

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



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

Thème

*Etude d'une topologie d'onduleur trois niveaux*

**Présenté Par :**

1) FILALI Naim

**Devant les jurys composés de :**

BENAZZA Baghdadi	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
FATMI Moulay	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
FLITTI Mohammed	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

*Année universitaire 2017/2018*

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns surrounds the text. The border is composed of repeating motifs of leaves, flowers, and scrolls, creating a frame for the central content.

## **REMERCIEMENTS**

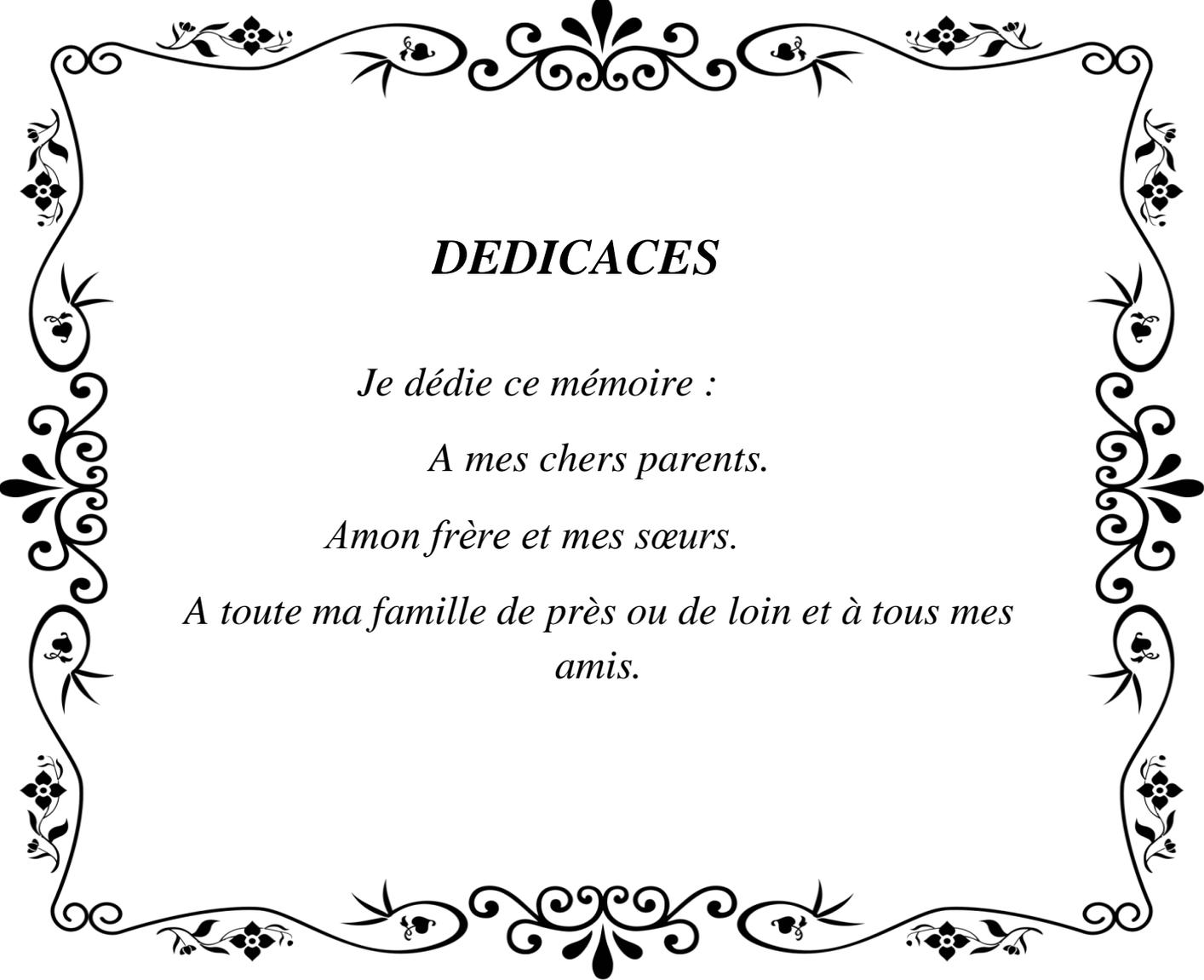
*Je remercie "ALLAH" tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.*

*Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur Monsieur, **Dr. Moulay FATMI** pour avoir proposé et dirigé ce travail.*

*Je tiens à remercier **Mr Baghdadi BENZAZZA** pour avoir accepté de présider le jury et nous honore de sa présence.*

*Je tiens aussi à remercier le **Dr Mohammed FLITI** pour avoir accepté d'examiner mon mémoire.*

*Je remercie tous les membres de ma famille qui, avec leurs soutiens, leurs encouragements et leur support moral, m'ont permis, dans les meilleures des conditions, de mener à terme ce mémoire.*

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, featuring small flowers and leaves, framing the central text.

## *DEDICACES*

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes chers parents.*

*A mon frère et mes sœurs.*

*A toute ma famille de près ou de loin et à tous mes  
amis.*

# **SOMMAIRE**

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction général .....	1
----------------------------	---

## **CHAPITRE I : Convertisseur DC-AC et rôle des semi-conducteurs**

I. 1. Introduction .....	2
I. 2. Les interrupteurs statiques .....	3
I. 3. Besoin de l'application .....	7
I. 3.1. Les onduleurs .....	8
I. 3.2. Equations de fonctionnement .....	8
I. 4. Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge .....	10
I. 5. Conclusion .....	11

## **CHAPITRE II : Techniques commande des onduleurs à MLI**

II. 1. Introduction .....	12
II.2. types de modélisation des convertisseurs MLI .....	12
II.2.1. Modélisation en grandeurs triphasées .....	12
II.2.2. Modélisation dans le repère tournant $d-q$ .....	12
II.3. La Modulation de largeur d'impulsion .....	12
II.4. Principe de la modulation de largeur d'impulsion .....	13

<b>II.5.</b> Caractéristique de la modulation de largeur d’impulsion (MLI) .....	14
<b>II.6.</b> Différentes techniques de modulation de largeur d’impulsions.....	15
<b>II 6.1.</b> La modulation sinusoïdale triangulaire unipolaire (SPWM) .....	15
<b>II 6.2.</b> La modulation sinusoïdale partielle (ou modifiée) (MSPWM) .....	16
<b>II 6.3.</b> L’injection d’un harmonique 3 dans la référence .....	16
<b>II 6.4.</b> La modulation sinusoïdale avec porteuse bidirectionnelle.....	17
<b>II 6.5.</b> La modulation calculée.....	18
<b>II 6.6.</b> La Modulation vectorielle .....	18
<b>II 7.</b> Principaux avantages de la M.L.I.....	19
<b>II 8.</b> Conclusion .....	20

### **CHAPITRE III : Topologie de l’onduleur 3 niveaux**

<b>III.1.</b> Introduction .....	21
<b>III.2.</b> Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux.....	21
<b>III.2.1.</b> Topologies NPC avec diode de bouclage .....	22
<b>III.2.2.</b> Topologies NPC à condensateur flotteur (FC) .....	22
<b>III.2.3.</b> Topologies pont H (en cascade) .....	23
<b>III.3.</b> Onduleur à trois niveaux de type NPC .....	23
<b>III.3.1.</b> Structure .....	23
<b>III.3.2.</b> Principe de fonctionnement .....	24
<b>III.4.</b> Conclusion.....	30
Conclusion générale.....	31
Résultat de simulation avec MATLAB .....	28

# **LISTE DES FIGURES**

## **CHAPITRE I**

<b>Figure I.1</b> :Caractéristique d’une diode réelle .....	3
<b>Figure I.2</b> : Caractéristique d’un thyristor.....	4
<b>Figure I.3</b> : Symbole d’un MOS .....	5
<b>Figure I.4</b> : Symbole d’un IGBT .....	7
<b>Figure. I.5</b> :Structure en pont H.....	8
<b>Figure I.6</b> : Structure en demi-pont .....	8
<b>Figure I.7</b> : Structure avec transformateur à point milieu .....	8
<b>Figure I.8</b> : Forme d’onde du courant pour une commande symétrique avec une charge résistive..	9
<b>Figure I.9</b> : Forme d’onde du courant pour une commande décalée avec une charge résistive.....	10

## **CHAPITRE II**

<b>Figure II.1</b> : Comparaison entre le signal de référence et le signal triangulaire.....	13
<b>Figure II.2</b> : Réalisation du signal MLI.....	14
<b>Figure II.3</b> : Schéma synoptique de la commande en MLI (triphase).....	15
<b>Figure II.4</b> :MLI sinusoïdal triangulaire unipolaire .....	16
<b>Figure II.5</b> : La modulation sinusoïdale modifiée .....	16
<b>Figure II.6</b> : MLI avec l’injection de l’harmonique 3 .....	17
<b>Figure II.7</b> : La modulation sinusoïdale avec porteuse bidirectionnelle .....	18
<b>Figure II.8</b> : Modulation vectorielle (Saeedifard, 2008).....	19

## **CHAPITRE III**

<b>Figure III.1</b> : Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux.....	21
<b>Figure III.2</b> : Onduleur NPC à trois niveaux .....	22
<b>Figure III.3</b> :Onduleur à condensateurs flotteurs à trois niveaux.....	22
<b>Figure III.4</b> : Onduleur en cascade à 5 niveaux .....	23
<b>Figure III.5</b> : Structure d’un onduleur triphasé à trois niveaux de type NPC.....	24
<b>Figure III.6</b> : Bras d’un onduleur NPC à trois niveaux.....	25

<b>Figure III.7 :</b> 1ère configuration du 1er bras .....	26
<b>Figure III.8:</b> 2ème configuration du 1er bras .....	26
<b>Figure III.9:</b> 3ème configuration du 1er bras .....	27
<b>Figure III.10 :</b> Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois .....	28
<b>Figure III.11</b> Topologie NPC sous MATLAB simulink.....	29
<b>Figure III.12</b> Résultat de simulation sans MLI.....	29

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I.1</b> : commande symétrique des interrupte.....	9
<b>Tableau I.2</b> : commande décalée des interrupteurs .....	10
<b>Tableau III.1</b> : Table de commutation de l'onduleur NPC 3 niveaux.....	27

# **NOTATIONS ET ABBREVIATIONS**

**E** : Tension

**D** : Nombre de diodes.

**C** : Nombre de condensateurs.

**I<sub>s</sub>**: Courant dans la charge

**I<sub>r</sub>** : Courant référence

**T** : période de commutation qui est égale à  $1/f$

**K<sub>123..</sub>** : nombre d'interrupteur de l'onduleur multiniveaux.

**U** : Tension de sortie du convertisseur

**V<sub>réf</sub>** : Tension de référence

**V<sub>p(v)</sub>** : Porteuse triangulaire.

**f<sub>r</sub>** : Fréquence de la tension de référence.

**f<sub>p</sub>** : Fréquence de la porteuse triangulaire.

**m** : Indice de modulation.

**A<sub>p(v)</sub>** : Amplitude de modulation

**A<sub>r(v)</sub>**: Amplitude de la référenc

**IGBT** : Insulated Gate Bipolaire Transistor

**GTO** : Gate Turn-Off Thyristor

**MOSET** : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

**MLI** : modulation à largeur d'impulsion

**NPC** : Neutral Point Clamped

**FC**: Flying Capacitor

**H** : H-bridge (pont H)

**SPWM** : Sinus Pulse Width modulation

**THD** : Total Harmonique Distorsion

# **INTRODUCTION GENERAL**

## INTRODUCTION GENERAL

La qualité de l'énergie représente un souci de taille en présence de convertisseurs statiques vue les contraintes de  $dv/dt$  et de  $di/dt$  liées à la commutations. L'injection de puissance sous un potentiel élevée nécessite sa répartition sur plusieurs niveaux, Le choix du multiniveaux permet de réaliser cette opération et améliore la forme d'onde du courant. D'autre part les techniques de commandes MLI améliorent le TDH. [I.1]

L'onduleur trois niveau est limité en puissance et présente également un mauvais THD du courant, cependant il représente une base de départ pour l'étude est la réalisation de multiniveaux devenue intéressant pour l'injection de puissance directement dans les réseaux MT. De plus, la technologie des semi conducteur permet d'atteindre des niveaux de tension d'un kilovolt par composant. [I.1]

La qualité d'énergie est meilleur et le niveau de THD reste très faible comme on le voit sur la forme d'onde de l'onduleur ABB. [I.3]

Avec la production des centrales photovoltaïque, il est possible de réaliser l'injection directe de puissance avec un ou des onduleurs multiniveaux sans transformateur.

