



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électromécanique
Électromécanique

Réf. : ..

Présenté et soutenu par :
Ilyas MESSAI

Le : mardi 9 juillet 2019

Etude et simulation d'un onduleur cinq niveaux

Jury :

Dr. Rabhi Boualaga	Pr	Université de biskra	Rapporteur
Dr. Kiyyour Ibrahim	MAA	Université de biskra	Président
Dr. Derradji Belloum karima	MAA	Université de biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électromécanique
Électromécanique

Présenté et soutenu par :
Ilyas MESSAI

Le : mardi 9 juillet 2019

Etude et simulation d'un onduleur cinq niveaux

Présenté par :
Ilyas MESSAI

Avis favorable de l'encadreur :

Rabhi Boualaga

signature

Avis favorable du Président du Jury

**Kiyyour Ibrahim
Derradji Belloum karima**

Signature

Cachet et signature

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur étude et simulation d'un onduleur cinq niveaux, où nous divisons le travail en trois parties. En première partie, nous avons présenté des généralités sur les onduleurs multi niveaux, Les topologies et les domaines d'application des onduleurs multi-niveaux. Enfin l'association du système photovoltaïque a un onduleur trios niveaux a obtenus une alimentation alternative stabilisée quelque soit la variation d'éclairement ou température.

ملخص

ينتاول العمل المقدم في هذه المذكرة دراسة ومحاكاة موج ذات المستوى الخامس حيث قسمنا العمل الى ثلاثة اجزاء في الجزء الاول قدمنا عموميات عن محاولات متعددة المستويات طبولوجيا ومجالات تطبيق متعدد المستويات. اخيرا تجميع النظام الكهروضوئي مع العاكس ثلاثي المستويات للحصول على تزويد متردد مستقر مهما كان الاخلاف في الاضاءة او درجة الحرارة

Dédicace

Je dédie cet effort scientifique:

Pour la source de compassion et tendre à sacrifier l'école **Maman** et

Patience enregistrés Dieu Qui m'a appris le sens

de la vie A mon cher **père**

M'a fourni un torrent de la science et de la réussite,

Un symbole de sacrifice et Gloire sens de la vie,

A mon très cher m'a appris, que DIEU les Protège, ils m'ont

Soutenu le long de ma vie.

Partagez avec moi La douceur de vivre,

A mes chers frères :

A mes très chères sœurs :

Pour tous mes parents et me connaît de près ou de loin

Pour A mes amies: ma belle amis fidèle tout les amis dans la
université

Dans ces dernières lignes je tiens à remercier mes cher amis
MOHAMMED ,SADAK ,Nacer, Abde Halim pour les beaux
souvenirs les belles moments qui on a passé ensemble.

Et enfin, à tous mes collègues de

La promotion **2ème** année Master de génie électrique

ILYAS MESSAI

Remerciement



Nous devons tout d'abord remercier **ALLAH** notre créateur, pour nous avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudee à nos parent pour leurs encouragements, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

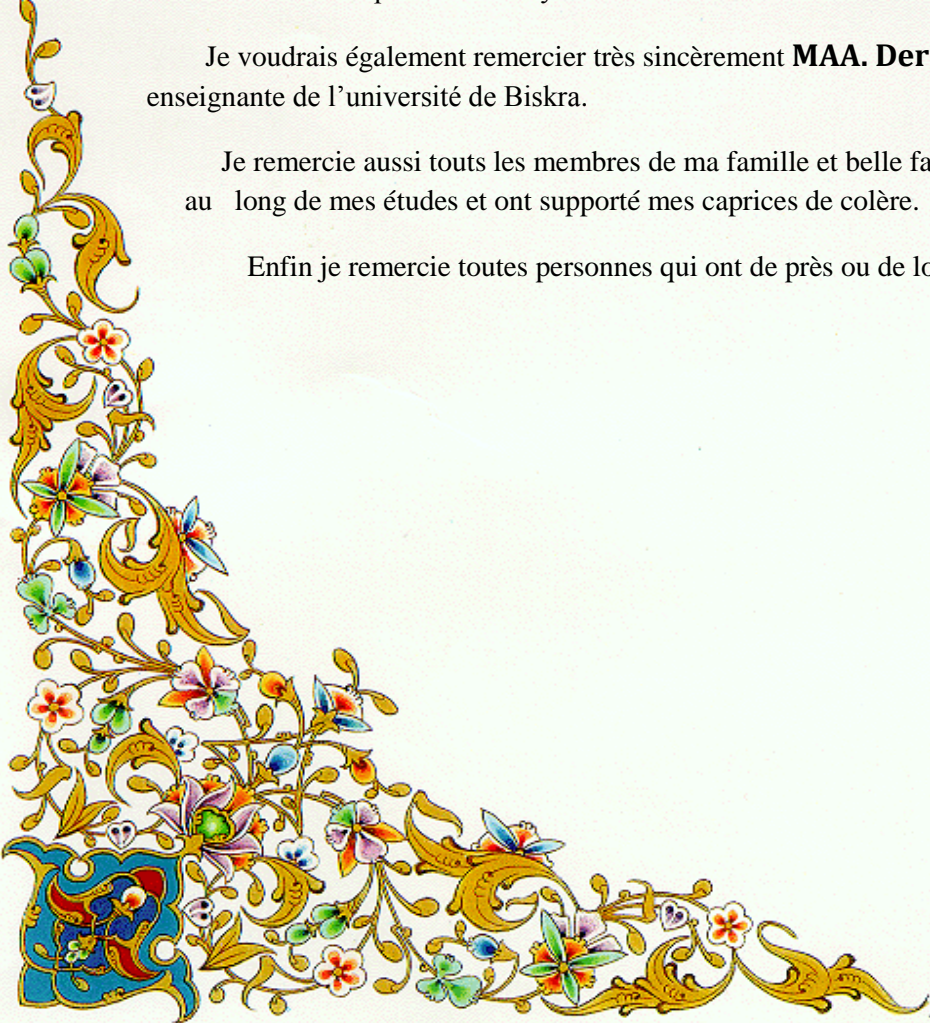
Ainsi, Je tiens également à exprimer nos vifs remerciements les plus sincères à mon encadreur **Pr.Rabhi Boualaga** . pour son encouragement, son attention, sa patience et surtout ses orientation très avisées qui nous a aidé à poursuivre cette étude jusqu'à la dernière minute.

Je voulais également exprimer mes sincères remerciements à **MAA. Kiyour Ibrahim** de m'avoir fait l'honneur de présider le Jury.

Je voudrais également remercier très sincèrement **MAA. Derradji Belloum karima** enseignante de l'université de Biskra.

Je remercie aussi tous les membres de ma famille et belle famille qui mon soutenu tout au long de mes études et ont supporté mes caprices de colère.

Enfin je remercie toutes personnes qui ont de près ou de loin contribué à ce résultat.



Liste des figures

Chapitre I : TOPOLOGIE DES ONDULEURS MULTINIVEAUX

Figure I.1	Diffusion de trous e d'électrons.....	2
Figure I.2	Diode de puissance.....	3
Figure I.3	Caractéristique idéal de la diode de puissance.....	3
Figure I.4	Caractéristique réelle de la diode de puissance.....	4
Figure I.5	fonctionnement d'un transistor.....	5
Figure I.6	Schéma de conversion DC/AC.....	6
Figure I.7	les types de convertisseurs multi-niveaux.....	9
Figure I.8	Bras d'un onduleur NPC à N-niveaux.....	9
Figure I.9	Topologies basées sur le modèle NPC.....	10
Figure I.10	Circuit d'une phase d'un convertisseur à condensateur flottant. à) trois niveaux .b) à cinq niveaux	11

Chapitre II : Etude et simulation des onduleur trois et cinq niveaux type NPC

Figure II.1	Schéma d'un onduleur NPC à 3 niveaux.....	14
Figure II.2	Bras d'un onduleur NPC à 3 niveaux.....	15
Figure II.3	Séquences de fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC trois niveaux...	16
Figure II.4	Signaux de commande des transistor d'un bra d'onduleur type niveaux trois NPC.....	18
Figure II.5	Tension simple Van d'un onduleur type NPC à trios niveaux.....	18
Figure II.6	Tension Vao d'un onduleur type NPC à trois niveaux.....	19
Figure II.7	Schéma d'un onduleur NPC à 5 niveaux.....	20
Figure II.8	NPC 5 niveaux: Principe de commutation.....	22
Figure II.9	Signaux de commande des transistor d'un bra d'onduleur cinq niveaux type NPC	25
Figure II.10	Tension simple Van d'un onduleur type NPC à cinq niveaux.....	25
Figure II.11	Tension Vao d'un onduleur type NPC à cinq niveaux.....	25
Figure II. 12	Schéma de principe de la technique triangulo-sinusoidale.....	26
Figure II.13	Schéma globale de simulation d'un onduleur NPC trois niveaux triphasé commande MLI	27

Figure II.14	signaux de commande de la MLI d'un onduleur triphasé type NPC à 3niveaux	27
Figure II.15	Tension Van d'un onduleur trois niveaux MLI.....	28
Figure II.16	Tension Vao d'un onduleur trois niveaux MLI.....	28
Figure II.17	Tension Vao d'un onduleur cinq niveaux MLI.....	28
Figure II.18	Tension Van d'un onduleur cinq niveaux MLI.....	29
Figure II.19	Analyse spectrale de la tennsion de phase Van avant filtrage	29
Figure.II.20	Analyse spectrale de la tension de phase Van après filtrage.....	31
 Chapitre III: ETUDE LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE		
Figure III. 1	Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série....	33
Figure.III.2	caractéristique résultante d'un groupement en parallèle np cellules identiques	34
Figure III.3	Schéma électrique du modèle à une diode.....	34
Figure III.4	Simulation de module PV.....	35
Figure III.5	La caractéristique Courant-Tension du panneau PV pour l'éclairement $G = 1000W/m^2$ et de température $T_c = 25^\circ C$	36
Figure III.6	La caractéristique Puissance-Tension du panneau PV pour l'éclairement $G = 1000W/m^2$ et de température $T_c = 25^\circ C$	37
Figure III.7	Evolution de la caractéristique (I-V).....	38
Figure III.8	Evolution de la caractéristique (I-P).....	38
Figure III.9	Evolution de la caractéristique (I-V).....	38
Figure III.10	Evolution de la caractéristique (I-P).....	39
Figure III.11	Convertisseur Boost (hacheur élévateur).....	40
Figure III.12	Schéma de convergence vers le PPM par P&O.....	41
Figure III.13	Organigramme de laméthode de perturbationet d'observation.....	42
Figure III.14	Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT P &O.....	43
Figure III.15	La caractéristique I-V la trajectoire de PPM.....	44
Figure III.16	La caractéristique P-V la trajectoire de PPM.....	44

Figure III.17 Circuit de l'onduleur de tension trois niveaux dans le système photovoltaïque	45
Figure III.18 variation de éclairement (1000w/m ² à 800w/m ²).....	46
Figure III.19 variation de Puissance de PV.....	46
Figure III.20 variation de tension sorti avec PV.....	46
Figure III.21 variation de tension sorti après hacheur.....	47
Figure III.22 variation de tension vao sortie par onduleur à trios niveaux.....	47
Figure III.23 variation de tension van sortie par onduleur à trios niveaux.....	47

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude et simulation des onduleur trois et cinq niveaux type NPC

Tableau II.1 Etats possibles de l'onduleur NPC a 3 niveaux..... **17**

Tableau II.2 Etats possibles de l'onduleur NPC a 5 niveaux..... **22**

Chapitre III: ETUDE LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Tableau III.1 Valeurs des paramètres de simulation..... **36**

Liste Abréviation

NPC	Neutral Point Clamped.
IGBT	Insulated Gate Bipolaire Transistor.
MOSFE	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor.
THD	Taux de distorsion harmonique
PPM	Point de Puissance Maximale.
P&O	Perturb And Observe (Perturbation et Observation).
PV	Photovoltaïque
MPPT	Poursuite du Point de Puissance Maximale, 'Maximum Power Point Tracking'
DC	Courant Continu (Direct Current)
AC	Courant Alternatif (Alternative Current)

Nomenclature

E	Tension continue à l'entrée du convertisseur (V).
V_{an}	Tension entre le point a et le neutre (V)
V_{ao}	Tension entre le point a et le point O(v)
V_{ao}	Tension simple du bras a (V)
F	Fréquence de la tension de référence (Hz).
N	Nombre de niveaux.
I_{CS}	Courant de cellules en série
V_{CS}	Tension de cellules en série
NS	Nombre de cellules en série
NP	Nombre de cellules en parallèle
I_{CP}	Courant de cellules en parallèle
V_{CP}	Tension de cellules en parallèle
I_C	Courant d'une seule cellule
V_C	Tension d'une seule cellule
P_{MAX}	Puissance maximale
G	Ensoleillement (w/m ²)
K	Constante de Boltzmann ($k=1.38*10^{-23}$ J/K)

SOMMAIRE

RESUME	i
Dédicace	ii
Remerciement.....	iii
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des Abréviations et nomenclature	viii
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : TOPOLOGIE DES ONDULEURS MULTINIVEAUX	
I.1.Introduction.....	2
I.2. la jonction PN	2
I.3. Diode de puissance	3
I.3.1Princip de fonctionnement (composant parfait).....	3
I.3.2.Composant réel et ses imperfections.....	4
I.4. I.4. Le Transistor	4
I.4.1.Principe de fonctionnement (composant parfait).....	4
I.5. Les différents types des convertisseurs.....	5
I.6. I.6. Les onduleurs	6
I.7. les Types d'onduleurs.....	7
I.7.1. Onduleurs non autonome.....	7
I.7.2.I Onduleur autonome.....	7
I.8. Types d'onduleurs de tension.....	7
I.9. Les onduleurs multi-niveaux	7
I.10. Les de structure des convertisseurs multi-niveaux.....	8
I.11 Topologies multi niveaux.....	8
I.11.1 Onduleur multi niveaux à structure NPC.....	8
I.11.2 Onduleurs multi niveaux avec diodes de bouclage.....	9
I.11.3 Onduleur de tension à condensateurs flottants.....	10
I.12 Autres topologie.....	11
I.13 Domaines d'application d'onduleur multi-niveau.....	12
I.14 Conclusion.....	12
Chapitre II : Etude et simulation des onduleur trois et cinq niveaux type NPC	
II.1. Introduction	13

II.2. Onduleur à trios niveaux type NPC	13
II.2.1 Structure.....	13
II.2.2 Principe de fonctionnement.....	14
II.3 Onduleur à cinq niveaux type NPC.....	19
II.3.1 Structure.....	19
II.3.2 Principe de fonctionneme.....	20
II.4. La modulation MLI sinusoïdale.....	26
II.5. Le Filtre LC.....	29
II.6.Conclusion.....	31
Chapitre III: ETUDE LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	
III.1. Introduction.....	32
III.2.Définition d'un panneau solaire.....	32
III.3.La cellule photovoltaïque.....	32
III.4. Association des cellules photovoltaïques.....	33
III.4.1. Association en série.....	33
III.4.2.Association en parallèle.....	33
III.5. Modélisation du générateur photovoltaïque.....	34
III.6.Simulation de module PV.....	35
III.7.Caractéristiques du PV.....	36
III.8 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes I (V) et P (V)	37
III.9.Les convertisseurs électriques.....	39
III.9.1. Convertisseur DC/DC (Hacheur)	39
III.9.2. Type d'hacheurs.....	39
III.10. Convertisseur élévateur « BOOST ».....	39
III.11.La commande MPPT.....	40
III.12.Les différentes techniques d MPPT.....	40
III.13.La méthode Perturbation & Observation (P&O).....	41
III.14.Principe De La Commande MPPT.....	43
III.15. Chaîne élémentaire de conversion PV avec onduleur à trios niveaux.....	45
III.17.Conclusion.....	48
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
ANNEXE	

***INTROUDCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GENERALE

Le fort développement, en particulier dans le domaine de la technologie, a rendu de nombreuses applications industrielles exigeant des dispositifs à grande énergie ces dernières années. En particulier dans certains moteurs à moyenne tension, les applications de service nécessitent une puissance moyenne de plusieurs centaines de mégawatts. Pour les réseaux à moyenne tension, il est difficile de connecter directement l'adaptateur secteur. En conséquence, un transformateur à plusieurs niveaux a été introduit comme alternative dans les positions de moyenne tension et de grande puissance. Le transformateur à plusieurs niveaux permet non seulement des conversions de puissance élevées, mais permet également l'utilisation d'énergies renouvelables. Les sources d'énergie renouvelables telles que les cellules photovoltaïques, le vent et les piles à combustible peuvent être facilement connectées à un système de transformateur à plusieurs niveaux pour une application de grande puissance.

L'apparition des convertisseurs multi niveaux est l'un des résultats de cette évolution, ils sont utilisés pour l'alimentation des machines à courants alternatif de grandes puissances, il existe plusieurs topologies de ces convertisseurs de puissance utilisés dans l'industrie. Dans le cas de notre travail, on va étudier l'onduleur à trios et cinq niveaux à structure NPC qui nous permet d'augmenter la puissance délivrée à la charge, ainsi d'améliorer la forme de la tension de sortie pour qu'elle soit plus proche de la sinusoïde.

Le sujet du mémoire consiste à étudier et simuler un onduleur trios et cinq niveaux associé à un des panneaux photovoltaïques.

Le premier chapitre présente les différentes topologies des convertisseurs multi-niveaux et énumérez quelques domaines d'applications des onduleurs multi-niveaux.

Le deuxième chapitre est consacré à la simulation d'un onduleur trios et cinq niveaux et son association à un filtre LC pour atténuer le résidu d'harmoniques.

Le troisième chapitre présente le système photovoltaïque et l'association des panneaux commandés avec MPPT à un onduleur trois niveaux pour former une alimentation alternative stabilisé pour différentes 'éclaircissements et températures.

CHAPITRE I

TOPOLOGIE DES

ONDULEURS

MULTINIVEAUX

I.1. Introduction

L'avancement de la technologie, en particulier dans le domaine d'électronique de puissance a permis aux onduleurs multi niveaux de devenir comme une alternative très importante dans le domaine de conversion d'énergie de grande puissance.

Les onduleurs multi niveaux permettent d'augmenter la tension de sortie des convertisseurs statiques au-delà des limites des semi conducteurs. Pour les réaliser on doit disposer de plusieurs sources de tension continue mises en séries [1].

Dans ce chapitre, nous présenterons les onduleurs multi niveaux, les structures des différentes topologies et leurs domaines d'application.

I.2. la jonction PN

C'est une structure qui résulte de la juxtaposition dans un même matériau semi conducteur de deux zones, l'une de type P et l'autre de type N. Dès la juxtaposition, des courants de diffusion de trous et d'électrons se développent autour de la jonction et créent, au voisinage immédiat de celle-ci, une barrière de potentiel qui s'oppose aux courants de diffusion des porteurs majoritaires de chaque zone [2].

La jonction PN des deux régions puisées respectivement P et N et des deux zones adjacentes suppose qu'elles seront brusques (Figure I.1), ce qui signifie que la transition de la zone P à la zone N est brusque. Lorsque les deux régions sont combinées, la différence de concentration entre les porteurs de P et de N provoquera le courant de propagation, ce qui tend à focaliser la concentration de porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la zone P se répandront vers la zone N, laissant derrière eux des atomes ionisants, qui constituent le plus grand nombre de charges négatives fixes. Il en va de même pour la région N électrons qui se propagent vers la région P en laissant une charge positive [3].

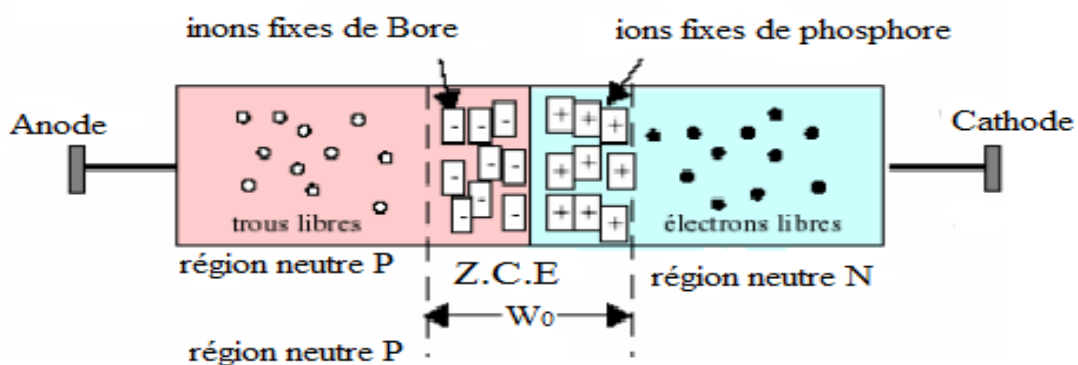


Figure (I.1) : Diffusion de trous et d'électrons

I.3. Diode de puissance

La diode de puissance est un composant non commandé (ni à la fermeture ni l'ouverture) elle n'est pas réversible en tension et ne supporte qu'une tension anode-cathode négative ($V_{AB} < 0$) à l'état bloqué. Elle n'est pas réversible en courant et ne véhicule qu'un courant dans le sens anode -cathode positif à l'état passant ($I_{AB} > 0$) [5]. La figure (I.2) présente le schéma symbolique d'une diode de puissance.

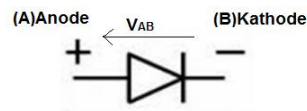


Figure (I.2) : Diode de puissance.

I.3.1. Principe de fonctionnement (composant parfait)

La caractéristique de fonctionnement de la diode est :

- Diode passante, tension $V_d = 0$ pour $I_d > 0$
- Diode bloquée, courant $I_d = 0$ pour $V_d < 0$

C'est un interrupteur électronique qui se ferme dès que $V_d > 0$ et qui s'ouvre dès que $I_d = 0$.

Une diode se comporte comme un interrupteur parfait dont les commutations sont exclusivement spontanées. La figure (I.3) présente la caractéristique idéal d'une diode de puissance.

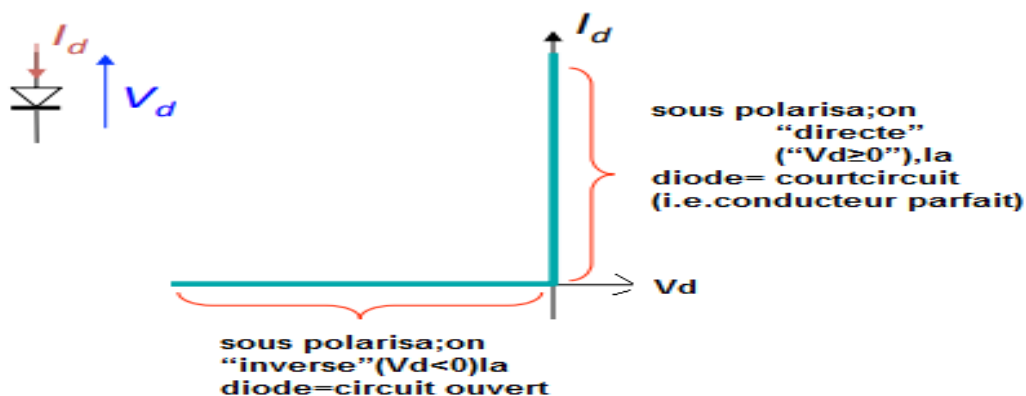


Figure (I.3) : Caractéristique idéal de la diode de puissance.

