République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE

Thème

Intégration d'un Onduleur a Cinq Niveaux Dans Une Chaine Photovoltaïque

Soutenu le : 08/06/2015

Présenté par : **Badhbouda Khadidja**

Encadré par : ..... **Mr. Dr Said Bentouba**

Co-encadreur: .....

Président : .....**Mr .Pr Hamouda Messoud**

Examinateurs: ..... . **Mr. Dr Mouhedjer Samir**

Remerciement

Je tiens à exprimer mes remerciements à mon encadreur ***Le DR SAID Bentouba*** qui ma honoré par son encadrement et d'avoir accepté cette lourde tâche, qui n'a pas cessé de me donner conseils et remarques, durant la réalisation de cette mémoire. Je lui exprime également mon profond reconnaissance pour son dévouement et de me faire profiter pleinement de ses compétences scientifiques et de ses idées pour l'accomplissement de ce travail

Je remercie également les membres de jury de cette soutenance pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Je tiens à remercier vivement toutes personnes qui ma aidés à élaborer et réaliser cette mémoire, notamment messieurs ***; Dr. Othmane ABDELKHALEK, Pr. Chellali BENACHIBA et Pr. Mohamed TAMALI*** des enseignants chercheurs de l'université TM de Béchar.

Je tiens à remercier vivement toutes personnes qui ma aidés à élaborer et réaliser ce mémoire, notamment le ***Mr Belfdal Abdelmalek, et Melle. S.Fatima*** des cadres à la direction de la distribution d'Adrar.

Que tous ceux qui ont participé, directement ou indirectement, au bon déroulement de mon travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous les travailleurs de l'université d'Adrar, pour le soutient qu'ils mon accordé.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A l'âme de ma mère qui été pour mon corps mieux qu'un cœur ;

Mabrouka

A mon cher père qui à sacrifié son temps pour nous Abderrahmane ;

A l'âme des mes frères Mohamed-Abdelhamide-Abdelkader - Tayyab

A ma Sœur fatima et sa petite fille Zinab Nour Elhouda

A mon fils frère Baha Edine –Haind fatima zahra -Abderrahman

A tous ceux qui me sont chers ;

A toute ma grande famille Badhbouda-Chandad

A mes collègues : Bougrine AEK-Hamane ABK-

Benseghire Med-Idda ahmed –B.keltoum –B.djamila

A Nacer hamza

A mes collègues de travail ;

Et à tous mes amis.

Résumé

L'objectif de cette mémoire présente le rôle d'onduleur multi niveau pour l'utilisation d'un system photovoltaïque.

L'onduleur de type NPC que convertie DC/CA, on a choixer le niveau de tension pour ajoutes la bonne qualité d'énergie fournie par le GPV.

La comparaison d'une trois type d'onduleur deux, trois et cinq niveau mette bien que l'onduleur a cinq niveau donne la bonne résultat d'une temps court

Alor l'augmentation de niveau de tension au niveau d'onduleurs il est obligé d'une domaine d'énergie photovoltaïque

Mots clés : onduleur multi niveaux, onduleur a trois niveaux, onduleur a cinq niveaux, générateur photovoltaïque

ملخص

ان الهدف من هذه المذكرة هو توضيح مدى اهمية اختيار المموجات المتعددة المستويات في استعمالات الفوطوفولطية

كما ان المموج من النوع NPC والذي يقوم يتحويل التيار DC/CA يجب مراعاة اختياره على حسب مستوى الكمون المناسب للحصول على طاقة جيدة صادرة من مولد الفطوفوطية.

بحيث وضحنا من خلال المقارنة بين انواع المموجات الثنائي ,الثلاثي والخمس مستويات ان هذا الاخير يعطي نتيجة افضل وفي وقت اقصر.

وفي الاخير توصلنا الي ضرورة الرفع من مستوى المموجات فننتقل من المموج ذو الثلاثة مستويات الى المموج ذو الخمس مستويات للحصول على نتائج افضل في مجال الطاقة الفولطية .

الكلمات المفتاحية:المموجات ,المموج ذو الثلاثة مستويات,المموج ذو الخمس مستويات,مولد الفولطية

Abstract

The purpose of this memoir is to display the role of the multi-level inverter into the photovoltaic use.

The NPC inverter, which converts DC/AC, should be chosen regarding the appropriate level

Of voltage to obtain a good quality of energy that is made with a photovoltaic generator.

De comparison of tow ,three and five-level inverters proves that the latter is the best in giving a goode result and taking shorter time.

In sum, we have concluded that it's necessary to increase the voltage level from three-level inverter into five-level inverter in order to get better results in photovoltaic field.

Keywords: multi-level inverter , five-level inverters , photovoltaic generator

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : évaluation de la production d'électricité renouvelable …… 11

Tableau I.2 : Potentiel solaire de l'Algérie ……. 12

Chapitre II

Tableaux II.1: obtention des cinq niveau de tension en fonction des d'états des interrupteurs (k=a,b au c) …… 21

Chapitre III

Tableau III.1 : Caractéristique électrique du module pv……. 36

Chapitre IV

Tableau (IV.1) : états possibles de l'onduleur a 2niveau……. 44

Tableau IV.2 : états possibles d'onduleur NPC à 3 niveaux…… 45

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Insertion de la production décentralisée dans le système électrique …… 10

Chapitre II

Figure II.1 : Insertion de la production décentralisée dans le système électrique …… 14
Figure II.2 : schéma du convertisseur à condensateur flottants…… 15
Figure II.3 : représente un onduleur en cascade à cinq…….. 16
Figure II.4 : Onduleur en cascade à 7 niveaux…… 17
Figure II.5 : structure triphasée à cinq niveaux à diode de pince à base de GTO……. 18
Figure II.6 : Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux…… 19
Figure II.7 : Structure triphasé d'un onduleur cinq niveaux……... 20
Figure II.8 : bloc simulation matlab /simulink d'onduleur a 5 niveaux …… 25
Figure II.9 : Formes d'ondes d'un bras d'onduleur triphasé cinq niveau de type NPC… 25
Figure II.10 : Tension simple de sortie et courant Iabc……..... 26

Chapitre III

Figure III.1 :(a) cellules mono-cristallines, (b) cellules poly-cristallines, (c) cellules amorphes…… 28
Figure III.2 : Panneau de solaire ……. 29
Figure III.3 : Boite de dérivation ……... 29
Figure III.4 : Présentation d'une cellule, d'un panneau et d'un champ photovoltaïque. ... 29
Figure III.5 : Test de tenson en circuit ouvert…… 30
Figure III.6 : Test de courant en court circuit en circuit ouvert…… 31
Figure III.7 : modèle équivalent d'un GPV en circuit……... 32
Figure III.8 : modèle simple d'un PV…… 33
Figure III.9 : modèle simple d'un PV avec une résstence en paralléle …… 34
Figure III.10 : modèle simple d'un PV avec une résistance en série …… 35
Figure III. 11: Blok simulation de GPV …… 38
Figure III.12 : Simulation de a caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction d'éclairement ……. 39
Figure III.13 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction d'éclairement…… 39
Figure III.14 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction température, E=1000W/m²…… 40
Figure III.15: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de température, E=1000W/m²……... 40

Chapitre IV

Figure IV.1 : Schéma d'onduleur a deux niveaux…….. 43
Figure IV.2 :Séquence de fonctionnement d'un bras d'onduleur a deux niveau…… 43
Figure IV.3: Schéma d'un onduleur NPC a 3niveaux…… 44
Figure IV.4 : séquence de fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC à trois niveau…… 45
Figure IV.5 : tension simple va de phase 1 triphasé à deux niveaux son spectre harmonique……. 46
Figure IV.6 : tension simple va de phase 1 triphasé à trois niveaux son spectre harmonique ……. 46
Figure IV.7 : Tension simple de sortie et courant Iabc……... 47
Figure IV.8 : intégration d'onduleur trois niveau d'un GPV……. 48
Figure IV.9 : intégration d'onduleur cinq niveau d'un GPV…… 48
Figure IV.10 : courant, tension fournée par onduleur a trois niveaux…… 49
Figure IV.11 : courant, tension fournée par onduleur a cinq niveaux…… 49

Figure IV.12 : Marge d'harmoniques trois niveaux …… 50
Figure IV.13 : Marge d'harmoniques cinq niveaux…… 51

Liste des symboles et Notation

- **Symboles**

Notation	**Description**
N	Le nombre des niveaux de tension de sortie
S	le nombre des sources des tensions continues
E	La tension continue d'entrée de l`onduleur
Sx,y	Interrupteur statique
Vao	tension de sortie
Vm	Tension maximent
Vnm	tension entre le point milieu
Icc	courant de court circuit
Iph	Le photo-courant
Io	courant de saturation de la diode
FF	facteur de forme
I	Courant de sortie (A).
V	Tenson de sortie (V)
Id	courant de diode (A)
Vd	tension de diode (V)
Ip	Courant shunte (A)
n	Nombre de cellules
K	constante de boltezamann ($k=1.38x10^{-23}$)
q	charge de l'électron ($q=1.6025x10^{-19}c$)
T	température de la cellule (k°)
Rp	résistance parallèle de la cellule
Rs	Résistance série de la cellule
a	Constante de la diode
Nss	Nombre de module connecté en série
Npp	Nombre de module connecté en parallèle
G	Irradiation solaire
TUC	Température d'utilisation de la cellule

- **Notation**

Notation	**Description**
NPC	Neutral Point Clamped, (à point milieu)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
GTO	Gate Turn Off
MLI	Modulisation de largeur d'impulsion
GPV	Générateur photovoltaïque
PV	Photovoltaïque
REn	énergie renouvelable
CEM	compatibilité électromagnétique
THD	Harmonic distortion

Sommaire

Introduction générale …… 1

Chapitre I : Généralité Sur Les Energies Renouvelable

I-1 Introduction……..... 3
I.2 Energies renouvelables définitions- ressources …….. 3
I.2.1 L'énergie solaire - conversion photovoltaïque……... 3
I.2.2 L'énergie solaire thermique …….. 5
I.2.3 L'énergie hydraulique …… 6
I.2.4 L'énergie éolienne…….. 7
I.2.5 L'énergie géothermie ……..... 8

I.2.6 La biomasse …….. 9
I.3 Fonctionnement du système électrique..... 10
I.4 Chiffres clés des énergies renouvelables …… . 11
I.4.1 Évolution de la production brute d'électricité renouvelable par filière européenne En TWh…….. 11
I.4.2 Potentiel solaire de l'Algérie …… 11
I.5 conclusion …….. 12

Chapitre II : Simulation d'un onduleur à cinq niveaux

II.1 Introduction …….. 13
II.2 Intérêt des convertisseurs statiques multi niveaux…… 14
II.2.1 Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants…… 14
II.2.2 Structure des convertisseurs à alimentation séparée (en cascade)…… 16
II.2.3 Onduleur multi niveaux à diode de bouclage……... 17
II.3 Modélisation de l'onduleur de tension à cinq niveaux NPC……. 19
II.3.1 Structure générale…….. 19
II.3.2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC à cinq niveaux……. 20
II.3.3 Tension générées par l'onduleur……. 22
II.4 Simulation de l'onduleur à cinq niveaux…… 24
II.4.1 Présentation du logiciel de simulation …… 24
II .4.2 Interprétations des résultats …… 26
II.5 conclusion ……. 26

Chapitre III : Simulation d'un Générateur photovoltaïque

III.1 Introduction …… 27
III.2 Historique..... 27
III.3 Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque…… 27
III.3.1 la cellule photovoltaïque……. 27
III.3.1.1 Les différents types des cellules solaires ……. 27
III.3.1.1.a Les cellules mono-cristallines……. 27
III.3.1.1.b Les cellules poly-cristallines……... 28
III.3.1.1.c Les cellules amorphes……. 28
III.3.2 Le module photovoltaïque…… 28
III.3.3 Le panneau solaire…… 28
III.4 Caractéristique de circuit de ouvert …… 29
III.4.1Tension de circuit ouvert ……. 29
III.4.2 Courant de court circuit …….. 30
III.5 Modèles d'un générateur photovoltaïque …… 31

III.6 Courant d'un générateur photovoltaïque…… 32
- Cas d'un modèle simple …… 32
- Modèle simple avec une résistance parallèle Rp……... 34
- Modèle simple avec une résistance série Rs…… 35
- Modèle simple avec une résistance parallèle Rp et série Rs……. 35

III.7 Simulation du GPV…… 36
III.8 résulta de simulation……... 39
III.9 Interprétations des résultats……... 41
III.9.1 Influence de l'éclairement…….. 41
III.9.2 Influence de la température …… 41
III.10 Conclusion…….. 41

Chapitre IV : Intégration d'onduleur cinq niveaux à une GPV

IV.1 Introduction 42
IV.2 Historique d'utilisation d'onduleur d'un système pv…….. 42
IV.3 Topologies d'onduleurs..... 42
IV.3.1 onduleur classique à deux niveaux de tensions…….. 42
IV.3.2 Onduleur NPC à trois niveaux de tensions……. 44
IV.4 Résulta d'Etude …….. 46
IV.5 Interprétations des résultats …… 51
IV.6 Conclusion ……... 52
conclusion général..... 53
Référence Bibliographique……. 54

Introduction générale

Introduction général

A ce sujet, Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, … apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux [1].

La large utilisation des systèmes à base d'électronique de puissance, notamment les convertisseurs statiques, durant ces dernières décennies, a entraîné une dégradation significative de la qualité de l'énergie électrique. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges dites déformantes. Ces charges non linéaires, telles que les redresseurs à diodes et à thyristors, les gradateurs, les ordinateurs et leurs périphériques et les appareils de climatisation et d'éclairages à base de tubes fluorescents, consomment un courant non sinusoïdal. Ces appareils absorbent des courants non sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale et de ce fait introduisent des pollutions harmoniques sur les courants et les tensions des réseaux de distribution électrique.

les onduleurs multi-niveaux permettent une association série de plusieurs cellules de commutation, ce qui permet une augmentation du niveau de tension appliqué et également la puissance transitée. Cette structure permet aussi d'avoir une tension de sortie proche de la sinusoïde; grâce aux plusieurs niveaux de tension fournis par ce convertisseur.

Depuis plus de dix ans, le marché mondial des systèmes photovoltaïques connaît un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30% à 40% par an, dû en particulier aux installations raccordées au réseau électrique de distribution. Cette croissance exceptionnelle passe nécessairement par des innovations technologiques et une baisse des coûts des modules photovoltaïques, mais également par des efforts significatifs de recherche et de développement, notamment dans le domaine de l'électronique de puissance.

Les interrupteurs de puissance des onduleurs peuvent être soumis à de fortes contraintes en tension. Ces composants doivent en particulier être en mesure de bloquer la pleine tension imposée par le bus continu de la chaîne photovoltaïque. La répétition de ces contraintes peut conduire à la limitation de l'endurance du convertisseur.

Dans le premier chapitre, nous vous discute sure les différant types de l'énergie renouvelable.

Dans le deuxième chapitre, nous étudions les différents types des topologies d'onduleur multi-niveaux et la modélisation et simulation sou matlab /similank d'onduleur a cinq niveau

Dans le troisième chapitre, nous étudions théoriquement la system photovoltaïque et modalisation et simulation d'une GPV.

Le quatrième chapitre est consacré à la intégration d'onduleur a cinq niveau d'une chaine pv et analyse le résultat et comparaison entre l'onduleur deux et a trois niveaux.

Nous terminons par une conclusion générale sur l'ensemble de cette étude.

CHAPITRE I

Généralité Sur Les Energies Renouvelable

Chapitre I : Généralité Sur Les Energies Renouvelable

I-1 Introduction

Les énergies renouvelables apparaissant de nos jours comme une des solutions aux problèmes d'énergie des pays en voie de développement, leur compétitivité n'est pas à démontrer dans les zones à accès difficiles au réseau électrique, tant sur le plan de l'amélioration des conditions de vie que sur le développement des activités industrielles. Ceci a été décrit par plusieurs auteurs et démontré par la pratique sur le terrain

les modes de production reposant sur la transformation d'énergie renouvelable (éolien, solaire, ...) sont appelés à être de plus en plus utilisés dans le cadre du développement durable. Pour réaliser ceci, le contexte politique et économique actuel en Mauritanie va dans le sens d'une libéralisation en cours du marché de l'électricité sur la demande des principaux bailleurs de fonds, l'objectif étant de diversifier l'offre de production et de distribution de l'énergie électrique en favorisant la concurrence. Pour y parvenir, des procédures de réglementation progressives sont en cours de mise en place [2].

L'objectif de ce chapitre est de discuter sur la gronder source de l'énergie REn et l'avenage et l'inconvenant de chaque source et domaine de l'utilisation.

I.2 Energies renouvelables définitions- ressources

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future.
C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau de la terre de la biomasse, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité, ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires .
L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle, elles ont été exploitées par l'homme depuis l'aube de l'humanité, bois de feu, traction animale, bateau à voile, moulin à vent ….

Malheureusement, ces énergies furent délaissées au profit d'autres sources d'énergies que l'on pensait à l'époque plus intéressantes.
Ce n'est que dernièrement, suite à la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique du à l'effet de serre, les risques du nucléaire et les limites des ressources (pétrole, gaz, charbon et uranium) qu'il y a eu prise de conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement est absolument nécessaire [4].

I.2.1 L'énergie solaire - conversion photovoltaïque

À l'aide de matériaux semi-conducteurs, tels que le silicium, il est possible de réaliser des dispositifs qui transforment le rayonnement solaire en électricité : c'est ce que l'on appelle des **photopiles** ou cellules photovoltaïques. En disposant une photopile au soleil, une tension électrique apparaît à ses bornes : c'est un convertisseur d'énergie solaire en énergie électrique. La photopile permet donc de capter l'énergie solaire du moins une partie. Actuellement,

les meilleures photopiles ont un rendement d'environ 15 %, ce qui signifie que 85 % de l'énergie qui arrive sur la surface de la photopile n'est pas transformée en électricité. Effectivement, cela fait

beaucoup de pertes, mais 15 %, c'est déjà pas si mal et c'est surtout mieux que rien, quand on pense que cette énergie nous "tombe" du ciel durant toute la journée (par beau temps).

En assemblant des photopiles, on peut réaliser des panneaux solaires, tels que ceux qui alimentent de nombreux satellites artificiels mais aussi, plus près de nous, tels que ceux que l'on peut voir déjà sur des horodateurs, des cabines téléphoniques, et même sur les toits de maisons. La production d'électricité par conversion photovoltaïque peine à se développer en raison de ses faibles rendements comparés à son coût encore élevé (les panneaux photovoltaïques sont relativement onéreux même si leur prix a été divisé par quatre entre 1970 et 1990 et bien plus encore depuis).

