

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Energie et Environnement

Présenté par :

M.BELLAGUE Abderrahmene

M. MOUSSA Ishak

Thème

Réalisation d'un hacheur Boost

Soutenu publiquement, le 29 / 09 /2020 , devant le jury composé de :

M.G. ABDELLAOUI	MCB	ESSA. Tlemcen	Président
M ^{me} .S.BOURI	MCA	UAB Tlemcen	Directeur de mémoire
M ^{me} .I.BOUSMAHA	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M.A.TAHOUR	Professeur	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers, je cite :

Mes meilleurs parents, que dieu les garde et les protège.

Mes sœurs : Amani, Ihcene et Imene.

Mon grand père et ma grande mère.

Mes oncles et tantes ainsi que leurs épouses, époux et enfants.

Toutes mes amies, particulièrement : Abdelghani, Abdelmalek, Bilal,

Abdelkader, Abderrahmane et Acheraf.

Toute la promotion 2017/2020 de l'école supérieure de science appliquée de

Tlemcen.

Abderrahmene BELLAGUE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers, je cite :

Mes chers parents, papa AZZEDINE et maman MALIKA,

que dieu les garde et les protège.

Mon frère Housseem.

Mes sœurs Lamis et Kods, que j'aime beaucoup.

Et Tous mes amis.

I.MOUSSA

Remerciement

Nous profitons de cette opportunité pour remercier en premier lieu DIEU tout puissant de nous avoir accordé le courage, la patience et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Madame BOURI Siham, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions très chaleureusement tous les membres de jury : M. ABDELLAOUI Ghouti, Mme BOUSMAHA Imene et M. TAHOUR Ahmed pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de notre travail.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions répondu à nos questions durant notre recherche.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à élaborer et réaliser ce modeste mémoire.

Résumé

Notre projet consiste à réaliser un hacheur parallèle (Boost) alimenté par un générateur photovoltaïque en utilisant le logiciel ISIS Proteus Professional. Afin d'obtenir la puissance maximale du générateur photovoltaïque, une commande MPPT a été développée en utilisant l'algorithme P&O. Pour implémenter l'algorithme de la méthode perturbation et observation, on a introduit un arduino Uno qui a pour but de relier la programmation avec le circuit d'hacheur boost.

Mots-Clés : Hacheur boost ; MPPT ; P&O ; ISIS Proteus Professional.

Abstract

Our project consists of producing a parallel chopper (Boost) powered by a photovoltaic generator using ISIS Proteus Professional software. In order to obtain the maximum power from the photovoltaic generator, an MPPT control has been developed using the P&O algorithm. To implement the algorithm of the perturbation and observation method, we introduced an arduino Uno that aims to link the programming with the boost chopper circuit.

Keywords: Parallel chopper (boost); MPPT; P&O; ISIS Proteus Professional.

Table des figures

Chapitre I :	
Fig.I.1 – Schéma de thyristor.	02
Fig.I.2 – Propriété et limite approximative de thyristor.	02
Fig.I.3 – Schéma de thyristor GTO	03
Fig.I.4 – Propriété et limite approximative de thyristor GTO	03
Fig.I.5 – Schéma de transistor IGBT	03
Fig.I.6 – Propriété et limite approximative de transistor IGBT.	04
Fig.I.7 – Schéma de transistor BJT.	04
Fig.I.8 – Propriété et limite approximative de transistor BJT.	05
Fig.I.9 – Schéma de transistor MOSFET.	05
Fig.I.10 – Propriété et limite approximative de transistor MOSFET.	05
Fig. I.11 : les deux quadrants de fonctionnement	06
Fig. I.12 : Schéma électrique d'un convertisseur à deux quadrants (la charge est un moteur à courant continu)	07
Fig. I.13 : les quatre quadrants de fonctionnement	07
Fig. I.14 : Schéma électrique d'un convertisseur à quatre quadrants (la charge est un moteur à courant continu)	08
Fig. I.15 : Principe de changement de rotation d'un MCC	08
Fig. I.16 : Schéma électrique d'un hacheur boost	09
Fig. I.17 : le cas numéro 1 (S est ON)	10
Fig.I.18 Ondulation de courant continu :	11
Fig. I.19 : Le cas numéro 2 (S est OFF)	12
Fig.I.20 : Forme d'ondes des principales grandeurs d'un hacheur parallèle	13
Fig.I.21 : Forme d'onde du courant de la charge	14
Chapitre 2	
Fig.II.1 : Influence de l'éclairement sur le MPP	16
Fig.II.2 : Influence de température sur le MPP.	17
Fig.II.3 : l'algorithme de la méthode de P&O.	19
Fig.II.4 : l'algorithme de la méthode de tension de référence constante.	20
Fig.II.5 : l'algorithme de la méthode d'incrément de la conductance	22
Fig.II.6 : cellule de pilote	23
Fig.II.7 : algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension, V_{co}	24
Fig.II.8 : Algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant de court-circuit, I_{cc}	25
Chapitre 3	
Fig.III.1 Présentation de la carte Arduino Uno	27
Fig.III.2 Présentation de Capteur de courant INA169	28
Fig.III.3 Diviseur de tension	29
Fig.III.4. Circuit d'hacheur boost avec la commande P&O	30
Fig.III.5. Les différentes irradiations (1 ^{er} essai)	30
Fig.III.6. la tension délivrée par le PV (1 ^{er} essai)	31
Fig.III.7. Le courant délivré par le PV (1 ^{er} essai)	31
Fig.III.8. la tension aux bornes de la charge (1 ^{er} essai)	32
Fig.III.9. le courant aux bornes de la charge (1 ^{er} essai)	32
Fig.III.10. L'impulsion sur la gâchette (1 ^{er} essai)	33
Fig.III.11. Les différentes irradiations (2 ^{ème} essai)	33
Fig.III.12. La tension délivrée par le PV (2 ^{ème} essai)	34

Fig.III.13. Le courant délivrée par le PV (2 ^{ème} essai)	34
Fig.III.14. La tension aux bornes de la charge (2 ^{ème} essai)	35
Fig.III.15. Le courant aux bornes de la charge (2 ^{ème} essai)	35
Fig.III.16. L'impulsion sur la gâchette (2 ^{ème} essai)	36
Fig.III.17. Circuit d'hacheur boost avec la commande incrémentation de l'inductance	36
Fig.III.18. Les différentes irradiations (1 ^{er} essai)	37
Fig.III.19. la tension délivrée par le PV (1 ^{er} essai)	37
Fig.III.20. Le courant délivré par le PV (1 ^{er} essai)	38
Fig.III.21. la tension aux bornes de la charge (1 ^{er} essai)	38
Fig.III.22. le courant aux bornes de la charge (1 ^{er} essai)	39
Fig.III.23. L'impulsion sur la gâchette (1 ^{er} essai)	39
Fig.III.24. Les différentes irradiations (2 ^{ème} essai)	40
Fig.III.25. La tension délivrée par le PV (2 ^{ème} essai)	40
Fig.III.26. Le courant délivrée par le PV (2 ^{ème} essai)	41
Fig.III.27. La tension aux bornes de la charge (2 ^{ème} essai)	41
Fig.III.28. Le courant aux bornes de la charge (2 ^{ème} essai)	42
Fig.III.29. L'impulsion sur la gâchette (2 ^{ème} essai)	42

Table des matières

.....	1
Pour l'obtention du diplôme de Master.....	1
Mémoire de fin d'étude	1
Résumé	2
Abstract.....	2
Table des figures	3
Table des matières	5
Introduction Générale	7
Chapitre I : Notions générales sur l'Hacheur.....	3
I.1. Introduction.....	4
I.2. Les éléments constitutifs nécessaires pour réaliser un hacheur	4
I.2.2. Thyristor GTO	5
I.2.3. Transistor IGBT	5
I.2.4. Transistor BJT.....	6
I.2.5. Transistor MOSFET.....	7
I.3. Applications de l'hacheur	8
I.4. Différents types d'hacheurs	8
I.4.1. Hacheur non réversible.....	8
I.4.2. Hacheur réversible (hacheur à quatre quadrants).....	9
I.4.2.1. Changement du sens de rotation.....	10
I.5. Hacheur boost	11
I.5.1. Etude d'un hacheur boost	11
I.5.1.1. Schéma électrique d'un hacheur boost	12
I.5.1.2. Le rapport cyclique (Duty cycle).....	12
I.5.1.3. Le premier cas	12
Ondulation de courant continu.....	13
I.5.1.4. Le deuxième cas $\alpha T < t < T$: S est off.....	13
I.6. Conclusion	16
Chapitre II : Présentation des commandes MPPT.....	17
II.1. Introduction	18
II.2. Influence de la température et l'éclairement sur le MPP	18
II.3. Suiveur de point de fonctionnement maximal (maximum power point tracker MPPT).....	19
II.4. Les algorithmes utilisés pour le control de MPPT	19
II.4.1. Première catégorie	20

II.4.1.1. La méthode de perturbation et observation (P&O)	20
II.4.1.2. La méthode de tension de référence constante	21
II.4.1.3. La méthode d'incrémentation de la conductance	22
II.4.2. Deuxième catégorie	24
II.4.2.1. Algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension V_{co}	24
II.4.2.2. Algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant de court-circuit (I_{cc})	25
II.4.3. Etude comparative	26
II.5. Conclusion	26
Chapitre III : simulation du hacheur boost	27
III.1. Introduction	28
III.2. Calcul et choix des composants du convertisseur	28
III.2.1. Bloc commande	28
III.2.2. Bloc de mesure	28
III.2.2.1. Capteurs	28
III.2.3. Bloc de puissance	30
III.2.3.1. Choix du Transistor	30
III.2.3.2 Choix de la Diode	30
III.2.3.3 Choix de la Bobine	30
III.2.3.4. Choix du Condensateur	31
III.3. Simulation et résultats	31
III.3.1	31
III.3.1.1 Le	32
III.3.1.2 Le	35
III.3.2 La commande d'incrémentation de la conductance IncCond	39
III.3.2.1 Le premier essai	39
III.3.2.2 Le deuxième essai	43
III.4. Conclusion	46
Conclusion Générale	47
Bibliographie	49
Annexes	51
Arduino Uno	52
Choix du Transistor	60
Choix de la Diode	63
La Bobine	64
Les Condensateurs	65

Introduction Générale

Introduction Générale

Les sources d'énergie conventionnelles basées sur le pétrole, le charbon et le gaz naturel sont des moteurs très efficaces du progrès économique, mais en même temps nuisibles à l'environnement et à la santé humaine. En outre, elles ont tendance à être cycliques par nature, en raison des effets de l'oligopole dans la production et la distribution. Ces sources d'énergie traditionnelles basées sur les combustibles fossiles sont confrontées à une pression croissante sur de nombreux fronts environnementaux, le défi le plus sérieux auquel sera confrontée l'utilisation future du charbon étant peut-être les objectifs de réduction des gaz à effet de serre (GES) fixés par le protocole de Kyoto.

Le potentiel des sources d'énergie renouvelables est énorme, elles peuvent en principe répondre à plusieurs fois la demande énergétique mondiale. Les sources d'énergie renouvelables telles que la biomasse, l'énergie éolienne, solaire, hydroélectrique et géothermique peuvent fournir des services énergétiques durables. Vu que les coûts des systèmes d'énergie solaire et éolienne ont considérablement baissé au cours des 30 dernières années et continuent de baisser, la transition vers des systèmes énergétiques basés sur les énergies renouvelables semble de plus en plus probable, de plus, le prix des sources fossiles comme le gaz et le pétrole continu d'augmenter.

L'énergie solaire est parmi les énergies renouvelables qui connaissent un développement et une amélioration rapide dans les deux dernières décennies. Comme le rayonnement solaire est répartie sur toute la planète, l'utilisation des installations des systèmes photovoltaïques semble un très bon moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie photovoltaïque.

L'énergie photovoltaïque désigne la transformation d'une source d'énergie lumineuse en électricité et son utilisation. Elle est à distinguer de l'énergie solaire thermique, qui est une autre technique destinée au chauffage de l'eau par conversion directe de l'énergie solaire en calories à l'aide de capteurs plans.

Le panneau photovoltaïque est l'élément de base d'une installation photovoltaïque, il est constitué de cellules solaires qui servent à convertir l'énergie solaire lumineuse en électricité. Chaque panneau a des caractéristiques électriques données par le constructeur, ces caractéristiques sont non linéaires représentées sous forme des courbes I-V sous une irradiation et température bien précises. Chaque panneau a un point de fonctionnement optimal appelé MPP (maximum power point).

Le développement dans ce domaine se concentre dans les méthodes de recherches d'un point de fonctionnement optimum (MPP) dans un panneau donné, telle que la méthode de perturbation et observation et la méthode d'incrémentement de l'inductance appelées MPPT (Maximum Power Point Tracker). Ces méthodes sont utilisées pour la commande des convertisseurs DC/DC comme le hacheur survolteur (boost) et le hacheur dévolteur (buck).

Dans ce mémoire, on va réaliser un hacheur boost commandé par la technique perturbation et observation (P&O) en utilisant un Arduino Uno. La structure de notre mémoire sera divisée en trois chapitres représentés comme suit :

- Le premier chapitre portera sur l'étude d'hacheur et ses différents types, plus précisément le hacheur boost.
- Le deuxième chapitre portera sur l'étude de la commande MPPT et ses différentes techniques.

Introduction Générale

- Le troisième chapitre portera sur la simulation sous Isis Proteus et le choix des composants utilisés et une discussion des résultats obtenu.

Chapitre I : Notions générales sur l'Hacheur

I.1. Introduction

L'hacheur est un convertisseur pouvant transporter une puissance à courant continu d'une tension à courant continu supérieure à une tension à courant continu inférieure, ou vice versa.

Le présent chapitre traite de la conversion DC/DC, qui a pour but d'assurer la fluence d'énergie entre une source de tension continue et une source de courant continu. Le convertisseur statique étudié est l'hacheur.

I.2. Les éléments constitutifs nécessaires pour réaliser un hacheur

Un thyristor à commutation forcée peut être utilisé pour réaliser un hacheur, mais de préférence et pour minimiser le coût de l'ajout d'un circuit auxiliaire afin de bloquer le thyristor, on utilise des thyristors GTO « Gate Turn-Off », et des transistors BJT « Bipolar Junction Transistor », MOSFET « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » et IGBT « Insulated Gate Bipolar Transistor ». L'initiation ou le blocage de ces composants se fait tout simplement en appliquant une tension appropriée sur la gâchette.

Il est nécessaire de décrire les principales propriétés de ces semiconducteurs.

I.2.1. Le thyristor

A l'état bloqué ($I_{AK} = 0 A$) le thyristor peut supporter des tensions E_{AK} positives et négatives jusqu'aux limites indiquées ($\pm 4KV$).

La tension E_{AK} est d'environ 2V, et le courant maximal supporté par le thyristor est 3KA. La conduction est initiée en injectant un courant positif dans la gâchette. La fréquence maximale est égale à 2KHz.

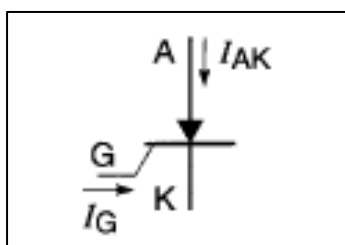


Fig.I.1 : Schéma de thyristor.

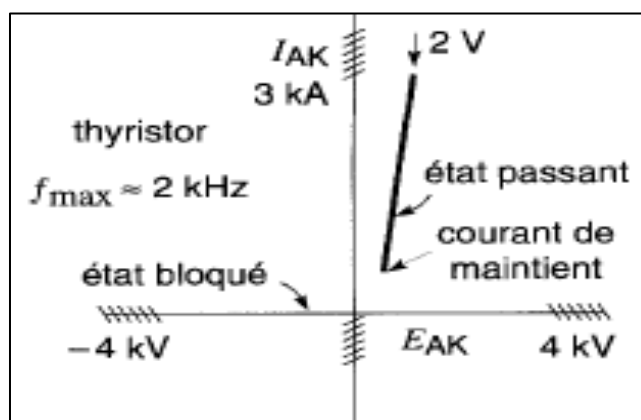


Fig.I.2 – Propriétés et limites approximatives du thyristor.

I.2.2. Thyristor GTO

Thyristor GTO peut supporter que des tensions E_{AK} positives, la chute de tension est environ 3V. La conduction est initiée en injectant un courant positif dans la gâchette. La fréquence maximale est égale à 500Hz.

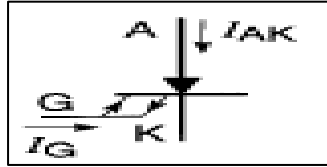


Fig.I.3 – Schéma du thyristor GTO.

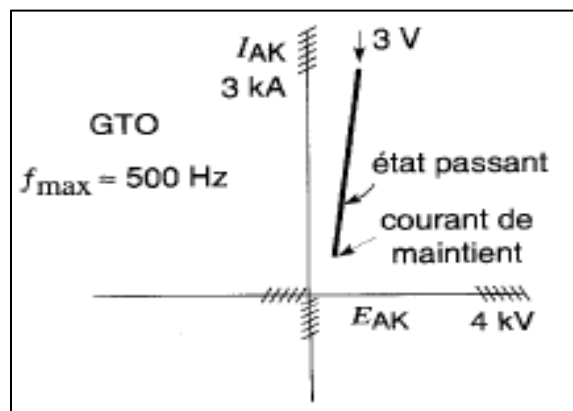


Fig.I.4 – Propriété et limites approximatives du thyristor GTO.

I.2.3. Transistor IGBT

La conduction dans le transistor IGBT est amorcée ou désamorcée en appliquant une tension appropriée sur la gâchette. Les trois bornes sont nommées collecteur C, émetteur E et base B. La fréquence maximale est égale à 50KHz.

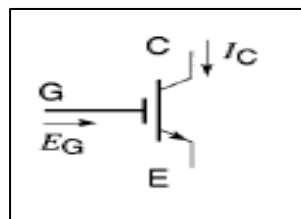


Fig.I.5 – Schéma du transistor IGBT.

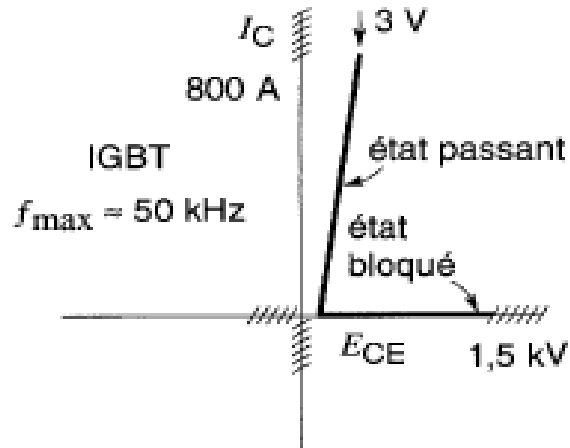


Fig.I.6 – Propriété et limites approximatives du transistor IGBT.

I.2.4. Transistor BJT

Il possède trois bornes appelées respectivement collecteur C, émetteur E et base B. Pour faire circuler un courant du collecteur à l'émetteur, il faut circuler un faible courant dans la base.

Les BJT peuvent supporter des courants de quelques centaines d'ampère sous des tensions E_{CE} de 1000V. Ils ne peuvent pas tolérer des tensions négatives. La fréquence maximale égale à 20KHz.

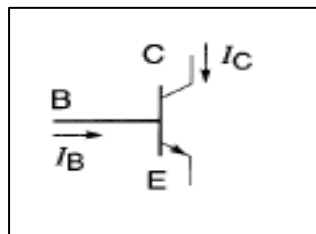


Fig.I.7 – Schéma du transistor BJT.

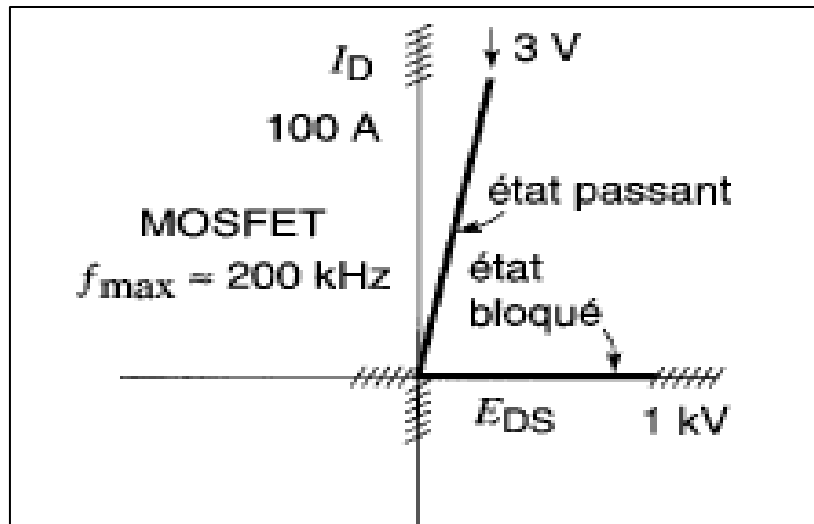


Fig.I.10 – Propriété et limites approximatives du transistor MOSFET.

I.3. Applications de l'hacheur

Ces convertisseurs électroniques statiques sont utilisés dans les locomotives, les métros et les autobus électriques. On trouve aussi dans le domaine industriel des hacheurs pour varier la vitesse des moteurs à courant continu et le freinage par récupération.

En générale, on utilise les circuits hacheurs pour alimenter :

- Les ordinateurs
- Les électroniques commerciales
- Les appareils d'instrumentation et de mesures.

I.4. Différents types d'hacheurs

I.4.1. Hacheur non réversible

Il s'appelle aussi hacheur à deux quadrants, parce que ce type de convertisseur fonctionne dans le plan $V-I$. La figure si dessous montre les deux quadrants dont lesquels ce type d'hacheur fonctionne.

