

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakdhar- EL Oued

Faculté de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Spécialité : Réseaux Electrique

Présenté par :

- LasselArouba
- AlahoumHiam

Etude et simulation d'un tracker de puissance maximale efficace de système photovoltaïque pour conditions uniforme

Soutenue le : 17/ 06 /2021

Devant le jury composé de :

Dr :Mamri Osama

Président

Dr :BerkaNordin

Examineur

Dr :Labbi Yacine

Encadreur

Année universitaire 2020/2021

Dédicaces

*Je dédie cet effort à celui qui a toujours cru en moi , a
celui qui a été patient avec moi à travers les difficultés et
le mal jusqu'à ce que ma patience soit presque épuisée à
celui qui m'a soutenu pour que je puisse toujours rester fort
et ambitieux dans chaque âme à vous seul*

Pour moi ...Arouba

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents « Bachir & Salima » pour
ses encouragements et ses prières tout au long de
mes études.*

Et à mes chers oncles, Nacer , Omar ,

Azzel_dinne

A mes très chères sœurs, hadjer , manar , , Aridj , chahla

Et à mes frères, Abdel_nour , ahmedmaher

Et à mes très chères tantes

A toute ma famille

« Lassel et Echaref »

A tous mes amis et collègues

Lasselarouba

Dédicaces

*Je le dédie à mes frères et sœurs, et je les
remercie pour leurs encouragements et leurs aides
ainsi que toute ma grande famille.
A tous mes amis sans citer les noms.*

Alahoumhiam

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier dieu le tout puissant miséricordieux, qui nous a donné la force .et la patience d'accomplir ce travail

En seconde lieu, nous tenons à remercier notre encadreur NABIL OBEIDI et LABBI YACINE pour leurs conseils et leurs aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également à tous les enseignant A.KHADIJA et CH.HAKIMA , exceptionnellement aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions et leurs conseil.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin a la .réalisation de ce travail

Enfin, nous exprimons aussi nos remerciement ou enseignants du département Electrotechnique.

ملخص

في السنوات الأخيرة، كان هناك اهتمام كبير بالطاقات المتجددة وبشكل أكثر تحديداً الطاقة الكهروضوئية. يتعلق هذا المشروع بتصميم وتحقيق محول DC / DC من نوع Buck-Boost في سلسلة كهروضوئية يتم التحكم فيها بواسطة تقنية P & O-MPPT لضمان السعي للحصول على أقصى طاقة يوفرها مولد PV يعتمد على متحكم ArduinoDUE.

يتم التحقق من كفاءة الضوابط المقترحة من خلال النتائج التجريبية.

الكلمات الرئيسية: الطاقة الكهروضوئية، محول buck-boost تحكم MPPT.

Résumé

Durant ces dernières années, il y a eu un intérêt considérable pour les énergies renouvelables et plus particulièrement l'énergie photovoltaïque.

Ce projet porte sur la conception et la réalisation du convertisseur DC/DC de type Buck-Boost dans une chaîne Photovoltaïque commandé par P&O-MPPT technique pour assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur PV à base de microcontrôleur ArduinoDUE.

L'efficacité des de control proposés est vérifiée par des résultatsexpérimentaux. Mots clés : Photovoltaïque, Convertisseur Buck-Boost, Commande MPPT.

Abstract

In recent years, there has been considerable interest in renewable energies and more specifically photovoltaic energy.

This project concerns the design and the realization of the DC / DC converter of Buck-Boost type in a photovoltaic chain controlled by P & O-MPPT technique to ensure the pursuit of the maximum power provided by a PV generator based on ArduinoDUE microcontroller.

The efficiency of the proposed controls is verified by experimental results. Keywords: Photovoltaic, Buck Boostconverter, MPPT control.

LISTE DES FIGURES

Figure	Désignation	Page
Figure I.1	Principe de fonctionnement des panneaux.	19
Figure I.2	Pratique de diode unique ideal.	21
Figure I.3	Pratique à diode unique modèle.	21
Figure I.4	Organigramme pour trouver le courant de cellule d'un modele a diode simple et diode double.	25
Figure I.5	Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB.	26
Figure I.6	I-V caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance G (W/m^2).	26
Figure I.7	I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température T (C^0).	26
Figure I.8	P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance G ($W/m2$).	27
Figure I.9	P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température T (C^0).	27
Figure II.1	Système de conversion photovoltaïque.	29
Figure II.2	Symbole d'un hacheur DC/DC.	30
Figure II.3	Circuit électrique de Hacheur abaisseur.	32
Figure II.4	Circuit de convertisseur BUCK sur SimPowerSystem.	36
Figure II.5	Tension de sortie buck.	37
Figure II.6	Courant de sortiebuck.	37
Figure II.7	Système photovoltaïque suivi par un hacheur de type Boost.	38
Figure II.8	Circuit de convertisseur BOOST sur SimPowerSystem.	42
Figure II.9	Tension de sortie boost.	42
Figure II.10	Courant de sortieboost.	43

LISTE DES FIGURINES

Figure II.11	Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.	43
Figure II.12	Circuit de convertisseur BUCK-BOOST sur SimPowerSystem.	48
Figure II.13	Tension de sortie buck boost.	48
Figure II.14	Courant de sortie buck boost.	49
Figure III.1	Algorithme de la Tension Constante (FCO).	52
Figure III.2	Algorithme du constant courant (FCC).	53
Figure III.3	Recherche du PPM par la méthode (P&O).	54
Figure III.4	l'algorithme de P&O classique.	56
Figure III.5	Programme et schéma block de la technique P&O.	56
Figure III.6	caractéristique de tension-puissance du panneau.	57
Figure III.7	L'algorithme IncCond classique.	59
Figure III.8	Programme et schéma bloc de la technique INC.	59
Figure III.9	Stateflow de la technique INC.	61
Figure III.10	Simulation du system photovoltaïque avec technique INC-MPPT.	61
Figure III.11	Simulation result of tracking waveforms for both INC-MPPT Algorithms: (a) PV puissance, and (b) PV module voltage.	63
Figure IV.1	Carte arduino.	67
Figure IV.2	photo de microcontrôleur.	69
Figure IV.3	Arduino DUE.	70
Figure IV.4	Arduino MEGA.	71
Figure IV.5	Arduino NANO.	73
Figure IV.6	Les entrées / sorties numériques.	74
Figure IV.7	Les entrées analogiques.	75

LISTE DES FIGURINES

Figure IV.8	Les sorties analogique.	75
Figure IV.9	Les tensions de references.	75
Figure IV.10	L'écran de démarrageArduino.	77
Figure IV.11	L'interface arduino IDE de logiciel.	77
Figure IV.12	La barre d'outils.	78
Figure IV.13	Interface IDE Arduino.	78
Figure IV.14	Lecteur LED recommandé et circuit d'application.	79
Figure IV.15	Experimental test de P&O-MPPT algorithm programme par stateflow/Matlab/Similink avec 2 enter analogique, en plus le ploque de generateur de MLI rapide (S-Function Builder).	81
Figure IV.16	Photo réel de system photovoltaïque étudiée.	81
Figure IV.17	Photo réel de convertisseur Buck-Boost	82
Figure IV.18	Photo réel de Gate Drive.	82
Figure IV.19	Suivi des performances sous les changements d'irradiance : formes d'onde expérimentales de P&O-MPPT.	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Désignation	Page
Tableau.I.1	Caractéristiques électriques du module PV.	24
Tableau.III.1	Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation & observation ».	55
Tableau.II.2	Caractéristiques électriques du module PV.	64
Tableau.III.2	Comparaison des techniques MPPT.	70
Tableau.IV.1	La carte arduino DUE.	71
Tableau.IV.2	La carte arduino UNO.	62
Tableau.IV.3	La carte arduino MEGA.	72
Tableau.IV.4	La carte arduino NANO.	73
Tableau.IV.5	Comparer le mode de sortie, mode non PWM.	84
Tableau.IV.6	Comparer le mode de sortie, le mode PWM rapide.	84
Tableau.IV.7	Description du bit du mode de génération de forme d'onde.	85
Tableau.IV.8	Description du bit de sélection de l'horloge.	85

Liste des abréviations et Nomenclature

Liste des abréviations et Nomenclature

GTO : Gate-Turn-Off thyristor.

MOSFETS : Transistors à effet de champ d'oxyde de métal.

IGBT: Insulated-Gate-Bipolar-Transistor.

GPV:générateur photovoltaïque.

MPPT : Maximum power point tracker.

DC-DC: Direct Current-Direct Current.

BJT b : Power bipolar junction transistor.

PV : Photovoltaïque.

IC : conductance Incrémentale.

PSO : ParticleSwarmOptimization.

P&0 : perturbation et observation.

PWM : Pulse with modulation.

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion.

FF : Facteur de forme.

Nomenclature

I_0 : Courant de sortie [A].

I_d : Courant de la diode.

I_{ph} : le photo-courant.

I_{SC} :le courant de court-circuit de la cellule [A].

V_{ph} :Tension de sortie de la cellule(V).

V_0 : Tension de sortie [V].

V_L : Tension aux bornes de l'inductance [V].

V_{OC} : La tension du circuit-ouvert.

R_{ph} : la résistance de photovoltaïque.

R_s : Résistance série.

Liste des abréviations et Nomenclature

T1 : est une température standard normale.

Iref : courant de reference.

Vref : tension de reference.

P_{MAX} :Puissance maximale [W].

np : Nombre de particules dans l'espace de recherche .

SOMMAIRE

Résume	A
Liste des figures.....	B
Liste des tableaux.....	E
Liste des abréviations et nomenclature.....	I
Sommaire.....	i
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : LES SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE

I.1 INTRODUCTION	19
I.2 L'ENERGIE SOLAIRE :.....	19
I.2.1 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE :.....	19
• <i>Production d'énergie</i> :	19
• <i>Contrôle d'énergie</i>	19
• <i>La partie utilisation:</i>	19
I.3 LES PANNEAUX SOLAIRES :.....	20
I.3.1 LE FONCTIONNEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES :	20
I.3.2 LES DIFFERENTS TYPES DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES :	20
I.3.2.1 <i>Les Panneaux PV Avec Des Cellules Monocristallines</i> :	20
I.3.2.2 <i>Les panneaux PV Avec Des Cellules Poly-cristallines</i> :	20
I.3.2.3 <i>Les Modules Photovoltaïques Amorphes</i> :	21
I.4 LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :	21
I.4.1 FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PV :	21
I.4.2 CIRCUIT PV ELECTRIQUE EQUIVALENT :	22
A. <i>Pratique de diode unique idéal</i> :	22
B. <i>Pratique à diode unique modèle</i> :	22
I.5 EQUATIONS MATHEMATIQUES POUR LE TRACE DES COURBES I-V ET P-V :	23
I.6. MODELISATION DU MODULE PV :.....	25
I.7.LA SIMULATION DE PHOTOVOLTAÏQUE MODULE :.....	26
I.8.RESULTATS ET DISCUSSIONS :	27
I.10 CONCLUSION :	28

Chapitre II: Modélisation du convertisseur DC-DC

II.1 INTRODUCTION :	30
II.2 ETUDE DES CONVERTISSEURS DC-DC :	30
II.2.1 CONVERTISSEUR DC/DC (HACHEUR) :	30
II.2.2 TYPE DES HACHEURS :	31
II.2.3 APPLICATIONS DES CONVERTISSEURS DC-DC :	32
II.2.4 CONSIDERATION DE COMMUTATION DES CONVERTISSEURS DC-DC:	32
II.3 CONVERTISSEUR ABAISSEUR (BUCK) :	32
II.3.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	33
II.3.1.2 Modélisation du circuit:	33
II.3.1.3 Représentation d'état:	34
II.4. DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DU CONVERTISSEUR BUCK :	36
II.4.1 LE CAHIER DE CHARGE :	36
II.4.2 CALCUL ET CHOIX DES ELEMENTS :	36
II.4.3 SIMULATION :	37
II.4.3.1 Les Résultats de Simulink :	37
II.5 CONVERTISSEUR ELEVATEUR (BOOST) :	38
II.5.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	39
II.5.1.1 Modélisation du circuit:	39
II.5.1.2 Représentation d'état :	40
II.5.1.3 Dimensionnement des Éléments du Convertisseur BOOST :	42
II.5.1.4 le Cahier de Charge :	42
II.5.1.5 Calcul et Choix des Éléments :	42
II.5.2 SIMULATION:	43
II.5.3 LES RESULTAS DE SIMULINK:	43
II.6 CONVERTISSEUR BUCK-BOOST :	44
II.6.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	44
II.6.1.1 Modélisation du circuit:	45
II.6.1.2 Représentation d'état:	45
II.6.2 DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DU CONVERTISSEUR BUCK-BOOST :	47
II.6.2.1 le Cahier de Charge :	47
II.6.2.2 Calcul et Choix des Éléments :	47
II.6.3 SIMULATION :	49
II.6.4 LES RESULTAS DE SIMULINK:	49
II.7 CONCLUSION :	50

CHAPITRE III: LES ALGORITHMES MPPT

III. INTRODUCTION :	52
III.1 LES ALGORITHMES MPPT :	52

III.2 APPROCHE DE LA TENSION CONSTANTE (CV, CONSTANT VOLTAGE) :	52
III.3 APPROCHE DU COURANT CONSTANT (CONSTANT CURRENT) :	53
III.4 PERTURBATION ET OBSERVATION (P&O, PERTURB AND OBSERVE) :	55
III.5 CONDUCTANCE INCREMENTALE (INCCOND, INCREMENTAL CONDUCTANCE) :	58
III.5.1 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	61
a. <i>Avantage</i> :	61
b. <i>Inconvénients</i> :	62
III.6 RESULTATS DE SIMULATION :	62
III.7 DISCUSSION	64
III.8 CONCLUSION :	65

Chapitre IV: Experimental Test De Systeme Photovoltaïque

IV.1.INTRODUCTION :	67
IV.1 DEFINITION DE LA CARTE ARDUINO :	67
IV .2.1. POURQUOI ARDUINO DUE :	67
<i>Le Prix (Réduits)</i> :	67
IV .2. 2 LA CONSTITUTION DE LA CARTE ARDUINO DUE :	68
IV .2.3 PARTIE MATERIELLE :	68
IV .2.4 LE MICROCONTROLEUR ATMEGA328 :	68
• <i>La mémoire Flash:</i>	68
• <i>RAM</i>	68
• <i>EEPROM</i> :	68
• <i>Registres:</i>	68
• <i>Le processeur</i> :	68
IV .2.5 LES DIFFERENTES CARTES ARDUINO :	69
IV.2.5.1 <i>Arduino Due:</i>	69
IV.2.5.2 <i>Arduino Uno</i> :	69
IV.2.5.3 <i>Arduino Mega 2560</i> :	71
IV.2.5.4. <i>Arduino Nano:</i>	72
IV.2.6 LES ENTREES / SORTIES :	74
IV.2.6.1 <i>Les entrées / sorties numeriques</i> :	74
IV.2.6.2 <i>Les sorties numeriques</i> :	74
IV.2.6.3. <i>Les entrées numeriques</i> :	74
IV.2.6.4 <i>Les entrées analogique</i> :	75
IV.2.6.5 <i>Les sorties analogique</i> :	75
IV.2.6.6 <i>Les tensions de references</i> :	75
IV 2.7 LE PORTE USB :	76
IV.2.8 LES PORTS DE COMMUNICATIONS :	76
IV.2.9 PARTIE PROGRAMME :	76
IV.2.10 L'ENVIRONNEMENT DE LA PROGRAMMATION :	76

IV.2.10.1 Le logiciel :	76
IV 2.10.2 L'interface de logiciel :	77
IV 2.10.3 Lancement du logiciel :	77
IV.2.10.4 Les boutons :	78
IV.2.11 STRUCTURE GENERALE DU PROGRAMME (IDE ARDUINO):.....	78
IV.3 LES ELEMENT DU SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE:	79
IV.3.1 GATE DRIVER:	79
IV.3.2 LES COMPOSANT UTULISE SUR LE SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE :	79

Introduction générale

Introduction générale

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources.

D'autant plus que la demande ne cesse de croître et dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole.

On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque.

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leur système de conversion de l'énergie en électricité souffre souvent d'un manque d'optimisation qui en fait encore des systèmes trop chers, et présentant des déficiences importantes en rendement et en fiabilité. Pour cela, bien qu'il existe de plus en plus de travaux de recherches prouvant la viabilité de sources comme, par exemple, l'énergie photovoltaïque (PV) ou l'énergie éolienne, beaucoup de réticences existent encore pour installer ces systèmes à grande échelle, autant en production de masse que chez des particuliers.

A cause de la nature non linéaire du système photovoltaïque, il est difficile et compliqué de commander ce système par les régulateurs standard ; ces derniers nécessitent plusieurs simplifications et linéarisations du système, ce qui nous mène loin de la réalité de notre vrai système.

Dans ce mémoire, nous avons proposé la conception et la réalisation d'un convertisseur Buck-Boost fonctionnant en mode optimisation MPPT avec une technique de modulation de largeur d'impulsion rapide pilotée par Arduino Due.

- le premier chapitre présente l'état de l'art, La caractérisation du modèle de la photopile paraît intéressante. L'influence des différents paramètres climatiques et autres sur les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ a été abordée.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de différents hacheurs et la leur modélisation, avec présentation de résultats de simulation.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la définition de quelques algorithmes de MPPT qui ont été proposés dans la littérature.
- Le quatrième chapitre est consacré à des mesures expérimentales du test réel, avec création C-code Assembleur pour générer modulation de largeur d'impulsion rapide.

Chapitre I

I.1 Introduction

L'approche courante consiste à utiliser le circuit électrique équivalent, qui est principalement basé sur une source de courant générée par la lumière connectée en parallèle à une diode à jonction p-n, un modèle de diode unique idéal. De nombreux modèles ont été proposés pour la simulation d'une cellule solaire ou pour un système photovoltaïque (PV) complet à diverses intensités solaires et conditions de température.

I.2 L'énergie Solaire :

Le soleil est assimilé à un corps noir rayonnant à une température de 6000 ° K. il est composé de 70% d'hydrogène et de 28% d'hélium, les 2% restants étant du carbone, de l'azote et d'autres éléments. Avec un diamètre de 1 391 000 km, le soleil est situé à 150 000 000 km de la terre. Cette énergie rayonnée par le soleil est due à des réactions thermonucléaires. En effet, il est désormais admis que le soleil est un hydrogène thermonucléaire

Le système solaire émet en permanence une énorme quantité d'énergie radiante et la terre reçoit une petite partie de cette énergie en moyenne, 1367 watts atteignent chaque mètre carré de la couche atmosphérique externe.

Le rayonnement normal au sol est de l'ordre de 1000. En effet, en traversant les différentes couches de l'atmosphère, une partie de l'énergie solaire est atténuée jusqu'à 51%. Le principe de ce travail est de transformer cette partie de l'énergie solaire en énergie électrique ou en toute forme d'énergie qui nous servira[1].

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité dans un matériau semi-conducteur tel que le silicium, ce matériau photosensible a la propriété de libérer des électrons sous l'influence d'énergie extérieure. Cette énergie fournie par les photons arrache les électrons et introduit un courant électrique: c'est le système photovoltaïque[2].

I.2.1 Système Photovoltaïque :

Un système photovoltaïque se compose de trois parties principales. La première partie est consacrée à la production d'énergie électrique, la deuxième partie est le contrôle de l'énergie et dirige cette énergie au besoin, et la troisième partie est l'alimentation des différents récepteurs

- **Production d'énergie :** la partie production d'énergie est essentiellement composée d'un ou plusieurs modules, qui transforment l'énergie solaire en électricité. Un panneau photovoltaïque est constitué de petites cellules qui génèrent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue inférieure à 1V. Pour générer plus d'électricité, ces cellules sont connectées en série pour former un module ou une colonne. Enfin, les panneaux sont jumelés.

- **Contrôle d'énergie :** Un dispositif de stockage avec ou sans régulation, ainsi que les câbles de liaison, constituent la partie contrôle d'énergie.

- **La partie utilisation:** c'est constituée de plusieurs récepteurs (exemple: éclairage, pompage, etc)[3].

I.3 Les Panneaux Solaires :

I.3.1 Le Fonctionnement Des Panneaux Solaires :

Les cellules photovoltaïques, qui sont des composants électroniques capables de générer de l'électricité à partir du rayonnement solaire grâce à l'effet photo, constituent les panneaux solaires[3].

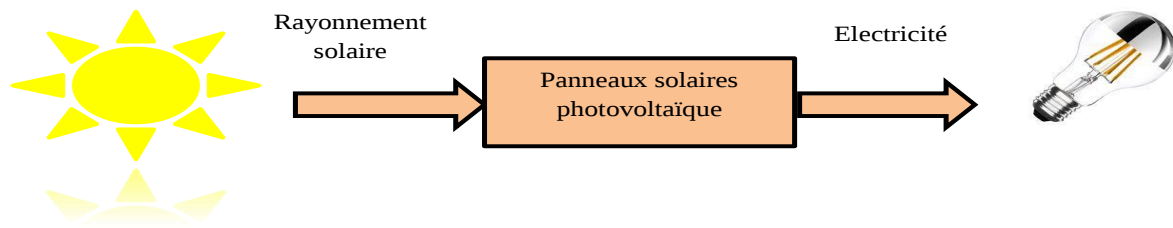


Figure I.1 principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques.

I.3.2 Les Différents Types Des Panneaux Photovoltaïques :

I.3.2.1 Les Panneaux PV Avec Des Cellules Monocristallines :

Les panneaux photovoltaïques à cellules monocristallines sont la première génération de cellules solaires, construites à partir d'un seul bloc cristallisé de silicium.

Son processus de fabrication est long et énergivore, ainsi que plus coûteux; cependant, il est plus compétitif que le silicium polycristallin. Pour fabriquer une barre, du silicium brut est fondu. Un monocristal se forme lorsque le silicium est refroidi lentement et soigneusement.

La barre de silicium est ensuite découpée en plaquette (substrat de silicium). La plaquette devient une cellule après différents traitements (traitement de surface acide, dopage et formation de la jonction p-n, dépôt d'une couche antireflet et mise en place de collecteurs). Les cellules sont de forme rectangulaire ou presque carrée et ont une couleur uniforme lorsqu'elles sont vues de près. Ils ont un rendement de 12 à 18 pour cent, mais la méthode de traitement demande beaucoup de travail[4].

