



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Maintenance et Instrumentation

Spécialité : Mesure-Analyse-Qualité

Thème

Mise au point d'un convertisseur DC/DC type Buck

Présenté et soutenu publiquement par :

Daci Sadeddine

Gagui Mohamed Lamine

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BOURAHLA Boumediene	MAB	IMSI UNIV 2	Président
BENABED Khadidja	MAA	IMSI UNIV 2	Encadreur
DJELGHOUM Farida	MAA	IMSI UNIV 2	Examineur

Juin 2017

Résumé

Les systèmes photovoltaïques, constitués de panneaux solaires montés en série, en parallèle, ou mixte, requièrent souvent des convertisseurs de type élévateur de tension (*boost, or step-up*) ou abaisseur de tension (*Buck, or step-down*), pour offrir une tension de service normalisée de 12V, 24V ou 48V. Il s'agit dans ce travail de faire une étude concise et suffisante sur divers schémas conceptuels présentés par plusieurs laboratoires de recherche à travers le monde, et de parachever ce travail par la mise au point d'un dispositif fonctionnel, en mettant l'accent sur le rendement (aussi élevé que possible) et l'optimisation du montage à réaliser (dimension, poids, densité des composants et coût).

Mots clés : système photovoltaïque, panneaux solaires, convertisseurs, élévateur, abaisseur, mise au point.

Abstract

Photovoltaic systems, consisting of series, parallel, or mixed solar panels, often require voltage-boosting or voltage-lowering converters to provide a standardized operating voltage of 12V, 24V or 48V. The aim of this work is to make a concise and sufficient study of various conceptual schemes presented by several research laboratories throughout the world and to complete this work by designing a functional device, (As high as possible) and the optimization of the assembly to be carried out (dimension, weight, component density and cost).

Keywords: Photovoltaic systems, solar panels, converters, boosting, lowering, designing.

Dédicace

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant, nous avons pu achever ce
travail que je le dédie*

** A mes très chers parents*

** A ma grand-mère et mon grand-père.*

** A mes chère frères et sœurs*

** A toute la famille Daci*

** A mon collègue de travail Gagui Mohamed Lamine*

** A toute la promotion Master Mesure Analyse Qualité 2016-
2017 à qui je souhaite bonheur et réussite*

Sadeddine

Dédicace

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant, nous avons pu achever ce
travail que je le dédie*

** A mes très chers parents*

** A ma grand-mère et mon grand-père.*

** A mes chère frères et sœurs*

** A toute la famille Gagui*

** A mon collègue de travail Daci Sadeddine*

** A toute la promotion Master Mesure Analyse Qualité 2016-
2017 à qui je souhaite bonheur et réussite*

Mohamed

Remerciements

En tout premier lieu, nous tiens à remercier Allah le Tout Puissant, le Seul à Mérité d'être adoré, de nous avoir facilité et permis de faire ce travail

On tient à remercier notre encadreur Madame BENABED KHADIDJA pour avoir proposé et dirigé ce travail aussi Mr BENABADJI NOUREDDINE pour son suivi, aide et conseils au cours de la réalisation.

On tient à exprimer nos vifs remerciements à Mr B. BOURAHLA, Maître assistant classe B à l'Université d'Oran 2 Mohamed Benhmed, d'avoir acceptée de présider le Jury de cette mémoire

Je remercie sincèrement Mme F. DJELGHOUM

Maître assistante classe A à l'Université d'Oran 2 Mohamed Benhmed d'avoir accepté d'être membre de ce Jury.

On remercie tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

On tient à remercier chaleureusement nos camarades d'étude parcours « M-A-Q » ainsi que tous nos amis de l'« IMSI ».

En fin on remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin pour nous aider à achever ce travail.

SOMMAIRE

La liste des figures	
La liste des tableaux	
Liste des abréviations	
La liste des symboles	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur le Système Photovoltaïque	4
Introduction	4
I.1 Historique	5
I.2 l'énergie solaire	5
I.3 Système photovoltaïque (PV)	6
I.3.1 La conversion photovoltaïque.....	6
I.3.2 Effet photovoltaïques et la jonction PN	6
I.4 Cellule photovoltaïques	6
I.4.1 Les différents types de cellules photovoltaïques	7
Cellule en silicium monocristallin	7
Cellules polycrystallines	7
Cellule amorphe	8
I.4.2 Rendement énergétique des différents types de cellules	8
I.5 Générateur photovoltaïques	8
I.5.1 Domaine d'utilisation du photovoltaïque	9
A. Les applications autonomes	9
B. Les applications connectées au réseau de distribution d'électricité	9
I.5.2 Rendement énergétique	10
I.6 Définition des convertisseurs des systèmes photovoltaïques.....	11
I.6.1 Convertisseurs DC/DC pour les systèmes d'énergie solaire	11
Conclusion	12
CHAPITRE II : Les convertisseurs DC/DC	13
Introduction	13
II.1 Généralités sur les convertisseurs DC/DC	14
II.1.1 Applications des convertisseurs DC/DC	14
II.1.2 Représentation du convertisseur DC/DC	14

