

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
*Ecole Nationale Polytechnique*  
*Département d'Automatique*



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur d'Etat en Automatique

Thème :

**Etude et réalisation d'un convertisseur  
DC-DC avec contrôleur MPPT destiné au  
pompage photovoltaïque**

Réalisé par :

M. Belkacemi Mohamed Lamine

M. Sifi Redouane

Proposé et encadré par :

Dr. Boukadoum M.T (CDER)

Dr. Hemic Boualem (ENP)

Promotion : 2014

E.N.P- 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El Harrach, Alger

## ملخص:

يمتاز النظام الكهروضوئي بالخاصية  $I = f(V)$  من أجل تحسين المردود يتوجب على هذا النظام العمل دوماً في نقطة الاستطاعة القصوى مهما كانت الظروف الجوية .

نعرض في هذا العمل بعض التقنيات لاستخراج الاستطاعة القصوى من الألواح الضوئية برمجت هذه التقنيات بواسطة MATLAB/SIMULINK و قمنا بمقارنة فعالية هذه التقنيات.

بعدما اختارنا تقنية P&O برمجناها في لوحة تحكم و محول BOOST الذين قمنا بإنجازهما على مستوى مركز تنمية الطاقات المتجددة ثم قمنا بتجارب على النظام المنجز .

## الكلمات المفتاحية :

النظام الكهروضوئي، تقنيات استخراج الاستطاعة القصوى، محاكاة، P&O، BOOST.

## Résumé :

Un système photovoltaïque présente une caractéristique  $I=f(V)$ , pour un meilleur rendement celui-là est appelé à fonctionner toujours en son point de puissance maximale quel que soit les changements météorologiques.

Nous présentons dans ce travail quelques méthodes d'extraction du maximum d'énergie à partir des GPV. Les différentes méthodes sont programmées sous MATLAB /SIMULINK et une étude comparative a été faite entre ces méthodes.

Après avoir choisie une méthode qui P&O, on l'a implémenté sur la carte de commande et le hacheur survolteur qu'on a réalisés au niveau du CDER, ensuite des tests en été fait pour validé le système destiné au pompage photovoltaïques.

## Mots-clés

Système photovoltaïque, Simulation, MPPT, P&O, Hacheur survolteur.

## Abstract:

A photovoltaic system has a characteristic  $I = f(V)$ , for a better performance this one is still required to operate its point of maximum power whoever weather change.

We present in this paper some methods for extracting the maximum energy from GPV. The different methods are programmed in the MATLAB /SIMULINK environment and a comparative study was made between these methods.

Having selected a method which P&O, it was implemented on the control board and the boost chopper that is made at the CDER, then the test was done for the system is validated for the photovoltaic pumping.

## Keywords:

Photovoltaic system, Simulation, MPPT, P&O, BOOST

# Remerciements

Tout d'abord on tient à remercier Messieurs B. Hemici et M.T. Boukadoum pour l'encadrement qu'ils nous ont assuré et leurs précieux et judicieux conseils qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer tout au long de ce projet, leurs confiance témoignée, sans oublier leurs qualités humaines. Ils trouveront ici notre gratitude et reconnaissance profondes.

On remercie aussi les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de participer au jugement de ce travail.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants à l'ENP pour leurs conseils et surtout leur compréhension.

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mon défunt père qui a été le premier à m'encourager à tracer ma voix dans les études, celui qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Je le dédie aussi :  
A ma chère mère.  
A mes deux grands-mères .  
A toute ma famille (frère, sœurs, oncles, tantes,..).  
A tous mes amis de l'ENPEI et l'ENP.

Mohamed Lamine

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes parents, qui m'ont soutenu tout au long de mes études.

A ma grand-mère .

A mon grand-père .

A tous les membres de ma famille : mon frère, ma sœur, cousins et cousines.

A tous mes ami(e)s.

A mon binôme avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler.

Redouane

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>14</b>
<b>1 Généralités sur le système photovoltaïque</b>	<b>15</b>
1.1 Introduction . . . . .	16
1.2 Historique . . . . .	16
1.3 Cellule photovoltaïque . . . . .	17
1.3.1 Principe . . . . .	17
1.3.2 Fonctionnement électrique . . . . .	18
1.4 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV) . . . . .	22
1.4.1 Protections d'un GPV . . . . .	23
1.5 Connexion d'un GPV avec une charge . . . . .	25
1.5.1 Connexion directe source-charge . . . . .	25
1.5.2 Etage d'aptation entre GPV et la charge . . . . .	26
1.6 Conclusion . . . . .	27
<b>2 Convertisseurs DC-DC</b>	<b>28</b>
2.1 Introduction . . . . .	29
2.2 Convertisseur dévolteur (Buck converter) . . . . .	29
2.2.1 Modél mathématique . . . . .	29
2.2.2 Rapport de conversion et rendement . . . . .	30
2.3 Hacheur survolteur (Boost converter) . . . . .	31
2.3.1 Principe de fonctionnement . . . . .	31
2.3.2 Modèle mathématique équivalent . . . . .	32
2.3.3 Rapport de conversion et rendement . . . . .	33
2.4 Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost converter) . . . . .	34
2.4.1 Principe de fonctionnement . . . . .	34
2.4.2 Rapport de conversion et rendement . . . . .	36
2.5 Modes de conduction des convertisseurs . . . . .	36
2.5.1 Mode de conduction continu . . . . .	36
2.5.2 Mode de conduction discontinu . . . . .	38
2.6 Conclusion . . . . .	38

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>3</b>	<b>Techniques de poursuite du point de puissance maximale MPPT</b>	<b>39</b>
3.1	Introduction . . . . .	40
3.2	Techniques et méthodes de poursuite du point de puissance maximale . . . . .	40
3.2.1	Méthodes avec contre réaction de tension . . . . .	40
3.2.2	Méthodes à contre réaction de courant . . . . .	41
3.2.3	Méthodes à contre réaction de puissance . . . . .	42
3.3	Conclusion . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Modélisation et simulation du système photovoltaïque avec différents méthodes MPPT</b>	<b>46</b>
4.1	Introduction . . . . .	47
4.2	Simulation du panneau . . . . .	47
4.2.1	caractéristique $P(V)$ . . . . .	48
4.3	Hacheur BOOST . . . . .	49
4.3.1	Dimensionnement des composants . . . . .	49
4.3.2	Simulation du hacheur BOOST . . . . .	49
4.4	Etude des performances de la méthode P&O . . . . .	51
4.4.1	Environnement stable . . . . .	51
4.4.2	Changement lent et linéaire de l'ensoleillement . . . . .	52
4.4.3	Changement brusque de l'ensoleillement . . . . .	53
4.4.4	Cas d'ombrage . . . . .	54
4.5	Système de pompage . . . . .	56
4.5.1	Description globale de système de pompage . . . . .	56
4.5.2	Puissance générée en une journée . . . . .	58
4.6	Conclusion . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Conception et réalisation d'un convertisseur DC-DC avec contrôleur MPPT</b>	<b>60</b>
5.1	Introduction . . . . .	61
5.2	Réalisation d'une carte de commande MPPT . . . . .	61
5.2.1	Capteur de tension . . . . .	61
5.2.2	Capteur de courant . . . . .	62
5.2.3	PIC16F876 . . . . .	63
5.2.4	Etage d'alimentation . . . . .	64
5.2.5	Inverseur de tension . . . . .	65
5.2.6	Circuit d'isolation . . . . .	68
5.2.7	Circuit de commande du transistor . . . . .	68
5.2.8	Circuit de la carte commande . . . . .	69
5.2.9	Essais sur la carte commande . . . . .	71

## TABLE DES MATIÈRES

---

5.3	Réalisation d'une version standard du hacheur Boost . . . . .	73
5.3.1	Calcul des valeurs des différents composants . . . . .	73
5.3.2	Prototype du hacheur Boost réalisé . . . . .	75
5.3.3	Vérification expérimentale sur le hacheur . . . . .	75
5.4	Tests et essais pratiques . . . . .	76
5.5	Conclusion . . . . .	79
	<b>Conclusions et perspectives</b>	<b>80</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>82</b>
	<b>Annexe A</b>	<b>86</b>
	<b>Annexe B</b>	<b>88</b>
	<b>Annexe C</b>	<b>91</b>
	<b>Annexe D</b>	<b>102</b>

# Table des figures

1.1	Principe d'une Cellule photovoltaïque . . . . .	18
1.2	Caractéristique I(V) d'une cellule photovoltaïque . . . . .	18
1.3	Schéma équivalent électrique d'une cellule PV . . . . .	19
1.4	Modèle équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque et son symbole . . . . .	20
1.5	Caractéristique d'une Cellule PV pour différents éclairagements	21
1.6	Caractéristique d'un panneau PV pour différentes tempéra- tures . . . . .	21
1.7	Composantes d'un générateur photovoltaïque . . . . .	23
1.8	Caractéristique résultante d'un groupement en série de $n_s$ cellules identiques	23
1.9	Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de $n_p$ cellules identiques . . . . .	23
1.10	Schématization d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour. . . . .	24
1.11	Connexion directe GPV-Charge par le biais d'une diode anti- retour . . . . .	25
1.12	Points de fonctionnements résultant de l'association du géné- rateur PV sous deux niveaux d'éclairagements (E1, E2) avec une charge soit résistive R variable (R1, R2, R3, R4) ou bien d'une batterie ( $V_b$ ) . . . . .	26
1.13	Etage d'adaptation jouant le rôle d'interface de puissance entre un GPV et une charge pour le transfert de $P_{MAX}$ du GPV . . .	27
1.14	Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec CS contrôlé par une commande MPPT sur charge DC . . . . .	27
2.1	Schéma de principe d'un convertisseur Buck . . . . .	29
2.2	Schéma équivalent du hacheur série quand $t \in [0, \alpha T_s]$ . . . . .	30
2.3	le rapport de conversion $M(d)$ pour un hacheur série . . . . .	31
2.4	Schéma de principe d'un convertisseur Boost . . . . .	31
2.5	Schéma équivalent du hacheur survolteur quand $t \in [0, \alpha T_s]$ . . .	32
2.6	équivalent d'un hacheur survolteur lorsque $t \in [\alpha T_s, T_s]$ . . . . .	33

## TABLE DES FIGURES

---

2.7	Allure du rapport de conversion en fonction du rapport cyclique . . . . .	33
2.8	Convertisseur Buck-Boost . . . . .	34
2.9	Circuit équivalent d'un Buck-Boost lorsque $t \in [0, \alpha T_S]$ . . . . .	35
2.10	équivalent d'un Buck-Boost lorsque $t \in [\alpha T_S, T_S]$ . . . . .	35
2.11	Rapport de conversion en fonction du rapport cyclique. . . . .	36
2.12	Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck. . . . .	37
2.13	Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Boost. . . . .	37
2.14	Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck Boost. . . . .	38
3.1	Méthode avec contre réaction de tension . . . . .	41
3.2	Signe de $dP/dV$ à différentes positions de la courbe caractéristique de puissance . . . . .	43
3.3	Organigramme de la méthode perturbation et observation . . . . .	44
3.4	Divergence de la méthode P &O . . . . .	45
4.1	Bloc de la cellule photovoltaïque . . . . .	48
4.2	Schéma Simulink permettant d'avoir la caractéristique $P(V)$ . . . . .	48
4.3	La caractéristique $P(V)$ de panneau UDTS50 . . . . .	49
4.4	Schéma de hacheur BOOST sous Simscape . . . . .	50
4.5	La tension de sortie en fonction du rapport cyclique . . . . .	50
4.6	Schéma de commande . . . . .	51
4.7	Résultats de simulation dans un environnement stable . . . . .	52
4.8	Résultats de simulation dans le cas d'un changement lent et linéaire de l'ensoleillement . . . . .	53
4.9	Résultats de simulation dans le cas d'un changement brusque de l'ensoleillement . . . . .	54
4.10	Effet de l'ombrage sur la courbe $P(V)$ . . . . .	55
4.11	Résultats de simulation dans le cas d'ombrage . . . . .	55
4.12	Schéma globale sous simulink du système . . . . .	56
4.13	La pompe sous simulink . . . . .	57
4.14	Interconnexion des panneaux pour former le générateur . . . . .	58
4.15	Température durant une période de la journée 14/05/2014 . . . . .	58
4.16	Ensoleillement durant une période de la journée 14/05/2014 . . . . .	58
4.17	Puissance délivrée à la pompe dans la journée de 14/05/2014 . . . . .	59
5.1	Diviseur de tension . . . . .	62
5.2	le Model CLSM-25 . . . . .	62
5.3	table de connections des pins du capteur . . . . .	63
5.4	Brochage du 16F876 . . . . .	64

## TABLE DES FIGURES

---

5.5	Circuit assurant l'alimentation 18V . . . . .	65
5.6	Réalisation des alimentations de 12V et 5V . . . . .	65
5.7	Schéma électrique d'un inverseur de signe . . . . .	66
5.8	Schéma équivalent du redresseur de l'instant 0 à $t_1$ (et de $T$ à $T + t_1$ ) . . . . .	66
5.9	Schéma équivalent du redresseur de l'instant $t_1$ à $T$ (et de $t_1 + T$ à $2T$ ) . . . . .	67
5.10	Schéma de l'inverseur de tension . . . . .	68
5.11	Schéma électrique du circuit d'isolation . . . . .	68
5.12	le driver IR2113 . . . . .	69
5.13	Circuit électrique de la carte commande réalisée . . . . .	70
5.14	Prototype du carte commande réalisé . . . . .	71
5.15	sortie du circuit d'attaque pour une entrée de 30V . . . . .	72
5.16	Sortie du circuit d'attaque pour une entrée de 35V . . . . .	72
5.17	Circuit électrique du hacheur Boost . . . . .	73
5.18	prototype du hacheur réalisé . . . . .	75
5.19	Application de 30V à l'entrée du hacheur . . . . .	76
5.20	Générateur photovoltaïque installé au CDER . . . . .	77
5.21	Paramètres des modules de type UDTS50 . . . . .	77
5.22	Aperçu du système réalisé au niveau du CDER . . . . .	78
23	Circuit imprimé . . . . .	103

# Liste des tableaux

3.1	Tableau explicatif de la méthode P&O . . . . .	43
4.1	Paramètre du panneau UDTS50 . . . . .	47
5.1	Résultats expérimentaux pris le 15/06/2014 . . . . .	78

# Abréviations et symboles

$\alpha$  : Rapport cyclique.

$\beta$  : Coefficient de la température de la tension.

$C$  : Condensateur.

$G$  : Ensoleillement reçu par le module photovoltaïque.

$G_{stc}$  : Ensoleillement à la Condition de test Standard [ $1000W/m^2$ ] .

$GPV$  : Générateur photovoltaïque

$I_{0,REF}$  : Courant de saturation inverse à la température 25o C.

$I_{CC}$  : Courant de court-circuit du champ photovoltaïque [ $A$ ] .

$I_{CELL}$  : Le courant fourni par la cellule [ $A$ ].

$I_d$  : Courant maximum admissible de drain.

$I_{mpp}$  : Courant au point de puissance maximale [ $A$ ].

$I_{sat}$  : Courant de saturation inverse de la diode [ $A$ ].

$I_{ph}$  : Courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par le module PV.

$k$  : Constante de Boltzmann [ $1, 381.10^{-23}J/K$ ].

$L$  : Inductance[ $H$ ].

MPPT : Maximum Power Point Tracking.

MPP : Point de puissance maximale.

$n_p$  : Nombre cellules en parallèle.

$n_s$  : Nombre de cellules en série.

P&O : Perturb and Observe.

$P_{max}$  : Puissance maximale pouvant être délivrée par le système photovoltaïque[ $W$ ].

PV : Panneau photovoltaïque.

$q$  : Charge de l'électron [ $1, 602.10^{-19}C$ ].

---

$R_{DS(ON)}$  : Résistance ohmique entre le drain et la source du transistor [ $\Omega$ ].  
 $R_s$  : Résistance série [ $\Omega$ ].  
 $R_p$  : Résistance en parallèle [ $\Omega$ ].  
 $S$  : Surface de la cellule [ $cm^2$ ].  
 $S_i$  : Le silicium.  
STC : Conditions de Testes Standards.  
 $T$  : Température [ $^{\circ}C$ ].  
 $T_{C,STC}$  : Température à la Condition de Test Standard [ $25^{\circ}C$ ].  
 $T_s$  : Période de découpage [ $S$ ].  
 $V_{DSS}$  : Tension maximale entre le drain et la source du transistor [ $V$ ].  
 $V_{in}$  : Tension d'entrée du hacheur [ $V$ ].  
 $V_{mpp}$  : Tension au point de puissance maximale [ $V$ ].  
 $V_{oc}$  : Tension de circuit ouvert du panneau [ $V$ ].  
 $V_{out}$  : Tension de sortie du hacheur [ $V$ ].  
 $V_{pv}$  : Tension délivrée par le champ photovoltaïque [ $V$ ].  
 $V_T$  : Le potentiel thermodynamique [ $V$ ]

# Introduction générale

L'énergie photovoltaïque est une énergie dont la source est inépuisable non polluante et dont l'exploitation causerait le moins de dégâts écologiques. Elle occupe une place importante dans la recherche afin de satisfaire les besoins futurs en matière d'énergie.

Comme tous les autres processus industriels, un système photovoltaïque est appelé à fonctionner toujours avec un rendement appréciable vis à vis les changements climatiques, pour palier à ce problème plusieurs méthodes ont été mises en pratique pour déterminer le point de puissance maximal MPP.

Dans ce travail nous nous intéressons principalement à l'étude et la réalisation d'un convertisseur à base d'un contrôleur MPPT, l'algorithme choisi parmi les différents existants dans la littérature est P&O, c'est la méthode la plus répandue et elle est à base de plusieurs contrôleurs MPPT [15].

Le premier chapitre de ce mémoire parle des généralités sur le système photovoltaïque. On présente la cellule photovoltaïque et les facteurs influençant cette dernière, la constitution d'un GPV et sa connexion avec une charge. Ensuite dans le chapitre 2 on parle de l'étage d'adaptation entre le GPV et la charge qui est le convertisseur, on s'est focalisé sur les hacheurs Buck, Boost et BUCK Boost.

Le troisième chapitre est consacré à l'exposition des méthodes fortement présentes dans la littérature.

Dans le quatrième chapitre on montrera les différentes simulations de système sous l'environnement MATLAB/SIMULINK, ainsi que l'étude des performances de la technique P&O.

Pour donner à notre travail une dimension pratique on a consacré le cinquième chapitre à la réalisation de la carte de commande MPPT et les différentes étapes qui mènent à la conception du hacheur Boost ainsi que sa réalisation et la mise en marche de système de pompage installé au niveau du CDER.

# Chapitre 1

## Généralités sur le système photovoltaïque

### Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Historique</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Cellule photovoltaïque</b>	<b>17</b>
1.3.1	Principe	17
1.3.2	Fonctionnement électrique	18
<b>1.4</b>	<b>Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)</b>	<b>22</b>
1.4.1	Protections d'un GPV	23
<b>1.5</b>	<b>Connexion d'un GPV avec une charge</b>	<b>25</b>
1.5.1	Connexion directe source-charge	25
1.5.2	Étage d'adaptation entre GPV et la charge	26
<b>1.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>27</b>

---

### 1.1 Introduction

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle.

Cette énergie peut être transformée en électricité. En effet il existe deux méthodes pour pouvoir convertir l'énergie solaire en électricité, selon qu'on utilise l'énergie cinétique comme forme intermédiaire du processus de conversion :

- Systèmes de conversion thermodynamique.
- Systèmes directs, fondés sur les interactions physiques entre les photons de la radiation incidente et les électrons du matériau, l'effet photovoltaïque [1].

Nous souhaitons à travers cette première partie répondre aux questions de base qui se posent pour savoir ce qu'est l'énergie photovoltaïque et estimer ce qu'elle produit.

### 1.2 Historique

Le mot photovoltaïque vient du mot grec photos qui signifie lumière et du mot volta relatif au nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Mais c'est le savant français « Antoine Becquerel » qui le premier, en 1839 [34], mit en évidence cette conversion particulière de l'énergie : la variation de la conductivité d'un matériau sous de la lumière. C'est dans les appareils photos que les premières cellules furent utilisées, pour mesurer le taux de lumière, alors qu'avant l'arrivée du silicium, elles étaient à base de sélénium. A la différence d'une pile classique, dont l'énergie est stockée et restituée à volonté, la photopile ne produit de l'électricité que si elle est exposée à la lumière, cette différence est fondamentale, tout élément photovoltaïque est un convertisseur d'énergie qui transforme la lumière en courant électrique [4].

Bien que les bases théoriques de l'effet photovoltaïque étaient connues depuis le début du siècle, ce n'est qu'à partir de 1954, dans les laboratoires de la Bell Téléphone à New Jersey, que la première cellule ayant un rendement raisonnable a été mise au point. Depuis la deuxième moitié du siècle précédent, le processus de purification de mono-cristaux de silicium a émergé [16]. En 1956, Loferski publiait différentes tables de conversion de rendement photovoltaïque pour tous les matériaux semi-conducteurs. Puis, c'est au début des années 70 que l'on a pu obtenir en laboratoire un rendement de 20%

## 1.3. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

---

en travaillant sur des cellules de mono cristal d'arsenic de gallium (GaAs). Le rendement est sensiblement inférieur lorsque ces cellules se font à l'échelle industrielle. La commercialisation de cellules solaires photovoltaïques a commencé dès l'apparition du silicium monocristallin et elles occupent encore la première place du marché. Plus tard, apparurent les matériaux polycristallins, de fabrication plus économique, mais présentant encore de faibles rendements. Récemment se sont commercialisées des cellules de silicium amorphe, utilisées pour des dispositifs de très faible puissance : calculettes, montres, radio portable, etc...

Les recherches pour faire des produits plus efficaces et économiques continuent à bon rythme même s'il existe peu d'entreprise au niveau mondial ayant la capacité de supporter des coûts élevés de recherche.

## 1.3 Cellule photovoltaïque

### 1.3.1 Principe

La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -).

Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +) [2]. La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ  $0.6V$  pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert ( $V_{OC}$ ). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit ( $I_{CC}$ ) et dépend fortement du niveau d'éclairement. Une cellule PV a, comme nous le voyons sur la figure 1.2, une caractéristique  $I(V)$  non linéaire avec un PPM<sup>1</sup>.

La plus répandue est à base de silicium monocristallin, un certain nombre

---

1. Point de Puissance Maximale

### 1.3. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

---

d'autres matériaux et de structures font l'objet d'effort de recherche considérable visant à découvrir et à mettre au point des solutions nouvelles pour obtenir des cellules à base du sulfure de cadmium, du silicium amorphe, de l'arséniure de gallium [30].