I.3.2.2 Les panneaux PV Avec Des Cellules Poly-cristallines :

Les panneaux photovoltaïques à cellules polycristallines sont constitués d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Vu de près, on peut voir les différentes orientations des cristaux (différents tons).

Elles ont une efficacité de 11 à 15%, mais elles sont moins coûteuses à produire que les cellules monocristallines. Ces cellules se sont maintenant développées en raison de leur capacité à augmenter la productivité[5].

I.3.2.3 Les Modules Photovoltaïques Amorphes :

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien inférieur, mais malheureusement leur efficacité n'est que de 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet l'utilisation de très fines couches de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. L'efficacité de ces panneaux est inférieure à celle des technologies polycristallines ou monocristallines[6]. Le silicium amorphe, quant à lui, permet la production à faible coût de panneaux de grande surface avec peu de matière première.

I.4 La Cellule Photovoltaïque :

L'effet PV, qui est utilisé dans les cellules solaires, permet de transformer directement l'énergie lumineuse des rayons du soleil en électricité en produisant et en transportant des charges électriques positives et négatives dans un semi-conducteur sous l'influence de la lumière. Ce matériau est divisé en deux parties, l'une avec une abondance d'électrons et l'autre avec un déficit d'électrons, respectivement appelées dopées de type n et dopées de type p.

Lorsque le premier entre en contact avec le second, les électrons en excès dans le matériau n se dispersent dans le matériau p. La zone dopée n devient chargée positivement, tandis que la zone dopée p devient chargée négativement. Les électrons sont repoussés dans la zone n, tandis que les trous sont repoussés dans la zone p, créant un champ électrique entre eux. En conséquence, une jonction p-n est formée. Une diode est réalisée en connectant les zones n et p avec des contacts métalliques.

Lorsque la jonction est éclairée, les photons avec une énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, ce qui entraîne la formation d'une paire électron-trou. Lorsqu'une charge est appliquée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n pénètrent dans les trous de la zone p via la liaison externe, provoquant la circulation d'une différence de potentiel et d'un courant.

En conséquence, l'effet dépend des propriétés semi-conductrices du matériau et du dopage pour améliorer la conductivité. La présence de quatre électrons de valence sur la coque périphérique du silicium utilisé dans la plupart des cellules modernes a été choisie. Chaque atome tétravalent du silicium solide est connecté à quatre voisins et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons[7].

I.4.1 Fonctionnement D'une Cellule PV :

Pour être en mesure d'expliquer le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, vous devez d'abord passer en revue certaines notions de physique du solide.

En physique du solide, la théorie des bandes peut être utilisée pour modéliser les niveaux d'énergie que les électrons d'un atome peuvent occuper[5].

I.4.2Circuit PV Electrique Equivalent :

A. Pratique de diode unique idéal :

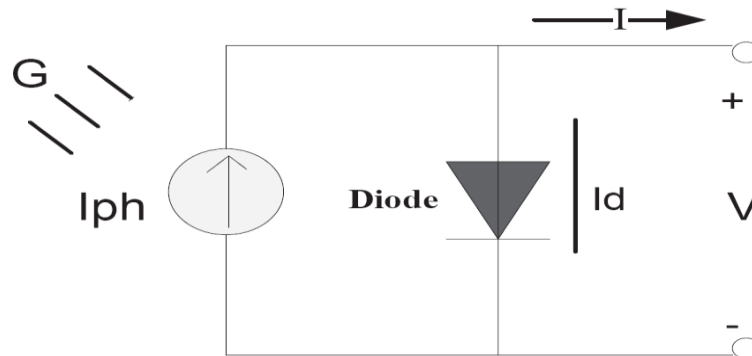


Figure.I.2pratique de diode unique ideal.

C'est l'une des formes les plus simplifiées d'une cellule PV idéale à travers laquelle la tension de sortie et les relations de courant se révèlent être mais ce modèle ne donne pas des caractéristiques précises des courbes I-V et P-V.

$$I_o = I_{ph} - I_d \quad (I.1)$$

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{V}{n_s V_t}} - 1 \right) \quad (I.2)$$

$$V_t = \frac{nkt}{q} \quad (I.3)$$

B. Pratique à diode unique modèle :

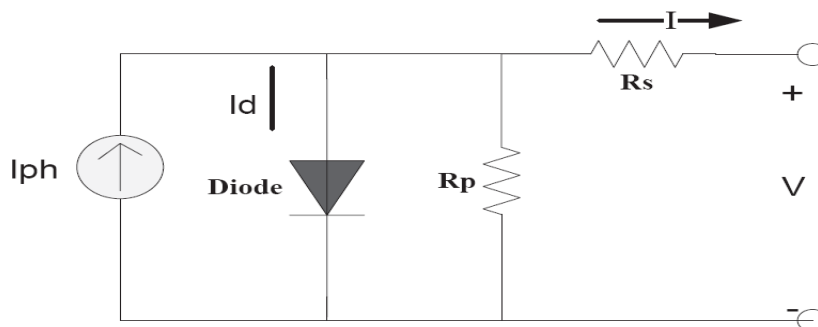


Figure I.3 pratique a diode unique modèle.

Celui-ci est un circuit équivalent d'une cellule PV pratique. Dans de nombreuses littératures, il est également appelé modèle à cinq paramètres ($I_o, n, R_s, R_{ph}, I_{ph}$). Il prend en compte différentes propriétés de la cellule solaire comme:

- R_s est introduit de manière à prendre en compte les chutes de tension et les pertes internes dues au flux de courant.
- R_{ph} prend en compte le courant de fuite vers la terre lorsque la diode est polarisée en inverse.

Mais ce modèle a négligé l'effet de recombinaison de la diode, c'est pourquoi ce n'est toujours pas le modèle le plus précis

$$I = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{V + IR_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (I.4)$$

Il s'agit de la forme modifiée du circuit à diode unique qui prend en compte l'effet de la recombinaison en introduisant une autre diode en parallèle

$$I = I_{o1} - I_{ph} \left(e^{\frac{V + IR_s}{n_{s1} V_{T1}}} \right) - I_{o2} \left(e^{\frac{V + IR_s}{n_{s2} V_{T2}}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (I.5)$$

I.5 Equations Mathématiques Pour Le Tracé Des Courbes I-V et P-V :

Comme le courant traversant R_p est très inférieur à celui d'autres courants, la valeur de R_p a été supposée négligeable par souci de simplicité de calcul.

Maintenant, le photo-courant et le courant de saturation inverse sont des paramètres dépendant de la température comme,

$$I_{ph} = (I_{ph})_{T_1} + k_o (T - T_1) \quad (I.6)$$

Où, T_1 est une température standard normale .

$$(I_{ph})_{T_1} = (I_{sc})_{T_1} \frac{G}{G_{STC}} \quad (I.7)$$

$$K_o = \frac{(I_{sc})_{T_2} - (I_{sc})_{T_1}}{T_2 - T_1} \quad (I.8)$$

Le photo-courant de la cellule est directement proportionnel à l'irradiance. Bien que les performances des cellules ne se dégradent pas de manière significative, l'efficacité des cellules PV dépend de l'énergie solaire incidente.

$$I_o = (I_o)_{T_1} * \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} * e^{\frac{q(E_g)T_1}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (I.9)$$

$$(I_o)_{T_1} = \frac{(I_{sc})T_1}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})T_1}{nkT_1 - 1}} \right)} \quad (I.10)$$

La valeur de la résistance série peut être estimée par.

$$R_s = - \left(\frac{dV}{dI} \right)_{V_{oc}} - \frac{1}{X_v} \quad (I.11)$$

$$X_v = (I_o)_{T_1} \frac{q}{nkT_1} e^{\frac{q(V_{oc})T_1}{nkT_1}} - \frac{1}{X_v} \quad (I.12)$$

L'organigramme pour l'estimation du courant de la cellule avec l'irradiance, la température et la tension de la cellule comme paramètres d'entrée est comme indiqué sur la figure 4. La tension de la cellule doit être une matrice de vecteur de ligne dont la plage doit couvrir toutes les valeurs possibles que la cellule PV est capable de produire dans des conditions spécifiées des fabricants

Le rapport entre la puissance maximale pouvant être fournie à la charge et le produit de I_{sc} , V_{oc} est appelé facteur de remplissage. C'est une mesure des caractéristiques réelles I-V. Pour une valeur de 0,7 ou plus, sont considérées comme de bonnes cellules. FF augmente avec la diminution de la température

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (I.13)$$

À partir des caractéristiques I-V de la cellule PV, par rapport au circuit équivalent à une diode unique, sont résolues à des points extrêmes, il devient, en condition de circuit ouvert :

$$0 = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{V_{oc} + I R_s}{n_s v_T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc} + I R_s}{R_p} \quad (I.14)$$

En condition de court-circuit :

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{I_{sc} R_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc} R_s}{R_p} \quad (I.15)$$

En condition de point de puissance maximale :

$$I_{mp} = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{R_p} \quad (I.16)$$

En utilisant les équations ci-dessus, les caractéristiques des cellules solaires photovoltaïques peuvent être produites. Et une fois que les courbes caractéristiques I-V et P-V.

I.6. Modélisation Du Module PV :

Spécifications du module PV multicristallin Dimel-85 est choisi pour la modélisation. Il fournit 85 watts de puissance nominale maximale et se compose de 36 cellules. Ses spécifications sont présentées dans le tableau 1.

Tableau I.1 Caractéristiques électriques du module PV.

Paramètre Electrique	Dimel-85
Puissance max (PM)	85W
V _{mpp}	17.85 V
I _{mpp}	4.77 A
I _{sc}	5.15 A
V _{oc}	21.8V
Nombre de cellules en série	36

En utilisant le programme Matlab, le module PV a été implémenté en utilisant un organigramme pour les modèles de circuits à une diode. Pour simplifier, R_p a été considéré comme infini. Les paramètres nécessaires sont évalués et des hypothèses ont été faites lors de l'exécution des équations listées dans la section précédente. Ce programme prend l'irradiance, la température de la cellule et la tension du module PV comme entrées et à l'aide d'équations, il renvoie la valeur du courant de sortie du module PV pour toutes les valeurs du vecteur de tension ainsi appliqué dans le programme.

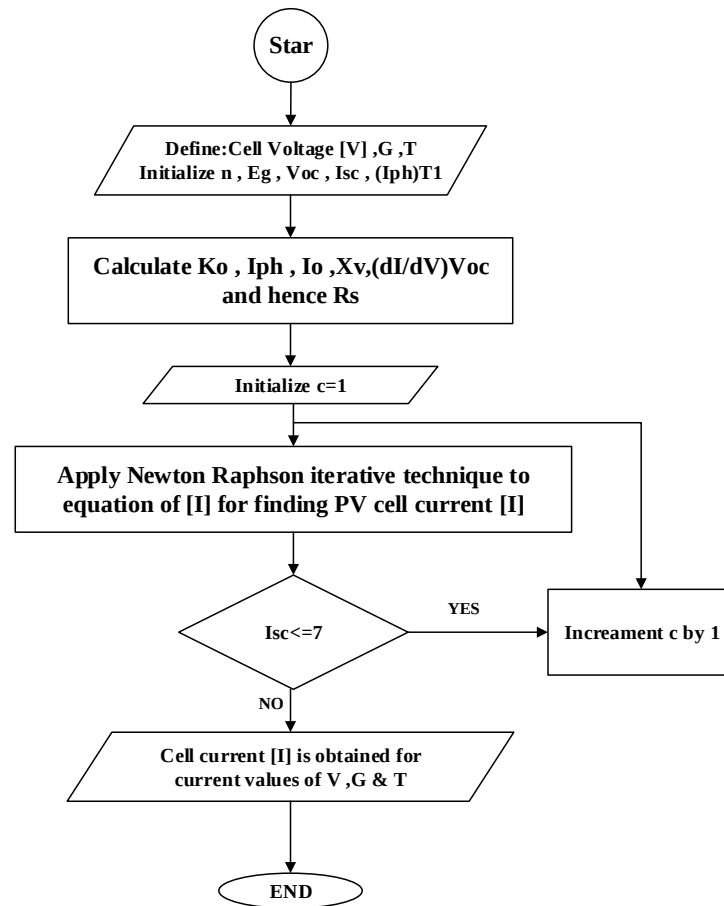


Figure I.4 Organigramme pour trouver le courant de cellule d'un modele a diode simple et diode double.

I.7.La Simulation De Photovoltaïque module :

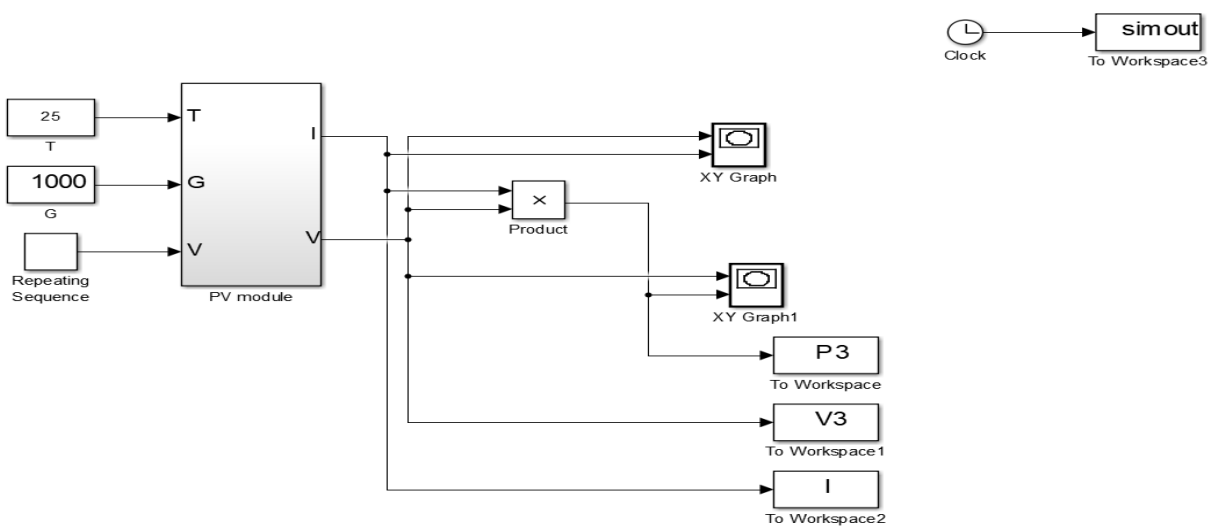


Figure I.5 Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB.

I.8. Résultats Et Discussions :

Les tracés des courbes caractéristiques I-V et P-V ont été produits en faisant varier certains paramètres un par un en maintenant les autres paramètres constants à STC. Dans le fichier de script Matlab, l'organigramme spécifié est implémenté.

La figure I.7 décrit les caractéristiques I-V du modèle à diode unique la valeur d'irradiance solaire G (à STC est de 1000W/m^2 , 800W/m^2 , 600W/m^2 , et 400W/m^2) respectivement. En observant la courbe, nous voyons qu'avec l'augmentation des valeurs d'irradiance, la valeur du courant de cellule augmente également proportionnellement mais la tension de cellule augmente très moins. En observant attentivement courbe, la courbe I-V du modèle unique diode Fig. 7.

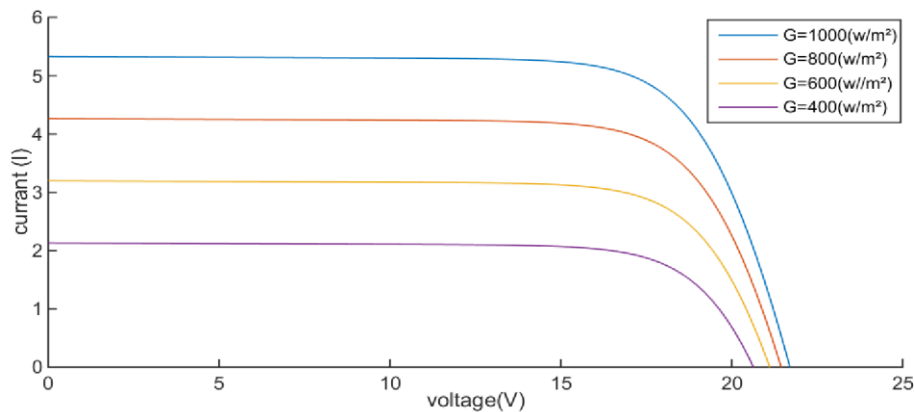


Figure I.6 I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance G (W/m^2).

Dans cette courbe, nous remarquons les changements de courant et de tension lorsque l'irradiance augmente, mais on observe le changement de tension était faible et le changement de courant était remarquable, est l'augmentation de tension s'accorder avec l'augmentation de courant.

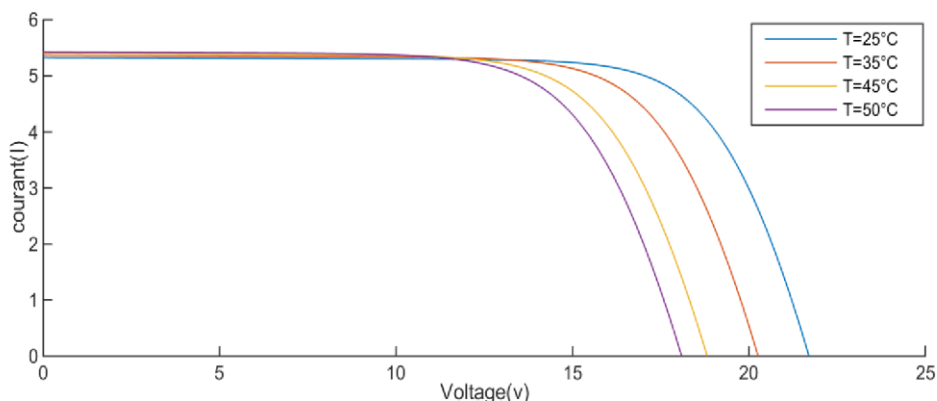


Figure I.7 I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température T ($^{\circ}\text{C}$).

Dans cette courbe, à mesure que la température augmente, nous suivons une légère augmentation de la valeur de courant, et une diminution de la valeur de tension.

Par conséquent, en observant toutes les caractéristiques du module PV multicristallin Dieml-85 tout en modélisant le circuit équivalent électrique à simple diode, la conclusion est obtenue en considérant tous les aspects possibles dans toutes les conditions météorologiques.

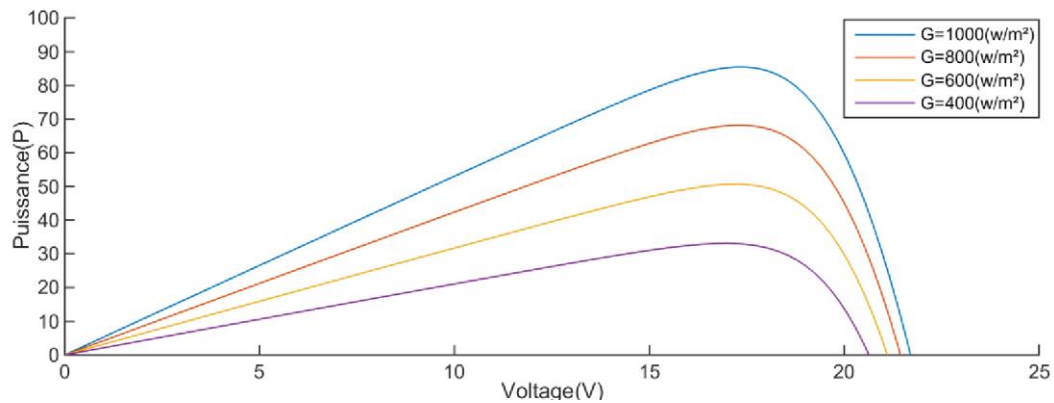


Figure I.8 P-V caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance G (W/m^2).

Dans cette courbe, On remarque que l'irradiance est diminuée, plus la puissance diminuée et aussi la tension diminue également.

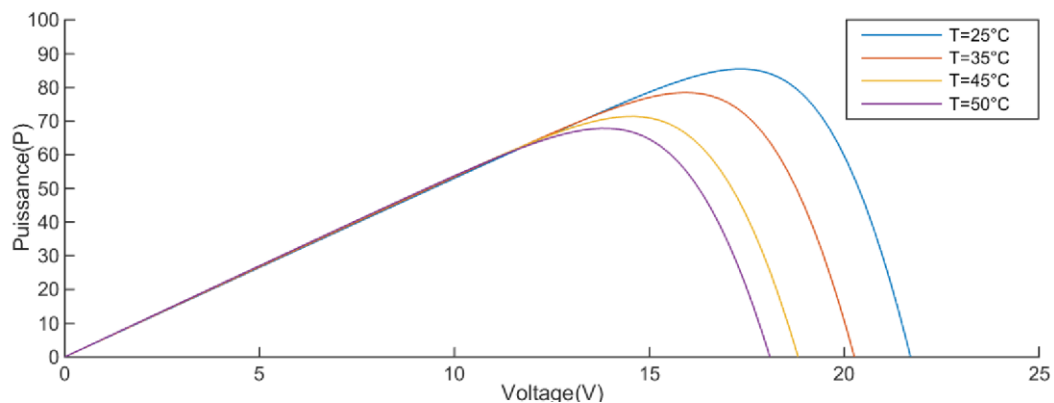


Figure I.9 P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température T ($^{\circ}\text{C}$).

La figure.10 montre la caractéristique P-V d'une diode unique pour varier température. Dans cette courbe l'augmentation de température conduit à diminution de puissance.

I.10 Conclusion :

L'objectif principal de ce chapitre était de montrer la différence dans les caractéristiques I-V et P-V des circuits électriques équivalents de cellules photovoltaïques solaires, des circuits équivalents à une diode.

