

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

NIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SC IENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : électrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

THÈME

Etude et Commande d'un Onduleur Z-Source

Préparées par :

AOUED Sabrina

AOUS Aicha

Devant le Jury :

Nom et prénom	Grade	Qualité
Mr. S. HASSAINE	Pr	Président
Mr. A.SAFA	MCB	Examineur
Mr. S. KOUADRIA	MCB	Examineur
Mme. S.LARIBI	MCA	Encadreur
Mr.B.BELABBAS	MCA	Co-Encadreur

PROMOTION 2019-2020

Remerciements

Nos remerciements vont tout premièrement, à Allah le tout puissant de nous avoir donnée le courage pour réaliser ce travail.

Nous tiens, avant tout, à exprimer nos profonde

Gratitude à notre encadreur Docteur LARIBI Souad, maitresse d'électronique de puissance à l'Université de Tiaret, pour la confiance qu'elle nous a prodigué pour la direction et tout l'aide qu'elle nous 'a apporté durant toute la durée de ce travail de recherche. Nous tiens à remercier également le président et les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail et leurs commentaires constructifs.

Nous adressons aussi nos remerciements à tous nos amis et collègues surtout ceux qui nous ont apporté un soutien moral, une amitié inoubliable et précieuse et un dévouement qui fut particulièrement indispensable.

Enfin, nous tiens à remercier nos familles pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel et toute personne ayant contribué pour la réalisation de ce projet.

Liste des Figures.....	i
Liste des Tableaux.....	iii
Liste des symboles.....	iv
Liste des abréviations	vi
Introduction générale	1
Chapitre I : L'onduleur a structure Z-Source	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Définition d'un convertisseur DC-AC.....	4
I.3. Le rôle de l'onduleur	4
I.4. Classification des onduleurs	4
I.4.1 Onduleurs non autonome	5
I.4.2.Onduleur autonome.....	5
I.4.2.1.Onduleur de courant.....	5
I.4.2.2. Onduleur de tension	6
I.5. Onduleur à structure Z-source.....	8
I.5.1.Topologie d'un onduleur triphasé à Z-source	8
I.5.2 Configurations d'un onduleur triphasé à structure Z-source.....	9
I.6.Intérêt de la structure onduleur Z-source.....	10
I.7.Principe de fonctionnement de l'onduleur Z-source	11
I.7.1.Détermination des coefficients d'amplification	12
I.8.Dimensionnement des éléments passifs	16
I.8.1. Conception de l'inductance et du condensateur pour le circuit Z-source	16
I.9.Conclusion	19
Chapitre II: Stratégies de commande de l'onduleur Z-source	
II.1.Introduction	21
II.2.Les méthodes de survoltage.....	21
II.2.1. Méthode de contrôle Simple Boost (Simple Boot Control (SBC)).....	21
II.2.1.1. Résultats de simulation	22

II.2.2. Méthode de contrôle Maximum Boost (Maximum Boost Control (MBC))	26
II.2.2.1. Résultats de simulation	28
II.2.3. La Méthode de contrôle Constant Maximum Boost (Constant Maximum Boost Control (CMB))	31
II.2.3.1. Résultats de simulation	32
II.3. Comparaison entre la structure d'un onduleur classique et l'onduleur Z-source	35
II.4. Conclusion	36
Chapitre III: Fonctionnement de l'onduleur Z-source en mode dégradé	
III.1. Introduction	38
III.2. Transistor en court-circuit	38
III.3. Blocage de transistor (circuit-ouvert)	38
III.4. Diode bloquée (diode maintenue ouverte)	38
III.5. Les méthodes d'analyse des défauts	39
III.5.1 La méthode Vectorielle de Park	39
III.5.1.1. Simulation de l'onduleur Z-Source avec la commande simple boost en présence de défaut (circuit ouvert)	43
III.5.1.2. Résultat de simulation	44
III.6. Détection et localisation du défaut de circuit ouvert par l'emploi de la méthode de Park	46
III.7. Conclusion	48
Conclusion générale	49
Références bibliographiques	52

Chapitre I : L'onduleur a structure Z-Source

Fig.I.01 : Les différents types de convertisseurs statiques3

Fig. I .02: Schéma symbolique d'un onduleur4

Fig. I .03: Convertisseur avec onduleur de courant (CSC).....6

Fig. I .04: Redresseur- onduleur de tension (VSI)7

Fig. I .05: Topologie d'un onduleur triphasé à structure z-source8

Fig. I .06: Structure de l'onduleur Z-source.11

Fig. I.07: Schéma équivalent du mode 113

Fig. I .08: Schéma équivalent du mode 213

Fig. I .09: Schéma équivalent du mode 314

Chapitre II: Stratégies de commande de l'onduleur Z-source

Fig. II .01: Principe de la technique du contrôle simple Boost22

Fig. II .02: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande simple Boost (SBC).....23

Fig. II .03: Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande simple Boost (SBC).24

Fig. II .04: La tension de l'entrée de l'onduleur Z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{dc}25

Fig. II .05:Le courant passant dans l'inductance.....25

Fig. II .06: La tension composée de la sortie de l'onduleur.....25

Fig. II. 07: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre25

Fig. II .08: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre26

Fig. II .09: Principe de la technique du contrôle Maximum Boost27

Fig. II.10: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande maximum Boost (MBC).28

Fig. II. 11:Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande Maximum Boost (MBC).....29

Fig. II. 12: La tension de l'entrée de l'onduleur z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{dc}29

Fig. II.13: Le courant passant dans l'inductance.....29

Fig. II. 14: La tension composée de la sortie de l'onduleur.....29

Fig. II. 15: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre30

Fig. II.16: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre	30
Fig. II.17: Principe de la commande Constant Maximum Boost (CMB)	31
Fig. II.18: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande Constant Maximum Boost(CMB).....	32
Fig. II. 19: Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande constante Boost.....	33
Fig. II.20: La tension de l'entrée de l'onduleur z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{DC}	34
Fig. II. 21: Le courant passant dans l'inductance.....	34
Fig. II. 22: La tension composée de la sortie de l'onduleur.....	34
Fig. .II .23: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre	35
Fig. II.24: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre	35
Chapitre III:Fonctionnement de l'onduleur Z-source en mode dégradé	
Fig. III .01: Modèle de simulation de l'onduleur Z-source en présence de défaut (circuit ouvert).....	39
Fig. III .02: Transformation de Concordia.....	40
Fig. III .03 : Position du vecteur courant.....	40
Fig.III.04: les courants i_{abc} pour le fonctionnement sain	44
Fig. III.05 : Les courants de la charge en présence de défaut dans les interrupteurs : (a)T1, (b) T4, (c) T2, (d) T5, (e) T3, et (f) T6.....	45
Fig.III.06: Les courants i_{abc} de la charge en présence d'un défaut multiple dans les interrupteurs :	46
Fig. III .07: Analyse de contour de Park à l'état sain.....	46
Fig. III.08: Analyse du contour de Park en présence de défaut de circuit ouvert dans les interrupteurs :	
(a) T_1 , (b) T_4 , (c) T_2 , (d) T_5 , (e) T_3 , et (f) T_6	47

Chapitre I : L'onduleur a structure Z-Source

Tableau .I .01 : Les configurations d'un onduleur Z-source10

Tableau .I .02: états utilisés avec la commande Z-source.11

Chapitre II: Stratégie de commande de l'onduleur Z-source

Tableau .II .01: les paramètres de simulation23

Tableau .II .02: Résultats comparatives de l'onduleur MLI classique avec l'onduleur Z-source
.....36

Chapitre III:Fonctionnement de l'onduleur Z-source en mode dégradé

Tableau .III .01: les paramètres de simulation44

B : Amplification globale.

b : Amplification de l'étage.

C : Condensateur(F).

C_z : Condensateur de Source(F).

f : Fréquence(Hz).

f_m : Fréquence de la référence (modulante) (Hz)

F_s : Fréquence de commutation(Hz).

f_p : Fréquence de la modulation (porteuse) (Hz).

Δi_{Lz} : Facteur d'ondulation du courant(A).

L : Inductance(H).

L_z : Inductance de Source(H).

m : Indice de modulation.

M_Z : Indice de modulation de l'onduleur Z-source .

P : Puissance(W).

r : Le coefficient de réglage.

R : Résistance(Ω).

T_s : La période de la commutation du hacheur(s).

V_o : Tension d'entrée(V).

V_i : Tension d'entrée de l'onduleur(V).

V_{dc} : Tension de bus continue(V).

V_{an}, V_{bn}, V_{cn} : Les tensions simples(V).

V_{ab}, V_{bc}, V_{ac} : Les tensions composées(V).

V_M : Tension de sortie de l'onduleur(V).

V_{dc} : Tension de bus continu(V).

ΔV_{cz} : Facteur d'ondulation pour le condensateur.

<i>Acronyme</i>	<i>Signification</i>
DC	Courant continu (direct curent)
AC	Courant alternatif (alternatif curent)
THD	Taux de distorsion d'Harmonique (totale harmonique distorsion)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MLI	Modulation de l'arguer d'impulsion
SBC	Simple Boost Contrôle
MBC	Maximum Boost Control
MCBC	Maximum Constant Boost Control
VSI	Voltage source inverter
CSC	Curent source converter

INTRODUCTION
GENERALE

L'électronique de puissance a été largement utilisée dans diverses applications depuis sa naissance. L'onduleur, qui convertit la tension / courant continu en tension / courant alternatif, est l'un de ses convertisseurs les plus importants et les plus populaires. Ça a été largement utilisé dans les alimentations sans coupure (UPS), utilisé dans les moteurs à courant alternatif, système PV connecté au réseau...etc.[1]

Il existe deux types d'onduleurs traditionnels, à savoir l'onduleur à source de tension et onduleur de source de courant. Cependant, les deux onduleurs présentent des barrières conceptuelles. Les travaux menés se basent justement sur les convertisseurs de puissance au sein des divers systèmes. Elle évalue la possibilité de remplacer une structure associant un convertisseur DC/DC et un onduleur DC/AC par une topologie d'onduleur DC/AC qui est apparue il y a une dizaine d'années, celle-ci est nommée par son inventeur onduleur à source impédante (Z-source inverter) est de type DC/AC. Cette structure permet de convertir un signal continu en un signal alternatif en augmentant la tension de la source à un niveau supérieure.

L'apparition de ce type de convertisseur dans le domaine scientifique a été faite dans les années 2000 par le Professeur Fang Zhang. Les onduleurs Z-source utilisent un réseau d'impédance pour coupler l'onduleur à la source de tension continue. Ce réseau d'impédance est constitué d'une structure LC hybride croisée ; Il permet à l'onduleur d'amplifier la tension de sortie grâce à une commande spécifique, ce qui le rend équivalent à la mise en cascade d'un hacheur survolteur avec un onduleur classique. [2]

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, ou la charge quel que soit sa nature), ces défauts doivent être rapidement détectés et localisés 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.

Les techniques de détection de défauts adoptées dans le présent mémoire concernent la méthode de vecteur de Park qui consiste à détecter et localiser l'interrupteur défaillant. [3]

Notre travail qui s'intitule l'étude et commande d'un onduleur Z-source a pour but de traiter les objectifs suivants :

1. L'amélioration ajoutée par le convertisseur Z-source à un autre convertisseur de type DC/AC qui est l'onduleur.
2. Etude de trois principales méthodes de survoltages de l'onduleur Z-source :
 - Méthode de contrôle Simple Boost (Simple Boot Control (SBC)) ;
 - Méthode de contrôle Maximum Boost (Maximum Boost Control (MBC)) ;
 - Méthode de contrôle Constant maximum Boost (Constant Maximum Boost Control (CMB)).
3. L'influence du défaut sur le fonctionnement de l'onduleur Z-source

Le travail présenté se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre présente une brève description des convertisseurs de type DC/AC, à savoir l'onduleur de Tension VSI et l'onduleur de courant CSC. On a aussi consacré une partie de ce chapitre à l'étude d'une nouvelle structure du convertisseur DC/AC qui est l'onduleur Z-source .

Le dexiemme chapitre attaque, les différentes techniques de commande des onduleurs Z-source. Cette étude sera accordée avec des résultats de simulation comparative réalisée à l'aide de logiciel MATLAB SIMPOWERSYSTEM.

Le troisième chapitre est consacre à l'etude du fonctionnement dégradé de l'onduleur Z-soure , précesement un fonctionnement avec un défaut de circuit ouvert des interrupteur de l'onduleur Z-source.

Pour remédier ce type de défaut, une technique de diagnostic et localisation de défaut est utilisée, basée sur l'analyse des trois courants de sortie de l'onduleur Z-source. à travers le contour de Park

Enfin ce travail sera clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE I :
L'ONDULEUR A
STRUCTURE Z-SOURCE

I.1.Introduction

Les progrès technologiques réalisés ces dernières années ont permis le développement important des convertisseurs qui s'appliquent dans le domaine de l'Electronique de Puissance.

L'Electronique de Puissance est la branche de l'Electrotechnique qui a pour objet l'étude de la conversion statique d'énergie électrique (notamment les structures, les composants, les commandes et les interactions avec l'environnement ...), c'est-à-dire l'échange d'énergie entre deux systèmes électriques (réseaux ou actionneurs). Cette énergie est disponible soit sous une forme alternative (réseau de distribution électrique, alternateur ...) soit sous une forme continue (batterie d'accumulateurs, génératrice à courant continu, alimentation par caténaire ...). Il est donc nécessaire d'assurer, d'une part, une fonction de conversion de l'énergie électrique en rendant compatible les différentes caractéristiques (tension, courant, fréquence) des deux systèmes et d'autre part, une fonction de contrôle de cet échange d'énergie. C'est le rôle des convertisseurs statiques. Ceux-ci utilisent des semi-conducteurs (transistors, thyristors, diodes ...) travaillant en commutation, c'est-à-dire en interrupteur (ouvert-fermé) et des éléments réactifs (inductances, condensateurs) pour assurer un rendement de conversion proche de 100%.

Parmi ces convertisseurs Les onduleurs Z-source qui utilisent un réseau d'impédance pour coupler l'onduleur à la source de tension continue. Ce réseau d'impédance est constitué d'une structure L_C hybride (croisée) [4].

Un convertisseur statique est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique disponible en une forme appropriée à l'alimentation d'un récepteur (une charge). Les différentes possibilités ou types de convertisseurs apparaissent sur le diagramme ci-après [5] :

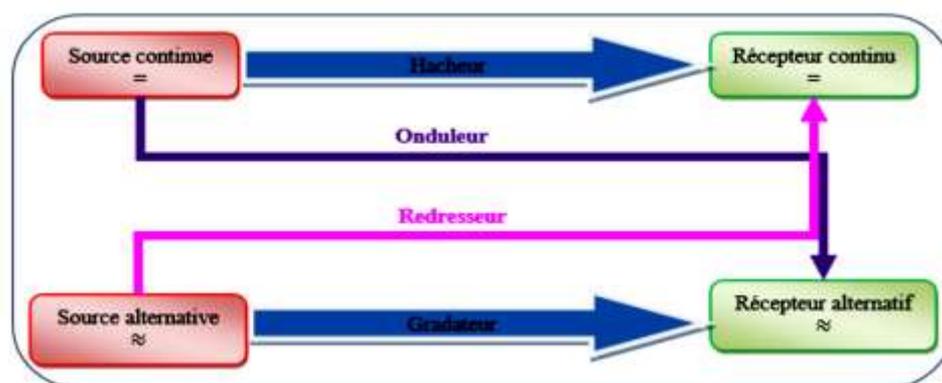


Fig.I.01 : Les différents types de convertisseurs statiques [5]

Dans ce chapitre on s'intéresse au convertisseur de type DC-AC qui est l'onduleur Z-source ou on va parler beaucoup plus de son principe de fonctionnement et de sa modélisation.

1.2. Définition d'un convertisseur DC-AC

Les convertisseurs DC-AC appelé aussi des onduleurs permettent de transformer une source de tension continue en une source de tension alternative. Cette transformation est basée sur des dispositifs de commandes (semi-conducteurs) rapides et robustes.

La représentation symbolique d'un onduleur est donnée par la figure (I.02)

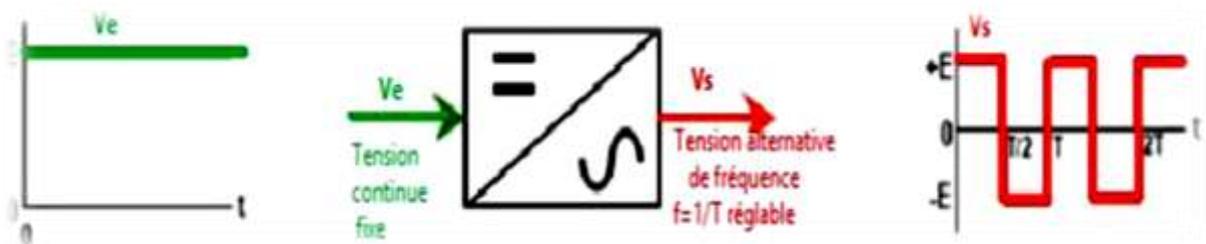


Fig. I .02: Schéma symbolique d'un onduleur [5].

- L'utilisation directe d'une paire d'interrupteurs de base qui consiste à régler la fréquence et la durée des interconnexions de la source avec la sortie. Il est donc plutôt temporel et débouche sur les techniques de modulation de largeur d'impulsion.
- Contrôler l'amplitude soit de façon continue en créant une source réglable (ce qui suppose l'existence d'un autre étage de conversion), soit de façon discrète en disposant d'un nombre suffisant de sources. [6]

1.3. Le rôle de l'onduleur

L'onduleur permet d'assurer la protection de nombreux appareils en cas de coupure de courant. C'est le cas, par exemple, des appareils industriels, des périphériques d'informations et des ordinateurs. Ce type de dispositif électronique peut être considéré comme un excellent moyen pour protéger les appareils contre la foudre, les microcoupures, les variations de tension, les parasites électriques et les coupures de courant [7].

