrow R_{sa}$ et L_{fsa} $\uparrow R_{sb}$ et R_{sc} $\uparrow L_{fsb}$ et L_{fsc}	$\downarrow R_{sb}$ et L_{fsb} $\uparrow R_{sa}$ et R_{sc} $\uparrow L_{fsa}$ et L_{fsc}	$\downarrow R_{sc}$ et L_{fsc} $\uparrow R_{sb}$ et R_{sa} $\uparrow L_{fsa}$ et L_{fsb}

Tableau IV.1 Localisation de défaut par identification des paramètres du modèle triphasé

Dans le cas d'un défaut au stator (réduction de spires ou court-circuit), tous les paramètres issus du modèle triphasé changent mais seulement deux sont rigoureusement corrélés avec l'origine du défaut. Par exemple, pour une réduction du nombre de spires sur la phase b : il y a une diminution de R_{sb} et L_{fsb} alors que les couples (R_{sa}, R_{sc}) et (L_{fsa}, L_{fsc}) augmentent.

IV.2.3.1.2.2 : Modèle biphasé :

Il est important de préciser que la représentation biphasée de la machine n'est valide physiquement que si les alimentations sont équilibrées et si la machine est saine et équilibrée.

Lors de l'apparition d'un défaut, un déséquilibre s'instaure dans la machine. Les paramètres du modèle vont dériver.

Des études portent sur la réduction de spires ou les courts-circuits dans les enroulements statoriques. Les paramètres estimés sont les suivants :

$$0 = [R_s \ R_r \ L_{fs} \ L_r]$$

Avec L_{fs} : inductance de fuite au stator

Ses résultats montrent que lors d'un court-circuit entre spires du bobinage statorique, la résistance statorique augmente et les autres paramètres diminuent.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

Ce ou ces couples de paramètres donnent une signature du défaut. Ils ne donnent plus une représentation physique de la machine détériorée mais un indicateur de panne basé sur une évolution distincte de ces paramètres pour une machine saine ou défectueuse.

Le tableau (IV.2) regroupe les résultats obtenus à partir de l'état de l'art du diagnostic interne de la machine asynchrone.

Défaut	Evolution des paramètres	Observation
Court-circuit des spires	Détection R_s augmente R_r diminue L_r Diminue Localisation R_{sa} et L_{fsa} augmente si le défaut sur la phase a	R_{sa} et L_{fsa} issus du modèle triphasé

Tableau IV.2 : paramètres issus de modèle représentatif de défaut

Ces méthodes d'estimations de paramètres présentent l'avantage de permettre l'observation de grandeurs difficilement, voire même parfois non mesurables. Si les estimations sont correctement réalisées, alors les résistances, inductances, inductances mutuelles peuvent servir de bons indicateurs de défauts. Cependant ces méthodes restent tributaires d'un compromis entre la finesse de la modélisation, la prise en compte des phénomènes physiques ainsi que du temps de calcul requis. De plus, ces méthodes effectuent un filtrage des signaux d'acquisitions, ce qui entraîne une perte d'information.

Il serait intéressant de compléter ces méthodes par des méthodes ne nécessitant aucun modèle, c'est-à-dire, sans connaissance a priori du processus. Cela introduit donc la seconde famille des méthodes de diagnostic, à savoir les méthodes externes, qui présentent l'avantage de ne pas filtrer l'information.

IV.2.3.2 : Diagnostic par méthodes externes (sans modèle) :

Nous avons vu que la première famille de méthodes nécessite la connaissance du comportement dynamique de la machine asynchrone. Dans cette deuxième partie, nous nous intéressons aux résultats obtenus à partir du suivi direct des grandeurs telles que les courants, le couple estimé ou mesuré, les flux ou encore les vibrations. Ces méthodes dites 'sans modèles' se basent sur l'analyse des signaux d'acquisitions. Elles ont l'avantage de l'indépendance de l'analyse par rapport aux fluctuations internes du système. D'autre part, l'information contenue dans les signaux, n'étant pas filtrée par la modélisation, elle reste intacte.[31]

IV.2.3.2.1 : Analyse de flux :

Le flux de fuite axial peut être détecté par une bobine (bobine exploratrice) enroulée autour de l'arbre de la machine (Figure IV-8) et aussi par n'importe quel arrangement symétrique simple des bobines placées à l'extrémité de l'arbre de la machine ou par d'autres dispositifs sensibles telles que les sondes à effet hall.

Lorsque la bobine est enroulée autour de l'arbre d'une machine électrique, elle est le siège d'une force électromotrice (Fem) induite qui est liée aux flux de fuite axiaux.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

Les flux de fuites sont présents dans toutes les machines électriques en raison des asymétries dans les circuits électriques et magnétiques qui sont dues aux fluctuations du réseau électrique et les tolérances pendant le processus de fabrication.

L'analyse spectrale de la tension induite peut être utilisée pour identifier les différentes asymétries et défauts. Le contenu d'harmoniques des flux de fuites axiaux du stator et du rotor est directement en relation avec les harmoniques contenus respectivement dans les courants du stator et du rotor.

La conséquence directe d'un défaut est l'augmentation du flux de fuite axial. Cette augmentation du flux est la condition nécessaire pour l'utilisation du flux de fuite axial comme une technique de diagnostic, c'est-à-dire ce dernier doit avoir une valeur importante.[32]

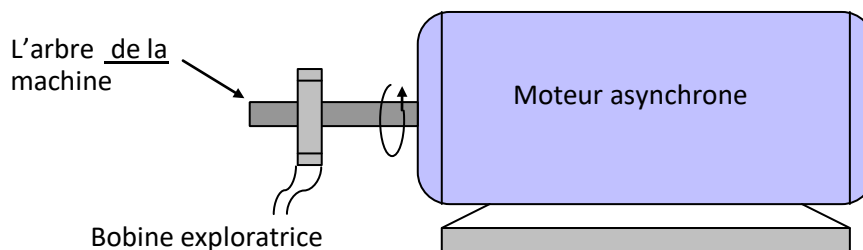


Figure IV. 7:Bobine exploratrice pour la mesure de flux de fuite axial

IV.2.3.2.2 : Diagnostic par mesure du couple électromagnétique :

Le couple électromagnétique développé dans la machine, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé de la machine.[06]

IV.2.3.2.3 : Détection des défauts par analyse des courants statoriques :

La mesure des signaux puis leurs traitements dans le domaine fréquentiel ne peuvent servir. Que si les composantes fréquentielles définies pour chaque défaut sont connues. Il y a plusieurs techniques pour effectuer l'analyse des courants. La plus utilisée est de réaliser une analyse fréquentielle (FFT par exemple) directement sur les courants statoriques i_{sa} , i_{sb} ou i_{sc} .[28]

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barres au rotor des machines asynchrones, la dégradation des roulements, les excentricités et les courts-circuits dans les bobinages. Ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation ou à des multiples de la fréquence d'alimentation.