Avantages

- Ressource disponible partout à la surface de notre planète, surtout dans les zones tempérées, tropicales et équatoriales.
- Les panneaux photovoltaïques s'intègrent particulièrement bien aux toitures et peuvent ainsi produire une partie de l'électricité nécessaire à une habitation sans occuper inutilement l'espace.

Inconvénients

- Énergie renouvelable non-stockable dépendante du temps qu'il fait. La production électrique est donc aléatoire.
- Panneaux photovoltaïques encore chers.
- Le niveau de production maximal dépend de la surface de capteur exposée au soleil, d'où une grande emprise au sol (ou sur le toit ou la façade) dès que l'on a besoin d'un puissance assez conséquente.

Utilisation

- Bien adapté à l'électrification de sites isolés tels que refuges montagnards, relais hertziens, bergeries, maisons isolées non-raccordée à un réseau électrique.
- Adapté à l'alimentation d'appareils peu consommateurs et/ou mobiles (calculatrices, satellites, horodateurs, équipement de voiliers,...)
- Utilisable pour l'alimentation de systèmes frigorifiques ou de climatisation (notamment dans les pays très ensoleillés et donc très chauds !)
- Inadapté à des usages tels que : production de chaleur, propulsion (même si cela reste possible).

- Pour la production de chaleur ou de froid, l'énergie solaire thermique est largement préférable (elle évite de passer par la forme électrique de l'énergie, ce qui réduit d'autant les pertes de conversion)
- Les panneaux photovoltaïques peuvent aussi être raccordés sur le réseau électrique. Leur propriétaire devient alors producteur d'électricité pour les autres lorsque sa production dépasse sa propre consommation.

I.2.2 L'énergie solaire thermique

Le Soleil nous réchauffe naturellement, mais il est possible de capter cette chaleur afin de l'utiliser à des fins particulières. Pour ce faire, on utilise différents types de capteurs. Cela va de la bâche pour piscine d'extérieur (composée de bulles plastiques de couleur sombre) jusqu'au capteur vitré pour chauffe-eau solaire, en passant par la serre ou le châssis du jardinier, ou la simple véranda. Dans tous ces cas, le capteur (la vitre) crée un "effet de serre" en laissant entrer le rayonnement solaire et en piégeant la chaleur à l'intérieur de l'espace qu'il délimite.

Mais l'énergie solaire peut aussi produire du froid si l'on utilise un dispositif frigorifique de type "absorption". Dans ce cas, comme dans le cas où l'on souhaite transporter cette chaleur, on place derrière le capteur un tube métallique dans lequel circule un fluide caloporteur c'est-à-dire qui va "porter la chaleur". En général on choisi un fluide peu onéreux, très abondant et non polluant : de l'eau ! Enfin, on peut aussi ajouter au capteur un système qui concentre les rayons du soleil afin d'atteindre des températures plus élevées. Ce dernier système fait généralement partie d'un système complexe visant à produire de l'électricité de type centrale thermique [3].

Avantages [3]

- Energie disponible partout à la surface de notre planète, surtout dans les zones tempérées, tropicales et équatoriales.
- Les capteurs solaires thermiques peuvent être intégrés aux toitures ou aux façades.

Inconvénients

- Energie renouvelable toujours dépendante du temps qu'il fait, de la saison et du lieu où l'on se trouve. Il faut donc prévoir un système de chauffage non-intermittent pour prendre le relais les jours sans soleil.

Utilisation

- Bien adapté au chauffage de l'eau sanitaire voire au chauffage d'une habitation (en moyenne saison).
- Utilisable pour la climatisation avec les systèmes à absorption (notamment dans les pays très ensoleillés et donc très chauds)

Utilisable aussi pour la production d'électricité de masse dans des centrales solaires à concentrateur.

- Notez qu'on peut aussi utiliser ce principe en "four solaire" (utilisé pour la cuisine).

I.2.3 L'énergie hydraulique

L'hydraulique première des énergies renouvelables au monde, se distingue par sa souplesse d'utilisation, ses atouts écologiques et économiques.

Comme les ancestrales roues entraînées par le débit d'un cours d'eau, les turbines des centrales hydrauliques sont activées par la force de l'eau passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur. Plus la hauteur de la chute d'eau et le débit sont importants plus la puissance électrique développée sera élevée.

Chaque ouvrage hydraulique est donc adapté à la typologie des lieux pour atteindre un rendement optimal [4].

Avantages [3]

- Tant que le cours d'eau n'est pas à sec, l'énergie est disponible. C'est donc une source d'énergie assez disponible (sauf en cas de sécheresse persistante).

Inconvénients

- Les plus gros barrages peuvent noyer des surfaces très importantes, pouvant comprendre des zones d'habitation (déplacement de population). Ils peuvent mettre en péril les écosystèmes locaux (faune et flore).
- Les barrages peuvent s'envaser car ils réduisent l'écoulement de l'eau mais aussi de tous les éléments chariés par les cours d'eau.
- Le lâché d'eau (et plus exceptionnellement la rupture d'un barrage) peuvent provoquer des dégâts considérables en aval du barrage (raz-de-marée).

Utilisation

- Au fil de l'eau : pas de barrage mais simplement une chaussée. Seule une partie de l'eau du cours d'eau est utilisée et la hauteur de chute est faible. La production est continue.
- En retenue : un barrage bloque toute l'eau et l'énergie n'est libérée et convertie que sur commande.

- Au XXIème siècle, c'est surtout la génération électrique qui est privilégiée (hydroélectricité). Les barrages peuvent aussi servir de stockage d'énergie (Station de Transfert d'Énergie par Pompage ou STEP) et sont utilisés pour équilibrer les réseaux électriques.

I.2.4 L'énergie éolienne

L'énergie du vent est une énergie mécanique que l'on peut capter de plusieurs manières. Simplement avec une voile, l'énergie du vent peut être utilisée pour propulser un voilier. Cette première utilisation remonte à l'Antiquité. À cette époque là, le vent était (avec l'énergie animale) l'une des seules sources de propulsion disponibles. C'est aussi l'énergie du vent qui faisait marcher une partie de l'industrie grâce aux moulins à vent. Les pales du moulin utilisent l'énergie du vent pour faire tourner une meule qui écrase alors tout ce qu'il est possible d'écraser : céréale, oléagineux, etc. Puis, la révolution industrielle, au 19ème siècle a remplacé le vent par d'autre sources d'énergie (charbon,pétrole,gaz,électricité).

Aujourd'hui, le vent est à nouveau exploité par des moulins plus modernes : les éoliennes. On peut distinguer deux types d'éoliennes :

- Celles qui fournissent un travail, tel que pomper de l'eau, ou faire tourner une meule. Elles sont généralement de petite taille. On en trouve dans les zones arides (Afrique, Etats-Unis, Australie, etc.).
- Celles qui fournissent de l'électricité (on les appelle aussi *aérogénérateurs*). Elles ont des tailles très variables (de quelques mètres à 100 mètres de hauteur). Les plus petites sont utilisées pour l'alimentation électrique de sites isolés ou de maisons particulières. Les plus grandes sont souvent regroupées en *fermes éoliennes* pour une production de masse sur le réseau d'électricité (centrales éoliennes) [3].

Avantages [3]

- Energie disponible un peu partout à la surface de notre planète, surtout dans les zones côtières, les plaines et les zones de collines.
- Nécessite une faible emprise au sol

Inconvénients

- Energie renouvelable toujours dépendante du vent. En utilisation isolée, il faut donc prévoir un système de batterie de stockage de l'électricité pour les journées sans vent.
- Les grandes éoliennes sont immenses et ne passent pas inaperçu dans le paysage.
- Les éoliennes sont des systèmes mécaniques mobiles qui demandent un certain entretien (graissage, nettoyage des pales), sans quoi elles perdent leurs qualités.

Utilisation

- Propulsion des bateaux, pompage, production électrique.
- Exploitable à grande échelle par des fermes éoliennes

I.2.5 L'énergie géothermie

La géothermie consiste à capter la chaleur de la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité. Le sous sol est naturellement chaud surtout à grande profondeur, plus on s'enfonce dans les entrailles de la terre, plus les températures augmentent, 3à4°C tous les 100m, cette eau chaude est utilisée pour le chauffage des maisons et autres immeubles [4]

Avantages [3]

- Tant que la quantité d'énergie captée n'est pas supérieure à la chaleur provenant du centre de la Terre, la ressource est inépuisable.
- Cette énergie ne produit aucun déchet.

Inconvénients

- La surexploitation d'un gisement amène la température du sous-sol à chuter ce qui fait baisser la qualité du gisement jusqu'à épuisement.
- Il y a des risques de concurrence entre l'eau pompée pour sa chaleur et l'eau pompée parfois pour elle-même (c'est le cas à Paris par exemple).
- Les gisements sont localisés en certaines régions où l'écorse terrestre laisse mieux passer la chaleur (faible épaisseur).

Utilisation

- Pour les petites températures (basse et moyenne énergie de 30 à 150 °C), la chaleur est utilisée directement pour le chauffage des bâtiments. Quand la température est plus élevée, on peut utiliser l'énergie pour faire tourner une turbine et produire de l'électricité. Dans ce cas, il s'agit de centrales géothermiques. On trouve ce type d'installations aux Philippines ou en Turquie par exemple.
- Dans le cas où la température est trop faible pour chauffer le bâtiment, il est possible d'utiliser une pompe à chaleur. Dans ce cas, une partie du chauffage est réalisée à partir de l'électricité, et l'autre partie par la géothermie.

- Le chauffage "dit géothermique" qui est parfois proposé par certains chauffagistes capte généralement sa chaleur à quelques dizaines de centimètres au dessous du sol. Dans ce cas précis, on ne peut pas exactement parler de géothermie, puisque la chaleur recueillie ne provient pas du centre de la Terre, mais du Soleil qui réchauffe le sol. Il s'agit donc d'un abus de langage.

I.2.6 La biomasse

Le terme biomasse désigne au sens large l'ensemble de la matière vivante.

Depuis le premier choc pétrolier, ce concept s'applique aux produits organiques végétaux utilisés à des fins énergétiques.

La biomasse désigne donc l'ensemble des végétaux capables par le biais de diverses transformations, de restituer l'énergie solaire qu'ils ont stockés [4].

Aujourd'hui, trois grandes familles de produits, issus de la biomasse sont exploitées [3] :

- Le bois-énergie
- Les biogaz
- Les agro-carburants

Avantages [3]

- Large disponibilité de la ressource sur la terre, sauf dans les régions désertiques où le bois est rare.
- Faibles émissions polluantes et pas de contribution à l'effet de serre.
- Le renouveau de son utilisation dans les pays qui s'en étaient un peu détournés amène à une meilleure gestion et valorisation des bois et des forêts.
- Le prix du bois de chauffage ne suit pas le cours du pétrole.

Inconvénients

- C'est une source d'énergie peu dense. Pour se chauffer durant un hiver, il faudra un grand volume de bois, ce qui nécessitera beaucoup de transport, de manutention et un vaste espace de stockage.
- L'exploitation des bois et forêts doit s'accompagner d'une nouvelle plantation. Et elle doit être raisonnée car la forêt accueille de nombreuses plantes et animaux. Dans le cas contraire, on dégrade l'écosystème et on détériore la ressource.

Utilisation

- Aujourd'hui c'est exclusivement pour le chauffage. En usage individuel, le bois sera utilisé dans des cheminées (de préférence à insert), des poêles de masse ou des chaudières. En usage collectif, ce sera dans ces chaudières automatiques et des réseaux de chaleur.
- Le bois peut être conditionné en buchettes, en plaquettes ou en granulés.

I.3 Fonctionnement du système électrique

Le système électrique est un ensemble d'installations électriquement connectées qui assure, via le réseau, le transfert de l'énergie électrique, des producteurs aux consommateurs. Cette énergie peut être produite a partir de sources aussi variées que l'hydraulique, les combustibles fossiles, la fission nucléaire, le vent, le soleil. Le stockage a grande échelle de l'énergie électrique sous forme immédiatement disponible n'est, actuellement, pas possible dans des conditions économiques satisfaisantes. Le problème majeur de l'exploitant du système est donc de maintenir en permanence, l'équilibre entre l'offre disponible et la demande potentielle, étant entendu que l'équilibre instantané entre production et consommation est une condition nécessaire au fonctionnement du système production-transport-consommation. L'exploitation du système repose donc sur l'adaptation permanente de la production aux fluctuations de la demande, dans le respect des contraintes liées au réseau. En général on distingue trois fonctions principales du système électrique :

La production : elle est assurée par les centrales électriques qui convertissent l'énergie primaire en électricité.

Le transport : il est assure par un réseau de lignes et câbles qui assurent la mise en commun et la répartition sur un grand territoire de toute l'électricité qui y est produite.

La distribution : Il s'agit de réseaux intermédiaires qui desservent les millions de consommateurs, industriels ou domestiques, qui ont besoin de petites puissances. [5]

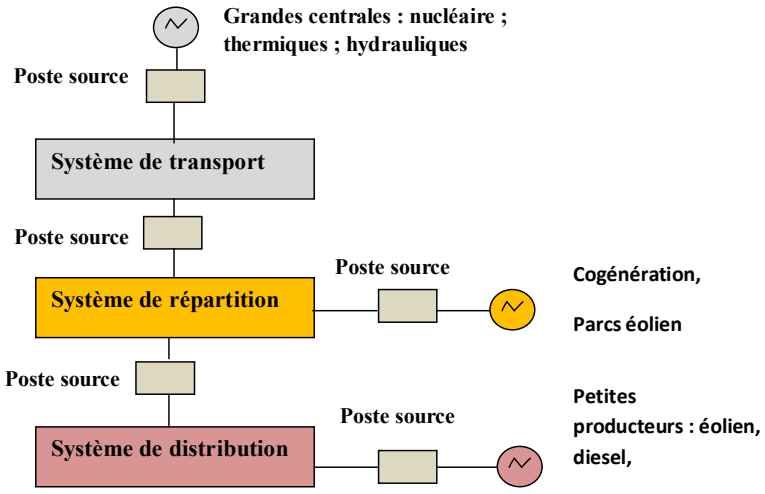


Figure (I .1) Insertion de la production décentralisée dans le système électrique

I.4 Chiffres clés des énergies renouvelables

I.4.1 Évolution de la production brute d'électricité renouvelable par filière européenne En TWh

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ensemble de l'énergie renouvelable	56.5	62.1	66.3	73.8	69.5	78.1	64.4	82.4
Electricité primaire renouvelable	**53.1**	**58.7**	**62.5**	**69.9**	**56.5**	**73.4**	**59.4**	**77.1**
Hydraulique renouvelable	51.7	56.5	58.0	63.7	57.0	62.4	44.8	57.7
Energie marémotrice	0.5	0 .5	0.5	0 .4	0.5	0.5	0.5	0.5
Eolien	1.0	2.2	4.1	5.7	7.9	9.9	12.1	14.9
Solaire photovoltaïque	00	00	00	00	0.2	0.6	2.1	4.1
Electricité secondaire renouvelable	**3.4**	**3.4**	**3.8**	**3.9**	**4.0**	**4.7**	**5.0**	**5.3**
Déchet renouvelable	1.6	1.6	1.8	1.8	1.9	2.1	2.1	1.9
Bois énergie	1.3	1.3	1.4	1.4	1.2	1.5	1.8	1.9
biogaz	0 .5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.1	1.3

Tableau I.1 : évaluation de la production d'électricité renouvelable

Entre 2011 et 2012, la production brute d'électricité renouvelable augmente de 18 TWh soit près de 28 %. Cette augmentation s'explique notamment par celle de la production brute d'électricité dans les filières hydraulique renouvelable, éolienne et solaire photovoltaïque. La production brute d'électricité dans les filières éolienne et photovoltaïque a tout d'abord augmenté vigoureusement depuis leur émergence avant de ralentir depuis 2012. La production hydraulique renouvelable, dépendante du débit des cours d'eau, affiche quant à elle une évolution assez irrégulière. Ainsi, la faible pluviométrie en 2011 explique la baisse de la production hydraulique renouvelable. Pour les filières de production d'électricité secondaire renouvelable, la production électrique à partir de biogaz augmente régulièrement

I.4.2 Potentiel solaire de l'Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde, estimé à cinq milliards GWh/an. La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2500 heures annuellement et peut atteindre les 3600 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de1m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit prés de 1700 kWh/m^2 /an au Nord et 2 650 kWh/m^2/an au Sud du pays.

	Littoral	Hauts plateaux	sahra
Surface (%)	4	10	86
Temps d'ensoleillement (h /an)	2 650	3 000	3 500
Energie reçue (KWh/m² /an)	1 700	1 900	2 6500

Tableau I.2 : Potentiel solaire de l'Algérie

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu résumé sur les différentes énergies renouvelables, à savoir, énergie photovoltaïque, éolien, biomasse, thermique, géothermie…..etc, et leur avantages et inconvénients. Aussi on a présenté l'évolution de la capacité de production électrique à partir des sources renouvelables au niveau mondial. Où nous nous intéressons dans cette étude à l'étude d'un système de production photovoltaïque.

CHAPITRE II

Simulation d'un onduleur à cinq niveaux

Chapitre II : Simulation d'un onduleur à cinq niveaux

II.1 Introduction

La structure des onduleurs multiniveaux permettent de pallier ces problématiques en générant une tension de sortie découpée et composée d'au moins trois niveaux. L'utilisation de ce type d'architecture aide à la limitation des contraintes en tension subies par les interrupteurs en fractionnant le bus de tension continu du générateur photovoltaïque. Chaque composant, lorsqu'il est à l'état bloqué, supporte ainsi, seule une partie de la pleine tension du bus continu. La multiplication des niveaux permet de réduire l'amplitude de chaque front montant et descendant de la tension de sortie. Dans le cas d'un fonctionnement en modulation de la largeur d'impulsion (MLI), l'association d'une architecture de type multiniveau à une commande judicieuse des interrupteurs de puissance permet en outre de supprimer certaines familles de raies harmoniques et par conséquent, d'améliorer le contenu spectral des signaux de sortie (tension et courant). Toutefois, le nombre de dispositifs à semi-conducteurs pourrait être important et impacter la robustesse du convertisseur [6].

L'objectif de ce chapitre est de discuter sur l'onduleur de Cinque niveau .dans la première partie, nous présentons les différents types de onduleur multi niveaux .dans la seconde partie nous simulons et interpréter de résultat.