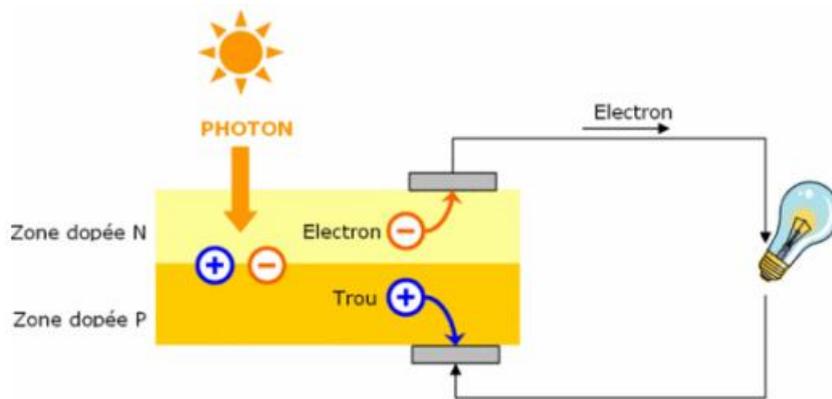


FIGURE 1.1 – Principe d'une Cellule photovoltaïque

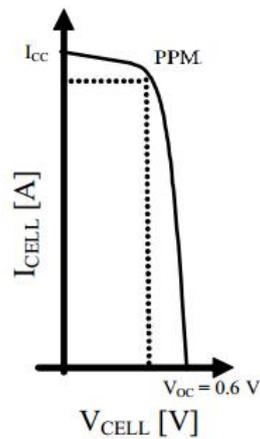


FIGURE 1.2 – Caractéristique  $I(V)$  d'une cellule photovoltaïque

#### 1.3.2 Fonctionnement électrique

Une cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Ainsi, la Figure 1.3 illustre le schéma équivalent électrique d'une cellule PV. Dans cette équation, on prend en compte les différentes résistances modélisant

### 1.3. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

---

les pertes dues à la connectique. Ainsi, en statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante [4] :

$$I_{CELL} = I_{ph} - I_{SAT} \left[ \exp \left( \frac{V_{CELL} + I_{CELL}R_S}{nV_T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{CELL} + I_{CELL}R_S}{R_P} \quad (1.1)$$

avec  $V_T = \frac{KT}{e}$

- $I_{SAT}$  : le courant de saturation .
- $V_T$  : le potentiel thermodynamique .
- $K = 1,38.10^{-23} J/K$  : la constante de Boltzmann .
- $T$  : la température effective de la cellule en Kelvin .
- $e = 1,6.10^{-19} C$  : la charge de l'électron .
- $n$  : le facteur de non idéalité de la jonction .
- $I_{CELL}$  : le courant fourni par la cellule .
- $V_{CELL}$  : la tension à ses bornes .
- $I_{ph}$  : Courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par le module PV.
- les résistances  $R_P$  et  $R_S$  permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication  $R_P$ , la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction et  $R_S$  la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions .

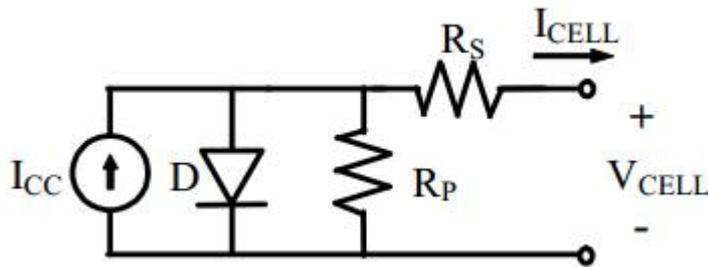


FIGURE 1.3 – Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

Les mesures réelles sur de vraies cellules dans des conditions de fonctionnement diverses montrent cependant le besoin de modèles plus sophistiqués. En particulier la résistance interne du dispositif doit être prise en compte. Ceci mène au "modèle de deux diode" largement répandu[4], représenté sur la figure 1.4

### 1.3. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

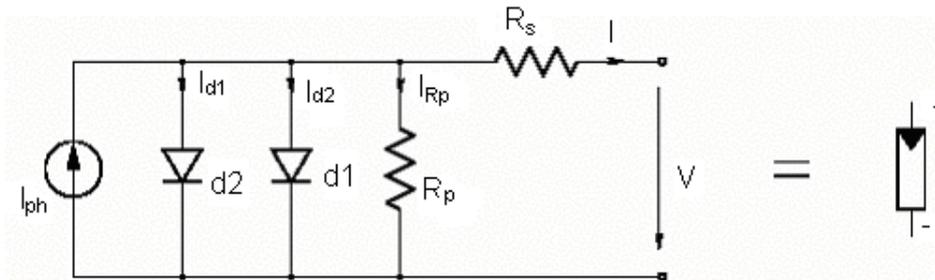


FIGURE 1.4 – Modèle équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque et son symbole

La figure 1.4 est une représentation du modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension qui est donnée par

$$I_{CELL} = I_{ph} - I_{SAT1} \left[ \exp \left( \frac{V_{CELL} + I_{CELL} R_S}{n_1 V_T} \right) - 1 \right] - I_{SAT2} \left[ \exp \left( \frac{V_{CELL} + I_{CELL} R_S}{n_2 V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{CELL} + I_{CELL} R_S}{R_P} \quad (1.2)$$

$I_{SAT1}$  et  $I_{SAT2}$  sont les courants de saturation des diodes,  $n_1$  et  $n_2$  les facteurs de pureté de la diode.

#### Influence de l'éclairement

La figure 1.5 présente des courbes pour différents niveaux de rayonnement à température constante :

### 1.3. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

---

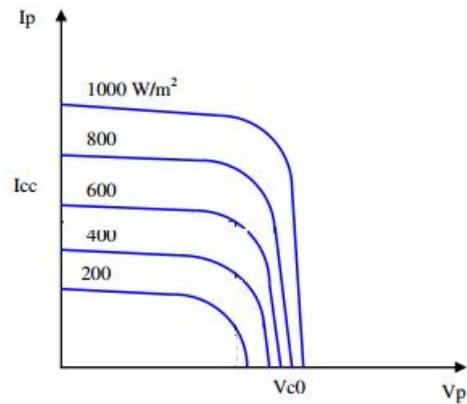


FIGURE 1.5 – Caractéristique d'une Cellule PV pour différents éclairagements

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairage.

#### Influence de la température

La figure 1.6 présente des courbes courant-tension pour différentes températures de fonctionnement de la cellule PV pour un éclairage fixé :

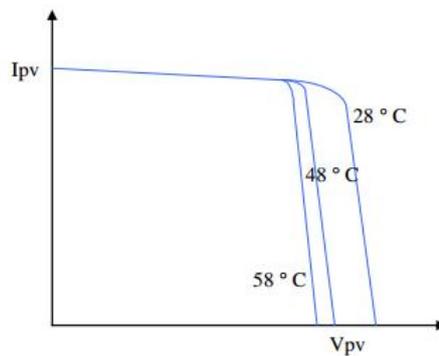


FIGURE 1.6 – Caractéristique d'un panneau PV pour différentes températures

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance

## 1.4. CONSTITUTION D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV)

---

extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement à prendre en compte .

### 1.4 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance au regard des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. En effet, une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension très faible, par principe, puisqu'il s'agit d'une tension de jonction. Les générateurs photovoltaïques sont, par conséquent, réalisés par association en série et en parallèle de modules (ensemble de cellules élémentaires). La puissance totale du générateur est égale à la somme des puissances des modules constituant ce dernier [27].

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un GPV. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur ( Figure 1.8 ). D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera ( Figure 1.9 ) [32]. La plupart des panneaux PV commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectés en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules PV 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 GPV en cas de défaut partiel.

Nous pouvons remarquer que comme pour une cellule, la caractéristique électrique  $I(V)$  d'un GPV est non linéaire et présente un point de puissance maximale (PPM). Ce point a également un courant et une tension associés appelés  $I_{opt}$  et  $V_{opt}$  respectivement. Le point de fonctionnement d'un GPV est fonction de l'impédance de la charge qu'il alimente [1].

## 1.4. CONSTITUTION D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV)

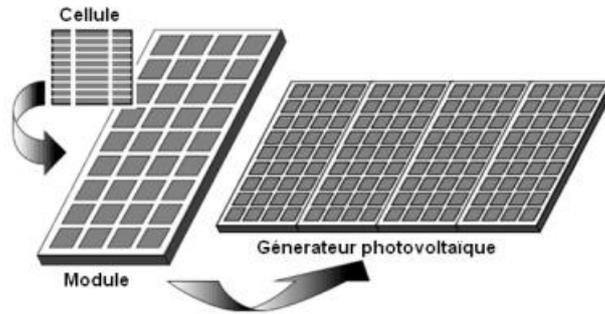


FIGURE 1.7 – Composantes d'un générateur photovoltaïque

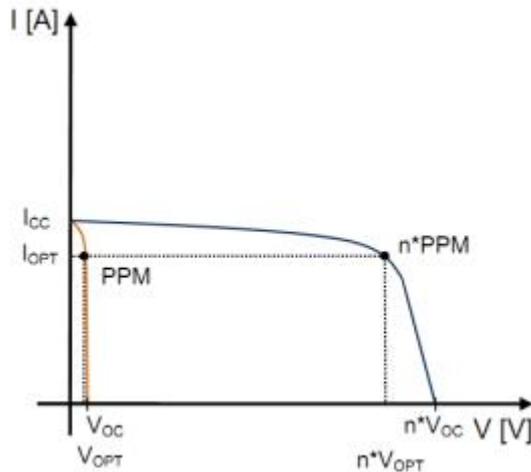


FIGURE 1.8 – Caractéristique résultante d'un groupement en série de  $n_s$  cellules identiques

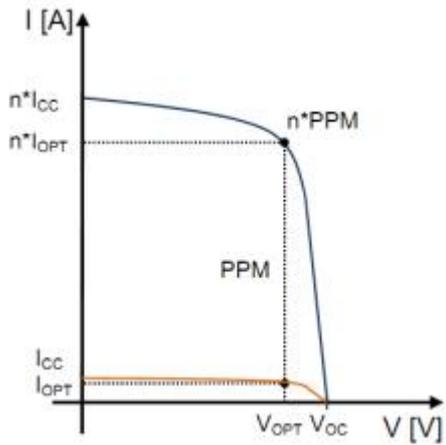


FIGURE 1.9 – Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de  $n_p$  cellules identiques

### 1.4.1 Protections d'un GPV

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

#### Protection lors de la connexion en parallèle

Dans le cas de plusieurs chaînes de cellules mises en parallèle sur une charge, le risque est que des chaînes de cellule éclairées débitent dans des

## 1.4. CONSTITUTION D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV)

chaînes ombrées ou que la charge ne se décharge à travers le générateur. On dispose pour cela de diodes anti-retour mises en série avec le GPV (de blocage) comme le montre la figure 1.10. Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode évite que la batterie ne débite sur le module PV pendant la nuit [27].

### Protection du GPV constituée de la mise en série des cellules

Compte tenu de la tension faible que fournit une seule cellule, leur mise en série est nécessaire afin d'obtenir une tension et une puissance exploitables. Il est donc important de voir les conséquences d'une telle mise en série. Le terme de « *String* » est souvent utilisé par les anglophones pour nommer la mise en série de cellules et parfois pour la mise en série de panneaux solaires. Cette disposition qui impose un courant identique d'après la loi de *Kirchoff* dans toutes les cellules voit la tension globale multipliée par le nombre de cellules [36]. Ainsi, quand un GPV ou une partie de ce GPV (une ou plusieurs cellule) est ombrée, cette partie sous-irradiée du module produit moins de courant, nous nous trouvons en présence d'un défaut et le système va se placer dans un état de fonctionnement où la partie ombrée va devoir faire passer davantage de courant qu'elle ne peut normalement en fournir, dissipant alors la puissance ne pouvant pas être extraite. Cette dissipation a comme effet immédiat un échauffement de la zone sous-irradiée. Cet échauffement local peut donner lieu à des « points chauds » (hot spot en anglais) qui peuvent endommager la zone affectée et dégrader définitivement les performances du module PV entier. Pour éviter ces effets indésirables, des diodes by-pass sont associées à un sous-réseau de cellules comme le montre la figure 1.10.

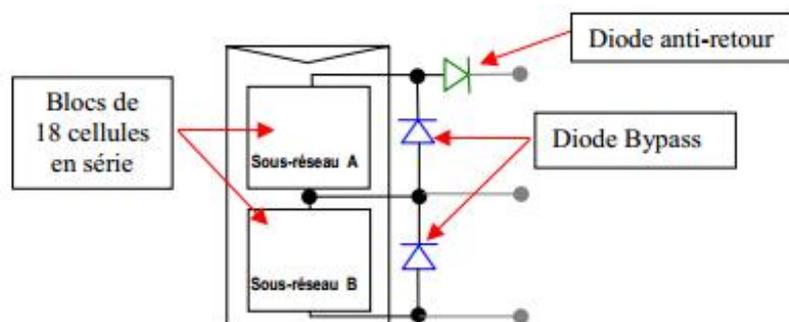


FIGURE 1.10 – Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.

## 1.5. CONNEXION D'UN GPV AVEC UNE CHARGE

---

### 1.5 Connexion d'un GPV avec une charge

La conception globale de systèmes photovoltaïques optimisés est par nature difficile. En effet, côté source, pour un générateur photovoltaïque (PV), la production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température, mais aussi du vieillissement global du système. De plus, souvent, la variation du comportement de la charge varie brutalement en fonction de la consommation des utilisateurs [27] .

#### 1.5.1 Connexion directe source-charge

Actuellement, il reste encore beaucoup d'applications où une connexion directe entre un GPV et une charge est effectuée. Ce choix est principalement lié à la simplicité de l'opération et le très haut degré de fiabilité, dû fondamentalement à l'absence d'électronique, sans parler d'un faible coût. La figure 1.11 montre ce cas de figure. Si cette charge était une batterie, lorsque le module n'est pas éclairé, celui-ci pourrait fonctionner en tant que récepteur, la batterie pourrait donc se décharger sur le générateur PV et en plus l'endommager irréversiblement, comme nous l'avons vu dans la section 1.4.1 de ce chapitre. Ainsi, pour éviter cette situation, la connexion doit être assurée à l'aide d'une diode anti-retour placée entre le GPV et la charge. Cette configuration est illustrée à la figure 1.11 . L'inconvénient de cette configuration, c'est qu'elle n'offre aucun type de limitation et/ou réglage de la tension de la batterie. Le transfert de  $P_{max}$  disponible aux bornes du GPV vers la charge n'est pas non plus garanti[14].

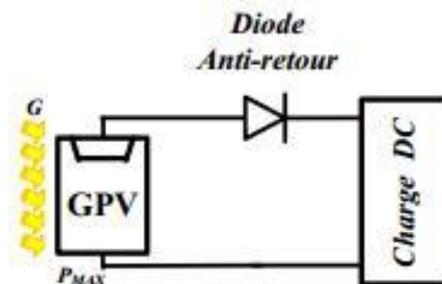


FIGURE 1.11 – Connexion directe GPV-Charge par le biais d'une diode anti-retour

En effet, le point de fonctionnement du GPV résulte de l'intersection entre

## 1.5. CONNEXION D'UN GPV AVEC UNE CHARGE

la caractéristique I-V du GPV et la caractéristique I-V de la charge.

pour la charge résistive de différentes valeurs, l'adaptation optimale ne se produit que pour un seul point de fonctionnement particulier . Ceux-ci correspondent à la puissance maximale que peut délivrer un générateur PV pour une courbe I (V ) donnée. Ainsi, lorsque l'on réalise une connexion directe source-charge, le rendement de l'ensemble est alors rarement optimal.

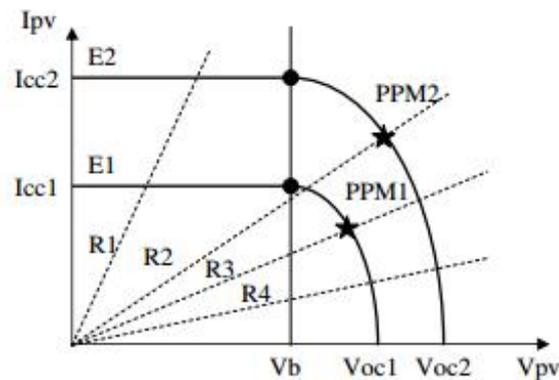


FIGURE 1.12 – Points de fonctionnements résultant de l'association du générateur PV sous deux niveaux d'éclairements ( $E_1, E_2$ ) avec une charge soit résistive  $R$  variable ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) ou bien d'une batterie ( $V_b$ )

### 1.5.2 Etage d'aptation entre GPV et la charge

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure 1.13. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de  $P_{MAX}$  disponible [5]. Pour que le GPV fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source-charge Dans le chapitre 2, nous étudions cet convertisseur

## 1.6. CONCLUSION

---

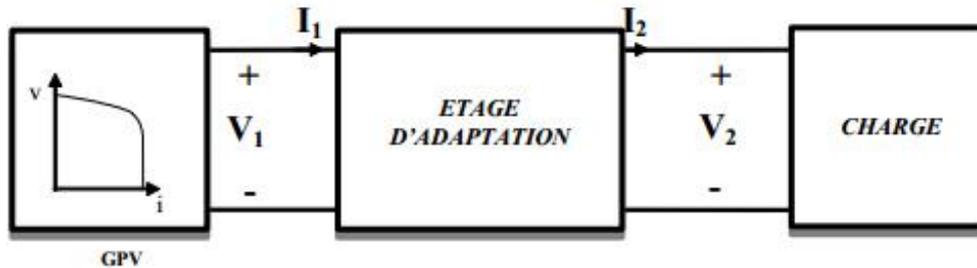


FIGURE 1.13 – Etage d’adaptation jouant le rôle d’interface de puissance entre un GPV et une charge pour le transfert de  $P_{MAX}$  du GPV

La figure 1.14 montre le schéma de principe décrivant les fonctions présentes dans un étage d’adaptation pour GPV réel. Le principe de la commande MPPT (Maximum power point tracking) consiste à délivrer une action de contrôle appropriée afin de suivre le point de puissance maximale en chaque instant [32].

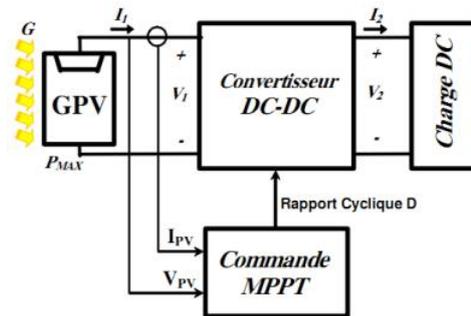


FIGURE 1.14 – Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec CS contrôlé par une commande MPPT sur charge DC

## 1.6 Conclusion

La cellule photovoltaïque est l’élément de base dans la conversion de l’énergie solaire en énergie électrique, elle présente une caractéristique courant-tension fortement non linéaire, et son rendement dépend des conditions météorologiques (éclairage, température). L’association de cellules en série et en parallèle donne lieu aux générateurs photovoltaïques, qui sont utilisés pour l’alimentation électrique

# Chapitre 2

## Convertisseurs DC-DC

### Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Convertisseur dévolteur (Buck converter)</b>	<b>29</b>
2.2.1	Modèle mathématique	29
2.2.2	Rapport de conversion et rendement	30
<b>2.3</b>	<b>Hacheur survolteur (Boost converter)</b>	<b>31</b>
2.3.1	Principe de fonctionnement	31
2.3.2	Modèle mathématique équivalent	32
2.3.3	Rapport de conversion et rendement	33
<b>2.4</b>	<b>Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost converter)</b>	<b>34</b>
2.4.1	Principe de fonctionnement	34
2.4.2	Rapport de conversion et rendement	36
<b>2.5</b>	<b>Modes de conduction des convertisseurs</b>	<b>36</b>
2.5.1	Mode de conduction continu	36
2.5.2	Mode de conduction discontinu	38
<b>2.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>38</b>

---

## 2.1. INTRODUCTION

---

### 2.1 Introduction

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu. Leur utilisation permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

### 2.2 Convertisseur dévolteur (Buck converter)

Le convertisseur dévolteur (figure 2.1) peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur Buck ou hacheur série. Ce dernier qui est un interrupteur ne peut relier que deux sources de type différent courant/tension ou l'inverse. L'utilisation du Buck dans les systèmes de conversion photovoltaïque est tout à fait adéquate, étant donné que le générateur photovoltaïque est une source de courant continu, tandis que le récepteur qui est généralement la batterie, à la nature d'une source de tension. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion  $\alpha = V_o/V_i$  change avec le rapport cyclique du commutateur [24].

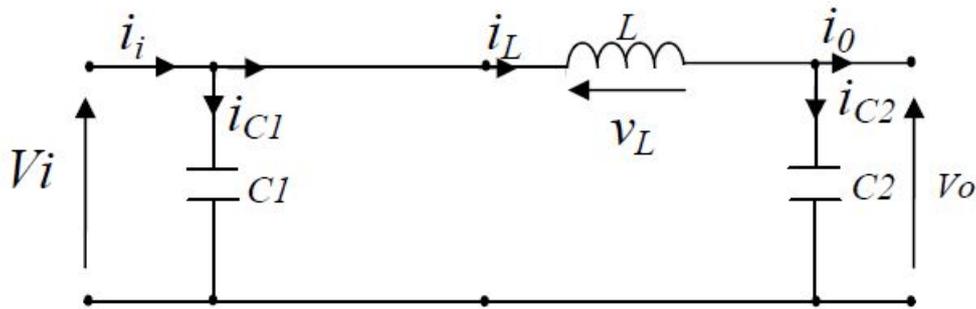


FIGURE 2.1 – Schéma de principe d'un convertisseur Buck

#### 2.2.1 Modél mathématique

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'entrées/sorties. La

## 2.2. CONVERTISSEUR DÉVOLTEUR (BUCK CONVERTER)

figure 2.2 montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé pendant  $\alpha T_s$ , tandis que la figure 2.1 représente le convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant  $(1 - \alpha)T_s$  [6]

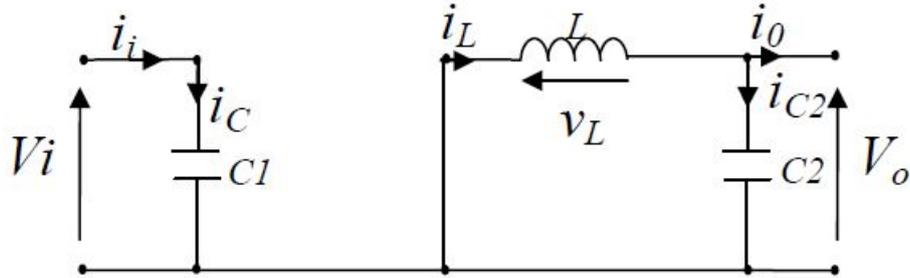


FIGURE 2.2 – Schéma équivalent du hacheur série quand  $t \in [0, \alpha T_s]$

Lorsqu'on applique la loi de Kirchhoff sur le circuit ci-dessus on aura les équations suivantes :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C2 \frac{dv_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Rapport de conversion et rendement

Le rapport de conversion  $M$  est défini comme étant le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée comme suit [31] :

$$M(\alpha) = \frac{V_o}{V_i} = \eta \alpha \quad (2.2)$$

Où  $\eta$  est le rendement du convertisseur défini comme étant le rapport entre la puissance de la sortie sur la puissance d'entrée :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o I_o}{V_i I_i} \quad (2.3)$$

## 2.3. HACHEUR SURVOLTEUR (BOOST CONVERTER)

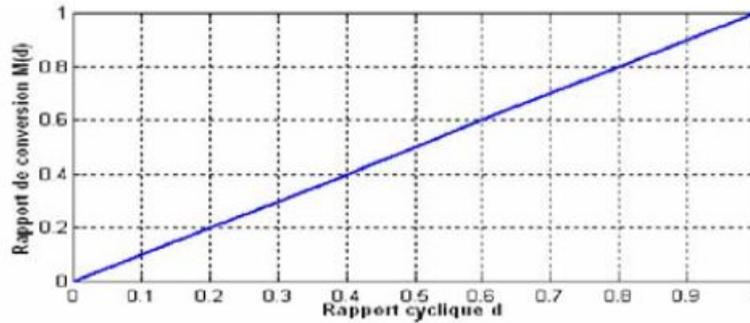


FIGURE 2.3 – le rapport de conversion  $M(d)$  pour un hacheur série

## 2.3 Hacheur survolteur (Boost converter)

Ce dernier est un convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « boost » ou hacheur parallèle; il transforme n'importe quelle tension en une autre plus élevée, son circuit de base est celui de la figure 2.4.