La surveillance par analyse spectrale de la machine asynchrone consiste donc à effectuer une simple transformée de Fourier des grandeurs affectées par le défaut, et à visualiser les fréquences parasites constituant la signature d'un défaut dans la machine (Figure IV.9). Les grandeurs choisies sont soit les grandeurs électriques (plus particulièrement les courants de ligne), soit les grandeurs mécaniques (vibration, couple électromagnétique)

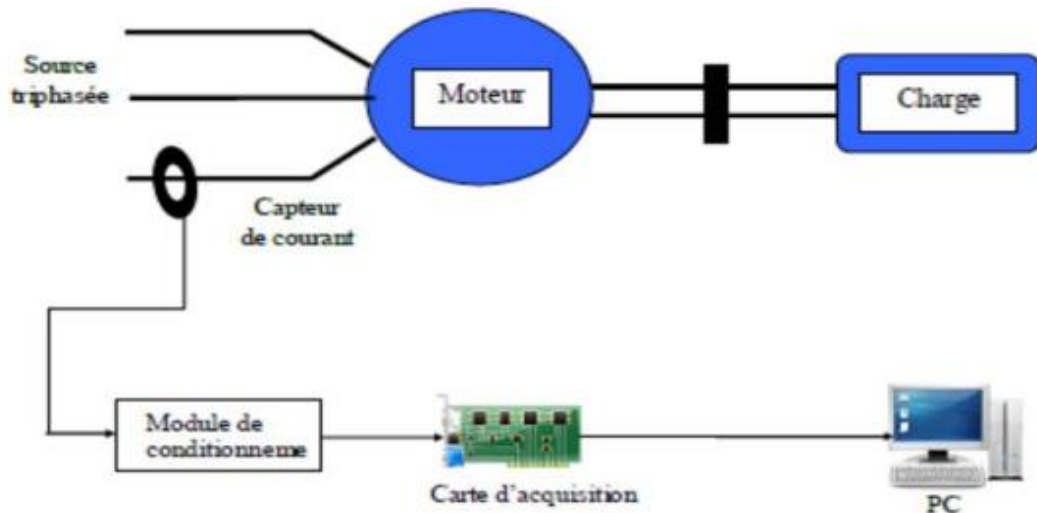


Figure IV. 8: Principe de la surveillance par analyse spectrale

Cette technique permet une surveillance rapide et peu onéreuse car elle exige un simple capteur de courant ou de vibration. Cependant, elle nécessite une analyse manuelle par un expert en surveillance des machines électriques.

Le court-circuit de spires est donc le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontrée au stator, même si les risques d'ouverture de phase (conducteur coupé) demeurent physiquement réalisables. En effet, on a vérifié expérimentalement que le courant circulant dans les spires en court-circuit est dix fois plus important que le courant nominal. L'augmentation de la température qui s'en suit entraîne la destruction en cascade des isolants et par effet cumulatif, la destruction complète de la machine.

La figure (IV.9) montre la montée en courant dans les phases abc du stator suite à un court-circuit

De 58 spires sur la phase as d'une machine de 1.1 kW à vide et alimentée directement par le réseau. On remarque que le courant de la phase en défaut atteint 3 fois le courant nominal de la

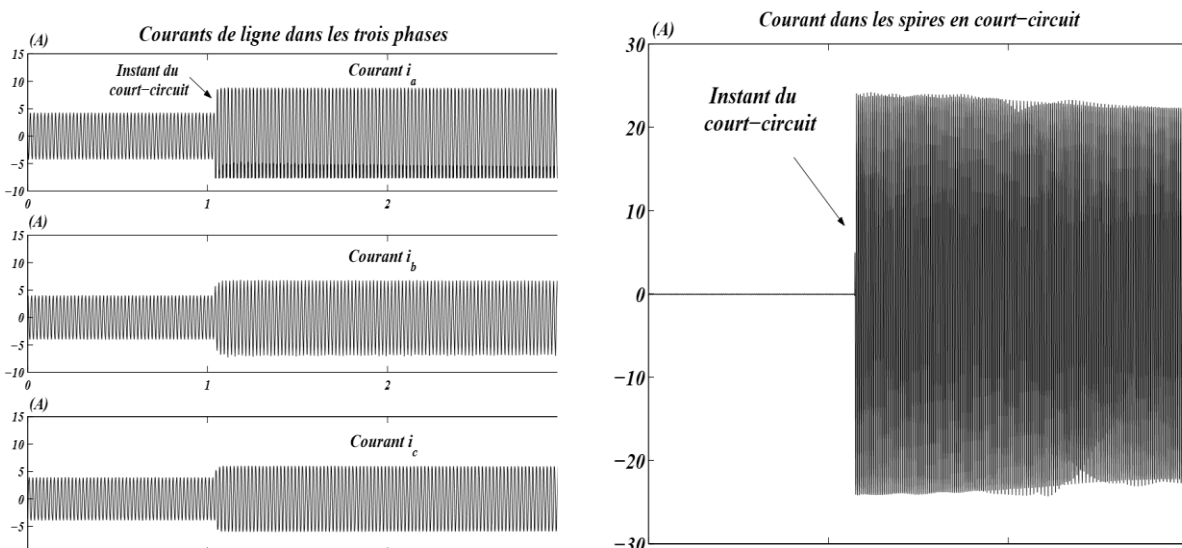


Figure IV. 9: Court-circuit de 58 spires dans la phase as

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

machine Notons que même si le défaut concerne uniquement la première phase statorique, toutes les phases sont affectées par le court-circuit.

Bien plus grave, l'observation des spires en court-circuit révèle un courant d'environ 10 fois le courant nominal de la machine. Il est évident que le et du court-circuit est destructeur en quelques secondes et se propage au reste du bobinage.