Les chercheurs ont développé plusieurs topologies pour résoudre les problèmes de convertisseur classique à deux niveaux ce développement apparu dans les convertisseur multiniveaux sujet de ce mémoire cette structure prenait plusieurs avantages et élève l'esprit de recherche pour résoudre plusieurs problèmes

Le premier chapitre présente une définition . Conversion statique et rôle des semi-conducteurs et les interrupteurs statiques .

Le deuxième chapitre, nous présentons les différentes techniques de commande des onduleurs à **MLI**, avec une étude détaillée des techniques les plus utilisées actuellement dans le domaine de recherche à savoir la modulation sinusoïdale triangulaire ,l'injection d'un harmonique trois dans la référence, la modulation calculée et la modulation vectorielle. Cette étude est consacrée à la conception d'une stratégie de commande qui permet de donner une meilleure forme de la tension de sortie de l'onduleur, donc une meilleure qualité spectrale.

Dans le troisième chapitre porte, en premier sur l'étude détaillé de l'onduleur de tension à trois niveaux de type **NPC**: sa structure et son principe de fonctionnement. et présente Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux la (topologie à diode de bouclage (**NPC**), la topologie au condensateur flotteur (à cellules imbriquées), l'onduleur à pont en cascade **H-bridge**).

Ce travail s'achève avec une conclusion générale qui résume tout le travail et qui donne une synthèse des différents résultats faites dans cette étude.

# **CHAPITRE I**

**Convertisseur DC-AC et rôle des semi-conducteurs**

## I.1 Introduction

Les convertisseurs statiques sont conçus pour réaliser des transferts d'énergie de façon contrôlable d'une source électrique vers une charge. Ils sont principalement construits à partir d'un ensemble de semi-conducteurs. L'énergie transférée est contrôlée par commande à l'ouverture et à la fermeture de ces derniers. Dans certains cas, des composants supplémentaires, tels que des condensateurs ou des inductances, peuvent être utilisés pour réaliser des stockages temporaires d'énergie ou pour relier deux sources de même nature. Le concepteur doit alors agencer tous ces composants pour pouvoir réaliser la structure qui réalise la fonction de conversion désirée. [I.1]

L'électronique de puissance est une électronique de commutation : idéalement, un interrupteur ouvert ou fermé ne dissipe pas d'énergie. Ainsi, il est possible de transférer de l'énergie entre une source d'entrée et une charge de sortie en contrôlant son transfert.

Les convertisseurs modifient la présentation de l'énergie électrique:

**De l'alternatif au continu** : montages redresseurs, chargeur de batterie...

**Du continu à l'alternatif** : montages onduleurs, montages gradateurs, injection d'énergie solaire dans le réseau

**De l'alternatif à l'alternatif** : montage gradateur

**Du continu au continu** : montage hacheur (modifier la valeur moyenne d'une tension), contrôle de l'alimentation des moteurs de traction

Modifier la valeur efficace d'une tension alternative: interconnexion de réseaux à niveaux de tension différents

Modifier la fréquence d'une tension alternative : montage cyclo convertisseurs.

Les composants semi-conducteurs de puissance (SC) sont les composants actifs du contrôle et de la conversion de l'énergie électrique, principalement destinés à des fonctions d'interrupteur.

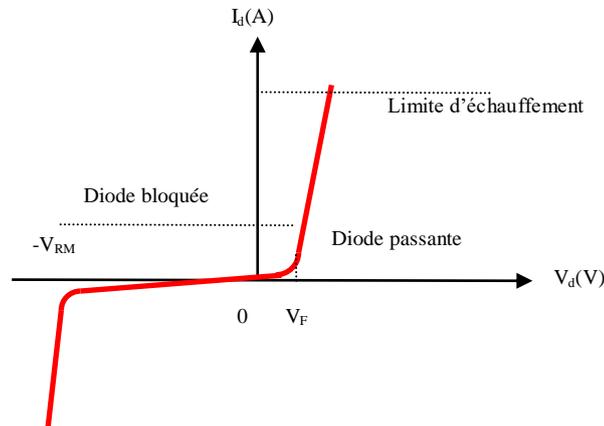
Dans les systèmes de contrôle ou de conversion de l'énergie électrique, les composants actifs fonctionnent généralement en **commutation** entre deux états, **ouvert** (ou **bloqué**) et **fermé** (ou **conducteur**, ou encore **passant**). [I.2], [I.3]

## I.2. Les interrupteurs statiques

Eléments clés dans l'électronique de puissance, les interrupteurs statiques peuvent fonctionner jusqu'à plusieurs dizaines de kHz, des fréquences où l'emploi des interrupteurs classiques est tout simplement impossible.

En conversion statique, les interrupteurs suivant peuvent être utilisé :

- **La diode à jonction**



**Figure I.1** Caractéristique d'une diode réelle

Très largement décrite dans la littérature nous nous contentons de dire les principales caractéristiques qui nous intéressent lors du choix du composant.

La puissance dissipée dans la diode idéale est nulle à l'état passant comme à l'état bloqué pour la simplicité de l'étude. Ce n'est pas le cas d'une diode réelle dont la caractéristique réelle présente une chute de tension à l'état passant, donc à des pertes proportionnelles.

Le choix d'une diode doit être effectué dans le respect des grandeurs caractéristique du composant physique (le semi conducteur) :

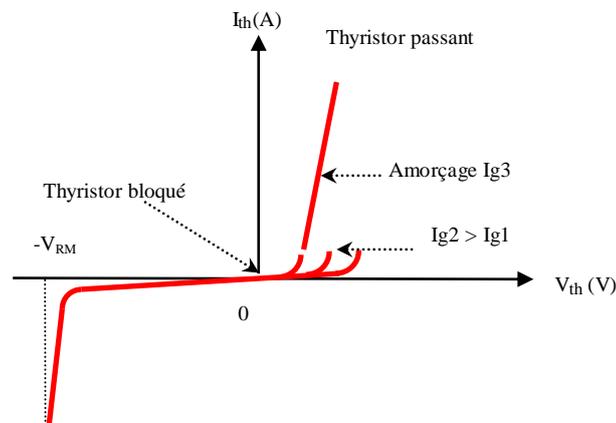
- **Courant maximal à l'état passant** : courant est limité par l'échauffement maximal tolérable du composant.
- la **valeur efficace du courant** à l'état passant.
- **Chute de tension** à l'état passant : A cause de la résistance dynamique, la chute de tension aux bornes de la diode n'est pas nulle et dépend du courant à l'état passant.
- **Tension de seuil** : On peut remarquer une tension de seuil (de l'ordre du Volt), à partir de laquelle le composant peut devenir passant. Cette tension de seuil est notée  $V_F$  en anglais (F pour Forward).
- **Résistance dynamique** : La chute de tension à l'état passant augmente lorsque le courant à travers la diode augmente.
- **Courant de fuite** à l'état bloqué : la diode laisse passer un très faible courant en sens inverse. Noté  $I_R$  (R pour Reverse), ce courant est très sensible à la température, On admit que ce courant double tous les  $10^\circ\text{C}$ .

- **Tension inverse limite** : La diode ne peut pas supporter en inverse une tension infinie. Cette tension inverse maximale est notée  $V_{RM}$  (RM pour Reverse Maximal).

- **Le thyristor**

Le thyristor est un composant commandable à la fermeture et au blocage dépendant du courant qui le traverse donc du circuit extérieur. L'amorçage du composant se fait à tension positive et une impulsion de courant de gâchette. Un fois le thyristor amorcé, il ne se bloquera que par annulation du courant le traversant. Le courant minimum pour que le thyristor reste passant est appelé courant de maintien (Latching current :  $I_L$ ).

L'intérêt des thyristors réside donc dans le fait qu'il est possible de fixer l'instant d'amorçage du composant. Il est donc possible d'agir sur les formes d'ondes en sortie l'exemple du convertisseur AC/DC où il possible de d'obtenir la valeur moyenne désirée de la tension de sortie.



**Figure I.2** : Caractéristique d'un thyristor

Tout comme la diode le choix d'un thyristor est effectuée en respect des grandeurs caractéristique du semi conducteur :

- Le courant direct maximal
- La tension inverse maximale
- Vitesse d'amorçage ou plutôt le  $di/dt$ , à l'instar de tous les composants semi-conducteurs le thyristor présentent certaines limitations technologiques restreignant son utilisation. Limitation en  $di/dt$  lors de l'amorçage, le courant traversant le thyristor s'établit tout d'abord autour de la zone où est implantée la gâchette puis s'étend à l'ensemble du semi-conducteur.

La vitesse de croissance du courant lors de l'amorçage doit être inférieure à une certaine valeur sous peine de destruction par effet de la chaleur du composant.

- Limitation en  $dV/dt$  Le thyristor présente des capacités parasites. Celles-ci causent, sous l'effet de la l'augmentation de la tension aux bornes du thyristor, un courant similaire au courant de gâchette pouvant causer un amorçage intempestif du thyristor lorsque la vitesse de croissance de la tension est trop importante.
- Temps de blocage minimum Le blocage d'un thyristor lors de l'annulation du courant le traversant n'est effectif qu'après un certain temps permettant de reconstituer la zone de charge d'espace dans le composant. Ce temps limite en fréquence l'utilisation du composant. C'est la raison pour laquelle le thyristor est principalement utilisé en basse fréquence.

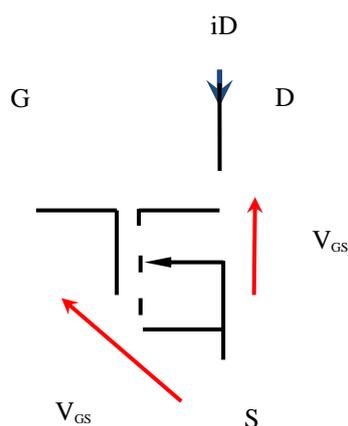
- **Transistor Bipolaire**

Très largement utilisé en électronique analogique, il peut être utilisé pour des applications de puissance modérée, en électronique de puissance, on lui préfère des composants plus puissants.

- **MOSFET**

Un transistor à effet de champ (à grille) métal-oxyde est un type de transistor à effet de champ, MOSFET (acronyme anglais de metal oxide semiconductor field effect transistor). Comme tous les transistors, le MOSFET gère le courant qui le traverse à l'aide d'un signal appliqué à sa grille.

Sa commande est réalisée par la tension entre la grille et la source  $V_{GS}$



**Figure I.3** : Symbole d'un MOS

### Limites de fonctionnement

Les MOS les plus courants supportent des tensions allant jusqu'à 500 V. On trouve des MOS pouvant supporter jusqu'à 1400 V. Le MOS n'est intéressant pour les tensions élevées que dans le cas des convertisseurs de faible puissance ( $< 2$  kW) ou lorsque la rapidité est indispensable. Circuits de puissance à transistors MOS

Les interfaces sont beaucoup plus simples que pour les transistors bipolaires, car les transistors MOS sont commandés en tension (le courant de grille très faible est sans influence). Ils peuvent donc être directement commandés par un simple circuit numérique en logique TTL ou CMOS.

Les seuls problèmes qui apparaissent sont liés aux potentiels de source élevés ou flottants

- **GTO**

Le Thyristor GTO (ou plus simplement GTO), de l'anglais Gate Turn-Off Thyristor, c'est-à-dire thyristor blocable par impulsion négative sur la gâchette, réservé aux applications de forte puissance.

Le **HDGTO** (Hard Driven GTO : GTO à commande dure), plus connu sous le nom de GCT (Gate-Commutated Thyristor) ou IGCT (Integrated GCT), est une évolution « moderne » du GTO, permettant un fonctionnement sans circuit d'aide à la commutation.

Les applications usuelles du GTO sont les onduleurs, redresseurs et hacheurs pour la vitesse variable et la conversion d'énergie.

Le **GTO** est un composant électronique dont la mise en conduction et le blocage sont commandés. C'est l'un des interrupteurs commandés de l'électronique de puissance pour les applications concernant les fortes tensions (quelques kV) et les forts courants ( $> \text{kA}$ ). Son usage fonctionnel est similaire à celui d'un transistor utilisé en commutation. Il est le concurrent direct de l'IGBT pour ces applications.