1.4. 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 : onduleurs 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 » [8].

1.4.1 Onduleurs 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].

1.4.2. 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 [8]

Pour fonctionner un onduleur 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 [7].

1.4.2.1. 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.03) représente un convertisseur avec un onduleur de courant [9].

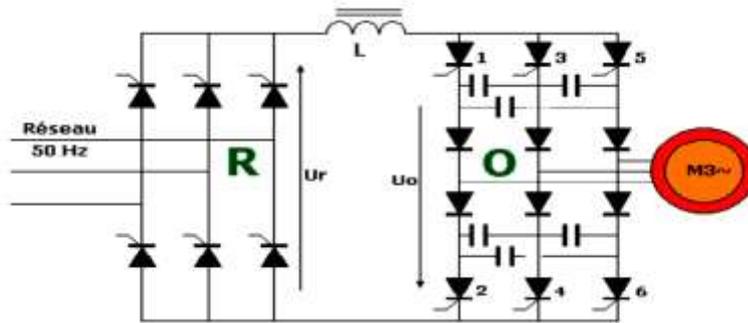


Fig. I .03: Convertisseur avec onduleur de courant (CSC)

Toutefois, l'onduleur de courant présente les limites suivantes [10] :

- La tension de sortie en courant alternatif doit être supérieure à la tension continue d'origine qui alimente l'inductance en courant continu. Par conséquent, l'onduleur de courant est un onduleur d'appoint pour la conversion de courant continu en courant alternatif et le l'onduleur de courant est un redresseur (ou convertisseur) de type buck pour la conversion de courant alternatif en courant continu ;
- Pour les applications où une large gamme de tension est nécessaire, un convertisseur buck (ou boost) CC/CC supplémentaire est nécessaire. L'étage de conversion de puissance supplémentaire augmente le coût du système et réduit le rendement ;
- Au moins un des dispositifs supérieurs et un des dispositifs inférieurs doivent être mis en marche ou allumés et maintenus en marche à tout moment. Dans le cas contraire, un circuit ouvert de l'inducteur de courant continu se produirait qui détruirait les appareils. Le problème du circuit ouvert par le bruit EMI est une préoccupation majeure en termes de fiabilité du convertisseur ;
- Les interrupteurs principaux du l'onduleur de courant doivent bloquer la tension inverse qui nécessite une diode série à utiliser avec des transistors à haute vitesse et de bonne qualité comme les IGBT. Cela permettrait d'éviter l'utilisation directe de modules IGBT et de modules de puissance intelligents (IPM) peu coûteux et performants [10].

1.4.2.2. 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 [9].

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.04)

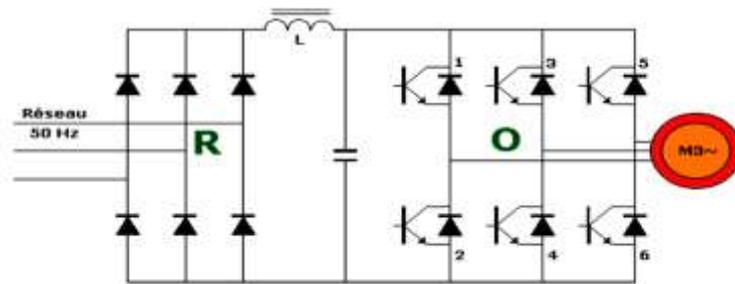


Fig. I .04: Redresseur- onduleur de tension (VSI)

Dans cette structure des IGBT avec une diode antiparallèle, sont utilisés dans le circuit principal pour assurer la circulation bidirectionnelle du courant et le blocage unidirectionnel de la tension. L'onduleur de tension est couramment utilisé. Cependant, il a les limitations suivantes [10] :

- La tension de sortie de l'onduleur ne peut pas dépasser la tension continue de l'entrée. Par conséquent, le VSC est un onduleur buck pour la conversion de la puissance de la forme continue à la forme alternative et il est un redresseur boost pour la conversion de puissance de la forme alternative à la forme continue ;
- Pour les applications nécessitant une surcharge et où la tension continue disponible n'est pas suffisante alors un convertisseur CC-CC supplémentaire est nécessaire pour obtenir la sortie CA souhaitée. Ces étages de convertisseur supplémentaires augmentent le coût du système et diminuent le rendement ;
- Les interrupteurs supérieur et inférieur de chaque phase ne peuvent pas être enclenchés simultanément, sinon il se produirait un court-circuit qui détruirait les dispositifs. Le problème de la traversée par le bruit des interférences électromagnétiques (EMI) est l'un des principaux problèmes en termes de fiabilité du convertisseur ;
- Un filtre LC de sortie est nécessaire pour fournir une tension sinusoïdale par rapport au CSI, ce qui entraîne une perte de puissance supplémentaire.

Outre les limites susmentionnées, l'onduleur de courant et l'onduleur de tension ont en commun les problèmes suivants :

- Ils sont soit un convertisseur buck ou un convertisseur boost, ce qui signifie qu'ils n'ont pas la fonction buck-boost, c'est-à-dire que leur plage de tension de sortie disponible est limitée à une valeur supérieure ou inférieure à la tension d'entrée.

- Leurs circuits principaux ne peuvent pas être interchangeables, c'est-à-dire que le circuit principal de l'onduleur de tension ne peut pas être utilisé pour l'onduleur de courant, et vice versa.
- En termes de fiabilité, ils sont sujets au bruit EMI.
- Pour surmonter la limitation susmentionnée des onduleurs conventionnels, une topologie de convertisseur améliorée appelée convertisseur Z-source (ZSC) est proposée dans la littérature [10].

I.5. Onduleur à structure Z-source

I.5.1. Topologie d'un onduleur triphasé à Z-source

La topologie d'un onduleur de tension triphasé à structure Z-source est donnée dans la Figure (I.05), cet onduleur est constitué d'un circuit principal qui regroupe les trois (03) cellules de commutation, connecté à la source de tension continue par l'intermédiaire d'un réseau d'impédance et une diode de protection. Cette dernière empêche la décharge de deux condensateurs dans la source de tension continue [11].

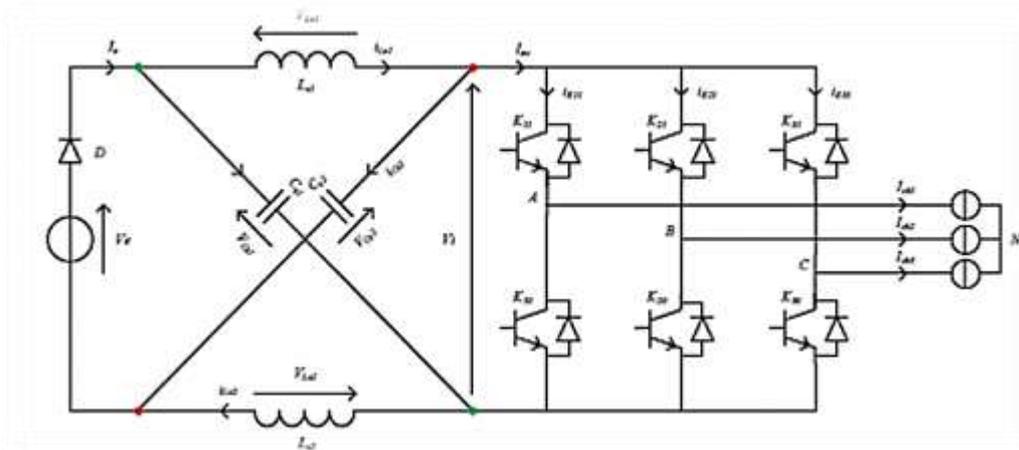


Fig. I.05: Topologie d'un onduleur triphasé à structure z-source [11].

Chaque bras (cellule de commutation) est formé de deux interrupteurs réversibles en courant dont le fonctionnement est complémentaire pendant le transfert de l'énergie entre les deux sources. L'insertion du dit réseau offre la possibilité d'amorcer simultanément les deux (02) interrupteurs de même cellule (bras), qui est strictement interdit dans les onduleurs conventionnels de tension. Cette possibilité engendre un nouvel état qui est reconnue par son appellation « état de court-circuit du bras » et en anglais « Shoot Through Stat ».

Cet état ne peut être inséré que dans la durée de court-circuit de la charge (l'état zéro de convertisseur).

Le réseau d'impédance représente à la fois, une source d'énergie et un filtre pour le convertisseur, tel que l'inductance sert à limiter les ondulations du courant pendant l'état du court-circuit, tandis que le condensateur est destiné à absorber ces ondulations et maintenir la tension constante et ce, dans le but de fournir une tension sinusoïdale à la sortie[11].

Ce dernier à plusieurs topologies, on cite entre autres :

- Quasi Z-source.
- Semi Z-source.
- Semi quasi source.
- Z_H source [12].

1.5.2 Configurations d'un onduleur triphasé à structure Z-source

En plus des six (06) états actifs et des deux (02) états zéro d'un onduleur conventionnel, l'onduleur à structure Z-source peut avoir un neuvième état qui représente l'amorçage simultanément des interrupteurs de même bras, le tableau (I.01) illustre les états possibles des interrupteurs [11].

L'analyse du tableau (I.01) montre que l'état de court-circuit peut être généré par sept (07) configurations possibles, répartis comme suit :

- Trois configurations sont obtenues par le court-circuit de chaque bras ;
- Trois configurations sont réalisées par le court-circuit de deux bras ;
- Une configuration est obtenue par le court-circuit des trois bras

Les sept configurations de l'état de court-circuit engendrent dix-neuf (19) combinaisons possibles des interrupteurs de l'onduleur.

Les valeurs des tensions alternatives à la sortie de l'onduleur ne sont pas affectées par l'insertion de ces configurations [11].

Tableau J.01 : Les configurations d'un onduleur Z-source

Etats	Etats des interrupteurs						Tensions simples			Tensions composées		
	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{10}	K_{20}	K_{30}	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}	V_{AB}	V_{BC}	V_{AC}
Actifs	1	0	0	0	1	1	$(2/3)V_i$	$-(1/3)V_i$	$-(1/3)V_i$	V_i	0	$-V_i$
	1	1	0	0	0	1	$(1/3)V_i$	$(1/3)V_i$	$-(2/3)V_i$	0	V_i	$-V_i$
	0	1	0	1	0	1	$-(1/3)V_i$	$(2/3)V_i$	$-(1/3)V_i$	$-V_i$	V_i	0
	0	1	1	1	0	0	$-(2/3)V_i$	$(1/3)V_i$	$(1/3)V_i$	$-V_i$	0	V_i
	0	0	1	1	1	0	$-(1/3)V_i$	$-(1/3)V_i$	$(2/3)V_i$	0	$-V_i$	V_i
	1	0	1	0	1	0	$(1/3)V_i$	$-(2/3)V_i$	$(1/3)V_i$	V_i	$-V_i$	0
	Zéro	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Court-Circuit	1	X	Y	1	\bar{X}	\bar{Y}	0	0	0	0	0	0
	X	1	Y	\bar{X}	1	\bar{Y}	0	0	0	0	0	0
	X	Y	1	\bar{X}	\bar{Y}	1	0	0	0	0	0	0
	1	1	X	1	1	\bar{X}	0	0	0	0	0	0
	1	X	1	1	\bar{X}	1	0	0	0	0	0	0
	X	1	1	\bar{X}	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

I.6. Intérêt de la structure onduleur Z-source

L'onduleur Z-source a été récemment introduit, la terminologie Z-source (Source d'impédance) étant liée au remplacement du bus continu classique de l'onduleur par un étage continu L_C hybride croisé. Son intérêt est de pouvoir obtenir une tension alternative de sortie d'onduleur plus importante qu'avec un onduleur classique, soit un effet "boost naturel". Cette modification est liée à la possibilité d'introduire des phases de court-circuit des bras de l'onduleur, en superposition avec la commande classique de l'onduleur MLI. La source continue d'entrée ne doit pas être réversible et la commande de l'onduleur est légèrement modifiée [4].

I.7.Principe de fonctionnement de l'onduleur Z-source

On définit V_i la tension d'entrée de l'onduleur figure (I.06), \hat{V}_M la valeur crête du fondamental de la tension simple de sortie de l'onduleur, \hat{V}_i la valeur crête de la tension d'entrée de l'onduleur [11].

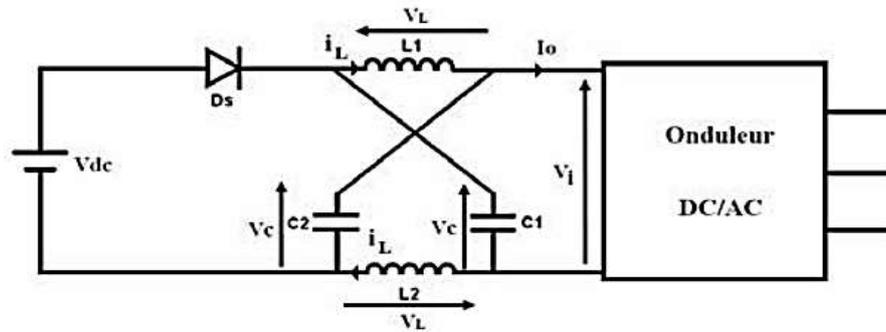


Fig. I .06: Structure de l'onduleur Z-source.

D'où la profondeur de modulation est définie par :

$$M = 2 \frac{\hat{V}_M}{\hat{V}_i} \tag{I.01}$$

Le fonctionnement du dispositif est lié aux comportements des éléments non linéaires entourant l'étage continu Z-source :

- **l'état de la diode D_s** : Passante ou bloquée
- **l'état de l'onduleur** : Roue libre, état actif (échange de puissance entre l'étage continu et la charge), court-circuit des bras de l'onduleur

Le tableau(I.02) montre les différentes configurations réellement présentes avec les commandes classiques.

Tableau .I .02: états utilisés avec la commande Z-source.

Etat de la diode D_s	Onduleur en roue libre	Onduleur actif	Z-source court-circuité
Passante	OUI	OUI	NON
Bloquée	NON	NON	OUI

En effet, le fonctionnement normal du montage ne permet pas la présence des 6 combinaisons au niveau du Z-source :

- Si les bras de l'onduleur sont court-circuités, la diode est nécessairement bloquée (lié au mode élévateur du montage).
- Si l'onduleur est actif (échange de puissance entre l'étage continu et la charge), alors la diode DS est passante.
- Si l'onduleur est en roue libre, D_s est normalement passante, ceci étant lié au choix de la fréquence de découpage de l'onduleur et aux valeurs usuelles de L et C [4].

1.7.1.Détermination des coefficients d'amplification

Afin de pouvoir calculer ces coefficients, une analyse succincte des trois états utiles de l'onduleur Z-source doit être effectuée, sur une période de modulation, pour déterminer les équations qui régissent ce système.

On fait les suppositions suivantes :

$$L_1 = L_2 = L$$

$$C_1 = C_2 = C$$

On aura donc un circuit symétrique [13]:

$$V_{c1} = V_{c2} = V_c$$

$$i_{L1} = i_{L2} = i_L$$

Avec :

V_{dc} , V_c , V_L et V_i : représentent respectivement les tensions de la source continue, du condensateur, de l'inductance et de la sortie du ZSC.

i_L , i_g , i_o et i_c : sont respectivement les courants de charge et de la source et Les courants passant par l'inductance et le condensateur [11].

Mode 1 - D_s passante et onduleur actif

Durant cet état l'onduleur peut être représenté comme une source de courant vu de l'étage continu Z-source figure (I.07).

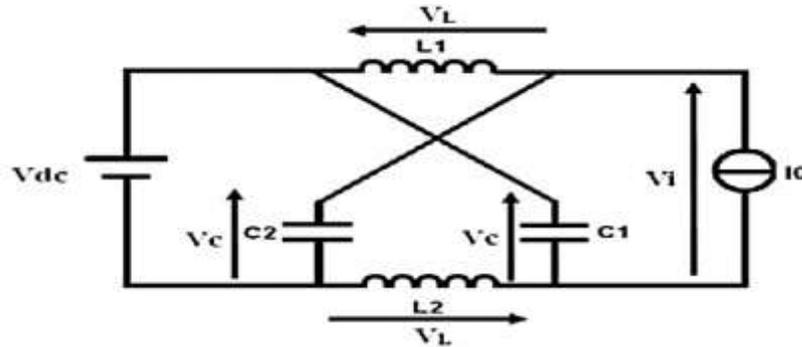


Fig. I.07: Schéma équivalent du mode 1

Les valeurs des tensions (4) et (5) peuvent être déterminées [14] :

$$V_L = V_{dc} - V_c \quad (I.02)$$

$$V_i = V_c - V_L = 2V_c - V_{dc} \quad (I.03)$$

Mode 2 - D_s passante et onduleur en roue libre (sans court-circuit)

Durant cet état, l'onduleur peut être représenté comme un circuit ouvert figure (I.08) et les tensions V_c et V_i restent identiques aux équations (I.02) et (I.03). C'est un cas particulier pour lequel i_0 est nul.

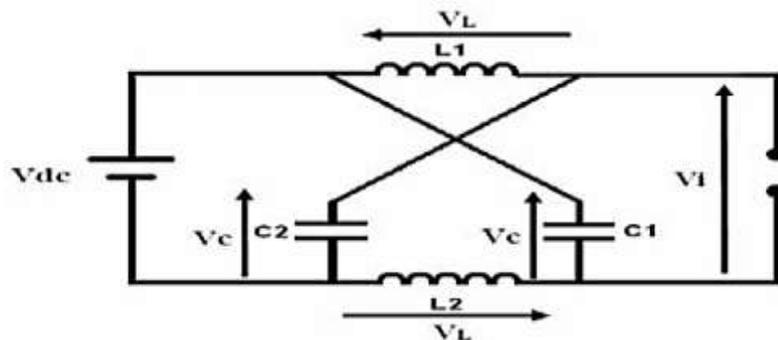


Fig. I.08: Schéma équivalent du mode 2

Mode 3 - D_s bloquée et Z-source court-circuité

Durant cet état, au moins un bras de l'onduleur est court-circuité, ce qui impose une tension nulle en sortie de l'étage continu Z-source.