I.3.2. Composant réel et ses imperfections

Le fonctionnement réel est toujours caractérisé par ses deux états :

- à l'état passant : $v_{AK} \approx 0$, le courant direct est limité au courant direct maximal

à l'état bloqué: $i_{AK} \approx 0$, la tension inverse est limitée (phénomène de claquage par avalanche) à la tension inverse maximale. La figure (I.4) présente la caractéristique réelle d'une diode de puissance. [6]

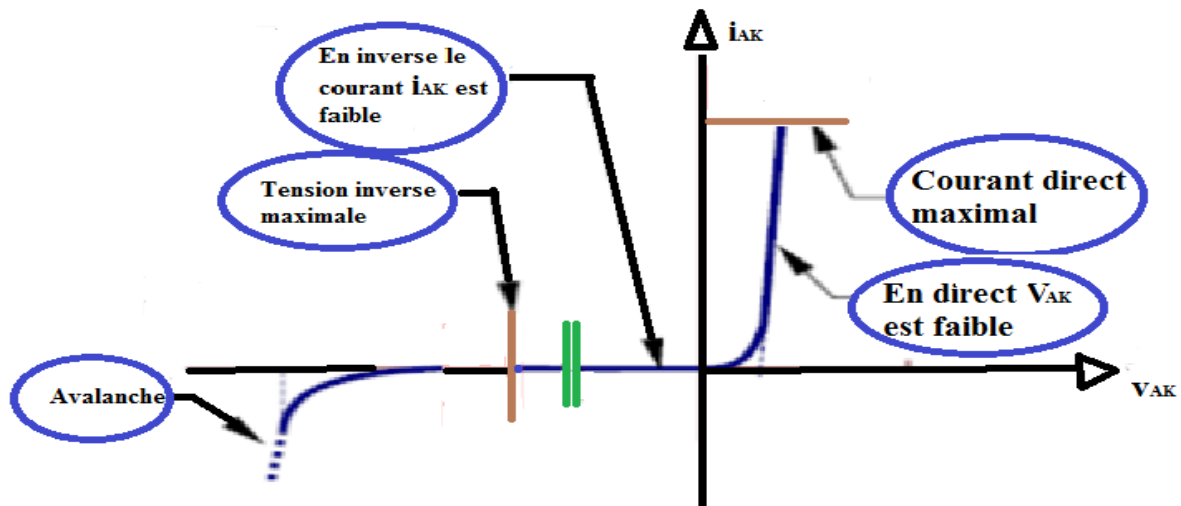


Figure (I.4) : Caractéristique réelle de la diode de puissance

I.4. Le Transistor

Un transistor est un interrupteur commandé à deux segments de même signe. En plus de ces électrodes principales, un transistor possède une électrode de commande sur laquelle il est possible d'agir pour provoquer son changement d'état de façon quasi-instantanée. On retrouve plusieurs technologies remplissant globalement la même fonction. Transistors BJT (Transistor à jonction bipolaire), Transistors MOSFET (transistor à effet de champ, Métal Oxyde Semi Conducteur) et IGBT (transistor bipolaire à grille isolée, Insulated Gate Bipolar Transistor). Ce sont tous des composants unidirectionnels en tension et en courant [7].

I.4.1 Principe de fonctionnement (composant parfait)

Un interrupteur dont les deux segments appartiennent au même quadrant du plan ($v-i$) (par exemple OA et OB) réalise la fonction transistor C'est un interrupteur commandé. Les deux segments de sa caractéristique ne se distinguent plus par un changement de polarité du courant et de la tension. Le segment sur lequel se trouve le point de fonctionnement doit être fixé par un signal de commande via un accès de commande [8]:

- le signal de commande ON fixe le point de fonctionnement sur la branche OA, l'interrupteur est fermé,
- le signal de commande OFF fixe le point sur OB, l'interrupteur est ouvert. Un transistor comporte donc trois bornes, deux bornes de puissance entre lesquelles il remplit la fonction interrupteur et une borne auxiliaire qui forme avec une borne de puissance l'accès de commande. La figure (I.5) présente le fonctionnement d'un transistor.

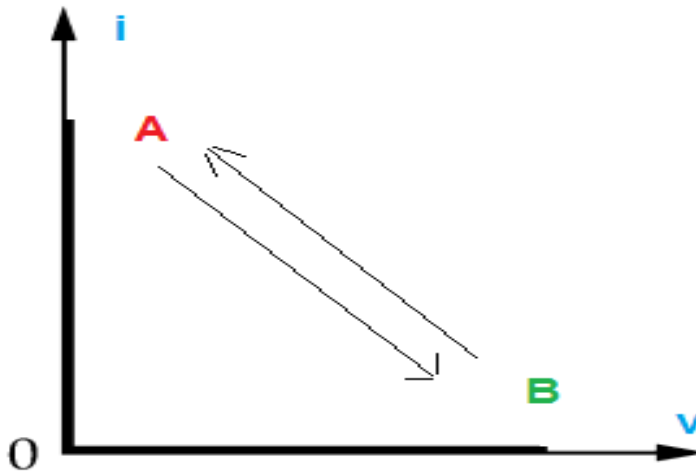


Figure (I.5) : fonctionnement d'un transistor.

I.5. Les différents types des convertisseurs

Un convertisseur statique est un dispositif, à base de semi-conducteurs, qui transforme de l'énergie électrique disponible, en une forme appropriée pour alimenter une charge. Les convertisseurs statiques sont les dispositifs à composants électroniques capables de modifier la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique [9].

Nous avons vu que, la plupart du temps, l'énergie électrique était fournie par le réseau, et donc par l'intermédiaire d'une tension sinusoïdale. Or, dans de nombreuses applications (une bonne partie de l'électronique notamment), l'énergie est utilisée sous forme de signaux continus. Il est donc nécessaire de disposer d'un système effectuant cette conversion. Dans l'industrie, plusieurs types de convertisseurs existent [10,11] :

- Convertisseur Continu-Continu (Hacheur)

Le hacheur est un convertisseur statique continu/continu (DC/DC) qui nous permet d'obtenir à partir d'une source de tension continue fixe, une source de tension continue de valeur moyenne réglable de plus grande ou faible valeur (élévateur ou abaisseur de tension).

Il est essentiellement constitué d'interrupteurs de puissance (transistors, diodes...) et de composants passifs (inductances, condensateurs...etc).

- Convertisseur alternatif-alternatif (Gradateur)

Les gradateurs sont les convertisseurs statiques alternatif-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternatif variable à partir d'une source de tension alternatif fixe.

- Convertisseur Continu-alternatif (Onduleur)

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continu-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

- Convertisseur alternatif – continu (redresseur)

Les redresseurs sont des convertisseurs d'énergie qui transforme une source électrique à courant alternatif en une source électrique à courant continu.

I.6. Les onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [12].

L'onduleur est utilisé pour fournir une tension ou un courant alternatif pour assurer l'alimentation en énergie des charges (micro-ordinateur, station de télécommunication) pendant la coupure du réseau électrique ou une alimentation permanente pour les systèmes autonomes (centrales photovoltaïques, engins aérospatiaux, ...). La représentation symbolique d'un onduleur est donnée par la figure (I.6) [13]

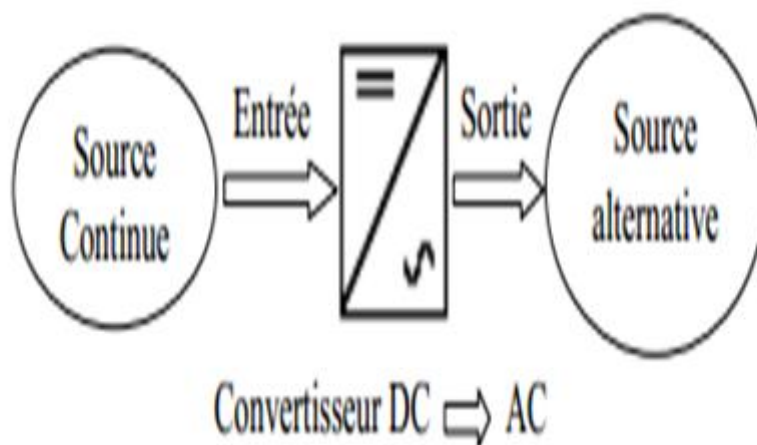


Figure (I.6) : Schéma de conversion DC/AC.

I.7. les Types d'onduleurs

I.7.1. Onduleurs non autonome

Les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est "naturelle" contrairement à l'onduleur autonome. L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs synchrones de très grande puissance où les thyristors sont souvent les seuls composants utilisés [14].

I.7.2 Onduleur autonome

On appelle onduleur un convertisseur statique qui permet des échanges d'énergie entre une entrée continue et une sortie alternative. Un onduleur est autonome quand il impose sa propre fréquence à la charge. On distingue deux types d'onduleurs autonomes [15].

- Les onduleurs de tension alimentés par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue.

I.8. Types d'onduleurs de tension

Les onduleurs de tension sont classés en trois types :

- Les onduleurs monophasés
- Les onduleurs triphasés
- Les onduleurs multi-niveaux

I.9. Les onduleurs multi-niveaux

La demande en puissance des applications industrielles a augmenté considérablement ces dernières années, jusqu'à atteindre l'ordre de quelque mégawatts (de l'ordre de 10MW) pour les basses et moyennes tensions. L'utilisation de convertisseurs conventionnels à deux niveaux, à grandes fréquences de commutation, est limitée à ce niveau de puissance à cause des pertes non négligeables engendrées par la commutation des interrupteurs. donc l'utilisation des convertisseurs multi niveaux dans les applications de moyenne et grande puissances est proposée comme une solution à l'handicap technologique des semi-conducteurs. [16]

Deux catégories d'onduleurs multi niveaux sont actuellement répertoriées.

La première catégorie regroupe les onduleurs principaux en trois groupes :

- 1) les onduleurs à diodes de bouclage (en anglais clamping diodes appelé diode clamp) Neutral Point Clamped (NPC) et Multiple Point Clamped (MPC)

- 2) l'onduleur à condensateur flotteur [ou Flying Capacitor (FC)]
- 3) l'onduleur à pont en cascade H-bridge.

La deuxième catégorie des onduleurs multi niveaux comporte les assemblages hybrides des onduleurs de la première catégorie. Ainsi, on peut citer entre autres [17].

- 1) NPC en cascade (CDC),
- 2) H-bridge en cascades (CMH),
- 3) NPC et H-bridge en cascade (CDCH)

I.10. Les de structure des convertisseurs multi-niveaux

Les convertisseurs multi-niveaux se compose en principe à des composants basés sur les semi-conducteurs de puissance une combinaison de ces ingrédients est conforme à une topologie spécifique que figure(I.7) présentant les différents types de convertisseur multi-niveaux [18].

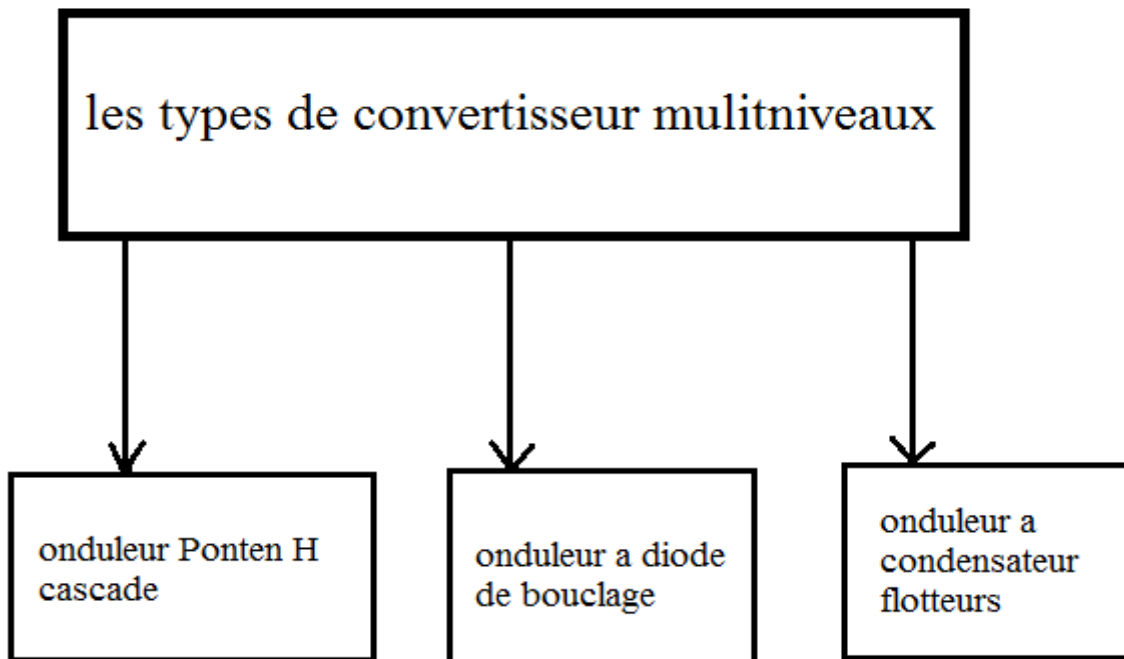


Figure (I.7) : les types de convertisseurs multi-niveaux.

I .11 Topologies multi niveaux

I.11.1 Onduleur multi niveaux à structure NPC

Cette structure, connue sous le nom de convertisseur clampé par le neutre, n'utilise pas de transformateur d'isolement et la répartition de la tension d'entrée continue sur les différents interrupteurs en série est assurée par les diodes (clamps) connectée à des points milieu

capacitifs. La figure (I.8) montre le circuit électrique correspondant à un bras onduleur générique à N-niveaux [19].

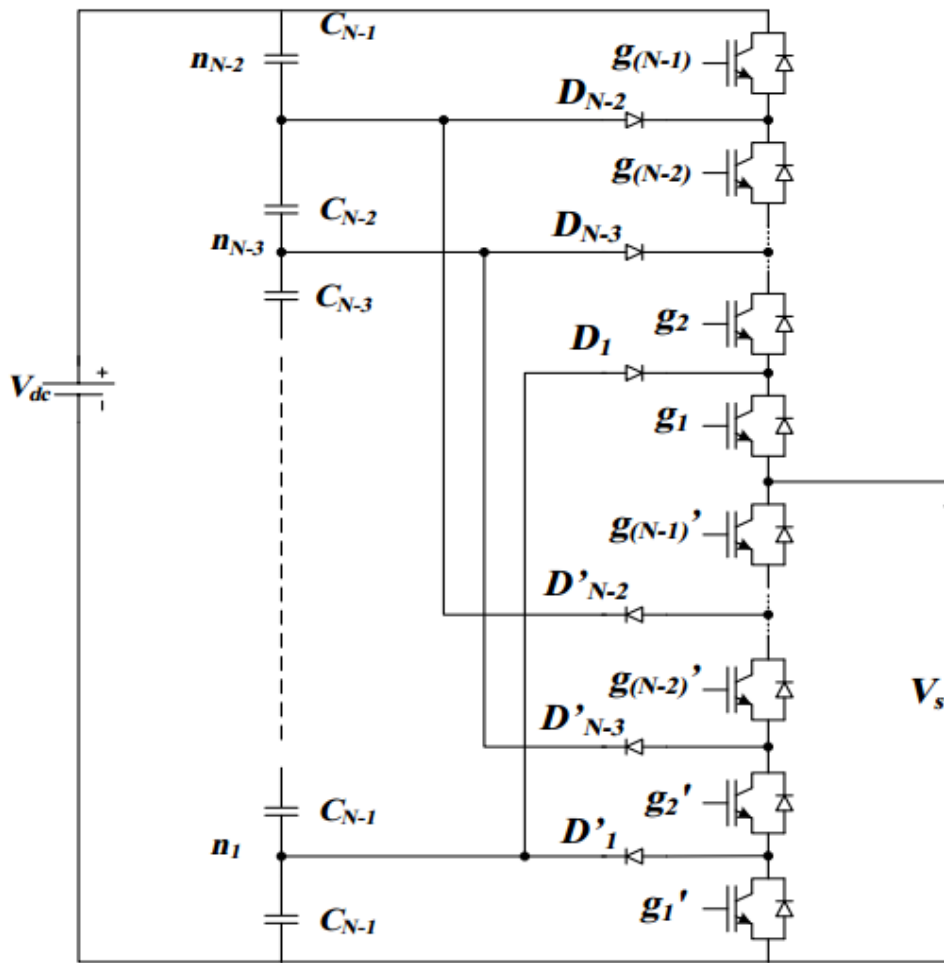


Figure (I.8) : Bras d'un onduleur NPC à N-niveaux [19]

I .11.2 Onduleurs multi niveaux avec diodes de bouclage

Il existe plusieurs variantes de convertisseurs multi - niveaux dont configuration est une modification de la topologie NPC de base. Ces variantes permettent par exemple de repousser certaines limitations de la structure de base, comme l'inégalité des tensions inverses supportées par les diodes. La figure (I- 9-a) montre d'un bras d'onduleur 3 niveaux NPC, sur la configuration de la figure (I- 9- b), les états de commutation peuvent être utilisés pour doubler la fréquence de découpage apparente [20].

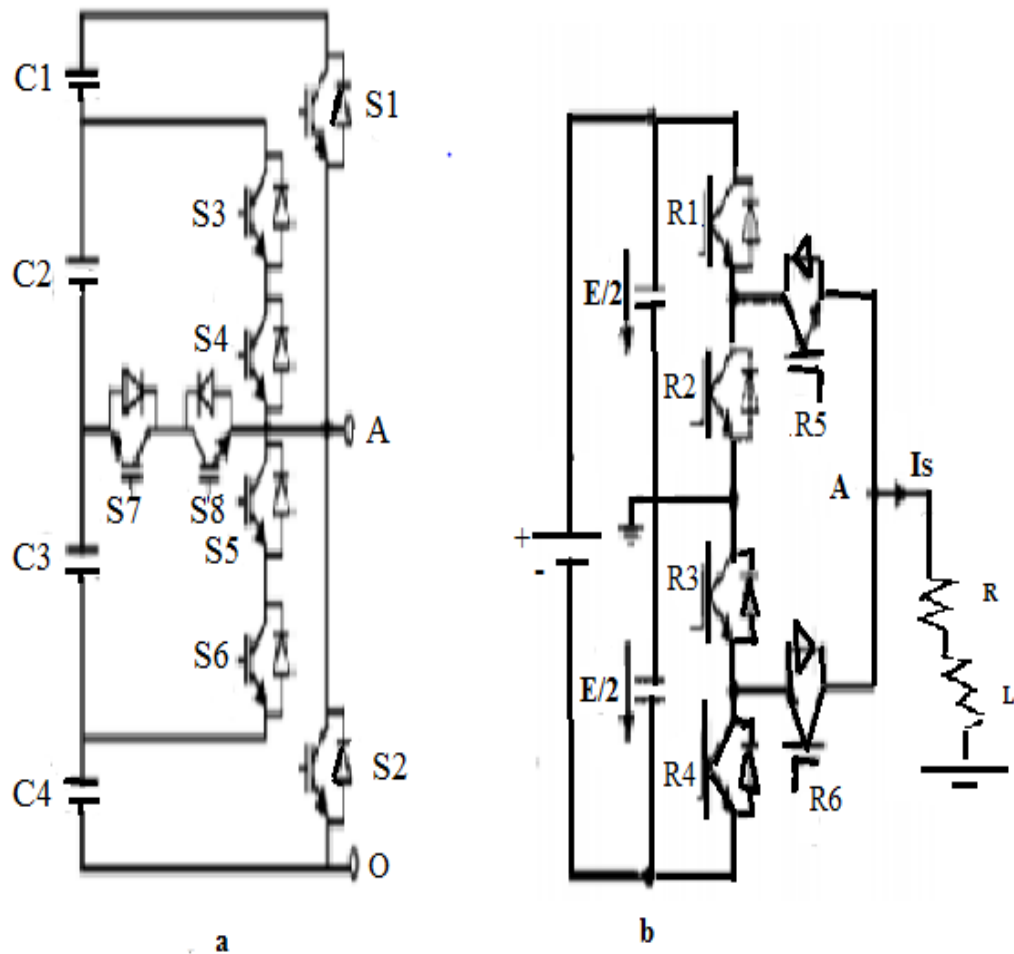


Figure (I.9) : Topologies basées sur le modèle NPC

I.11.3 Onduleur de tension à condensateurs flottants

La topologie de l'onduleur multi niveau à cellule imbriquées ou à condensateurs flottant (flying capacitor or multi level inverter), a été proposée par Meynard et Foch en 1992. [21].

Cette structure est proposée pour résoudre d'une part le problème de l'équilibre des tensions, et d'autre part pour réduire le nombre excessif de diodes. Dans cette topologie, les capacités remplacent les diodes de bouclage, d'où l'appellation « onduleur à condensateur flottants ». La figure (I.10) présente le circuit d'une phase d'un convertisseur à condensateur flottant. a) trois niveaux .b) à cinq niveaux.

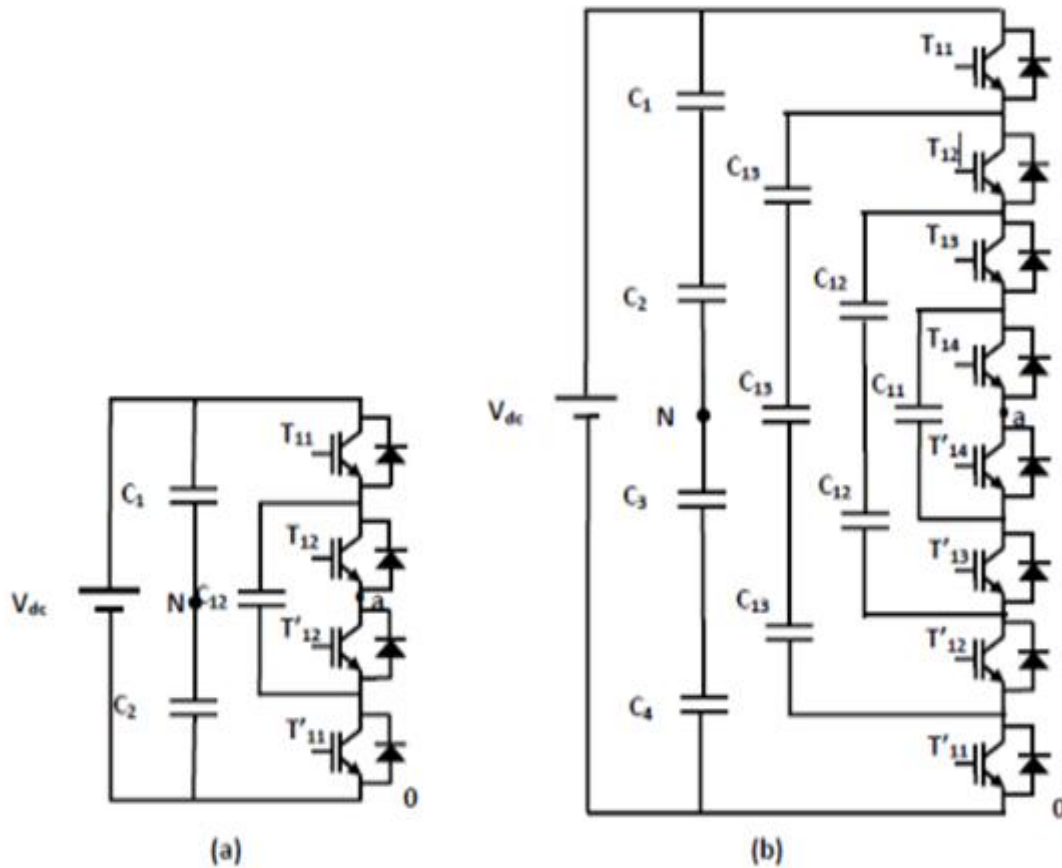


Figure (I.10) : Circuit d'une phase d'un convertisseur à condensateur flottant. a) à trois niveaux .b) à cinq niveaux [23]

I.12 Autres topologies

Outre les trois topologies de base discutées précédemment, d'autres topologies de convertisseurs multi niveaux ont été proposées, mais la plupart d'entre elles sont à base de circuits "hybrides", combinaisons de deux topologies de base ou de légères variations de celles-ci. Ces topologies sont [18,22] :

- Convertisseur asymétrique hybride,
- Convertisseur avec des ponts en cascade et sources CC/CC avec isolement,
- Convertisseur avec commutation douce,
- Convertisseurs reliés par transformateur,
- Convertisseur Diode/ Capacitor-Clamped : variante de l'onduleur NPC,
- Convertisseur multi niveaux généralisé.
- Convertisseur avec des topologies multiniveaux en cascade.
- Convertisseur New diode-clamped : autre variante d'onduleur NPC.

