

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 غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهر وميكانيك

Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

***Détection des défauts dans
l'association convertisseur-MAS***

Présenté par :

Mustapha djaidir

Mabkhout djaidir

Issam eddine chenini

Soutenue le 11/06/2022

Devant le jury composé de :

Sadouni Radhwane	Grade MCA	Université de Ghardaia	Président
Moussa Oussama	Grade MAB	Université de Ghardaia	Encadrant
Khliefi Rezki	Grade MRA	URAER	Examineur

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Au nom de Dieu et que la prière et la paix soient sur le Messager d'Allah

Je remercie Dieu Tout-Puissant pour le succès et le paiement et

Sa gratitude pour nous avoir facilité toutes les

raisons de remplir ce mémorandum.

Tout d'abord, je voudrais exprimer toute ma gratitude à M. Oussama

Moussa pour ses conseils et son soutien dans l'accomplissement de

ce travail.

Je tiens également à le remercier pour son aide précieuse, ses conseils

et ses connaissances qu'il a su partager avec moi.

Il m'est difficile d'exprimer en quelques mots toute l'admiration

que j'ai pour lui.

Un grand merci à tous les professeurs qui ont contribué à

ma formation sans exception.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation

de ce travail.

Enfin, je remercie également toute ma famille, mes amis

et mes compagnons.

Dédicaces

Ce mémoire est consacrée à :

Le bien d'Allah, mon Créateur et mon Maître.

*Mes parents, qui ne cessent de se donner d'innombrables
façons. Mes frères et surs pour leur soutien à chaque étape du
chemin.*

Mes amis qui m'encouragent et me soutiennent.

*Toutes les personnes dans ma vie qui touchent mon
cœur, je dédie cette recherche.*

Mustapha Djaidir

Résumé

Dans cette étude, les défauts électriques du moteur asynchrone triphasé connecté à l'onduleur ont été présentés. D'abord, le moteur asynchrone et l'onduleur et les défauts possibles ont été présentés.

Nous nous intéressons à notre sujet sur les défauts de l'onduleur de type (circuit ouvert) pour l'interrupteur et le diagnostic des défauts basé sur l'analyse des signatures de la trajectoire du vecteur courant dans le référentiel stationnaire.

Mots-clés : Diagnostic, machine à induction, convertisseur, MLI, défaut interrupteur

Abstract

In this study, the electrical faults of the three-phase asynchronous motor connected to the inverter were presented. First, the asynchronous motor, the inverter, and the possible faults were presented. We are interested in our subject on the faults of the type inverter (open circuit) for the switch and the diagnosis of the faults based on the analysis of the signatures of the trajectory of the current vector in the stationary reference frame.

Keywords: Diagnosis, induction machine, converter, PWM, Switch open fault.

الملخص

في هذه الدراسة، تم عرض الأعطال الكهربائية للمحرك غير التزامني ثلاثي الطور المتصل بالعاكس. أولاً، تم عرض المحرك غير التزامن والعاكس والأعطال المحتملة. نحن مهتمون بموضوعنا حول أخطاء العاكس من نوع (الدائرة المفتوحة) للمفتاح وتشخيص الأعطال بناءً على تحليل توقيع مسار المتجه الحالي في الإطار المرجعي الثابت.

الكلمات المفتاحية: تشخيص، الآلة غير متزامنة، الموج، عطب القاطعة

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	i
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	xii
Abréviations et symboles	xiii
Introduction générale	1
L'Etat De L'art	1
1.1 Introduction	4
1.2 Présentation du système étudié	4
1.2.1 Constitution de la machine	5
1.2.1.1 Le stator	5
1.2.1.2 le rotor à cage :	6
1.2.1.3 Organes mécanique :	6
1.2.2 Onduleur :	6
1.3 différents défaut dans association machine asynchrones convertisseur :	7
1.3.1 Défaillances dans la MI :	7
1.3.2 Défauts rotoriques :	8
1.3.3 Défauts statoriques	9
1.3.3.1 A. Court-circuit phase-bâti	10
1.3.3.2 B. Défauts d'isolant dans un enroulement	10
1.3.3.3 Court-circuit entre phases-bât	10
1.3.4 Défaillance dans un convertisseur de puissance	11
1.3.4.1 Défaillance du condensateur	11
1.3.4.2 Défaillance des diodes classiques	12
1.3.4.3 Défaillance d'interrupteur statique IIGBT	12
1.3.4.3.1 Court-circuit	12
1.3.4.3.2 Circuit ouvert	13
1.4 Conclusion	13
2 Modélisation de l'ensemble convertisseur-machine à induction en présence des défauts	

2.1	Introduction	15
2.2	Modélisation de la machine asynchrone	15
2.2.1	Hypothèse simplificatrices :	15
2.2.2	Représentation de la MAS dans le plan triphasé abc	15
2.2.3	Équations générales de la machine asynchrone triphasée :	16
2.2.3.1	Les équations électriques	16
2.2.3.2	Equations magnétiques	16
2.2.3.3	L'équation mécanique.....	17
2.3	Transformation de Park :	18
2.3.1	Choix de référentiel	19
2.3.2	Forme générale des équations transformées	20
2.4	Modélisation de l'onduleur de tension.....	20
2.4.1	Commande à modulation de largeurs d'impulsions (MLI sinusoïdale)	22
2.5	Résultats de la simulation.....	25
2.5.1	Machine alimentée par onduleur de tensions à deux niveaux	25
2.5.2	Machine-onduleur avec défaut.....	27
2.5.3	Conclusion.....	32
3	Diagnostic de défauts de convertisseurs statiques par l'analyse de la trajectoire du vecteur courant	
3.1	Introduction.....	34
3.2	Diagnostic de défauts des convertisseurs statiques par l'analyse de la trajectoire du vecteur courant instantané (contour de Park).....	34
3.2.1	Principe.....	34
3.2.2	Diagnostic de défauts par l'analyse de la pente de la trajectoire du vecteur courant	35
3.2.2.1	Application au diagnostic de défauts, d'ouverture des transistors, dans un onduleur de tension triphasé	35
3.2.2.2	Les signatures typiques des défauts d'ouverture des six transistors de l'onduleur	37
3.2.2.3	Synthèse du diagnostic de défauts d'ouverture dans un onduleur de tension	38
3.2.3	Résultats de simulation.....	39
3.2.3.1	Cas sain (Sans Défaut) :	39
3.2.4	Diagnostic du défaut d'ouverture du transistor d'un bras de l'onduleur	41
3.2.4.1	Génération du défaut ouverture sur le circuit.....	43
3.2.4.2	Résultats de simulation du circuit de Puissance en défaut	47
3.3	Conclusion.....	49
	Conclusion générale	50

Bibliographie

Table des figures

1.1	présentation du système étudié.....	4
1.2	Stator d'une machine asynchrone	5
1.3	schématique du rotor à cage d'écurueil.	6
1.4	Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC AC).	7
1.5	Classification des défauts selon leurs origines.....	8
1.6	Schéma équivalent d'un condensateur réel.....	11
2.1	Représentation d'axes de MAS	16
2.2	Transformation de Park appliquée à la machine asynchrone.	18
2.3	schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux.	21
2.4	principe de la commande par hystérésis.	23
2.5	Porteuse et les trois références.....	24
2.6	Commande des interrupteurs par hystérésis à bande fixe.	24
2.7	les signaux de sortie de la MLI.....	25
2.8	Grandeurs électriques et mécanique de la machine saine alimentée par un Onduleur à MLI.....	26
2.9	Figure II .9 Grandeurs électriques et mécanique de la machine pour un défaut l'interrupteur T1.....	28
2.9	Les courants statoriques pour un défaut l'interrupteur T : (A) défaut T2 (B) défaut T3 (après défaut).....	29
2.10	Grandeurs électriques et mécanique défauts deux d'interrupteurs Tr1 et Tr6.	30
2.11	Grandeurs électriques et mécanique de la machine pour un défaut deux d'interrupteurs Tr1 et Tr6.....	31
3.1	Les déferents référentiels	34
3.2	Les composantes du vecteur courant.....	35
3.3	Structure topologique de l'onduleur de tension.....	36
3.4	localisation du transistor en défaut de la phase (a).	36
3.5	localisation du transistor en défauts de la phase (b).	37
3.6	Localisation du transistor en défaut de la phase (c).	37
3.7	Les trajectoires en mode de défaut d'ouverture de T1, T2, T3 ; T4, T5, T6..	38
3.8	les courants statoriques.....	40

3.9	Les tensions de sortie de l'onduleur : (a) tension composée - (b) tension simple	40
3.10	Le Couple électromagnétique	41
3.11	la vitesse de rotation.....	41
3.12	Les courant (α, β).....	41
3.13	Contour de Park (cas sain).....	41
3.14	Onduleur en défaut et système de diagnostic.....	42
3.15	Les tensions de sortie de l'onduleur en défaut : (a) tension composée - (b) tension simple.	43
3.16	Les courants statoriques (après défaut).....	43
3.17	Courant de la phase en défaut	44
3.18	Indicateur du bras en défaut (SBb=1).....	44
3.19	Courant de la phase (b) avant et après défaut.	45
3.20	Indicateur du signe du courant de la phase (b), avant et après défaut (Sib=0).....	45
3.21	les composants du vecteur courant (après défaut).	45
3.22	Trajectoire du vecteur courant avant et après défaut	45
3.23	Trajectoire du vecteur courant avec un défaut au démarrage	46
3.24	Couple électromagnétique.....	46
3.25	Vitesse de rotation	46
3.26	Les signatures des défauts d'ouverture des différents transistors de l'onduleur de tension.....	48

Liste des tableaux

3.1	Tableau récapitulatif	39
-----	-----------------------------	----

Liste des symboles

AC :	Courant Alternatif
MLI :	(Modulation en Largeur d'impulsions)
MAS :	Machine Asynchrone.
DC :	courant continue
$C - O$:	Courant Overt
$IGBT$:	Insulated Gate Bipolar Transistor.
C_i :	capacité idéale anode-cathode, l'élément principal du condensateur
R_p :	résistance parallèle représentant les pertes diélectriques et les fuites entre les deux électrodes.
R_{se} :	résistance série des connexions et des armatures
L_{se} :	inductance équivalente série des connexions et des enroulements. Elle dépend de la technologie de fabrication
$R_s R_r$:	Les résistances par phase respectivement du stator, et du rotor.
$[L_s]$:	Matrice d'inductance statorique
$[L_r]$:	Matrice d'inductance rotorique
$[M_{sr}]$:	Matrice de d'inductance mutuelle statorique
$[M_{rs}]$:	Matrice d'inductance mutuelle rotorique.
$L_{c_{s,r}}$:	Inductance cyclique propre du rotor et stator
$M_{r(s)}$:	Inductance mutuelle entre deux phases rotoriques (statoriques)
M_{rs} :	Inductance mutuelle entre une phase rotor et une phase du stator
M :	représente la valeur maximale de l'inductance mutuelle entre en bobine statorique et une bobine rotorique lorsque les deux axes (A et a) se coïncident
θ :	Angle qui définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases $\acute{n} A \acute{z}$ et $\acute{n} a \acute{z}$ pris comme axes des références
J_i :	représente le moment d'inertie de la machine
Ω :	vitesse rotorique
C_e :	son couple électromagnétique
f_v :	Son frottement visqueux
C_r :	son couple de charge

I_α et I_β : sont les composantes du vecteur courant

(k) et $(k - 1)$: sont l'instant actuel de calcul et l'instant d'avant.

Introduction générale

Le développement du diagnostic des machines électriques à l'ère de la renaissance industrielle afin d'avertir les utilisateurs des risques pouvant apparaître à un certain point du système afin d'obtenir une production sûre et accrue, cela est nécessaire pour certaines applications [5]. La sécurité de ces équipements et des personnes est primordiale, et parce qu'aucun système, simple ou complexe, n'est à l'abri d'une panne, il faut diagnostiquer les systèmes pour qu'ils soient toujours plus performants [8]. Une bonne fiabilité du système permet de réduire les coûts et d'augmenter l'efficacité. Les machines asynchrones sont les machines les plus utilisées dans les applications industrielles. La réflexion générale en termes de sécurité de fonctionnement semblait s'orienter vers le diagnostic des machines asynchrones. Les machines asynchrones sont les plus utilisées pour assurer la variation de vitesse des machines industrielles car elles ont l'avantage d'être robustes et peu coûteuses, et le but du diagnostic est de détecter les débuts de panne. [2].

L'utilisation de plus en plus répandue des actionneurs électriques commandés par l'appareillage électronique. L'électronique de semi-conducteur et de conversion de puissance s'est développée ces dernières années, en particulier convertisseur électronique-machine asynchrone grâce à sa simplicité et sa puissance. Il est largement utilisé dans la plupart des applications électromécaniques, en particulier les applications à vitesse variable. Les progrès de l'électronique ont rendu possible la puissance associée aux commandes modernes pour travailler sur des applications à vitesse variable plus efficaces[13].

Dans ce travail, nous voulons connaître les problèmes de détection et de localisation de certains dysfonctionnements du convertisseur avec une grande précision, en particulier le dysfonctionnement d'ouverture de l'interrupteur de puissance et le défaut de court-circuit. Pour détecter les défauts, nous utilisons une méthode basée sur la génération de déchets pour détecter les défauts dans l'interrupteur de puissance.

Pour cela le mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de nouvelles ressources technologiques dans la détection des défauts dans le convertisseur de liaison - la machine asynchrone. Dans la première partie, nous présentons les éléments de base de la machine asynchrone, et dans

La deuxième partie, nous vous commençons à introduire les composants de puissance d'un convertisseur, les défaillances et leurs causes et les conséquences.

le deuxième chapitre, est consacré à la modélisation et à la simulation du couplage d'un machine asynchrone-onduleur Ainsi que l'alimentation de la machine à travers un onduleur de tension commandé par la technique MLI sinusoïdal. des résultats de simulation sont présentées à l'état sain et avec défaut au niveau des interrupteurs.

Enfin, dans Le troisième chapitre, on présente la détection des défauts d'un convertisseur. La détection de défauts est basée sur l'analyse des signatures de la trajectoire du vecteur courant, dans le référentiel stationnaire.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

L'Etat De L'art

I.1 Introduction

La machine asynchrone est au cœur de toute dynamique qu'elle soit électrique ou mécanique. Elle est actuellement la plus utilisée pour les applications nécessitant la variation de la vitesse, Ces derniers présentent de nombreux avantages tels que sa puissance massique avantageuse, sa Robustesse, sa facilité de mise en œuvre, et son faible cout, sa construction simple, Ainsi, ils sont employés couramment dans l'industrie.

Malgré ces caractéristiques qui distinguent la machine, dans le système étudié, des défauts peuvent parfois apparaître au niveau des composants de la machine, qu'ils soient mécaniques ou électriques, pouvant affecter ses différents organes, ainsi que des défauts liés à l'onduleur (défauts dans une composante de puissance IGBT, Diode), donc perte de contrôle.

Dans ce chapitre, nous aborderons les composants de base d'une machine asynchrone et la définition d'un onduleur, et les défauts susceptible de se produire.

I.2 Présentation du système étudié

La vitesse de rotation de la machine asynchrone est directement liée à la fréquence statorique f_s (fréquence de la tension d'alimentation du moteur) et à la fréquence des courants tournants (donc de la charge). Ainsi, convertisseur statique est réglable en amplitude, fréquence tension d'alimentation, permettant de modifier la vitesse du moteur. [1]

Le schéma figure (I.1), présente la structure générale qui permet de réaliser le processus avec variation de vitesse

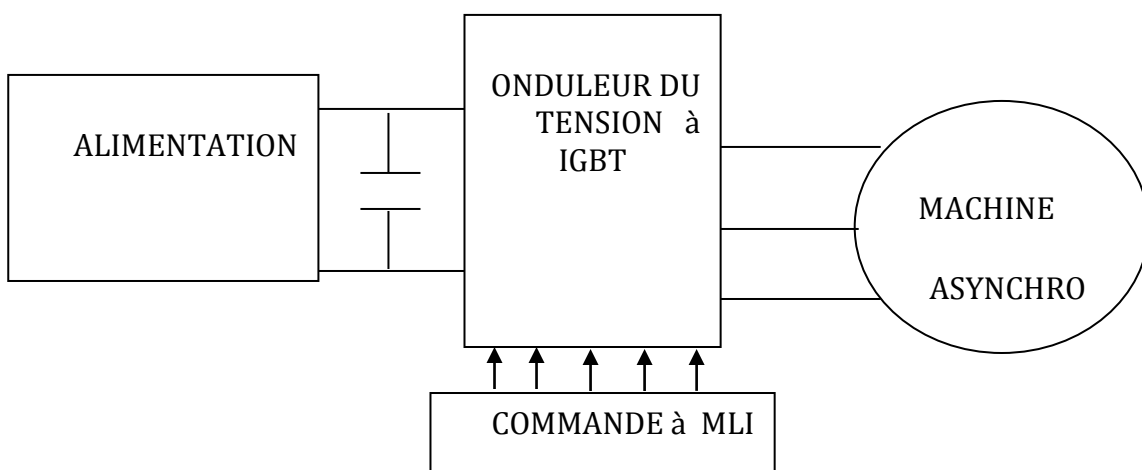


Figure I.1 : présentation du système étudié

I.2.1 Constitution de la machine

Les machines asynchrones sont constituées de plusieurs composants, dont les plus importants sont deux parties stator et rotor séparées par une fine épaisseur d'air.

- le stator est la partie fixe, constitué de disques en tôles magnétiques portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.
- le rotor est la partie tournante, constituée de disques en tôles magnétiques empilés sur l'arbre de la machine porté sur des enroulements
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles. [2]

I.2.1.1 Le stator

C'est un corps cylindrique, qui est empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine, permettent le passage des conducteurs qui constituent l'enroulement statorique (**figure I.2**). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties:

- les conducteurs d'encoches Lorsqu'un courant électrique traverse les conducteurs, permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique.
- Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique. [3]

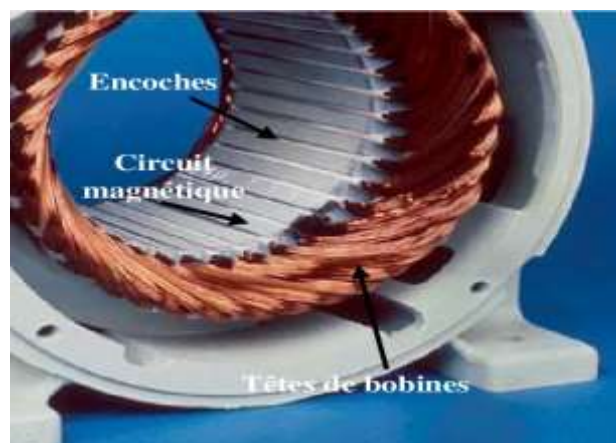


Figure I.2: stator d'une machine asynchrone.