D'une façon générale, à la suite d'un court-circuit, apparaissent des vibrations et des oscillations de couple synonymes de présence de nouvelles composantes dans le couple électromagnétique, et par conséquent dans les courants statoriques. En e et, un court-circuit de spires est a l'origine d'un nouveau bobinage monophasé au stator traverse par un fort courant, il en résulte un champ magnétique additionnel dans la machine de fréquences f_s (ou f_s est la fréquence de synchronisme). Ces nouvelles composantes entraînent des harmoniques de fréquences kf_s dans les courants absorbés par la machine. [23]

L'origine des raies dues au défaut statorique dans l'analyse spectrale du courant de ligne peut s'expliquer de la manière suivante. Prenons le cas d'une machine saine a p paires de pôles, lorsque les trois bobinages statoriques sont parcourus par un système sinusoïdal équilibre de courant de pulsation $\omega_s=2\pi f_s$, il se crée alors trois excitations magnétiques stationnaires dirigées selon l'axe de chaque phase. C'est la somme de ces excitations qui crée un champ tournant. Il s'agit d'une onde sinusoïdale progressive d'amplitude constante de p périodes sur un tour complet, tournant a $s = s p$ par rapport au bobinage triphasé qui le crée. Le flux génère balaye les bobinages rotoriques, ce qui provoque la rotation de l'arbre moteur [28]. La vitesse rotorique augmente et atteint une vitesse Ω_r inférieure a la vitesse de synchronisme Ω_s , les enroulements rotoriques sont alors balayés par le flux à la vitesse de glissement

$$\Omega_s - \Omega_r = g \Omega_s. \quad \text{[IV.2]}$$

Lorsqu'un court-circuit de spires apparaît, l'application du théorème d'Ampère montre qu'il se crée en plus du champ principal, une excitation magnétique de pulsation Ω_s , due au nouveau bobinage court-circuité parcouru par un courant de court-circuit. C'est l'interaction de ce champ avec celui issu du bobinage statorique qui crée les ondulations de couple et qui induit au stator des forces magnétomotrices de fréquence $2f_s$, d'ou les courants statoriques comportant ces composantes. Ces courants circulant dans les circuits magnétiques et en présence du défaut induisent, par conséquent, des courants de fréquence $3f_s$, selon le même processus. Ainsi, des composantes aux fréquences kf_s (où k est un entier positif) se retrouvent dans les courants statoriques.

Dès lors, une analyse dans le domaine fréquentiel de ces courants par le biais de la Transformée de Fourier Rapide (FFT Software) est révélatrice d'un déséquilibre au stator. L'intérêt de l'analyse du courant statorique réside dans la simplicité du capteur utilisé. En effet, la mise en place d'un capteur de courant est des plus simples et est moins onéreuse qu'une analyse de la vitesse de rotation qui nécessite l'utilisation d'un capteur amovible pour le dépanneur.

Le diagnostic par analyse spectrale consiste donc à prélever le courant statorique, et à tracer son spectre fréquentiel. Ainsi, la détection de raies aux fréquences de défaut est une indication d'un déséquilibre présent dans la machine.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

L'apparition d'un court-circuit se manifeste dans le courant statorique par la modulation de son amplitude à la fréquence kf_s . Il en résultera sur le signal des oscillations à la fréquence du fondamental f_s , modulées par un phénomène périodique à la fréquence kf_s .

La visualisation de l'enveloppe du courant statorique permet de mettre le phénomène en évidence. Pour cela [23] a réalisé en expérimentation, un court-circuit de 58 spires puis de 118 spires sur la phase as pour une machine de 1.1 kW alimentée directement par réseau (50Hz). La figure (IV.10) illustre la densité spectrale de puissance du courant i_{sa} pour un régime sain et en court-circuit.

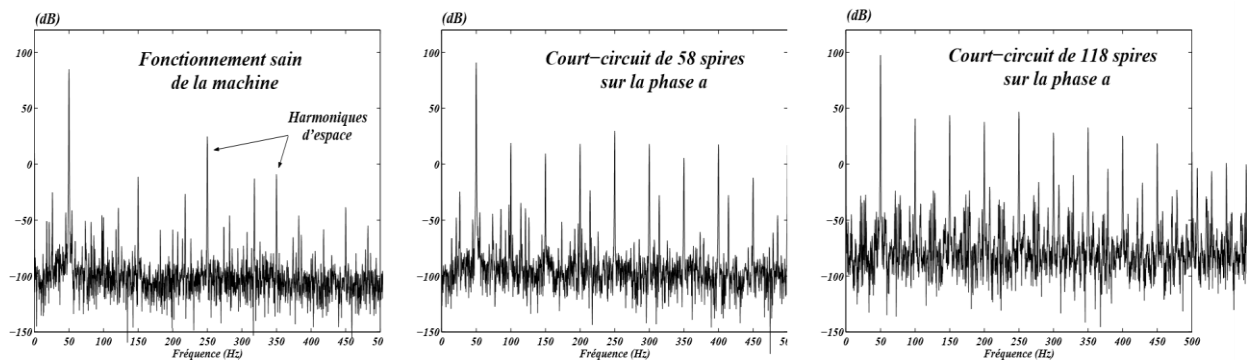


Figure IV. 10: Densité spectrale de puissance des courants de ligne ($f_s=50\text{Hz}$)

On observe aisément sur les courbes du fonctionnement en défaut des composantes de fréquences multiples du 50Hz (100, 150, 200, etc....), signature d'un déséquilibre statorique.

Même si ces raies sont franchement apparentes sur le spectre des courants, il est difficile, voire impossible, de quantifier le défaut à travers une comparaison des raies, même si leur amplitude est plus importante lorsque le défaut est plus significatif. Il est à noter que la présence des harmoniques d'espace prêle à confusion pour la quantification du défaut.[23]

IV. 3 : RESULTATS DE SIMULATION DU MOTEUR ASYNCHRONE :

Nous présentons des simulations d'une machine asynchrone pour étudier l'influence de la défaillances statorique (court-circuit des spires) sur les grandeurs courantes, vitesse et couple électromagnétique de la machine. Pour cela, un programme de simulation sera écrit sous Matlab afin de nous donner l'évolution temporelle des différents signaux pour un fonctionnement sain et en défaut.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

Notre modèle de machine sur SIMULINK est représenté comme suit :