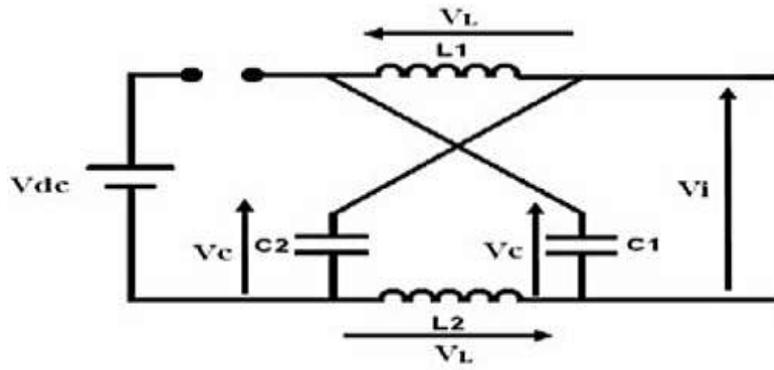


Fig. I .09: Schéma équivalent du mode 3

A partir de la figure(I.09) nous pouvons déterminer les équations les tensions (I.04) et (I.05).

$$V_L = V_c \tag{I.04}$$

$$V_i = 0 \tag{I.05}$$

De ces équations électriques, il est possible de déduire la valeur des tensions du montage durant une période de modulation et de déterminer les valeurs des amplifications. T désigne la demi-période de la commande de la structure Z-source, la commande étant élaborée à partir de porteuses triangulaires :

$$T = T_0 + T_1 \tag{I.06}$$

Avec T_0 durée des courts-circuits de l'onduleur Z-source ($V_i = 0$) et T_1 la durée des états actifs de l'onduleur durant T. Le rapport cyclique de court-circuit T_0/T_{est} noté D_0 [4].

On peut extraire la formule de V_L à partir de l'équation suivante [15] :

$$TV_L = T_0 V_c + T_1 (V_{dc} - V_c) \tag{I.07}$$

$$V_L = \frac{T_0 \cdot V_c + T_1 (V_{dc} - V_c)}{T} = 0 \tag{I.08}$$

La tension aux bornes des capacités peut être calculée à partir des équations (I.02) et (I.04)

$$V_L = V_c = V_{dc} - V_c = 0 \tag{I.09}$$

$$V_c T_0 + T_1 V_{dc} - T_1 V_c = 0 \tag{I.10}$$

$$V_{c1} = V_{c2} = V_c = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{dc} \quad (\text{I.11})$$

A partir des équations (I.03) et (I.05), on aura :

$$\begin{aligned} VT &= T_1(2V_{dc} - V_c) \\ V_i &= \frac{T_1(2V_c - V_{dc})}{T} = \frac{2T_1\left(\frac{T_1 V_{dc}}{T_1 - T_0}\right) - T_1 V_{dc}}{T} = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{dc} \end{aligned} \quad (\text{I.12})$$

D'où :

$$V_i = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{dc} = V_c \quad (\text{I.13})$$

La tension d'entrée maximale de l'onduleur \hat{V}_i , nous permet de calculer en remplaçant l'équation (I.03) dans l'équation (I.08), les coefficients d'amplification de la structure [15] :

$$\begin{aligned} \hat{V}_i &= 2V_{dc} - V_c = 2\frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{dc} - V_{dc} = \left(2\frac{T_1}{T_1 - T_0} - 1\right) V_{dc} \\ &= \left(\frac{T}{T_1 - T_0}\right) V_{dc} \end{aligned} \quad (\text{I.14})$$

Autrement (I.14), peut se réécrire comme suit :

$$\begin{aligned} \hat{V}_i &= \left(\frac{T}{T_1 - T_0}\right) V_{dc} = \frac{T}{T - T_0 - T_0} V_{dc} \\ &= \frac{1}{1 - 2\frac{T_0}{T}} V_{dc} = \frac{1}{1 - 2D} V_{dc} = BV_{dc} \end{aligned} \quad (\text{I.15})$$

$$\text{avec } B = \frac{1}{1 - 2D} \geq 1$$

$D = \frac{T_0}{T}$ est le rapport cyclique de court-circuit

B est le facteur d'amplification résultant de l'état shoot-through zéro

Lorsque le rapport cyclique D varie entre 0 et 0.5, la tension de sortie prend des valeurs entre 0 et l'infini, donc on dit que la Z-source à booster la tension d'entrée. Afin de garder une tension d'entrée de l'onduleur V_i positive, on doit maintenir le rapport cyclique de court-circuit D inférieur à 0.5.

C'est l'avantage du Z-source lorsqu'on le rajoute à un onduleur conventionnel on peut booster la tension continue d'entrée sans utiliser un hacheur Boost, ce qui permet de réduire le nombre d'interrupteurs.

La profondeur de la modulation M_Z est définie par :

$$M_Z = 2 \frac{\hat{V}_M}{\hat{V}_i} \quad (\text{I.16})$$

(\hat{V}_M : La valeur crête du fondamental de la tension simple de sortie de l'onduleur)

D'après les deux équations (I.15) et (I.16) on obtient la formule de l'amplification globale :

$$\hat{V}_M = M_Z \frac{\hat{V}_i}{2} = M_Z B \frac{V_{dc}}{2} \quad (\text{I.17})$$

1.8. Dimensionnement des éléments passifs

Il est nécessaire de connaître des éléments passifs qui composent le réseau d'impédance pour assurer le bon fonctionnement et bien choisir le filtrage qui sert à garder l'efficacité de ce dernier.

1.8.1. Conception de l'inductance et du condensateur pour le circuit Z-source

Au début du développement du réseau Z-source, la détermination des valeurs de l'inductance et du condensateur sont vraiment importantes. ces valeurs affecteront la tension de sortie de suralimentation pour la tension d'entrée [11].

➤ A l'aide de schéma équivalent de mode 2 on peut extraire la relation finale de facteur d'ondulation du courant Δi_{Lz} [15].

- **Pour** $0 \leq t_{on} \leq DT$:

Tel que t_{on} : représente le temps de conduction

On obtient donc le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} V_{Lz} = L \frac{di_{Lz}(t)}{dt} \\ V_{Lz} = V_{cz} \end{cases} \quad (\text{I.18})$$

D'après ce système, on peut déterminer l'expression correspondante au courant i_L :

$$i_{Lz} = \frac{1}{L_z} \int_0^t V_{Lz} dt = \frac{1}{L_z} \int_0^t V_{cz} dt \quad (I.19)$$

$$i_{Lz} = \frac{V_{cz}}{L_z} t + i_{Lz}(0) \quad (I.20)$$

Si on remplace t par sa valeur finale dans cet intervalle, c'est-à-dire $t = DT$, on aura :

$$i_{Lz} = \frac{V_c}{L_z} DT + i_{Lz}(0) \quad (I.21)$$

La valeur de la pente pour le signal de courant i_L est :

$$\Delta i_{Lz} = \frac{V_{cz} DT}{L_z} \quad (I.22)$$

➤ A l'aide de schéma équivalent de mode 1 on peut extraire la relation finale de V_{cz} :

- Pour $t_{on} \geq DT$:

On fait l'analyse de la même façon qu'au paravant, on obtient :

$$\begin{cases} V_{Lz} = V_{dc} - V_{cz} \\ V_{Lz} = L \frac{di_{Lz}(t)}{dt} \end{cases} \quad (I.23)$$

et, à partir de ce système d'équation on peut dériver l'expression de i_L :

$$i_{Lz} = \frac{(V_{dc} - V_{cz})}{L_z} (t - DT) + i_{Lz}(DT) \quad (I.24)$$

La valeur de la pente pour le signal de courant i_L est :

$$\Delta i_{Lz} = \frac{(V_{dc} - V_{cz})}{L_z} (t - DT) \quad (I.25)$$

Comme la valeur moyenne du courant aux bornes de l'inductance est de valeur nulle, on trouve :

$$\Delta i_{Lz} = \int_0^{DT} i_{Lz} dt = \int_{DT}^T i_{Lz} dt = 0 \quad (I.26)$$

Alors

$$V_{cz}(DT) + (V_{dc} - V_{cz})(1 - DT) = 0 \quad (I.27)$$

$$V_{cz}(1 - 2D) = V_{dc}(1 - D) \quad (I.28)$$

Donc on obtient :

$$V_{cz} = \frac{(1 - D)}{(1 - 2D)} V_{dc} \quad (I.29)$$

Après la substitution de l'équation (I.29) dans (I.25) on peut déduire que [11]:

$$\Delta i_{Lz} = \frac{D(1 - D)}{L_z f_m (1 - 2D)} V_{dc} \quad (I.30)$$

Avec :

$$f_m = \frac{1}{T} \quad (I.31)$$

Tel que : f_m : représente la fréquence de commutation.

Donc la relation finale de l'inductance du réseau d'impédance sera définie comme suit [16] :

$$L_z \geq \frac{V_{dc}^2 D(1 - D)}{\Delta i_{Lz} f_m P (1 - 2D)} \quad (I.32)$$

Le courant traversant le condensateur est égale au courant de l'inductance ce qui nous permet d'écrire :

$$i_{cz} = i_{Lz} = C_z \frac{\Delta V_{cz}}{\Delta t} \quad (I.33)$$

On peut déduire que :

$$C_z = \frac{i_{Lz} D}{\Delta V_{cz} f_m} \quad (I.34)$$

Le courant i_{Lz} peut être estimé par la relation suivante :

$$i_{Lz} = \frac{P}{V_{dc}} \quad (I.35)$$

A l'aide des équations précédentes le condensateur C_z peut être calculé à partir de la relation finale suivante [11] :

$$C_z \geq \frac{P.D}{\Delta V_{cz} \cdot f_m \cdot V_{dc}} \quad (I.36)$$

Après la substitution de l'équation (I.29) dans (I.36) on peut déduire que [16] :

$$C_z \geq \frac{PD(1-D)}{\Delta i_{Lz} f_m V_{dc}^2 (1-2D)} \quad (I.37)$$

I.9. Conclusion

Ce présent chapitre résume une généralité le convertisseur statique DC/AC, ainsi que sur l'association d'un onduleur avec un convertisseur Z--source dans une unique structure qui a été montrée l'élévation de tension de sortie. Ainsi que leur principe de fonctionnement se basant sur le dimensionnement des éléments passifs L et C qui le caractérise.

CHAPITRE II :
STRATEGIES DE
COMMANDE DE
L'ONDULEUR Z-SOURCE

II.1.Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation des différents types de survoltages utilisés dans la commande d'un onduleur Z-source tels que : contrôle Simple Boost (Simple Boot Control (SBC)), contrôle Maximum Boost (Maximum Boost Control (MBC)) et contrôle Constant maximum Boost (Constant Maximum Boost Control (CMB)). Ces techniques sont des dérivées de la commande MLI. On termine notre travail avec une comparaison entre les deux structures proposées l'onduleur Z-source avec ses différentes commandes par rapport à un onduleur classique.

II.2.Les méthodes de survoltage

Étant donné que l'onduleur Z-source (ZSI) a un état de sortie spécial, les méthodes de contrôle des ZSI sont différentes de toutes autres méthodes pour les onduleurs conventionnels. Afin de contrôler les ZSI. Il existe trois méthodes de contrôle couramment utilisées basées sur la technique MLI [17] :

- Méthode de contrôle Simple Boost (Simple Boot Control (SBC)) ;
- Méthode de contrôle Maximum Boost (Maximum Boost Control (MBC)) ;
- Méthode de contrôle Constant maximum Boost (Constant Maximum Boost Control (CMB)).

II.2.1. Méthode de contrôle Simple Boost (Simple Boot Control (SBC))

Le contrôle simple Boost utilise une enveloppe de deux lignes droites qui est égale ou supérieure à la valeur maximale des trois références de phase pour contrôler le rapport cyclique de court-circuit (Shoot-Through en anglais) dans une MLI sinusoïdale conventionnelle.

Lorsque la porteuse est supérieure à l'enveloppe de court-circuit V_p ou inférieure à l'enveloppe de court-circuit V_n , l'onduleur est en état de commutation comme il est indiqué sur la figure (II.01). A l'intérieur de l'enveloppe, les commutateurs de l'onduleur agissent de la même manière que dans le contrôle MLI traditionnelle [18].

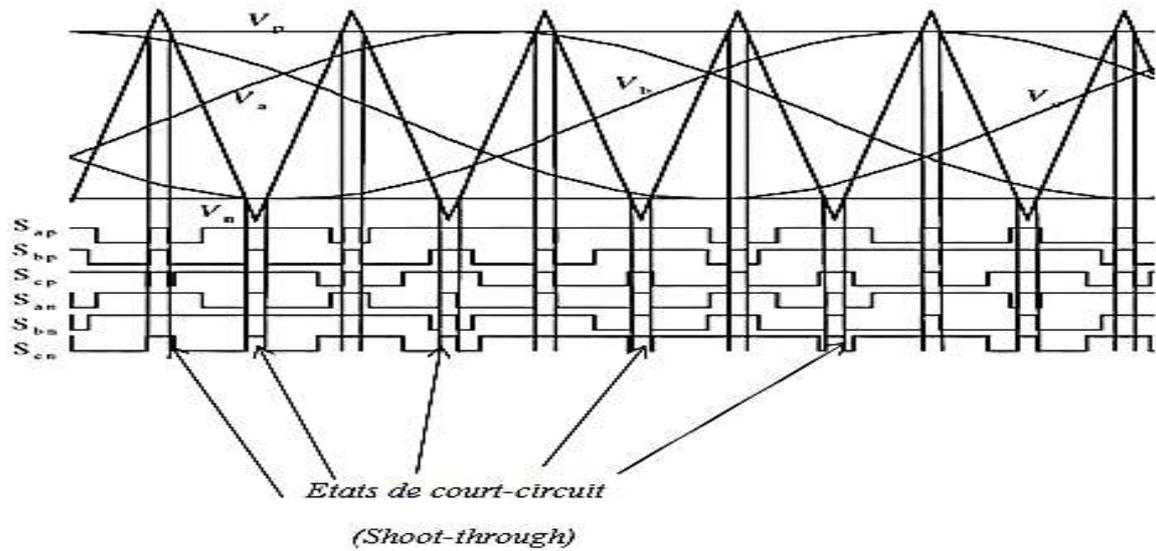


Fig. II .01: Principe de la technique du contrôle simple Boost [11].

Avec ce type de contrôle, la relation entre la profondeur de la modulation (M_z) et le rapport cyclique de court-circuit (D) est exprimée comme suit [11] :

$$D = 1 - M_z \quad (\text{II.01})$$

Le gain de l'onduleur Z-source G est donnée par

$$G = M_z B = \frac{M_z}{1 - 2D} \quad (\text{II.02})$$

On remplace l'expression de (II.01) dans l'équation (II.02), on obtient :

$$G = \frac{M_z}{1 - 2D} = \frac{M_z}{1 - 2(1 - M_z)} = \frac{M_z}{2M_z - 1} \quad (\text{II.03})$$

L'équation (II.02) déduit que le gain de l'onduleur (G) peut être contrôlé en ajustant sur l'indice (M_z).

La valeur crête du fondamental de la tension simple de sortie de l'onduleur est donnée par l'équation ci-dessous :

$$V_M = M_z B \frac{V_{dc}}{2} = G \frac{V_{dc}}{2} \quad (\text{II.04})$$

II.2.1.1. Résultats de simulation

Afin de valider cette technique de commande, une simulation a été faite sous l'environnement MATLAB (Simpower Systems), l'architecture générale du système étudié est représentée dans la figure (II.02).

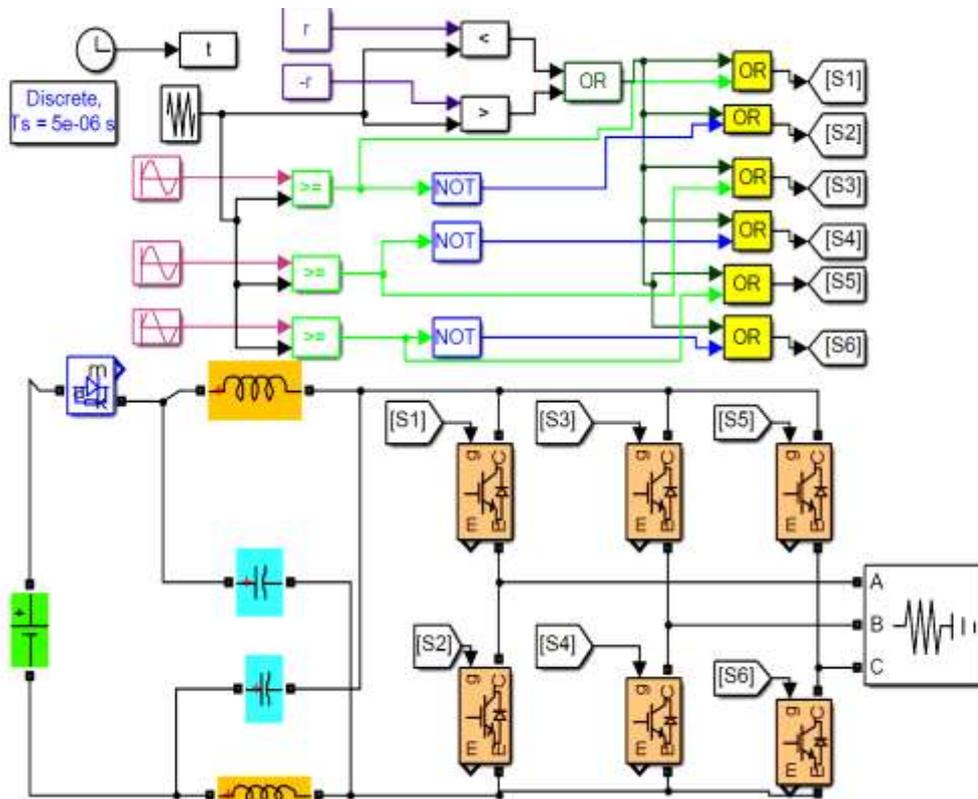


Fig. II .02: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande simple Boost (SBC)

Les paramètres utilisés pour la simulation sont données dans le tableau (II.01).

