



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électrotechnique
Machines électriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :
FETITI Fadalallah

Le : jeudi 26 avril 2018

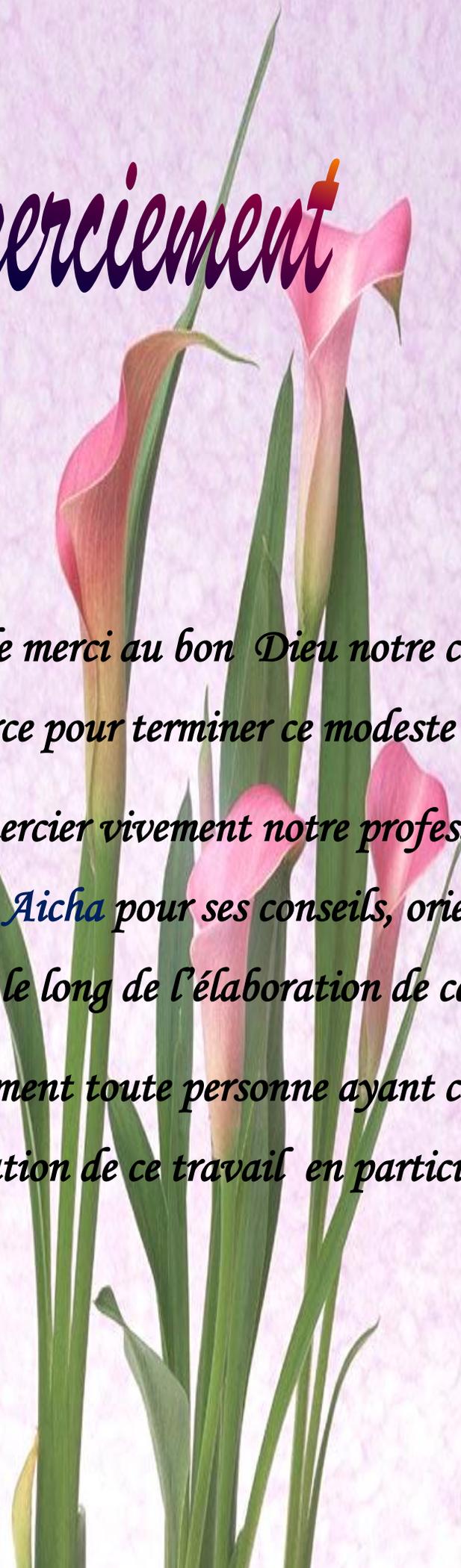
ETUDE, CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET REALISATION PRATIQUE D'UN HACHEUR PARALLELE POUR UNE SOURCE PHOTOVOLTAÏQUE

Jury :

Titre	Mr BACHA HABIBA	MCA	Université Mohamed Khider de Biskra	Président
Titre	Melle: GUERGAZI Aicha	MCA	Université Mohamed Khider de Biskra	Rapporteur
Titre	Mr CHEREIT AHMED	Pr	Université Mohamed Khider de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

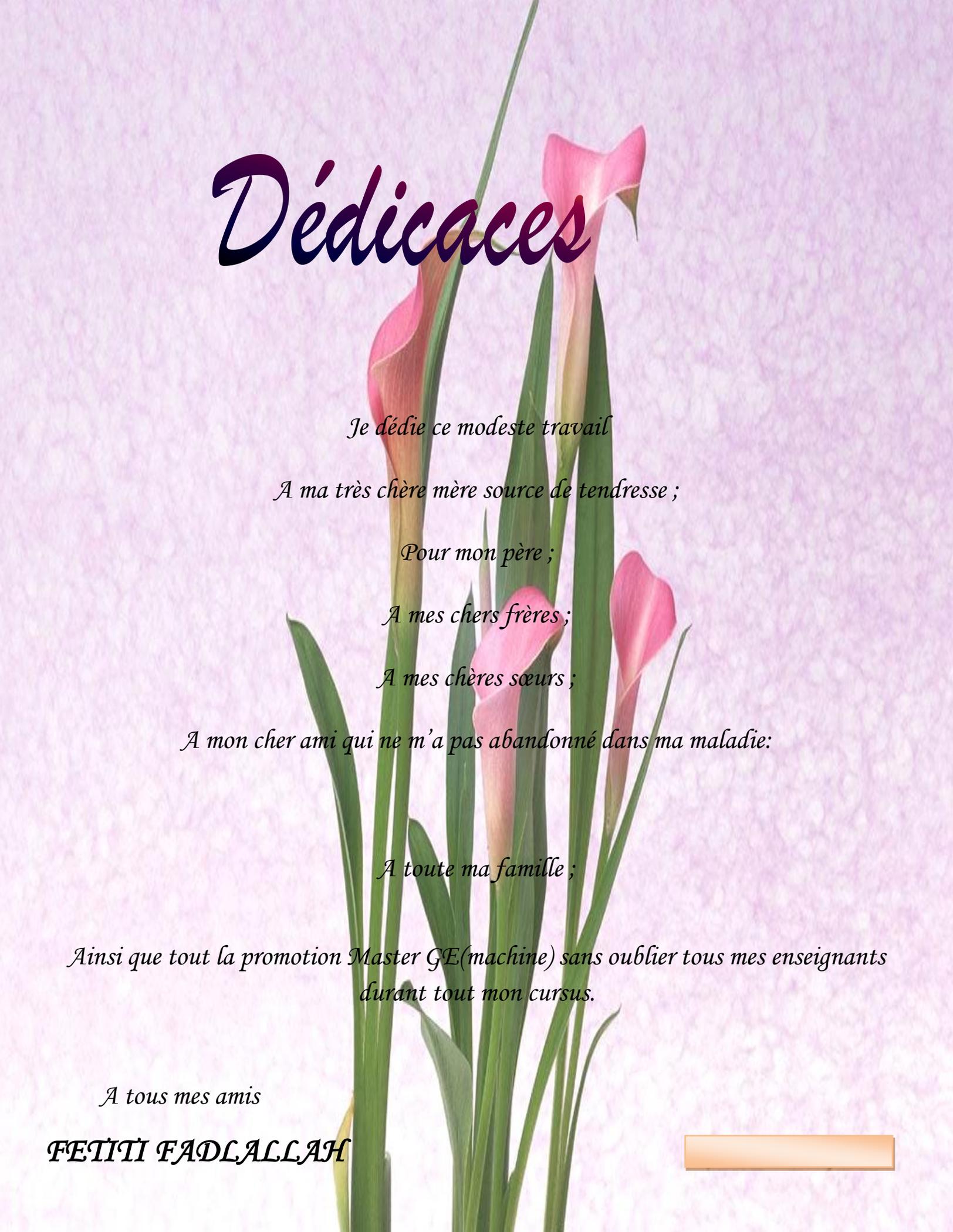
A bouquet of pink calla lilies with green leaves is positioned in the center of the page, partially overlapping the text.

Toute la gratitude et le merci au bon Dieu notre créateur qui nous a donné la force pour terminer ce modeste travail.

*Nous tenons à remercier vivement notre professeur encadreur
Dr : **GUEGGAZI Aicha** pour ses conseils, orientations et sa
disponibilité le long de l'élaboration de ce travail.*

Nous remercions également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier nos amis.



A bouquet of pink calla lilies with green leaves is positioned vertically in the center of the page. The flowers are in various stages of bloom, with some fully open and others as buds. The background is a light purple with a subtle floral pattern.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère source de tendresse ;

Pour mon père ;

A mes chers frères ;

A mes chères sœurs ;

A mon cher ami qui ne m'a pas abandonné dans ma maladie:

A toute ma famille ;

*Ainsi que tout la promotion Master GE(machine) sans oublier tous mes enseignants
durant tout mon cursus.*

A tous mes amis

FETITI FADLALLAH



SOMMAIRE

Titre	Page
Dédicaces	
Remercier	
Listes des figures	
Résumé	
Introduction générale	1
CHAPITRE I : Générateur Photovoltaïque	
I-1 INTRODUCTION	3
I.2.CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	3
I.2.1. Principe de fonctionnement	3
I.3. MODULES PHOTOVOLTAÏQUES	5
I.3.1 Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques	5
I.3.2. Protections des Modules	5
I.4. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV)	6
I.4.1. Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle	7
I.4.2. Association des Cellules Photovoltaïques en Série	7
I.5. MODELISATION DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	7
I.6. PARAMETRES ELECTRIQUES DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	9
I.6.1. Tension de circuit ouvert	10
I.6.2. Courant de court-circuit	10

I.6.3. Puissance maximal	10
I.6.4. Farceur de form	10
I.6.5. Rendement	10
I.7. AVANTAGES ET INCONVENIENTS	11
I.7.1. Avantages	11
I.7.2. Inconvenient	11
I.8. CONCLUSION	12
CHAPITRE II : Étage d'adaptation d'un système photovoltaïque à la charge	
II.1. INTRODUCTION	13
II.2. CONVERTISSEURS DC/DC	13
II.2.1. Hachure série (Buck)	14
II.2.2. Hachure Parallèle (Boost)	16
II.2.2.1. Models mathématique equivalent	17
II.2.3. Convertisseur dévolteur-survolteur	18
II.3. DIMENSIONNEMENT D'UN HACHEUR BOOST	19
II.3.1. Conduction continue	20
II.3.1.1. Expression de ΔI_L	22
II.3.1.2. Ondulation de tension ΔV_s	23
II.3.1.3. Formes d'ondes des principaux signaux	23
II.4. SCHEMA STRUCTUREL DE COMMANDE SOUS MATLAB	25
II.5. CONCLUSION	26
CHAPITRE III : Réalisation d'un Hacheur Boost et l'Application	
III-1 INTRODUCTION	27
III.2. LES ALIMENTATIONS	27

IV.2.1. Alimentation	27
III.2.1.1. Alimentations 5V	27
III.2.1.2. Alimentation de 15 V	28
III.3. LES TECHNOLOGIES POSSIBLES POUR GENERER UN MLI(PWM)	29
<i>III.3.1.Montage NE555</i>	29
III.3.2.Montage Signal Continue	30
III.4. OPTOCOUPLEUR 4N25	31
III.5. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP DE PUISSANCE « MOSFET »	32
III.5.1. Introduction	32
III.5.2. Critère de choix de l'élément Semi-conducteur	33
III.5.3. Command d'un transistor MOSFET	34
III.6. RADIATEUR DE DISSIPATION :	34
III.7. DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS DU HACHEUR BOOST	34
III.8. TESTE DU HACHEUR :	35
III.9. CONCLUSION	37

LISTES DES FIGURES

FIGURES	TITRE
FIGURE I-1	Mouvement des charges dans une jonction PN
FIGURE I-2	Principe de fonctionnement d'une jonction PN
FIGURE I -3	Caractéristiques type d'un générateur PV
FIGURE I -4	Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle
FIGURE I -5	Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.
FIGURE I -6	Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque
FIGURE II- 1	Étage d'adaptation entre un GPV et une charge.
FIGURE II-2	Schéma du circuit électrique d'un convertisseur dévolteur
FIGURE II-3	Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck.
FIGURE II-4	Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un convertisseur Buck. [20]
FIGURE II-5	Schéma de principe d'un convertisseur survolteur
FIGURE II-6	Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur

FIGURE II-7	Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur
FIGURE II-8	Caractéristique de la tension et du courant du Buck-Boost.
FIGURE II-9	schéma équivalent du hacheur boost durant la phase active
FIGURE II-10	schéma équivalent du hacheur boost durant la phase de rue libre
FIGURE II-11	allures des tensions et courants en mode conduction continue
Figure II.13	Structure de commande de l'hacheur BOOST sous MATLAB
Figure II.14	Caractéristique de la tension d'entrée
Figure II.15	Caractéristique de la tension de sortie
Figure II.16	Caractéristique de courant de ligne
FIGURE III-1	Banc d'essai expérimental global
FIGURE III-2	Schéma électrique de l'alimentation 5V
FIGURE III-3	l'allure de la tension d'alimentation 5V
FIGURE III-4	Schéma électrique de l'alimentation 15V
FIGURE III-5	l'allure de la tension d'alimentation 5V
FIGURE III-6	le schéma électrique de générer le signal MLI
FIGURE III-7	Les allures de deux signaux dent de scie et le signal continu
FIGURE III-8	Signal MLI
FIGURE III-9	Le schéma électrique de mise en forme le signal MLI

FIGURE III-10	Le signal MLI
FIGURE III-11	Schéma électrique de l'isolation galvanique et amplification
FIGURE III-12	Signal d'entrée de circuit de commande à la gâchette de hacheur
FIGURE III-13	(a) schéma électrique du MOSFET ; (b) schéma de l'élimination du diode interne
FIGURE III-14	Diagramme de puissance – fréquence des semi-conducteurs
FIGURE III-15	caractéristiques d'un transistor MOSFET. (a) caractéristique de sortie ; (b) caractéristique de commande.
FIGURE III-16	Radiateur
FIGURE III-17-a	Schéma électrique globale de banc d'essai
FIGURE III-17-b	Schéma électrique de l'hacheur Boost et la charge
FIGURE III-18	La tension de sortie (élevée) avec le signal de commande
FIGURE III-19	La tension de sortie (élevée)

LISTE DES SYMBOLES

LISTE DES SYMBOLES GÉNÉRALE

LISTE DES SYMBOLES

I_{pv} : Courant délivré par la cellule PV.

I_{ph} : Photo-courant.

I_d : Courant de la diode.

V_{pv} : Tension délivré par la cellule PV.

v_t : Tension thermique

v_d : Tension de la diode

T : Température absolue en °K

T_c : Température de circuit.

I_0 : Courant de saturation de diode.

I_{sh} : Courant shunt

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

Q : Charge de l'électron.

K : Constant de Boltzmann ($1.38.10^{-23} \text{ J / K}$).

A : Facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 2$).

V_{co} : Tension de circuit ouvert.

I_{co} : Courant de circuit ouvert.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

V_{cc} : Tension court-circuit.

ff Facteur de forme.

P_{max} : Puissance maximale.

η : Rendement.

I_{opt} : Courant optimal.

V_{opt} : Tension optimal.

P : Puissance.

V : Tension.

I : Courant.

G : L'incrémentale conductance.

R : Résistance de charge.

L : Inductance.

C : Capacité

T : période

D : rapport cyclique.

T_{on} : durée du train d'onde.

DC-DC: Convertisseur continu/continu

MLI: modulation de largeur d'impulsion

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans le cadre de notre formation de Master au département de Génie Electrique de l'Université Mohamed Khider Biskra, nous devons réaliser un projet qui s'intitule ' **Etude, conception, Dimensionnement et Réalisation pratique d'un Hacheur Boost pour une source photovoltaïque** '. Ce projet s'étale sur nos deux dernières années de formation.

L'énergie solaire représente certainement la source d'énergie renouvelable la plus élégante. En plus d'être silencieuse, elle s'intègre parfaitement aux constructions (façades, toiture...), et du fait qu'elle n'intègre pas de pièces mécaniques mobiles, elle ne nécessite pas un entretien particulier reste fiable longtemps, c'est la raison pour laquelle elle est devenue une référence dans les applications spatiales et dans les sites isolés. Elle est en train de s'imposer comme une valeur sûre dans les applications à petite et moyenne consommation d'énergie, surtout depuis que les panneaux solaires sont devenus moins chers pour des rendements meilleurs [1].