II.2 Représentation des sources	15
Alimentation	15
Charge	15
II.3 Fluence d'énergie	16
II.4 Les moyens de conversion	16
II.4.1 Diviseur de tension	16
II.4.2 Régulateur linéaire	17
II.4.3 Alimentation à découpage	18
II.5 Type des convertisseurs DC-DC	18
II.5.1 Convertisseur Boost (élevateur de tension)	19
II.5.1.a Principe de fonctionnement	19
II.5.2 Convertisseur Buck-Boost	21
II.5.2.a Principe de fonctionnement	21
II.5.3 Convertisseur Buck	22
II.5.3.a Présentation du hacheur abaisseur (Buck)	22
II.5.3.b Caractéristiques du hacheur série (Buck)	22
II.5.3.c Mode de conduction continue	24
II.5.3.d Limite entre la conduction continue et discontinue	28
II.5.3.e. Mode de conduction discontinue	29
II.5.3.f Différents schémas conceptuels du convertisseur Buck	30
II.6 Comparaison entre les différents types des convertisseurs Buck	34
II.7 Rendement du convertisseur statique	35
Conclusion.....	36
Chapitre III : Etude du convertisseur DC/DC type Buck	37
Introduction	37
III.1 Convertisseur DC/DC type Buck	38
III.1.1 Représentation du schéma conceptuelle du convertisseur	38
III.1.2 Description des composants du montage	38
III.1.2.a Le circuit MC34063	38
III.1.2.b Les condensateurs	40
III.1.2.c Les inductances	41
III.1.2.d Diode Schottky	42
III.1.2.e Les interrupteurs commandables	43
III.2 Caractéristiques types du convertisseur Buck	45
III.3 Fonctionnement du convertisseur Buck	46

III.4. Analyse du circuit de convertisseur Buck	47
Conclusion	51
Chapitre IV : Réalisation d'un convertisseur DC/DC de type Buck	52
Introduction	52
IV.1 Généralités sur la réalisation d'un convertisseur	53
IV.2 Description du hardware	53
IV.2.1 Schéma théorique	54
IV.2.2 Le circuit MC34063	55
IV.2.3 Transistors	56
IV.2.4 Diodes Schottky	57
IV.2.5 Capacités d'entrée	57
IV.2.6 Driver de Mosfet	58
IV.3 Mesure	58
Exemple d'utilisation	62
Conclusion	62
Conclusion générale	63
Références	
Annexe A	
Annexe B	
Annexe C	
Annexe D	
Annexe E	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur les Systèmes Photovoltaïques

Figure.I.1.Constitution d'une cellule photovoltaïque	13
Figure.I.2.Cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin.....	13
Figure.I.3.Cellule photovoltaïque à base de silicium polycristallin.	14
Figure.I.4.Cellule photovoltaïque à base de silicium amorphe.	14
Figure.I.5.Un panneau solaire.	15
Figure.I.6.Ombrières photovoltaïques	16
Figure.I.7.Schéma synoptique d'un système PV adapté par un convertisseur DC/DC.	17

CHAPITRE II : les convertisseurs DC/DC

Figure II.1.Convertisseur DC/DC	20
Figure II.2.Conventions adoptées pour les générateurs	21
Figure.II.3.Fluence d'énergie.	22
Figure.II.4.Diviseur de tension pour abaisser la tension.	23
Figure.II.5.Régulateur linéaire LDO [CIM1995]	23
Figure.II.6.Représentation de convertisseur Boost (Step Up).	25
Figure.II.7.Schéma de convertisseur élévateur << Boost >>.	26
Figure.II.8.Schéma de convertisseur inverseur << Buck-Boost>>	27
Figure.II.9.Schéma de convertisseur inverseur durant l'état on & off.	28
Figure.II.10.Le schéma de base du convertisseur dévolteur (Buck).	28
Figure.II.11.Convertisseur Buck durant l'état : on & off	29
Figure.II.12.Chronogramme du convertisseur abaisseur << Buck >>	30
Figure.II.13.Formes d'onde des tensions et courants dans un convertisseur Buck en MCC	31
Figure.II.14.L'ondulation de tension de sortie.	34
Figure.II.15.Tension et courant aux bornes de l'inductance.	35
Figure.II.16.Forme d'onde des tensions et courants en MCD.	35
Figure.II.17.Diagramme du block fonctionnel de L'AP350E.	36
Figure.II.18.Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base de l'AP3502E.	37
Figure.II.19.Diagramme du block fonctionnel de LM2596.	37
Figure.II.20.Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base du LM2596.	38

Figure.II.21.Diagramme du block fonctionnel de LT3433.	38
Figure.II.22.Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base du LT3433.	39
Figure.II.23.Diagramme du block fonctionnel du MC34063.	39
Figure.II.24.Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base du MC34036.	40
Figure.II.25.Schéma final du convertisseur Buck à la base d'un circuit MC34036.	41

Chapitre III : Etude du convertisseur DC/DC type Buck

Figure.III.1.Le circuit électrique du convertisseur Buck à la base du MC34063	44
Figure.III.2.Convertisseur abaisseur (régulateur de commutation)	45
Figure.III.3.Constitutions du circuit MC34063	46
Figure.III.4.Schéma électrique équivalent d'une inductance	47
Figure.III.5.Structure du MOS à appauvrissement canal P et N	49
Figure.III.6.Représentation du MOSFET	51
Figure.III.7.Schéma de base du convertisseur Buck	53
Figure.III.8.signal de commande du transistor	53
Figure.III.9.Forme d'onde de tension au borne de l'inductance (état ON)	54
Figure.III.10.Forme d'onde du courant au borne d'inductance (état ON)	54
Figure.III.11.Forme d'onde de tension au borne de l'inductance (état OFF)	55
Figure.III.12.Forme d'onde du courant au borne d'inductance (état OFF)	56
Figure.III.13.Ondulation du courant	57