I.13 Domaines d'application d'onduleur multi-niveau

Les convertisseurs multi niveaux trouvent une attention importante dans l'industrie et le milieu universitaire en tant qu'un des choix privilégiés de la conversion pour les applications de grande puissance. Ils ont façonné avec succès leur voie en milieu industriel et peuvent pour cette raison être considéré comme une technologie mature et prouvée [18, 19] :

- Démarrage des machines de grande puissance.
- Système de lavage.
- Réglage de la vitesse par la tension de sortie de l'onduleur.
- Réglage de la vitesse par la variation de la fréquence de l'onduleur.
- Application dans le domaine de la traction ferroviaire et urbaine (TGV).
- Application dans l'alimentation des réseaux de bord et de propulsion des bâtiments maritimes
- Application dans le domaine de réseaux électrique.
- Application dans le domaine de l'énergie renouvelable (photovoltaïque, éolienne...etc.).

I.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une bref étude sur les composants de puissance (diode et transistor) et les types de conversion d'énergie, ainsi nous avons exploré quelques topologies d'onduleur multi niveaux tels que l'onduleur multi niveaux à structure NPC et onduleurs multi niveaux avec diodes de bouclage et onduleur de tension à condensateurs flottants et autres topologies. A la fin de ce chapitre, on a énuméré quelques domaines d'application d'onduleur multi-niveau.

CHAPITRE II

ETUDE ET SIMULATION DES ONDULEUR TROIS ET CINQ NIVEAUX TYPE NPC

II.1. Introduction

L'onduleur est un convertisseur statique qui joue le rôle d'interface entre une source d'énergie électrique continue et une charge alimentée en alternatif. Les onduleurs de tension triphasés à trois et cinq niveaux à structure NPC jouent un rôle incontournable dans des applications de forte puissance et haute tension [24].

Ce chapitre est consacré à la simulation de l'onduleur de tension triphasé à trois et cinq niveaux à structure NPC est principe de fonctionnement plus étude la technique MLI sinusoïdale pour la commande de onduleur a trois et cinq niveaux.

II.2. Onduleur à trois niveaux type NPC

II.2.2. Structure

La structure de l'onduleur à trois niveaux de type NPC est donnée par la figure (II.1) Cette structure se compose de trois bras symétriques constitués chacun de quatre interrupteurs en série, plus deux diodes permettant l'obtention du zéro de la tension de la sortie. Chaque interrupteur est composé d'un transistor bicommandable à la fermeture et à l'ouverture et d'une diode montée en tête bêche [25].

Le bus continu d'entrée est composé de deux sources continues en série (E_1 et E_2), formant un point milieu noté (O) qui permet à l'onduleur d'accéder à un niveau de tension supplémentaire par rapport à l'onduleur classique à deux niveaux. La tension totale du bus continu vaut E ; dans les conditions normales de fonctionnement, celle-ci est uniformément répartie sur les deux capacités qui possèdent alors une tension ($E/2$) à leurs bornes.

Chacun des trois bras (a, b et c) de l'onduleur est composé de quatre interrupteurs commandés (K_1 , K_2 , K_3 et K_4 pour le bras a) et deux diodes de maintien connectées au point milieu du bus continu [26].

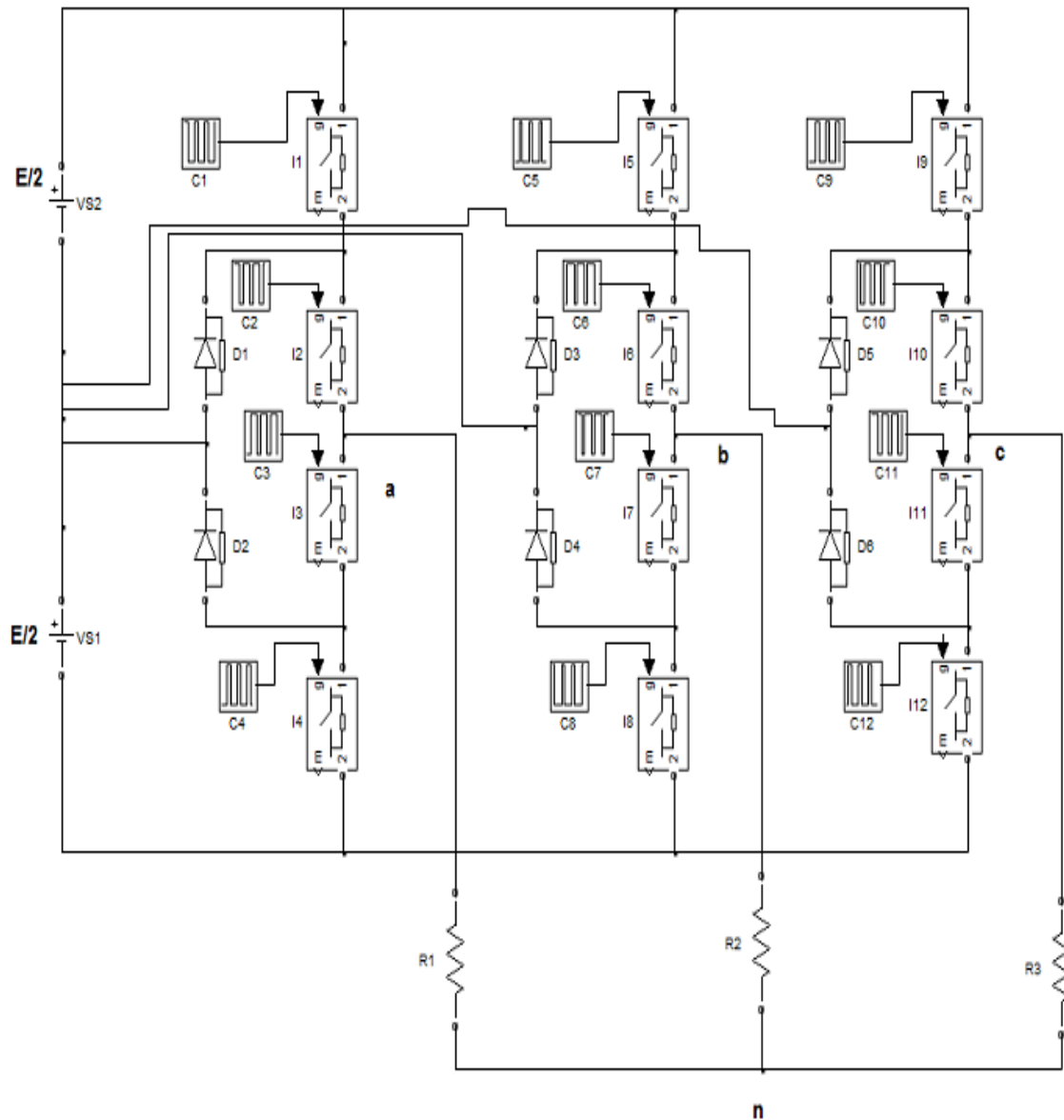


Figure (II.1) : Schéma d'un onduleur NPC à 3 niveaux

II.2.3. Principe de fonctionnement

L'onduleur triphasé à trois niveaux est montré sur la figure (II.1), qui représente le schéma de principe de l'une des topologies des onduleurs triphasés à structure NPC.

Grâce à la symétrie de ces derniers, on considère un seul bras dont la structure est représentée par la Figure (II.2) [27].

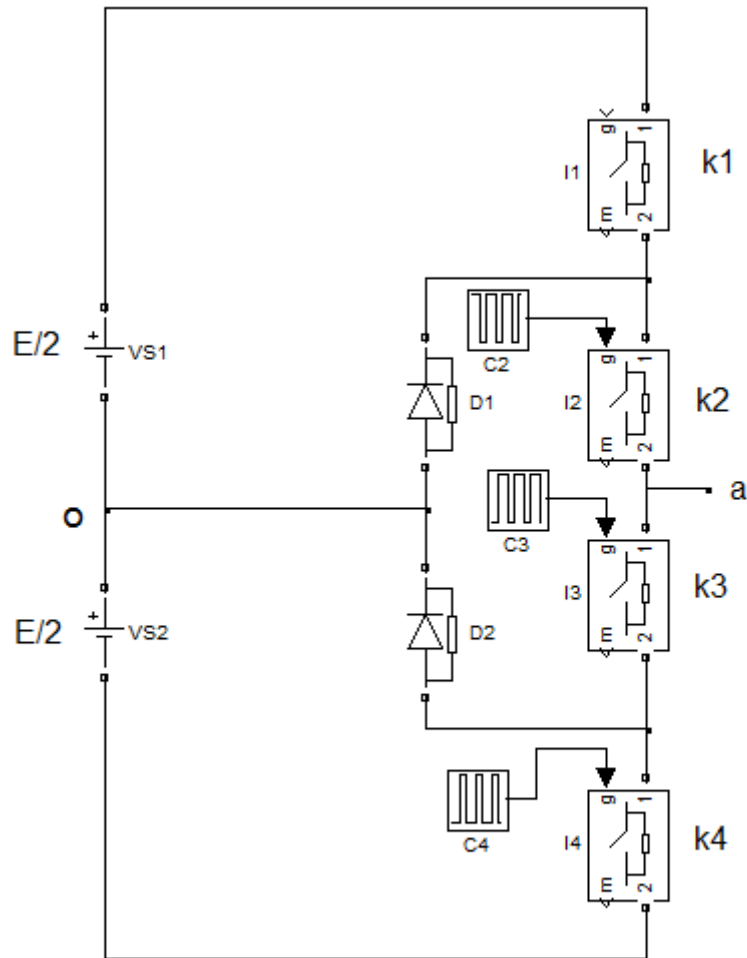


Figure (II.2) : Bras d'un onduleur NPC à 3 niveaux

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 entièrement définie par l'état (0 ou 1) des quatre interrupteurs K1, K2, K3 et K4 du bras [27].

Pour un convertisseur NPC à N-niveaux de tensions, nous avons N séquences de fonctionnement possible permettant de générer les N niveaux de tensions. Et en particulier pour le NPC à trois niveaux on a trois séquences de fonctionnement :

- Séquences 1 :

K1, K2 sont passants et K3 et K4 sont bloqués Figure (II.3 a), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = +E/2$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est

$$V_{k3} = V_{k4} = +E/2.$$

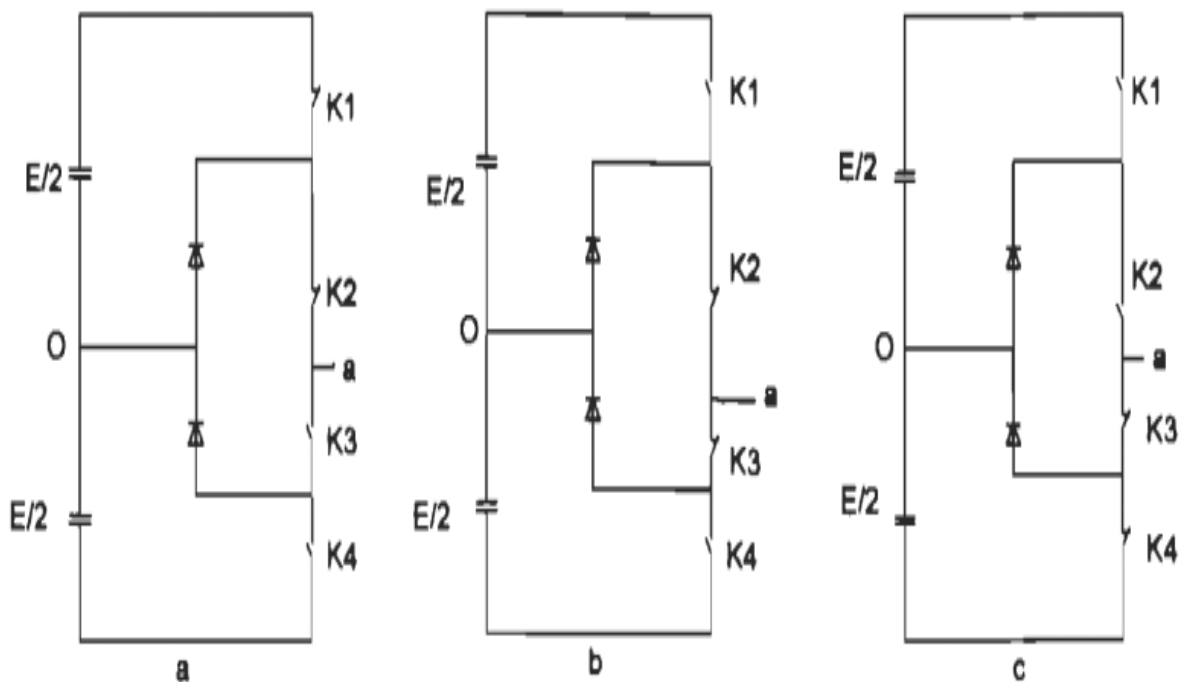


Figure (II.3) : Séquences de fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC trois niveaux

- Séquences 2 :

K2, K3 sont passants et K1 et K4 sont bloqués Figure (II.3.b), le point a est relié directement au point neutre 0. La tension simple V_{ao} est nulle : $V_{ao} = 0$.

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est : $V_{ka1} = V_{ka4} = +E/2$

- Séquences 3 :

K3, K4 sont passants et K1 et K2 sont bloqués Figure (II.3.c), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = -E/2$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{k1} = V_{k2} = +E/2$$

Les 3 états ou séquences de commutation possibles sont résumés au tableau (II.1)

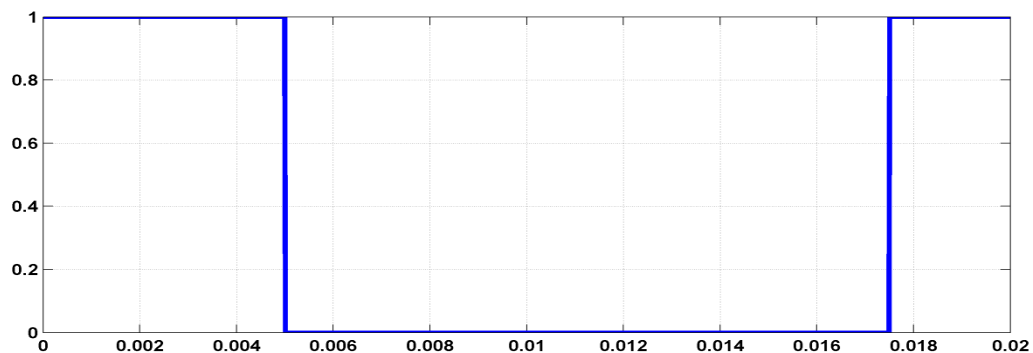
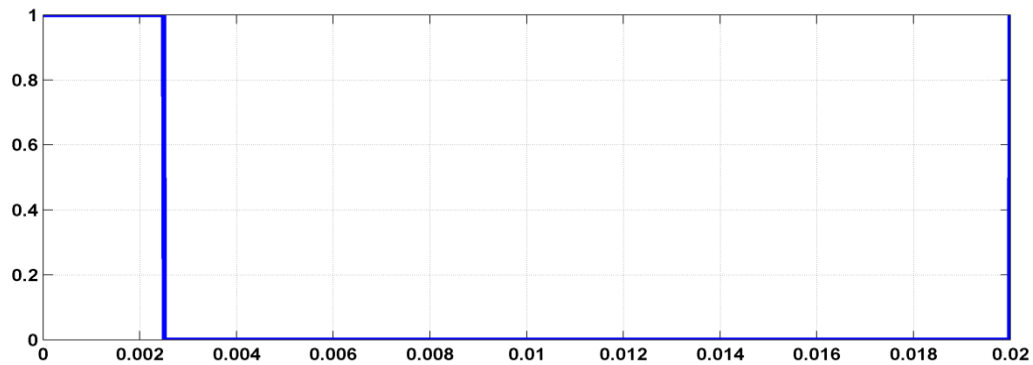
On donne ci dessous le tableau récapitulatif tableau (II.1) représente la tension de sortie V_{ao} d'un onduleur NPC à trois niveaux en fonction de l'état des interrupteurs, la tension au borne des interrupteurs de puissance n'excède jamais la moitié du bus d'entrée. A la différence de l'onduleur à deux niveaux, chaque demi-bras de l'onduleur à trois niveaux utilisée non pas un interrupteur bidirectionnel mais deux, ce qui permet d'effectuer une commande décalée. [22]

K1	K2	K3	K4	Vao
1	1	0	0	$E/2$
0	1	1	0	0
0	0	1	1	$-E/2$

Tableau (II .1) : Etats possibles de l'onduleur NPC a 3 niveaux

Le schéma de simulation d'un onduleur triphasé trois niveaux est présenté dans la figure (II.1) Les séquences de commande des transistors, les tensions délivrées par l'onduleur sont représentés respectivement sur les figures (II.4, II.5 et II.6.)

Nous remarquons que le temps de conduction de chaque interrupteur est réduit par rapport à celui des interrupteurs d'un convertisseur classique à deux niveaux, chaque interrupteur bloque une tension d' $E/2$ dans le cas NPC à trois niveaux au lieu de E pour l'onduleur classique deux niveaux. A chaque changement de niveau de tension, on a deux interrupteurs qui commutent.



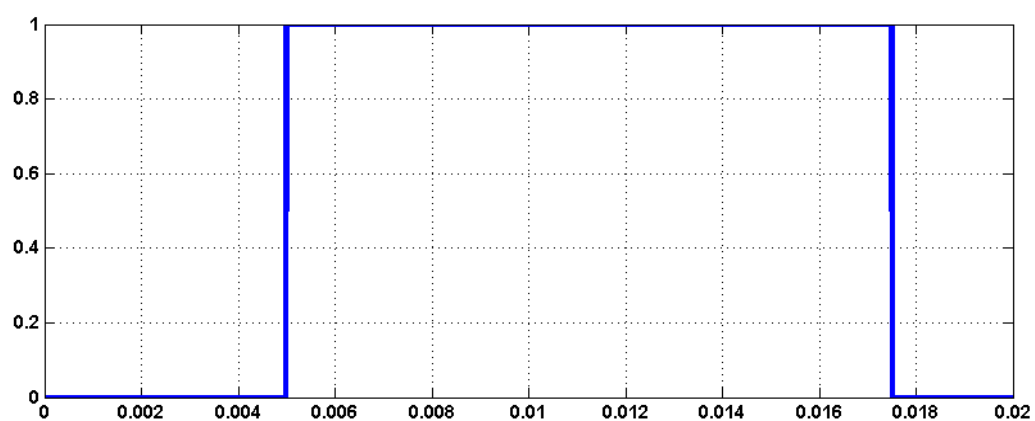
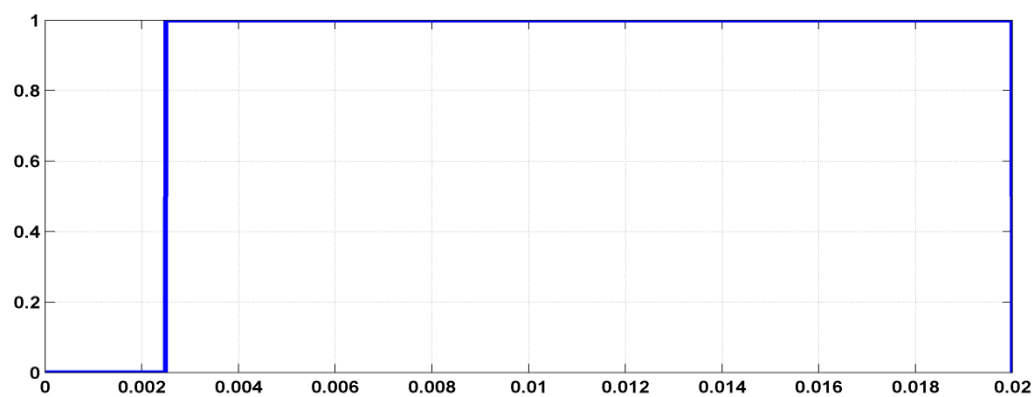


Figure (II.4) : Signaux de commande des transistor d' un bras d'onduleur trois niveaux NPC

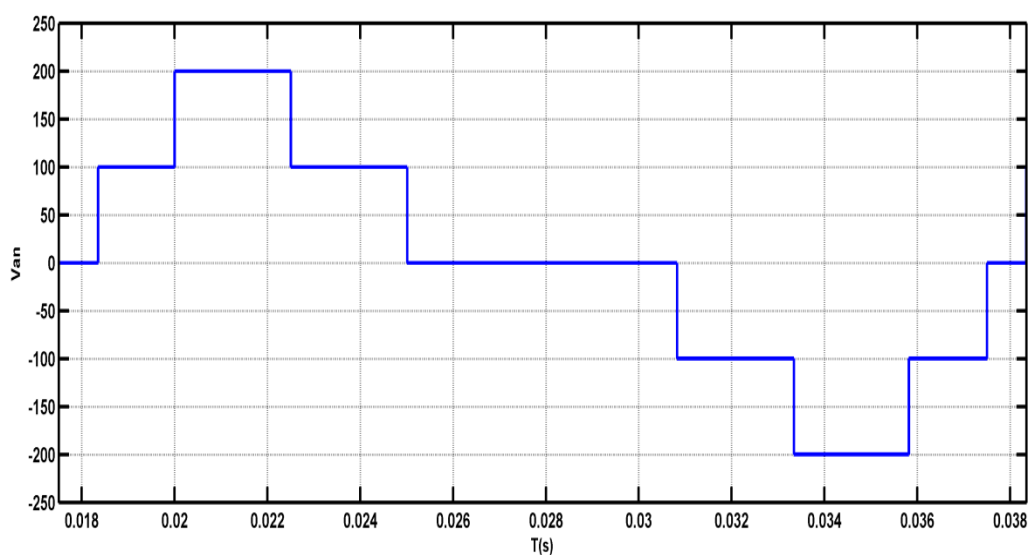


Figure (II.5) : Tension simple V_{an} d'un onduleur trois niveaux NPC

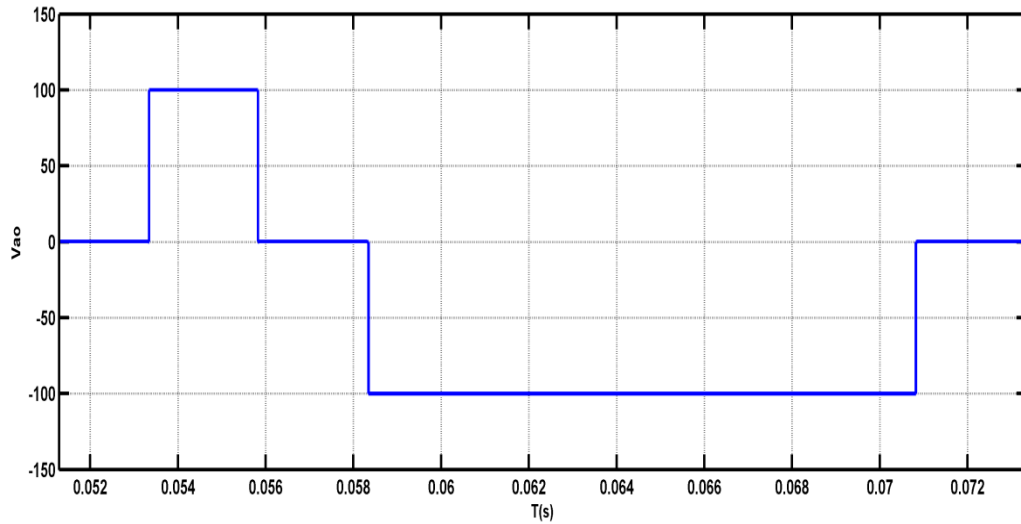


Figure (II.6) : Tension V_{ao} d'un onduleur trois niveaux NPC

II.3. Onduleur à cinq niveaux type NPC

II.3.1. Structure

L'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC (Neutral Point Clamping) étudié est constitué de trois bras et quatre sources de tension continue. Chaque bras comporte huit interrupteurs, six en série et les deux autres en parallèle, plus deux diodes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et une diode antiparallèle montée en tête bêche [28] La structure triphasée de l'onduleur NPC cinq niveaux simulée est présentée sur la figure (II.7).