Chapitre II

II.1 Introduction :

Les stratégies de gestion de l'énergie photovoltaïque et du système de conversion d'énergie est un élément très important dans l'amélioration de l'efficacité. Parmi les stratégies, la méthode pour suivre la puissance maximale du GPV dite. Méthode de suivi du Point de Puissance Maximale (MPPT) et amplement utilisée. Elle permet de trouver automatiquement la tension maximale ou le courant maximal du module PV au cours de lesquelles il fonctionnera pour atteindre le maximum de puissance quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation). On distingue de MPPT classiques et intelligents[13][14]. Dont généralement, la structure du système de conversion photovoltaïque est basée sur des blocs modulaires, comme le montre ci-dessous :

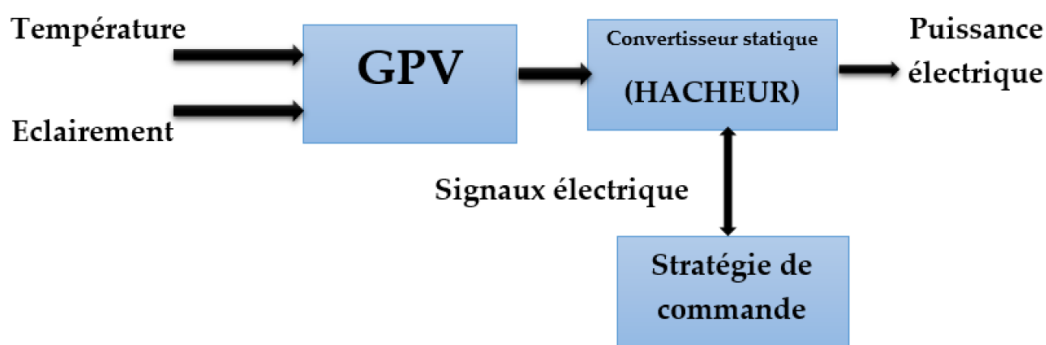


Figure.II.1 Système de conversion photovoltaïque.

II.2 Etude des convertisseurs DC-DC :

Il existe une variété de convertisseurs DC-DC possibles, mais dans la liste des convertisseurs, seuls les trois premiers convertisseurs doivent être décrits, qui sont essentiellement des bornes de sortie d'entrée non isolées.

II.2.1 Convertisseur DC/DC (hacheur) :

Les dispositifs électroniques de technologie nouvelle doivent satisfaire certains critères tels que la haute qualité, la fiabilité, la dimension, le poids et le coût réduit[1]. Les régulateurs de puissance linéaire, dont le principe de fonctionnement est basé sur un diviseur de courant ou de tension, peuvent fournir une tension de sortie de très haute qualité[15][16]. Cependant, ce type de régulateurs restent inefficaces du fait que leur domaine principal d'application est à des niveaux de puissance faibles[17].

Les régulateurs de commutation appelés convertisseurs DC/DC utilisent des interrupteurs électroniques, à base de semi-conducteurs tels que : le thyristor, transistor de puissance ou l'IGBT...etc, parce qu'ils engendrent une faible perte de puissance lors de basculement d'un état à un autre [4]. Ces convertisseurs assurent des rendements élevés de conversion d'énergie et ils peuvent fonctionner à des fréquences élevées. Les caractéristiques dynamiques des convertisseurs DC/DC s'améliorent avec l'augmentation des fréquences de fonctionnement.

Les fréquences de fonctionnement élevées permettent donc de parvenir à une réponse dynamique plus rapide aux changements rapides dans le courant de charge ou de la tension d'entrée[17].

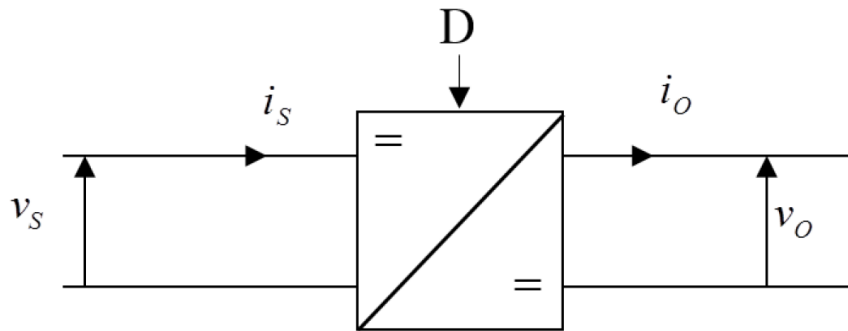


Figure.II.2 Symbole d'un hacheur DC/DC.

II.2.2 Type des hacheurs :

Les hacheurs sont des convertisseurs continu/continu qui ont pour but de contrôler le transfert et l'écoulement de l'énergie entre les panneaux solaires et la charge. Ils permettent de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Ils sont souvent utilisés comme une interface d'adaptation qui assure la poursuite du point de puissance maximale selon des stratégies de contrôle spécifiques.

Les panneaux solaires et la charge peuvent être soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant). La charge peut être de nature résistive aussi. Les convertisseurs DC-DC sont classés en deux types : les convertisseurs non isolés et les convertisseurs isolés de la source [18].

a) Non isolés de la source :

Trois configurations de base sont :

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

b) Isolés de la source : Comme le convertisseur « Flyback »

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions et la topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension telles que le Buck-Boost. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vus comme des transformateurs DC-DC[18].

II.2.3 Applications des convertisseurs DC-DC :

1. Les convertisseurs CC peuvent être utilisés dans le freinage régénératif des moteurs DC pour renvoyer l'énergie dans l'alimentation et cette caractéristique se traduit par des économies d'énergie pour le système de transport avec des arrêts fréquents. Comme par exemple :

- a) Commande de moteur de traction dans les automobiles électriques
- b) Chariots roulants
- c) Palans marins
- d) Chariots élévateurs
- e) Transporteurs de mines

2. Également utilisés dans les régulateurs de tension CC et sont également utilisés en conjonction avec un inducteur pour générer une source de courant CC, en particulier pour l'onduleur de source de courant.

II.2.4 Considération de commutation des convertisseurs DC-DC:

Le commutateur de convertisseur peut être implémenté en utilisant a) Transistor de jonction bipolaire de puissance (BJT) b) Transistor à effet de champ semi-conducteur à oxyde métallique de puissance (MOSFET) c) Thyristor d'arrêt de porte (GTO) d) Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) Les appareils pratiques ont une chute de tension finie allant de 0,5V à 2V mais lors des calculs par souci de simplicité de compréhension, ces interrupteurs sont considérés comme sans perte.

II.3 Convertisseur abaisseur (Buck) :

Le convertisseur DC/DC abaisseur, montré dans la Fig 3, convertit la tension de la source V_s en une tension plus basse V_o [19][20]. Ce convertisseur est constitué d'un commutateur S , de la diode D , qui protège S , et du filtre inductif L . Lorsque l'interrupteur S est fermé, le courant $i(t)$ circule vers la charge à travers l'inductance L qui se charge au fur et à mesure que le courant $i(t)$ augmente durant $T_e[0,DT_s]$, lorsque l'interrupteur S s'ouvre, l'inductance L libère l'énergie emmagasinée sous forme magnétique à la charge et la diode D est en état de conduction afin de protéger l'interrupteur, ce durant $T_e[DT_s,T_s]$. La tension et le courant de sortie sont en fonction du rapport cyclique et de la fréquence [21][22][23].

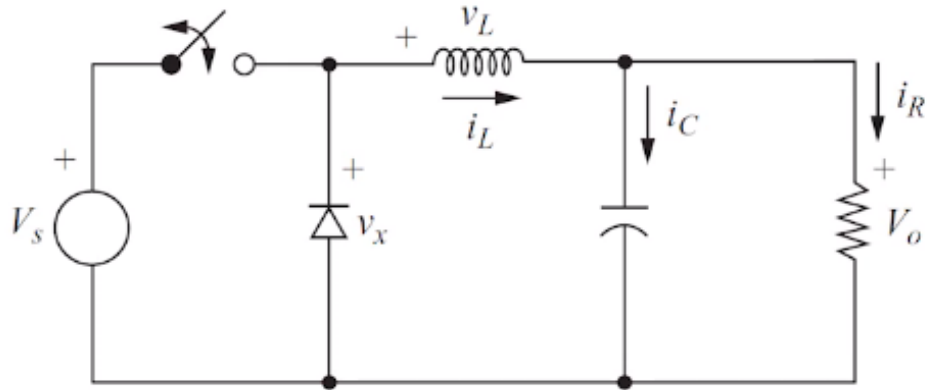


Figure.II.3Circuit électrique de Hacheur abaisseur.

II.3.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Buck peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur S:

- Dans l'état passant, l'interrupteur S est fermé, la tension aux bornes de l'inductance vaut.
- Le courant traversant l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de la diode étant négative, aucun courant ne la traverse.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur est ouvert. La diode devient passante afin d'assurer
- Continuité du courant dans l'inductance. La tension aux bornes de l'inductance vaut.
- Le courant traversant l'inductance décroît.

II.3.1.2 Modélisation du circuit:

$$V_o = V_A = DV_s \quad (\text{II.1})$$

$$D_{iL} = \frac{1}{L}(V_s - V_o)DT_s = \frac{1}{L}V_o(1-D)T_s \quad (\text{II.2})$$

$$I_L + I_o = \frac{V_o}{R} \quad (\text{II.3})$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (\text{II.4})$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{II.5})$$

II.3.1.3 Representation d'etat:

Dans la plus part des cas, l'évolution en fonction du temps du système peut être décrite par les deux équations suivantes qui constituent la représentation d'état.

$$\begin{cases} \dot{X} = F(x, u, t); \text{équation d'état} \\ Y = G(x, u, t); \text{équation de sortie} \end{cases}$$

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_1 X + B_1 u \\ Y = C_1 X \end{cases}$$

$$X = \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix}$$

avec : $U = V_o$

X : vecteur d'état, **Y** : vecteur de sortie, **u** : vecteur de commande et **A** : matrice d'état.

Pour étudier le convertisseur abaisseur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour S ouvert et fermé.

- Pour $T \in [0 \quad DT_s]$, S est fermé

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \quad (\text{II.6})$$

$$i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \quad (\text{II.7})$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s - V_o(t) \quad (\text{II.8})$$

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = V_o - V_C \\ C \frac{dV_C}{dt} = i_L - \frac{V_C}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Pour $T \in [DT_s, T_s]$, S est ouvert

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) \quad (\text{II.9})$$

$$i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \quad (9)$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_o(t) \quad (9)$$

Donc:

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = -V_o \\ C \frac{dV_c}{dt} = i_L - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

La tension moyenne d'inductance est égale à zéro en régime permanent :

$$V_L(t) = D(V_s - V_o) + (1-D)(-V_o) = 0 \quad (\text{II.10})$$

La relation de la tension d'entrée V_s et de sortie V_o en fonction du rapport cyclique D est donnée par l'équation

$$(V_L - V_o)DT_s = V_o(1-D)T_s \quad (10)$$

A partir de l'équation, le rapport de conversion du hacheur dévolteur est donné par la forme suivant :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = D \quad (10)$$

Le rapport de conversion $M(D)$ varie proportionnellement avec le rapport cyclique de commutation D .

II.4. Dimensionnement des Eléments du Convertisseur Buck :

II.4.1 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Buck en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée : $V_s = 48 \text{ V}$.
- Tension de sortie : $V_o = 18 \text{ V}$.
- Fréquence de découpage : $f = 40\text{kHz}$
- Ondulation relative de la tension de sortie : $\Delta V_o = 0.5 \%$ de V_o .
- Courant de sortie : $I_o = 1.8 \text{ A}$.

II.4.2 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges , nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique D :

$$V_o = DV_s \Rightarrow D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{18}{48} = 0.375 \quad (\text{II.11})$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{18}{1.8} = 10\Omega \quad (\text{II.12})$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu\text{s} \quad (\text{II.13})$$

- Les temps de conduction t_{on} :

$$t_{on} = DT = 0.375 \times 25 \times 10^{-6} = 9.375 \mu\text{s} \quad (\text{II.14})$$

- La valeur min de l'inductance : d'après l'équation III.9 :

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2.F} = \frac{(1-0.375) \times 10}{2 \times 40 \times 10^3} = 78 \mu\text{H} \quad (\text{II.15})$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(78 \times 10^{-6}) = 97.5 \mu H \quad (\text{II.16})$$

- La valeur max du courant de l'inductance : après l'équation III.7 on a

$$I_{L_{\max}} = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o}{2L}(1-D)T = \frac{18}{10} + \frac{18}{2 \times 97.5 \times 10^{-6}}(1-0.375) \times 25 \times 10^{-6} = 3.25 A \quad (\text{II.17})$$

- Calcule min de capacité:

$$C = \frac{1-D}{8L(\frac{\Delta V_o}{V_o})f^2} = \frac{1-0.375}{8(97.5)(10^{-6})(0.005)(40000)^2} = 100 \mu F \quad (\text{II.18})$$

II.4.3 Simulation :

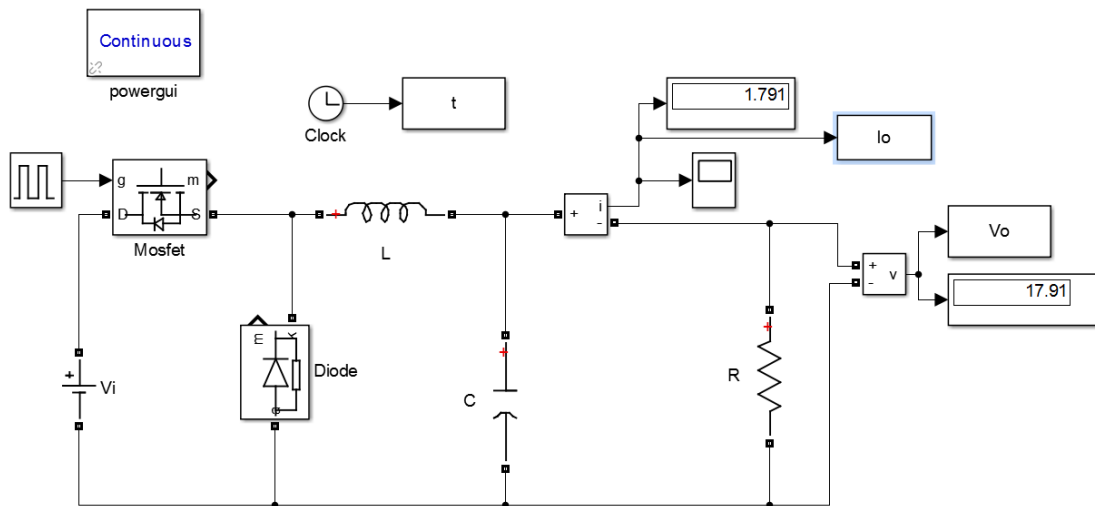


Figure.II.4 Circuit de convertisseur BUCK sur SimPowerSystem.

II.4.3.1 Les Resultas de Simulink :

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure.II.5 , montre l'évolution de la tension et le figure.II.6 montre l'évolution de le courant de sortie du convertisseur buck.

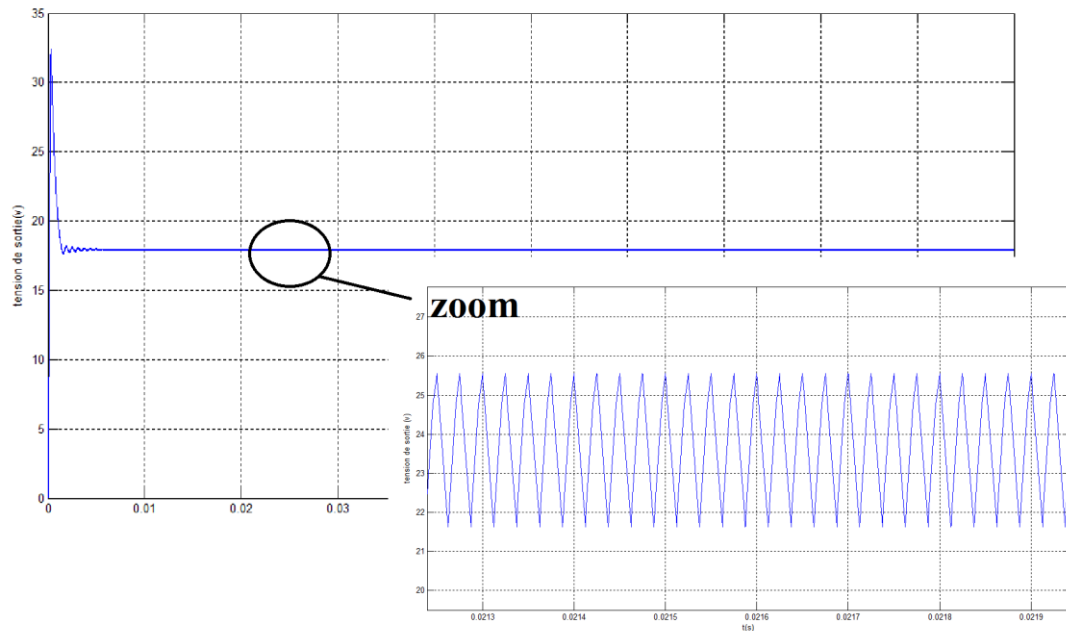


Figure.II.5 Tension de sortie convertisseur buck.

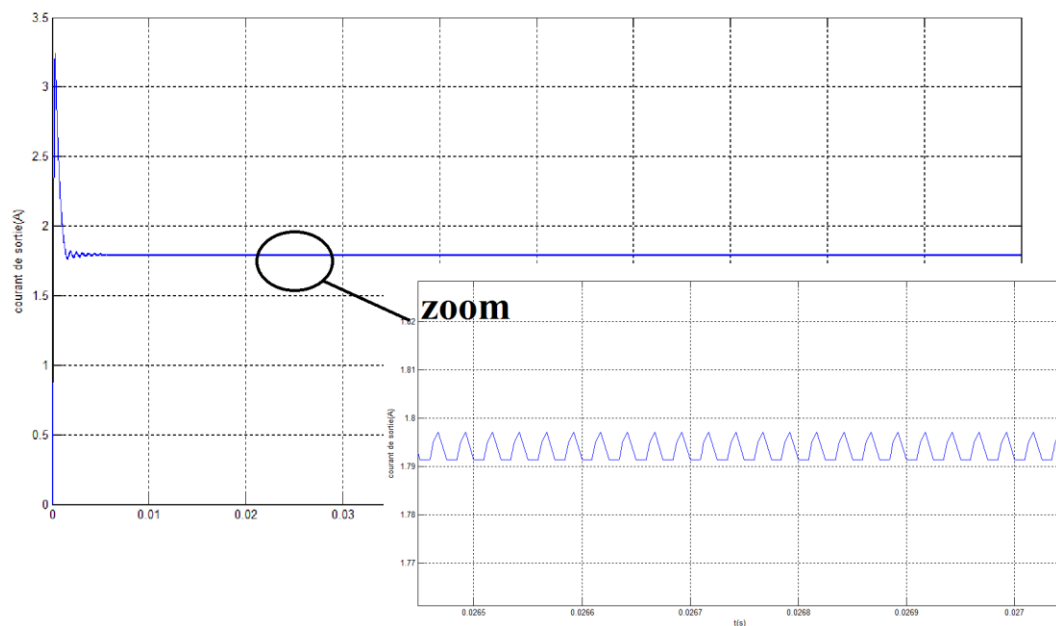


Figure.II.6 Courant de sortie convertisseur buck.

II.5 Convertisseur Elévateur (Boost) :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce convertisseur comprend l'interrupteur (S), l'inductance (L), la diode qui protège S en empêchant le retour du courant et le condensateur C qui sert à lisser la tension de sortie [24][24]. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP..

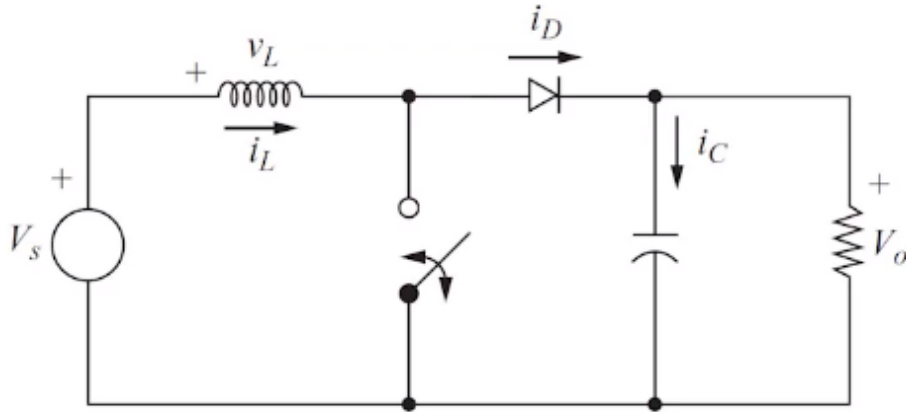


Figure.II.7 Système photovoltaïque suivi par un hacheur de type Boost.

II.5.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur S :

- Une phase d'accumulation d'énergie : lorsque l'interrupteur S est fermé (état passant), cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est alors bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.
- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa f.é.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D, le condensateur C et la charge R. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité.

II.5.1.1 Modélisation du circuit:

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (\text{II.19})$$

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = 0 \quad (\text{II.20})$$

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = \frac{V_s D T}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (\text{II.21})$$

$$R = \frac{V_c}{I_o} \quad (\text{II.22})$$

II.5.1.2 Représentation d'état :

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_2 X + B_2 u \\ Y = C_2 X \end{cases}$$

avec : $X = \begin{bmatrix} I_o \\ V_o \end{bmatrix}$

Pour étudier le convertisseur élévateur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour S ouvert et fermé.

- Pour $T \in [0 \quad DT_s]$, S est fermé

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_L(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} V_o - L \frac{di_o}{dt} - Ri_o = 0 \\ \dot{V}_c = \frac{1}{C} \times \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

Donc:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{RC} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Pour $T \in [DT_s \quad T_s]$, S est ouvert

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) - V_o(t) \end{cases}$$

Donc:

$$\begin{cases} V_o - L \frac{di_o}{dt} - Ri_o - V_c = 0 \\ C \frac{dV_c}{dt} = I_o - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{cases} \dot{X} = (A_1 X + B_1 V_o) D + (A_2 X + B_2 V_o) (1-D) \\ V_o = C_1 D + C_2 (1-D) X \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = \frac{1-D}{L} X_2 + \frac{1}{L} V_o \\ \dot{X}_2 = \frac{1-D}{L} X_1 - \frac{1}{RC} X_2 \end{cases}$$

Alors: le module globale

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1-D}{L} \\ \frac{1-D}{L} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

A partir des équations, on peut écrire l'équation suivante :

$$(V_s) D T_s = (V_o - V_s) \times (1-D) \times T_s \quad (\text{II.23})$$

Le rapport de conversion $M(D)$ s'écrit sous la forme suivante :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (\text{II.24})$$

le rapport cyclique de commutation D :

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (\text{II.25})$$

II.5.1.3 Dimensionnement des Eléments du Convertisseur BOOST :

III.5.1.4 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Boost en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée : $V_s = 12 \text{ V}$.
- Tension de sortie : $V_o = 25.5 \text{ V}$.
- Fréquence de découpage : $f = 40 \text{ kHz}$
- Courant de sortie : $I_o = 8.5 \text{ A}$.