Chapitre IV : Réalisation d'un convertisseur DC/DC de type Buck

Figure.IV.1.Aperçu du dispositif réalisé	60
Figure.IV.2.Aperçu du dispositif réalisé	60
Figure IV.3.Le circuit de base d'un abaisseur	60
Figure.IV.4.Aperçu du circuit MC34063	61
Figure.IV.5.Signal de sortie du convertisseur Buck	64
Figure.IV.6.Aperçu d'opération de mesure	65
Figure.IV.7.Aperçu d'opération de mesure	65
Figure.IV.8.Aperçu d'opération de mesure	66
Figure.IV.9.Aperçu d'opération de mesure	66
Figure.IV.10.Aperçu d'opération de mesure	67
Figure.IV.11.Sealed Acid Battery	67

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Généralités sur les Systèmes Photovoltaïques

Tableau I.1 Rendement énergétique des différents types des cellules PV	14
--	----

CHAPITRE II : Les convertisseurs DC/DC

Tableau.II.1. La comparaison entre les différents schémas conceptuels du convertisseur back	40
---	----

Tableau.II.2. Rendement de quelques convertisseurs connus.	42
---	----

Chapitre III : Etude du convertisseur DC/DC type Buck

Tableau.III.1.caractéristique technique du dispositif réalisé	51
---	----

Chapitre IV : Réalisation d'un convertisseur DC/DC de type Buck

Tableau.IV.1. caractéristiques et références des transistors retenus	62
--	----

Tableau.IV.2.caractéristique des diodes	62
---	----

Tableau.IV.3.Les formules de conception	63
---	----

LISTE DES ABREVIATIONS

DC-DC :	Direct Current- Direct Current
PV :	Photovoltaïque
MPPT :	Maximum Power Point Tracking
LDO :	Low Dropout
f.é.m. :	force électromotrice
GPV :	Générateur Photovoltaïque
MCC :	Mode de Conduction Continue
MCD :	Mode de Conduction Discontinue
PWM :	Pulse Width Modulation
MLI :	Modulation de Largeur d'Impulsion
LCD :	Liquid-Crystal-Display
HMI :	Interfaces Homme-Machine
MMIC :	Monolithic Microwave Integrated Circuit
MOSFET :	Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor
PAC :	Pile à Combustible

LISTE DES SYMBOLES

η :	Rendement énergétique d'une cellule PV
P_{\max} :	La puissance électrique maximale fournie par la cellule (W)
P_{inc} :	la puissance solaire incidente(W)
V_{in}, V_e :	Tension d'entrée(V)
$V_o, V_{\text{load}}, V_s$:	Tension de sortie(V)
V_{PV} :	Tension aux bornes de la cellule photovoltaïque(V)
V_L :	la tension de l'inductance(V)
v_C :	Tension de condensateur
V_{GS} :	V_{GS} : tension grille – source
V_{DS} :	tension drain –source
$V_{(\text{th})}$:	tension de seuil
I_{in} :	courant d'entrée(A)
i_o :	Courant de sortie(A)
i_L :	Courant d'inductance(A)
I_m :	Courant de point de Puissance maximale(A)
I_D :	Le courant traversant la diode de roue libre(A)
$i_{L \text{ moy}}$:	Courant moyen passant à travers l'inductance(A)
$i_{0(\text{charge})}$:	Courant continu traversant la charge(A)
i_D :	courant de drain
ΔI :	Ondulation du courant
I_{ave} :	le courant moyen
α :	rapport cyclique
Q, S_1 :	Commutateur
D :	la diode
T_{off} :	Temps lorsque l'interrupteur est bloqué
T_{on} :	Temps lorsque l'interrupteur est ouvert
T :	la période de commutation
C :	Capacité(f)

ϵ_0 :	Permittivité du vide
ϵ_r :	Permittivité relative du diélectrique
S :	la surface des armatures
e :	épaisseur du diélectrique
Q(c) :	charge électrique
R :	Charge(Ω)
L :	Inductance(H)
μ_e :	perméabilité effective (y compris entre fer éventuel)
Se :	section effective magnétique du noyau (section moyenne)
le :	Longueur magnétique effective
N :	nombre de spires
f :	fréquence de commutation(HZ)

INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet les besoins énergétiques des pays industrialisés ne cessent d'augmenter, par ailleurs les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon), la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. La science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement.

Aujourd'hui on distingue plusieurs sources d'énergies renouvelables, l'énergie de la biomasse, l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque. L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère.

L'énergie solaire est une source d'énergie inépuisable et propre car elle ne provoque pas d'émissions de gaz nocifs pour notre environnement. Elle se propage dans l'espace sous forme des photons, donc, elle est disponible partout et sans cesse renouvelable. Pour qu'elle soit utilisée pour différentes applications et pour satisfaire les contraintes économiques.

L'Algérie, de sa part situation géographique, bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, l'une des possibilités de l'exploitation de cette dernière est sa transformation directe en une énergie électrique, au moyen des convertisseurs photovoltaïques.