Chapitre I : Notions générales sur le Hacheur

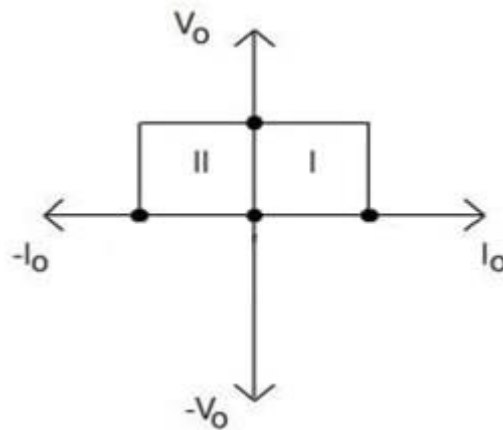


Fig. I.11 : les deux quadrants de fonctionnement.

La valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge est toujours positive, par contre, la valeur moyenne du courant de la charge est positive ou négative. Donc, la transformation de la puissance peut aller de la source vers la charge ou bien l'inverse. Cet hacheur est utilisé pour la motorisation et le freinage par récupération des moteurs à courant continu.

On s'aperçoit que le hacheur boost est un simple cas particulier du hacheur à deux quadrants, sauf qu'il n'exploite qu'un seul quadrant dans le plan V-I, c'est-à-dire, que la puissance circule toujours de la tension inférieure vers la tension supérieure.

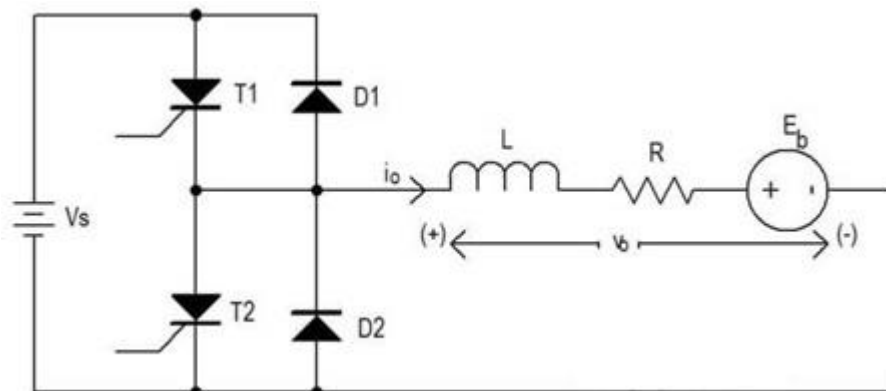


Fig. I.12 : Schéma électrique d'un convertisseur à deux quadrants (la charge est un moteur à courant continu)

I.4.2. Hacheur réversible (hacheur à quatre quadrants)

L'hacheur à deux quadrants peut seulement alimenter des charges dont la polarité est fixe. Afin de contourner cette limitation on fait appel à un hacheur à quatre quadrants. Dans de nombreux systèmes, il est nécessaire de pouvoir commander le sens de rotation ainsi que la vitesse d'un moteur à courant continu (par exemple, dans le laboratoire, le moteur du sécateur électronique, le pilote automatique ou les moteurs à courant continu).

Chapitre I : Notions générales sur le Hacheur

Ce type d'hacheur est composé de deux hacheurs conventionnels à deux quadrants fonctionnant à la même fréquence. La figure ci dessous montre les quatre quadrants dans ce type d'hacheur fonctionne.

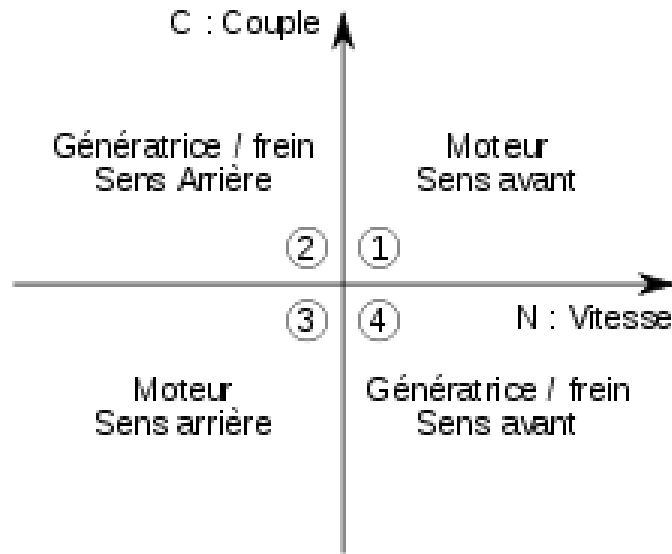


Fig. I.13 : les quatre quadrants de fonctionnement.

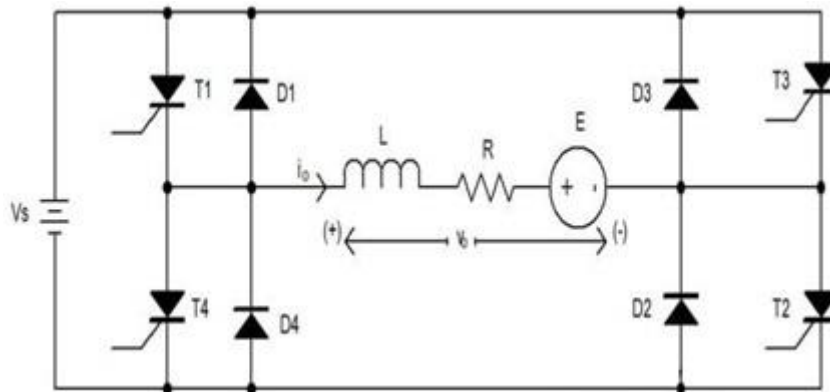


Fig. I.14 : Schéma électrique d'un convertisseur à quatre quadrants (la charge est un moteur à courant continu).

I.4.2.1. Changement du sens de rotation

Dans le cas de la figure qui représente la charge comme un moteur à courant continu, on va voir comment changer la rotation du sens du moteur.

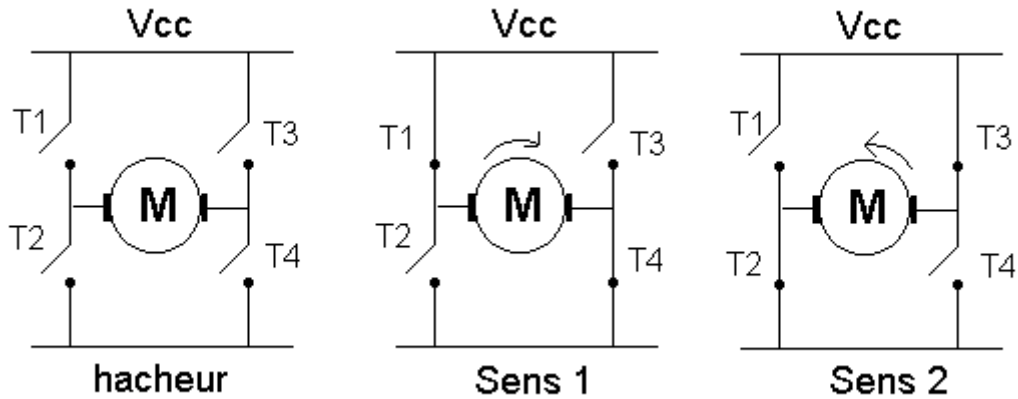


Fig. I.15 : Principe de changement de rotation d'un MCC.

Quatre transistors, symbolisés ici par des interrupteurs T1, T2, T3 et T4, sont montés en pont et permettent de commander le sens de rotation du moteur :

- Lorsque T1 et T4 sont fermés (saturés), le moteur tourne dans un sens (sens 1).
- Lorsque T2 et T3 sont fermés, le moteur va tourner dans l'autre sens (sens 2). [1]

I.5. Hacheur boost

Ce hacheur s'appelle aussi hacheur parallèle, c'est un convertisseur statique qui permet d'obtenir une tension de sortie V_s de valeur supérieure à une tension d'entrée V_{in} inférieure. On utilise ce type de convertisseur pour les applications des énergies renouvelables comme le photovoltaïque, et aussi pour les automobiles électriques dans le but de diminuer le poids de véhicule en diminuant le nombre d'accumulateur en les remplaçant par un hacheur boost.

I.5.1. Etude d'un hacheur boost

L'étude de ce type de convertisseur nous permet de bien comprendre leur comportement et comment obtenons-nous ce changement de tension. Mais avant l'étude, il est indispensable de mentionner les hypothèses suivantes :

1. Le convertisseur fonctionne en régime permanent, c'est-à-dire :

$$\langle V_l \rangle = 0 \quad i_l(0) = i_l(T)$$

$$\langle I_c \rangle = 0 \quad v_c(0) = v_{cl}(T)$$

2. Le convertisseur fonctionne en mode de conduction continu, c'est-à-dire :

$$I_{min} > 0 \quad (I_{min} \neq 0)$$

3. La tension aux bornes du condensateur est très élevée, pour mettre la tension de sortie constante.
4. Tous les composants sont idéals.
5. Les transitoires des commutations des intercepteurs sont négligés.

I.5.1.1. Schéma électrique d'un hacheur boost

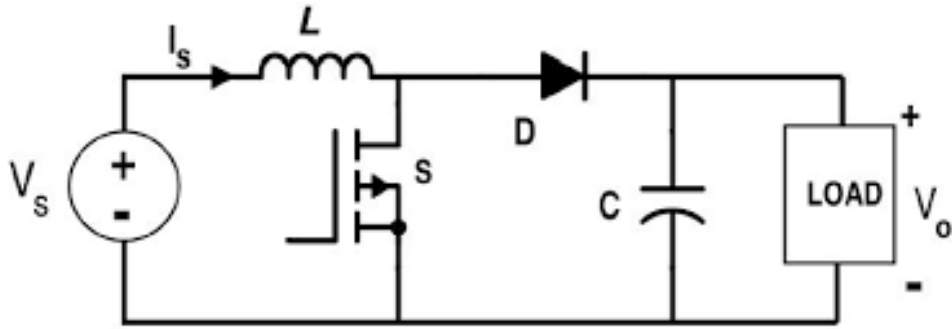


Fig. I.16 : Schéma électrique d'un hacheur boost.

I.5.1.2. Le rapport cyclique (Duty cycle)

Le rapport cyclique α est le rapport entre le temps où l'interrupteur S est à l'état passant (S ON) et la période comme le montre la relation suivante :

$$\alpha = \frac{\text{le temps où l'interrupteurs est à l'état passant}}{\text{la période}} = \frac{T(\text{ON})}{T}$$

Avec :

$$0 < \alpha < 1.$$

I.5.1.3. Le premier cas

$0 < t < \alpha T$: S est ON

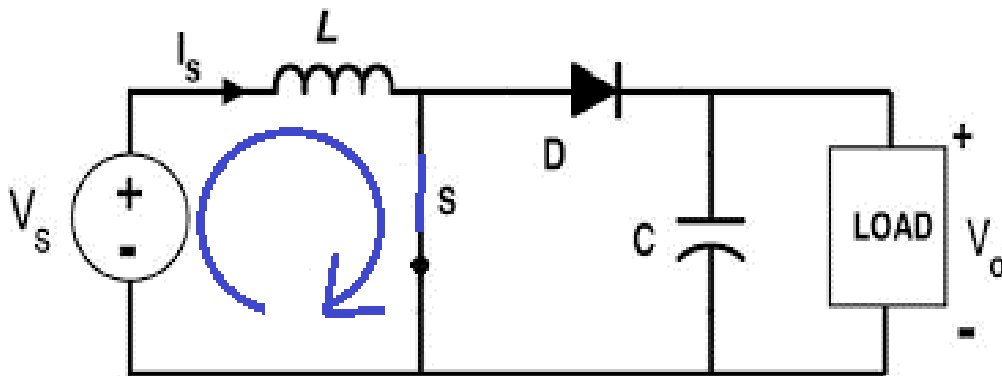


Fig. I.17 : le premier cas (S est ON).

$V_D = -V_0 \Rightarrow$ La diode est off.

$$V_L = V_s = L \frac{di(t)}{dt} > 0$$

$$i_L(t) = I_{min} + \frac{V_s \cdot t}{L}$$

Ondulation de courant continu

Comme l'inductance est soumise à une tension variable, le courant qu'elle porte varie aussi. On l'a défini par Δi_L , cette variation est donnée par le nombre de volts-secondes emmagasiné ou perdu durant un intervalle, divisé par la valeur de l'inductance.

$$\Delta I_L = I_{max} - I_{min} = \frac{V_{in} \alpha T}{L} \quad (I.2)$$

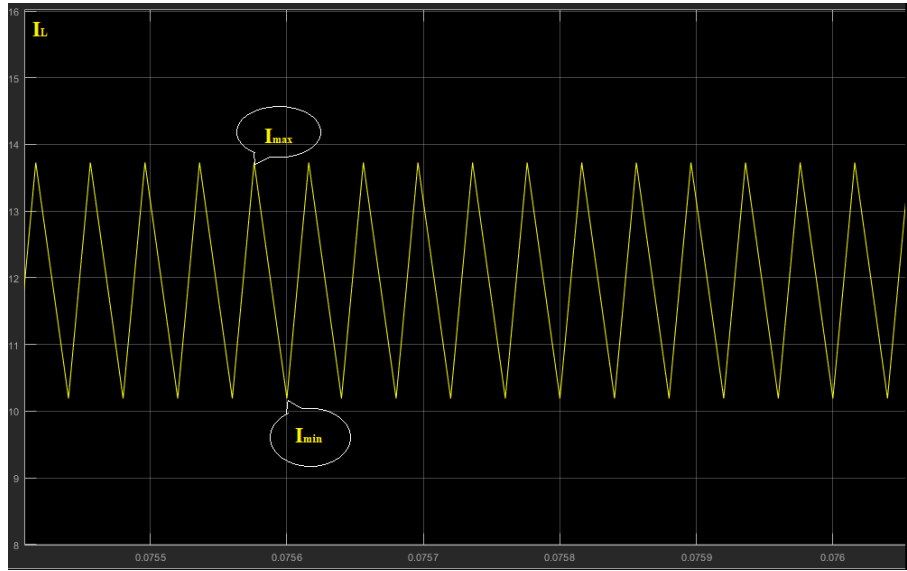


Fig. I.19 : Ondulation du courant.

**I.5.1.4. Le deuxième cas
 $\alpha T < t < T$: S est off**

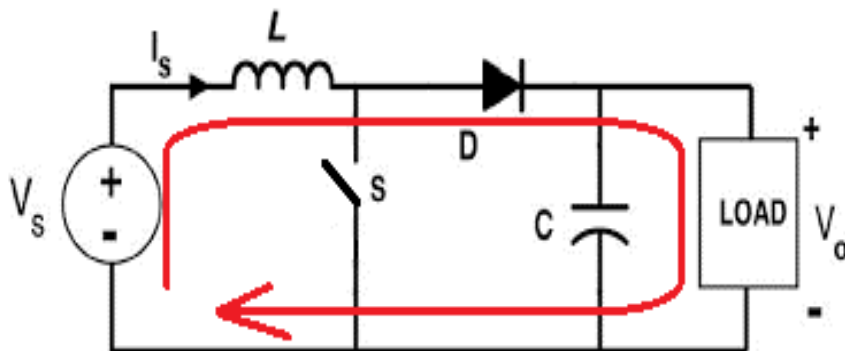


Fig. I.20 : Le deuxième cas (S est OFF).

Chapitre I : Notions générales sur le Hacheur

$I_L \neq 0$: l'inducteur force la diode pour passer le courant, donc la diode est ON.

$$V_L = V_s - V_o < 0$$

$$V_L = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$I_L(t) = I_{max} + \frac{V_s - V_o(1 - \alpha)t}{L}$$

A partir de l'hypothèse N° 2, on trouve l'expression du courant minimal de l'inductance :

$$I_{min} = i_L(T) = I_{max} + \frac{(V_s - V_o)(T - \alpha T)}{L} \quad (I.3)$$

$$\Delta I_L = I_{max} - I_{min} = \frac{(-V_s + V_o)(T - \alpha T)}{L} \quad (I.4)$$

De la relation (I.4), on peut dire que tant que la valeur de ΔI_L est toujours positive, cela implique que :

$$V_o - V_s > 0$$

Donc :

$$V_o > V_s \quad (I.5)$$

On fait l'égalité entre les relations (I.2) et (I.4) :

$$\frac{V_s \cdot \alpha T}{L} = \frac{(-V_s + V_o)(T - \alpha T)}{L}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{(1 - \alpha)} \quad (I.6)$$

Différentes formes d'ondes

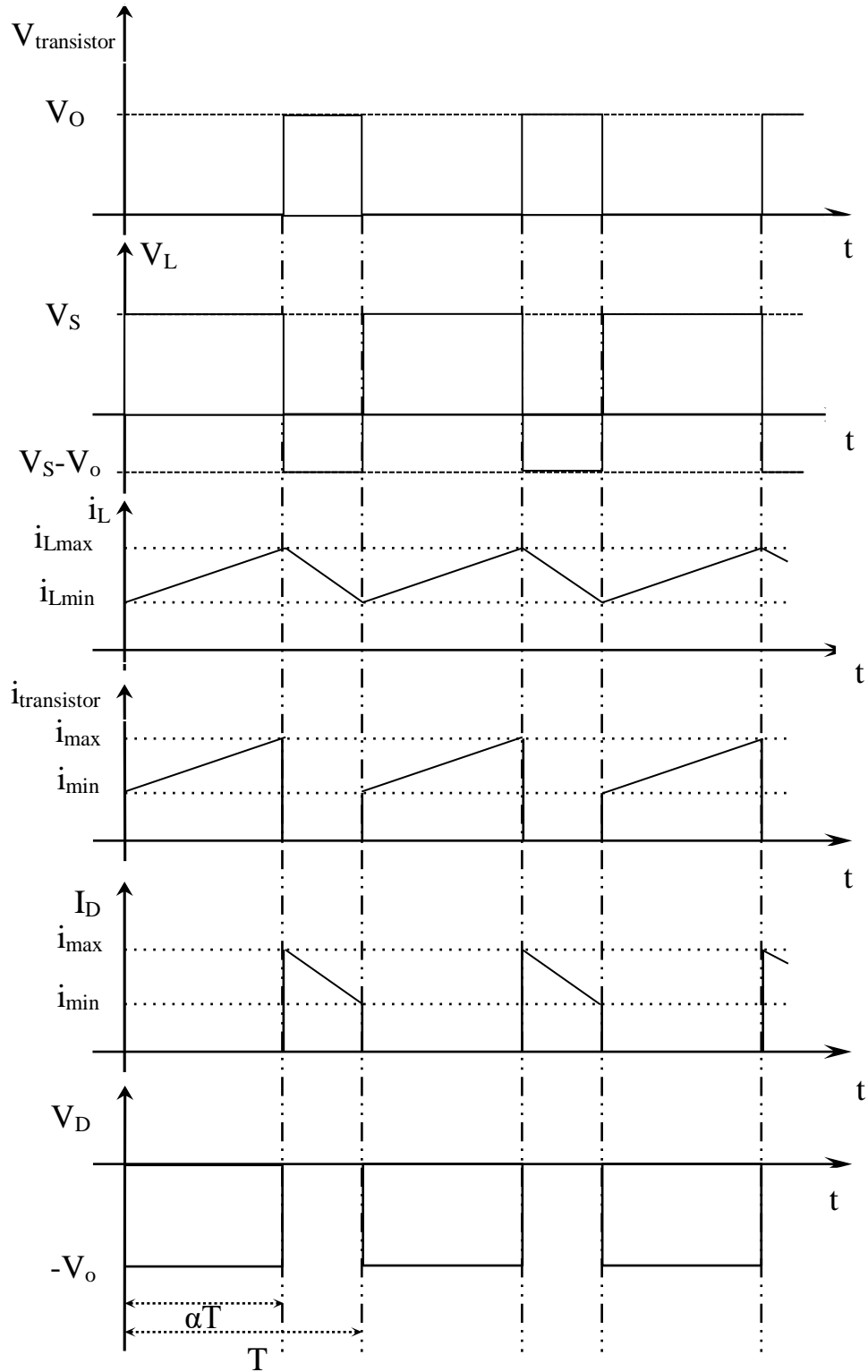


Fig. I.20: Forme d'ondes des principales grandeurs d'un hacheur parallèle.

Forme d'onde du courant et de tension aux bornes de la charge

le courant de la charge est le courant sortant de la diode, la figure suivante illustre la tension aux bornes de la charge.

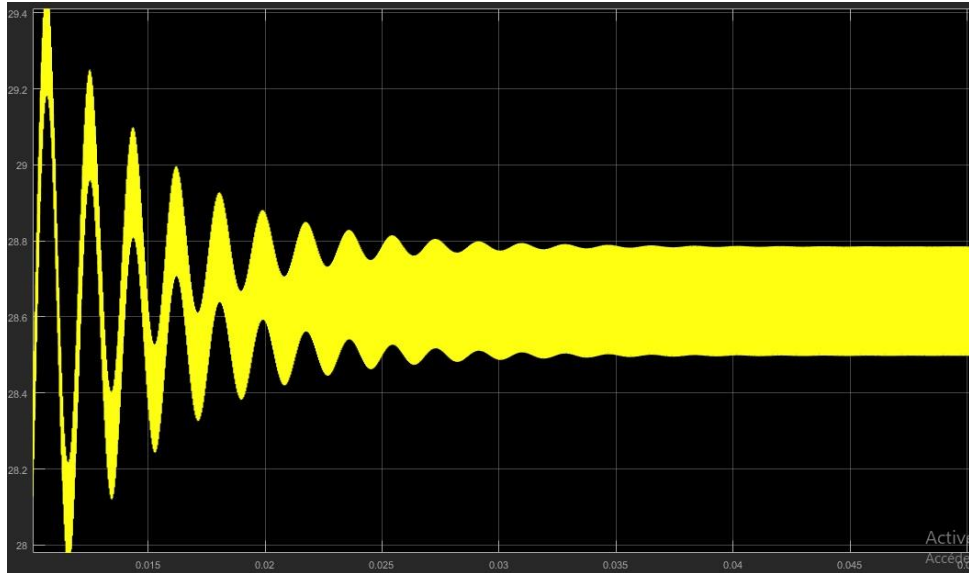


Fig. I.23 : Forme d'onde du courant et de tension au borne de la charge.