I.2.1.2 Le rotor à cage

Le rotor à cage est constitué de conducteurs en cuivre ou en aluminium logés dans des encoches rotoriques. Les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettés dans les tôles du rotor, Ces barres sont reliées entre elles de chaque côté par anneau de court-circuit figure (I.3), et constituent le circuit du rotor les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotoriques) à l'autre

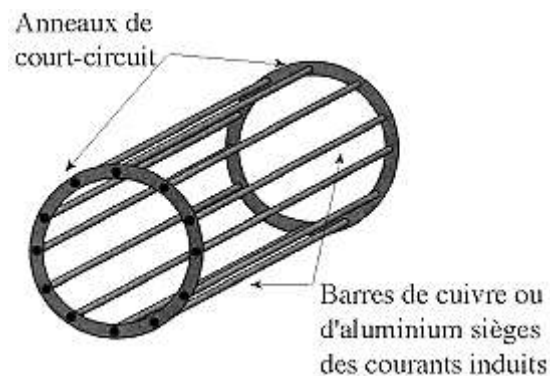


Figure I.3 : schématique du rotor à cage d'écureuil

I.2.1.3 Organes mécanique

Le corps de la machine asynchrone est l'un des éléments importants dans l'assemblage des pièces de la machine, en plus de son rôle de protection contre les éléments l'environnement extérieur.

L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forge.

Paliers : Il existe deux paliers, ces paliers supportent l'arbre et assurent une rotation libre. Un installé et l'autre est libre pour assurer la dilatation thermique de l'arbre.

Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance. [3]

I.2.2 Onduleur

Les onduleurs sont des convertisseurs statique assurant la conversion continu-alternatif. Par une séquence adéquate de commande des semi-conducteurs de puissance (interrupteurs électroniques).

Ce sont également des appareils électroniques permettant de générer une tension et des courants alternatifs de valeur moyenne nulle. Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace (Figure I. 4) représente schéma de principe de l'onduleur [4]

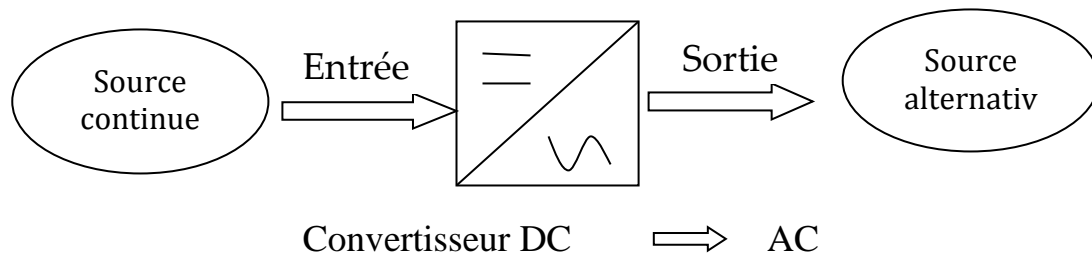


Figure I. 4 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)

I.3 Différents défauts dans association machine asynchrone convertisseur

1.3.1 Défaillances dans la MI

Bien que la machine asynchrone à confinement d'écureuil est robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts, qui peuvent être soit d'origine électrique, ou mécanique. Cependant, les contraintes de différentes qualités auxquelles ces machines sont sollicitées, sont les principales causes des défauts structurels et fonctionnels qui selon leur nature, peuvent endommager totalement la machine et causer inévitablement l'arrêt du processus, donc une perte conséquente de la création. [8]

❖ Défauts d'origine électrique

Les défauts d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine. Ils ont deux catégories bien distinctes. Il y a ceux qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et d'autres au rotor.

❖ Défauts d'origine mécanique

Généralement les défauts d'origines mécaniques sont l'in addition to rencontrés parmi les défauts que compte la machine asynchrone. Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques et/ou de l'arbre moteur asynchrone. Dans cette partie, nous avons choisi de décrire les méthodes les in additions to couramment utilisées pour le symptomatique des défauts électriques ou mécaniques en précisant leurs avantages et leurs inconvénients. [9]

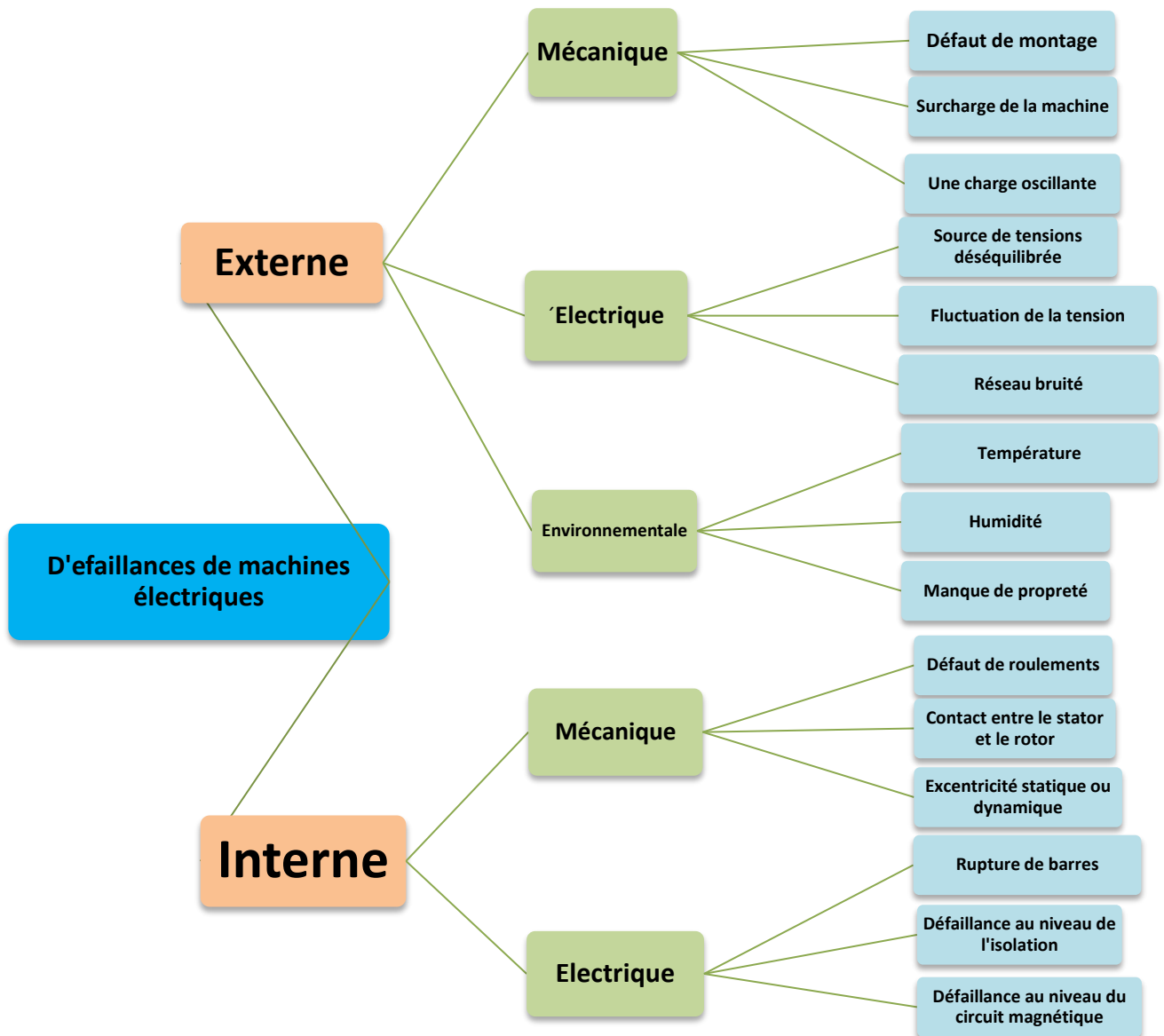


Figure 1.5. Classification des défauts selon leurs origines

1.3.1.1 Défauts rotoriques

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suite :

- ❖ Défauts d'excentricité ;
- ❖ Défauts de cassure de barre ;
- ❖ Défauts de rupture des anneaux.

A. Défauts d'excentricité

La variance d'épaisseur de l'entrefer entraîne des variations dans man hunter densité du flux d'entrefer. Les enroulements statoriques sont électriquement modifiés, ce qui entraîne des effets dans le spectre des courants .Il existent trois formes d'excentricité :

Excentricité statique : déformation du corps du stator, positionnement incorrecte du rotor.

Excentricité dynamique : le centre du rotor n'est plus confondu avec le centre de rotation.

Excentricité mixte : L'apparition des deux types d'excentricité au même temps L'excentricité dans la machine à induction augmente l'apparition des composantes additionnelles dans le spectre du courant, leurs fréquences sont données par des composantes fréquentielles suivantes [10] : $f_{exc} = fs \cdot [1 \pm k \cdot (1-g)]$ Avec $k=1, 2, 3$

B. Défauts de cassure de barre

La casse de l'arbre d'une machine asynchrone est le défaut le plus courant étudié en laboratoire. Ce défaut provoque des modifications des courants constants et conduit ainsi à une vision floue des harmoniques caractéristiques dans l'apparition de ce signal. En fait, quand j'imagine casser une barre. Des harmoniques de motion sont produits et induisent des harmoniques dans les courants des enroulements statoriques aux fréquences.

$$f_{cb} = (1 \pm 2kg) \cdot f_s$$

f_{cb} : La fréquence supplémentaire dans le courant d'une phase statorique à cause de cassure de barre.

g : Le glissement, $k=1,2,3...$ De plus les amplitudes des raies dans ces bandes latérales du fondamental augmentent avec le nombre de barres défectueuses.

C. Défauts de rupture des anneaux

La fissure de segment d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces éclats sont prélevés soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux.

Ces segments d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants in addition to importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une over charge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure. La burst d'un segment d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de régulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué standard la cassure de barres.

1.3.1.2 Défauts statoriques

Pour le stator, les défaillances sont principalement contribution à un problème thermique (over charge), électrique (diélectrique), mécanique (bobinage,) et environnemental (agression,... etc) Les défauts qui sont les in additions to récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit :

A. Court-circuit phase-bâti

Le bâti a, généralement, un potentiel flottant. Mais, pour des raisons de contacts 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.

Défauts standard, En termes de sécurité personnelle, ce type de défaut peut être très dangereux. Il faut alors préparer les dispositifs de verrouillage (disjoncteurs résiduels). En présence de ce type de défaillance, la contrainte de la phase respective ne change pas.

Cependant, le courant circulant dans ce stage augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette incrémente du courant se traduit standard une expansion de la température pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. D'also, 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 [11].

B. Défauts 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 standard une incrémente de la température des différents constituants du moteur. Ou encore, les matériaux d'isolation ont une limite thermique, électrique et mécanique. De ce fait, si l'environnement de struggle 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 création
- Pressure de l'enroulement supérieur 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 over charge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- Vieillessement naturel des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de compète limitée. Même dans une use 'normale', l'isolant finit naturellement standard se dégrader.
- Fonctionnement dans un environnement severe. [12]

C. Court-circuit entre phases-bât

Ce type de défaillance peut arriver en promoteur point du bobinage. Cependant, les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique server difficile une examine 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 combinaison des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction standard les assurances. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre 2 phases engendre un déséquilibre sans provoquer la combinaison des conducteurs.

Les courants statoriques sont, entièrement, irréguliers. Cette coutume est divisée au défaut qui apparaît. Les indécis pour les arcs-boutants ainsi que pendant les anneaux sont augmentés lorsque de l'détonateur de ce pénurie. La détection de ce imaginaire de distraction peut décontracter sur la psychose des globaux de phases [11].

1.3.2 Défaillance dans un convertisseur de puissance

1.3.2.1 Défaillance du condensateur

Dans les applications courantes lors de l'étude, les condensateurs sont les composants qui causent le plus de problèmes. Une augmentation du taux d'ondulation de la tension de sortie du filtre et une augmentation de la chaleur par rapport à la capacité sont observées.

La température est également un facteur aggravant de l'état du condensateur et affecte sa capacité. Pour chaque condensateur, une plage de température de fonctionnement est définie la panne se produit en cas d'échauffement excessif si elle dépasse la limite thermique du condensateur.

Enfin, le condensateur peut se retrouver en court -circuit lorsqu'une défaillance apparait sur un bras (un bras est une cellule de commutation constituée de deux interrupteurs) [5]

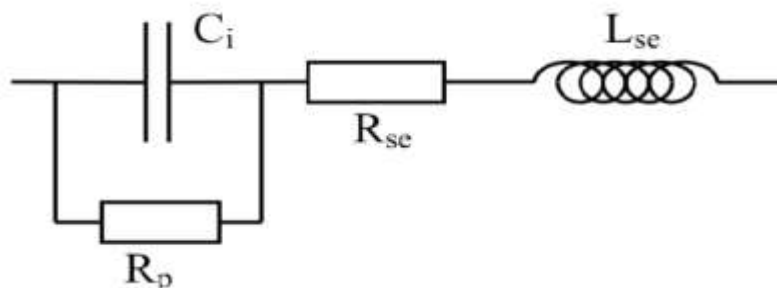


Figure I.6 Schéma équivalent d'un condensateur réel.

C_i : Capacité idéale anode-cathode, l'élément principal du condensateur.

R_p : Résistance parallèle représentant les pertes diélectriques et les fuites entre les deux

électrodes.

R_{se} : Résistance série des connexions et des armatures.

L_{se} : Inductance équivalente série des connexions et des enroulements. Elle dépend de la technologie de fabrication.

I.3.2.2 Défaillance des diodes classiques

Pour les diodes classiques, l'analyse est plus complexe car il existe plusieurs modes de défaillance possibles. Toutefois, seul le vieillissement, qui est la défaillance la plus importante, sera présenté ici.

Les diodes peuvent vieillir de plusieurs façons. Il peut y avoir un problème sur la puce de silicium, un problème sur le boîtier qui n'est plus ou pas hermétique. Un indicateur de l'état de la diode est l'impédance thermique Z_{th} qui devra être la plus petite possible. Elle est définie par la relation suivante :

$$Z_{th} = \frac{(T_{\text{jonction}}^{\circ} - T_{\text{Boitier}})}{P}$$

P: Puissance dissipée dans la diode en Watt ;

Les coefficients de dilatation des différents matériaux de la diode étant différents, des craquelures peuvent apparaître.

La dissipation thermique est alors de moins en moins bonne et l'impédance thermique va augmenter (se dégrader).

La défaillance apparaît ainsi en fin de vie du composant, pendant la période dite 'd'usure'.

Ce problème est un problème que l'on retrouve dans la plupart des semi-conducteurs de puissance. [6]

I.3.2.3 Défaillance d'interrupteur statique l'IGBT

❖ Court-circuit

Le défaut de type court-circuit se produit lorsqu'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium (IGBT ou diode) par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée.

Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable au convertisseur et nécessiterait la mise en œuvre de sécurité permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance.

Dans ce cas, les courants de phases sont fortement altérés [7].

❖ Circuit ouvert

L'une des cellules IGBT de la cellule de commutation du bras reste ouverte en permanence, cette erreur est principalement causée par une défaillance de la commande rapprochée. Selon la localisation du défaut dans la cellule, il sera visible soit sur le courant alternatif positif (erreur IGBT supérieure), soit sur l'alternatif négatif (erreur IGBT inférieure).

Lorsque l'erreur est visible, la signature se forme avec le passage du rapport cyclique α à 0 ou à 1, mais uniquement sur la cellule défaillante. Il en résulte que la cellule défaillante se retrouve alors en surtension et l'arrêt du transformateur est obligatoire pour éviter la propagation du défaut [7].

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un rappel sur les composants de la machine asynchrone, ainsi que le rôle des convertisseurs dans le circuit, En plus des principales défaillances qui peuvent survenir dans différentes parties du l'association convertisseur-machine pendant le fonctionnement

**Modélisation de l'ensemble
convertisseur-machine à induction en
présence des défauts**

II.1 Introduction

La machine asynchrone est puissante, peu coûteuse et simple à construire. Cependant, cette simplicité s'accompagne d'une grande complexité physique liée aux interactions électromagnétiques entre le stator et le rotor.

La modélisation des machines électriques est une étape essentielle pour la détection et la surveillance des défauts. C'est un apport précieux dans le domaine de l'étude des défauts, elle permet de prédire le comportement de différentes conditions de fonctionnement.

Ce chapitre est consacré à la modélisation et à la simulation du couplage d'un moteur asynchrone onduleur.

II.2 Modélisation de la machine asynchrone

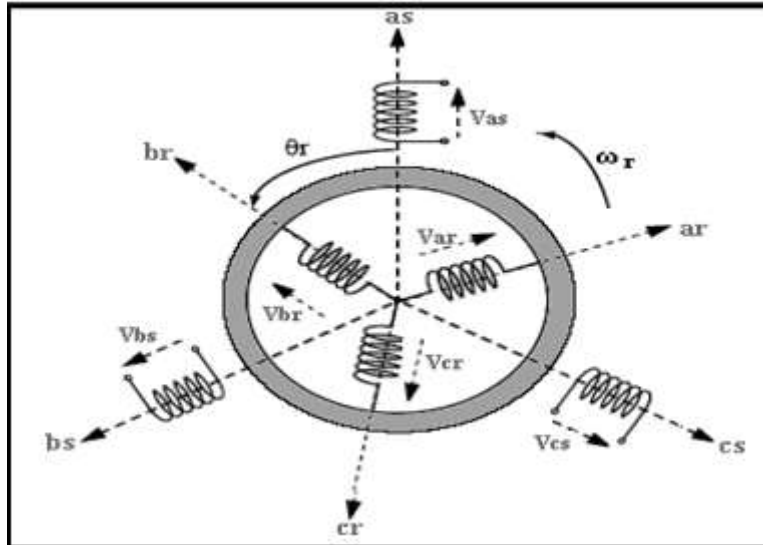
II.2.1 Hypothèse simplificatrices :

La modélisation de la machine asynchrone s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses Simplificatrices, qui sont :

- Les circuits magnétiques sont symétriques ;
- La répartition de l'induction dans l'entrefer est sinusoïdale ;
- L'entrefer est constant ;
- On néglige les phénomènes de saturation, ce qui permet de considérer le flux magnétique comme fonction linéaire des courants ;
- L'effet de l'encochage est négligeable ;
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

II.2.2 Représentation de la MAS dans le plan triphasé abc : [18], [16]

Soit une machine asynchrone triphasée au stator et au rotor représentée schématiquement par la figure I.2 et dont les phases sont repérées respectivement par S_a, S_b, S_c . L'angle électrique θ variable en fonction du temps définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases SA et Ra choisis comme axes de référence.