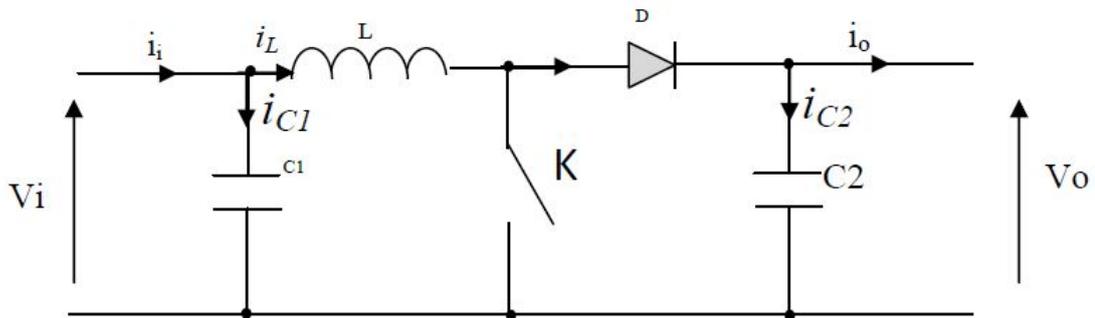


FIGURE 2.4 – Schéma de principe d'un convertisseur Boost

### 2.3.1 Principe de fonctionnement

Lorsque le commutateur  $K$  est fermé, pendant la durée  $t_{ON}$  c-à-d  $t \in [0, \alpha T_s]$ , le courant croît progressivement, ce qui laisse l'inductance stocker d'avantage d'énergie durant tout le temps de la fermeture de  $K$ . Puis le commutateur bascule en ouverture c-à-d pendant la durée  $t_{OFF}$ ,  $t \in [\alpha T_s, T_s]$ ; durant cette action de transition de la fermeture à l'ouverture, l'inductance  $L$  s'oppose à la variation du courant  $i_L$  dans son circuit. Cette variation sollicite aussi la variation du flux magnétique dans son noyau, et donc elle génère une

### 2.3. HACHEUR SURVOLTEUR (BOOST CONVERTER)

---

tension à ses bornes qui s'ajoute à la tension de source, le tout se retrouvant aux bornes du condensateur C2 [25].

#### 2.3.2 Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure I.13, présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c-à-d entre  $[0, \alpha.T_S]$

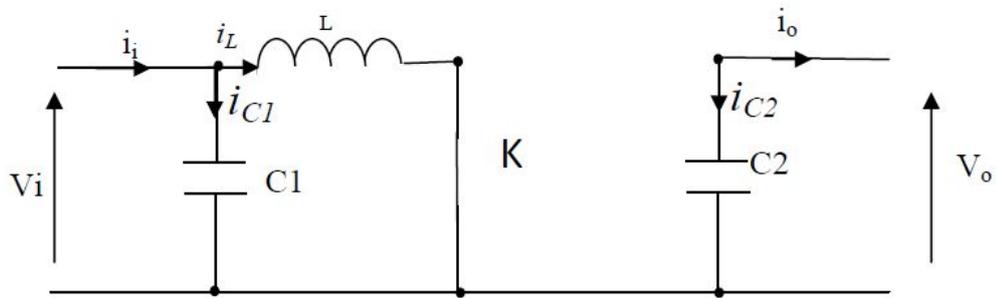


FIGURE 2.5 – Schéma équivalent du hacheur survolteur quand  $t \in [0, \alpha.T_S]$

Comme pour le circuit buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C2 \frac{dv_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_i(t) \end{cases} \quad (2.4)$$

à l'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant :

### 2.3. HACHEUR SURVOLTEUR (BOOST CONVERTER)

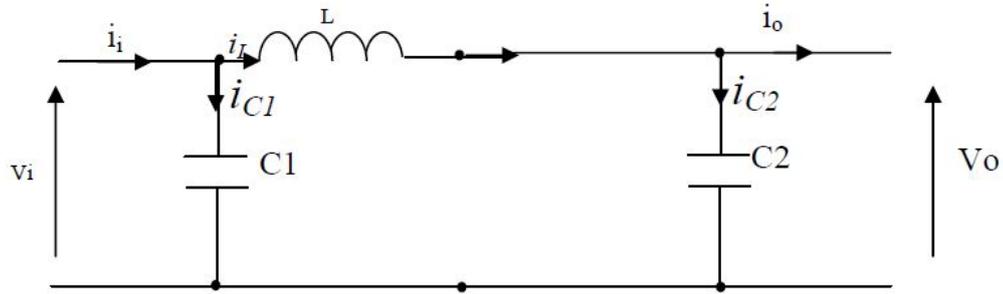


FIGURE 2.6 – équivalent d'un hacheur survolteur lorsque  $t \in [\alpha.T_S, T_S]$

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C2 \frac{dv_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad (2.5)$$

#### 2.3.3 Rapport de conversion et rendement

on peut calculer le rapport de conversion  $\frac{V_o}{V_i}$  par :

$$M(\alpha) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (2.6)$$

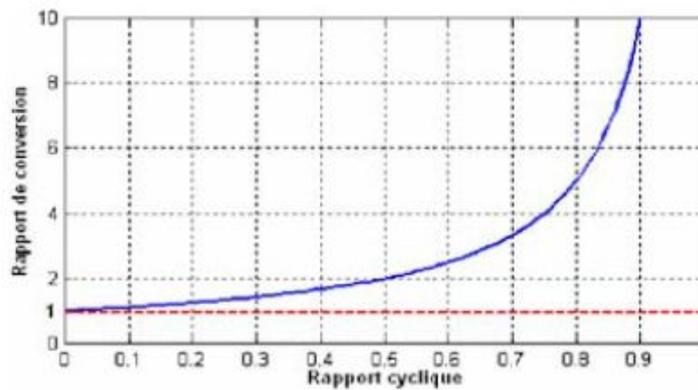


FIGURE 2.7 – Allure du rapport de conversion en fonction du rapport cyclique

## 2.4. CONVERTISSEUR DÉVOLTEUR-SURVOLTEUR (BUCK-BOOST CONVERTER)

### 2.4 Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost converter)

ce convertisseur combine les deux fonctionnalités précédentes à savoir élévateur /abaisseur, il transforme n'importe quelle tension d'entrée en une tension inférieur ou supérieur suivant les besoins, son schéma de principe est illustré dans la figure 2.8.

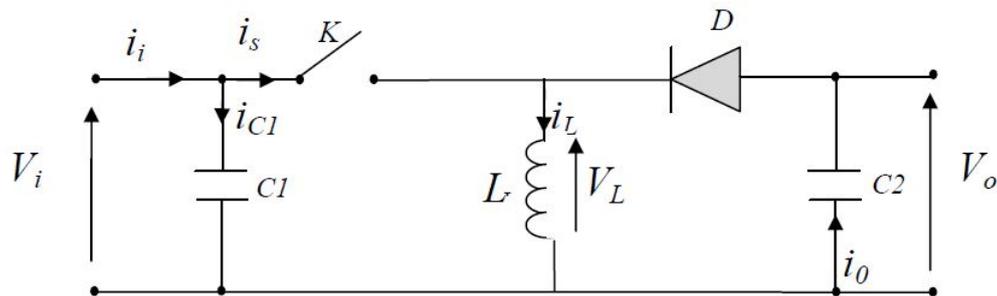


FIGURE 2.8 – Convertisseur Buck-Boost

#### 2.4.1 Principe de fonctionnement

Lorsque le commutateur K est fermé, pendant la durée  $t_{ON}$  c-à-d  $t \in [0, \alpha T_S]$ , la diode est bloquée, tandis que le courant croît linéairement à l'intérieur de la self avec une pente égale à  $a = \frac{V_i}{L}$  ce qui laisse l'inductance stocke d'avantage d'énergie durant tout le temps de la fermeture de K. Lorsque le commutateur s'ouvre c-à-d durant  $t_{OFF}$   $t \in [\alpha T_S, T_S]$  la diode conduit à travers l'inductance, dans la quelle le courant décroît aussi linéairement avec une pente égale à  $\beta = -\frac{V_o}{L}$  [31]. Lorsque l'interrupteur K est fermé le circuit équivalent est montré sur la figure 2.9

## 2.4. CONVERTISSEUR DÉVOLTEUR-SURVOLTEUR (BUCK-BOOST CONVERTER)

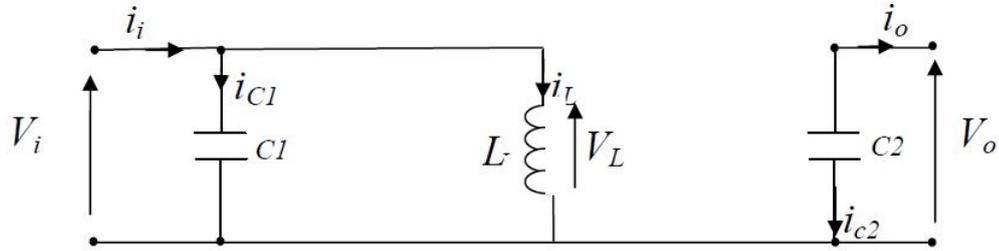


FIGURE 2.9 – Circuit équivalent d'un Buck-Boost lorsque  $t \in [0, \alpha T_S]$

En appliquant la loi de Kirchhoff à ce circuit on obtiendra les équations suivantes [24] [31] :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C2 \frac{dv_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_i(t) \end{cases} \quad (2.7)$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le circuit équivalent apparait à la figure 2.10

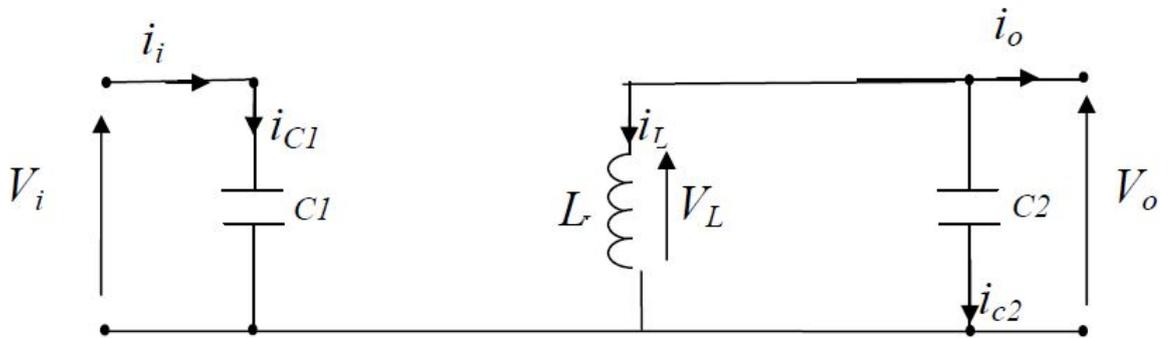


FIGURE 2.10 – équivalent d'un Buck-Boost lorsque  $t \in [\alpha T_S, T_S]$

Le modèle d'équation dans cette configuration est comme suit :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) \\ i_{C2}(t) = C2 \frac{dv_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_o(t) \end{cases} \quad (2.8)$$

## 2.5. MODES DE CONDUCTION DES CONVERTISSEURS

---

### 2.4.2 Rapport de conversion et rendement

Le rapport de conversion se calcule comme suit

$$M(\alpha) = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (2.9)$$

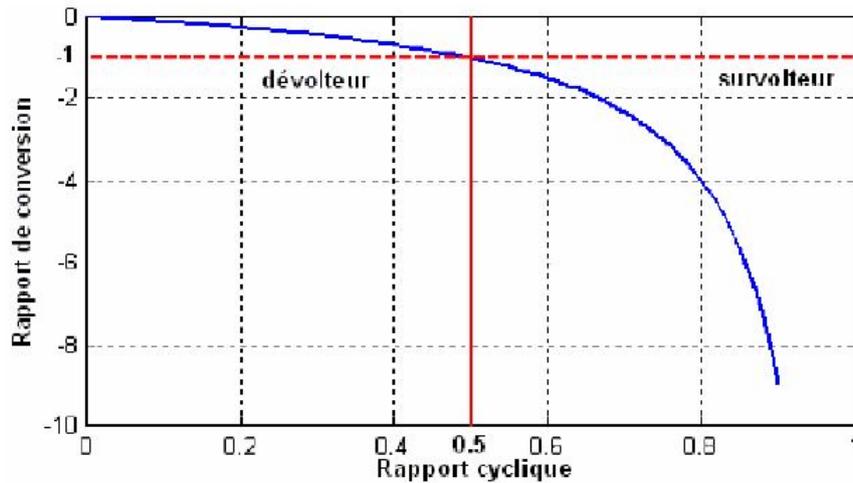


FIGURE 2.11 – Rapport de conversion en fonction du rapport cyclique.

## 2.5 Modes de conduction des convertisseurs

### 2.5.1 Mode de conduction continu

On dit que le convertisseur travaille en mode de conduction continu lorsque le courant traversant l'inductance ne s'annule jamais. On montre ci-dessous les différentes formes d'ondes pour les trois convertisseurs [23] :

## 2.5. MODES DE CONDUCTION DES CONVERTISSEURS

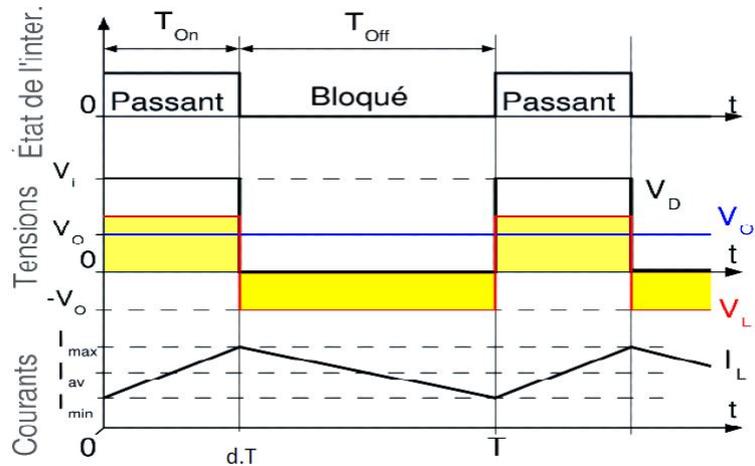


FIGURE 2.12 – Formes d’ondes courant/tension dans un convertisseur Buck.

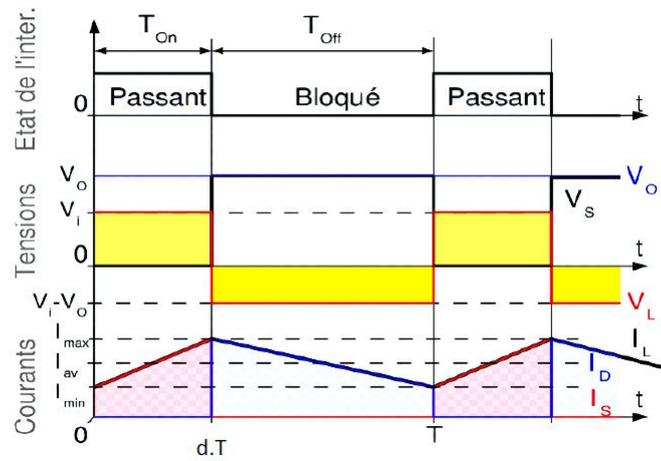


FIGURE 2.13 – Formes d’ondes courant/tension dans un convertisseur Boost.

## 2.6. CONCLUSION

---

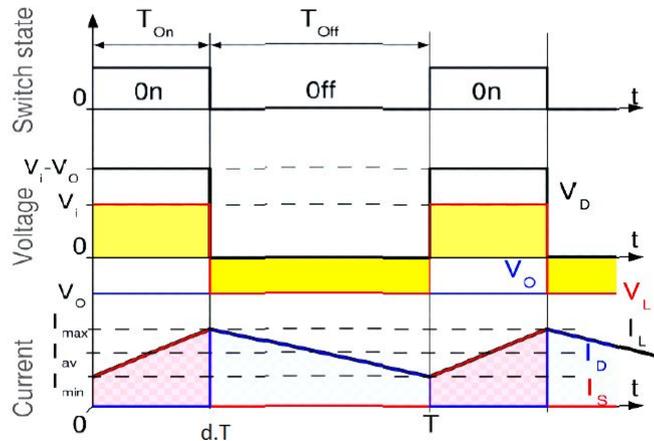


FIGURE 2.14 – Formes d’ondes courant/tension dans un convertisseur Buck Boost.

### 2.5.2 Mode de conduction discontinu

Dans certain cas la quantité d’énergie demandée par la charge est assez faible pour être transférée dans un temps plus court qu’une période de commutation. Dans ce cas le courant traversant l’inductance s’annule pendant la période de commutation, donc on parle de mode de conduction discontinu[23].

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé brièvement les principaux convertisseurs DC-DC à savoir le boost, le buck et le Buck-boost, ces derniers constituent l’étage d’adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge. le convertisseur est modélisé selon le besoin de l’application et il constitue l’élément clé du système à commander. Pour notre application on a opté pour le hacheur boost qui assure une tension supérieure à la sortie vis-à-vis la tension générée par le panneau photovoltaïque. Dans le chapitre suivant on parlera de quelques techniques de commandes qui sont dites MPPT appliquées sur les convertisseurs DC-DC.

# Chapitre 3

## Techniques de poursuite du point de puissance maximale MPPT

### Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Techniques et méthodes de poursuite du point de puissance maximale</b> . . . . .	<b>40</b>
3.2.1	Méthodes avec contre réaction de tension . . . . .	40
3.2.2	Méthodes à contre réaction de courant . . . . .	41
3.2.3	Méthodes à contre réaction de puissance . . . . .	42
<b>3.3</b>	<b>Conclusion</b> . . . . .	<b>45</b>

---

## 3.1. INTRODUCTION

---

### 3.1 Introduction

Les caractéristiques  $I=f(V)$  et  $P=f(V)$  d'un module solaire révèle que la puissance maximale générée dépend fortement de l'intensité des radiations solaires ainsi que de la température [13]. En plus le panneau photovoltaïque ne génère sa puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement, la position de ce point de fonctionnement dépend à son tour de l'ensoleillement et de la température ainsi que de la charge, pour cela il faut une adaptation adéquate et permanente de la charge avec la source d'énergie solaire. Cette adaptation se fait en général par l'introduction d'un convertisseur DC-DC contrôlé par un mécanisme dit MPPT (Maximum Power Point Tracking), ce dernier assure le maximum d'extraction de la puissance générée par le panneau photovoltaïque. Dans ce chapitre on essayera de voir quelques mécanismes du tracking pour l'extraction de la puissance maximale sous différentes conditions de fonctionnement [19]. La figure 1.14 montre le diagramme d'un système photovoltaïque, avec un contrôleur MPPT qui génère le rapport cyclique pour commander le convertisseur DC-DC à partir des mesures du courant et de la tension du panneau PV. La maximisation de la puissance se fait à la sortie du panneau pour que l'algorithme du MPPT soit indépendant de la charge [26].

### 3.2 Techniques et méthodes de poursuite du point de puissance maximale

#### 3.2.1 Méthodes avec contre réaction de tension

Son principe de fonctionnement se réduit au contrôle de la tension de fonctionnement des panneaux par la comparaison de cette même tension avec une référence, pour générer une tension d'erreur qui va commander le générateur PWM, ce dernier corrigera les erreurs entre la tension de référence et la tension de fonctionnement [22].

### 3.2. TECHNIQUES ET MÉTHODES DE POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

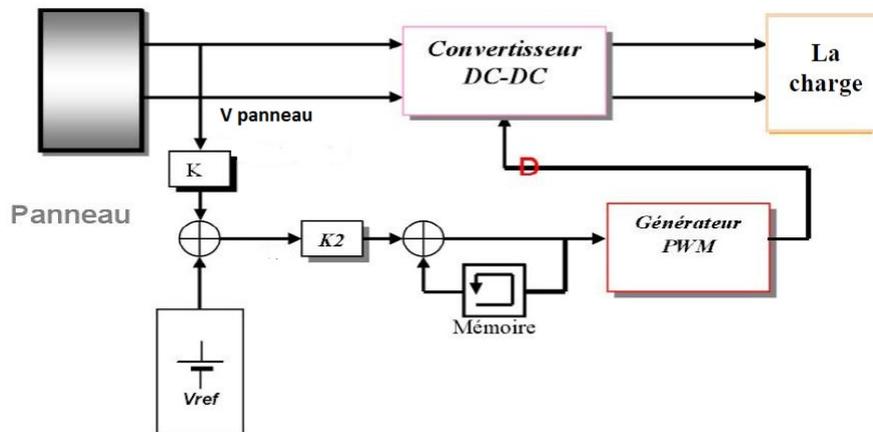


FIGURE 3.1 – Méthode avec contre réaction de tension

L'inconvénient de cette technique est que le système n'est pas capable de s'adapter dans le cas de changement des conditions environnementales telles que l'insolation et la température [32] [33].

#### 3.2.2 Méthodes à contre réaction de courant

Il existe deux méthodes qui sont la méthode à courant de référence en fonction du courant de court-circuit  $I_{sc}$  et la méthode à maximisation du courant de sortie [32] [21]

##### Méthode à courant de référence en fonction du courant de court-circuit $I_{sc}$

Par analogie avec la méthode de contre réaction de tension. Le courant de court-circuit du panneau solaire permet de savoir la valeur du courant optimal pour laquelle le panneau doit fonctionner pour extraire le maximum de puissance. Le courant optimal est proportionnel au courant de court circuit, cette proportionnalité n'est pas constante mais elle est variable en fonction des conditions d'ensoleillement et de température [35].

##### Méthode à maximisation du courant de sortie

Cette méthode a été présentée par Sullivan et Powers, en utilisant une mesure du courant pour avoir l'information sur le point de fonctionnement qui lui correspond c'est à dire que la maximisation de la puissance de sortie revient à maximiser le courant de charge de la charge [37].

## 3.2. TECHNIQUES ET MÉTHODES DE POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

---

### 3.2.3 Méthodes à contre réaction de puissance

Les méthodes à contre réaction de puissance se basent sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le point de fonctionnement du panneau afin que la puissance générée soit maximale sans interruption de fonctionnement du système. La puissance extraite du panneau est calculé à partir des mesures de courant  $I$  et de tension  $V$  du panneau et la multiplication de ces deux grandeurs  $P = VI$ [35].