Tableau .II. 01: les paramètres de simulation

Paramètre	Valeurs
V_{dc}	250V
Inducteur de Z-Source (L1 et L2)	9.6mH
Capacité de Z-Source (C1 et C2)	$5e - 4F$
Fréquence fondamentale	50Hz
Fréquence de commutation	10KHz
Puissance	1KW
La profondeur de la modulation « M_z »	0.8

En utilisant les expressions analytiques précédentes, on trouve les valeurs théoriques suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} M_z = 0.8 \\ D = 0.2 \\ B = 1.66 \\ G = 1.328 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} V_c = 333\text{v} \\ V_i = 417\text{v} \end{array} \right.$$

La figure (II.03) montre la modulation, des signaux d'attaque pour les six commutateurs :

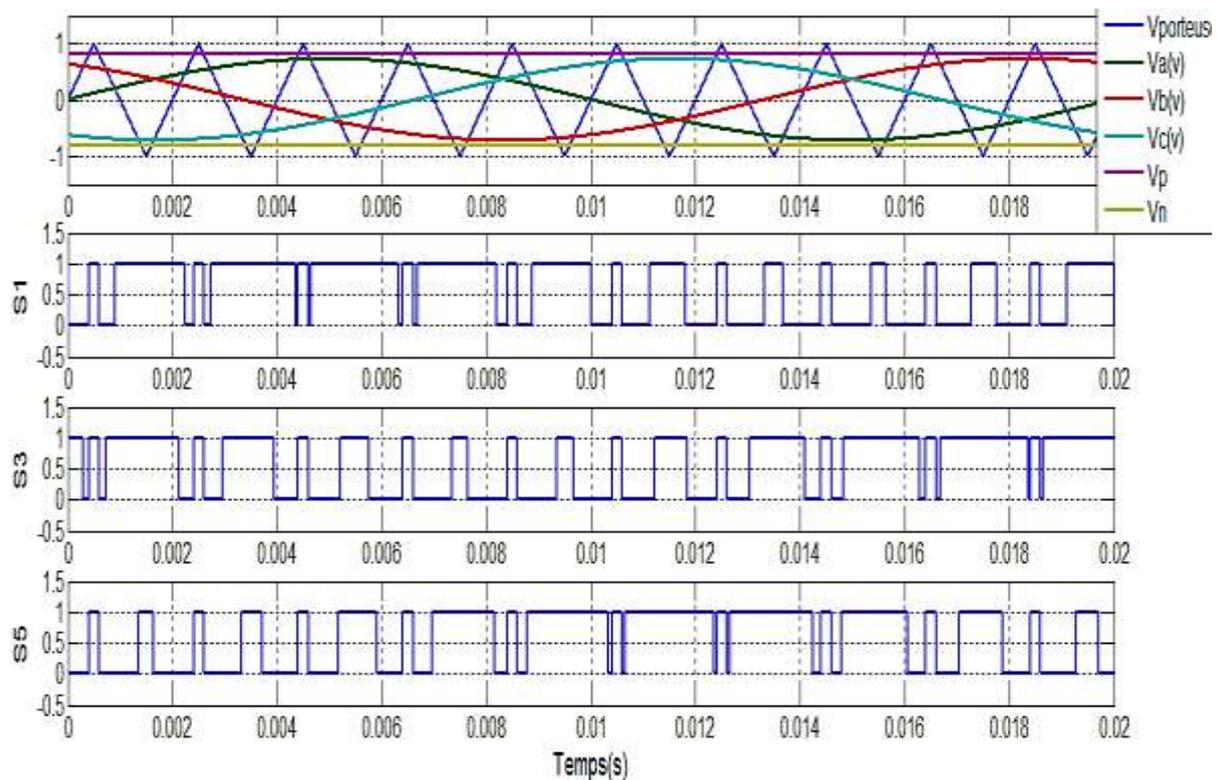


Fig. II .03: Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande simple Boost (SBC).

Les résultats de simulation de la commande simple Boost du système de conversion d'énergie sont représentés sur les figures (II.04) à (II.08).

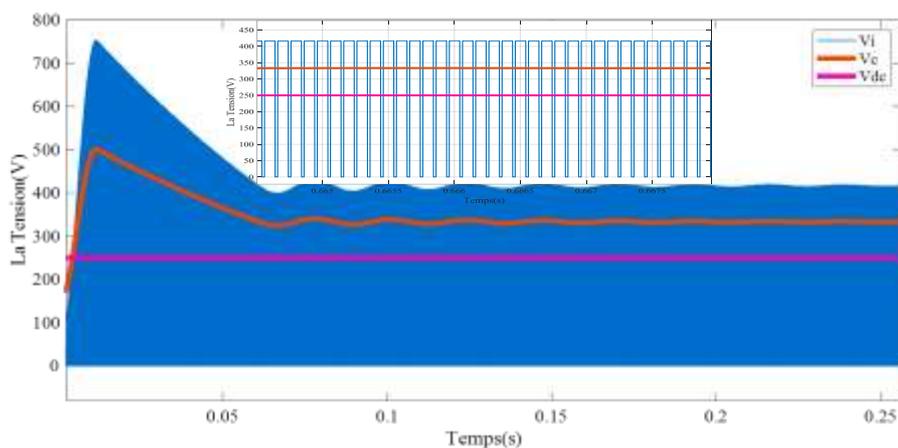


Fig. II .04: La tension de l'entrée de l'onduleur Z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{dc}

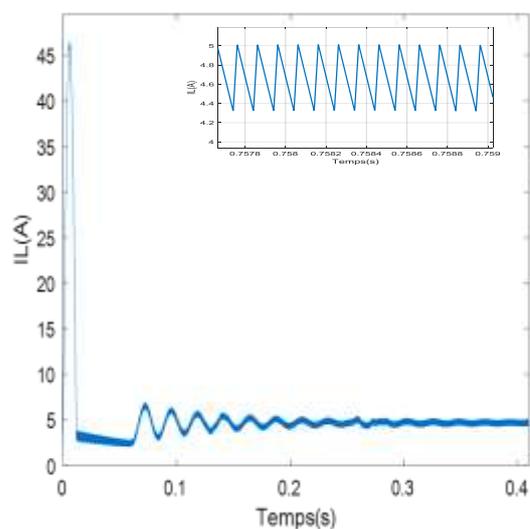


Fig. II .05: Le courant passant dans l'inductance.

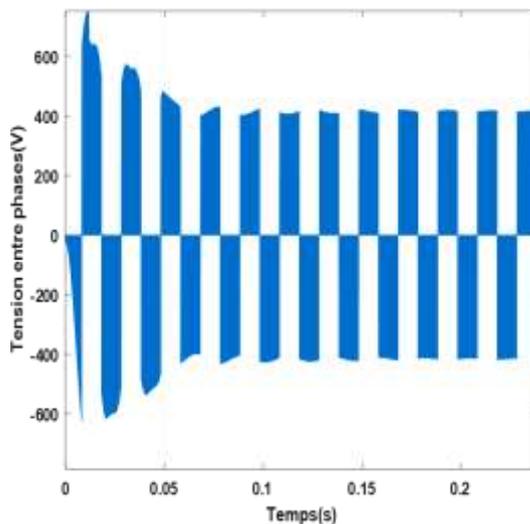
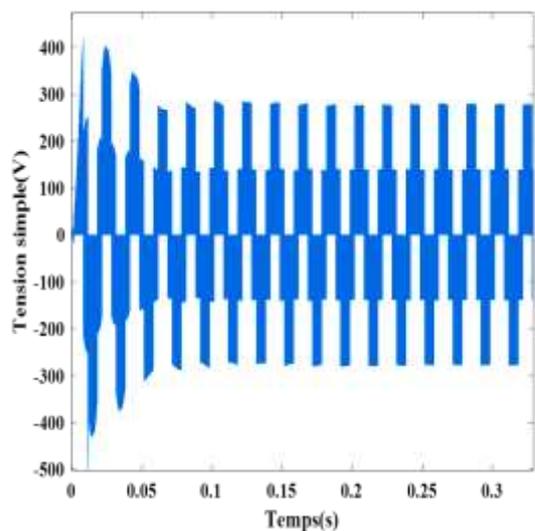
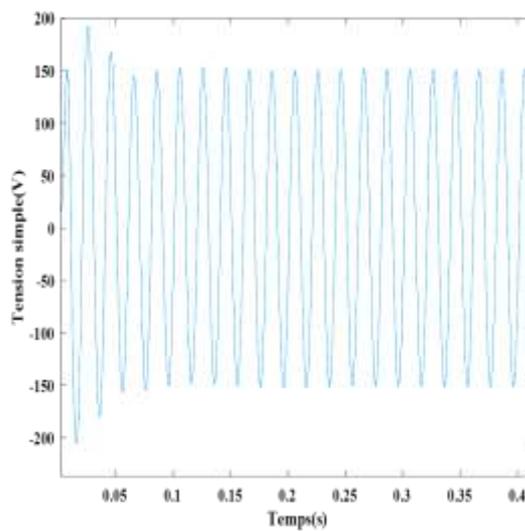


Fig. II .06: La tension composée de la sortie de l'onduleur



(a)



(b)

Fig. II. 07: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

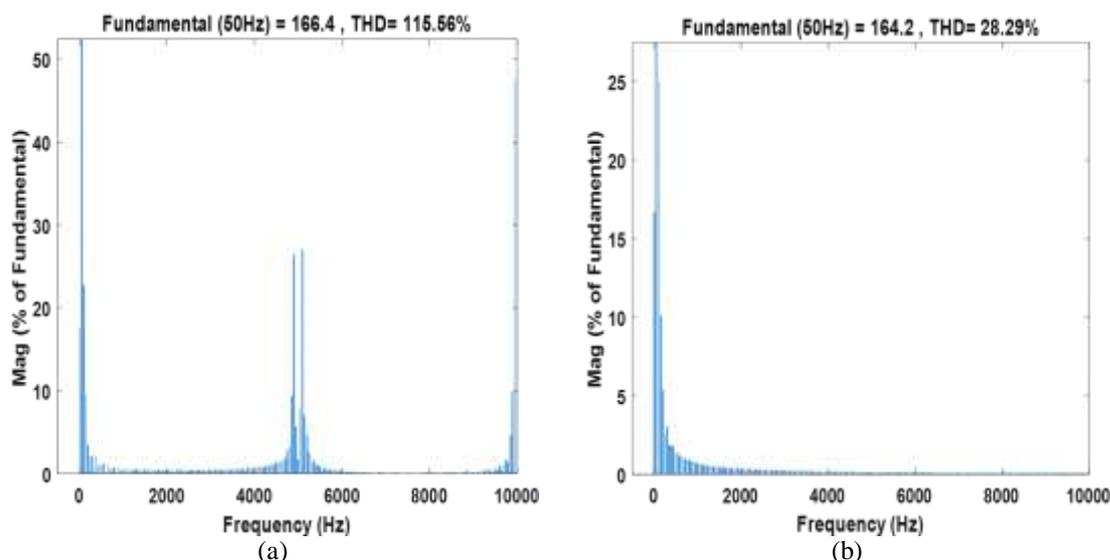


Fig. II .08: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

Les résultats montrent bien une concordance entre les relations théoriques et les résultats de simulation.

On remarque que la tension de l'entrée de l'onduleur V_i à augmenter ce qui permet de booster la tension de sortie de l'onduleur Z-source.

La décomposition en série de Fourier de la tension de la sortie de l'onduleur Z-source avec et sans filtre figure (II.07-a et -b) permet de voir l'apparition de l'harmonique fondamental à la fréquence 50 Hz à l'amplitude qui correspond à la relation $V_M = M_Z B \frac{V_{dc}}{2}$.

Des harmoniques apparaissent dans le spectre de la tension avant le filtre figure (II.08-a), peuvent être réduits grâce au filtre introduit figure (II.08-b), composé d'inductances en série associées à des capacités entre phases dans le but d'assurer une fonction "passe-bas" pour atténuer les hautes fréquences.

II.2.2. Méthode de contrôle Maximum Boost (Maximum Boost Control (MBC))

Elle est similaire à la méthode de contrôle MLI traditionnelle ou conventionnelle basée sur une porteuse. Dans cette méthode de contrôle les six états actifs restent tels quels et tous les états zéro sont commutés dans des états en états de court-circuit. Ainsi, T_0 et B sont atteints pour tout indice de modulation M_Z donné sans déformer les formes d'onde de sortie. Comme on peut le voir sur la figure (II.09), le circuit est en état de passage lorsque l'onde porteuse triangulaire est soit supérieure à la courbe maximale des références ($V_a.V_b.V_c$) soit

inférieure au minimum des références. Dans cette méthode le rapport cyclique de court-circuit se répète périodiquement toute les $\frac{\pi}{3}$ [19] [11].

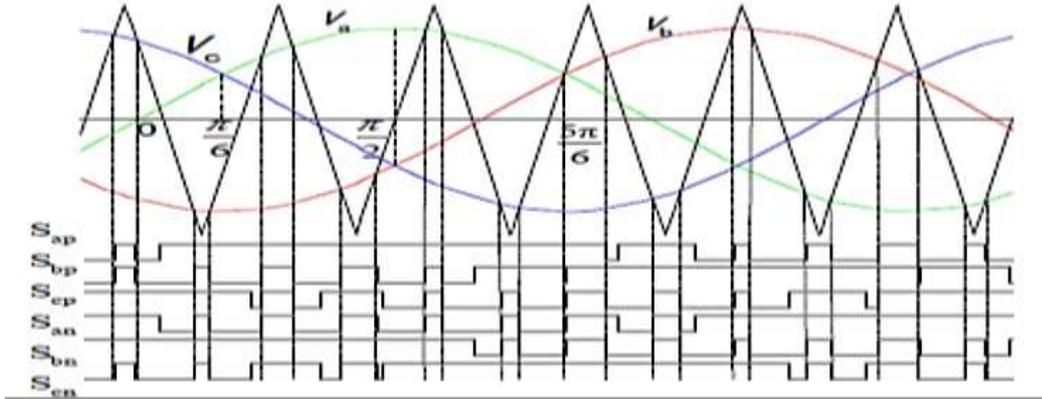


Fig. II .09: Principe de la technique du contrôle Maximum Boost [11].

On suppose que la fréquence de commutation est bien supérieure à la fréquence de modulation ; le rapport cyclique de sortie sur un cycle de commutation dans l'intervalle

$$D = \frac{T_0}{T} = \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{(2 - M_z \sin \theta - M_z (\sin \theta - \frac{2\pi}{3}))}{2} d\theta = \frac{2\pi - 3\sqrt{3}M_z}{2\pi} \quad (\text{II.06})$$

$\left[\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2} \right]$ peut être illustré comme suit [19][10]:

Le facteur d'amplification est donné par :

$$B = \frac{1}{1 - \frac{2T_0}{T}} = \frac{\pi}{3\sqrt{3}M_z - \pi} \quad (\text{II.07})$$

Le gain de la tension est peut être calculé comme suit :

$$G = BM_z = \frac{\pi}{3\sqrt{3}M_z - \pi} M_z = \frac{\pi M_z}{3\sqrt{3}M_z - \pi} \quad (\text{II.08})$$

La valeur crête du fondamental de la tension simple de sortie de l'onduleur est donnée par l'équation ci-dessous :

$$V_M = M_z B \frac{V_{dc}}{2} = G \frac{V_{dc}}{2} \quad (\text{II.09})$$

II.2.2.1. Résultats de simulation

L'architecture générale du système étudié est représentée dans la figure (II.10)

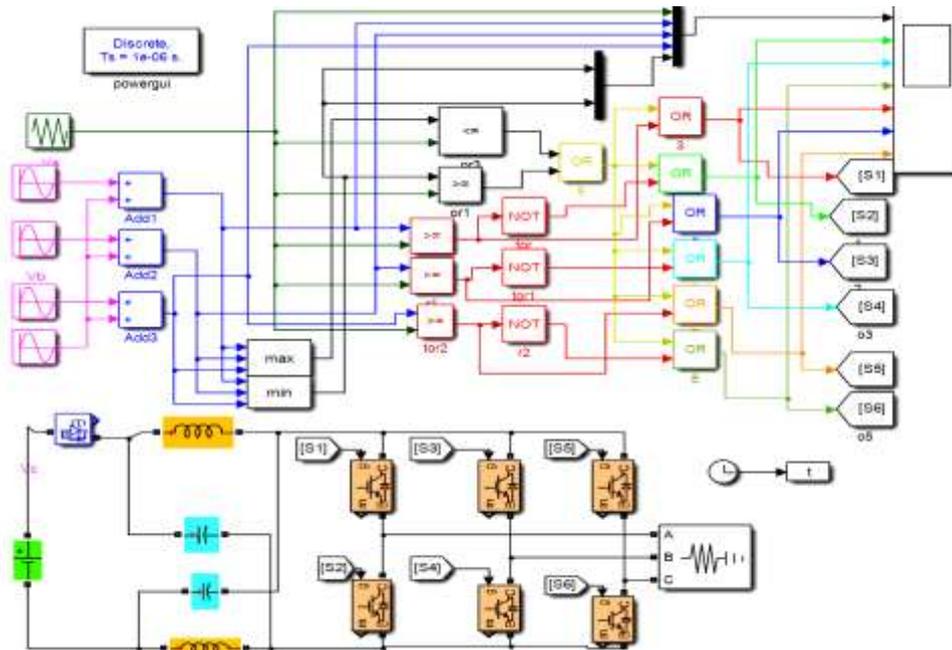


Fig. II.10: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande maximum Boost (MBC)