Figure(II.1) : Représentation des axes de MAS

II.2.3 Équations générales de la machine asynchrone triphasée :

Un moteur à induction triphasé est composé de deux parties, une partie fixe et une partie mobile, et il existe donc trois types d'équations qui traduisent le comportement de la machine sont

- ❖ Les équations électriques ;
- ❖ Les équations magnétiques ;
- ❖ L'équation mécanique.

II.2.3.1 Les équations électriques

Utilisation de la loi de Faraday, on peut écrire les deux équations de tension statoriques et rotoriques comme suit :

$$v = Ri + d\phi / dt \tag{II.1}$$

Pour trois phases, l'équation générale de la matrice s'exprime comme suit :

$$[Vabc] = R[Iabc] + \frac{d}{dt} [\phi abc] \tag{II.2}$$

La matrice de tension statoriques sont :

$$\begin{bmatrix} Vsa \\ Vsb \\ Vsc \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} Rs & 0 & 0 \\ 0 & Rs & 0 \\ 0 & 0 & Rs \end{pmatrix} \begin{bmatrix} Isa \\ Isb \\ Isc \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi as \\ \phi bs \\ \phi cs \end{bmatrix} \tag{II.3}$$

La matrice des tensions rotoriques liées au rotor sont :

$$\begin{bmatrix} Vra \\ Vrb \\ Vrc \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} Rr & 0 & 0 \\ 0 & Rr & 0 \\ 0 & 0 & Rr \end{pmatrix} \begin{bmatrix} Ira \\ Irb \\ IRC \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi ra \\ \phi rb \\ \phi rc \end{bmatrix} \tag{II.4}$$

Avec :

R_s, R_r : Les résistances par phase respectivement du stator, et du rotor.

II.2.3.2 Equations magnétiques

Le résultat de la simplification des hypothèses conduit à des relations linéaires entre flux et courants et s'écrit comme suit :

$$\begin{bmatrix} \phi_s \\ \phi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Lsc] & [Msr] \\ [Mrs] & [Lrc] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Is \\ Ir \end{bmatrix} \quad (II.5)$$

Pour le stator

$$[\phi_s] = [Lsc][Is] + [Msr][Ir] \quad (II.6)$$

Pour le rotor

$$[\phi_r] = [Mrs][Is] + [Lrc][Ir] \quad (II.7)$$

Tel que :

$$[Msr] = [Mrs]^T$$

$[Is]$: Matrice d'inductance statorique ;

$[Ir]$: Matrice d'inductance rotorique ;

$[Msr]$: Matrice de d'inductance mutuelle statorique

$[Mrs]$: Matrice d'inductance mutuelle rotorique.

$$\text{Avec} \quad [Lsc] = \begin{bmatrix} Ls & Ms & Ms \\ Ms & Ls & Ms \\ Ms & Ms & Ls \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [Lrc] = \begin{bmatrix} Lr & Mr & Mr \\ Mr & Lr & Mr \\ Mr & Mr & Lr \end{bmatrix} \quad (II.8)$$

$L_{s,r}$: Inductance cyclique propre du rotor et stator

$Mr_{(s)}$: Inductance mutuelle entre deux phases rotoriques (statoriques)

Mr_s : Inductance mutuelle entre une phase rotor et une phase du stator

$$[Msr] = [Mrs]^T = M \begin{pmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) & \cos(\theta) & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (II.9)$$

M : représente la valeur maximale de l'inductance mutuelle entre en bobine statorique et un bobine rotorique lorsque les deux axes (A et a) se coïncident.

θ : Angle qui définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases « A » et « a » pris comme axes des références.

II.2.3.3 L'équation mécanique

Les équations mécaniques qui régissent le fonctionnement d'une machine asynchrone sont données comme suit :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = Cem - f_v \Omega - Cr \quad (II.10)$$

Avec : $\Omega = \frac{d\theta}{dt}$

J : représente le moment d'inertie de la machine ;

Ω : vitesse rotorique ;

Cem : son couple électromagnétique ;

f_v : Son frottement visqueux ;

Cr : son couple de charge ;

θ : Position du rotor.

Expression du couple électromagnétique Cem

$$Cem = \begin{bmatrix} Is \\ Ir \end{bmatrix}^t = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} Ls & Msr \\ Mrs & Lr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Is \\ Ir \end{bmatrix} \quad (II.11)$$

II.4. Transformation de Park

La transformation de Park consiste à convertir le système d'arbres d'enroulements stator et rotor (système triphasé équilibré) en système d'arbres d'enroulements en quadrature équivalents. Cette conversion est rendue possible par la matrice de Park $P(\theta_s)$ utilisée pour la conversion des grandeurs physiques. Cette transformation nous donne un système d'équations différentielles à coefficients non variables [16]

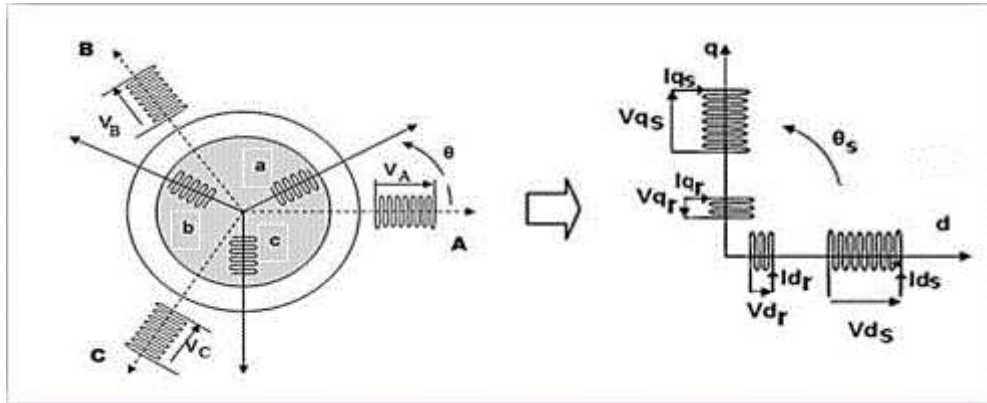


Figure (II .2) : Transformation de Park appliquée à la machine asynchrone

$$\begin{cases} V_a = V_{max} * \sin(2 * \pi * f) \\ V_b = V_{max} * \sin \left(2 * \pi * f + \frac{2\pi}{3} \right) \\ V_c = V_{max} * \sin \left(2 * \pi * f - \frac{2\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (II.12)$$

La matrice de passage notée $[P(\theta)]$ appelée matrice de Park est donnée Par :

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos (\theta) & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ -\sin (\theta) & -\sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad (II.13)$$

$$[V_{0dq}] = [P(\theta)][V_{abc}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

$$\begin{cases} V_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(V_a * \cos(\theta) + V_b * \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c * \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ V_q = -\sqrt{\frac{2}{3}} \left(V_a * \sin(\theta) + V_b * \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c * \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \end{cases} \quad (\text{II.15})$$

La matrice $[P(\theta)^{-1}]$ est donnée Par :

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

$$[V_{abc}] = [P(\theta)^{-1}][V_{0dq}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1/\sqrt{2} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1/\sqrt{2} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

$$\begin{cases} V_a = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(V_d * \cos(\theta) - V_q * \sin(\theta) \right) \\ V_b = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(V_d * \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) - V_q * \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ V_c = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(V_d * \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) - V_q * \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \end{cases}$$

Pour l'étoile 2 et le rotor on remplace l'angle θ par $(\theta - a)$ puis par $(\theta - \theta_r)$ respectivement.

II.4.1 Choix de référentiel

A. Référentiel lié au stator

Les axes (d, q) sont fixes par rapport au stator $w_{coor} = 0$ puis $\theta = 0$

B. Référentiel lié au rotor

Les axes (d, q) sont immobiles par rapport au rotor $w_{coor} = w_r$ d'où :

$$\theta = \int_0^t \omega_r dt \quad (\text{II.19})$$

C. Référentiel lié au champ tournant

Les axes (d, q) sont fixes par rapport au champ tournant créé par les deux étoiles $\omega_{\text{coor}} = \omega_s$ d'où

$$\theta = \int_0^t \omega_s dt \quad (\text{II.20})$$

II.4.2 Forme générale des équations transformées [17]

a) Equations des tensions

Après avoir multiplié la matrice de transformation de PARK $[P(\theta_a)]^{-1}$ l'équation (II. 3) et (II. 4) de part et d'autre et après avoir fait tous les calculs, on obtient :

$$\begin{bmatrix} V_{su} \\ V_{sv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{su} \\ I_{sv} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{su} \\ \phi_{sv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega a \\ \omega a & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{su} \\ \phi_{sv} \end{bmatrix} \quad (\text{II.21})$$

$$\begin{bmatrix} V_{ru} \\ V_{rv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ru} \\ I_{rv} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{ru} \\ \phi_{rv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -(\omega a - \omega) \\ (\omega a - \omega) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{ru} \\ \phi_{rv} \end{bmatrix} \quad (\text{II.22})$$

Equations des flux

Par la même méthode les équations (II.6) et (II.7) deviennent :

$$\begin{bmatrix} \phi_{su} \\ \phi_{sv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{su} \\ I_{sv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ru} \\ I_{rv} \end{bmatrix} \quad (\text{II.23})$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{ru} \\ \phi_{rv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_r & 0 \\ 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ru} \\ I_{rv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{su} \\ I_{sv} \end{bmatrix} \quad (\text{II.24})$$

II.5 Modélisation de l'onduleur de tension

Pour modéliser l'onduleur de tension, Figure (II.3), on considère son alimentation comme une source parfaite, supposée d'être constituée de deux générateurs de f.é.m égale à $V_{dc}/2$ connectés entre eux par un point noté M [14].

La figure II.3 montre le schéma d'un onduleur triphasé alimentant le MAS.

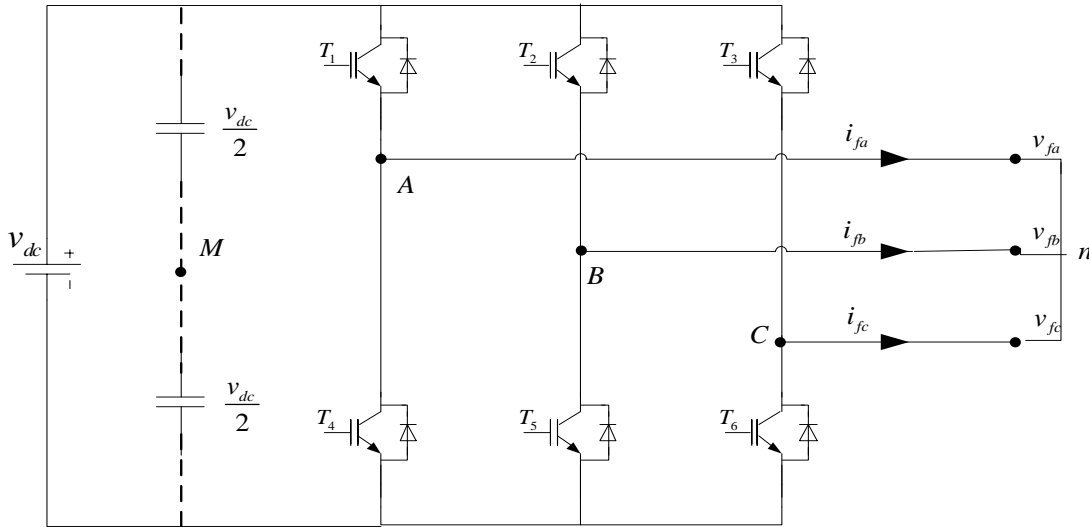


Figure (II.3) : schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux

La machine a été modélisée à partir des tensions simples que nous notons V_{an} , V_{bn} et V_{cn} . L'onduleur est commandé à partir des grandeurs logiques S_i . On appelle T_i et T_i' les transistors (supposés être des interrupteurs idéaux), on a :

- si $S_i = 1$, alors T_i est passant et T_i' est ouvert,
- si $S_i = 0$, alors T_i est ouvert et T_i' est passant.

Les tensions composées sont obtenues à partir des sorties de l'onduleur :

$$\begin{cases} U_{ab} = V_{aM} - V_{bM} \\ U_{bc} = V_{bM} - V_{cM} \\ U_{ca} = V_{cM} - V_{aM} \end{cases} \quad (II.25)$$

Les tensions simples des phases de la charge issues des tensions composées ont une somme

Nulle, donc :

$$\begin{cases} V_{an} = (1/3)[U_{ab} - U_{ca}] \\ V_{bn} = (1/3)[U_{bc} - U_{ab}] \\ V_{cn} = (1/3)[U_{ca} - U_{bc}] \end{cases} \quad (II.26)$$

Elles peuvent s'écrire à partir des tensions de sorties de l'onduleur en introduisant la tension du neutre de la charge par rapport au point de référence M.

$$\begin{cases} V_{an} + V_{nM} = V_{aM} \\ V_{bn} + V_{nM} = V_{bM} \\ V_{cn} + V_{nM} = V_{cM} \end{cases} \quad (II.27)$$

Donc, on peut déduire que :

$$V_{nM} = \frac{1}{3} [V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}] \quad (II.28)$$

L'état des interrupteurs supposés parfaits \leftrightarrow Si (i=a, b, c) on a :

$$V_{iM} = S_i V_{dc} - \frac{V_{dc}}{2} \quad (II.29)$$

On a donc :

$$\begin{cases} V_{AM} = (S_a - 0.5)V_{dc} \\ V_{BM} = (S_b - 0.5)V_{dc} \\ V_{CM} = (S_c - 0.5)V_{dc} \end{cases} \quad (II.30)$$

En remplaçant (II.30) dans (II.29), on obtient :

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3}V_{AM} - \frac{1}{3}V_{BM} - \frac{1}{3}V_{CM} \\ V_{bn} = -\frac{1}{3}V_{AM} + \frac{2}{3}V_{BM} - \frac{1}{3}V_{CM} \\ V_{cn} = -\frac{1}{3}V_{AM} - \frac{1}{3}V_{BM} + \frac{2}{3}V_{CM} \end{cases} \quad (II.31)$$

En remplaçant (II.30) dans (II.31), on obtient :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot V_{dc} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (II.32)$$

Il suffit d'appliquer la transformation de Concordia pour passer d'un système triphasé au système biphasé. [14]

II.5.1 Commande à modulation de largeurs d'impulsions (MLI sinusoïdale) [15]

La MLI consiste alors à former chaque alternance de la tension de sortie d'une succession de créneaux de largeur convenable, en adoptant une fréquence de commutation supérieure à celle des grandeurs de sortie de l'onduleur, ainsi elle permet :

- De repousser vers, des fréquences élevées, les harmoniques de la tension de sortie ; ce qui facilite le filtrage.
- De faire varier la valeur du fondamental de la tension de sortie.

Cependant, l'essor de la modulation MLI est lié aux progrès du développement des interrupteurs semi - conducteurs de puissance, la montée en fréquence de découpage limite la puissance transmise et augmentent les pertes par commutations.

Les caractéristiques de la modulation sinusoïdale sont : [15]

- 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 à tension crête U_{pm} de la porteuse : $r = V_m / U_{pm}$
- Le facteur d'évaluation des performances de la MLI, le facteur de distorsion totale des harmoniques de la tension de sortie $THDV$, défini par le rapport de la somme quadratique des harmoniques de tension à la valeur de la somme quadratique du fondamental et des harmoniques de la tension :

$$THDV = \frac{(\sum_{i=2}^n V_{1i}^2)}{(\sum_{i=1}^n V_{1i}^2)} \tag{II.33}$$

La commande triangulo – sinusoïdale de base [15], consiste à utiliser les intersections d'une onde de référence ou modulante, généralement triangulaire ou en dents de scie, unipolaires ou bipolaires. Cette technique exige une commande séparée pour chaque phase de l'onduleur. La détermination des instants d'ouverture et de fermeture des interrupteurs est réalisée en temps réel, par une électronique de commande analogique ou numérique ou parfois hybride. La figure ci-dessous illustre le principe de base de cette technique.

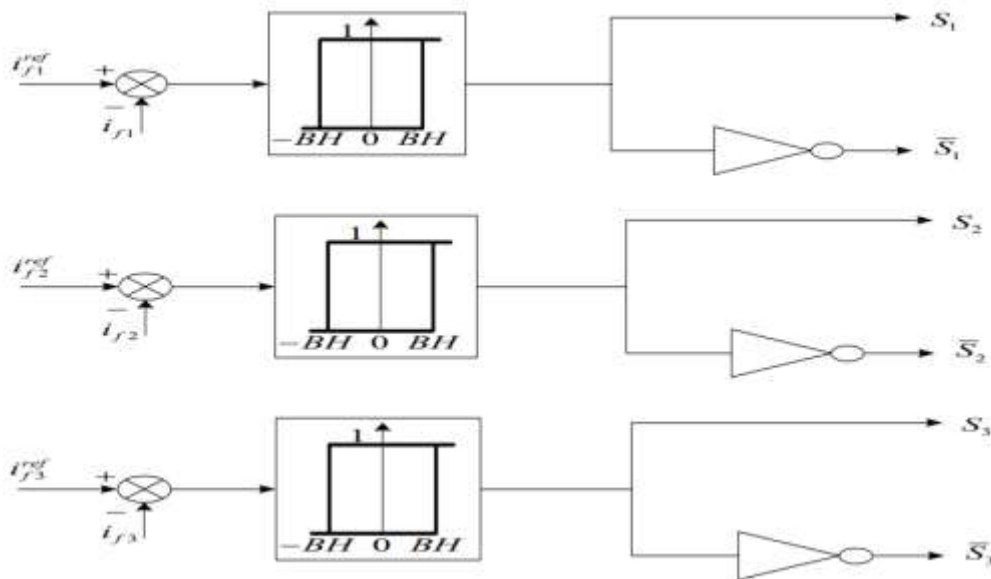


Figure II.4 principe de la commande par hystérésis

Pour un coefficient de réglage $r=0.8$ et un indice de modulation $m= 40$, on obtient les signaux de commode ci-dessous :

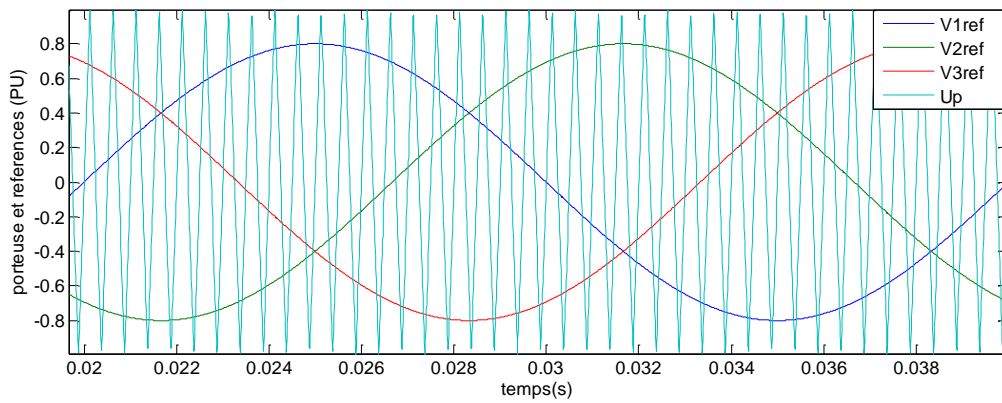


Figure II.5 : Porteuse et les trois références

Dans ce cas de contrôle du courant, la fréquence de commutation dépend essentiellement de la dérivée du courant de consigne. Cette dernière dépend de la valeur de l'inductance de couplage et de la chute de tension à ses bornes. Il faut noter que le filtre de couplage a des effets sur la fréquence de commutation et sur le comportement dynamique du filtre actif. L'avantage principal de cette méthode est la simplicité de mise en œuvre, tandis que la fréquence de commutation variable qu'on ne peut pas maîtriser correctement peut être son majeur inconvénient.