I.6. Conclusion

On a vu dans ce chapitre l'étude d'un des types d'hacheurs utilisés, qui est bien l'hacheur parallèle. Afin de bien comprendre le fonctionnement de ce convertisseur DC/DC, on fait une simulation pour comprendre son comportement lors de la fermeture et de l'ouverture de l'interrupteur ultra rapide fonctionnant pour des fréquences élevées, qui est pour notre cas, le transistor « MOSFET ».

Chapitre II : Présentation des commandes MPPT

II.1. Introduction

La production d'électricité à partir d'énergie solaire se fait en utilisant les panneaux photovoltaïques, qui a un point de fonctionnement optimum, c'est le maximum power point (MPP), ce MPP dépend de deux facteurs importants qui sont respectivement la température et l'éclairement.

II.2. Influence de la température et l'éclairement sur le MPP

Le GPV est fortement influencé par la variation de l'éclairement et la température. En effet, dans la figures suivantes le GPV est soumis à des variations de luminosité et de température où il apparait clairement la diminution de la puissance et le changement du point maximum de puissance MPP.

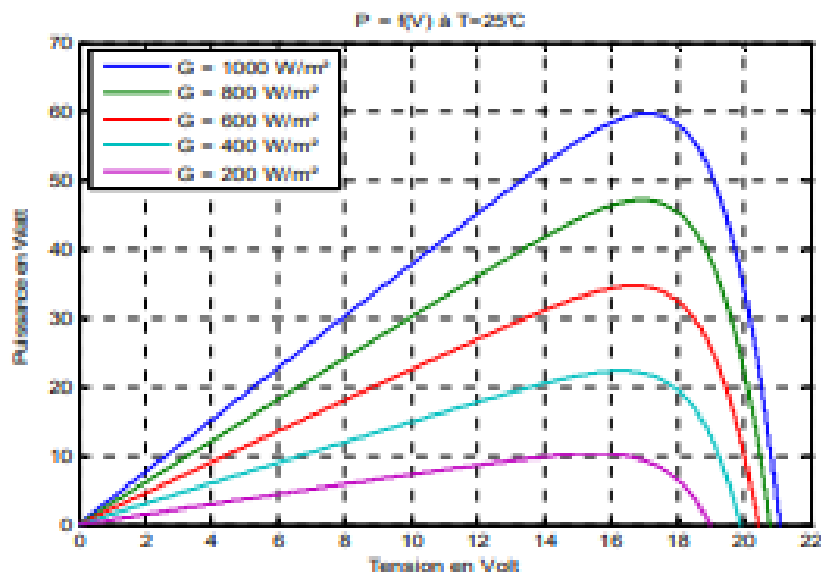
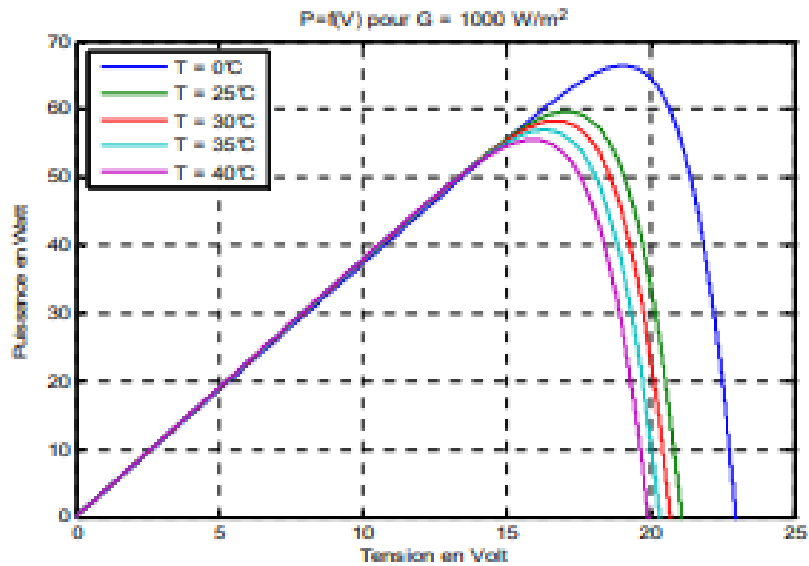


Fig.II.1 : Influence de l'éclairement sur le MPP.



[5]

Fig.II.2 : Influence de la température sur le MPP.

II.3. Suiveur de point de fonctionnement maximal (maximum power point tracker MPPT)

Afin d'assurer le point de fonctionnement optimum des panneaux photovoltaïque à tout moment, par le control de courant ou de tension, une MPPT est nécessaire pour cette opération. Cette MPPT doit satisfaire les conditions suivantes :

- L'opération des PV doit être très proche de MPP sous les différents changements atmosphériques.
- Avoir un cout minimal et efficacité de conversion maximal.

II.4. Les algorithmes utilisés pour le control de MPPT

Les méthodes de la MPPT peuvent se diviser en deux catégories :

- **La première catégorie** : Contient les méthodes qui suivent continuellement le voltage et/ou le courant sans l'utilisation des données empiriques. L'avantage de cette catégorie est qu'elle ne demande pas une certaine connaissance des caractéristiques des PV. Parmi les méthodes les plus utilisées de cette catégorie : la méthode de perturbation et observation P&O, la méthode de référence constante et la méthode de l'incrémention de l'inductance.
- **La deuxième catégorie** : Contient les méthodes qui ne s'intéressent pas de suivre continuellement le voltage et/ou le courant, par contre il est nécessaire de connaître les données empiriques qui sont représentées sous forme de caractéristiques des différentes PV sous différentes températures et irradiations. Parmi les méthodes les plus utilisés de cette catégorie : algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension V_{cc} et algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant I_{cc} [6].

II.4.1. Première catégorie

II.4.1.1. La méthode de perturbation et observation (P&O)

Le problème pris en compte par les méthodes MPPT est de trouver automatiquement la tension V_{MPP} ou le courant I_{MPP} auxquels un réseau PV délivre une puissance maximale sous une température et un rayonnement donné.

Dans la méthode P&O, l'algorithme MPPT est basé sur le calcul de la puissance de sortie PV et de la variation de puissance en échantillonnant à la fois le courant et la tension du générateur PV. Le suiveur fonctionne en incrémentant ou en décrémentant périodiquement la tension du panneau solaire.

Si une perturbation donnée entraîne une augmentation (diminution) de la puissance de sortie du PV, alors la perturbation suivante est générée dans le même sens (opposé). Le cycle de fonctionnement du hacheur de courant continu est modifié et le processus est répété jusqu'à ce que le point de puissance maximale soit atteint. En fait, le système oscille autour de la MPP.

La réduction de la taille du pas de perturbation peut minimiser l'oscillation. Cependant, la petite taille des pas ralentit la MPPT. Pour différentes valeurs d'irradiation et de température des cellules, le réseau PV présente des courbes caractéristiques différentes. Chaque courbe a son point de puissance maximale. C'est à ce point que la tension maximale correspondante est fournie au convertisseur.

L'organigramme, décrivant l'algorithme de suivi de P&O mis en œuvre dans le bloc est présenté par la figure (II.2). Si la valeur actuelle de la puissance $P(n)$ est supérieure à la valeur précédente $P(n - 1)$, alors la valeur de seuil k est incrémentée d'un delta de pas incrémental ; cela signifie que le rapport cyclique du signal rectangulaire est augmenté. Sinon, la valeur seuil k est décrémentée par un delta ; cela signifie que le rapport cyclique D du signal rectangulaire est diminué.

De plus, lorsque le rapport cyclique d augmente, le courant moyen I_{moy} augmente et vice versa. Et inversement, si la valeur du niveau K_2 est supérieure à K_1 , ce qui signifie que le cycle d'utilisation D_2 est plus grand que D_3 . Par conséquent, le courant moyen I_{moy2} est supérieur à I_{moy1} [7].

L'algorithme continuera à modifier le cycle opératoire jusqu'à ce que la MPP soit atteinte.

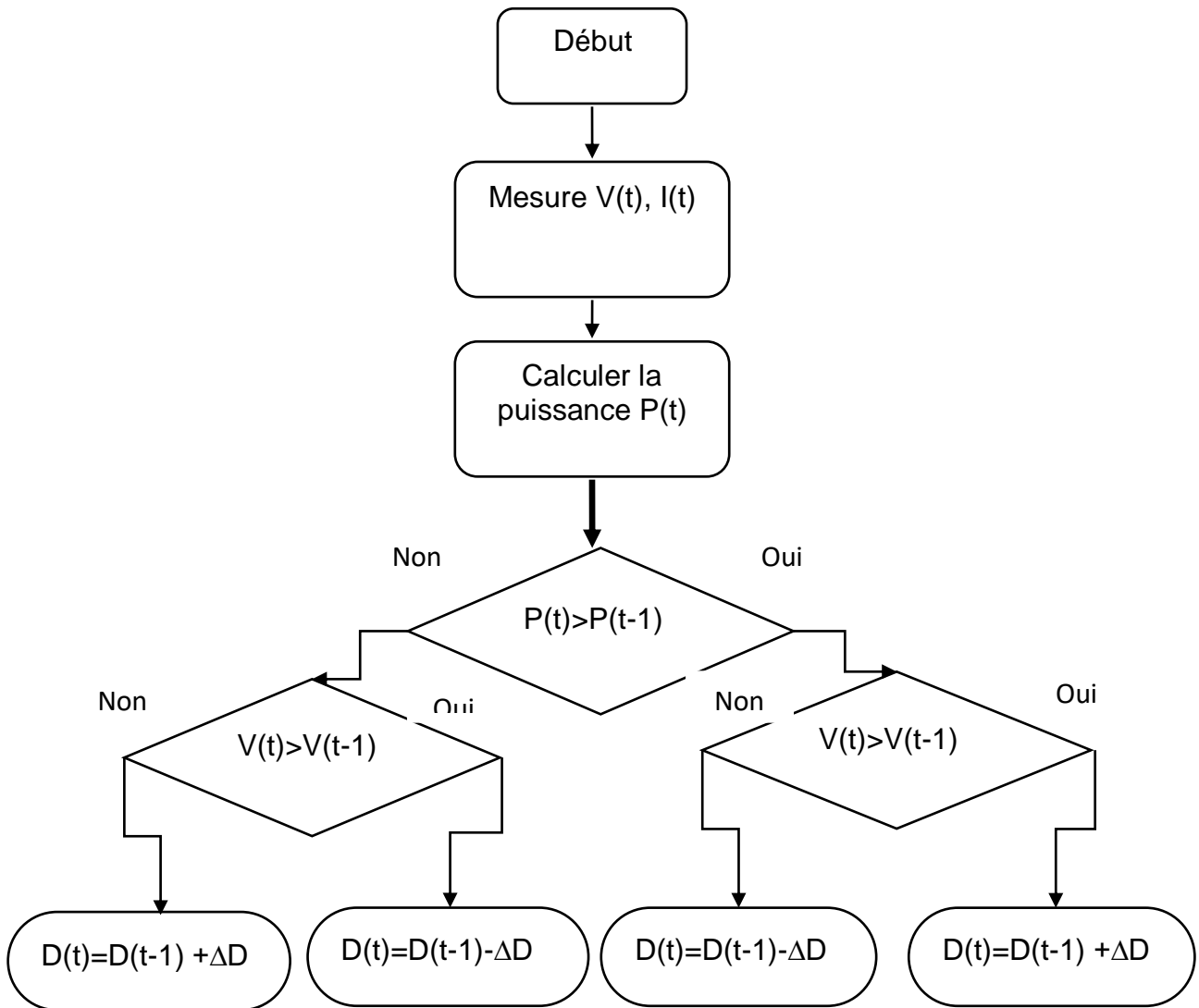


Fig.II.3 : L'algorithme de la méthode de P&O.

II.4.1.2. La méthode de tension de référence constante

Une technique MPPT très courante qui consiste à comparer la tension (ou le courant) du réseau PV avec une tension (ou un courant) de référence constante qui correspond à la tension (ou au courant) PV au point de puissance maximale dans des conditions atmosphériques spécifiques. Le signal de différence qui en résulte (signal d'erreur) est utilisé pour piloter une puissance conditionneuse, qui assure l'interface entre le panneau photovoltaïque et la charge. Bien que la mise en œuvre de cette méthode soit simple, la méthode elle-même n'est pas très précise, car elle ne prend pas en compte les effets des variations de la température et de l'irradiation.[8]

Chapitre II : Présentation des commandes MPPT

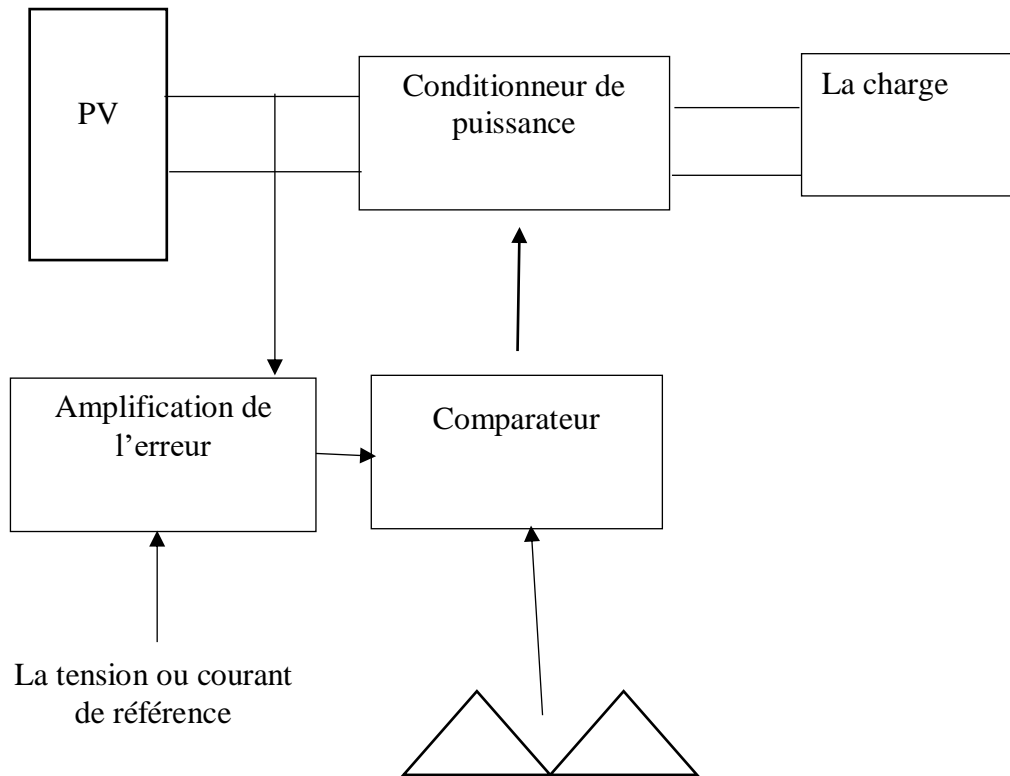


Fig.II.4 : L'algorithme de la méthode de tension de référence constante.

II.4.1.3. La méthode d'incrément de la conductance

C'est une méthode de base pour la connaissance de la variation de la conductance et des connaissances sur la position du point de fonctionnement par rapport à une MPP. La conductance c'est le rapport entre le courant et la tension

$$Cond = \frac{I}{V}$$

La position du point de fonctionnement est donnée par l'évolution de la puissance par rapport à la tension de tout le module photovoltaïque. Lorsque la dérivée de la puissance est nulle, ça veut dire qu'on est sur la MPP. Si elle est positive, donc on est à gauche du MPP et si elle est négative donc on est à droite.

- Si $\frac{dP}{dV} > 0$: Notre point de fonctionnement est à gauche de la MPP
- Si $\frac{dP}{dV} = 0$: Notre point de fonctionnement est sur la MPP
- Si $\frac{dP}{dV} < 0$, notre point de fonctionnement est à droite de la MPP

Et pour obtenir un lien entre la conductance $\frac{I}{V}$ et la dérivée de la puissance $\frac{dP}{dV}$, on a :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V.I)}{dV} = I \cdot \frac{dV}{dV} + V \cdot \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV}$$

Si on est à la ppm donc $\frac{dP}{dV} = 0$:

Chapitre II : Présentation des commandes MPPT

$$I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

Là, on peut dire aussi que :

- Si $\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$: notre point de fonctionnement est à gauche de la MPP
- Si $\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$: notre point de fonctionnement est sur la MPP
- Si $\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$: notre point de fonctionnement est à droite de la MPP

La puissance maximale va être traquée à travers des comparaisons à chaque instant base sur l'algorithme ci-dessous [9].

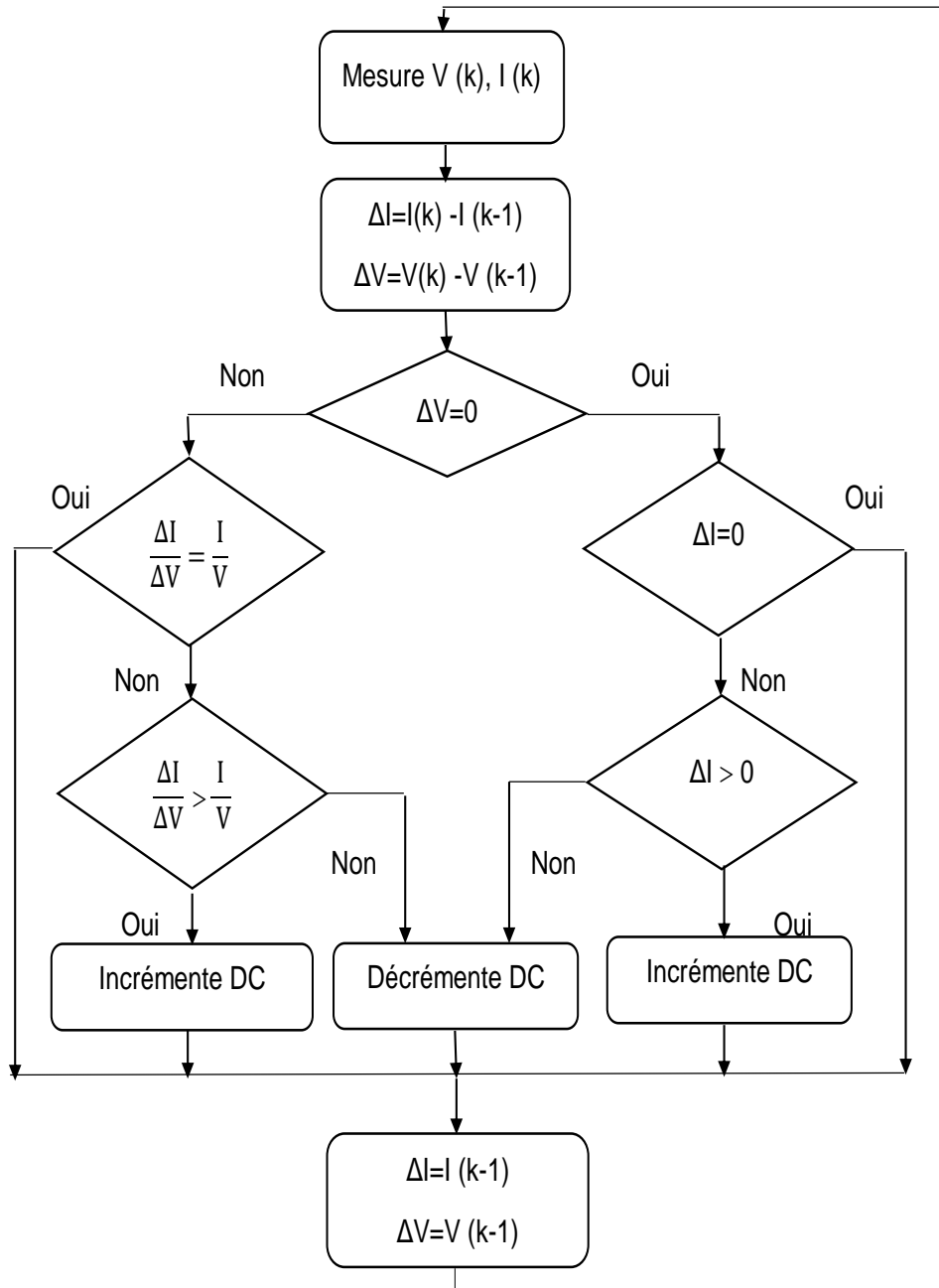


Fig.II.5 : L'algorithme de la méthode d'incrément de la conductance.

II.4.2. Deuxième catégorie

II.4.2.1. Algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension V_{co}

La méthode de fraction de la tension, qui appartient aux secondes catégories est basé sur une relation linéaire entre la tension de circuit ouvert V_{co} et la tension au point de fonctionnement maximale V_{MPP} .

$$V_{MPP} = K_{pv} \cdot V_{co}$$

Où :

K_{pv} : est le facteur de tension, elle comprise entre 0.7-0.9, cette valeur est spécifiée dans la datasheet de PV.