II-2 Intérêt des convertisseurs statiques multi niveaux

Un convertisseur statique est dit « multi niveaux » lorsqu'il génère une tension découpée de sortie composée d'au moins trois niveaux. Ce type de convertisseur présente essentiellement deux avantages. D'une part les structures multi niveaux permettent de limiter les contraintes en tension subies par les interrupteurs de puissance : chaque composant, lorsqu'il est à l'état bloqué, supporte une fraction d'autant plus faible de la pleine tension continu que le nombre de niveaux est élevé. D'autre part, la tension de sortie délivrée par les convertisseurs multi niveaux présente d'intéressantes qualités spectrales. Le fait de multiplier le nombre de niveaux intermédiaires permet de réduire l'amplitude de chaque front montant ou descendant de la tension de sortie. L'amplitude des raies harmoniques est, par conséquent, d'autant moins élevée, [16]. Dans le cas plus précis d'un fonctionnement en modulation de largeur d'impulsion, le recours à un convertisseur multiniveaux associé à une commande judicieuse des composants de puissance permet en outre de supprimer certaines familles de raies harmoniques, [16][17].

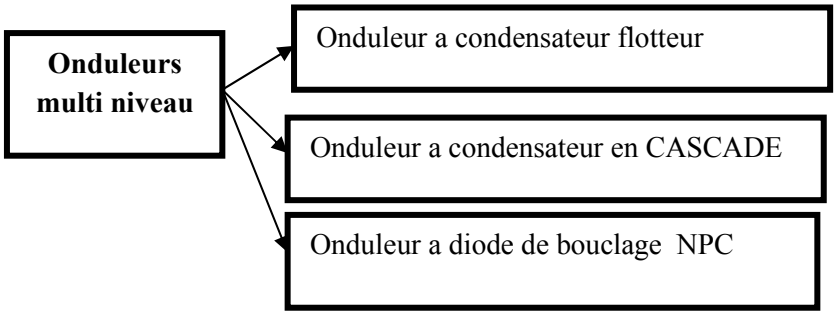


Figure II.1 : Les différentes topologies des onduleurs multi niveaux

II.2.1 Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants

Cette structure est proposée par T.Meynand et H.Foch pour résoudre d'une part le problème de balancement de tension, et d'autre part le nombre excessif de diodes.

Dans la topologie précédente, les capacités remplacent les diodes, d'où l'appellation onduleur à condensateur flottants, La figure (II-2) présente plusieurs avantages, notamment.

- La tension de blocage des interrupteurs partout la même ;

Le concept peut être facilement appliqué à d'autre types de convertisseurs, aussi bien pour un transfert unidirectionnel de la puissance que bidirectionnel ;

- Sa modularité permet une extension et une adaptation aisées des stratégies de commande à un nombre élevé de niveaux ;
- Sa modularité permet une extension et une adaptation aisées des stratégies de commande à un nombre élevé de niveaux ;
- Les condensateurs n'étant jamais mis en série entre niveaux différents, le problème du déséquilibre de leur tension n'existe plus ;

Le principal désavantage de cette topologie réside dans le nombre requis de condensateurs, ce qui peut représenter un volume prohibitif

Contrairement au premier cas qui ne nécessite que (N-1) capacité. De plus il est évident que des courants de grandes valeurs efficaces circuleront à travers ces condensateurs ;

Il ya un potentiel de résonance parasite entre les condensateurs découplés, [12],

Donc par la comparaison avec l'onduleur conventionnel, un très large nombre de Capacité est demandé et un contrôle compliqué pour très grande fréquence des interrupteurs demande un balancement de tension de chaque capacité. Pour remédier au nombre excessif des éléments dans les structures précitées, une génération récente des convertisseurs à alimentation séparée surgit.

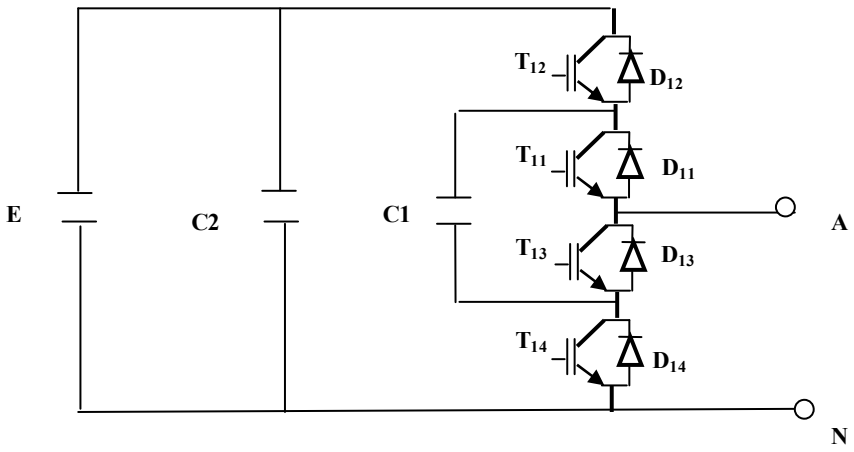


Figure II.2 : schéma du convertisseur à condensateur flottants

II.2.2 Structure des convertisseurs à alimentation séparée (en cascade)

Une des premières applications des connexions en série des topologies des convertisseurs monophasés en pont était pour la stabilisation de plasma en 1988, Cette approche modulaire à été étendue pour inclure aussi les systèmes triphasés.

Sans conteste, les complications et le cout des sources isolées pour chaque pont n'est pas un inconvénient sérieux parce qu'il est compensé par les avantages de la construction modulaire. L'avantage principal de cette approche est que la topologie de ce type d'onduleur facilite la maintenance en plus elle permet de donner une façon très pratique pour augmenter le nombre de niveaux dans le système [16].

La figure (II-3) représente un onduleur en cascade à cinq niveaux.

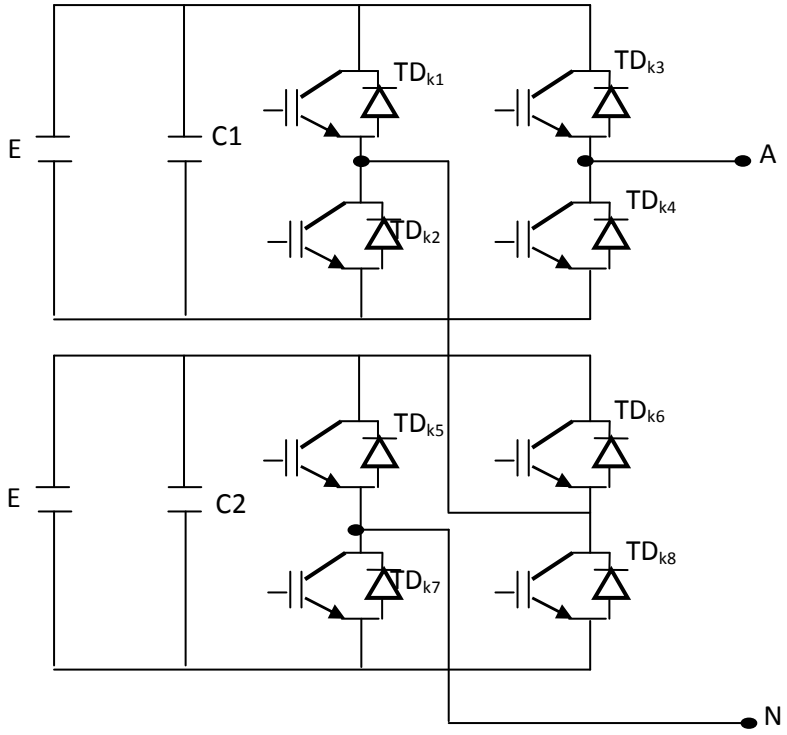


Figure II.3: représente un onduleur en cascade à cinq niveaux

Les sorties des onduleurs en pont sont connectées en série telle que l'onde de la tension synthétisée est la somme des tensions de sortie. Le nombre des niveaux de tension de sortie dans un onduleur en cascade est définie par :

$N = 2S + 1$

Ou S : le nombre des sources des tensions continues.

L'avantage majeur de cette approche hybride est que le nombre de sorties peut être augmenté davantage sans aucun ajout de nouveaux composants. Il faut seulement des sources de tensions

continues avec différents niveaux de tensions. Probablement le plus avantageux utilise des sources de tensions avec deux niveaux de tensions(E et 2E) comme le montre la figure (I-4).

Cet arrangement peut générer une tension à sept niveaux (0, +/-E, +/-2E, +/-3E), [1][2].

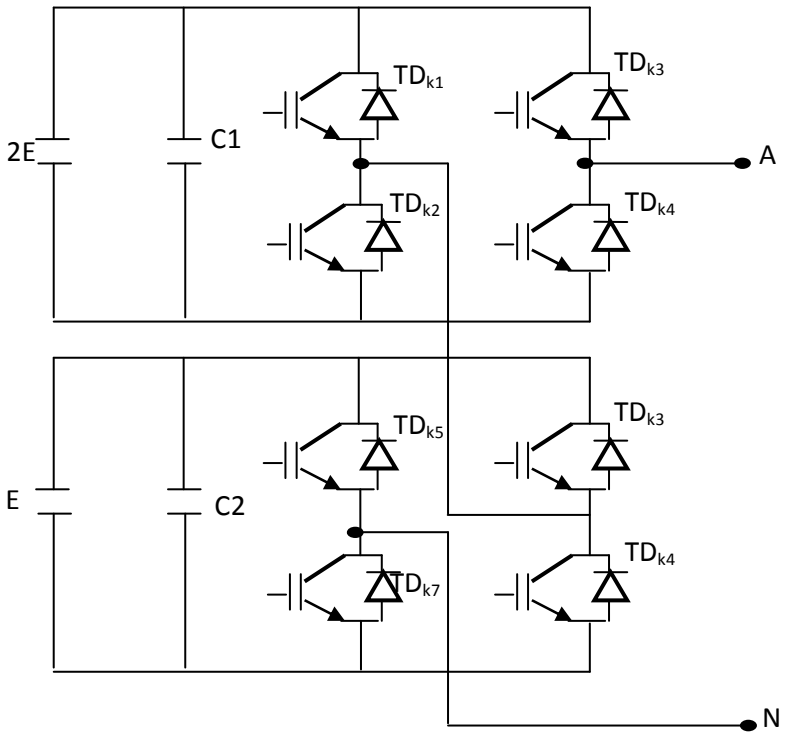


Figure II.4 : Onduleur en cascade à 7 niveaux (phase A)

II.2.3 Onduleur multi niveaux à diode de bouclage

La première topologie la plus pratique d'onduleur de tension multi niveaux est le NPC (Neutral Point Clamped). Cette topologie à été initialement proposé par A.Nabac en 1981 pour la génération de N niveaux de tension. La figure (II- 5) représente la structure d'un convertisseur triphasé à potentiel distribué, dans la quelle les diodes sont utilisés pour réaliser la connexion avec le point de référence 0.afin d'avoir une tension de 220 V, L = 3(N-1) (N-2), L est le nombre des diodes. Pour N=5, on a besoin de 36 diodes, cependant ces diodes non seulement augmentent le cout de ce type du convertisseur mais créent un problème d'encombrement.

Pour l'obtention d'une tension de N niveaux, N-1 capacités. Les tensions aux bornes des condensateurs sont toutes égales à E/ (N-1), E est la tension totale du bus continu. Chaque couple d'interrupteur (STD, STD') forme une cellule de commutation, les deux interrupteurs sont donc commandés de façon complémentaire, [16].

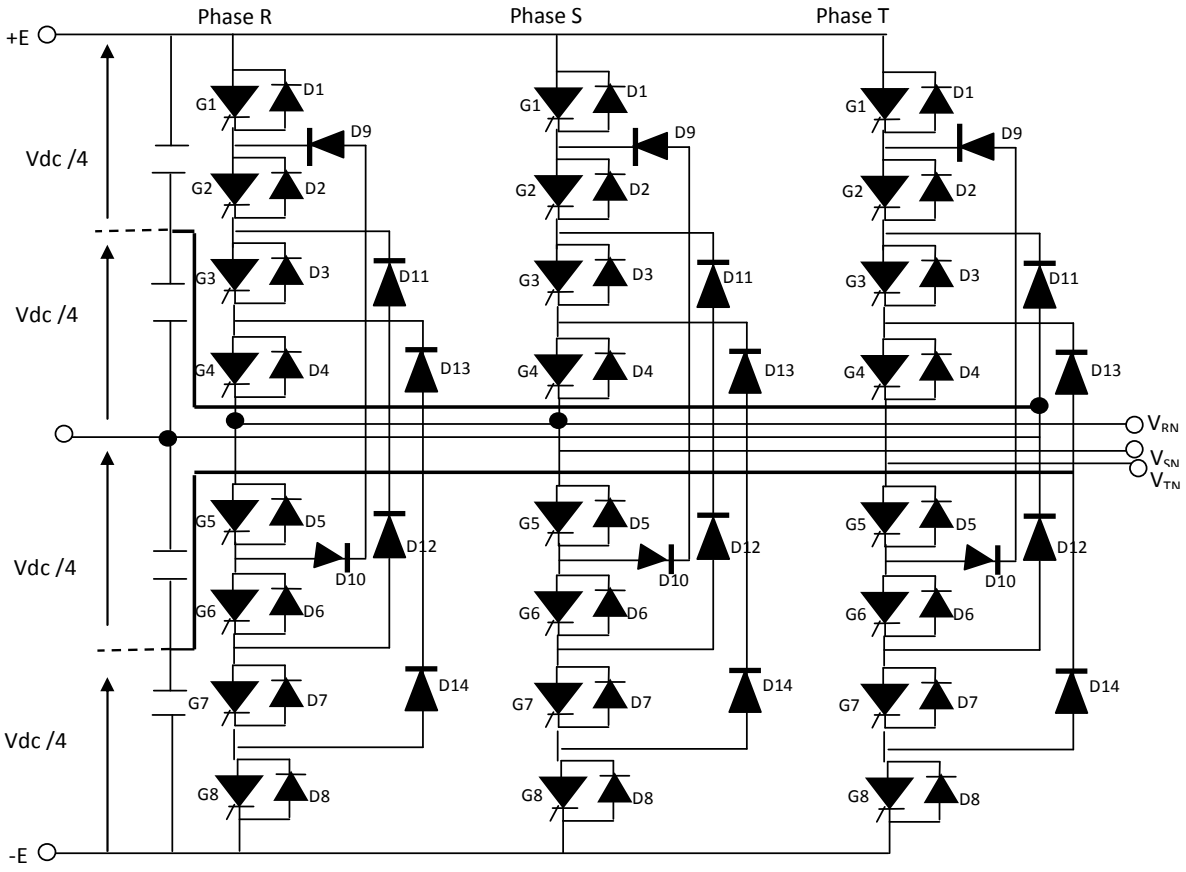


Figure II.5 : structure triphasée à cinq niveaux à diode de pince à base de GTO

Cette topologie présente plusieurs avantages dont quelques uns sont énumérés ci-dessous :

- Les composants de puissance à semi conducteur bloquent une tension inverse égale seulement à la moitié de la tension de la source.
- La forme de l'onde de trois niveaux résultants à une meilleure qualité spectrale par rapport à celle d'un onduleur triphasé classique, ce qui rend les filtres passifs peu volumineux.
- Elle est configurable de façon à obtenir un nombre élevé de niveaux, permettant de réduire la tension bloqué par chaque interrupteur ; celle-ci est donnée par E/ (N-1).
- Cette topologie exige des diodes de bouclage à vitesse de commutation élevée doivent être capable de supporter le courant de la pleine charge.

Cependant en utilisant cette topologie, l'expérience a révélé plusieurs difficultés techniques qui compliquent ses applications dans le cas des grandes puissances, ce sont :

- Pour les topologies avec plus de trois niveaux, les diodes de bouclage peuvent augmenter les contraintes en tension jusqu'à une valeur égale à E (N-1/N).donc les connexions des diodes en série pourraient être exigées et cela complique la conception et soulève des questions ; l'inégalité des tensions inverses supportées par les diodes, et du cout de réalisation, [16].