L'énergie photovoltaïque dépend fortement des conditions climatiques et de la localisation du site, ce qui rend la position du MPP variable dans le temps et donc difficile à situer. Dans la plupart des systèmes de production d'énergie photovoltaïque, on trouve une technique ou un algorithme particulier nommé « Maximum Power Point Tracking » (MPPT) qui se traduit par, poursuite du point de puissance maximale. Cette technique, comme son nom l'indique, traque le MPP dans le temps et permet de la sorte de tirer le maximum de puissance que le panneau est apte à fournir [2]

Les problèmes qui restent à résoudre concernent autant le matériau de conversion qui reste cher que la chaîne de conversion qui présente beaucoup de pertes par une non optimisation et souvent une utilisation inapproprié de convertisseurs statiques.

L'objectif du projet est la réalisation électronique, par le biais d'une carte électronique câblé. Son principe de fonctionnement est basé sur la commande d'un convertisseur DC-DC par un signal rectangulaire 'PWM' réaliser. Cette technique de commande hache le courant du module photovoltaïque avec des impulsions d'une fréquence fixe et d'une largeur d'impulsion variable, c'est le principe du signal modulé par largeur d'impulsions, afin de réguler le courant de charge à travers le convertisseur DC-DC qui est généralement un dispositif de conversion de puissance.

Pour présenter le travail effectué, ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

- **Le premier chapitre** comporte des généralités sur l'énergie photovoltaïque. Nous allons définir la cellule photovoltaïque et en explique le principe de fonctionnement, la modélisation mathématiquement. A la fin de ce chapitre en mentionne les avantages et les inconvénients du panneau photovoltaïque.

- **Le second chapitre** une étude théorique sur les convertisseurs statiques, nous allons présenter les différents types de hacheur BUCK, BOOST BUCK-BOOST, a la suit en va parler sur le dimensionnement d'un hacheur BOOST hacheur proposé dans le projet.
- **Le troisième chapitre** sera dédié à la réalisation électronique d'un convertisseur DC-DC de type BOOST et l'interfaçage du système développée via une carte électronique câblé, et afficher les résultats sur l'environnement pratique « oscilloscope ».

A la fin, on termine ce mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives pour des travaux futurs dans ce domaine.

CHAPITRE I

CHAPITRE I

Générateur Photovoltaïque



CHAPITRE I

I.1. INTRODUCTION

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser les modules, le câblage, la batterie en cas de stockage et son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

Le système photovoltaïque est alors l'ensemble du générateur photovoltaïque et des équipements de consommation [3].

I.2. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE [4]

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques montées en série ou en parallèle afin d'obtenir les caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène.

Le courant obtenu est proportionnel à la puissance lumineuse incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : sélénure de cuivre et sélénure d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée.

I.2.1. Principe de fonctionnement

Le matériau de base pour la fabrication du composant de cellules solaires photovoltaïques est le silicium. Le silicium naturel n'est pas directement utilisable, il doit subir certains traitements, parce qu'il est un isolant électrique à basse température et pour augmenter sa conductivité on y introduit d'autres atomes. Ce procédé est appelé dopage, il ya deux types de dopage selon la nature du dopant. [4].

- **Dopage de type N** : consiste à produire un excès d'électrons, qui sont négativement chargés, par ajout des atomes pentavalents (par exemple le Phosphore) au silicium.
- **Dopage de type P** : consiste à produire un excès des trous, qui sont positivement chargés, par ajout des atomes trivalents (par exemple le Bore) au silicium.

Par l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N, on obtient une jonction PN, cette jonction permet le passage des électrons entre les deux régions.

Quand ces deux matériaux sont mis en contact et les charges opposées s'attirent grâce au phénomène de diffusion, les électrons vont dans le matériau de type P et les trous vont dans le matériau de type N.

La chute de potentiel entre les matériaux N et P est nommé le potentiel de diffusion

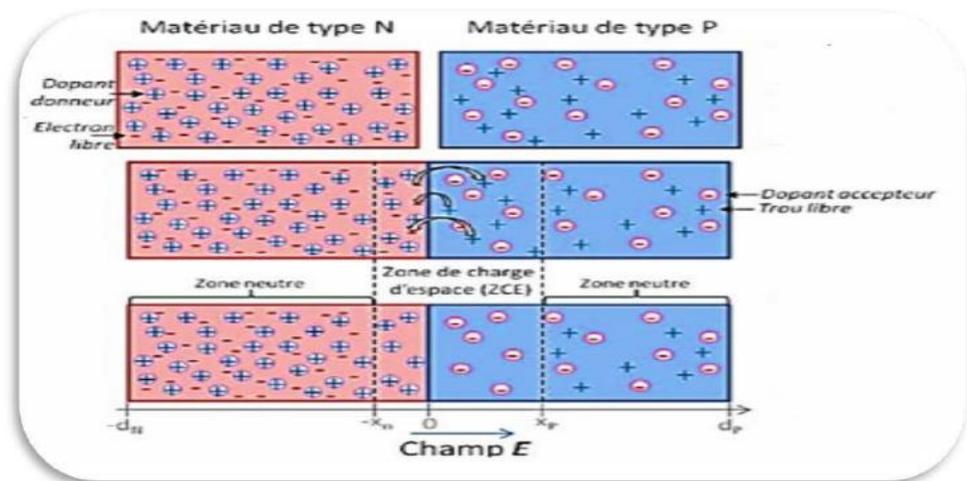


Figure I.1 : Mouvement des charges dans une jonction PN

Certains électrons, libres des atomes sous l'action du rayonnement de la lumière du soleil (photons), peuvent se déplacer du matériau dopé P au matériau dopé N sous l'effet du potentiel de diffusion, et si une connexion extérieure est établie entre les deux matériaux, un courant électrique est généré dans l'un d'eux et parcourt cette connexion et puis ce courant retourne au semi-conducteur par l'autre matériau. [4].

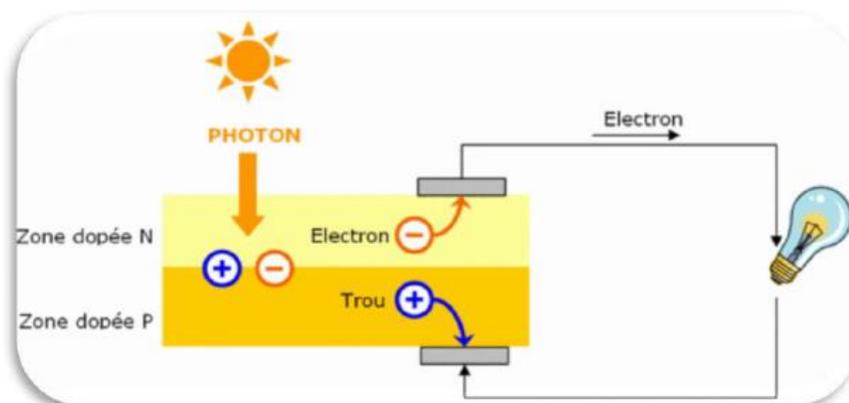


Figure I.2 : Principe de fonctionnement d'une jonction PN

Il existe essentiellement quatre technologies de cellules photovoltaïques :

- Monocristallin,
- Poly cristallin,
- Amorphe
- Couches minces.

I.3. MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Les puissances demandées par les charges couramment utilisées nécessitent conjointement des tensions et des courants supérieurs à ceux que peuvent fournir les cellules élémentaires et il faut donc envisager des groupements [5].

Dans la pratique les connexions sont effectuées au niveau des modules regroupant un certain nombre de cellules généralement connectées en série.

Ces modules sont les éléments de base du champ photovoltaïque et l'encapsulation ainsi réalisée à deux rôles principaux :

1. La protection des cellules vis-à-vis des agents atmosphériques extérieurs pour que leurs durées de vie soient significatives.
2. Le contrôle de la température des jonctions via un échange thermique entre les cellules et l'air ambiant (convection naturelle) au travers du matériau d'encapsulation.

I.3.1 Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques doivent être conformes aux conditions d'homologation définies dans les normes CEI (Commission Electrotechnique Internationale).

Les modules doivent notamment pouvoir supporter les conditions ambiantes suivantes :

- Température: de -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$
- Humidité : jusqu'à 100 % d'humidité relative
- Vent : jusqu'à 190 km / heure
- Grêlons: diamètre inférieur à 25 m
- Atmosphère salée

I.3.2. Protections des Modules

L'existence d'une cellule non identique dans un module peut provoquer sa destruction, par échauffement. Donc les déséquilibres importants dus à l'occultation, d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour corriger ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules.

I.4. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV) [3-6-7]

Le capteur PV est décrit par ses caractéristiques électriques le courant en fonction de la tension

($I = f(V)$) Figure (1.3) ; cette modélisation est utilisée généralement pour approximer la sortie de capteur (tension, courant) en fonction de deux entrées qui sont la température et l'éclairement reçu par le capteur figure (1.4).

Le courant généré par le module PV a une tension donnée dépend uniquement de l'éclairement et de la température de la cellule. A température et éclairage Constants. Le rendement d'une cellule solaire dépend de la charge dans le

circuit électrique. En circuit ouvert ($R_c = \infty, I = 0, V = V_{\infty}$) ou en court-circuit ($R_c = 0, I = I_{cc}, V = 0$), aucune énergie n'est transmise à l'extérieur. Entre ces deux extrêmes, il existe une valeur optimale R_{opt} de la résistance de charge R_c pour laquelle la puissance $P = V_{max} \times I_{max}$ fournie par la cellule solaire à la résistance de charge est maximale, et vaut P_{max} [5].

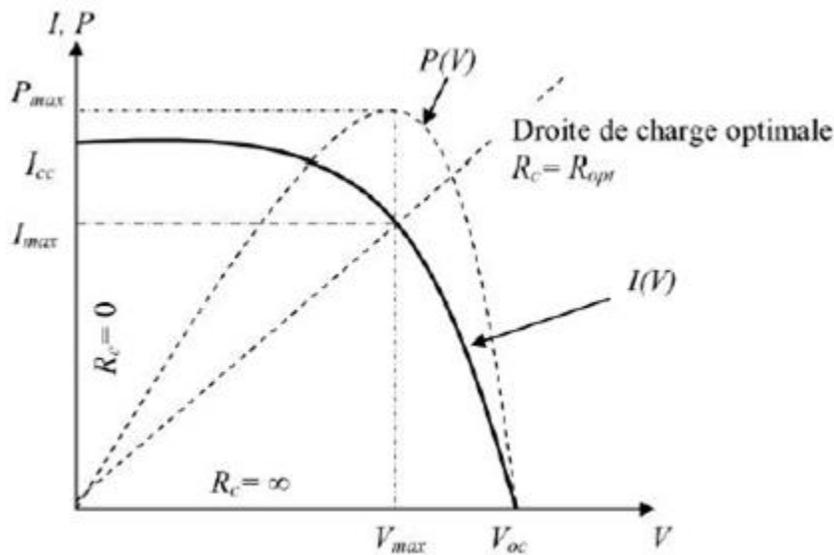


Figure I.3 : Caractéristiques type d'un générateur PV

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule additionnent, augmentant la tension totale du générateur.

D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera comme représentés sur les figures suivantes.

I.4.1. Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement des cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée.

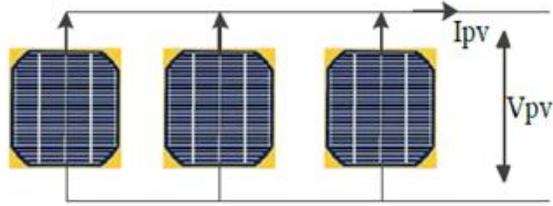


Figure I.4 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle

I.4.2. Association des Cellules Photovoltaïques en Série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné.

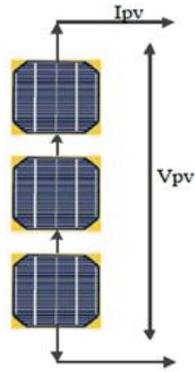


Figure I.5 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.

La plupart des panneaux photovoltaïques commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectées en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules photovoltaïques connectés en série. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du générateur photovoltaïque en cas de défaut partiel.

I.5. MODELISATION DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque.

Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules.

Ainsi la caractéristique I-V du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par le circuit équivalent bien connu de la figure(I.6) [8-9]. Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle,

ainsi que des résistances série R_s et parallèle (shunt) R_{sh} pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule.

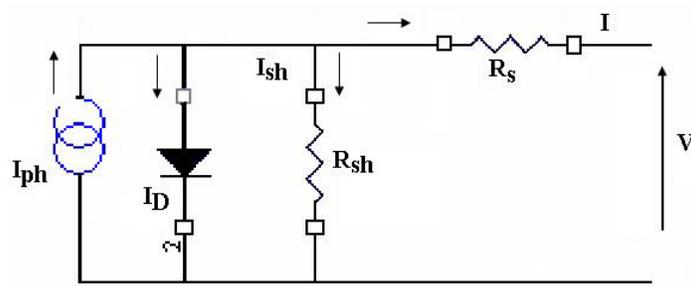


Figure I.6 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière. La résistance parallèle rend compte des effets, tels que le courant de fuite par les bords de la cellule, elle est réduite du fait de la pénétration des impuretés métalliques dans la jonction (surtout si cette pénétration est profonde).

Ce circuit peut être utilisé aussi bien pour une cellule élémentaire, que pour un module ou un panneau constitué de plusieurs modules [8-9-10].

Ce modèle est présenté par un ensemble d'équations, d'une complexité modérée. Il reflète le comportement de la cellule solaire (I_{ph} et I_d), déduit du circuit de la figure (1.5). En prenant en considération les dépendances suivantes :

- courant de saturation I_0 des cellules comme fonction de la température ;
- courant I_{ph} , comme fonction de la température aussi;
- ainsi que la résistance série R_s , qui donne une forme plus précise entre le point de puissance maximale et la tension du circuit ouvert, comme étant aussi fonction de la température.

L'équation courant tension I-V du circuit équivalent simplifié est déduite à partir de la loi de Kirchhoff.

Le courant généré par le module PV est donné par la loi de Kirchoff :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_c - I_{sh} \quad (I.1)$$

Où I_{pv} est le courant délivré par le module PV, I_{ph} est le photo-courant et I_d est le courant de la diode. La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique Courant-Tension est donné par la relation.

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{v_{pv}}{v_t}} - 1 \right) \quad (I.2)$$

Où I_0 est le courant de saturation de diode, v_{pv} est la tension délivré par le module PV, $v_t = \frac{kT}{q}$ est la tension thermique, T est la température absolue en K et I_{ph} est le photo-courant. Donc la relation (I.2) sera :

$$I = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A \cdot k \cdot T_c}} - 1 \right) \quad (I.3)$$

Le courant de la résistance shunt est calculé par :

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

On en déduit l'expression du courant par une cellule solaire :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A \cdot k \cdot T_c}} - 1 \right) \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.5)$$

Où I_{pv} est le courant fourni par le module PV, $I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{G}{1000} \right)$ est le photo-courant dépendant de l'éclairement (G), K est la constante de Boltzmann (1,381.10-23joule/Kelvin), q est la charge d'électron=1,602.10-19C, T est la température du module PV en kelvin et A est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 2$).