L'intensité de l'énergie solaire reçue à la terre est variable, et très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement. Conséquemment, il est nécessaire d'équiper le système par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité, et un équipement de conversion que l'on insère généralement soit entre le champ PV et la charge (charge continue), soit entre le champ PV ou la batterie et la charge (alternative).

Entrons sans plus tarder dans le vif du sujet : comment utiliser l'énergie solaire, qui arrive sous forme de rayonnement, au réseau électrique, conçu pour transporter l'électricité ?

C'est ce que nous allons voir dans ce mémoire ! Au programme : le système de transformation de l'énergie. Vous comprendra comment la chaîne de conversion composée des panneaux solaires, d'un convertisseur continu-continu et d'un onduleur permet de relier les installations solaires au réseau électrique.

L'évolution continue de l'électronique de puissance, plus particulièrement les dispositifs de conversion de la puissance « les convertisseurs DC/DC » et « les convertisseurs DC/AC » a ouvert de nouveaux horizons dans la conception de nouveaux schémas plus sophistiqués et moins encombrants, cela est lié au fait que le rendement de ces dispositifs électroniques influence directement sur le rendement et le coût global du système photovoltaïque dans son ensemble.

Les convertisseurs DC-DC sont largement utilisés dans l'environnement industriel et domestique. Grâce à leur rendement de plus en plus élevé, leur encombrement, leur poids et leur coût réduits, ils ont occupés une place importante dans les sources d'alimentation des ordinateurs portables, les téléphones mobiles, les appareils électroménagers, l'industrie automobile (avec l'apparition de véhicules hybrides et électriques), les énergies renouvelables (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes) etc...

Un convertisseur de puissance peut être caractérisé comme un système périodique, non-linéaire et variant au cours du temps en raison du changement de la topologie de leur circuit selon les états passants et bloqués des interrupteurs et diodes. Ces circuits sont typiquement contrôlés par la modulation de largeur d'impulsions PWM (Pulse Width Modulation) ou autres techniques semblables pour régler la tension ou le courant fourni aux charges. Le contrôleur décide qu'on passe d'une configuration à une autre en faisant en sorte que les transitions se produisent cycliquement ou en temps discret.

Les systèmes photovoltaïques, constitués de panneaux solaires montés en série, en parallèle, ou mixte, requièrent souvent des convertisseurs de type élévateur de tension (*boost, or step-up*),

abaisseur de tension (*Buck, or step-down*) ou (*Buck-Boost*), Le Buck diminue et le Boost augmente la tension de sortie par rapport à une tension d'entrée. Le convertisseur Buck-Boost peut fonctionner comme un convertisseur Buck ou comme un convertisseur Boost selon le rapport cyclique d'un ou plusieurs commutateurs dans le convertisseur.

L'objectif de notre travail est de réaliser un dispositif fonctionnel, nous essayons de construire un convertisseur continu-continu (DC/DC) de type Buck.

Le convertisseur réaliser va nous permettre d'abaisser la tension fournie par un secteur (10V-20V) pour charger une batterie de (6V).

Pour cela, nous faisons une étude concise et suffisante sur ce genre de convertisseur statique. La méthodologie adoptée dans ce mémoire pour atteindre aux objectifs soulignés, elle comprend quatre chapitres, dans le premier chapitre une description générale sur le système photovoltaïque et l'intégration des convertisseurs DC/DC dans ce domaine, le deuxième chapitre représentera une comparaison préliminaire des principaux convertisseurs DC/DC. Le troisième chapitre est dédié à l'étude du convertisseur DC/DC type Buck, et le dimensionnement de leurs composants périphériques. Le quatrième chapitre présente la réalisation expérimentale du convertisseur type Buck.

CHAPITRE I

Généralités sur les Systèmes Photovoltaïques

Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable se base sur l'effet photoélectrique, pour produit l'électricité (courant continu) à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle ou artificielle. Grâce à des cellules photovoltaïques, qui produisent de l'électricité lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Plusieurs de ces cellules sont reliées entre elles sur un panneau photovoltaïque. Ces panneaux peuvent être utilisés individuellement pour charger une batterie et pour répondre aux besoins en électricité des particuliers, ou à plus grande échelle, dans des centrales photovoltaïques pour alimenter le réseau de distribution publique.

I.1 Historique

Parmi les différentes dates de découverte sur l'énergie photovoltaïque, nous citons les suivantes :

- **1839** : L'effet photoélectrique a d'abord été observé par le physicien français, Edmond Becquerel.
- **En 1905**, Albert Einstein a décrit la nature de la lumière et l'effet photoélectrique sur lequel s'appuie la technologie photovoltaïque.
- Le tout premier module photovoltaïque a été fabriqué par les Laboratoires Bell en **1954**.
- **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- **1959** : les Etats-Unis mettent en orbite Vanguard, le premier satellite alimenté par des cellules photovoltaïques.
- **Années 70** : les crises pétrolières renforcent l'intérêt et les crédits accordés à l'énergie photovoltaïque et a été imposée comme source d'électricité pour des applications non spatiales.
- **1978** : le premier mégawatt crête installé est atteint dès 1978.
- **De 2006 à 2011** : la capacité photovoltaïque totale installée dans le monde a plus que décuplé en 5 ans [1].