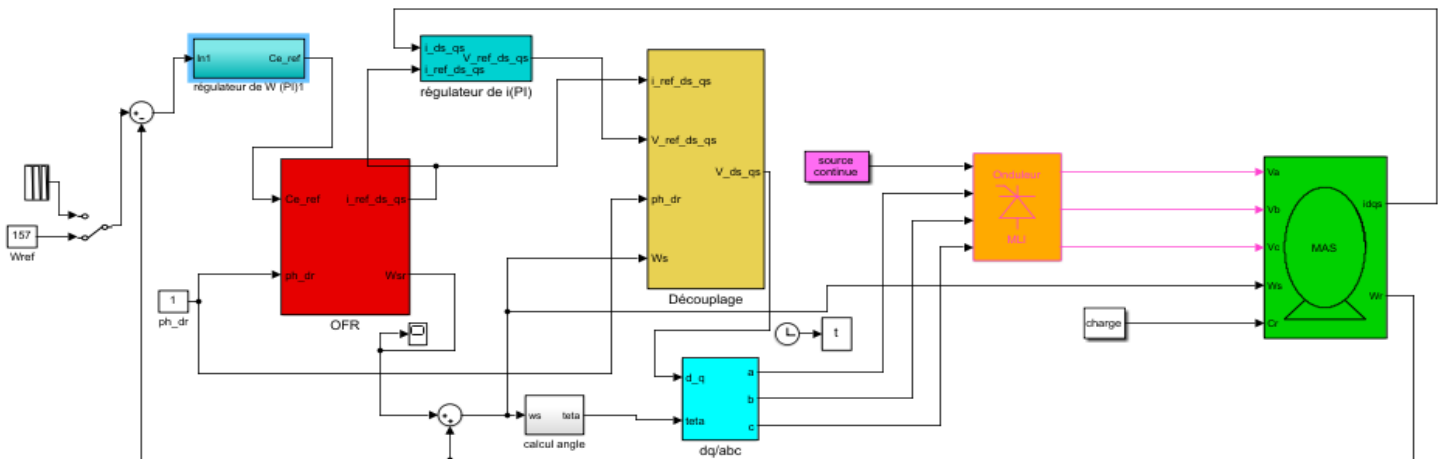


Figure IV. 11:schéma block de la simulation

Pour simuler le comportement des grandeurs électriques, magnétiques et mécaniques de la MAS, on démarre la machine à vide puis à A l'instant $t = 1.5$ sec jusqu'à $t=2.5$ sec on insère un couple de charge $Cr= 27N.m$.

Les résultats en fonctionnement sain sont représenté par la figure IV-12

IV.3.1 : Simulation du cas sain :

La (figure IV.2) représente l'évolution de, des courants statoriques triphasé (I_{sa}, I_{sb}, I_{sc}) et les courants biphasés (I_{sd}, I_{sq}), des flux (ϕ_{rd} et ϕ_{rq}), du couple, et de la vitesse.