I.6. PARAMETRES ELECTRIQUES DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE

Les différents paramètres caractérisant un module photovoltaïque sont la tension de circuit ouvert, courant de court-circuit, puissance maximale, facteur de forme et rendement. Ils sont extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différents modules éclairés dans des conditions identiques.

I.6.1. Tension de circuit ouvert

Si on place un module sous une source lumineuse constante sans aucune circulation de courant, on obtient à ses bornes une tension maximale continue, dite tension à circuit ouvert.

$$V_{co} = 0.6 \times N_s \quad (I, 6)$$

V_{co} : Tension circuit ouvert et N_s : nombre des cellules en série

Où est la tension pour une cellule PV élémentaire et est le nombre de cellules. On l'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes du module PV

I.6.2. Courant de court-circuit

Lorsqu'on place le module PV en court-circuit, il débite son courant maximal à tension nulle. On dit courant de court-circuit I_{cc} . On obtient sa valeur en branchant un ampèremètre aux bornes du module. Dans les modules PV au silicium, le courant est de l'ordre de 12mA/cm².

I.6.3. Puissance maximale

La puissance fournie au circuit extérieur par un module photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes du module). Cette puissance est maximale notée P_{\max} pour un point de fonctionnement $P_{\max} (I_{\text{opt}}, V_{\text{opt}})$ de la courbe Courant-Tension.

$$P_{\max} = I_{\text{opt}} V_{\text{opt}} \quad (\text{I.7})$$

I.6.4. Facteur de forme [11]

On appelle facteur de forme ff , dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (Fill Factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule $P_{\max} (I_{\text{opt}} \cdot V_{\text{opt}})$ et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule, plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_s et R_{sh} . Il est défini par :

$$ff = \frac{I_{\text{opt}} V_{\text{opt}}}{I_{\text{cc}} V_{\text{co}}} = \frac{P_{\max}}{I_{\text{cc}} V_{\text{co}}} \quad (\text{I.8})$$

I.6.5. Rendement

Le rendement énergétique d'un module PV est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par le module $P_{\max} (I_{\text{opt}}, V_{\text{opt}})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{I_{\text{opt}} V_{\text{opt}}}{P_{\text{inc}}} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{inc}}} \quad (\text{I.9})$$

qui égale au produit de l'éclairement et de la surface totale du module PV. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.7. AVANTAGES ET INCONVENIENTS:

I.7.1. Avantages:

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages :

- D'abord, une haute fiabilité, elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I.7.2. Inconvénients:

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients...

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru.

La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

- Tributaire des conditions météorologiques

I.8. CONCLUSION

Ce chapitre s'est consacré à présenter le générateur photovoltaïque. Nous avons étudié le générateur photovoltaïque pour différentes puissances générées (cellules, modules et champs). Ensuite, nous avons la modélisation des modules ainsi que ses paramètres électriques.

Dans le chapitre prochain, nous présenterons une étude sur les convertisseurs DC-DC (hacheurs).

CHAPITRE II

CHAPITRE II

Étage d'adaptation d'un système
photovoltaïque à la charge

CHAPITRE II

II.1. INTRODUCTION

Une chaîne de conversion photovoltaïque signifie un générateur photovoltaïque (GPV) connecté à une charge par l'intermédiaire d'un convertisseur. Selon l'application visée, l'énergie photovoltaïque est soit utilisée telle quelle par la charge, soit stockée ou bien injectée directement au réseau électrique.

Dans le but d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur photovoltaïque et de la transférer à la charge, la technique utilisée est d'ajouter un étage d'adaptation (Hacheur) entre la source et la charge figure (II.1), cet étage permet de contrôler la puissance, de diminuer la quantité d'énergie perdue et que le transfert de l'énergie peut s'effectuer dans des conditions de fonctionnement optimales pour la source PV et la charge [12].

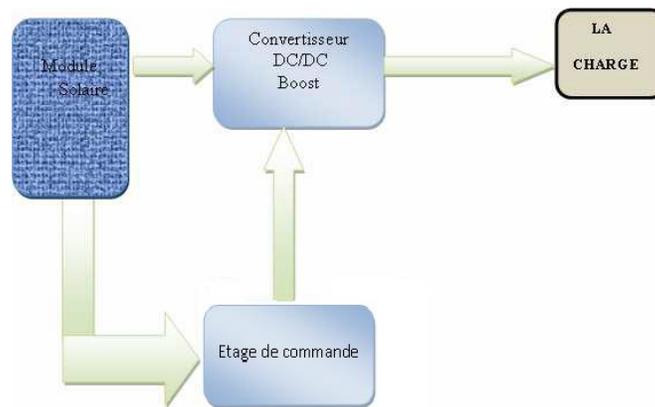


Figure II.1 : Étage d'adaptation entre un GPV et une charge.

II.2. CONVERTISSEURS DC/DC

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance [13].

Trois topologies de base de circuit de conversion seront décrites dans les paragraphes suivants

(DC-DC) : Dans cette partie nous présentons le principe des trois types de convertisseurs DC/DC

(Buck, Boost et Buck-Boost), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités.

Ce type de convertisseurs n'est constitué que par des éléments réactifs (Selfs, Capacités) qui, dans le cas idéal, ne consomment aucune énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement [14].

Dans ces études, l'interrupteur du convertisseur est attaqué par un signal MLI (Modulation Large Impulsion), avec une fréquence f_s fixe et un rapport cyclique α variable.

II.2.1. Hacheur série (Buck)

C'est le montage le plus simple et le plus ancien. On dit qu'il s'agit d'un hacheur à un bras. C'est un hacheur « Un quadrant » qui n'a aucune réversibilité. L'énergie ne peut circuler que de l'entrée vers la sortie. Il ne comprend qu'un seul interrupteur commandé et une diode de roue libre. Cependant ce transfert est réglable. Le paramètre de réglage est le rapport cyclique de la commande de l'interrupteur. Nous allons voir que ce hacheur est de type abaisseur, la tension de sortie étant toujours inférieure à la tension d'entrée. La figure (II.2) représente le schéma de principe du convertisseur dévolteur [15], [16].

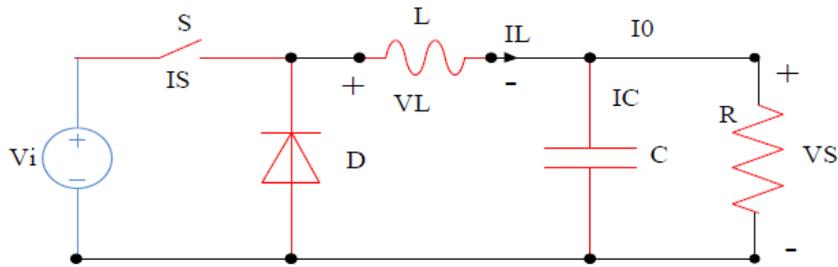


Figure II.2 : Schéma du circuit électrique d'un convertisseur dévolteur

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source doit être plus grande que la tension aux bornes de la charge. L'équation mathématique caractérisant le courant de l'inductance est donnée par l'équation suivante.

$$\frac{\delta I}{\delta t} = \frac{V_i - V_s}{L} \quad (\text{II.1})$$

I_L : Le courant dans l'inductance

Le processus de commutation est décrit par la position de l'interrupteur (S). Dans le premier intervalle de temps (DT) le transistor est dans un état de saturation, alors l'inductance (L) se charge d'énergie avec augmentation du courant I_L .

Dans le deuxième intervalle de temps $(D-1)T$, l'inductance (L) libère cette énergie à la charge avec une diminution de courant I_L .

En négligeant la chute de tension à travers la diode, le taux de changement du courant est donné par :

$$\frac{\delta I}{\delta t} = -\frac{V_i}{L} \quad (\text{II.2})$$

Lorsque le courant de l'inductance ne se décroît pas à zéro avant la commutation du transistor, le convertisseur fonctionne dans le mode de conduction continu, comme illustré sur la figure (II.3), et dans ce cas, si la tension de charge dépend seulement de la tension de source et du rapport cyclique $= \frac{T_{on}}{T}$, la tension aux bornes de la charge :

$$V_s = \alpha V_i \quad (II.3)$$

Dans le mode de conduction discontinu le courant de l'inductance s'annule dans un cycle de commutation entre le transistor (S) et la diode. Dans ce cas, la tension de charge dépend d'une manière plus complexe du rapport cyclique et le courant de la charge, la figure (II.4) montre comment la tension de charge varie avec le courant de charge.

Les caractéristiques des courants et la tension représentant le fonctionnement du hacheur dévolteur sont données par la figure (II.3) :

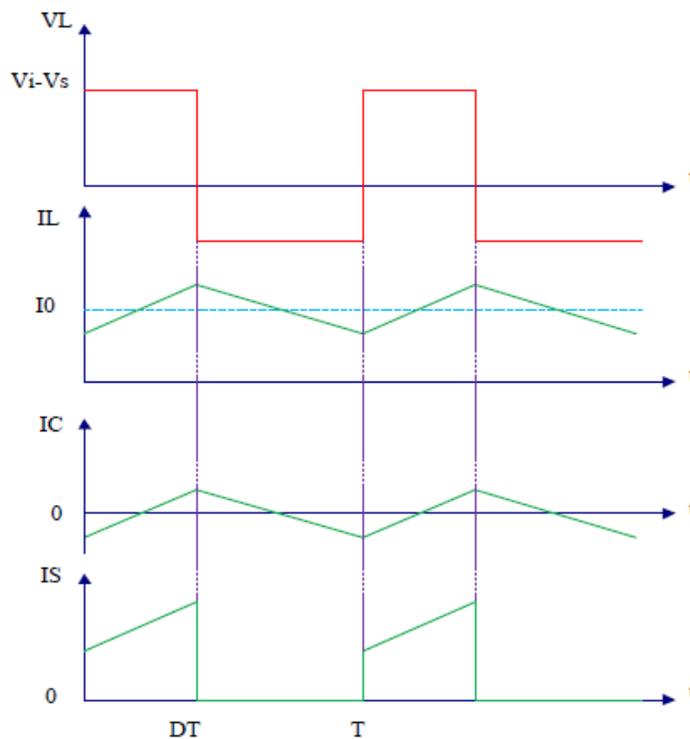


Figure II.3 : Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck.

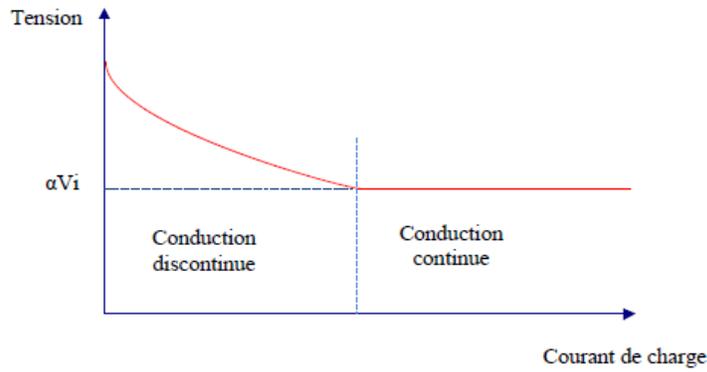


Figure II.4 : Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un convertisseur Buck. [17]

II.2.2. Hacheur Parallèle (Boost)

Le convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « Boost » ou hacheur parallèle. Il est utilisé pour convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure. Son schéma de principe est présenté sur la figure (II.5) [18], représente le circuit électrique du Boost. Au premier temps (αT), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (IL), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode [19].

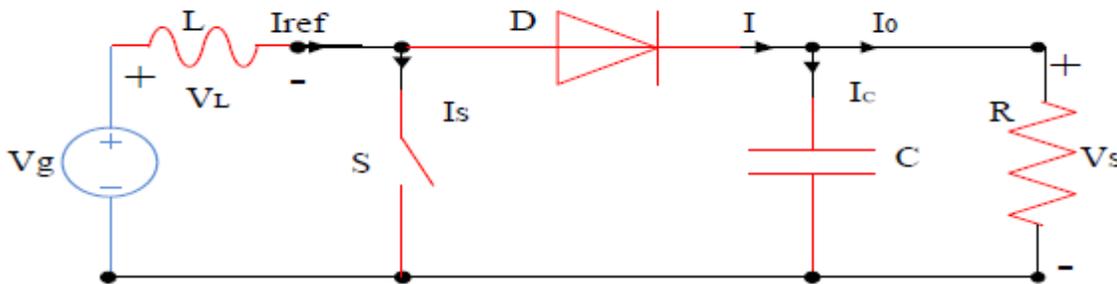


Figure II.5 :Schéma de principe d'un convertisseur survolteur

En bref, l'exploitation d'un convertisseur Boost classiques isolés, peut être décrite comme suit. Lorsque l'interrupteur (S) est activé, la diode (D) est un parti pris inverse et isole le côté sortie du convertisseur, de l'énergie est ensuite stockée dans l'inductance (L). Lorsque l'interrupteur est éteint, la charge sur le côté de sortie reçoit l'énergie de l'inducteur, ainsi qu'à partir de la source d'entrée. En conséquence, la tension de sortie est plus élevée que la tension d'entrée. De plus, le condensateur est supposé très grand pour maintenir la tension de sortie constante [20].

II.2.2.1. Modèle mathématique équivalent

Savoir le comportement réel de ce convertisseur, nécessite de connaître en détail son modèle mathématique. Pour cela nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite

le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (II.6) montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur survolteur avec le commutateur fermé pendant $[0, dT_s]$; tandis que la figure(II.7) représente le convertisseur survolteur avec le commutateur ouvert pendant $(1-d) T_s$ [21].

L'application des lois de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

- **Pour la première période αT_s :**

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_g}{dt} = I_g - I_L \quad (\text{II.4})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = -I_0 \quad (\text{II.5})$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_g - R_L I_L \quad (\text{II.6})$$

- **Pour la deuxième période $(1-\alpha) T_s$**

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_g}{dt} = I_g - I_L \quad (\text{II.7})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = I_L - I_0 \quad (\text{II.8})$$

$$V = L \frac{dI_L}{dt} = V_g - V_0 - R_L I_L \quad (\text{II.9})$$

A. Etude en régime continu

Le régime continu est obtenu en éliminant les dérivées des variables dynamiques, et en remplaçant ces signaux par leurs valeurs moyennes

$$I_L = I_g \quad (\text{II.10})$$

$$I_0 = (1 - \alpha) I_L \quad (\text{II.11})$$

$$V_g = (1 - \alpha) V_0 \quad (\text{II.12})$$

Comme le présente la figure (II.6), lorsque l'interrupteur du transistor (S) est sur la position(on), le courant de l'inductance du hacheur augmente linéairement et à cet instant la diode (D) est bloquée (off).