- **IGBT**

Le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT, de l'anglais Insulated Gate Bipolar Transistor) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors, utilisé dans les montages de l'électronique de puissance.

Les caractéristiques de l'IGBT lui ont permis de s'imposer dès les années 2000 dans tous les domaines de l'électronique de puissance face aux autres types de composants pour les gammes de tension 600 V à 3 300 V, et qu'il perce dans les tensions supérieures face au GTO, ainsi que dans les tensions inférieures face au MOSFET, bien qu'il soit plus lent. [I.3].

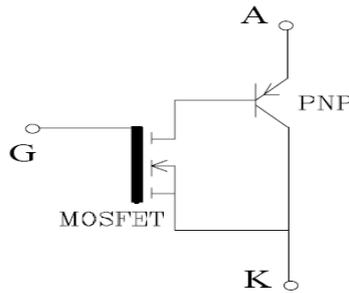


Figure. I.4 : Symbole d'un IGBT [I.3]

### Protection des composants :

L'interrupteur électronique intervenant à la conversion choisi est soumis à :

- une contrainte de tension (imposée par la source) lors de son ouverture,  $dv/dt$
- une contrainte de courant (imposée par la charge) lors de sa fermeture  $di/dt$ , il conviendra donc de bien choisir les interrupteurs en fonction de la conversion à réaliser.

En conduction ces interrupteurs sont soumis au courant de charge sous la tension de seuil très inférieure par rapport à la tension du bus continu ce qui génère de faibles pertes, réciproquement à l'état bloqué l'interrupteur est soumis à la tension imposée par le circuit en présence d'un faible courant de fuite. Là aussi les pertes sont négligeables. Par contre lors des commutations, (passage de l'état fermé à l'état ouvert d'un interrupteur et vis versa), et dû au fait que ces interrupteurs fonctionnent à des fréquences élevées avec des courants de charge conséquents, des contraintes en tension et en courant ( $dv/dt$  et  $di/dt$ ) sont générés, à cause de la présence simultanée de ces deux grandeurs.

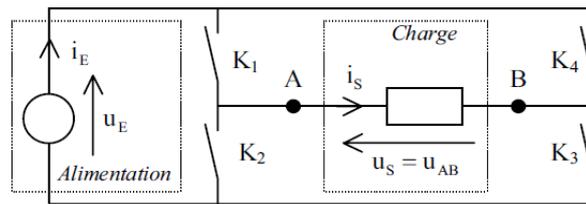
Donc selon l'application assurée par l'interrupteur, un circuit d'aide à la commutation adéquat est agencé en série et en parallèle afin de réduire les pics de tension, courante, ( $dv/dt$  et  $di/dt$ ) générés lors de ces commutations. [I.3].

### I.4.Besoin de l'application

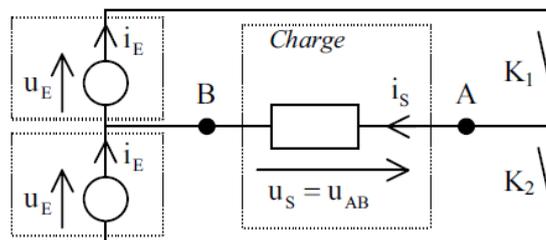
L'onduleur fournit une tension de sortie de type carré ce qui loin d'être de forme sinusoïdale. L'étude de l'onduleur à trois niveaux est une bonne introduction à l'étude du multiniveau dont la forme d'onde du courant de sortie se rapproche d'une sinusoïde ce qui améliore la tenue en tension inverse des interrupteurs. La forme d'onde est un des critères à respecter que ce soit pour l'injection directe dans le réseau ou l'alimentation de charges inductives types moteurs asynchrones par exemple.

**I. 4.1. Les onduleurs**

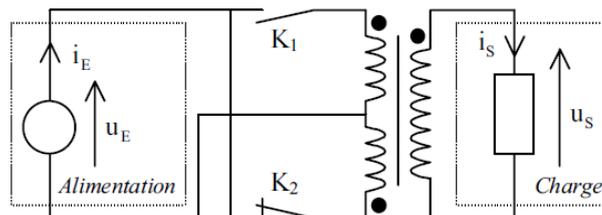
Le principe consiste à connecter, alternativement dans un sens puis dans l'autre, une source continue (de tension ou de courant) à une charge de manière à lui imposer une alimentation (en tension ou courant) alternative. Les structures de base consistent en un pont d'interrupteurs électroniques (**Figure. I.5**), un demi-pont d'interrupteurs électroniques (**Figure. I.6**) nécessitant deux sources d'alimentation, ou une structure utilisant un transformateur à point milieu (**Figure. I.7**) équivalente à deux charges.



**Figure. I.5** : Structure en pont H [1 4]



**Figure. I.6** : Structure en demi-pont [1 4]



**Figure. I.7** : Structure avec transformateur à point milieu [1 4]

**I.4.2 Equations de fonctionnement :**

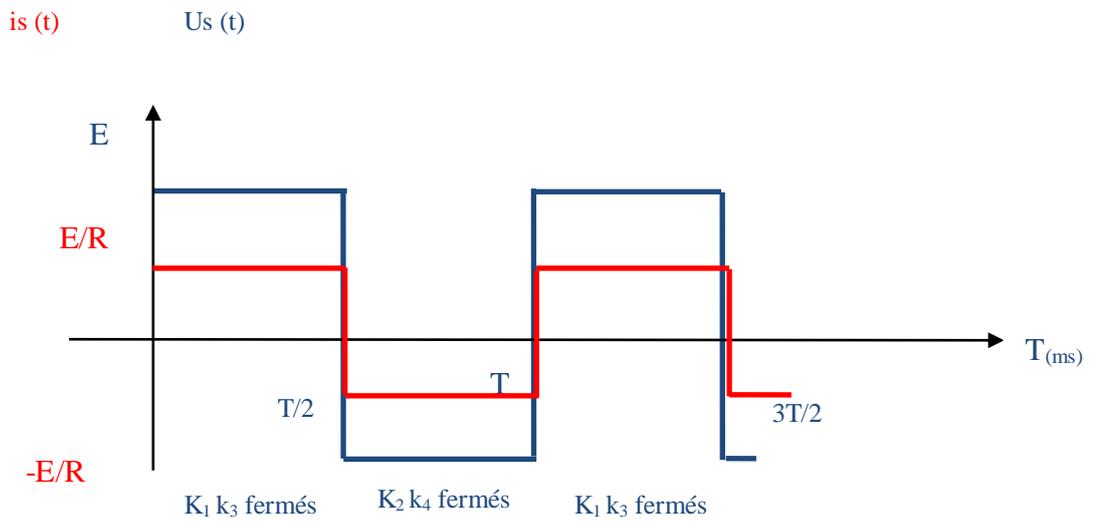
L'étude des convertisseurs nécessite la mise en équation pour chaque intervalle de conduction ou de blocage sur une période (en négligeant le phénomène de commutation). Effectivement selon l'interrupteur fermé, la topologie est différente et donc la loi de maille qui en découle l'est aussi. Dans ce qui suit on s'intéresse au montage en pont H de **Figure. I.5** avec une charge inductive.

Le **tableau I.1** donne les intervalles de conduction des interrupteurs : (la chiffre 0 correspond à l'état bloqué ou ouvert et le chiffre 1 correspond à l'état fermé ou passant)

**a)- commande symétrique**

**Tableau 1.1 commande symétrique des interrupteurs**

	0	T/2	T
K1, K3		1	0
K2, K4		0	1



**Figure I.8** : Forme d'onde du courant pour une commande symétrique avec une charge résistive

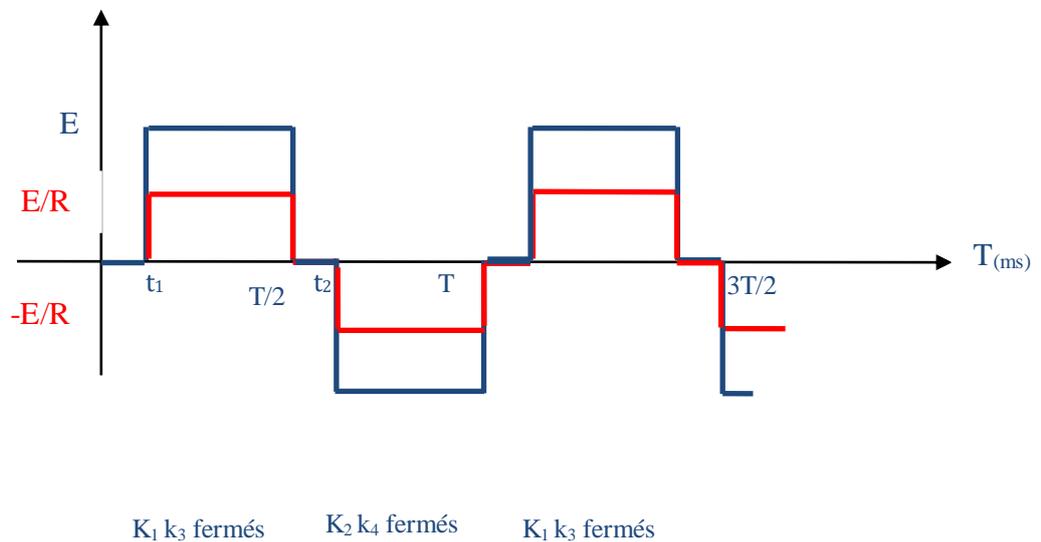
- La valeur moyenne de  $i_s(t)$ , en ampères [A], est donc :  $I_s = 0 \text{ A}$ .
- La valeur efficace de  $i_s(t)$ , en ampères [A], est donc :  $I_s = \frac{E}{R}$ .
- La fréquence  $f$ , en Hertz [Hz],  $f = \frac{1}{T}$ .
- La fréquence est imposée par la commande des interrupteurs. C'est le cas d'un onduleur autonome

**a)- commande décalée**

Cette commande permet d’avoir les trois niveaux de tension +E, 0 et -E. La commande est donnée par le **tableau I.2**

**Tableau I.2 : commande décalée des interrupteurs**

	0	$\alpha T$	$T/2$	$(1/2+\alpha)T$	T
K1, K3	0	1	0	0	0
K2 K4	0	0	0	0	1



**Figure I.9 :** Forme d’onde du courant pour une commande décalée avec une charge résistive

**I.5. Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge**

Deux méthodes sont à même de fournir la valeur moyenne d’une grandeur variable dans le temps, le calcul intégral ou la méthode des aires (surface).

En se basant sur le chronogramme suivant et par analyse du schéma donné en figure 2.1, on déduit aisément que l’interrupteur H est fermé de 0 à  $\alpha T$  et ouvert le reste de la période.

**I.6. Conclusion:**

La demande d'équipements industriels de forte puissance ne cesse d'augmenter. Les exemples d'applications sont nombreux telle que la traction électrique, la génération d'énergie électrique à partir de l'énergie éolienne, photovoltaïque, la ventilation des grands volumes tel que les parkings sous terrains et l'évacuation de gaz brûlés, etc ... Dans de nombreux cas où la vitesse variable est avantageuse face aux solutions classiques, l'onduleur multiniveau représente une solution ultime en apportant la réponse face aux problèmes d'harmoniques, de pique de tension lors des commutations et de tenue en tension inverse des interrupteurs statiques dont les caractéristiques sont naturellement limitées en tension et en courant.

Dans ce chapitre nous avons rappelé le rôle de la conversion statique et expliqué le rôle et le fonctionnement de l'onduleur.

# **CHAPITRE II**

**Techniques commande des onduleurs**

**II.1. Introduction :**

Le développement technologique des semi-conducteurs et l'apparition des nouvelles techniques de commande, en particuliers la technique de modulation de largeur d'impulsions ont encouragé plusieurs chercheurs à concevoir des convertisseurs avec diverses topologie, plus performants, moins dissipatifs et moins polluants dans le réseau où ils sont connectés.

La MLI permet suivant un processus analogique ou numérique d'avoir une forme d'onde formée de plusieurs créneaux, l'objectif étant est d'avoir le moins d'harmoniques, de minimises le nombre de commutation et de pouvoir contrôler facilement la tension [II.1].