III.5.1.5 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges , nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique D :

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} = 1 - \frac{12}{25.5} = 0.5 \quad (\text{II.26})$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu\text{s} \quad (\text{II.27})$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{25.5}{8.5} = 3 \Omega \quad (\text{II.28})$$

- Les temps de conduction t_{on} :

$$t_{on} = DT = 0.5 \times 25 \times 10^{-6} = 12.5 \mu\text{s} \quad (\text{II.29})$$

- La valeur min de l'inductance :

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2.F} = \frac{0.5(1-0.5) \times 10}{2 \times 40 \times 10^3} = 15.625 \mu\text{H} \quad (\text{II.30})$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(15.625 \times 10^{-6}) = 19.53 \mu H \quad (\text{II.31})$$

Calcule min de capacité:

$$C = \frac{D}{Rr_f} = \frac{0.5}{(10)(0.05)(40000)} = 25 \mu F \quad (\text{II.32})$$

II.5.2 Simulation:

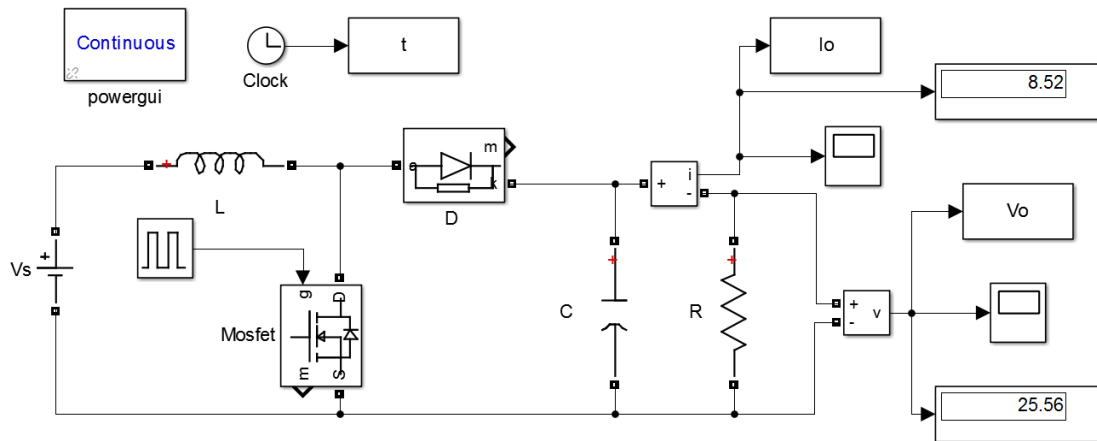


Figure.II.8 Circuit de convertisseur BOOST sur SimPowerSystem.

II.5.3 Les Resultas de Simulink:

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure II.9 , montre l'évolution de la tension et le figure II.10 montre l'evolution de le courant de sortie du convertisseur boost.

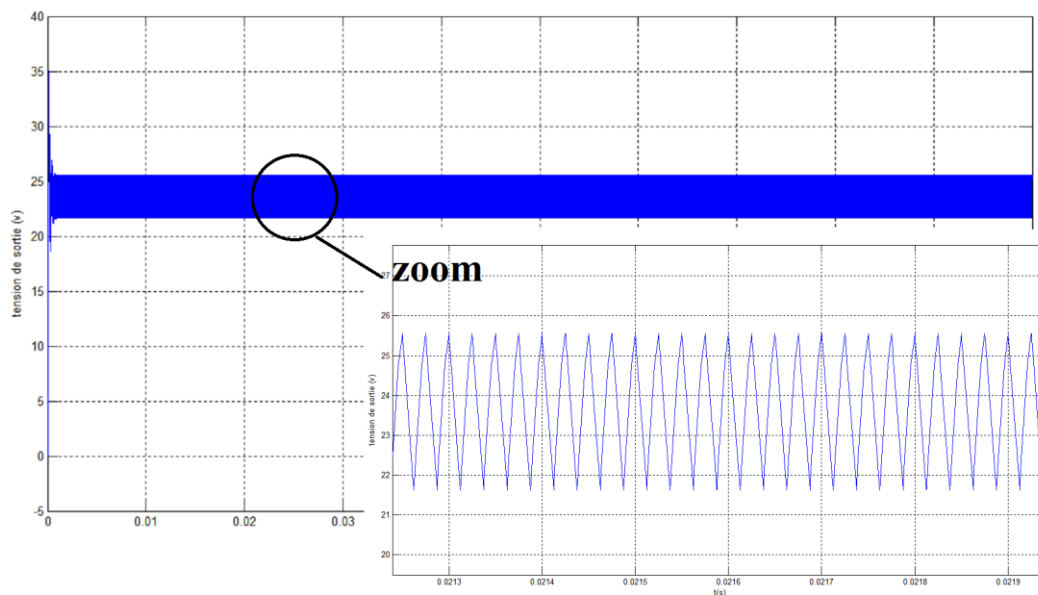


Figure.II.9 Tension de Sortie Boost.

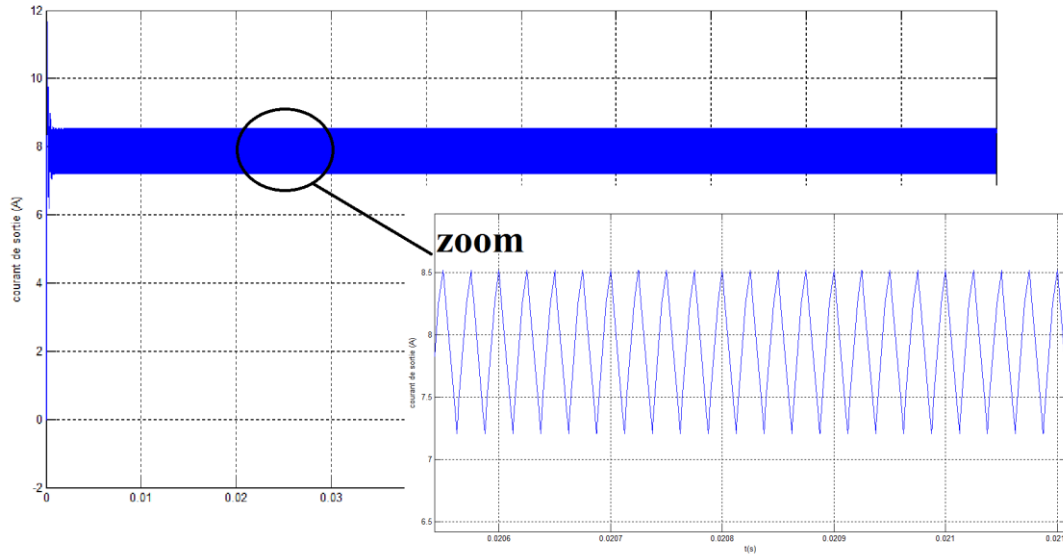


Figure.II.10 Courant de Sortie Boost.

II.6 Convertisseur BUCK-BOOST :

Un autre convertisseur de mode commuté de base est le convertisseur buck-boost. La sortie du convertisseur abaisseur-élévateur peut être supérieure ou inférieure à la tension d'entrée. L'hypothèse faite sur le fonctionnement de ce circuit est la même que pour les circuits convertisseurs précédents. combine les propriétés des deux convertisseurs précédents pour convertir une tension continue d'entrée à une tension de sortie de valeur souhaitée [7][25].

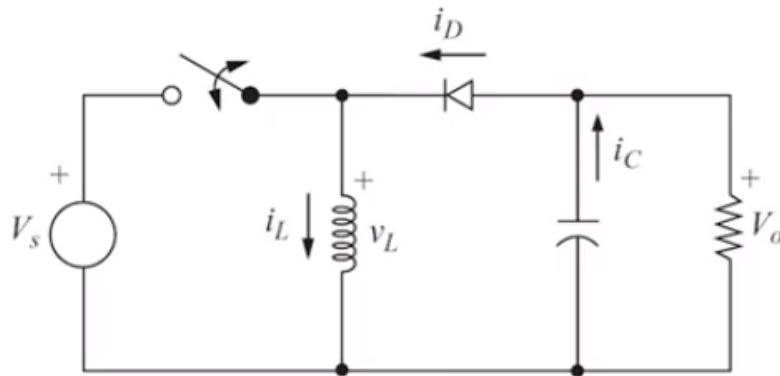


Figure.II.11 Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.

II.6.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Buck-Boost peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur S :

- Dans l'état passant, l'interrupteur S est fermé, conduisant ainsi à une augmentation de l'énergie stockée dans l'inductance.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur S est ouvert. L'inductance est reliée à la charge et à la capacité. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité et la charge. Comparé aux convertisseurs Buck et Boost, les principales différences sont :

- La tension de sortie est de polarité inverse de celle d'entrée
- La tension de sortie peut varier de 0 à (pour un convertisseur idéal).

II.6.1.1 Modélisation du circuit:

$$\Delta I_{L_{On}} = \int_0^{DT} dI_L = \int_0^{DT} \frac{V_s}{L} dt = \frac{V_s DT}{L} \quad (\text{II.32})$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_i}{L} \quad (\text{II.33})$$

II.6.1.2 Représentation d'état:

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_3 X + B_3 u \\ Y = C_3 X \end{cases}$$

avec : $X = \begin{bmatrix} I_o \\ V_o \end{bmatrix}$

Pour étudier le convertisseur abaisseur-élevateur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour S ouvert et fermé.

- Pour $T \in [0 \quad DT_s]$, S est fermé

$$\begin{cases} i_{C1} = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = DV_o + V_c (1-D) \\ C \frac{dV_c}{dt} = -i_L (1-D) - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = DV_o \\ C \frac{dV_c}{dt} = -\frac{V_c}{R} \end{cases}$$

- Pour $T \in [DT_s, T_s]$, S est ouvert

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_o(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = V_c \\ C \frac{dV_c}{dt} = -i_L - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1-D}{T} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{D}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

A partir des équations, on peut écrire l'équation suivante :

$$V_s \times DT_s = V_o \times (1-D) \times T_s \quad (\text{II.34})$$

Le rapport de conversion $M(D)$ s'écrit sous la forme suivante :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = \left(\frac{-D}{1-D} \right) \quad (\text{II.35})$$

Cela donne en retour que:

$$D = \frac{V_o}{V_o - V_i} \quad (\text{II.36})$$

II.6.2 Dimensionnement des Eléments du Convertisseur BUCK-BOOST :

II.6.2.1 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Buck-Boost en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée : $V_s = 18V$.
- Tension de sortie : $V_o = |-12| V$.
- Fréquence de découpage : $f = 40kHz$.
- Courant de sortie : $I_o = |-1.2| A$.

II.6.2.2 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges , nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique D :

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_s} = \frac{|-12|}{|-12| + 18} = 0.4 \quad (II.37)$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu s \quad (II.38)$$

- Les temps de conduction t_{on} :

$$t_{on} = DT = 0.5 \times 25 \times 10^{-6} = 12.5 \mu s \quad (II.39)$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{|V_o|}{|I_o|} = \frac{|-12|}{|-1.2|} = 10 \Omega \quad (II.40)$$

- La valeur min de l'inductance :

$$L_{\min} = \frac{R(1-D)^2}{2.F} = \frac{10 \times (1-0.4)^2}{2 \times 40 \times 10^3} = 45 \mu H \quad (II.41)$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(45 \times 10^{-6}) = 56.25 \mu H \quad (\text{II.42})$$

- La valeur du courant de l'inductance :

$$I_L = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} = \frac{18 \times 0.4}{10(1-0.4)^2} = 2A \quad (\text{II.43})$$

- Calcule taux de variation du courant d'inductance:

$$\Delta I_L = \frac{V_o D T}{L} = \frac{12 \times 0.4 \times 25 \times 10^{-6}}{45 \times 10^{-6}} = 2.67A \quad (\text{II.44})$$

- Calcule min de courant d'inductance :

$$I_{L_{\min}} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 2 - \frac{2.67}{2} = 0.67A \quad (\text{II.45})$$

- Calcule min de capacité:

$$C = \frac{D}{Rr_f} = \frac{0.4}{(10)(0.01)(40000)} = 100 \mu F \quad (\text{II.46})$$

II.6.3 Simulation :

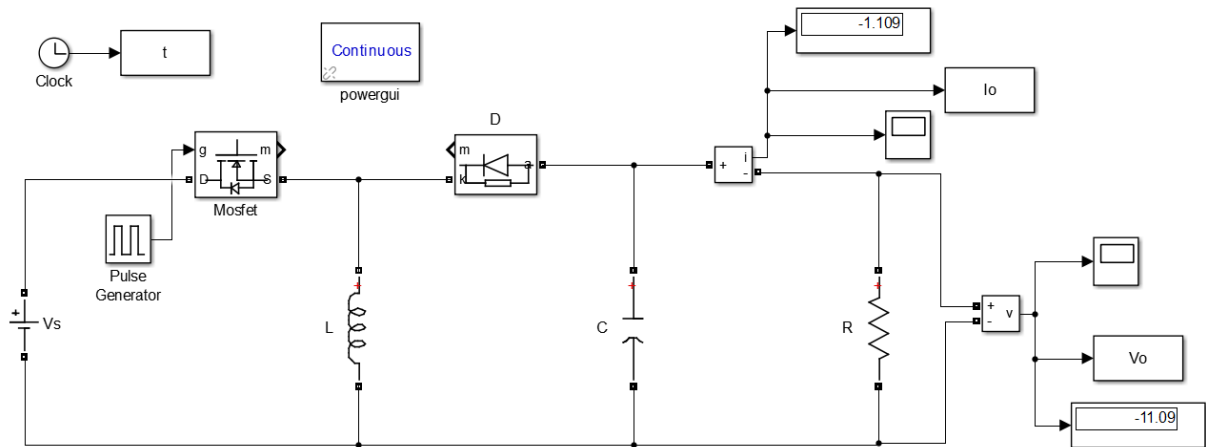


Figure.II.12 Circuit de convertisseur BUCK-BOOST sur SimPowerSystem.

II.6.4 Les Resultas de Simulink:

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure II.13, montre l'évolution de la tension et le figure II.14, montre l'évolution de le courant de sortie du convertisseur buck-boost.

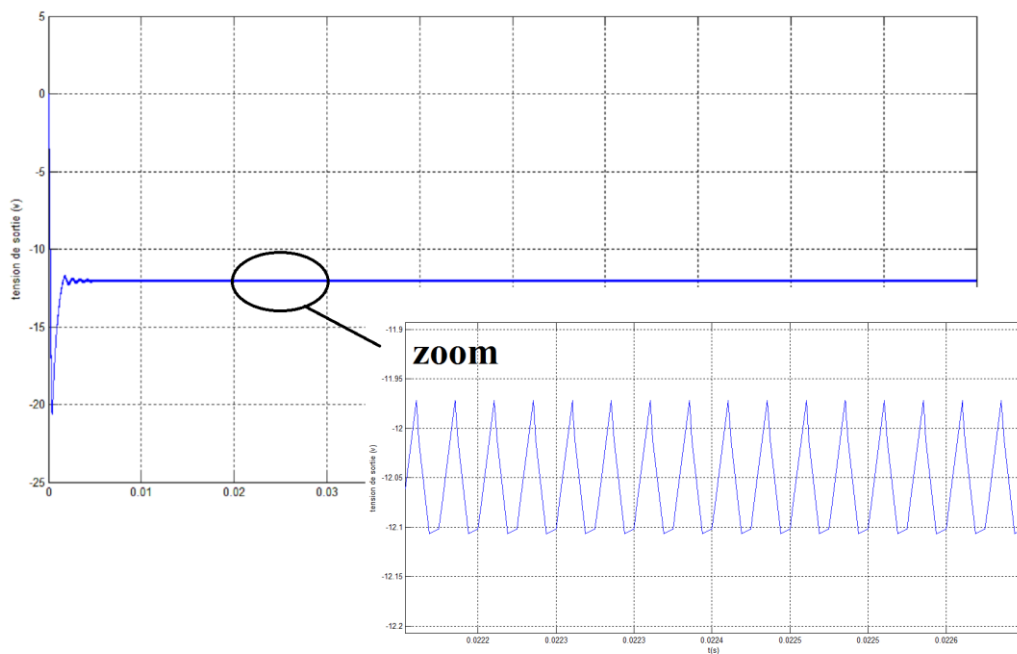


Figure.II.13 Tension de sortie convertisseur buck-boost.

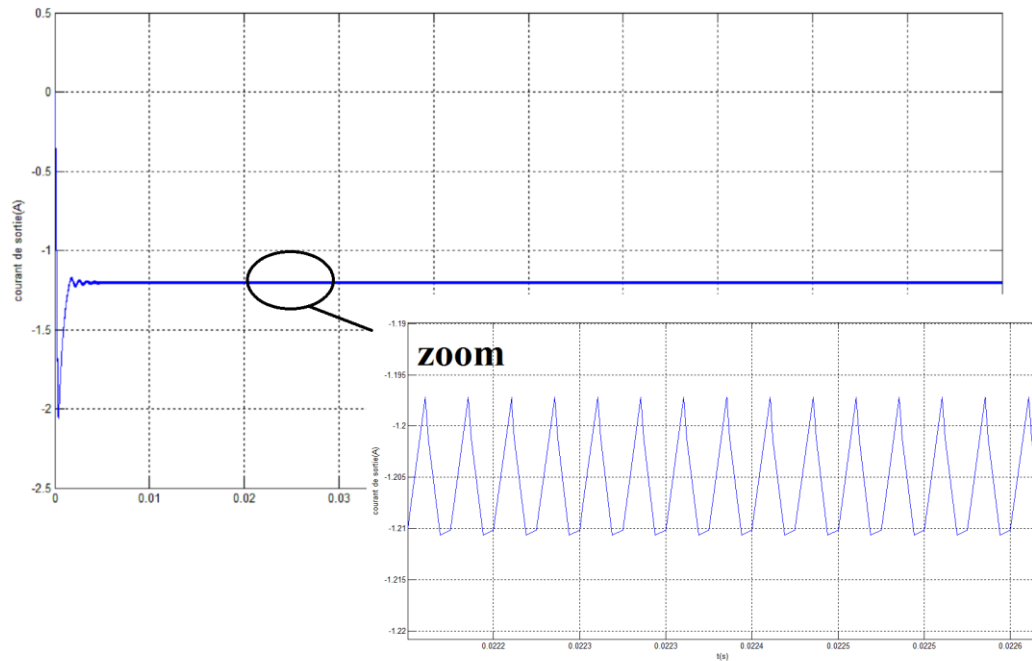


Figure.II.14Tention de sortie convertisseurbuck-boost.

II.7Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation des trois convertisseurs DC-DC (Buck, Boost et le Buck-Boost), ainsi que leurs principes de fonctionnement, une analyse du convertisseur DC-DC utiliser comme interface entre la charge est le générateur photovoltaïque pour que celui-ci fonctionne à un rendement optimalL'étude du régime établi, a permet d'établir les fonctions de transfert statiques des convertisseurs, et de comprendre leurs relations entrée-sortie. On a présenté aussi les trois modèles des hacheurs dans l'environnement Matlab/Simulink.

Chapitre III

III. Introduction :

Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache à quel moment ils ont été modifiés ni qu'elles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien

« Maximum Power Point Tracking » en anglo-saxon (MPPT). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.

III.1 Les Algorithmes MPPT :

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer.

III.2 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage) :

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert V_{OC} et la relation linéaire approximative (I-1) liant cette tension avec la tension de point maximal V_{MPP} du GPV[1-2]:

$$V_{MPP} = K_1 \times V_{OC} \quad (I-1)$$

Où k_1 est une constante de proportionnalité, il est généralement compris entre 0.71 et 0.86. Une fois que k_1 est déterminé, le V_{MPP} peut être calculé à l'aide de l'expression précédente (I-1) avec V_{OC} mesurée périodiquement en ouvrant momentanément le convertisseur de puissance (circuit ouvert). La tension V_{MPP} est alors prise comme tension de référence.

Le principe de cette méthode est basé sur la comparaison entre la tension du panneau photovoltaïque réelle V_{PV} et la tension de référence V_{ref} (V_{MPP}). Le signal d'erreur est traité pour rendre $V = V_{ref}$. (Figure III.1)

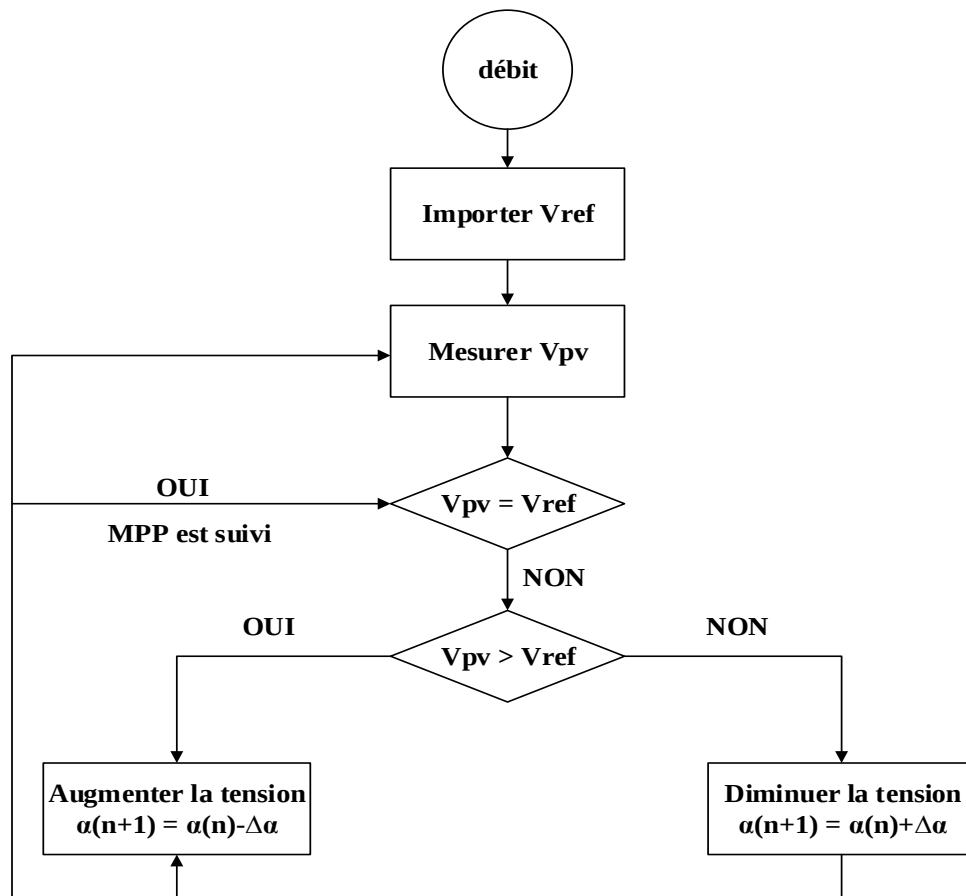


Figure.III.1 Algorithme de la Tension Constante(FCO).