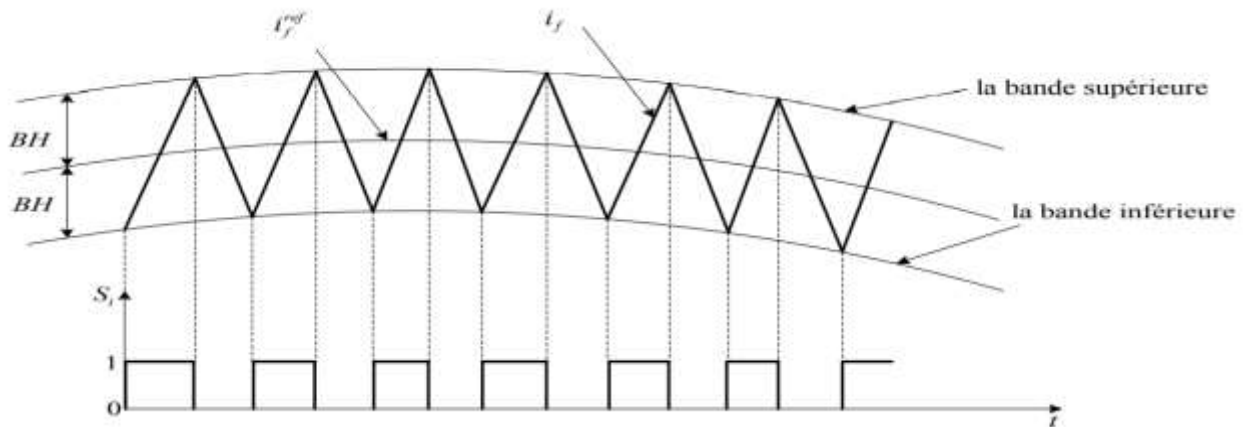


Figure II.6 : Commande des interrupteurs par hystérésis à bande fixe

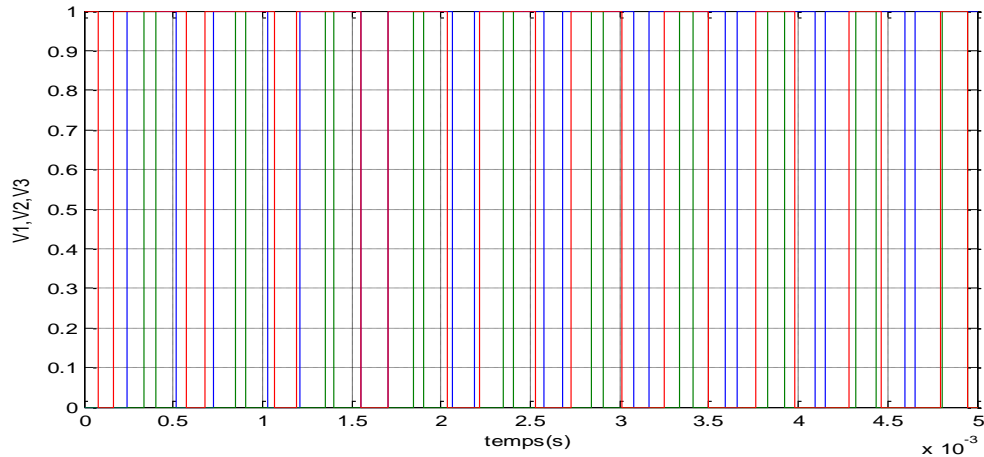
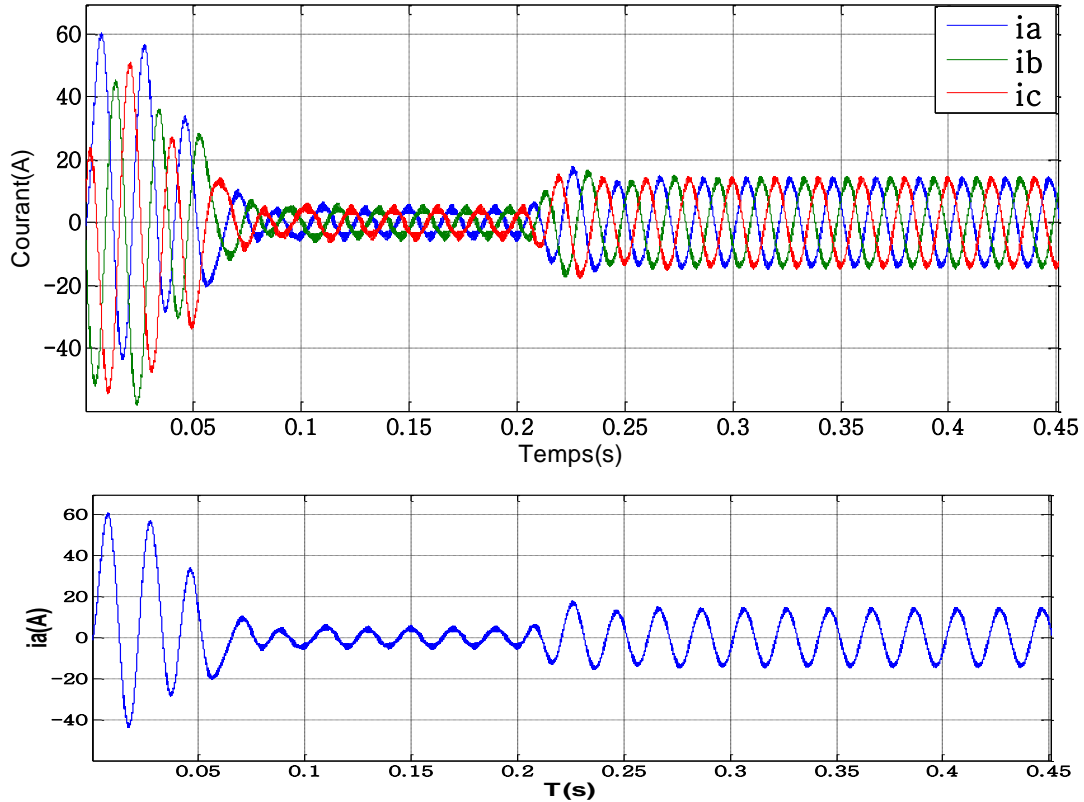


Figure II.7 : les signaux de sortie de la MLI.

II.6 Résultats de la simulation

II.6.1 Machine alimentée par onduleur de tensions à deux niveau

Nous procédons à la simulation du démarrage de la MAS alimentée par onduleur de tension à MLI de fréquence 50Hz .Le démarrage se fait à vide puis une application d'un couple résistant ($C_r=25\text{N}\cdot\text{m}$) à l'instant $t=0.2\text{s}$.



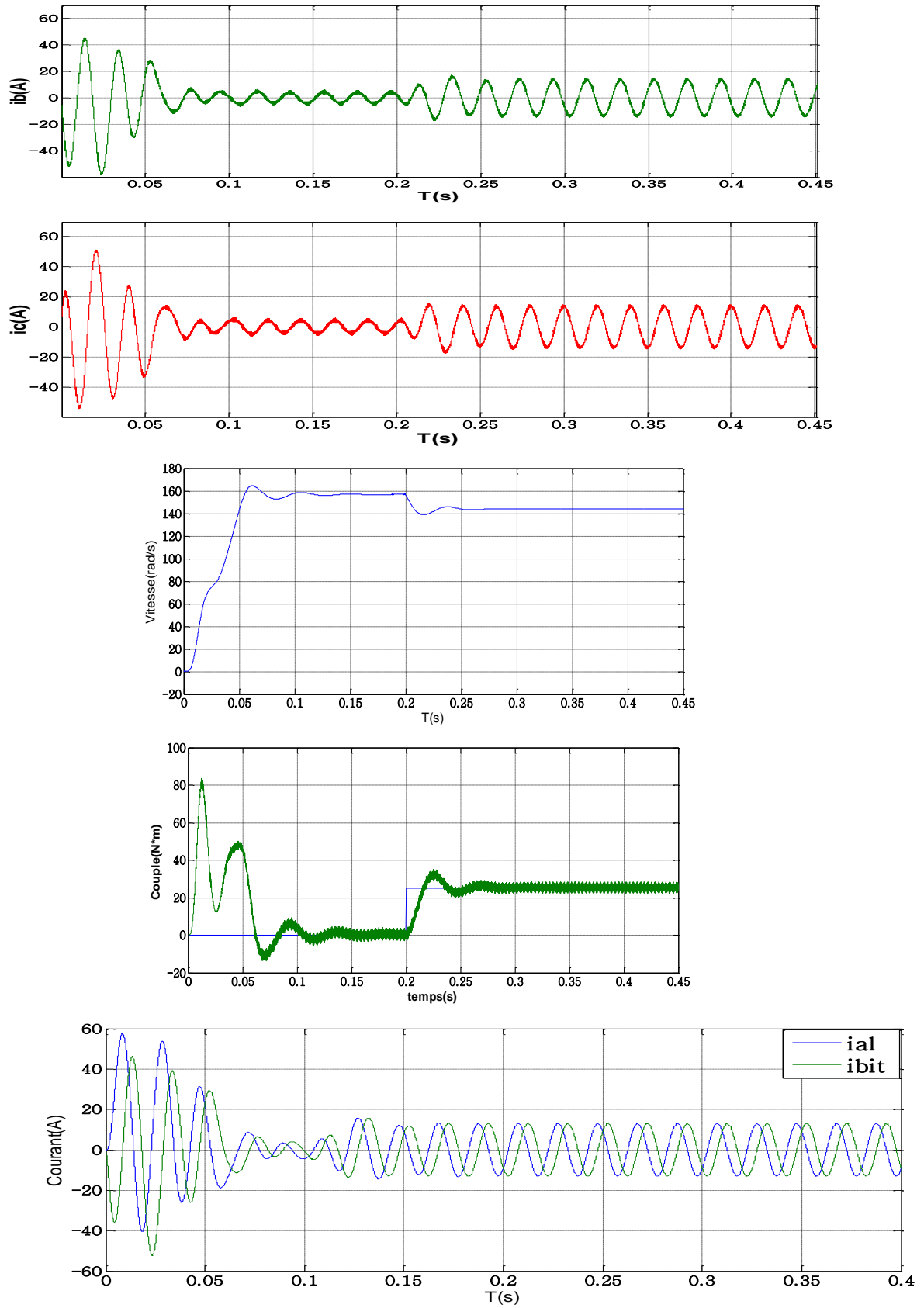


Figure II.8 : Grandeurs électriques et mécanique de la machine saine alimentée par un Onduleur à MLI

Lorsque la charge mécanique ($C_r = 25\text{Nm}$) est appliquée dans le temps ($t = 0.2\text{s}$). On observe la courbe de vitesse décroissante au moment de l'application de la charge et se stabilise une valeur constante 134 rad/s .

Le couple électromagnétique rejoint la valeur de couple résistant (charge mécanique $25\text{ N}\cdot\text{m}$).

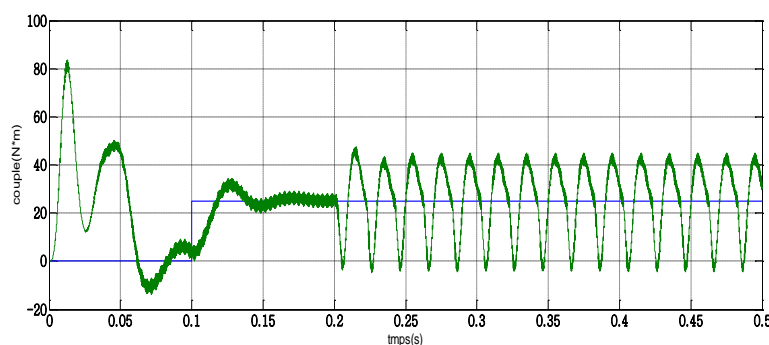
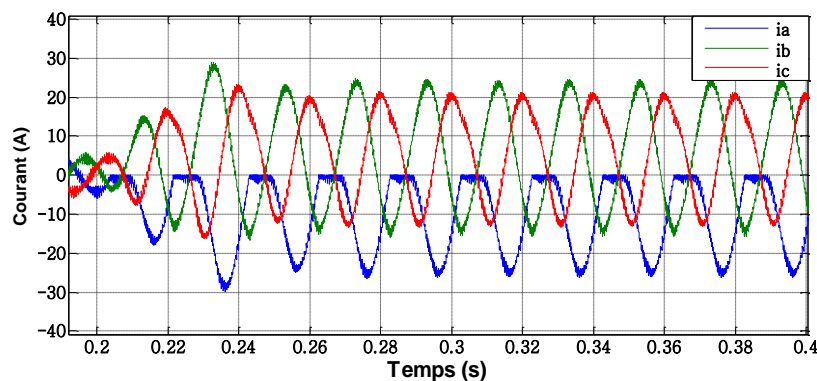
On observe une augmentation des ondulations des courants statoriques lorsqu'une charge est appliquée. D'où une augmentation de la amplitude.

L'effet de l'alimentation de la machine par onduleur de tension se manifeste par : -la présence des ondulations sur la réponse du couple et celle du courant en raison du choix de la fréquence de découpage de la MLI. -une augmentation du temps de réponse par rapport à celui dans le cas de la machine alimenté directement par le réseau.

II.6.2 Machine-onduleur avec défaut

❖ Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T1

Suivi du comportement des grandeurs électriques de la machine asynchrone en cas défaut de l'interrupteur T1 à l'instant 0,2 seconde du démarrage de l'appareil.



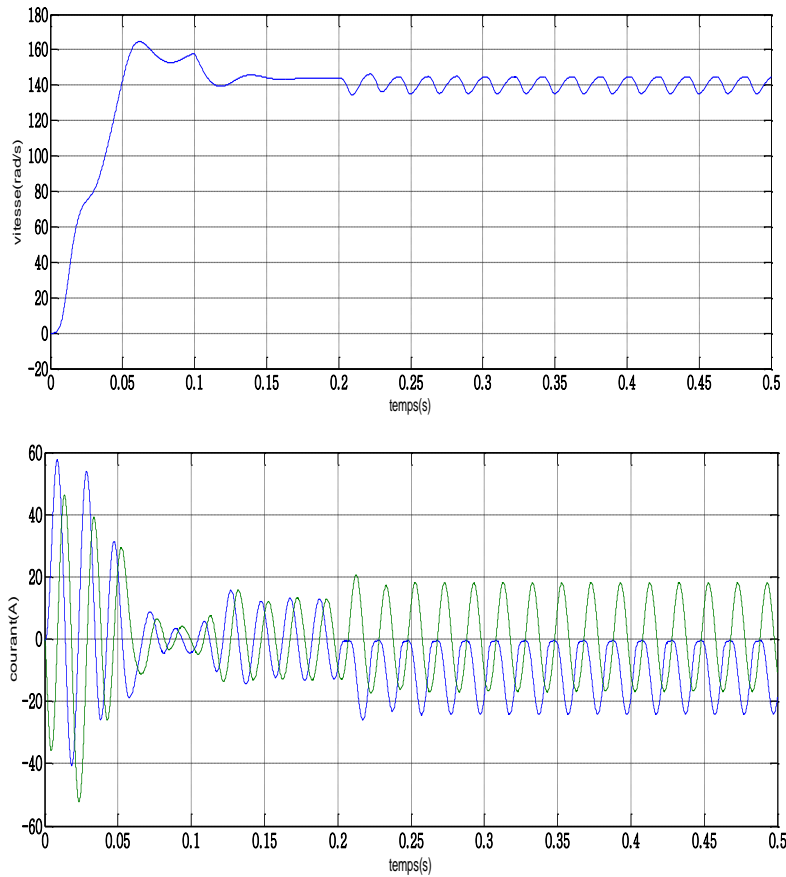
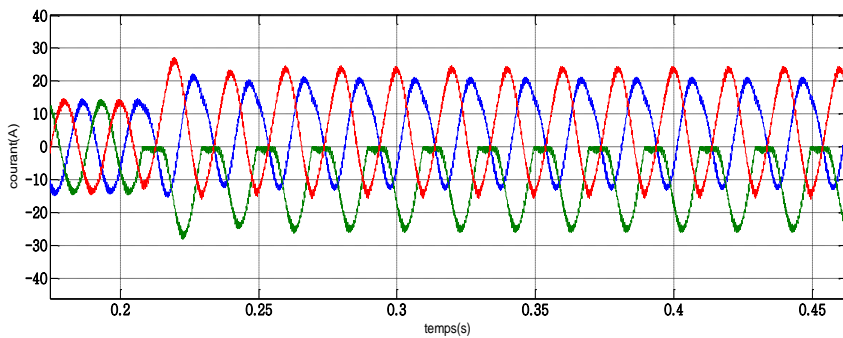
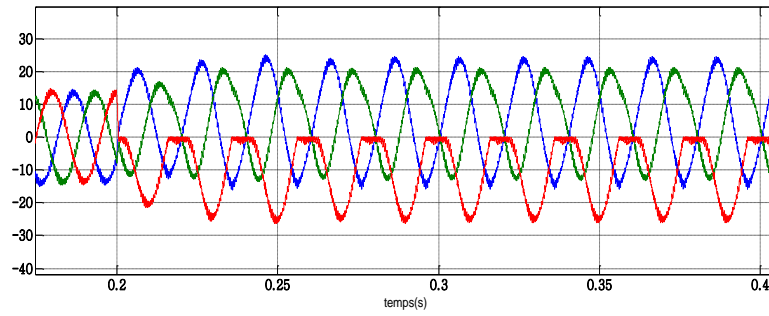