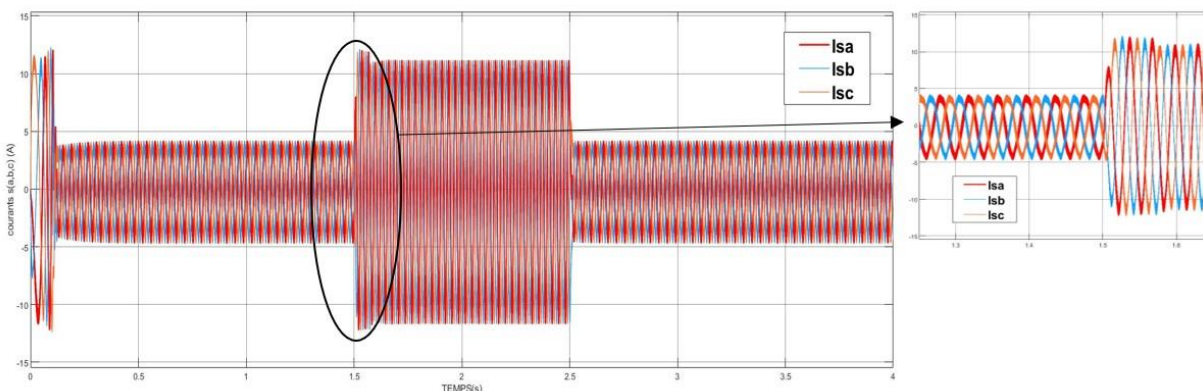


Figure IV.12- a : Les courants statoriques triphasé

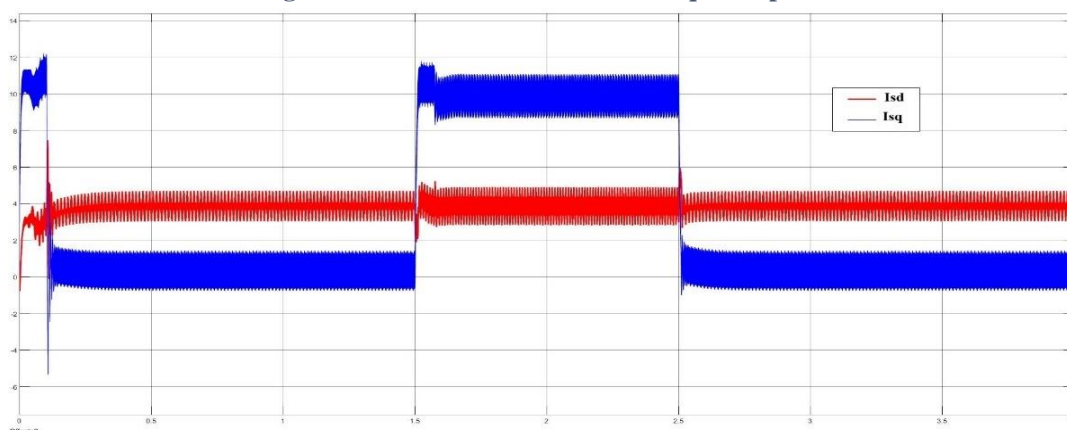


Figure IV.12- b : Les courants statoriques biphasé

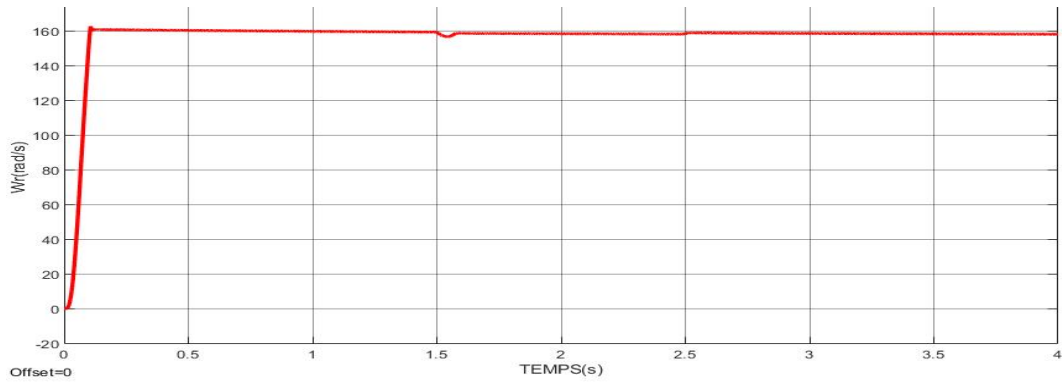


Figure IV.12-c : La vitesse

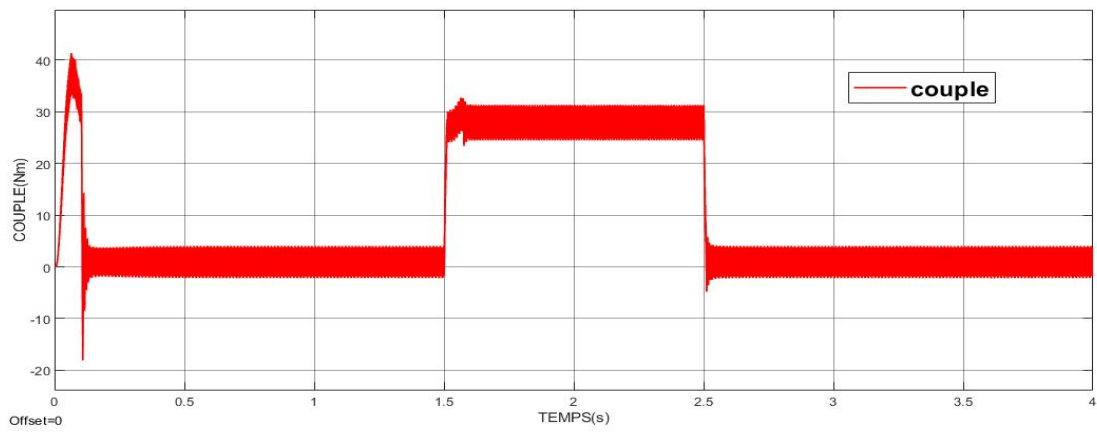


Figure IV.12- d : Le couple électromagnétique

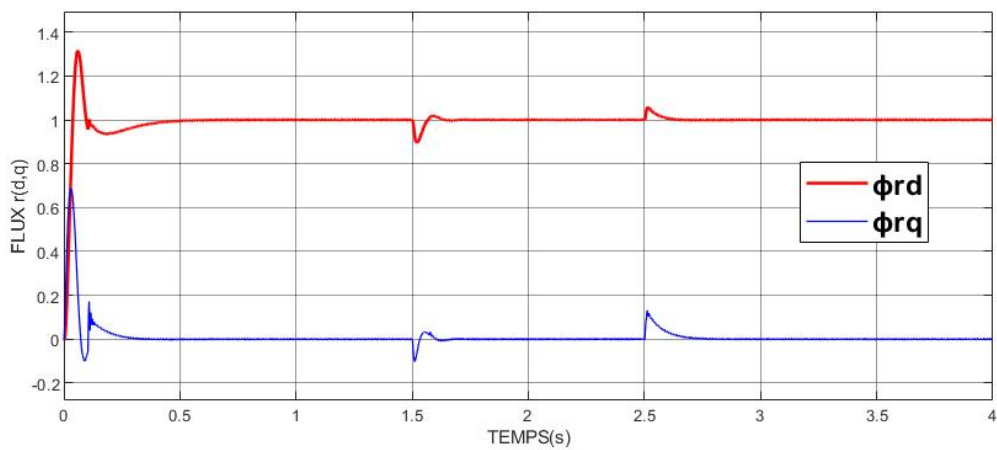


Figure IV.12-e : Les flux rotorique

Figure IV. 12: Résultats de simulation en fonctionnement sain

IV.3.2 : Simulation du cas défaut

La figure (IV-13) représente le modèle de simulation sous l'environnement Matlab/Simulink. Le démarrage s'effectue à vide sous tension nominale avec une alimentation triphasée sinusoïdale équilibrée. La simulation est effectuée pendant une durée de 4 sec de la manière suivante : À l'instant $t = 1.5$ sec la machine est soumise à un couple résistant nominal $C_r = 27$ N.m. En régime établi, on introduit à l'instant $t = 1.6$ sec un défaut de type court-circuit des spires sur la phase.a.

