

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES

DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

THÈME

Détection et Localisation des Défauts
dans les Onduleurs à MLI par la Logique
Floue

Préparé par :

Taibi Imen

Djedid Imane

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Qualité
Mme Bourenane Hayet	MAA	Président
Mr Berkani Abderrahmane	MAA	Examineur 1
Mr Belabbase Blecacem	MCB	Examineur 2
Mme Laribi Souad	MCB	Encadreur



Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail

Nous tounons à remercier :

Notre encadreur Mme : LARIBI.S pour son suivi continu ainsi que sa bonne orientation du travail.

Nous remercions également les membres de jury :

Mme: H.BOURENANE

Mr: A.BERKANI

Mr: B.BELABBAS

D'avoir acceptés d'honorer par leur présence la soutenance pour l'obtention le diplôme de Master.

Nos plus sincères remerciements vont également aux deux étudiants Amar Said Aghilas et Tahar Amiar pour leur aide.

Et enfin à tous nos collègues de la promotion 2017/2018 et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma mère ;

À mon père;

À mes frères et mes sœurs,

Chacun à son nom ;

À toute la famille ;

À tous mes chers amis(e)s et mes collègues

de l'Université

*Et à tous ce qui ont m'enseigné au long de
ma vie scolaire et universitaire*

Taibi Imen



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma mère ;

À mon père;

À mes frères et mes sœurs,

Chacun à son nom ;

À toute la famille ;

*À tous mes chers ami(e)s et mes collègues de
l'Université*

*Et à tous ce qui ont m'enseigné au long de ma
vie scolaire et universitaire*

Djedid imane

Liste des abréviations

<i>A</i>	<i>Ampère</i>
<i>AC</i>	<i>Alternative Current</i>
<i>C/S</i>	<i>Convertisseur Statique</i>
<i>DC</i>	<i>Direct Current</i>
<i>f</i>	<i>Fréquence</i>
<i>F_p</i>	<i>Fréquence de porteuse</i>
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transformé</i>
<i>L [H]</i>	<i>Inductance</i>
<i>MLI</i>	<i>Modulation de Largeur d'Impulsion</i>
<i>PWM</i>	<i>Pulse With Modulation</i>
<i>R [Ω]</i>	<i>Résistance</i>
<i>TF</i>	<i>Transformée de Fourier</i>
<i>U [V]</i>	<i>Tension composée</i>

Chapitre I

Figure I.01	<i>La conversion DC-AC par un onduleur</i>	02
Figure I.02	<i>Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone</i>	03
Figure I.03	<i>Schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi-pont</i>	04
Figure I.04	<i>Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont</i>	05
Figure I.05	<i>Schéma de principe d'un onduleur triphasé en pont</i>	05
Figure I.06	<i>Convertisseur avec onduleur de courant</i>	07
Figure I.07	<i>Redresseur- onduleur de tension</i>	07
Figure I.08	<i>Schéma de l'onduleur triphasé</i>	08
Figure I.09	<i>Court-circuit sur un interrupteur</i>	10
Figure I.10	<i>Circuit ouvert sur un interrupteur</i>	11
Figure I.11	<i>Représentation bidimensionnelle des courants lors d'un défaut de circuit ouvert</i>	14
Figure I.12	<i>Représentation bidimensionnelle des tensions lors d'un défaut de Court-circuit</i>	15

Chapitre II

Figure II.01	<i>Schéma de principe de la technique MLI</i>	18
Figure II.02	<i>Détermination des instants de commutation dans le cas d'une MLI</i>	18
Figure II.03	<i>Modèle de simulation de l'onduleur avec la commande MLI en absence de défaut (sain)</i>	19
Figure II.04	<i>Résultat de simulation de l'onduleur en absence de défaut (sain), a) Les courant I_{abc} a la sortie de l'onduleur et b) Spectre du courant I_a de la sortie de l'onduleur, c) Les courant I_{abc} filtrés de la charge d) spectre des courant de I_a filtrés de la charge</i>	20
Figure II.05	<i>Analyse de contour de Park à l'état sain</i>	21
Figure II.06	<i>Modèle de simulation de l'onduleur en présence de défaut (circuit ouvert)</i>	22
Figure II.07	<i>Les courant I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_1 et b) l'interrupteur T_4</i>	22
Figure II.08	<i>Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_2 et b) l'interrupteur T_5</i>	23
Figure II.09	<i>Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_3 et b) l'interrupteur T_6</i>	23
Figure II.10	<i>Les courants I_{abc} de la charge en présence de défaut dans le premier bras</i>	23
Figure II.11	<i>L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_1 et b) l'interrupteur T_4</i>	24
Figure II.12	<i>L'analyse spectrale du courant de charge dans le premier bras</i>	25
Figure II.13	<i>L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_2 et b) l'interrupteur T_5</i>	25
Figure II.14	<i>L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_3 et b) l'interrupteur T_6</i>	25
Figure II.15	<i>Analyse du contour de Park en présence de défaut de circuit ouvert dans les interrupteurs $T_1(a), T_4(b), T_2(c), T_5(d), T_3(e), T_6(f)$</i>	27
Figure II.16	<i>Modèle de simulation de défaut de l'onduleur en présence de défaut (court- circuit)</i>	28
Figure II.17	<i>Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_1 et b) l'interrupteur T_4</i>	28
Figure II.18	<i>Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_2 et b) l'interrupteur T_5.</i>	29
Figure II.19	<i>Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_3 et b) l'interrupteur T_6.</i>	29

Figure II.20	<i>L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de court-circuit dans les interrupteurs a)l'interrupteur T_1et b) l'interrupteur T_4</i>	30
Figure II.21	<i>L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de court-circuit dans les bras a)le premier bras b) le deuxième bras</i>	30
Figure II.22	<i>Analyse du contour de Park en présence de défaut de court - circuit dans les interrupteurs$T_1(a),T_4(b),T_2(c),T_5(d),T_3(e),T_6(f)$</i>	31

Chapitre III

Figure III.01	<i>Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou</i>	34
Figure III.02	<i>Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou</i>	35
Figure III.03	<i>Fonction d'appartenance singleton</i>	36
Figure III.04	<i>Implication floue</i>	37
Figure III.05	<i>Fonctions d'appartenances</i>	38
Figure III.06	<i>Simulation de diagnostic des défauts par la logique floue</i>	41
Figure III.07	<i>(a)structure générale d'un fichier FIS, (b) La bande latérale inférieure(I_a) et (c)la sortie (T_i)</i>	42
Figure III.08	<i>Présentation des règles d'inférence</i>	42
Figure III.09	<i>Exemple de défuzzification en cas de défaut T_1 circuit ouvert</i>	43
Figure III.10	<i>Sortie du système pour l'état sain</i>	44
Figure III.11	<i>Sortie du système pour un défaut de court-circuit</i>	44
Figure III.12	<i>Sortie du système pour un défaut de circuit ouvert</i>	45
Figure III.13	<i>Simulation de localisation de défaut</i>	45
Figure III.14	<i>Fuzzification a) des entrées et b) des sorties</i>	46
Figure III.15	<i>Présentation des règles d'inférence défaut de circuit ouvert dans $T_3(e), T_6(f)$</i>	47
Figure III.16	<i>Exemple de défuzzification dans le cas de l'état sain</i>	47

Introduction générale.....

Chapitre I : Etat de l'art

I.1 Introduction	02
I.2 Les onduleur	02
I.3 Domaines d'utilisation des onduleurs	03
I.4 Principe de fonctionnement d'un onduleur.....	03
1.4.1 Onduleur monophasé	04
1.4.1.1 Onduleur monophasé en demi-pont	04
1.4.1.2 Onduleur monophasé en pont (pont H).....	04
1.4.2 Onduleur triphasé	05
I.5 Classification des onduleurs	06
1.5.1 Onduleur non autonome	06
1.5.2 Onduleur autonome	06
I.6 Différents type d'onduleur pour l'alimentation des machines asynchrone	06
1.6.1 Onduleur de courant	07
1.6.2 Onduleur de tension	07
I.7 Modélisation de l'alimentation de la machine par onduleur	08
I.8 Différents types de défaut d'onduleur	10
1.8.1 Court-circuit sur un interrupteur.....	10
1.8.2 Circuit ouvert sur un interrupteur	10
1.8.3 Court-circuit de deux interrupteurs	11
1.8.4 Circuit ouvert de deux interrupteurs	12
I.9 Les Méthode d'analyse des défauts	12
1.9.1 Méthode d'analyse de spectre	12
1.9.2 La méthode Vectorielle de Park(Concordia)	14
I.10 conclusion	16

Chapitre II : Diagnostic des défauts dans les convertisseurs statiques

II.1 Introduction	17
II.2 Stratégies de commande d'un onduleur de tension	17
II.2.1 La commande par modulation sinus-triangle	18
II.3 Les objectifs de la technique MLI	19
II.4 Simulation et résultat du modèle de l'onduleur avec la commande MLI.....	19
II.4.1 Cas de l'onduleur avec la commande MLI avec fonctionnement sain	19
II.4.2 Cas de l'onduleur avec la commande MLI avec défaut de circuit ouvert	21

<i>II.4.3 Cas de l'onduleur avec la commande MLI avec défaut de court-circuit.....</i>	28
<i>II.5 Conclusion</i>	32

Chapitre III : Détection et localisation des défauts dans les onduleurs par la logique floue

<i>III.1 Introduction</i>	33
<i>III.2 Logique floue</i>	33
<i>III.3 Principe de la logique floue</i>	33
<i>III.4 Eléments de base de la logique floue</i>	34
<i>III.4.1 Variables linguistiques</i>	34
<i>III.4.2 Ensembles flous</i>	34
<i>III.4.3 Fonctions d'appartenance</i>	35
<i>III.5 Opérateur de la logique floue</i>	36
<i>III.6 Règles floues</i>	37
<i>III.7 Structure d'un système flou</i>	38
<i>III.7.1 Interface de fuzzification</i>	38
<i>III.7.2 Base de règles</i>	38
<i>III.7.3 Mécanisme d'inférence floue</i>	39
<i>III.7.4 Interface de défuzzification</i>	39
<i>III.7.4.1 Méthode du maximum</i>	40
<i>III.7.4.2 Méthode de la moyenne des maxima</i>	40
<i>III.7.4.3 Méthode du centre de gravité.....</i>	40
<i>III.8 Avantages et inconvénients de la commande par la logique floue</i>	40
<i>III.9 Diagnostic de défaut de l'onduleur à base de la logique floue</i>	41
<i>III.10 Conclusion</i>	48
<i>Conclusion générale.....</i>	50

Introduction générale

L'électronique de puissance connaît aujourd'hui des applications dans la plupart des domaines exploitant l'énergie électrique avec des puissances de quelques watts jusqu'à plusieurs dizaines de mégawatts tels que: les systèmes de propulsion électrique, transport et les systèmes aérospatiaux...etc.

Les convertisseurs statiques sont des éléments essentiels dans de nombreux systèmes d'électronique de puissance telle que les variateurs de vitesse des machines alternatives. La sécurité de ces systèmes, leur fiabilité, leurs performances, la qualité de l'énergie et la continuité de service constituent aujourd'hui des préoccupations majeures dans le domaine de l'énergie.

La commande des convertisseurs statiques et la défaillance des composants sont des causes principales de création des défauts dans un convertisseur qui soient un circuit ouvert, court-circuit ou vieillissement des composants. Ces types de dysfonctionnements induisent des contraintes d'endommagement pour le système (le convertisseur lui-même), ces défauts doivent être rapidement détectés et localisés et afin d'empêcher la répartition de danger de ces défauts.

Auparavant, la détection des défauts est effectuée via l'emploi des capteurs, qui sont coûteux généralement. Par contre, ces dernières années les méthodes de diagnostic furent développées pour la détection et la localisation des défauts dans les convertisseurs statiques.

Dans ce contexte, notre travail a été décomposé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art du convertisseur statique (l'onduleur) avec les différents défauts affectant qui peuvent l'affecter ainsi que les différentes techniques utilisées pour détecter ces différents défauts.

Dans le deuxième chapitre, nous allons dans un premier temps présenter la technique de la commande MLI. Cette technique permet de donner une meilleure forme de la tension de sortie de l'onduleur, donc une meilleure qualité spectrale. Ensuite par des tests de simulation d'un onduleur triphasé de tension avec les défauts les plus courants tels qu'une ouverture d'une phase et un défaut de court-circuit dans les phases.

Pour analyser ces différents défauts, nous allons utiliser deux techniques qui sont basées sur l'analyse des grandeurs électriques qui est le courant d'une phase :

- Analyse spectrale du courant par la transformation de fourrier FFT
- Analyse du contour de Park $I_{\beta} = f(I_{\alpha})$

Le troisième chapitre est un aperçu général sur la logique floue, ainsi que son application dans le domaine de diagnostic de défaut dans les entraînements électriques.

Le mémoire est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I : Etat de l'Art

I.1 Introduction

Grace aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques voient progressivement leur champ d'applications s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications, telles que le filtrage actif et la dépollution de réseaux électriques, ou l'alimentation de machine à courant alternatif pour des applications particulières, sont très exigeantes en termes de performances dynamiques.

Les applications de l'électronique furent pendant longtemps limitées à la technique des hautes fréquences. Les possibilités d'application étaient limitées par le manque de fiabilité des éléments électroniques alors disponibles. Cette fiabilité était insuffisante pour répondre aux hautes exigences requises par la nouvelle application dans le domaine industriel. Ce ne fut qu'à la suite du développement des composants électroniques spéciaux de fiabilité plus élevée et de tolérance plus restreintes, que les nouvelles techniques peuvent être envisagées. Ainsi naît une nouvelle branche de l'électronique appelée électronique de puissance.

A la base de l'électronique de puissance se trouvent les éléments de puissances, qui peuvent être subdivisés en éléments redresseurs non contrôlables (diodes) et éléments redresseurs contrôlables (thyristors, transistors...).

Les éléments de puissances, associés à des dispositifs auxiliaires appropriés (commande de gâchettes, radiateurs de dissipation, circuit RC de protection) se composent des modules standard permettant la conversion de puissance, tel que les redresseurs, les onduleurs, les cyclo convertisseur... etc.

I.2 Les onduleur

L'onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion à partir d'une source d'entrée continue pour avoir en sortie une source de sortie alternative. L'onduleur est employé sur la base des semi-conducteurs. Par une séquence adéquate de commande de ces derniers, l'onduleur peut fournir à sa sortie une tension (ou courant) alternatif de valeur moyenne nulle et d'amplitude et de fréquence désirées [1].

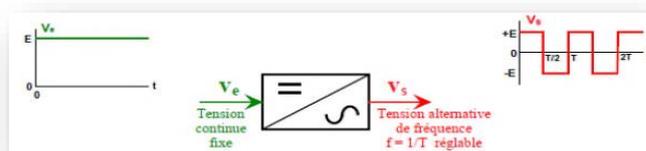


Figure I.01 : La conversion DC-AC par un onduleur

I.3 Domaines d'utilisation des onduleurs

L'onduleur est l'un des convertisseurs statiques les plus répandus de l'électronique de puissance, il a plusieurs domaines d'applications:

• Alimentation de secours (sécurité)

La réalisation d'alimentation de sécurité est la plus importante parmi les autres domaines d'application des onduleurs. Certains équipements ne peuvent supporter les coupures d'électricité inévitables notamment en milieu hospitalier.

En domaine informatique, les ordinateurs ne peuvent supporter même pas les microcoupures (quelques périodes) qui causent les pertes des informations donc lors de la coupure de l'électricité, l'onduleur peut assurer la continuité de l'alimentation à partir des batteries [1].

• Réglage de la vitesse de rotation des moteurs à courant alternatif

D'une manière générale, pour varier la vitesse d'un moteur alternatif (de plus en plus fréquent), il faut jouer sur la fréquence des tensions d'alimentation donc la tension du réseau (fréquence fixe) redressée puis par un onduleur associé à ce dernier, on peut obtenir une tension dont la fréquence désirée est réglable [2].

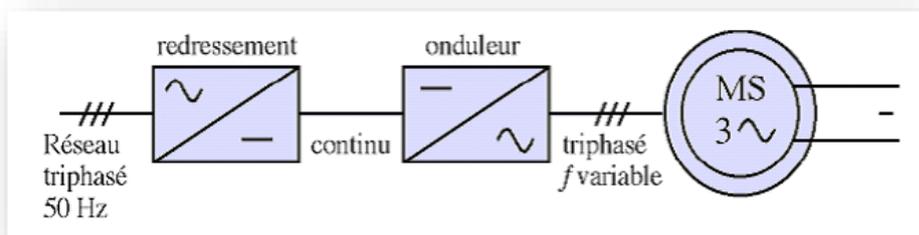


Figure I.02 : Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

I.4 Principe de fonctionnement d'un onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde. Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion [3]

- Onduleur monophasé
- Onduleur triphasé

I.4.1 Onduleur monophasé

Ce type d'onduleur délivrant à sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de sources. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer suivant leur topologie [4] :

I.4.1.1 Onduleur monophasé en demi-pont

Le schéma de principe d'un tel onduleur monté en demi-pont est montré sur la figure(I.03)

Figure I.03 :Schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi-pont

Il est constitué principalement de deux interrupteurs de puissance notée S1 et S2 à commande complémentaire. La durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d'un demi cycle (180°) correspondant à la fréquence du signal de sortie requis.

Lors de la fermeture de l'interrupteur S1, la tension aux bornes de la charge serait donc $+E/2$, et prend la valeur $-E/2$ quand le second interrupteur, S2 est fermé[5].

La conduction simultanée des deux interrupteurs est évitée par l'élaboration d'une commande adéquate qui tient compte des différentes caractéristiques des imperfections de ces interrupteurs de puissance (temps de montée t_r temps de descente t_f et temps de stockage t_s). Les diodes D1 et D2 dites de récupération assurent la conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge .

I.4.1.2 Onduleur monophasé en pont (pont H)

L'onduleur en pont est représenté en figure (I.04) il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par S1, S2, S3 et S4 quand les interrupteurs S1 et S2 sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur $+E$ et de $-E$ lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs S3 et S4.

Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément, à cause d'un court-circuit de la source de tension continue.

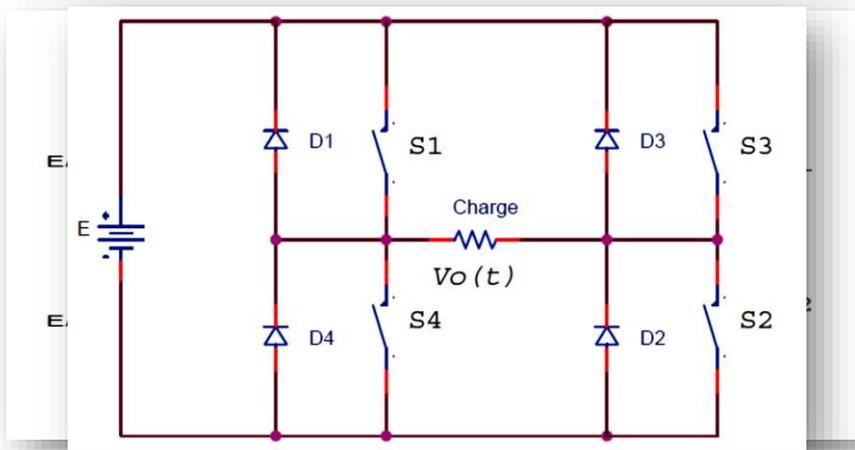


Figure I.04 :Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont

I.4.2 Onduleur triphasé

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés l'une par rapport à l'autre.