I.2 L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie électromagnétique transmise par le soleil et qui est générée par la fusion nucléaire. Elle est à l'origine de toute forme de vie terrestre et représente environ 420 trillions de kilowattheures (kWh). L'énergie solaire est plusieurs milliers de fois plus importante que toutes les énergies cumulées utilisées par le monde entier. La production d'électricité à énergie solaire repose sur des moteurs thermiques et sur l'effet photovoltaïque.

Les utilisations de l'énergie solaire n'ont de limites que celles du génie humain. Pour ne citer que quelques-unes de ses applications : (le chauffage et la climatisation de locaux à travers une architecture solaire, la création d'eau potable via la distillation, la domestication de la lumière du jour et l'eau chaude solaire...etc.). Pour collecter l'énergie solaire, le moyen le plus courant est d'utiliser des panneaux solaires [2].

I.3 Système photovoltaïque (PV)

Le phénomène photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité à l'échelle atomique. Certains matériaux se caractérisent par une propriété connue sous le nom d'effet photoélectrique qui leur fait absorber les photons de la lumière et libérer des électrons.

Lorsque ces électrons libres sont capturés, il en résulte un courant électrique qui peut être utilisé comme de l'électricité [2].

I.3.1 La conversion photovoltaïque

La conversion de l'énergie comporte trois phénomènes physiques, intimement reliés et simultanés :

- La collecte des charges ;
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques ;
- L'absorption de la lumière dans les matériaux.

Donc il est clair qu'un matériau doit avoir des propriétés électriques et optiques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque [3].

I.3.2 Effet photovoltaïques et la jonction PN

L'effet photovoltaïque, permet la production d'énergie photovoltaïque par la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique. C'est l'absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère la tension électrique.

Une jonction P-N est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur dopé N et d'un semi-conducteur dopé P. La jonction entraîne l'égalisation des niveaux de Fermi par décalage des bandes. Si l'on applique une tension positive du côté de la région P, les porteurs majoritaires positifs (les trous) sont repoussés vers la jonction. Dans le même temps, les porteurs majoritaires négatifs du côté N (les électrons) sont attirés vers la jonction. Arrivés à la jonction, soit les porteurs se recombinent (un électron tombe dans un trou) en émettant un photon éventuellement visible, soit ces porteurs continuent leur course au travers de l'autre semi-conducteur jusqu'à atteindre l'électrode opposée : le courant circule, son intensité varie en exponentielle de la tension [4].

I.4 Cellule photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants optoélectroniques fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs produits à partir d'une matière première très pure, comme le silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la

lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à 100 cm² ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries [1].

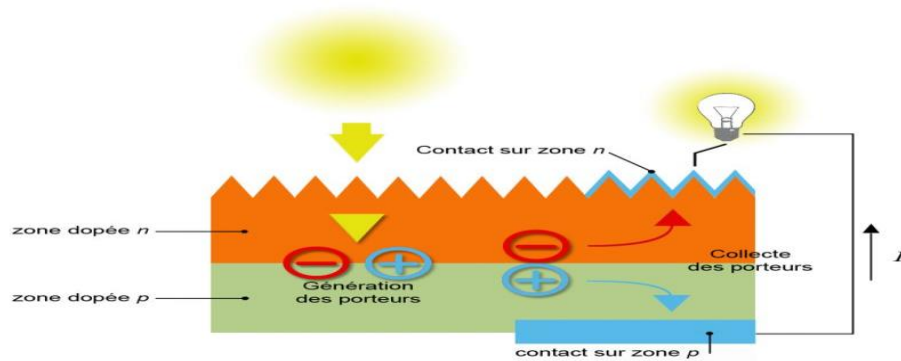


Figure I.1 Constitution d'une cellule photovoltaïque

I.4.1 Les différents types de cellules photovoltaïques

On distingue trois types de cellules selon le type de cristal :

- **Cellule en silicium monocristallin**

Pour produire une cellule en silicium monocristallin, il faut un matériau semi-conducteur absolument pur. Les barreaux monocristallins sont extraits du silicium fondu, puis sciés en fines plaques. Ce processus de production garantit un niveau d'efficacité relativement élevé.



Figure. I.2 Cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin [2], [6]

- **Cellules polycristallines**

La production de cellules polycristallines est plus rentable. Au cours de ce processus, du silicium liquide est versé dans des blocs qui sont ensuite sciés en plaques [6].



Figure I.3 Cellule photovoltaïque à base de silicium polycristalline.

○ **Cellule amorphe**

Si une couche de silicium est déposée sur du verre ou un autre matériau de substrat, on obtient ce que l'on appelle une cellule amorphe ou à couche mince.

L'épaisseur de la couche est inférieure à 1 μm , donc les coûts de production sont moins élevés en raison du faible coût des matériaux.



Figure 1.4 Cellule photovoltaïque à base de silicium amorphe.

I.4.2 Rendement énergétique des différents types de cellules

Matériaux	Rendement	Durée de vie	Principales d'utilisation
Silicium monocristallin	13 à 18 %	25 à 30 ans	Modules de grandes dimensions : pour façade et toits, appareils de faibles puissances, satellites...
Silicium polycristalline	12 à 15 %	20 à 30 ans	Modules de grandes dimensions : pour façades et toits, générateur de toutes les tailles...
Amorphe	6 à 10 %	Inférieur à 20 ans	Appareils de faible puissance (montres, calculatrices...)