**II.2.types de modélisation des convertisseurs MLI :****II.2.1. Modélisation en grandeurs triphasées :**

Le premier modèle est basé sur l'usage d'un vecteur général  $y(t)$ , constitué de trois composantes triphasées représentant une grandeur triphasée :

$$y(t) = [y_a(t) \quad y_b(t) \quad y_c(t)] \quad (\text{II-1})$$

Le modèle résultant prendra la forme ci-dessous :

$$\dot{x} = f(x \ u \ w) \quad (\text{II-2})$$

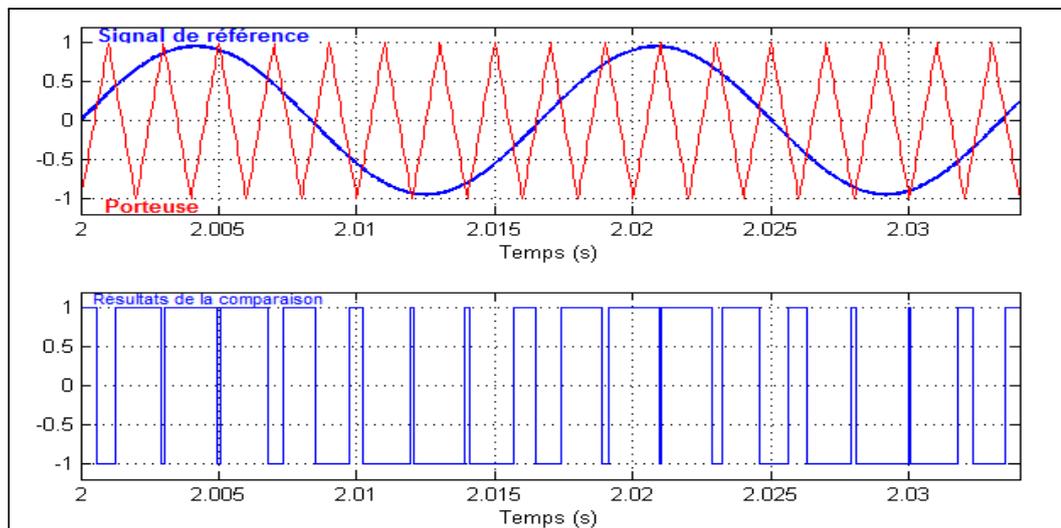
Pour ce modèle, les courants traversant les inductances et la tension aux bornes du condensateur constituent le vecteur des variables d'état " $x$ ". Les ordres de commutation  $S_a$ ,  $S_b$  et  $S_c$  sont le vecteur de commande " $u$ ", les tensions du réseau et le courant de charge sont représentés par la variable " $w$ ".

**II.2.2.Modélisation dans le repère tournant  $d-q$  :**

Le repère synchrone  $d-q$  tourne à la pulsation  $\omega$  ( $\omega=2\pi f$ ),  $f$  : la fréquence fondamentale de la tension du réseau). La projection de chacun des vecteurs, exprimant les quantités électriques du redresseur, sur les deux axes perpendiculaires  $d$  et  $q$  donne deux composantes constantes, si le module de ce vecteur est constant et tourne à la même pulsation que le repère.

### II.3.La Modulation de largeur d'impulsion :

La modulation de largeur d'impulsion consiste à comparer le signal de référence avec un ensemble de porteuses (signal triangulaire ou en dents de scie). La comparaison permet de produire un signal modulé qui servira à déterminer les signaux de gâchettes des interrupteurs.



**Figure II.1 :** Comparaison entre le signal de référence et le signal triangulaire [II.2]

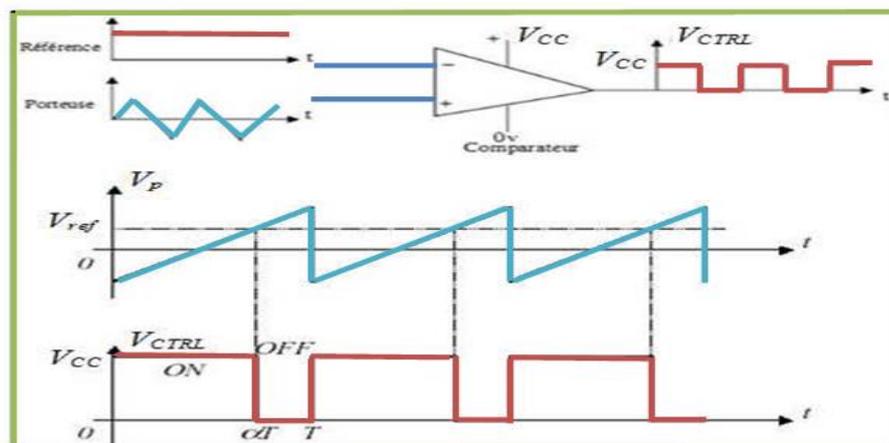
**Dans la Figure (1) :**

1. La porteuse, définit la cadence de la commutation des interrupteurs statiques du convertisseur. C'est un signal de haute fréquence par rapport au signal de référence ;
2. La comparaison de ses 2 signaux donne un signal carré dont la somme donne le signal final modulé.

### II.4.Principe de la modulation de largeur d'impulsion :

Le Principe de base de la Modulation de la Largeur d'impulsion MLI est fondé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi, la tension de sortie est formée par une succession de créneau d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable. L'intersection de ces signaux donne les instants de commutation des interrupteurs.

La réalisation électronique de la fonction MLI est donnée par la **Figure( II.2)** .



**Figure II.2 :** Réalisation du signal MLI. [II.2].

L'intersection de la référence avec la porteuse, en sens croissant, commande l'ouverture du transistor  $T$ , son intersection avec la porteuse, en sens décroissant, commande la fermeture de  $T$ . Le principe se fait par comparaison entre les deux signaux utilisant un amplificateur opérationnel.

### II.5. Caractéristique de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

Les paramètres essentiels de la MLI sont :

La fréquence de modulation :  $f_p$

L'indice de modulation :  $m = \frac{f_p}{f_r}$  ou  $f_r$  est la référence.

Le coefficient de réglage en tension  $r$  :  $r = \frac{\Delta r}{A_p}$

Avec :

$A_r$ : Amplitude de la référence.

$A_p$ : Amplitude de la porteuse.

La modulation montre que plus « $m$ » est grand et plus la neutralisation des harmoniques est efficace, d'autre part on cherche à obtenir une valeur de  $r$  la plus élevée possible [II.1].

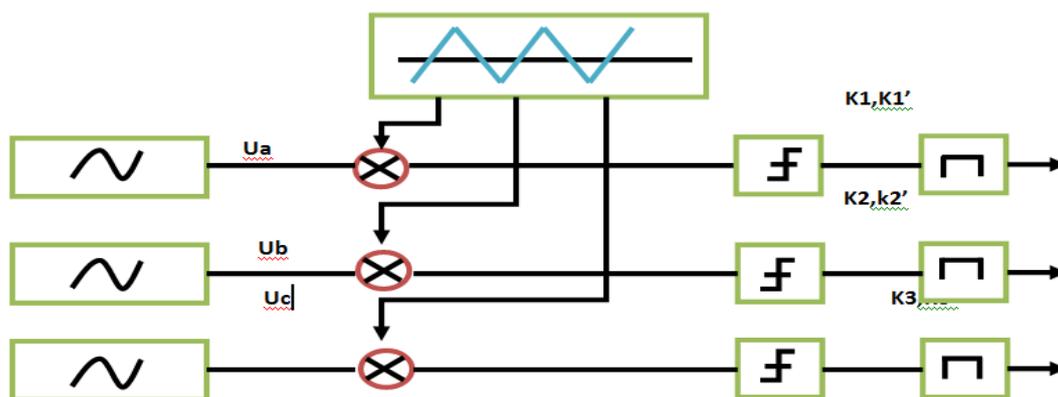
La modulation est dite synchrone si « $m$ » est un nombre entier cela conduit à une tension de sortie « $U$ ' » qui se reproduit identiquement à elle-même tout les  $T = 1/f$ .

Dans certains cas la modulation est asynchrone, notamment quand à fréquence de modulation donnée, on fait varier de façon continue la fréquence de la référence. (Commande vectorielle)

Pour le choix de « m », on doit tenir compte des pertes supplémentaires pendant les  $f_p$  commutations d'un état à l'autre. Ces pertes croissent lorsque la fréquence de modulation augmente.

On ne pourra jamais fonctionner avec un rapport de réglage égal à « 1 », car il faut toujours laisser une durée suffisantes aux intervalles de conduction et de blocage des interrupteurs d'un même bras.

Le schéma synoptique de la commande par modulation triangulaire- sinusoïdale triphasé est donné par la Figure



**Figure II.3:** Schéma synoptique de la commande en MLI (triphasé).[II.2]

## II.6. Différentes techniques de modulation de largeur d'impulsions :

Plusieurs techniques de modulations ont été adoptées afin d'améliorer la qualité de la tension à la sortie, parmi les quelles on peut citer :

### II.6.1.La modulation sinusoïdale triangulaire unipolaire (SPWM) :

Dans ce cas, le signal de référence est sinusoïdal, on obtient à la sortie du redresseur une onde formée d'un train d'impulsion de largeur variable **Figure (II.4)**.

Les instants de commutations sont déterminés par des points d'intersection entre la porteuse et la modulante.

La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse. Ce type de MLI est la plus utilisée dans les applications industrielles, car elle s'est avérée la plus efficace pour la neutralisation des harmoniques [II.3] [II.4]

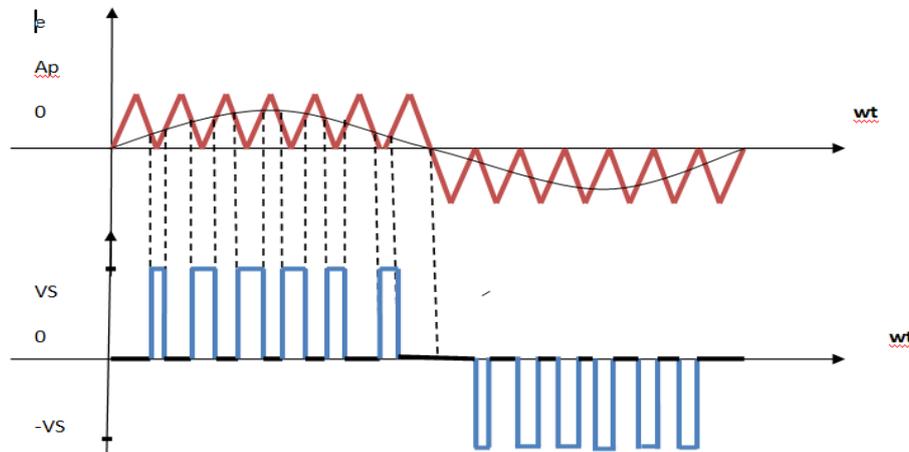


Figure II.4:MLI sinusoïdal triangulaire unipolaire[II.2]

### II.6.2.La modulation sinusoïdale partielle (ou modifiée) (MSPWM) :

Le signal de référence est toujours sinusoïdal, sauf que dans cette technique la porteuse n'est pas appliquée au milieu des alternances de la sinusoïde (Figure II.5).