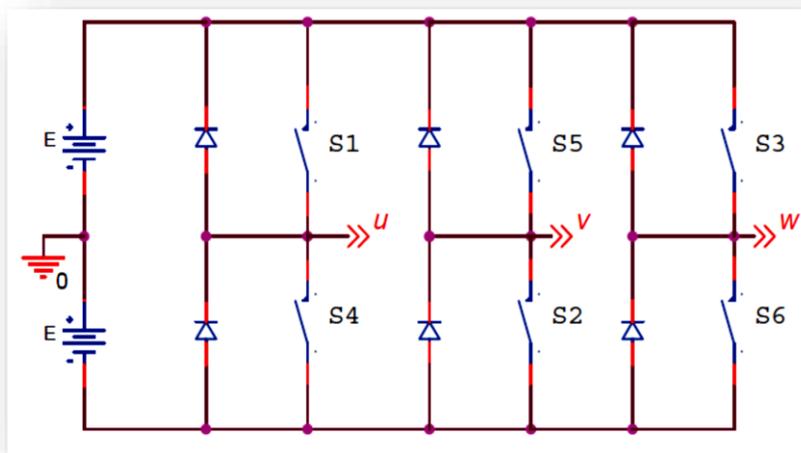


Figure I.05 : Schéma de principe d'un onduleur triphasé en pont

La figure (I.05) illustre la topologie d'un onduleur triphasé à six interrupteurs de puissance. Le décalage entre les signaux de commande est de 60° [6]

I.5 Classification des onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu- alternatif, alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie. Une première classification peut être faite en distinguant : onduleur non autonome et onduleur autonome.

Entre ces deux types d'onduleurs, il existe un type intermédiaire d'onduleur appelé onduleur à commutation par la charge « ou encore onduleur à résonance » [7].

I.5.1 Onduleur non autonome

Un onduleur est dit non autonome si l'énergie nécessaire pour la commutation des thyristors est fournie par le réseau alternatif qui est donc un réseau actif. C'est le cas du fonctionnement en onduleur des redresseurs. La fréquence et la forme d'onde de la tension sont imposées par le réseau alternatif [8].

I.5.2 Onduleur autonome

Un onduleur autonome est un convertisseur statique assurant la conversion continu- alternatif. Alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions 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 tensions.
- les onduleurs de courant.

I.6 Différents types d'onduleur pour l'alimentation des machines asynchrone

Pour fonctionner un onduleur, on a besoin d'une source à courant continu que l'on peut obtenir en redressant la tension du réseau triphasé. La sortie à courant continu du redresseur et l'entrée à courant continu de l'onduleur sont reliées par un circuit intermédiaire. On utilise deux types de liaisons : les liaisons à source de courant et les liaisons à source de tension. Un onduleur associé à un redresseur est alors appelé onduleur de courant ou de tension.

L'onduleur est la dernière partie du variateur de vitesse située avant le moteur. Il fournit des grandeurs électriques des variateurs au moteur. Dans tous les cas l'onduleur est composé de semi-conducteurs disposés par paires en trois bras. Les semi-conducteurs de l'onduleur commutent sur des signaux en provenance du circuit de commande. [9]

I.6.1 Onduleur de courant

Lorsqu'il fonctionne en source de courant, le redresseur fournit un courant constant à l'onduleur ; une inductance de lissage l'aide à maintenir le courant constant. La figure (I.06) représente un convertisseur avec un onduleur de courant.

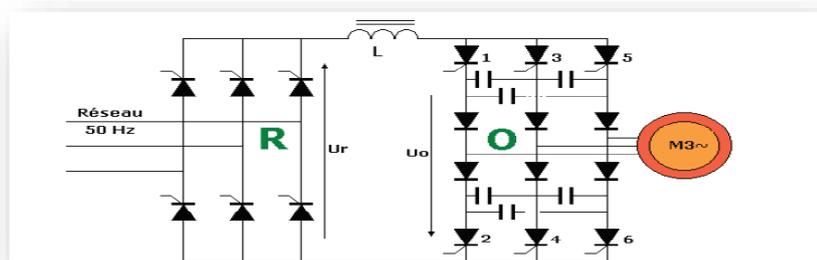


Figure I.06: Convertisseur avec onduleur de courant

I.6.2 Onduleur de tension

Lorsqu'il fonctionne en source de tension, le redresseur fournit une tension constante à l'onduleur. La présence d'un conducteur dans le circuit de liaison aide alors à maintenir une tension constante à l'entrée de l'onduleur.

Pour réaliser des onduleurs destinés à alimenter une charge ordinaire d'impédance très variable à partir d'un redresseur, on choisit des onduleurs de tension (figure (I.07))

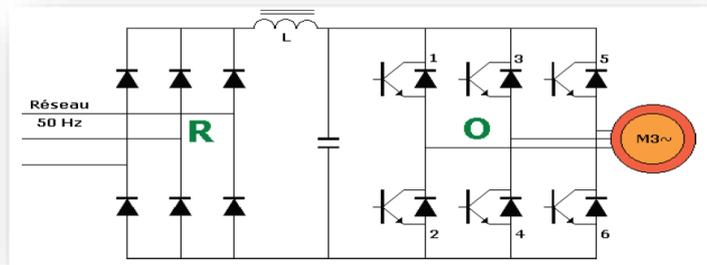


Figure I.07 : Redresseur- onduleur de tension

Les raisons du choix de l'onduleur de tension sont multiples :

- ✓ Le fonctionnement de l'onduleur de tension est fort affecté par les imperfections de la source continue, peu par celle de la charge. Pour l'onduleur de courant, c'est l'inverse.
- ✓ Les deux types d'onduleurs (de tension et de courant) ne délivrent pas directement une tension de sortie sinusoïdale, donc il faut utiliser un filtre à leur sortie. Avec l'onduleur de tension : la tension à filtrer est imposée par la source continue, avec l'onduleur de courant : la tension à filtrer dépend de la charge.

I.7 Modélisation de l'alimentation de la machine par onduleur

La figure (I.08) montre le schéma d'un onduleur triphasé alimentant une MAS

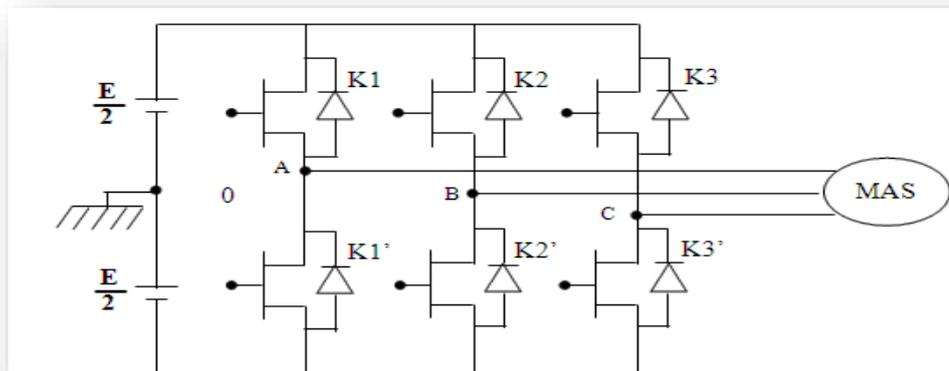


Figure I.08 : Schéma de l'onduleur triphasé

L'onduleur triphasé à six interrupteurs est formé par trois demi-ponts monophasés à deux niveaux. Les tensions de sortie aux bornes de l'onduleur sont référencées par rapport au point fictif 0 de la source de l'onduleur ; ils ont pour expression :

$$V_j - V_0 = \begin{cases} +\frac{E}{2} & \text{si } k_j \text{ est ouvert } j = A, B, C \\ -\frac{E}{2} & \text{si } k_j \text{ est fermé } j = A, B, C \end{cases} \quad (\text{I.01})$$

D'où, on peut écrire :

$$\begin{aligned} V_{AB} &= (V_A - V_0) - (V_B - V_0) \\ V_{BC} &= (V_B - V_0) - (V_C - V_0) \\ V_{CA} &= (V_C - V_0) - (V_A - V_0) \end{aligned} \quad (\text{I.02})$$

Les tensions aux bornes de l'onduleur peuvent s'écrire :

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{A0} - V_{B0} \\ V_{BC} &= V_{B0} - V_{C0} \\ V_{CA} &= V_{C0} - V_{A0} \end{aligned} \quad (\text{I.03})$$

Sachant que :

$$V_{AN} + V_{BN} + V_{CN} = 0 \quad (\text{I.04})$$

On peut écrire :

$$\begin{cases} V_{AN} = V_{A0} + V_{ON} \\ V_{BN} = V_{B0} - V_{ON} \\ V_{CN} = V_{C0} - V_{ON} \end{cases} \quad (\text{I.05})$$

Les tensions simples aux bornes de la charge montée en étoile peuvent s'exprimées comme suit :

$$\begin{cases} V_{AN} = \frac{1}{3}(2V_{A0} - V_{B0} - V_{C0}) \\ V_{BN} = \frac{1}{3}(V_{A0} - 2V_{B0} - V_{C0}) \\ V_{CN} = \frac{1}{3}(V_{A0} - V_{B0} - 2V_{C0}) \end{cases} \quad (\text{I.06})$$

On peut réécrire l'équation (I.06) sous forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{B0} \\ V_{C0} \end{bmatrix} \quad (\text{I.07})$$

Les tensions entre phases et le neutre fictif peuvent être données en fonction des signaux par :

$$\begin{cases} V_{A0} = E \cdot S_A \\ V_{B0} = E \cdot S_B \\ V_{C0} = E \cdot S_C \end{cases} \quad (\text{I.08})$$

Ou : S_j ($j=A, B, C$) sont les fonctions logiques qui représentent l'état des interrupteurs électriques (k_1, k_2, k_3) dont la commutation est supposée instantanée.

- ♦ $S_j=1$: Interrupteur haut (k) fermé et interrupteur bas (k') ouvert.
- ♦ $S_j=0$: Interrupteur haut (k) ouvert et interrupteur bas (k') fermé.

$$\begin{cases} V_{AN} = \frac{E}{3}(2S_A - S_B - S_C) \\ V_{BN} = \frac{E}{3}(2S_B - S_A - S_C) \\ V_{CN} = \frac{E}{3}(2S_C - S_A - S_B) \end{cases} \quad (\text{I.09})$$

L'équation (I.9) peut être réécrite sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_A \\ S_B \\ S_C \end{bmatrix} \quad (\text{I.10})$$

I.8 Différent type de défaut d'onduleur

I.8.1 Court-circuit sur un interrupteur

Sur un onduleur triphasé à trois bras, un court-circuit sur un interrupteur (Figure I.09) empêche tout fonctionnement. Ce court-circuit rend inutilisable un des bras car si le deuxième interrupteur de ce même bras est commandé, la source serait alors court-circuitée.

La conséquence principale de la mise en court-circuit d'un des transistors sur le fonctionnement de l'onduleur est l'apparition de deux chemins de circulation incontrôlable du courant, ceux-ci passant par les diodes mises en parallèle dans les interrupteurs. [10]

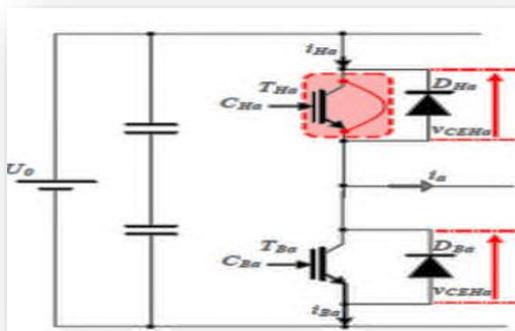


Figure I.09 : Court-circuit sur un interrupteur

I.8.2 Circuit ouvert sur un interrupteur

Un interrupteur bloqué en ouverture (figure I.10) n'a pas les mêmes conséquences qu'un interrupteur en court-circuit. Un tel scénario peut arriver par exemple si l'interrupteur ne reçoit plus les commandes de fermeture. Ce cas présente l'avantage de ne pas court-circuiter la diode mise en parallèle dans l'interrupteur, n'empêchant donc pas complètement le fonctionnement du moteur.

Il est rapidement possible d'imaginer les conséquences de cette faute sur la production de couple si les autres interrupteurs sont toujours commandés normalement. [10]

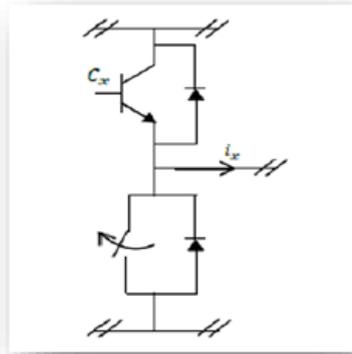


Figure I.10 : Circuit ouvert sur un interrupteur

Le courant de la phase présentant le défaut est tronqué soit de sa partie négative, soit des parties positives suivant l'interrupteur touché, modifiant la forme des courants des autres phases. Une chute du couple apparaît alors dans cette zone, et donc une discontinuité dans la production. Ces discontinuités rendent le contrôle du moteur très difficile voire impossible à cause des passages par zéro du couple global produit.

I.8.3 Court-circuit de deux interrupteurs

Ce cas est spécifique par rapport aux précédents cas cités. En effet, pour que ce cas apparaisse, il faut que l'onduleur soit victime d'une double faute. Il faut différencier deux cas pour ces doubles fautes. Le premier concerne deux court-circuits sur deux bras différents. Pour une machine pilotée sur trois phases avec un onduleur à trois bras, cela signifie l'arrêt inévitable du moteur qui ne peut plus être alimenté. Si de plus les courts-circuits concernent un interrupteur connecté au positif du bus continu et l'autre connecté au négatif, un courant continu de défaut est créé passant par les deux phases concernées et pouvant aller jusqu'à la détérioration du moteur, la résistance des bobines étant faible.

Le second cas est plus grave car il concerne les court-circuits de deux interrupteurs sur un même bras. La source se trouve alors en court-circuit, ce qui pourrait, en plus de neutraliser la machine électrique, détériorer une autre partie du système. Pour cette faute, et de manière générale pour toute faute entraînant un court-circuit de la source, un système de déconnexion de l'alimentation doit être prévu pour isoler au moins la partie défectueuse [10].

Cette double faute peut donc être critique, causant l'impossibilité d'utiliser un moteur classique, et une problématique importante pour la tolérance d'une telle double faute.

I.8.4 Circuit ouvert de deux interrupteurs

Ce mode de défaut correspond à la perte de la commande d'un bras, ses deux interrupteurs restant ouverts. La phase n'est plus connectée qu'à travers les diodes antiparallèles de la cellule de commutation, la conduction spontanée d'une des diodes du bras en défaut dépend des forces électromotrices développées par la machine et des commandes des bras restants. Le courant dans la phase concernée est assez faible, voire

quasiment nul, selon la commande effectuée et les courants dans les phases saines ont leurs fondamentaux en opposition de phase.

Si la défaillance survient à haute vitesse, la durée de conduction des diodes se trouve augmentée. Comme les diodes restituent de l'énergie vers le bus continu, la valeur moyenne du couple produit s'en trouve réduite.

I.9 Les Méthode d'analyse des défauts

I.9.1 Méthode d'analyse de spectre

Le traitement du signal est depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances électriques. L'analyse spectrale est de loin la méthode de diagnostic la plus économique et la plus rapide, d'où son succès auprès des industriels.

Dans cette méthode, le spectre actuel est analysé pour détecter les caractéristiques d'un transistor ouvert en utilisant la transformée de Fourier rapide (TFD) qui est une base majeure de la physique et des mathématiques.

Son principe repose sur le fait que toute fonction périodique peut être représentée comme la somme d'une série de sinus et de cosinus dont on fait varier d'une part les amplitudes en les multipliant par des coefficients, et d'autre part les phases en les décalant de manière à ce qu'elles s'additionnent ou se compensent. C'est une intégration qui permet de passer de l'espace du temps à celui des fréquences.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{I.11})$$

Si le signal $x(t)$ est périodique, la décomposition en série de Fourier permet de calculer l'amplitude des raies de son spectre.

Soit $x(t)$ un signal de période : $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$

Le mathématicien Fourier a démontré que la fonction $x(t)$ peut s'écrire sous la forme suivante :

$$x(t) = X_0 + C_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + C_2 \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + C_N \cdot \sin(N\omega t + \varphi_N) \quad (\text{I.12})$$

Donc X_0 est la valeur moyenne de $x(t)$: $X_0 = \langle x \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt$

$C_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$: est le fondamental de $x(t)$, sa pulsation est : $\omega = 2\pi f$; son amplitude est C_1 .

$C_2 \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2)$: est l'harmonique de rang 2, sa pulsation est 2ω , son amplitude est C_2 .

$C_N \cdot \sin(N\omega t + \varphi_N)$: est l'harmonique de rang N, sa pulsation est, son amplitude est C_N .

Cette décomposition peut aussi s'écrire de la façon suivante :

$$x(t) = X_0 + A_1 \cdot \cos(\omega t) + B_1 \cdot \sin(\omega t) + A_2 \cdot \cos(2\omega t) + B_2 \cdot \sin(2\omega t) + \dots \quad (\text{I.13})$$

$$+ A_N \cdot \cos(N\omega t) + B_N \cdot \sin(N\omega t)$$

Avec :

$$A_N = \frac{2}{T} \int x(t) \cdot \cos(N\omega t) \cdot dt \quad (\text{I.14})$$

Et

$$B_N = \frac{2}{T} \int x(t) \cdot \sin(N\omega t) \cdot dt \quad (\text{I.15})$$

Les deux écritures de la décomposition en série de Fourier d'une fonction périodique du temps sont équivalentes, et on a les correspondances : $\varphi_N = \tan^{-1} \left(\frac{B_N}{A_N} \right)$

Si la fonction du temps $x(t)$ qui décrit le signal est connu, la TF permet de calculer l'équation $S(f)$ de la courbe du spectre .C'est une intégration qui permet de passer de l'espace du temps à celui des fréquences :

$$S(jf) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{I.16})$$

C'est un nombre complexe dont le module donnera $S(f)$.

L'analyse par FFT permet de mettre en évidence les raies présentes dans le spectre du signal.

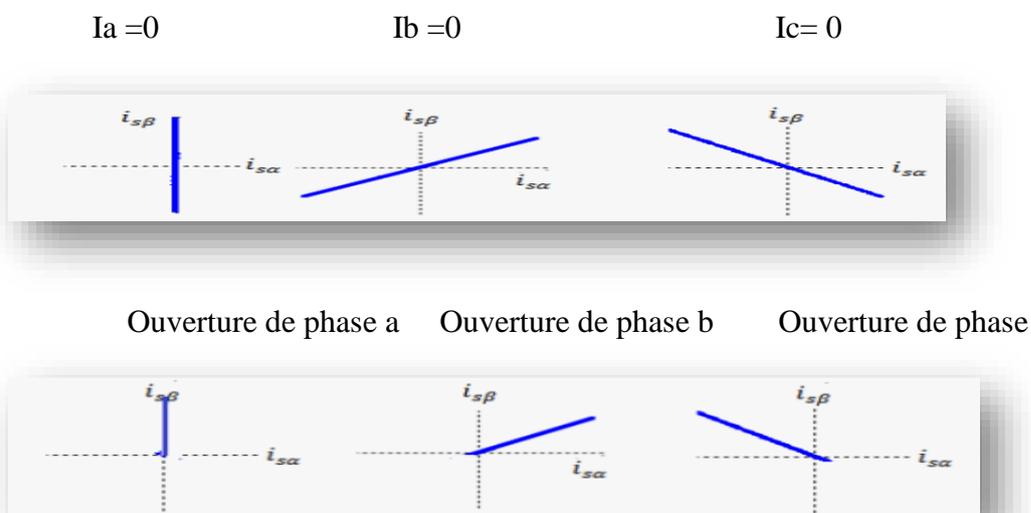
Des logiciels spécifiques ont été développés pour faciliter les calculs numériques : ils utilisent des langages interprétés optimisés pour les calculs matriciels intensifs et des outils graphiques de simulation .ces logiciels contiennent des centaines de fonctions mathématiques avec la possibilité de rajouter interactivement des programmes écrits dans langages .ils possèdent des structures de données sophistiquées [11].