II.3 Modélisation de l'onduleur de tension à cinq niveaux NPC

II.3.1 Structure générale

L'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure *NPC* se compose de trois bras symétriques constitué chacun de six interrupteurs en série et de deux autres en parallèles. Chacun de ces interrupteurs est composé d'un semi-conducteur bicommandable *IGBT* et d'une diode montée en tête bêche. La source de tension continue se compose de quatre groupes de condensateurs formant ainsi le bus continu. Dans ce mode de fonctionnement, chaque semi-conducteur est soumis à l'état ouvert au quart de la tension de la source continue, d'où l'utilité de cette structure d'onduleur pour les applications de haute tension. Pour l'obtenti on d'une tension de N-niveaux, N-1 capacités sont nécessaires. Les tensions aux bornes des condensateurssont toutes égales à E/(N-1). Chaque couple d'interrupteurs (S_{xy},S'_{xy}) forme une cellule de commutation, ces deux interrupteurs sont donc commandés de façon complémentaire La figure (I-5) donne une représentation schématique d'un bras de cet onduleur[16][17]. et le figure (I.7) il représente la Structure triphasé d'un onduleur cinq niveaux,

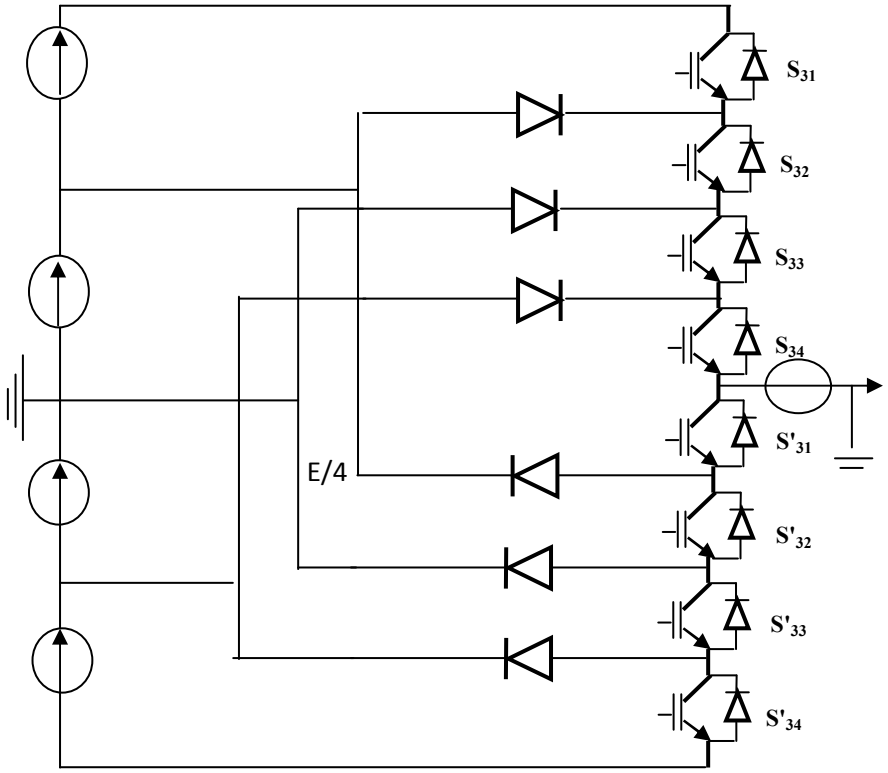


Figure (II.6) : Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux

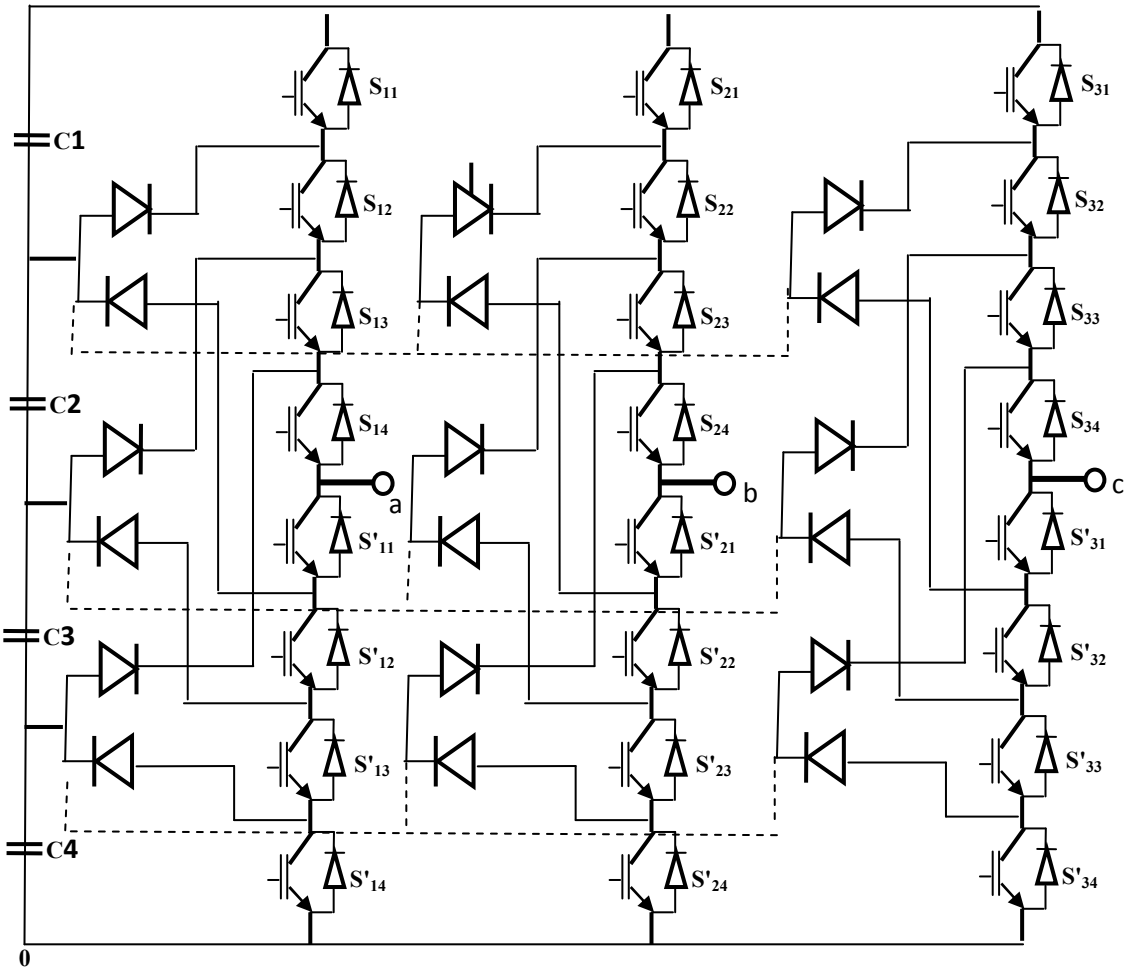


Figure II.7 : Structure triphasé d'un onduleur cinq niveaux

I.3.2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC à cinq niveaux

Une analyse topologique d'un bras montre cinq configurations possibles, pour définir les séquences de fonctionnements de cet onduleur, définissant d'abord les différents états que peut prendre la tension simple (la tension entre le bras de l'onduleur et le point milieu fictif), par exemple. La tension simple Vao est définie par l'état de huit quadruplet qui peuvent être transistor, un GTO ou bien un IGBT ou autre avec une diode en antiparallèle. Les états possibles d'un seul bras d'interrupteurs est de 25 =32 états que l'on peut représenter par un quadruplet de 0 et 1. Seules les cinq états suivantes sont possibles, [16].

- Séquence 1

$S_{11}S_{12}S_{13}$ et S_{14}sont passant et S'_{11}, S'_{12}, S'_{13} et S'_{14} sont bloqués:

- la tension de sortie est :V_{ao}= +E/2

- la tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est [7]:

$V_{S'11}$=$V_{S'12}$= $V_{S'13}$= $V_{S'14}$=+E/4.

- séquence 2

S_{12}, S_{13}, S_{14} et S'_{11}sont passantetS'_{12}, S'_{13}, S'_{14} et S_{11} sont bloqués :

- la tension de sortie : V_{ao} = +E/4

- la tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$V_{S'12}$= $V_{S'13}$=$V_{S'14}$ =V_{S11} = +E/4

- séquence 3

S_{13}, S_{14},S'_{11} et S'_{12}sont passant et S'_{13},S'_{14}, S_{11} et S_{12}sont bloqués :

- La tension de sortie : V_{ao} =0

- la tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$V_{S'13}$ =$V_{S'14}$= V_{S11} = V_{S12}= +E/4

- séquence 4

S_{14},S'_{11}, S'_{12} et S'_{13} sont passant et S_{11}, S_{12},S_{13} et S'_{14} sont bloqués:

- La tension de sortie : V_{ao} = -E/4

- la tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

V_{S11} = V_{S12}= V_{S13} = $V_{S'14}$= +E/4

- séquence 5

S'_{11}, S'_{12}, S'_{13} et S'_{14} sont passant et S_{11}, S_{12}, S_{13} et S_{14} sont bloqués:

- La tension de sortie V_{ao} = -E/2

- la tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

V_{S11}= V_{S12}= V_{S13} = V_{S14} = +E/4

S_{k1}	S_{k2}	S_{k3}	S_{k4}	S_{k5}	S_{k6}	S_{k7}	S_{k8}	Vko
1	1	1	1	0	0	0	0	$V_{dc}/2$
0	1	1	1	1	0	0	0	$V_{dc}/4$
0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	$-V_{dc}/4$
0	0	0	0	1	1	1	1	$-V_{dc}/2$

Tableaux II.1 : obtention des cinq niveau de tension en fonction des d'états des interrupteurs (k=a,b au c)

II.3.3 Tension générées par l'onduleur

La modélisation permet d'étudier l'évolution des différentes grandeurs régissant le fonctionnement de l'onduleur à cinq niveaux tout en considérant les commutations des interruption.Pour chaque interrupteur T_{ki} (k =a, b, c i =1,…, 8), on définit une fonction de commutation *Ski* de la manière suivante:

$$S_{ki} = \begin{cases} 1 & si \quad T_{ki} \ \ est\ fermé \\ 0 & si \quad T_{ki} \ \ est\ ouvert \end{cases} \tag{II.1}$$

Pour éviter la conduction simultanée des six interrupteurs d'un seul bras qui peut engendrer leur destruction par croissance du courant lors du court-circuit, ou à une surtension dans le cas de l'ouverture de tous les interrupteurs, nous définissons la commande complémentaire suivante, [1]

$$\begin{cases} S_{k4} = \bar{S}_{k2} \\ S_{k5} = \bar{S}_{k1} \\ S_{k6} = \bar{S}_{k3} \end{cases} \tag{II.2}$$

Avec cette commande complémentaire, les fonctions de connexion des interrupteurs du bras *k* sont liées par les relations suivantes :

$$\begin{cases} S_{k4} = 1 - S_{k2} \\ S_{k5} = 1 - S_{k1} \\ S_{k6} = 1 - S_{k3} \end{cases} \tag{II.3}$$

D'après le tableau (II.1) , on remarque que cette commande complémentaire permet d'avoir un fonctionnement en cinq niveaux

Afin de simplifier les équations du modèle des onduleurs multiniveaux, on définit la fonction de connexion du demi-bras. Elle est notée S_{km}^{b} où *k* désigne le numéro du bras et *m* le demi-bras (*m*=1pour le demi-bras du haut, et *m* =0 pour le demi-bras du bas) [15].

Pour le bras *k*, les fonctions de connexion des demi-bras s'expriment comme suit :

$$\begin{cases} S_{k1}^{b} = S_{k1}S_{k2}S_{k3} \\ S_{k0}^{b} = S_{k4}S_{k5}S_{k6} \end{cases} \tag{II.4}$$

Les deux fonctions de connexion des deux interrupteurs parallèle du bras *k* sont liées par les relations suivantes

$$\begin{cases} S_{k7} = S_{k1}S_{k2}(1 - S_{k3}) \\ S_{k8} = S_{k4}S_{k5}(1 - S_{k3}) \end{cases} \tag{II.5}$$

Les potentiels des noeuds a, b, c de l'onduleur triphasé à cinq niveaux par rapport au point milieu « o » en utilisant les fonctions de connexion des interrupteurs, s'expriment comme suit :

$$\begin{cases} v_{ao} = S_{a1}S_{a2}S_{a3}(v_{dc1}+v_{dc2}) + S_{a1}S_{a2}(1-S_{a3})v_{dc1} - \\ \quad S_{a4}S_{a5}S_{a6}(v_{dc3}+v_{dc4}) - S_{a4}S_{a5}(1-S_{a6})v_{dc3} \\ v_{bo} = S_{b1}S_{b2}S_{b3}(v_{dc1}+v_{dc2}) + S_{b1}S_{b2}(1-S_{b3})v_{dc1} - \\ \quad S_{b4}S_{b5}S_{a6}(v_{dc3}+v_{dc4}) - S_{b4}S_{b5}(1-S_{b6})v_{dc3} \\ v_{co} = S_{c1}S_{c2}S_{b3}(v_{dc1}+v_{dc2}) + S_{c1}S_{c2}(1-S_{c3})v_{dc1} - \\ \quad S_{c4}S_{c5}S_{c6}(v_{dc3}+v_{dc4}) - S_{c4}S_{c5}(1-S_{c6})v_{dc3} \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

Pour l'onduleur triphasé à cinq niveaux, les fonctions de connexion des demi-bras sont définies selon les relations suivantes :

$$\begin{cases} S_{a1}^b = S_{a1}S_{a2}S_{a3} \\ S_{a0}^b = S_{a4}S_{a5}S_{a6} \end{cases}; \begin{cases} S_{b1}^b = S_{a1}S_{a2}S_{a3} \\ S_{b0}^b = S_{a4}S_{a5}S_{a6} \end{cases}; \begin{cases} S_{c1}^b = S_{a1}S_{a2}S_{a3} \\ S_{c0}^b = S_{a4}S_{a5}S_{a6} \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

Les fonctions de connexion des interrupteurs placés en parallèle sont définies comme suit :

$$\begin{cases} S_{a7} = S_{a1}S_{a2}(1-S_{a3}) \\ S_{a8} = S_{a4}S_{a5}(1-S_{a6}) \end{cases}; \begin{cases} S_{b7} = S_{b1}S_{a2}(1-S_{b3}) \\ S_{b8} = S_{b4}S_{a5}(1-S_{b6}) \end{cases}; \begin{cases} S_{c7} = S_{c1}S_{a2}(1-S_{c3}) \\ S_{c8} = S_{c4}S_{c5}(1-S_{c6}) \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

En introduisant les équations (II.7) et (II.8) dans le système (II.6), on aboutit au système suivant:

$$\begin{cases} v_{a0} = S_{a7}v_{dc1} + S_{a1}^b(v_{dc1}+v_{dc2}) - S_{a8}v_{dc3} - S_{a0}^b(v_{dc3}+v_{dc4}) \\ v_{b0} = S_{b7}v_{dc1} + S_{b1}^b(v_{dc1}+v_{dc2}) - S_{b8}v_{dc3} - S_{b0}^b(v_{dc3}+v_{dc4}) \\ v_{c0} = S_{c7}v_{dc1} + S_{c1}^b(v_{dc1}+v_{dc2}) - S_{c8}v_{dc3} - S_{c0}^b(v_{dc3}+v_{dc4}) \end{cases} \quad (\text{II.9})$$

Ce système (II.9) s'écrit sous forme matricielle comme suit:

$$\begin{bmatrix} v_{a0} \\ v_{b0} \\ v_{c0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{a7}+S_{a1}^b \\ S_{b7}+S_{b1}^b \\ S_{c7}+S_{c1}^b \end{bmatrix} v_{dc1} + \begin{bmatrix} S_{a1}^b \\ S_{b1}^b \\ S_{c1}^b \end{bmatrix} v_{dc2} - \begin{bmatrix} S_{a8}+S_{a0}^b \\ S_{b8}+S_{b0}^b \\ S_{c8}+S_{c0}^b \end{bmatrix} v_{dc3} - \begin{bmatrix} S_{a0}^b \\ S_{b0}^b \\ S_{c0}^b \end{bmatrix} v_{dc4} \quad (\text{II.10})$$

Le système (II.10) montre qu'un onduleur à cinq niveaux est une mise en série de quatre onduleurs à deux niveaux ou de deux onduleurs à trois niveaux.
Dans le cas ou les sources de tensions continue : ($v_{dc1}=v_{dc2}=v_{dc3}=v_{dc4}=v_{dc}/4$), la relation (II.10) se réduit à celui :

$$\begin{bmatrix} v_{a0} \\ v_{b0} \\ v_{c0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{a7}+2S_{a1}^b-S_{a8}-2S_{a0}^b \\ S_{b7}+2S_{b1}^b-S_{b8}-2S_{b0}^b \\ S_{c7}+2S_{c1}^b-S_{c8}-2S_{c0}^b \end{bmatrix} v_{dc} \quad (\text{II.11})$$

Les tensions composées s'expriment comme suit

$$\begin{cases} v_{ab} = v_{ao} - v_{bo} \\ v_{bc} = v_{bo} - v_{co} \\ v_{co} = v_{co} - v_{ao} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

D'après les relations (II.11) et (II.12), découle l'équation matricielle (II.13) suivante

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{ac} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{a7} + 2S_{a1}^{b} - 2S_{a8} - 3S_{a0}^{b} \\ S_{ab7} + 2S_{b1}^{b} - 2S_{b8} - 3S_{b0}^{b} \\ S_{c7} + 2S_{c1}^{b} - 2S_{c8} - 3S_{c0}^{b} \end{bmatrix} v_{dc} \quad \text{(II.13)}$$

Pour les tensions simples, on a :

$$\begin{cases} v_a = v_{an} = v_{ao} - v_{no} \\ v_b = v_{bn} = v_{bo} - v_{no} \\ v_c = v_{cn} = v_{co} - v_{no} \end{cases} \quad \text{(II.14)}$$

Avec, *Vnm* étant la tension entre le point milieu de l'alimentation continue de l'onduleur et le point neutre de la charge. Elle est donnée comme suit :

$$v_{no} = \frac{1}{3}(v_{ao} + v_{bo} + v_{co}) \quad \text{(II.15)}$$

Les tensions simples aux bornes de la charge sont

$$\begin{cases} v_{an} = v_a = \frac{1}{3}(v_{ab} + v_{ca}) \\ v_{bn} = v_b = \frac{1}{3}(v_{bc} + v_{ab}) \\ v_{cn} = v_{ac} = \frac{1}{3}(v_{ca} + v_{bc}) \end{cases} \quad \text{(II.16)}$$

On en déduit les tensions simples

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{a7} + 2S_{a1}^{b} - 2S_{a8} - 3S_{a0}^{b} \\ S_{b7} + 2S_{b1}^{b} - 2S_{b8} - 3S_{b0}^{b} \\ S_{c7} + 2S_{c1}^{b} - 2S_{c8} - 3S_{c0}^{b} \end{bmatrix} v_{dc} \quad \text{(II.17)}$$

II.4 Simulation de l'onduleur à cinq niveaux

II.4.1 Présentation du logiciel de simulation

SIMULINK, complément de l'environnement MATLAB et de ses boites à outils, célèbre d'être un outil intournable pour l'ingénierie et la recherche scientifique, permet la modélisation et la simulation des systèmes dynamiques, analogiques, discrets ou hybrides, en utilisant une représentation graphique sous forme de schéma blocs, aboutissant ainsi , à la création de bibliothèques personnalisées.