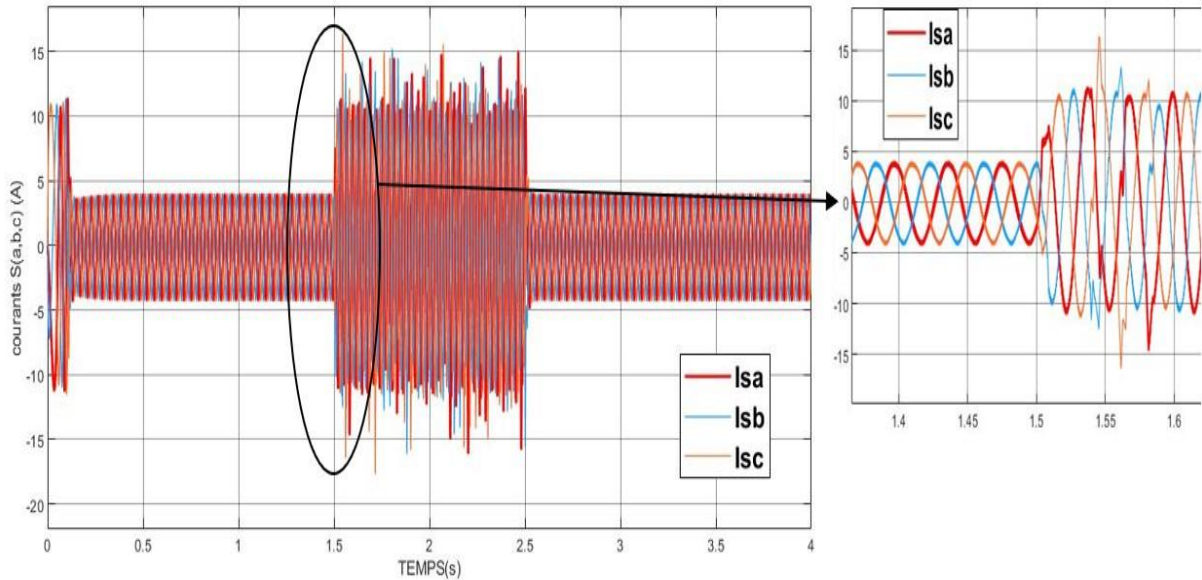


Figure IV.13-a : courants statoriques

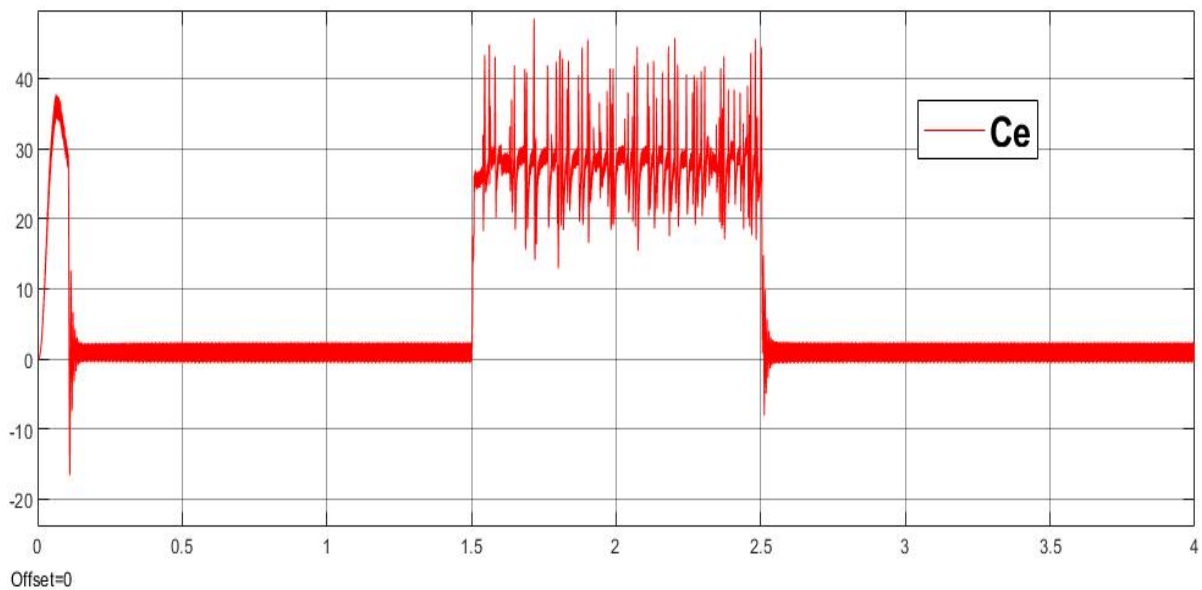


Figure IV.13-b : le couple électromagnétique

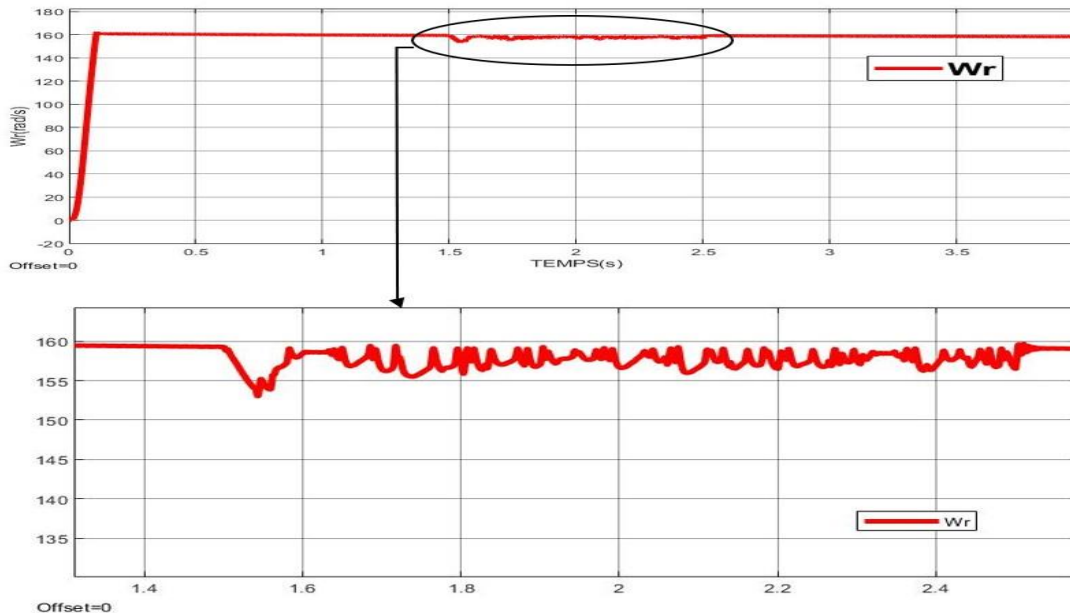


Figure IV.13-c : la vitesse de rotation

Figure IV. 13; Résultats de simulation du cas défaut

IV.3.3 : Interprétation des résultats :

IV.3.3.1 : Résultats de simulation sain :

D’après la **figure (IV-12-a)** des courants statoriques du moteur on constate que les trois courants statoriques sont bien équilibrés. En faisant un zoom sur les trois courants, nous remarquons qu’ils sont déphasés entre eux de 120° .

Les courants I_{sd} et I_{sq} sont représentés dans la **figure (IV-12-b)**, on remarque que les deux courants suivent leurs valeurs de références ; ils sont donc bien réglés et valide l’efficacité des régulateurs. Quand on varie la vitesse, cela n’influe pas sur le courant I_{sd} mais uniquement sur I_{sq} et c’est pareil lorsque nous appliquons la charge. I_{sq} est proportionnel au couple électromagnétique car ϕ_{rd} est constant.

D’après la **figure (IV-12-c)** de la vitesse, nous constatons qu’au démarrage, la vitesse augmente brusquement puis revient progressivement pour atteindre sa valeur de référence. Lorsqu’on applique la charge à $t=1.5$ s, nous remarquons, que la vitesse diminue de manière spontanée puis retrouve sa valeur de référence progressivement. Et le couple tend à la valeur du couple de charge la **figure (IV-12-d)**

Pour les flux la **figure (IV-12-e)**, ϕ_{rd} suit la consigne de 0Wb et ϕ_{rq} reste nul quelques instants après le démarrage et cela durant tout le cycle de fonctionnement.