I.9.2 La méthode vectorielle de Park(Concordia)

Cette méthode concerne la structure de l'onduleur de deux niveaux triphasé. Dans cette technique, la détection des défauts de circuit ouvert et la localisation du transistor défaillant sont effectuées en calculant le module et l'angle du vecteur de Park dont l'expression obtenue avec la transformation de Concordia. Les courants et les tensions biphasés sont donnés par l'expression suivante [12] [13] :

$$\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (\text{I.17})$$

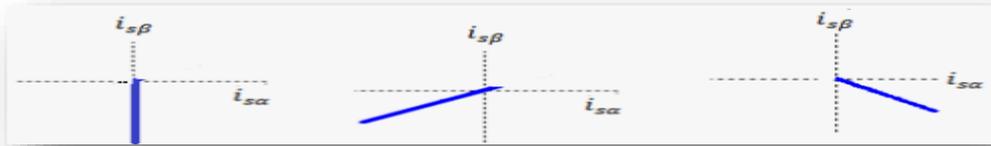
Le changement de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut. Les figures (I.11) et (I.12) montrent les signatures de défaut qui sont basées sur une représentation bidimensionnelle des courants.



Ouverture de T1

Ouverture de T2

Ouverture de T3



Ouverture de T4

Ouverture de T5

Ouverture de T6

Figure I.11 : Représentation bidimensionnelle des courants lors d'un défaut de circuit ouvert

$V_a = 0$

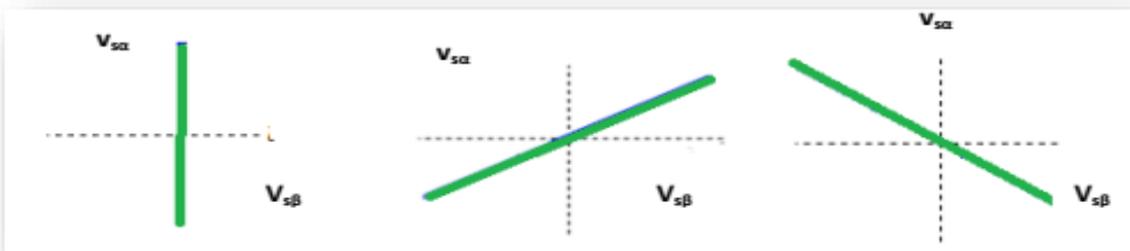
$V_b = 0$

$V_c = 0$

Court-circuit de phase a

Court-circuit de phase b

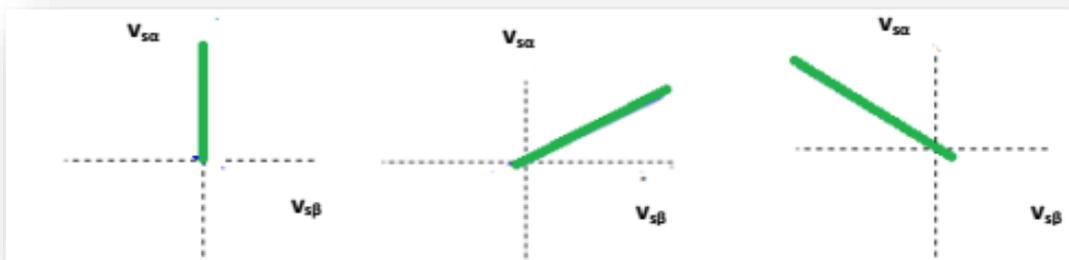
Court-circuit de phase c



Court-circuit de T1 phase a

Court-circuit de T2 phase b

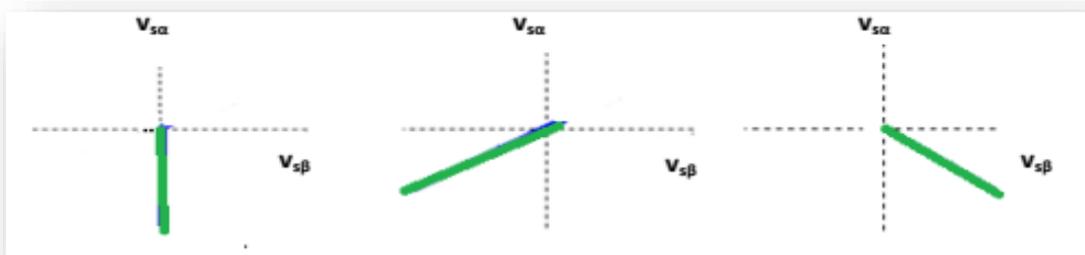
Court-circuit de T3 phase



Court-circuit de T4 phase b

Court-circuit de T5 phase b

Court-circuit de T6 phase



I.10 conclusion :

L'onduleur joue un rôle très important en électronique de puissance grâce à ses nombreux avantages, la fluidité et la simplicité de commande qu'il offre, puisque il est destiné à travailler à haute fréquence.

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés tout d'abord aux principales les défauts qui peuvent affecter le bon fonctionnement de l'onduleur et pour la deuxième partie de ce chapitre basée sur les deux méthodes pour le diagnostic et la localisation de défauts dans l'onduleur, la première méthode concerne l'analyse des courants dans le repère de Concordia. La seconde approche concerne l'analyse spectrale en utilisant la FFT. Les deux méthodes étudiées vont être développé et simuler dans l'environnement MATLAB dans le chapitre suivant.

Chapitre II :
Diagnostic des Défauts dans les
Onduleurs

II.1 Introduction

Actuellement un grand axe de recherches est orienté vers la surveillance de l'état du convertisseur. En effet, un convertisseur tel que l'onduleur est susceptible de présenter des défauts structurels tels que les défauts d'ouverture des interrupteurs à semi-conducteurs et par conséquent ce type de dysfonctionnement peut induire des endommagements pour le système de production si le personnel n'est pas averti et qu'un arrêt intempestif ne soit produit. Puisque, l'appareillage de protection n'intervient qu'au dernier stade de défaut ; il est donc évident, que l'investissement dans le domaine de la détection des dysfonctionnements paraît une solution incontournable.

Dans ce chapitre, nous présenterons l'onduleur de tension contrôlés par la technique de la commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI) et l'application d'une approche dédiée à la détection et au diagnostic des défauts dans l'onduleur cette approche est basée sur l'analyse du contour de Park du courant de charge, et l'analyse spectrale du courant de charge .

II.2 Stratégies de commande d'un onduleur de tension

On distingue les stratégies de commande suivantes :

- Commande pleine onde (dite 180°) : dans cette méthode, les bras de l'onduleur sont commandés tous les tiers de la période. L'inconvénient majeur est la forme des tensions qui génèrent beaucoup d'harmoniques perturbant la sortie, de plus il n'existe aucun degré de liberté sur la tension [14].
- Commande décalée.
- Commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI).

La commande à MLI, (en Anglo saxon Pulse With Modulation : PWM), consiste à adopter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et à former chaque alternance d'une tension de sortie d'une succession de créneaux de largeur convenable [15].

La MLI a des performances, on cite entre autres , l'élimination des premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance .Cependant , cette technique ne résout pas totalement le problème des harmoniques de courant et ça compte comme un inconvénient .Pour assurer la détermination en temps réel des instants de fermeture et d'ouverture des interrupteurs on distingue plusieurs types de techniques de modulation de largeur d'impulsion qui diffèrent dans le concept et les performances dont on peut citer la modulation sinus-triangle , et la MLI vectorielle (SVM : space vecteur modulation) [16].

- ✓ La modulation sinus-triangle effectue la comparaison d'un signal de référence sinusoïdal à une porteuse en général triangulaire.
- ✓ La modulation vectorielle appelée encore MLI régulière symétriques dans lesquelles les angles de commutation sont calculés en ligne [17].

II.2.1 La commande par modulation sinus-triangle

Dans notre travail, l'onduleur est commandé par la technique de modulation de la largeur d'Impulsion (MLI). A l'aide d'un signal-triangulaire appelé porteuse, ces tensions sont modulées en largeur de chaque interrupteur de l'onduleur. A chaque instant, l'un des deux interrupteurs de chaque bras est en conduction et l'autre est bloqué. [18], [19], [20].

Le schéma bloc de la commande MLI sinus-triangle de l'onduleur est donné comme suit

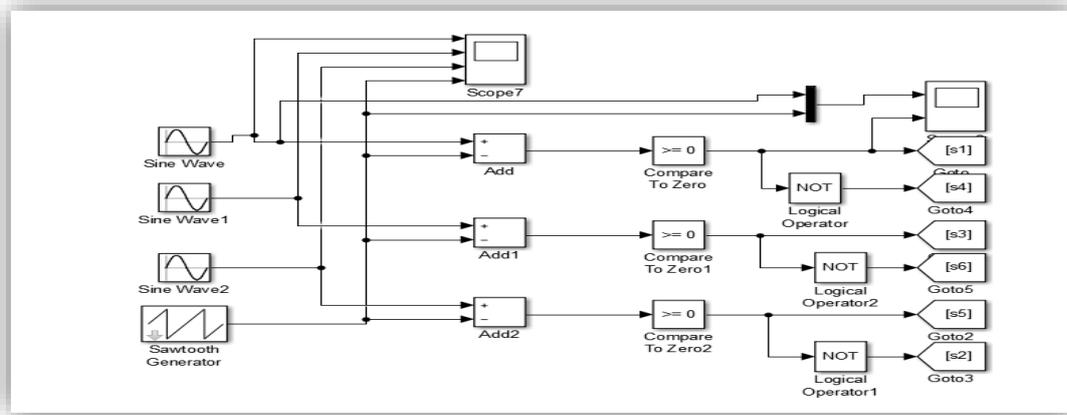


Figure (II.01) : Schéma de principe de la technique MLI

La détermination des instants des commutations dans le cas d'un MLI est donnée par la **Figure(II.02)**

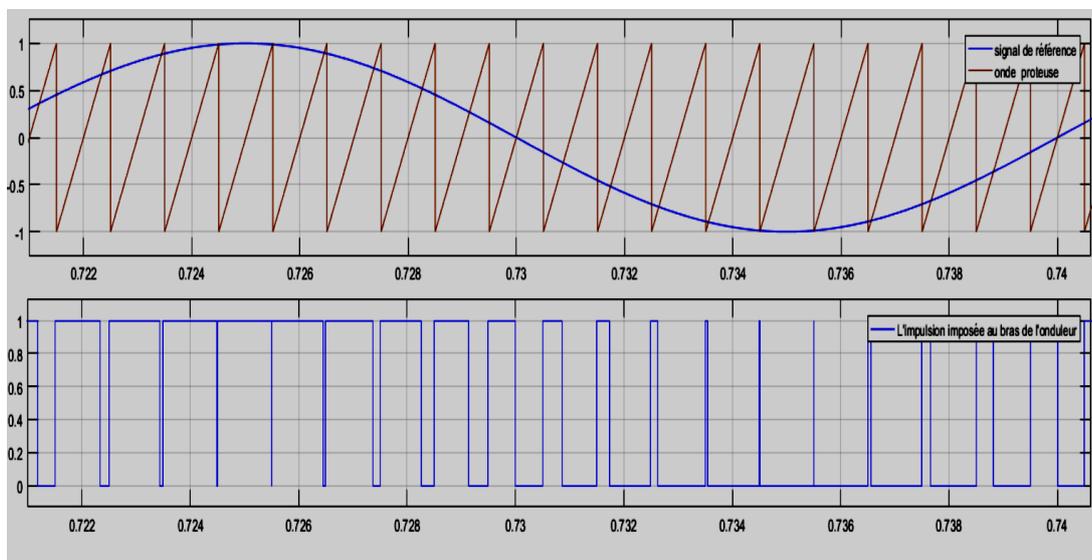


Figure II.02 : Détermination des instants de commutation dans le cas d'une MLI

II.3 Les objectif de la technique MLI

Les objectifs principaux d'une MLI sont les suivants :

- ❖ Obtenir dans la charge électrique des courants dans la variation est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie.
- ❖ Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées.
- ❖ Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamentale des tensions de sortie généralement sur la plus grande plage possible et pour une fréquence de sortie larges variable.

II.4 Simulation et résultat du modèle de l'onduleur avec la commande MLI

II.4.1 Cas de l'onduleur avec la commande MLI avec fonctionnement sain

La simulation présentée par la suite est réalisée sur un onduleur triphasé de tension à deux niveaux commandé selon le principe de la **MLI** intersective. Avec une valeur de tension continue **DC=400V** générée

par un redresseur triphasé, dont la fréquence de la porteuse $f_p=3\text{KHz}$. L'onduleur alimente une charge RL ($L=2\text{mH}$, $R=5\Omega$). Dans cette simulation, nous avons utilisé un filtre passif dont $L=800\mu\text{H}$ et $C=400\mu\text{F}$, la méthode de calcul numérique utilisée est l'approche d'Euler avec un pas de calcul fixe, de $h=1\text{e-}5\text{s}$ et un temps de simulation de 3s .

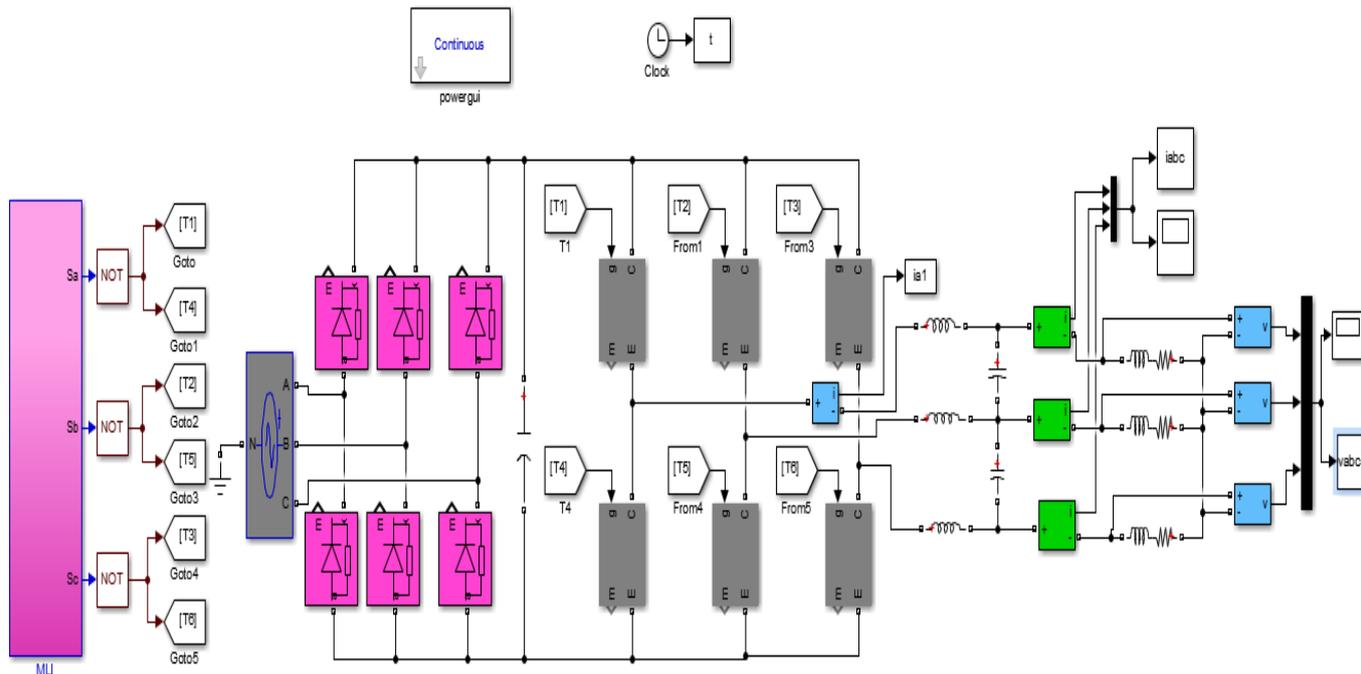
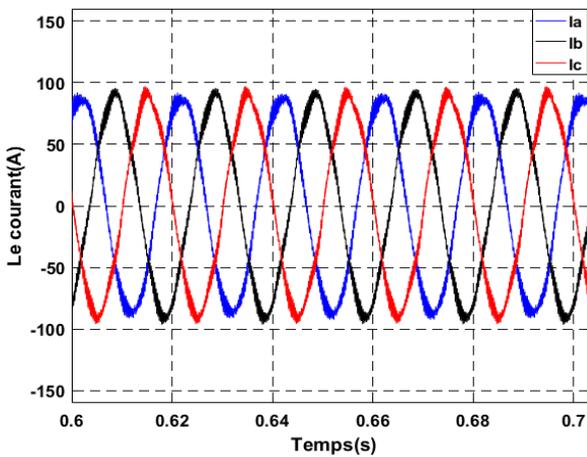


Figure II.03 : Modèle de simulation de l'onduleur avec la commande MLI en absence de défaut (sain)

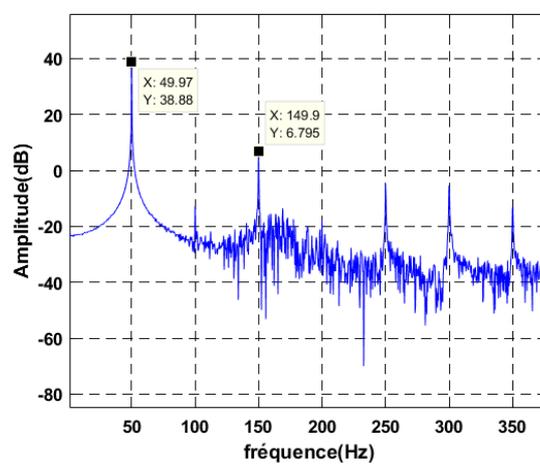
Pour réaliser l'opération du diagnostic on utilise 02 techniques basées sur l'analyse du courant :

- Analyse spectrale du courant
- Contour de PARK

Les résultats issus de la simulation de l'onduleur triphasée de tension à deux niveaux commandé selon le principe de la MLI, nous a permis d'obtenir les trois courants I_a, I_b et I_c de la charge avec et sans filtre (Fig II.04).