Et lorsque (S) tourne sur la position (off), l'énergie emmagasinée par l'inductance est dissipée dans le circuit (RC) bien que la diode (D) est passante. Les caractéristiques de tension et du courant de charge du convertisseur Boost dans le cas de la conduction continue sont décrites par la figure(II.6), comme suit

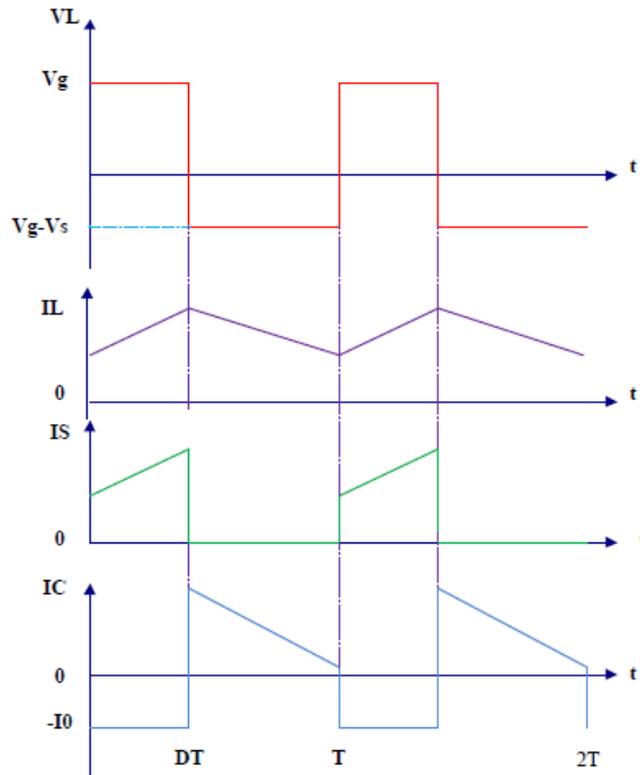


Figure II.6 : Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur

II.2.3. Convertisseur dévolteur-survolteur

La troisième topologie de base de ce convertisseur est donnée par la figure (II.7). Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, la tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée.

Tandis que, lorsque le transistor est sur la position (on) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée ; et quand le commutateur tourne sur la position (off). La tension à travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfère vers la charge via la diode.

Dans ce cas, l'équation de la tension aux bornes de la charge décrivant le fonctionnement en conduction continue est donnée comme suit:

$$V_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_i \quad (\text{II.13})$$

Le circuit électrique de base du hacheur dévolteur-survolteur, et les caractéristiques du courant et de la tension de charge sont données par la figure (II.7).

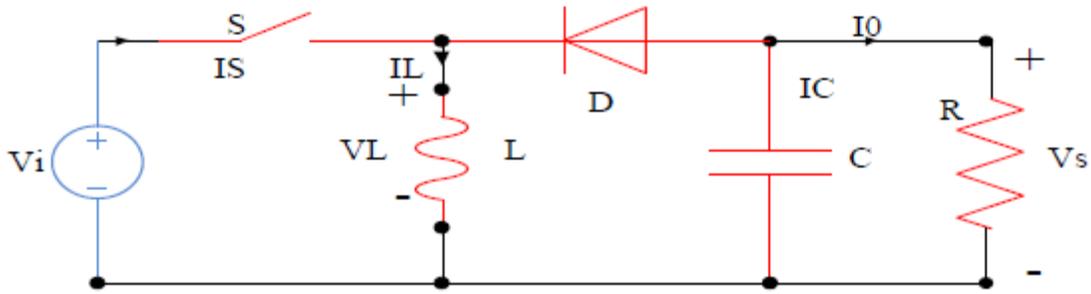


Figure II.7 : Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur

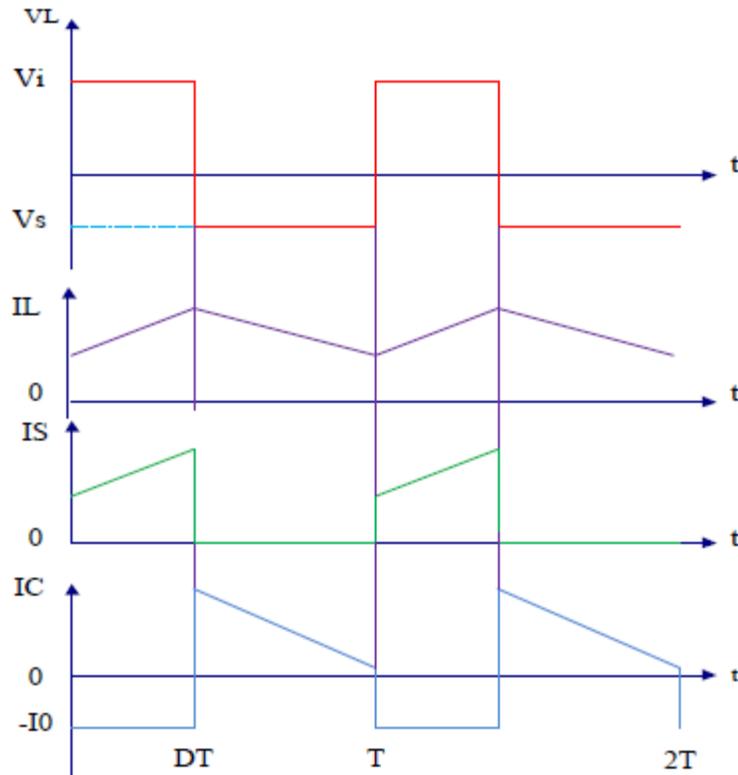


Figure II.8 : Caractéristique de la tension et du courant du Buck-Boost.

II.3. DIMENSIONNEMENT D'UN HACHEUR BOOST [22][23]

Lorsque l'on désire augmenter la tension d'une source continue, on peut utiliser le hacheur parallèle de type BOOST, appelé également **hacheur survolteur**.

Ce dispositif de l'électronique de puissance est un convertisseur continu-continu mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé. Le découpage se fait à une fréquence très élevée ce qui a pour conséquence de créer une tension moyenne.

Afin de bien nous rendre compte des résultats et pour une raison démonstrative, les études seront réalisées avec une carte de puissance utilisant un hacheur survolteur. Il est donc nécessaire pour concevoir cette carte de puissance de la dimensionner.

Le dimensionnement d'un convertisseur statique consiste à déterminer la nature des interrupteurs utilisés et les valeurs des autres composants employés.

L'objectif principal est de déterminer les relations reliant les grandeurs électriques d'entrée et de sortie du convertisseur ainsi que les formules permettant de dimensionner les différents composants.

II.3.1. Conduction continue

- **Séquence 1** : Phase active $0 < t < \alpha T$

A l'instant $t = 0$

On ferme l'interrupteur T_r pendant une durée αT La tension aux bornes de la diode D est égale à $V_D = V_{T_r} - V_s$ Comme l'interrupteur T_r est fermé, on a $V_{T_r} = 0$ ce qui implique $V_d = -V_s$ La diode est donc bloquée puisque $V_s > 0$ Dans ces conditions, on obtient alors le schéma équivalent de la figure ci-dessous.

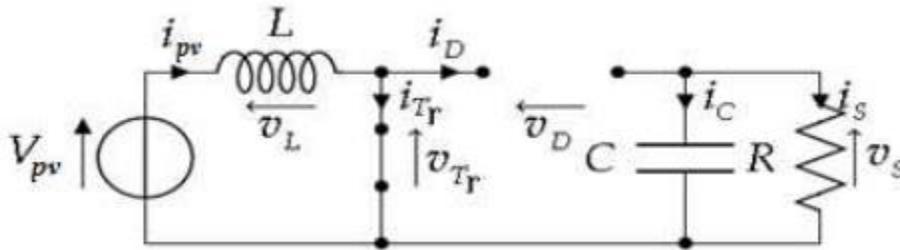


Figure II.8 schéma équivalent du hacheur boost durant la phase active

La tension aux bornes de l'inductance est alors :

$$V_L = V_{pv} = L \frac{di}{dt} > 0 \quad (\text{II.14})$$

En résolvant cette équation différentielle, on obtient l'expression suivante qui exprime l'évolution du courant traversant l'inductance :

$$i_L = \frac{V_{pv}}{L} t + I_{L_{min}} \quad (\text{II.15})$$

- **Séquence 2** : Phase de roue libre $\alpha T < t < T$

À l'instant $t = \alpha T$ on ouvre l'interrupteur T_r pendant une durée $(1 - \alpha)T$ Pour assurer la continuité du courant, la diode D entre en conduction. On obtient alors le schéma équivalent de la figure ci-dessous :

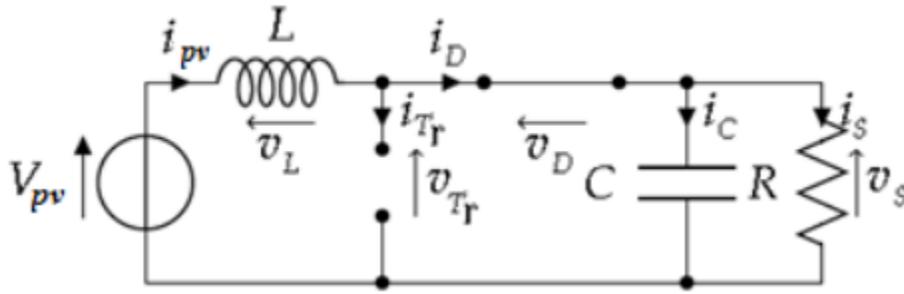


Figure II.8 schéma équivalent du hacheur boost durant la phase de rue libre

La tension aux bornes de l'inductance est alors:

$$V_L = V_{pv} - V_s = L \frac{di_L}{dt} < 0 \quad (II.16)$$

En résolvant cette équation différentielle, on obtient la formule suivante qui exprime l'évolution du courant traversant l'inductance :

$$i_L = \frac{V_{pv} - V_s}{T} (t - \alpha T) + I_{L_{max}} \quad (II.17)$$

• Expression de V_s et I_s

Par définition :

$$V_{L_{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L \cdot dt = \frac{1}{T} (\int_0^{\alpha T} V_{pv} \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (V_{pv} - V_s) dt) \quad (II.18)$$

Comme la tension moyenne aux bornes d'une inductance en régime permanent est nulle, on peut écrire :

$$V_{L_{moy}} = \alpha V_{pv} + (V_{pv} - V_s)(1 - \alpha) = 0 \quad (II.19)$$

Et finalement, on obtient la relation suivante :

$$V_s = V_{s_{moy}}(t) = \frac{V_{pv}}{(1 - \alpha)} \quad (II.20)$$

Le rapport cyclique α est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie V_s est nécessairement Supérieure à la tension d'entrée V_{bat} (montage survolteur).

Si on suppose que le courant d'entrée est parfaitement continu, on peut écrire : $I_s = I_{s_{moy}}(t) = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{pv} \cdot dt$

$$(II.21)$$

Ce qui conduit à

$$I_s = I_{pv}(1 - \alpha) \quad (II.22)$$

Cette expression montre bien que le hacheur Boost est un abaisseur de courant. Au regard de ces différentes expressions, on peut remarquer que le rapport cyclique. Permet de régler la tension moyenne de sortie (respectivement le courant moyen de sortie) pour une tension moyenne d'entrée donnée (respectivement un courant moyen d'entrée). Il est donc possible de régler le transfert moyen de puissance entre l'entrée et la sortie de la structure à partir du rapport cyclique α

Le transfert moyen de puissance est :

$$P = P_{\text{moy}} = (1 - \alpha)V_s \cdot I_{Pv} \quad (\text{II.23})$$

II.3.1.1. Expression de ΔI_L

L'ondulation absolue du courant i_L est défini par :

$$\Delta I_L = I_{L\text{max}} - I_{L\text{min}} \quad (\text{II.24})$$

A partir des relations précédentes, à $t = \alpha T$, on peut écrire

$$I_{L\text{max}} = \frac{V_{Pv}}{L} \alpha T + I_{L\text{min}} \quad (\text{II.25})$$

on en déduit l'expression de ΔI_L suivant :

$$\Delta I_L = \frac{\alpha V_{Pv}}{L \cdot f} \quad (\text{II.26})$$

Cette expression nous montre que l'ondulation en courant diminue lorsque la fréquence de commutation f ou la valeur de l'inductance L augmente. Comme

$$V_{Pv} = V_s (1 - \alpha) \quad (\text{II.27})$$

on peut écrire

$$\Delta I_L = \frac{\alpha(1 - \alpha) \cdot V_s}{L \cdot f} \quad (\text{II.28})$$

En résolvant $\frac{dI_L}{d\alpha} = 0$ on trouve que l'ondulation en courant ΔI_L est maximale pour $\alpha = \frac{1}{2}$

Le dimensionnement de l'inductance L , à partir d'une ondulation en courant donnée, s'effectue à l'aide de l'inéquation suivante :

$$L \geq \frac{V_s}{4\Delta I_L \cdot f} \quad (\text{II.29})$$

II.3.1.2. Ondulation de tension ΔV_s

Pour déterminer l'expression de l'ondulation en tension ΔV_s on fait l'hypothèse que le courant I_s est parfaitement constant. On a la relation suivante :

$$i_c = C \frac{dV_s}{dt} \quad (\text{II.30})$$

- Pour $0 \leq t \leq \alpha T$

on a $i_c = -I_s$ La résolution de cette équation différentielle nous donne :

$$V_s(\alpha T) = V_{s_{\min}} = -\frac{I_s}{C} \alpha T + V_{s_{\max}} \quad (\text{II.31})$$

Et par suite on a:

$$\Delta V_s = V_{s_{\max}} - V_{s_{\min}} = \frac{I_s}{C} \alpha T \quad (\text{II.32})$$

Finalement :

$$\Delta V_s = \frac{\alpha V_s}{R \cdot C \cdot f} \quad (\text{II.33})$$

Cette expression nous montre que l'ondulation en tension diminue lorsque la fréquence de commutation f ou la valeur du condensateur C augmente.

Le dimensionnement du condensateur C , à partir d'une ondulation en tension donnée, s'effectue à l'aide l'inéquation suivante :

$$C \geq \frac{\alpha_{\max} V_s}{R \Delta V_s f} \quad (\text{II.34})$$

II.3.1.3. Formes d'ondes des principaux signaux

Les formes d'ondes des principaux signaux sont données à la figure (II.9). A partir de ces formes d'ondes, on peut exprimer les valeurs moyennes et efficaces des courants qui traversent la diode D et l'interrupteur T_r . Nous pouvons également en déduire les contraintes maximales en tension et courant sur les interrupteurs. Ces relations seront utilisées lors du dimensionnement des différents composants de la structure.