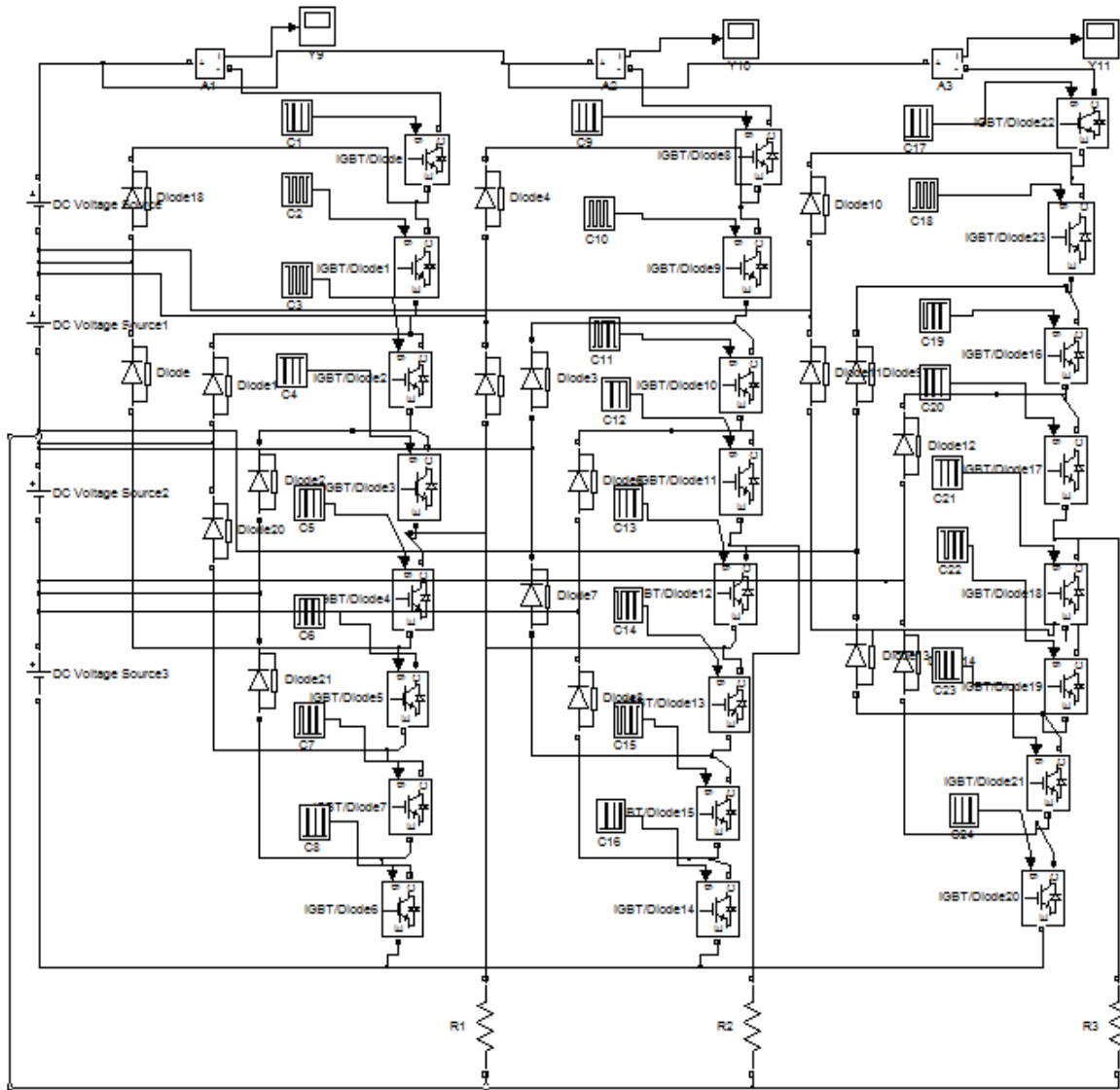


Figure (II.7) : Schéma d'un onduleur NPC à 5 niveaux

II .3.2. Principe de fonctionnement

Pour ce type d'onduleur, seules cinq configurations sont fonctionnelles. Elles sont décrites comme [29]

- Séquence 1:

K1, K2, K3 et K4 sont passants et K5, K6, K7 et K8 sont bloqués on a la valeur

de la tension simple de sortie est :

$$V_{ao} = +E/2$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K5} = V_{K6} = V_{K7} = V_{K8} = +E/4$$

- Séquence 2:

K2, K3, K4 et K5 sont passants, K6, K7, K8 et K1 sont bloqués on a la tension de sortie est :

$$V_{ao} = +E/4$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K1} = V_{K6} = V_{K7} = V_{K8} = +E/4$$

- Séquence 3:

K3, K4, K5, et K6 sont passants et, K7, K8, K1 et K2 sont bloqués on a la tension de sortie est :

$$V_{ao} = 0$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K1} = V_{K2} = V_{K7} = V_{K8} = +E/4$$

- Séquence 4 :

K4, K5, K6 et K7 sont passants, K8, K1, K2 et K3 sont bloqués on a la tension de sortie est :

$$V_{ao} = -E/4$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K1} = V_{K2} = V_{K3} = V_{K8} = +E/4$$

- Séquence 5:

K5, K6, K7 et K8 sont passants, K1, K2, K3 et K4 sont bloqués, on a la tension de sortie est :

$$V_{ao} = -E/2$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{K1} = V_{K2} = V_{K3} = V_{K4} = +E/4$$

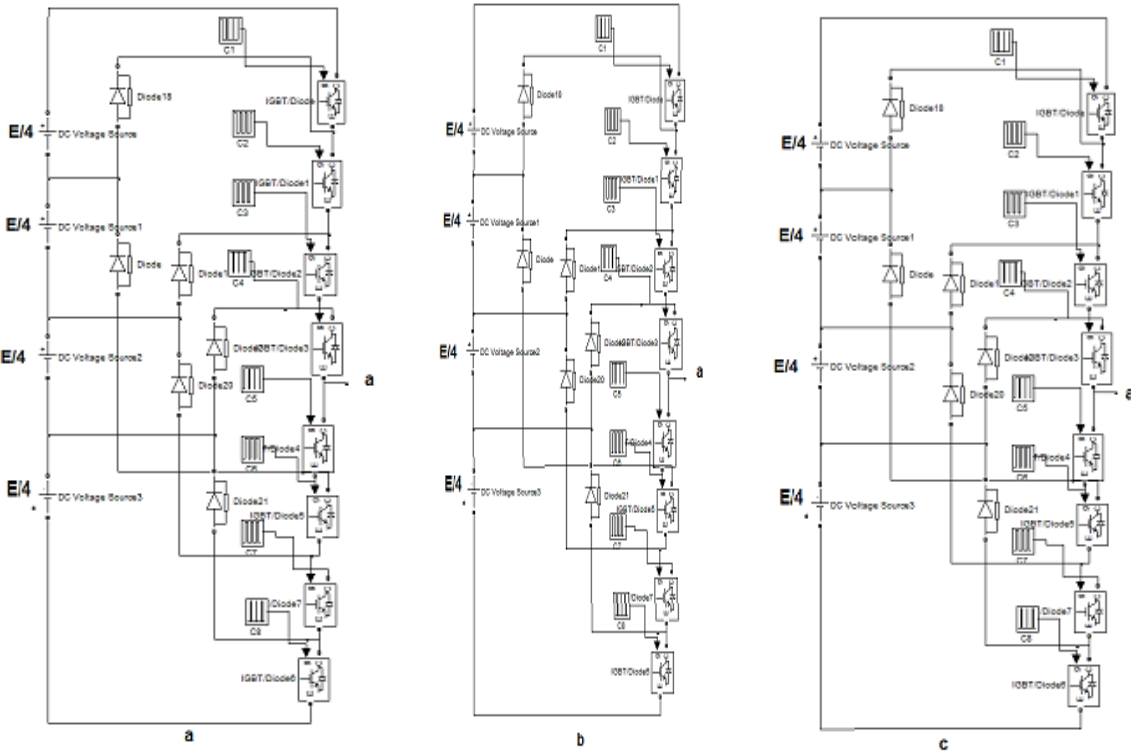


Figure (II.8) : NPC 5 niveaux: Principe de commutation

a-) Génération de $V_{ao} = E/2$, b-) Génération de $V_{ao} = 0$, c-) Génération de $V_{ao} = - E/4$

Les différentes séquences de fonctionnement et l'état des interrupteurs commandés sont regroupés dans le tableau (II.2).

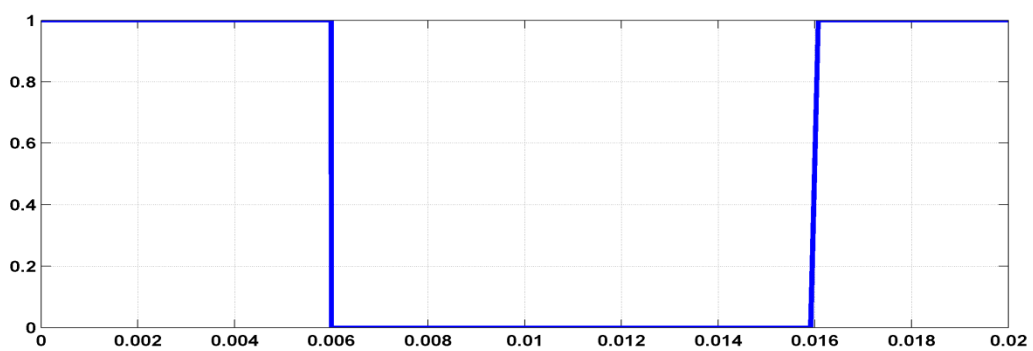
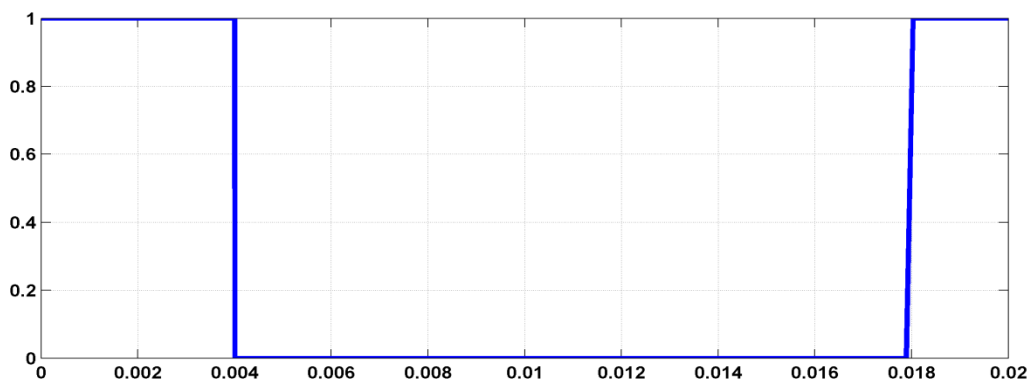
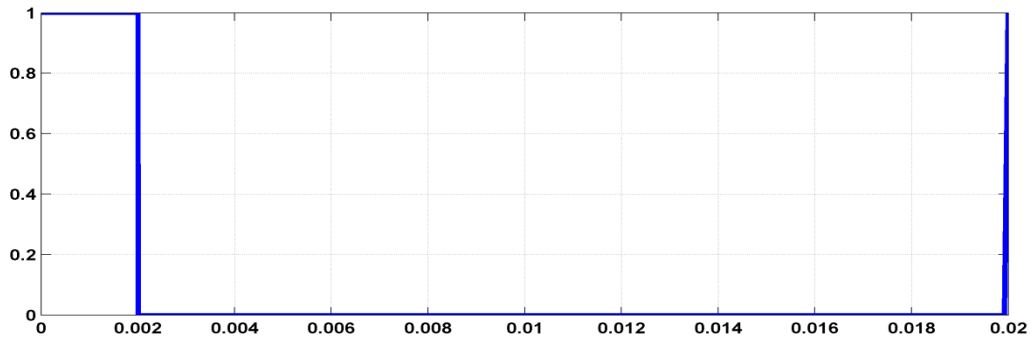
1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Vao
1	1	1	1	0	0	0	0	E/2
0	1	1	1	1	0	0	0	E/4
0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	-E/2
0	0	0	0	1	1	1	1	-E/4

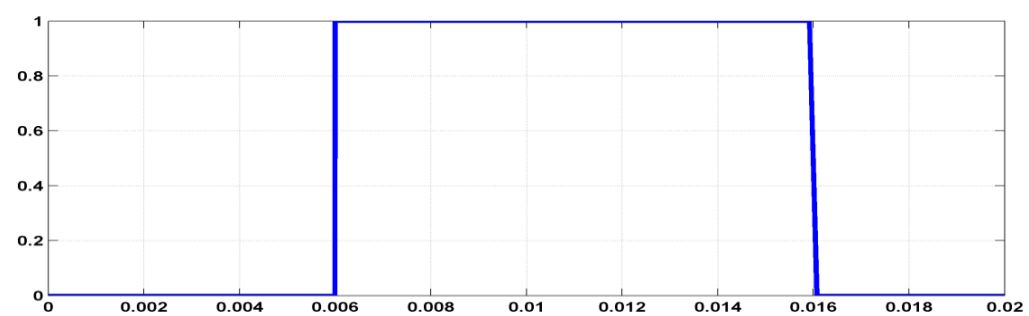
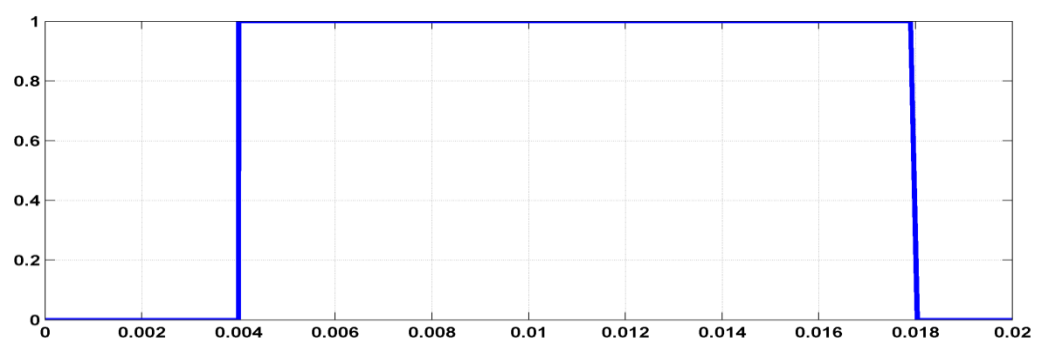
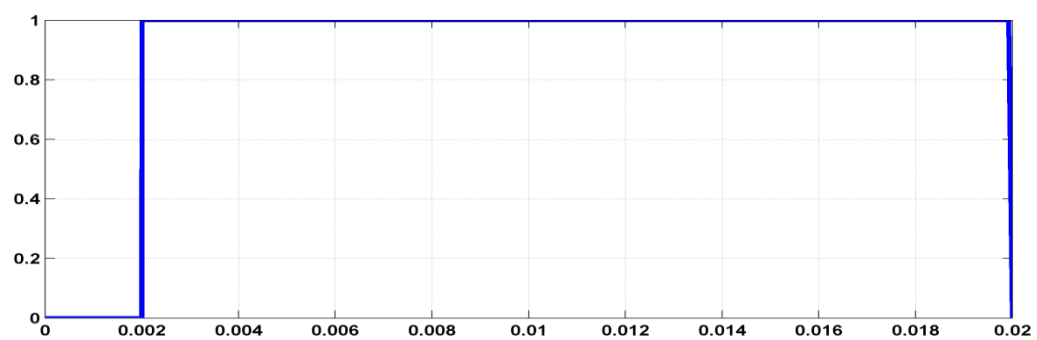
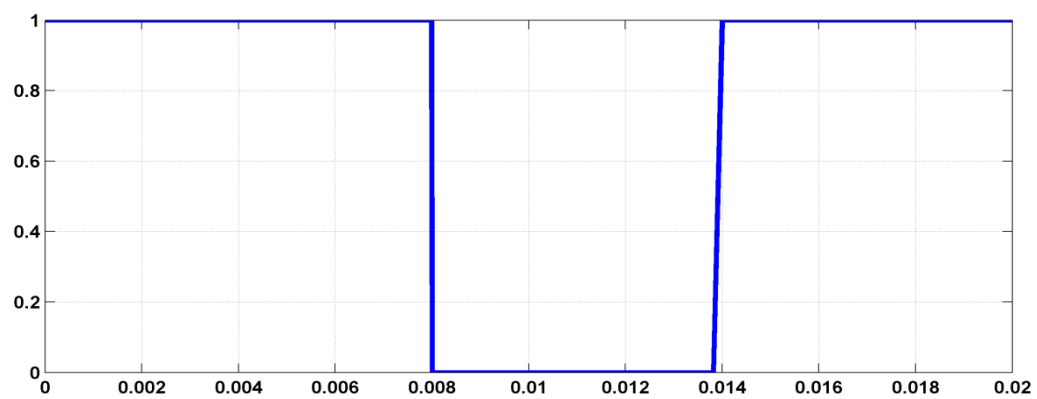
Tableau (II.2) : Etats possibles de l'onduleur NPC a 5 niveaux

Le schéma de simulation d'un onduleur triphasé trois niveaux est présenté dans la figure (II.7) Les séquences de commande des transistors, les tensions délivrées par l'onduleur sont représentés respectivement sur les figures (II.9, II.10 et II.11).

On remarque que plus le nombre de niveaux augmente, la tension de sortie en forme d'escalier possède de paliers. Ceci permet de mieux approcher la sinusoïde. Donc la tension de

sortie du convertisseur NPC 5 niveaux est meilleure du point de vue taux de distorsion harmonique que celle d'un NPC à trois niveaux. Un autre avantage du NPC à cinq niveaux les interrupteurs commandés bloque une tension ($V_{K1} = + E/4$) deux fois plus faible que celle bloquée par les interrupteurs du convertisseur à trois niveaux ($V_{K1} = + E/2$). On a deux commutations à chaque changement de niveau de la tension de sortie.





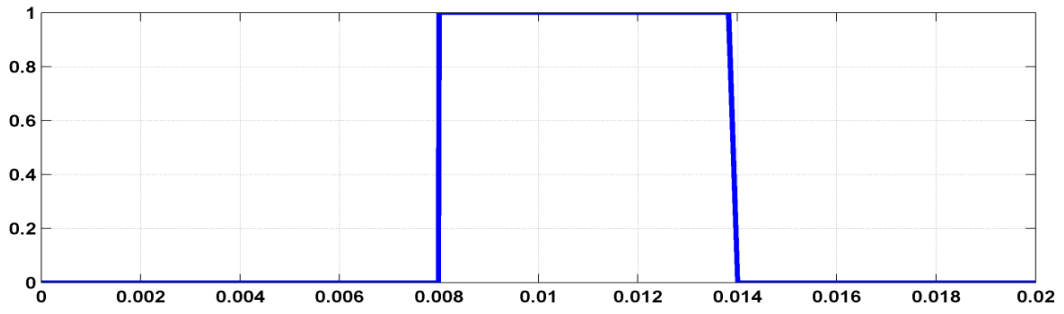


Figure (II.9) : Signaux de commande des transistor d'un bra d'onduleur cinq niveaux type NPC

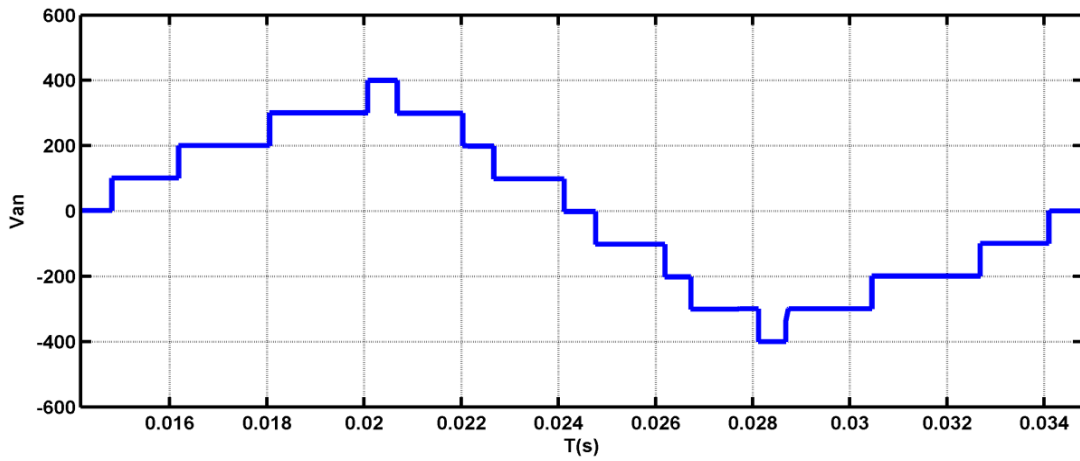


Figure (II.10) : Tension simple Van d'un onduleur type NPC à cinq niveaux

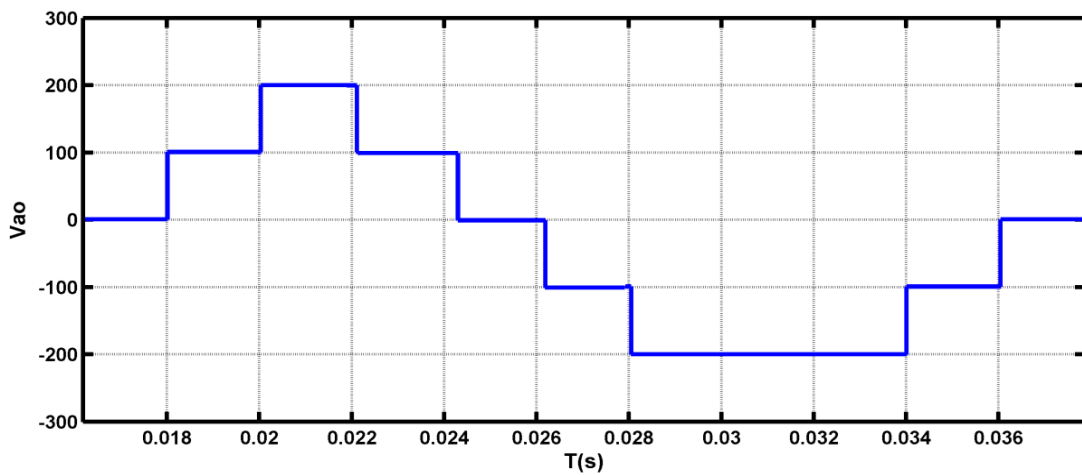


Figure (II.11) : Tension Vao d'un onduleur type NPC à cinq niveaux

II.4. La modulation MLI sinusoïdale

L'amélioration de la forme de la tension de sortie des convertisseurs est un axe de recherche très actif, qui ne cesse de se développer en profitant de la technologie des semi-conducteurs et des calculateurs numériques.