Pour les mêmes valeurs des paramètres utilisés auparavant et en utilisant les expressions analytiques caractérisant cette commande déterminées précédemment, on trouve les valeurs théoriques suivantes :

$$\begin{cases} M_z = 0.8 \\ D = 0.33 \\ B = 3.08 \\ G = 2.464 \end{cases} \quad \begin{cases} V_c = 515v \\ V_i = 757.5v \end{cases}$$

La figure (II.11) montre la modulation des signaux d'attaque pour les six commutateurs :

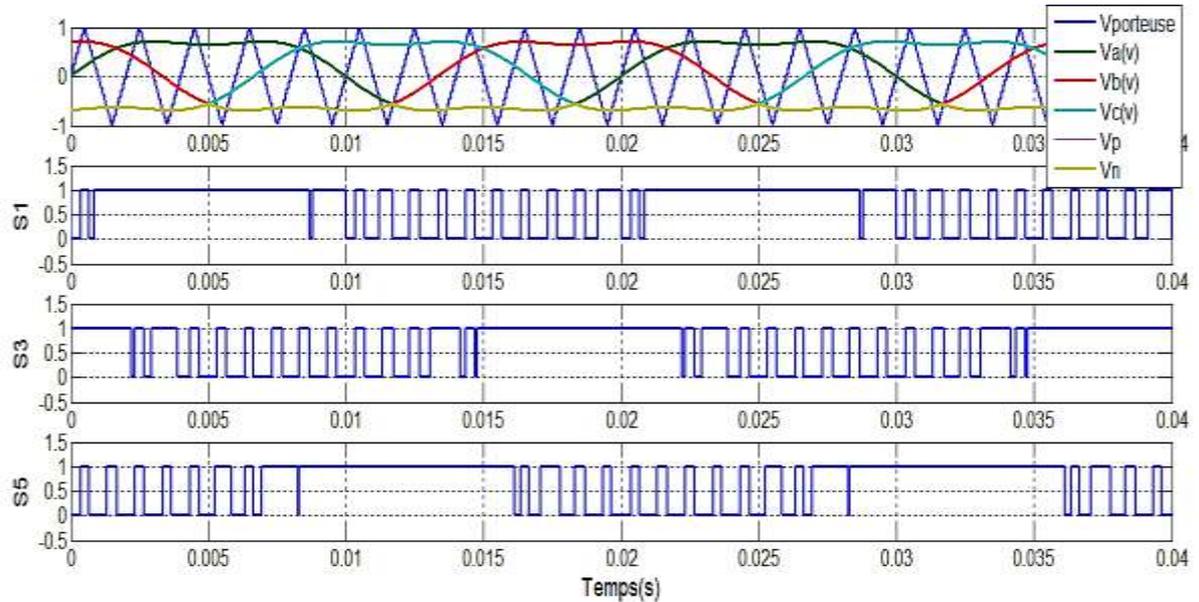


Fig. II. 11: Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande Maximum Boost (MBC)

Les résultats de simulation de la commande Maximum Boost du système de conversion d'énergie sont représentés sur les figures (II.12) à (II.16).

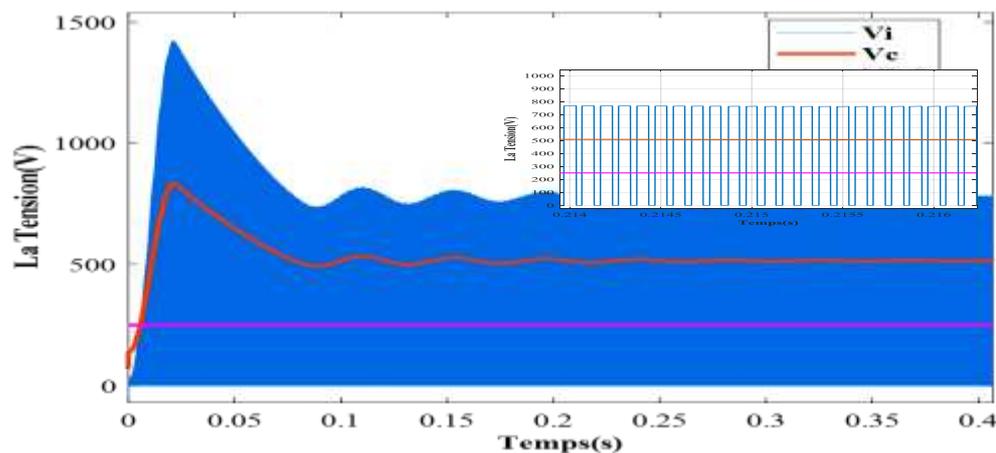


Fig. II. 12: La tension de l'entrée de l'onduleur z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{dc}

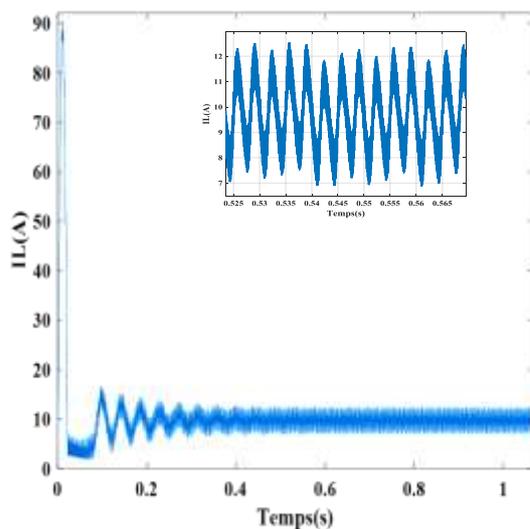


Fig. II.13: Le courant passant dans l'inductance.

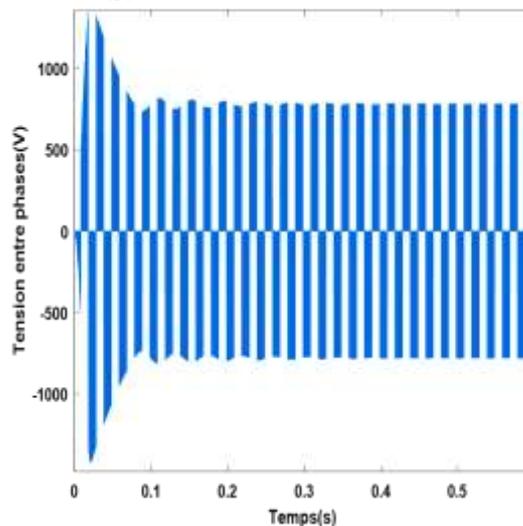


Fig. II. 14: La tension composée de la sortie de l'onduleur

Les résultats montrent bien une concordance entre les relations théoriques et les résultats de simulation.

On remarque que la tension de la sortie de l'onduleur Z-source (V_i) ainsi que la tension aux borne de du condensateur (V_c) ont subi une augmentation, le courant traversant l'inductance (i_L) lui aussi a augmenté.

Les tensions de la sortie de l'onduleur Z-source sans et avec filtre ainsi que leurs courants sont indiqués respectivement sur les figures (II.15) et(II.16).

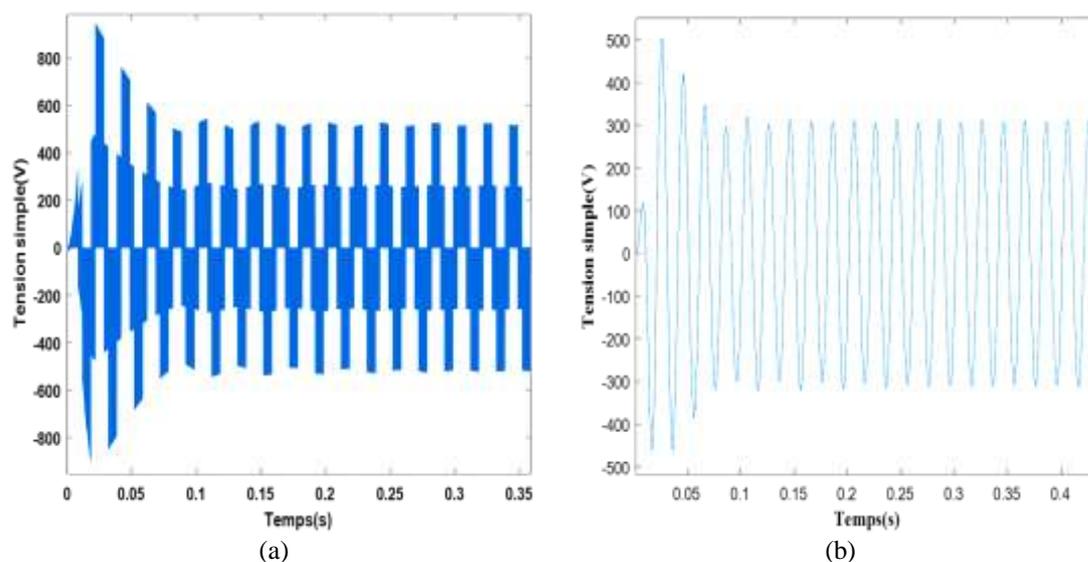


Fig. II. 15: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

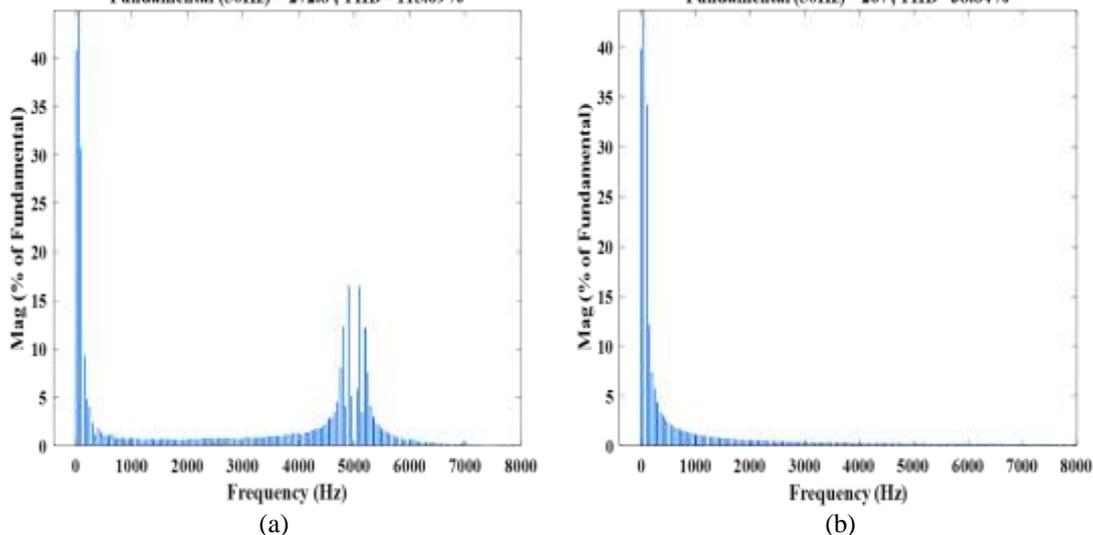


Fig. II.16: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

D'après la figure (II.15) on remarque que la tension simple a augmenté, l'amplitude de l'harmonique fondamental à la fréquence 50 Hz correspond à la relation $V_M = M_Z B \frac{V_{dc}}{2}$ figure (II.16).

D'où on peut dire que la commande Maximum Boost est pratique pour les applications qui ont une fréquence de sortie élevée.

II.2.3. La Méthode de contrôle Constant Maximum Boost (Constant Maximum Boost Control (CMB))

Cette technique de contrôle surmonte les problèmes de contrôle de Maximum Boost Control (MBC). Dans cette méthode, les ondulations de courant à basse fréquence sont supprimées en utilisant un rapport cyclique constant. Cette méthode se compose de cinq courbes de modulation « trois signaux de référence V_a, V_b, V_c , et deux enveloppes de passage signaux V_p et V_n . Pour, V_p une valeur de polarisation positive lui est fournie tandis que pour V_n une valeur de polarisation négative lui est fournie. Lorsque l'onde porteuse triangulaire est supérieure à l'enveloppe de passage la plus haute ' V_p ' ou inférieure à l'enveloppe de passage la plus négative ' V_n ', l'onduleur est commuté sur un état de passage à zéro, comme illustré à la figure(II.17). L'essentiel est d'obtenir B maximum en le gardant constant à l'état de court-circuit, D est constant d'où vient le nom de cette méthode. Les ondes d'enveloppe supérieure V_p et inférieure V_n sont périodiques et sont trois fois plus grand que celle de commutation [19][10][20].

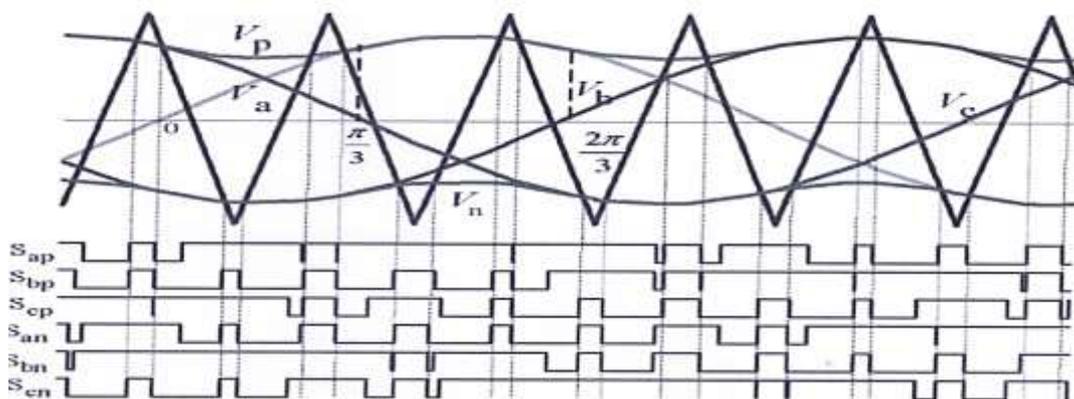


Fig. II.17: Principe de la commande Constant Maximum Boost (CMB) [11].

Les courbes d'enveloppes sont exprimées respectivement comme suit [20]

$$V_{p1} = M_z \sqrt{3} + \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) M_z \quad \text{pour } 0 < \theta < \frac{\pi}{3} \quad (\text{II.11})$$

$$V_{n1} = \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) M_z \quad \text{pour } 0 < \theta < \frac{\pi}{3} \quad (\text{II.12})$$

$$V_{p2} = \sin(\theta) M_z \quad \text{pour } \frac{\pi}{3} < \theta < \frac{2\pi}{3} \quad (\text{II.13})$$

$$V_{n2} = \sin(\theta) M_z - M_z \sqrt{3} \quad \text{pour } \frac{\pi}{3} < \theta < \frac{2\pi}{3} \quad (\text{II.14})$$

La distance entre ces deux courbes déterminant le rapport cyclique de court-circuit est toujours conservée constante pour un indice de modulation M_z donné, soit $M_z \sqrt{3}$, on a :

$$\frac{T_0}{T} = \frac{2 - M_z \sqrt{3}}{2} = \frac{1 - M_z \sqrt{3}}{2} \quad (\text{II.15})$$

Le facteur de survoltage sera :

$$B = \frac{1}{1 - 2 \frac{T_0}{T}} = \frac{1}{M_z \sqrt{3} - 1} \quad (\text{II.16})$$

Par conséquent le gain s'écrit :

$$G = M_z B = \frac{M_z}{M_z \sqrt{3} - 1} \quad (\text{II.17})$$

Cette méthode de contrôle génère l'augmentation constante maximale tout en maintenant le rapport de court-circuit constant.