(a)



(b)

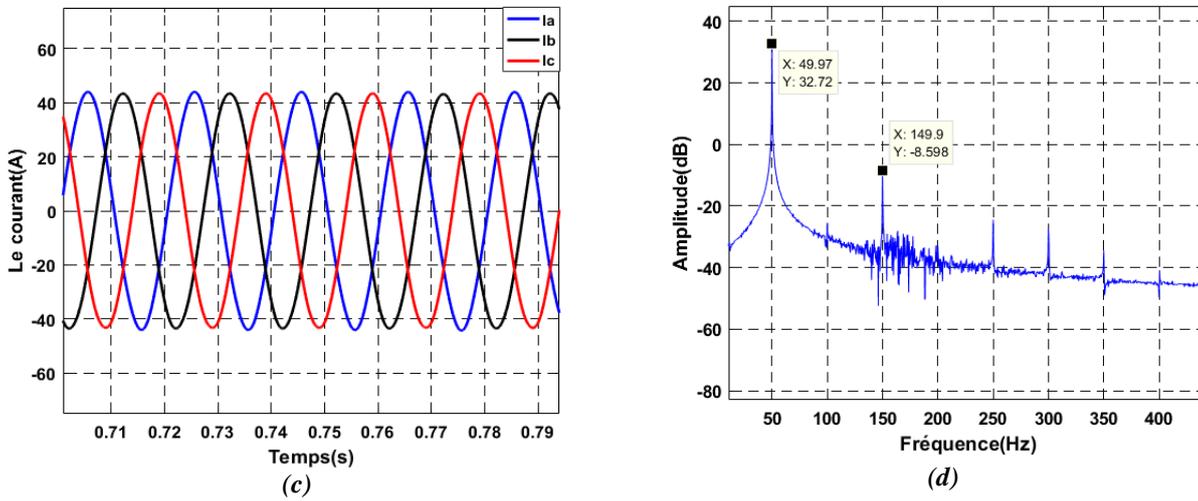


Figure II.04 : Résultat de simulation de l'onduleur en absence de défaut (sain), a) Les courant I_{abc} a la sortie de l'onduleur et b) Spectre du courant I_a de la sortie de l'onduleur, c) Les courant I_{abc} filtrés de la charge d) spectre des courant de I_a filtrés de la charge

On remarque que les courants de charge I_{abc} sont faibles mais non nuls en régime permanent. On peut expliquer cette circulation de courant par l'existence de champs harmonique donc harmoniques apparaissent dans les courants avant le filtre figure (II.04-c) ce qui les perturbent ainsi que peuvent être réduits grâce au filtre introduit, composé d'inductances en série associées à des capacités entre phases (Fig II.04-a).

L'analyse spectrale du courant de charge contient en plus de la raie à la fréquence d'alimentation $f_s = 50\text{Hz}$, des harmoniques supplémentaires, qui sont les harmoniques de temps, donc le courant ne présente aucune raie caractéristique de défaut figure (II.04-b et II.04-d).

Les harmoniques qui apparaissent dans le spectre du courant peuvent être réduits grâce à au filtre introduit ; composé d'inductances en série avec des capacités entre phases dans le but d'assurer une fonction « passe bas » pour atténuer les hautes fréquences.

En utilisant la deuxième technique de l'analyse de contour de Park pour le cas de fonctionnement sain on obtient les figures ci-dessous:

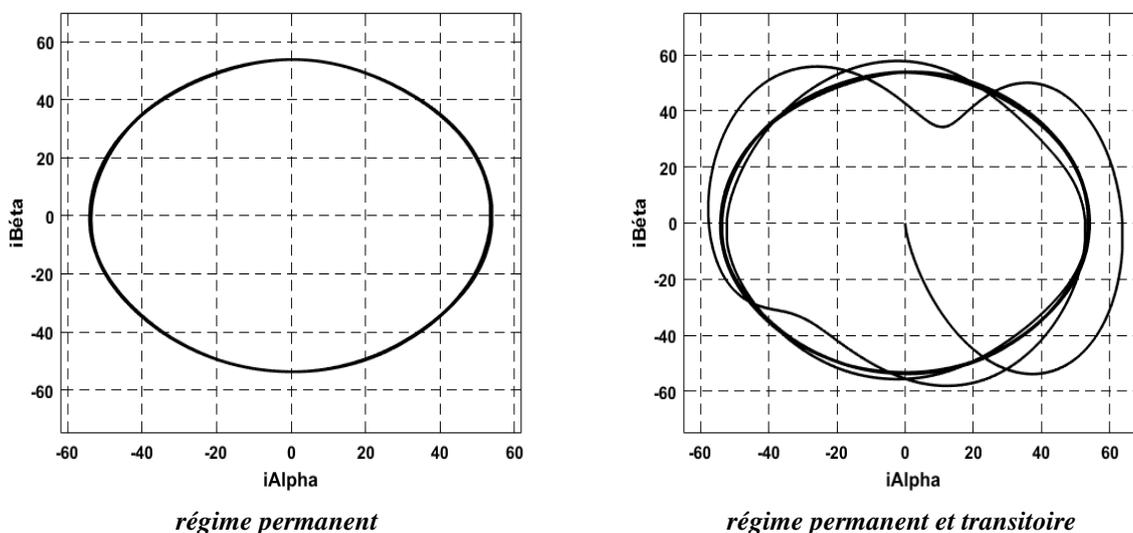


Figure II.05 : Analyse de contour de Park à l'état sain

On remarque que dans le cas du fonctionnement sain de l'onduleur, la forme de contour de Park est une forme circulaire, Ce cercle représente la forme de Lissajous en régime permanent et en régime transitoire.

II.4.2 Cas de l'onduleur avec la commande MLI avec défaut de circuit ouvert

Dans le but de visionner l'influence des défauts de circuit ouvert et court-circuit sur grandeurs électriques, on essaye de le créer dans les différents interrupteurs.

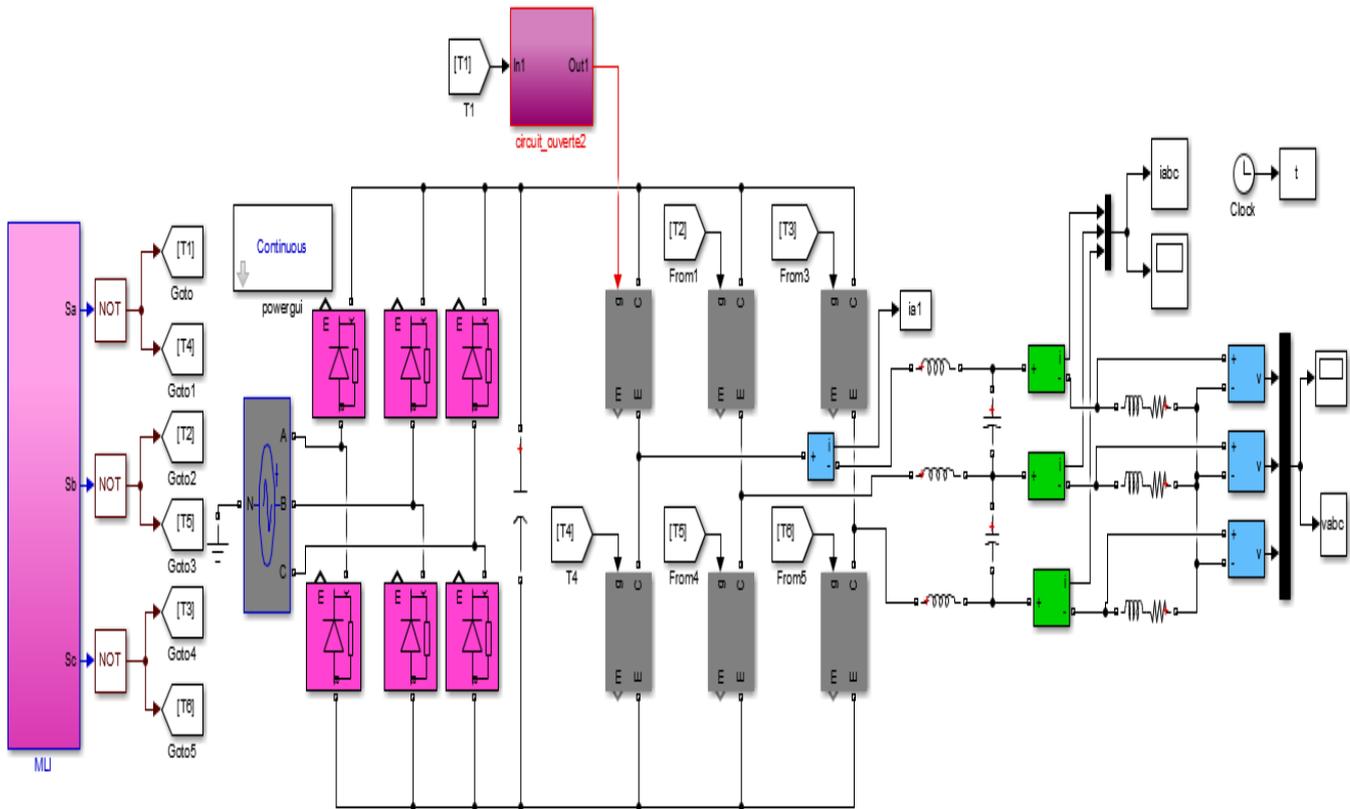


Figure II.06 : Modèle de simulation de l'onduleur en présence de défaut (circuit ouvert)

Les résultats issus de simulation de défaut de circuit ouvert dans les différents interrupteurs de l'onduleur nous a permet d'obtenir les différents courants I_{abc} (FigII.07 , II.08 et II.09).

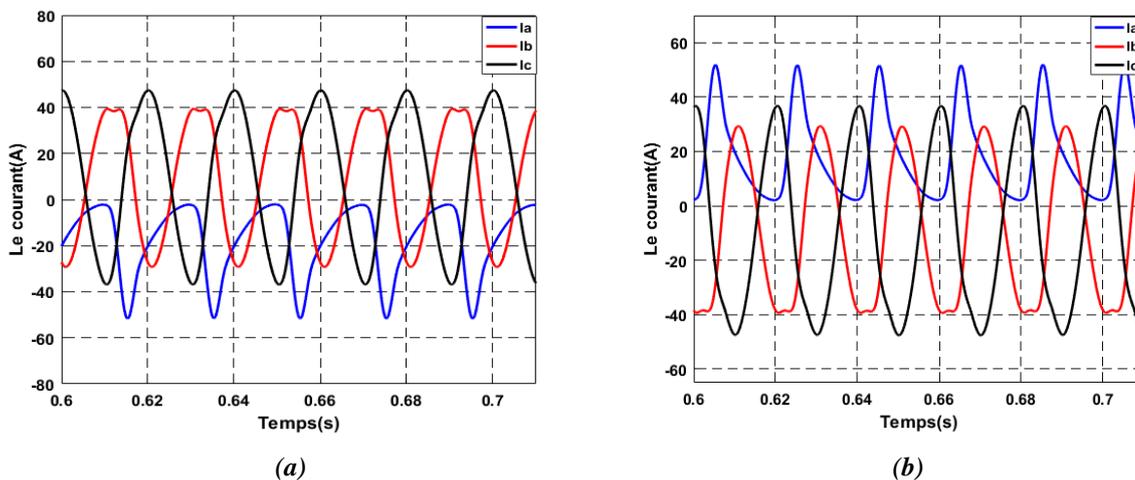


Figure II.07 : Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_1 et (b) l'interrupteur T_4

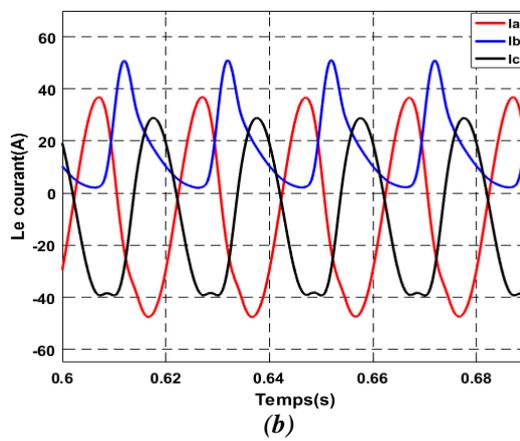
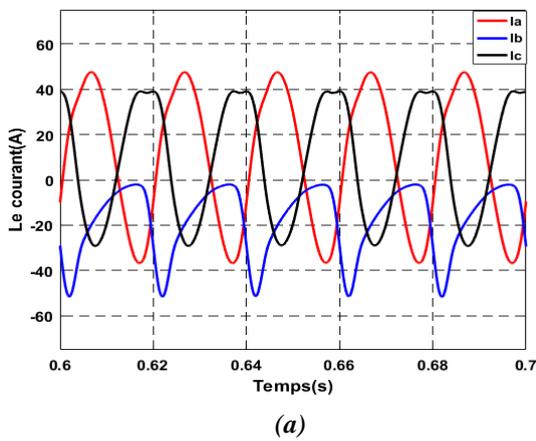


Figure II.08 : Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_2 et b) l'interrupteur T_5

Figure II.09 : Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a) l'interrupteur T_3 et b) l'interrupteur T_6

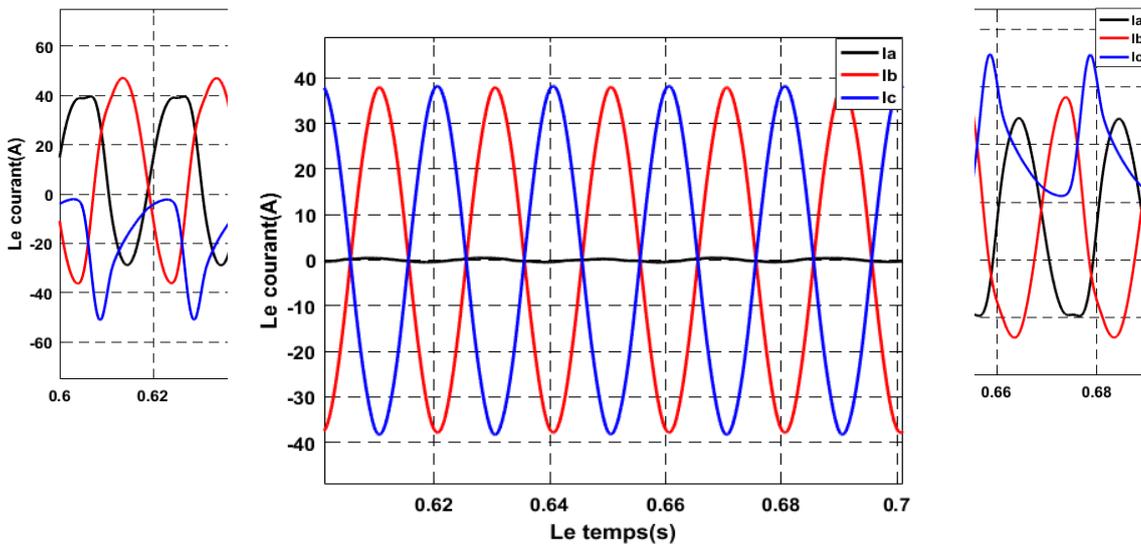


Figure II.10 : Les courants I_{abc} de la charge en présence de défaut dans le premier bras

La figure (Fig II.07), représente les courants I_{abc} en présence de défauts de circuit ouvert dans le premier bras, ce type de défaut consiste à la mise en ouverture de l'un des interrupteurs de premier bras (T_1 ou T_4), cela conduit à éliminer l'alternance positive ou négative du courant de phase de ce bras. Ce défaut provoque des perturbations dans le système (changement de fonctionnement).

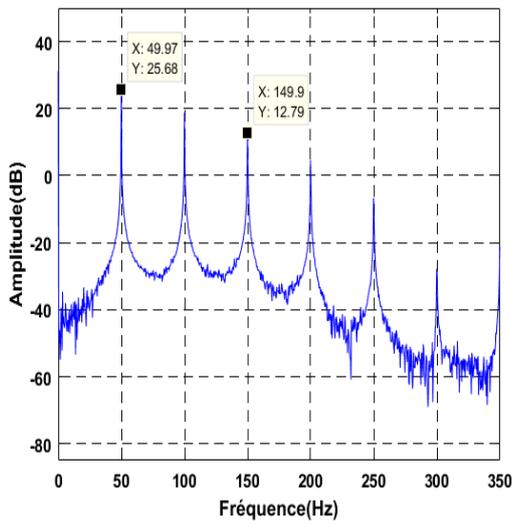
Ainsi que l'onde de courants est déformée, ce introduit des pertes électriques à cause des harmoniques qu'il contient.

De même, pour les cas de défauts d'ouverture des interrupteurs des deux autres bras (voir Fig II.08 et II.09).

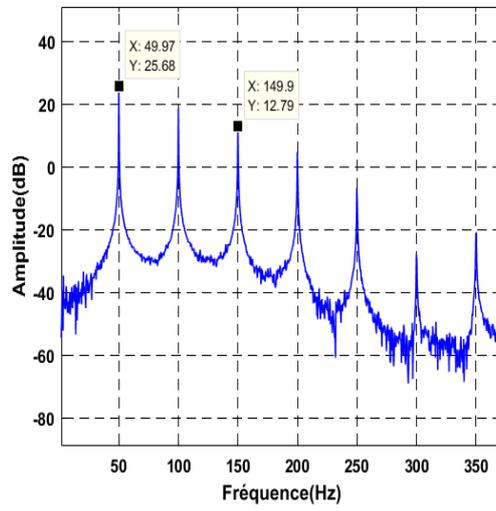
Dans le cas où le défaut est créé dans les deux interrupteurs de même bras (Fig II.10), on remarque que ce défaut d'ouverture est l'équivalent de la déconnexion d'une phase pendant le fonctionnement, ce défaut provoque la perturbation de système, ainsi que l'annulation du courant de la phase défectueuse et une augmentation importante de la valeur efficace de courants des deux autres phases.

➤ Analyse spectrale

L'analyse spectrale nous a permis d'obtenir les différents spectres du courant de charge I_a en présence de défaut (défaut de circuit ouvert).



(a)



(b)

Figure II.11 : L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_1 et b) l'interrupteur T_4

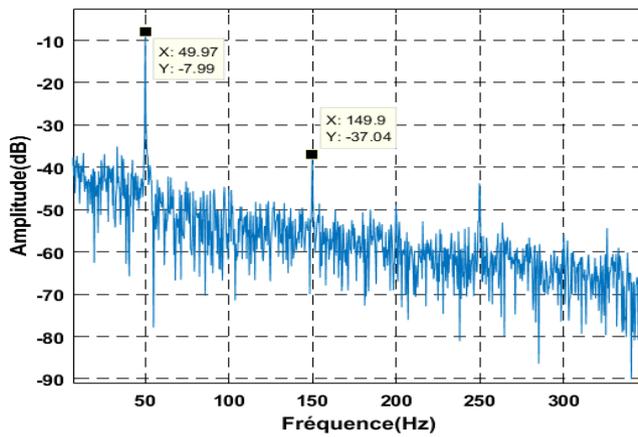
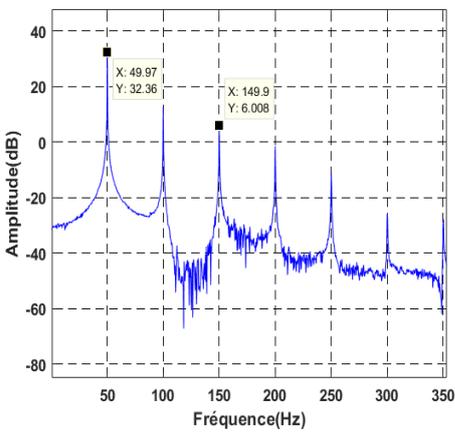


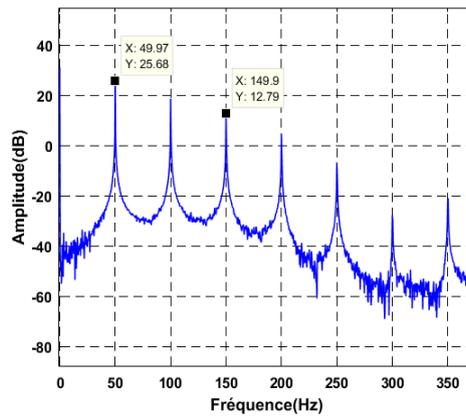
Figure II.12 :

L'analyse spectrale du courant de charge dans le premier bras

charge dans le premier bras



(a)



(b)

Figure II.13 : L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_2 et b) l'interrupteur T_5

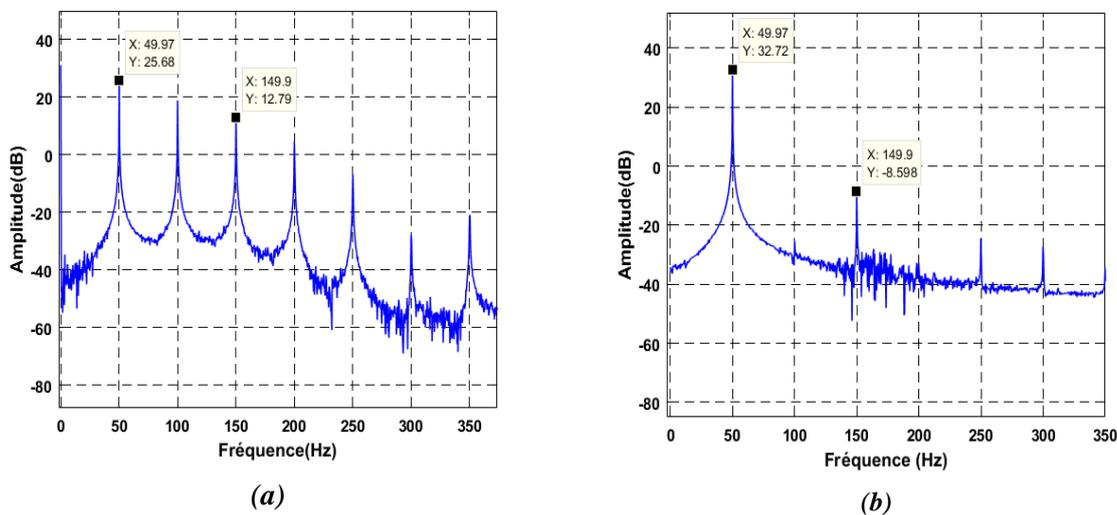


Figure II.14 : L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de circuit ouvert dans a) l'interrupteur T_3 et b) l'interrupteur T_6

Les défauts produits dans l'onduleur laissent une signature sur le spectre du courant qui se traduit par l'apparition des raies autour de la fréquence fondamentale. L'analyse des courants dans le domaine fréquentiel reste une approche appropriée qui nous a permis d'identifier les signatures fréquentielles causées par l'ouverture des composants électroniques utilisés dans un onduleur.