Figure II .9 Grandeurs électriques et mécanique de la machine pour un défaut l'interrupteur T1

- ❖ **Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T2 et T3**
- ❖ Le courants de sortie de l'onduleur dans le cas d'un défaut d'ouverteur de et est provoqué après 0.2s du démarrage de la machine



(A)

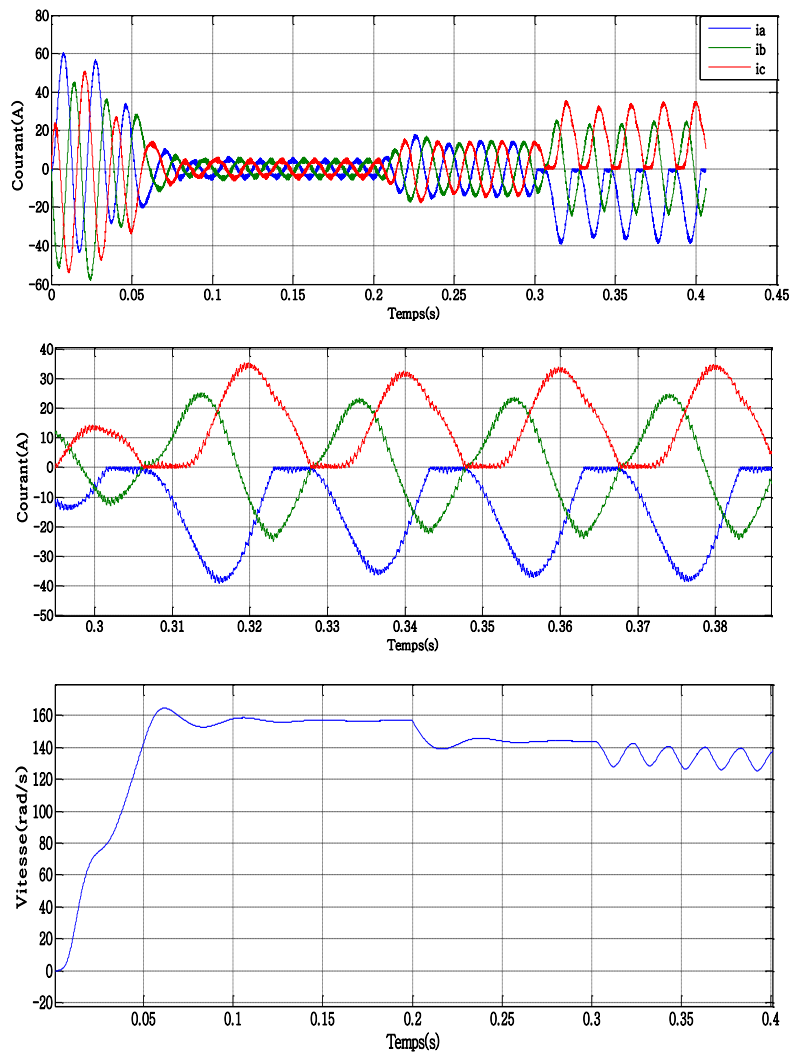


(B)

Figure II.10 : Les courants statoriques pour un défaut l'interrupteur T :

(A) défaut T2 (B) défaut T3 (après défaut)

❖ Cas d'un défaut d'ouverture de deux d'interrupteurs Tr1 et Tr6



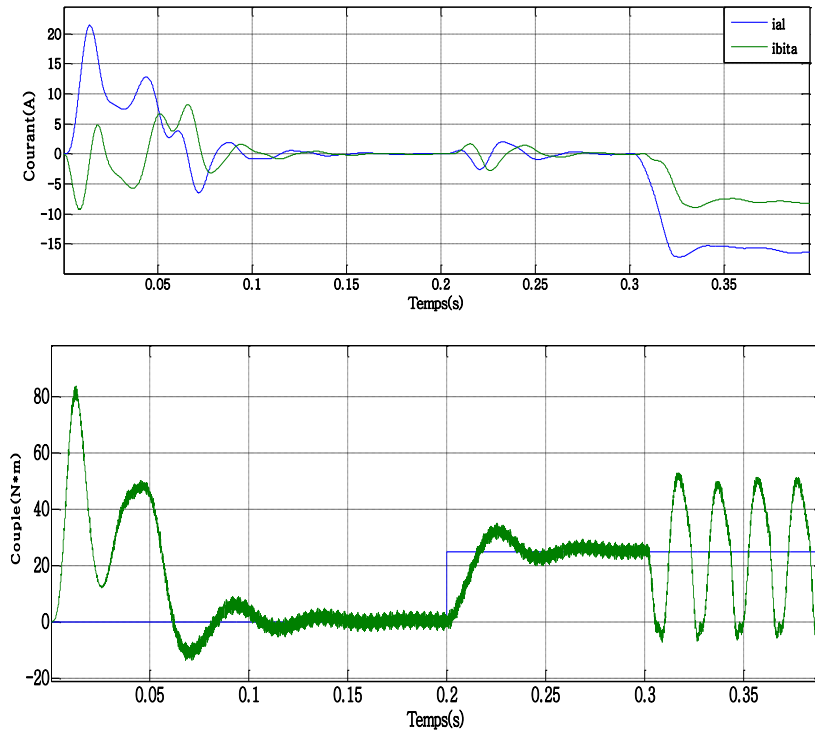
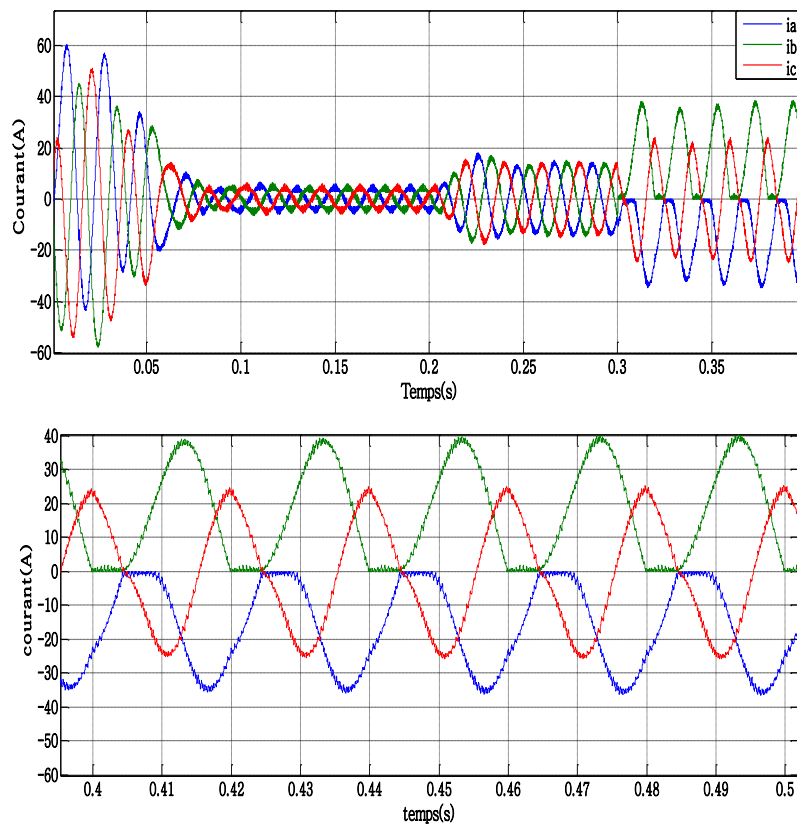


Figure II .11 Grandeurs électriques et mécanique défauts deux d'interrupteurs T1 et T6
 ❖ Cas d'un défaut d'ouverture de deux d'interrupteurs Tr1 et Tr5



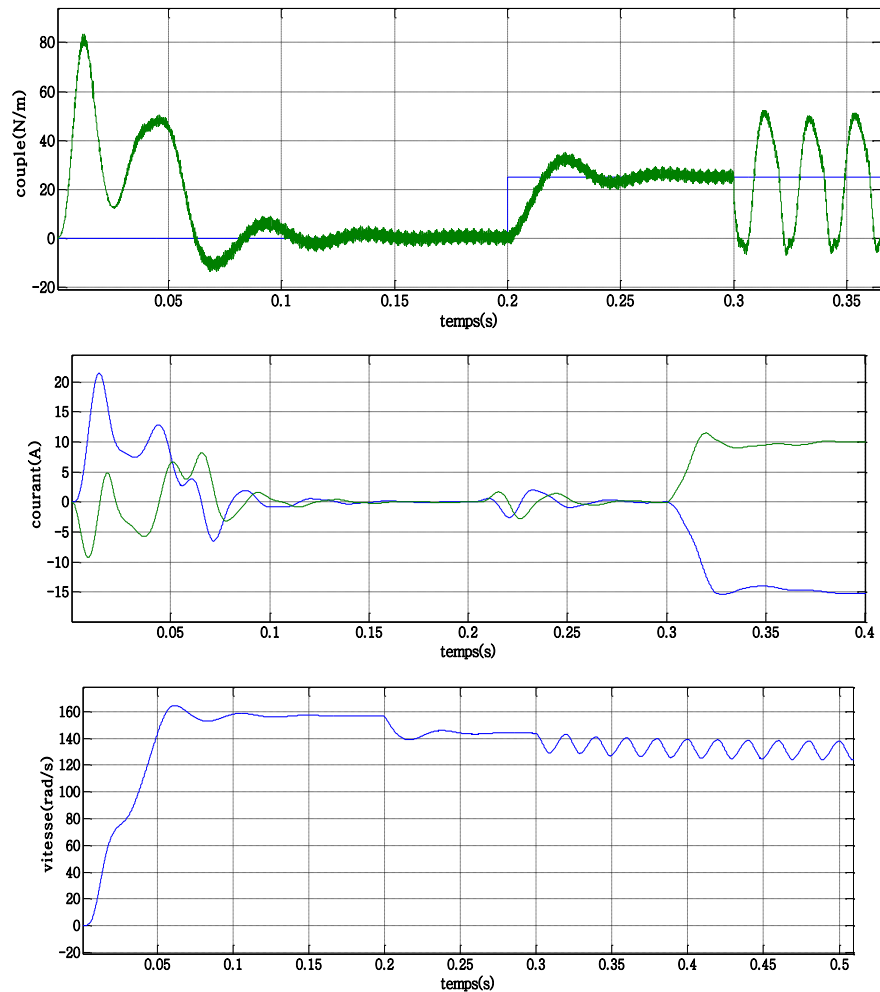


Figure II .12 Grandeurs électriques et mécanique de la machine pour un défaut **deux** d'interrupteurs **Tr1** et **Tr5**

○ *Interprétation :*

L'effet d'un défaut ouverture de l'interrupteur T1 conduit à la perte l'alternance positive du courant de la phase (i_a), qui est alors unipolaire et non sinusoïdale.

L'effet de l'erreur (circuit ouvert), la détérioration au niveau mécanique par la pulsation de couple de la machine à la fréquence électrique.

Diminution de la vitesse de rotation due à la réduction de puissance résultant de la perte de performance d'un des interrupteurs.

Le défaut (circuit ouvert) n'affecte pas les composants du système (MAS + onduleur) mais affecte les performances du système (détérioration des grandeurs électriques et mécaniques à faible gain).

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation de l'association machine asynchrone et onduleur de tension à deux niveau à MLI et en raison de la complexité des équations différentielles du moteur, nous utilisons la transformée de Park pour réduire la complexité de la modélisation et du contrôle.

Le type d'erreur (circuit ouvert) a été observé, et afin d'analyser et de connaître le comportement de la machine à partir de la réponse du système (courant, vitesse et couple) des simulations ont été faites pour le type d'erreur (circuit ouvert)

Pour connaître l'effet de défaut sur les grandeurs électriques et mécaniques de la machine (augmentation des courants de charge et des ondulations sur le couple et réduction de la vitesse),

Ainsi, Impact sur les performances du système

**Diagnostic de défauts de
Convertisseurs statiques par l'analyse
de la trajectoire du vecteur courant**

III.1 Introduction

Partant du fait que les arrêts involontaires dans les systèmes d'entraînements à vitesse variable ne sont pas souhaitables, il est extrêmement utile de disposer de techniques de diagnostic de défauts qui pourraient aider à détecter, identifier et localiser les défauts et ultérieurement, à isoler l'élément défaillant. Dans ce chapitre nous allons traiter une méthode externe, qualitative pour le diagnostic de défauts dans les convertisseurs statiques (DC/AC et AC/DC), basée sur l'analyse des signatures de la trajectoire du vecteur courant, dans le référentiel stationnaire.

III.2 Diagnostic de défauts des convertisseurs statiques par l'analyse de la trajectoire du vecteur courant instantané (contour de Park)

III.2.1 Principe

Cette méthode repose sur le principe de la transformation de Park, qui permet d'exprimer les courants triphasés (i_a, i_b, i_c), dans un repère stationnaire biphasé (α, β). Une représentation graphique des courants, dans les différents référentiels est donnée par la figure(III.1) [19].

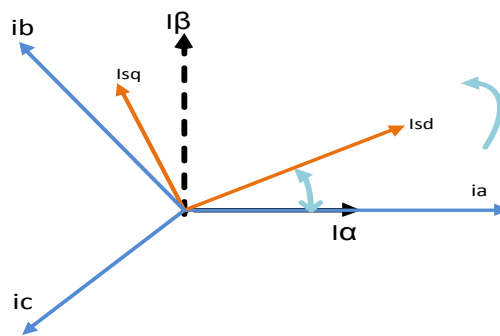


Figure. III .1 : les différents référentiels

La transformation de Park est donnée par :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{3}{\sqrt{2}} & -\frac{3}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (III.1)$$

Le vecteur courant peut être exprimé par :

$$\bar{I} = i_a + j i_\beta$$

$$\bar{I} = \sqrt{\frac{2}{3}} (i_a + a i_b + a^2 i_c) \quad (III.2)$$

Avec l'opérateur :

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (III.3)$$

Dans le cas d'une charge triphasé équilibré, on suppose que $i_a + i_b + i_c = 0$, alors on peut exprimer les deux composantes du vecteur courant par :

$$i_\alpha = \sqrt{\frac{3}{2}} i_a \quad (III.4)$$

$$i_\beta = i_a \frac{1}{\sqrt{2}} + i_b \sqrt{2}$$

Dans le cas sain, la trajectoire du vecteur courant, dite contour de Park, est un cercle centré autour de l'origine. Ce contour est considéré comme un indice ou signature de référence simple et intéressante dans la mesure où ces déviations indiquent les anomalies peuvent affecter le système [19] [20].

III.2.2 Diagnostic de défauts par l'analyse de la pente de la trajectoire du vecteur courant

Chaque défaut dans les convertisseurs statiques est caractérisé par une signature spécifique, sous forme d'une courbe de Lissajous, dans le référentiel stationnaire biphasé (α , β). La détection du défaut peut être faite par simple calcul de la pente (A), du diamètre de la trajectoire du vecteur courant (figure (III.2))[22], [19], [21], [20].

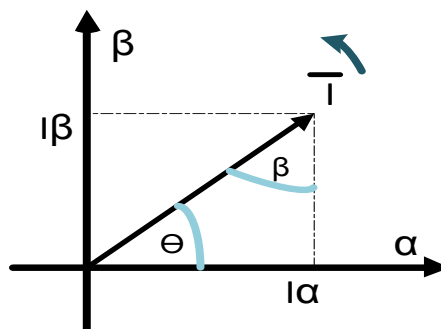


Figure III.2: Les composantes du vecteur courant

La pente de la trajectoire est exprimée par :

$$A = \frac{i_{\alpha k} - i_{\alpha k-1}}{i_{\beta k} - i_{\beta k-1}} \quad (III.5)$$

Où i_α et i_β sont les composantes du vecteur courant et (k) et (k-1) sont l'instant actuel de calcul et l'instant d'avant.

III.2.2.1 Application au diagnostic de défauts, d'ouverture des transistors, dans un onduleur de tension triphasé

A. Structure de l'onduleur de tension triphasé

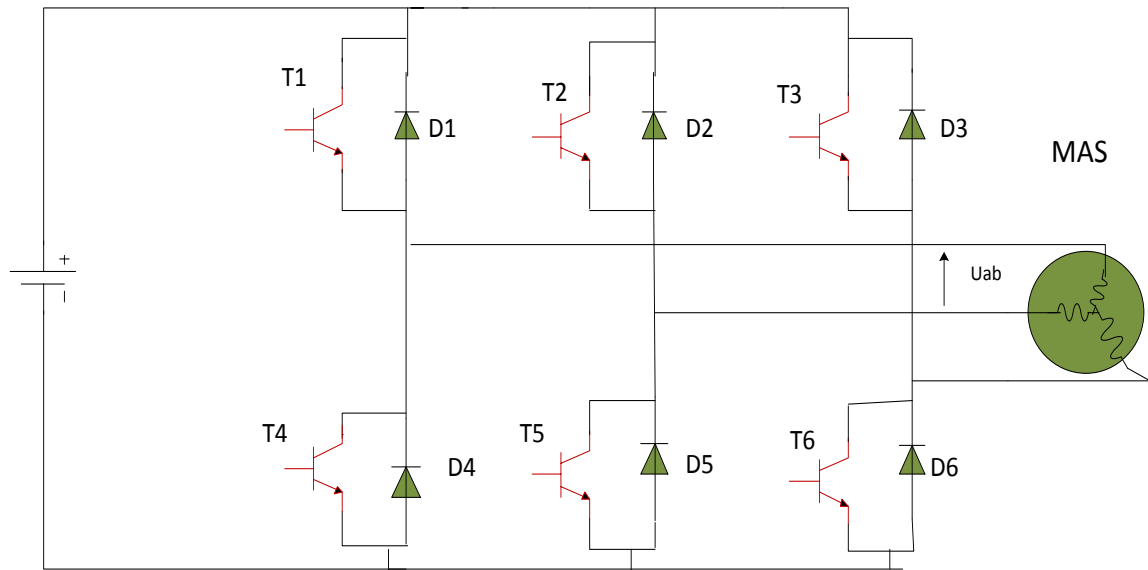


Figure III.3: Structure topologique de l'onduleur de tension

B. Diagnostic du cas de défaut dans le bras de la phase (a)

a. Phase de détection de défauts par le calcul de la pente

Si l'un des transistors T1 ou T4 est ouvert, le courant de phase (i_a) devient nul pendant la moitié de la période en cours et les composantes du vecteur courant auront pour expressions :

$$i_\alpha = 0 \quad \text{et} \quad i_\beta = i_b \sqrt{2} \tag{III.6}$$

$$A = \tan(\beta) = \frac{\Delta i_\alpha}{\Delta i_\beta} = 0 \tag{III.7}$$

Donc : ($\beta = 0$ ou $\beta = \pi$) et ($\theta = \frac{\pi}{2}$ ou $\theta = -\frac{\pi}{2}$)

b. Phase de localisation de défaut par l'analyse du signe du courant de phase (ia)

Le suivi du signe du courant de phase, par un simple trigger de schmitt, permet de localiser le transistor en défaut, comme illustré par les figures ci-dessous :

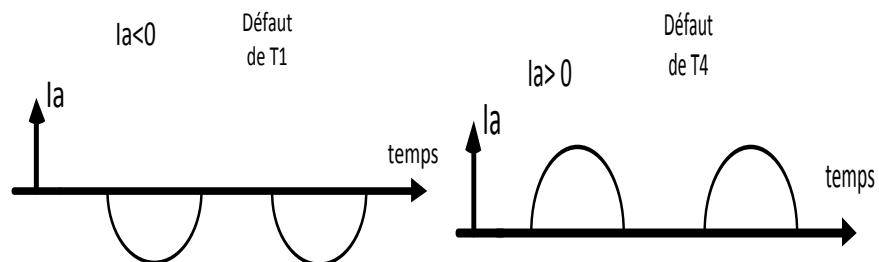


Figure III.4 : localisation du transistor en défaut de la phase (a)

C. Diagnostic du Cas de défaut dans le bras de la phase (b)

Si T2 ou T5 est ouvert, le courant de phase (i_b) est nul pendant la moitié de la période en cours, alors la pente a pour valeur :

$$A = \sqrt{3} \tag{III.8}$$

$$i_\alpha = \sqrt{3}i_\beta$$

Et la localisation de l'interrupteur en défaut se fait par l'analyse du signe du courant (i_b).