- **Courant moyen traversant la diode D :**

$$I_D = I_s \quad (\text{II.35})$$

- **Courant efficace traversant la diode D :**

$$I_{D_{\text{eff}}} = \sqrt{\left(\left(\frac{I_s}{1-\alpha} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right) \cdot (1-\alpha)} \quad (\text{II.36})$$

- Courant moyen traversant l'interrupteur

$$I_{Tr} = \frac{I_s}{1-\alpha} = I_{PV} \quad (\text{II.37})$$

- Courant efficace traversant l'interrupteur T :

$$I_{Tr_{\text{eff}}} = \sqrt{\left(\left(\frac{I_s}{1-\alpha} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right) \cdot \alpha} \quad (\text{II.38})$$

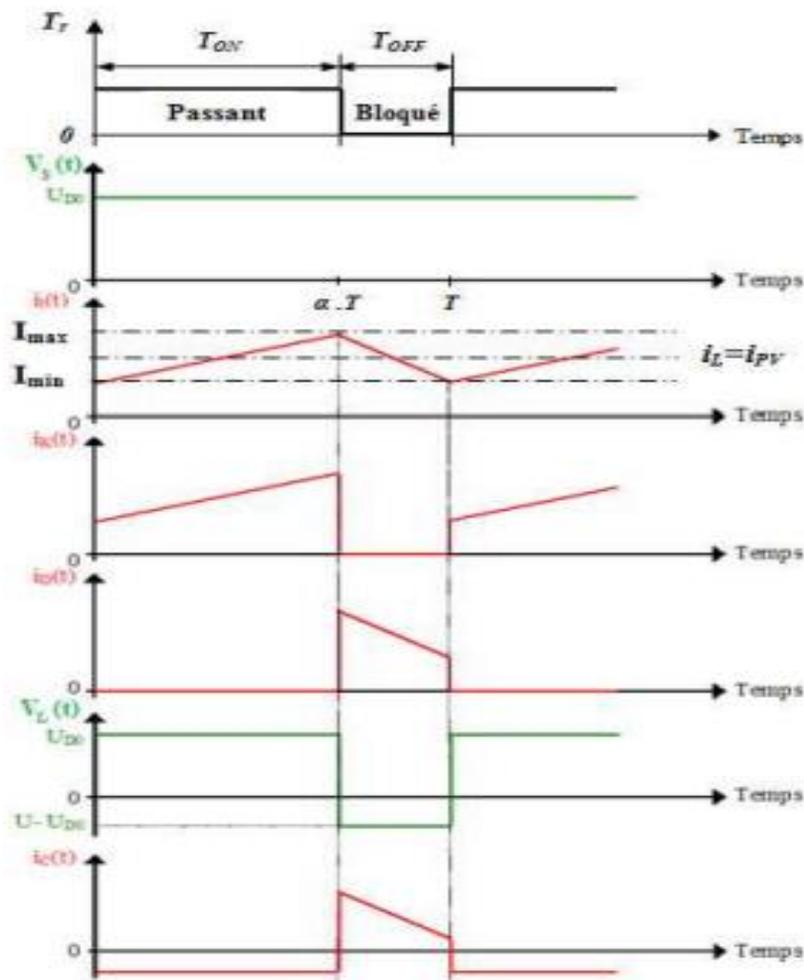


Figure II.11 : allures des tensions et courants en mode conduction continue

II.4. SCHEMA STRUCTUREL DE COMMANDE SOUS MATLAB

Pour tester et simuler hacheur Boost on a utilisé le logiciel MATLAB pour la simulation.

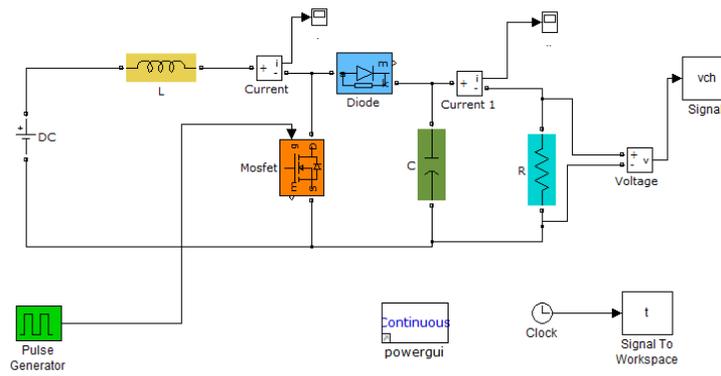


Figure II.13 : Structure de commande de l'hacheur BOOST sous MATLAB

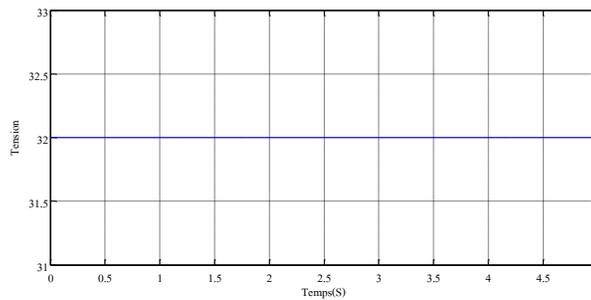


Figure II.14 : Caractéristique de la tension d'entrée

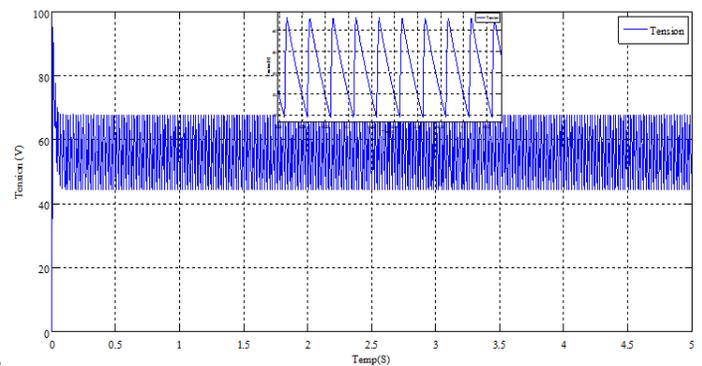


Figure II.15 : Caractéristique de la tension de sortie

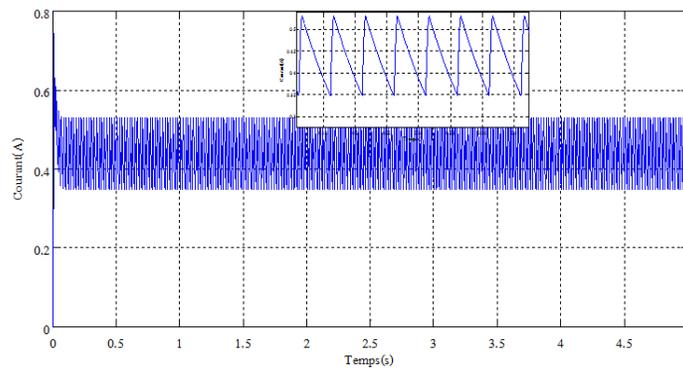


Figure II.16 : Caractéristique de courant de ligne

Ces figures montrent les différentes formes des tensions à l'entrée et à la sortie de l'hacheur Boost. En visualise que l'hacheur répond au système.

II.5. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques types des convertisseurs statiques continu-continu utilisés dans les systèmes PV. Comme le convertisseur dévolteur, le convertisseur survolteur et le convertisseur mixte (dévolteur-survolteur). Afin de bien nous rendre compte des résultats et pour une raison démonstrative, Il est donc nécessaire de concevoir le dimensionnement d'un convertisseur statique qui consiste à déterminer la nature des interrupteurs utilisées et les valeurs des autres composants employés.

CHAPITRE III

CHAPITRE III

Réalisation d'un Hacheur Boost et l'Application

CHAPITRE III

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est réservé à la présentation des aspects pratiques de notre application. Commencé par la description du banc d'essais figure (III.1), jusqu'aux résultats pratiques. Dans la première partie, on présente une description détaillée de la partie matérielle utilisée et les résultats obtenus

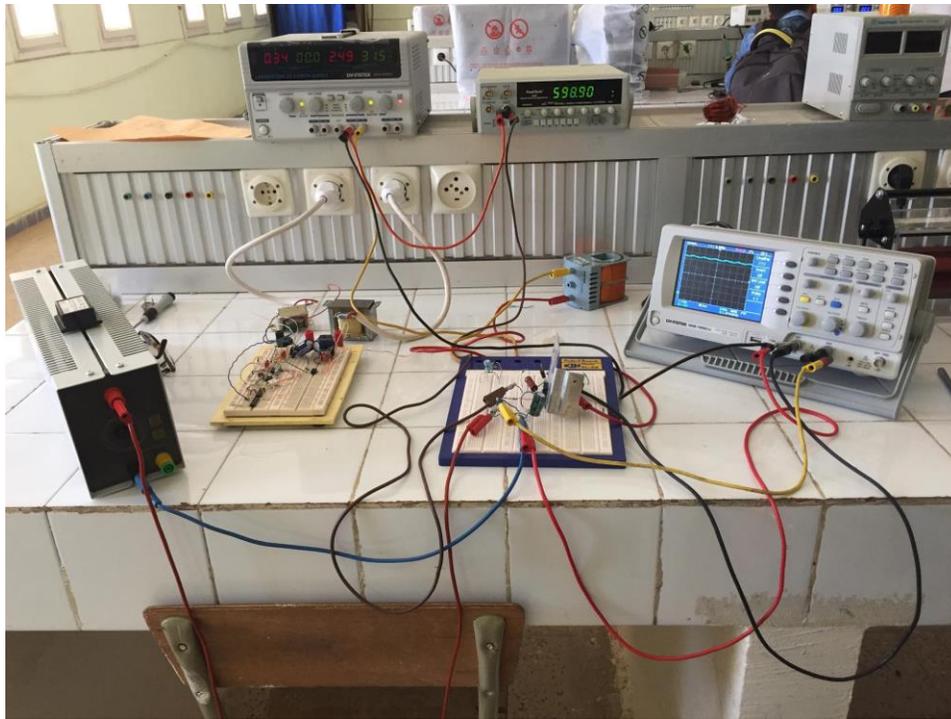


Figure III.1 : Banc d'essai expérimental global

III.2. LES ALIMENTATIONS

IV.2.1. Alimentation :

L'utilisation des circuits intégrés nécessitent une alimentation régulée et stabilisée. Elles ont besoin d'une alimentation de 5 V et d'une autre alimentation de 15V.

III.2.1.1. Alimentations 5V

Le principe de cette alimentation est très simple. Le courant alternatif de 6 à 9V recueilli au secondaire du transformateur est redressé par 4 diodes, ce pont de diodes redresse les 2 alternances en trouvant 8,4V ou plus à la sortie du pont.

Le condensateur de 2200 μ F ou plus accumule les charges électriques et ne peut plus les perdre en direction des diodes puisque celles-ci les bloquent. De ce fait la tension monte jusqu'à presque 9V. Plus la capacité du condensateur est grande, plus la réserve de courant sera importante permettant de mieux supporter les brusques de courant provenant du circuit utilisateur.

Le courant traverse ensuite le régulateur de tension LM7805. C'est un circuit intégré à 3 pattes sa caractéristique est fournir en sortie une tension de 5V. La figure (III.2) montre le circuit qu'on va utiliser pour avoir une tension de 5V stabilisée. La tension délivrée est 5V comme l'indique la figure (III.3)

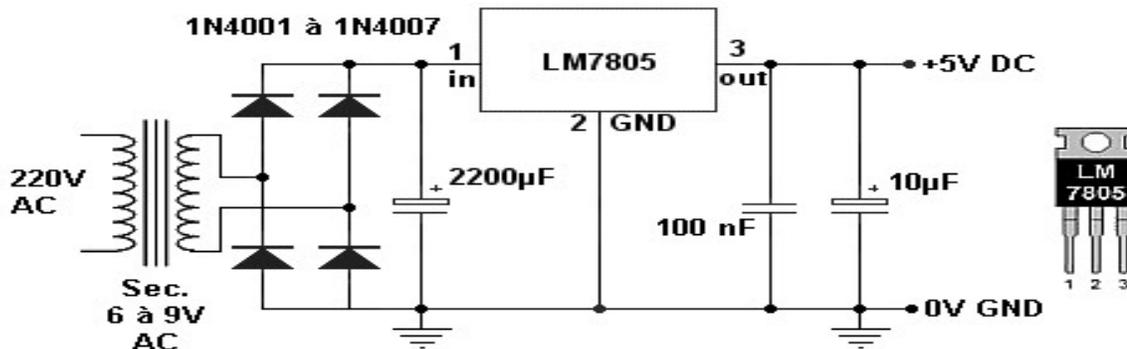


Figure III.2: Schéma électrique de l'alimentation 5V

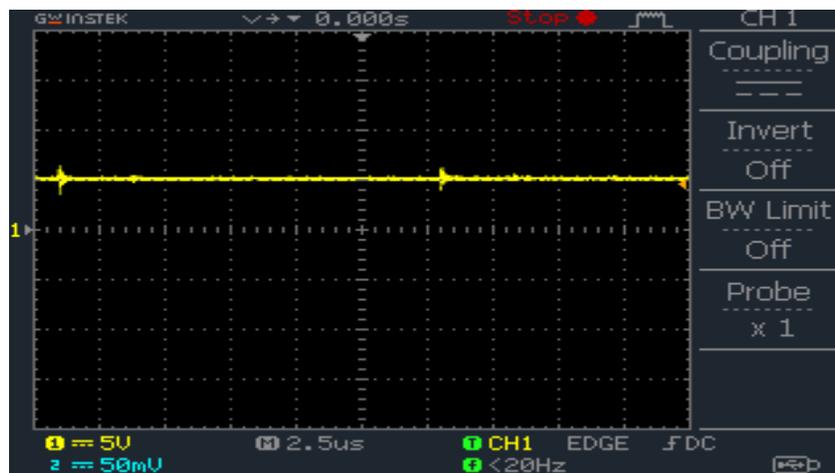


Figure III.3 : l'allure de la tension d'alimentation 5V

III.2.1.2. Alimentation de 15 V :

Alimentation +15V environ D1 redresse l'alternance positive. Le condensateur de stockage C1 permet de maintenir la tension présente lorsque la tension d'entrée alternative est faible ou négative. C'est une réserve d'énergie. La tension de sortie V_s vaut la valeur crête à laquelle on retranche la tension de seuil de la diode (0.7V). Elle n'est pas régulée et l'ondulation est à 50 Hz. En effet, C1 est rechargée à chaque alternance positive, c'est-à-dire une fois par période secteur (20ms). L'ondulation de la tension d'alimentation est basée sur l'emploi d'un régulateur de tension de type 7815 (LM7815). C2 et C3 servent à stabiliser la tension du 7815. Ils sont nécessaires. C2 assure une réponse rapide contrairement à la grosse réserve d'énergie C1.