L'une des principales options dans la boîte à outils de l' interface graphique SIMULINK «SIMULINK Library Browser» ou existent tous les outils analogiques et numériques, l es plus connus sous forme de blocs, dont on a besoin pour construire un modèle. Pui s, en

deuxième position, l'option "simulation paramètres" permet de choisir la méthode de résolution "solver",l e temps de simulation, ainsi que la précision relative et absolue voulue…

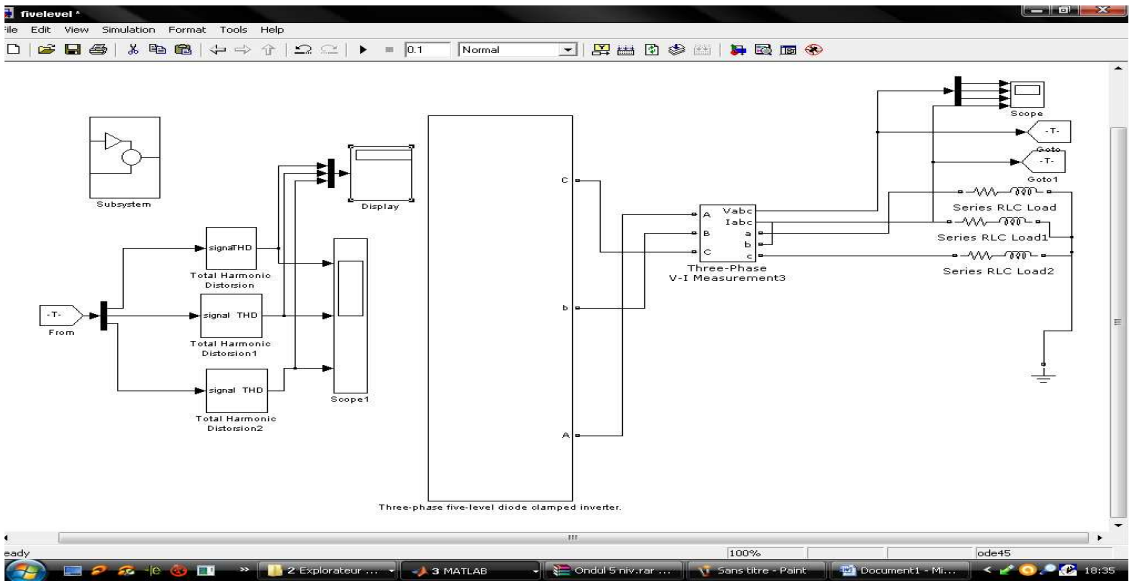


Figure II.8 : bloc simulation matlab /simulink d'onduleur à 5 niveaux

- fréquence de la porteuse f=1500 HZ

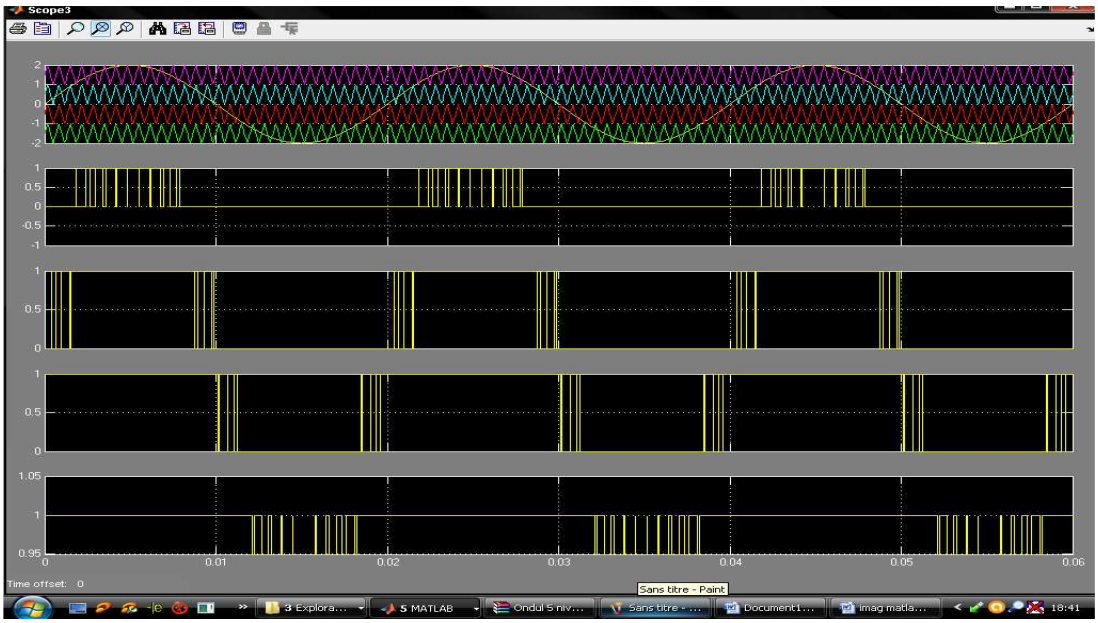


Figure II.9 : Formes d'ondes d'un bras d'onduleur triphasé cinq niveau de type NPC

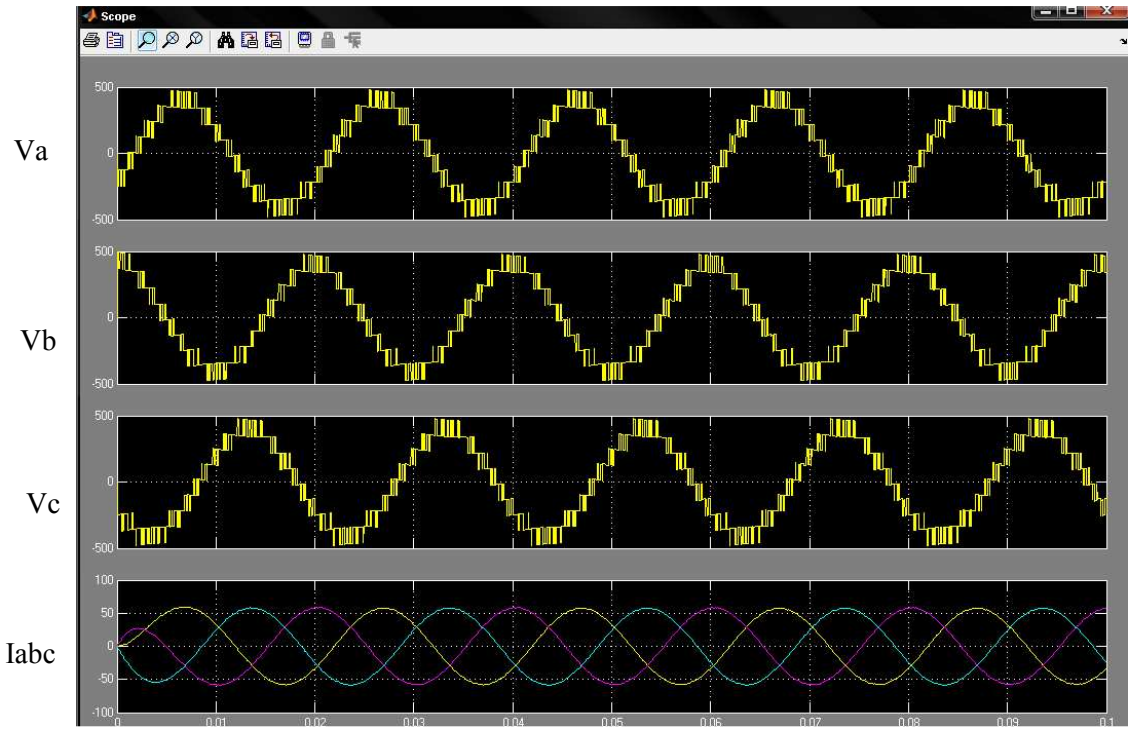


Figure II.10 : Tension simple de sortie et courant Iabc

II .4.2 Interprétations des résulta

la figure II.10 représente les résulta de simulation d'onduler a cinq niveau pour une fréquence de Porteous 1500 hz ,le tension simple va vb vc on forme sinusoïdal par pour au courant de référence .

II.5 conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié et modéliser la structure de l'onduleur multi niveaux et l'onduleur à cinq niveau, ensuit nous avons présenté la simulation par technique matlab /similink et nous avons interprétés les résultats de simulation du courant et de tension à la sortie de l'onduleur. Le convertisseur fournit dans les conditions optimales une tension de forme sinusoïdale et une amplitude considérable.

CHAPITRE III
Simulation d'un G PV

Chapitre III : Simulation d'un Générateur photovoltaïque

III. 1 Introduction

Le mot «photovoltaïque» vient des grec «photos » signifiant lumière et de «volte» du nome du physicien italien que, en 1800, découvre la pile électrique. Mais c'est en 1839 que le française Antoine Edmonde Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie [9].

L'objectif de ce chapitre est de discuter sur le system de pv .dans la première partie, nous présentons la discruption et modélisation de system. dans la seconde partie nous simulation et interprétation de résulta.

III.2 Historique

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil [6].

III.3 Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque

III.3.1 la cellule photovoltaïque

L'élément fondamental dans un système photovoltaïque est la cellule photovoltaïque qui convertit l'énergie reçue par rayonnement solaire en énergie électrique.

Une cellule photovoltaïque peut donc être assimilée à une photodiode en convention générateur dont les caractéristiques sont illustrées par les figures suivantes

III.3.1.1 Les différents types des cellules solaires [10] [11]

Il existe trois types principaux de cellules :

III.3.1.1.a Les cellules mono-cristallines

La cellule monocristalline est celle qui s'approche le plus du modèle théorique: cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 %.

Ces cellules présentent néanmoins des inconvénients:

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.

- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).

III.3.1.1.b Les cellules poly-cristallines

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes. Les cellules poly-cristallines est caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Nécessite moins d'énergie.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en laboratoire.

III.3.1.1.c Les cellules amorphes

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin.

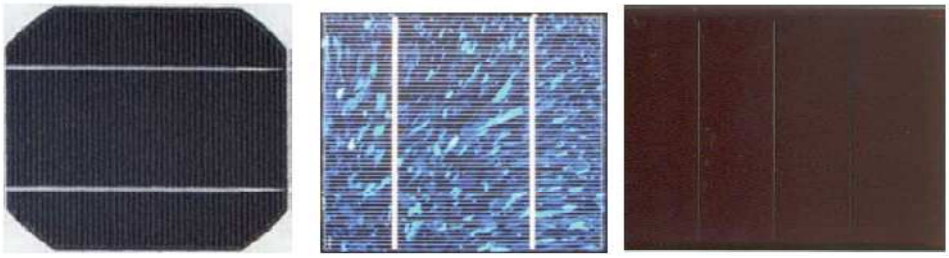


Figure III.1 :(a) cellules mono-cristallines, (b) cellules poly-cristallines, (c) cellules amorphes

III.3.2 Le module photovoltaïque :

Des modules de plus en plus puissant sont disponibles sur le marché, en particulier pour la connexion du réseau, mais il y'a tout de même une limite liée au poids et à la manipulation. Donc pour constituer un générateur de puissance élevée, on réunit systématiquement plusieurs modules photovoltaïques et on les câble entre eux avant de les relier au reste du système .

III.3.3 Le 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.

Figure III.2 : Panneau de solaire

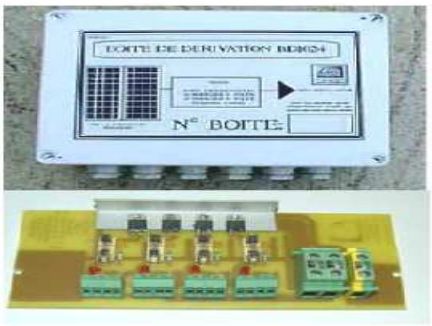


Figure III.3 : Boite de dérivation

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boite de dérivation qui regroupe le tous, comme l'illustre la figure (III-3),
Alors cette boite de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.

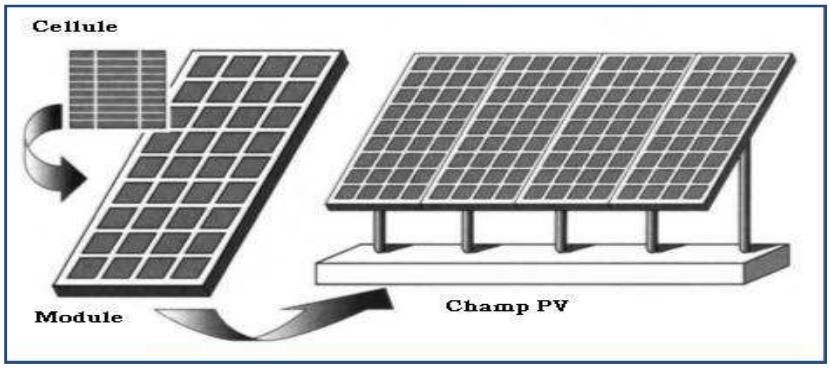


Figure III.4 : Présentation d'une cellule, d'un panneau et d'un champ photovoltaïque.

III.4 Caractéristique de circuit de ouvert

III.4.1Tension de circuit ouvert

Si on place un panneau sous une source lumineuse constante sans aucune circulation de courant (Figure III.1), on obtient à ses bornes une tension continue, dite tension à circuit ouvert Voc

$$V_{OC} = n \times 0.6\,V \qquad \text{(II.1)}$$

0.6V tension pour une cellule élémentaire

La valeur courante de Voc pour un panneau de 12 V de bonne qualité est de 22 -24 V. La variation de la tension Voc. en fonction de l'ensoleillement peut donner une bonne idée de la capacité du panneau pour charger une batterie sous ensoleillement modéré, sachant que le rapport entre Vm (Tension maximum) et Voc est approximativement de 0.8. Dans une situation d'ensoleillement qui donne moins de 16V de circuit ouvert, le panneau ne peut recharger correctement une batterie de 12V, puisque sa tension de fonctionnement sera inférieure à 16x0.8 = 12.8V.

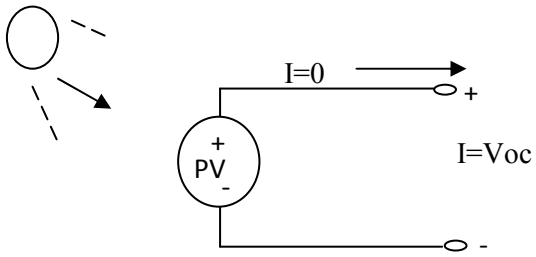


Figure III.5 : Test de tenson en circuit ouvert

III.4.2 Courant de court circuit

Lorsqu'on place le photogénérateur en court circuit (Figure III.6), il débite son courant maximal à tension nulle. On appelle ce courant : courant de court circuit Icc. On définit le facteur de forme d'un photo générateur comme :

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{CC}} \qquad \text{(III.2)}$$

Où Pm est la puissance maximale.

Ce paramètre, compris entre 0 et 1 , qualifie la forme plus ou moins carrée de la caractéristique courant-tension du panneau. Si celle-ci était carrée, le facteur de forme serait égale à 1 et la puissance Pm serais égale à(Voc X Icc) . En pratique il faut considérer les pertes inévitables : en série à cause de la résistance non nulle des constituants des cellules, et en parallèle à cause des légères fuites de courant. Généralement, ce facteur de forme se situe entre 0.6 et 0.85 [13].

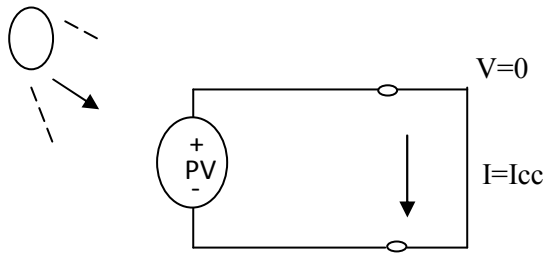


Figure III.6 : Test de courant en court circuit en circuit

III.5 Modèles d'un générateur photovoltaïque

Le modèle mathématique associé à une cellule est établi à partir de celui d'une jonction PN (Figure III.7). On y ajoute le courant Icc, proportionnel à l'éclairement, ainsi qu'un terme modélisant les phénomènes internes. Le courant/ issu de la cellule s'écrit alors :

$$I = I_{CC} - I_d - I_p \quad \text{(III.3)}$$

$$I_p = \frac{Vj}{Rp} \quad \text{(III.4)}$$

Avec : $V_d = Vj = (V + 1 \times Rs)$ (III.5)

Tension pour une cellule : $V = (V_d - I \times Rs)$ (III.6)

Tension pour un module : $V = (V_d - I \times Rs)$ (III.7)

I : Courant de sortie (A).

V : Tenson de sortie (V)

Icc : photocourant ,ou courant généré par l'éclairement (A)

Id : courant de diode (A)

Vd : tension de diode (V)

Ip : Courant shunte (A)

n : Nombre de cellules

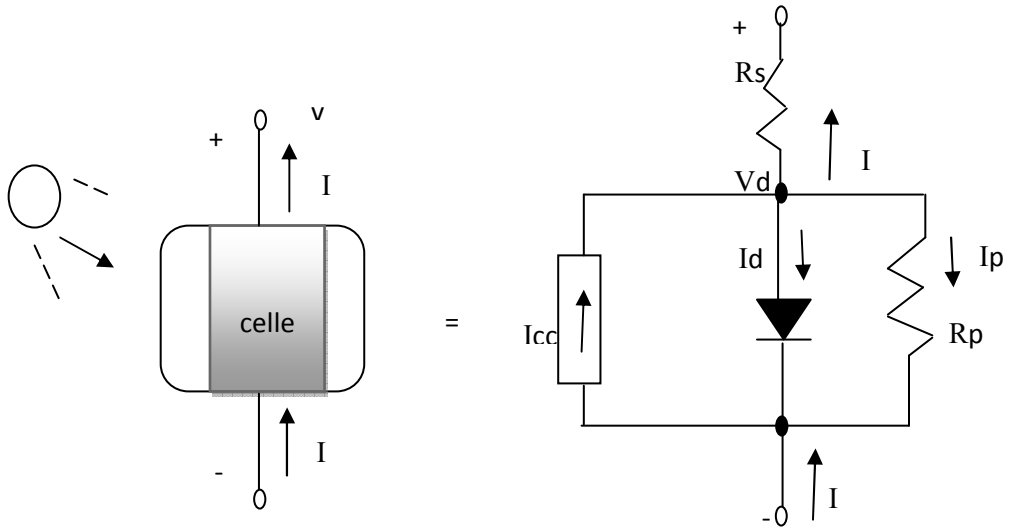


Figure III.7 : modèle équivalent d'un GPV en circuit ouvert

III.6 Courant d'un générateur photovoltaïque

- **Cas d'un modèle simple**

Considérons le cas d'un modèle simple d'un générateur photovoltaïque qui est constitué d'une source de courant commandée par la lumière du soleil en parallèle avec une diode réelle (Figure III.4).