Pour estimer la tension V_{MPP} à l'aide de la méthode FOCV, la tension en circuit ouvert est mesurée et multipliée par le facteur de tension. La tension en circuit ouvert mesurée permet généralement une estimation précise de la tension V_{MPP} , puisque le facteur de tension reste presque constant pour les variations d'irradiation et de température. La tension du circuit ouvert est périodiquement échantillonnée en déconnectant momentanément la charge.

La fréquence et la durée du processus d'échantillonnage influencent directement la précision de la V_{MPP} estimée, où la haute fréquence et/ou les grands rapports cycliques améliorent la précision de l'estimation, mais augmentent également la perte de puissance. Ce problème peut être résolu en utilisant une cellule pilote supplémentaire, qui est similaire aux autres cellules du réseau PV mais qui est utilisée uniquement pour les mesures de tension en circuit ouvert, comme le montre la figure suivante. Si la cellule pilote au même rayonnement et la même température que les autres cellules, la tension en circuit ouvert peut être mesurée directement, sans déconnecter la charge.

Cependant, comme la cellule pilote est isolée du panneau PV, elle ne produit pas de puissance utile. Le principal avantage de la méthode FOCV par rapport à d'autres méthodes est son faible coût et sa simplicité de mise en œuvre [10].

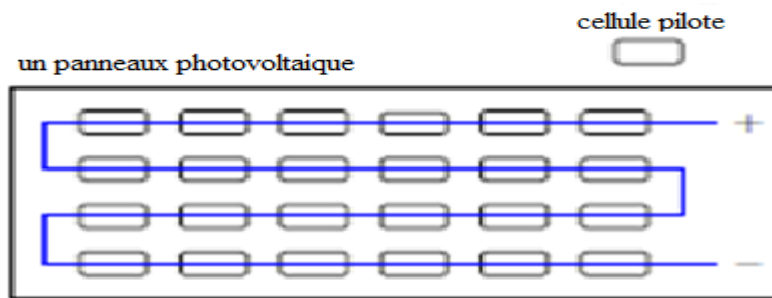


Fig.II.6 : Cellule de pilote

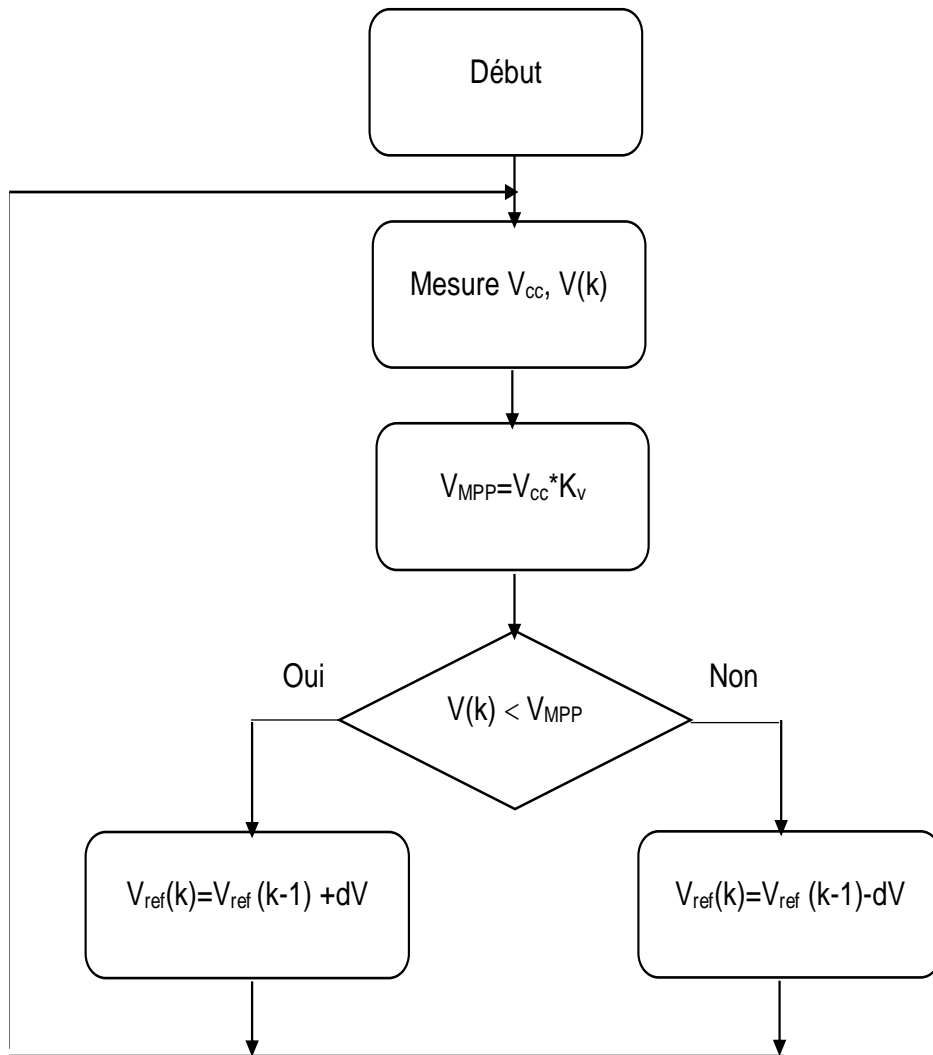


Fig.II.7 : algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension, V_{co} .

II.4.2.2. Algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant de court-circuit (I_{cc})

Cette technique est basée sur la relation linéaire entre le courant de court-circuit et le courant optimal donné par l'équation suivante :

$$I_{mp} = K \cdot I_{cc}$$

Où :

K est un facteur de courant dépendant des caractéristiques de la cellule PV et qui varie entre 0.85 et 0.92.

Le point de fonctionnement optimal est obtenu en amenant le courant du panneau au courant optimal. Par conséquent, on change le rapport cyclique jusqu'à ce que le panneau atteigne la valeur optimale.[11].

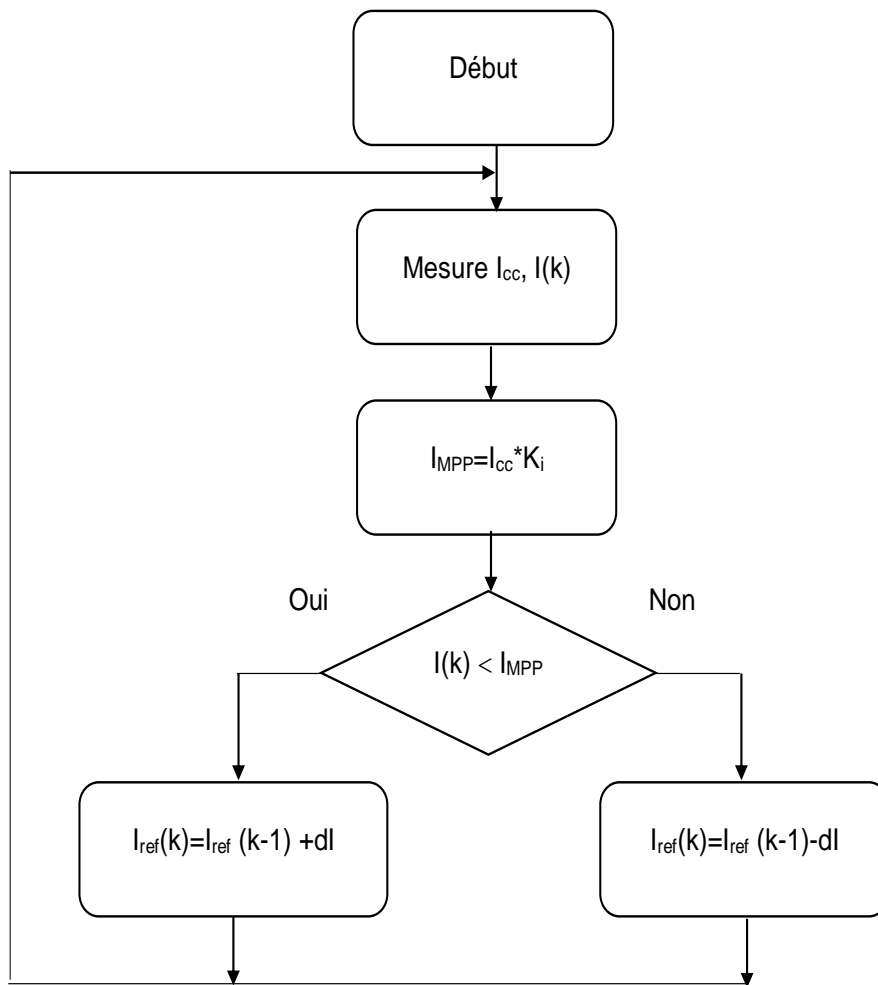


Fig.II.8 : Algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant de court-circuit I_{cc}

II.4.3. Etude comparative

Une étude comparative expérimentale complète entre les différents algorithmes MPPT a été faite à l'Université d'État du Dakota du Sud. Les résultats ont montré que la méthode d'incrément de l'inductance a le rendement le plus élevé (98%) en termes de puissance extraite de l'installation photovoltaïque, suivie par le rendement de la technique P&O (96,5%) et enfin par le rendement de la méthode de tension constante (88%).[12]

II.5. Conclusion

On a vu dans ce chapitre les différentes techniques de recherche du point maximum de fonctionnement des PV, et vue que l'objectif de notre mémoire est de réaliser un hacheur boost pour l'utiliser ultérieurement dans notre projet de fin d'étude, afin de réaliser une alimentation à base d'énergie renouvelable, donc on a choisi la méthode de P&O, car elle est simple et efficace au même temps.

Chapitre III : simulation du hacheur boost

III.1. Introduction

Le présent chapitre a pour but de montrer la simulation d'un hacheur survolteur boost avec la commande MPPT de technique perturbation et observation P&O. La simulation est faite par le logiciel électronique ISIS Proteus 8 Professional, très connue dans le domaine de l'électronique qui sert à créer un prototype virtuel permettant de réduire les coûts du matériel et logiciel lors de la conception du projet. On va parler aussi comment on a choisi les composants utilisés et leurs valeurs.

III.2. Calcule et choix des composants du convertisseur

Dans cette partie, nous allons dimensionner les différents composants constituant le circuit de puissance à savoir, l'inductance de lissage L , le transistor de commutation, les capacités et la diode. La détermination de ces caractéristiques est une étape critique dans l'implémentation d'un Boost commandé par MPPT. Le choix des éléments se fait en considérant que le convertisseur est en mode de conduction continu.

On peut diviser notre simulation sous ISIS Proteus en trois blocs :

- Bloc commande.
- Bloc mesure.
- Bloc puissance.

III.2.1. Bloc commande

Pour implémenter l'algorithme de la méthode perturbation et observation, qui sert à trouver le point maximum de fonctionnement. Pour cela, il est nécessaire d'introduire une interface qui a pour but de relier la programmation avec le circuit d'hacheur boost, qui est bien l'interface microcontrôleur, ce dernier a des plusieurs types. Dans notre simulation, on a utilisé un Arduino Uno.

III.2.2. Bloc de mesure

Dans les applications d'électroniques de puissance, l'utilisation Bloc de mesure est nécessaire pour l'étude et l'extraction des différentes valeurs pour faire les calculs afin d'assurer la convergence entre la théorie et la pratique. Dans notre simulation on a utilisé les capteurs.

III.2.2.1. Capteurs

Pour la MPPT, il requiert plusieurs capteurs, dans notre simulation sous Isis Proteus, on a utilisé deux capteurs électroniques : capteur de courant (INA169) et capteur de tension (diviseur de tension).

Capteur de courant INA169

L'INA169 est un moniteur à shunt de courant unipolaire de haute qualité. Une large gamme de tension d'entrée en mode commun, un courant de repos faible et rapide et un minuscule boîtier SOT23 permettent une utilisation dans une variété d'applications.

Les tensions d'entrée en mode commun et l'alimentation sont indépendantes et peuvent aller de 2,7 V à 60 V pour l'INA169. Le courant de repos n'est que de $60\mu\text{A}$, ce qui permet de connecter l'alimentation électrique de chaque côté du shunt de mesure du courant avec une erreur minimale. [15].

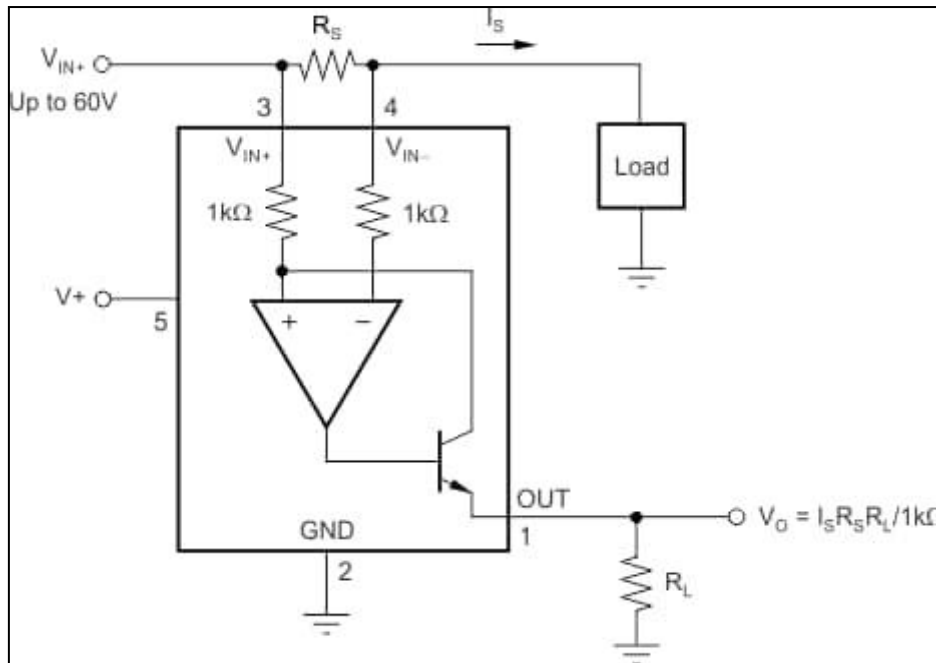


Fig.III.3 Capteur de courant INA169

Le courant de charge I_S , est tiré de l'alimentation, V_{IN} , à travers la résistance shunt, R_S . La chute de tension dans la résistance shunt, V_S , est forcée aux bornes de R_{G1} par l'amplificateur opérationnel interne, ce qui fait circuler le courant dans le collecteur de Q_1 . La résistance externe, R_L convertit le courant de sortie en une tension V_o sur la broche OUT.

$$I_S = \frac{V_o \cdot 10^3}{R_S \cdot R_L}$$

Avec :

I_S : Le courant que nous voulons mesurer.

V_o : Le voltage que nous avons mesuré à la sortie de l'INA169.

10^3 : une valeur de résistance constante que nous devons inclure en raison des internes de l'INA169.

R_S : La valeur de la résistance shunt. Si vous ne modifiez pas la carte, alors celle-ci est réglée sur 10Ω .

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

R_L : La valeur de la résistance de sortie. Si vous ne modifiez pas la carte, elle est définie à 10 k Ω .

1) Capteur de tension

Le capteur de tension est un élément essentiel dans notre circuit car il nous aide à calculer la puissance fournie par le générateur photovoltaïque en donnant la valeur de la tension vue que l'arduino ne supporte que 5 V de tolérance et notre circuit fournit jusqu'à 21 V.

Pour résoudre ce problème on a utilisé un diviseur de tension, ce dernier est un capteur qui a pour but d'introduire un intervalle de tension entrant à l'arduino V_o comprise entre 0 et 5 équivalente à l'intervalle de la tension du panneau V_{pv} à travers l'équation suivante [16].

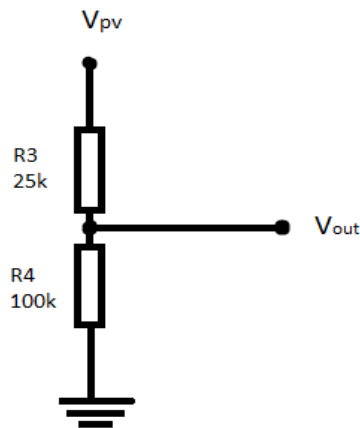


Fig.III.5 Diviseur de tension

$$V_o = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{pv}$$

III.2.3. Bloc de puissance

III.2.3.1. Choix du Transistor

Le transistor doit être dimensionné pour supporter le courant maximal délivré à la charge, on choisit un MOSFET « IRFP250 ». Ce MOSFET peut fonctionner avec une tension VDSS jusqu'à 200V et une fréquence de 100 KHz, et il peut supporter un courant ID allant jusqu'à 33 A.

III.2.3.2 Choix de la Diode

La diode utilisée doit être rapide et pouvant supporter le courant maximal fourni à la charge, son rôle est d'éviter le retour du courant provenant de la charge. On va placer une diode « schottky 18TQ045 » qui présente une tension de blocage inverse de 45 V et un courant moyen maximal de 18A.

III.2.3.3 Choix de la Bobine

Cet élément est le plus délicat à déterminer. En effet, une inductance trop faible ne permet pas le fonctionnement de la carte de puissance, et une inductance trop forte quant à elle

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

provoquerait d'importantes pertes de puissance par effet joule. La valeur minimale de l'inductance est donnée par :

$$L > \frac{\alpha(1 - \alpha)^2}{2 \cdot f} R$$

Avec :

α : Le rapport cyclique compris

f : la fréquence de commutation.

R : la charge.

Pour notre circuit on a choisi $L = 20mH$.

III.2.3.4. Choix du Condensateur

On place en entrée comme en sortie des condensateurs chimiques pour filtrer les variations des tensions d'entrée et de sortie. Les valeurs des capacités sont calculées en fonction de l'ondulation voulue ainsi que les grandeurs moyennes désirées

$$C > \frac{\alpha}{R \times f \times \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)}$$

Avec :

α : Le rapport cyclique.

f : la fréquence de commutation.

R : la charge.

ΔV_o : l'ondulation voulue.

V_o : la tension qu'on veut filtrer.

Les valeurs des condensateurs qu'on va utiliser sont :

$$C_1 = 220 \mu F$$

$$C_2 = 470 \mu F$$

III.3. Simulation et résultats

La simulation a pour but de vérifier le fonctionnement d'hacheur parallèle en utilisant en premier lieu la commande mppt « perturbation et observation P&O » et en deuxième lieu on va implémenter la commande de l'incrément de l'inductance, à l'aide d'interface Arduino IDE.

III.3.1 La commande Perturbation et Observation P&O

La figure suivante représente la simulation de notre hacheur commandé par la méthode de perturbation et observation sous le logiciel Isis Proteus.

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

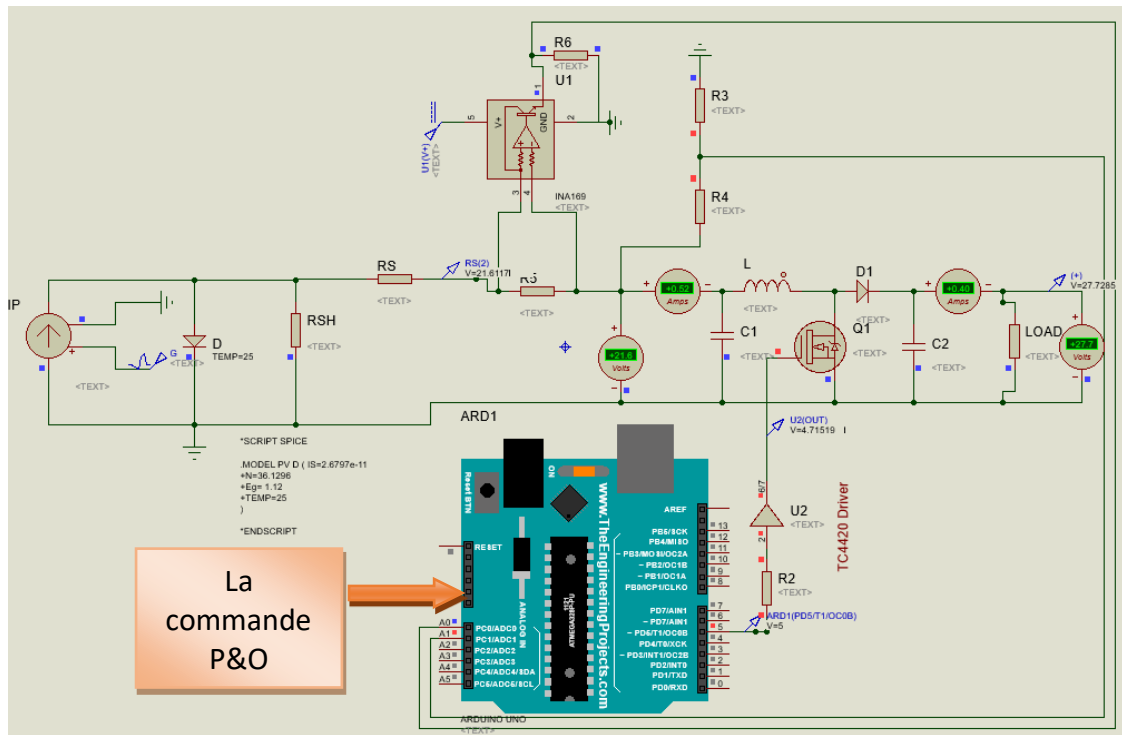


Fig.III.4. Circuit d'hacheur boost avec la commande P&O.

III.3.1.1 Le premier essai

Le premier essai consiste à varier l'éclairement, on a choisi trois différents éclairements qui sont respectivement : 300 W/m^2 , 800 W/m^2 et 500 W/m^2 .