#### La méthode perturbe and Observe

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique cette méthode fonctionne en perturbant le système et observant l'impact sur la puissance à la sortie du GPV. Sur la figure 3.2, on voit que si la tension de fonctionnement est perturbée dans une direction donnée et que la puissance augmente ( $dP/dV > 0$ ), alors il est clair que la perturbation a déplacé le point de fonctionnement vers le MPP [40]. L'algorithme P&O continuera à perturber la tension dans la même direction. Par contre, si la puissance diminue ( $dP/dV < 0$ ), alors la perturbation a éloigné le point de fonctionnement du MPP. L'algorithme inversera la direction de la perturbation suivante. Cet algorithme est résumé sur le tableau 3.1 et son organigramme sur la figure 3.3 [13]. L'algorithme peut être représenté mathématiquement par l'expression [41] :

$$\alpha(k) = \alpha(k - 1) + \text{Delta} \cdot \text{sign}(dP/dV) \quad (3.1)$$

Le processus est répété périodiquement jusqu'à ce que le MPP soit atteint. Le système oscille alors autour du MPP, ce qui provoque des pertes de puissance. L'oscillation peut être minimisée en diminuant la taille de la perturbation. Cependant, une taille de perturbation trop petite ralentit considérablement la poursuite du MPP. Il existe alors un compromis entre précision et rapidité [37].

### 3.2. TECHNIQUES ET MÉTHODES DE POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

Perturbation	Changement de la puissance	Perturbation
Positive	Positif	Positive
Positive	Négatif	Négative
Négative	Positive	Négative
Négative	Négatif	Positive

TABLE 3.1 – Tableau explicatif de la méthode P&O

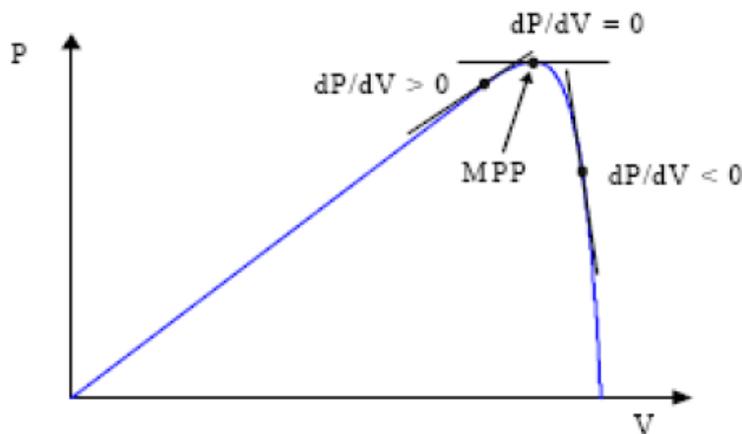


FIGURE 3.2 – Signe de  $dP/dV$  à différentes positions de la courbe caractéristique de puissance

Il est important de noter qu'avec l'algorithme P&O, la variable à contrôler peut être soit la tension soit le courant du GPV. Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. Sachant que la variation du rayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV [7][39].

Un inconvénient de la méthode P&O est qu'elle peut échouer lors d'un rapide changement des conditions atmosphériques comme l'illustre la figure 5.16[38]. Commencé par un point de fonctionnement A, si les conditions climatiques restent constantes, une perturbation  $\Delta V$  dans la tension  $V$  amènera le point de fonctionnement au point B, et le sens de la perturbation sera inversé à cause de la diminution de la puissance. Par contre, si l'éclairement augmente et déplace la courbe de puissance de  $P_1$  à  $P_2$ , sur un

### 3.2. TECHNIQUES ET MÉTHODES DE POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

cycle du MPPT, le point de fonctionnement sera déplacé de A vers C. Cela représente une augmentation de la puissance, l'algorithme croit que ceci est le résultat de sa propre action et le sens de la perturbation restera le même. Par conséquent, le point de fonctionnement s'éloigne du MPP et continuera à s'éloigner si l'éclairement augmente (ou diminue) progressivement. Pour palier à ce problème, on pourra ajouter le poids d'un troisième point et le comparer aux deux autres avant de prendre une décision sur le sens de la perturbation. Une autre solution serait de diminuer le cycle du MPPT [7] [17].

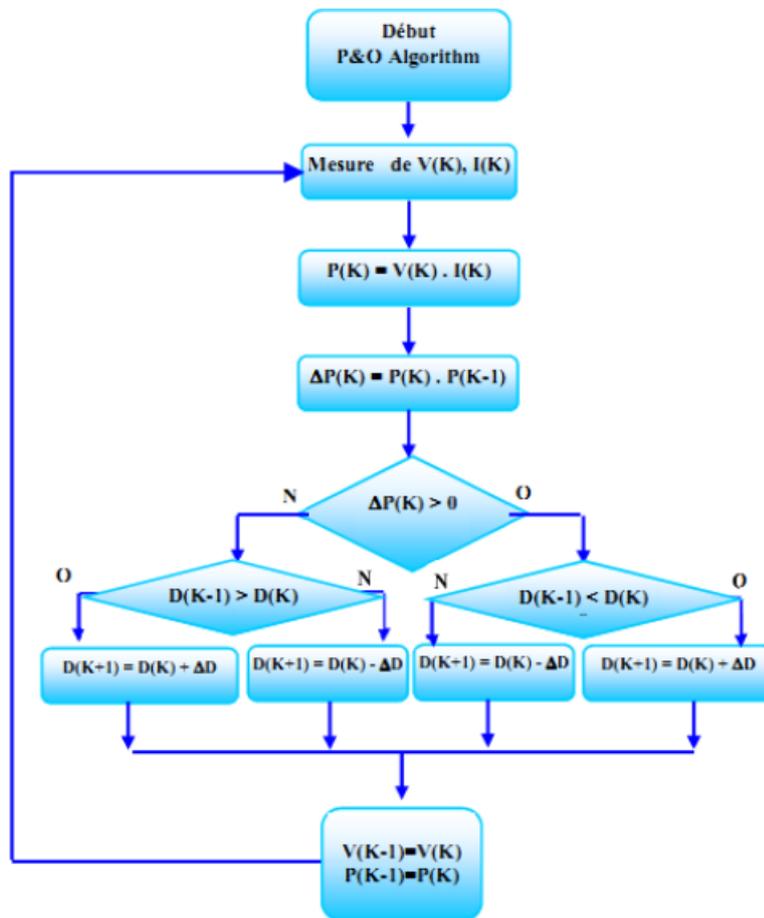


FIGURE 3.3 – Organigramme de la méthode perturbation et observation

### 3.3. CONCLUSION

---

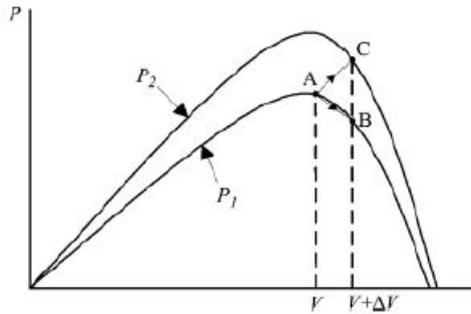


FIGURE 3.4 – Divergence de la méthode P &O

### 3.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a exposé d'une manière explicite quelques méthodes de poursuite du point de puissance maximale pour les générateurs photovoltaïques. On a parlé d'une manière brève des méthodes avec contre réaction de tension et à contre réaction de courant, puis on a parlé des méthodes à contre réaction de puissance en expliquant une technique très répandu à savoir la technique Perturb and observe.

Cette méthode fera l'objet du prochain chapitre qui sera consacré à la simulation et à l'implémentation de cette dernière.

# Chapitre 4

## Modélisation et simulation du système photovoltaïque avec différents méthodes MPPT

### Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Simulation du panneau</b>	<b>47</b>
4.2.1	caractéristique $P(V)$	48
<b>4.3</b>	<b>Hacheur BOOST</b>	<b>49</b>
4.3.1	Dimensionnement des composants	49
4.3.2	Simulation du hacheur BOOST	49
<b>4.4</b>	<b>Etude des performances de la méthode P&amp;O</b>	<b>51</b>
4.4.1	Environnement stable	51
4.4.2	Changement lent et linéaire de l'ensoleillement	52
4.4.3	Changement brusque de l'ensoleillement	53
4.4.4	Cas d'ombrage	54
<b>4.5</b>	<b>Système de pompage</b>	<b>56</b>
4.5.1	Description globale de système de pompage	56
4.5.2	Puissance généré en une journée	58
<b>4.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>59</b>

---

## 4.1. INTRODUCTION

---

### 4.1 Introduction

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théorique d'un système. En effet, ce dernier peut être testé sous conditions facilement contrôlable et ses performances peuvent être aisément surveillées. La procédure de simulation lie les deux parties de conception, à savoir, l'étude théorique et la réalisation. Pour étudier le comportement dynamique du système complet, une modélisation de chaque élément est indispensable. Nous avons choisi de travailler le Toolbox Simscape, utilisée pour la simulation des systèmes de l'électronique de puissance. Ce toolbox est exploité afin de pouvoir respecter le plus de phénomènes possibles lors de fonctionnement du système. Il est donc bien adapté pour mettre en œuvre, tester et évaluer les systèmes MPPT numériques [10].

### 4.2 Simulation du panneau

Nous allons simuler le panneau disponible au niveau de CDER à savoir le UDTS50, en associant 32 cellules en série.

$I_{sc}$ [A]	Courant de court circuit	3.43
$V_{oc}$ [V]	Tension de circuit ouvert	21.28
$I_{mp}$ [A]	Courant à puissance maximale	3.16
$V_{mp}$ [V]	Tension à puissance maximale	16.65
$P_{max}$ [W]	Puissance maximale	52.66
$R_s$ [ $\Omega$ ]	résistance série	0.9
$S$ [ $cm^2$ ]	Surface	10*10
$\alpha$ [A/C]	Coefficient de température du courant	0.00343
$\beta$ [V/C]	Coefficient de température de la tension	-0.059584

TABLE 4.1 – Paramètre du panneau UDTS50

Pour la simulation de la cellule nous avons utilisé le bloc proposé par le Toolbox Simscape de matlab/simulink présenté sur la figure 4.1 qui se base sur le modèle à deux diodes.

## 4.2. SIMULATION DU PANNEAU

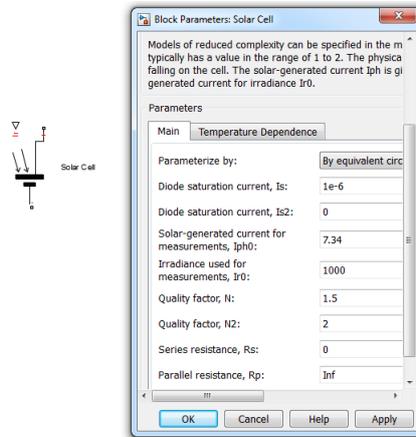


FIGURE 4.1 – Bloc de la cellule photovoltaïque

### 4.2.1 caractéristique $P(V)$

Pour avoir la caractéristique  $P(V)$  du panneau on a varié la la tension en sortie de panneau de  $0V$  à  $V_{oc}$ . Le schéma Simulink qui permet de réaliser cette opération est illustrée dans la figure 4.2

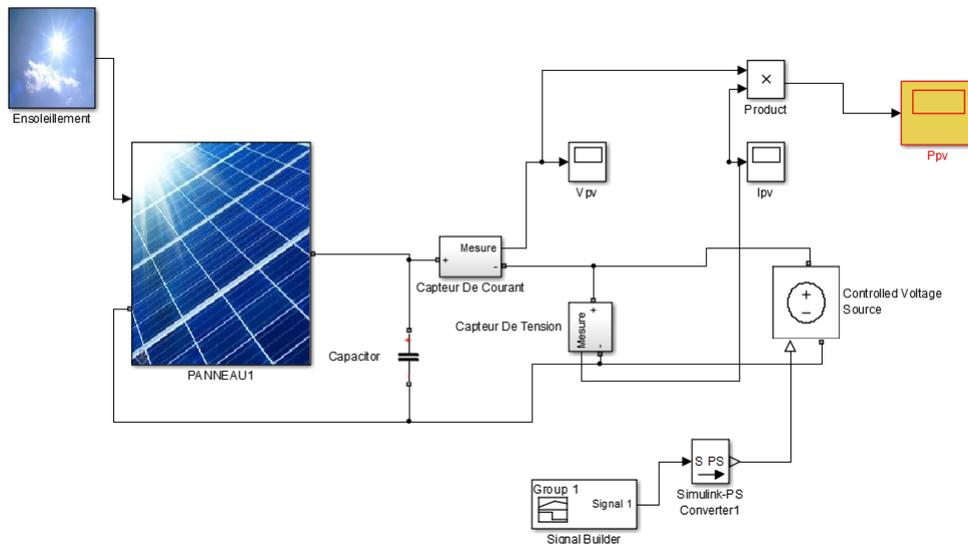


FIGURE 4.2 – Schéma Simulink permettant d'avoir la caractéristique  $P(V)$

### 4.3. HACHEUR BOOST

---

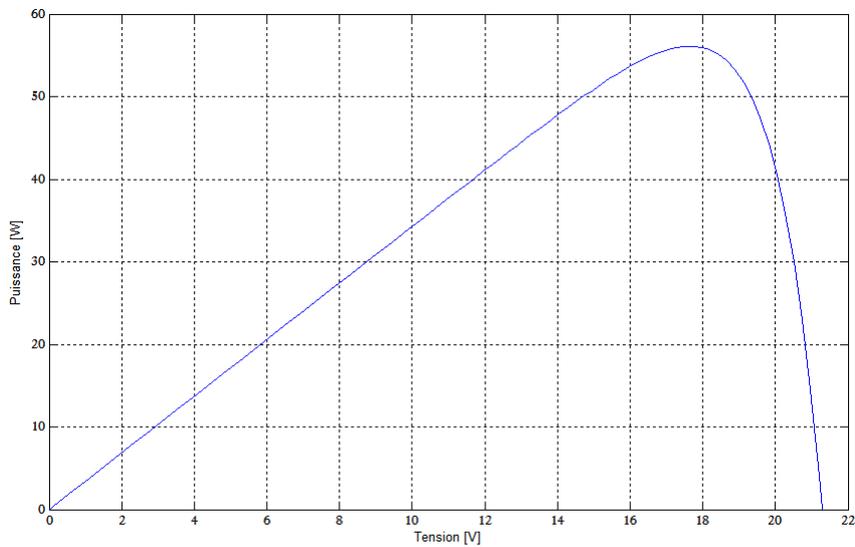


FIGURE 4.3 – La caractéristique  $P(V)$  de panneau UDT50

## 4.3 Hacheur BOOST

### 4.3.1 Dimensionnement des composants

Le dimensionnement de l'inductance  $L$  s'effectue à partir de l'ondulation du courant d'entrée.

Pour les capacités d'entrée et de sortie, leurs calculs s'effectue à partir des ondulations des tensions d'entrée et de sortie.

Les valeurs des composants du hacheur ont été choisies selon la procédure décrite et dont les calculs sont établis en détail dans la partie 5.3.1 ( $L = 800\mu H$ ,  $C_1 = 4700\mu F$ ,  $C_2 = 200\mu F$ ).

### 4.3.2 Simulation du hacheur BOOST

De la même façon que le système photovoltaïque, la simulation du hacheur a été réalisée en utilisant les outils du Toolbox Simscape de Simulink.

### 4.3. HACHEUR BOOST

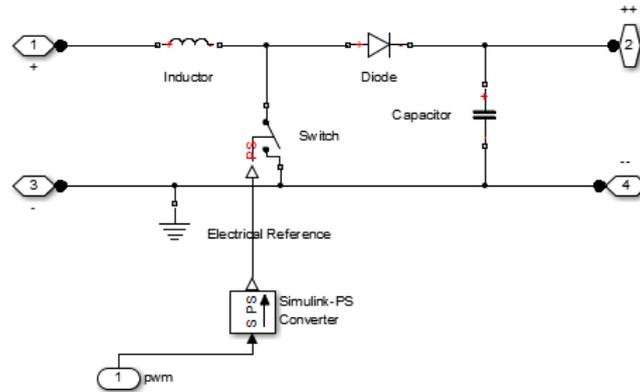


FIGURE 4.4 – Schéma de hacheur BOOST sous Simscape

La variation de rapport cyclique  $\alpha$  entraîne la variation de la tension de sortie avec une tension d'entrée fixe.

la figure 4.5 montre l'effet du rapport cyclique sur la tension de sortie et confirme la relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie

$$V_{out} = \frac{1}{1 - \alpha} V_{in}.$$

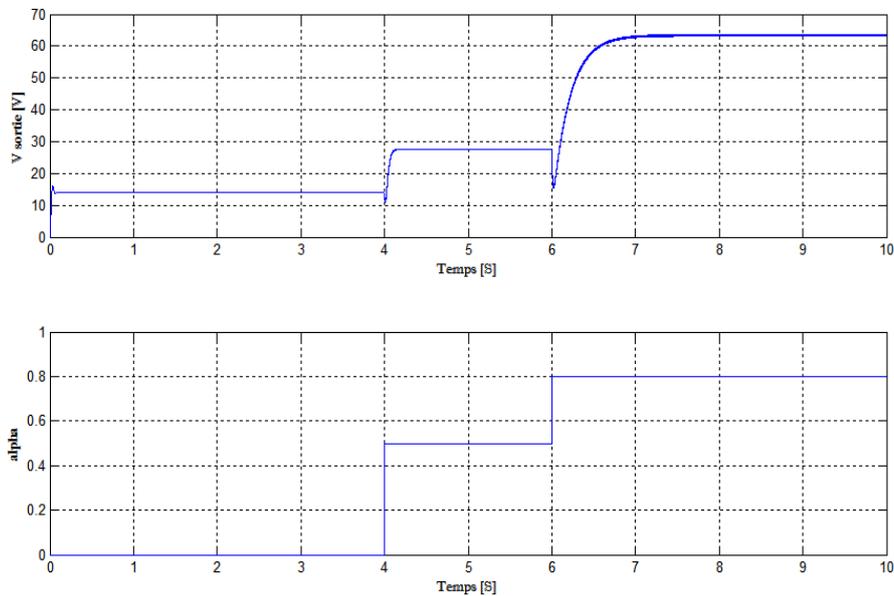


FIGURE 4.5 – La tension de sortie en fonction du rapport cyclique

## 4.4. ETUDE DES PERFORMANCES DE LA MÉTHODE P&O

### 4.4 Etude des performances de la méthode P&O

nous proposons le schéma de commande suivant :

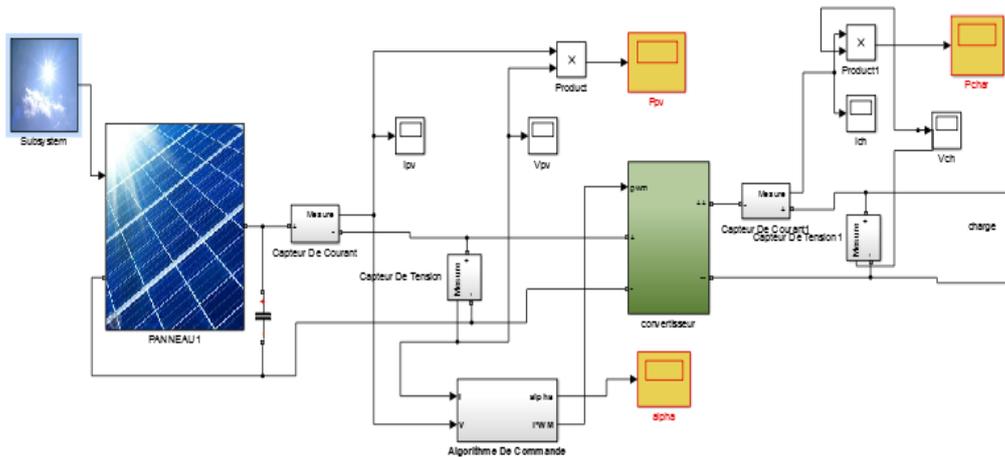


FIGURE 4.6 – Schéma de commande

L' algorithme est implémenté comme étant une fonctions MATLAB qui sera appelée par le Bloc Algorithmes de commande.

La charge est une résistance de  $10 \Omega$ .

Afin d'étudier les performances de l'algorithme nous allons simuler le système dans 4 scénarios différents :

- Environnement stable (  $G = 1000W/m^2$ ,  $25^\circ C$  )
- Changement linéaire et lent de l'ensoleillement
- Changement brusque de l'ensoleillement
- Cas d'ombrage ( 2 maximums dans la caractéristique  $P(V)$  )

#### 4.4.1 Environnement stable

Les conditions atmosphériques sont fixées à  $25^\circ C$  et  $G = 1000W/m^2$ .

La figure 4.7 montre la réponse du système avec les différentes commandes MPPT.

#### 4.4. ETUDE DES PERFORMANCES DE LA MÉTHODE P&O

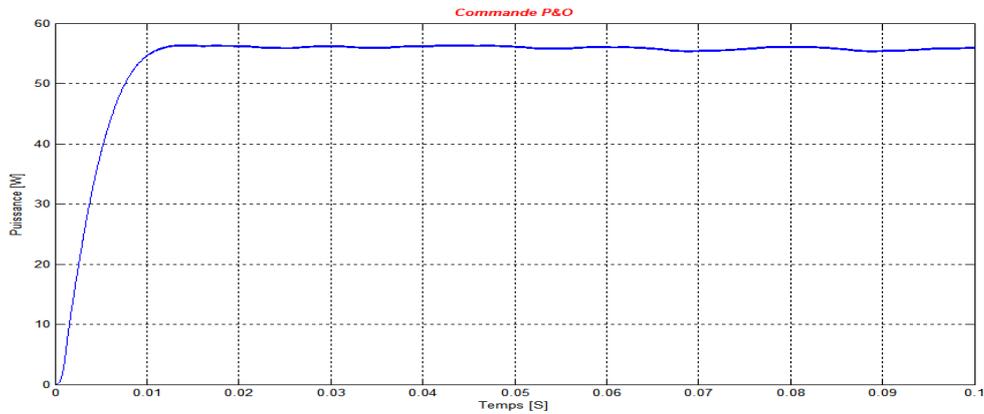


FIGURE 4.7 – Résultats de simulation dans un environnement stable

On voit que pour ce scénario la commande suit parfaitement le MPP.

#### 4.4.2 Changement lent et linéaire de l'ensoleillement

Pour ce test, la température est maintenue à une valeur constante égale à 25 °C.

La figure 4.8 montre l'évolution de la puissance avec la variation de l'ensoleillement pour les différentes commandes MPPT.