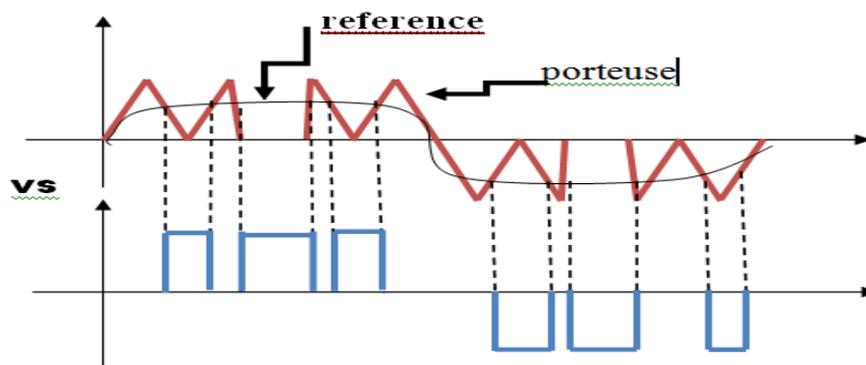


Figure II.5 : La modulation sinusoïdale modifiée. [II.2]

### II.6.3.L'injection de l'harmonique de rang 3 dans la référence :

En triphasé, on peut améliorer les performances de la modulation en utilisant cette technique qui consiste à ajouter un harmonique 3 à la sinusoïde de fréquence «  $f$  » pour former l'onde de référence Figure.II.6

$$\begin{cases} V_{ref_a}(t) = \frac{uc}{2} (r \cdot \sin(\omega \cdot t) + a \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t)) \\ V_{ref_b}(t) = \frac{uc}{2} (r \cdot \sin(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}) + a \cdot \sin(3 \cdot (\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}))) \\ V_{ref_c}(t) = \frac{uc}{2} (r \cdot \sin(\omega \cdot t - \frac{4\pi}{3}) + a \cdot \sin(3 \cdot (\omega \cdot t - \frac{4\pi}{3}))) \end{cases} \quad (II.3)$$

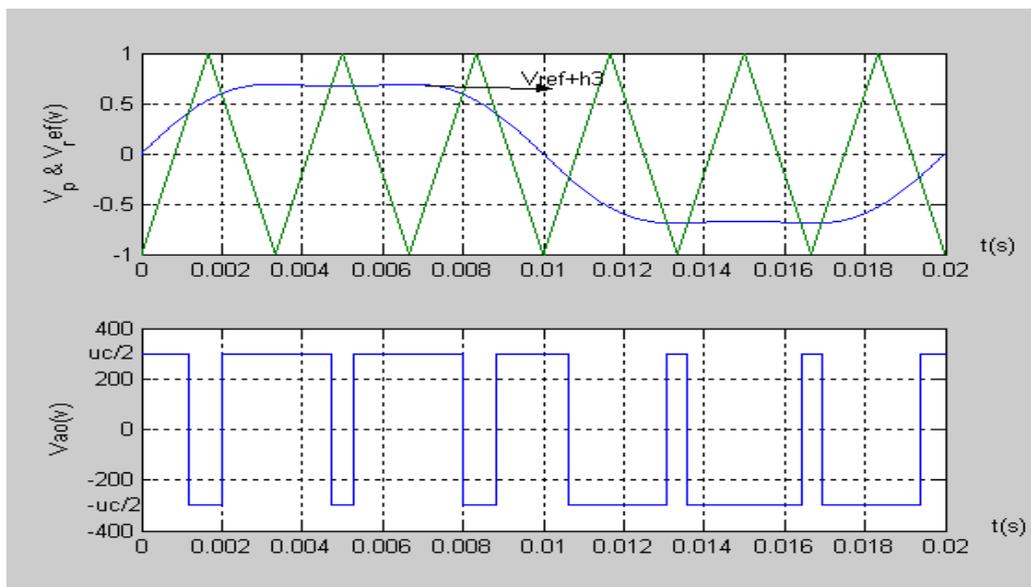
On pose :

$$e = a \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) \quad (II.4)$$

$e$  : coefficient d'excentricité,

$$r/6 \leq a \leq r/4$$

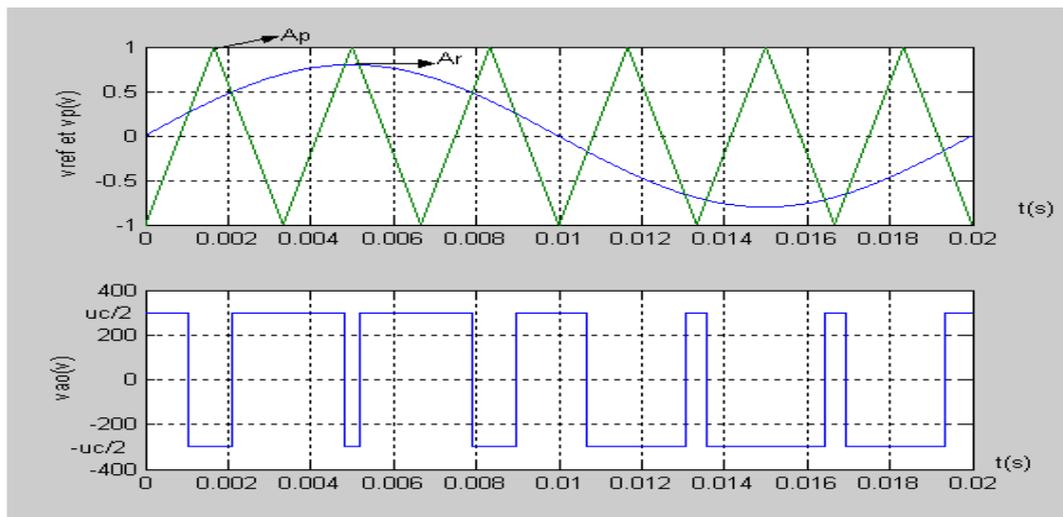
L'addition d'harmonique permet d'augmenter l'amplitude maximale du fondamental dans la référence, et par là dans les tensions de sortie [II.4] [II.5]



**Figure II.6 : MLI avec l'injection de l'harmonique 3 [II.2]**

#### **II.6.4. La modulation sinusoïdale avec porteuse bidirectionnelle :**

Le principe de cette technique est le même que celui de la modulation sinusoïdale, sauf que la porteuse triangulaire est bidirectionnelle (bipolaire) **Figure(6)**.



**Figure II.7 :** La modulation sinusoïdale avec porteuse bidirectionnelle. [II.2]

### **II.6.5. La modulation calculée :**

Cette technique de MLI consiste à calculer les instants de commutation des interrupteurs de manière à répondre à certains critères portant sur le spectre fréquentiel de l'onde délivrée par l'onduleur. [II.3] [II.6] Les critères usuellement retenus sont :

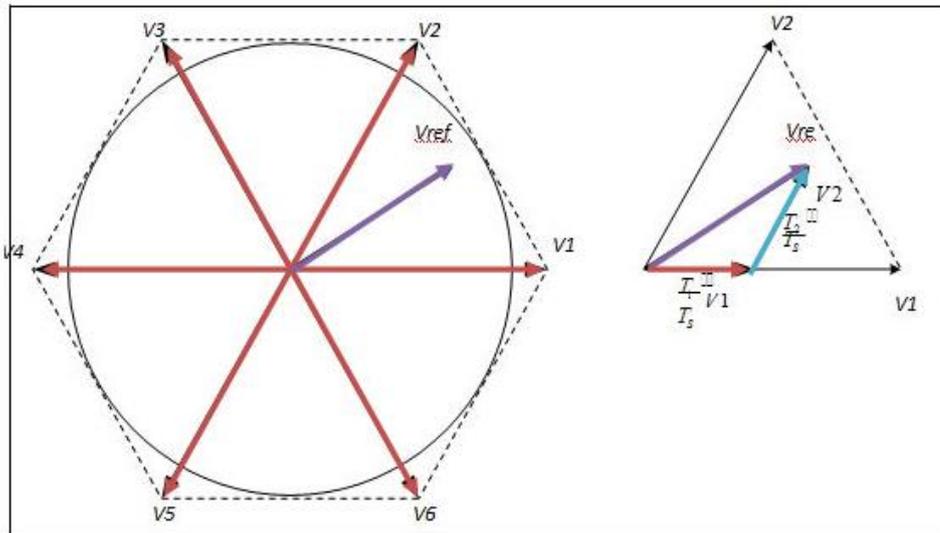
- élimination d'harmoniques de rangs spécifiés.
- élimination d'harmoniques dans une bande spécifiée.
- minimisation d'un critère harmonique global.

### **II.6.6. La Modulation vectorielle :**

La modulation vectorielle est une variante de la MLI (Modulation de largeur d'impulsion), Elle a été introduite en Allemagne par Baschle en 1971. Elle est généralement utilisée dans la commande des machines électriques. Cette technique consiste à présenter les tensions sous forme de vecteurs et à appliquer ces vecteurs pendant une période de temps donnée.

Cette composition de vecteurs est présentée sous forme d'un diagramme vectoriel. La SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) se distingue de la MLI inter sélective par le fait de ne pas utiliser trois modulateurs séparés pour les trois bras d'un onduleur mais un seul vecteur global qui représente les états des trois bras en même temps.

Le travail de la SVPWM consiste au calcul des intervalles de temps accordés à chaque vecteur de tension pendant la durée du cycle de modulation, afin d'obtenir le vecteur de référence[II.3]



**Figure II.7:** Modulation vectorielle (Saadedifard, 2008).

Cette technique de MLI suit les principes suivants :

- Un vecteur tension de contrôle  $V_{ref}$  est calculé globalement est approximé sur une période de modulation «  $T_m$  » par un vecteur tension moyen.
- Pour chaque phase réalisation d'une impulsion de largeur  $T$  centrée sur la période dont la valeur moyenne est égale à la tension de référence à l'instant d'échantillonnage.
- Tous les interrupteurs d'un même demi-pont ont un état identique au centre et aux deux extrémités de la période.

### **II.7.Principaux avantages de la M.L.I :**

La modulation de largeur d'impulsion présente les avantages suivants :

- Une bonne neutralisation d'harmonique par rapport aux onduleurs à onde carrée ou en un seul créneau.

- Elle permet de repousser vers des fréquences élevées les harmoniques de la tension de sortie, ce qui facilite le filtrage.
- De faire varier la valeur du fondamental de tension de sortie.
- La MLI permet aussi l'alimentation de plusieurs ensembles onduleurs, moteurs asynchrones à partir d'une même source continue.

Nous nous proposons donc de simuler les techniques suivantes :

-La modulation sinusoïdale- triangulaire unipolaire.

-La modulation de largeur d'impulsion multiple.

-L'injection de l'harmonique 3 dans la référence. .

### **II.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques types de commande à modulation de largeur d'impulsion, bien connues et largement discutés en littératures. La commande est un élément clé pour la conversion statique elle doit permettre au convertisseur de fournir une tension et un courant avec forme d'onde répondant à un cahier de charge bien précis de la charge à alimenter.

# **CHAPITRE III**

## **Topologie de l'onduleur 3 niveaux**

### III.1. Introduction :

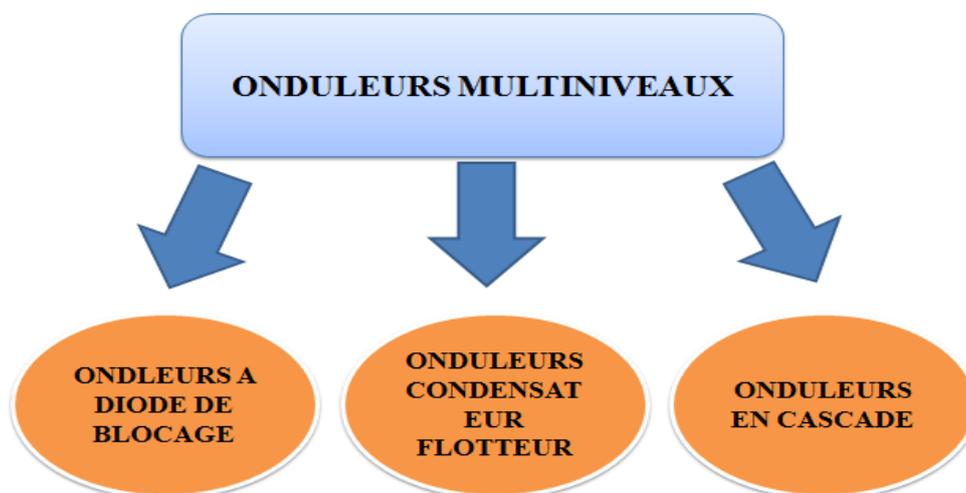
La première structure d'onduleurs multiniveaux à apparaître est le NPC (Neutral Point Clamped) à trois niveaux, proposé par Nabea [III.1]. L'extension de cette topologie, aux niveaux supérieurs à trois, a permis l'apparition de la topologie d'onduleur multiniveaux à diode de bouclage (**Diode Clamped Inverter**) [III.2] [III.3].

Ce chapitre porte, sur l'étude détaillée de l'onduleur de tension à trois niveaux de type NPC (structure et principe de fonctionnement). Et les Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux et présente les simulations

### III.2. Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux :

L'onduleur de tension multi-niveaux possède trois ou plusieurs niveaux. Le but de cette partie est de donner une vue générale des trois topologies de base des onduleurs multiniveaux :

- la topologie à diode de bouclage (NPC).
- la topologie au condensateur flotteur (à cellules imbriquées).
- l'onduleur à pont en cascade H-bridge.



**Figure III.1 :** Les différentes topologies des onduleurs multi-niveaux

### III.2.1.Topologies NPC avec diode de bouclage :

Cette topologie a été présentée la première fois par [Nabae] et [Akagi] (1981).