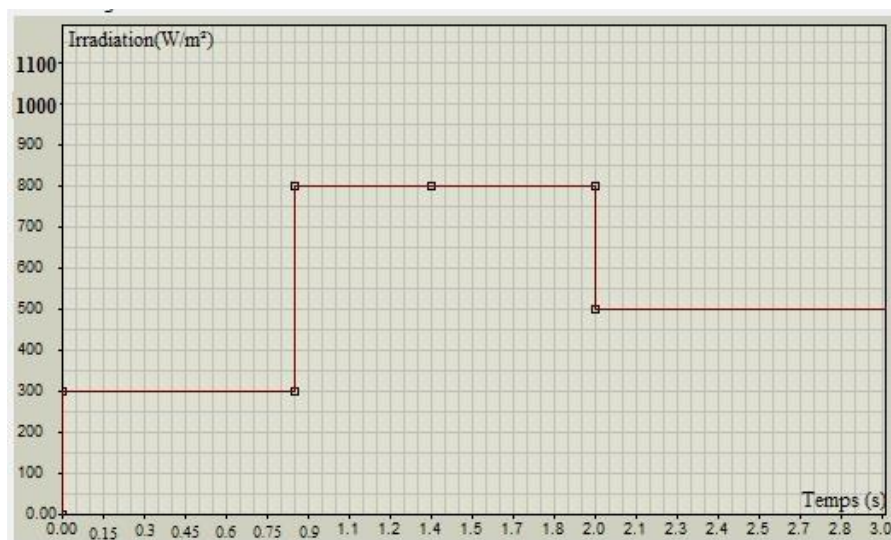


Fig.III.5. Les différentes irradiances (1^{er} essai).

Tension et courant délivré par le PV

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant du panneau photovoltaïque sous différentes irradiation

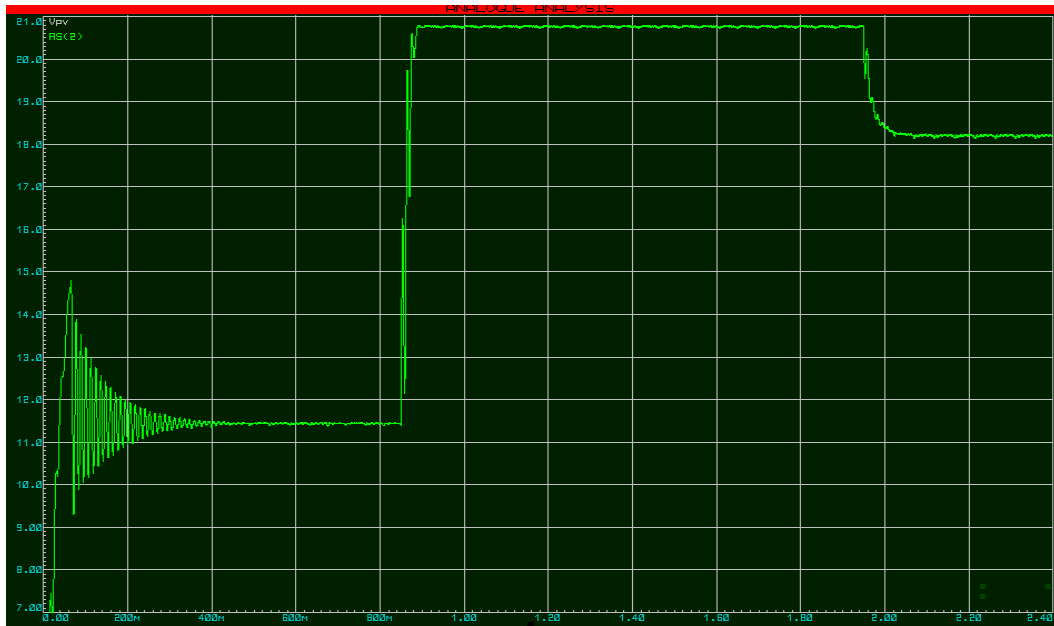


Fig.III.6. La tension délivrée par le PV (1^{er} essai).

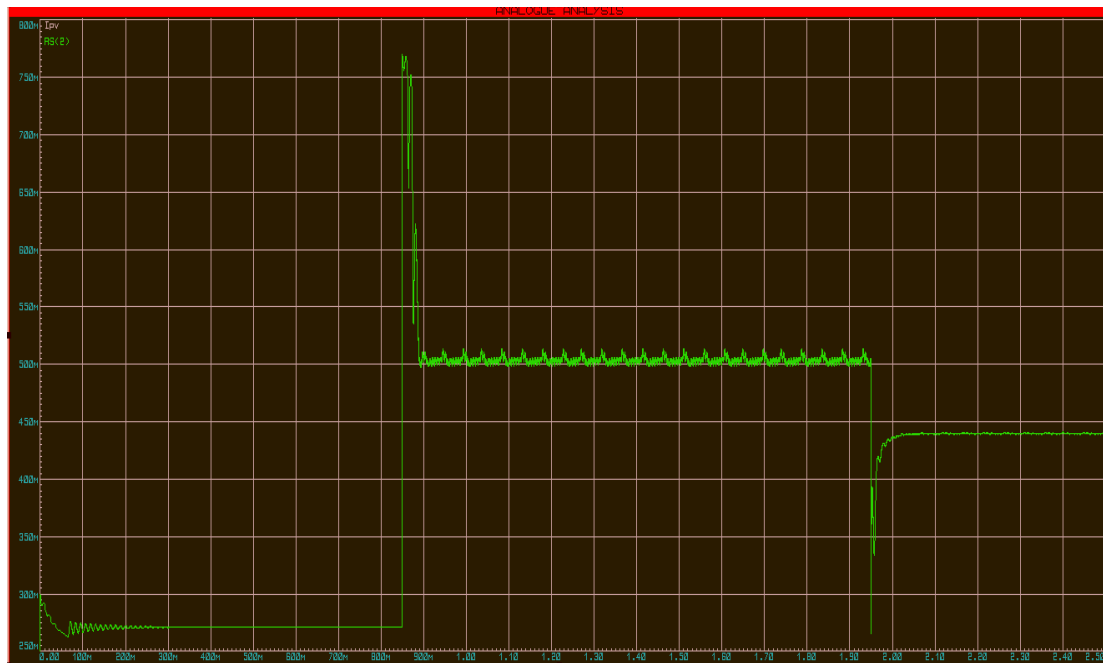


Fig.III.7. Le courant délivré par le PV (1^{er} essai).

Tension et courant aux bornes de la charge

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant de la charge sous différentes irradiation

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

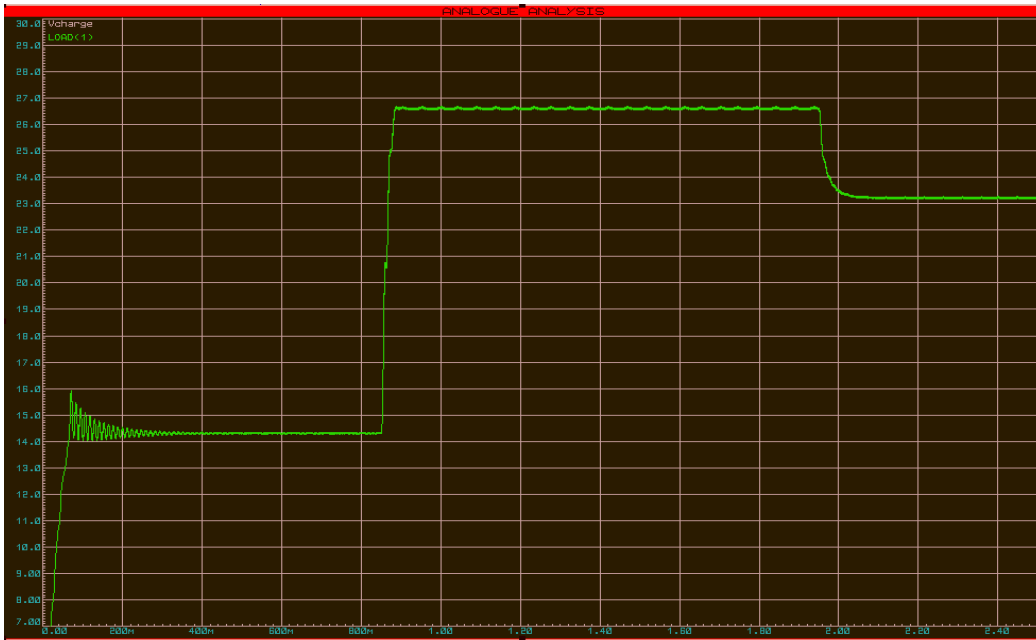


Fig.III.8. La tension aux bornes de la charge (1^{er} essai).

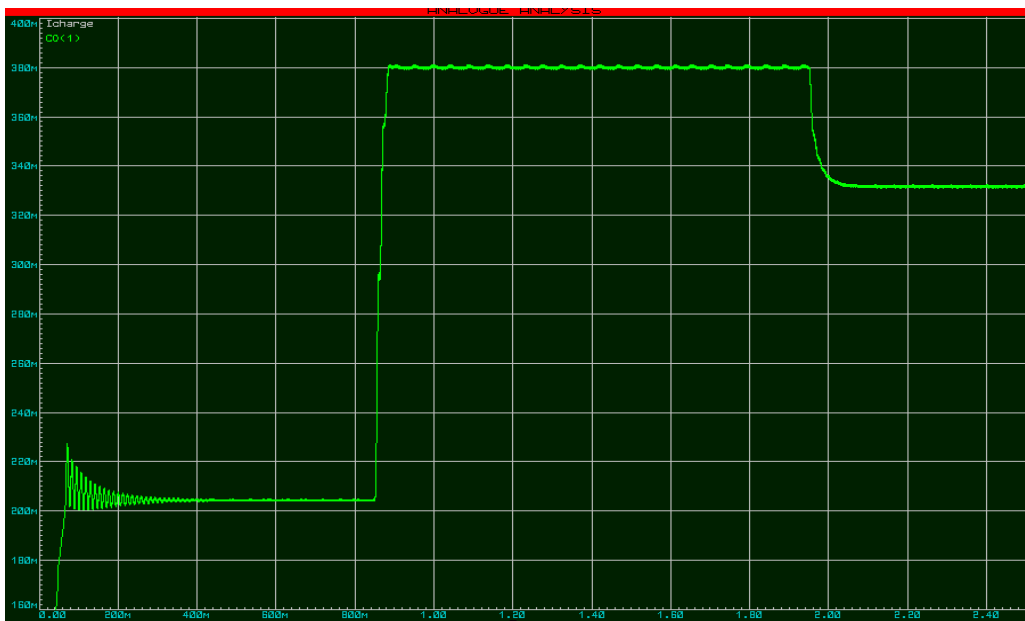


Fig.III.9. Le courant aux bornes de la charge (1^{er} essai).

Interprétation

D'après les figures précédentes, on constate que le courant et la tension varie avec la variation de l'éclairage, ce qui provoque des pics de courte durée. On constate aussi que la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée, le fonctionnement d'un hacheur boost.

1) Impulsion sur la gâchette

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

L'Arduino Uno envoie des impulsions à la gâchette dont le rapport cyclique varie avec la variation de l'irradiation.

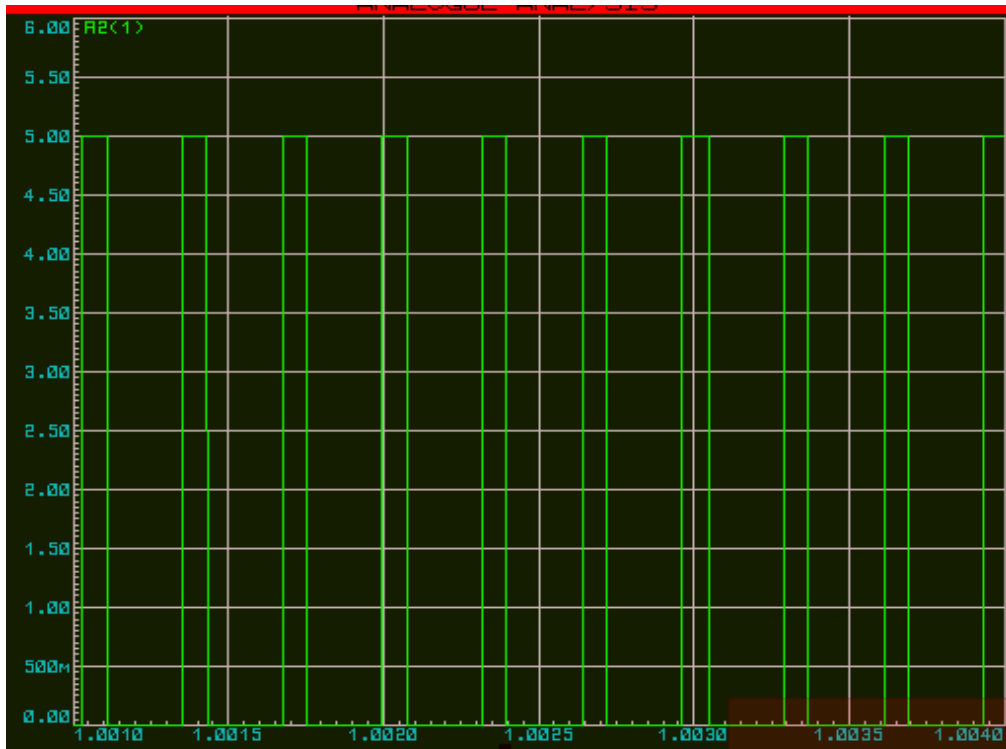


Fig.III.10. L'impulsion sur la gâchette (1^{er} essai).

III.3.1.2 Le deuxième essai

Le deuxième essai consiste à varier l'éclairement, on a choisi trois différents éclairements qui sont respectivement : 1200 W/m², 1000 W/m² et 600 W/m².

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

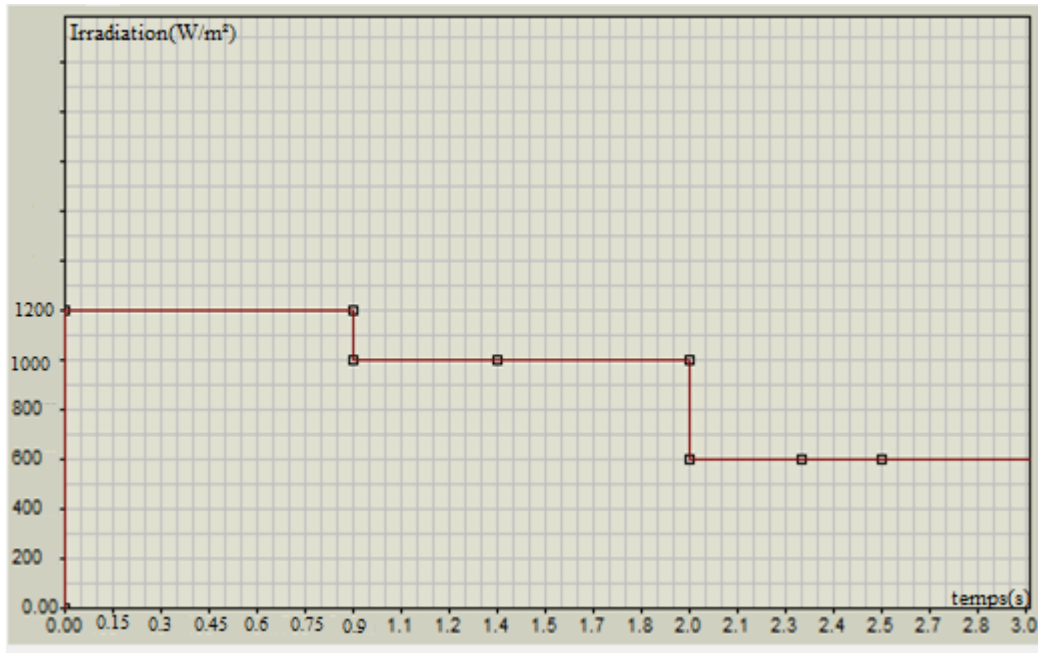


Fig.III.11. Les différentes irradiations (2^{ème} essai).

1) Tension et courant délivré par le PV

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant du panneau photovoltaïque sous différentes irradiation

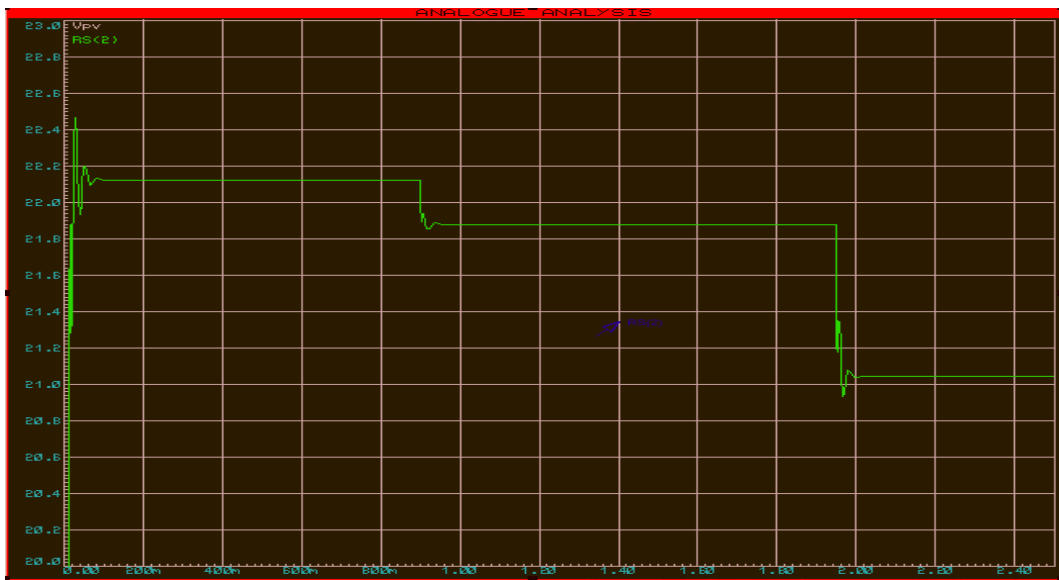


Fig.III.12. La tension délivrée par le PV (2^{ème} essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

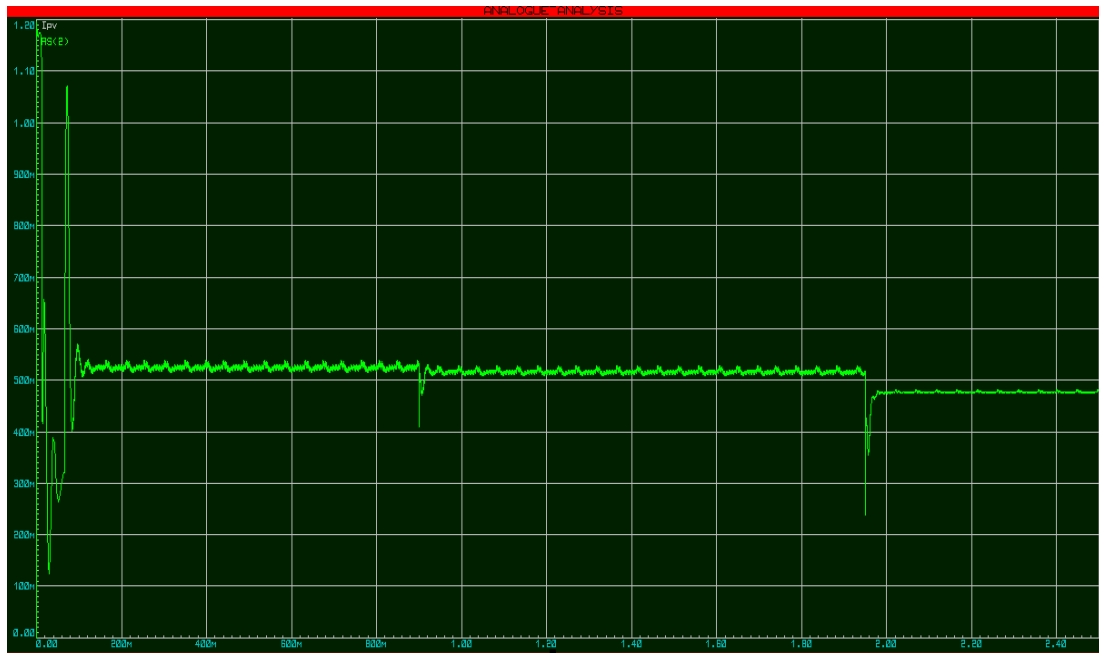


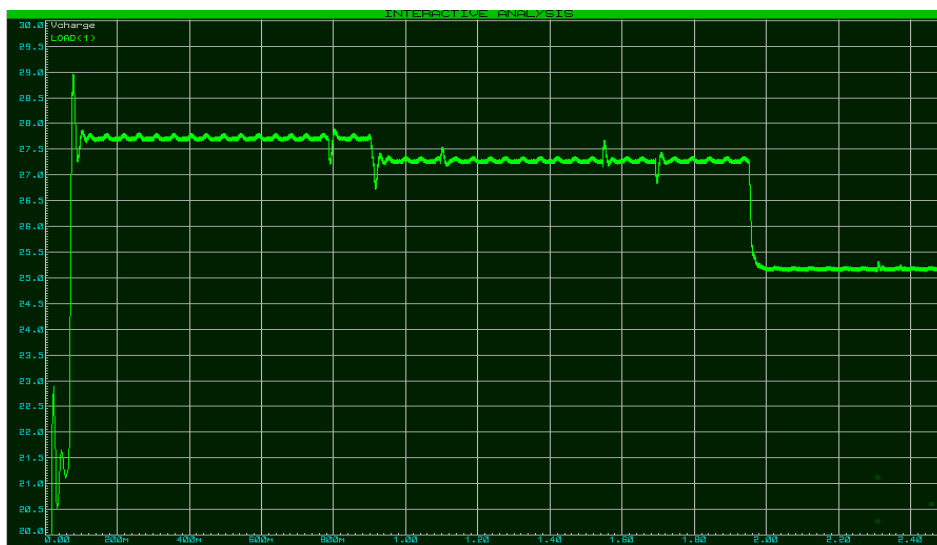
Fig.III.13. Le courant délivrée par le PV (2^{ème} essai).