Pour améliorer la tension de sortie d'un onduleur, on peut agir sur sa structure ou sur la méthode de sa commande. Généralement on utilise des commandes par modulation de largeurs d'impulsions. On rencontre plusieurs stratégies de ce type de commande, telles que la modulation triangulo-sinusoïdale, la modulation par hystérésis, et la modulation vectorielle. Dans cette section, nous allons appliquer la technique de la modulation triangulo-sinusoïdale sur des onduleurs trois et cinq niveaux à structure NPC.

La modulation sinusoïdale consiste à utiliser les intersections d'une onde de référence ou modulante, généralement sinusoïdale, avec une onde de modulation ou porteuse, généralement triangulaire. Cette technique exige une commande séparée pour chacune des phases de l'onduleur. La figure (II.12) ci-dessous illustre le principe de base de cette technique [27].

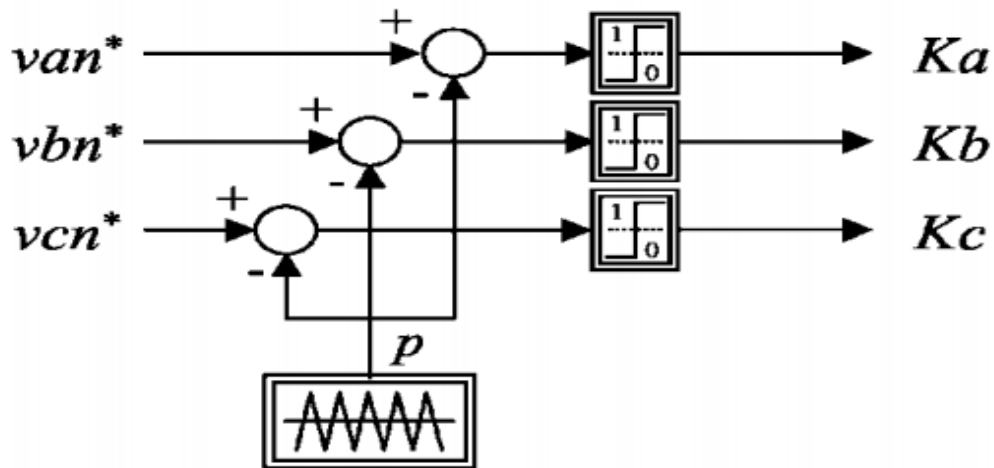


Figure (II.12) : Schéma de principe de la technique triangulo-sinusoïdale

Le schéma de simulation d'un onduleur triphasé trois niveaux commandé par une MLI sinusoïdale est présenté dans la figure (II.13). La porteuse triangulaire et les références sinusoïdaux sont présentées sur la figure (II.14).

Les tensions délivrées par l'onduleur à trois et cinq niveaux et cinq sont représentés respectivement sur les figures (II.15, II.16 , II.17 et II.18).

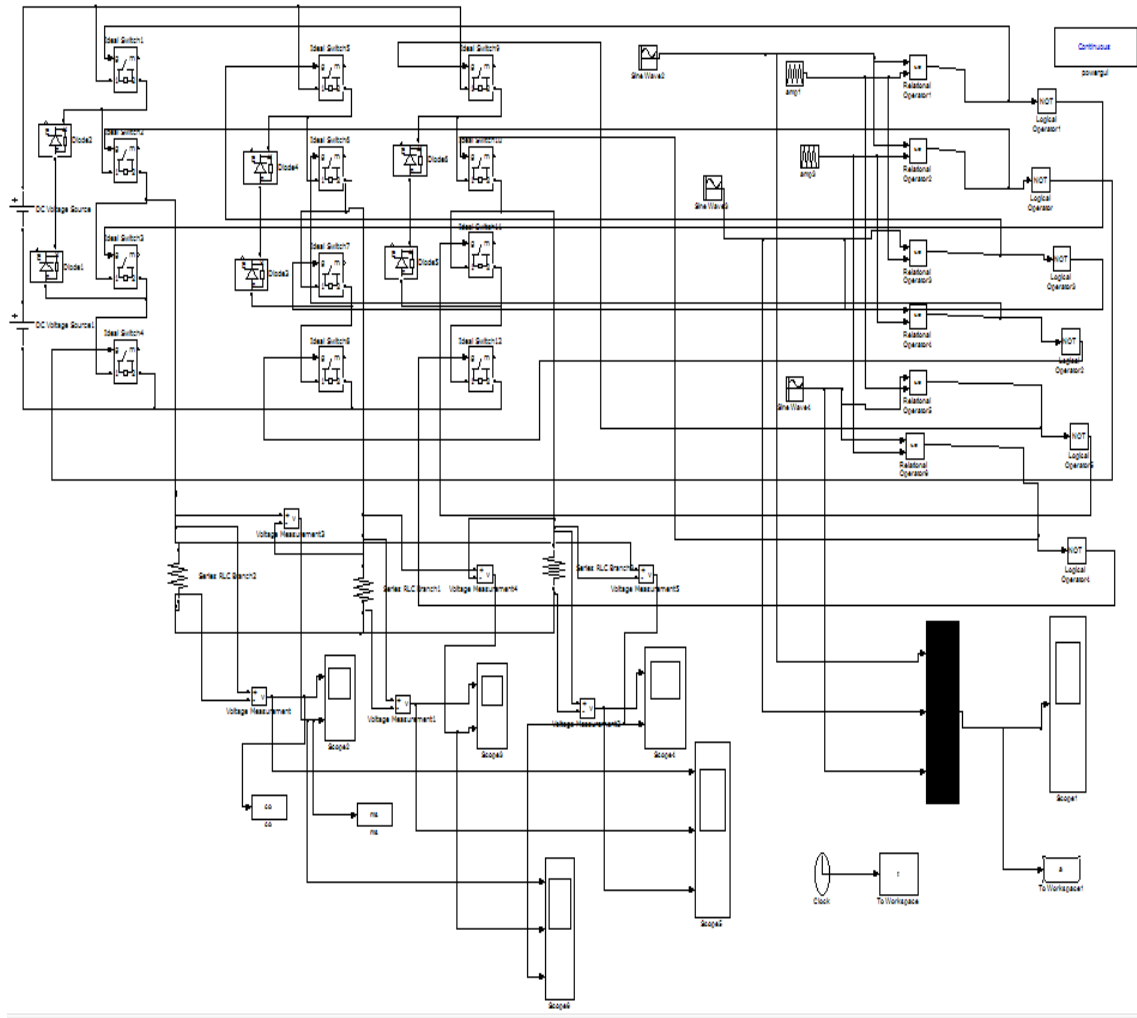


Figure (II.13) : Schéma de simulation d'un onduleur trois niveaux NPC triphasé commandé par MLI

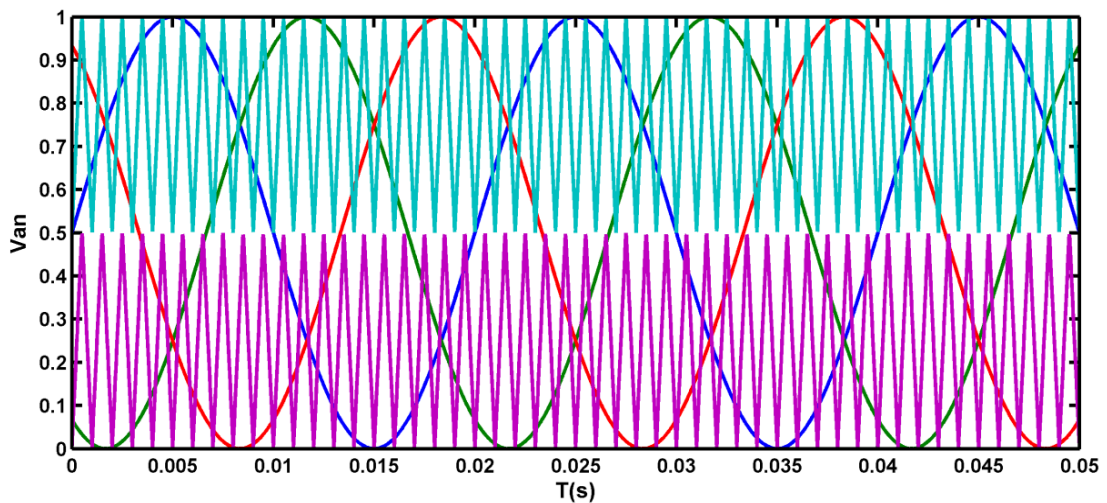


Figure (II.14) : Signaux de commande de la MLI d'un onduleur triphasé trois niveaux NPC

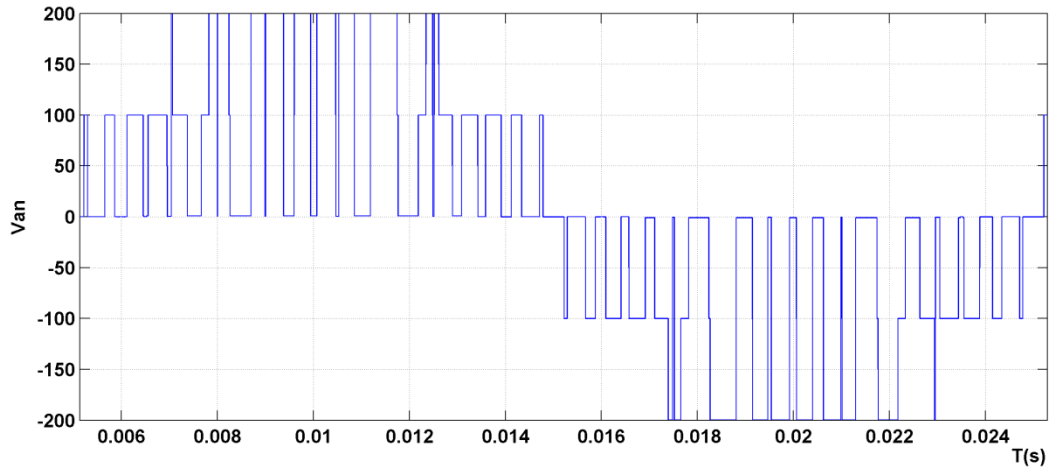


Figure (II.15) : Tension V_{an} d'un onduleur trois niveaux MLI

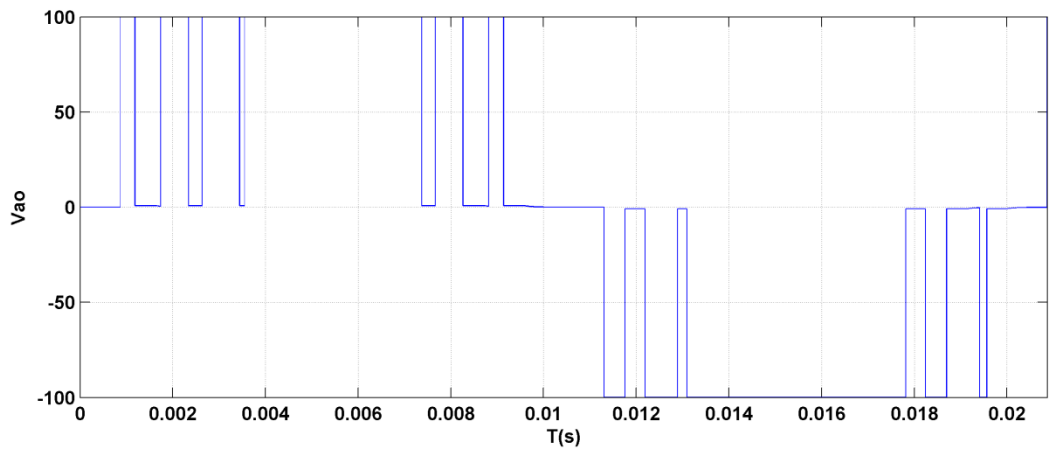


Figure (II.16) : Tension V_{ao} d'un onduleur trois niveaux MLI

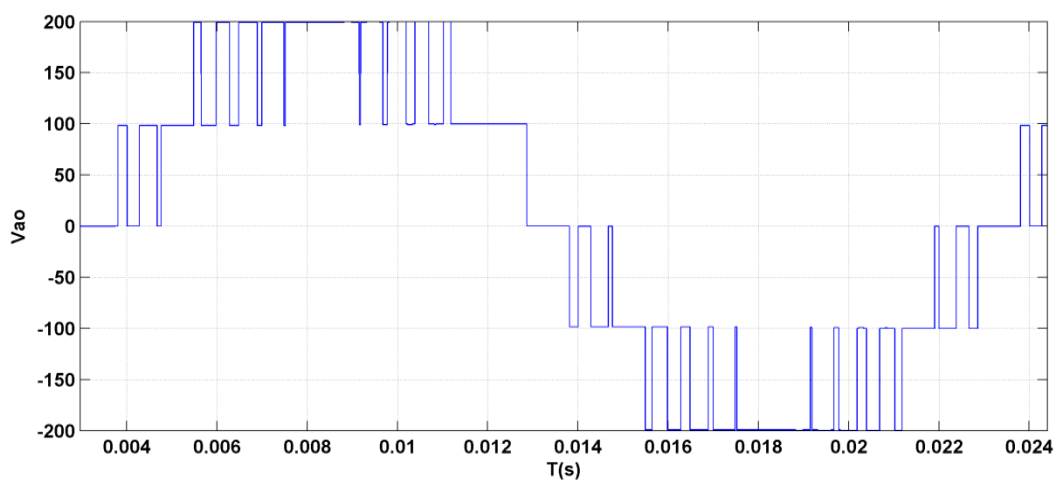


Figure (II.17) : Tension V_{ao} d'un onduleur cinq niveaux MLI

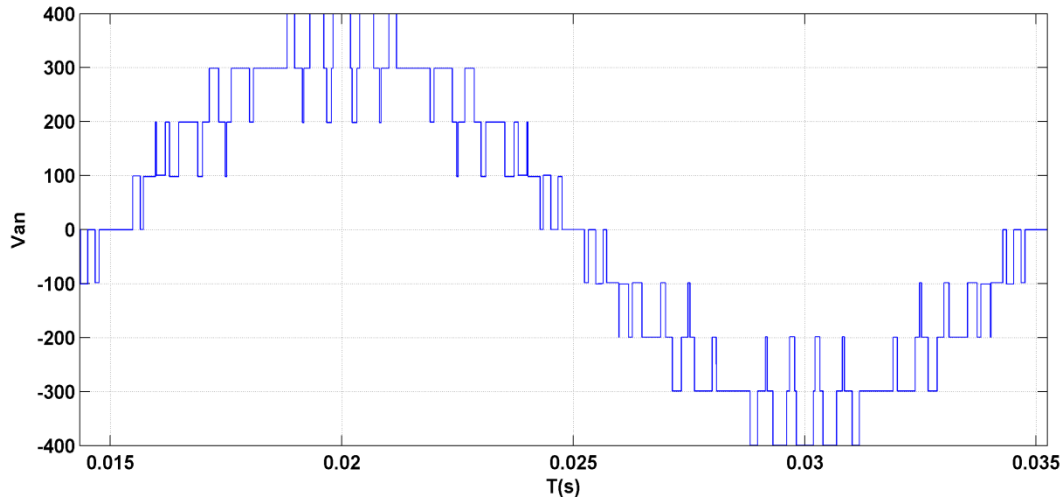


Figure (II.18) : Tension Van d'un onduleur cinq niveaux MLI

II.5.Le Filtre LC

La forme d'onde de la tension de sortie de l'onduleur est en modulation de largeur d'impulsions et à un THD très élevé de 35.4%, voir figure (II.19) Pour atténuer le résidu d'harmoniques de cette forme d'onde, l'utilisation d'un filtre s'avère nécessaire.

- Analyse spectrale de la tension de phase Van avant filtrage

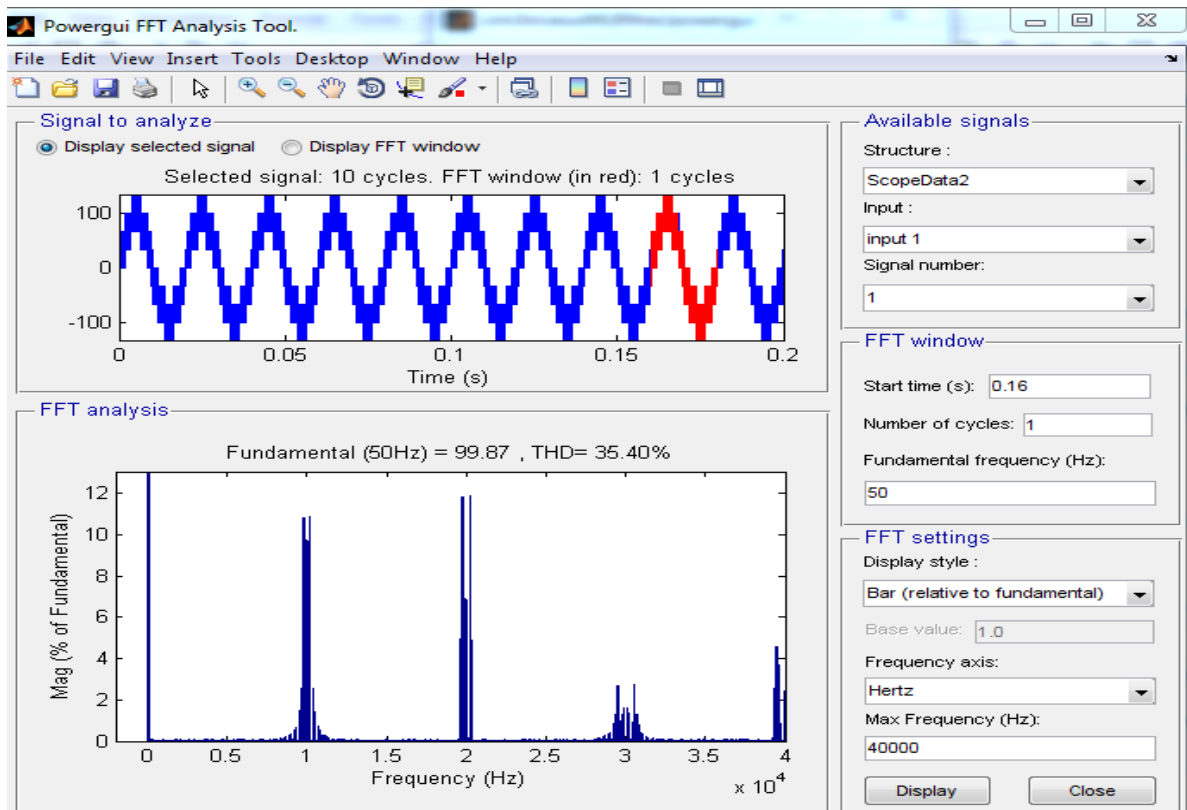


Figure (II.19) : Analyse spectrale de la tension de phase Van avant filtrage

Parmi la grande variété de filtres, le passe-bas simple de la figure (II.19) est suffisant pour la sortie de notre onduleur, vu l'inexistence d'harmoniques de rang inférieur. L'inductance du filtre possède une résistance faible, qui sera omise dans la suite de nos calculs.

La fonction de transfert du filtre est :

$$F(j\omega) = \frac{1}{jL\omega + \frac{1}{jc\omega}} = \frac{1}{1 - Lc\omega^2} \quad (5.1)$$

$$|F(j\omega)| = \frac{1}{|1 - \Omega^2|} \quad \text{avec } \Omega = \omega\sqrt{Lc} \quad (5.2)$$

Pour que ce filtre fonctionne sans qu'il y ait diminution de l'amplitude du signal de sortie il faut que :

$$|F(j\omega)| = 1 \quad (5.3)$$

D'ou la fréquence de coupure :

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{2Lc}} \quad (5.4)$$

D'après le spectre d'harmoniques du MLI unipolaire ; on remarque que la 2eme harmonique est de l'ordre de mf -1 ; ayant une fréquence de 950 Hz. On choisit $f_c = 300\text{Hz}$ (choisie de telle sorte à éviter d'affecter la fréquence de la fondamentale). Donc les paramètres L et c du filtre sont détermines par l'équation :

$$LC = 5.63 \times 10^{-7} \text{ s} \quad (5.5)$$

$$L = 1.126\text{mH}$$

$$C = 500\mu\text{F}$$

Après l'association d'un filtre passif LC les tensions des trios phase sont devenues sinusoïdale équilibrées et l'analyse spectrale de la tension d'une phase (V_{an}) présente un THD=0.38% voir figure (II.20).