Après l'apparition du défaut, on observe une grande diminution de l'amplitude de [32.72dB] sur la raie fondamentale [50Hz]. Quand le T_1 est défaillant (ouvert) apparaissent de nouvelles amplitudes pour différentes raies : à [49.97Hz] apparaît une amplitude de [25.68dB], et à [150Hz] une autre amplitude de [12.79dB].

De même, avec la défaillance des autres interrupteurs, le même phénomène est observé mais avec de très petites différences des valeurs d'amplitudes.

On remarque aussi que l'amplitude de la raie [49.97Hz], est diminuée jusqu'à [-7.99 dB] pour l'ouverture de premier bras.

La visualisation des raies dans le courant permet de détecter le défaut mais avec manque d'informations sur la localisation de ce dernier car cette méthode permet d'identifier le défaut dans un bras ou dans les interrupteurs sans qu'il ait détermination de quel interrupteurs et quel bras est défaillant.

➤ Analyse de contour de Park

L'utilisation de cette technique montre nous permet d'obtenir selon l'interrupteur en défaut :

Les figures (II.15-a, II.15-b, II.15-c, II.15-d, II.15-e, II.15-f) illustrent les six déviations de contour de Park relative à un défaut d'ouverture des interrupteurs ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$).

Nous remarquons que le défaut de circuit ouvert provoque une augmentation de l'épaisseur de la forme de Lissajous du contour du cercle ce qui permet d'établir un diagnostic de défaut en effectuant une surveillance des déviations de ce cercle par rapport au modèle de base.

Lorsque survient un défaut d'ouverture d'un des deux semi-conducteurs de premier bras de l'onduleur, on peut voir l'effet du dysfonctionnement sur la déviation de contour de Park.

Dans le cas d'ouverture de T_1 , le contour se déplace dans la direction (α), par contre pour le cas d'un défaut d'ouverture de T_4 (semi-conducteur complémentaire à T_1) le contour se déplace dans la direction ($-\alpha$).

Les (figures II.15-c et -d) représentent respectivement l'ouverture de l'interrupteur T_2 et l'interrupteur T_5 , de même bras pour le cas de défaut d'ouverture de ces deux semi-conducteurs de la branche de milieu (T_2 et T_5).

Une rotation de "30°" du contour de Park localise l'ouverture de T_2 .

Le sens opposé présente la déviation par un angle de "-150°" du reste de la demi-période du contour de Park (pour le cas d'ouverture de T_2

La figure II.15 [$T_3(e)$, $T_6(f)$] pour le dernier bras le rapport de déviation est $\theta = -\sqrt{3}$ en faisant une rotation de 120° pour localiser les deux derniers IGBT défectueux T_3 et T_6 .

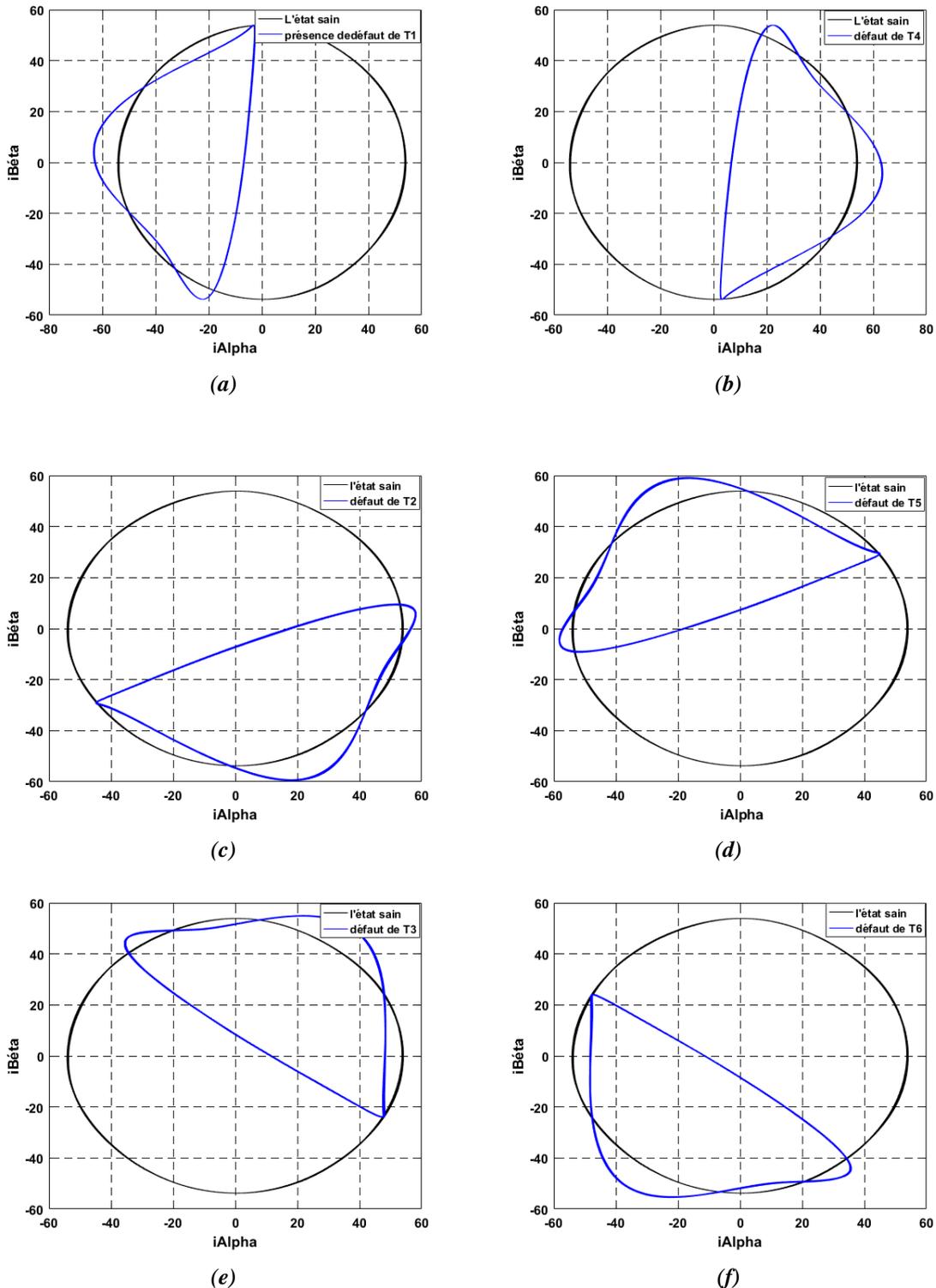
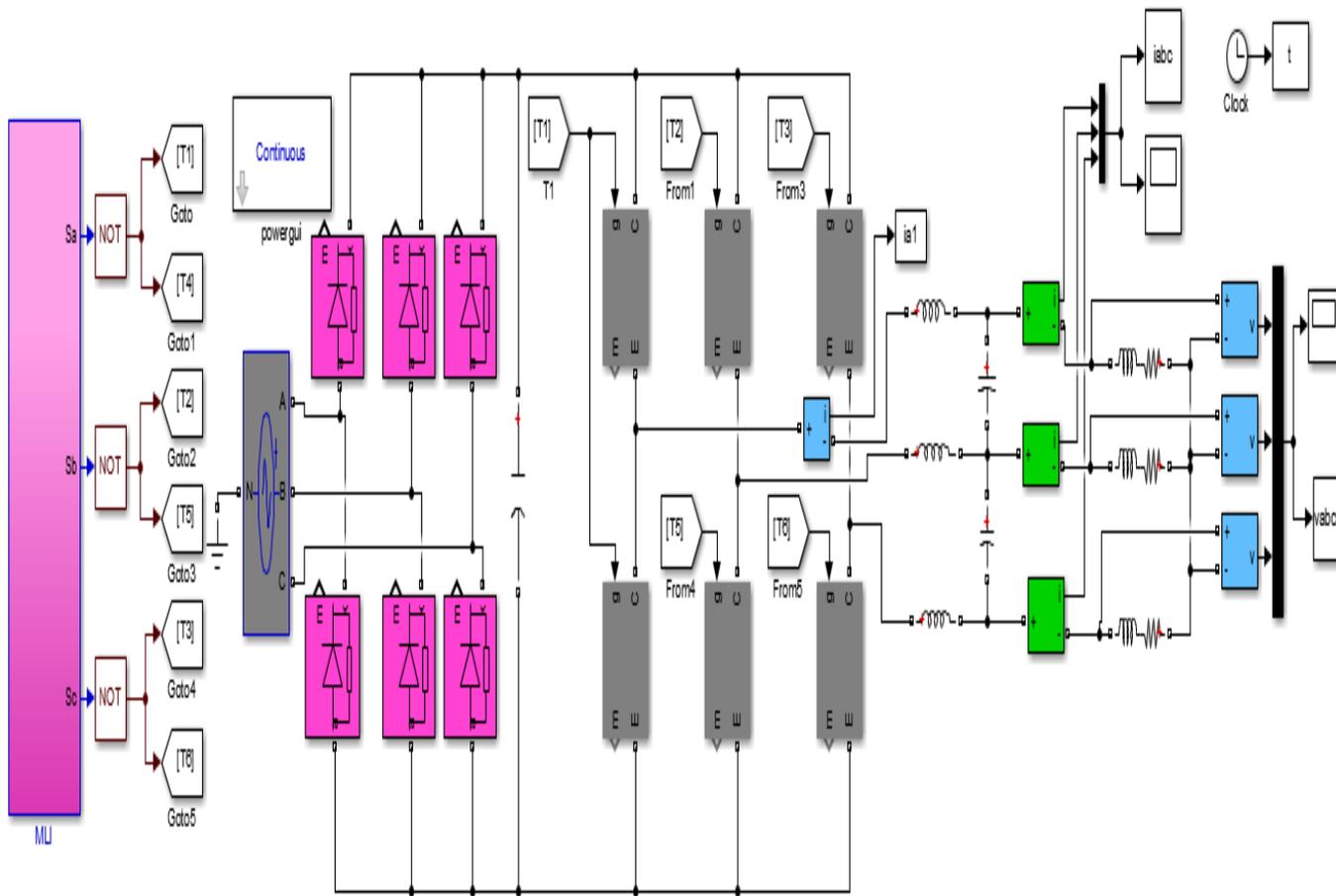


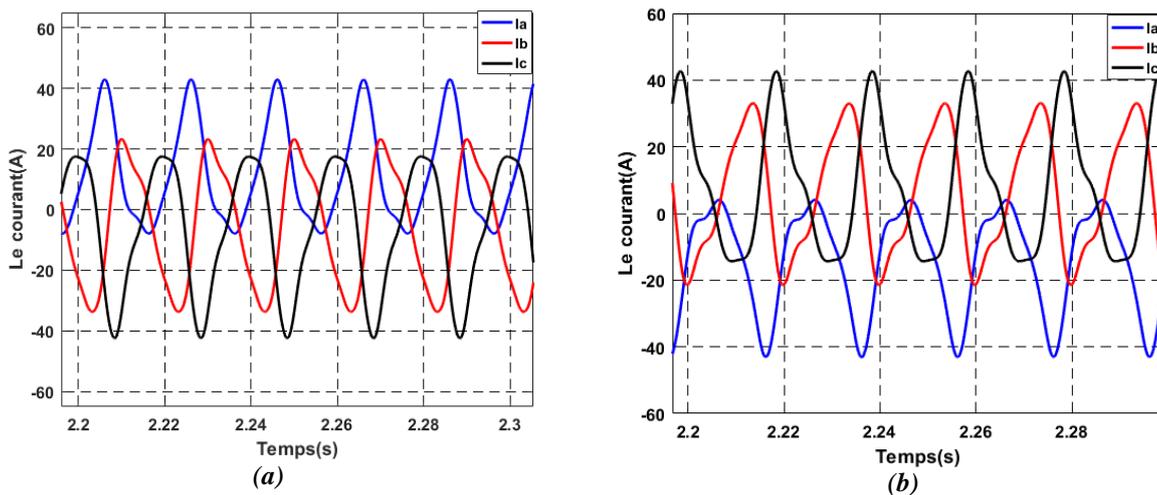
Figure II.15 : Analyse du contour de Park en présence de défaut de circuit ouvert dans les interrupteur $T_1(a)$, $T_4(b)$, $T_2(c)$, $T_5(d)$, $T_3(e)$, $T_6(f)$



l'onduleur avec la commande MLI avec défaut de court-circuit

Figure II.16 : Modèle de simulation de défaut de l'onduleur en présence de défaut (court- circuit)

Les résultats ci-dessous représentent la simulation du l'onduleur en présence de défaut de court-circuit dans les six interrupteur.



courantsIabc en présence de défaut dans les interrupteurs (a)l'interrupteur T1 et b)l'interrupteur T4

Figure II.17 : Les

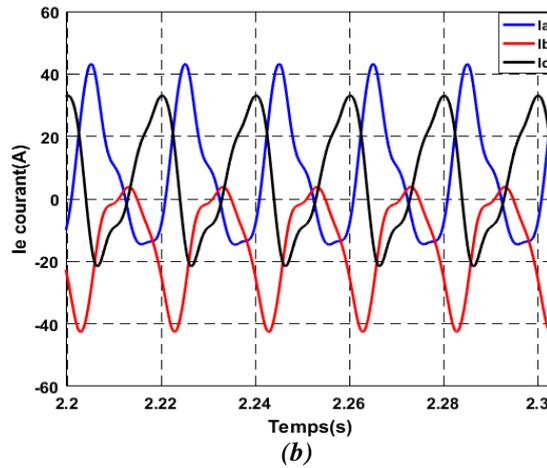
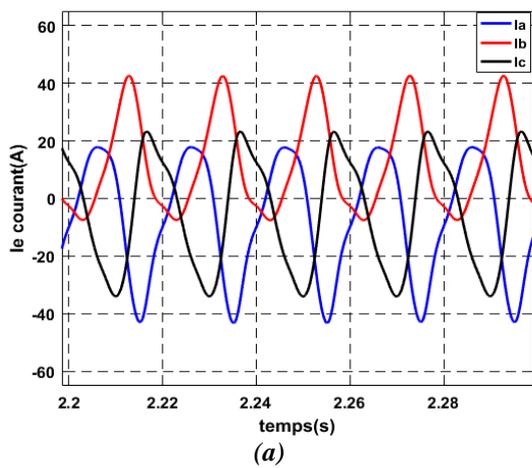


Figure II.18 : Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a)l'interrupteur T_2 et (b)l'interrupteur T_5).

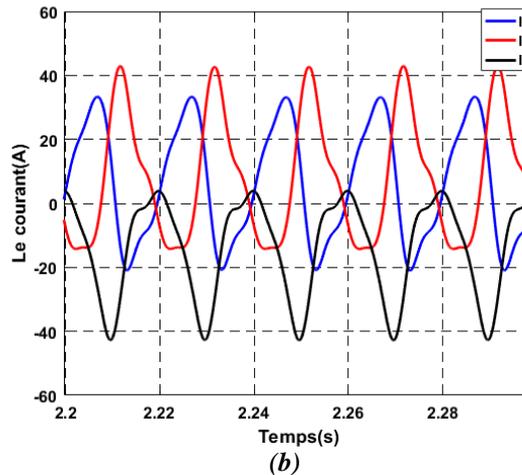
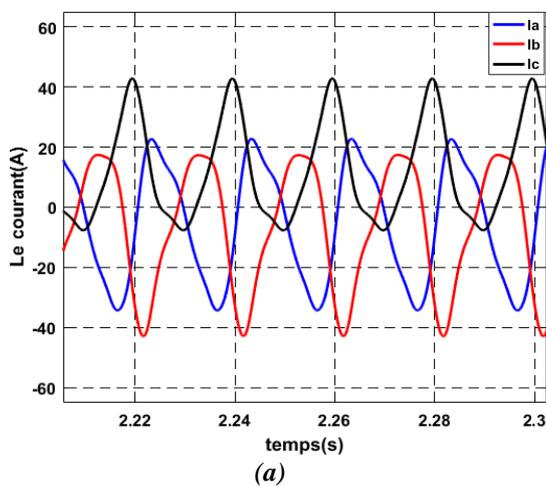


Figure II.19 : Les courants I_{abc} en présence de défaut dans les interrupteurs (a)l'interrupteur T_3 et (b)l'interrupteur T_6).

Ce type de défaut consiste à la mise en états fermé de l'un des interrupteur du premier bras (T_1 ou T_4), nous constatons que ce type de défaut provoque un fonctionnement pendant l'application du défaut .En effet le courant de la phase défectueuse ne peut plus être contrôlé car il augmente à des niveaux intolérable, les courants de phases deviennent fortement déséquilibrés.

De même, pour les cas de défauts de court-circuit des interrupteurs des deux autres bras (voir **Fig II.18** et **II.19**).

➤ Analyse spectrale

L'analyse spectrale nous a permis d'obtenir les différents spectres du courant de charge I_a en présence de défaut (défaut de circuit ouvert).