II.2.3.1. Résultats de simulation

L'architecture générale du système étudié est représentée dans la figure (II.18)

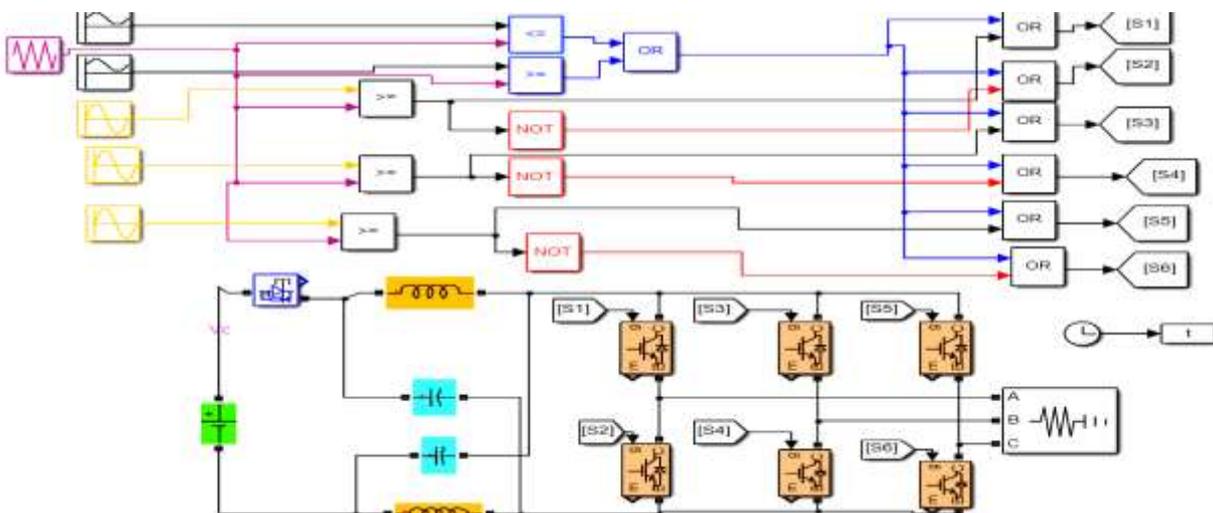


Fig. II.18: Architecture de l'onduleur Z-source avec la commande Constant Maximum Boost(CMB)

Pour les mêmes valeurs des paramètres utilisés auparavant et en utilisant les expressions analytiques caractérisant cette commande déterminées précédemment, on trouve les valeurs théoriques suivantes :

$$\begin{cases} M_z = 0.8 \\ D = 0.30 \\ B = 2.59 \\ G = 2.072 \end{cases} \quad \begin{cases} V_i = 648.28v \\ V_c = 437.05v \end{cases}$$

La figure (II.19) montre la modulation, des signaux d'attaque pour les six commutateurs

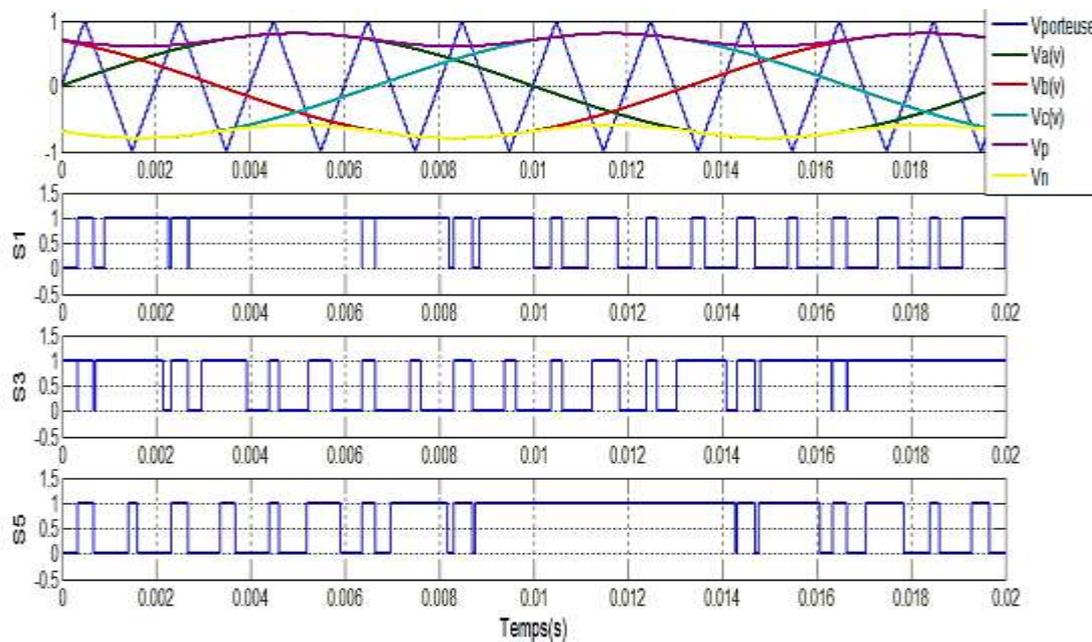


Fig. II. 19: Les séquences des commutations des interrupteurs avec la commande constante Boost

Les résultats de simulation de la commande constante Maximum Boost du système de conversion d'énergie sont représentés sur les figures (II.20) à (II.25).

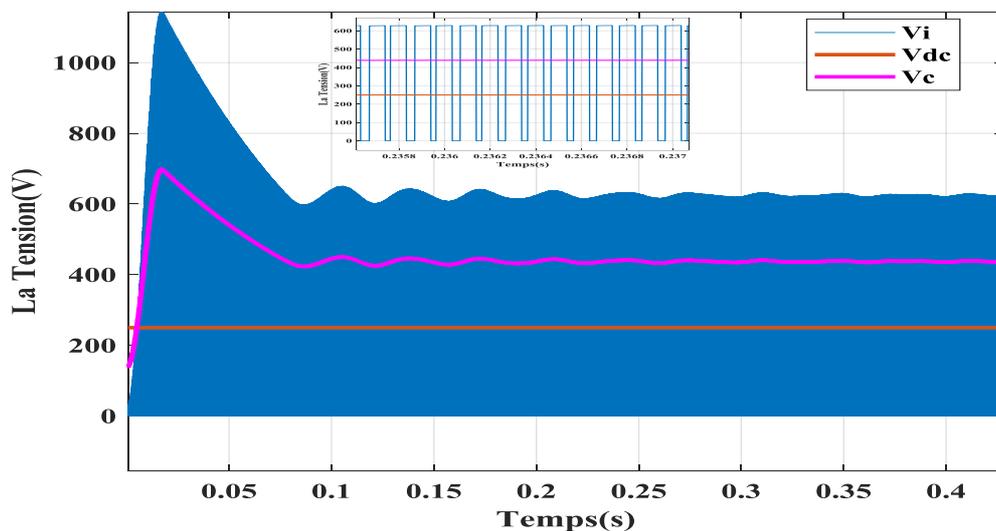


Fig. II.20: La tension de l'entrée de l'onduleur z-source V_i , La tension aux bornes du condensateur V_c et la tension continue V_{DC}

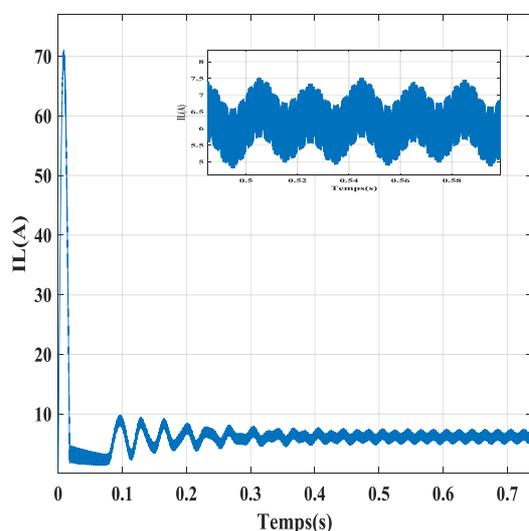


Fig. II. 21: Le courant passant dans l'inductance.

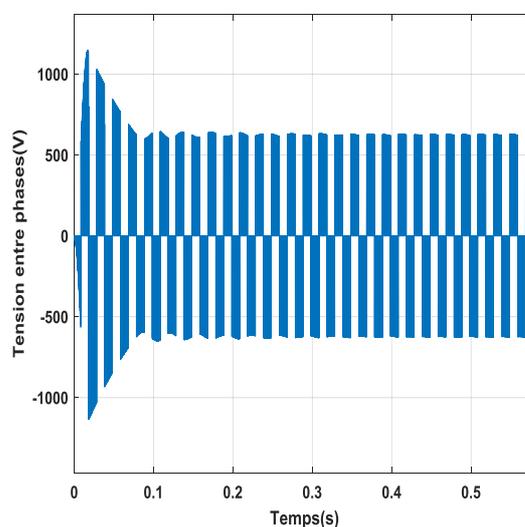


Fig. II. 22: La tension composée de la sortie de l'onduleur

Les résultats montrent bien une concordance entre les relations théoriques et les résultats de simulation.

On remarque que la tension de la sortie de l'onduleur Z-source (V_i) ainsi que la tension aux borne de du condensateur (V_c) ont augmenté, l'ondulation du courant traversant l'inductance (i_L) lui a diminué.

Donc cette commande reste identique à la commande Maximum Boost.

Les tensions de la sortie de l'onduleur Z-source sans et avec filtre ainsi que leurs courants sont indiqués respectivement sur les figures (II.24) et(II.25).

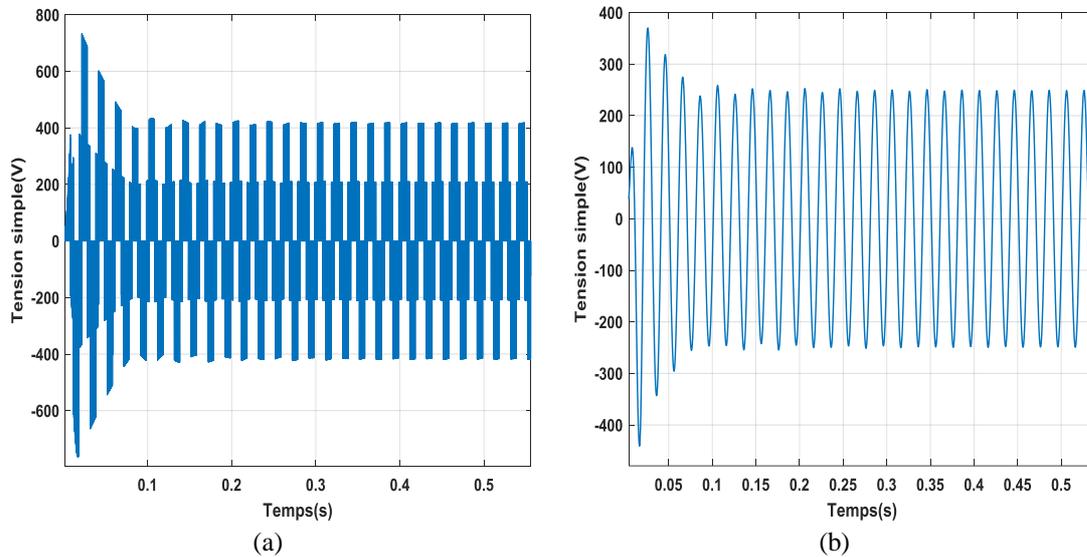


Fig. II.23: La tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

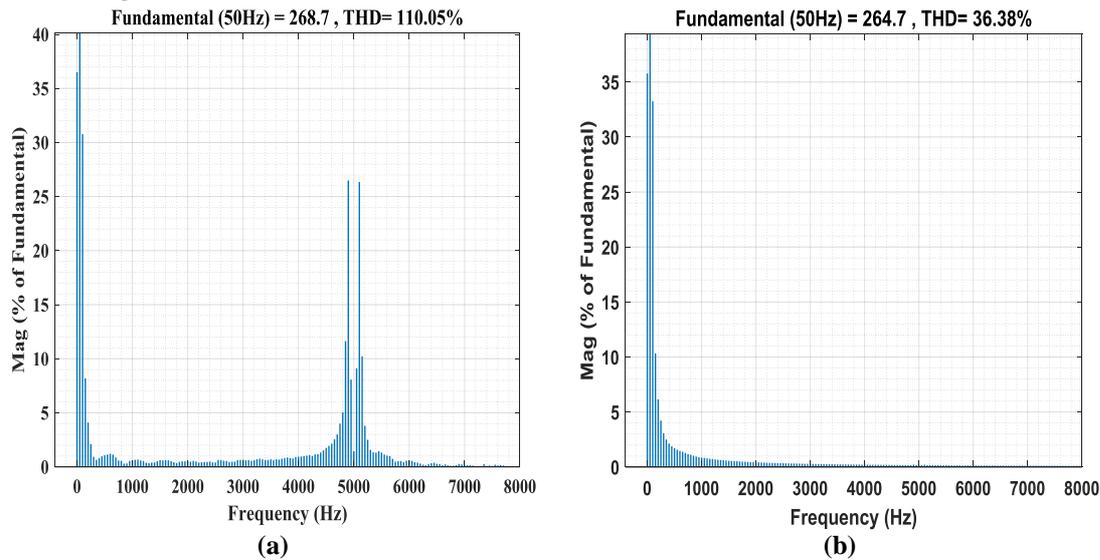


Fig. II.24: Spectre de la tension de sortie de l'onduleur Z-source : (a) sans filtre et (b) avec filtre

La décomposition en série de Fourier de la tension de la sortie de l'onduleur Z-source avec et sans filtre permet de voir l'apparition de l'harmonique fondamental à la fréquence 50

Hz à l'amplitude qui correspond à la relation $V_M = M_z B \frac{V_{dc}}{2}$

II.3. Comparaison entre la structure d'un onduleur classique et l'onduleur Z-source

Pour voir l'efficacité de l'onduleur Z-source avec ses différentes commandes par rapport à un onduleur classique, on a simulé les 02 structures avec les mêmes paramètres de

simulation utilisés auparavant. Les résultats sont présentés pour les 02 structures dans le tableau (II.02):

Tableau .II .02: Résultats comparatives de l'onduleur MLI classique avec l'onduleur Z-source

Méthodes de commande	Onduleur classique(MLI)		Onduleur Z-source					
			SMB		MBC		CMB	
	Sans filtre	Avec filtre	Sans filtre	Avec filtre	Sans filtre	Avec filtre	Sans filtre	Avec filtre
Tension de sortie V_M (V)	99.82	98.95	166.4	164.2	272.8	267	268.7	264.7
THD %	91.77	6.73	115.56	28.29	115.69	38.84	110.05	36.38

Toutes les techniques sont vérifiées pour une tension $V_{dc} = 250V$, $M_z = 0,8$.

A partir du Tableaux (II.02), on peut remarquer que :

- Pour la structure d'un onduleur MLI classique, on remarque que l'amplitude du fondamental de la tension $V_M = M_z \frac{V_{dc}}{2}$ est l'amplitude la plus petite par rapport aux amplitudes de l'onduleur Z-source avec ses différentes commandes.
- La technique de contrôle Maximum Boost (MBC) a une tension de sortie la plus élevée que toutes autres techniques.
- Avec la commande Constant Maximum Boost(CMB) le THD de la tension de sortie est inférieur et son amplitude est également moyenne comparativement aux autres techniques.
- La méthode de contrôle Simple Boost (SBC) ne peut donc pas être utilisée pour une tension de sortie élevée.

II.4.Conclusion

Ce présent chapitre résume une généralité sur l'association d'un onduleur avec un convertisseur Z-Source dans une unique structure qui a été montré l'élévation de la tension de sortie. Il a été aussi dédié à la présentation des différentes méthodes de survoltage utilisées pour la commande de l'onduleur Z-source qui sont dérivées de la commande à modulation de largeur d'impulsion MLI triangle-sinusoïdale en insérant l'état de court-circuit.

CHAPITRE III
FONCTIONNEMENT DE
L'ONDULEUR Z-
SOURCE EN MODE
DEGRADE

III.1.Introduction

Actuellement un grand axe de recherches est orienté vers la surveillance de l'état du convertisseur statique. En effet, un convertisseur tel que l'onduleur quel que soit sa structure et sa commande est susceptible de présenter des défauts structurels 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[21].

Dans ce chapitre, nous étudierons la dégradation du fonctionnement de l'onduleur Z-source contrôlé par la technique Simple Boost (MLI simple Boot Control (SBC)) et l'application de l'approche dédiée à la détection et au diagnostic des défauts affectant l'onduleur ZSI, cette approche est basée sur l'analyse du contour de Park des courants de sortie.

Les trois principaux défauts du convertisseur sont les suivants [22][23]:

III.2.Transistor en court-circuit

Ce type de défaut est très important parce qu'il peut causer d'autres défauts dans le circuit du convertisseur, de plus ce défaut est irréversible. L'origine de ce type de défaut est due à [24]:

- Un vieillissement du composant ;
- Un dépassement des limites de la valeur nominale de tension ou de courant pendant une longue période ;
- Une résistance de charge trop petite ;
- Un court-circuit d'un autre transistor.

III.3. Blocage de transistor (circuit-ouvert)

Un transistor bloqué est un transistor qui n'est pas polarisé (absence du signal de commande) ou qui ne s'allume pas bien qu'il soit polarisé. Dans ce cas le transistor n'a aucun rôle. Ce défaut est le plus fréquent dans les convertisseurs statiques [24].

III.4. Diode bloquée (diode maintenue ouverte)

Le défaut de diode bloquée est un défaut peu fréquent qui se produit lorsqu'une diode est polarisée mais qui ne permet pas au courant de passer. L'occurrence de tous les défauts mentionnés précédemment entraîne une modification du fonctionnement du convertisseur et induit ainsi un changement des grandeurs électriques du convertisseur.

Dans notre étude on s'intéresse au défaut de type de blocage du transistor (circuit ouvert) [24].

III.5. Les méthodes d'analyse des défauts

Il y a plusieurs méthodes existantes pour le diagnostic des défauts et la protection des interrupteurs statiques avec l'accent spécial de ceux utilisés dans les convertisseurs statiques. Vingt et une (21) méthodes pour des défauts de circuit ouvert et dix méthodes (10) pour le court-circuit, basées sur leurs performances, et des efforts de mise en œuvre, dans notre étude on a choisi parmi ces méthodes : La méthode Vectorielle de Park [24] [25].

La méthode vectorielle de Park sera traiter pondent ce que suit :

III.5.1 La méthode Vectorielle de Park

Dans cette méthode, la détection de défaut de circuit ouvert et la localisation d'interrupteur de défaut sont accomplis en calculant la position du milieu de la trajectoire actuelle [9].

Cette méthode repose sur le principe de la transformation de Park, qui permet d'exprimer les courants triphasés de sortie (i_a, i_b, i_c) de l'onduleur Z-source dans un repère stationnaire biphasé (α, β) figure (III.01).