L'onduleur NPC à trois niveaux est donné par la Figure(II-2). [III.1]

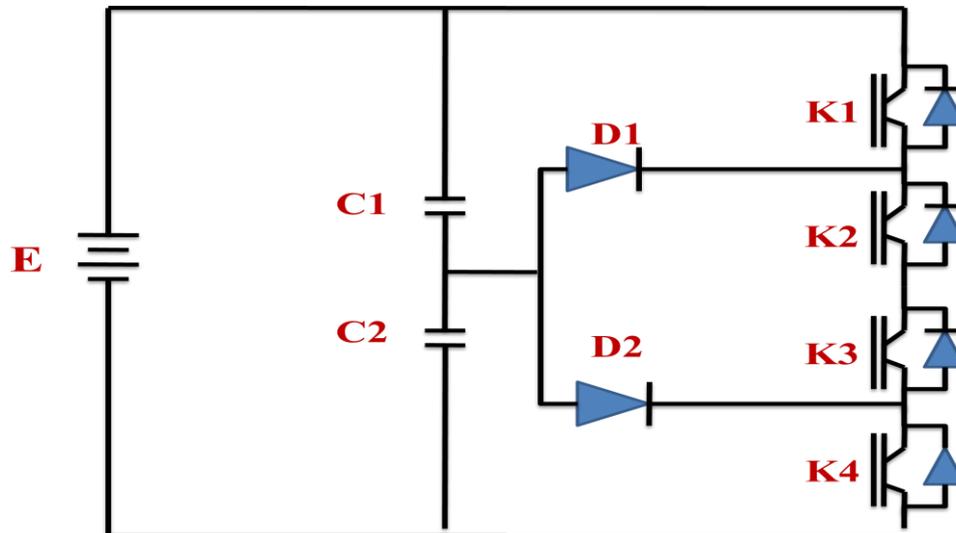


Figure. III.2 : Onduleur NPC à trois niveaux.

### III.2.2.Topologies NPC à condensateur flotteur (FC) :

Cette architecture a été introduite par Meynard et Foch (1992). [III.4]

L'avantage de cette topologie est d'éliminer le problème des diodes de bouclages présentés dans les topologies des onduleurs NPC multiniveaux. [III.4]

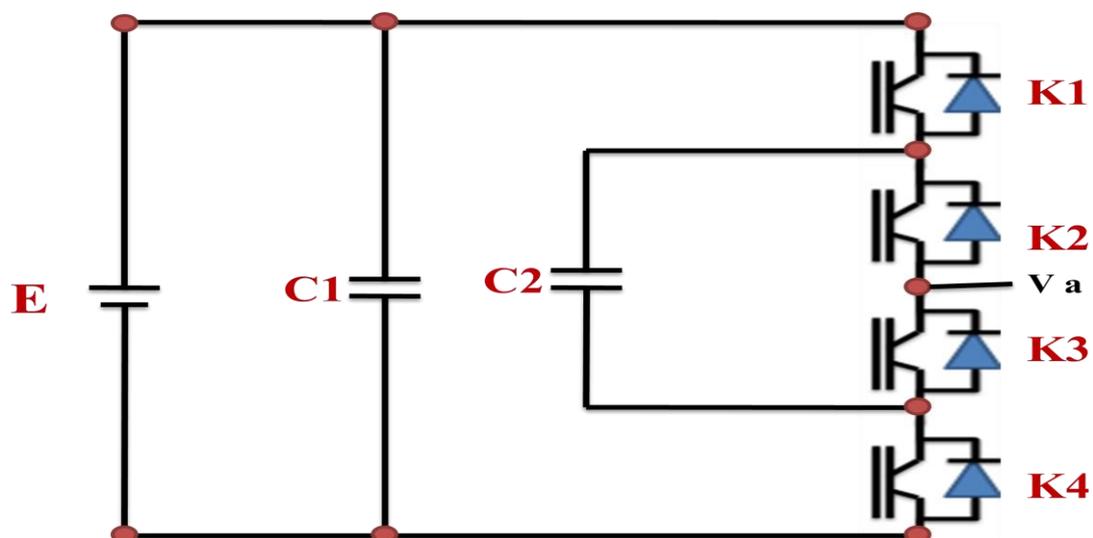
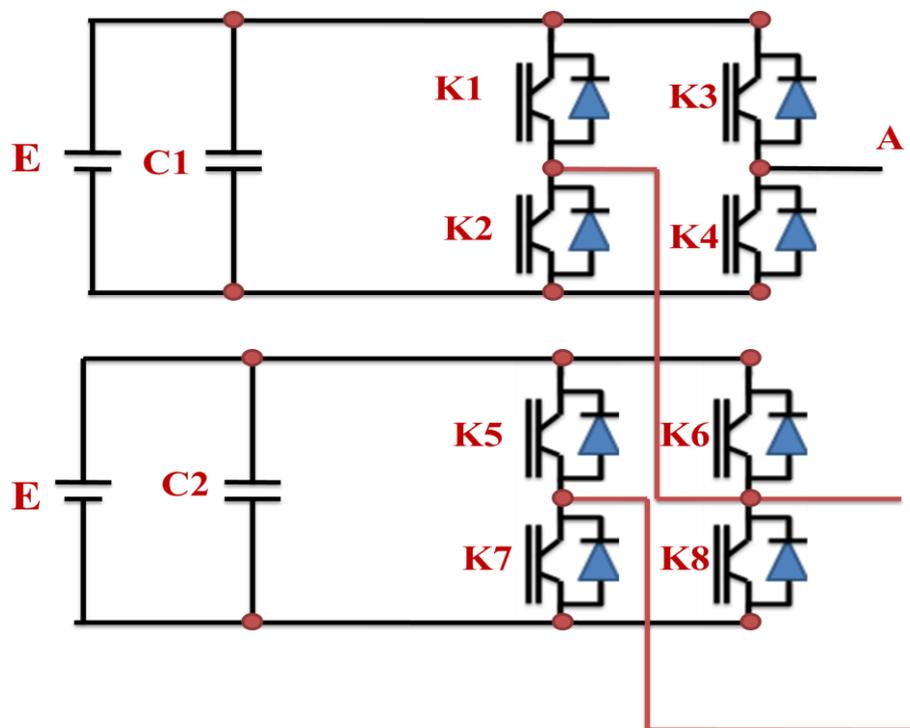


Figure III.4: Onduleur à condensateurs flotteurs à trois niveaux

### III.2.3.Topologies pont H (en cascade) :

Le premier modèle d'onduleur était l'onduleur en pont **H (en anglais H-bridge)**, apparu en 1975. Un progrès des onduleurs multiniveaux a été dû au modèle en pont **H** cascadié en série. La première application d'onduleur pont H était pour la stabilisation des plasmas en 1988. [III.5] Les sorties des onduleurs en pont sont connectées en série de telle sorte que l'onde de la tension synthétisée soit la somme des tensions de sortie. L'avantage majeur de cette approche est que le nombre de paliers sur le motif de la tension de sortie peut être augmenté sans aucun ajout de nouveaux composants. L'utilisation de cellules de conversion de puissance en série permet d'accroître le nombre de niveau de tension et de puissance du convertisseur. Mais l'inconvénient majeur de cette topologie est le grand nombre de tensions continues isolées exigées pour chaque pont. **Figure (II-6).** [4]



**Figure III.6 :** Onduleur en cascade à 5 niveaux.

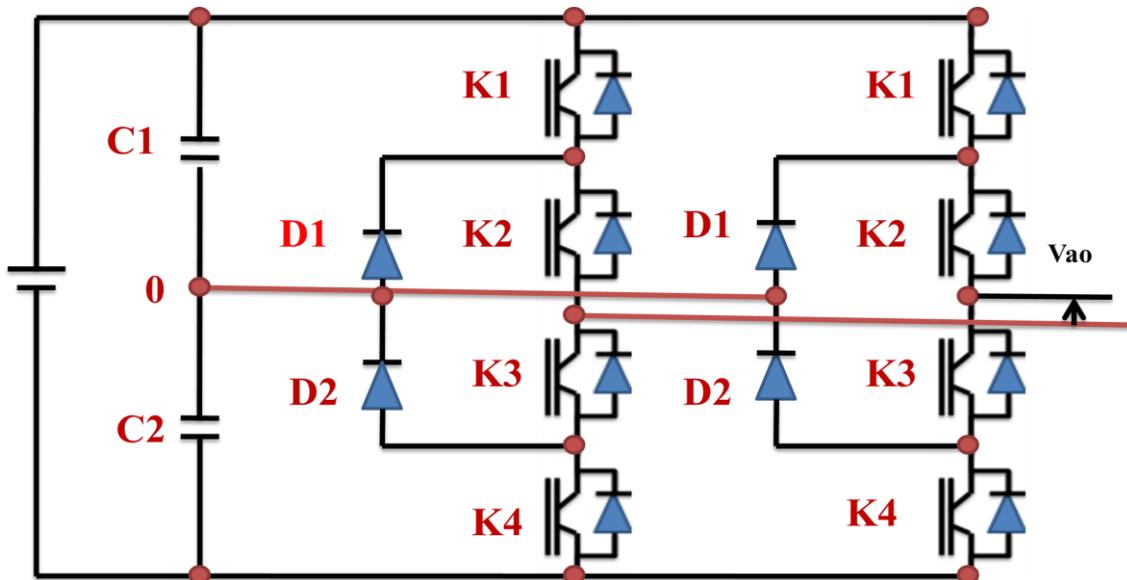
### III.2.Onduleur à trois niveaux de type NPC :

#### III.2.1.Structure :

L'idée de base de l'onduleur NPC est l'obtention d'une tension de sortie à trois niveaux par la superposition de deux interrupteurs élémentaires alimentés chacun par une source de tension continue distincte.

La structure de l'onduleur de tension monophasé de type NPC à 3 niveaux est représentée par **Figure III.7** Elle est composée de deux demi-ponts monophasés, à partir de la source principale de tension continue  $E$  et à l'aide d'un diviseur de tension capacitif formé par les condensateurs  $C1$  et  $C2$  de même capacité, on obtient deux sources secondaires de tension continue délivrant chacune un potentiel à demi tension ( $E/2$ ). Cette structure crée alors un point neutre  $O$  entre les condensateurs  $C1$  et  $C2$ .

Chaque demi-pont est composé de deux étages d'interrupteurs, Chaque étage comporte deux transistors IGBT en série avec un point commun relié par une diode au point neutre  $O$ . Des diodes anti-parallèles sur les transistors assurent la réversibilité des courants de la charge [III.5]



**Figure III.7 :** Structure d'un onduleur triphasé à trois niveaux de type NPC .

### III.2.2.Principe de fonctionnement :

Pour décrire le fonctionnement de l'onduleur monophasé de type NPC, on considère un seul bras dont la structure est représentée par **Figure III.8** Il faut déterminer les valeurs que peut prendre la tension simple  $V_{ao}$  entre la borne "a" de la charge et le point neutre  $O$ .

Cette tension est définie par l'état (0 ou 1) des quatre interrupteurs  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $K_4$  du bras.

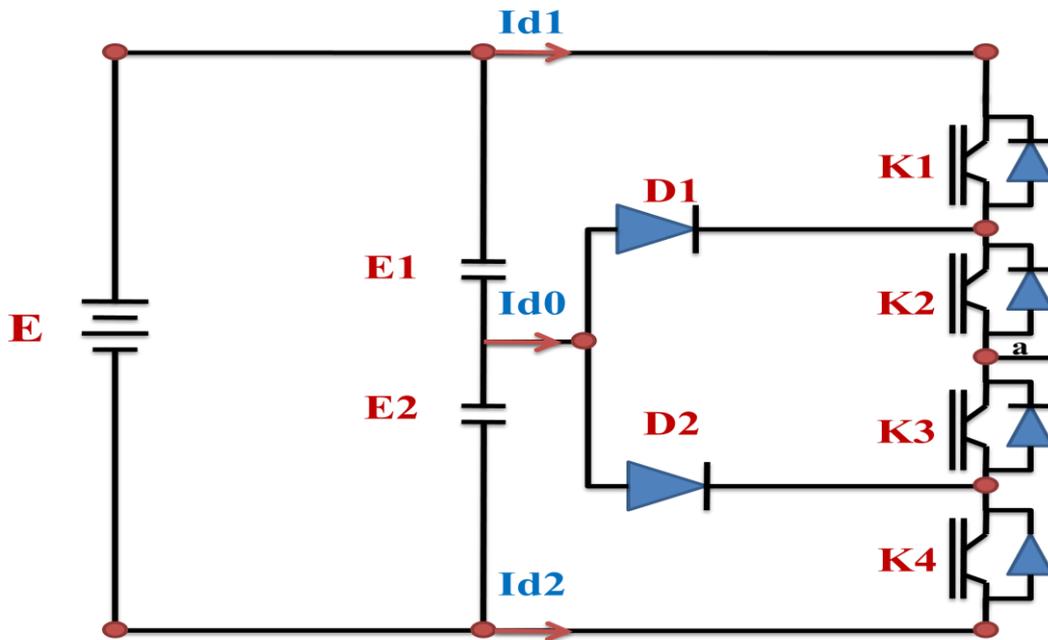


Figure III.8 : Bras d'un onduleur NPC à trois niveaux.