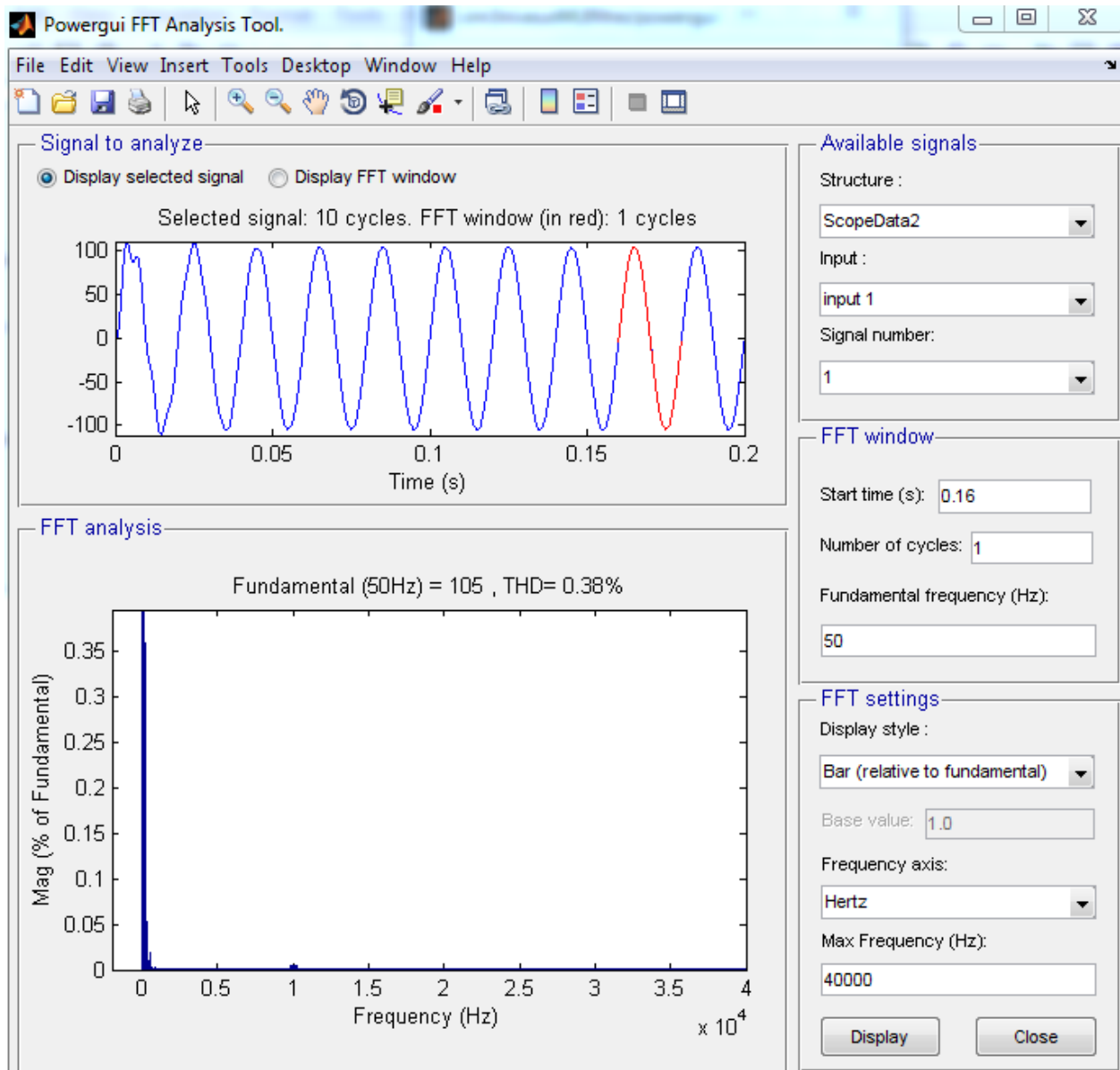


Figure (II.20) : Analyse spectrale de la tension de phase Van après filtrage.

II.6.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude et la simulation des onduleurs trois et cinq niveaux type NPC. on note que l'augmentation du nombre de niveaux permet d'augmenter la tension de sortie de l'onduleur donc la tension de sortie d'un onduleur NPC cinq niveaux est meilleure du point de vue taux d'harmoniques que celle d'un onduleur NPC trios niveaux.

CHAPITRE III :

ETUDE ET SUMILATION SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

III.1. Introduction

Photovoltaïque signifie électricité à partir de lumière. Les systèmes photovoltaïques emploient la lumière du jour pour actionner des appareils électriques, comme par exemple les appareils électroménagers, ordinateurs ou éclairage. Le phénomène photovoltaïque (PV) convertit l'énergie solaire libre, la source d'énergie la plus abondante sur la planète, directement en électricité [30].

Dans ce chapitre, nous présenterons étude le système photovoltaïque (Les panneaux solaire, La cellule photovoltaïque, modélisation du générateur), de plus nous allons appliquer la commande La Commande MPPT pour trouver point de fonctionnement optimal pour un suivie continue de la puissance est assuré et la puissance maximale est fournie.

III.2. Définition d'un panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [31].

III.3. La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque » a été découverte par E. Becquerel en 1839 [32]. Où ils sont fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs, Qu'ils ont des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage. Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type N (exemple: silicium dopé au phosphore). Si au contraire, l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons: il sera dit de type P (exemple: silicium dopé au bore) [33].

III.4. Association des cellules photovoltaïques

III.4.1. Association en série

La liaison de cellules n_s sérialisées permet d'augmenter la tension photovoltaïque (PV). Les cellules sont ensuite parcourues par le même courant et la caractéristique du groupe de séries est obtenue en additionnant les tensions initiales de chaque cellule, Voir Figure (III.1). L'équation (III.1) résume les propriétés électriques de la mise en série de n_s cellules [34].

$$V_{oc_{ns}} = n_s * V_{co} \quad \text{et} \quad I_{cc} = I_{cc_{n_s}}$$

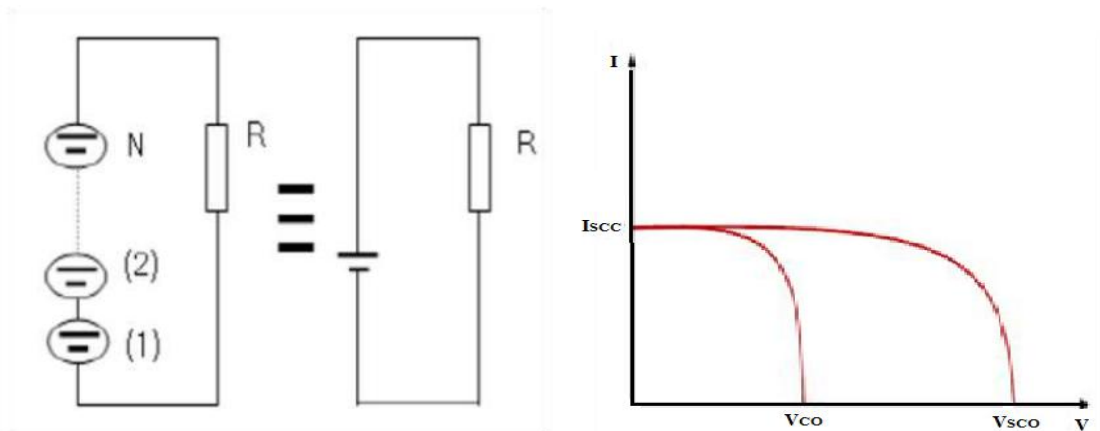


Figure (III.1) : Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_s cellules en série.

III.4.2. Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, voir figure (III.2) les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée [35].

Avec :

$$I_{CCNP} = NP \times I_{SC}$$

$$V_{CO} = V_{CONP}$$

I_{CCNP} : La somme des courants de court circuit de (NP) cellule en parallèle

V_{CONP} : Tension du circuit ouvert de (Np) cellules en parallèle

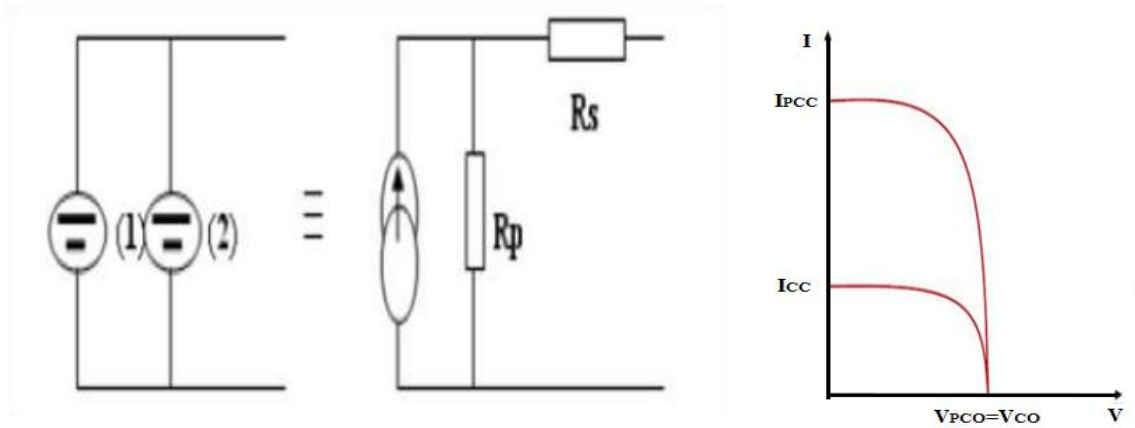


Figure (III.2) : caractéristique résultante d'un groupement en parallèle np cellules identiques

III.5. Modélisation du générateur photovoltaïque

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [36]. La figure (III.3) présente le modèle avec une diode.

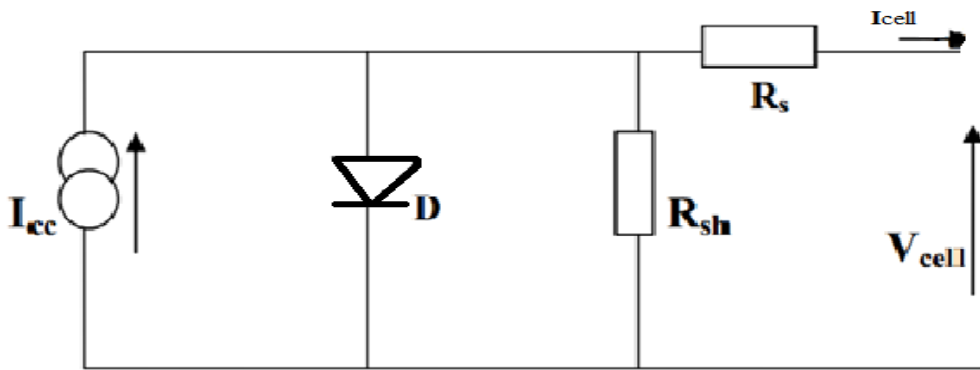


Figure (III.3) : Schéma électrique du modèle à une diode

-La relation mathématique de ce modèle est la suivante : [37].

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qv_{cell}}{nkT}} - 1 \right)$$

Avec :

I_{ph} :Photo-courant [A]

I_D : Courant à travers la diode [A]

I_S : Courant de saturation de la jonction non éclairée [A]

I_{cell} : Courant fourni par la cellule [A]

V_{cell} : Tension aux bornes de la cellule [V]

q : charge électrique élémentaire [$1.6 \cdot 10^{-19}$ As]

k : Constante de Boltzmann [$8.65 \cdot 10^{-5} \text{eV} / \text{K} = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{J} / \text{K}$]

T : Température absolue de la cellule [K]

n : Facteur d'idéalité de la jonction

III.6. Simulation de module PV

Le schéma de simulation du module PV implanté sous matalab/simulink est présenté sur la figure (III.4).

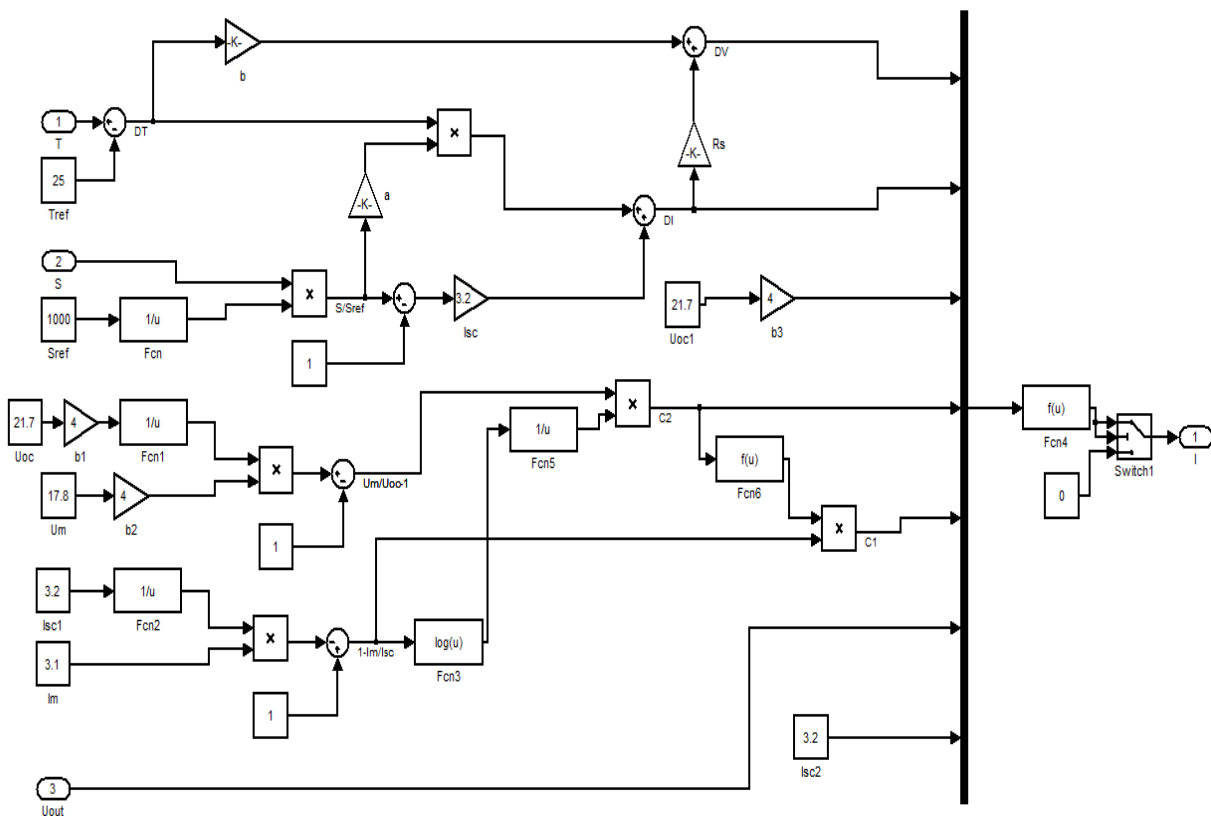


Figure (III.4) : Simulation du module PV

Pour tracer la caractéristique du module PV et pour montrer les propriétés du PV et les variations de la tension de sortie d'un PV et les puissances données pour différents éclairagements et températures, on a effectué plusieurs simulations selon les caractéristiques du PV récapitulées dans le tableau (III.I).

III.7. Caractéristiques du PV

Paramètres de module PV	Valeur de chaque paramètre
Tension maximale V_r à PMM(V)	75.6
Tension en circuit ouvert V_{oc} (V)	83.2
Courant maximal I_r à PPM(A)	3.2
Courant de court –circuit I_r (A)	3.5
Eclairement (w/m^2)	$1000w/m^2$
Température (C°)	$25^\circ C$

Tableau (III.1) : Valeurs des paramètres des simulations

Les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour un éclairage $1000W/m^2$ et de température $T_c = 25^\circ C$ sont présentées sur les figures (III.5 et III.6). Les résultats de simulation nous permettent de remarquer que Lorsque l'éclairage augmente la tension et le courant augmente et la puissance augmente.

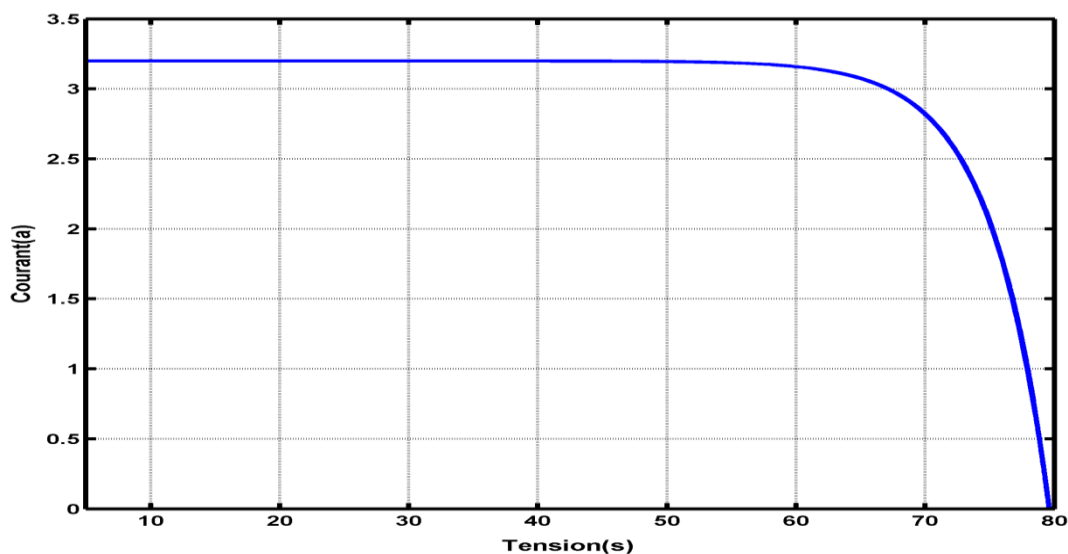


Figure (III.5) : La caractéristique Courant-Tension du panneau PV pour l'éclairage $G = 1000W/m^2$ et de température $T_c = 25^\circ C$.

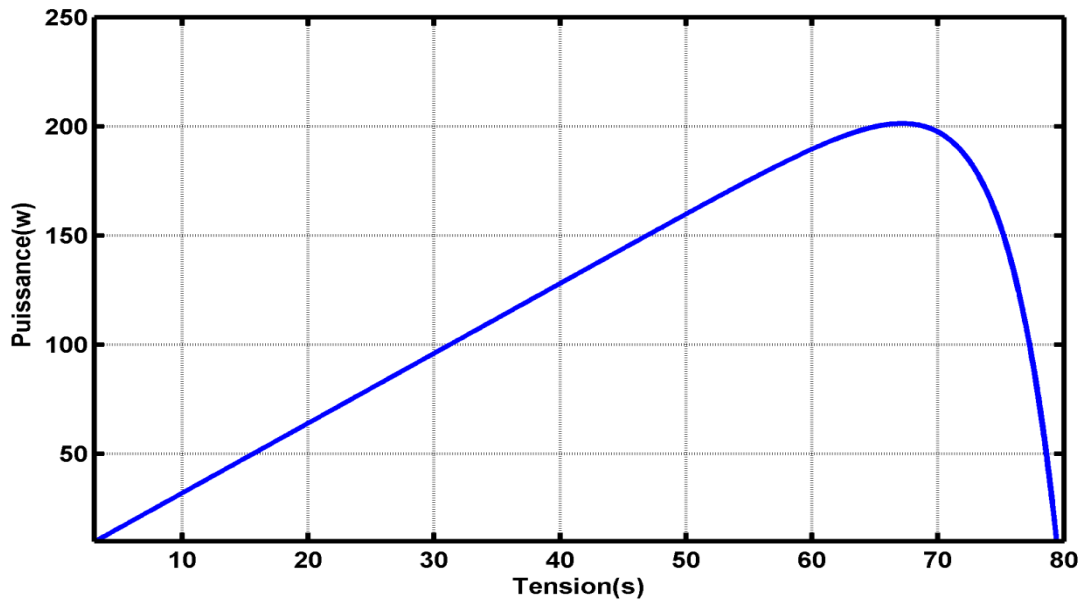


Figure (III.6) : La caractéristique Puissance-Tension du panneau PV pour l'éclairement $G = 1000\text{W/m}^2$ et de température $T_c = 25^\circ\text{C}$.

III.8 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes I (V) et P (V)

Les résultats de simulation du panneau photovoltaïque représentés par les figures (III.7) à (III.10) montre les caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension pour différents éclairements et différentes températures.

On remarque que la variation de l'éclairement influe sur le courant de court-circuit qui diminue quand l'éclairement diminue, par contre la tension à circuit ouvert est peu sensible à cette variation, ce qui engendre une diminution de la puissance maximale.

L'influence de l'évolution de la température est non négligeable sur la caractéristique courant-tension d'un générateur photovoltaïque. La tension de circuit ouvert diminue, lorsque la température augmente. Par contre le courant de court-circuit est faiblement dépendant de la température, cela se traduit par une baisse de puissance.