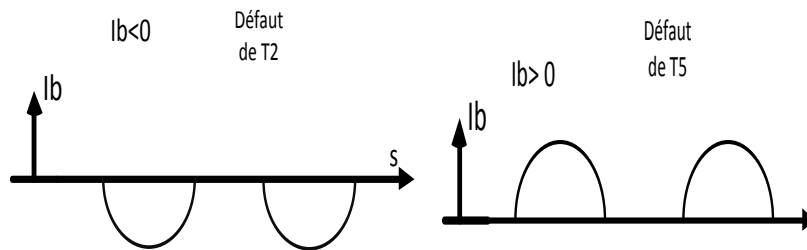


Figure III.5 : localisation du transistor en défauts de la phase (b)

D. Diagnostic du Cas de défaut dans le bras de la phase (c)

Si T3 ou T6 est ouvert, le courant (i_c) est nul pendant la moitié de la période en cours, Alors la pente a pour valeur :

$$A = -\sqrt{3} \tag{III.9}$$

$$i_\alpha = -\sqrt{3}i_\beta$$

Et la localisation de l'interrupteur en défaut se fait par l'analyse du signe du courant (i_c).

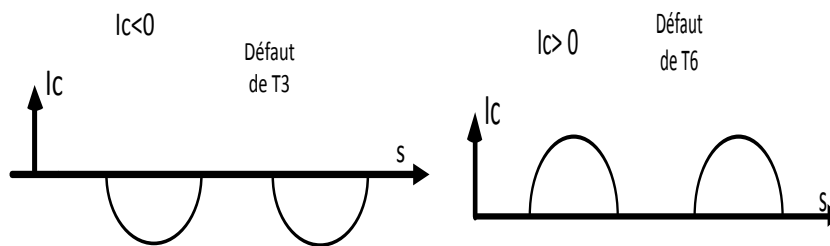


Figure III.6: Localisation du transistor en défaut de la phase (c)

III.2.2.2 Les signatures typiques des défauts d'ouverture des six transistors de l'onduleur

Comme on peut le constater sur la figure (III.7). Les trajectoires du vecteur courant, en présence de défauts, se composent d'une partie non-linéaire (demi-cercle) et une partie linéaire (diamètre du demi-cercle). La pente (A) de la partie linéaire peut être déterminée par l'équation(III.5).

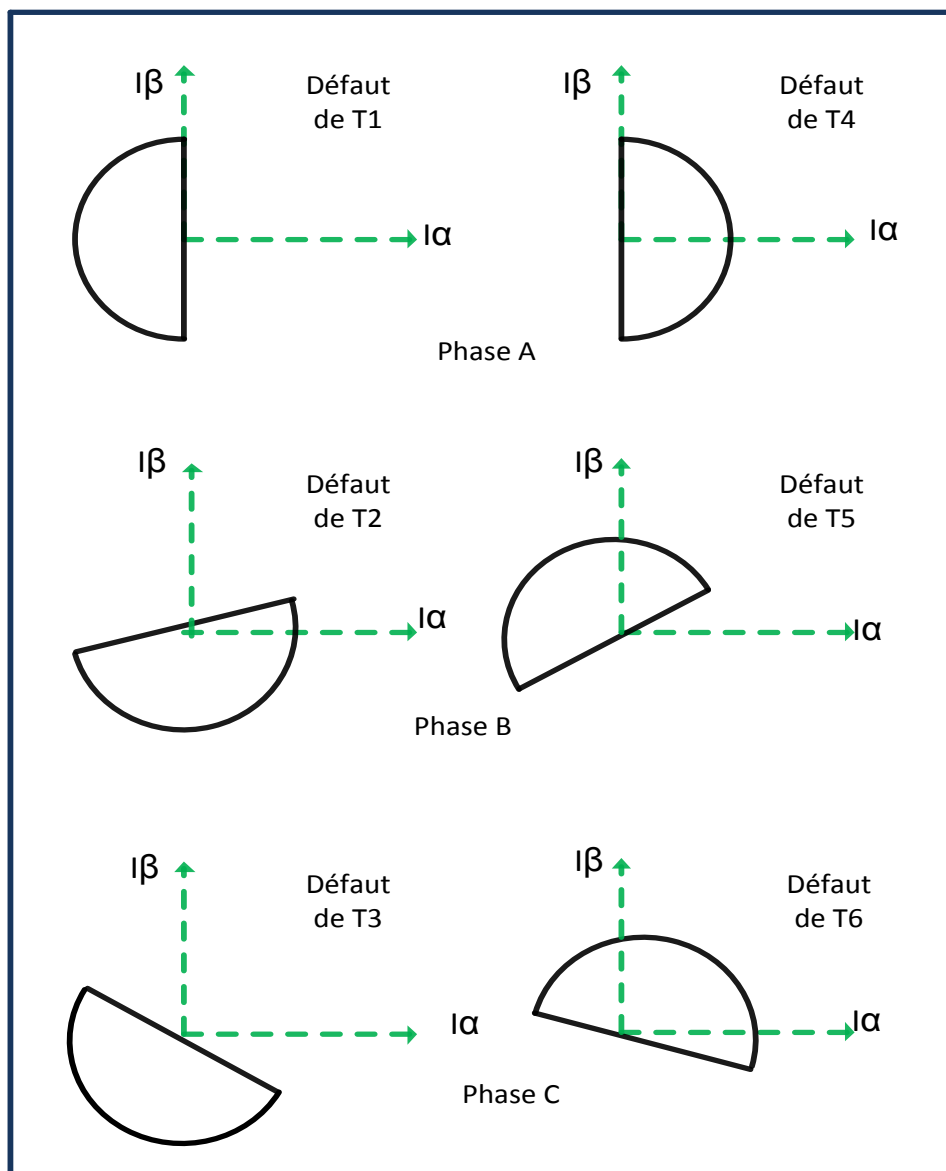


Figure (III.7) : Les trajectoires en mode de défaut d'ouverture de
T1, T2, T3 ; T4, T5, T6

L'observation de la trajectoire des contours de Park figure III.1, nous observeront que le rapport est constant pendant la moitié de la période et égale à une des constantes mentionnées auparavant. Par conséquent, le bras défectueux dans l'onduleur à MLI peut être localisé en évaluant la valeur de cette constante ψ .

III.2.2.3 Synthèse du diagnostic de défauts d'ouverture dans un onduleur de tension

a. Phase de détection du bras défaillant

L'observation des trajectoires du vecteur courant de la Figure(III.6) montre que la pente (A) reste constante pendant la moitié de la période actuelle et égale à l'une des constantes déjà mentionné $(0, \sqrt{3}, -\sqrt{3})$ [21],[20],[23]. **Par conséquent, le bras défectueux dans l'onduleur peut être localisé par simple identification de la valeur de l'une de ces constantes et l'affichage d'un indicateur de défaut boolien à sa valeur unitaire (SB=1).**

Interrupteur en défaut	Espace de la trajectoire	La pente « A »
T1	$90^\circ < \Theta < 270^\circ$	0
T2	$210^\circ < \Theta < 30^\circ$	$\sqrt{3}$
T3	$330^\circ < \Theta < 150^\circ$	$-\sqrt{3}$
T4	$270^\circ < \Theta < 90^\circ$	0
T5	$30^\circ < \Theta < 210^\circ$	$\sqrt{3}$
T6	$150^\circ < \Theta < 330^\circ$	$-\sqrt{3}$

Tableau (III.1): Tableau récapitulatif

b. Phase de localisation du transistor défaillant

La localisation du transistor défaillant dans un bras de l'onduleur est Basée sur le suivi du signe du courant de phase, reliée à ce même bras et l'affichage d'un indicateur de signe (boolien):

- Si l'alternance positive du courant disparaît, donc c'est le transistor du haut qui est défaillant et l'indicateur se met à zéro (SI=0).

- Et si l'alternance négative du courant disparaît, donc c'est le transistor du bas qui est défaillant et l'indicateur se met à un (SI=1).

III.2.3. Resultats de simulation

III.2.3.1 Cas sain (Sans Défaut) :

Les résultats présentés ci-dessous, expriment la réponse du système, pour un démarrage à vide et une application d'un couple de charge de 25Nm après 4ms.

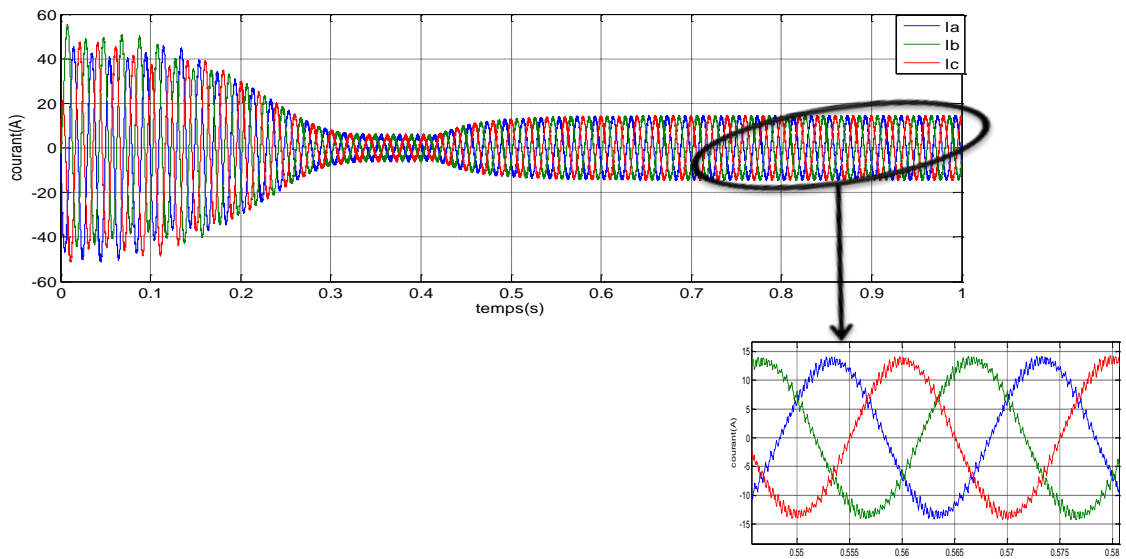
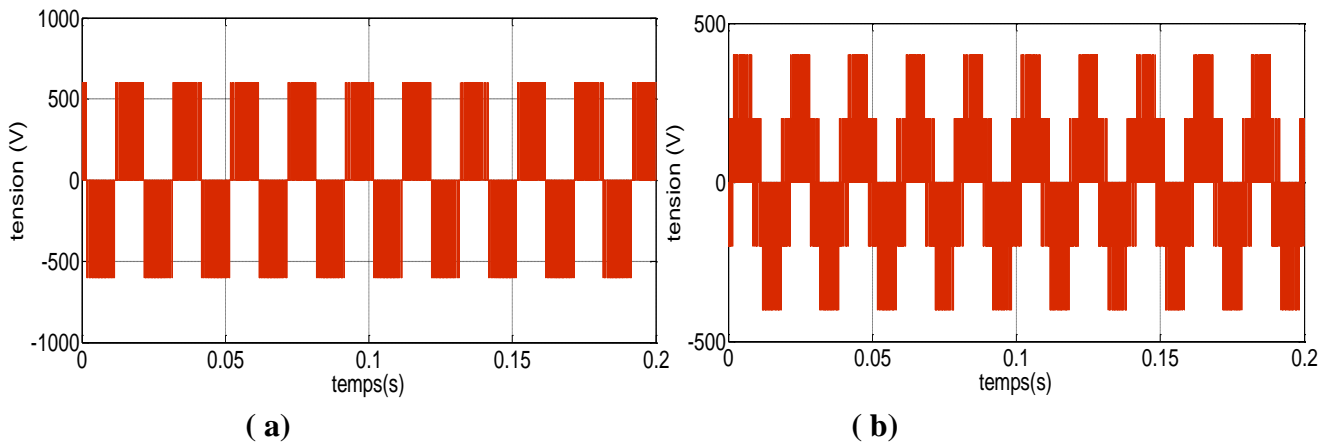


Figure III.8 : les courants statoriques



Figuer III.9 : Les tensions de sortie de l'onduleur : (a) tension composée - (b) tension simple

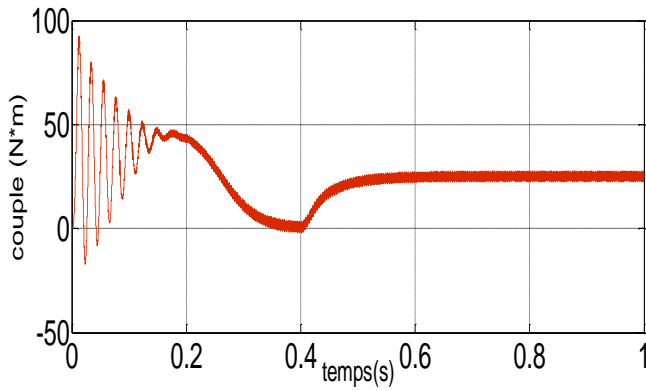


Figure III.10 : Le Couple électromagnétique

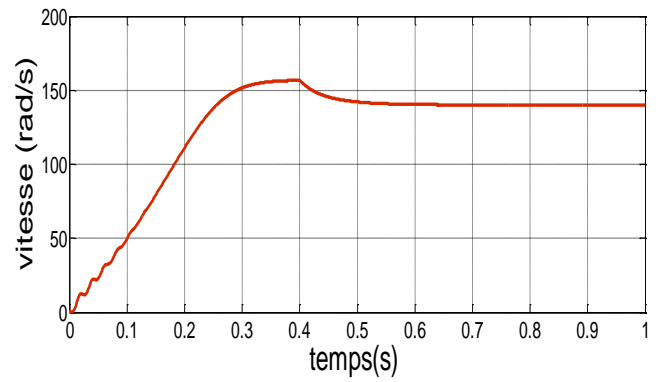


Figure III.11 : la vitesse de rotation

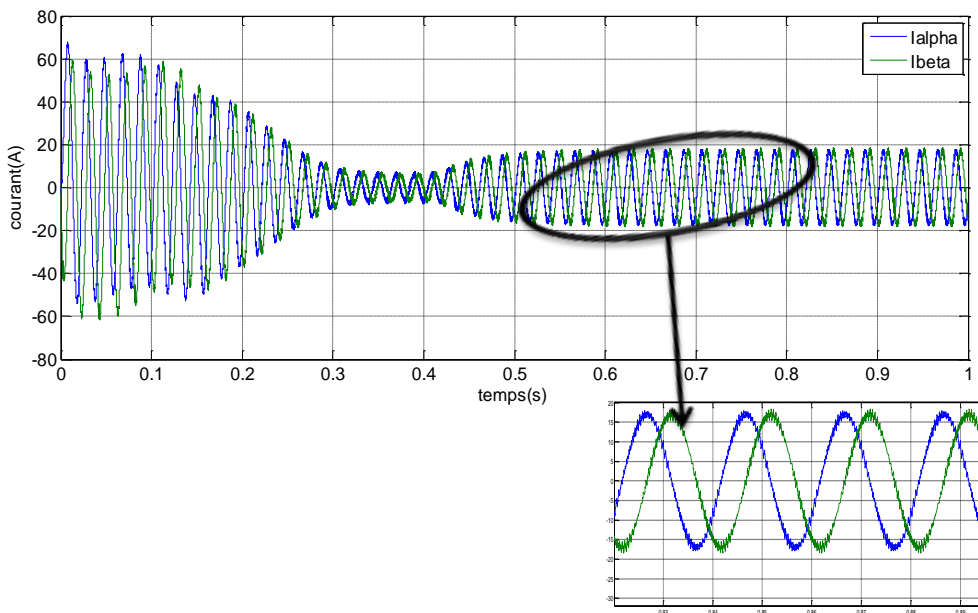
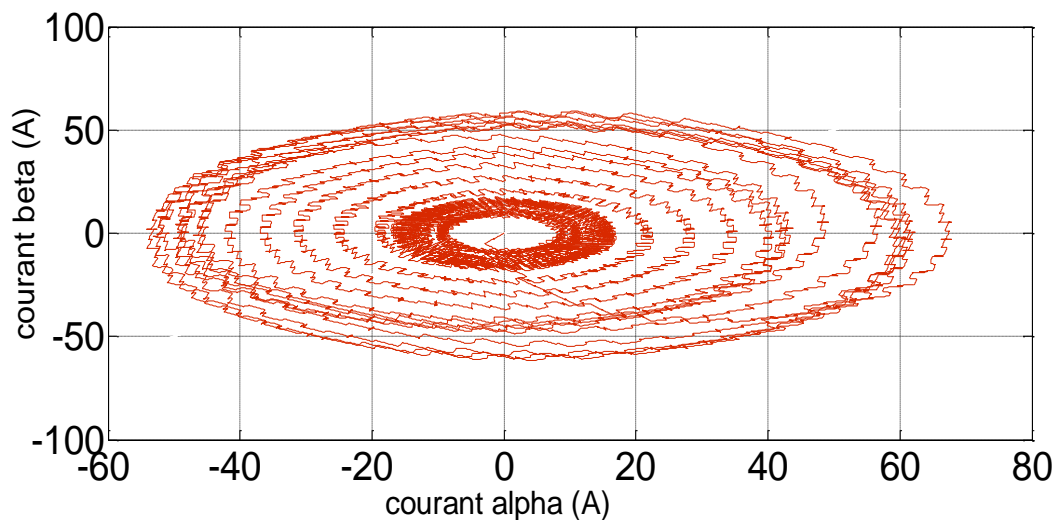


Figure III.12 : Les courants (I_{α} , I_{β})



On remarque que la trajectoire de vecteur courant commence par des cercles concentriques externes, centré autour de l'origine, qui traduisent le régime transitoire du démarrage puis se concentre en régime permanent.