Interprétation

On remarque ici que pour les petites variations d'irradiations entre 1000W/m^2 et 1200W/m^2 . Les pics de courte durée ont des petites amplitudes par rapport à la grande variation d'irradiation, par exemple entre 300W/m^2 et 800W/m^2 , cela représente en réalité les nuages qui présentent le phénomène d'ombrage.

Tension et courant aux bornes de la charge

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant de la charge sous différentes irradiation



Chapitre III : Simulation du hacheur boost

Fig.III.14. La tension aux bornes de la charge (2^{ème} essai).

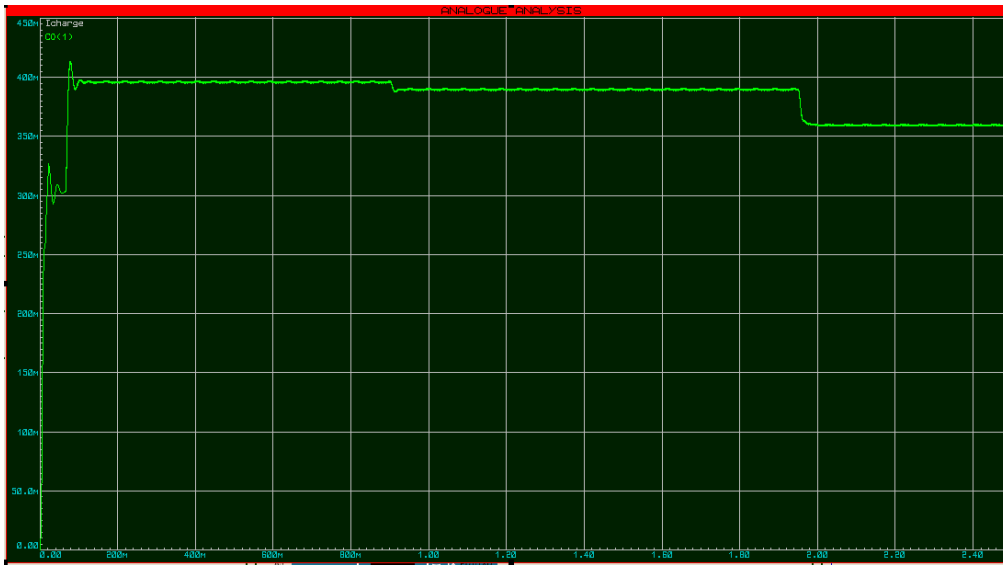


Fig.III.15. Le courant aux bornes de la charge (2^{ème} essai).

Impulsion sur la gâchette

La commande de transistor MOSFET est représentée par les impulsions d'amplitude 5V envoyé par l'arduino aux gâchettes.

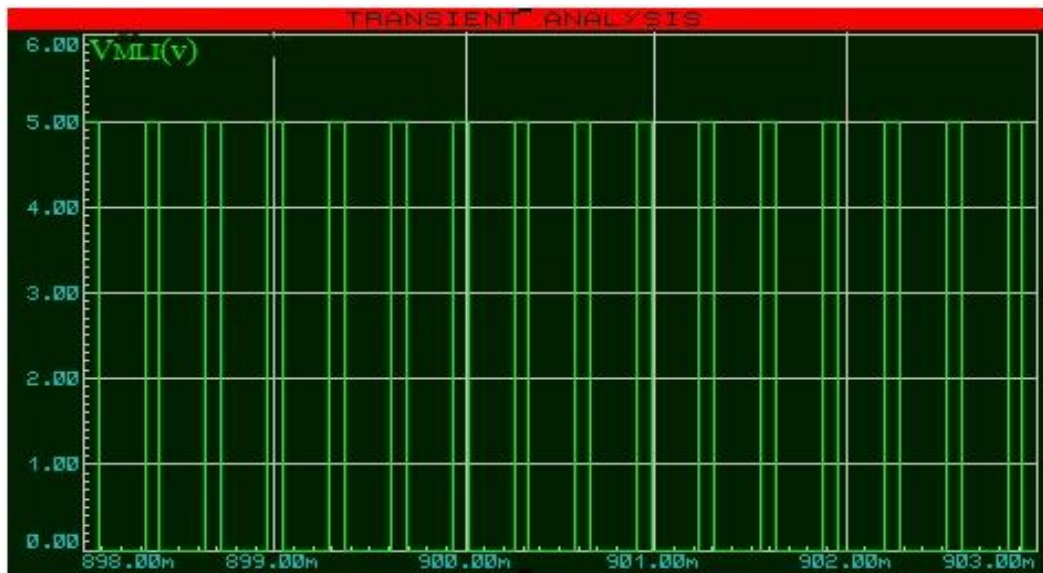


Fig.III.16. L'impulsion sur la gâchette (2^{ème} essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

III.3.2 La commande d'incrémentation de la conductance IncCond

La figure suivante représente la simulation de notre hacheur commandé par la méthode de d'incrémentatation de la conductance IncCond sous le logiciel Isis Proteus.

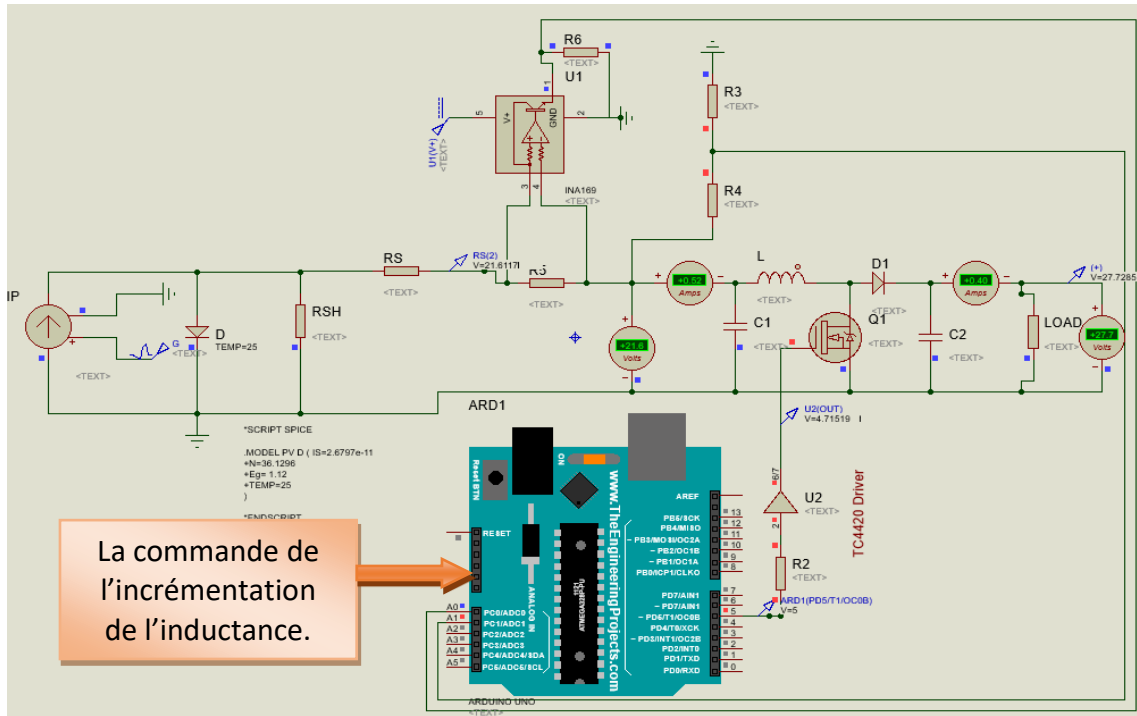


Fig.III.17. Circuit d'hacheur boost avec la commande incrémentatation de l'inductance.

III.3.2.1 Le premier essai

Le premier essai consiste à varier l'éclairement, on a choisi trois différents éclaircements qui sont respectivement : 1200 W/m^2 , 1000 W/m^2 et 600 W/m^2 .

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

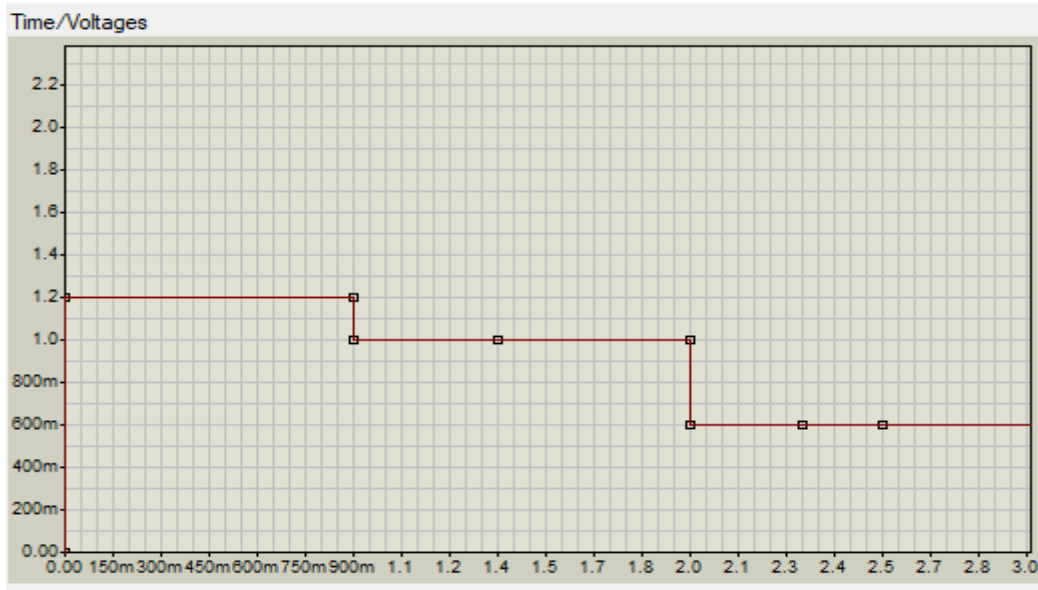


Fig.III.18. Les différentes irradiations (1^{er} essai).

Tension et courant délivré par le PV

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant du panneau photovoltaïque sous différentes irradiation

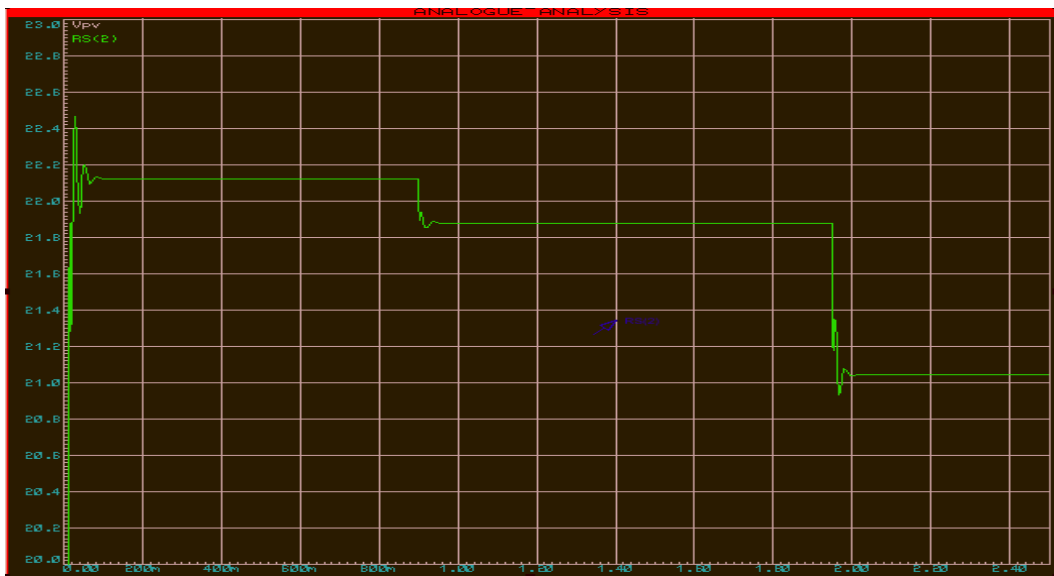


Fig.III.19. La tension délivrée par le PV (1^{er} essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

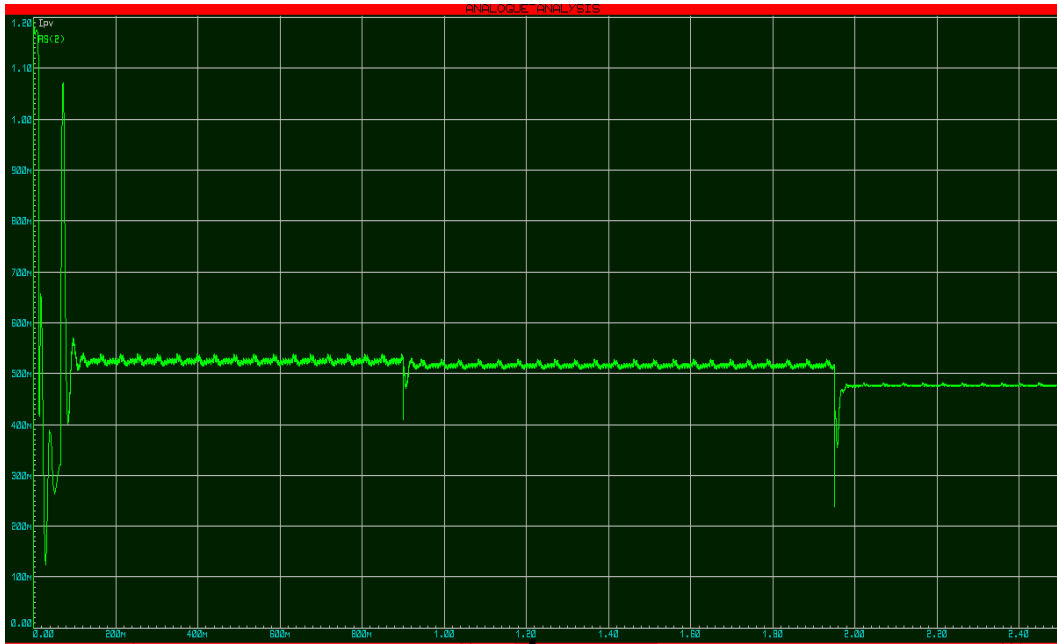


Fig.III.20. Le courant délivré par le PV (1^{er} essai)

Tension et courant aux bornes de la charge

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant de la charge sous différentes irradiation

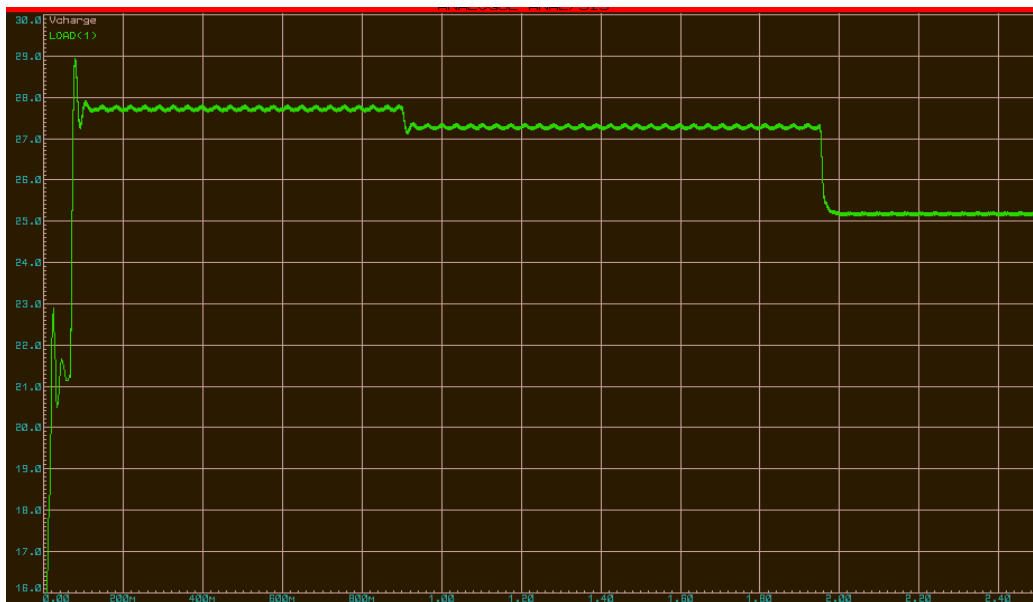


Fig.III.21. La tension aux bornes de la charge (1^{er} essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

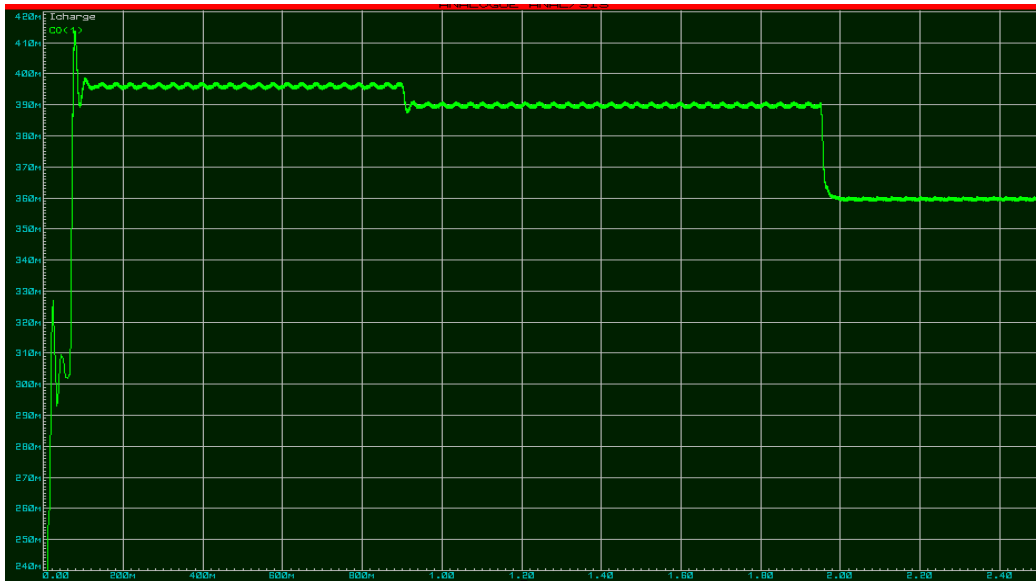


Fig.III.22. Le courant aux bornes de la charge (1^{er} essai).

Interprétation

Lors de l'implémentation de l'algorithme d'incrément de l'inductance, on a obtenu les résultats précédents. On constate que le courant et la tension se changent avec le changement d'éclaircissements sans avoir des pics de courte durée. On trouve aussi que la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée qui signifie le fonctionnement d'un hacheur boost.

Impulsion sur la gâchette

L'Arduino Uno envoie des impulsions à la gâchette dont le rapport cyclique se change avec le changement d'irradiation.

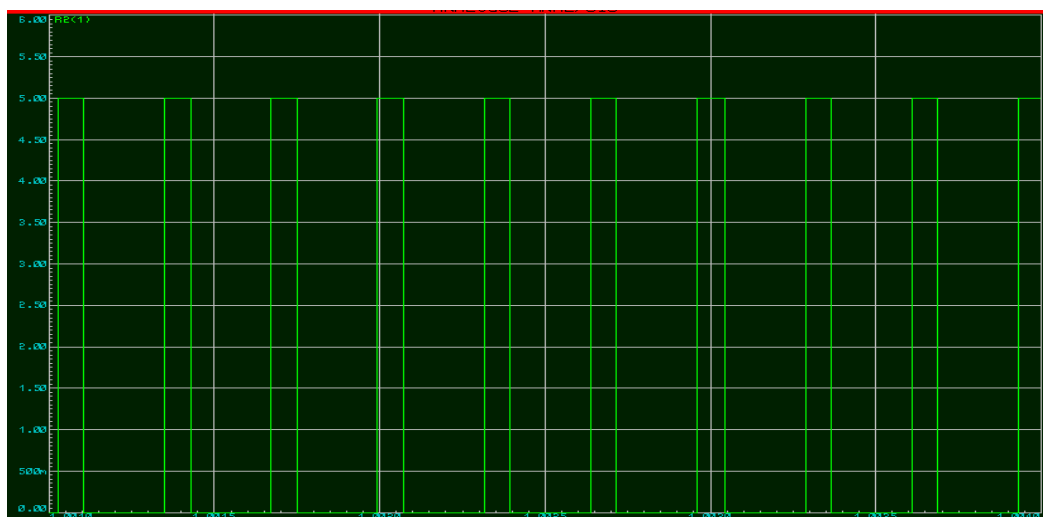


Fig.III.23. L'impulsion sur la gâchette (1^{er} essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

III.3.2.2 Le deuxième essai

Le deuxième essai consiste à varier l'éclairement, on a choisi trois différents éclairements qui sont respectivement : 300 W/m², 800 W/m² et 500 W/m².