La figure (IV.4) montre le circuit qu'on va utiliser pour avoir une tension de 15v stabilisée. La tension délivrée est 5V comme l'indique la figure (III.5)

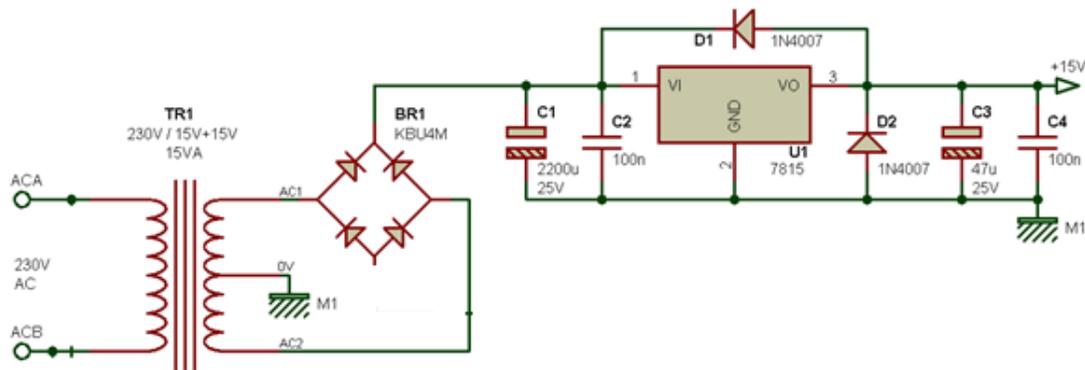


Figure III.4 : Schéma électrique de l'alimentation 15V

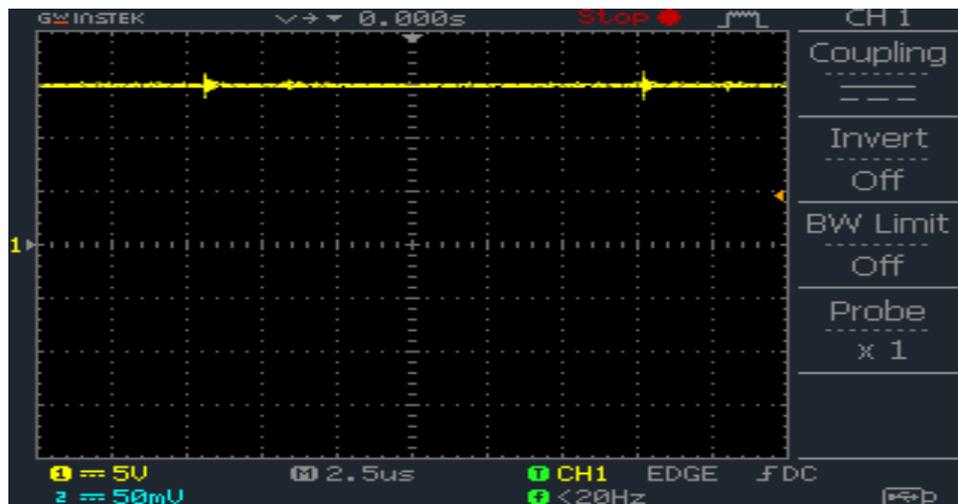


Figure III.5 : l'allure de la tension d'alimentation 5V

Après la réalisation de deux alimentations nécessaires dans mon projet, nous allons présenter le circuit de commande :

III.3. LES TECHNOLOGIES POSSIBLES POUR GENERER UN MLI(PWM) :

Pour générer le signal MLI en réalise deux montages :

III.3.1.Montage NE555 :

Le NE555 est monté en multivibrateur et délivre un signal de fréquence fixe avec un rapport cyclique variable. La fréquence de base est fixée par la valeur du potentiomètre RV1 et du condensateur C1. Avec les valeurs du schéma, la fréquence est de l'ordre de 1KHz. Le rapport cyclique est directement fonction de la position du curseur du potentiomètre RV1.

Une fois n'est pas coutume, la sortie PWM se fait sur la borne 2 du NE555. Le signale a la sortie du circuit intégré NE555 a la forme d'une dent de scie d'amplitude de 3.2V.

III.3.2.Montage Signal Continu:

Le signal continu est réalisé d'après un diviseur de tension d'une entrée 5V. Un comparateur LM324 est utilisé pour générer le signal carrée dont nous parlons sur la modulation de largeur d'impulsion (MLI), d'après une comparaison entre les deux signaux comme la montre la figure (III.6). Les allures de deux signaux et le signal MLI sont données respectivement sur la figure (III.7) et la figure (III.8).

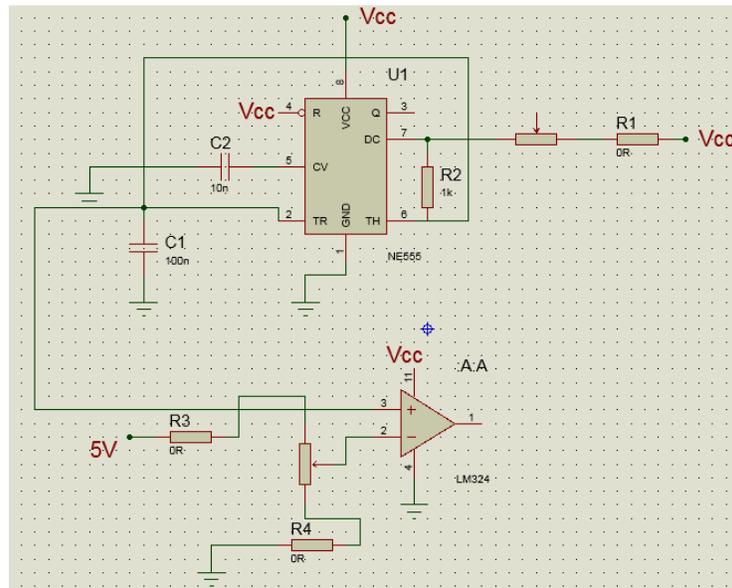


Figure III.6 : le schéma électrique de générer le signal MLI

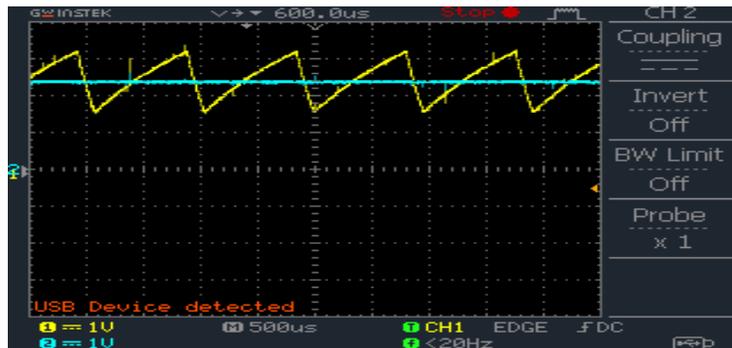


Figure III.7 : Les allures de deux signaux dent de scie et le signal continu

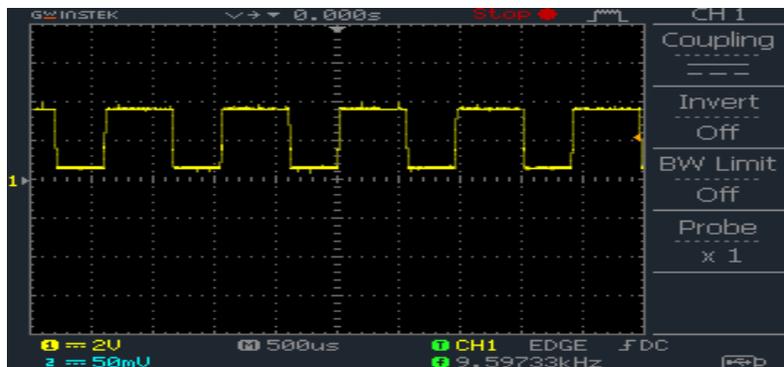


Figure III.8 : Signal MLI

En remarque que le signal de sortie n'est pas un signal carrée dans les extrémités figure (III.8). Pour cela en a opté sur un montage numérique réalisé par le circuit intégré 74LS00 pour mise en forme le signal carrée figure (III.9).

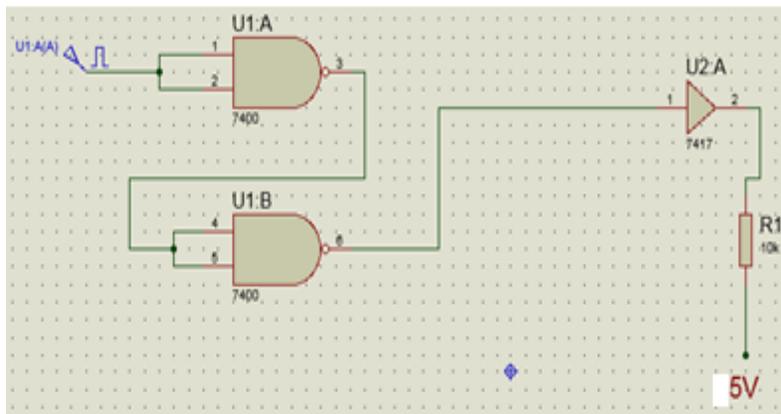


Figure III.9 : Le schéma électrique de mise en forme le signal MLI

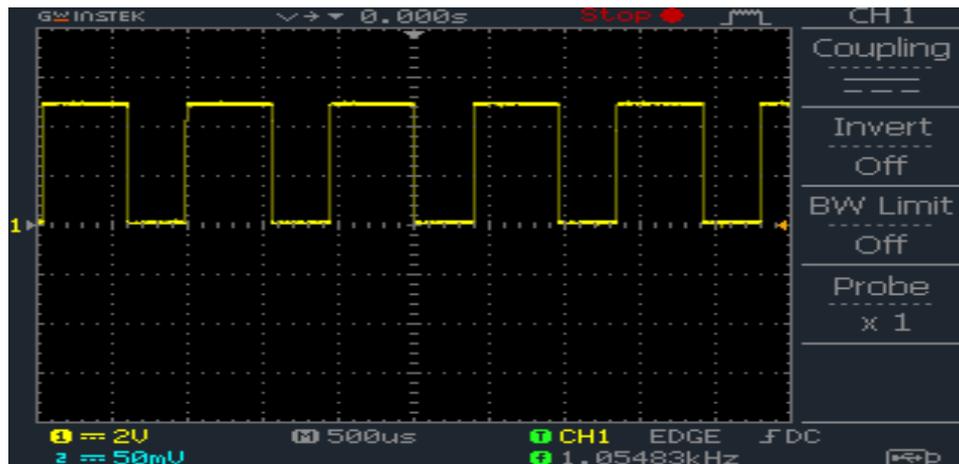


Figure III.10 : Le signal MLI

Le signal TTL est d'amplitude 5V, pour commander la gâchette de l'interrupteur il faut l'amplifier à 15V. Pour cette opération on utilise un opto coupleur qui assure l'amorçage de la gâchette et l'isolation galvanique du circuit de puissance de celui de commande.

III.4. OPTOCOUPLEUR 4N25

Un coupleur optique est un composant de l'électronique de commande permet de réaliser un isolement galvanique vis-à-vis de la charge (circuits de la puissance) ou d'une ligne de transmission de données. Il s'appelle un coupleur optique ou photo coupleur (opto isolation) est constitué d'un émetteur (DEL: diode électroluminescent), d'un récepteur.

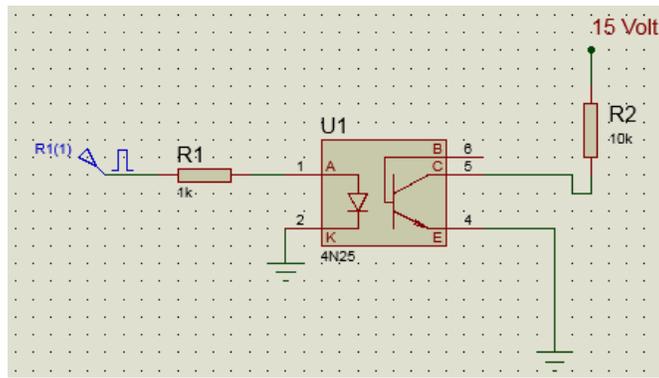


Figure III.11: Schéma électrique de l'isolation galvanique et amplification

Les signaux délivrés par les cartes électroniques à des faibles puissances incapable d'attaquer les composants de puissance. Ce bloc est utilisé dans le but d'amplifier le signal généré par le bloc de commande à 15V transmise vers la base ou la gâchette des interrupteurs électroniques en même temps pour assurer l'isolation galvanique entre le circuit de commande et celui de puissance pour la protection du circuit .

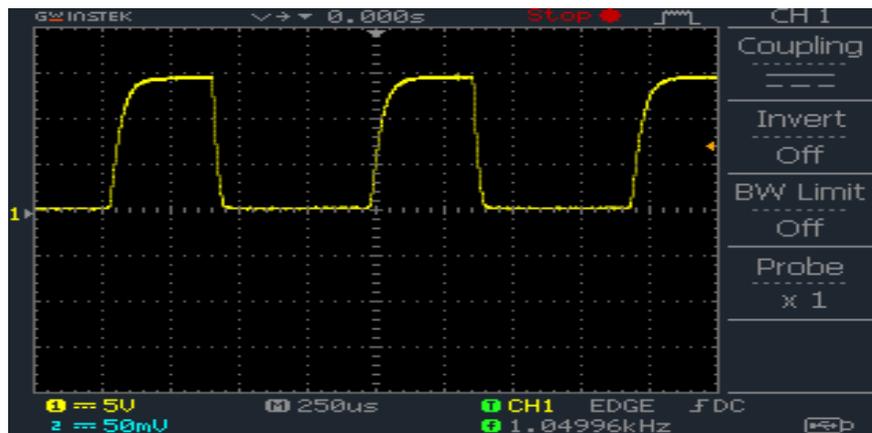


Figure III.12 : Signal d'entrée de circuit de commande à la gâchette de hacheur

III.5. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP DE PUISSANCE « MOSFET »

III.5.1. Introduction

Le transistor MOSFET (Metal-Oxyde Semi-conducteur Field Affect Transistor) est un élément transconducteur, c'est à dire un composant actif destiné à fournir une variation de courant circulant entre deux bornes Source (S) et Drain (D), à partir d'une faible variation de tension appliquée sur un électrode de commande Grille(G) figure (III.13) (a).

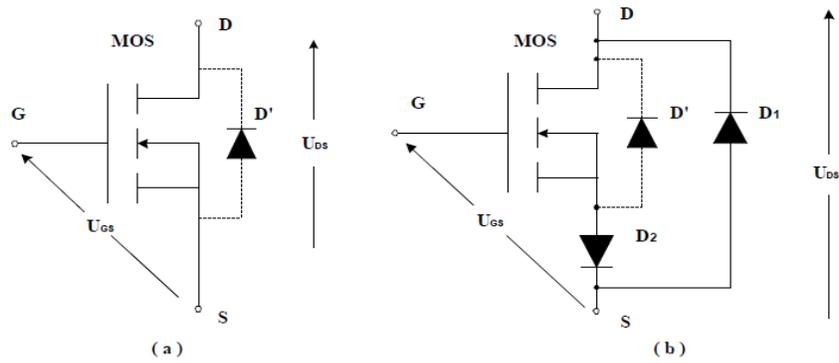


Figure III.13.

(a) schéma électrique du MOSFET ; (b) schéma de l'élimination du diode interne

Ce transistors à effet de champ possède par construction une diode « D' » en parallèle inverse mais cette dernier, elle a un temps de recouvrement lent.

Notre utilisation de ce semi-conducteur nécessite un temps de recouvrement rapide, pour cela on branche une diode rapide « D1 » en antiparallèle avec le transistor « MOS » (voir figure III.13 (b)) et pour empêche la conduction de la diode lent intégrée « D' » en branchant une diode rapide « D2 » directe en série avec le transistor « MOS ».