On peut écrire l'équation du courant comme suit :

$$I = I_{CC} - I_d \qquad \text{(III.8)}$$

Pour la diode : $I_d = I_0(e^{\frac{qv_d}{kT}}\text{-}1)$ (III.9)

Io : courant de saturation de la diode (A)

K : constante de boltezamann (k=1.38x10^{-23})

q : charge de l'électron (q=1.6025x10^{-19}c)

T : température de la cellule (k°)

Pour une température standard de 25° :

$$\frac{q\times V_d}{kT} = \frac{1.602\times10^{-19}}{1.381\times10^{-23}} \times \frac{V_d}{T(k)} = 11.600\frac{V_d}{T(k)} \quad \text{(III.10)}$$

$$I_d = I_0(e^{38.9\times V_d} - 1) \quad \text{(III.11)}$$

On aura

$$I = I_{CC} - I_0(e^{\frac{qv_d}{KT}} - 1) \quad \text{ou} \quad I = I_{CC} - I_0(e^{38.9\times V_d} - 1) \quad (\text{à } 25°) \quad \text{(III.12)}$$

Dans le cas au I=0 en peut résoudre l'équation et trouver la tension en circuit ouvert :

$$V_{0C} = \frac{KT}{q}\ln\left(\frac{I_{CC}}{I_0} - 1\right) \quad \text{(III.13)}$$

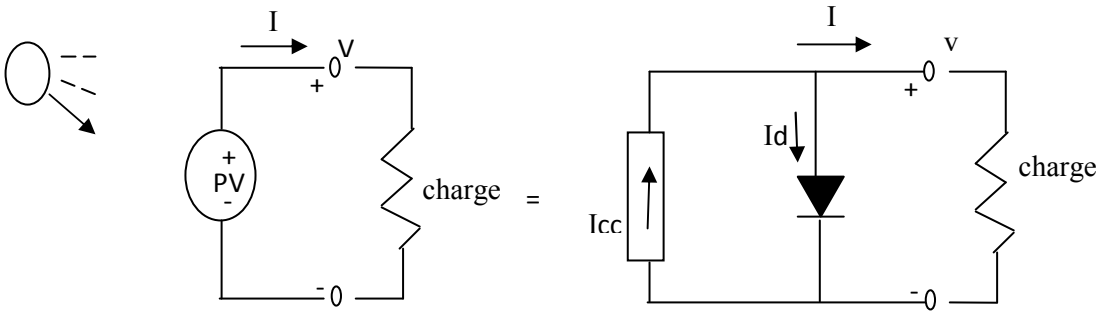


Figure III.8 : modèle simple d'un PV

- **Modèle simple avec une résistance parallèle Rp**

Le GPV est très sensible au problème de l'ombre qui peut survenir sur une ou plusieurs cellules. Il sera alors nécessaire d'ajouter au modèle une résistance parallèle Rp qui représente les fuites entre le dessus et le dessous de la cellule et aussi les courants parasites à l'intérieur du matériau par les irrégularités ou les impuretés (Figure III.9)

On aura :

$$I = I_{CC} - I_d - \frac{V}{Rp} \qquad \text{(III.14)}$$

Et

$$I = I_{CC} - I_0 \left(e^{\frac{qv_d}{KT}} - 1\right) + \frac{V}{Rp} \qquad \text{(III.15)}$$

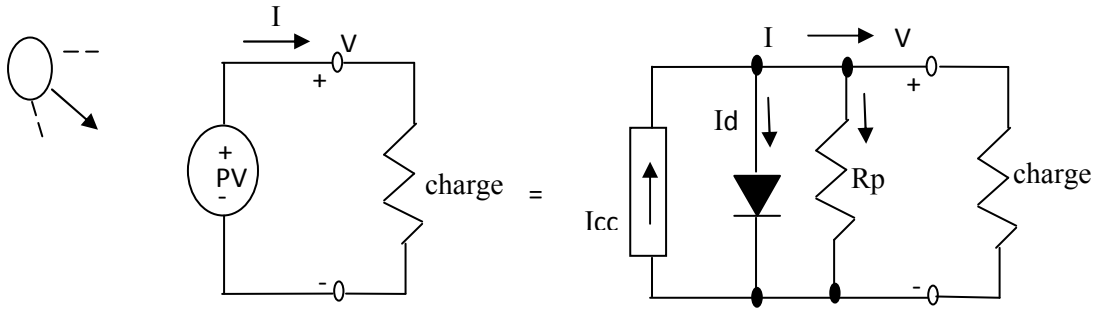


Figure III.9 : modèle simple d'un PV avec une résstence en paralléle

- **Modèle simple avec une résistance série Rs**

$$V_d = (V + I + Rs) \quad \text{(III.16)}$$

Et

$$I = I_{CC} - I_0\left(e^{\frac{q(V+I+Rs)}{KT}} - 1\right) \quad \text{(III.17)}$$

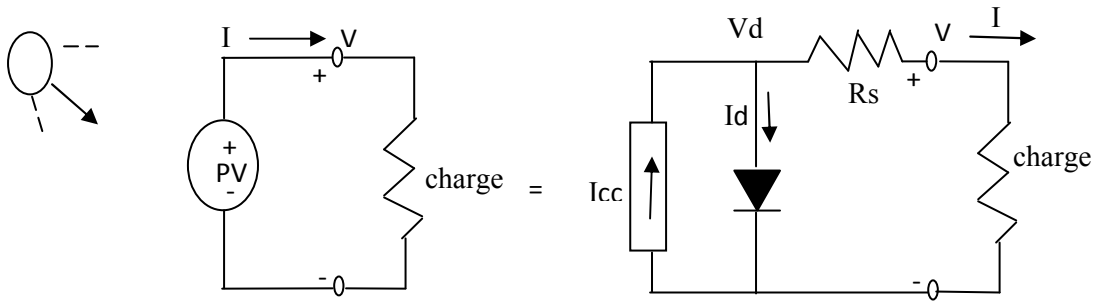


Figure III.10 : modèle simple d'un PV avec une résistance en série

- **Modèle simple avec une résistance parallèle Rp et série Rs**

On peut avoir un modèle simple du PV en incluant les deux résistances Rs et Rp. Ce circuit équivalent complet sera utilisé dans la modélisation du GPV par le logiciel Matlab Simulink. Dans ce modèle le courant de la source Icc délivrera le courant à la diode, la résistance parallèle, la résistance séries et à la charge.

$$I = I_{CC} - I_d - I_p \quad \text{(III.18)}$$

Et

$$I = I_{CC} - I_0\left(e^{\frac{q(V+I+Rs)}{KT}} - 1\right) - \frac{(V+I\times Rs)}{Rp} \quad \text{(III.19)}$$

$$I = I_{CC} - I_0\left(e^{\frac{38.9\times(V+I+Rs)}{KT}} - 1\right) - \frac{(V+I\times Rs)}{Rp} \quad (\text{à } 25°) \tag{III.20}$$

$$Icc = \frac{Rp+Rs}{Rp} I_{pv} \tag{III.21}$$

Le courant généré par la lumière de la cellule PV dépend directement de l'irradiation solaire et est également influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{pv} = (I_{pv,n} + K_1\Delta T) \times \frac{G}{G_n} \tag{III.22}$$

avec

$$\Delta T = T - T_n \tag{III.23}$$

$$I_m = I_{pv} - Id \tag{III.24}$$

On aura

$$I_m = I_{pv} \times N_{pv} - I_0 \times N_{pp} \times exp\left[\frac{qTN_{SS}}{aKN_s} \times \left(V + \frac{I\times Rs}{Npp} \times N_{ss}\right) - 1\right] \tag{III.25}$$

III.7 Simulation du GPV

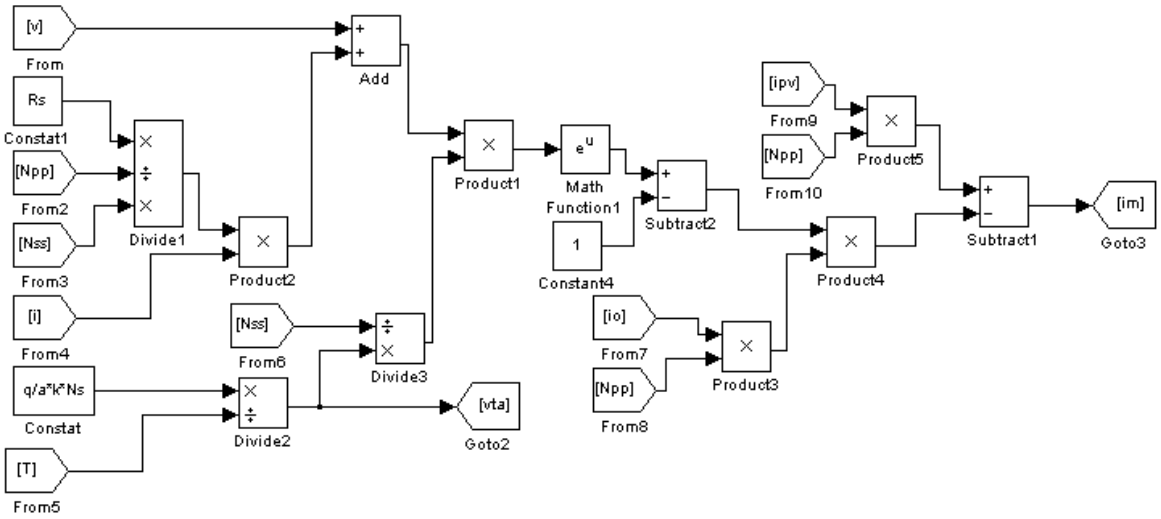
Nous vous commence par la modélisation sous Matlab Simulink de générateur photovoltaïque et l'étude de son fonctionnement par rapport au rayonnement solaire

Grandeurs	valeur
Eclairement standard, E	1000W/m²
Température standard, T	25°
Puissance crête maximale, Pmax	85w
Courant de court-circuit,Icc	5
Tension de circuit ouvert, Vco	22.1
Courant optimal, Imp	4.72
Tension optimal, Vmp	18

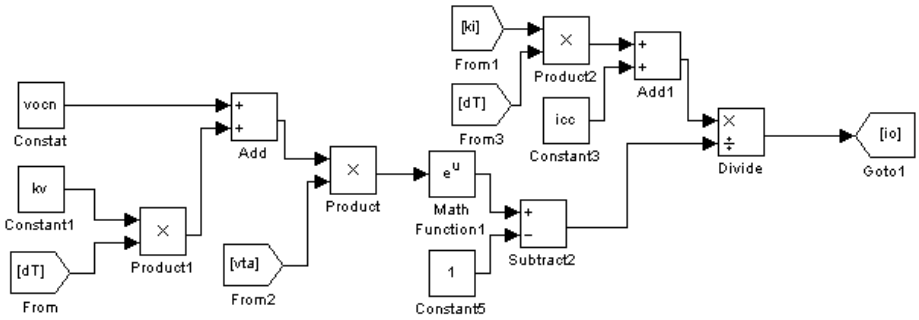
Tableau III.1 : Caractéristique électrique du module pv

- **Modélisation des courants**

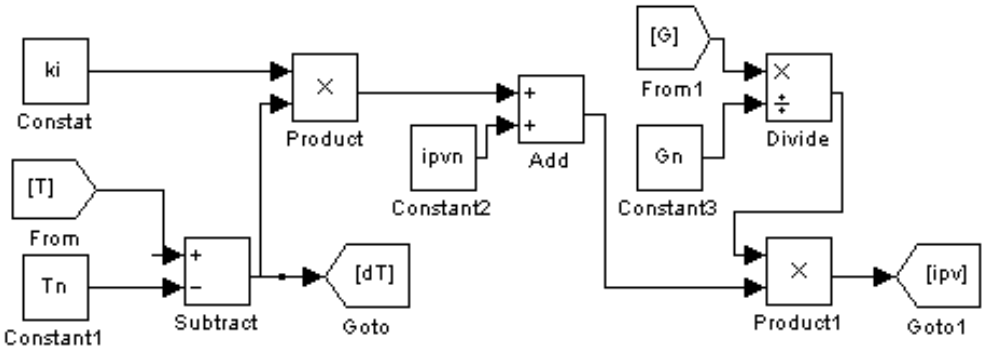
I_m :



I_0 :



I_{PV} :



I :

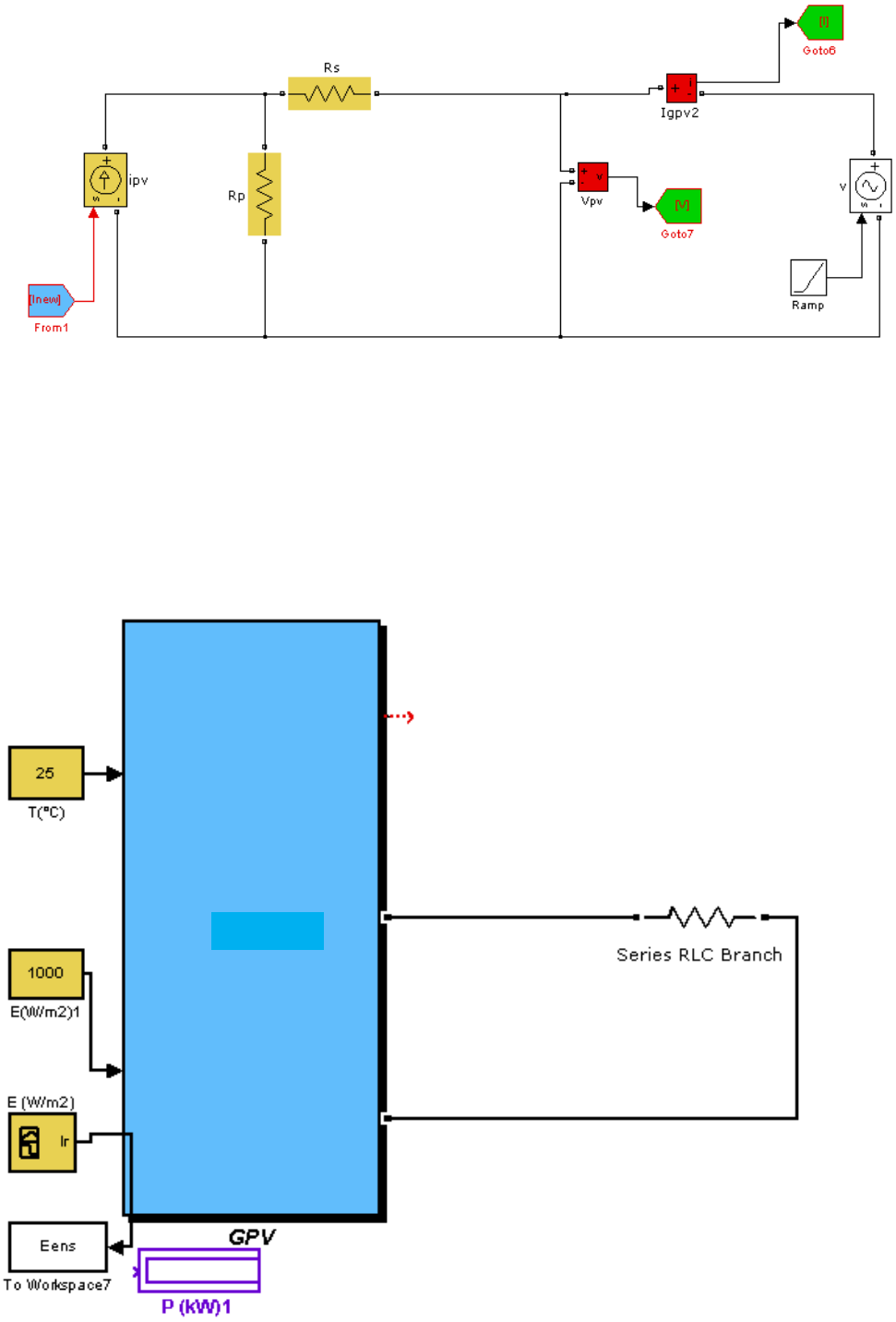


Figure III. 11: Blok simulation de GPV

III.8 résulta de simulation

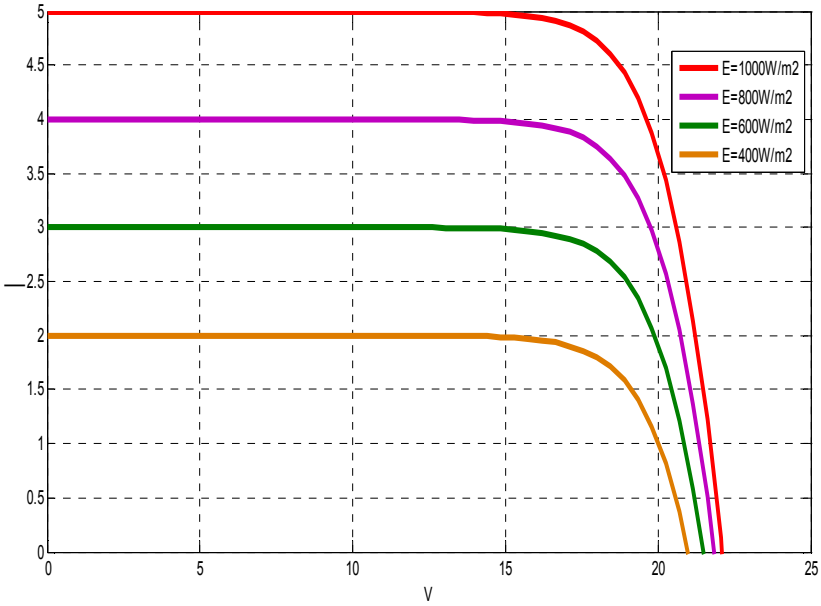


Figure (III.12) : Simulation de a caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction d'éclairement

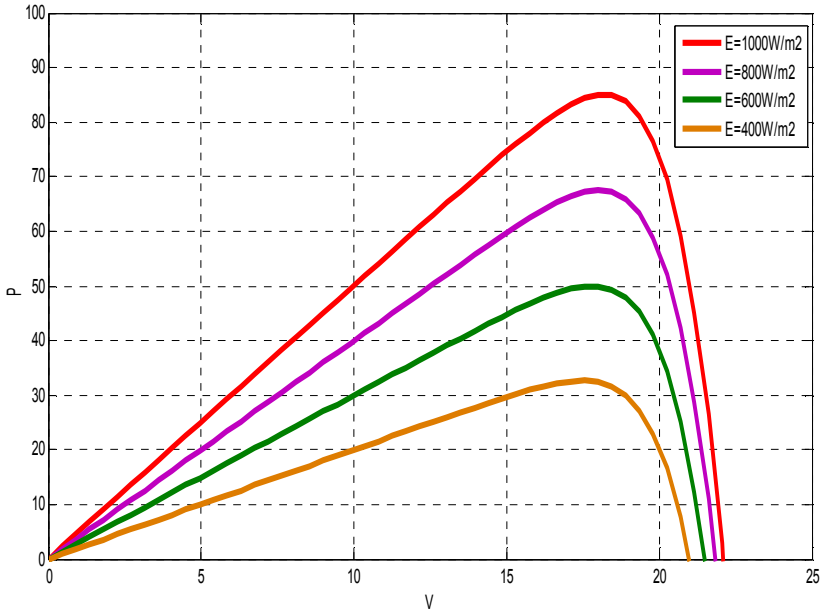


Figure (III.13) : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction d'éclairement

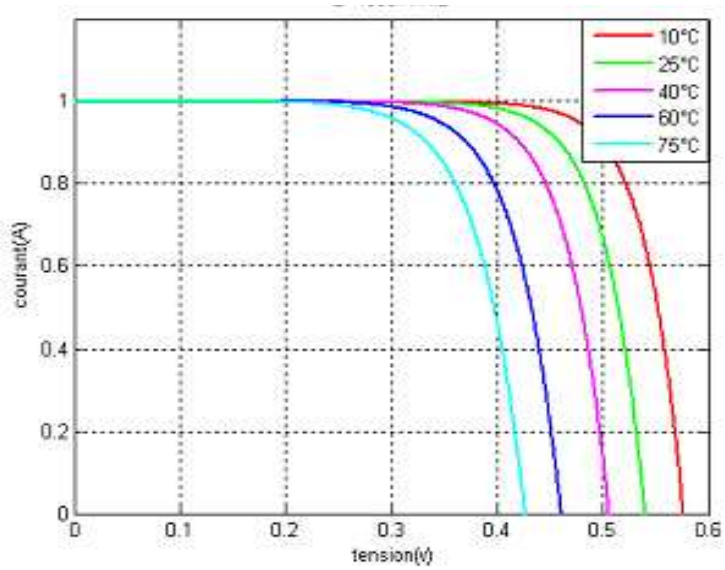


Figure III.14 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction température, E=1000W/m²

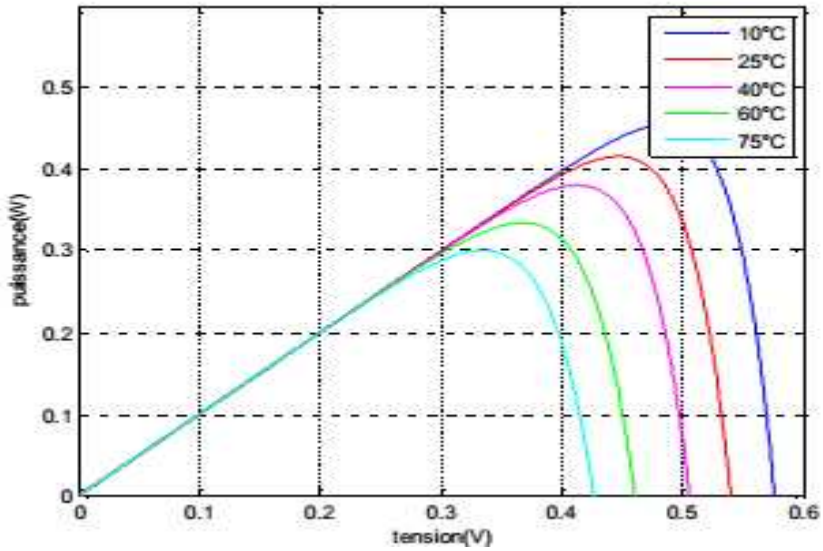


Figure III.15: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de température, E=1000W/m²

III.9 Interprétations des résultats

III.9.1 Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure (III.12) représente la caractéristique courant -tension d'une cellule en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes :

Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement figure (III.12).