Cette méthode présente deux avantages : la rapidité de la réponse aux fluctuations et l'absence de variations (même infimes) en état stationnaire[26]. Cependant, ces points forts ne peuvent cacher leurs défauts, à cause de la dépendance de la tension du panneau avec l'ensoleillement et la température, la tension de puissance maximale est déviée, alors la tension de référence doit être corrigée pour différents ensoleillements et températures au long des périodes de l'année. Aussi, le MPP n'est pas toujours entre 71% et 78% de la tension V_{oc} et ne oublier pas la perte de la puissance disponible lors de la déconnection de la charge du GPV[28] .

III.3 Approche Du Courant Constant (Constant Current) :

La méthode du Courant constant également appelée la méthode de court-circuit est basée sur la mesure en temps réel du courant de court-circuit I_{sc} (short-circuit current) et la relation linéaire approximative (I-2) liant ce courant avec le courant de point maximal I_{MPP} du GPV[27] :

$$I_{MPP} = K_2 \times I_{SC} \quad (I-2)$$

Avec k_2 constante de proportionnalité. Comme pour la méthode CV, K_2 est déterminée pour le GPV utilisé. La constante K_2 est généralement comprise entre 0.78 et 0.92 [29].

La mesure du courant I_{sc} durant le fonctionnement est problématique. Un onduleur est généralement ajouté au convertisseur de puissance pour court-circuiter le panneau et mesurer le courant I_{sc} à l'aide d'un capteur de courant.

Pour cette valeur constante du courant, la puissance est calculée pour des tensions différentes. Si la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à la valeur de tolérance, alors la valeur de la tension est soit incrémentée ou décrémentée en fonction de la puissance obtenue. Pour que la tension et le courant MPP (I_{MPP}) correspondant, ce procédé est répété jusqu'à ce que la différence se situe dans la plage de tolérance.

Pour cette valeur constante du courant, la puissance est calculée pour des tensions différentes. Si la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à la valeur de tolérance, alors la valeur de la tension est soit incrémentée ou décrémentée en fonction de la puissance obtenue. Pour que la tension et le courant MPP (I_{MPP}) correspondant, ce procédé est répété jusqu'à ce que la différence se situe dans la plage de tolérance [26]. Figure III.2

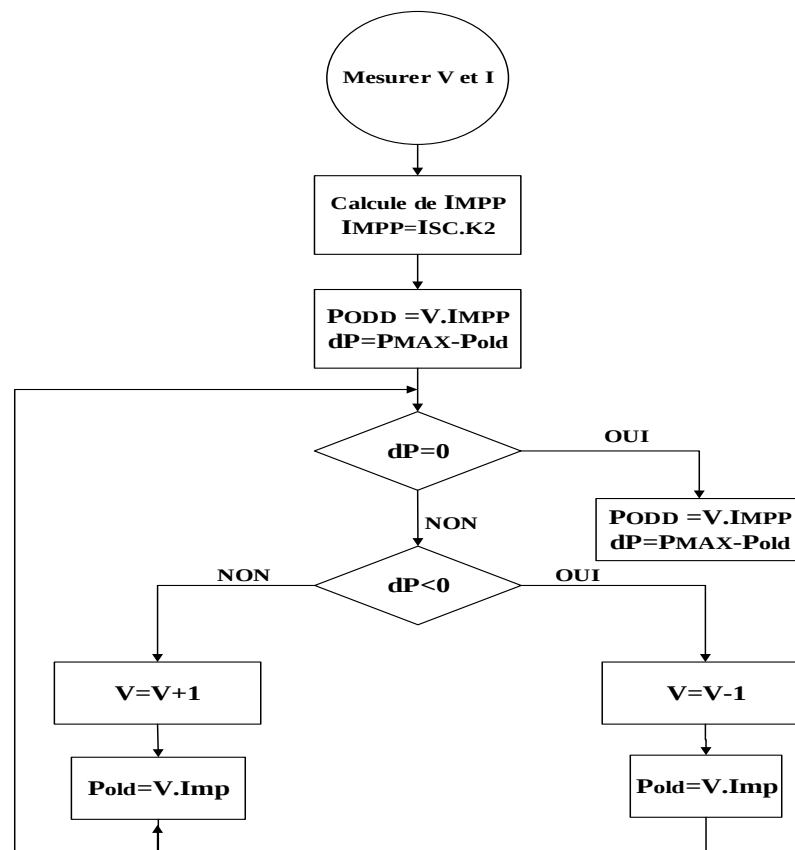
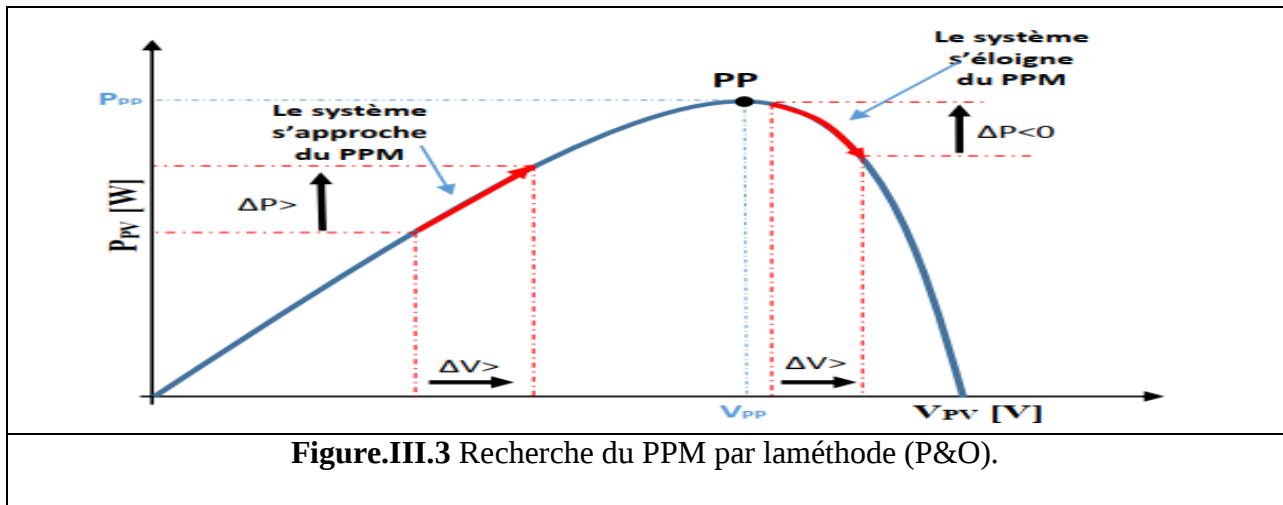


Figure.III.2 Algorithme du constant courant (FCC).

III.4 Perturbation Et Observation (P&O, Perturb 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 repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$)[30]. Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation du rayonnement affecte d'avantage 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[31].

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{PV} , ce qui engendre une variation de la puissance[32]. Figure I.3 montre qu'on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P(V)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant. L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés [29]. L'algorithme peut être représenté mathématiquement par l'expression :

$$V(K) = V(K-1) + \Delta V \cdot \text{sign}\left(\frac{dP}{dV}\right)_{v=v_{n-1}}$$

Tableau III.1. Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation & observation ».

Perturbation de la puissance	observation de la puissance	Prochain de la puissance
Positive (+)	Positive (+)	Positive (+)
Positive (+)	Négative (-)	Négative (-)
Négative (-)	Positive (+)	Négative (-)
Négative (-)	Négative (-)	Positive (+)

Apartir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $p(v)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant. L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés.

La Figure III.4 représente l'algorithme classique d'une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

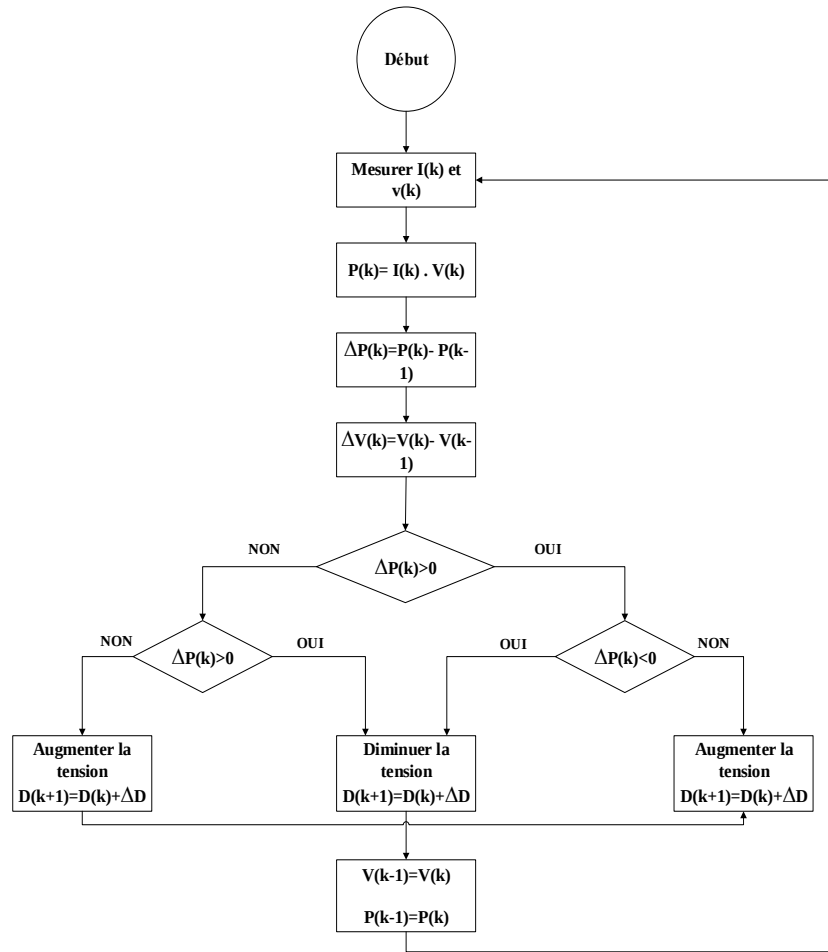


Figure III.41' algorithme de P&O classique.

D'après l'organigramme de la Figure précédente, on a réalisé le schéma block suivant :

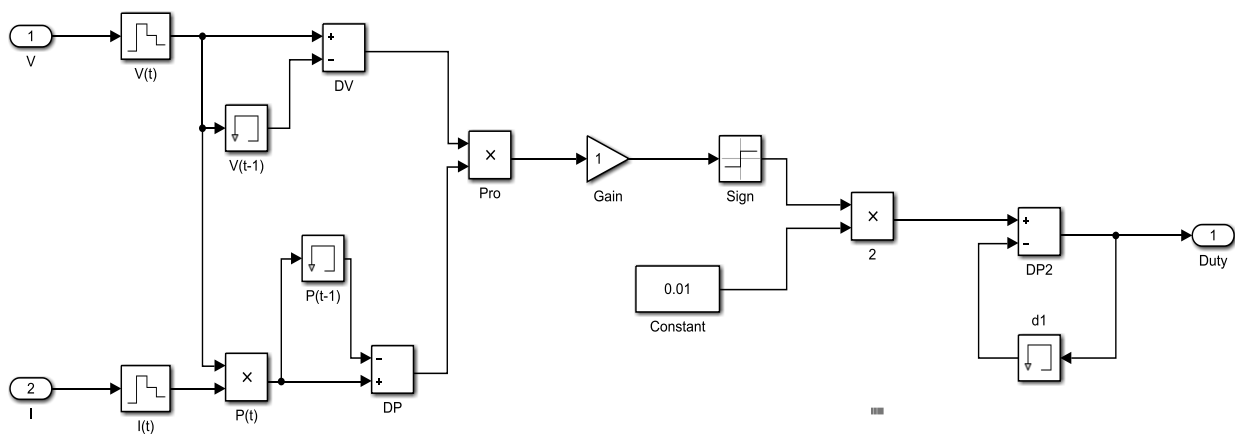


Figure III.5 Programme et schéma block de la technique PO.

UN inconvénient de la méthode de PO est décrit par l'échec lors d'un changement rapide des conditions atmosphériques. Si l'ensoleillement augmente on aura une augmentation de la puissance du panneau, alors que le système va réagit comme si

cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui fait qu'il s'éloigne du vrai point de puissance maximale.

Ce processus continue jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement, moment où il revient vers le vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance.

Ces oscillations qui peuvent être minimisées lors de réduire les valeurs de la variable de perturbation[33].

III.5 Conductance Incrémentale (IncCond, Incremental Conductance) :

Cette méthode est basée sur le fait que la pente de la courbe caractéristique de puissance du panneau est nulle au MPP, positive à gauche et négative à droite. Figure III.6

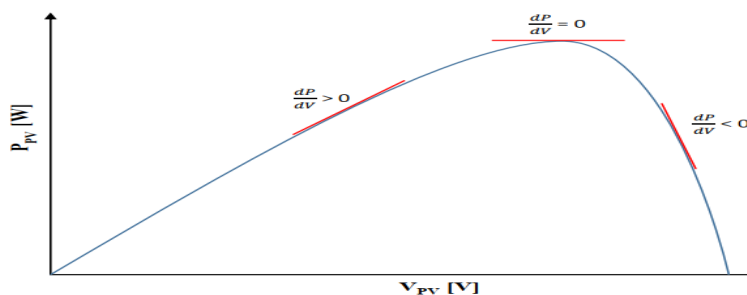


Figure III.6 caractéristique de tension-puissance du panneau.

On observe que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP}{dV} = 0 \text{ au PMM} \\ \frac{dP}{dV} > 0 \text{ à gauche du PMM} \\ \frac{dP}{dV} < 0 \text{ à droite du PMM} \end{array} \right\} \quad (I-3)$$

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P = V \times I \quad (I-4)$$

Et sa dérivée partielle est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (I-5)$$

Donc, l'équation (I-4) peut être écrite comme suit :

$$\begin{aligned}
\frac{dP}{dV} = 0 \quad \frac{\Delta I}{\Delta V} &= -\frac{I}{V} (a) \text{ Au point du MPP} \\
\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta I}{\Delta V} &> -\frac{I}{V} (b) \text{ A gauche du MPP} \\
\frac{dP}{dV} < 0 \quad \frac{\Delta I}{\Delta V} &< -\frac{I}{V} (c) \text{ A droite du MPP}
\end{aligned} \tag{I-6}$$

Les deux équations (b) et (c) sont employées pour déterminer la direction du déplacement de point de fonctionnement MPP dans laquelle la perturbation se produit, elle se répète jusqu'à ce que l'équation (a) soit satisfaite.

Le PPM peut être atteint en comparant à chaque instant la valeur de la conductance (IPV/VPV) avec celle de l'incrément de conductance ($dIPV/dVPV$). Si l'incrément de conductance (dG) est supérieur à l'opposé de la conductance ($-G$), on diminue le rapport cyclique. Par contre, si l'incrément de conductance est inférieur à l'opposé de la conductance, on augmente le rapport cyclique. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le PPM. La Figure III.7 montre l'algorithme de cette méthode.

Pratiquement, comme la méthode P&O, cette technique présente des oscillations autour du MPP car il est difficile de remplir la condition $dP/dv = 0$, ce qui fait que le système reste toujours en train de la chercher. L'algorithme IncCond est plus complexe que celui du P&O, ce qui engendre un temps d'exécution plus long.

Cette méthode peut être améliorée en amenant le point de fonctionnement près du MPP dans une première étape, puis d'utiliser l'algorithme IncCond pour suivre exactement le MPP dans une deuxième étape. Généralement, le point de fonctionnement initial est réglé pour correspondre à une charge résistive proportionnelle au rapport de la tension de circuit ouvert V_{oc} sur le courant de court-circuit I_{sc} . Ces deux solutions assurent que le vrai MPP est poursuivi s'il existe plusieurs maxima locaux. Une manière moins évidente pour effectuer la méthode IncCond est d'utiliser la conductance instantanée et l'incrément de la conductance pour générer un signal d'erreur[29].

$$e = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \tag{I-7}$$

D'après l'équation (I-7), l'erreur est nulle au MPP. Un régulateur PI peut donc être utilisé pour annuler cette erreur. La mesure de la tension et du courant instantanés du panneau PV nécessite deux capteurs. La méthode IncCond se prête parfaitement à la commande par DSP ou microcontrôleur, qui peut garder en mémoire les valeurs précédentes de la tension et du courant.

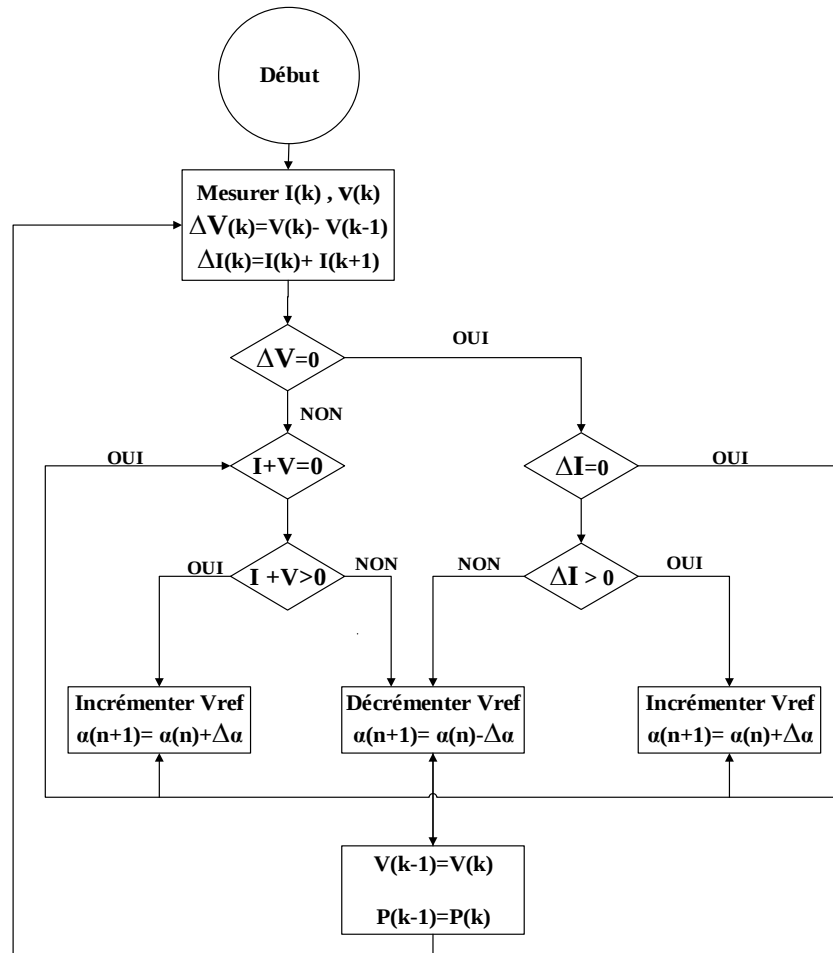


Figure III.7) l'algorithme IncCond classique.

On a réalisé le schéma block suivant :

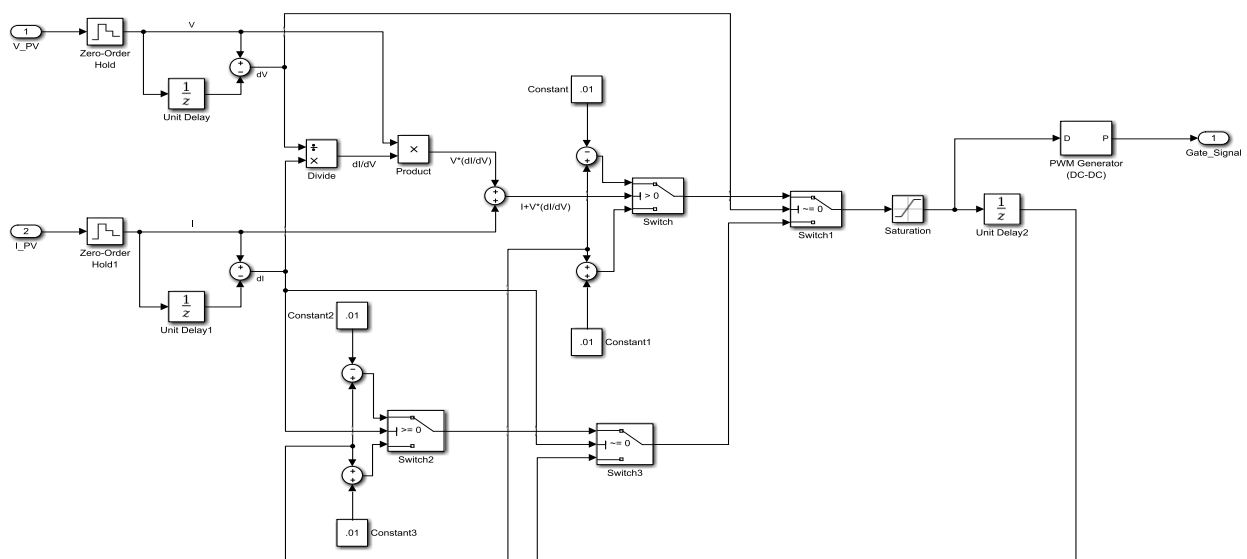


Figure III.8) Programme et schéma bloc de la technique INC.