III.2.4 Diagnostic du défaut d'ouverture du transistor d'un bras de l'onduleur

III.2.4.1 Génération du défaut d'ouverture sur le circuit

Ce défaut est généré par la mise en série d'un interrupteur idéal avec le transistor, qui sera ouvert à l'instant d'application du défaut.

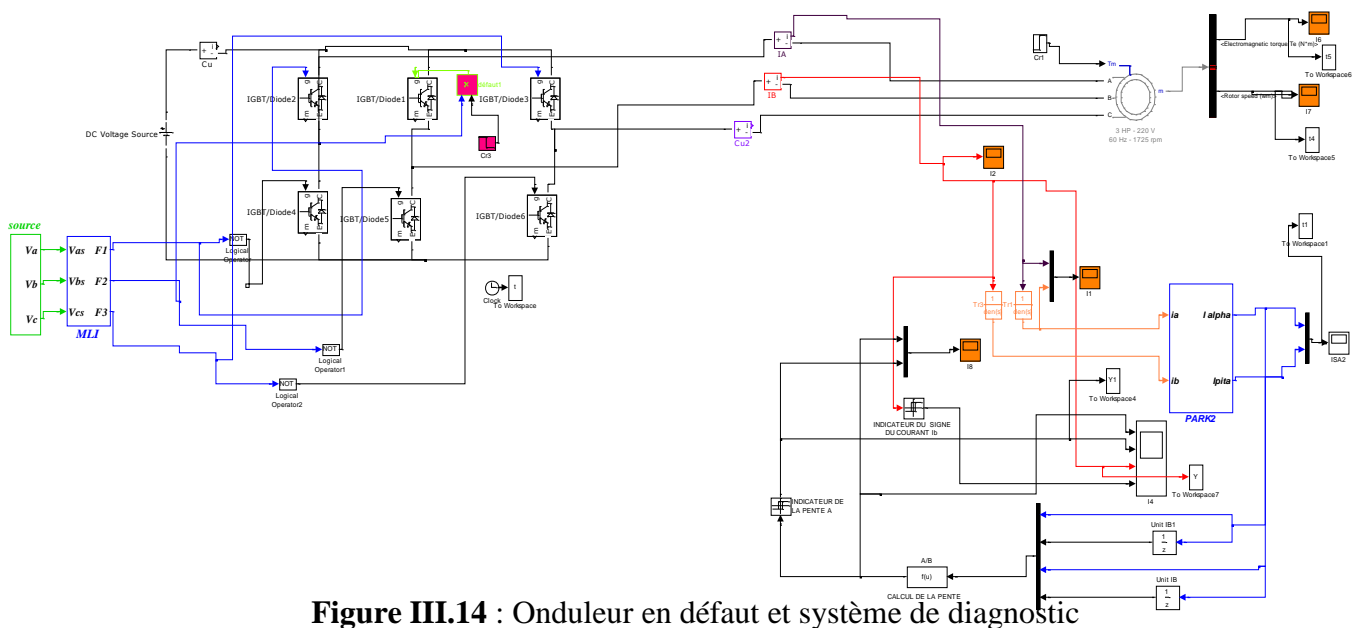
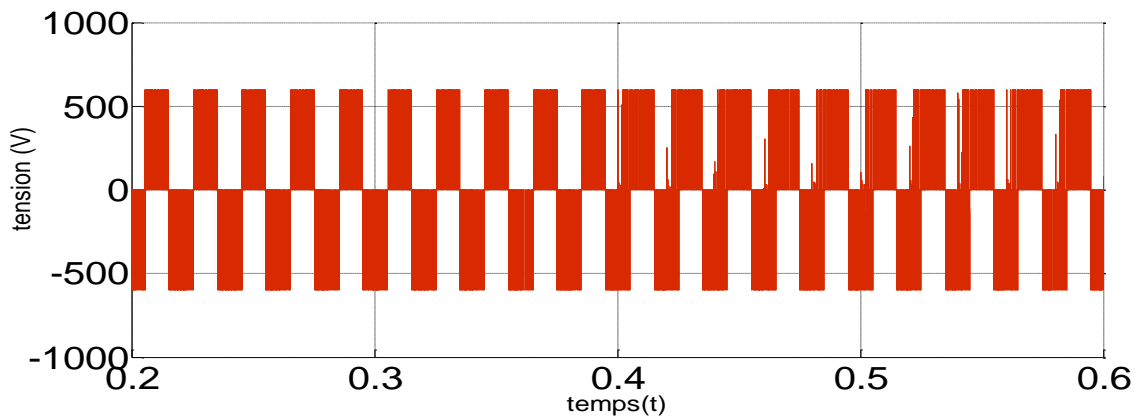


Figure III.14 : Onduleur en défaut et système de diagnostic

III.2.4.2 Resultats de simulation du circuit de Puissance en défaut

1. Tensions et courants de sortie de l'onduleur

Le défaut d'ouverture de T2 est provoqué après 0.4s du démarrage de la machine



(A)

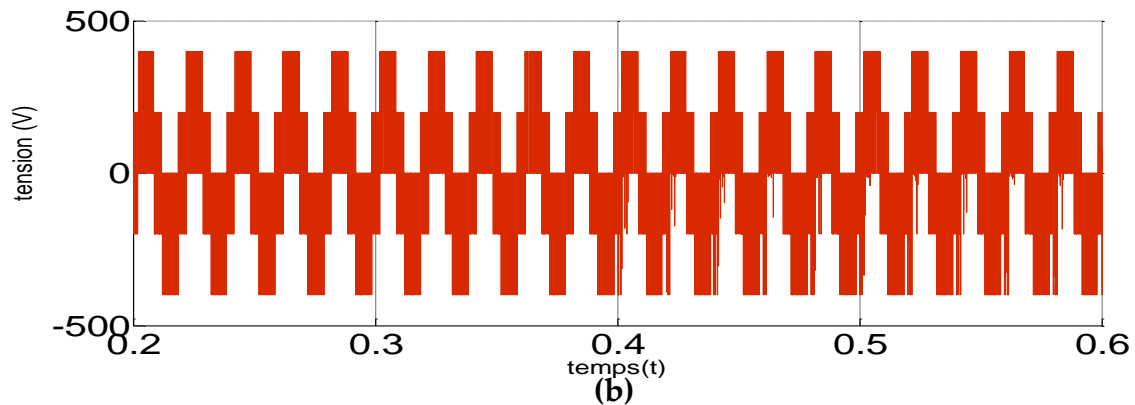


Figure III.15 : Les tensions de sortie de l'onduleur en défaut : (a) tension composée - (b) tension simple

En constate, qu'après génération du défaut d'ouverture de T2, une distorsion dans la forme des tensions de sorti de l'onduleur, ainsi que la présence de composantes continues.

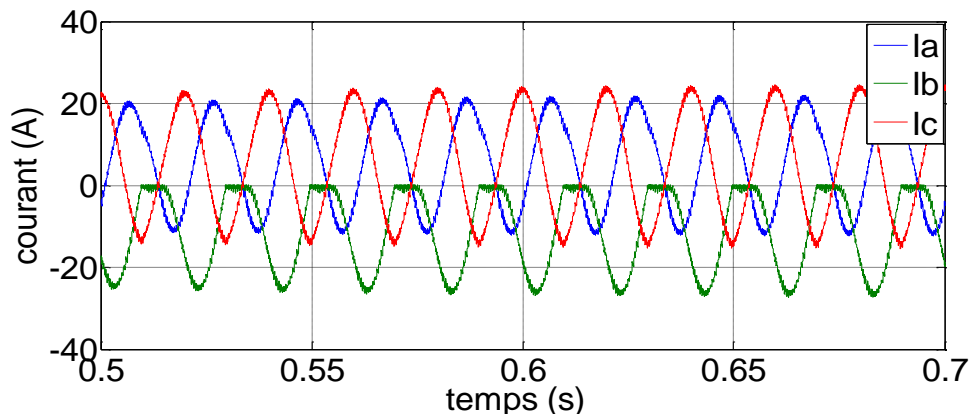


Figure III.16 : Les courants statoriques (après défaut).

On constate la disparition de l'alternance positif du courant de phase (i_b) et l'apparition de composantes continues dans les deux autres phases.

2. Etapes du diagnostic du défaut d'ouverture du transistor (T2)

a. Phase de détection du bras défaillant

Lors du défaut d'ouverture de T2, la pente reste constante pendant la moitié de la période actuelle et égale à $A = \sqrt{3}$. Par conséquent, le bras défectueux dans l'onduleur peut être localisé par simple identification de cette valeur et l'indicateur (boolien) du défaut affiche sa valeur unitaire ($SB_b=1$) et doit garder cette valeur, au minimum,

pendant cinq mesures successives, ce qui représente un quart de période des courants statoriques. Sachant que l'échantillonnage se fait vingt fois par période [19]. Cette procédure est bien illustrée par les figures suivantes :

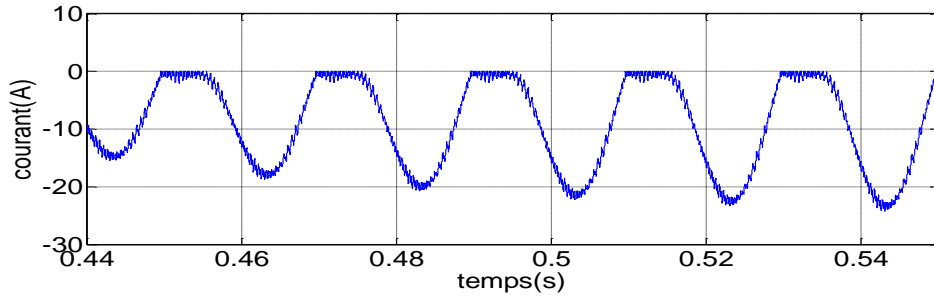


Figure III.17 : Courant de la phase (b) en défaut

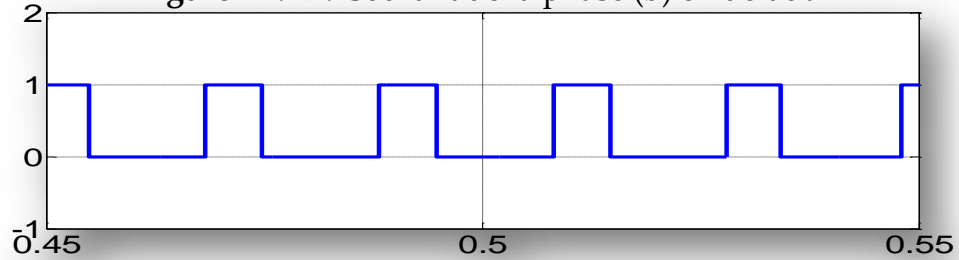


Figure III.18 : Indicateur du bras en défaut ($SB_b=1$)

b. Phase de localisation du transistor défaillant

La localisation du transistor (T2) défaillant dans le bras (b) de l'onduleur est basée sur le suivi du signe du courant de la phase (i_b) et l'indicateur booléen du signe de ce courant, qui se met à zéro ($SI=0$), indiquant la disparition totale de l'alternance positive. Cette procédure est bien illustrée par les figures suivantes :

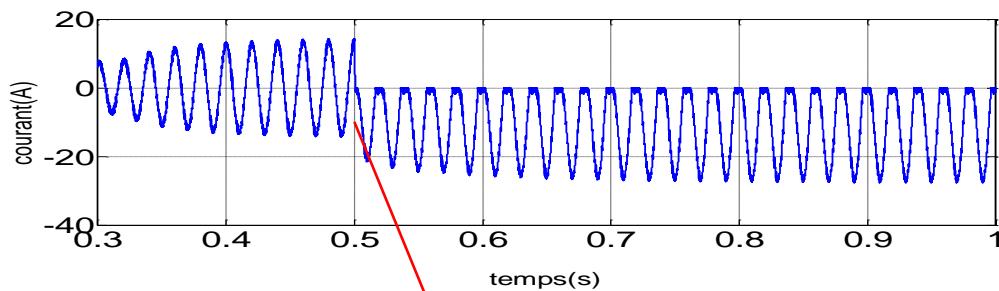


Figure III.19 : Courant de la phase (b) avant et après défaut

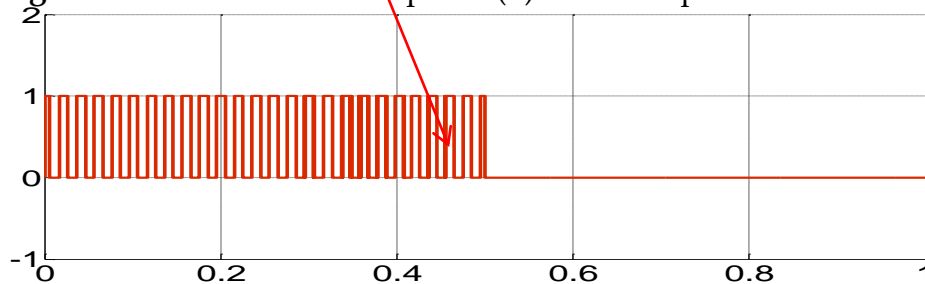


Figure III.20 : Indicateur du signe du courant de la phase (b), avant et après défaut

($SI_b=0$)

c. Logique de détection et de localisation du défaut

- Si $SB_b=1$ et $SI_b=0$ alors T2 est deffailant
- Si $SB_b=1$ et $SI_b=1$ alors T5 est deffailant

1. Signature du défaut d'ouverture du transistor (T2)

Dans cette partie dédiée aux résultats de simulation, on s'intéresse à la trajectoire du vecteur courant (dite contour de park), qui représente une signature typique du défaut.

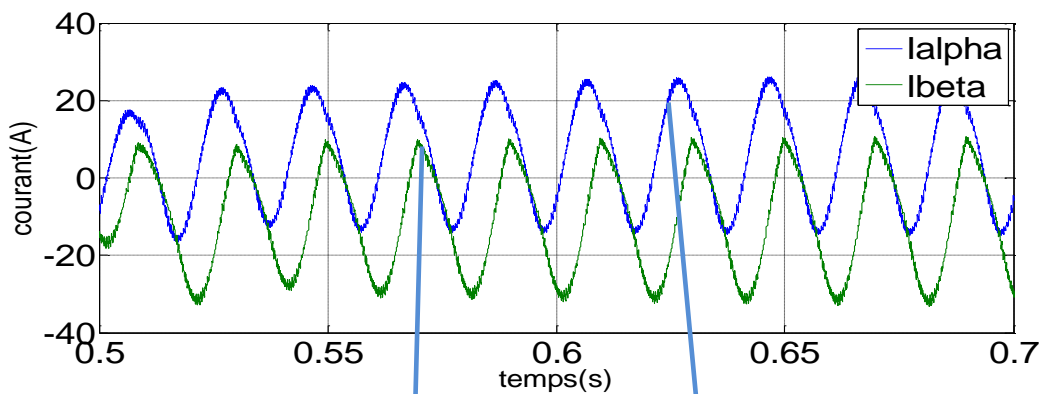
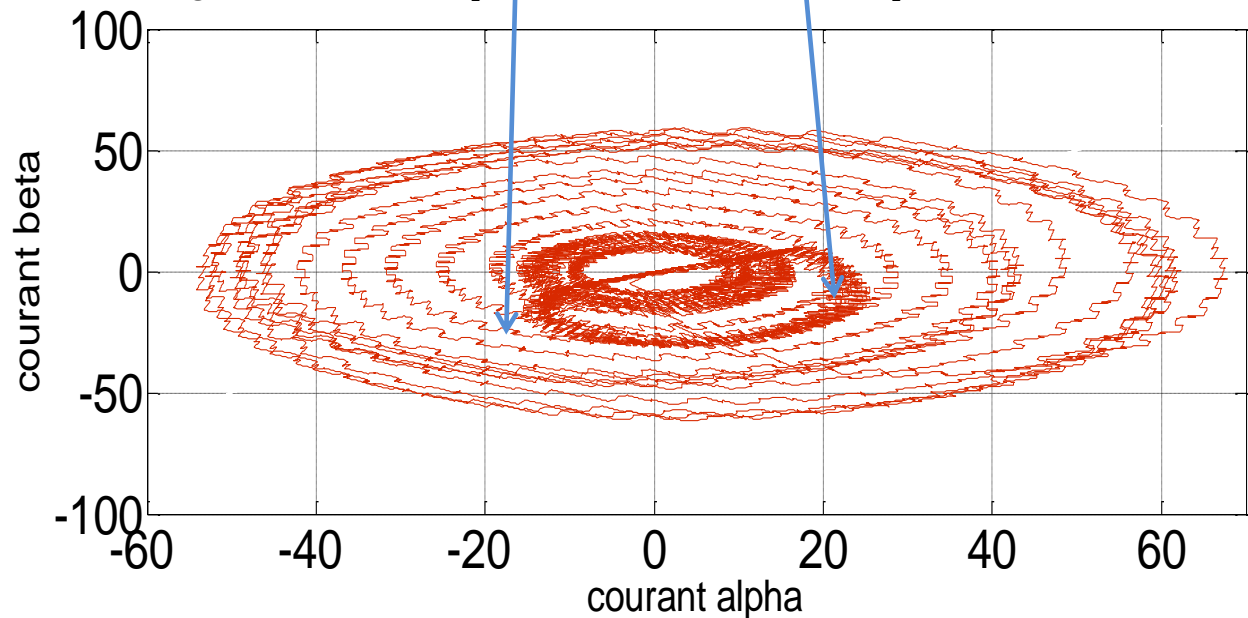