III.5.2. Critère de choix de l'élément Semi-conducteur

La figure (III.14) illustre la gamme des semi-conducteurs en fonction de la puissance et de la fréquence d'utilisation elle, nous aide selon la puissance de notre convertisseur, et d'autres paramètres à prendre en compte, à choisir le transistor MOSFET de puissance adéquat pour notre hacheur

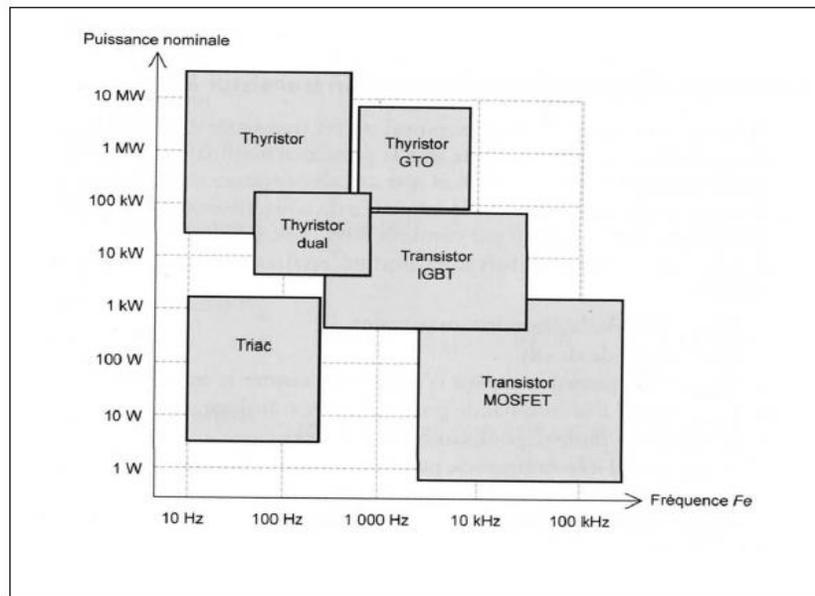


Figure III.14 : Diagramme de puissance – fréquence des semi-conducteurs

III.5.3. Commande d'un transistor MOSFET

L'application d'une tension U_{GS} nulle ou négligeable entre la grille et la source provoque le blocage du transistor MOSFET, par contre une tension U_{GS} positive permet le passage au l'état de saturation du transistor MOS voir figure (III.15).

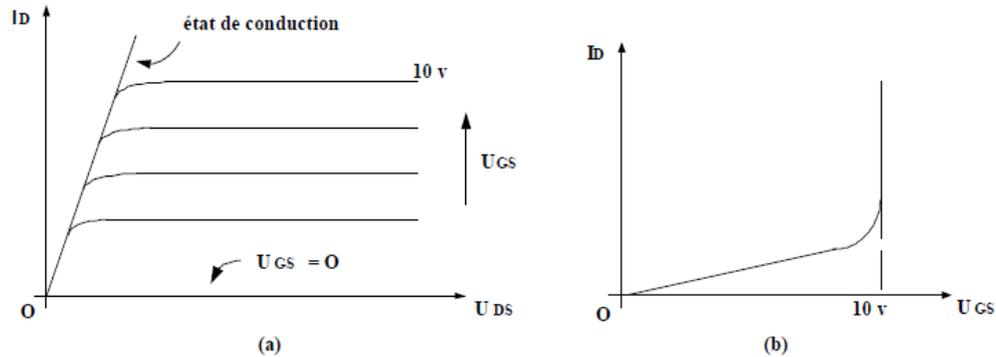


Figure III.15 : caractéristiques d'un transistor MOSFET.

(a) caractéristique de sortie ; (b) caractéristique de commande.

III.6. RADIATEUR DE DISSIPATION :

Afin de dissiper et d'évacuer la chaleur émises par les semi-conducteurs, il est souvent nécessaire de placer un radiateur de dissipation au dos de ceux-ci en y interposant de la pate thermique. Son rôle est d'augmenter la surface de contact du composant avec l'air pour faciliter l'évacuation de la chaleur.



Figure III.16 : Radiateur

III.7. DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS DU HACHEUR BOOST

Dans cette partie, nous allons voir comment choisir les éléments qui permettent de constituer et d'assurer le fonctionnement du système.

Pour dimensionner les composants d'un convertisseur, il faut connaître la puissance d'entrée et la puissance de sortie souhaitée, le courant d'entrée et le courant de sortie, ainsi que la tension d'entrée.

D'après le chapitre précédente on à déterminer théoriquement les formules de paramètres qui sont : l'inductance et la capacité.

Les spécifications imposées par notre cahier des charges pour réaliser le circuit de hacheur Boost sont les suivantes :

$$C \geq \frac{\alpha_{\max} \times P_{\max}}{f \times \Delta V_s \times V_s} = \frac{\alpha_{\max} \times P_{\max}}{f \times 5\% \times V_s^2}$$

$$L \geq \frac{V_s}{4 \times f \times \Delta I_L}$$

Avec

$$\alpha_{\max} = 1 - \frac{V_{Pv \min}}{V_s}$$

Et

$$\begin{cases} \Delta V_s \leq 5\% V_s \\ \Delta I_s \leq 0.1A \\ f = 2KHz \end{cases}$$

Les valeurs calculées et normalisées pour les deux éléments passifs du hacheur pour une tension d'entrée $V_e=32V$

- L'inductance $L=9 \text{ mH}$
- Capacité : $C=330\mu F$
- Une charge (R) : $R=128\Omega$

III.8. TESTE DU HACHEUR :

Le schéma global de la réalisation pratique est présenté sur la figure(III.17).

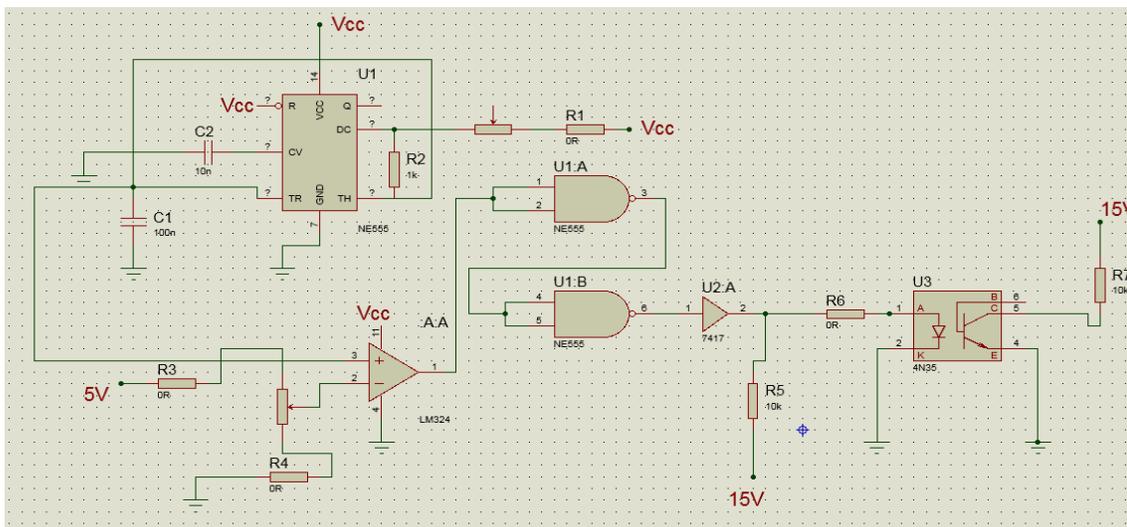


Figure III.17-a : Schéma électrique globale de banc d'essai

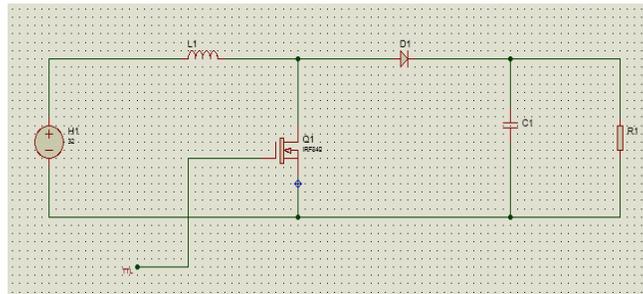


Figure III.17-b : Schéma électrique de l'hacheur Boost et la charge

On alimente le hacheur par une source continue et on l'attaque par une impulsion générée par la suite on mesure la tension de sortie avec une charge de 128Ω on a obtenu les courbes suivantes :

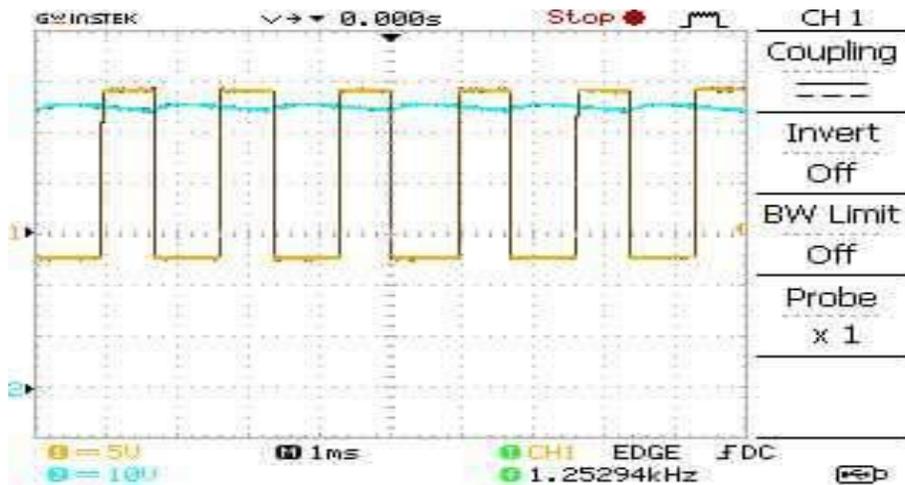


Figure III.18 : La tension de sortie (élevée) avec le signal de commande

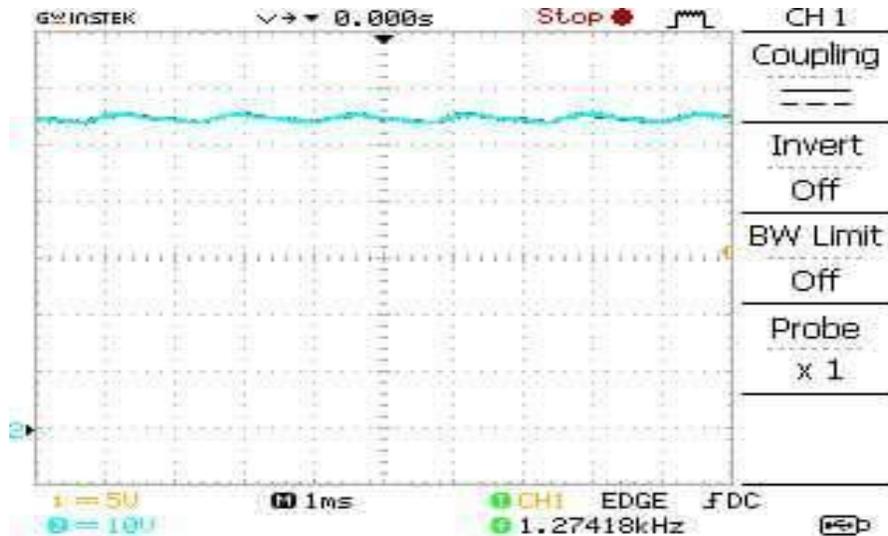


Figure III.19 : La tension de sortie (élevée)

On constate qu'en alimentant le hacheur par une tension de 32V on mesure à la sortie une tension de (55 V) alors notre hacheur est un hacheur Boost .