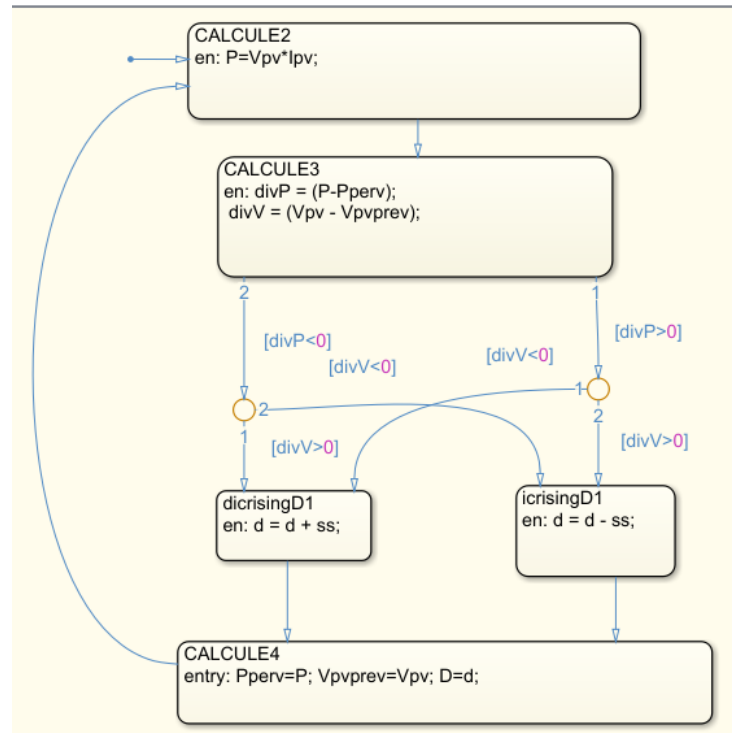


Figure III.9 Stateflow de la technique INC.

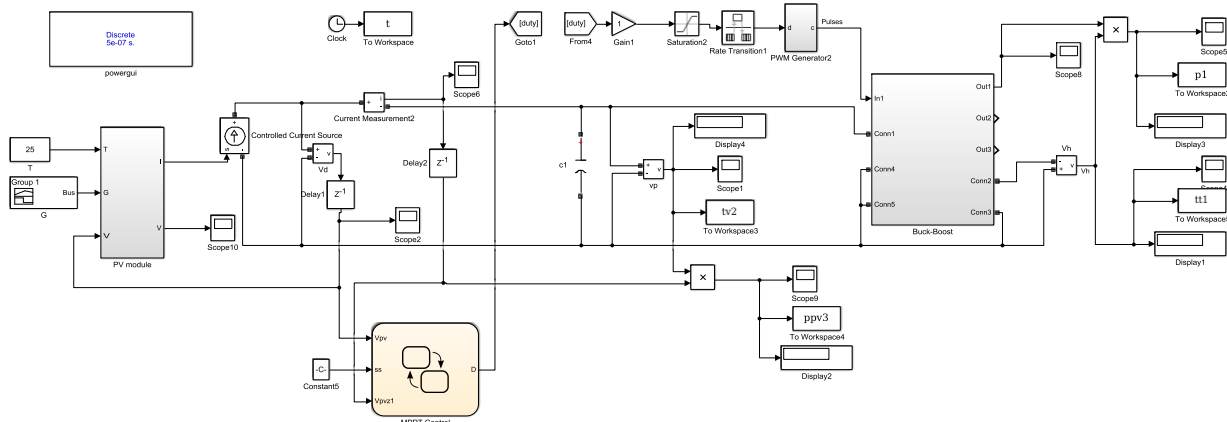


Figure III.10 Simulation du system photovoltaïque avec technique P&O-MPPT.

III.5.1 Les avantages et les inconvénients

a. Avantage :

Parlant de la méthode P&O, parmi les avantages que l'on peut citer c'est la structure de régulation simple ainsi que le nombre des paramètres mesurés réduit.

Pour la méthode P&O l'avantage principal de cet algorithme est qu'il offre un bon rendement même sous un changement rapide des conditions atmosphériques. En

revanche, les rendements de MPPT de la INC et de l'algorithme P&O sont essentiellement identiques.

b. Inconvénients :

Pour la méthode P&O il existe un dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide des conditions atmosphériques.

Néanmoins, l'inconvénient de P&O est que le circuit de commande est complexe et très coûteux[33].

III.6 Résultats de Simulation :

L'objectif traité dans ce chapitre est de concevoir une commande MPPT basée sur l'algorithme qui fait face aux différents changements atmosphériques. Vu l'impact de l'éclairement, ce chapitre propose d'analyser les méthodes MPPT sélectionnées (P&O) et d'évaluer leurs comportements dynamiques en termes de stabilité, rapidité et efficacité. La simulation est effectuée pour trois cas qui sont :

- Conditions d'éclairement uniforme.
- Variation d'éclairement (900W/m^2 , 700W/m^2 , et 500W/m^2 avec $25\text{ }^\circ\text{C}$).

Spécifications du module PV multicristallin Dimel-85 est choisi pour la modélisation. Il fournit 85 watts de puissance nominale maximale et se compose de 36 cellules. Ses spécifications sont présentées dans le tableau 1.

Tableau I.2 Caractéristiques électriques du module PV.

Paramètre Electrique	Dimel-85
Puissance max (PM)	85W
V _{mpp}	17.85 V
I _{mpp}	4.77 A
I _{sc}	5.15 A
V _{oc}	21.8V
Nombre de cellules en série	36

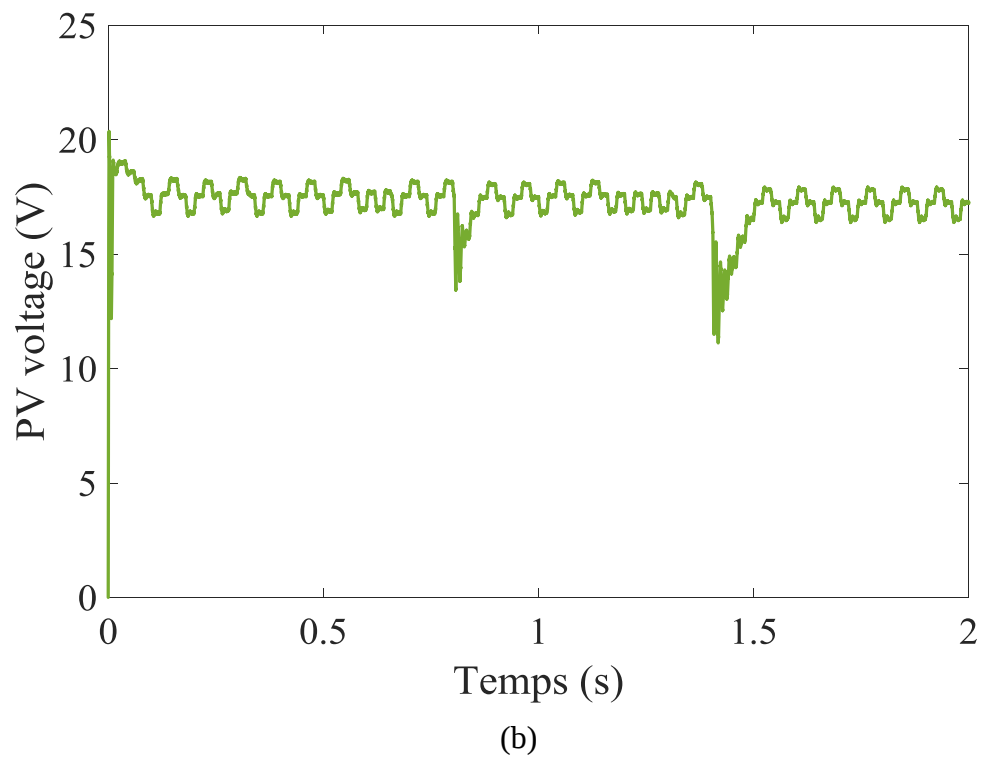
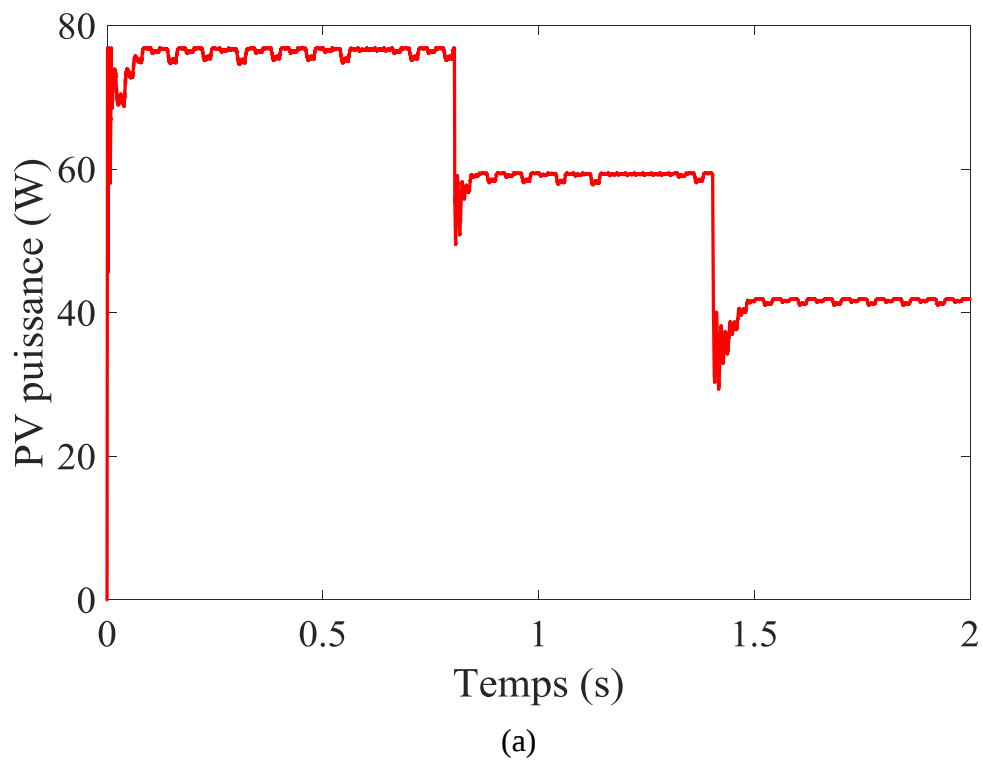


Figure III.11 Simulation result of tracking waveforms for both P&O-MPPT Algorithms: (a) PV puissance, and (b) PV module voltage.

III.7 Discussion

L'algorithme P&O est un algorithme classique et simple. En général, cet algorithme dépend fortement des conditions initiales et il présente des oscillations autour de la valeur optimale. L'inconvénient majeur de cet algorithme est son mauvais comportement suite à un changement brusque de l'éclairement (nuages).

L'algorithme INC semble une amélioration de l'algorithme P&O. En effet, il se comporte mieux lors d'un changement rapide des conditions météorologiques. Cependant, c'est un algorithme un plus complexe que le précédent.

Les algorithmes basés sur la mesure d'une fraction de tension du circuit ouvert ou d'une fraction de courant de court-circuit sont très simples et faciles à implémenter. L'inconvénient majeur est les pertes d'énergie et l'arrêt de transfert de puissance lorsqu'on mesure les grandeurs V_{oc} et I_{cc} . Pour surmonter ce problème, on utilise une cellule pilote de même nature que les cellules du panneau. De plus, la détermination de la valeur optimale du paramètre k est très difficile. C'est pourquoi, ces méthodes semblent juste une approximation et elles ne présentent pas assez de précision et par la suite le système ne fonctionne pas toujours au point optimal.

Le tableau suivant résume les principales spécifications des différents algorithmes MPPT précédemment étudiés. Nous avons évalué et comparé ces algorithmes en termes de connaissance technique des paramètres du panneau PV, complexité, rapidité et précision.

Tableau III.3. Comparaison Des Techniques MPPT.

Algorithmes MPPT	P&O	INC	FCO	FCC
Type de Capteurs utilisés	1 Tension 1 courant	1 Tension 1 courant	1 Tension	1 courant
Identification des paramètres du panneau PV	Non nécessaire	Non nécessaire	Oui Nécessaire	Oui Nécessaire
Complexité	Basse	Moyenne	Très Basse	Très Basse
Nombre d'itérations	45	48	35	41
Précision	95%	98%	94%	94%

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons modélisé mathématiquement le panneau solaire et le BUCK-BOOST. Pour obtenir un modèle exploitable sur Simulink, les équations développées ont été réalisées dans des schémas blocs. Ensuite nous avons présentés Stateflow/simulink techniques pour la poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale. Nous avons commencé par les méthodes classiques (P&O); on a présenté les organigrammes ensuite le schéma bloc réalisé sous le Simulink.

Dans ce chapitre, nous avons entamé la partie la plus importante et la plus délicate de cette étude. Il s'agit de présenter le principe de la recherche du point de puissance maximale MPP tout en donnant la différente irradiation solaire.

Chapitre IV

IV.1.Introduction :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses.

De plus, l'Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quarte 84MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise logiciel IDE Arduino[39].



Figure IV.1 Carte arduino.

IV.1Définition de la carte Arduino :

IV .2.1. Pourquoi Arduino DUE :

Arduino Due :il est utilisé pour le laboratoire et le temps réel , car il a une vitesse d'exécution très élevée par rapport au reste des puces Arduino , car il contient une fréquence d'exécution de 84Mhz , cela permet au système de fonctionner très efficacement jusqu'à ou près de 99.6% . Alors que les régulateurs de tension normaux fonctionnent avec PWM , leur efficacité est faible , comprise entre 80% car ils ne dépendent pas d'algorithme dans leur calcul

Le Prix (Réduits) :les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).

IV .2. 2 La constitution de la carte Arduino DUE :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur **ATMELAVR**, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 84 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

IV .2.3 Partie matérielle :

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.

IV .2.4 Le Microcontrôleur ATmega328 :

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure IV.2 montre un microcontrôleur ATmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino[40].

Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur :

- **La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont bootloader de 0.5 ko).
- **RAM:** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- **Registres:** il s'agit d'une forme de mémoire utilisée par le processeur.
- **Le processeur :** C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui exécutera le programme que nous lui avons donné. Le CPU est un terme souvent utilisé.

Une alimentation électrique est nécessaire pour que le microcontrôleur fonctionne. Ceci est généralement accompli avec une alimentation + 5V. D'autres auraient besoin d'un stress plus faible, tel que + 3,3V. En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation[13].



Figure.IV.2 photo de microcontrôleur ATmel328.

IV .2.5 Les différentes cartes Arduino :

Le système Arduino est une plateforme open source basée sur une carte programmée par microcontrôleur et un environnement de développement (SDK) permettant d'écrire, compiler et tester d'un programme.

Les cartes et modules Arduino sont pourvus d'entrées-sorties qui peuvent recevoir des signaux de capteurs ou interrupteurs et peuvent commander des moteurs, éclairages, etc.

Le terme «Arduino» ne fait pas référence à un type spécifique de carte ou de microcontrôleur. Arduino est un terme qui englobe toute la famille Arduino. Choisir le bon pour votre projet n'est pas une tâche facile et il est important de réfléchir à celui que vous utiliserez. Dans cet article, nous en apprendrons plus sur les différents types de cartes Arduino disponibles et comment les utiliser.

- Arduino Due
- Arduino Uno
- ArduinoMega
- Arduino Nano
- Arduino Leonardo

IV.2.5.1Arduino Due :

L'Arduino Due est l'une des cartes Arduino les plus puissantes et les premières à être alimentée par un processeur ARM.

Alors que l'UNO et le Nano fonctionnent à 5V, le DUO fonctionne à 3,3V - il est important de se rappeler qu'une surcharge endommagera irréversiblement la carte. Le Due est alimenté par un processeur Cortex-M3 ATSAM3X8E de 84 MHz avec 512 Ko de ROM et 96 Ko de RAM, 54 commutateurs numériques E / S, 12 canaux PWM, 12 entrées analogiques et 2 sorties analogiques.

La DUE est l'une des cartes Arduino les plus chères car elle manque de mémoire EEPROM. Malgré le fait que le Due dispose d'un grand nombre d'en-têtes de broches pour se connecter à une variété de numériques E / S, il est également compatible avec les broches Arduino régulières.

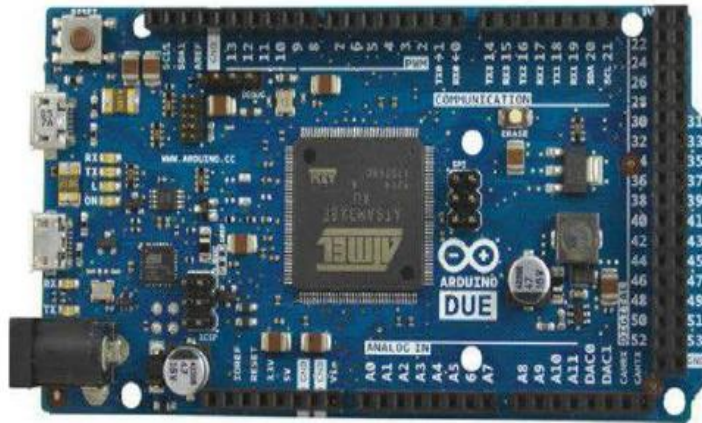


Figure.IV.3Arduino DUE.

Tableau IV.1la carte arduinoDUE .

Categorie	Valeur
Microcontrôleur	Atmega SAM 3*8E base sur une architecture ARM cortex M3 a32bit
Frequence d'horloge	84MHZ
Tension de service	3.3V
Tension d'entrées (recommandee)	7-12V
Tension d'entrées (limites)	6-20V
Portes numeriques	54 entrées et sortie
Portes analogiques	12 entrées analogiques
Courant maxi.par broche 5V	800mA
Courant maxi.par broche3.3V	800mA
Mémoire	512KO flash,94ko SRAM(2banes:64ko+32ko) 512octets EEPROM
Dimensions	10.2 cm*5.3cm
Prix	47\$

IV.2.5.3 Arduino UNO:

Sans aucun doute, l'Arduino le plus courant est LUNO. Il est alimenté par un processeur Atmega328 16 MHz avec 32 kilo-octets de mémoire programme, 1 kilo-octet d'EEPROM, 2 kilo-octets de RAM, 14 entrées numériques E / S, 6 entrées analogiques et un rail d'alimentation 5V et 3V.

Tableau.IV.2 la carte arduino UNO.

Categorie	Valeur
Microcontrôleur	Atmega 328
Frequence d'horloge	16MHZ
Tension de service	5V
Tension d'entrées(recommandee)	7-12V
Tension d'entrées(limites)	6-20V
Portes numeriques	14 entrées et sortie
Portes analogiques	6 entrées analogique
Courant maxi.par broche d'E/S	40mA
Courant maxi.par broche3.3V	50mA
Mémoire	32KO flash,2ko SRAM,1ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	0.5 KO(en mémoire flash)
Interface	USB
Dimensions	6.86 cm*5.3cm
Prix	24\$

IV.2.5.3 ArduinoMega 2560 :

À cet égard, l'ArduinoMega est similaire au Due en ce sens qu'il possède 54 broches E / S. Cependant, au lieu d'être alimenté par un processeur ARM, il est alimenté par un ATmega2560.

Le processeur fonctionne à 16 MHz et dispose de 256 kilo-octets de ROM, 8 kilo-octets de RAM, 4 kilo-octets d'EEPROM et fonctionne à 5 volts, ce qui le rend compatible avec la plupart des produits électroniques grand public.

L'ArduinoMega possède 16 entrées analogiques, 15 sorties PWM, un brochage similaire au Due et un matériel compatible avec les blindages Arduino. La compatibilité logicielle avec Mega, comme avec Due, ne peut pas toujours être garantie.

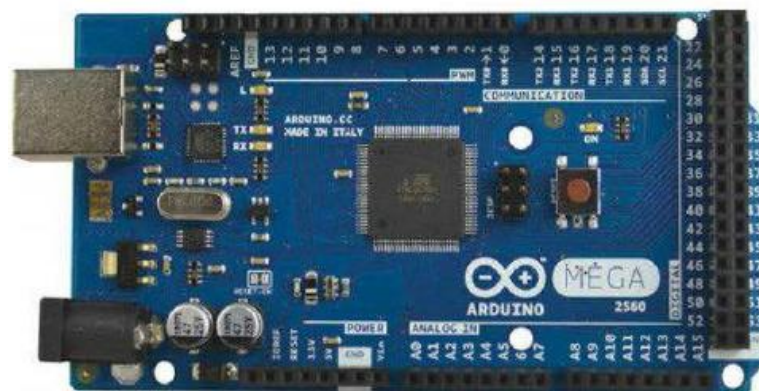


Figure.IV.4Arduino MEGA.

Tableau IV.3la carte arduino MEGA.

Categorie	Valeur
Microcontrôleur	Atmega 2560
Fréquence d'horloge	16MHZ
Tension de service	5V
Tension d'entrées (recommandée)	7-12V
Tension d'entrées (limites)	6-20V
Portes numériques	54 entrées et sortie
Portes analogiques	16 entrées analogiques
Courant maxi.par broche d'E/S	40mA
Courant maxi.par broche 3.3V	50mA
Mémoire	256KO flash, 8ko SRAM, 4ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	8 KO(en mémoire flash)
Interface	USB
Dimensions	10.16 cm*5.3cm
Prix	47\$

IV.2.5.4.ArduinoNano:

L'Arduino Nano est essentiellement un Arduino UNO réduit, ce qui le rend idéal pour les espaces restreints et les projets qui nécessitent une réduction de poids chaque fois que possible, tels que la modélisation ou les projets de bricolage compacts.

Le Nano, comme l'UNO, est alimenté par un processeur Atmega328 fonctionnant à 16 MHz, avec 32 kilo-octets de mémoire programme, 1 kilo-octet d'EEPROM, 2 kilo-octets de RAM, 14 sorties numériques, 6 entrées analogiques et des rails d'alimentation de 5 et 3 volts.

(Remarque - Les cartes Arduino Nano antérieures à la V3.0 utilisaient l'ATmega168, qui correspondent essentiellement à la moitié des spécifications.)

Contrairement au système UNO, le Nano ne peut pas se connecter aux platines de prototypages. Les cartes Arduino Nano sont souvent l'option de carte Arduino la moins chère, ce qui les rend rentables pour les grands projets.

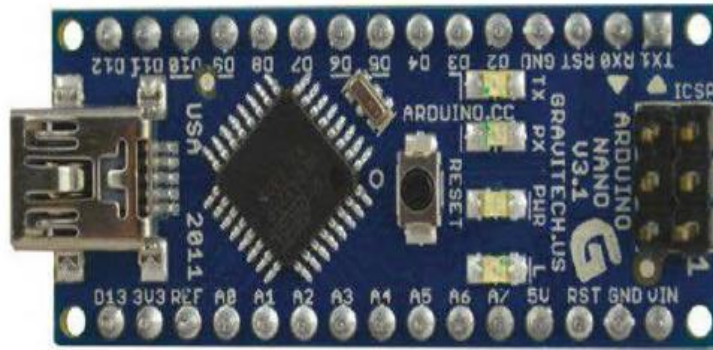


Figure.IV.5Arduino NANO.

Tableau IV.4 la carte arduino NANO.