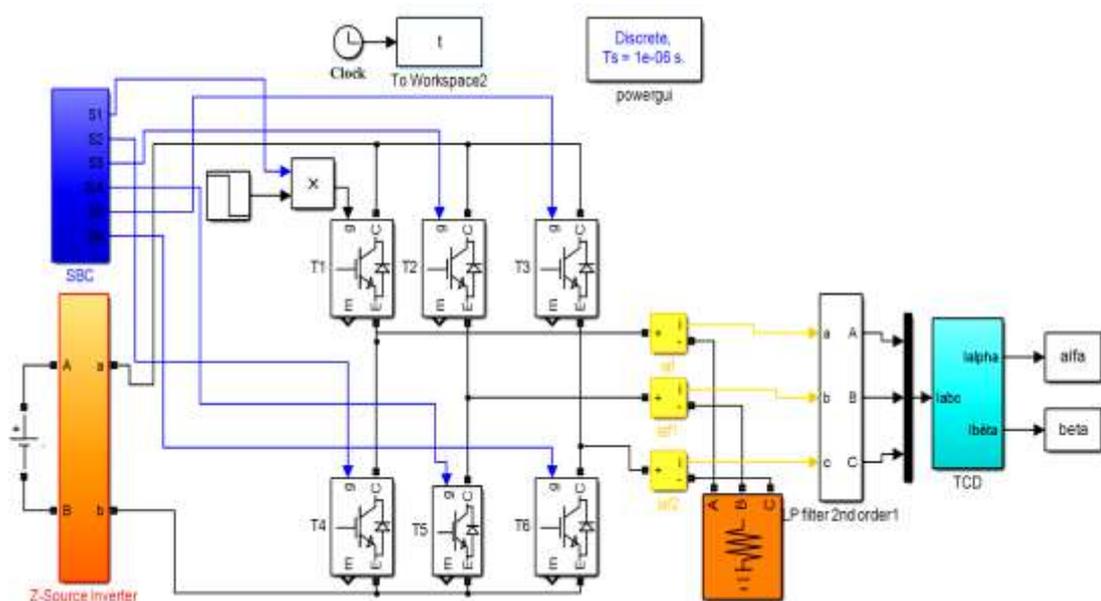


Fig. III .01: Modèle de simulation de l'onduleur Z-source en présence de défaut (circuit ouvert)

Supposons que le système est équilibré ;

$$i_a + i_b + i_c = 0 \tag{III.01}$$

Appliquons ensuite la transformation de Concordia :

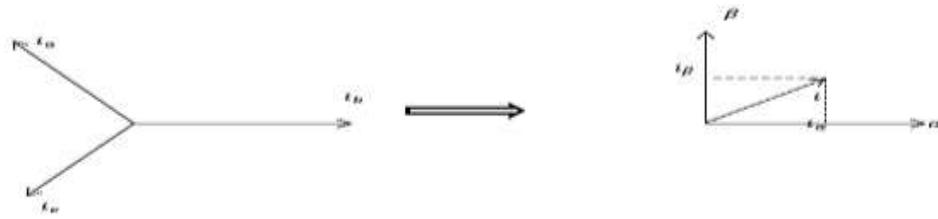


Fig. III .02: Transformation de Concordia.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{III.02}$$

Dans le domaine complexe, on a :

$$\bar{I} = \sqrt{\frac{2}{3}} [i_a + \alpha i_b + \alpha^2 i_c] \tag{III.05}$$

L'opérateur de rotation s'exprime comme suit :

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\alpha^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) + j\sin\left(\frac{4\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \tag{III.07}$$

D'où on peut écrire :

$$\bar{I} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[i_a + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) i_b + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) i_c \right] \tag{III.09}$$

La trajectoire du vecteur de courant en régime sain est donnée par la figure ci-dessous :

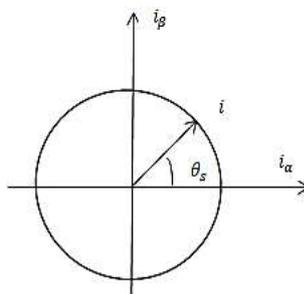


Fig. III .03 : Position du vecteur courant.

Remplaçons a et a^2 par ces expressions et prenons en compte l'expression :

$$i_a + i_b + i_c = 0 \tag{III.11}$$

On trouve :

$$i_\alpha = \sqrt{\frac{3}{2}}i_a \quad \text{et} \quad i_\beta = \frac{1}{\sqrt{2}}i_a + \sqrt{2}i_b \quad (\text{III.12})$$

Donc (III.02) devient :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3}{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad (\text{III.13})$$

A partir de cette matrice, on peut calculer la pente de la trajectoire du vecteur courant « A » :

$$A = \tan \beta = \frac{\Delta i_\alpha}{\Delta i_\beta} \quad (\text{III.14})$$

L'angle de phase est donné par :

$$\theta + \beta + 90^\circ = 180^\circ$$

$$\theta + \beta = 90^\circ$$

$$\theta = \beta - 90^\circ$$

- **Détection et localisation de défaut d'ouverture des transistors du 1^{ier} bras**

Le défaut d'ouverture des interrupteurs T_1 ou T_4 , se traduit par l'annulation du courant de la phase a, $i_a = 0$ pendant une demi-période $T/2$

En remplaçant dans le système (III.13) on obtient :

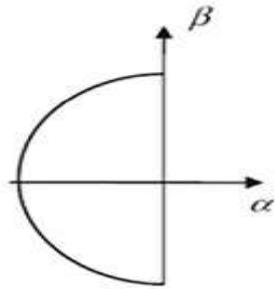
$$i_a = 0 \Rightarrow \begin{cases} i_\alpha = 0 \\ i_\beta = i_b \sqrt{2} \end{cases} \Rightarrow A = \tan \beta = \frac{\Delta i_\alpha}{\Delta i_\beta} = 0 \quad (\text{III.15})$$

$A = 0$ Pente caractéristique du défaut d'ouverture T_1 ou T_4 .

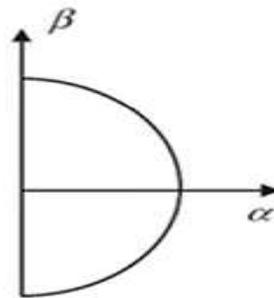
$A = 0 \Rightarrow \beta = 0$ ou $\beta = \pi$ donc :

$$\theta = 90^\circ - 0^\circ = 90^\circ \text{ ou } \theta = 90^\circ - 180^\circ = -90^\circ = 270^\circ$$

La position du vecteur de Park est donnée par les figures ci-dessous :



T_1 Ouvert



T_4 Ouvert

- **Détection et localisation de défaut d'ouverture des transistors du 2^{ime} bras**

Le défaut d'ouverture des interrupteurs T_2 ou T_5 , se traduit par l'annulation du courant de la phase b, $i_b = 0$ pendant une demi-période $T/2$

En remplaçant dans le système (III.13) on obtient :

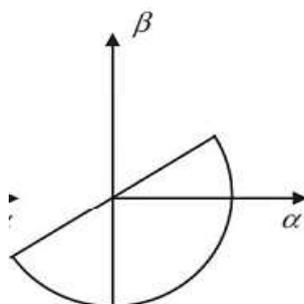
$$i_b = 0 \Rightarrow \begin{cases} i_\alpha = \sqrt{\frac{3}{2}} i_a \\ i_\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} i_a + \sqrt{2} i_b \end{cases} \Rightarrow A = \tan \beta = \frac{i_\alpha}{i_\beta} = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}} i_a}{\frac{1}{\sqrt{2}} i_a} = \sqrt{3} \quad \text{(III.16)}$$

$A = \sqrt{3}$; Pente caractéristique du défaut d'ouverture T_2 ou T_5 .

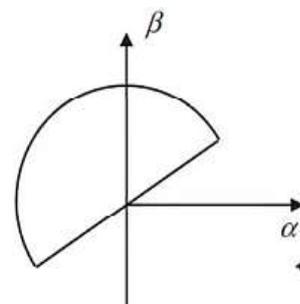
$$A = \sqrt{3} \Rightarrow \beta = 60^\circ \text{ ou } \beta = 240^\circ$$

$$\theta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ \text{ ou } \theta = 90^\circ - 240^\circ = -150^\circ = 240^\circ$$

La position du vecteur de Park est donnée par les figures ci-dessous :



T_2 Ouvert



T_5 Ouvert

• Détection et localisation de défaut d'ouverture des transistors du 3^{ime} bras

Le défaut d'ouverture des interrupteurs T_3 ou T_6 , se traduit par l'annulation du courant de la phase c, $i_c = 0$ pendant une demi-période $T/2$

D'où :

$$i_a + i_b + i_c = 0 \Rightarrow i_b = -i_a \tag{III.17}$$

En remplaçant dans le système (III.13) on obtient :

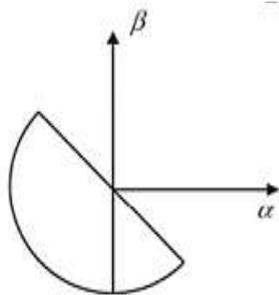
$$i_b = 0 \Rightarrow \begin{cases} i_\alpha \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \sqrt{2} \right) i_\alpha \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \sqrt{2} \right) = \sqrt{\frac{3}{2}} i_a \\ i_\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} i_a + \sqrt{2} i_b = \frac{1}{\sqrt{2}} i_a + \sqrt{2} (-i_a) \\ = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \sqrt{2} \right) i_a = \frac{1}{\sqrt{2}} i_a \end{cases} \tag{III.18}$$

$$\Rightarrow A = \tan \beta = \frac{i_\alpha}{i_\beta} = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}} i_a}{\frac{1}{\sqrt{2}} i_a} = -\sqrt{3}$$

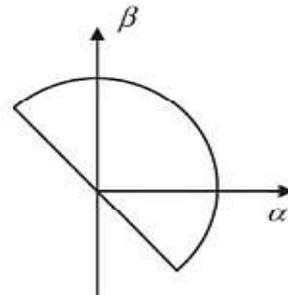
$A = -\sqrt{3}$; Pente caractéristique du défaut d'ouverture T_3 ou T_6 .

$$A = -\sqrt{3} \Rightarrow \beta = -60^\circ \text{ ou } \beta = 120^\circ$$

$$\theta = 90^\circ + 60^\circ = 150^\circ \text{ ou } \theta = 90^\circ - 120^\circ = -30^\circ = 330^\circ$$



T_3 Ouvert



T_6 Ouvert

III.5.1.1. Simulation de l'onduleur Z-Source avec la commande simple boost en présence de défaut (circuit ouvert)

Notre objectif dans cet axe est de savoir comment les dysfonctionnements en circuit ouvert sont causés dans le convertisseur et comment déterminer son emplacement.

Pour cela, on essaye de créer des défauts de type circuit ouvert dans les différents interrupteurs de l'onduleur Z-source à un temps choisit arbitrairement de $t=0.2s$.

III.5.1.2. Résultat de simulation

Les simulations présentées par la suite sont réalisées sur un onduleur Z-source triphasé de tension commandé selon le principe de simple Boost.

Les Paramètres utilisés pour la simulation sont données dans le tableau (III.01).

Tableau .III .01: les paramètres de simulation

Paramètre	Valeurs
Vdc	250V
inducteur de Z-Source (L1 et L2)	9.6mH
capacité de Z-Source (C1 et C2)	5.5mF
Fréquence fondamentale	50Hz
Fréquence de commutation	10KHz
Puissance	1kw
Rapport cyclique (D)	0.2

Les résultats de simulation de l'onduleur Z-source avec un fonctionnement sain et avec défaut sont représentés sur les figures ci-dessous figure (III- 04et III-05) :

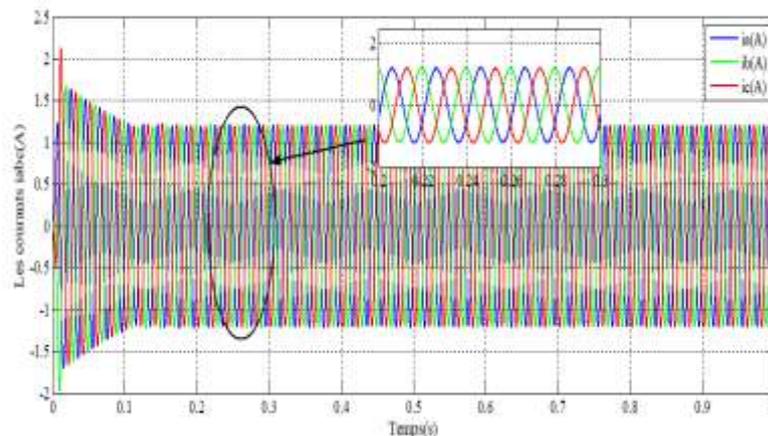


Fig.III.04: les courants i_{abc} pour le fonctionnement sain

A partir des figures (III.05), on remarque :

Le fonctionnement avec défaut du circuit ouvert à $t=0.2s$ dans le premier bras, (précisément dans l'interrupteur T_1 , figures (III.05-a), se traduit par l'absence de l'alternance positive du courant de la phase « a », tandis qu'il est visible sur l'alternance négative. L'absence de cette alternance revient à la connexion de la phase « a » au potentiel négatif de tension d'entrée par l'intermédiaire de la diode de l'interrupteur T_4 complémentaire de T_1 . Par

ailleurs, les courants i_b et i_c sont affectés aussi par ce défaut. En revanche, avec l'ouverture de T_4 , l'alternance négative du courant i_a est invisible c'est ce qu'on voit à partir de la Figure (III.05-b). De même, pour les cas de défauts d'ouverture des interrupteurs des deux autres bras.

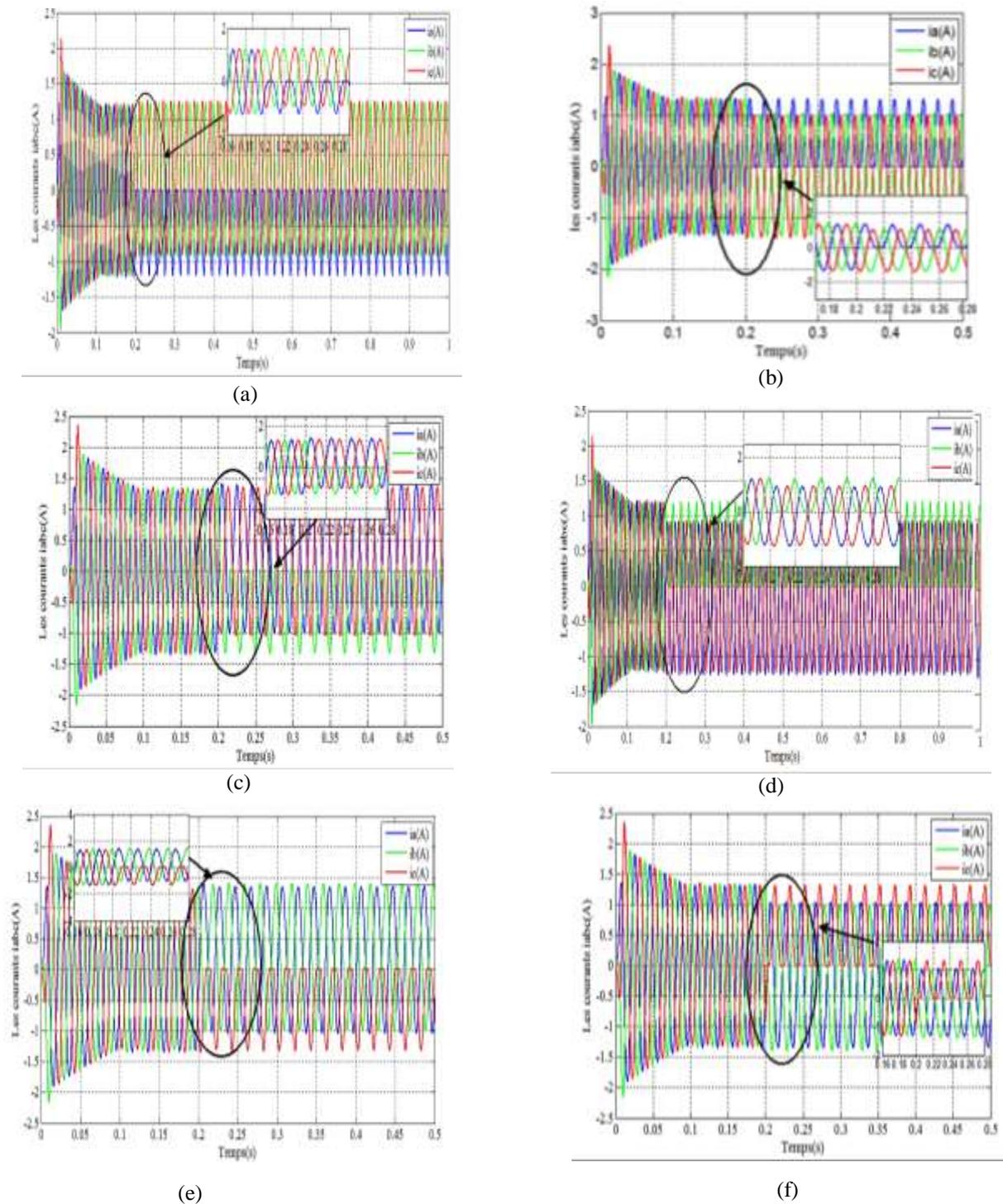


Fig. III.05 : Les courants $iabc$ de la charge en présence de défaut dans les interrupteurs : (a)T1, (b) T4, (c) T2,

(d) T5,(e) T3, et (f) T6

La figure (III.06-a) présente la simulation d'un défaut multiple dans les 2 interrupteurs du même bras de la phase « a » (T_1 et T_4 sont ouverts), on remarque qu'il y a annulation du courant de la phase 'a'.

La figure (III.06-b) présente la simulation d'un défaut multiple dans les 2 interrupteurs du 02 bras de la phase « a » et de la phase « b » (T_1 et T_5 sont ouverts), on remarque bien l'annulation de l'alternance positive de courant 'ia' et de l'alternance négative de courant 'ib'.