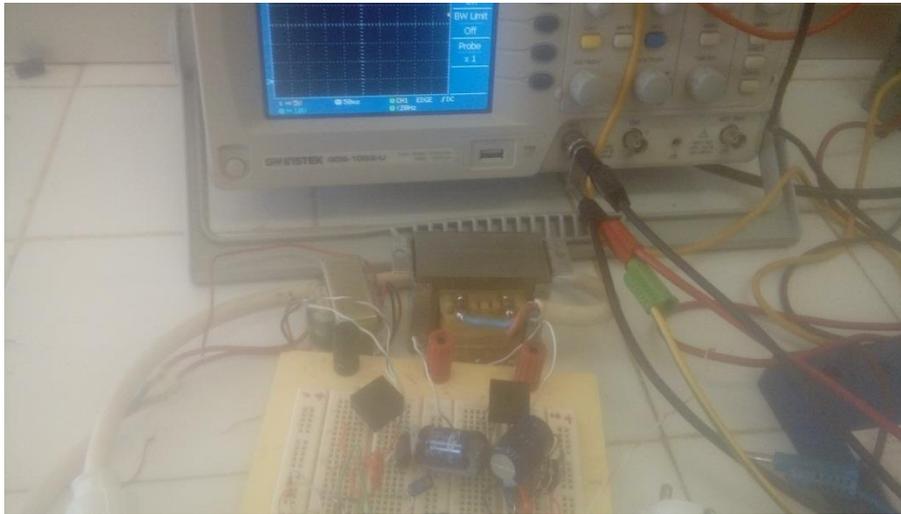


Figure III.20

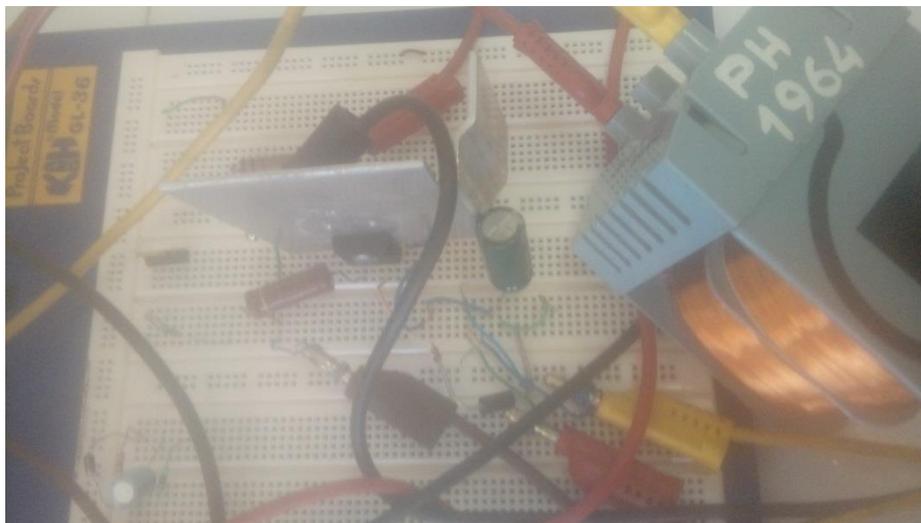


Figure III.21

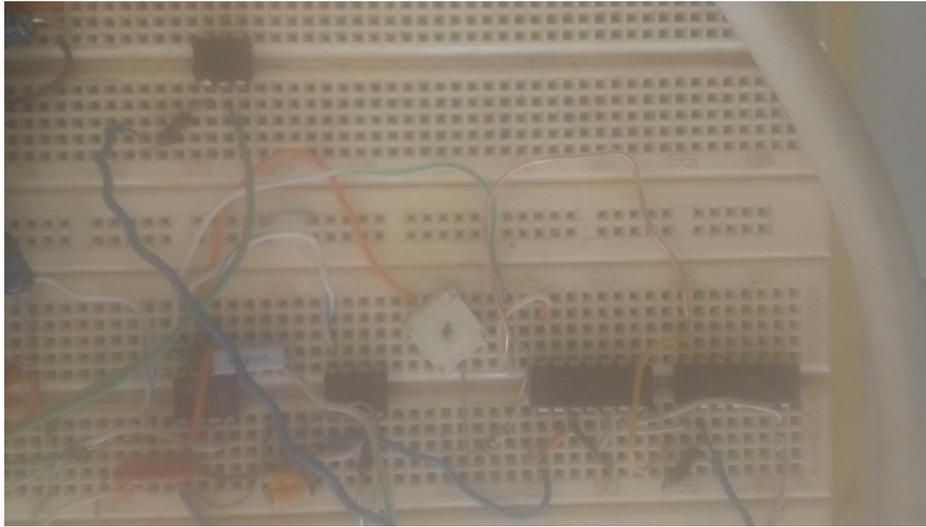


Figure III.21

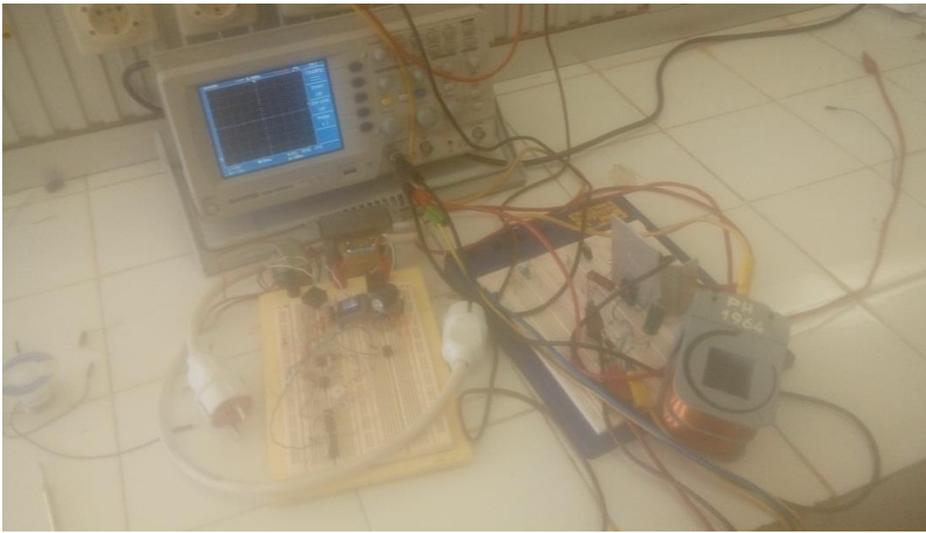


Figure III.22



Figure III.23

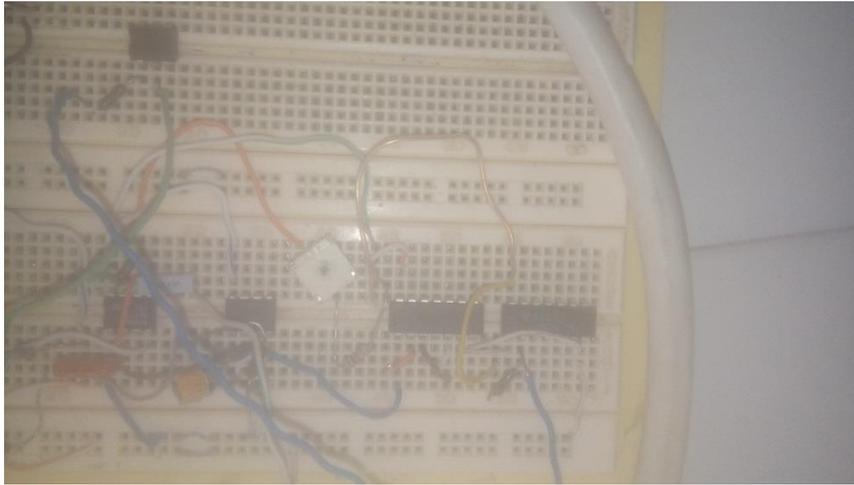


Figure III.24

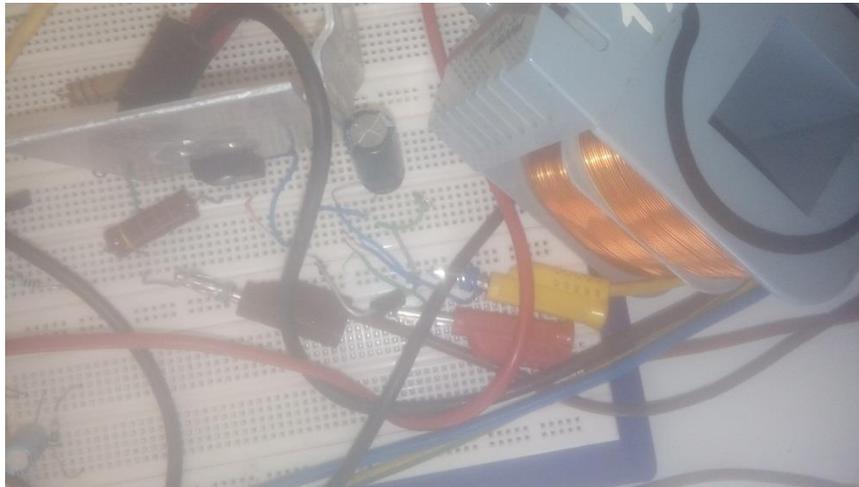


Figure III.25

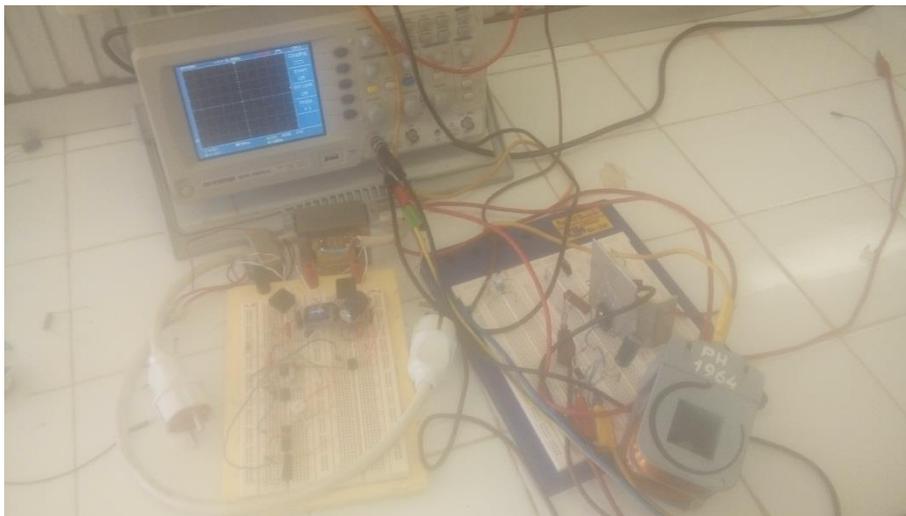


Figure III.25

III.9. CONCLUSION

Ce chapitre a été dédié à la présentation des parties expérimentales du banc d'essai ainsi que les résultats de validation expérimentale de hacheur Boost réalisé, nous ont permis de confirmer, la fiabilité de hacheur réalisé à travers des tests.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude, le dimensionnement et la réalisation d'un convertisseur DC/DC nommée hacheur Boost dans une chaîne de production photovoltaïques.

Après avoir exposé les notions fondamentales sur les photovoltaïques, le phénomène, les types des panneaux, le raccordement en parallèle et en série, nous avons étudié, dans un deuxième temps, quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme le BOOST et le BUCK.

Le convertisseur DC/DC (hacheur Boost) régule l'énergie fournie par les panneaux solaires grâce à une commande appelée MPPT qui cherche la puissance maximale (P_{max}). Cette commande est très importante pour un système qui fournit une énergie variable (U, I).

Pour réaliser une telle carte comportant des composants et des circuits dont le choix a été fait après une étude approfondie et dont l'élément principal était hacheur Boost, ce dernière a besoin de dimensionner leur paramètres de faire un bon choix sur les éléments de puissance MOSFET et la diode. Toutes ces étapes nous ont permis d'atteindre l'objectif voulu.

Durant l'élaboration de ce travail, notre expertise s'est renforcé dans :

- *Réalisation d'un Hacheur Boost*
- *Réalisation pratique de la commande de hacheur*
- *Protection de circuit de commande*

La présentation des parties expérimentales du banc d'essai ainsi les résultats de validation expérimentale de hacheur réalisé, nous ont permis de confirmer, la fiabilité de hacheur réalisé à travers des testes avec une charge résistive.

Problèmes rencontrés

Une telle réalisation n'est pas dénuée de difficultés. Il est à noter que nous nous sommes confrontés à plusieurs problèmes surtout dans la partie réalisation.

- Le temps de travail insuffisant pour le développement de la carte électrique.
- Le manque de la quantité de panneau solaire pour faire le test ce qui nous oblige a utiliser une tension continu pour validité le montage.

On espère bien que les résultats obtenus à travers cette étude qu'ils soient pratiques ou théoriques permettent d'ouvrir la porte à d'autres études.

Perspectives du projet

Comme perspectives, nous envisageons:

- Introduire panneau photovoltaïque comme une entrée principale dans la carte.
- Implémenter l'algorithme MPPT dans notre système,
- Réaliser une commande numérique d'après la carte Arduino, Dspace, FPGA, etc

Nous pouvons dire que nous avons été très intéressés par le sujet et que nous serions heureux de poursuivre les recherches sur l'électronique de puissance, commande électrique et servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

Nous regrettons cependant d'avoir parfois été bloqués à certaines étapes de la fabrication de la carte.

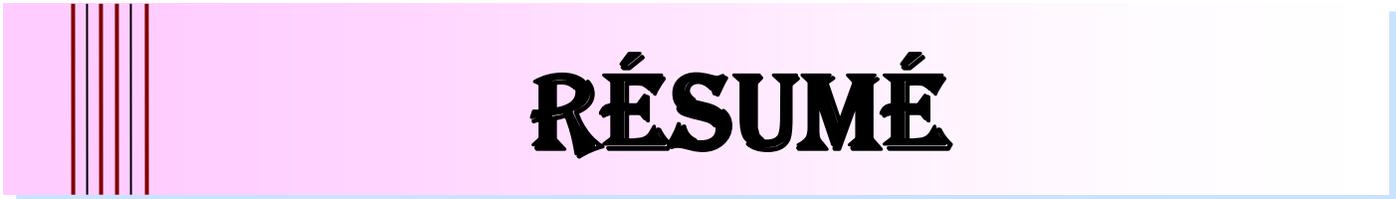
BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BARKA Nour-Eddine, 'Amélioration des Performances de Contrôle D'un Système Photovoltaïque par les Méthodes Métaheuristiques', Mémoire de Magistère, Université d'El-oued.
- [2] Cours centrales solaires Dr. TERKI AMEL 2015-2016 BISKRA
- [3] M. LOPEZ, 'Contribution a l'optimisation d'un système de conversion', Ecole Doctorale Université Paris-sud 11 thèse de doctorat.
- [4] Y. Bakelli « Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur photovoltaïque » mémoire de magister, Université de Boumerdes 2005
- [5] W. Bensaci, 'Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT', Mémoire de Master, Université de Ouargla, Algérie, 2011.
- [6] A. Lyes, 'Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque', Université Mouloud Mammeri De TiziOuzou Mémoire de Magister, 2011.
- [7] Y. PANKOW, 'Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension-Application au générateur photovoltaïque', Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Thèse de Doctorat, 2004
- [8] E. Lorenzo, '*Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic System*', Progensa, Sevilla, 1994.
- [9] V Badescu, 'Single Optimization Procedure for Silicon-Based Solar Cell Interconnection in a Series-Parallel PV Module', Energy Conversion and Management, Vol. 47, N°9-10, pp. 1146 - 1158, 2006.
- [10] W. De Soto, S.A. Klein and W.A. Beckman, 'Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance', Solar Energy, Vol. 80, N°1, pp.78 - 88, 2006.
- [11] BELKACEM Mourad, 'Etude et optimisation du transfert d'énergie électrique en conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance maximale (MPPT)'. TLEMCEN 2014 – 2015
- [12] Cédric CABAL ; 'Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque', thèse Le 15 Décembre 2008.
- [13] A. Lyes, 'Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque', Université Mouloud Mammeri De TiziOuzou Mémoire de Magister, 2011.
- [14] A.Saadi, 'Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque', Université de Biskra Mémoire de Magister, 2000.

- [15] R. Touahir et M. A. K. Ben Zahia, 'contrôleur neuronal pour la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque', Mémoire master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2015.
- [16] N. Abouchabana, 'Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT', Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [17] AIT-CHEIKH, SALAH MOHAMED, 'Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques', Ecole Nationale Polytechnique Mémoire de Magister, 2007.
- [18] (2006) www.iea.org/papers/2006/birol.pdf.
- [19] Mme.OBEIDI,'Commande des hacheurs MPPT par logique floue', Ecole Nationale Polytechnique Mémoire de Magister, 2006.
- [20] Saleh H. ElkelaniBabaa 'High Efficient Interleaved Boost Converter with Novel Switch Adaptive Control in Photovoltaic Application', Mars 2013
- [21] N. ABOUCHABANA, 'Etude d'une nouvelle topologie Buck-booste appliquée à un MPPT', mémoire de magister, école nationale supérieure Polytechnique, 2009.
- [22]- K. Sobaihi, 'Etude et Réalisation d'un Hacheur MPPT à contre réaction de tension', ENP
Algérie, Magister, Septembre 2003
- [23] datasheet pour MOSFT IRF840
- [24] datasheet pour NE555
- [25] datasheet pour optocoupleur



RÉSUMÉ



RÉSUMÉ



RÉSUMÉ

Résumé

Notre objectif, pour ce projet de fin d'étude, est de réaliser un convertisseur DC/DC type hacheur Boost pour alimenter une source photovoltaïque. Ce convertisseur doit avoir le meilleur rendement et être le plus optimisé possible (rendement, encombrement, poids, etc...). Nous avons étudié, simulé et enfin conçu la carte électronique réalisant la fonction demandée.

Mot clé : convertisseur DC/DC, hacheur boost, photovoltaïque

ملخص

هدفنا في مشروع نهاية الدراسة هذا هو إنشاء محول للمحول من نوع DC/DC لتزويد مصدر كهروضوئي بالطاقة هذا المحول يجب ان يكون لديه أفضل كفاءة و يكون أكثر و الأمثل ممكن(الكفاءة الحجم الوزن الخ)لدينا دراسة و محاكاة. و أخيرا تصميم الخريطة الالكترونية لتحقيق الوظيفة المطلوبة

الكلمات المفتاحية: محول للمحول من نوع DC/DC, كهروضوئي