Tableau I.1 Rendement énergétique des différents types des cellules PV [5]

I.5 Générateur photovoltaïques

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïque élémentaires montées en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques

électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert. La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV se dépend de [7] :

- Taille du panneau ;
- Ensoleillement du lieu d'utilisation ;
- Des besoins en électricité.



Figure 1.5 Un panneau solaire.

I.5.1 Domaine d'utilisation du photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés dans des applications multiples et diversifiées qui peuvent être groupées en deux grandes catégories :

A. Les applications autonomes

Ce sont les applications non-raccordées à un réseau électrique, comportent trois domaines différents :

- Les applications « professionnelles », signalisation routière, bornes de secours autoroutières, horodateurs de stationnement, relais de télécommunications, etc.
- L'électrification rurale des sites isolés, refuges, dispensaires, habitat dispersé.
- Les satellites artificiels pour lesquels le photovoltaïque constitue la seule source d'énergie qui réponde à toutes les contraintes.

B. Les applications connectées au réseau de distribution d'électricité :

Les systèmes PV connectés au réseau disposent, en plus des systèmes autonomes. Concernant les systèmes PV raccordés au réseau on peut le subdiviser en trois grands domaines :

- Les systèmes attachés à un bâtiment consommateur d'électricité, qu'il soit à usage résidentiel ou professionnel. Les modules peuvent être surimposés à la toiture. Leur surface active va de quelques dizaines à quelques milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques kilowatts-crêtes à quelques mégawatts-crêtes
- Les systèmes posés sur ou intégrés à des structures non-consommatrices d'électricité par elles-mêmes mais pour lesquelles les panneaux remplissent une fonction bien identifiée en sus de la production d'électricité (ombrière de parking, couverture de passage public,...). Leur surface active va en général de quelques centaines à quelques milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts-crêtes figure 1.6.
- Les parcs photovoltaïques au sol, constitués de quantités importantes de modules posés sur des structures porteuses, dont la production est exclusivement destinée à l'alimentation directe du réseau électrique.) [8].



Figure I.6 Ombrières photovoltaïques

I.5.2 Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{V_{opt} \cdot I_{opt}}{P_{inc}}$$

Avec P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique [9].

Après avoir étudié et cité les différents composants d'un générateur photovoltaïque, nous passons maintenant à l'étude d'une chaîne de conversion de puissance photovoltaïque.

Dans un système de conversion des énergies photovoltaïques, les convertisseurs sont utilisés pour bien adapter la source à la charge. Ces convertisseurs peuvent être en courant continu, comme dans le cas d'utilisation des MPPT pour une exploitation maximale de la puissance fournie par le générateur PV, ou en courant alternatif comme dans le cas d'utilisation des charges en courant alternatif. On s'intéresse dans ce travail à l'étude des convertisseurs DC/DC.

I.6 Définition des convertisseurs des systèmes photovoltaïques

Un convertisseur d'énergie solaire est un équipement que l'on insère généralement soit entre le champ PV et la charge (charge continue), il portera le nom de convertisseur continu/continu, soit entre le champ PV ou la batterie et la charge (alternative) ; il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif.

Dans les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux électriques, les appareillages nécessaires de conversion d'énergie électrique sont conçus pour fonctionner dans des gammes de tension et de fréquence définies, pour respecter les caractéristiques de la tension fournie par les réseaux de distributions qui influe directement sur la qualité de ces réseaux [11].

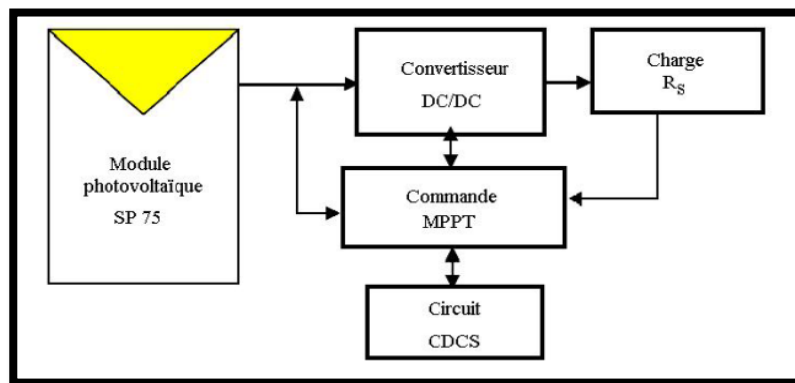


Figure I.7. Schéma synoptique d'un système PV adapté par un convertisseur DC/DC.

I.6.1 Convertisseurs DC/DC pour les systèmes d'énergie solaire

Le convertisseur DC/DC permet de relier le champ PV à un bus continu, auquel les diverses machines énergétiques du système sont reliées : la charge (l'utilisateur final), les autres sources d'énergie (pile à combustible, batteries, autres sources renouvelables) ou les périphériques. Il

permet en outre de lisser les fluctuations de la tension des composants au niveau du bus commun [12], [13].

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont :

- Convertisseur survolteur (ou parallèle) ;
- Convertisseur dévolteur (ou série) ;
- Convertisseur dévolteur- survolteur (série – parallèle).