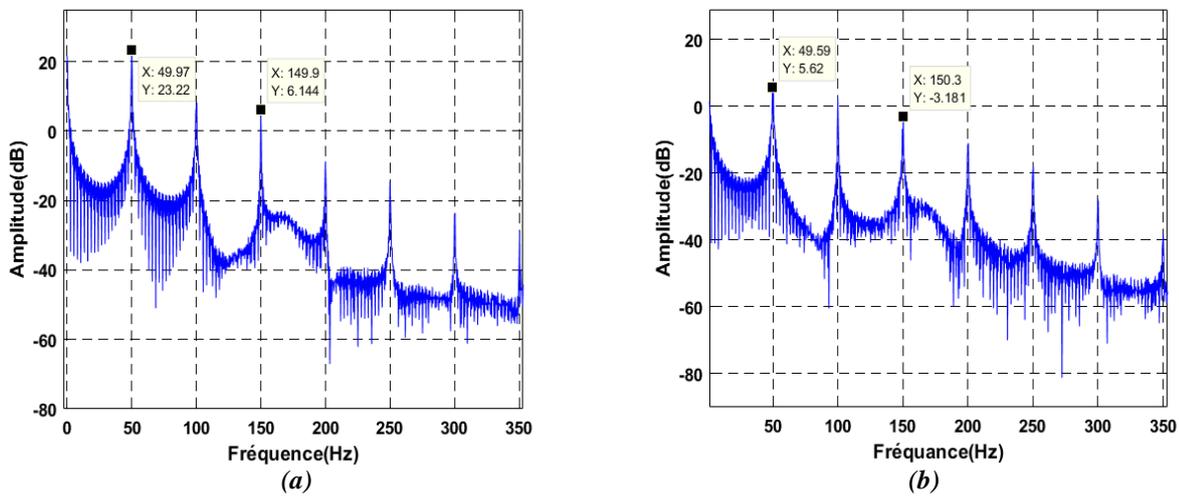


Figure II.20 :L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de court-circuit dans les interrupteurs a)l'interrupteur T_1 et b) l'interrupteur T_4

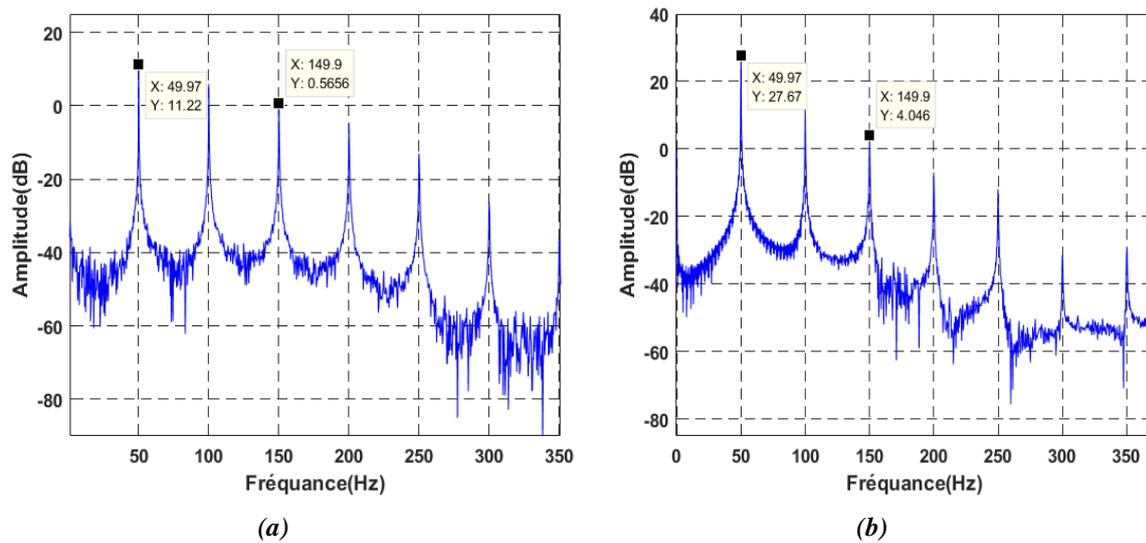


Figure II.21 :L'analyse spectrale du courant de charge en présence de défaut de court-circuit dans les bras a)le premier bras b) le deuxième bras

A propre de l'apparition du défaut de court-circuit, on observe une grande diminution de l'amplitude de [11.7dB] sur la raie fondamentale [50Hz]. Quand le T_1 est défaillant (court-circuit) apparaissent de nouvelles amplitudes pour différentes raies : à [49.97Hz] apparaît une amplitude de [23.22dB], et à [150Hz] une autre amplitude de [6.164dB](Figure(II.20)).

De même, avec la défaillance des autres interrupteurs, le même phénomène est observé mais avec de très petites différences des valeurs d'amplitudes.

On remarque aussi que l'amplitude de la raie [49.97Hz],est diminuée jusqu'à[11.22dB] pour le court-circuit du premier bras .Quant au défaut relatif au deuxième bras, l'amplitude revient à [27.67dB] avec l'apparition des petites raies avec une grande diminution d'amplitudes par rapport ce qu'on a observé dans le cas d'un défaut de court-circuit.

➤ L'analyse de contour de Park

Les résultats issus de la simulation de l'onduleur avec le défaut de court-circuit nous a permis d'obtenir les différents contours de Park en présence de défaut dans les différents interrupteurs.

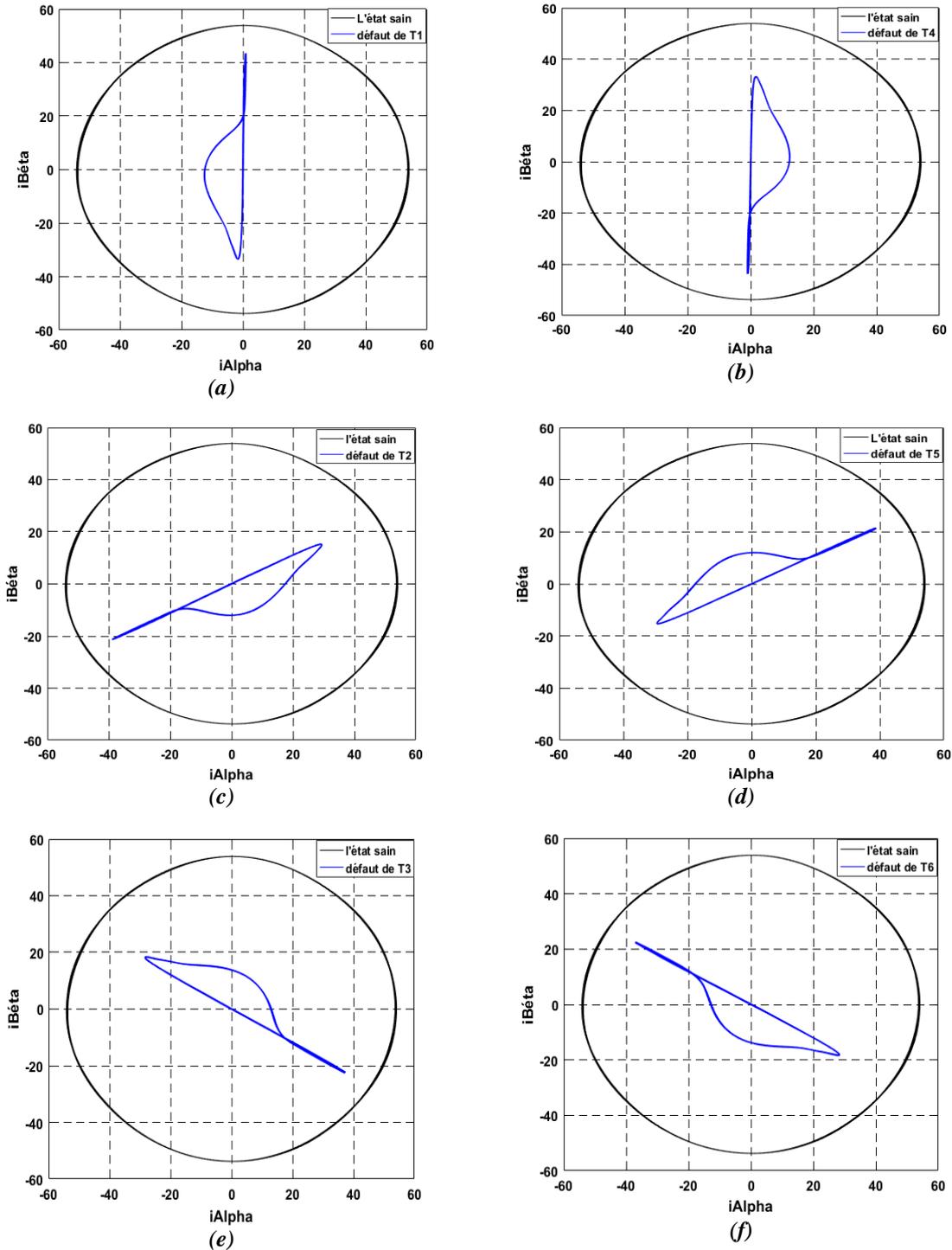


Figure II.22 : Analyse du contour de Park en présence de défaut de court -circuit dans les interrupteur $T_1(a)$, $T_4(b)$, $T_2(c)$, $T_5(d)$, $T_3(e)$, $T_6(f)$

Avec cette technique, la (figure II.22) montre la forme de contour de Park lorsque survient un défaut de court-circuit d'un des deux semi-conducteur de premier bras de l'onduleur. On peut voir l'effet du dysfonctionnement sur la déviation de contour de Park.

Afin de simuler le défaut de court-circuit dans le cas où l'interrupteur T_1 est endommagé, on remarque une demi-ellipse est orienté vers le bas à la prolongation négative de l'axe Alpha, or quand l'interrupteur T_4 est endommagé nous notons que la demi ellipse est déplacé en haut de l'axe alpha, les deux demies ellipses de T_1 et T_4 sont séparées par un angle de 90° .

L'analyse des autres interrupteurs a donné le même résultat (T_2, T_5) et (T_3, T_6). On note que pour la même cellule, quand un des deux interrupteurs est endommagé leurs demi-ellipses correspondantes sont séparées par un angle de 120° .

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre deux méthodes basées sur l'analyse du vecteur de courant ont été étudiées .La première est l'analyse spectrale des signaux des courants aussi bien en fonctionnement sain qu'en présence de défauts. La seconde méthode concerne l'analyse de la trajectoire de contour de Park afin de détecter les défauts dans le convertisseur à MLI

L'analyse des contours de Park dans le référentiel « Alpha, Béta » et l'analyse spectrale sont des outils efficaces pour le diagnostic et la localisation de défaut des semi-conducteurs défaillants.

Chapitre III :
Détection et Localisation des
Défauts dans les Onduleurs par la
Logique Floue

III.1 Introduction

Actuellement les techniques de l'intelligence artificielle sont connues par leur pouvoir de résoudre les problèmes liés à l'automatisation des processus industriels, tel que le contrôle, la commande, l'identification et l'estimation des paramètres des systèmes électriques. La technique intelligente basée sur la logique floue appartient à la classe des systèmes à base de modèle de connaissance. Elle s'applique de plus en plus dans le contrôle de machine asynchrone et l'adaptation de sa commande. Les approches basées sur la logique floue sont considérées comme une solution très puissante pour la commande de systèmes non linéaires ou les systèmes pour lesquels il n'existe pas des modèles mathématiques.

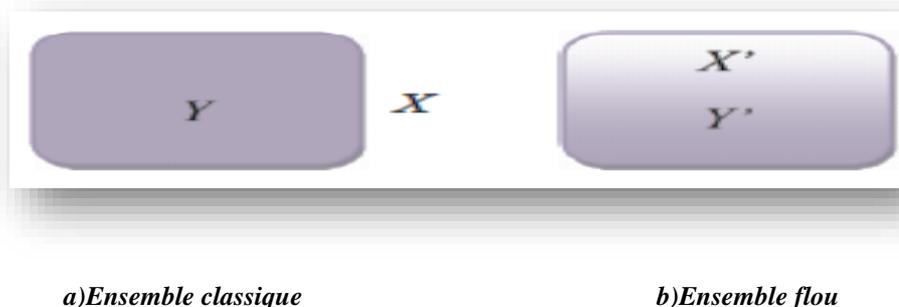
Le but de ce chapitre est représenter un premier temps un bref rappel sur les ensembles flous et un aperçu générale sur la logique floue, ainsi que son application pour le diagnostic de défaut dans l'onduleur.

III.2 Logique floue

La logique floue est une théorie qui a connu un grand succès depuis que le professeur. **Lotfi Zadeh** a introduit le concept de sous-ensembles flous en 1965. Elle trouve notamment sa place dans le domaine de la commande pour une large gamme de systèmes et plus généralement en génie électrique, [21]. Elle présente en effet l'avantage d'utiliser des règles linguistiques simples permettant de traduire facilement de savoir-faire d'expert pour répondre à une problématique spécifique. Dans ce sens on utilise des contrôleurs à base de logique floue qui améliorent de façon globale aussi bien les performances dynamiques que la robustesse des systèmes commandés, en s'appuyant sur leur connaissance a priori.

III.3 Principe de la logique floue

Dans la théorie des ensembles conventionnels , un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble, donc le « degré d'appartenance » d'un élément à un ensemble ne peut être que nul ou égal à l'unité .Par contre dans la théorie des ensembles flous , un élément peut plus ou moins appartenir à un ensemble , le degré d'appartenance d'un élément à un ensemble flou peut prendre n'importe quelle valeur comprise dans l'intervalle [0,1].Ce qui différencie les deux théories provient des limites des ensembles définis .Dans la théories provient des limites des ensembles sont « nets», tandis que pour les ensembles flous les contours sont « graduels », ou encore flous comme cette (*Figure III.01*).



a)Ensemble classique *b)Ensemble flou*
Figure III.01 : Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou

D'où :

X : n'appartient pas à « a » X' : appartient partiellement à « b »

Y : appartient totalement à « a » Y' : appartient partiellement à « b »

III.4 Eléments de base de la logique floue

Dans cette partie, on va exposer d'une façon non exhaustive les éléments de base de la logique floue.

III.4.1 Variables linguistiques

Le concept des variables linguistiques joue un rôle important dans le domaine de la logique floue. Une variable linguistique comme son nom le suggère, est une variable définie à base de mots ou des phrases au lieu des nombres. En effet, la description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des expressions floues comme "quelque, beaucoup, souvent, chaud, froid, raide, lent, grand, petit...etc." [22].

Ce genre d'expressions forme ce qu'on appelle des variables linguistiques de la logique floue. Une variable linguistique en logique floue est définie par son domaine de variation, souvent appelée univers de discours qui peut être divisée en plusieurs sous-ensembles au moyen de fonctions d'appartenance. En d'autres termes, l'univers de discours couvre l'ensemble des valeurs prises par une variable donnée.

III.4.2 Ensembles flous

Dans la théorie classique des ensembles, c'est la fonction caractéristique qui définit l'ensemble. Cette fonction ne prend que les deux valeurs discrètes : 0 (l'élément n'appartient pas) ou 1 (l'élément appartient à l'ensemble). Par contre l'élément de base de la logique floue est l'ensemble flou, défini par une fonction d'appartenance qui peut prendre toutes les valeurs réelles comprises entre 0 et 1 et qui joue un rôle fondamental pour le passage du qualitatif au quantitatif.

Le concept de ce dernier a pour but d'éviter le passage brusque d'une classe à une autre et de permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à une classe, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à une classe [22].

III.4.3 Fonctions d'appartenance

Afin de pouvoir traiter numériquement les variables linguistiques, il faut les soumettre à une définition mathématique à base de fonctions d'appartenance qui montrent le degré de vérification de ces variables aux différents sous-ensembles.

Une fonction d'appartenance d'un ensemble flou est désignée par l'argument se rapporte à la variable caractérisée, alors que l'indice indique l'ensemble concerné. Les fonctions d'appartenance peuvent avoir différentes formes, comme il est montré sur la (*Figure III.02*) [22] :

- ◆ Monotones (croissantes ou décroissantes).
- ◆ Triangulaires.
- ◆ Trapézoïdales.
- ◆ En forme de cloche (gaussienne).

Généralement, les plus souvent utilisées sont les fonctions de forme trapézoïdale ou triangulaire.



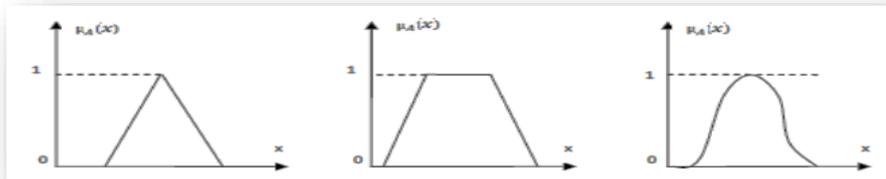
a) Exemple de

fonctions

d'appartenance monotones décroissantes



a) Exemple de fonctions d'appartenance monotones croissantes



c) Forme triangulaire d) Forme trapézoïdale e) Forme gaussienne

Figure III.02 : Différentes formes des fonctions d'appartenance

Pour certaines situations, les fonctions d'appartenance sont égales à l'unité pour une seule valeur de la variable et égale à 0 pour les autres comme le montre la (Figure III.03).

Elles prennent alors le nom de « fonction d'appartenance singleton ». Elle correspond dans le domaine flou à une valeur particulière de cette variable.

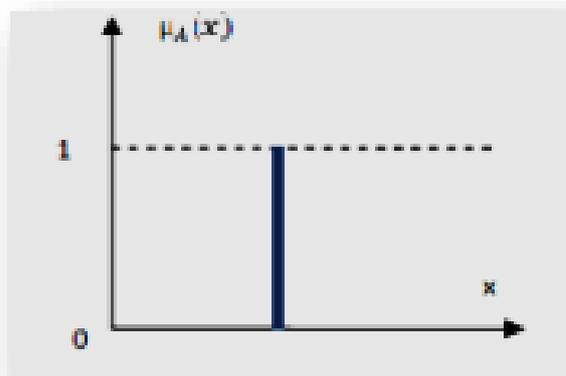


Figure III.03 : Fonction d'appartenance singleton

III.5 Opérateur de la logique floue

Une fois les ensembles flous définis, des opérations mathématiques concernant ce type d'ensembles ont été développées, les opérateurs mathématiques élaborés ressemblent beaucoup à ceux reliés à la théorie des ensembles conventionnels. Les opérateurs de l'intersection, l'union, la complémentation et l'implication sont traduites.

Par les opérations « ET, OU, NON et ALORS » respectivement, soit A et B deux ensembles flous, dont les fonctions d'appartenance sont μ_B, μ_A respectivement. Le tableau (III. 04) résume quelques fonctions utilisées pour réaliser les différentes opérations.

D'autre part, l'implication floue se construit à partir des propositions floues élémentaires. Pour cette opération, il existe encore plusieurs méthodes. Les plus souvent utilisées sont données par le tableau suivant.

<i>Appellation</i>	Implication floue
<i>Zadeh</i>	$\text{Max} \{ \min ((\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x)) \}$
<i>Mamdani</i>	$\text{Min} (\mu_A(x) \cdot \mu_B(y))$
<i>Reichenbach</i>	$1 - (\mu_A(x) + \mu_A(y) \cdot \mu_B(y))$
<i>Willmott</i>	$\text{Max} \{ 1 - \mu_A(x) \cdot \min (\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)) \}$
<i>Diénes</i>	$\text{Max} (1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(y))$
<i>Brown goldl</i>	$1 \quad \text{si } \mu_A(x) \leq \mu_B(y)$ $\mu_B(y) \quad \text{sinon}$
<i>Lukasiewicz</i>	$\text{Min} (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
<i>Larsen</i>	$\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$

Figure III.04 : Implication floue

III.6 Règles floues

La règle floue est une relation exprimée à l'aide d'une implication entre deux propositions floues. Par exemple, considérons deux variables linguistiques (v1, u, tv1) (v2, u, tv2) et les deux propositions suivantes v1 est A, v2 est B, où A et B sont deux ensembles flous de v1 et v2. On peut définir la règle floue par l'expression, si v1 est A Alors v2 est B

- la proposition „ v1 est A „, est la condition de l'implication.
- la proposition „ v2 est B „, est la condition de l'implication.