III.9.2 Influence de la température

L'influence de la température est importante et a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques.

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique, il se dissipe sous forme de chaleur ; c'est pourquoi la température

de la cellule (Tc) est toujours plus élevée que la température ambiante (Ta)

$$Tc = Ta + \frac{Em}{800}(TUC - 20) \qquad \text{(III.1)}$$

La figure (III.14), montre que la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale [7] .

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les différents composants et caractéristique d'un système photovoltaïque, aussi, nous avons modélisé et simulé un générateur photovoltaïque, donc, les résultats de simulation sur matlab /similink montre que l'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement et de température qu'elle reçoit sur sa surface.

CHAPITRE IV
Intigration d'onduleur cinq niveaux à une GPV

Chapitre IV Intégration d'onduleur cinq niveaux à une GPV

IV.1 Introduction

Les performances et en particulier la rentabilité des onduleurs utilisés pour le raccordement des systèmes de production des énergies renouvelables au réseau électrique de distribution sont des éléments-clés qui influencent fortement la qualité de l'énergie produite et le rendement de l'installation entière. De ce fait, leurs améliorations est, et sera toujours, un objectif recherché [20].

L'objectif de ce chapitre est de intégré l'onduleur a cinq niveaux d'une system pv. dans la première partie, nous discuter sur structure d'onduleur deux et trois niveaux .dans la seconde partie nous avons compares la résulta de simulation pour l'utilisation l'onduleur deux, trois ou cinq niveaux d'un system photovoltaïque.

IV.2 Historique d'utilisation d'onduleur d'un système pv

De nos jours, les énergies solaires ou photovoltaïques occupent une place beaucoup plus large et grande dans notre vie. Une forme d'énergie qui est de plus en plus utilisée et pour cause, cette source d'énergie est disponible presque partout sur terre et dans l'espace. L'énergie produite à l'aide des générateurs photovoltaïques est sous forme continue, doit être ondulée pour pouvoir alimenter des charges alternatives ou l'injecter au réseau de distribution alternatif pour cela on doit utiliser un convertisseur AC/DC (un onduleur) les onduleurs les plus utilisé dans ce domaine ce sont les onduleurs à deux 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. A cause de ça les onduleur multiniveaux ont été mise en place et utilisés depuis 1975 [18].

L'onduleur multiniveaux présente plusieurs avantages, parmi lesquels on peut mentionner :La qualité d'onde: les convertisseurs multiniveaux peuvent non seulement générer les tensions de sortie avec une distorsion THD très faible, mais peut aussi réduire le dV/dt souligne, donc certains problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM) peuvent être réduits[18].

IV.3 Topologies d'onduleurs

IV.3.1 onduleur classique à deux niveaux de tensions

L'onduleur classique à deux niveaux de tension est représenté sur la figure (IV.1). Il est constitué de trois bras de commutation à transistors. Chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor qui travaillent en commutation forcée. Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux. En mode commandable, le bras d'onduleur est un commutateur à deux positions qui permet d'obtenir à la sortie deux niveaux de tension [20].

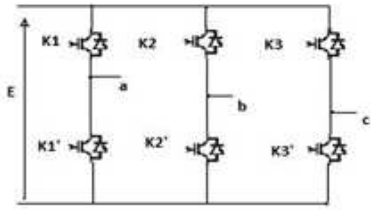


Figure IV.1 : Schéma d'onduleur a deux niveaux

Pour un convertisseur à 2-niveaux de tensions. Nous avons deux séquences de fonctionnement possible permettant de générer les deux-niveaux de tensions:

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

Dans ce cas, l'interrupteur K1 est passant et K1' est bloqué. La tension de sortie Va est:

Va = +E. La tension inverse appliquée à l'interrupteur K1' vaut: VK1'=+E

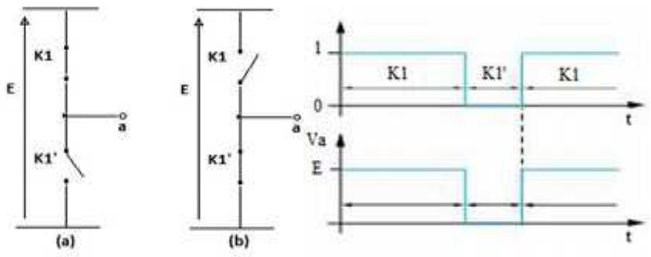


Figure IV.2 :Séquence de fonctionnement d'un bras d'onduleur a deux niveau

Dans ce cas, l'interrupteur K1 est bloqué et K1' est passant. La tension de sortie Va est:

Va =0. La tension inverse appliquée à l'interrupteur K1 vaut: VK1=+E.

Les 2 états ou séquences de commutation possibles sont résumés au tableau (IV.1).

K1	K1'	Va
1	0	E
0	1	0

Tableau IV.1 : états possibles de l'onduleur a 2niveau

IV.3.2 Onduleur NPC à trois niveaux de tensions

L'onduleur NPC à trois niveaux est représenté sur la figure (IV.3). Le bus continu d'entrée est composé de deux capacités en série (C1 et C2), formant un point milieu noté (O) qui permet à l'onduleur d'accéder à un niveau de tension supplémentaire

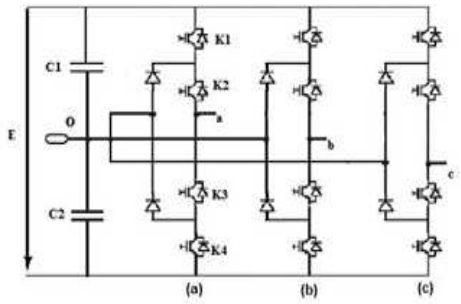


Figure IV.3 : Schéma d'un onduleur NPC a 3niveaux

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 (K1, K2, K3 et K4 pour le bras a) et deux diodes de maintien connectées au point milieu du bus continu [20].

Pour des raisons de simplicité, nous limiterons l'étude à un bras d'onduleur NPC de trois niveaux, l'objectif visé est de déterminer les valeurs que peut prendre la tension Vao pour les différents états possibles des interrupteurs statiques, et de montrer les séquences de conductions des interrupteurs.

Pour un convertisseur NPC à N-niveaux de tensions, nous avons N séquences de fonctionnement possibles permettant de générer les N niveaux de tensions. Et en particulier pour le NPC à trois niveaux on a trois séquences de fonctionnement [20]:

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

Dans ce cas, les interrupteurs K1, K2 sont passants et K3, K4 sont bloqués . La tension de

sortie Vao est: Vao =+E/2. La tension inverse appliquée aux interrupteurs k3, k4 vaut:

VK3= VK4=E /2

- **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 O à travers l'une des diodes de maintien). La tension de sortie Vao est donc nulle, Vao = 0. La tension inverse appliquée aux interrupteurs K1, K4 vaut:

VK1= VK4=+E/2.

- **Séquences 3 : Génération du niveau minimum**

Dans ce cas, les interrupteurs K1, K2 sont bloqués et K3, K4 sont passants .La tension de sortie Vao est: Vao =–E /2. Et La tension inverse appliquée aux interrupteurs K1, K2

vaut: V K1= VK2=+E /2. Les 3 états ou séquences de commutation possibles sont résumés au tableau (IV .2)

K1	K2	K3	K4	Vao
1	1	0	0	E/2
0	1	1	0	0
0	0	1	1	–E/2

Tableau IV.2 : états possibles d'onduleur NPC à 3 niveaux

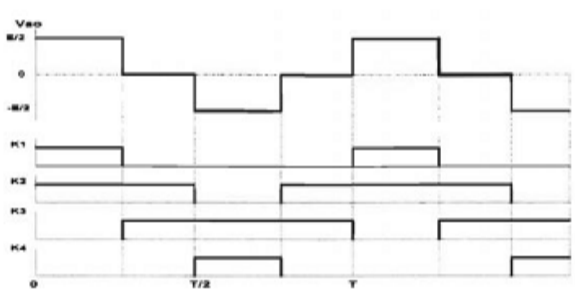


Figure IV.4 : séquence de fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC à trois niveaux

Nous remarquons que, par rapport à l'onduleur classique à deux-niveaux, les interrupteurs dans l'onduleur NPC à trois niveaux ont un temps de conduction minimal et une tension à supporter à l'état bloqué aussi minimale.

IV.4 Etude de Résultat

La figure IV.5 montre bien l 'allure de l a tension simple à l 'entrée du redresseur de l a première phase Van et son spectre harmonique ce dernier montre que seul s l es harmoniques impairs de rang 6k ± 1 existent (k entier naturel) et l es harmoniques de rang multiple de trois sont pratiquement nuls [19].

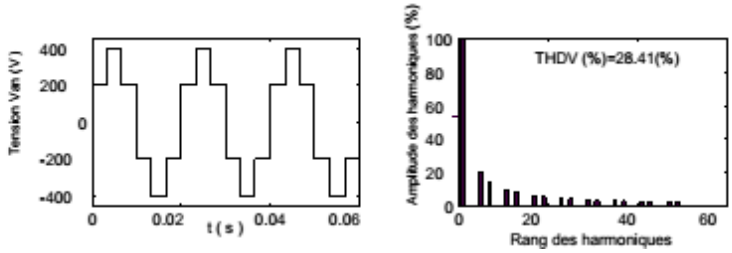


Figure (IV.5) : tension simple va de phase 1 triphasé à deux niveaux son spectre harmonique [19]

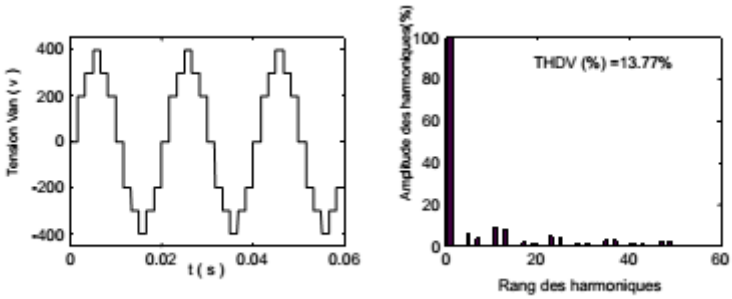


Figure IV.6 : tension simple va de phase 1 triphasé à trois niveaux son spectre harmonique [19]

La figure (IV .6) montre bien l es trois niveaux de tension pour l a première phase Van à l 'entrée du redresseur et l e spectre harmonique correspondent ce dernier montre que seul s l es harmoniques impairs de rang 6k ± 1 (k entier) existent et sont très faibles en comparai son avec l e redresseur triphasé à deux ni veaux.

On peut conclure de cette étude des commandes pleine ondes des redresseurs à deux et trois niveaux, que l es harmoniques des tensions d'entrée, et donc des courants, sont plus faibles avec l a structure trois niveaux[19].