IV.3.3.2 : Résultats de simulation du cas défaut :

La **figure (IV-13-a)** représente la comparaison des trois courants statoriques pour un défaut de court-circuit des spires dans la phase a. À $t= 1.6$ sec un déséquilibre se manifeste sous forme d’une augmentation importante du courant de la phase où s’est produit le défaut (phase.a) et d’une augmentation moins importante pour les deux autres phases (phases,b et c). Cette

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC LES DEFAILLANCES DE LA MAS

augmentation se produit suivant une permutation circulaire directe. En plus du déséquilibre du courant, nous remarquons aussi un déséquilibre au niveau des déphasages illustrés par le zoom de la figure. Ce déphasage n'est plus égal à 120° (cas de fonctionnement sain).

La figure (IV-13-b), représentant l'évolution du couple électromagnétique, révèle que lors de l'application du défaut de court-circuit des spires d'une même phase, une nouvelle interaction entre la bobine court-circuitée et le rotor s'ajoute à celle qui existe dans le régime de fonctionnement. Ainsi, les ondulations du couple électromagnétique sont à l'origine de cette interaction créée dans l'entrefer. Ces ondulations croissent avec l'augmentation du nombre de spires en court-circuit, sans que cela change la valeur de la moyenne du couple par rapport à sa valeur en régime sain. Les résultats de simulation montrent que le défaut de court-circuit au stator affecte aussi la vitesse de rotation (**figure IV-13-c**).

IV.4 : CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté le diagnostic des défaillances de la machine asynchrone cage d'écurie puis la simulation d'un défaut statorique.

Nous avons d'abord présenté dans la première partie les différents types de la maintenance industrielle et les différentes méthodes de diagnostic.

Dans la seconde partie, nous avons présenté et étudié la simulation de la machine asynchrone sans et avec un défaut statorique (court-circuit des spires).

Après une analyse de l'influence du défaut statorique sur les grandeurs de la MAS, nous avons remarqué que le courant est un signal très riche en informations sur l'état de la machine, ce qui n'est pas le cas pour la vitesse et le couple électromagnétique.

En effet, le défaut statorique se manifeste par un déséquilibre au niveau du courant, où nous constatons une augmentation du courant sur la phase où s'est produit le défaut. Le couple électromagnétique moyen délivré par la machine ne varie pas beaucoup en valeur moyenne, mais des oscillations proportionnelles au défaut apparaissent.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les machines asynchrones nécessitent une détection rapide et précoce de leurs défaillances en raison de leur utilisation fréquente dans diverses applications. Le travail présenté dans ce mémoire se concentre sur l'étude des défaillances électriques et magnétiques des machines asynchrones, en mettant l'accent sur les défauts de court-circuit au niveau des spires statoriques.

Pour aborder notre étude, nous commençons par rappeler la constitution de la machine asynchrone et son alimentation électrique, puis nous examinons l'état de l'art des défauts dans la machine asynchrone.

En deuxième lieu nous avons exposé en détail le modèle de la machine asynchrone triphasé sans et avec la défaillance (défaut statorique spécifiquement), La modélisation de la machine asynchrone est basée sur la transformation de Park, ce qui permet de simplifier les équations de la machine électrique, puis Nous avons fait la modélisation de l'onduleur de tension, commandé par MLI.

En troisième chapitres, on a parlé sur la commande vectorielle par orientation de flux rotorique du moteur asynchrone. Ce type de commande repose sur le contrôle instantané du couple et son principe consiste à rendre le fonctionnement de la machine asynchrone analogue à celui de la machine à courant continu à excitation indépendante où il existe un découplage naturel entre les contrôles du flux et du couple.

Et en fin on terminer avec le diagnostic les défaillances de moteur asynchrone, on a parler sur le procède de la maintenance, nous disposons de détails pour la maintenance préventive visant à réduire les coûts de surveillance des moteurs asynchrones.

Nous avons utilisé le logiciel MATLAB qui nous a permis de visualiser les différentes grandeurs de la machine (courant statorique, couple électromagnétique, vitesse de rotation et le couple) pour fonctionnement à l'état sain et avec défaut.

On résulte que la maintenance prédictive représente un challenge pour les ingénieurs et les chercheurs. La littérature se rapporte à une large collection des méthodes proposées pour la surveillance et l'évaluation des conditions de travail du moteur électriques. Ces différentes méthodes de diagnostic sont basées sur le sondage des différentes caractéristiques physiques : température, vibration, tensions et courant, etc. ou sur l'estimation des paramètres électrique de la machine asynchrone (résistance, inductance...).

On résulte que l'objectif d'une surveillance consiste à réduire au minimum les coûts de maintenance, les couts des pannes et les coûts de réinvestissement.

Annexe

Paramètre de la MAS :

$$L_r=0.274H;$$

$$p=550 \text{ W};$$

$$L_s=0.274H;$$

$$R_s=3.805\Omega;$$

$$R_r=4.81 \Omega;$$

$$M=0.258H;$$

$$P=2;$$

$$J=0.031 \text{ Kg.m}^2;$$

$$f_r=0.0114 \text{ nm/rd/s.};$$

$$W_s=2*\pi*50;$$

$$\pi=3.14;$$

$$f_s=50\text{Hz};$$

$$\sigma=1-(M^2/(L_s*L_r));$$

$$T_r=L_r/R_r;$$

$$T_s=L_s/R_s;$$

$$K_s=M/(\sigma*L_s*L_r);$$

$$\lambda_d=(R_s/(\sigma*L_s)+R_r*M^2/(\sigma*L_s*L_r^2));$$

$$T_n=2e-3;$$

$$T_i=1/\lambda_d; T_q=T_i; T_d=T_q; Q_r=1; K_q=(\sigma*L_s)/(2*T_n);$$

$$K_d=K_q;$$

$$K_t=(3*P*M)/(2*L_r);$$

BIBLIOGRAPHIE :