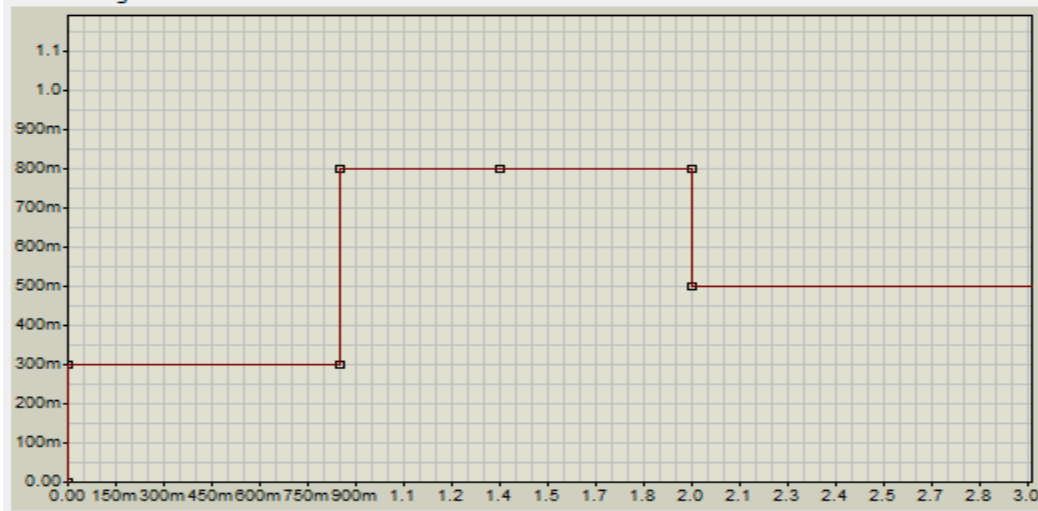


Fig.III.24. Les différentes irradiations (2^{ème}essai).

Tension et courant délivré par le PV

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant du panneau photovoltaïque sous différentes irradiation

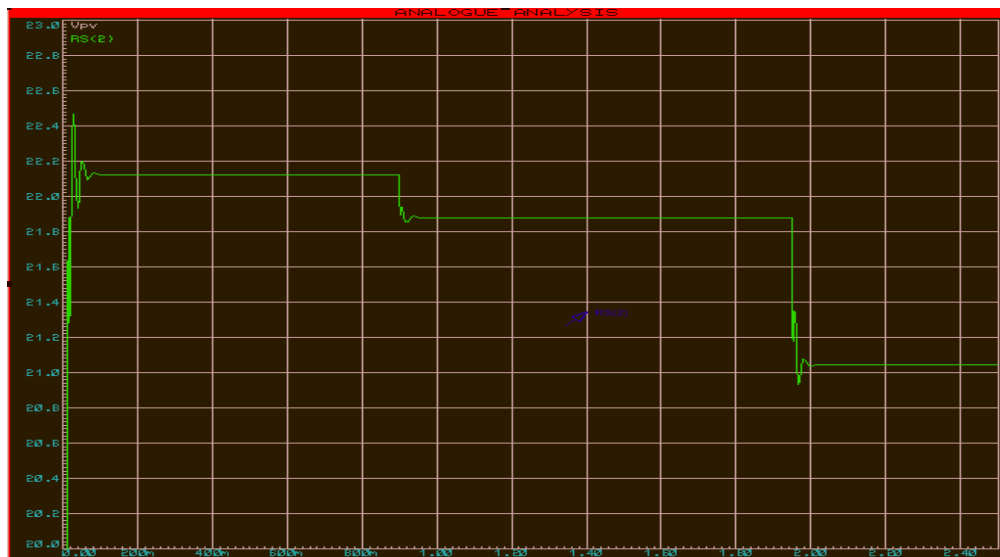


Fig.III.25. La tension délivrée par le PV (2^{ème}essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

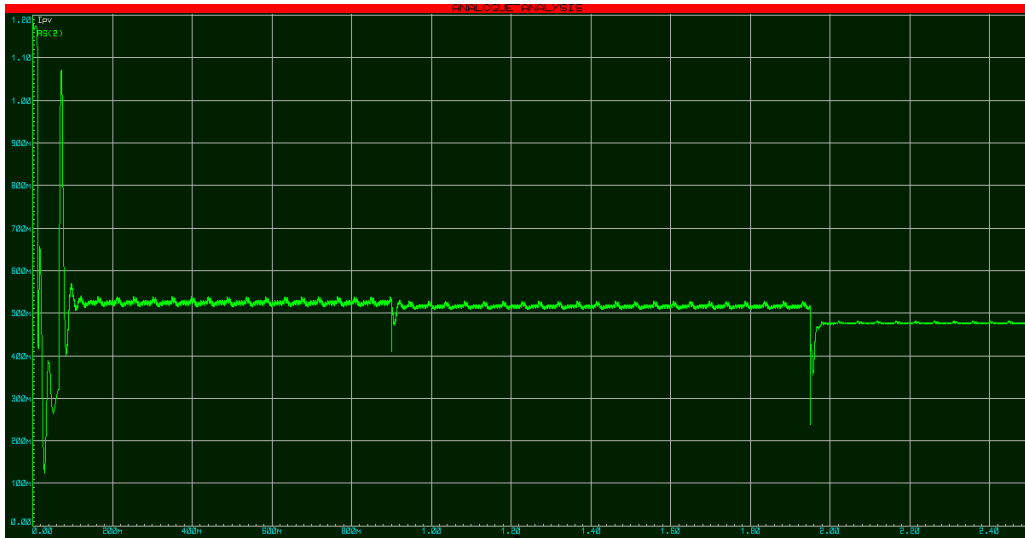


Fig.III.26. Le courant aux bornes de la charge (2^{ème}essai).

Tension et courant aux bornes de la charge

La figure suivante représente la valeur de tension et de courant de la charge sous différentes irradiation

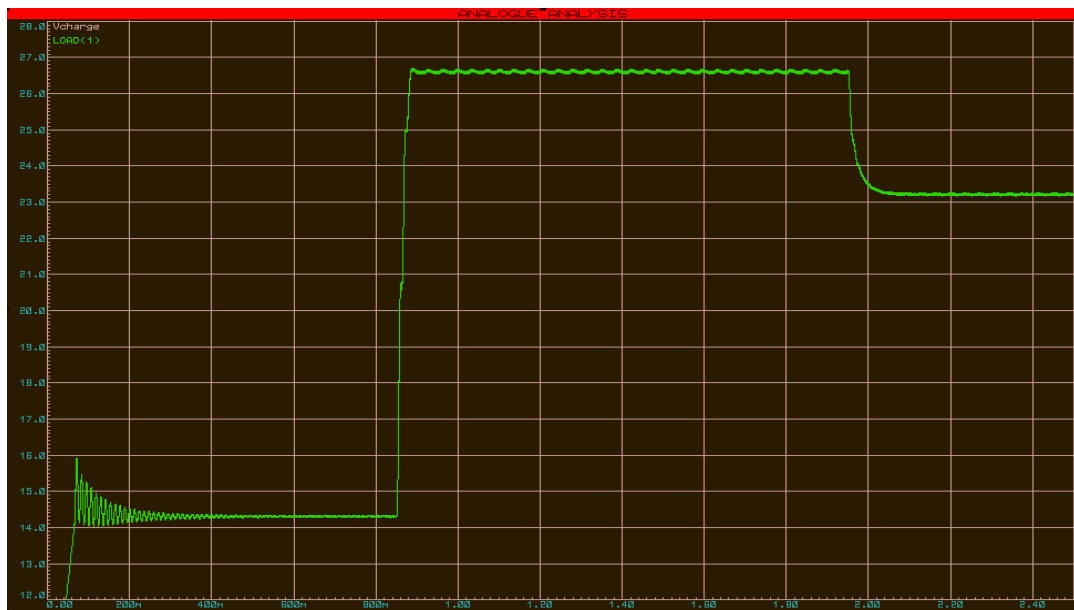


Fig.III.27. La tension aux bornes de la charge (2^{ème}essai).

Chapitre III : Simulation du hacheur boost

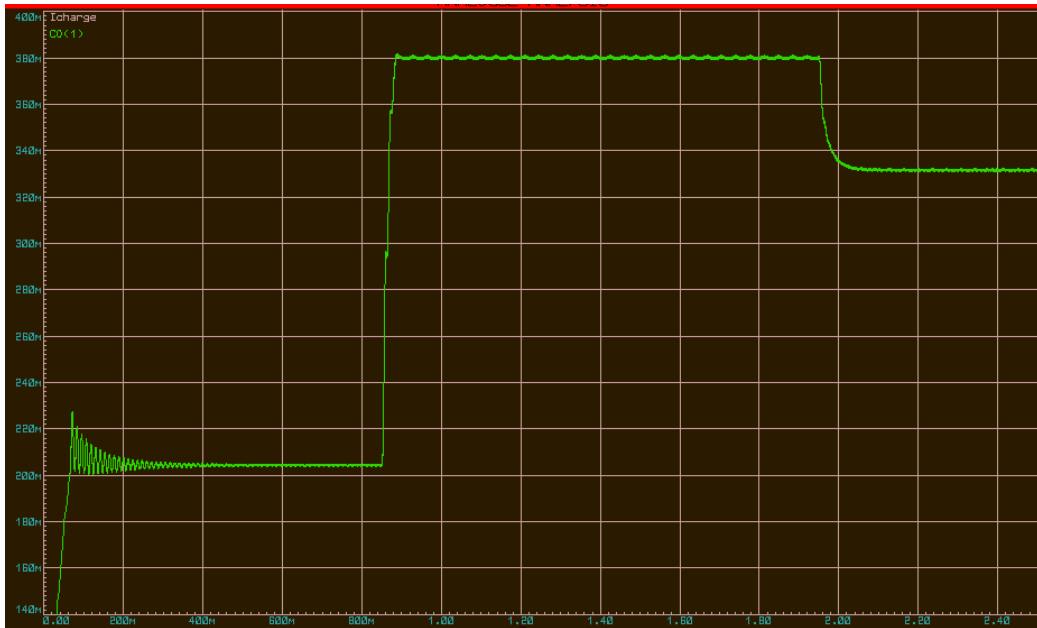


Fig.III.28. Le courant aux bornes de la charge (2^{ème}essai).

Interprétation

On remarque ici que le changement brusque d'éclairement 300 W/m^2 et 800 W/m^2 , il n'y a pas les pics de courte durée. Cela est représenté en pratique par les nuages qui font le phénomène d'ombrage. La tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée ce qui signifie le fonctionnement de convertisseur DC/DC élévateur.

Impulsion sur la gâchette

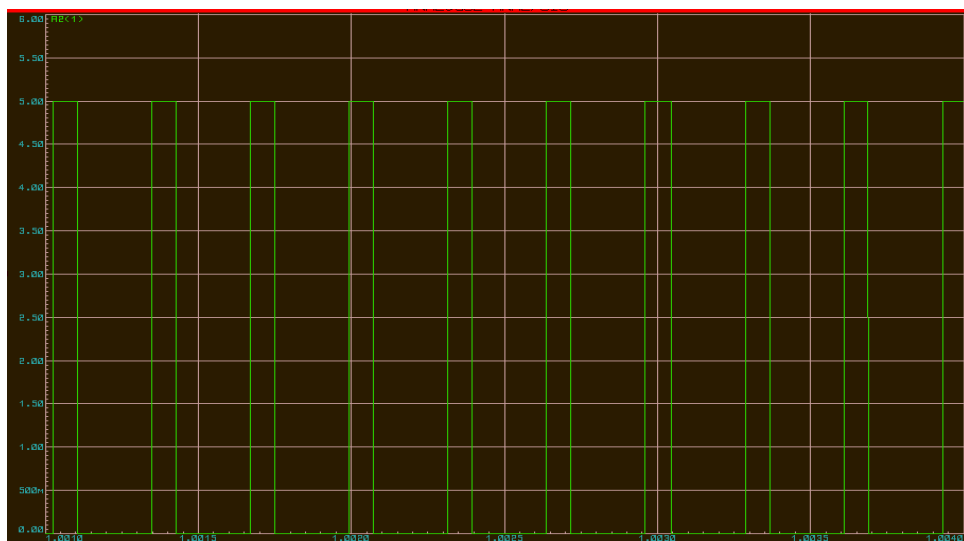


Fig.III.29. L'impulsion sur la gâchette (2^{ème}essai).

III.4. Conclusion

La première partie de ce dernier chapitre a été consacrée à la présentation des différents composants utilisés pour la réalisation de notre hacheur et comment choisir les valeurs des composants tel que la bobine et les condensateurs.

Dans la deuxième partie, on a fait la réalisation de notre projet sur ISIS Proteus Professional. On a obtenu les impulsions via l'arduino avec un rapport cyclique qui varie avec la variation de l'irradiation.

La puissance à la sortie du panneau est pratiquement la même que celle fournie à la charge avec des pertes de 0.2 W, ce qui prouve que le système est efficace.

On constate que la commande MPPT de type incrémentation de l'inductance est robuste par rapport à la méthode perturbation et observation.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Notre projet consistait principalement à réaliser un hacheur parallèle (boost) alimenté par un générateur photovoltaïque. Vue la crise sanitaire (covid- 19), on n'a pas pu faire la réalisation mais on a déterminé tous les composants nécessaires pour cette réalisation et on a fait une simulation avec le logiciel ISIS Proteus Professional. Cette simulation nous a permis de vérifier le modèle du hacheur d'une part, et d'autre part d'étudier l'influence de la variation des conditions climatiques (ensoleillement et température).

Afin d'obtenir la puissance maximale du générateur photovoltaïque, une commande MPPT a été développée qui entraîne une augmentation globale de l'efficacité du système de conversion électrique.

Parmi les méthodes utilisées pour la commande MPPT, on a utilisé deux méthodes : la méthode de perturbation et observation et la méthode par incrémentation de l'inductance.

Pour implémenter les algorithmes, on a introduit un arduino Uno qui a pour but de relier la programmation avec le circuit d'hacheur boost.

En comparant les deux méthodes, on a constaté que la méthode par incrémentation de l'inductance est plus robuste que la méthode perturbation et observation.

En comparant les puissances obtenues à la sortie du panneau photovoltaïque et celle à l'entrée de la charge, on a constaté que la puissance est presque la même, les pertes totales dans le circuit sont évaluées à 0,2W puissance, ce qui signifie que la puissance est conservée dans le circuit, donc l'efficacité du circuit est élevée.

Bibliographie

- [1] "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Point Tracking Test Bed. **Hohm D., and Ropp M., September 2000.**, September 2000., IEEE Photovoltaics Specialists.,. pp.1699-1702.
- [2] **B. Ankaiah and J. Nageswararao. 2013.** International Journal of Engineering Sciences. Enhancement of Solar Photovoltaic Cell by Using Short-Circuit Current MPPT Method. 2013.
- [3] Commande MPPT et Contrôle d'un Système Photovoltaïque par Incrément de la Conductance. **F. OUDIAI, K.LAGHA-MENOUER, A. HADJ ARAB , R. ZIRMI.** Tizi-Ouzou : Université Mouloud MAMMERI, Tizi- [4] Ouzou, RP 17, 1500, Tizi-Ouzou, ALGERIE. 2nd International Seminar on Fossil, New and Renewable Energy, 13-14 November 2019, Boumerdes, Algeria.
- [5] **FERDOWSI, Mehdi. 2015.** <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0BwOBDdGIM22MbGh3Xzlhdmg2RIE>. [En ligne] 16 Aout 2015.
- [6] **2018.** ile-reunion.org. <http://www.ile-reunion.org/louispayen/cours/hacheur4-quadrants.htm>. [En ligne] janvier 2018.
- [7] Improved fractional open circuit voltage MPPT methods for PV systems.
- [8] **2018.** improved fractional open circuit voltage MPPT methods for PV systems. Department of software sciences, Tallinn university of technology. 2018.
- [9] **M.A Serhan. 2005..** Maximum power point tracking system: an adaptive algorithm for solar panels. L'université américaine de BEIRUT. 2005. Thèse de doctorat.
- [10] **2017.** Power Electronics A to Z. <http://www.completepowerelectronics.com/>. [En ligne] 9 octobre 2017.
- [11] **Saad motahhir, Abdelaziz Ghzizal, Aziz Derouich.** Modélisation et commande d'un panneau photovoltaïque dans l'environnement PSIM. Mémoire de master.
- [12] **SYBILLE, Theodore WILDI et Gilbert. 2005.** Electrotechnique. 2005.
- [13] [www.adafruit.com. https://www.adafruit.com/product/3624#description](https://www.adafruit.com/product/3624#description). [En ligne]
- [14] [www.adafruit.com. https://www.adafruit.com/product/1164](https://www.adafruit.com/product/1164). [En ligne]
- [15] [www.gotronic.fr. https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm](https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm). [En ligne]
- [16] **Y, Yahiaoui. 2013.** Commande MPPT à base la logique floue et les algorithmes génétiques. Université A.MIRA-BEJAIA. 2013. Mémoire de master.

Annexes

Annexe A

Arduino Uno

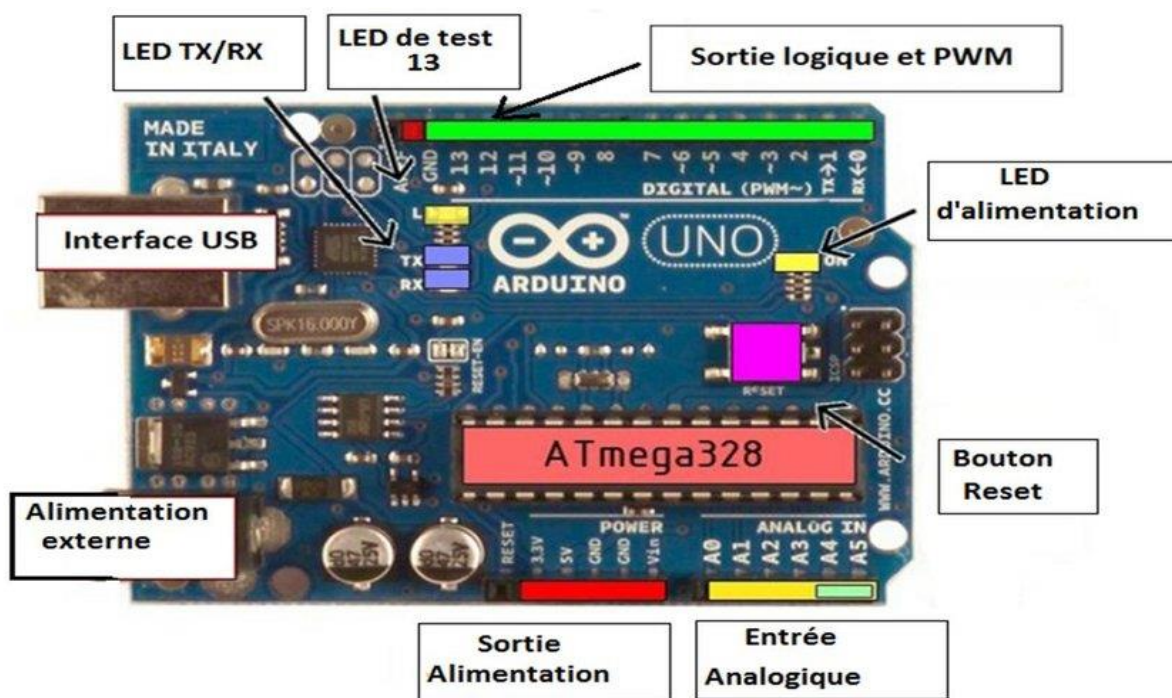
Définition de la carte Arduino Uno

L'Arduino Uno est un microcontrôleur programmable qui permet, comme son nom l'indique, de contrôler des éléments mécaniques : systèmes, lumières, moteurs, etc. Cette carte électronique permet donc à son utilisateur de programmer facilement des choses et de créer des mécanismes automatisés, sans avoir de connaissances particulières en programmation.

La carte Arduino Uno est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus simple et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enfiler une série de modules complémentaires.

Présentation de la carte Arduino Uno

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons l'Arduino Uno, l'Arduino Mini, l'Arduino Nano, l'Arduino Diecimila, et l'Arduino Mega2560. Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino Uno. Elle contient beaucoup de caractéristiques qui seront données par la suite.



Annexes

Brochage de la carte arduino uno

Pour le brochage on a :

Branche le capteur de courant et le capteur de tension dans les pins d'analogue A0 et A1 respectivement comme entre pour utilise cette valeur dans la programmation du MPPT

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Consommation maxi admise sur port USB (5V)	500 mA avant déclenchement d'un fusible
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM pour commander les moteurs)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables aussi en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA par sortie, mais ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Mémoire Programme Flash	32 Ko
Mémoire RAM (mémoire volatile)	2 Ko
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 Ko
Vitesse d'horloge	16 MHz

Pour la sortie on a le pin digital numéro « 5 » qui est relie à travers un driver a la gâchette du MOSFET tout on gênera un signale MLI de rapport cyclique variable.