Figure III.21 : les composants du vecteur courant (après défaut)



Figure(III.22) : Trajectoire du vecteur courant avant et après défaut

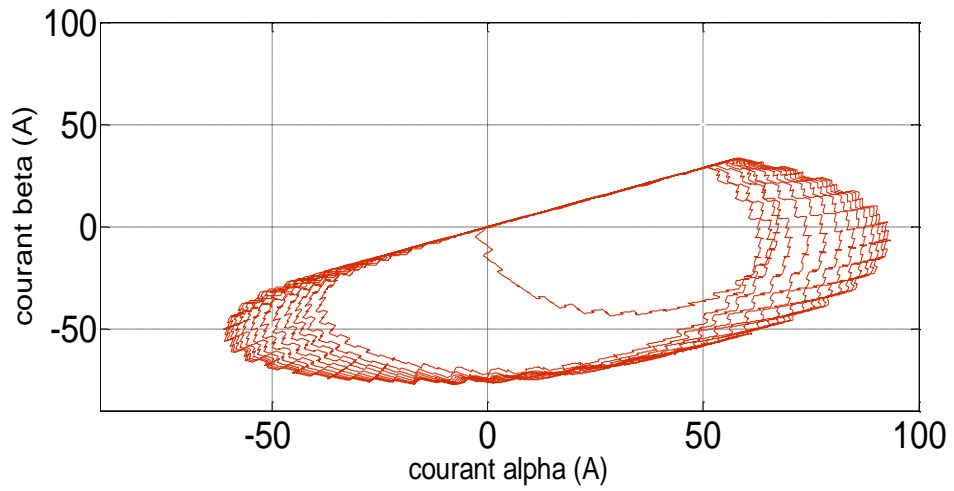


Figure III.23 : Trajectoire du vecteur courant avec un défaut au démarrage

3. Comportement de la machine après défaut d'ouverture du transistor (T2)

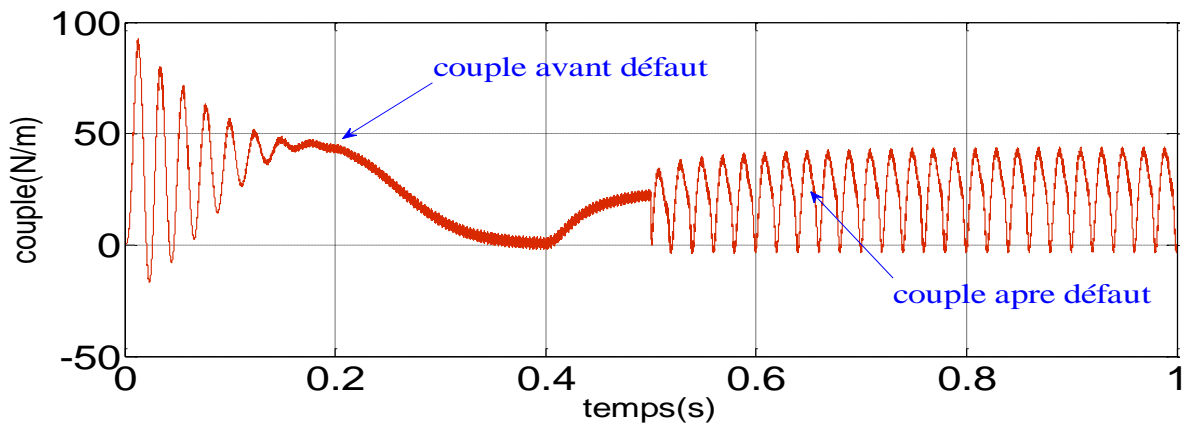


Figure III.24 : Couple électromagnétique

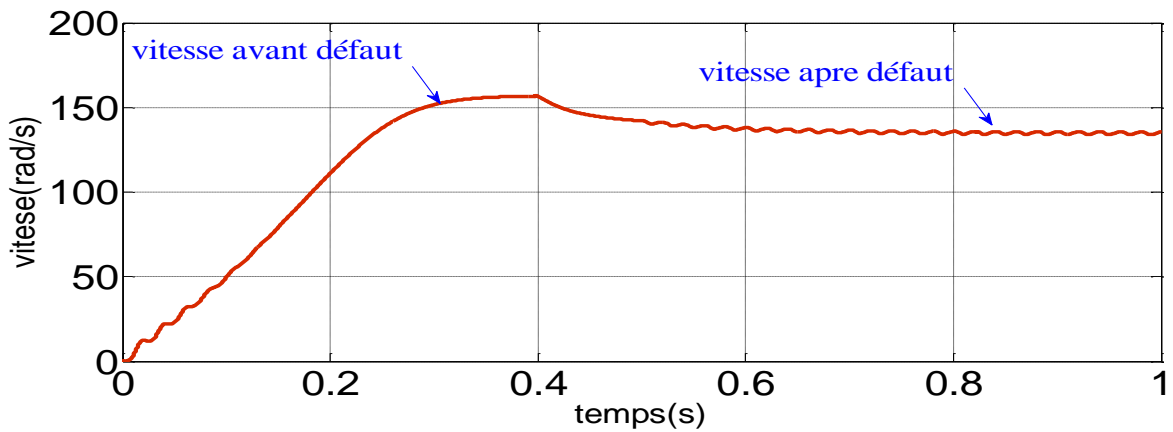
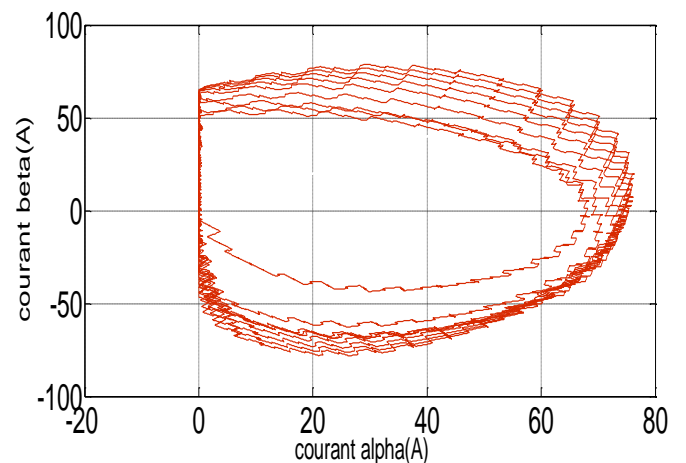
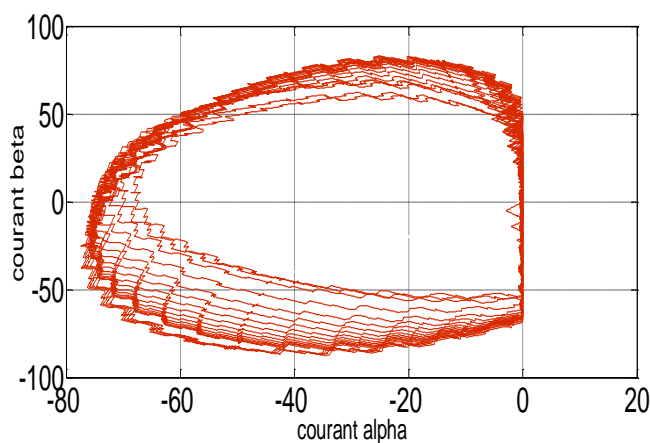


Figure III.25 : Vitesse de rotation

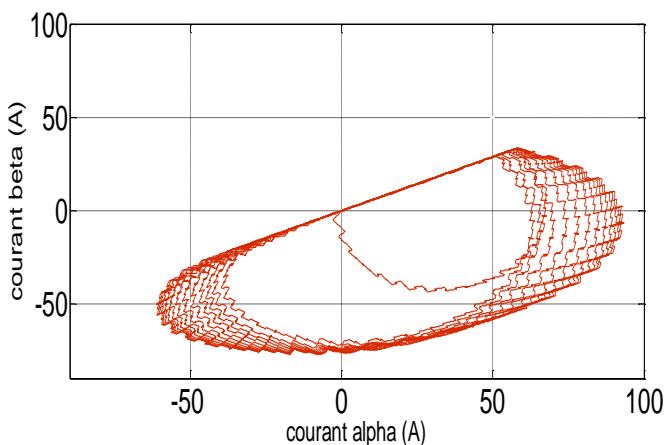
On constate que le défaut d'ouverture du transistor (T2) provoque de fortes ondulations dans le couple électromagnétique, causées par des courants de phases déséquilibrés, avec de fortes composantes continues. La diminution de la vitesse de rotation peut s'expliquer par la réduction de la puissance électrique absorbée par la machine, pour la même charge.

5. Synthèse des défauts d'ouverture des différents transistors de l'onduleur

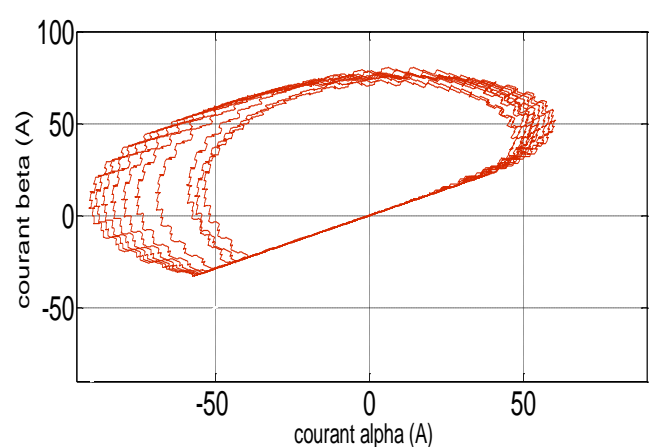
Après étude détaillée de tous les défauts d'ouverture des transistors de l'onduleur de tension triphasé, on peut présenter une synthèse des signatures typiques de chaque transistor en défaut. Les résultats présentés ci-dessous correspondent à des défauts provoqués au démarrage de la machine.



Défaut de l'int-T1

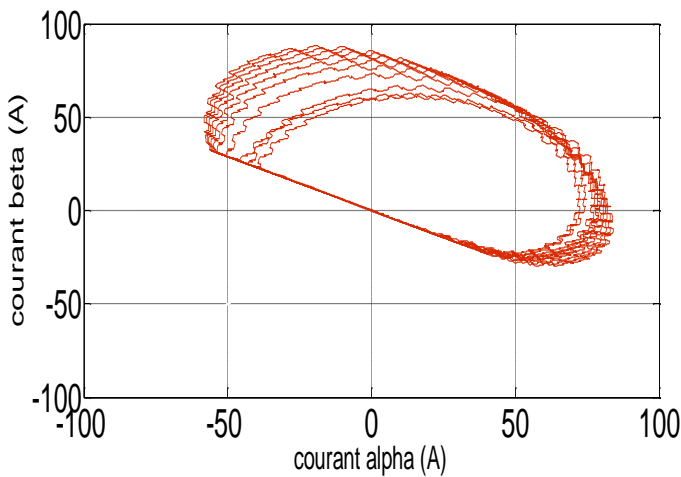


Défaut de l'int-T4

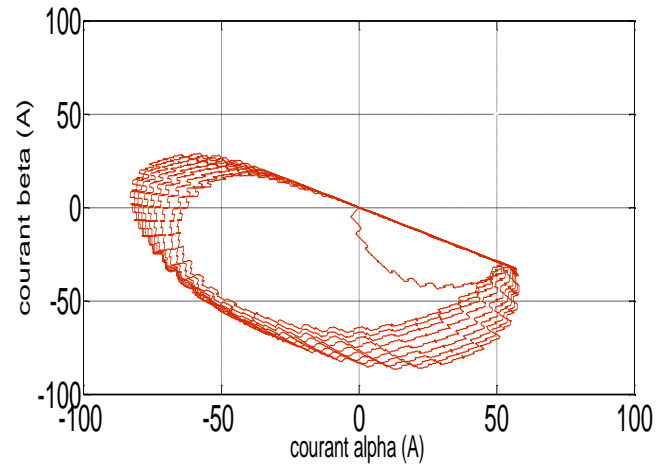


Défaut de l'int-T2

Défaut de l'int-T5



Défaut de l'int-T3



Défaut de l'int-T6

Figure III.26 : Les signatures des défauts d'ouverture des différents transistors de l'onduleur de tension

Dans le cas où l'interrupteur T1 est défaillant, On remarque qu'un demi-ellipse orienté vers la gauche à la prolongation négative de l'axe Alpha, Or quand l'interrupteur T4 est défaillant nous notons que la demi-ellipse est déplacée à la droite de l'axe Alpha, les deux demi-ellipses de T1, T4 sont séparées par un angle de 180° . L'analyse des autres interrupteurs à donner le même résultat

(T2, T5) On note que pour la même cellule, quand un des deux commutateurs est endommagé, leurs demi-ellipses correspondantes sont séparées par un angle de 180°

Supposons que le défaut est dans la partie supérieure de l'onduleur (T1, T2, T3), leurs demi-ellipses correspondantes sont séparées par un angle de 120° de même si on considère l'endommagement d'un des commutateurs de la position inférieure.

III.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté l'approche du diagnostic par l'analyse de la trajectoire du vecteur courant, dite contour de Park. Cette approche est illustrée par les étapes suivantes :

- Calcul des composantes du vecteur courant instantané, par la transformation de Park
- Calcul de la pente de la trajectoire et identification du bras en défaut, par simple reconnaissance des valeurs prédéfinis
- La localisation du composant en défaut est effectuée, par un simple suivi du signe du courant de la phase reliée au bras en défaut.

Application ont été traitée :

- Le diagnostic des défauts d'ouverture des transistors dans un onduleur de tension triphasé.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire sur un modèle mathématique du système étudié (la machine asynchrone et l'onduleur) a été présenté, ainsi que des méthodes de base pour diagnostiquer l'état du système en cas existents défauts, ce qui est une contribution précieuse dans le domaine des études défauts. Un accent particulier est mis sur l'onduleur de tension à deux niveaux.

L'étude des défauts considérés nous a permis d'analyser et d'expliquer l'effet de ces défauts sur les performances du moteur, nous avons étudié en simulant les cas de défauts d'ouverture du semi-conducteur dans l'onduleur.

Grâce au logiciel de simulation Matlab/Simulink, nous avons pu récupérer une image du fonctionnement de la machine de ce que l'on peut observer expérimentalement et prédire son comportement pour différentes conditions de fonctionnement.

Au moyen d'une simulation, affiche les défauts structurels de l'onduleur tels qu'un défaut ouverture.

Pour les défauts des interrupteurs à semi-conducteurs, ils sont détectés par la technique d'analyse de l'évolution du courant du Parc

Bibliographie

[1] SAHRAOUI, Mohamed (2010) Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones. ["eprint_fieldopt_thesis_type_phd" not defined] thesis, Université Mohamed Khider Biskra

[2] Tarek Ben Sliman " Caractérisation précise des défauts d'un variateur de vitesse en vue d'élaborer un système automatique de surveillance et de diagnostic", Thèse de Doctorat, Boumerdès, 2009.

[3] Olivier Ondel. Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur - machine asynchrone. Autre. Ecole Centrale de Lyon, 2006. Français.

[4] Hellali Lallouani " Diagnostic des défauts dans l'association convertisseur machine à induction " mémoire de Magister, Université de Batna, 2016.

[5] Ghefsi Yassine, «Détection des défauts dans l'association convertisseur machine à induction» , Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique université mohamed boudiaf – m'sila 2020.

[6] Benslimane Tarak , «Caractérisation Précise des Défauts d'un Variateur de Vitesse en Vue d'Elaborer un Système Automatique de Surveillance et de Diagnostic » , Mémoire présente pour l'obtention du diplôme de Magistère Université de Boumerdès 2009

[7] Dembri Hadjira, Performance de méthode de diagnostic des défauts de circuit ouvert d'un filtre actif parallèle ,Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique. université mohamed boudiaf – m'sila , 2019

[08] G. Didier, " Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances", Thèse de doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2003.

[09] A. F. Khatir, K. E. Hamsas, "diagnostic des machine asynchrone: utilisant du model multi enroulement" 4th International Conference on Computer Inteeegrated Manufacturig CIP 2007

[10] Z. Ahmed," Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée" Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra 2012 / 2013.

[11] O Ondel," Diagnostic par reconnaissance des formes ", "Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone" Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006

[12] M Ammar ,"surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones " These de Docteur ,Université du 20 Août 1955-Skikda 2012.

[13] Youcef Soufi , "Modélisation et diagnostic d'une association convertisseur machine électrique", Thèse de Doctorat d'État, Département d'Electronique, Université de Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, le 14 Juin 2012.

[14] Belkacemi Belkacem , Mim Zakaria , Ouada Laiche " Modélisation et simulation de l'association onduleur multi niveaux-machine asynchrone " Mémoire de Mastre , Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued 2020-2021 .

[15] Amine Lahyani, Pascal Venet, Guy Grellet, Pierre-Jean Viverge. Failure prediction of electrolytic capacitors during operation of a switchmode power supply. IEEE Transactions on Power Electronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998

[16] Bendemmagh Walid, « Commande de la machine asynchrone par la cascade hypo synchrone à base des logiciels Simplorer et Matlab », Mémoire de fin d'étude Magister en électrotechnique, Université de Setif 1 2013.

[17] Nouar kherkhachi Aziza Tayebbey Mounir "Surveillance et diagnostic des défauts du convertisseur Application à machine asynchrone " Mémoire De Fin D'études Master Energies Renouvelable Université Mohamed Boudiaf-M'sila 2020

[18] Melle. BEN ZEMAMOUCHE HOURIA " Application de la MLI Vectorielle aux Onduleurs Multiniveaux à base de GTO et d'IGBT " Mémoire de Magister , Département D'Electromécanique , Université badji mokhtar annaba .

- [19] Peugot, Raphael; Courtine, Stéphane; Rognon, Jean- Pierre: Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge-Based Model; IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, No. 6, 1998, pp. 1318 – 1325.
- [20] Khaled chaibanou « modélisation et diagnostic de la machine asynchrone par les techniques de la logique floue » memoire de magister en électrotechnique. univ-batna 2006 .
- [21] S, chäfer F.zidani R.nait-said M.S.boucherit « Fault détections and diagnoses on a PWM invertir by diffèrent techniques ». Journal of Electrical 2008 .
- [22] Friedrich W. Fuchs: Some Diagnosis Methods for Voltage Source Inverters In Variable Speed Drives with Induction Machines A Survey. University of Kiel 2003 .
- [23] Kral, C.; Kafka, K.: Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter Drive with Induction Machines. Procédions IEEE Power Électroniques Spécialistes Conférences, 2000.