- [01] **SEGUIER Guy** « Electrotechnique industrielle »
- [02] **MAUREIN Edouard** « EUROLLES L'électricien d'usine »
- [03] **A. KASSATKINE** « EDITION MIR Electrotechnique élémentaire »
- [04] **Sofiane Mendaci.** « Différentes stratégies du contrôle direct de couple d'un moteur à Induction associée à une observateur de flux par Modes de glissement », Thèse de Magister en Electrotechnique, Université de Batna, Algérie.2003
- [05] **Taibi Djamel.** « Contrôle du Moteur à induction sans capteur de vitesse et de position », Thèse de Magister en Electrotechnique, Université de Batna, Algérie, 2005.
- [06] **Cherif, Hakima.** « Détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes ».Thèse de magister Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [07] **S. Alia** « Commande Vectorielle d'une Machine à Induction » mémoire master Commande Electrique. Université d'El-Ouad. 2018.
- [08] **F Brichant-** Agence parisienne des distributions « Électronique de puissance »
- [09] **Guy Segulier, Francis Labrique, Robert Baussiere** « Les convertisseurs de l'électronique de puissance » « Volume 4 »
- [10] **Guy Segulier- DUNOD** Electronique de puissance « Les formation de base et leurs principales application »
- [11] **H. CHEBBAT, F. GANI** « Etudes et simulation de la machine asynchrone et à double alimentation » Diplôme d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique. UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU. 2009
- [12] **ACTIONNEURS ELECTRIQUES principes modèles commande - EUROLLES-**
- [13] **Rahmouni HE, Laiche A** « Commande de La Machine Asynchrone » Mémoire de master. Université Mohamed Khider. Biskra.2020.
- [14] **MEDOUED AMMAR.** « SURVEILLANCE ET DIAGNOSTIC DES DEFAUTS DES MACHINES ELECTRIQUES : APPLICATIONS AUX MOTEURS ASYNCHRONES ». Thèse de doctorat en électrotechnique de l'université du 20 Août 1955-Skikda.2012
- [15] **HAMMOUDI, Abdellah.** « Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par les techniques d'identification ». Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie d'Oran.2018

[16] MENDAZ, KHEIRA et BOUNOUA, HOURIA. « Adaptation des commandes floues et Neuro-floue aux actionnaires asynchrones en mode dégradé : application au transport ferroviaire ». Thèse de doctorat. Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès.2015.

[17] Kerfali Samir « Contribution à la Surveillance et au Diagnostic des Défauts De la Machine Asynchrone ». Thèse de doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA. 2016.

[18] KH. MOUILAH. « Technique d'estimation de la constants de temps rotorique d'une machine asynchrone contrôlée vectoriellement » thèse de magister l'université Sidi Bel Abbas. 2009

[19] Didier, Gaëtan. « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances ». Thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-I.2004.

[20] Article de la télémécanique électrique ; direction commerciale. France

[21] PIERRE Mayé- DUNOD Moteurs électriques industriels

[22] PINARD Michel- DUNOD Commande électronique des moteurs électriques

[23] BACHIR, Smail. « Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique ». Thèse de doctorat. Poitiers. 2002.

[24] I. LOUCIF « Modélisation et commande d'une machine asynchrone » MÉMOIRE de MASTER. UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA, 2022

[25] (C. Canudas de wit, « commande des moteurs asynchrone, 1, Modélisation, control vectoriel et DTC ». Paris, Hermès Science Publication, 2000)

[26] Lamine, Nechma Mohamed. Modélisation, « Commande et Simulation d'un Moteur Asynchrone à cage ». Mémoire master. UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2019.

[27] ERBIYIK, Hikmet. Definition of Maintenance and Maintenance Types with Due Care on Preventive Maintenance. In: *Maintenance Management-Current Challenges, New Developments, and Future Directions*. IntechOpen, 2022.

[28] Kedir Khadidja « étude les défaillances électrique et magnétique des actionneurs asynchrone moyenne puissance ». Thèse de magister de l'université Sidi Bel Abbas. 2009

[29] Jean Héng- Dunod « Pratique de la maintenance préventive »

[31] YAGOUB, Ali et OTMANE, Houari. « Surveillance et diagnostic d'un moteur électrique asynchrone triphasé dans le cadre d'une maintenance conditionnelle ». Thèse de doctorat. Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.2021.

[32] ONDEL, Olivier. « Diagnostic par reconnaissance des formes : Application à un ensemble convertisseur-machine asynchrone ». Thèse de doctorat. Ecole centrale de Lyon.2006.

[33] Miloud, HARIR. « Etude des Défauts dans La Machine Asynchrone à Cage d'Ecureuil par l'Emploi de la Fonction d'Enroulement Modifiée ». Mémoire de Magister en électrotechnique université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohammed Boudiaf Oran 2009

الملخص:

تعد معرفة طرق تشخيص الأعطال في الآلات الكهربائية مجال اهتمام متزايد، وخاصة تشخيص الآلات غير المتزامنة. يتم استخدام هذه المحركات بشكل متزايد بسبب كفاءتها وقوتها ومتانتها. وبالتالي فإن صيانتها وتشخيصها تصبح تحديات اقتصادية.

يهدف البحث المقدم في هذه الأطروحة إلى فهم مكونات المحرك غير المتزامن، وإمدادات الطاقة الخاصة به، والعيوب المختلفة التي يمكن أن تحدث في أجزاء الجزء الثابت والدوار. سنقوم بمحاكاة محرك القفص السنجابي غير المتزامن ثلاثي الطور سليم ثم مع عطب الجزء الثابت.

بعد ذلك، قمنا بإجراء دراسة على مبدأ التحكم في المتجهات (غير المباشر) مع تطبيق التحكم في اتجاه التدفق الدوار الطور للحصول على فصل بين التدفق وعزم الدوران، وتم عرض نتائج الاختبار باستخدام برنامج MATLAB/Simulink . هذا لتسهيل التحكم في المحركات اللا التزامنية ثلاثية الطور.

أخيرًا تحدثنا عن تشخيص أعطال الآلة غير المتزامنة وقمنا بدراسة محاكاة الآلة سليمة والآلة التي بها عطب.

الكلمات المفتاحية: التشخيص، آلة القفص غير المتزامنة، أعطاب الجزء الثابت، تحكم الجهة.

Résumé

Connaître les méthodes de diagnostic des défauts des machines électriques est un domaine d'intérêt croissant, notamment le diagnostic des machines asynchrones. Ces moteurs sont de plus en plus utilisés en raison de leur efficacité, de leur puissance et de leur robustesse. Leur maintenance et leur diagnostic deviennent donc défis économiques.

La recherche présentée dans ce mémoire de fin d'études vise à connaître les composants du moteur asynchrone, son alimentation électrique, et les différents défauts pouvant survenir dans les pièces du stator et du rotor. Puis nous modélisons le moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil sans et avec défaut statorique.

Ensuite, nous avons fait une étude sur le principe de commande vectoriel (indirect) avec orientation du flux rotorique appliqué au MAS triphasé pour obtenir un découplage entre le flux et le couple, les résultats posttests sont présentés à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink.

Tout ça pour faciliter de contrôler notre machine.

En fin on a parlé sur diagnostic des défaillances de la machine asynchrone et on a étudié les simulations de la machine sain et avec défauts.

Mots clés : Diagnostic, machine asynchrone à cage d'écureuil, défauts statoriques, commande vectorielle, défaillance, MAS