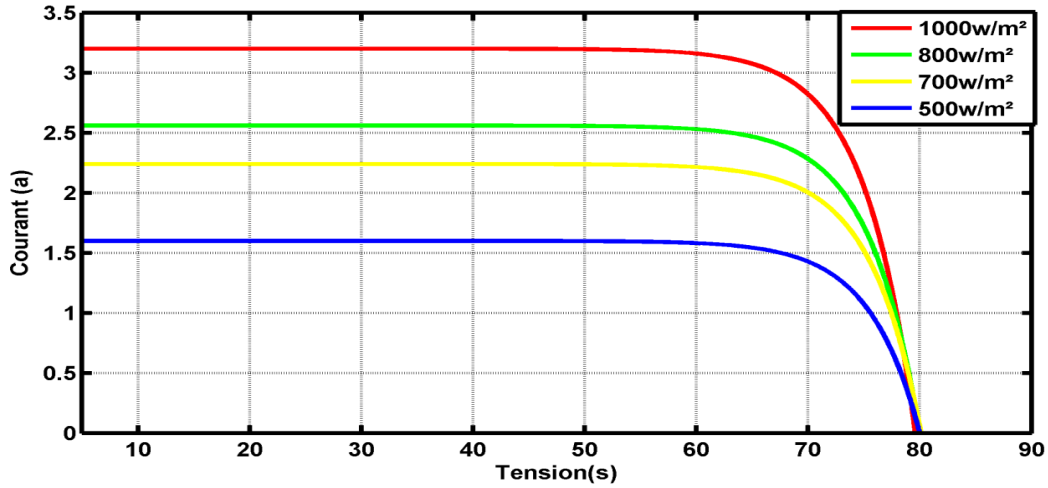


Figure (III.7) : Evolution de la caractéristique (I-V) pour différents éclaircements

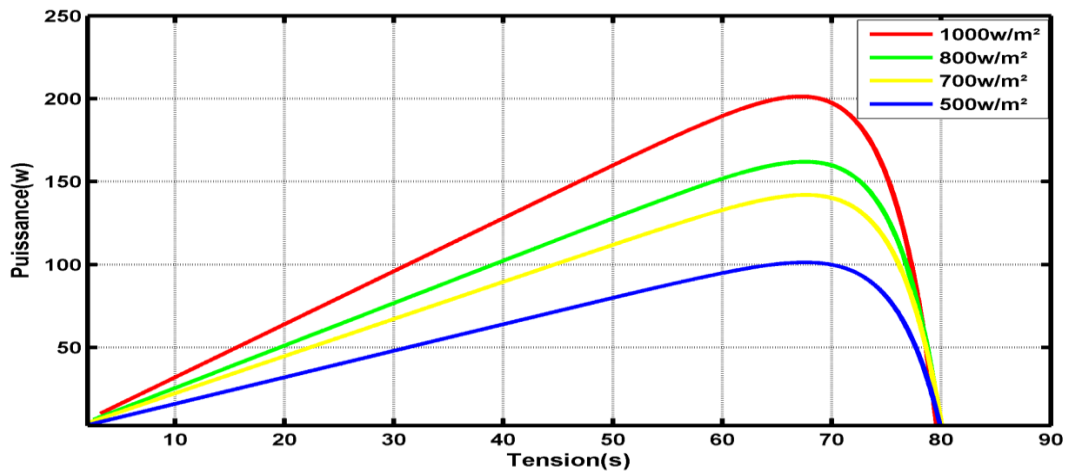


Figure (III.8) : Evolution de la caractéristique (I-P) pour différents éclaircements

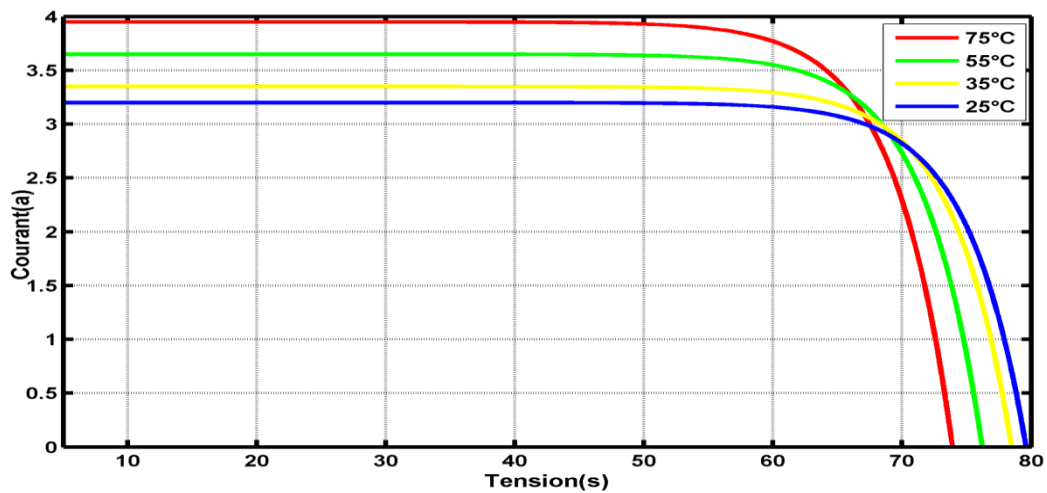


Figure (III.9) : Evolution de la caractéristique (I-V) pour différentes températures

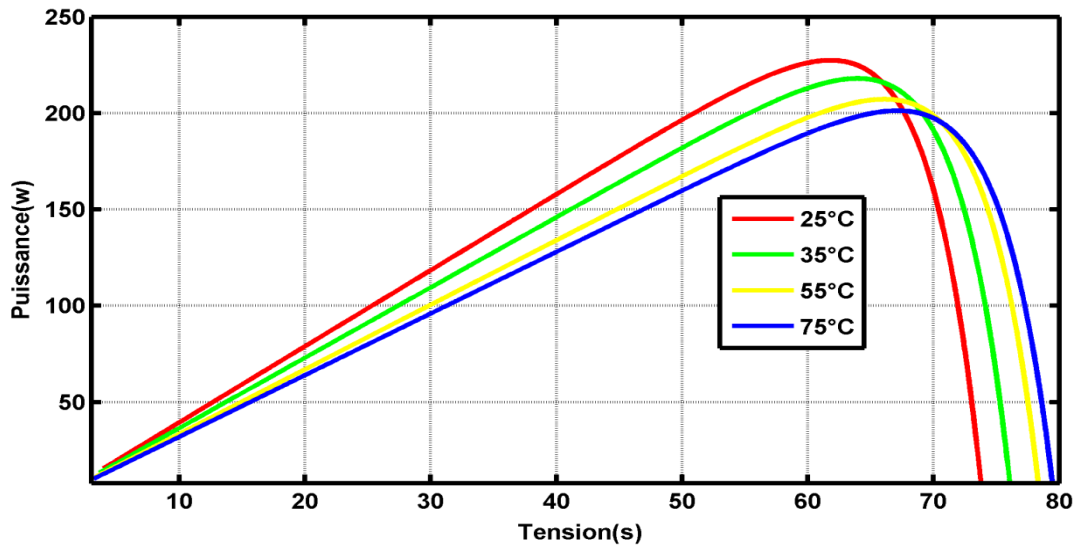


Figure (III.10) : Evolution de la caractéristique (I-P) pour différents températures

III.9. Les convertisseurs électriques

Les convertisseurs statiques sont des systèmes permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné. Suivant le type de machine à commander et suivant la nature de la source de puissance, on distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques [38].

III.9.1. Convertisseur DC/DC (Hacheur)

Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteur électronique commandé à l'ouverture et à la fermeture tels que les thyristors GTO ou les transistors bipolaire ou à effet de champ à grille isolée fonctionnant en régime de commutation. Le principe d'un hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide de l'interrupteur électronique. Celui-ci doit pouvoir être fermé ou ouvert à volonté afin d'avoir une tension de sortie continue réglable [39].

III.9.2. Type d'hacheurs

L'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples se décline en trois familles de convertisseurs statiques [40].

- Convertisseur abaisseur « BUCK »
- Convertisseur élévateur « BOOST »
- Convertisseur abaisseur- élévateur « BUCK-BOOST »

III.10. Convertisseur élévateur « BOOST »

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, convertit une tension continue en une autre tension continue de plus grande valeur. Ce type de convertisseur peut être utiliser

comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP comme le montre la figure (III.11).

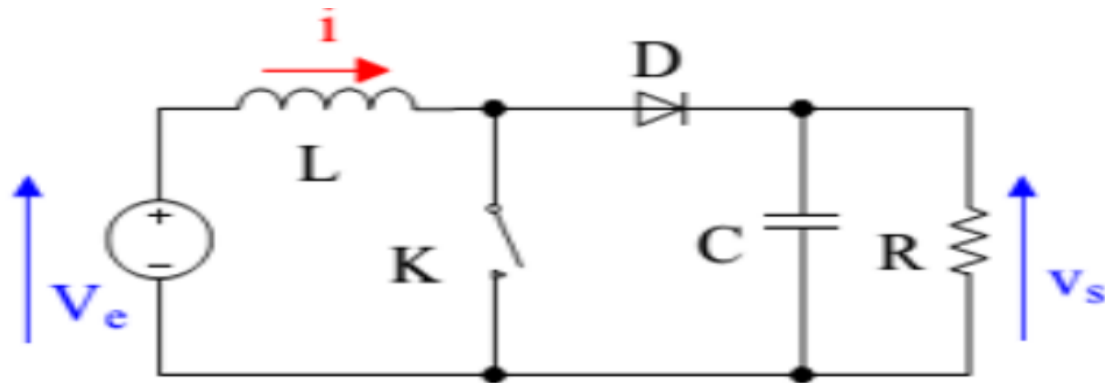


Figure (III.11) : Convertisseur Boost (hacheur élévateur)

III.11.La commande MPPT

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un suiveur du point de puissance maximum (MPPT : Maximum Power Point Tracking) est utilisé pour la commande de l'hacheur.

LA commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelque soient les conditions météorologiques (température et irradiation), et quelle que soit la tension de la batterie, la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum.

III.12.Les différentes techniques d MPPT

Afin d'extraire Le maximum de puissance d'un panneau solaire, on peut raisonner sur plusieurs et différentes méthodes, Certains des concepts sont très robustes et simples, tandis que d'autres approches exigent des dispositifs de logique très sophistiqués tels que des micro-processeurs combinés avec des circuits de puissance, de convertisseurs de commutation. Divers travaux sur des commandes assurant un fonctionnement de type MPPT apparaissent régulièrement depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce type adaptée à une source d'énergie renouvelable de type PV [41]. Afin d'optimiser la puissance produite par le champ photovoltaïque, plusieurs méthodes peuvent être utilisées [39].

- La méthode d'ajustement de courbe
- La méthode « look-up table »
- La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur
- La méthode de court circuit

- La méthode Perturbation Observation (P&O)
- La méthode d'incrément de conductance
- Les méthodes avancées (logique floue, réseaux de neurones)

Le système de poursuite du point de puissance maximale que nous avons choisi est la méthode perturbation & observation (P&O). Vu sa facilité d'implémentation, elle permet d'obtenir un bon rendement.

III.13. La méthode Perturbation & Observation (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure (III.12), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM [32].

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande [37]. La figure (III.12) présente schéma de convergence vers le PPM par P&O.

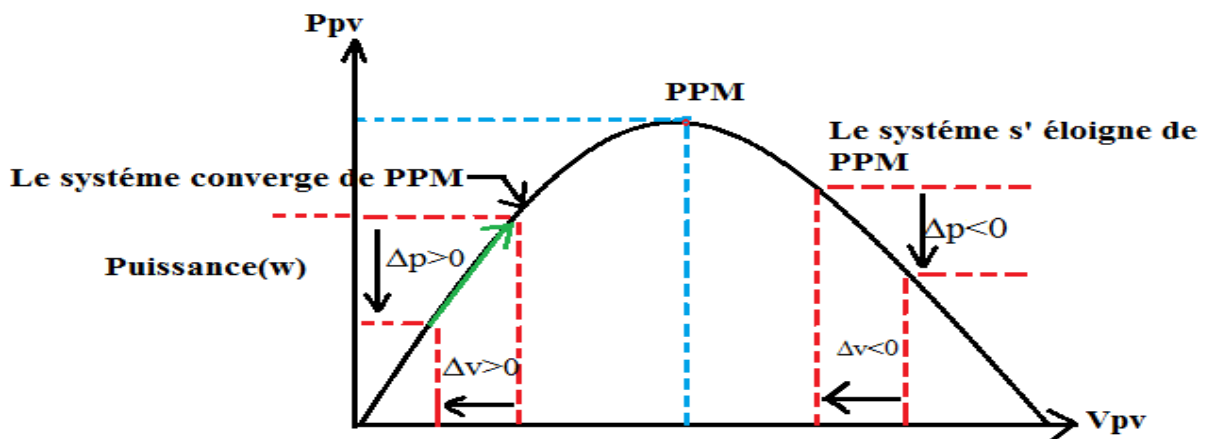


Figure (III.12) : Schéma de convergence vers le PPM par P&O

La figure (III.13) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

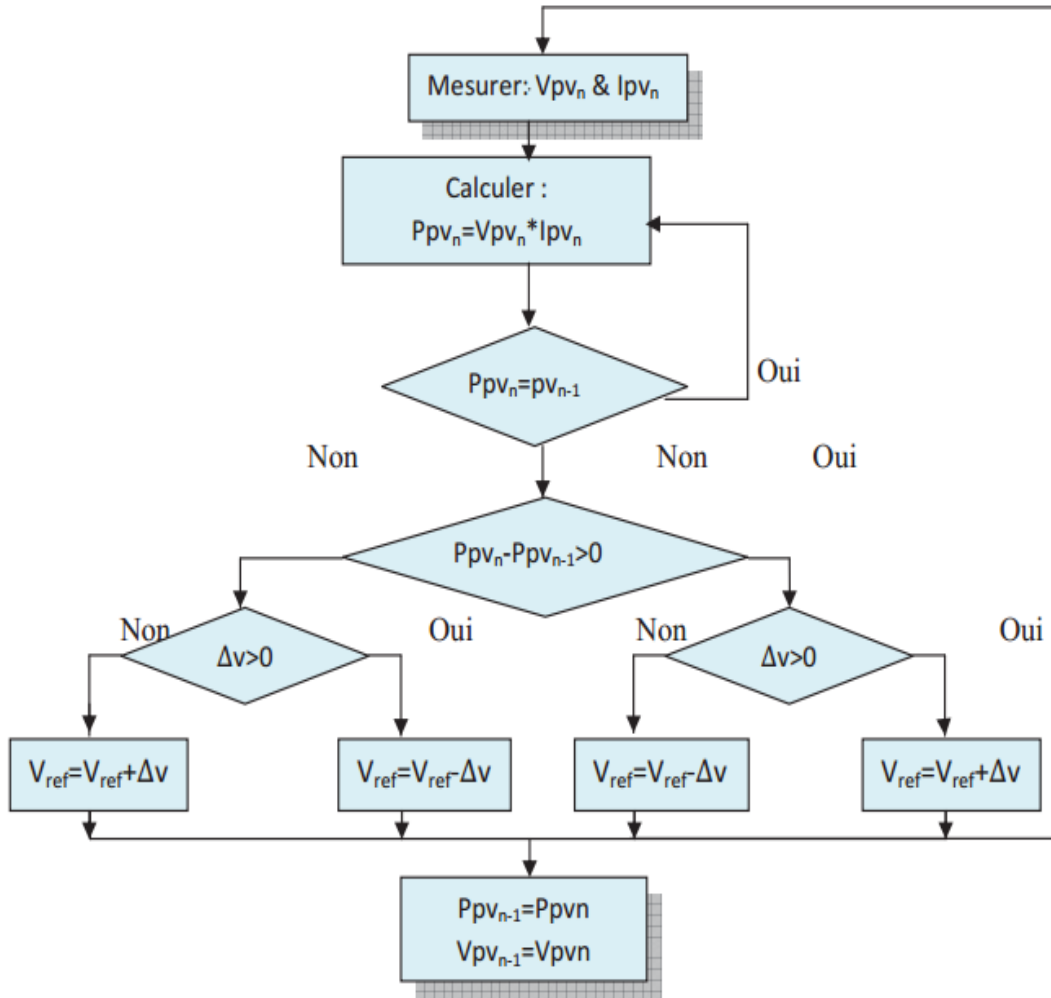


Figure (III.13) : Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation

Telle que :

P_{PVn} : la nouvelle puissance

P_{PVn-1} : l'ancienne puissance dans le temps (t-1)

$$\Delta V = V_{PVn} - V_{PVn-1}$$

$$\Delta P = P_{PVn} - P_{PVn-1}$$

La méthode P&O est largement utilisée de sa facilité d'implémentation .La figure (III.14) suivante montre le schéma SIMULINK que nous avons réalisé :

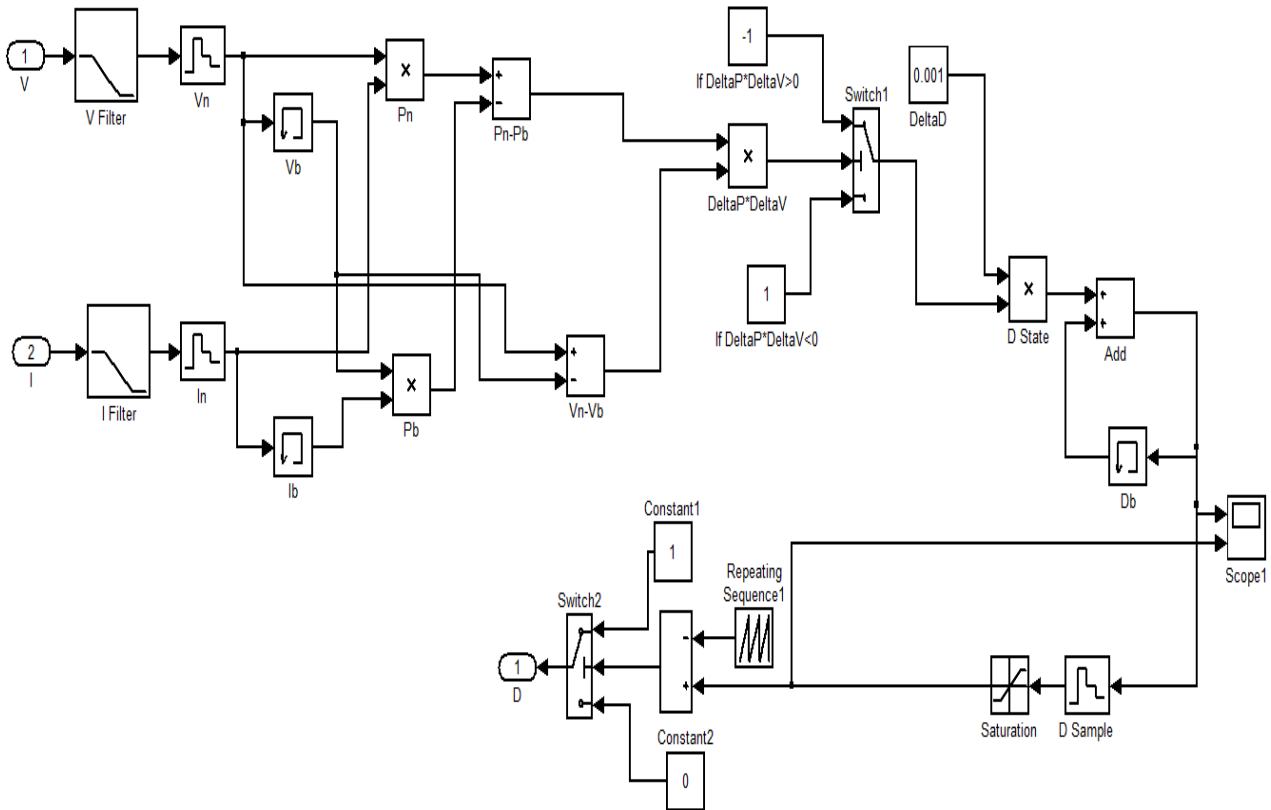


Figure (III.14) : Modèle SIMULINK de l’algorithme MPPT P & O

III.14.Principe De La Commande MPPT

La commande MPPT est une commande associée à un étage d’adaptation permettant de faire fonctionner un générateur électrique non linéaire de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs photovoltaïques ou encore avec les générateurs éoliens. Un générateur photovoltaïque est un générateur, dont la caractéristique $I = f(U)$ est fortement non linéaire. Les figures (III.15) et (III.16) représentent la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur [42].

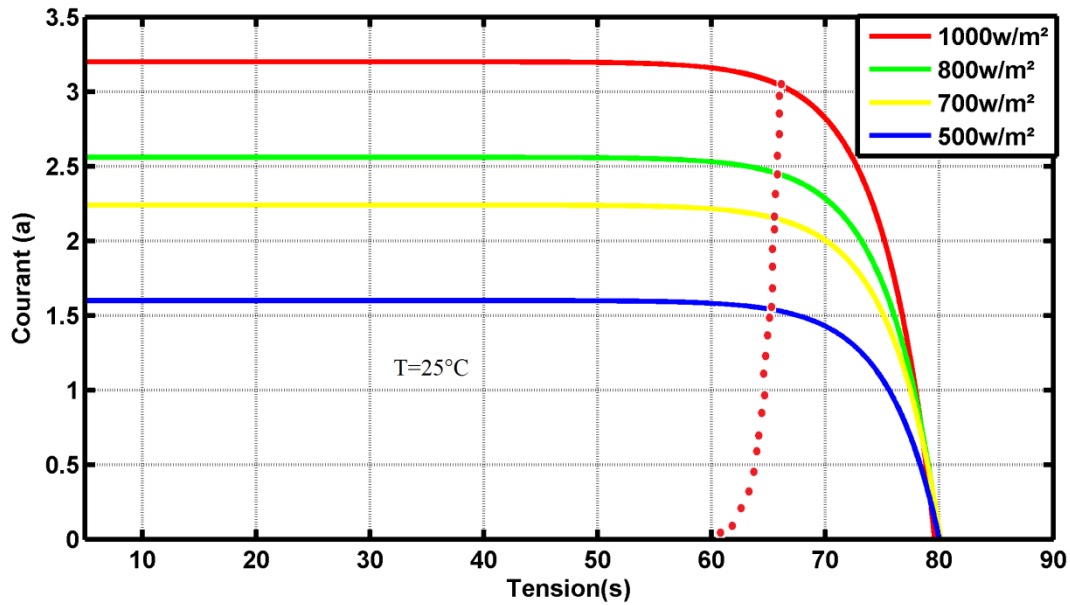


Figure (III.15) : La caractéristique I-V la trajectoire de PPM.

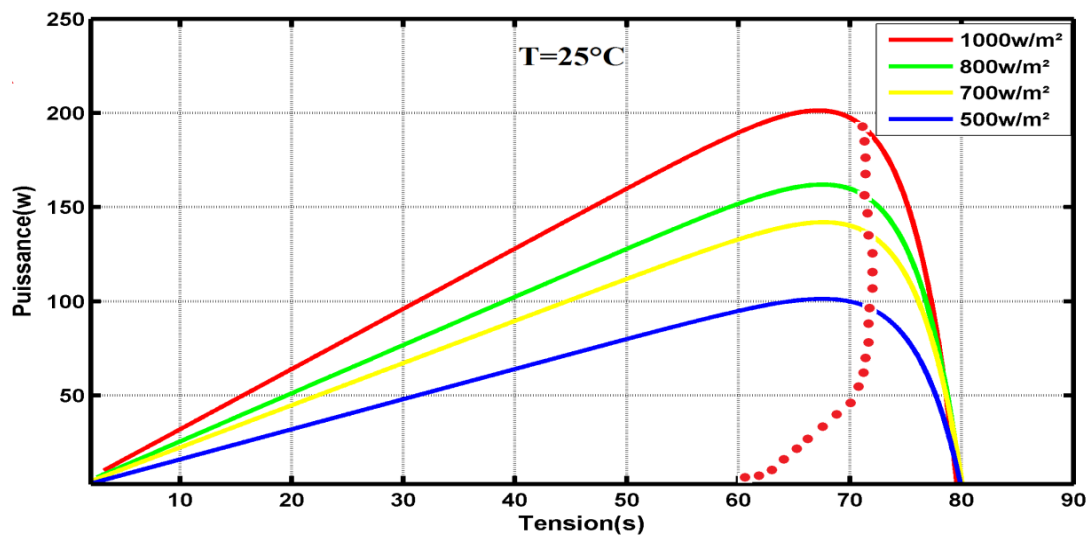


Figure (III.16) : La caractéristique P-V la trajectoire de PPM.

Sur chaque courbe de la figure (III.15 et III.16), on voit bien que pour un éclairement et une température donnés, il existe une valeur de la tension qui maximise la puissance produite par le générateur.

Il peut donc être intéressant d'insérer un convertisseur de puissance entre le générateur photovoltaïque et sa charge pour un fonctionnement à puissance maximale quelles que soient la charge et les conditions d'éclairement et de température.