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque, le fonctionnement de chaque élément, et l'utilité du système de conversion. Dans le chapitre prochain, on présentera une étude sur les convertisseurs DC-DC (hacheurs).

CHAPITRE II

Les Convertisseurs DC/DC

Introduction

Dans un système de conversion des énergies photovoltaïques, les convertisseurs sont utilisés pour bien adapter la source à la charge. On s'intéresse dans ce chapitre à l'étude des convertisseurs DC/DC (hacheurs) qui permettant d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe (batterie d'accumulateurs ou bien pont redresseur - muni d'un filtre LC- alimenté par le réseau de distribution). L'utilisation des convertisseurs DC-DC permet le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

II.1 Généralités sur les convertisseurs DC/DC

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.

II.1.1 Applications des convertisseurs DC/DC

Les convertisseurs DC/DC en général réalisent deux fonctions : modifier le niveau de tension (élever ou abaisser) et réguler la tension. L'électronique de conversion se trouve à l'interface entre les batteries (la source d'énergie en général) et l'ensemble des blocs constitutifs du système considéré, des circuits électroniques numériques et analogiques, des batteries d'accumulation, des moteurs, etc.

Les niveaux de puissance que l'on trouve dans les convertisseurs vont de moins d'un watt dans les convertisseurs des équipements portables, à une dizaine ou centaine de watts dans les alimentations des ordinateurs de bureau, aux kilowatts ou mégawatts dans la commande des moteurs à vitesse variable, et jusqu'aux térawatts dans les centrales électriques du secteur. Nous nous intéressons dans ce travail à la haute puissance, supérieur au watt, des applications photovoltaïques où le rendement et le volume du convertisseur sont critiques [14].

II.1.2 Représentation du convertisseur DC/DC

Un convertisseur DC/DC a pour vocation d'assurer la fluence d'énergie entre une source de tension continue et une source de courant continu. La représentation symbolique la plus couramment utilisée est donnée figure II.1. (a).

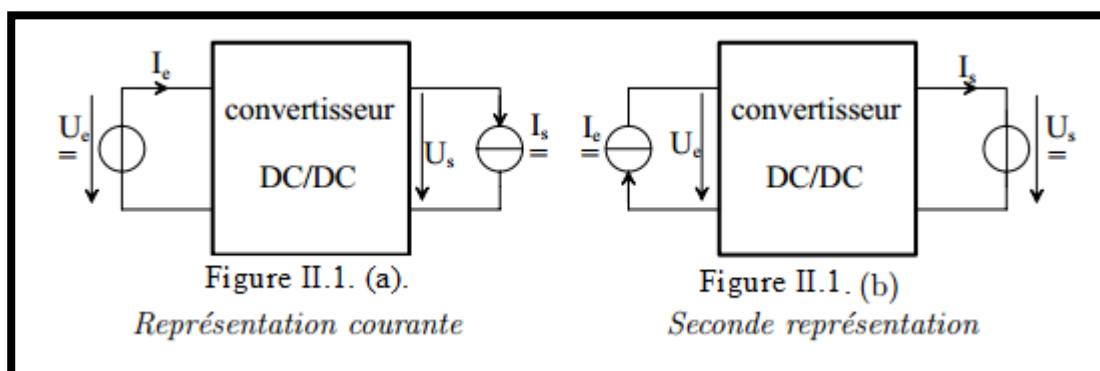


Figure II.1. Convertisseur DC/DC [15].

Une telle représentation peut laisser penser que dans tous les cas de figure, la source de courant I_s sera la charge qui, suivant les modes de fonctionnement, absorbera ou restituera de la puissance, alors que la source de tension U_e est l'alimentation, susceptible de fournir ou de stocker de la puissance.

Pour certains convertisseurs, on est amené à changer une telle représentation, surtout si la fluence d'énergie ne peut se faire que de la source de courant vers la source de tension (Suivant la structure du convertisseur). On se réfère alors à la représentation symbolique donnée Fig.II.1(b) suivant le convertisseur DC/DC considère, nous nous référerons soit à l'une, soit à l'autre de ces représentations.

II.2 Représentation des sources

Dans l'étude des convertisseurs DC/DC, nous distinguerons systématiquement l'alimentation (source génératrice d'énergie) de la charge du convertisseur (source réceptrice).

- Alimentation

En regard les schémas Fig.II.2(a) et Fig.II.2(b), l'alimentation peut être une source de tension, ou bien une source de courant. Par convention, les représentations adoptées pour de telles sources sont telles que celles définies figure.II.2.

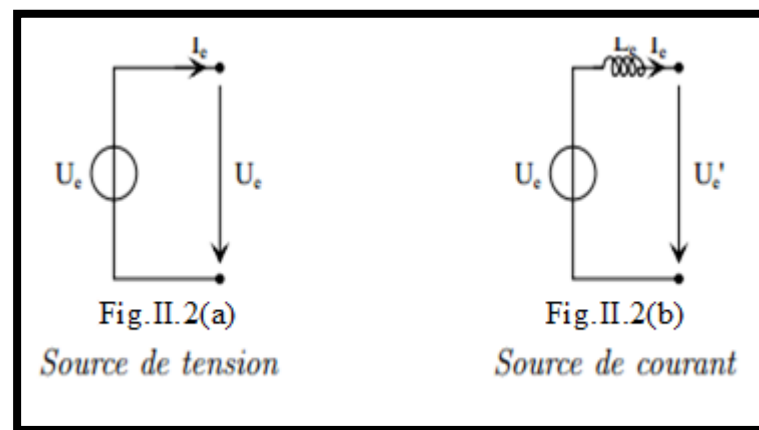


Figure II.2. Conventions adoptées pour les générateurs

- Charge

Dans la conversion DC/DC, la charge est la résistance, seul dipôle susceptible d'absorber de la puissance. On ne peut l'légitimement considérer un tel dipôle comme une source de tension ou de courant digne de ce nom. Pour cette raison, toute charge résistive est associée à un condensateur, ou à un ensemble constitué d'un condensateur et d'une inductance, de façon à pouvoir considérer le