#### 4.4. ETUDE DES PERFORMANCES DE LA MÉTHODE P&O

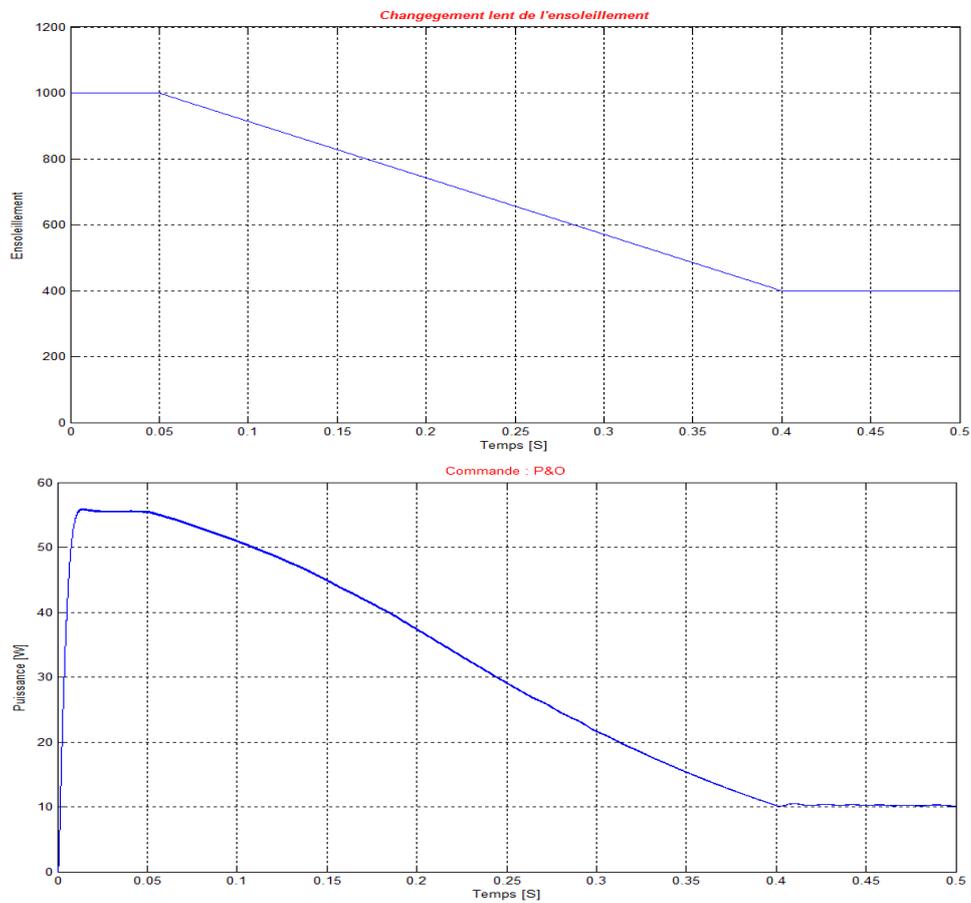


FIGURE 4.8 – Résultats de simulation dans le cas d'un changement lent et linéaire de l'ensoleillement

On remarque que pour le système répond immédiatement au changement de l'ensoleillement, sans qu'il y est de chute de puissance et de retard.

#### 4.4.3 Changement brusque de l'ensoleillement

Pour ce test, la température est maintenue à une valeur constante égale à 25 °C

## 4.4. ETUDE DES PERFORMANCES DE LA MÉTHODE P&O

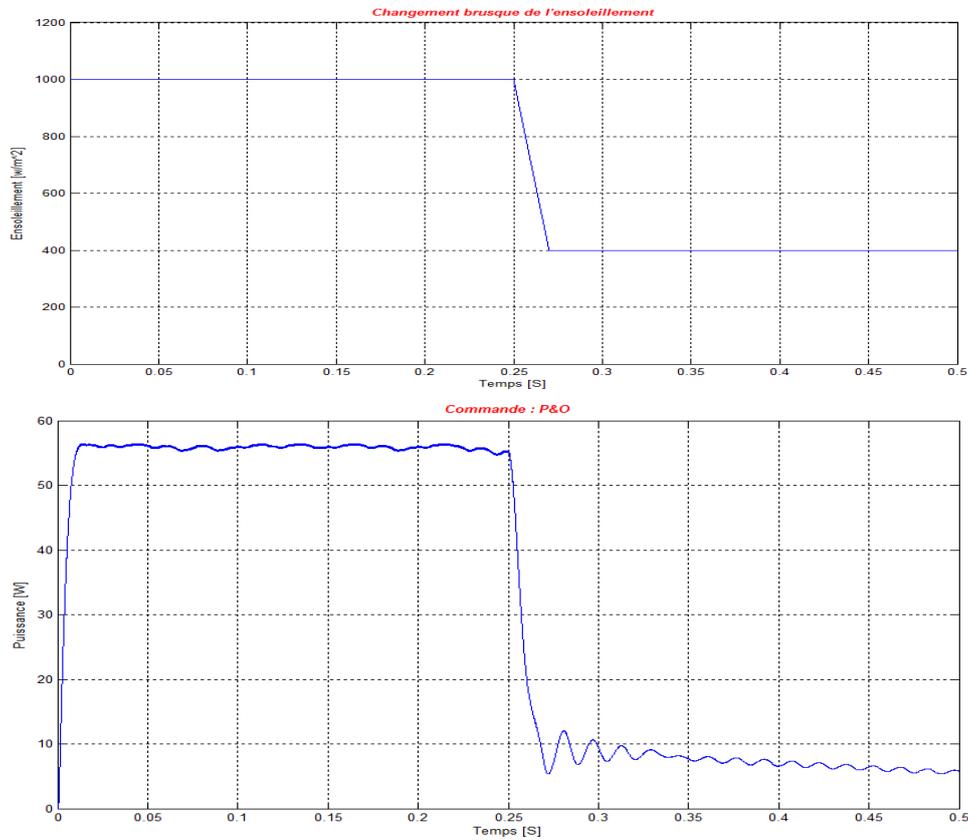


FIGURE 4.9 – Résultats de simulation dans le cas d'un changement brusque de l'ensoleillement

On remarque que le signal de puissance présente des oscillations lors de ce changement avec une chute de puissance.

### 4.4.4 Cas d'ombrage

Ombrager une partie d'un module PV a de dramatiques conséquences sur sa courbe puissance/tension  $P(V)$  et ce, même si une très faible partie du module ou de la cellule est à l'ombre, une diminution importante de la puissance produite en est alors la conséquence. Cet ombrage partiel peut être dû à des cheminées, à des arbres ou à d'autres parties de construction.

la figure 4.10 montre qu'il y'a 2 MPP locaux ( $MPP1 = 4.4W, MPP2 = 6.2W$ ).

#### 4.4. ETUDE DES PERFORMANCES DE LA MÉTHODE P&O

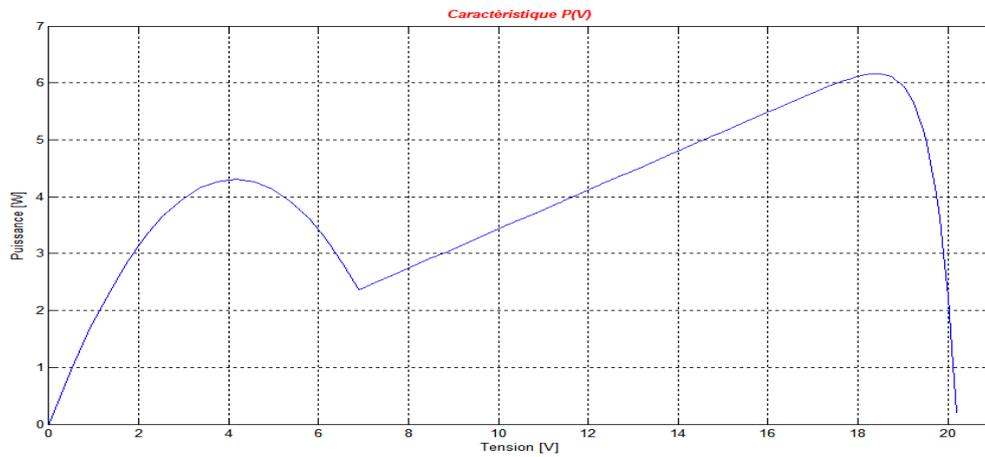


FIGURE 4.10 – Effet de l'ombrage sur la courbe  $P(V)$

Pour ce test, la température est maintenue à une valeur constante égale à 25 °C.

La figure 4.11 montre l'évolution de la courbe de puissance pour le cas d'ombrage.

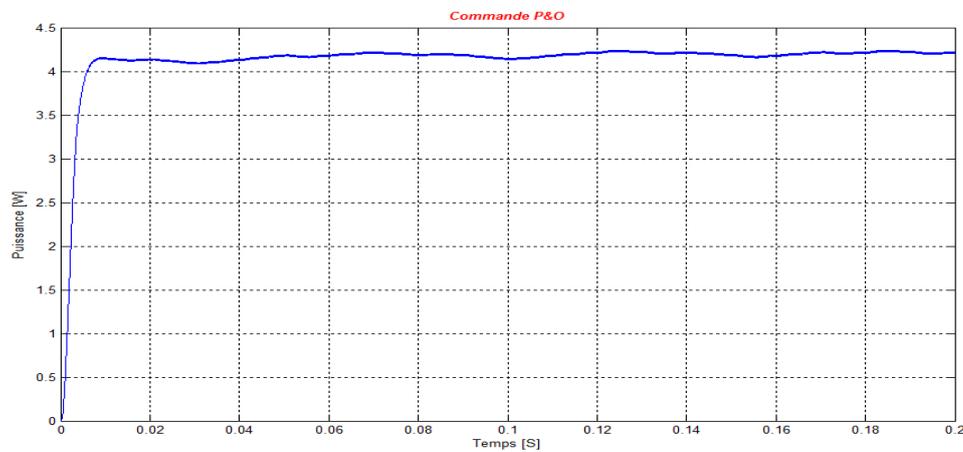


FIGURE 4.11 – Résultats de simulation dans le cas d'ombrage

Les résultats de la simulation montrent que le système converge vers le premier MPP local.

## 4.5. SYSTÈME DE POMPAGE

### 4.5 Système de pompage

Dans cette partie on va modéliser le système de pompage installé au niveau de CDER

#### 4.5.1 Description globale de système de pompage

La figure 4.12 présente le schéma globale sous simulink du système qui comporte le générateur photovoltaïque, le hacheur BOOST, la pompe et le bloc de commande.

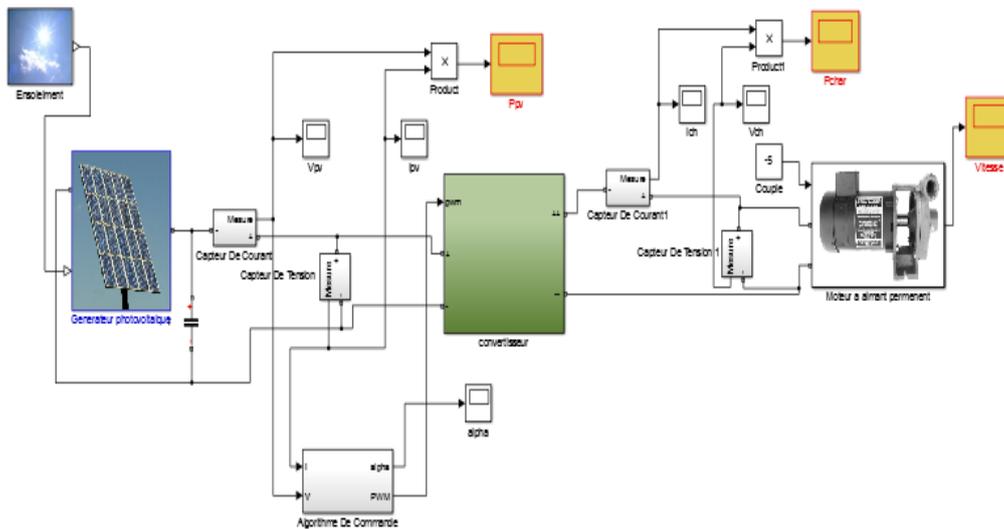


FIGURE 4.12 – Schéma globale sous simulink du système

#### La pompe

La pompe disponible au CDER est la pompe Suncentric (voir Annexe A ).

On a modélisé cette pompe comme un moteur à aimant permanent avec un couple résistant afin de simuler son comportement [28] [3].

## 4.5. SYSTÈME DE POMPAGE

---

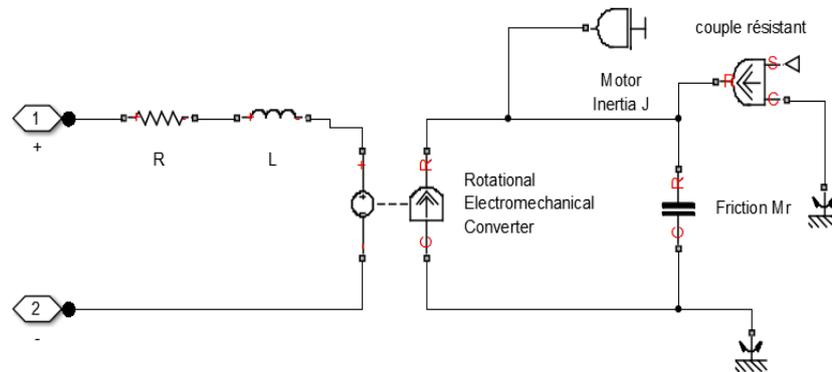


FIGURE 4.13 – La pompe sous simulink

### Générateur photovoltaïque

La puissance délivrée par un panneau photovoltaïque ne suffit pas pour alimenter la pompe. Il va falloir interconnecter plusieurs panneaux en série et en parallèle pour former un générateur photovoltaïque avec la puissance désirée. On a utilisé 10 panneaux afin d'atteindre la puissance nécessaire pour alimenter la pompe [28].

## 4.5. SYSTÈME DE POMPAGE

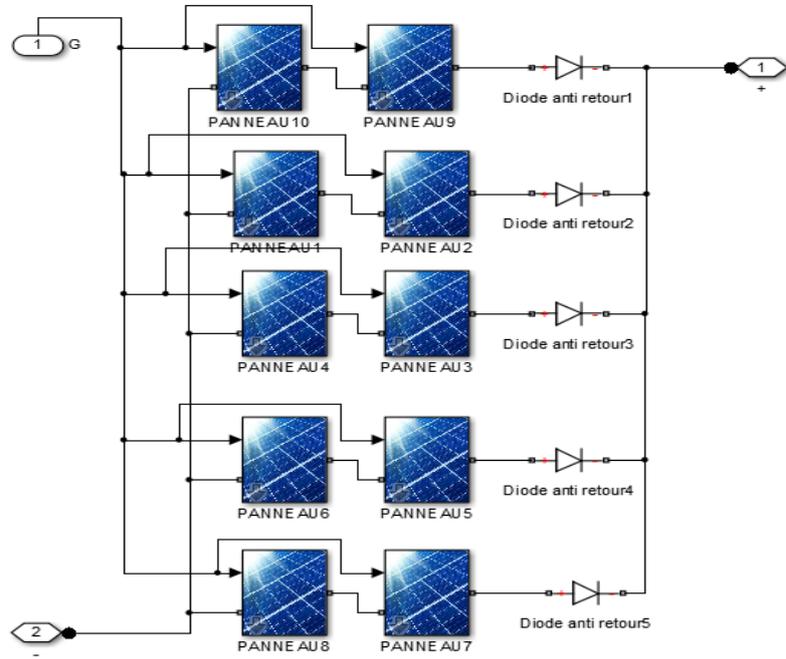


FIGURE 4.14 – Interconnexion des panneaux pour former le générateur

### 4.5.2 Puissance générée en une journée

La figure 4.17 montre la puissance délivrée à la pompe en une journée (14/05/2014).

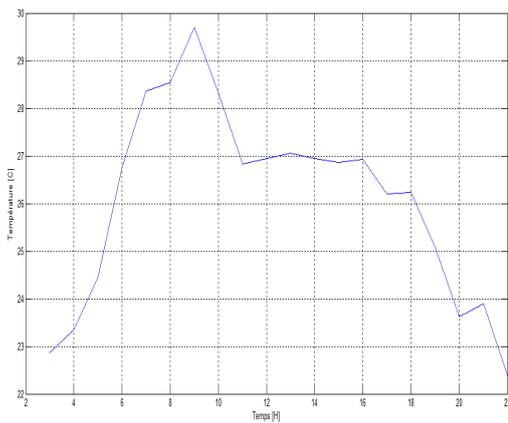


FIGURE 4.15 – Température durant une période de la journée 14/05/2014

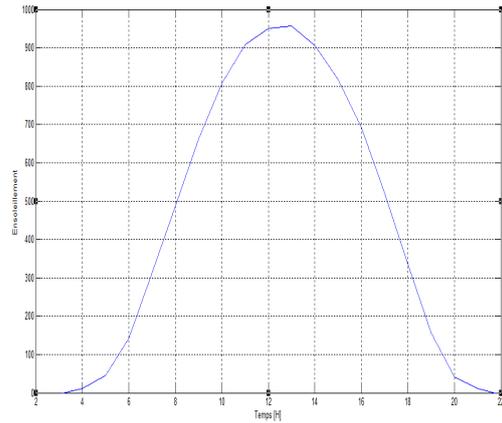


FIGURE 4.16 – Ensoleillement durant une période de la journée 14/05/2014

## 4.6. CONCLUSION

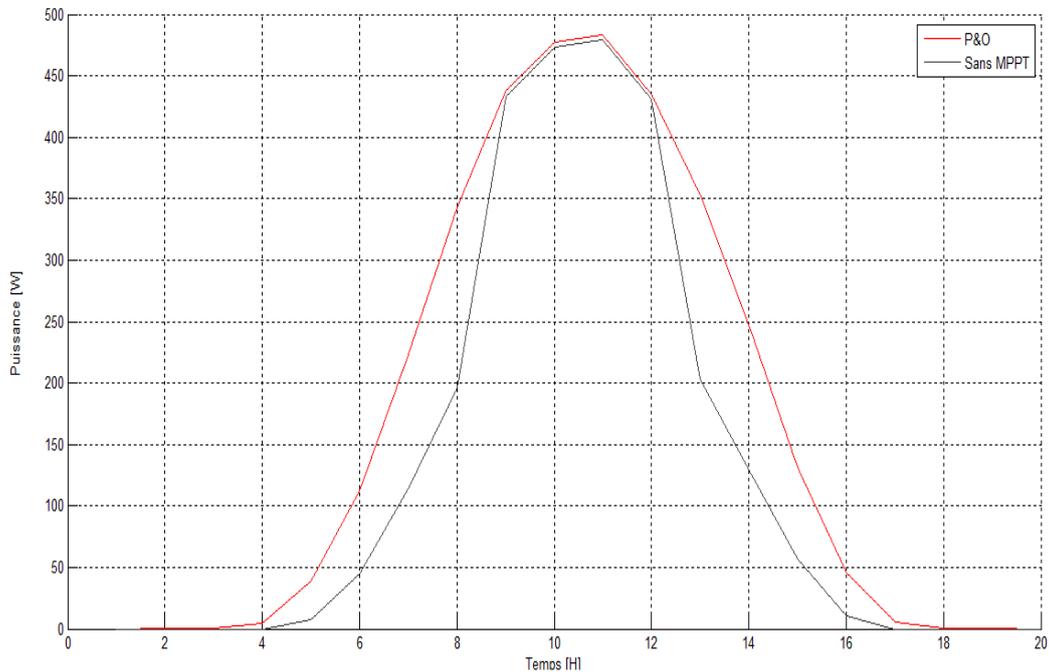


FIGURE 4.17 – Puissance délivrée à la pompe dans la journée de 14/05/2014

Le fonctionnement du système est amélioré par l'utilisation des techniques MPPT, où la puissance délivrée à la pompe est plus importante surtout pour les faibles valeurs de l'ensoleillement, ceci est expliqué par le fait que le système est dimensionné pour fonctionner au point nominal donc pour les valeurs de l'ensoleillement qui sont proches de ce point il n'y a pas de différence entre un couplage avec ou sans MPPT. Lorsque on s'éloigne de ce point le couplage avec MPPT extrait le maximum de puissance possible des panneaux [3].

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé l'ensemble du système de pompage (générateur photovoltaïque, la pompe, le hacheur BOOST) à l'aide de la bibliothèque Simscape du MATLAB/SIMULINK.

Nous avons testé les performances de la technique P&O, la simulation a donné des résultats discutés précédemment.

La technique de MPPT représente un cas idéal du système photovoltaïque, malgré les insuffisances de la technique P&O elle reste toujours simple et commode pour une réalisation pratique [28] [20].

# Chapitre 5

## Conception et réalisation d'un convertisseur DC-DC avec contrôleur MPPT

### Sommaire

---

<b>5.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>Réalisation d'une carte de commande MPPT</b>	<b>61</b>
5.2.1	Capteur de tension	61
5.2.2	Capteur de courant	62
5.2.3	PIC16F876	63
5.2.4	Etage d'alimentation	64
5.2.5	Inverseur de tension	65
5.2.6	Circuit d'isolation	68
5.2.7	Circuit de commande du transistor	68
5.2.8	Circuit de la carte commande	69
5.2.9	Essais sur la carte commande	71
<b>5.3</b>	<b>Réalisation d'une version standard du hacheur</b>	
	<b>Boost</b>	<b>73</b>
5.3.1	Calcul des valeurs des différents composants	73
5.3.2	Prototype du hacheur Boost réalisé	75
5.3.3	Vérification expérimentale sur le hacheur	75
<b>5.4</b>	<b>Tests et essais pratiques</b>	<b>76</b>
<b>5.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>79</b>

---

## 5.1. INTRODUCTION

---

### 5.1 Introduction

Après la simulation des différentes méthodes MPPT et la comparaison entre ces dernières, ainsi que la comparaison des avantages et désavantages de chacune, on a pensé à donner une dimension pratique à notre travail en effectuant les tâches suivantes :

1. Réalisation d'une carte de commande MPPT à base d'un PIC 16F876
2. Conception et Réalisation d'un Hacheur Boost
3. Tests et Essais pratiques

Le but de ce chapitre est la réalisation d'un convertisseur MPPT Boost en utilisant la méthode Perturb and Observe, On a choisi cette méthode pour sa simplicité par rapport aux autres et elle représente la méthode la plus répandue dans la commande des systèmes photovoltaïques [18].

### 5.2 Réalisation d'une carte de commande MPPT

La carte commande est constituée de :

1. capteur de tension
2. Capteur de courant
3. PIC16F876
4. Alimentation
5. Circuit d'isolation
6. Circuit de commande du convertisseur

#### 5.2.1 Capteur de tension

L'acquisition de la tension a été réalisée à l'aide d'un diviseur de tension, ce dernier est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée. C'est un circuit constitué de deux résistances en série qui est utilisé comme un atténuateur de signal.

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

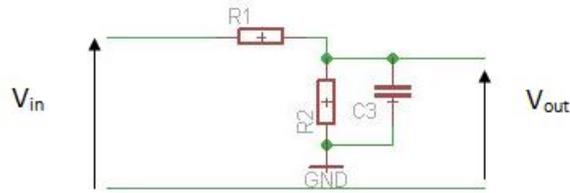


FIGURE 5.1 – Diviseur de tension

Sachant que la tension d'entrée parvenant du générateur photovoltaïque n'excèdera pas les  $45V$  et pour une tension de sortie maximum de  $5V$  on pourra calculer les résistances de comme suit :  $V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2}V_{in}$  pour les valeurs des tensions de sortie et entrée citées précédemment on aura en aura  $R1 = 8R2$  En prendra  $R1 = 80\text{ k}\Omega$  et  $R2 = 10\text{ k}\Omega$

### 5.2.2 Capteur de courant

L'aquisition du courant a été faite par le model CLSM-25, c'est un capteur de courant à effet Hall à boucle fermée qui permet de mesurer avec précision des courants et fournit une isolation électrique entre le conducteur et la sortie du capteur.