Généralement, plusieurs règles floues sont nécessaires pour prendre une décision face à une situation donnée. On s'intéresse au cas de plusieurs règles floues dans le domaine de la commande et la régulation. Les règles floues peuvent être décrites de plusieurs façons :

- **Linguistiquement** : dans ce cas, on exprime les règles de façon explicite comme dans l'exemple suivant : "Si l'accélération est faible et la vitesse est faible Alors faire appel à un grand couple".
- **Symboliquement** : il s'agit, dans ce cas, d'une description linguistique où l'on remplace la désignation des ensembles flous par des symboles tels que P, ...etc. désignant (*positif Grand, It if Petit, ..., etc*).
- **Par matrice d'inférence** : dans ce cas, on rassemble toutes les règles qui sont désignées symboliquement dans un tableau appelé "*Matrice d'inférence*". Les entrées du tableau représentent les degrés d'appartenance des variables linguistiques des entrées aux différents ensembles flous, et l'intersection d'une colonne et d'une ligne donne l'ensemble flou de sortie défini par la règle.

III.7 Structure d'un système flou

Un système flou peut être interprété selon deux de vue : mathématique ou logique. D'un point de vue mathématique, un système flou est une fonction non linéaire reliant un vecteur de données d'entrée à un vecteur de sortie. Du point de vue logique, un système flou est un système à structure particulière, composé de quatre modules principaux : à savoir, la base de connaissance, la fuzzification, le moteur d'inférence et la défuzzification [23] [24] [25].

La commande floue est l'application la plus utilisée dans la logique floue. En effet, cette méthode permet d'obtenir un réglage souvent très efficace sans devoir faire des modélisations approfondies.

III.7.1 Interface de fuzzification

La fuzzification permet d'associer à chacune des entrées réelles, par le biais de fonctions d'appartenances, un degré d'appartenance pour chacun des sous-ensembles flous définis sur l'ensemble du discours comme l'illustre la (Figure III.05).

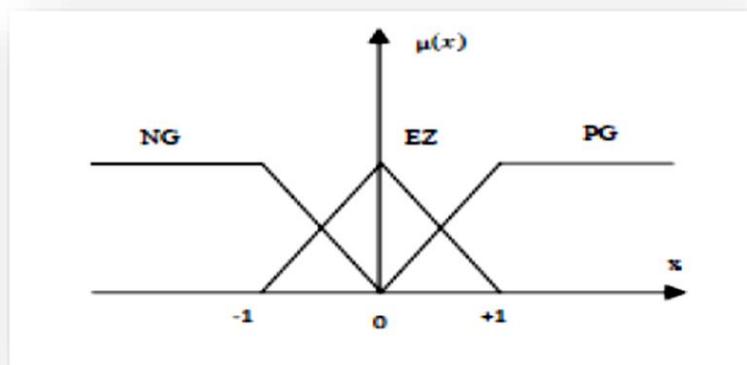


Figure III.05: Fonctions d'appartenances

III.7.2 Base de règles

La base de connaissance comprend une connaissance du domaine d'application et les buts du contrôle prévu. Elle est composée :

- D'une base de données fournissant les informations nécessaires pour les fonctions de normalisation.
- La base de règles constitue un ensemble d'expressions linguistiques structurées autour d'une connaissance d'expert, et représentée sous forme de règles :

Si (Condition) Alors (Conséquence).

III.7.3 Mécanisme d'inférence floue

Le principe de cette opération consiste à établir la liaison entre les grandeurs d'entrée du contrôleur exprimées par des termes linguistiques et la variable de sortie sous sa forme linguistique à partir d'une parfaite connaissance du système à contrôler et d'une expertise concernant le fonctionnement du processus à contrôler.

Les trois méthodes d'inférence les plus usuelles sont :

- Max-produit.
- Somme-produit.
- Max-Min (Implication de Mamdani).

Le choix d'une telle ou telle méthode dépend de l'utilisateur et du cas à traiter. Dans notre cas, on adopte la méthode d'inférence somme produit. Cette méthode traite l'opérateur ET par la formation du produit. Pour la conclusion de chaque règle précédée par ALORS, le produit du facteur d'appartenance de la condition et la fonction d'appartenance de la variable de sortie liées entre eux par la même règle représentent l'action linguistique de la règle en question. Les actions des différentes règles sont liées entre elles par l'opérateur OU qui est réalisé par la formation de la somme (moyenne arithmétique).

Si on suppose que les entrées du régulateur sont (x_1, x_2) et sa sortie est X_r , alors l'action de chaque règle est donnée par :

$$\mu_{R_i}(X_r) = \mu(X_1)\mu(X_2)\mu_{oi}(X_r) \quad \text{III.01}$$

$$\mu_{R_i}(X_r) = \mu_{ci}(X_r)\mu_{oi}(X_r) \quad \text{III.02}$$

Où :

$\mu(X_1)\mu(X_2)$: sont les facteurs d'appartenance des deux variables linguistiques x_1 et x_2 par rapport à la condition de règle R_i .

μ_{ci} : est le facteur d'appartenance de la condition.

μ_{oi} : est la fonction d'appartenance de la décision correspondante à la $i^{\text{ème}}$ règle R_i .

La fonction d'appartenance résultante est donnée par :

$$\mu_{res}(x_r) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\mu_{R_i}(x_i)) \quad \text{III.03}$$

m : est le nombre des règles intervenant dans l'inférence.

III.7.4 Interface de défuzzification

Enfin, le dernier module, l'interface de défuzzification, va permettre de transformer les degrés d'appartenance des sous-ensembles flous de commande en grandeur numérique.

C'est la transformation inverse du module de fuzzification. Plusieurs stratégies de défuzzification ont été développées. Les plus utilisées sont :

III.7.4.1 Méthode du maximum

Comme son nom l'indique, la commande en sortie est égale à la commande ayant la fonction d'appartenance maximale.

La méthode du maximum simple, rapide et facile mais elle introduit des ambiguïtés et une discontinuité de la sortie (parfois on trouve deux valeurs maximales).

III.7.4.2 Méthode de la moyenne des maxima

Elle considère, comme valeur de sortie, la moyenne de toutes les valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance issue de l'inférence est maximale.

III.7.4.3 Méthode du centre de gravité

Cette méthode génère une commande égale à l'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence floue. Cette abscisse de centre de gravité peut être déterminée à l'aide de la relation générale suivante :

$$x_{GR} = \frac{\int x_r \cdot \mu_{res}(x_r) dx_r}{\int \mu_{res}(x_r) dx_r} \quad \text{III.04}$$

L'intégrale du numérateur donne le moment de la surface, tandis que l'intégrale du dénominateur donne la surface de la fonction d'appartenance. Cette méthode est la plus utilisée dans les systèmes de commande floue, (car elle tient compte de toutes les règles et ne présente pas une confusion de prise de décision), malgré sa complexité, puisqu'elle demande des calculs importants.

III.8 Avantages et inconvénients de la commande par la logique floue

La commande par logique floue réunit un certain nombre d'avantages et d'inconvénients. Les avantages essentiels sont :

- La non nécessité d'une modélisation mathématique rigoureuse du processus ;
- La possibilité d'implanter des connaissances (linguistiques) de l'opérateur de processus ;
- La maîtrise du procédé avec un comportement complexe (fortement non-linéaire et difficile à modéliser) ;
- La réduction du temps de développement et de maintenance ;
- La simplicité de définition et de conception.

Par contre, les inconvénients sont [25]:

- Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la fuzzification, des inférences et de la défuzzification).
- L'approche artisanale et non systématique (implantation des connaissances des opérateurs souvent difficile).
- La difficulté de montrer la stabilité dans tous les cas.

III.9 Diagnostic de défaut de l'onduleur à base de la logique floue

L'objectif de la procédure de détection est de déterminer la variation et l'instant d'occurrence d'un défaut .Le principe est déterminer si l'état de fonctionnement du système est normale ou anormal.

Dans cette partie, nous allons procéder un controleur floue appliqué à l'onduleur pour faire le diagnostic des défauts pour les trois cas de fonctionnement : sain ,le cas de défaut de court circuit et le dernier cas le défaut de circuit ouvert.Le schéma bloc globale de l'onduleur et du controleur sous environnement MATLAB Simulinkest montré par la (figureIII.06) :

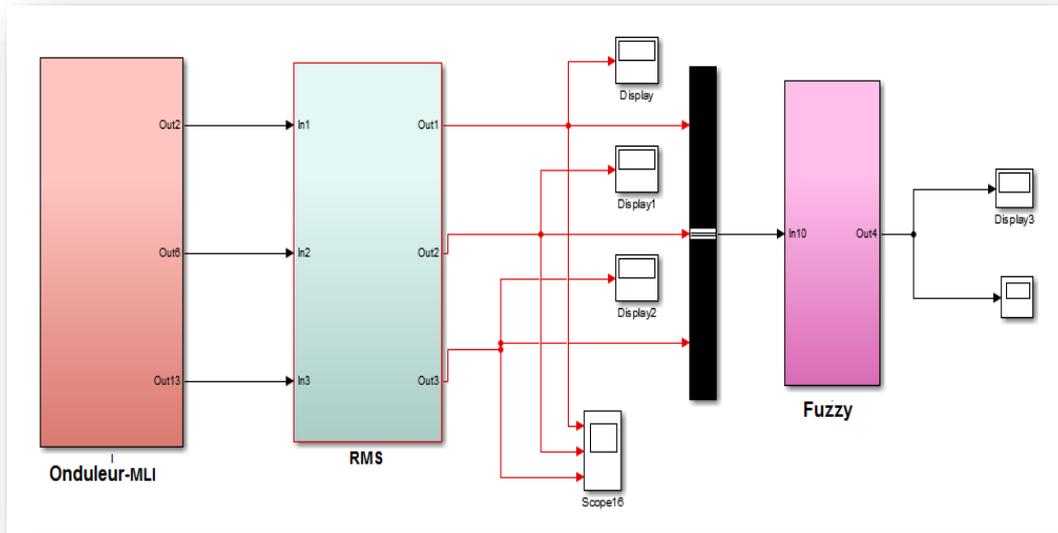


Figure III.06 : Simulation de diagnostic des défauts par la logique floue

➤ Les fonctions d'appartenances

Les données numériques sont représentées comme des informations linguistiques.

Ainsi , les amplitudes des RMS(3 entrées "Ia,Ib,Ic ") et l'état de l'onduleur (1 sortie "Ti"), sont classées en utilisant quatre variables linguistiques , ce qui donne quatre catégories : small(s),medium (m), big(b),very big(vb).

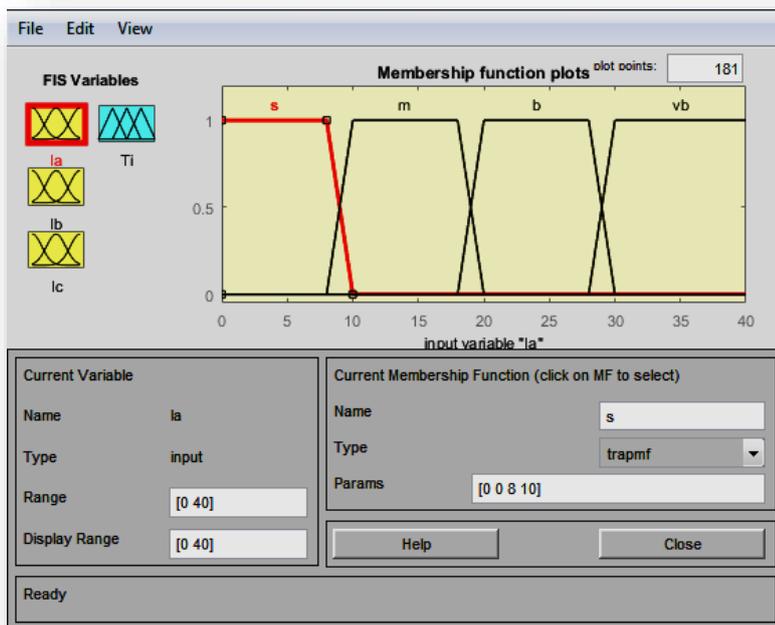


Figure III.07 : Fonctions d'appartenances normalisées du Ia,Ib,Ic.

Les variables des fonctions d'appartenances d'entrée et de sortie sont construits par l'analyse des données générées par l'analyse des courants des trois phases de l'onduleur.

On définit s,m,b,vb qui correspondre aux termes linguistiques small, medium, big, very big pour chaque variable dans les différentes fonctions d'appartenances , on utilise trois variable dans les différentes fonctions d'appartenance , et pour les trois variables d'entrée, on utilise les fonctions trapézoïdales comme le montre la figure III.07.

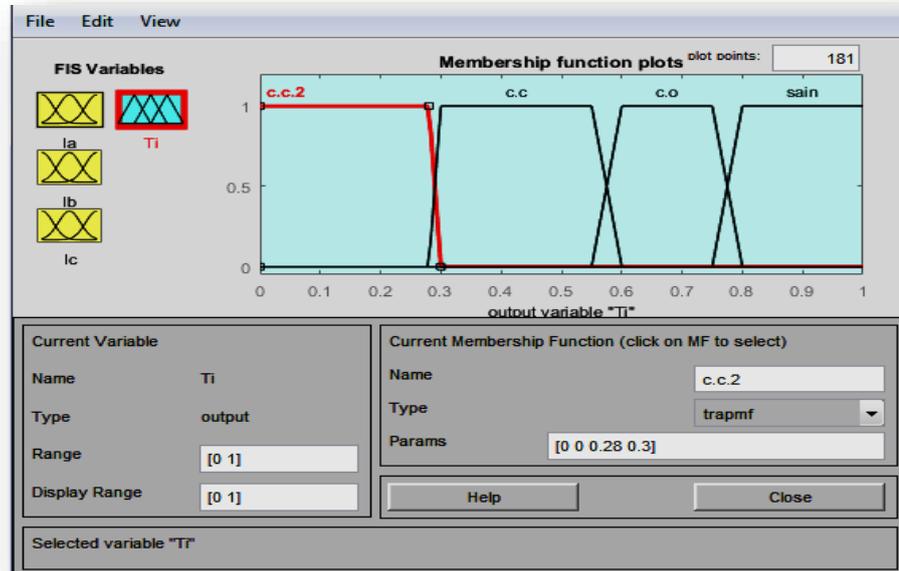


Figure III.08 : Fonctions d'appartenances normalisées du T_i .

➤ L'inférence

La méthode d'inférence est la méthode la plus adapté pour le diagnostic, donc afin de discriminer la totalité des défauts considérés on a établi quatre règles d'inférences :

- SI (Ia est s) and (Ib est s) and (Ic est s) ALORE ($T_i == T_1 \text{ et } T_2$) → interrupteur T_1 et T_2 en défaut (le défaut de court-circuit dans le premier et la deuxième bras avec les deux interrupteur T_1 et T_2 .)
- SI (Ia est m) or (Ib est m) or (Ic est m) ALORE ($T_i == T_1$) → interrupteur T_1 en défaut (défaut de court-circuit dans le premier bras)
- SI (Ia est b) or (Ib est b) or (Ic est b) ALORE ($T_i == T_1$) → interrupteur T_1 en défaut (circuit ouvert) dans le premier bras .
- SI (Ia est vb) or (Ib est vb) or (Ic est vb) ALORE ($T_i == T_0$) → l'état sain (aucun défaut)

La (Figure III.09) illustre la configuration des différentes règles floues pour les différentes situations de défauts dans le contrôleur floue.

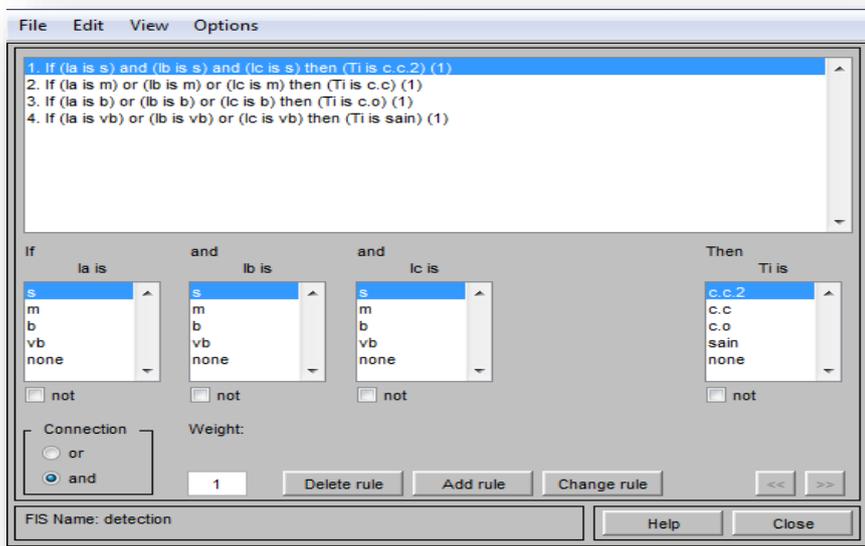


Figure III.09 : Présentation des règles d'inférence

➤ **Défuzzification :**

La défuzzification permet la conversion de l'union des sous-ensembles flous modifiés (fonctions d'appartenance résultantes fournies par l'inférence), à une sortie non flous, suivie par une dénormalisation et conversion N/A.

La Figure III.10 illustre l'exemple de défuzzification dans le cas de défaut de circuit ouvert dans le premier bras $T_i=T_1$.

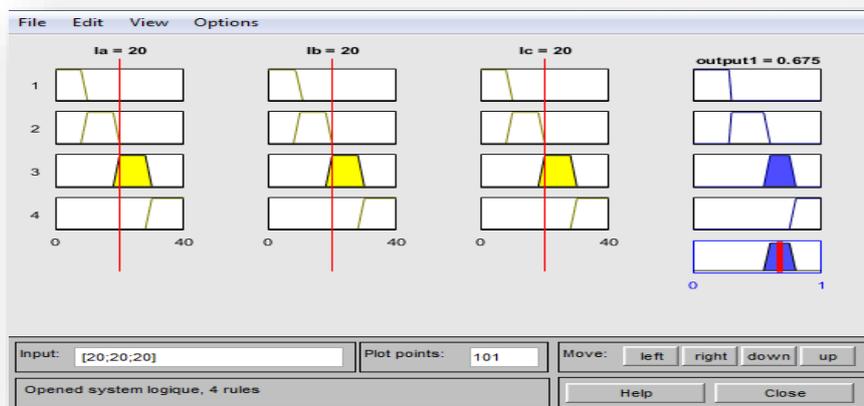


Figure III.10 : Exemple de défuzzification en cas de défaut T_1 (circuit ouvert)

Les résultats obtenus en utilisant le contrôleur flou d'un onduleur triphasé sont donnée par les trois figures suivant (III.11 et III.12, III.13) dans les trois cas.

Nous avons testé le contrôleur flou avec un temps de simulation $t=0.2s$.