Categorie	Valeur
Microcontrôleur	Atmega 168 OU 328
Frequence d'horloge	16MHZ
Tension de service	5V
Tension d'entrées (recommandee)	7-12V
Tension d'entrées (limites)	6-20V
Portes numeriques	14 entrées et sortie
Portes analogiques	8 entrées analogiques
Courant maxi,par broche d'E/S	40mA
Mémoire	Atmega328: 32ko memoire flash , 2ko SRAM 1ko EEPROM Atmega168:16ko memoire flash,1ko SRAM 512Octets EEPROM
Chargeur d'amorçage	2 KO(en mémoire flash)
Interface	USB
Dimensions	1.9 cm*5.3cm
Prix	40\$

Parmi ces types, nous avons choisi la carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en oeuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite. L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils « *open source* » comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro (*Reset*) et une prise Jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure IV.1 [13].

IV.2.6 Les entrées / sorties :

Les broches d'E / S (entrée / sortie) sur la carte Arduino indiquent un moyen pour la carte de communiquer avec le monde extérieur. Les sorties sont régulées par la carte, ce qui permet au logiciel du microcontrôleur de désactiver ces activités (par exemple, allumer ou éteindre une lumière, allumer ou éteindre un ventilateur, allumer ou éteindre un moteur). Le microcontrôleur lit les entrées, lui permettant de déterminer l'état de l'appareil auquel il est lié.

Il existe deux types d'E / S: les E / S numériques et les E / S analogues.

IV.2.6.1 Les entrées / sorties numériques :

Les entrées / sorties numériques ne peuvent prendre que deux valeurs, la valeur LOW (~ GND, 0 V), et la valeur HIGH (~ 5 V). La valeur d'un port numérique peut donc être codée sur un bit, 0 ou 1, true ou false.



Figure.IV.6 Les entrées / sorties numériques.

La carte arduino comporte 14 I/O numériques (appelées DIGITAL sur la carte), numérotées de 0 à 13 (voir le schéma ci-dessus), et appelées D0, D1, D2, ... D13. Chacun de ces ports peut être déclaré comme étant une entrée ou comme une sortie dans le programme du microcontrôleur. Les deux premiers ports (D0 et D1) sont réservés à la communication série, il ne faut pas les utiliser. Le dernier port, D13, possède un indicateur lumineux, une LED qui s'allume quand le port est HIGH, et qui s'éteint quand le port est LOW. Le port GND est la masse de la carte (0 V).

IV.2.6.2 Les sorties numériques :

Chacun des 14 ports numériques de la carte peut être utilisé pour le départ. Si un port est désigné comme sortie, la valeur de ce port est contrôlée par le microcontrôleur.

Attention: le courant maximum qu'un port de sortie numérique peut fournir est de 40 mA; demander plus que cela peut endommager la carte! Ce type de situation se produira si un port déclare un départ, est directement connecté à la masse (port GND) avec une très faible résistance (un fil), et le programme règle la sortie sur HIGH (5 V). Le contraire est tout aussi dangereux (une sortie numérique soulagée au port 5 V et basculée sur la valeur LOW).

Les sorties numériques sont incapables de fournir une puissance électrique suffisante (40 mA max sur 5 V). Ils sont utilisés pour échanger des informations (par exemple, les ports D0 et D1 sont utilisés pour la communication série avec l'ordinateur) ou pour désactiver le comportement (par exemple, allumer une lumière).

IV.2.6.3. Les entrées numériques :

Chacun des 14 ports numériques de la carte peut être utilisé comme entrée. Si un port est désigné comme point d'entrée, l'état du port sera lu par Arduino (HIGH ou LOW), et cette valeur sera utilisée dans le programme pour déterminer l'action à entreprendre.

Déclaré comme une entrée, un numéro de port est classé HAUT ou BAS selon la tension mesurée par la carte.. En général, les tensions inférieures à 1 V seront étiquetées comme BAS, et les tensions supérieures à 4 V seront étiquetées comme ÉLEVÉES. Il est important d'éviter les

tensions intermédiaires, qui peuvent conduire à un résultat imprévisible. Attention: une tension supérieure à 5,5 V endommagera la carte Arduino.

IV.2.6.4 Les entrées analogique :

Une entrée analogique est similaire à un voltmètre: la carte représente la tension appliquée au port. Cependant, comme le microcontrôleur ne fonctionne qu'avec des nombres, la contrainte appliquée doit être convertie en une valeur numérique. C'est le travail du convertisseur analogique / numérique, également appelé CAO.



Figure.IV.7 Les entrées analogique.

IV.2.6.5 Les sorties analogique :

La carte Arduino ne dispose pas d'une véritable sortie analogique capable de produire une tension à une valeur spécifiée par l'utilisateur. Cependant, certains ports numériques peuvent être utilisés comme sorties analogiques en utilisant la technologie PWM (Pulse Width Modulation): ce sont les ports 3, 5, 6, 9, 10 et 11 (signaux par un sur la carte). Ces ports peuvent simuler une tension entre 0 et 5 V en commutant rapidement entre leurs états BAS (0 V) et HAUT (H V) (5 V). Si le port passe le même temps dans un état que dans l'autre, la tension moyenne est de 2,5 V; cependant, en modifiant ce rapport, la tension moyenne peut être réglée entre 0 et 5 V.



FigureIV.8 Les sorties analogique.

IV.2.6.6 Les tensions de références :

La carte Arduino comprend des ports qui permettent d'accéder à certaines tensions de référence..



Figure.IV.9 Les tensions de references.

GND est la carte de référence Arduino par rapport à laquelle toutes les différences de tension sont mesurées. Si la carte est connectée à l'ordinateur via un câble USB, la contrainte est celle de

la terre. Les ports 5V et 3V3 permettent d'accéder respectivement à des tensions 5 V et 3,3 V. Ces contraintes sont généralement contrôlées et exactes. Une exception: lorsque la carte est connectée à un port USB sans alimentation externe, le port 5 V n'est plus alimenté par la carte Arduino mais plutôt par le câble USB, donc la tension de référence 5 V n'est plus aussi bien maîtrisée. Lorsqu'il y en a un, VIN est la tension d'alimentation externe.

Attention: si vous connectez le port 5 V au port GND (ou le port 3V3 au port GND, ou le port 5V au port 3V3), vous provoquerez un court-circuit qui endommagera la carte

IV.2.7 Le porte USB :

Le port USB permet à la fois d'alimenter la carte Arduino et de communiquer en série entre la carte et l'ordinateur. Une fois connectée, la carte Arduino apparaîtra dans le gestionnaire de matériel de votre ordinateur, connectée à l'un des ports série (COM1, COM4, etc.). Vous devez vous assurer que l'IDE (logiciel Arduino) est correctement configuré pour communiquer avec le bon port COM (et le bon type de carte Arduino !). L'IDE vous permet de scanner le port COM et de récupérer tous les messages qui peuvent avoir été laissés sur la carte. Utilisez toujours cet outil pour déboguer votre logiciel tant qu'il y a des informations circulant sur le port série: Outils / Moniteur série.

IV.2.8 Les ports de communications :

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0(RX) et 1 (TX).

On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, la connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil:

IV.2.9 Partie programme :

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte. L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

IV.2.10 L'environnement de la programmation :

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino[41].

IV.2.10.1 Le logiciel :

Les appareils électroniques sont de plus en plus remplacés par des appareils électroniques programmés. Il est également connu sous le nom d'électronique embarquée ou de technologie de l'information embarquée.

IV2.10.2L'interface de logiciel :

L'interface graphique du logiciel Arduino présente les caractéristiques suivantes:

IV2.10.3 Lancement du logiciel :

Démarrez le programme en double-cliquant sur l'icône avec le symbole vert "infini". Il s'agit de l'exécutable du logiciel. Après un bref moment de réflexion, l'image suivante apparaît:



Figure.IV.10L'écran de démarrage Arduino software.

L'interface du logiciel Arduino se presente de la facon suivante :

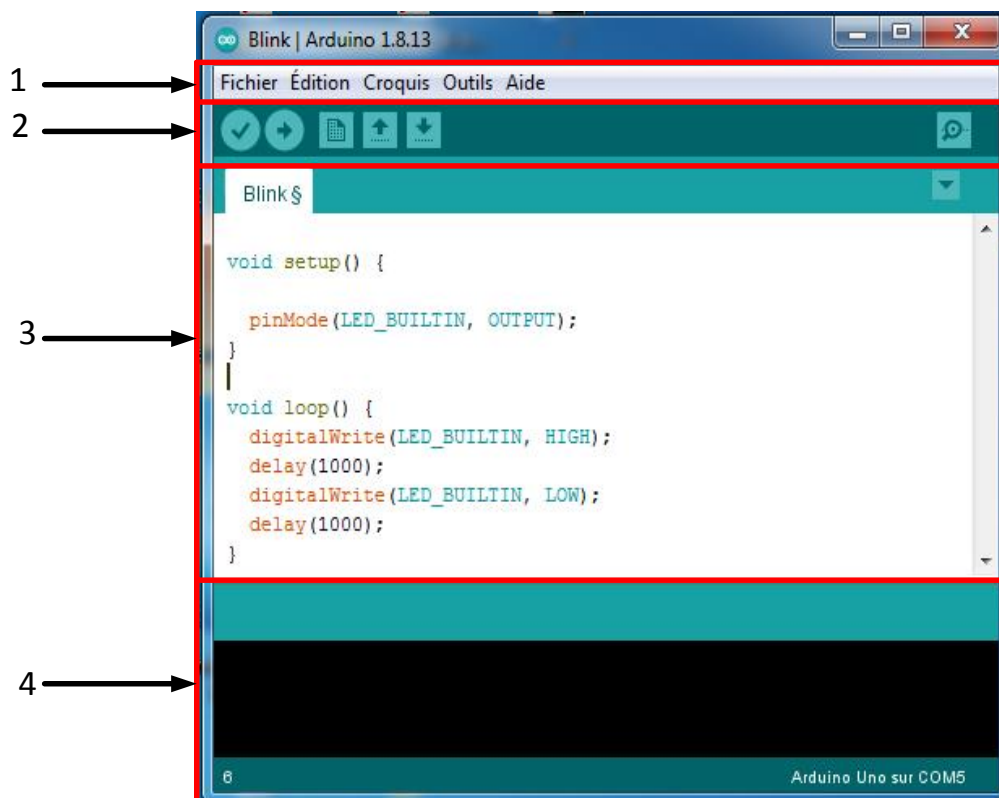


Figure.IV.11L'interfacearduino IDE de logiciel.

1. Options de configuration du logiciel
2. Boutons pour la programmation des cartes
3. Programme à créer
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation)

IV.2.10.4 Les boutons :

Regardez ce que les boutons, qui sont enfermés en rouge et numérotés avec un 2 servent en ce moment.

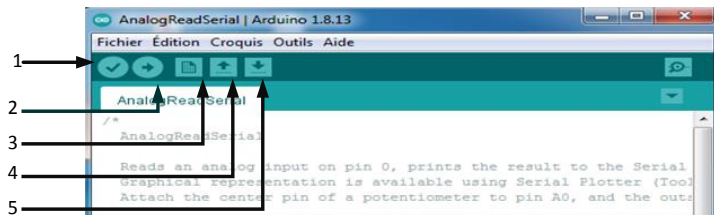


Figure.IV.12 La barre d'outils.

Bouton 1: Ce bouton vous permet de vérifier votre programme; il lance un module qui recherche les erreurs dans votre code.

Bouton 2 : chargez (transférez) le programme sur la carte Arduino.

Bouton 3 : créer un nouveau fichier

Bouton 4 : Ouvrez un document.

Bouton 5 : Enregistre le fichier.

Bouton 6 : Ouvrez le moniteur de la série (nous verrons de quoi il s'agit plus tard).

IV.2.11 Structure générale du programme (IDE Arduino):

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.

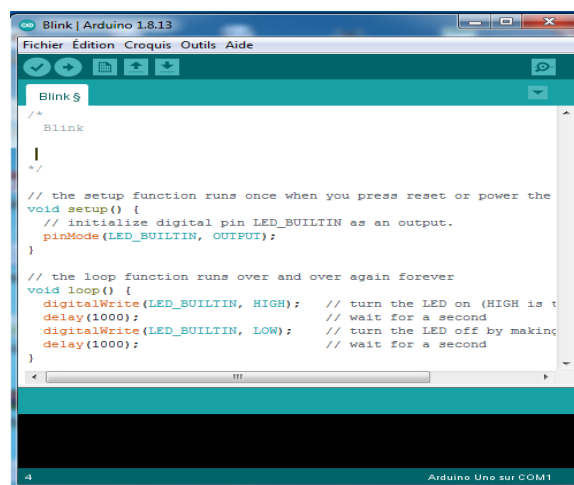


Figure.IV.13 Interface IDE Arduino.

IV.3 Les éléments du système photovoltaïque:

IV.3.1 Gatedriver:

Un pilote de grille est un amplificateur de puissance qui accepte une entrée de faible puissance d'un circuit intégré de contrôleur et produit une entrée de commande de courant élevé pour la grille d'un transistor de haute puissance tel qu'un IGBT ou un MOSFET de puissance. Les commandes de porte peuvent être fournies soit dans la puce, soit sous la forme d'un module discret. Essentiellement, une commande de porte consiste en un décaleur de niveau en combinaison avec un amplificateur. Un circuit intégré de commande de porte sert d'interface entre les signaux de commande (contrôleurs numériques ou analogiques) et les commutateurs d'alimentation (IGBT, MOSFET, SiC MOSFET et GaN HEMT). Une solution de commande de porte intégrée réduit la complexité de la conception, le temps de développement, la nomenclature (BOM) et de l'espace sur la carte tout en améliorant la fiabilité par rapport à une solution d'entraînement de porte discrètement mise en œuvre.

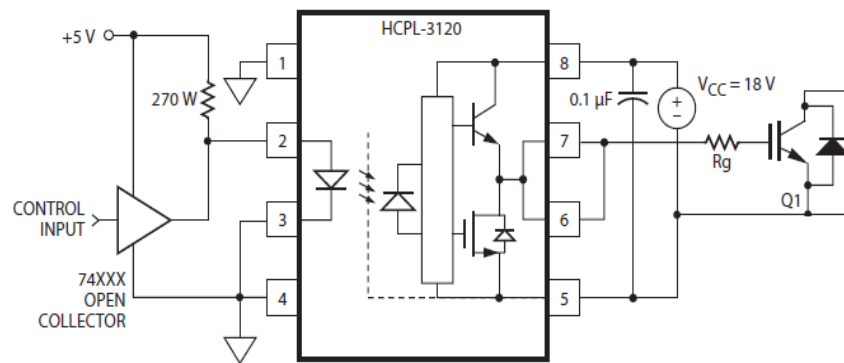


Figure.IV.14 lecteur LED recommandé et circuit d'application.

IV.3.2 Les composants utilisés sur le système photovoltaïque:

Contrairement aux transistors bipolaires, les MOSFET n'ont pas besoin d'une alimentation continue lorsqu'ils ne sont pas allumés et éteints. L'électrode de grille isolée du MOSFET forme un condensateur (condensateur de grille) qui doit être chargé ou déchargé à chaque fois que le MOSFET est activé ou désactivé. Comme un transistor nécessite une tension de grille particulière pour passer, le condensateur de grille doit être chargé au moins à la tension de grille requise pour que le transistor soit enclenché. De même, pour désactiver le transistor, cette charge doit être dissipée, c'est-à-dire que le condensateur de grille doit être déchargé.

Lorsqu'un transistor est activé ou désactivé, il ne passe pas automatiquement d'un état non conducteur à un état conducteur, et il peut supporter à la fois une tension élevée et un courant élevé de manière transitoire. En conséquence, lorsqu'un courant de grille est appliqué à un transistor pour le faire tourner, de la chaleur est produite, ce qui peut suffire à tuer le transistor dans certains cas. En conséquence, afin d'éviter une perte de commutation, le temps de commutation doit être aussi court que possible. Les temps de commutation sont généralement mesurés en microsecondes. La quantité de courant utilisée pour charger la grille est inversement

proportionnelle au temps de commutation d'un transistor. En conséquence, des courants de commutation de l'ordre de centaines de milliampères, voire de milliers d'ampères, sont fréquemment nécessaires. Avec des tensions de grille moyennes d'environ 10-15V, L'interrupteur nécessitera plusieurs watts de puissance pour fonctionner. Plusieurs transistors sont souvent utilisés en parallèle pour fournir des courants de commutation et une puissance de commutation suffisamment élevés lorsque des courants importants sont commutés à des fréquences élevées, comme dans les convertisseurs DC-DC ou les gros moteurs électriques. Par conséquent, un transistor qui est directement entraîné par un tel signal commuterait très lentement, avec une perte de puissance proportionnellement élevée. Lors de la commutation, le condensateur de grille du transistor peut tirer du courant si rapidement qu'il provoque un surintensité de courant dans le circuit logique ou microcontrôleur, provoquant une surchauffe qui conduit à un endommagement permanent voire à une destruction complète de la puce. Pour éviter que cela ne se produise, un pilote de grille est prévu entre le signal de sortie du microcontrôleur et le transistor de puissance. Les pompes de charge sont souvent utilisées dans les ponts en H dans les pilotes de haut niveau pour la commande de grille des MOSFET et IGBT de puissance à canal n du côté haut. Ces appareils sont utilisés en raison de leurs bonnes performances, mais nécessitent une tension de commande de grille à quelques volts au-dessus du rail d'alimentation. Lorsque le centre d'un demi-pont devient bas, le condensateur est chargé via une diode, et cette charge est utilisée pour piloter plus tard la grille de la porte FET côté haut quelques volts au-dessus de la tension de la source ou de la broche de l'émetteur afin de l'allumer. Cette stratégie fonctionne bien à condition que le pont soit régulièrement commuté et évite la complexité d'avoir à faire fonctionner une alimentation séparée et permet aux dispositifs à canal n plus efficaces d'être utilisés pour les commutateurs haut et bas.

Eauqtions:

$$V_0 = -\frac{V_s D}{1-D}$$

$$V_0 = \frac{V_s D}{1-D}$$
(IV.1)

Valeur de l'inductance:

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}$$
(IV.2)

Lavaleur du condensateur:

$$r = \frac{DV_0}{V_0} = \frac{D}{RCf}$$

$$C = \frac{D}{rRf}$$
(IV.3)

IV.6.9 : Experimental test:

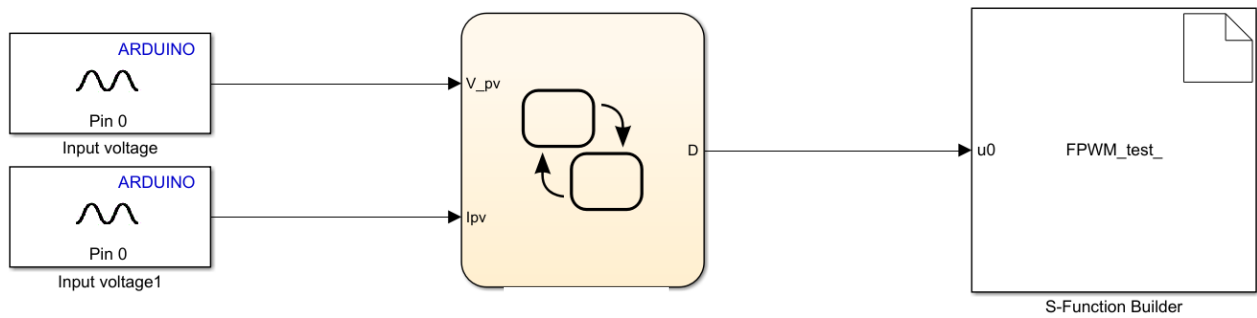


Figure.IV.15Experimental test deP&O-MPPT algorithm programme par stateflow/Matlab/Similink avec 2 enter analogique, en plus le ploque de generateur de MLI rapide (S-Function Builder).



Figure.IV.16Photo réel de system photovoltaïque étudiée.

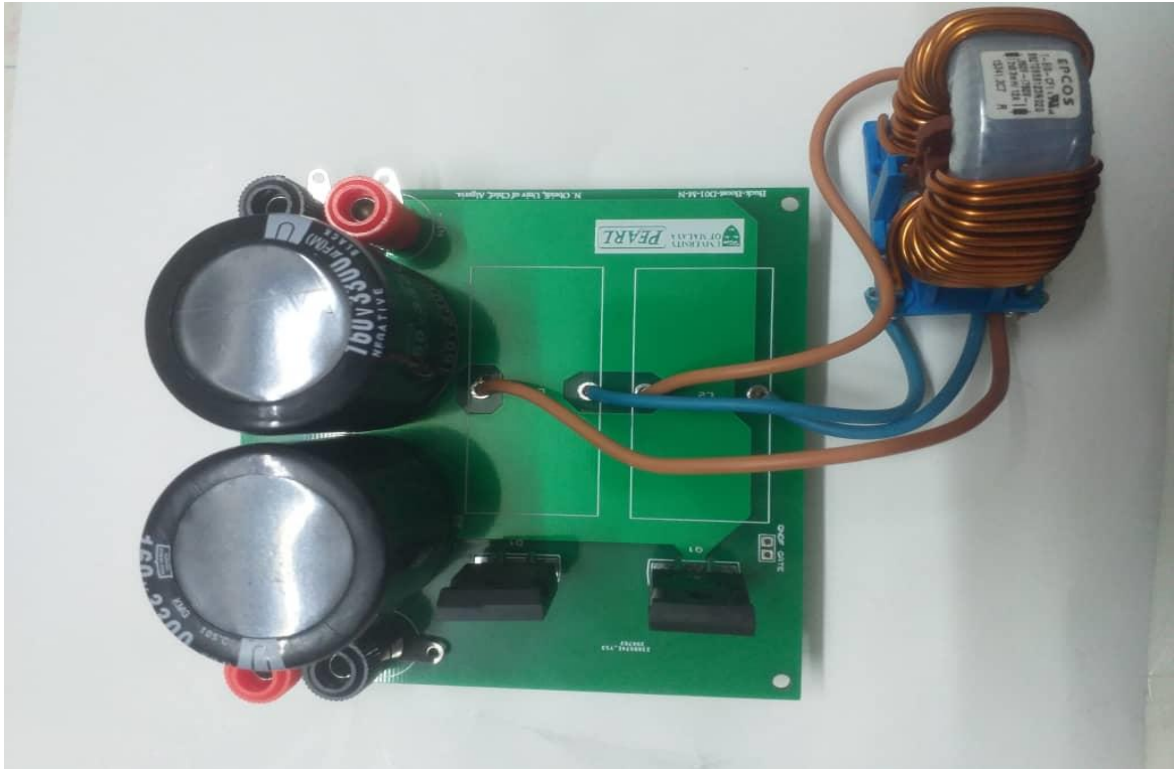


Figure.IV.17 Photo réel de convertisseur Buck-Boost.