FIGURE 5.2 – le Model CLSM-25

Le courant maximal du générateur solaire est de l'ordre de  $15A$ , pour cela on doit connecter les pins du capteur de la manière qui est indiquée (en rouge) sur le tableau ci-dessous :

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

Primary Turns	Nom. Input Current (A)	Nom. Output Current (mA)	Turns Ratio	Input Resistance (mΩ)	Input Pins Connection
1	25	25	1/1000	0.1	
2	12	24	2/1000	0.7	
3	8	24	3/1000	1.5	
4	6	24	4/1000	2.3	
5	5	25	5/1000	2.6	

FIGURE 5.3 – table de connections des pins du capteur

Le courant de sortie du capteur est de 25mA pour un courant d'entrée de 25A. En plaçant une résistance de 250 Ohms à la sortie du capteur et pour un courant max de 20A on obtient une tension de 5V à la sortie.  $\frac{1}{1000} * 20 * 250 = 5V$

### 5.2.3 PIC16F876

#### Choix du microcontrôleur

Pour le choix du microcontrôleur on a opté pour le PIC 16F876. Pour notre application, le microcontrôleur adéquat doit satisfaire les conditions suivantes [11] :

- 2 entrées analogiques (courant/tension)
- 1 sortie PWM (pour la commande du circuit de puissance)

Le PIC 16F876 remplit parfaitement ces conditions. La figure montre la disposition de ses broches et ses caractéristiques principales sont :

- Une mémoire de programme (flash) de 8k (mots de 14 bits)
- Une mémoire de données (RAM) de 368 Bytes.
- Une mémoire de données (EEPROM) de 256 Bytes.
- Ports d'entrée / sortie : 3 Ports (A, B et C).
- 3 Timers (Timer0, Timer1 et Timer2).
- 2 modules pour PWM avec une résolution de 10 bits (CCPx).
- Module de conversion Analogique/Numérique CAN de 10bits : 5 canaux.
- Jeux d'instructions : 35 instructions .
- Fréquence de fonctionnement : 20MHz.
- Boîtier : PDIP 28 pins.
- Technologie CMOS .

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

- Technologie ash haut vitesse.
- Large tension de fonctionnement (de 2V à 5.5V).
- Basse consommation de puissance.

### Brochage du PIC 16F876

Le brochage du microcontrôleur PIC 16F876 est le suivant :

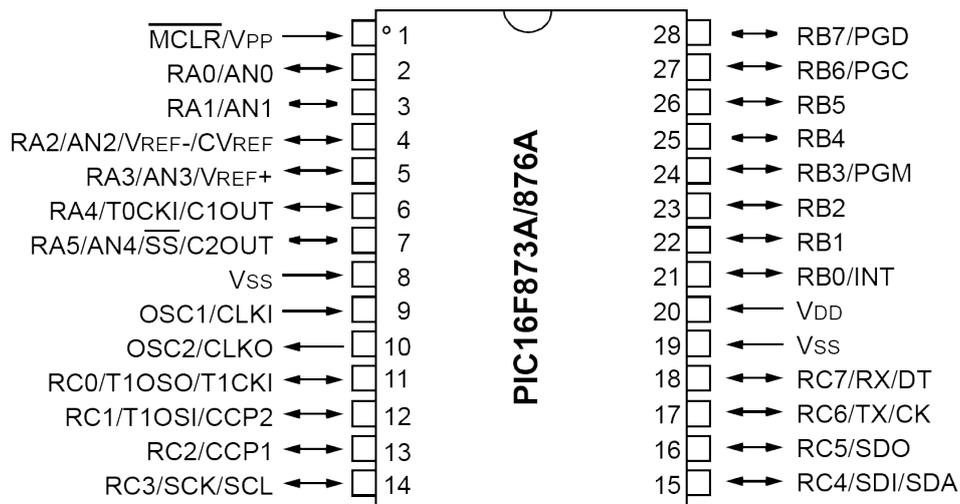


FIGURE 5.4 – Brochage du 16F876

### 5.2.4 Etage d'alimentation

Les différents blocs de la carte commande nécessite différentes tensions :

- le microcontrôleur → 5V
- le circuit d'isolation → 5V
- Le circuit d'attaque du transistor → 5V, 12V

### Alimentation 18V

le but de ce circuit est de transformer la tension d'entrée du panneau photovoltaïque de l'ordre de 35V à une tension de 18V. Cette transformation est réalisée par le circuit suivant :

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

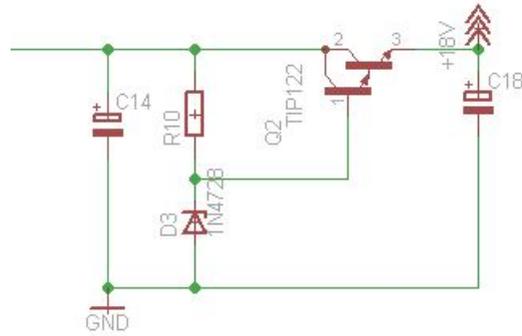


FIGURE 5.5 – Circuit assurant l'alimentation 18V

### Alimentation 12V et 5 V

l'entrée de ce circuit est la sortie de celui cité précédemment, donc pour une entrée de 18V il génère deux tensions de 5v et 12V Il est a base de deux régulateurs de tension le 78L12 et le 78L05 [8].

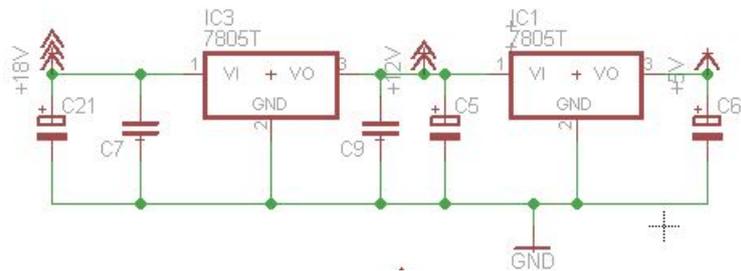


FIGURE 5.6 – Réalisation des alimentations de 12V et 5V

### 5.2.5 Inverseur de tension

le capteur de courant exige une tension négative pour son alimentation et pour cela on a fait appel à un inverseur de tension à base de circuit intégré NE555

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

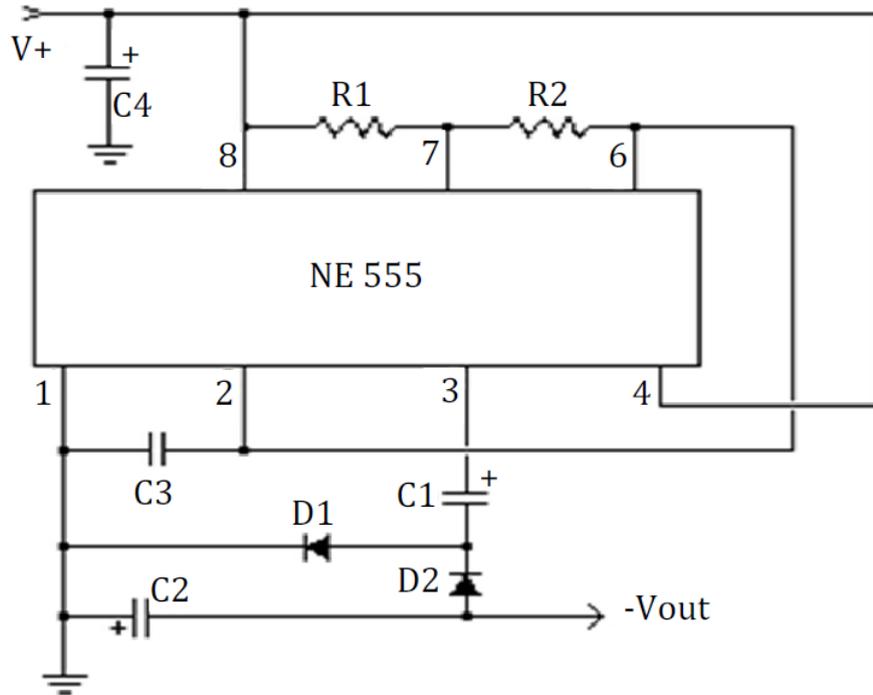


FIGURE 5.7 – Schéma électrique d'un inverseur de signe

Le circuit intégré NE555 fonctionne en mode astable. Il produit un signal carré de fréquence  $F$  qui alimente les éléments  $C1$ ,  $C2$ ,  $D1$ ,  $D2$ .

### Principe de fonctionnement

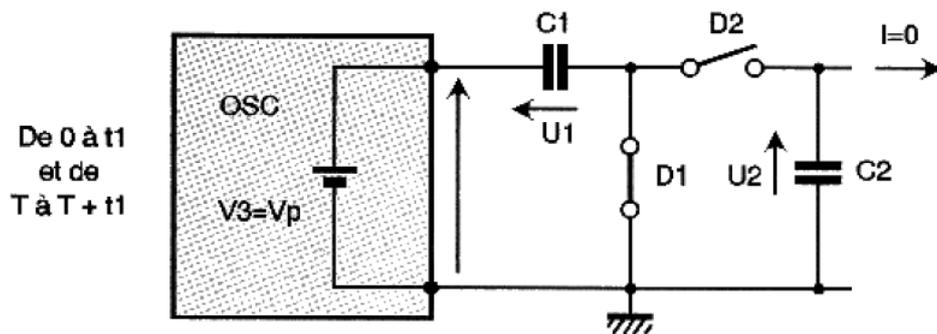


FIGURE 5.8 – Schéma équivalent du redresseur de l'instant 0 à  $t1$  (et de  $T$  à  $T + t1$ )

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

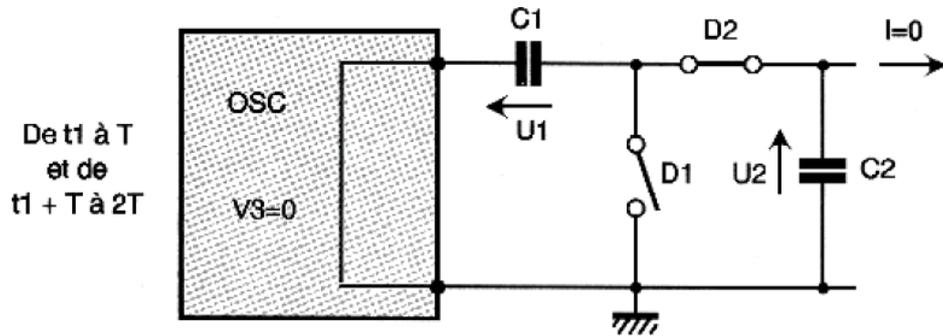


FIGURE 5.9 – Schéma équivalent du redresseur de l'instant  $t_1$  à  $T$  (et de  $t_1 + T$  à  $2T$ )

De l'instant 0 à  $t_1$  :  $C_1$  se charge positivement à travers  $D_1$ , ce qui donne  $U_1 = V+$ . Dans cet intervalle  $D_2$  est bloquée (Figure 5.8).

Entre  $t_1$  et  $T$  : la tension de sortie du NE555 (pin 3) retourne à zéro, l'armature positive de  $C_1$  se trouve reliée à la masse, c'est une tension négative qui est connectée sur la cathode de  $D_2$  qui devient passante. Une partie des charges accumulées par  $C_1$  est transférée dans  $C_2$ . La tension  $U_2$  devient négative (Figure 5.9).

Si le montage ne débite aucun courant  $I$ , et si les deux condensateurs ont la même capacité  $C$ , on obtient à l'équilibre,  $U_2 = -U_1/2 = -0,5V+$ .

Au cours de la période suivante, de  $T$  à  $T + t_1 = t_2$ ,  $C_1$  se recharge sous  $V+$ , et un nouveau transfert de charges s'opère de  $C_1$  vers  $C_2$  entre  $t_2$  et  $2T$ , qui conduit à  $U_2 = -0,75V+$ . En poursuivant ce raisonnement, on voit qu'à vide, la tension  $U_2$  c'est à dire  $V_s$  tend très rapidement vers  $-V+$ . Ce processus de transfert de charges de  $C_1$  vers  $C_2$  ressemble au remplissage d'un réservoir par une pompe d'où sa dénomination.

Si le courant  $I$  reste inférieur à une dizaine de milliampères, on peut récupérer environ 16 ou 17V (négatifs) à partir d'une source de 18V (après on fait une régulation de la tension à 12V négative à l'aide du régulateur de tension négative 79L12) [8].

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

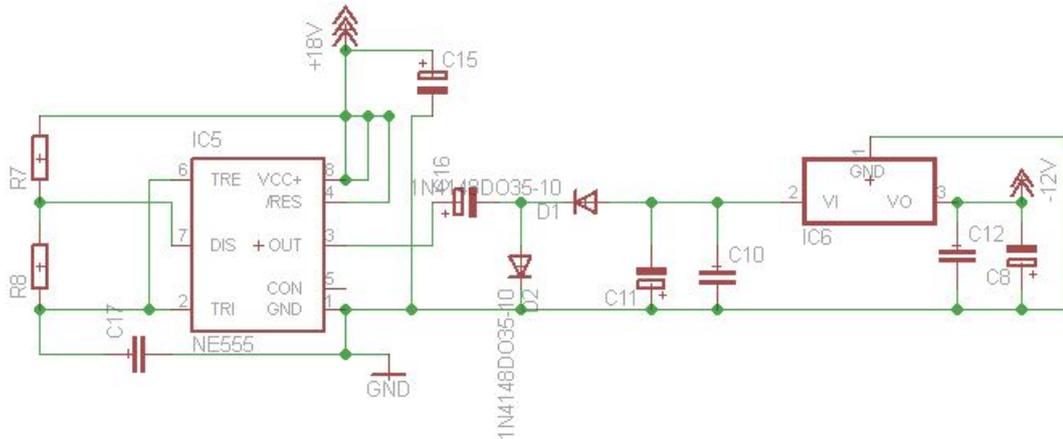


FIGURE 5.10 – Schéma de l'inverseur de tension

### 5.2.6 Circuit d'isolation

Le microcontrôleur est sensible à tout genre de perturbations extérieures, il est nécessaire de prévoir un circuit assurant la fonction d'isolation entre la carte de commande et le circuit extérieur. Notre choix s'est porté sur l'optocoupleur de la série 6N137, la figure 5.11 illustre son schéma électrique [12].

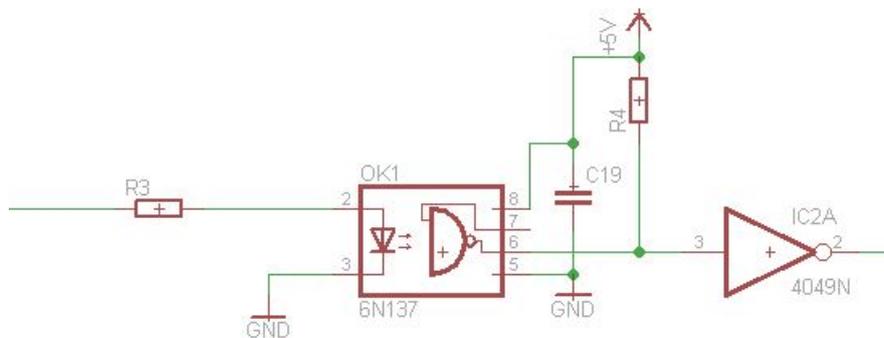


FIGURE 5.11 – Schéma électrique du circuit d'isolation

### 5.2.7 Circuit de commande du transistor

Le driver est l'élément indispensable pour la commande du transistor de puissance, pour notre application on a opté pour IR2113. Ce dernier n'est qu'un circuit de commande à haute tension et à grande vitesse pour les transistors MOSFET et IGBT de puissance. L'entrée logique est compatible

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

avec les sorties standards CMOS. Le bloc de sortie du driver IR2113 est équipé d'une amplification du courant. Le canal flottant peut être utilisé pour commander un transistor MOSFET ou un IGBT du canal-N sous une tension jusqu'à 600 volts [12] [9].

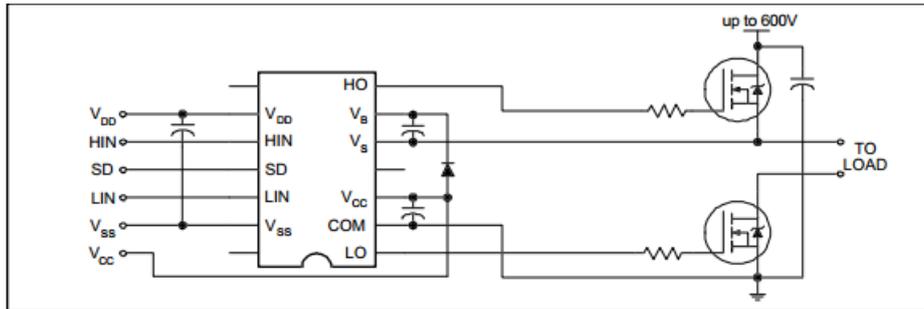


FIGURE 5.12 – le driver IR2113

### 5.2.8 Circuit de la carte commande

le circuit de la carte de commande a été réalisé par le logiciel EAGLE 6.5.0, son schéma est présentée dans la figure 5.13.



## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

### 5.2.9 Essais sur la carte commande



FIGURE 5.14 – Prototype du carte commande réalisé

Avant de passer aux essais pratiques, on a vérifié la validité de notre carte commande réalisée. En premier lieu on a implémenté l'algorithme de la méthode Perturb and observe dans le microcontrôleur, ensuite on a appliqué une tension variable au niveau de carte commande comme le montre les figures 5.15 et 5.16

## 5.2. RÉALISATION D'UNE CARTE DE COMMANDE MPPT

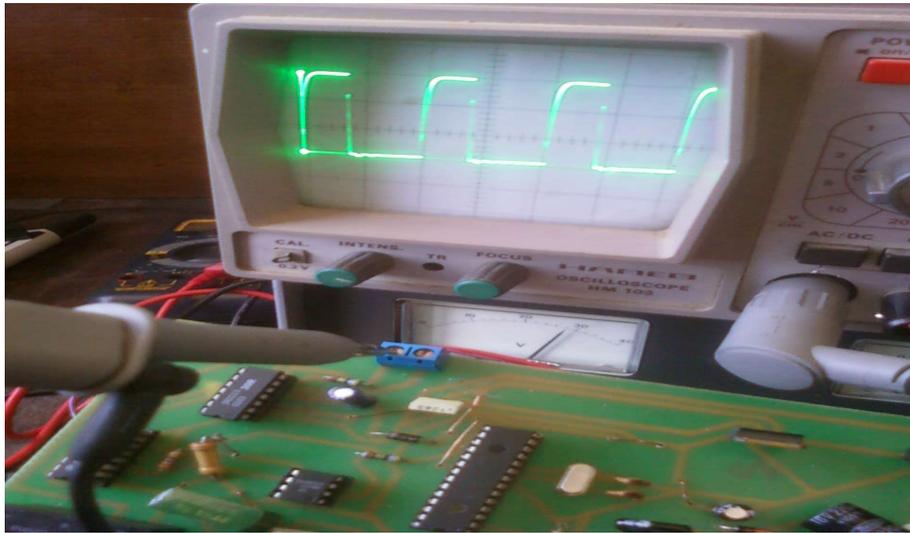


FIGURE 5.15 – sortie du circuit d'attaque pour une entrée de 30V

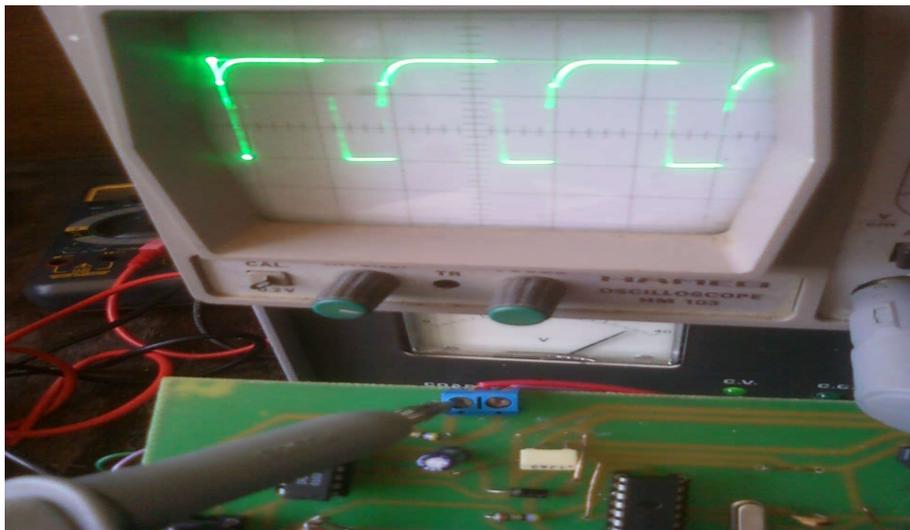


FIGURE 5.16 – Sortie du circuit d'attaque pour une entrée de 35V

On constate que le signal à la sortie du circuit d'attaque du transistor varie en fonction de la variation de la tension issue du générateur photovoltaïque, pour cela on déduit que l'algorithme fonctionne bien et il répond aux variations de la tension.

### 5.3. RÉALISATION D'UNE VERSION STANDARD DU HACHEUR BOOST

## 5.3 Réalisation d'une version standard du hacheur Boost

Comme cité précédemment nous avons utilisé un hacheur Boost pour notre application

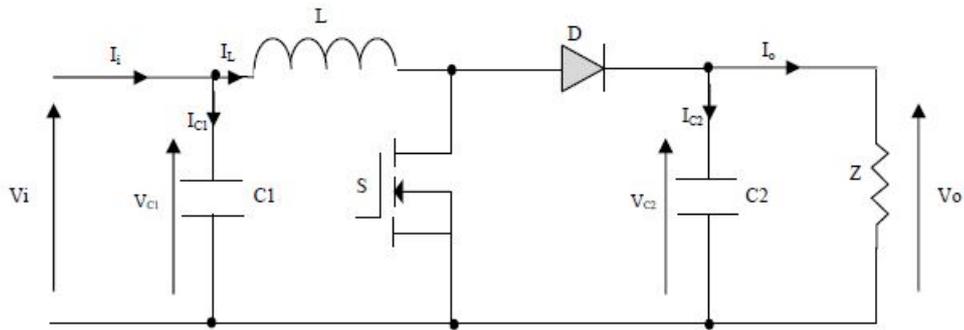


FIGURE 5.17 – Circuit électrique du hacheur Boost

#### 5.3.1 Calcul des valeurs des différents composants

Pour concevoir un convertisseur DC/DC de type hacheur il faut respecter certaines conditions électrique, et les puissances appliquées sont prises en considérations pour chaque composant [9]. les ondulations de tension de sortie et du courant d'entrée ont un impact directe sur le dimensionnement des différents composants pour cela il est préférable de calculer les valeurs de ces derniers en fonction des ondulations voulues. Ce point est très important pour le dimensionnement de l'inductance L en tenant compte du courant admissible par le transistor MOSFET.