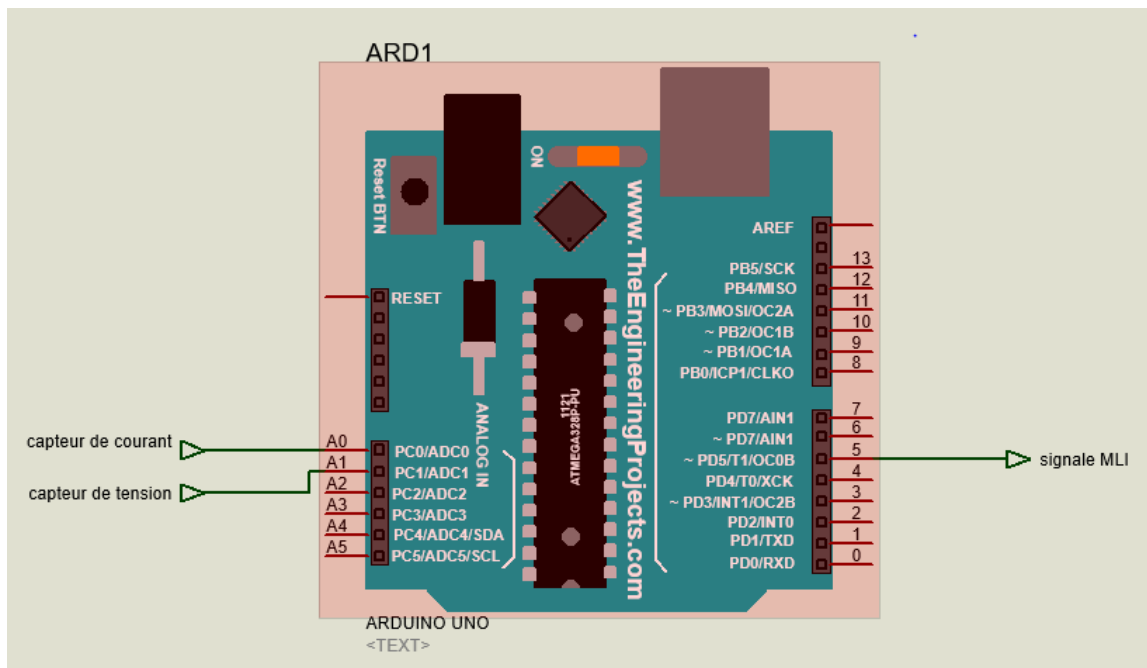


Fig.III.2 : brochage de l'arduino

Annexe B

Programmation de l'algorithme P&O

```

int duty = 75;
const int v = A0;
const int I = A1;
int vk = 0;
int ik = 0;
int p = 0;
int delP = 0;
int vprev = 0;
int p_prev = 0;
int delv = 0;
const int PWM = 5;

void setup() {
  pinMode(PWM, OUTPUT);
}

```

```

void loop() {
  vk = analogRead(v);
  ik = analogRead(I);
  vk=(5/1023)*vk;
  ik=(5/1023)*ik;
  p = vk*ik;
  delP = p - p_prev;
  delv = vk-vprev;
  if(delP!=0 || delv !=0)
  {
    if (delP > 0){
      if (delv < 0){
        duty++;
      }else{
        duty--;
      }
    } else {
      if (delv<0){
        duty--;
      }else{
        duty++;
      }
    }
  }
  else{
    duty = duty;
  }
  digitalWrite (PWM, HIGH);
  delayMicroseconds (duty);
  digitalWrite (PWM, LOW);
  delayMicroseconds (100-duty);

  p_prev=p;
  vprev=vk;
}

```


Annexe C

Programmation de l'algorithme incrémentation de la conductance

```

int duty = 75;
const int v = A1;
const int I = A0;
int vk = 0;
int ik = 0;
int p = 0;
int del_i = 0;
int del_v = 0;
int v_prev = 0;
int i_prev = 0;
const int wave = 5;
void setup() {
  pinMode(wave, OUTPUT);
}

```

```

void loop() {
  vk = analogRead(v);
  ik = analogRead(I);
  vk=(5/1023)*vk;
  ik=(5/1023)*ik;
  del_v=vk-v_prev;
  del_i=ik-i_prev;
  if (del_v==0)
  { if (del_i==0)
    { }
    else if (del_i>0)
    {duty++;}
    else if (del_i<0)
    {duty--;}
  }
  else
  {if ((del_i/del_v)==(ik/vk))
    { }
    else if ((del_i/del_v)>(ik/vk))
    { duty++;}
    else
    { duty--;}
  }
  digitalWrite(wave, HIGH);
  delayMicroseconds(duty);
  digitalWrite(wave, LOW);
  delayMicroseconds(100-duty);
  v_prev=vk;
  i_prev=ik;
}

```

Annexes

Annexe D

Capteur de courant INA169

l'INA169 sont des moniteurs à shunt de courant unipolaires de haute qualité. Une large gamme de tension d'entrée en mode commun, un courant de repos faible et rapide et un minuscule boîtier SOT23 permettent une utilisation dans une variété d'applications. Les tensions d'entrée en mode commun et d'alimentation sont indépendantes et peuvent aller de 2,7 V à 60 V pour l'INA169. Le courant de repos n'est que de $60\mu\text{A}$, ce qui permet de connecter l'alimentation électrique de chaque côté du shunt de mesure du courant avec une erreur minimale.

Annexes

INA1x9 High-Side Measurement Current Shunt Monitor

1 Features

- Complete Unipolar High-Side Current Measurement Circuit
- Wide Supply and Common-Mode Range
- INA139: 2.7 V to 40 V
- INA169: 2.7 V to 60 V
- Independent Supply and Input Common-Mode Voltages
- Single Resistor Gain Set
- Low Quiescent Current: 60 μ A (Typical)
- 5-Pin, SOT-23 Packages

2 Applications

- Current Shunt Measurement:
 - Automotive, Telephone, Computers
- Portable and Battery-Backup Systems
- Battery Chargers
- Power Management
- Cell Phones
- Precision Current Source

3 Description

The INA139 and INA169 are high-side, unipolar, current shunt monitors. Wide input common-mode voltage range, high-speed, low quiescent current, and tiny SOT-23 packaging enable use in a variety of applications.

Input common-mode and power-supply voltages are independent and can range from 2.7 V to 40 V for the INA139 and 2.7 V to 60 V for the INA169. Quiescent current is only 60 μ A, which permits connecting the power supply to either side of the current measurement shunt with minimal error.

The device converts a differential input voltage to a current output. This current is converted back to a voltage with an external load resistor that sets any gain from 1 to over 100. Although designed for current shunt measurement, the circuit invites creative applications in measurement and level shifting.

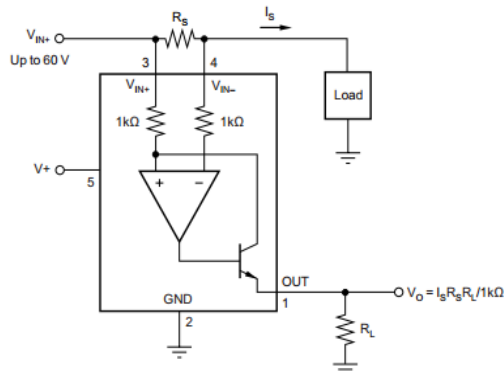
Both the INA139 and INA169 are available in 5-pin SOT-23 packages. The INA139 device is specified for the -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range, and the INA169 is specified from -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
INA139	SOT-23 (5)	2.90 mm \times 1.60 mm
INA169		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application Circuit



Annexes

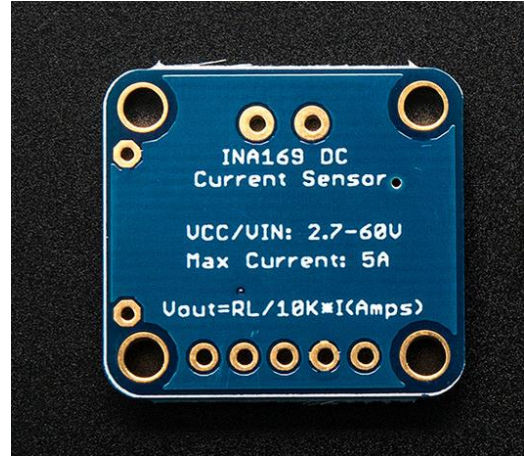
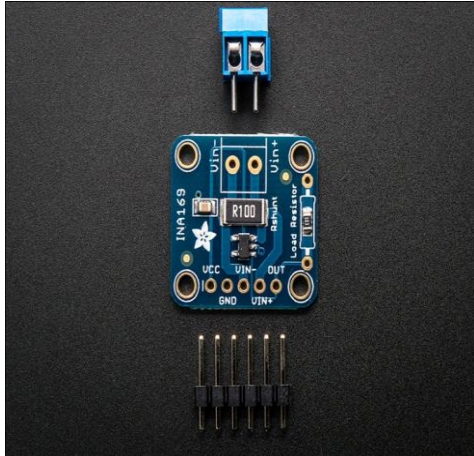


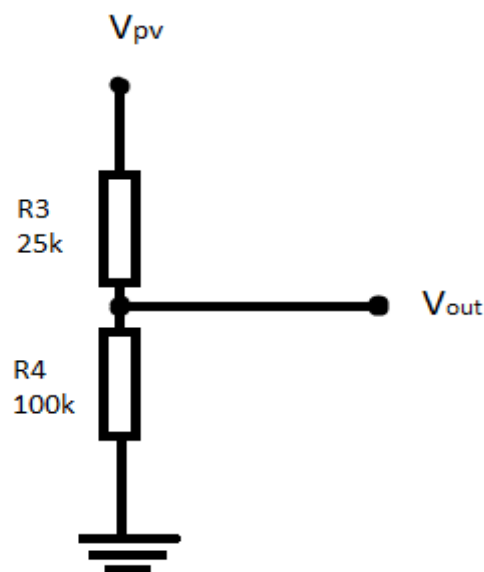
Photo du capteur dans la réalité

Annexe E**Capteur de tension**

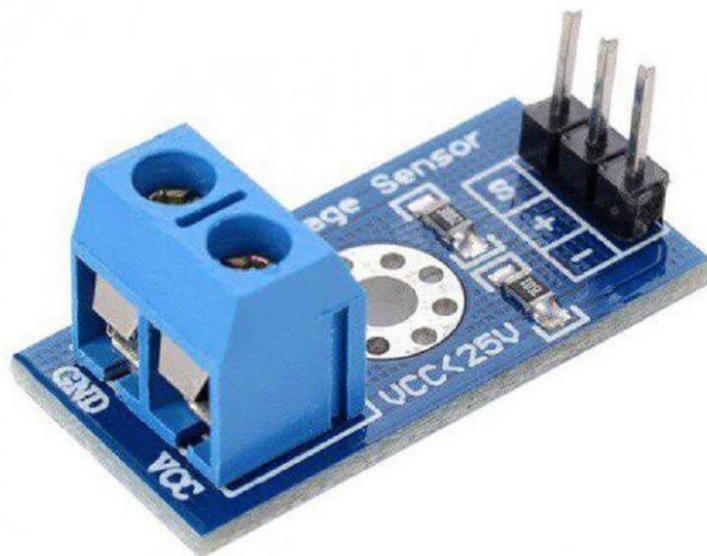
Le capteur de tension est un élément essentiel dans notre circuit car il nous aide à calculer la puissance fournie par le générateur photovoltaïque en donnant la valeur de tension. Vu que l'arduino ne supporte que 5 volt de tolérance et notre circuit fournit jusqu'à 21 volt.

Pour résoudre ce problème on a utilisé un diviseur de tension, ce dernier est un capteur qui a pour but d'introduire un intervalle de tension entre à l'arduino V_{out} comprise entre 0 et 5 équivalent à l'intervalle de la tension du panneau V_{pv} à travers l'équation suivante. [16].

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{pv}$$



Diviseur de tension.



Annexes

Annexe F

Choix du Transistor

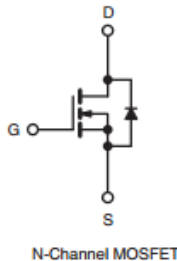
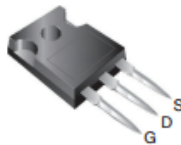
Le transistor doit être dimensionné pour supporter le courant maximal délivré à la charge. Nous choisissons un MOSFET « IRFP250 ». Ce MOSFET peut fonctionner avec une tension V_{DSS} jusqu'à 200V et une fréquence de 100KHz, et il peut supporter un courant I_D allant jusqu'à 33A.



Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	200
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 0.085
Q_g (Max.) (nC)	140
Q_{gs} (nC)	28
Q_{gd} (nC)	74
Configuration	Single

TO-247AC



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220AB devices. The TO-247AC is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.

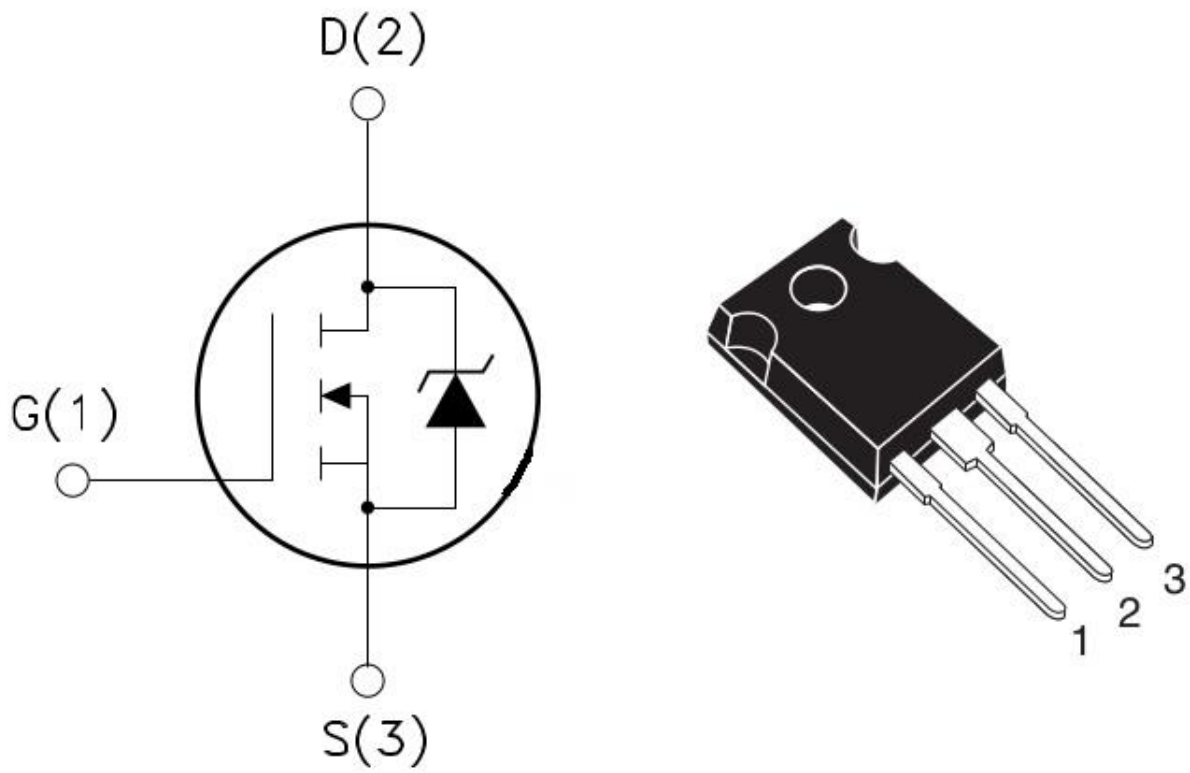
ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247AC
Lead (Pb)-free	IRFP250PbF SiHFP250-E3
SnPb	IRFP250 SiHFP250

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)					
PARAMETER		SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage		V_{DS}	200	V	
Gate-Source Voltage		V_{GS}	± 20		
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	I_D	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	30	A
			$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	19	
Pulsed Drain Current ^a		I_{DM}	120		
Linear Derating Factor			1.5	W/ $^\circ\text{C}$	
Single Pulse Avalanche Energy ^b		E_{AS}	410	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^a		I_{AR}	30	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a		E_{AR}	19	mJ	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	P_D	190	W	
Peak Diode Recovery dV/dt ^c		dV/dt	5.0	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in	
			1.1	N · m	

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 683\text{ }\mu\text{H}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 30\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 30\text{ A}$, $dI/dt \leq 190\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.8 mm from case.

Annexes



Le brochage du MOSFET IRFP 250.

Annexe G

Choix de la Diode

International
IOR Rectifier

18TQ...
18TQ...S

SCHOTTKY RECTIFIER

18 Amp

$I_{F(AV)} = 18\text{Amp}$
 $V_R = 35 \text{ to } 45\text{V}$

Major Ratings and Characteristics

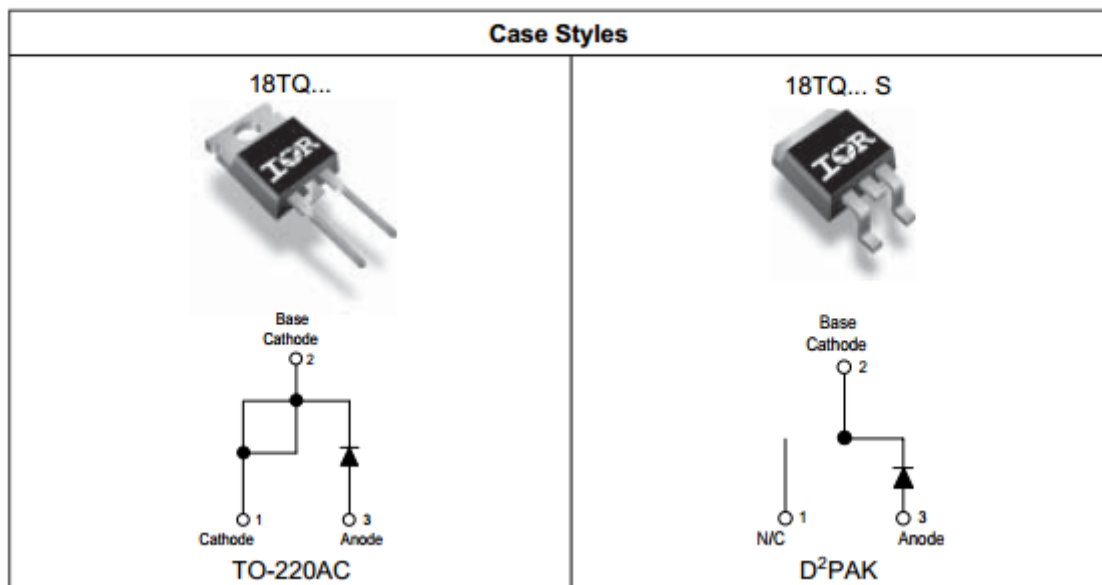
Characteristics	18TQ	Units
$I_{F(AV)}$ Rectangular waveform	18	A
V_{RRM} range	35 to 45	V
I_{FSM} @ $t_p = 5 \mu\text{s}$ sine	1800	A
V_F @ 18 Apk, $T_J = 125^\circ\text{C}$	0.53	V
T_J range	-55 to 175	$^\circ\text{C}$

Description/Features

The 18TQ Schottky rectifier series has been optimized for low reverse leakage at high temperature. The proprietary barrier technology allows for reliable operation up to 175°C junction temperature. Typical applications are in switching power supplies, converters, free-wheeling diodes, and reverse battery protection.

- 175°C T_J operation
- High purity, high temperature epoxy encapsulation for enhanced mechanical strength and moisture resistance
- Low forward voltage drop
- High frequency operation
- Guard ring for enhanced ruggedness and long term reliability

Case Styles



Annexes

Annexe H

La Bobine

Cet élément est le plus délicat à déterminer. En effet, une inductance trop faible ne permet pas le fonctionnement de la carte de puissance, et une inductance trop forte quant à elle provoquerait d'importantes pertes de puissance par effet Joule.

La valeur minimale de l'inductance est donnée par :

$$L > \frac{\alpha(1 - \alpha)^2}{2F} R$$

- α : Le rapport cyclique compris entre 0 et 1. $\alpha = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} = \frac{30 - 21}{30} = 0.3$
- F : la fréquence de commutation. F=50KHz
- R : la charge. R=70 Ω

$$L > \frac{0.3(1 - 0.3)^2}{2 \times 50000} \times 70 = 0.735 \text{ nH}$$

Pour notre circuit on a choisi $L = 20\text{mH}$.



Une bobine.

Annexes

Annexe I

Les Condensateurs

Nous plaçons en entrée comme en sortie des condensateurs chimiques pour filtrer les variations des tensions d'entrée et de sortie. Les valeurs des capacités sont calculées en fonction de l'ondulation voulue ainsi que des grandeurs moyennes désirées.

$$C > \frac{\alpha}{R \times F \times \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)}$$

- α : Le rapport cyclique compris entre 0 et 1. $\alpha = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} = \frac{30 - 21}{30} = 0.3$
- F : la fréquence de commutation. F=50KHz
- R : la charge. R=70 Ω
- ΔV_o : l'ondulation voulue. $\Delta V_o = 0.5$
- V_o : la tension qu'on veut filtrer.

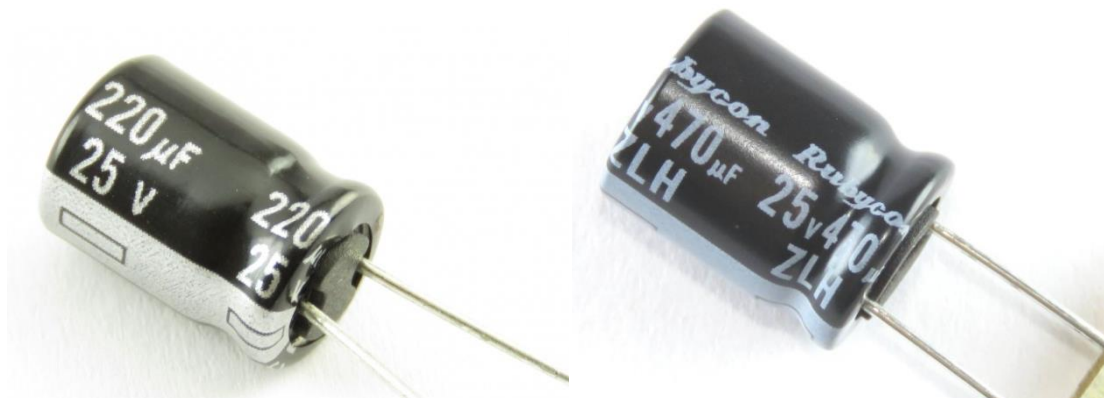
$$C1 > \frac{0.3}{70 \times 100000 \times \left(\frac{0.5}{21}\right)} = 1.8nF$$

$$C2 > \frac{0.3}{70 \times 100000 \times \left(\frac{0.5}{30}\right)} = 2.57nF$$

Les valeurs des condensateurs que nous utiliserons sont :

C1=220uF

C2=470uF



Les deux capacités choisies