Le sens positif ou négatif des courants  $I_{d0}$ ,  $I_{d1}$  et  $I_{d2}$  fixe le sens du transfert de l'énergie du convertisseur. Lorsque la source de tension est génératrice et la charge est réceptrice, le courant passe à travers les transistors. Lorsque le transfert d'énergie s'effectue de la charge vers la source d'entrée, ce sont les diodes antiparallèles qui assurent le passage du courant.

Sur les  $2^4=16$  configurations possibles, seules trois configurations sont mises en œuvre. Toutes les autres séquences ne sont pas fonctionnelles, et sont donc à éviter. En effet, elles provoquent, soient, des courts-circuits des sources de tension continue, soient, elles provoquent la déconnexion de la charge.

- **Séquences 1 : Génération du niveau maximum :**

Les interrupteurs  $K1$ ,  $K2$  sont passants et  $K3$ ,  $K4$ , sont bloqués comme le montre la **Figure III.9** Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est:  $V_{ao} = +E/2$ .

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K3}=V_{K4}= +E/2. \quad [3.1]$$

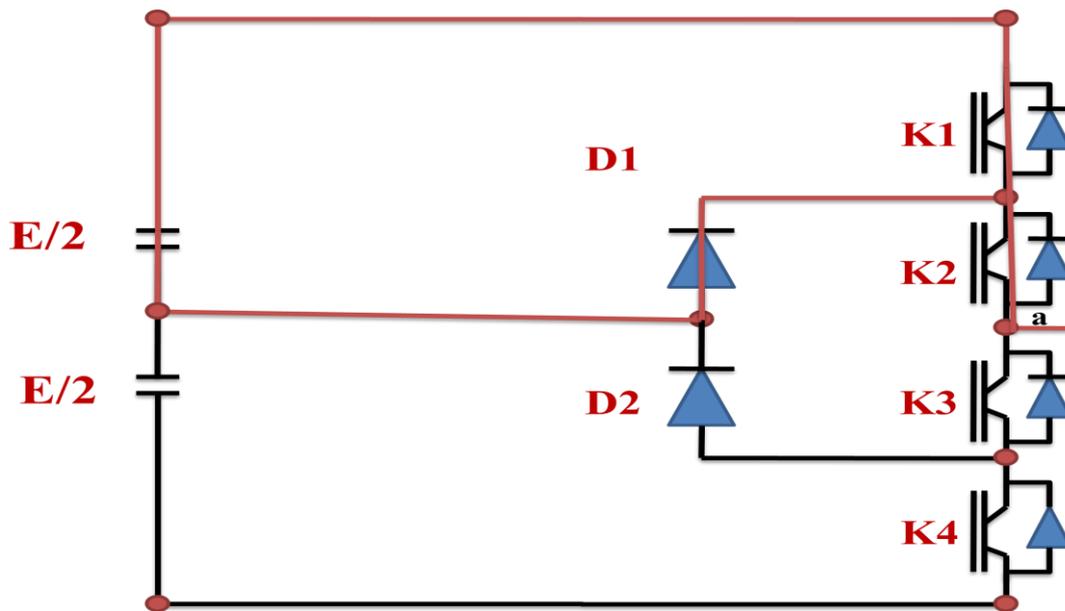


Figure III.9 : 1ère configuration du 1er bras.

• Séquences 2 : Génération du niveau intermédiaire :

Les interrupteurs K2, K3 sont passants et K1, K4 sont bloqués, dans ce cas le point a est relié directement au point 0 à travers l'une des diodes de maintien, comme le montre la Figure III.10 Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est donc nulle,  $V_{ao} = 0$ .

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K1} = V_{K4} = +E/2. \tag{3.2}$$

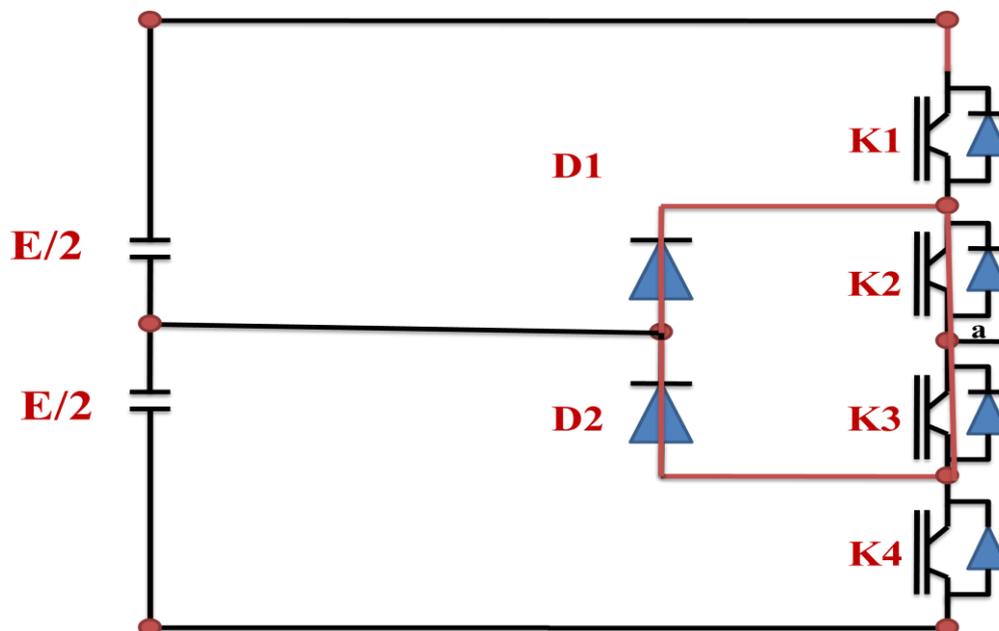


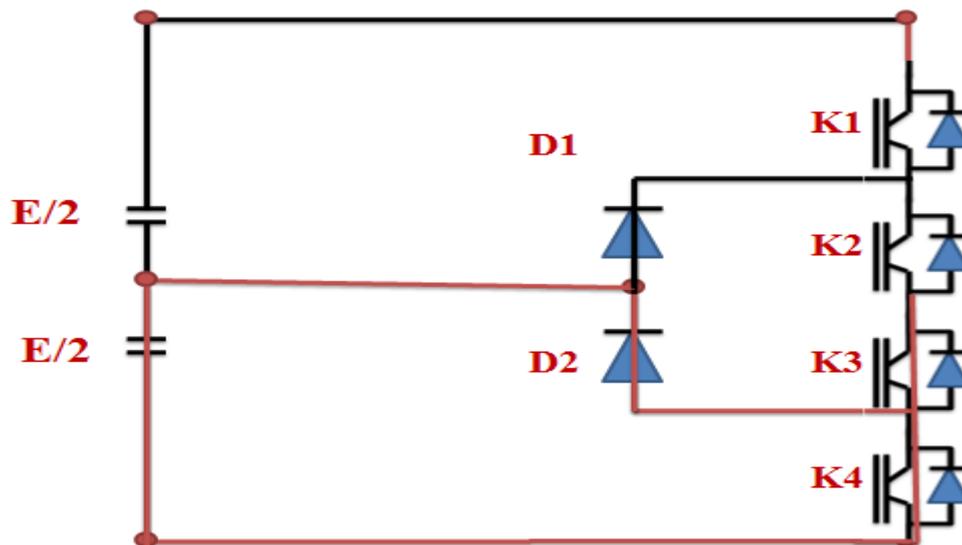
Figure III.10 : 2ème configuration du 1er bras.

- Séquences 3 : Génération du niveau minimum :

Les interrupteurs K1, K2 sont bloqués et K3, K4 sont passants comme le montre la **Figure III.11**. Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est:  $V_{ao} = -E/2$ .

La tension inverse appliquée aux interrupteurs K1, K2 vaut:

$$V_{K1}=V_{K2}= +E/2.$$



**Figure III.11** : 3<sup>ème</sup> configuration du 1<sup>er</sup> bras.

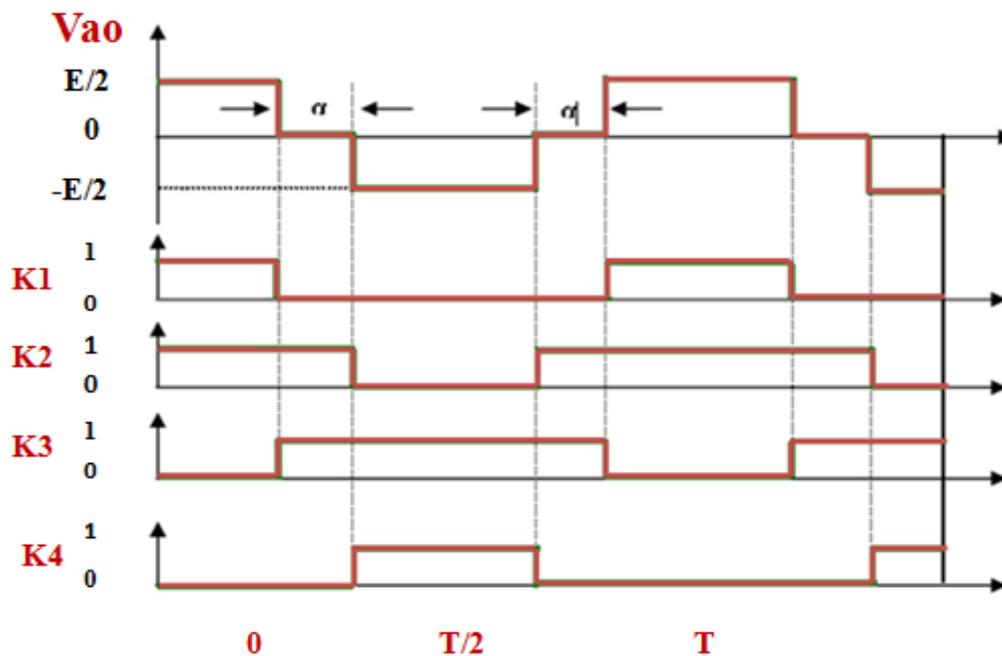
**Le Tableau 1 :**

Représente la tension de sortie  $V_{ao}$  d'un onduleur NPC à 3 niveaux en fonction de l'état des interrupteurs. Outre les variations du potentiel du point milieu, la tension aux bornes des interrupteurs de puissance n'excède jamais la moitié du bus d'entrée.

**Tableau III.1** : Table de commutation de l'onduleur NPC 3 niveaux.

<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b><math>V_{ao}</math></b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b><math>E/2</math></b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b><math>-E/2</math></b>

Les séquences de fonctionnement, la forme d'onde de la tension de sortie et les états des interrupteurs sont représentés sur **la Figure (III-12)**.



**Figure III.12 :** Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois Niveaux de type NPC.

Cette analyse montre que, la structure de l'onduleur à trois niveaux limite à  $E/2$  la tension imposée à chaque interrupteur lorsqu'il est bloqué, alors que dans la structure classique de l'onduleur à deux niveaux, cette tension vaut la tension continue complète  $E$ . C'est cette caractéristique de l'onduleur à trois niveaux qui permet de monter en tension et en puissance, dans le cas des applications de forte puissance.