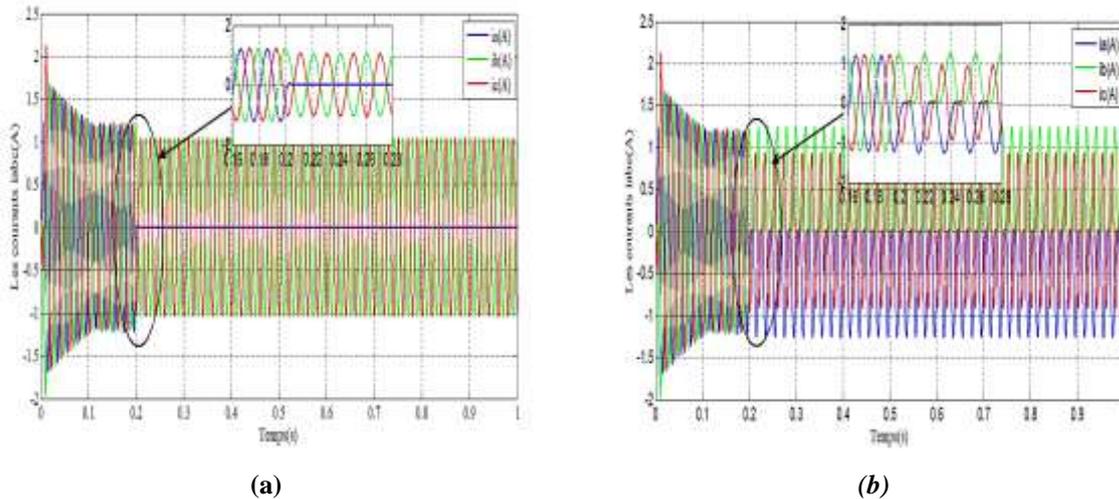


Fig. III .06: Les courants *iabc* de la charge en présence d'un défaut multiple dans les interrupteurs : (a) T_1 , et T_4 , (b) T_1 et T_5

III.6. Détection et localisation du défaut de circuit ouvert par l'emploi du de Park

La figure (III.07) montre l'analyse de contour de Park pour un fonctionnement sain de l'onduleur Z-source pour les régimes transitoire et permanent. On remarque que le contour de Park a une forme circulaire de rayon égal à l'amplitude maximale des courants de phases

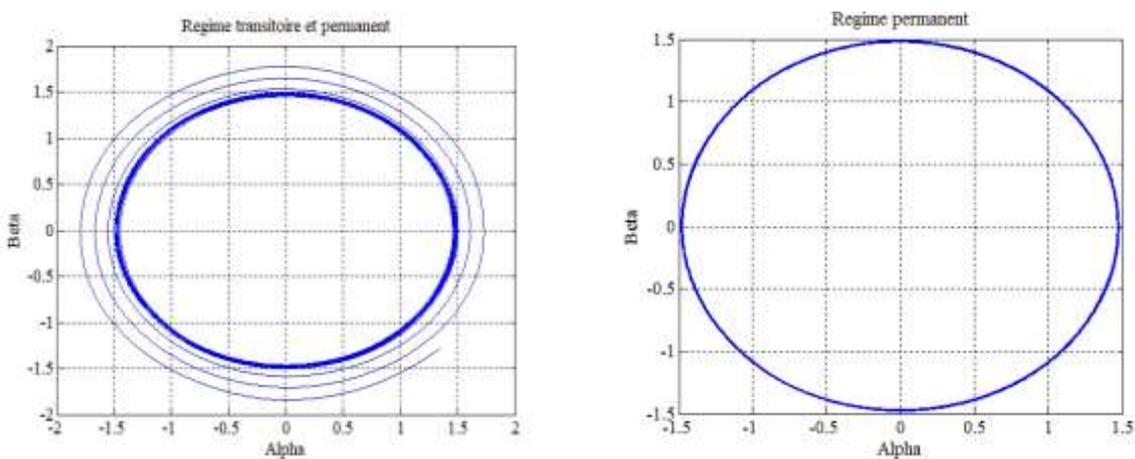


Fig. III .07: Analyse de contour de Park à l'état sain

La figure (III.08) montre la forme de contour da Park lorsque survient un défaut d'ouverture d'un des deux semi-conducteur des bras de l'onduleur Z-source On peut voir l'effet du dysfonctionnement sur la déviation de contour de Park.

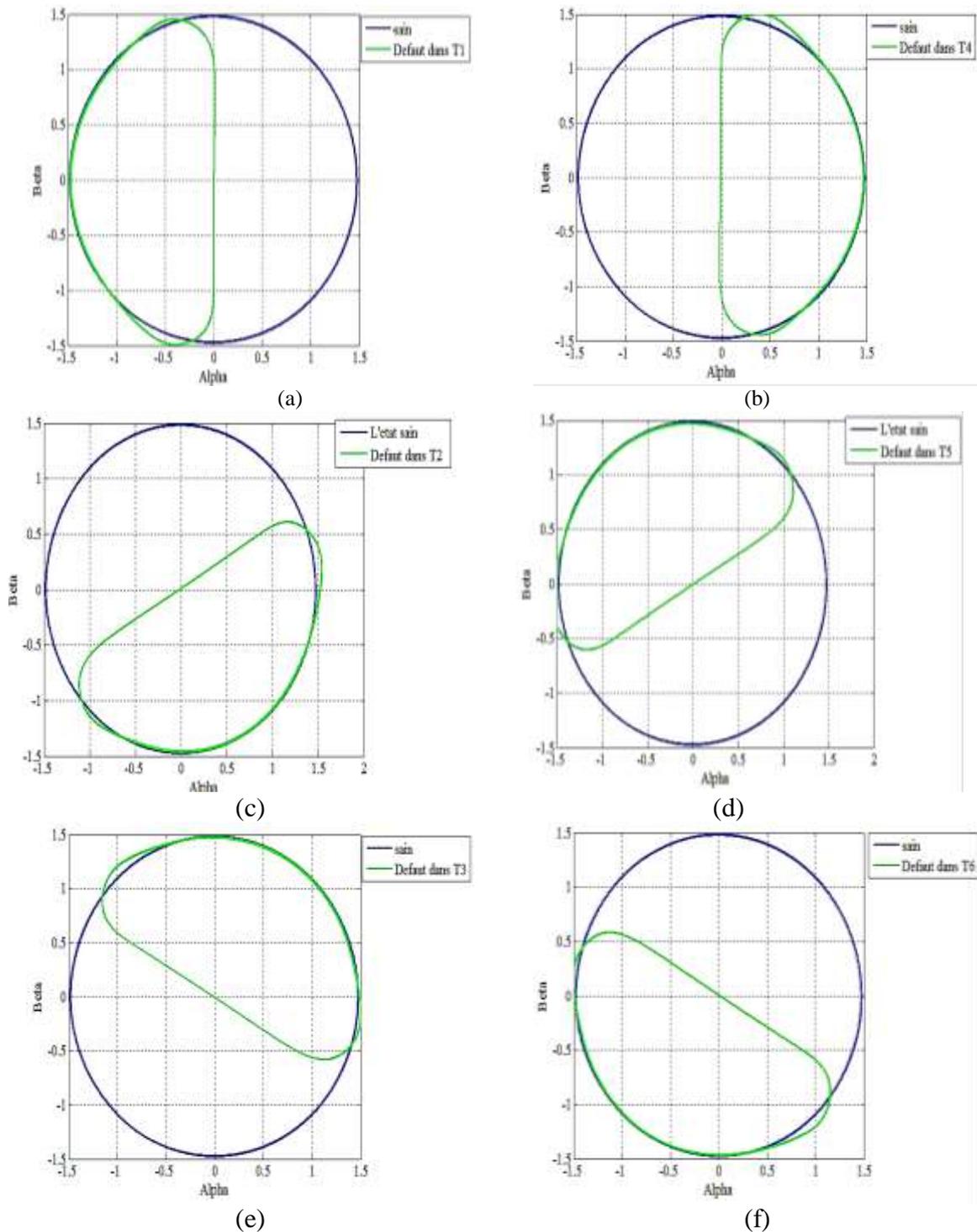


Fig. III .08: Analyse du contour de Park en présence de défaut de circuit ouvert dans les interrupteurs : (a) T_1 , (b) T_4 , (c) T_2 , (d) T_5 , (e) T_3 , et (f) T_6

Dans le cas d'ouverture de l'interrupteur T_1 figure (III.08-a), le contour de Park se déplace avec un angle de "90°". Par contre, pour le cas d'un défaut d'ouverture de T_4 , le

contour se déplace avec un angle de -90° figure (III.08-b), de même pour le cas de défaut d'ouverture des deux semi-conducteurs du deuxième bras (figure (III.08-c et -d), T_2 et T_5), si c'est T_2 le contour de Park fait une rotation de 30° . 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'un défaut de T_5 .

Lorsque le défaut est présent dans l'un des interrupteurs de la troisième phase (figure (III.08-d et -e), une rotation de -30° du contour de Park localise l'ouverture de T_3 . 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_6 .

III.7. Conclusion

Le travail qui a été présenté tout au long de ce chapitre s'inscrit dans le cadre de voir l'influence du fonctionnement dégradé sur le comportement de la commande de l'onduleur Z-source.

Une partie importante de notre travail à concerner l'élaboration de deux critères principaux : l'un est basé sur le cas d'un dispositif sain et ne tient pas compte des défauts, et l'autre est basé sur la présence des défauts des intercepteurs de l'onduleur Z-source.

CONCLUSION GENERALE

L'onduleur Z-source a été récemment introduit, la terminologie Z-source (Source d'impédance) étant liée au remplacement du bus continu classique de l'onduleur par un étage continu L-C hybride croisé. Son intérêt est de pouvoir obtenir une tension alternative de sortie d'onduleur plus importante qu'avec un onduleur traditionnel, soit un effet "boost naturel". Cette modification est liée à la possibilité d'introduire des phases de court-circuit des bras de l'onduleur, en superposition avec la commande classique de l'onduleur MLI. La source continue d'entrée ne doit pas être réversible et la commande de l'onduleur est légèrement modifiée.

Dans ce travail, nous avons conçu et simulé avec succès un onduleur triphasé à Z-source avec états de court-circuit. L'état de commutation de prise de vue dans l'onduleur Z source montre que la tension d'entrée de l'onduleur est augmentée.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une brève description des convertisseurs de type DC/AC. On a aussi abordé l'étude d'une nouvelle structure du convertisseur DC/AC qui est l'onduleur Z-source .

Le deuxième chapitre a été consacré à l'étude par simulation avec Matlab des différentes techniques de commande de l'onduleur Z-source

Le troisième chapitre est consacré à l'étude du fonctionnement dégradé de l'onduleur Z-source , précédemment un fonctionnement avec un défaut de circuit ouvert des interrupteur de l'onduleur Z-source

À partir des résultats obtenus, les conclusions suivantes ont été tirées :

- Dans le cas d'un onduleur MLI traditionnel, la tension de sortie fondamentale est très inférieure par rapport à la stratégie de contrôle de l'onduleur Z-source. Donc, l'onduleur Z-source s'avère certainement être un meilleur équipement / appareil que l'onduleur MLI traditionnel.
- Le fonctionnement dégradé de l'onduleur Z-source est peut être détecté par l'utilisation d'une technique très simple basé sur l'analyse des courants de sortie de l'onduleur à travers le contour de Park.

Le présent mémoire permet d'ouvrir de nouveaux horizons et perspectives d'études pour une éventuelle continuité de notre travail, on cite entre autres :

- Par conséquent, la structure de l'onduleur Z-source proposé peut être modifiée pour inclure un convertisseur DC-DC à Z- source alimenté en courant pour rendre le circuit de Z- source bidirectionnel.
- En outre, un contrôleur PID peut être inclus pour le contrôle de la tension du condensateur avec une excellente performance transitoire qui améliore le rejet des perturbations, y compris l'ondulation de la tension d'entrée et la variation du courant de charge.
- Etude d'autres défauts qui peuvent affecter l'onduleur Z-source, avec l'utilisation d'autres techniques de diagnostic basées sur l'intelligence artificielle.
- Validation de l'étude par simulation de l'onduleur Z-source par une des essais expérimentaux

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. Labrique, G. Séguier, et R. Bausière, « Les Convertisseurs de l'électronique de puissance », Volume 4, La conversion continu-alternatif, 2e éd. rev. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1995.
- [2] N.Aouane et S.Chamkha, « Détection, localisation et reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à cage », Mémoire de Msater, Université M'hamed Bougara-Boumerdas 2017.
- [3] A Ananda Kumar, « Design and Development of Hybrid Controller for Z-Source Inverter: An Application to Electric Vehicle», These de Doctorat, (Rajasthan) INDIA, 2015.
- [4] François Gruson¹, Arnaud Videt¹, Philippe Le Moigne, Philippe Delarue, Philippe Baudesson et Jacques Ecrabey, « Intérêt de la structure onduleur Z-source »,Conference: EPF 2008At: Tours , July 2008.
- [5] Ghorzi Zoulikha et Mimouni Amina. « Stratégies de commande des onduleurs», Mémoire de Master, Ecole Supérieure en Sciences Appliquées, Tlemcen, 2019.
- [6] Amina Merhoum, « Optimisation des techniques de MLI pour les équipements facts a base d'onduleur », Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran «Mohamed Boudiaf », 2013.
- [7] Ounnas Setti el Batoul, Meddah Yousra et Kaci Zahira, « Etude d'un onduleur triphasé », Mémoire de Licence, Université Ibn-Khaldoun de Tiaret, 2019.
- [8] Berrezek Farid, « Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone », Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar/Annaba, 2006.
- [9] Z.Betta et N. Chref, « Diagnostic de défaut dans les convertisseurs statique » Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun Tiaret ,2016.
- [10] PREETI Regn, « Performance Analysis of Different Control Methods of Z-Source Inverter Feeding Industrial Drives », Thesis of master, Thapar University, patial
- [11] Benzineb Fairouz, « Etude et commande d'un onduleur Z-source : Application aux systèmes photovoltaïques », Mémoire de Master, Université Saad Dahlab de Blida, 2016.
- [12] Yam P. Siwakoti ; Fang Zheng Peng ; Frede Blaabjerg ; Poh Chiang Loh ; Graham E. Town, «Impedance-Source Networks for Electric Power Conversion Part I: A Topological Review » , February 2015.
- [13] Pawankumar J. Aswar and P.H.Zope, «Study and analysis of single phase z-source inverter», International Journal of Research in Advent Technology, December 2013

- [14] Jodhpur, «Modeling and Simulation of Z-Source Inverter Design and Control Strategies», 15 Jodhpur National University, June 2012.
- [15] Omar Kherif, «Analyse d'un convertisseur Z-source DC-DC commandé par MLI dans le mode de conduction continu en régime permanent», Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger 2014-2015.
- [16] Shamsul Aizam Zulkifli , Mohd Rizal Sewang, Suriana Salimin, Noor Mazliza and Badrul Shah, «Voltage Control In Z-Source Inverter Using Low Cost Microcontroller for Undergraduate Approach», Conference: Advances in Electrical and Electronic Engineering: From Theory to Applications: Proceedings of the International Conference on Electrical and Electronic Engineering (IC3E 2017).
- [17] Li, Muyang, «Flux-Weakening Control for Permanent-Magnet Synchronous Motors Based on Z-Source Inverters», Master of Science, Milwaukee, Wisconsin, December 2014.
- [18] https://www.academia.edu/30582427/Scribd_download_com_z_source_inverter, consultés le 18 avril 2020).
- [19] M.S.Bakar, N.A.Rahim, K.H.Ghazali and A.H.M.Hanafi, «Z-Source Inverter Pulse Width Modulation: A survey », International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011.
- [20] Nikhil J Bodele¹ and Ashutosh Rajurkar, «Study of Z-Source Inverter Using Different Control Techniques», Engineering and Technology, International Journal of Scientific Research in Science, 2018.
- [21] CBD Eddine, B Azzeddine, KM Amine, B Mokhtar andt B Noureddine, «The enhancement of park current vectors technique for inverter fault detection », 6th International Conference on Systems and Control (ICSC), 2017.
- [22] I .Taibi et I.Djedid, « Détection et localisation des défauts dans les onduleurs à MLI par logique Floue », mémoire de master, Université Ibn Khaldoun Tiaret, 2018.
- [23] V. Sharma, N. Rawat and P. Garg ,«Fault Diagnosis of Single phase Z-Source Inverter», Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering, 2015.
- [24] M. Talha, F. Asghar and S. H. Kim, «A Matlab and Simulink Based Three-Phase Inverter Fault Diagnosis Method Using Three-Dimensional Features », Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 16, No. 3, September 2016, pp. 173-180.

[25] CBD Eddine, B Azzeddine, KM Amine, B Mokhtar and B Noureddine, «The enhancement of park current vectors technique for inverter fault detection », 6th International Conference on Systems and Control (ICSC), pp:377-382, 2017.

الملخص

يقدم هذا العمل تشغيل محولات Z-source يستخدمون شبكة ممانعة لربط العاكس بمصدر جهد التيار المستمر. تتكون شبكة المعاوقة هذه من بنية LC متقاطعة. إنه يسمح للعاكس بتضخيم جهد الخرج من خلال تحكم محدد، مما يجعله مكافئاً لتتالي قطاعة تصعيدية باستخدام عاكس تقليدي. دراسة مبدأ التشغيل بالإضافة إلى المقارنة مع بنية كلاسيكية مكافئة لإظهار حدود هذا الهيكل الذي تم إدخاله مؤخرًا. يتم أيضًا تناول التشغيل المتدهور لعاكس Z-المصدر في هذا العمل المتواضع من خلال تطبيق تقنية تشخيص الأعطال بناءً على كفاف Park.

الكلمات المفتاحية: محول Z-المصدر ، التشخيص ، محيط بارك ، المحاكاة

Résumé

Ce mémoire présente le fonctionnement des onduleurs Z-source. Ils utilisent un réseau d'impédance pour coupler l'onduleur à la source de tension continue. Ce réseau d'impédance est constitué d'une structure L_C hybride croisée. Il permet à l'onduleur d'amplifier la tension de sortie grâce à une commande spécifique, ce qui le rend équivalent à la mise en cascade d'un hacheur survolteur avec un onduleur classique. L'étude du principe de fonctionnement ainsi qu'une comparaison avec une structure classique équivalente montreront les limites de cette structure récemment introduite.

Le fonctionnement dégradé de l'onduleur Z-source est aussi abordé dans ce modeste travail par l'application d'une technique de diagnostic de défaut basée sur le contour de Park.

Mots clés : Onduleur Z-source, Diagnostic, Contour de Park, Simulation

Abstract

This work presents the operation of Z-source inverters. They use an impedance network to couple the inverter to the DC voltage source. This impedance network consists of a cross hybrid L C structure. It allows the inverter to amplify the output voltage with a specific control, which makes it equivalent to cascading a step-up chopper with a conventional inverter. The study of the principle of operation as well as a comparison with an equivalent classical structure to show the limits of this recently introduced structure.

The degraded operation of the Z-source inverter is also addressed in this modest work by applying a fault diagnosis technique based on the Park contour.

Keywords: Z-source inverter, Diagnostics, Park contour, Simulation