III.15. Chaîne élémentaire de conversion PV avec onduleur à trios niveaux

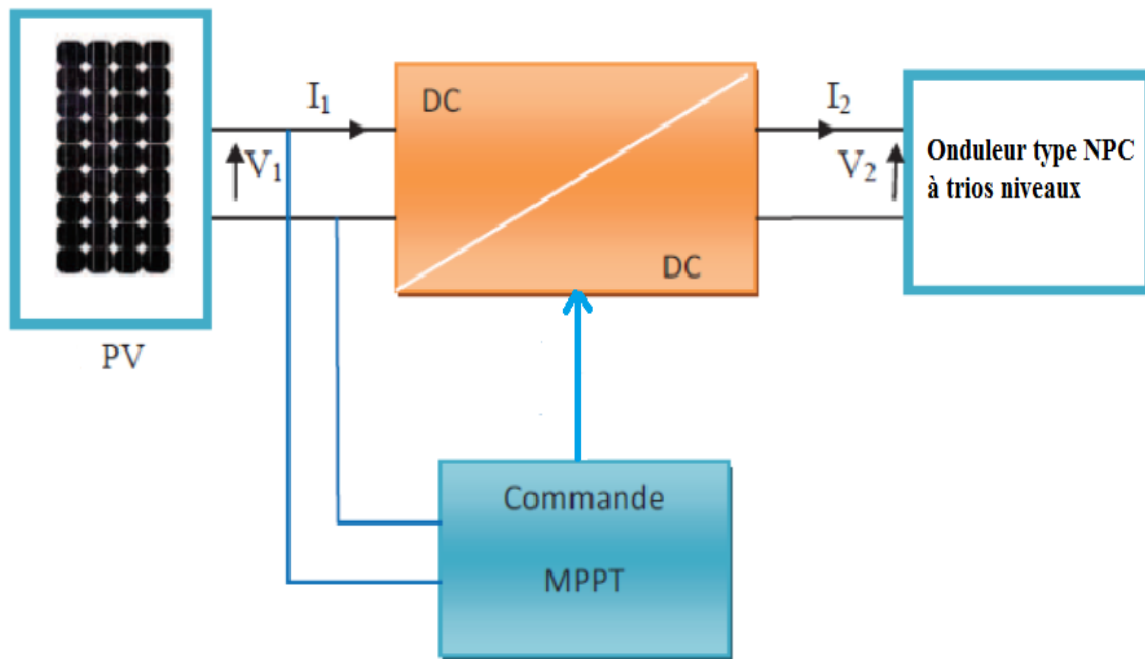


Figure (III.17) : Circuit de l'onduleur de tension trois niveaux dans le système photovoltaïque

Le système étudié présenté dans la figure (III.17) est composé d'un module PV associé à un hacheur boost et un onduleur trois niveaux alimente une charge triphasée montée en étoile.

Le module PV a les caractéristiques sus cités dans le tableau et l'hacheur est commandé par une MPPT perturbé observé et l'onduleur trois niveaux est commandé par une MLI triangulaire de porteuse de fréquence de 1.5 kHz et référence sinusoïdale de fréquence de 50Hz.

Dans le but de vérifier l'efficacité du système réalisé des simulations ont été effectué La figure (III.18) présente un profil d'éclairement qui varie de 1000 à 800 w/m^3 à l'instant 0.1s.suite à cette variation la puissance varié de 200 à 160w comme montre la figure (III.19) et la tension délivrée par le module PV fluctuée entre 61 et 73V, voir figure (III.20).Les figure(III.21, III.22 et III.23) montrent respectivement la tension de sortie de l'hacheur qui est parfaitement constante de 200V et les tensions délivrées par l'onduleur.

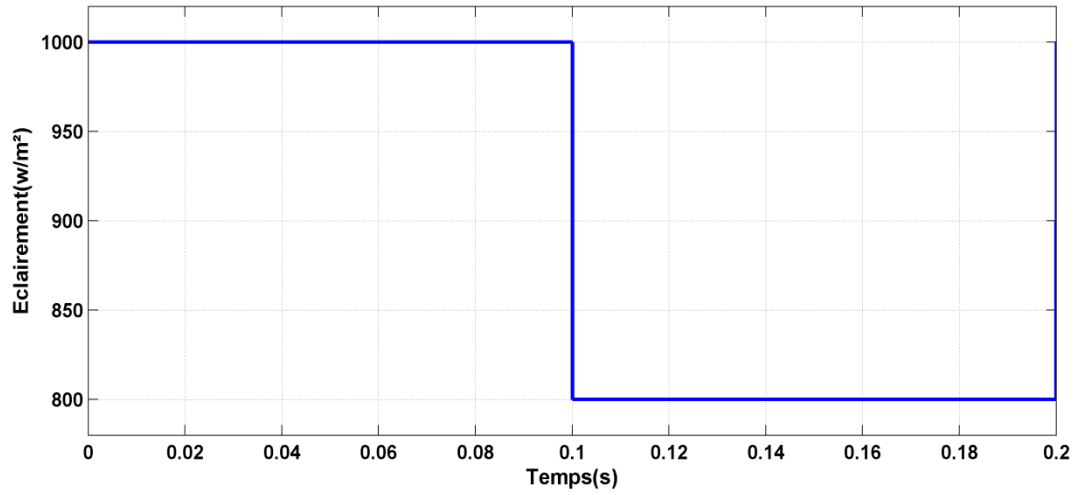


Figure (III.18) : variation de éclairement (1000w/m² à 800w/m²)

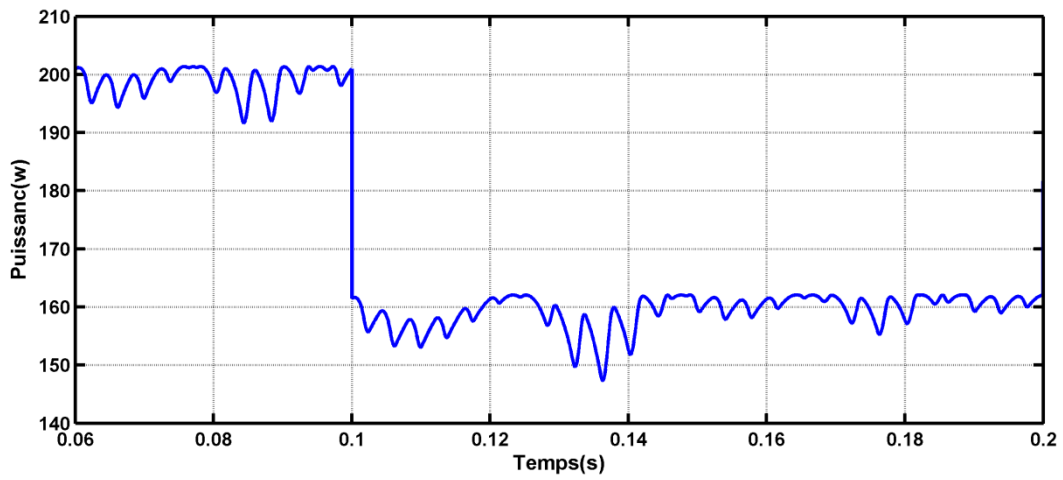


Figure (III.19) : variation de Puissance de PV

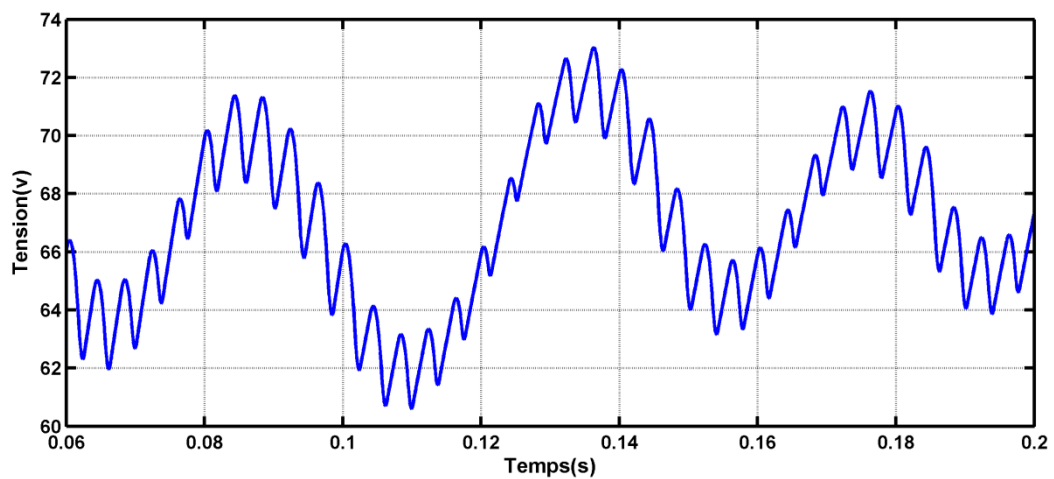


Figure (III.20) : variation de tension sortie avec PV

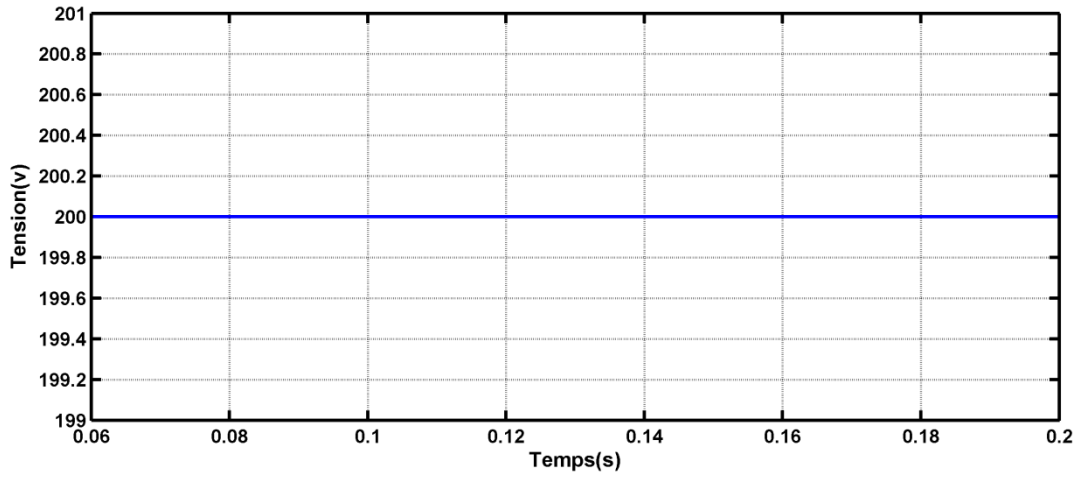


Figure (III.21) : Tension de sortie de l'hacheur

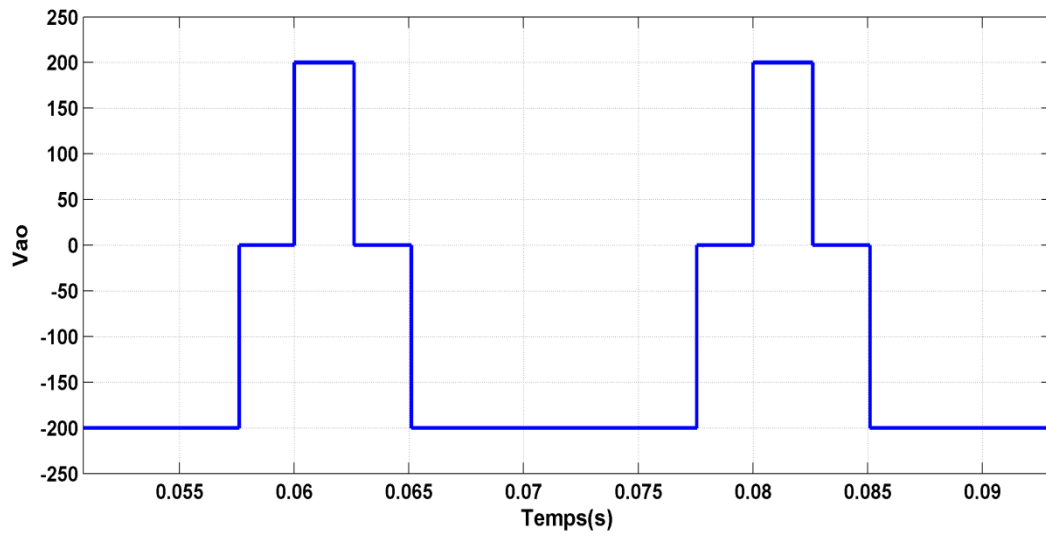


Figure (III.22) : Tension vao de sortie de l'onduleur trios niveaux

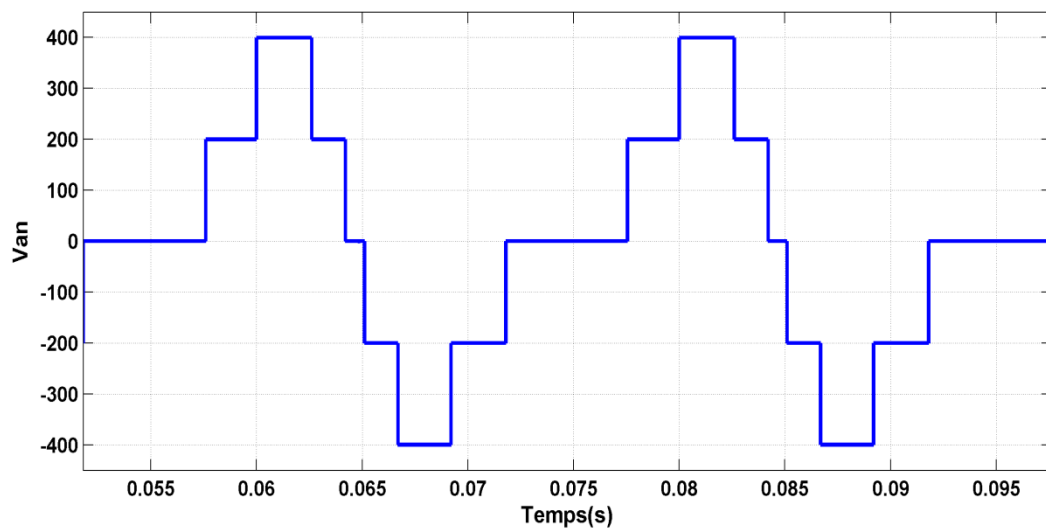


Figure (III.23) : Tension van de sortie de l'onduleur trios niveaux

III.17.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la simulation d'une alimentation stabilisée à base d'une source photovoltaïque utilisant un onduleur trois niveaux qui alimente une charge triphasée. Les résultats des simulations montrent que les tensions de sortie sont quasiment constantes pour différents éclaircissements et le module PV délivre toujours sa puissance maximale en utilisant la commande MPPT.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur étude et simulation d'un onduleur cinq niveaux, où nous divisons le travail en trois parties.

En première partie, nous avons présenté des généralités sur les onduleurs multi niveaux, Les topologies et les domaines d'application des onduleurs multi-niveaux.

En deuxième partie nous avons présenté étude et simulation des onduleurs trois et cinq niveaux type NPC, on note quand on augmente le nombre de niveaux cela permet d'augmenter la tension de sortie de l'onduleur et par conséquent la tension de sortie d'un onduleur NPC cinq niveaux est meilleure du point de vue taux de distorsion harmonique que celle d'un onduleur NPC trois niveaux. Un autre avantage d'un onduleur NPC cinq niveaux, les interrupteurs commandés bloquent une tension ($V_{ao}=E/4$) deux fois plus faible que celle bloquées par les interrupteurs du convertisseur à trois niveaux ($V_{ao}=E/2$). L'association d'un filtre passif LC rendent les tensions des trois phases sinusoïdales équilibrées et on illustre que l'analyse spectrale de la tension d'une phase (V_{an}) présente un THD=0.38.

Dans la troisième partie, nous avons présenté l'étude d'un système photovoltaïque. On note que la diminution de l'éclairement entraîne une diminution de la puissance des panneaux, par contre une augmentation de la température entraîne une diminution de la puissance des panneaux solaires. Pour extraire la puissance maximale produite par les panneaux solaires on a utilisé la commande MPPT pour commander l'hacheur associé au panneaux solaires.

Enfin l'association du système photovoltaïque a un onduleur trois niveaux a obtenus une alimentation alternative stabilisée quelque soit la variation d'éclairement ou température.

Références bibliographiques

- [1] **B. FARID**, « Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone », diplôme de MAGISTER Commande Des Machines Electriques, Université Badji Mokhtar , ANNABA, 2006.
- [2] **A. Hocine**, « Etude de l'influence de la couche d'oxyde interfaciale sur les paramètres d'une cellule solaire à conversion photovoltaïque du type MIS », Memoire De Magister Mi cro-électronique, Université Mouloud Mammeri , Tizi-Ouzou,2009.
- [3] **I. Sari-Ali, B. Benyoucef, B. Chikh-Bled**, «Etude De La Jonction Pnd'un Semi-Conducteur A L'équilibre Thermodynamique », Journal of Electron Devices,Faculté des Sciences Unité de Recherche « Matériaux et Energies Renouvelables (URMER),Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen,2007
- [4] **B. ABDENOUR , B. ASMA**, « Etude et réalisation d'un éclairage de secours », Memoire Master Instrumentation électronique, Université Abou bekr Belkaid , Tlemcen, 23 Juin 2014.
- [5] **B. Souad**, « Commande à vitesse variable d'un moteur à Courant continue alimenté par hacheur Bidirectionnel en courant », Spécialité Commande Electrique, Université Badji Mokhtar,Annaba, Juin2018.
- [6] Gaston Bachelard in«La Formation de l'espritscientifique»,« Les composants de l'électronique de puissance », septembre 2004.
- [7] **C.François**,génie électrique, cours complet illusiré.elipses,2004
- [8] **Guy Séguier,Francis Labrique ,Philippe Delaru** « Électronique de puissance Structures, commandes, applications », Paris, 2004, 2011, 2015
- [9] **B.Mourad** , «Etude et optimisation du transfert d'énergie électrique en conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance maximale (MPPT) » , Mémoire de master Spécialité Matériaux, Systèmes et Energies Renouvelables, Université Abou Bekr Belkaid ,Tlemcen, 21/06/2015.
- [10] **B.YACINE**, « Commande d'un convertisseur CA/CC et contrôle par différentes techniques », Master Académique En Electrotechnique, Université D'el-Oued , 2014/2015

- [11] **Z. Sabrina , M. Sabrina**, «Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique », Mémoire de master Spécialité électrocommunication et automatique , Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2016-2017
- [12] **B. Abdelkader**, « Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond-Graph », Diplôme,De,magister En Electrotechnique, Universite Ferhat Abbas , Setif, 02/ 12 / 2009
- [13] **S. Souhila**, « Etude et réalisation d'un onduleur solaire sinusoïdal », du Diplôme de Master Génie Électrique, Université Larbi Ben M'Hidi , Oum El Bouaghi ,2016.
- [14] **K. Sofiane ,G. Azzedine**, « Technique MLI aléatoire en vue de la réduction des perturbations conduites dans les convertisseurs continus-continus et continus-alternatifs », u Diplôme de MASTER en Génie électrique, Universite M'hamed Bougara ,Boumerdes,2016.
- [15] **M.Nasser Eddine, O. Sofiane**, « Etude et réalisation d'un onduleur de tension monophasé », diplôme master en électrotechnique, Université Abderrahmane MIRA- ,Bejaia,2017.
- [16] **L.Bilel**, « Modélisation et commande d'un onduleur triphasé à structure multi-niveaux », Master en électrotechnique , Université A/Mira ,Bejaia, 2014-2015
- [17] **A.Kambiz**, « Conception, Synthèse et Application d'une Nouvelle Commande Robuste par PID Fractionnaire pour Les Onduleurs Multiniveaux », These de Docteur de l'INPLGénie Electrique, Polytechnique de Lorraine, 15 novembre 2010.
- [18]
- [19] **B. Abdelhalim**, « Etude et Réalisation d'un Onduleur Multiniveaux à Topologie Cascadée », diplôme de Magister en Génie Electrique, Université A.MIRA- ,Bejaia,2013.
- [20] **B.Abdesselam**, « Etude d'un onduleur multi-niveaux en cascade de type 3/2 », Diplôme de Master Réseaux Electriques (RE), Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi, juin 2018
- [21] **E. Hamza, Z. Mourad**, « Fonctionnement en mode dégrade d'un onduleur multi niveaux application au filtre actif parallèle », diplôme de Master Académique, Universite Mohamed Boudiaf , M'sila,2017.
- [22] **C.Fethi**, « Commande des Onduleurs Multiniveaux », Master En Genie Electrique, Universite De Mohamed Boudiaf,M'sila,2016

- [23] **R. Brahim**, « Etude du déséquilibre de l'alimentation d'un onduleur multi niveaux », Memoire En Vue De L'obtention Du Diplome De Magister, Universite Mohamed Boudiaf, Universit, Oran , 12/05/2014
- [24] **T.Nassim** , « Etude des différentes stratégies de commande de l'onduleur 5 niveaux à structure NPC », Master en Génie Electrique, Université A. MIRA de Bejaïa, 2014/2015
- [25] **D. Beriber , E. M. Berkouk , M. O. Mahmoudi , A. Talha**, « Association Onduleur À Trois Niveaux A Structure Npc Machine Asynchrone À Double Stator », Ecole Nationale Polytechnique d'Alger -10, rue Hassen Badi, El Harrach, Alger, 20-21-22 mai 2004
- [26] **M. BALDÉ**, « Étude D'un Compensateur Statique Pour Éoliennes À Vitesse Fixe À Base De Génératrice Asynchrone À Cage »,M émoire Présenté À L'université Du Québec À Trois-Rivières, Decembre 2010.
- [27] **B. Haroun , H.Safouane**, «Etude et analyse de la commande des onduleurs Multi-niveaux par MLI sinusoïdale », diplôme de MasterGénie minier, Universite Larbi Tebssi,Tebessa, 2016.
- [28] **B. kamel , B. abdelmalek**, «Etude par simulation sous MATLAB et PSIM d'un onduleur cinq niveaux à structure NPC», diplôme de Master En Électrotechnique, Université A. MIRA, Bejaia, 2016.
- [29] **B. wafa**, « Convertisseurs multiniveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau» , diplôme de Magister en Electrotechnique, Université Mohamed Khider, Biskra,
- [30] **B. Imad Eddine, M. Belgacem** « Etude et optomation d'un système photovoltaïque ». Université d'Ouargla. Mémoire de master. (2016).
- [31] **C. Abdelkrim**. « Control d'un système photovoltaïque connecte au réseau ». Université de Biskra. Mémoire de master. (2014).
- [32] **O.BENSEDDIK, F. DJALOUD**. Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque. Université d'Ouargla. Mémoire de master. (2012).
- [33] **B. Wafa**, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT ». Université d'Ouargla. Mémoire de master. (2012).
- [34] **M. MOHAMMED, H. ABDERRAHMANE**, « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie ». Université de Chlef. Mémoire de magister. (2011).

- [35] **B. Faiza**, « Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV ». Université de M'sila. Mémoire de master. (2016).
- [36] **A. OULD MOHAMED YAHYA, A. OULD MOHAMED, I. YOUM**, « Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque », Revue des Energies Renouvelables 1, 473 – 483 (2008).
- [37] **S. Farah, S. Manel**, « Etude et Simulation D'un Circuit De Commande D'un Système PV avec Anti Islanding », Université de Tlemcen. Mémoire de master (2015).
- [38] **B. Faouzi, L. Farid**, « Etude et Simulation d'un Système de Pompage Photovoltaïque avec batteries », Université de Bejaia. Mémoire de master (2014).
- [39] **B. wafa**, « Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau », Université de Biskra. Mémoire de master. (...)
- [40] **T. IBRAHIM H. AMINE**, « Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique », Université de Tlemcen. Mémoire de master. (2017).
- [41] **B. Boumediene, B. Hichem**, « Commande d'un onduleur multi niveaux pour l'injection de puissance photovoltaïque au réseau électrique », Université de d'Ain-Temouchent. Mémoire de master. (2018).
- [42] **A. Belkacem**, « Topologie des onduleurs solaire: étude et synthèse », Université d'Oran. Mémoire de master. (2012).

ANNEXE

Schéma globale de simulation conversion PV avec onduleur à trios niveaux