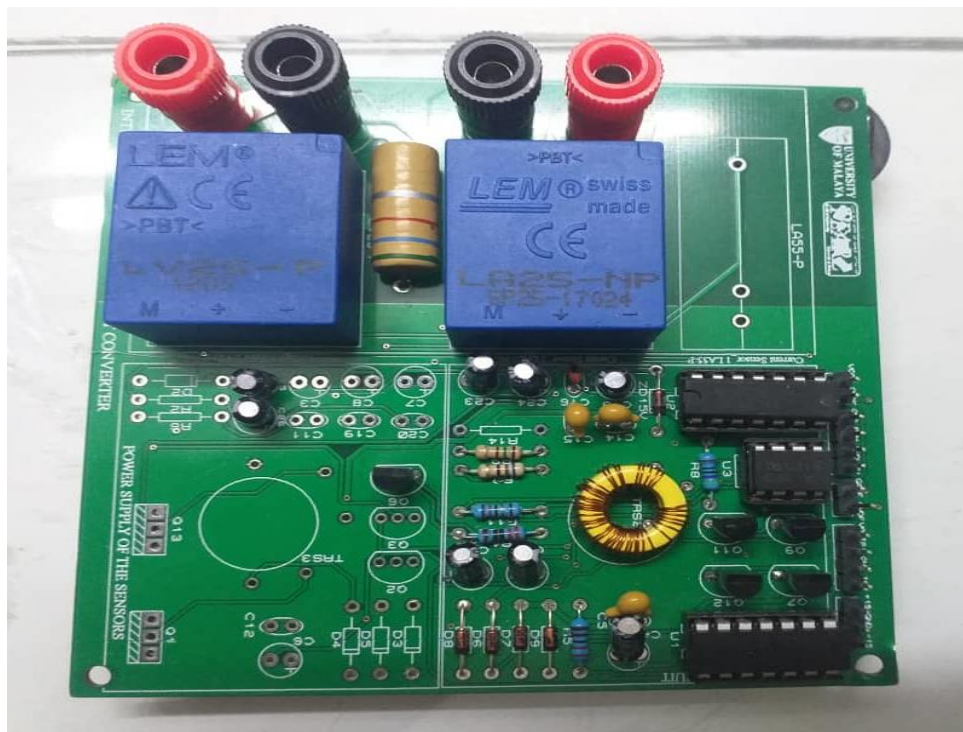


Figure.IV.18 Photo réel de Gate Drive

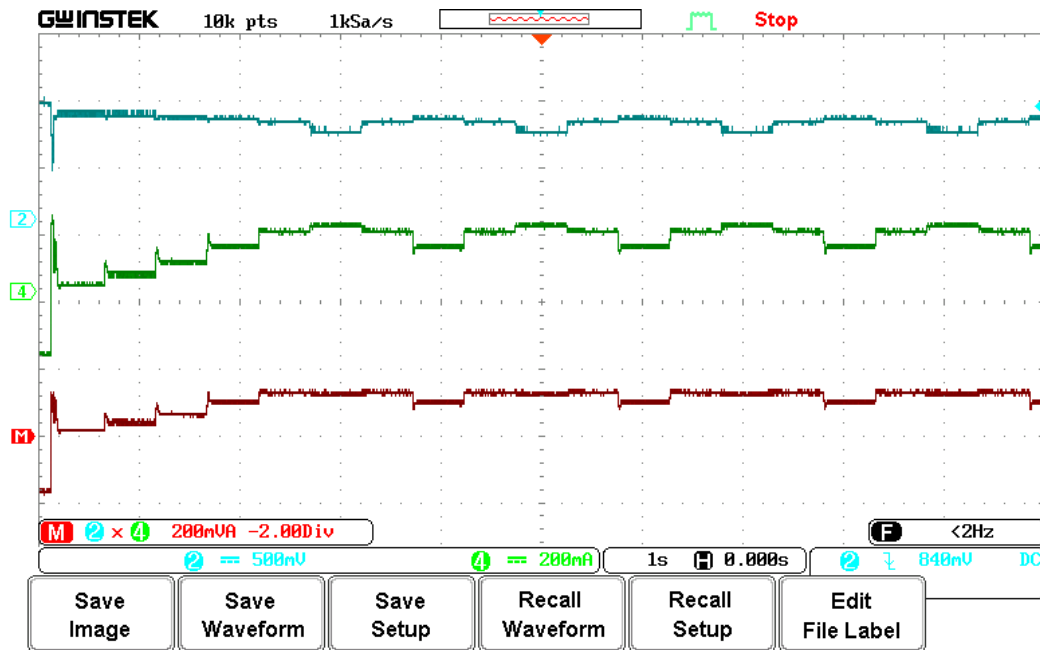


Figure.IV.19 Suivi des performances sous les changements d'irradiance : formes d'onde expérimentales de P&O-MPPT, (A) voltage de panneau, (B) courant de panneau, (C) puissance de panneau.

Le Figure.IV.19 montre les résultats expérimentaux de l'étude réalisée pour vérifier l'efficacité de l'algorithme et du système, comme elle montre les point A voltage de panneau, B courant de panneau et C puissance de panneau.

Pour atteindre le point maximum de puissance se fait par étapes; d'abord la tension et le courant sont vérifiés à travers les capteurs puis envoyés à l'Arduino (algorithme : dans lequel se situe ce point) et la valeur de la tension sur lequel le panneau solaire doit fonctionner est déterminé pour obtenir le point de puissance maximale.

Conclusion General :

Ce mémoire est consacré à l'étude et la réalisation du convertisseur DC/DC abaisseur de tension type Buck-Boost dans une chaîne Photovoltaïque commandé par mode de commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur GPV.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire photovoltaïque. Puis nous avons présenté la trajectoire apparente du soleil, une description du système PV, de la cellule PV, du générateur photovoltaïque et ses performances.

Nous avons étudié, dans un deuxième temps, quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme le Buck, Boost et Buck-Boost. Puis nous avons présenté les algorithmes MPPT, comme l'algorithme de la méthode perturbation & observation (P&O).

Ensuite, Nous avons simulé en MATLAB r2016b trois convertisseurs DC-DC pour montrer leurs rôles puis tracer la caractéristique I-V et P-V de notre module PV, par la suite nous avons créé le algorithme P&O par StateFlow/SiMILINK envernement.

L'algorithme test par (variation de l'éclairement), à la fin du chapitre trois nous avons simulé le fonctionnement du mode d'optimisation de puissance par une commande MPPT (P&O), pour différents niveaux d'éclairement.

Finalement, nous avons réalisés et tester le convertisseur associé avec une carte ArduinoDue dans laquelle nous avons implanter P&O algorithme.

.

ANNEXE



STPS20H100C

100 V power Schottky rectifier

Features

- Negligible switching losses
- High junction temperature capability
- Good trade off between leakage current and forward voltage drop
- Low leakage current
- Avalanche rated
- Insulated package: TO-220FPAB
 - Insulating voltage = 2000 V DC
 - Capacitance = 45 pF
- Avalanche capability specified

Description

Dual center tap Schottky rectifier designed for high frequency miniature switched mode power supplies such as adaptators and on board DC/DC converters.

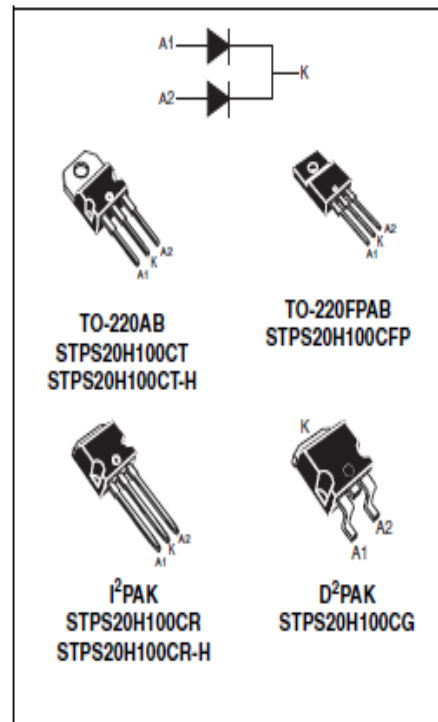


Table 1. Device summary

Symbol	Value
$I_{F(AV)}$	2 x 10 A
V_{RRM}	100 V
$T_J(max)$	175 °C
$V_F(max)$	0.64 V

Fiche technique de diode STPS20H100C

Nell High Power Products

N-Channel Power MOSFET

20A, 500Volts

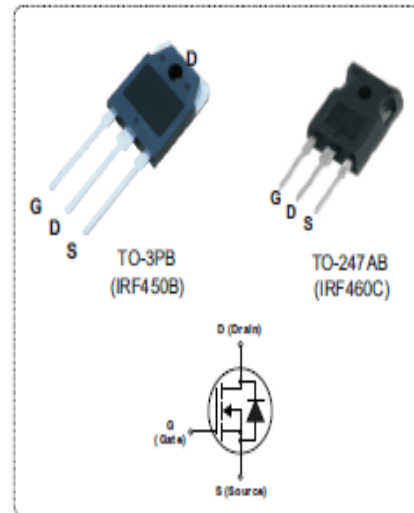
DESCRIPTION

The Nell **IRF460** is a three-terminal silicon device with current conduction capability of 20A, fast switching speed, low on-state resistance, breakdown voltage rating of 500V, and max. threshold voltage of 4 volts.

They are designed for use in applications such as switched mode power supplies, DC to DC converters, motor control circuits UPS and general purpose switching applications.

FEATURES

- $R_{DS(ON)} = 0.27\Omega$ @ $V_{GS} = 10V$
- Ultra low gate charge(210nC Max.)
- Low reverse transfer capacitance ($C_{RSS} = 350pF$ typical)
- Fast switching capability
- 100% avalanche energy specified
- Improved dv/dt capability
- 150°C operation temperature



PRODUCT SUMMARY

I_D (A)	20
V_{DSS} (V)	500
$R_{DS(ON)}$ (Ω)	0.27 @ $V_{GS} = 10V$
Q_G (nC) max.	210

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	VALUE	UNIT
V_{DSS}	Drain to Source voltage	$T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$	500	V
V_{DGR}	Drain to Gate voltage	$R_{GS} = 20K\Omega$	500	
V_{GS}	Gate to Source voltage		± 20	
I_D	Continuous Drain Current ($V_{GS} = 10V$)	$T_C = 25^\circ C$	20	A
		$T_C = 100^\circ C$	13	
I_{DM}	Pulsed Drain current(Note 1)		80	
I_{AR}	Avalanche current(Note 1)		20	mJ
E_{AR}	Repetitive avalanche energy(Note 1)	$I_{AR} = 20A, R_{GS} = 50\Omega, V_{GS} = 10V$	28	
E_{AS}	Single pulse avalanche energy(Note 2)	$I_{AS} = 20A, L = 4.3mH$	960	
dv/dt	Peak diode recovery dv/dt(Note 3)		3.5	V/ns
P_D	Total power dissipation	$T_C = 25^\circ C$	280	W
	Derate above $25^\circ C$		2.2	W/°C

Fiche technique de transistore irf460n



Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

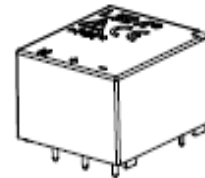


RoHS



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal rms current	10	mA
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA
R_M	Measuring resistance	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$	
	with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}$ $R_{M \max}$	30 190 Ω
		@ $\pm 14 \text{ mA}$ $R_{M \max}$	30 100 Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}$ $R_{M \max}$	100 350 Ω
		@ $\pm 14 \text{ mA}$ $R_{M \max}$	100 190 Ω
I_{SN}	Secondary nominal rms current	25	mA
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000	
U_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_{S_0}	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X_0	Overall accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.8	%
ϵ_L	Linearity error	< 0.2	%
I_0	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	± 0.15 mA
I_{OT}	Temperature variation of I_0	0 $^\circ\text{C} \dots +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.06 \pm 0.25$ mA
		+25 $^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$	$\pm 0.10 \pm 0.35$ mA
t_r	Step response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN}	40	μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. +70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-25 .. +85	$^\circ\text{C}$
R_p	Resistance of primary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_s	Resistance of secondary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010	

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_i which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor

Data cheetcteur de tensionLV25-P



Current Transducer LA 25-NP/SP25

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ At}$



16154



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	25	At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 36	At
R_M	Measuring resistance with $\pm 15 \text{ V}$	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$	
	@ $\pm 25 \text{ At}$	150 325	Ω
	@ $\pm 36 \text{ At}_{\max}$	150 190	Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_N	Conversion ratio	1-2-3-4-5 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5 \%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	$10 + I_B$	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.9	%
ϵ_L	Linearity error	< 0.2	%
I_0	Offset current ¹⁾ @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	
I_{CM}	Magnetic offset current ²⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$	± 0.05 ± 0.15	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_0 - $40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$	± 0.25 ± 0.70	mA
t_f	Response time ³⁾ to 90 % of I_{PN} step	< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/ μs
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-50 .. +100	$^\circ\text{C}$
R_p	Primary coil resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< 1.25	m Ω

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Special features

- $V_d = 2.5 \text{ kV}$ (4 kV DC/5 mn)
- $T_A = -40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- Single or three phase inverters
- Propulsion and braking chopper
- Propulsion converter
- Auxiliary converter
- Battery charger.

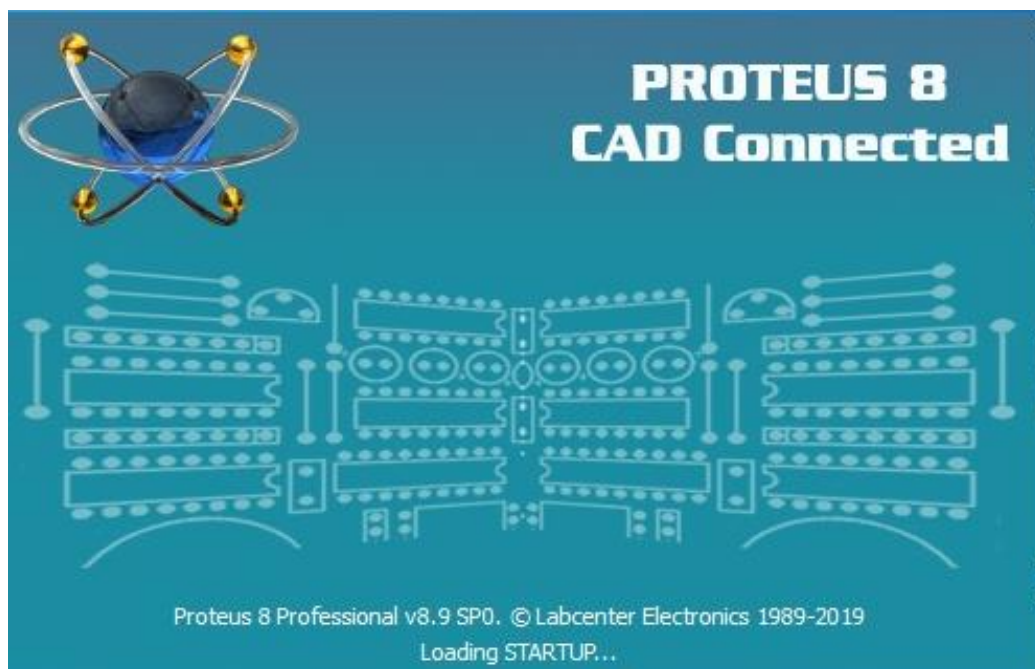
Data sheet capteur de courant LA25-NP

Les Logiciels Utilisés :

Pour Programmer Arduino :



Pour Programmer ISIS proteus



Bibliographie

Bibliographie

- [1] J.-P. Colinge, "Physique des dispositifs semi-conducteurs," 1996.
- [2] S. Mouhamed, "Djediai Lazhari Mémoire de fin d'étude «,» *Optim. d'un Syst. poursuit Sol. appliquée au champ photovoltaïque* Univ. Ouargla, 2011.
- [3] M. Capderou, "Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théoriques et expérimentaux," Vol. 1, T1, Off. des Publ. Univ. Algérie, 1987.
- [4] R. M'HAMMEDI, C. BEN AMRANI, and B. E. N. ATAILLAH, "ÉTUDE TECHNO-ÉCONOMIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE (MAISON SOLAIRE) SUR LE SITE D'ADRAR." UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2020.
- [5] B. L. Sofia, "Cours Energie Solaire Photovoltaïque," Univ. A. MIRA BEJAIA, Année Univ. 2014, 2015.
- [6] A. BENMIR and F. KHELFAOUI, "Simulation d'une cellule solaire photovoltaïque en couche mince à hétérojonction: CdS/CIGS et CdS/CZTS." .
- [7] A. Amaoui and O. Guenounou, "Optimisation d'une commande MPPT floue par essais particulière." Université abderrahmane mira béjaia, 2015.
- [8] H. SIOUANE, "INSERTION DE L'ARCHITECTURE ECOLOGIQUE DANS UN MILIEU RURAL," 2017.
- [9] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, "Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells," *Sol. energy*, vol. 81, no. 8, pp. 977–992, 2007.
- [10] J. W. Bishop, "Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits," *Sol. cells*, vol. 25, no. 1, pp. 73–89, 1988.
- [11] H. Kawamura *et al.*, "Simulation of I–V characteristics of a PV module with shaded PV cells," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 75, no. 3–4, pp. 613–621, 2003.
- [12] H. Oldenkamp, I. de Jong, N. van der Borg, B. de Boer, H. de Moor, and W. C. Sinke, "PV-Wirefree versus conventional PV-systems: detailed analysis of difference in energy yield between series and parallel connected PV-modules," *Power [W]*, vol. 150, no. 300, p. 450, 2004.
- [13] M. Noreddinne and G. Abdarrazzak, "Réalisation d'une Carte d'acquisition et supervision en utilisant un module GSM." UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- [14] V. Salas, E. Olías, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," *Sol. energy Mater. Sol. cells*, vol. 90, no. 11, pp. 1555–1578, 2006.
- [15] E. Babaei and M. E. S. Mahmoodieh, "Systematical method of designing the elements of the Cuk converter," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 351–361, 2014.
- [16] J. M. Enrique, E. Duran, M. Sidrach-de-Cardona, and J. M. Andujar, "Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies," *Sol. Energy*, vol. 81, no. 1, pp. 31–38, 2007.

- [17] J. D. Irwin, *Control in power electronics: selected problems*. Elsevier, 2002.
- [18] R. Andoulsi, “Etude d’une classe de systèmes photovoltaïques par une approche bond graph: modélisation, analyse et commande.” Lille 1, 2001.
- [19] H. N. Zainudin and S. Mekhilef, “Comparison study of maximum power point tracker techniques for PV systems,” 2010.
- [20] M. A. Farahat, H. M. B. Metwally, and A. A.-E. Mohamed, “Optimal choice and design of different topologies of DC–DC converter used in PV systems, at different climatic conditions in Egypt,” *Renew. Energy*, vol. 43, pp. 393–402, 2012.
- [21] W. Hui and X. Fangqiu, “Flexible global carbon pricing study: A new method to establish the international cooperation on reducing carbon emission,” in *2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC)*, 2012, pp. 300–304.
- [22] N. Aouchiche, “Conception d ’ une commande MPPT optimale à base d ’ intelligence artificielle d ’ un système photovoltaïque . Nedjma Aouchiche To cite this version : HAL Id : tel-02902953,” 2020.
- [23] M. H. Anowar and P. Roy, “A modified incremental conductance based photovoltaic MPPT charge controller,” in *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019, pp. 1–5.
- [24] A. Ballouti, F. Djahli, A. Bendjadou, N. Belhaouchet, and A. Benhamadouche, “MPPT system for photovoltaic module connected to battery adapted for unstable atmospheric conditions using VHDL-AMS,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 3, pp. 2021–2031, 2014.
- [25] K. M. Tsang and W. L. Chan, “Model based rapid maximum power point tracking for photovoltaic systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 70, pp. 83–89, 2013.
- [26] R. Kiranmayi, “Investigation on potential photovoltaic power modules for higher electrical output,” 2013.
- [27] A. Zbeeb, “A new microcontroller-based MPPT algorithm for photovoltaic applications.” Concordia University, 2009.
- [28] D.-Y. Lee, H.-J. Noh, D.-S. Hyun, and I. Choy, “An improved MPPT converter using current compensation method for small scaled PV-applications,” in *Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC’03.*, 2003, vol. 1, pp. 540–545.
- [29] A. Oi, “Design and simulation of photovoltaic water pumping system,” *Calif. Polytech. State Univ.*, 2005.
- [30] H. B. Tolabi, *Advances in Electric Power Engineering*. Lulu. com.
- [31] A. HAKOUMI, A. BENAMAR, and T. GHITAOU, “Commande MPPT et contrôle d’un systemephotovoltaique 3KW par la logique floue.” Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [32] S. FERDJANI, O. MAATALLAH, and S. MAKHLOUFI, “Etude et Réalisation d’un Hacheur Boost Commandé par le μ C ARDUINO en vue d’Implémenter des Commandes MPPT.” Université Ahmed Draia-ADRAR, 2019.

- [33] C. Hua, J. Lin, and C. Shen, "Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 1, pp. 99–107, 1998.
- [34] Z. Michalewicz, *Genetic algorithms+ data structures= evolution programs*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [35] F. MEDJILI, "Modélisation par Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) et commande Prédictive non linéaire d'une station de production d'eau froide." Université Badji Mokhtar de Annaba, 2010.
- [36] S. E. GACEM, "IDENTIFICATION DES SYSTEMES NON LINEAIRES PAR RESEAUX DE NEURONES." Université Mohamed Khider–Biskra, 2015.
- [37] A. N. A. Ali, M. H. Saied, M. Z. Mostafa, and T. M. Abdel-Moneim, "A survey of maximum PPT techniques of PV systems," in *2012 IEEE Energytech*, 2012, pp. 1–17.
- [38] T. Eswam and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques," *IEEE Trans. energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007.
- [39] عبيدي, نبيل, and بوقطاية, "Commande d'un moteur à courant continu alimenté par un hacheur avec la carte Arduino," 2016.
- [40] A. khodja Nassim, "Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte arduino." Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [41] B. Ahmed and M. Mouloud, "Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Android," 2018.