Résulta de simulation d'onduleur trois niveau

- fréquence de la porteuse f=1500HZ

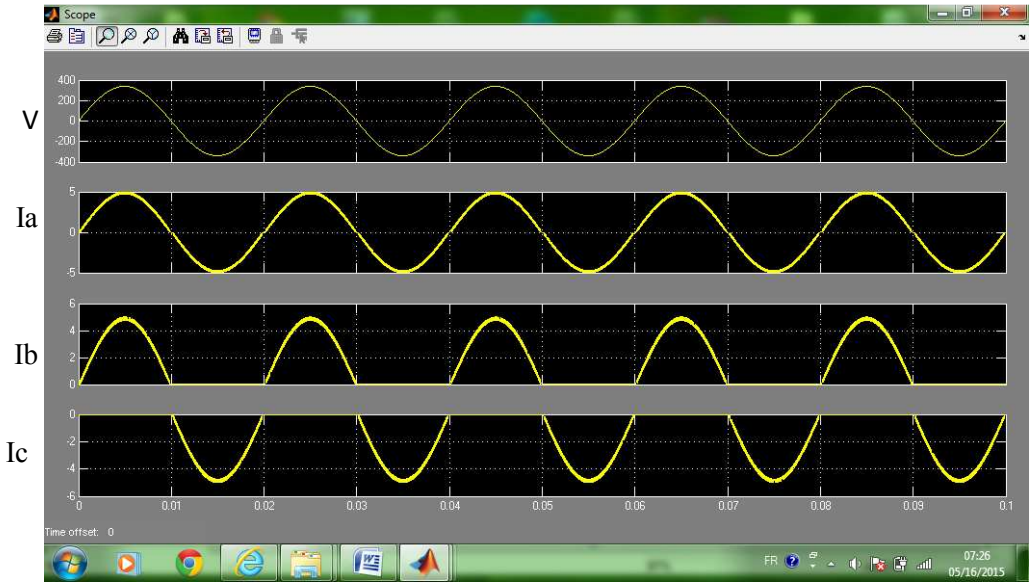


Figure IV.7 : Tension simple de sortie et courant Iabc

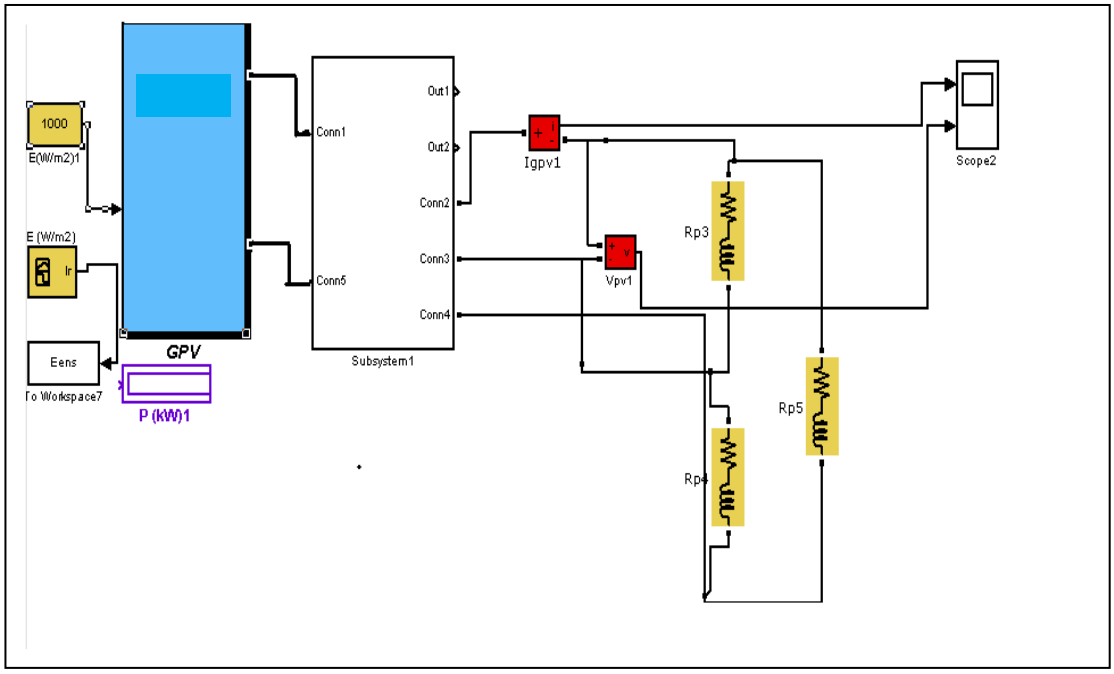


Figure IV.8 : intégration d'onduleur trois niveau d'un GPV

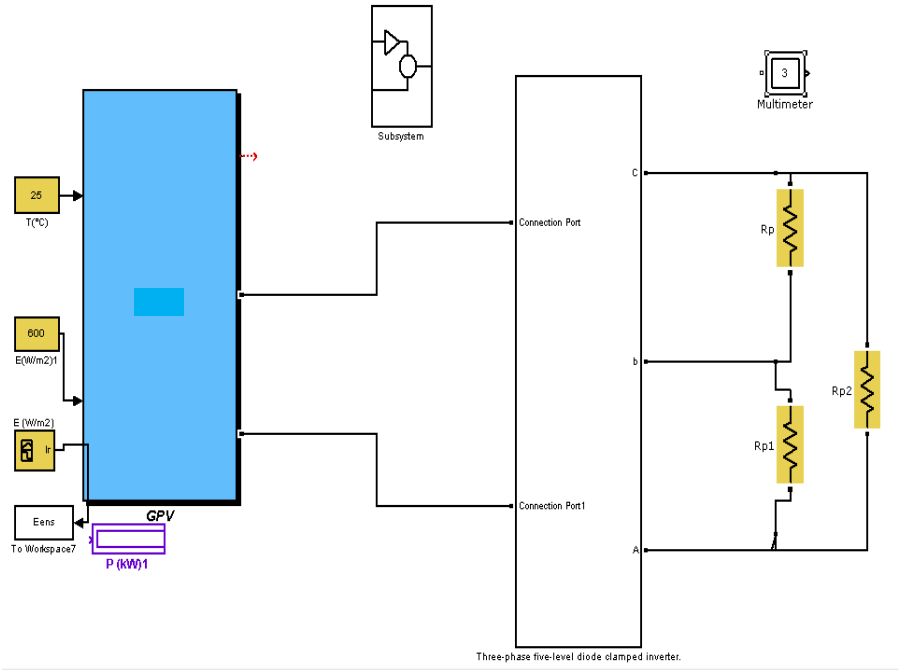


Figure IV.9 : intégration d'onduleur cinq niveau d'un GPV

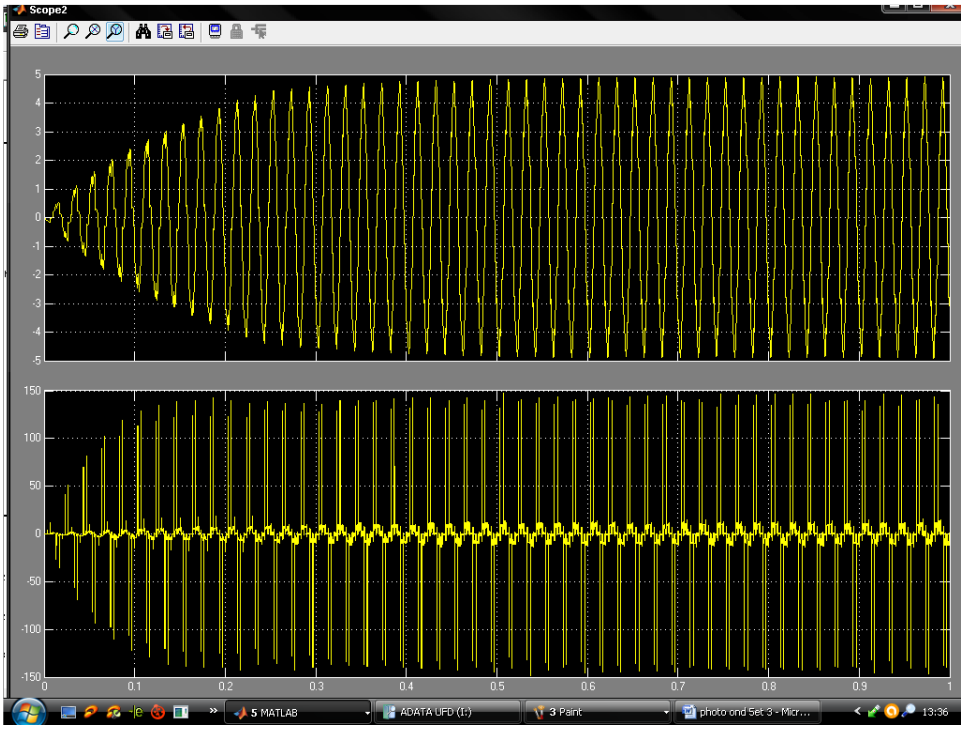


Figure IV.10 : courant, tension fournée par onduleur a trois niveaux

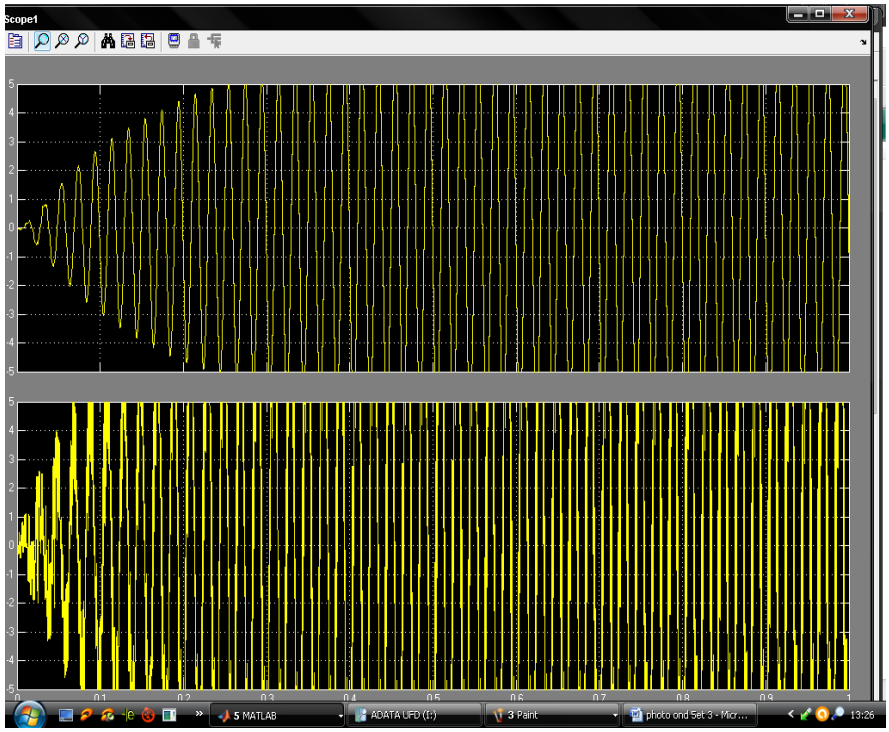


Figure IV .11 : courant tension fournée par onduleur a cinq niveaux

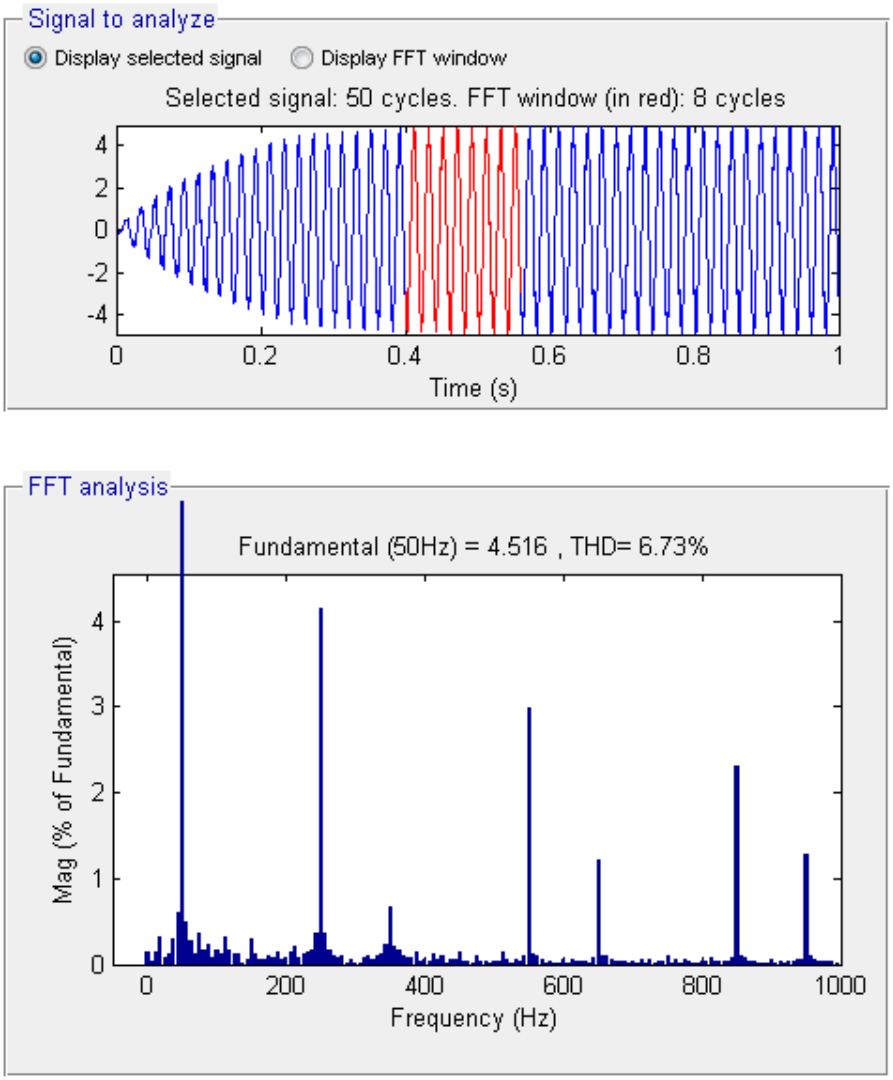


Figure IV.12 : Marge d'harmoniques des trois niveaux

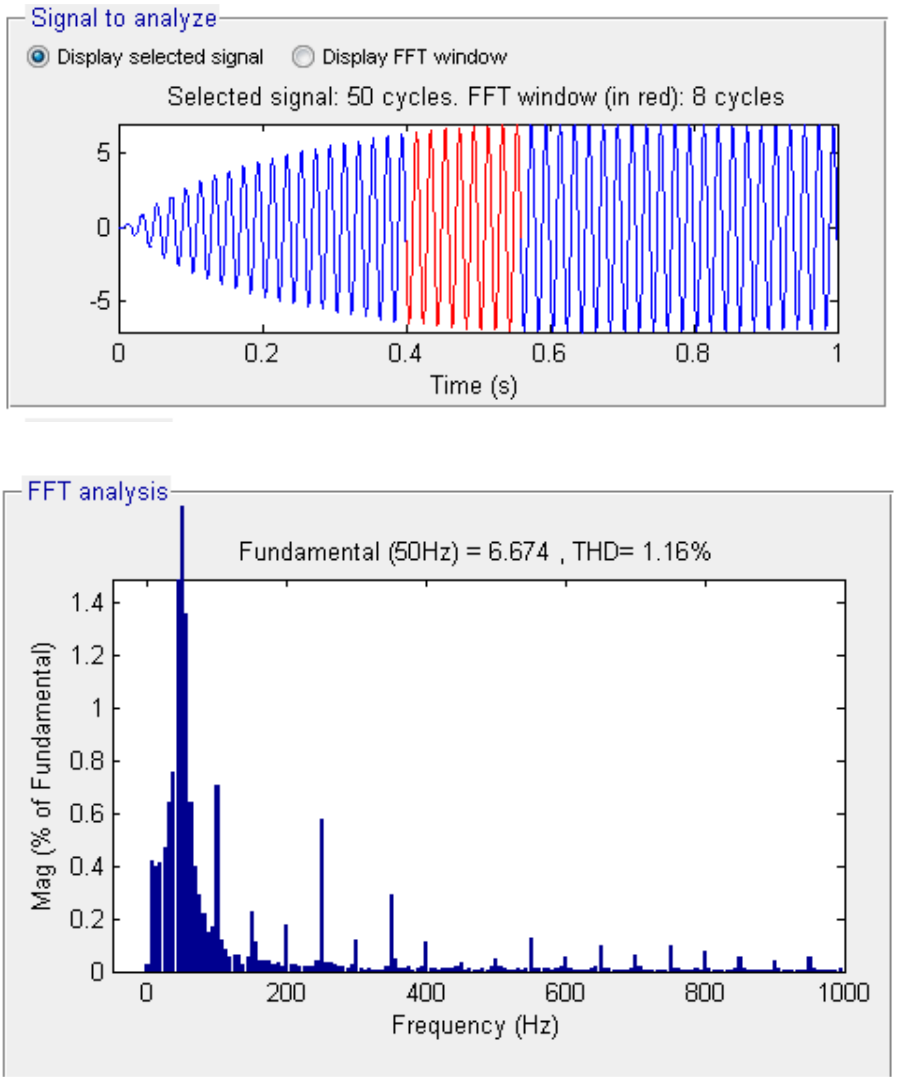


Figure IV.13 : Marge d'harmoniques cinq niveaux

IV.5 Interprétations des résultats

Les figure IV.8, IV.9 représente que la connexité d'onduleur d'un system photovoltaïque avec un charge RL, les figure IV.10, IV .11 représente le résultat de courant et tension par onduleur trois et cinq niveau et nous remarquons que la tension à la sortie de l'onduleur cinq niveaux est plus amélioré par rapport la tension à la sortie de l'onduleur à trois niveaux.

Les figures représentent la marge d'harmonique par rapport la fondamental et nous remarquons que la THD =6. 73% à un onduleur de trois niveaux. Mais l'onduleur de cinq niveau la THD=1.16%.

En conclue que l'augmentation de niveau de tension de l'onduleur est important pour la bonne qualité d'énergie convertie par un système photovoltaïque

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons intégré l'onduleur à cinq et à trois niveaux sur le GPV pour analyser les performances de ce système, à titre de comparaison les résultats de simulation démontre que la tension à la sortie d'un onduleur à cinq niveaux est plus amélioré par rapport la tension à la sortie d'un onduleur à trois niveaux, où la forme de signale de la tension est sinusoïdale avec un amplitude important, utilisation moins de nombre de commutateurs au niveau de convertisseur donc moins des harmoniques.

Conclusion général

Cette étude a pour but, d'étudier, modéliser et simuler un système photovoltaïque, basé à l'intégration d'un onduleur de cinq niveaux pour la production d'énergie électrique. Dans le premier chapitre, on a présenté une généralité sur les sources d'énergies renouvelables, à savoir, énergie photovoltaïque, éolien, biomasse, thermique, géothermie…..etc, et leurs avantages et inconvénients. Aussi on a présenté l'évolution de la capacité de production électrique à partir des sources renouvelables au niveau mondial

L'objectif de deuxième chapitre nous avons étudié et modéliser la structure de l'onduleur multi niveaux et l'onduleur à cinq niveau, ensuit nous avons présenté la simulation par technique matlab /similink et nous avons interprétés les résultats de simulation du courant et de tension à la sortie de l'onduleur.

La modélisation et la simulation d'un générateur photovoltaïque, élaborée dans le troisième chapitre. les résultats de simulation sur matlab /similink montre que l'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement et la température qu'elle reçoit sur sa surface.

Dans le quatrième chapitre, nous avons intégré l'onduleur à cinq et à trois niveaux sur le GPV pour analyser les performances de ce système,

L'analyse des résultats obtenus montre que la tension à la sortie d'un onduleur à cinq niveaux est plus amélioré par rapport la tension à la sortie d'un onduleur à trois niveaux, où la forme de signale de la tension est sinusoïdale avec une amplitude importante, utilisation moins de nombre de commutateurs au niveau de convertisseur donc moins des harmoniques.

Références bibliographiques

[1] **Othmane BENSEDDIK,Fathi DJALOUD**" étude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque "Mémoire de Master UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA 27 /06/2012

[2] **Issakha YOUM** "Caractérisation ,modélisation, fonctionnement et impact d'un système hybride pour alimentation de charge mixte" Docteur d'etat de l'universite cheikhantadiop de dakar ,2008

[3] http://thiers.stephane.free.fr/energie0.htm , *Dernière mise à jour le 21/09/2012*

[4] **ABDELHAMID LILIA**"Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur l'Environnement"DOCTORAT EN SCIENCESEn Electrotechnique , Université de Batna ,26/04/2012

[5] **Herman BAYEM** "apport des méthodes probabilistes aux études d'insertion des énergies renouvelables dans les systèmes électriques" thèse de doctorat le 23 Novembre 2009 Université PARIS SUD 11

[6] **Adelphe CALDEIRA** GREMAN – UMR-CNRS 7347"Développement d'un nouvel onduleur mixte à 5 niveaux pour les applications photovoltaïques domestiques 3 kW" Université de Tours, 7 avenue Marcel Dassault, 37200 Tours (France). 2013

[7] **Boucheritte wafa** "Convertisseurs multiniveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau" mémoire de magister Université Mohamed Khider – Biskra ,2014

[8] **Belhadj Mohammed** "Modélisation D'un Système DCaptage Photovoltaïque Autonome" Mémoire de Magister Centre Universitaire De Bechar 2007/2008

[9] **Melle Brihmat fouzia** "Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride pv/éolien"" mémoire de magister université mouloud Mammeri de tizi ouzou ,2012

[10] **Aoun Nouar** "étude et modélisation des différents modèles de la cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales" mémoire de magister universite mentouri constantine,2010

[11] **LMOPS, EA4423** "Optimisation du transfert d'énergie dans les systèmes photovoltaïques" thèse Doctorat de l'Université de Metz .

Références Bibliographiques

[12] **Bendjellouli Zakaria** "contribution a la modélisation cellule solaire " mémoire de magister université de bechar 28/06/2008

[13] **Sofiane abada** "Étude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur SEPIC' Université Laval

[14] **Hamza azzedine**" Modélisation et commande d'un system photovoltaïque " mémoire de magister universite badji mokhtar annaba

[15] **Mamadou baldé** "étude d'un compensateur statique pour éoliennes à vitesse fixe à base de génératrice asynchrone à cage" l'université du québec à trois-rivières decembre 2010

[16] **MESBAHI NADHIR** "Contribution à l'Etude des Performances des Onduleurs Multiniveaux sur les Réseaux de Distribution" mémoire DOCTORAT, universite badji mokhtar annaba, 2014

[17**]** **Melle. ben zemamouche houria** "application de la mli vectorielle aux onduleurs multiniveaux à base de GTO et d'IGBT" mémoire de magister universite badji mokhtar annaba année 2010

[18] **N. Ould Cherchali**, A. Morsli, M. S. Boucherit, L. Barazane , , A. Tlemçani

"Analyse et Commande d'une Cascade Source photovoltaïque_Onduleur à Cinq Niveaux".

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique et Automatique. Université de Médéa Algérie / Laboratoire de commande des processus. Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Alger, Algérie /Faculté d'Electronique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 'USTHB', Alger, Algérie

[19] **DJEBBAR MOHAMED SALAH**" Etude comparative des redresseurs CASCADES et multiniveaux a commande MLI" MEMOIRE Magist èr UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE ,2005

[20] **Chirine Benzazah**, Mustapha Ait Lafkih, and Loubna Lazrak"Etude comparative entre deux topologies d'onduleurs triphasés, classique à 2-niveaux et NPC à 3-niveaux avec deux différentes méthodes de commande MLI-ST et SWM"Laboratory of Automatic and Energy Conversion , University of Sultan Moulay Slimane ;2014

[21] www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr "Chiffres clés des énergies renouvelables", octobre2014

Références Bibliographiques