#### Sélection du Transistor

On a vu précédemment que la tension de sortie d'un hacheur Boost est calculée comme suit :

$$V_o = \frac{1}{1 - \alpha} V_i \quad (5.1)$$

Pour une tension d'entrée maximale avoisinant les 30V et pour un rapport cyclique  $\alpha = 0.4$  on aura comme tension de sortie max  $V_o = 60V$ , alors que cette tension est appliquée entre le drain et la source du transistor MOSFET, il faut trouver un transistor qui puisse supporter cette tension. Parmi

### 5.3. RÉALISATION D'UNE VERSION STANDARD DU HACHEUR BOOST

---

les composants disponible au sein du laboratoire on a utilisé IRFP360 qui présente les caractéristiques désirées :

- $V_{DSS} = 400V$  (Tension maximale entre le drain et la source)
- $R_{DS(ON)} = 0.2 \text{ ohm}$  (Résistance ohmique entre le drain et la source dans l'état conducteur)
- $I_d = 23A$  (Courant maximum admissible de drain)

#### Choix de l'inductance

Le role d'une inductance de stoker l'énergie électrique sous forme magnétique, puis la restituer. Le choix de la bobine est conditionné par :

1. Diminuer l'encombrement, au niveau de la carte.
2. Confiner le flux magnétique dans un espace restreint et ainsi limiter les rayonnements parasites.

le dimensionnement de l'inductance du hacheur Boost est primordiale pour son bon fonctionnement, du fait que le courant de charge de cette inductance est le même courant qui parcourt le transistor MOSFET. La valeur de l'inductance est calculée en tenant compte des variations de l'intensité du courant qui la traverse ainsi que la fréquence de commutation du MOSFET. Pour un rapport cyclique de 40% et une fréquence de 10Khz avec un courant maximal de 15A, et en prenant une ondulation de 10%.

l'inductance  $L$ , du circuit Boost réalisé, est égale à :

$$L = \frac{V_i}{\Delta I_L} \alpha T_s = \frac{30V}{1.5} * 0.4 * 10^{-4} = 800 \mu H \quad (5.2)$$

Cette inductance a été réalisée par la sommation de deux inductance en série, l'une est réalisée et l'autre est récupérée d'une alimentation à découpage.

#### Choix des capacités

Pour les capacités d'entrée et de sortie, leurs influences se manifestent par des ondulations des tensions d'entrée et de sortie. Leurs valeurs sont en fonction de l'ondulation voulue ainsi que des grandeurs moyennes désirées.

**Capacité de sortie** Pour un courant de sortie avoisinant les 5A et une ondulation de la tension de sortie de 1V, le calcul de la tension de sortie est fait de la manière suivante :

$$C_1 = \frac{I_s \alpha T_s}{\Delta V_s} = \frac{50 * 4 * 10^{-4}}{1} = 200 \mu F \quad (5.3)$$

### 5.3. RÉALISATION D'UNE VERSION STANDARD DU HACHEUR BOOST

---

**Capacité d'entrée** En ayant une tension de l'ordre de  $35V$  au maximum, on a mis un condensateur de valeur  $4700\mu F$  pour diminuer les ondulations de la tension de d'entrée.

#### Choix de la diode

Quand le commutateur de puissance est OFF la diode conduit et permet le passage du courant vers la charge. Pour assurer cette fonction des critères importants sont de rigueur :

- La rapidité de la commutation
- la tension de claquage
- le courant qui la traverse

Pour notre cas on a utilisé deux diodes de type *BY229* en parallèle pour augmenter le courant maximal admissible dans les diodes.

#### 5.3.2 Prototype du hacheur Boost réalisé

le prototype du hacheur réalisé est le suivant :

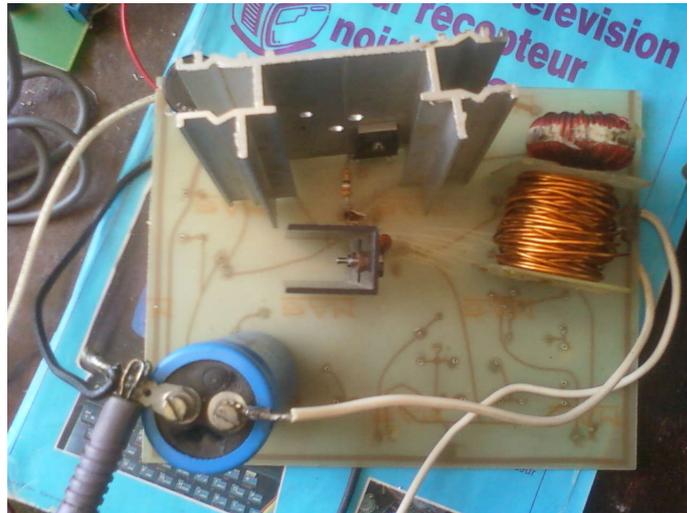


FIGURE 5.18 – prototype du hacheur réalisé

#### 5.3.3 Vérification expérimentale sur le hacheur

Pour tester la validité de notre hacheur boost on a appliqué une tension fixe à l'entrée de valeur  $V_{in} = 30V$  et on commande le transistor avec un rapport cyclique avoisinant 0.5 en plaçant une lampe comme charge. On obtient

## 5.4. TESTS ET ESSAIS PRATIQUES

---

en sortie une tension  $V_{out} = 63.2V$

$$V_{out} = \frac{1}{1 - \alpha} V_{in} = \frac{1}{1 - 0.5} * 30 = 60V \quad (5.4)$$

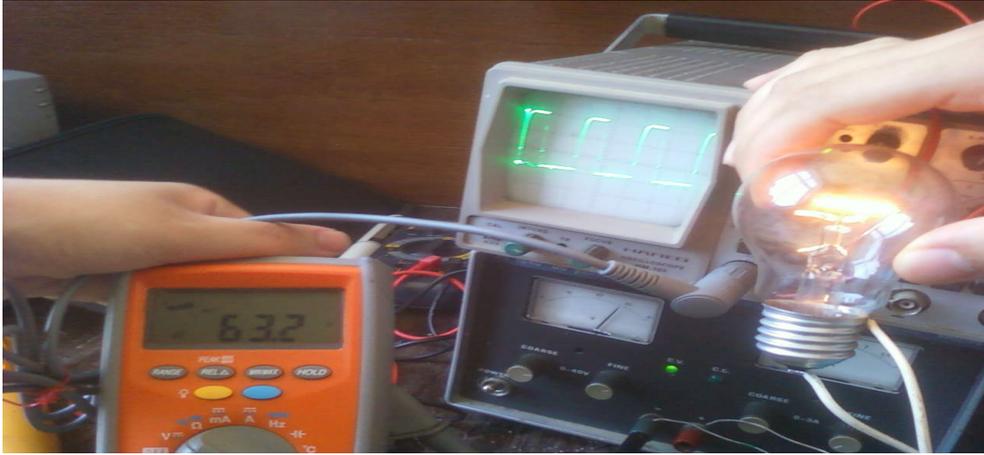


FIGURE 5.19 – Application de 30V à l'entrée du hacheur

## 5.4 Tests et essais pratiques

Afin de tester la validité de notre programme ,la carte de commande et le hacheur, on a pensé a réalisé une application sur un générateur photovoltaïque et l'algorithme choisi pour extraire le maximum d'énergie est Perturb and observ. Le générateur photovoltaïque se compose de 10 modules UDTS50, il est constitué de 5 branches en parallèle et chaque branche est constituée de 2 modules en série.

## 5.4. TESTS ET ESSAIS PRATIQUES

---



FIGURE 5.20 – Générateur photovoltaïque installé au CDER

Paramètres des modules utilisés :

MODULES UDTS50			
$I_{sc}$	[A]	Courant de court circuit	3.43
$V_{oc}$	[V]	Tension de circuit ouvert	21.28
$I_{mp}$	[A]	Courant à puissance maximale	3.16
$V_{mp}$	[V]	Tension à puissance maximale	16.65
$P_{max}$	[W]	Puissance maximale	52.66
$R_s$	[ $\Omega$ ]	Résistance série	0.9
$S$	[cm <sup>2</sup> ]	Surface de la cellule	10x10
$\alpha$	[A/C°]	Coefficient de température du courant	0.00343
$\beta$	[V/C°]	Coefficient de température de la tension	-0.059584

FIGURE 5.21 – Paramètres des modules de type UDTS50

le système monté au niveau du CDER est le suivant :

## 5.4. TESTS ET ESSAIS PRATIQUES



FIGURE 5.22 – Aperçu du système réalisé au niveau du CDER

$V_e$ [V]	$V_s$ [V]	$I_s$ [A]	$\alpha$	$P_e$ [W]	$P_s / P_e$
32	47	3.8	0.35	205	0.87
30	43.5	3.75	0.40	200	0.82
33	37	3.5	0.2	150	0.87
33.4	38	3.4	0.2	150	0.86
22	38	3.4	0.5	160	0.80
33	37	3.45	0.2	150	0.85
27	42	3.5	0.24	180	0.82
33	38	3.47	0.05	150	0.88
33	39	3.5	0.05	160	0.85
34	35	3.4	0.30	135	0.88
33	35	3.4	0.30	130	0.91
25	33	3.45	0.30	140	0.82
23	30	3.37	0.30	120	0.84
21	27	3.3	0.35	110	0.81
26.7	29.3	3.25	0.2	110	0.87
25	27.4	3.25	0.2	105	0.85
23.7	26	3.21	0.2	100	0.84
25	26	3.1	0.15	90	0.90
22	23	3.1	0.10	80	0.89

TABLE 5.1 – Résultats expérimentaux pris le 15/06/2014

## 5.5. CONCLUSION

---

### Interprétation des résultats

On constate que le rendement du hacheur boost est appréciable, il varie dans la plage de  $[0.8, 0.91]$

## 5.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a montré toute la partie pratique réalisée au niveau du CDER, on a commencé par la réalisation de la carte de commande MPPT à base du PIC 16F876 [29], ensuite on a montré les différentes étapes qui mène à la conception du hacheur Boost ainsi que sa réalisation, finalement on a fait quelques relevés expérimentaux sur le système réalisé et on a constaté que le système fonctionne bien.

# Conclusions et perspectives

Le travail qu'on a effectué concerne principalement l'étude et la réalisation d'un convertisseur DC-DC à base d'un contrôleur MPPT destiné au pompage photovoltaïque. L'objectif était de réaliser et la carte de commande et le convertisseur ainsi que la mise en place d'un système photovoltaïque. La tâche principale était de faire fonctionner le générateur en son point de puissance maximale.

Notre travail a été abordé par l'étude des convertisseur DC-DC, ce dernier est l'étage d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge, on a choisit le hacheur Boost car c'est le convertisseur adéquat à notre application du pompage , on voulait augmenter la tension parvenue des panneaux qui est de l'ordre de  $30V$  à une tension avoisinant les  $50V$  (Tension Nominal de la Pompe). Puis on a passé en revue la méthode de recherche du point de puissance maximale P&O afin d'améliorer le rendement du système photovoltaïque.

Ensuite on a tester les performances de la méthode citée précédemment, pour cela on a utilisé le logiciel Matlab/Simulink. On a constaté que l'algorithme P&O présente des bonnes performances à l'état stable et lors du changement brusque de l'ensoleillement, mais pour le cas de l'ombrage l'algorithme ne converge pas vers le point de puissance maximale Global mais vers le point de puissance local.

Dans la partie réalisation, on a fait la conception et la réalisation d'une carte de commande à base d'un PIC 16F876 et on a implémenté l'algorithme P&O pour l'extraction du maximum d'énergie. Ensuite on a réalisé le hacheur Boost après le dimensionnement des composants qui le constitue, à savoir l'inductance et les condensateurs. Un choix judicieux a été fait pour le transistor de puissance et la diode pour un bon fonctionnement du hacheur.

On a constaté que la carte de commande fonctionne convenablement sans anomalies et on a vu que la sortie PWM du circuit de commande du transistor varie en variant la tension du GPV, alors on conclura que l'algorithme implémenté P&O suit parfaitement le MPP.

Pour le hacheur on a constaté qu'il travail en Boost et la figure 5.19 le

## 5.5. CONCLUSION

---

montre parfaitement.

Ce travail a été conclu par une validation expérimentale sur un système de pompage photovoltaïque, on a fait des relevés expérimentaux et on a constaté que le hacheur réalisé fonctionne en Boost dans le système de pompage et on a constaté aussi que le système travail en son point de puissance maximum car les tensions d'entrées avoisinent les  $30V$  (tension du MPP,  $V_{MPP}$ )

Ce mémoire présentera une base pour les autres travaux, pour cela on propose les perspectives suivantes :

Tester d'autres lois de commandes plus avancées.

# Bibliographie

- [1] B. Benyoucef A. Hamidat. Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. *Renewable Energy*, 2011.
- [2] Rezki Abderrahmane. *Synthèse des methodes de poursuite du point de puissance maximale(MPPT)*. Mémoire de master, ENP, Alger, 2012.
- [3] Meflah Aissa. *Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque*. Mémoire de magister, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, 2011.
- [4] F Lasnier andt TG Ang. Photovoltaic engineering handbook. 1990.
- [5] H. Tarik Duru. A maximum power tracking algorithm based on  $i_{mpp} = f(pmax)$  function for matching passive and active loads to a photovoltaic generator. *Solar Energy*, 2006.
- [6] Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic. *Fundamentals of Power Electronics (Second Edition)*. Springer, 2nd edition, 2001.
- [7] Bianconi et al. Perturb and observe MPPT algorithm with a current controller based on the sliding mode. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2013.
- [8] Kaouane Mohamed et Azghar Kacem. *Étude et réalisation d'une carte de commande MPPT d'un onduleur triphasé destiné au pompage photovoltaïque*. Mémoire de master, USTHB, Alger, 2011.
- [9] S. Lefebvre et B. Multon. Mosfet et igtb : circuits de commande. Article D3222, 2003.
- [10] Boudjema Mohammed et Belhaouas Nasreddine. *Commande d'une poursuite du point de puissance maximum par les Réseaux de Neurones et implémentation sur FPGA et DSP*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2007.
- [11] Melouka Abdelhamid et Benarroudj Merouane. *Etude et réalisation d'un contrôleur MPPT par la méthode 'Perturb and Observ à base du microcontrôleur PIC 16F876*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2003.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [12] Bendahou Djamel et Bourouis El-Abbes. *Commande MPPT pour les systèmes photovoltaïques en utilisant l'optimisation par essaim de particules*. Mémoire de master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, Blida, 2013.
- [13] Benseddik Othmane et Fathi Djaloud. *Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque*. Mémoire de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA, 2012.
- [14] Cherki Mohamed Souheil et Labraoui Mohamed. *Détection et diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïques par réseaux de neurones*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2013.
- [15] Benmosbah Amine et Mecheraoui Choukri Adel. *Implémentation sur des méthodes MPPT : "P&O" floue optimisée par les Algorithmes Génétiques"*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2006.
- [16] Anne Labouret et Michelle Viloz. *Energie solaire photovoltaïque*. 4<sup>e</sup> édition. 2009.
- [17] Talbi Said et Riah Rachid. *Comparaison et Synthèse d'un Nouvel Algorithme MPPT Robuste pour une Chaîne de Production d'Energie Photovoltaïque*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2011.
- [18] KHERCHI Mohamed et SMAILI Mohamed Djamel. *Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA*). Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2009.
- [19] Chekired Fathya. *Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA*). Mémoire de magister, ENP, Alger, 2008.
- [20] M.L.Si Hamdi. *Etude et réalisation d'un contrôleur MPPT par la méthode 'Implémentation de la conductance à base du microcontrôleur PIC 16F876*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2003.
- [21] Kashif Ishaque and Syafaruddin Hamed Taheri, Zainal Salam. A novel maximum power point tracking control of photovoltaic system under partial and rapidly fluctuating shadow conditions using differential evolution. *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, 2010.
- [22] Daoud Housseyn. *Implémentation d'une commande MPPT floue sur FPGA*. Thèse d'ingénieur, ENP, Alger, 2006.
- [23] <http://fr.wikipedia.org>.
- [24] J. David Irwin. *The Power Electronics Handbook*. TIMOTHY L. SKVARENINA, 2002.
- [25] Benoît Issartel. *Conception d'un convertisseur DC/DC de type boost*. Thèse de doctorat, Polytech Clermont-Ferrand, France 2006.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [26] A. Bakhshai J. Ghaisari, M. Habibi. An mppt controller design for photovoltaic (pv) system based on the optimal voltage factor tracking. *IEEE Electrical Power Conference*, 2007.
- [27] Zainal Salam Kashif Ishaque. An improved particle swarm optimization (pso)-based mppt for pv with reduced steady-state oscillation. *Science-direct*, Aug 2011.
- [28] Ahmed M. Kassem. MPPT control design and performance improvements of a PV generator powered DC motor-pump system based on artificial neural networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, dec 2012.
- [29] Alain Bilbzo Learreta. *Réalisation de commandes MPPT numériques*. Rapport interne laas-cnrs, France, Toulouse, 2006.
- [30] H.J. Möller. *Semiconductors for Solar Cells*. Artech House, Norwood, ma edition, 1993.
- [31] Abouchabana Nabil. *Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT*. Thèse de magister, ENP, Alger, 2009.
- [32] Boucli Hacem Omar. *Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïques muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleur gestion énergétique*. Thèse de magister, Université Abou Bakr Belaid, Tlemcen 2011.
- [33] Mahamed G. H. Omran. Particle swarm optimization methods for pattern. November 2004.
- [34] Angel Cid Pastor. *Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques*. Thèse de doctorat, GEET, France, Toulouse , 2006.
- [35] Angel Cid Pastor. *Etude de l'intégrabilité d'une loi de Commande MPPT pour Générateurs Photovoltaïques*. Rapport de stage au sein du laas, EMMA, France, Toulouse , 2011.
- [36] Pierre Petit. *Optimisation du transfert d'énergie dans les systèmes photovoltaïques*. Thèse de doctorat, EMMA, France, Metz , 2011.
- [37] ISSADI Salim. *Commande d'une poursuite du point de puissance maximum(MPPT) par les réseaux de neurones*. Mémoire de magister, ENP, Alger, 2006.
- [38] Basim Alsayid Samer Alsadi. Maximum power point tracking simulation for photovoltaic systems using perturb and observe algorithm. *Electrical Engineering Department, Palestine Technical University-Kadoorie (PTU), Palestine-Tulkarm*, 2012.
- [39] S. Singer and A. Braunstein. A general model of maximum power point tracking. *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, 1985.

- 
- [40] P. L. Chapman T. Eram. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions On, Energy Conversion*, 2007.
- [41] P. Maussion V.Boittier. Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques. France,Toulouse , 2008.

# Annexe A



## Solar Centrifugal High Volume Surface Pump

Version 2.2 December 2000

The **Dankoff SunCentric™** uses solar-electric power to pump as much as 50,000 gallons (200 cu. m.) per day from shallow water sources. Applications include irrigation, livestock, domestic water, pond management, water treatment, swimming pools, solar water heating, hydronic space heating, fire protection, and more. These pumps have been in worldwide use since 1989. They can be used with or without batteries. No electronic pump controller is required. Maximum suction lift is 10 vertical feet (3 m).

### PV Array-Direct Application

- A PV-direct system uses water storage instead of batteries. This is the simplest and most durable system, and is easy to transport.
- No pump controller is required.
- A solar tracker (optional) will help to maintain optimum flow through the entire solar day.
- Storage of 3-7 days' water demand is recommended.
- Optimum for circulation of solar-heated water

### Battery Application

- A battery system is best where there is need for constant pressure or pressure on demand, where a tank is not feasible, or where a battery system is present for other power needs. Batteries can be charged by any power source.

### Selecting a Pump

- Select the appropriate chart of "PV Array-Direct Applications" or "Battery Applications".
- Total Dynamic Head = Vertical distance from surface of the water source to the discharge or top of storage tank + pipe friction losses.
- Use solid line grid for English units. Use broken line grid for metric units.
- Locate the coordinates for the required head and flow.
- Find the pump curve that is nearest to that point.
- If there is more than one curve to choose from, compare the power requirements. If PV-direct, the curve that goes higher will work better during low sun intensity.
- Multiple pumps can be used to provide greater flow.

### Sizing the PV Array (PV-Direct Systems Only)

- Chart specifies "Minimum Array Size". Minimum array will produce full pressure only when sunshine is at full intensity and within a 70° to 110° angle to the PV array.
- To improve performance in lower sun intensity, add more watts to the solar array and/or use a solar tracker. Solar tracking is most effective in a clear, dry climate.

### Suction Capacity

- Suction limit is 10 vertical feet (3 m) at sea level—subtract 1 foot for every 1000 ft. elevation (1 m per km).
- For best reliability, minimize or eliminate suction lift by placing the pump low and close to the water source. This will minimize the possibility of cavitation which causes excessive wear and loss of performance.



Typical model shown here.  
Proportions and electrical connections vary.

### Pump Installation

- Pump must be sheltered from rain and direct sunlight.
- Horizontal position: Place outlet at the top. It can be rotated to face horizontally or vertically upward.
- Vertical position: Place motor on top.

### Pipe and Wire Requirements

- Intake pipe: Pipe should be as direct and short as possible. Avoid any high point that can trap an air pocket.
- Refer to a pipe sizing chart (included with the pump instructions). Pipe may need to be larger than the pump ports. Undersized pipe will greatly decrease pump performance.
- Size the wire for less than 3% voltage drop. Undersized wire will greatly decrease pump performance. Refer to a low voltage wire sizing chart (available from Dankoff Solar).

### Overcurrent Protection

- Fuse or circuit breaker is required.
- Ampere rating = amps at the pump + 15-25%
- Minimum DC voltage rating = volts at the pump X 2. (Type FRN fuses are rated 125V DC)

### Maintenance

- No routine maintenance is required.
- Pump can be repaired in the field using ordinary tools and skills, without removing the pipes.
- Instruction manual shows illustrated repair details.
- Motor brushes: Typical brush life peak hours = working voltage X 800 / 3rd digit of model number. EXAMPLE: PV-Direct curve #60 is Model 7526 working at 30V. Typical brush life = 30 X 800 / 2 = 12,000 peak hours. This represents about 5-8 years of service.
- Shaft seal has a very long life under normal conditions. Purchase spare seals if water is loaded with abrasive silt or if pump can possibly run dry.

# Annexe B

---

```

void main() {
    unsigned V,I,P,vv,ii ;
    unsigned Vold,Iold,Pold;
    signed dp,dv;
    unsigned short  D,Dold,dd;
    TRISA=0b111111;
    TRISC=0b00000000;
    ADCON1=0b0000000;
    ADC_Init();
    PWM1_Init(10000);
    Vold=0;
    Iold=0;
    Dold=100;
    dd=12;
    pwm1_start();
    while(1)
    {
        vv=ADC_read(0);
        delay_us(10);
        ii=ADC_Read(1);
        delay_us(10);
        I=ii*5/1024;
        V=vv*5/1024;
        P=V*I;
        Pold=Vold*Iold;
        dp=P-Pold;
        dv=V-Vold;
        if (dp>0)
        { if (dv>0)
          D=Dold+dd;
          else
          D=Dold-dd;
        }
        else
        {if (dv>0)
          D=Dold-dd;
          else
          D=Dold+dd;
        }
        if(dp==0)
        D=Dold;
    }
}

```

---

```
    PORTC.f4=1;
    Vold=V;
    Iold=I;
    Dold=D;
    delay_ms(10);
    pwm1_set_duty(D);

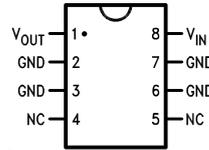
}

}
```

# Annexe C

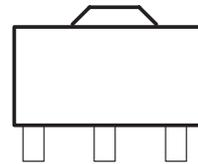


- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 100 mA
- No External Components
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Provided Pb-Free packages from the end of 2004



### description

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used with power-pass elements to make high-current voltage regulators. One of these regulators can deliver up to 100 mA of output current. The internal limiting and thermal-shutdown features of these regulators make them essentially immune to overload. When used as a replacement for a zener diode-resistor combination, an effective improvement in output impedance can be obtained, together with lower bias current.



### electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$ , $I = 40\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T ‡				UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	o	25°C	4.8	5	5.2	V
		Full range	4.75		5.25	
	$I_O = 1\text{ mA to }70\text{ mA}$	Full range	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$	o		32	150	
	$V_I = 8\text{ V to }20\text{ V}$			26	100	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	25°C	41	49		dB
Output voltage regulation	$I_O = 1\text{ mA to }100\text{ mA}$	o		15	60	
	$I_O = 1\text{ mA to }40\text{ mA}$			8	30	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		42		μV
Dropout voltage		25°C		1.7		V
		25°C		3.8	6	
		125°C			5.5	
Bias current change	$V_I = 8\text{ V to }20\text{ V}$	range			1.5	
	$I_O = 1\text{ mA to }40\text{ mA}$				0.1	

‡ Pulse-testing techniques maintain  $T_J$  as close to  $T_A$  as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output. Full range for the 78L05 is  $T_J = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$

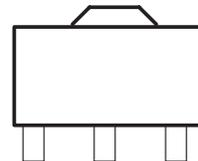


- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 100 mA
- No External Components
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Direct Replacements for Fairchild  $\mu$ A78L Series



### description

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used with power-pass elements to make high-current voltage regulators. One of these regulators can deliver up to 100 mA of output current. The internal limiting and thermal-shutdown features of these regulators make them essentially immune to overload. When used as a replacement for a zener diode-resistor combination, an effective improvement in output impedance can be obtained, together with lower bias current.



### electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I =$ otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T ‡				UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage		25°C				V
		Full range				
	$I_O = 1 \text{ mA to } 70 \text{ mA}$	Full range				
Input voltage regulation	$V_I =$	°				
	$V_I =$					
Ripple rejection	$V_I =$ $f = 120 \text{ Hz}$	25°C				dB
Output voltage regulation	$I_O = 1 \text{ mA to } 100 \text{ mA}$	°				
	$I_O = 1 \text{ mA to } 40 \text{ mA}$					
Output noise voltage	$f = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ kHz}$	25°C				$\mu\text{V}$
Dropout voltage		25°C				V
		25°C			6	
		125°C			5.5	
Bias current change	$V_I =$	range			1.5	
	$I_O = 1 \text{ mA to } 40 \text{ mA}$				0.1	

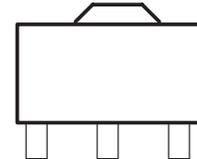
‡ Pulse-testing techniques maintain  $T_J$  as close to  $T_A$  as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- $\mu\text{F}$  capacitor across the input and a 0.1- $\mu\text{F}$  capacitor across the output. Full range for the 78L05 is  $T_J = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$



- 3-Terminal Regulators
- Output Current Up to 100 mA
- No External Components Required
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Direct Replacement for Motorola MC79L Series



TO-92



### description

This series of fixed negative-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used to control series pass elements to make high-current voltage-regulator circuits. One of these regulators can deliver up to 100 mA of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features make them essentially immune to overload. When used as a replacement for a zener-diode and resistor combination, these devices can provide ef current.

### electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I =$ otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T ‡				UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	o $I_O = 1 \text{ mA to } 70 \text{ mA}$	25°C				V
		Full range				
		Full range				
Input voltage regulation	$V_I =$	o				
	$V_I =$					
Ripple rejection	$V_I =$ f = 120 Hz	25°C				dB
Output voltage regulation	$I_O = 1 \text{ mA to } 100 \text{ mA}$	o			60	
	$I_O = 1 \text{ mA to } 40 \text{ mA}$				30	
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C				μV
Dropout voltage		25°C		1.7		V
		25°C				
		125°C				
Bias current change	$V_I =$	range			1.5	
	$I_O = 1 \text{ mA to } 40 \text{ mA}$				0.1	

‡ Pulse-testing techniques maintain  $T_J$  as close to  $T_A$  as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output. Full range for the 7  $J = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$

# Model CLSM-25

# Closed Loop Hall Effect

## Description

The Model CLSM-25 is a closed loop Hall effect current sensor that accurately measures DC and AC currents and provides electrical isolation between the current carrying conductor and the output of the sensor.

## Features

- Fast Response
- Small Size, Low Cost
- High Overload Capacity
- Moistureproof, Shockproof
- Measures DC, AC and pulsed currents

## Applications

- Variable speed drives for motors
- Welding Equipment
- Power supply Equipment
- Measure and control system
- Over current protection
- Protection of power semiconductors



## Electrical Specifications

### CLSM-25

Nominal current (I <sub>N</sub> )	±25A.t rms
Current range <sup>(2)</sup>	0 to ±50A.t (±200A.t Peak) <sup>(3)</sup>
Nominal output current (I <sub>m</sub> )	±25 mA
Turns Ratio	1-2-3-4-5/1000
Measuring Resistance (R <sub>m</sub> )	refer to table 1
Overall accuracy at 25°C	±0.5 % of I <sub>N</sub> Max.
Supply voltage (V <sub>dc</sub> )	±12 to ±18
Isolation voltage	5kV/50Hz/min.

## Accuracy-Dynamic Performance

Zero current offset at 25°C	< ±0.15 mA
Offset current temperature drift <sup>(1)</sup> (between 0°C and +70°C)	< ±0.3 mA
Linearity	better than ±0.1%
Response time	less than 1µs
di / dt	better than 50A/µs
Frequency range	DC to 200KHz (-3dB)

## General Information

Operating temperature	-40°C to +85°C
Storage temperature	-40°C to +90°C
Current consumption	10 mA + output current
Secondary Internal Resistance (at 25°C)	48Ω
Package	flame retardant plastic case, UL94V-0
Weight	22 grams
Mounting	Designed to mount directly on PCB via through hole connection pins
Output reference	To obtain a positive output on terminal M, input current must flow in the direction of the arrow (conventional flow)

## Notes:

1. Excludes zero current offset
2. The sensor offers a choice of 5 measuring rangess(refer to table 2 and mechanical dimensions)
3. With ±18V, R<sub>m</sub> <1Ω, at +25°C, for 3 seconds only.
4. Due to continuous process improvement, all specifications are subject to change without notice.



# Mechanical Dimensions

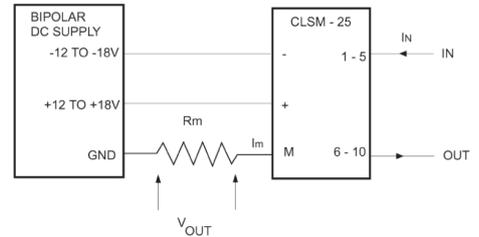
All dimensions are in inches (millimeters)

## Model CLSM-25

**Table 1 (Rm Max)**

At max input amp turns (peak)	25	50	100	200
Supply voltage	A.T.	A.T.	A.T.	A.T.
±12 V	300Ω	120Ω	30Ω	--
±15 V	420Ω	280Ω	60Ω	--
±18 V	540Ω	240Ω	90Ω	1Ω

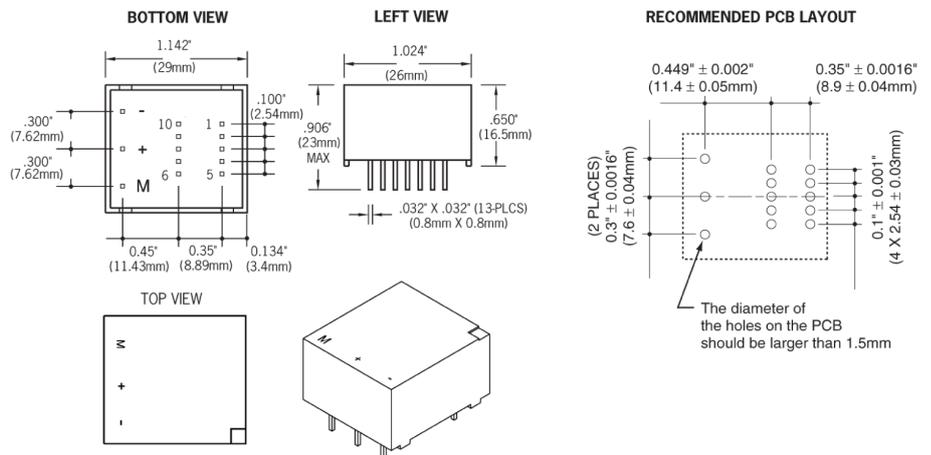
**Connection Schematic**



**Table 2 Primary Turns (Input Pins) Connection**

Primary Turns	Nom. Input Current (A)	Nom. Output Current (mA)	Turns Ratio	Input Resistance (mΩ)	Input Pins Connection
1	25	25	1/1000	0.1	
2	12	24	2/1000	0.7	
3	8	24	3/1000	1.5	
4	6	24	4/1000	2.3	
5	5	25	5/1000	2.6	

## Mechanical Dimensions



**Note:** Due to continuous process improvement, all specifications are subject to change without notice.

Pacific Scientific-OECO  
4607 SE International Way  
Milwaukie, OR 97222  
(503) 659-5999  
www.oeco.com

# IR2113

## HIGH AND LOW SIDE DRIVER

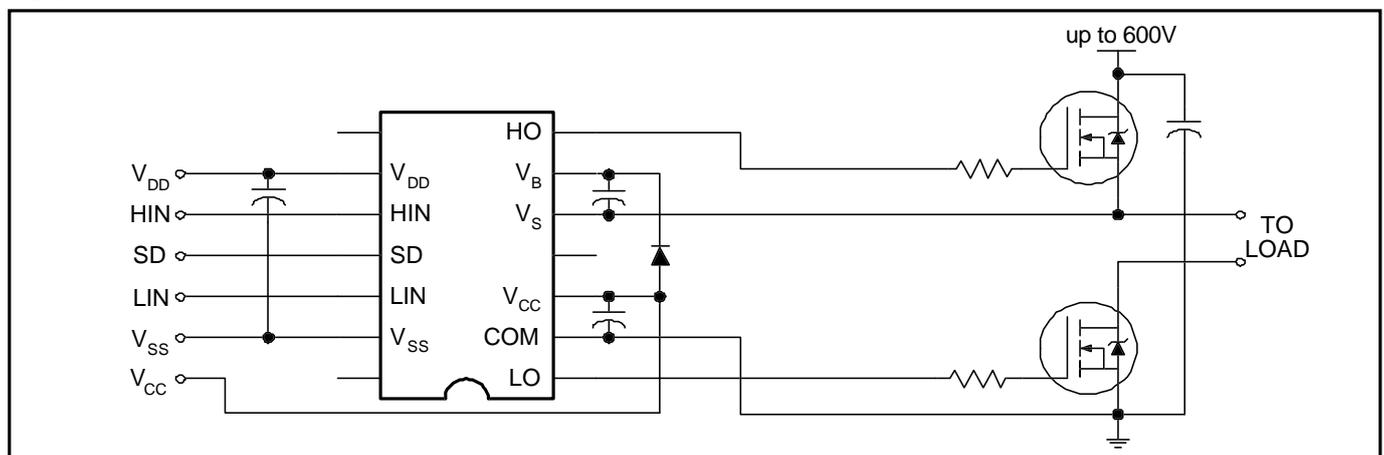
### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- Separate logic supply range from 5 to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

### Description

The IR2113 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

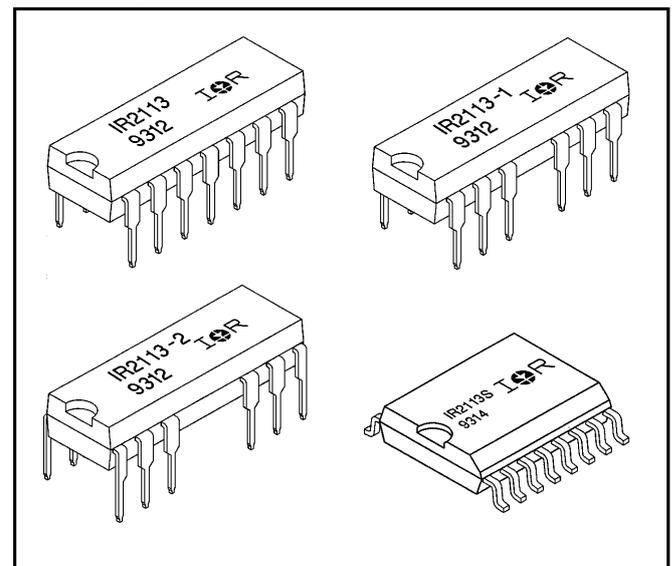
### Typical Connection



### Product Summary

<b>V<sub>OFFSET</sub></b>	<b>600V max.</b>
<b>I<sub>o+/-</sub></b>	<b>2A / 2A</b>
<b>V<sub>OUT</sub></b>	<b>10 - 20V</b>
<b>ton/off (typ.)</b>	<b>120 &amp; 94 ns</b>
<b>Delay Matching</b>	<b>10 ns</b>

### Packages



## Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V <sub>B</sub>	High Side Floating Supply Voltage	-0.3	625	V
V <sub>S</sub>	High Side Floating Supply Offset Voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>HO</sub>	High Side Floating Output Voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3	
V <sub>CC</sub>	Low Side Fixed Supply Voltage	-0.3	25	
V <sub>LO</sub>	Low Side Output Voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25	
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Offset Voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3	
V <sub>IN</sub>	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3	
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable Offset Supply Voltage Transient (Figure 2)	—	50	V/ns
P <sub>D</sub>	Package Power Dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C (14 Lead DIP)	—	1.6	W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	1.5	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	1.6	
	(16 Lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient (14 Lead DIP)	—	75	°C/W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	85	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	75	
	(16 Lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction Temperature	—	150	°C
T <sub>S</sub>	Storage Temperature	-55	150	
T <sub>L</sub>	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	300	

## Recommended Operating Conditions

The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figures 36 and 37.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V <sub>B</sub>	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High Side Floating Output Voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low Side Output Voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	V <sub>SS</sub> + 5	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Offset Voltage	-5	5	
V <sub>IN</sub>	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient Temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -5 to +600V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -5V to -V<sub>BS</sub>.

# Timer

# NE/SA/SE555/SE555C

## DESCRIPTION

The 555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays, or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA.

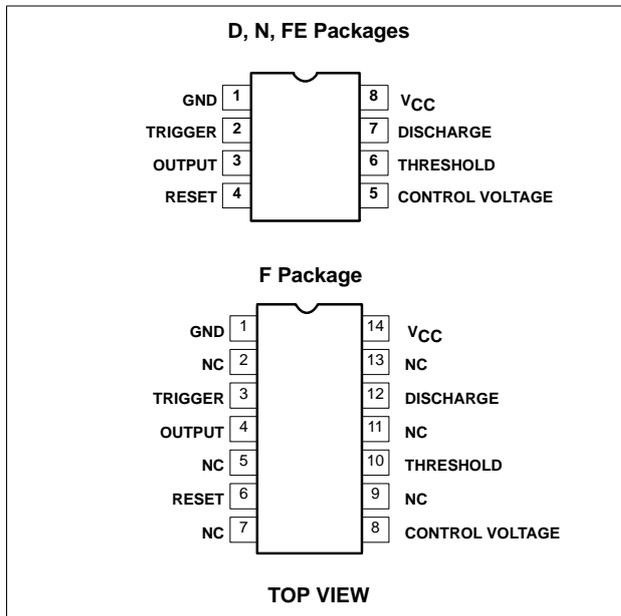
## FEATURES

- Turn-off time less than 2µs
- Max. operating frequency greater than 500kHz
- Timing from microseconds to hours
- Operates in both astable and monostable modes
- High output current
- Adjustable duty cycle
- TTL compatible
- Temperature stability of 0.005% per °C

## APPLICATIONS

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation

## PIN CONFIGURATIONS



## ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	NE555D	0174C
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE555N	0404B
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA555N	0404B
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +85°C	SA555D	0174C
8-Pin Hermetic Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555CFE	
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	SE555CN	0404B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	SE555N	0405B
8-Pin Hermetic Cerdip	-55°C to +125°C	SE555FE	
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	NE555F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555CF	0581B

TOSHIBA PHOTOCOUPLER GaAs IRED & PHOTO IC

# 6N137

DIGITAL LOGIC ISOLATION

TELE-COMMUNICATION

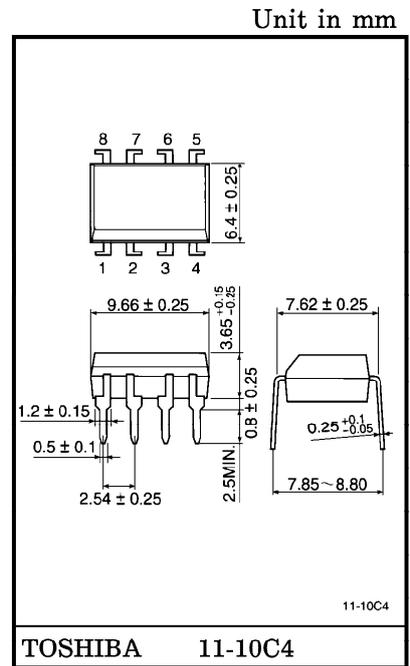
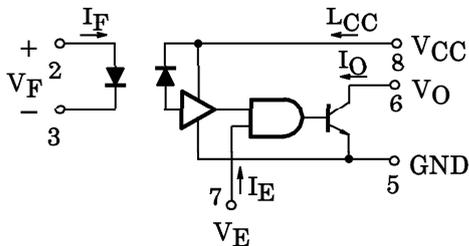
ANALOG DATA EQUIPMENT CONTROL

The TOSHIBA 6N137 consist of a high emitting diode and a one chip photo IC. This unit is 8-lead DIP package.

- LSTTL/TTL Compatible : 5V Supply
- Ultra High Speed : 10MBd
- Guaranteed Performance Over Temperature : 0°C to 70°C
- High Isolation Voltage : 2500Vrms Min.
- UL Recognized : UL1577, File No. E67349

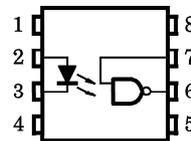
TRUTH TABLE

INPUT	ENABLE	OUTPUT
H	H	L
L	H	H
H	L	H
L	L	H



Weight : 0.54g

PIN CONFIGURATIONS (Top view)



- 1 : N.C.
- 2 : ANODE
- 3 : CATHODE
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : OUTPUT (OPEN COLLECTOR)
- 7 : ENABLE
- 8 : VCC

961001EBC2

● TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.

● Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.

● The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.

● The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.

● The information contained herein is subject to change without notice.

## MAXIMUM RATINGS

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
LED	Forward Current	$I_F$	20	mA
	Pulse Forward Current (Note 1)	$I_{FP}$	40	mA
	Reverse Voltage	$V_R$	5	V
DETECTOR	Output Current	$I_O$	50	mA
	Output Voltage	$V_O$	7	V
	Supply Voltage (1 minute Maximum)	$V_{CC}$	7	V
	Enable Input Voltage (Not to exceed $V_{CC}$ by More than 500mV)	$V_{EH}$	5.5	V
	Output Collector Power Dissipation	$P_O$	85	mW
Operating Temperature Range		$T_{opr}$	0~70	°C
Storage Temperature Range		$T_{stg}$	-55~125	°C
Lead Solder Temperature (10s) (Note 2)		$T_{sol}$	260	°C

(Note 1) 50% duty cycle, 1ms Pulse width.

(Note 2) Soldering portion of lead : up to 2mm from the body of the device.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Input Current, Low Level Each Channel	$I_{FL}$	0	250	$\mu A$
Input Current, High Level Each Channel	$I_{FH}$	7	20	mA
High Level Enable Voltage	$V_{EH}$	2.0	$V_{CC}$	V
Low Level Enable Voltage (Output High)	$V_{EL}$	0	0.8	V
Supply Voltage, Output	$V_{CC}$	4.5	5.5	V
Fan Out (TTL LOAD)	N	—	8	—
Operating Temperature	$T_a$	0	70	°C

## PRECAUTION

Please be careful of the followings.

A ceramic capacitor (0.1 $\mu F$ ) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

# Annexe D

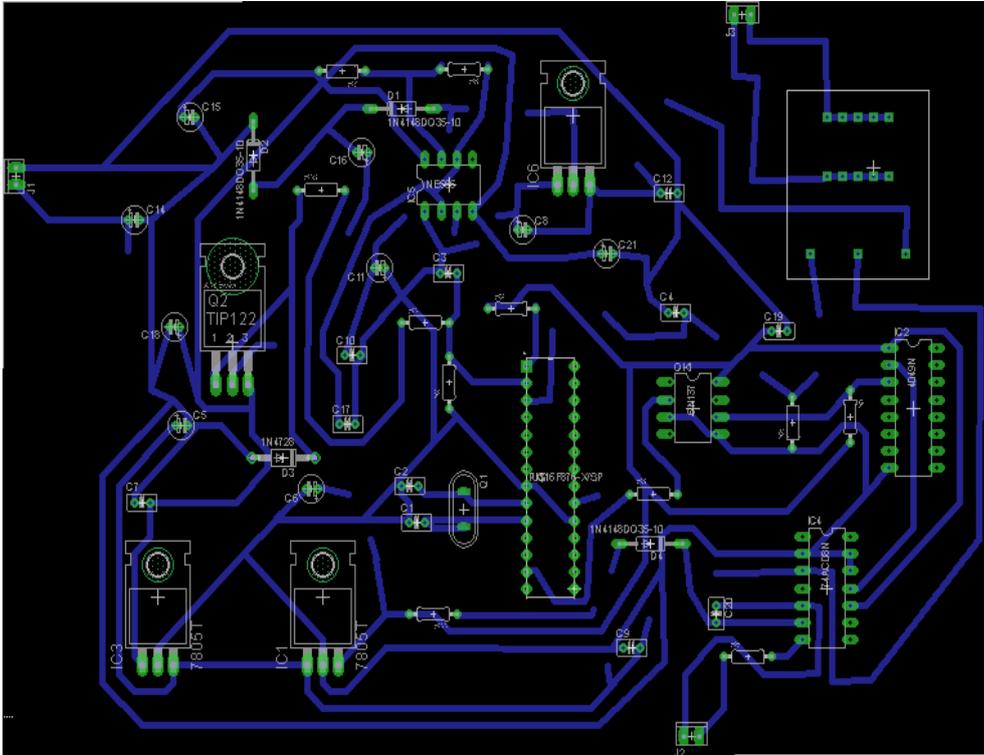


FIGURE 23 – Circuit imprimé