✓ **Le cas de l'état sain :**

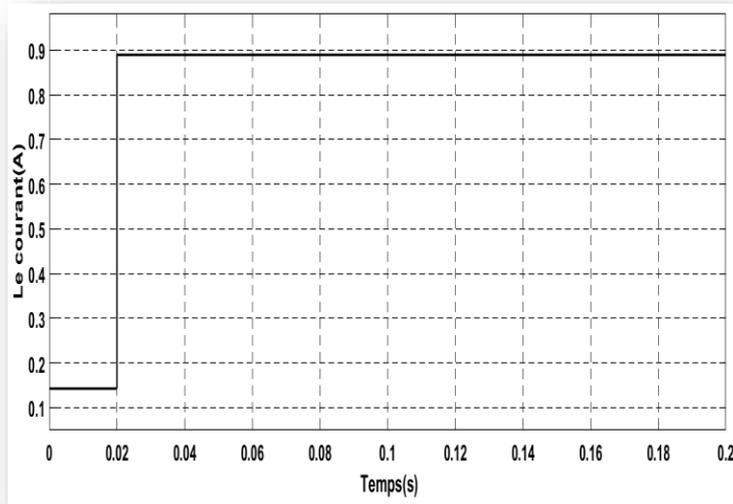


Figure III.11 : Sortie du système pour l'état sain

✓ Le cas de défaut de court-circuit :

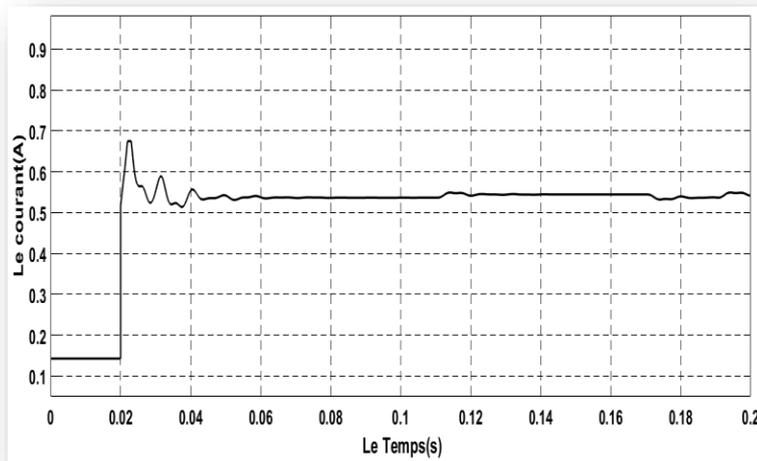


Figure III.12 : Sortie du système pour le défaut de court-circuit

✓ Le cas de circuit ouvert :

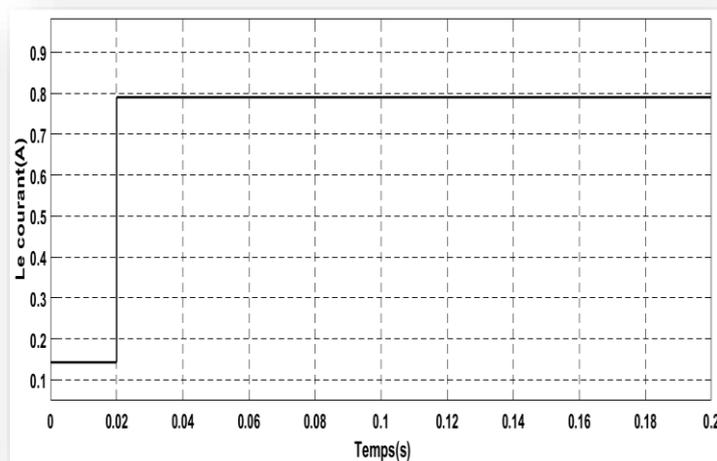


Figure III.13 : Sortie du système pour le défaut de circuit ouvert

La figure III.11 indique le cas de diagnostic de défaut dans l'état sain, ce cas indique que si les trios courant I_a, I_b, I_c se trouvent dans les sous-ensembles vb (very big) donc la sortie de système floue prendre une valeur entre $[0.75 \ 1]$, dans cet intervalle le contrôleur floue ne détecte aucun défaut ce qui implique que l'onduleur est dans l'état sain.

Par contre dans la deuxième figure et la troisième (III.12 et III.13) les trois courant I_a, I_b et I_c pour la figure III.11 se trouvent dans les sous-ensembles M (medium) donc la sortie va prendre une valeur entre $[0.2 \ 0.6]$ implique que le contrôleur floue va détecter un défaut de court-circuit d'un interrupteur de l'onduleur ,pour la figure III.13 le contrôleur détecte un défaut de circuit ouvert d'interrupteur d'où le contrôleur floue prends une valeur entre $[0.55 \ 0.8]$

Donc ce contrôleur peut détecter s'il y'a présence d'un défaut de circuit ouvert ou de court-circuit de l'interrupteur de l'onduleur.

◆ Localisation des défauts de l'onduleur

Après avoir détecter la présence d'un défaut, une procédure de localisation est utilisé pour déterminer le composant ou l'élément défectueux. Cette opération porte le nom de localisation ou d'isolation de défauts .on parle de localisation quand on est capable de préciser la nature du/des défaut(s) occurrent(s).

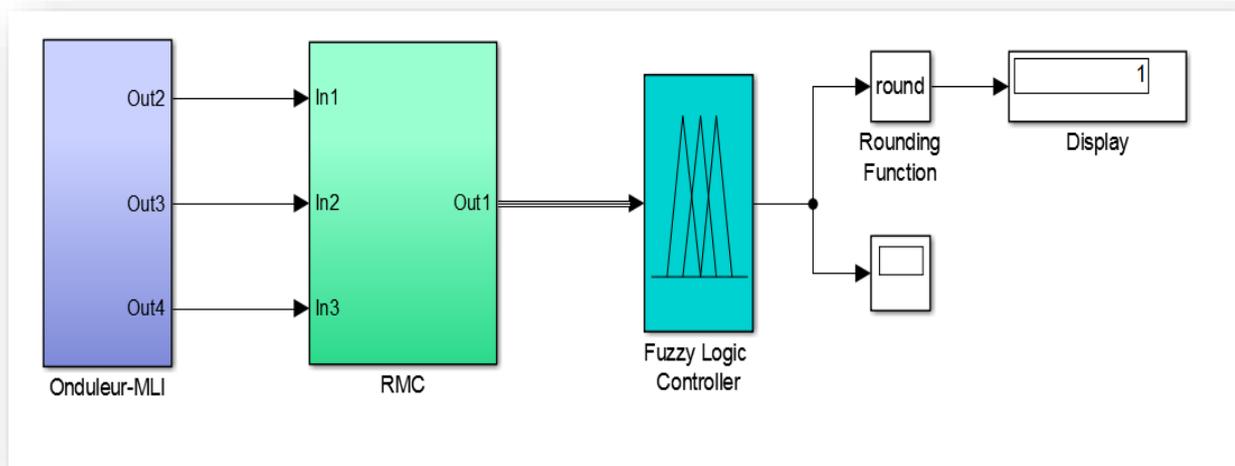
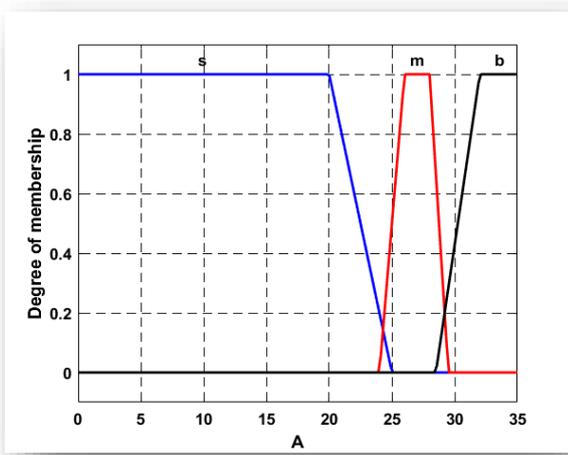


Figure III.14 : Simulation pour la localisation de défaut

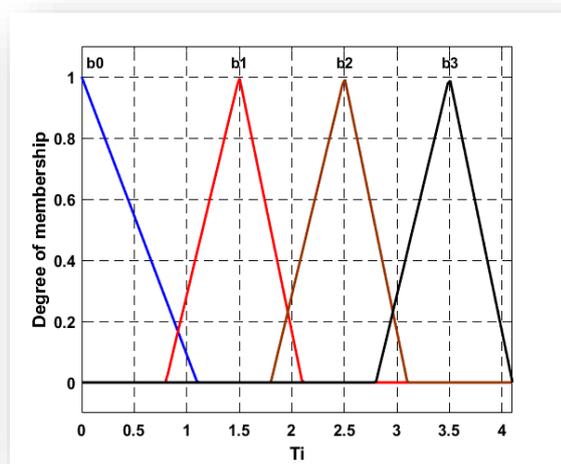
➤ Fuzzification d'entrée /sortie

Les entrées A,B,C sont normalisée dans un univers de discours $[0 \ 35]$, Les fonctions d'appartenance sont représentées en trois sous-ensembles floues :(Small(s) , medium(m), big (b)) .Pour la fuzzification de la sortie on la situation de défaut T_i on a choisit l'univers de discoure de cette sortie entre $[0 \ 4.1]$ et les variables linguistique ont la signification suivante : b_0 :l'état sain , b_1 :le premier bras , b_2 : le deuxième bras et b_3 :la troisième bras .

La (Figure III.15) donne les différentes fuzzification des entrées / sorties.



(a)



(b)

Figure III.15 : Fuzzification a) des entrées et b) des sorties

➤ L'inférence

Pour simplifier la description des inférences on utilise les règles suivant :

- Si (A est b) et (B est b) et (C est b) alors ($T_i == b_0$) → aucune défaut est localisé (état sain).
- Si (A est s) et (B est m) et (C est b) alors ($T_i == b_1$) → le défaut est localisé au niveau du premier bras.
- Si (A est b) et (B est s) et (C est m) alors ($T_i == b_2$) → le défaut est localisé dans le deuxième bras.
- Si (A est m) et (B est b) et (C est s) alors ($T_i == b_3$) → le défaut est localisé dans la troisième bras.

La figure III.16 : Illustre les règles floues pour les différentes situations de défaut de l'onduleur.

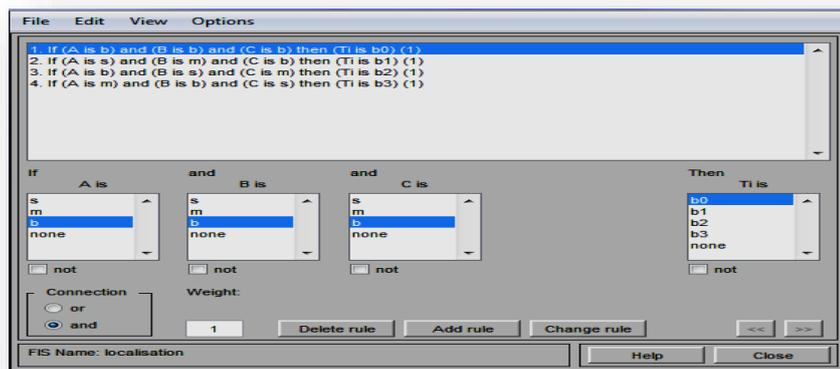


Figure III.16 : Présentation des règles d'inférence

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions générales de la logique floue ainsi que l'application de cette technique pour la détection et la localisation des défauts d'ouverture et court-circuit des interrupteurs de l'onduleur.

La détection de défaut consiste à signaler la présence d'un défaut, c'est -à-dire déterminé si l'état courant du système et de ses éléments est normal ou non . Cette tâche est ensuite complétée par celle de la

localisation que doit indiquer quel organe ou quel composant est affecté par le défaut ou de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant.

Conclusion générale

L'étude présentée dans ce mémoire de fin d'études constitue une contribution exploratrice par rapport au thème de diagnostic des défauts dans les convertisseurs statiques en mettant l'accent sur le défaut de circuit ouvert ainsi que le défaut de court-circuit dans l'onduleur triphasé de tension à deux niveaux.

Dans le premier chapitre on a essayé de faire un état de l'art sur le convertisseur statique bien entendu l'onduleur, nous avons cité quelque rappel sur l'onduleur. Ensuite, les défauts qui peuvent affecter le bon fonctionnement de l'onduleur. À savoir les défauts de circuit ouvert et court-circuit d'un interrupteur (IGBT) d'un onduleur.

En outre, on a cité les différentes techniques utilisées pour détecter ces différents défauts.

Dans le deuxième chapitre on a abordé la technique utilisée pour améliorer la qualité de la tension de sortie de l'onduleur, qui est la technique de modulation des largeurs d'impulsion MLI.

Des résultats de simulation numériques sont effectuée pour les le fonctionnement sain et avec défaut de l'onduleur, en utilisant l'environnement MATLAB(Simpower system) .

Deux méthodes de détection simples et rapides sont proposées, qui sont basées sur l'analyse des grandeurs électriques qui est le courant d'une phase:

- Analyse spectrale du courant par la transformation de fourrier FFT
- Analyse du contour de Park $I_{\beta} = f(I_{\alpha})$

En utilisant la technique de l'analyse spectrale du courant, il nous a permet de détecter le défaut dans l'onduleur, mais on ne peut pas le localiser si c'est un défaut d'ouverture d'une phase ou un défaut de court-circuit. L'analyse du contour de Park $I_{\beta} = f(I_{\alpha})$ permet de détecter le types défauts c'est-à-dire : si c'est un défaut de circuit ouvert ou court-circuit d'un interrupteur (IGBT) de onduleur.

Dans le troisième chapitre nous avons proposé une technique basée sur l'intelligence artificielle pour la détection et la localisation des défauts affectant l'onduleur qui est la logique floue.

L'analyse spectrale du courant de la phase a permis de détecter et de quantifier les raies présentes sur son spectre. La valeur du défaut survenue sur la phase grâce à l'analyse de l'amplitude et de la fréquence des raies présentes sur le spectre du courant par la technique de la logique floue. De plus, il a été montré que l'utilisation de la logique floue était indispensable pour permettre une classification fiable de types de défauts affectant l'onduleur à savoir l'ouverture d'une phase ou court-circuit de la phase.

Et enfin on a terminé par une conclusion générale.

Comme perspective, nous proposons la réalisation expérimentale et le développement intégral de diagnostic automatique pour augmenter le taux de reconnaissance et améliorer le temps de diagnostic.

Bibliographies

- [1] **G. Labrique, Séguier, et R. Bausière**, « *Les Convertisseurs de l'Electronique de Puissance* ». Volume 4, la conversion continu-alternatif, 2e éd. rev. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1995.
- [2] **B. Achour et A. Reguieg**, « *Réalisation d'une Carte de Commande d'un Onduleur Triphasé* », mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret., 2014.
- [3] **A. Boukaroura**, « *Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond-Graph* », mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Setif, 2009.
- [4] **M. Pinard**, « *Convertisseurs et Electronique de Puissance - Dunod/L'Usine Nouvelle*. 2007.
- [5] **G. Séguier, F. Labrique, et R. Bausière**, *Electronique de Puissance. Structures, Fonctions de Base, Principales Applications, Cours et Exercices Résolus*, 8e Ed. 2004.
- [6] **N. Belhaouchet**, « *Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées* », thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas - Setif, 2011.
- [7] **H. Muhammad Rashid** « *Power Electronics* » *Circuits, Devices, and Applications Second Edition*—Prentice Hall »Inc.Upper Saddle River, NJ, USA©1993 ISBN:0-13-678996-X.
- [8] **F. Brichant**«*Électronique de puissance* » Agence parisienne des distributions, 1977.
- [9] WWW. Réglage de la vitesse de rotation.htm
- [10] **KAROUI Abdelmounaim BRAHIMI Ammar** « *Détection de Défaut Statorique par Suivi Paramétrique d'un Moteur Synchrone à Aimants Permanents* ». mémoire de Master Ouargla 2014.
- [11] **P. Stoica et R. L. Moses**, « *Introduction to Spectral Analysis, Vol. 1*. Prentice Hall Uppersaddle River, 1997.
- [12] **A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso**, «*Voltage Source Inverter Fault Diagnosis in Variable Speed ac Drives, by the Average Current Park's Vector Approach*» in Proc. IEMDC'99, 1999, Pp. 704-706.
- [13] **R. Peugeot, S. Courtine and J. P. Rognon**, «*Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge Based Model* » *IEEE Trans. on Indus. Applicat.*, Vol. 34, No. 6, 1998, Pp. 1318-1326.
- [14] **T. Benslimane** ,« *Caractérisation Précise des Défauts d'un Variateur de Vitesse en Vue d'Elaborer un Système Automatique de Surveillance et de Diagnostic* », thèse de Doctorat Université de Boumerdès, 2009.
- [15] **H. Ben Zemamouche**, « *Application de la MLI Vectorielle aux Onduleurs Multi Niveaux à Base de GTO et d'IGBT* », mémoire de magister, Université BADJI MOKHTAR – Annaba, 2010.
- [16] **L. Bin, M. Senior, et S. K. Sharma**, « *A Literature Review of IGBT Fault Diagnostic and Protection Methods for Power Inverters* », 2009.
- [17] **Y. thiaux**, « *Conversion AC DC Amélioration de Facteur de Puissance* », thèse de Doctorats, IUT DE NÎMES, 2013.
- [18] **BENBRAHIM Amel** «*Commande Prédictive Généralisée d'une Machine Synchrone à Aimants Permanents* », mémoire de magister Université de BATNA 2009.

- [19] **KHOV Makara** «*Surveillance et Diagnostic des Machines Synchrones à Aimants Permanents* », thèse de Doctorat Université de Toulouse 2009.
- [20] **CHEMMOURI Boudjema**, «*Commande Non-Linéaire d'une Machine Synchrone à Aimants Permanents*», mémoire d'ingénierie Université Mohamed Boudiaf de M'sila 2005.
- [21] **K.Bensalem, Hofar**, «*Contrôle Direct du Couple du Moteur Asynchrone par la Logique Floue*», mémoire d'ingénierie Université Mohamed Khider de Biskra 2007.
- [22] **S. Karimi**,«*Continuité de Service des Convertisseurs Triphasés de Puissance et Prototypage* », *FPGA in the Loop : application à Filtre Actif Parallèle*), thèse de doctorat Université de Nancy, 2009.
- [23] **H. Bühler**, «*Réglage par la Logique Floue* », presse polytechnique et universitaire, Romande, Lausanne (Suisse), 1994.
- [24] **T.C. Minh**,«*Commande Numérique de Machines Asynchrones par Logique Floue* ». Thèse de Ph.D, Université Laval, Québec, Déc.1997
- [25] **S. Labiod**, «*Commande Adaptative par les Systèmes Flous ; Application aux Robots Manipulateurs* », mémoire de magister, ENP, Alger, 1998.

Résumé

Le progrès de l'électronique de puissance basé essentiellement sur les convertisseurs statiques, dans les différents domaines, ne cesse d'augmenter. Parallèlement, il y avait énormément d'efforts scientifiques et techniques déployés pour la mise en place de techniques permettant la surveillance et le diagnostic des défauts pour éviter tous dysfonctionnement des systèmes électriques.

L'objectif principal de notre étude consiste à effectuer un diagnostic adéquat pour les défauts d'un circuit ouvert et court-circuit des interrupteurs (*IGBT*) d'un onduleur à *MLI*. En se basant sur deux méthodes de diagnostic avec connaissance à priori et sans connaissance à priori.

Mots Clés : Diagnostic, Onduleur, MLI, Défaut Circuit Ouvert, Défaut court-circuit, la logique floue, la détection, la localisation.

المخلص

تطور الكترولونيك الاستطاعة مرتكز أساسا على المبادلات الساكنة في مختلف المجالات، بالموازاة مع ذلك هناك مجهودات علمية وتقنية واسعة من أجل وضع تقنيات تسمح بمراقبة وتشخيص الأعطال لمنع أي خلل وظيفي على مستوى الأنظمة الكهربائية.

الهدف الرئيسي من دراستنا هو إجراء تشخيص مناسب لأخطاء دائرة مفتوحة وقاطعات القصيرة *IGBT* لعاكس *PWM*

استنادا إلى طريقتين للتشخيص مع المعرفة وبداهة وبدون معرفة مسبقة

الكلمات المفتاحية: التشخيص، العاكس، *MLI*، عطل الدائرة المفتوحة، عطل دائرة قصر، المنطق ضبابي، كشف، تحديد الموقع.