Résultat de simulation avec MATLAB

Onduleur Trois niveaux NPC

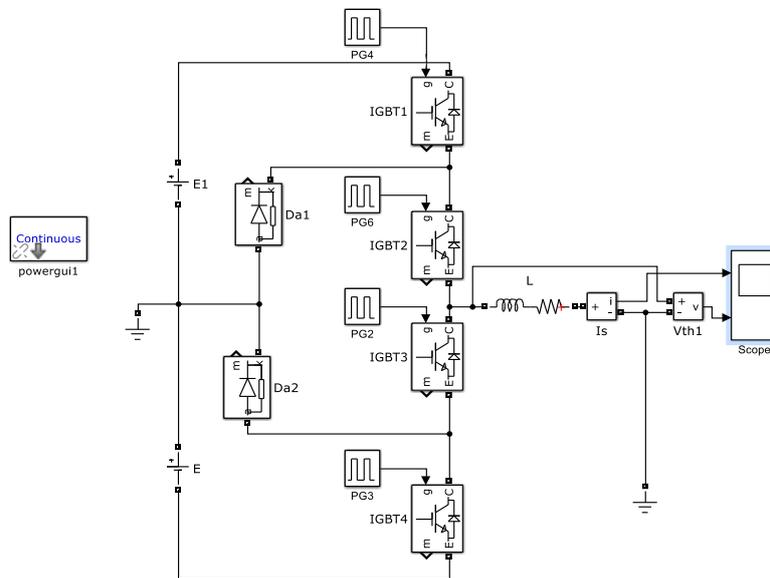


Figure III.13 Topologie NPC sous MATLAB simulink

Sans Modulation de largeur d'impulsion

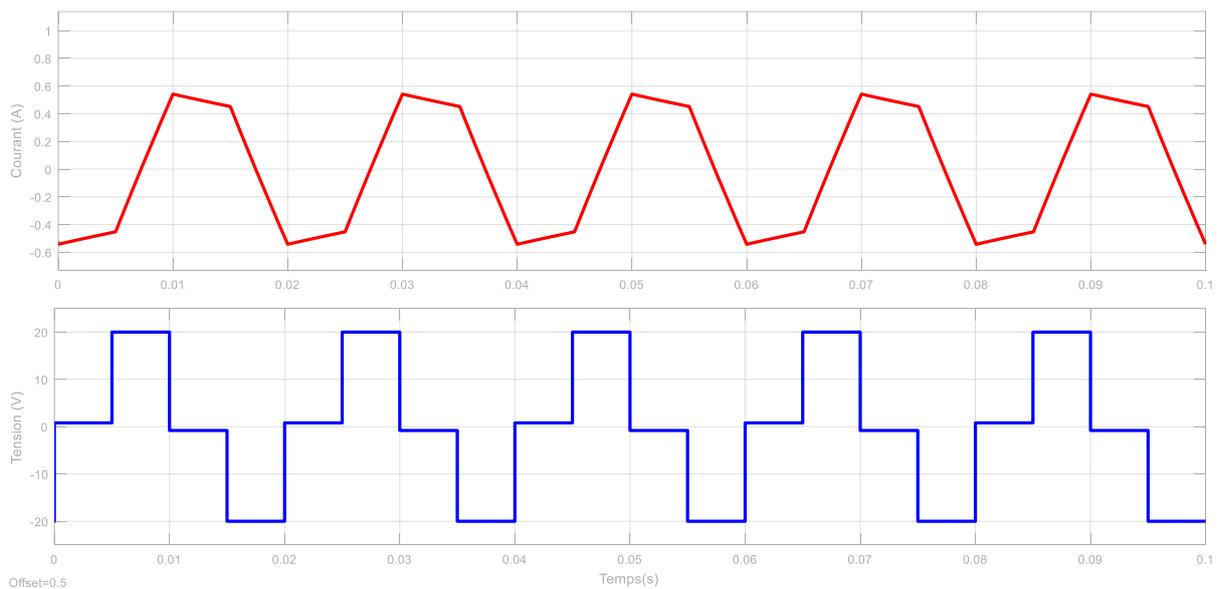
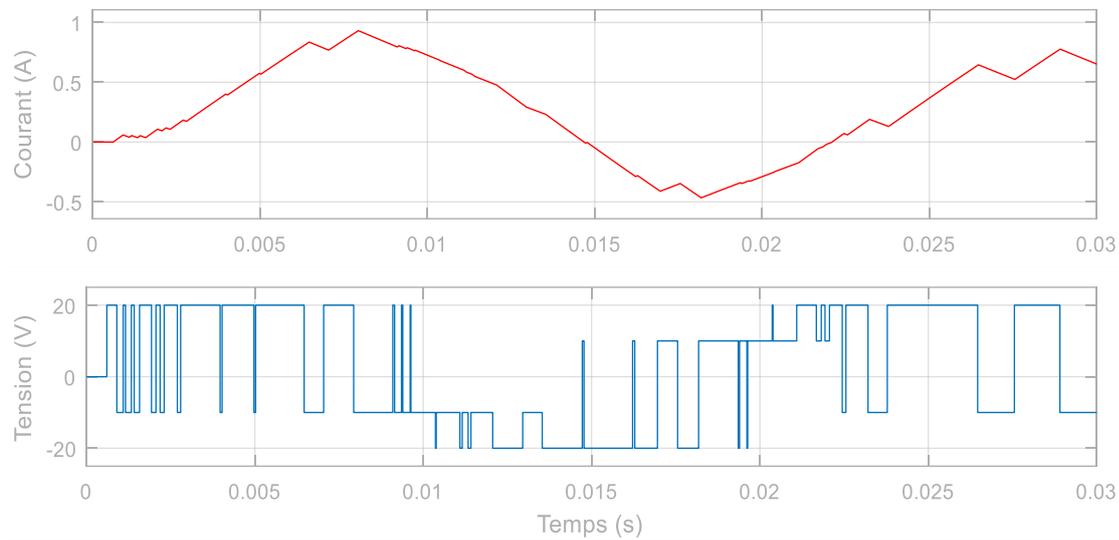


Figure III.14 Résultat de simulation sans MLI

### Avec Modulation de largeur d'impulsion



### III.10 Conclusion :

La MLI peut faire varier la fréquence et la forme d'onde de la tension d'un onduleur à deux niveaux, seulement la forme de la tension de sortie est loin d'être sinusoïdale avec, pour conséquence, une distorsion importante du courant harmonique, ce qui est préjudiciable pour l'efficacité du moteur qui endossera des pertes supplémentaires et des échauffements. Une solution pour améliorer la forme d'onde, consiste à augmenter le nombre de niveaux de tension. La première brique dans ce champ est l'onduleur à trois niveaux. Il permet une introduction à plusieurs applications telle que l'injection de puissance directe en moyenne tension.

# **CONCLUSION GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

Les applications des moteurs industriels sont nombreuses telle que le pompage, la compression, la ventilation, ou encore l'entraînement des tapis roulants ; Les charges entraînées et les vitesses d'entraînement sont souvent variables d'où l'intérêt d'adapter la puissance transmise au moteur par un convertisseur qui respecte une forme d'onde de courant proche de la sinusoïde.

Le multiniveau d'une part, limite la tenue en tension inverse des interrupteurs statiques à des niveaux que la technologie actuelle permet de tenir aisément et d'autre part il contribue à l'amélioration de la qualité de l'énergie en réduisant de façon significative le taux de distorsion harmonique. La configuration trois niveaux, connue depuis un certains temps, discutée dans ce mémoire permet de varier la valeur de la tension efficace appliquée à la charge et réalise donc un contrôle de la puissance transmise.

## Bibliographique

**[I.1] : worldwide Market Statistics and Trends**, darnell group (un cabinet d'études de marché en électronique de puissance).

**[I.2 ] H. Foch et All** : article D3153 Technique de l'ingénieur « Electronique de puissance », 1989

**[I.3] Philippe Leturcq** article D3100 Technique de l'ingénieur « Composants semi-conducteurs de puissance : caractère propres » 1999.

**[II.1] : M-Lavabre** « Électronique de puissance » conversion de l'énergie. Edition casteila

**[II.2] BERREZZEK FARID** « Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone » Mémoire de magister ANNABA 2006 (réf

**[II.3] : guy grelllet guy clerc**« Actionneurs électriques »Edition eyrolles 1997.

**[II.4] : Ahmet M.Hava Russel j kerkman, thomas A.lipo Carrier-based PWM-VSI overmodulation strategies : Analysis, and design** IEEE transactions on power electronics vol .13, NO, 4 July 1998

**[II.5] : guy seguier, francis labrique,Robert Baussieren** « Les convertisseurs de l'électronique de puissance » « Volume 4»

**[II.6] : Y-SAHLI et M.K FELLAH**

« Technique de modulation à sélection d'harmoniques (SHE)(PWM) pour la commande Des onduleurs de tension à trois niveaux monophasé et triphasé Intelligent control au electrical power systems laboratory. ICEPS Université djillali liabs -sidi bel Abbes.

**[III.1] : A. Nabae, I. Takahashi and H. Akagi**, “A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter”, IEEE Trans. Ind. Application, **Vol. IA-17, pp. 518-523, Sep./Oct. 1981.**

**[III.2] : G. Sinha and T. A. Lipo**, “A Four-Level Inverter Based Drive with a Passive Front End”, IEEE Trans. on Power Electronics, **vol. 15, No. 2, March 2000.**

**[III.3] : [D. Busse, J. Erdman, R. J. Kerkman, D. Schlegel and G. Skibinski**, “The Effects of PWM Voltage Source Inverters on the Mechanical Performance of Rolling Bearings” IEEE, **pp. 561-568, 1996.**

**[III.4] : N. Celanovic**, “Space Vector Modulation and Control of Multilevel Converters”, Ph.D Thesis, Virginia Polytechnic Institute, **2000.**

**[III.5] : F. Labrique, G. Segulier et R. Bausiere**, “Les convertisseurs de l’électronique de puissance, T.4 – La conversion continu – alternatif”, Édition Lavoisier, France, **1995**.

**[III.6] Daniel DEPERNET** « Optimisation de la commande d’un onduleur MLI à trois niveaux de tension pour machine asynchrone » Thèse de l’Université de Reims 1995. (Réf pour signaux MLI 3 niveaux)

**Thi Minh Chau LE** « Couplage onduleur photovoltaïques et réseau, aspects contrôle/commande et rejet de perturbations » Thèse de l’université de Grenoble 2012

## Résume :

L'objectif principal de cette étude est l'élaboration de la stratégie d'élimination d'harmonique sélective pour la commande des onduleurs multiniveaux mise en série (cascade) Cette étude se fera pour un nombre quelconque d'angles de commutation des interrupteurs constituant l'onduleur (impair). Nous présentons la méthode de résolution des systèmes d'équations non linéaires pour déterminer les angles de commutation appropriés, Les performances de la stratégie d'élimination d'harmoniques sont analysées sur la base d'une comparaison avec la stratégie en pleine onde et triangulo-sinusoidale. Le but de ce mémoire étant d'une part d'obtenir un convertisseur qui présente globalement des meilleures performances dans les normes internationales, en termes de rendement, Enfin nous validerons nos résultats à l'aide de quelques simulations faites sous MATLAB.

**Les mots clés :** onduleurs multiniveaux onduleur en cascade ; élimination d'harmonique sélective.

## ملخص :

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو وضع استراتيجية لحذف التشوهات الانتقائية والتحكم في المحولات المتعددة المستويات على التسلسل (سلسلة) وسيتم إجراء هذه الدراسة من أجل عدد الزوايا من مفاتيح تشكل العاكس (الفردية). نقدم طريقة حل نظم المعادلات غير الخطية لتحديد زوايا التبديل المناسبة. يتم تحليل أداء استراتيجية لحذف التشوهات الانتقائية على أساس مقارنة مع عالي الموجة أو التردد مع (MLI) المتعرج. والهدف من هذه المذكرة هو الحصول على محول يقدم أفضل أداء من حيث المعايير الدولية. وفي الأخير، فإننا سوف تحقق من صحة نتائجنا باستخدام المحاكاة التي أجريت في ماتلاب.

**الكلمات المفتاحية:** العاكس متعدد المستويات ; عاكس بقنطرة السلسلة ; لحذف التشوهات الانتقائية.

## Abstract:

The main objective of this study is the elaboration of the strategy of selective harmonic elimination for the control of multi-level inverters put in series (H-bridge) This study will be done for any number of switching angles of the switches constituting 1 Inverter (odd). We present the method of solving systems of nonlinear equations to determine the appropriate switching angles. The performance of the harmonic elimination strategy is analyzed on the basis of a comparison with the full-wave and triangular- sinusoidal. The aim of this thesis is to obtain a converter that is globally better in international standards in terms of performance. Finally, we will validate our results using simulations made in MATLAB.

**Key Words:** *multilevel inverter; Cascaded H-bridge Inverter; selective harmonic elimination*