dipôle équivalent qui résulte de cette association comme une source de tension ou de courant, suivant les besoins [15].

II.3 Fluence d'énergie

Suivant les signes respectifs des grandeurs de sortie du convertisseur, qui définissent la puissance $P_S = U_S I_S$ absorbée par la source de courant du schéma Fig.II.3(a), le système se trouvera dans l'un des quatre quadrants du plan $(U_S ; I_S)$ défini Fig.II.3(b).

Dans les quadrants 1 et 3, la fluence d'énergie se fait de la source de tension vers la source de courant, alors que les quadrants 2 et 4 définissent une fluence d'énergie de la source de courant vers la source de tension.

Suivant la nature de chacune des sources, le convertisseur DC/DC devra permettre le fonctionnement dans au moins un de ces quadrants.

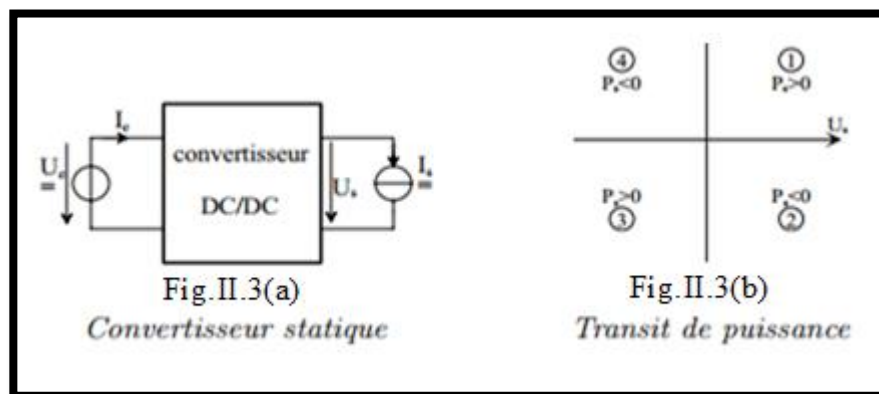


Figure.II.3. Fluence d'énergie [15].

II.4 Les moyens de conversion

II.4.1 Diviseur de tension

Un diviseur de tension permet de baisser la tension en dissipant, dans une résistance, une puissance qui correspond à la chute de tension nécessaire entre la source et la charge. Par conséquent, le rendement décroît avec l'augmentation du rapport de conversion. Supposons que l'on veut alimenter une charge 5Ω en $50V$ à partir d'une source de tension $100V$, la charge a besoin de $10A$ sous $50V$ ou bien d'une puissance de $500W$ [16].

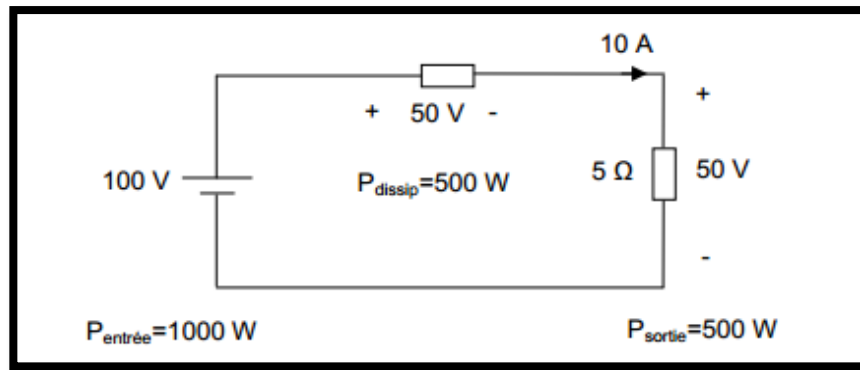


Figure.II.4. Diviseur de tension pour abaisser la tension.

En utilisant un abaisseur résistif, la puissance dissipée dans la résistance est égale à $(100\text{V}-50\text{V}) \times 10\text{A}=500\text{W}$. A ces pertes s'ajoutent le problème de la température induite et la nécessité de refroidir le circuit. Cette méthode d'abaisser la tension présente un double inconvénient : le mauvais rendement et la dissipation de chaleur.

II.4.2 Régulateur linéaire

L'autre alternative de conversion basée sur les éléments de circuit dissipatifs concerne les régulateurs linéaires. Le régulateur linéaire utilise un composant actif (transistor) fonctionnant dans sa zone linéaire. Un régulateur de tension linéaire donne en sortie une tension régulée inférieure à la tension d'entrée, il assure deux fonctions : abaisseur et régulateur.

Un circuit de contrôle mesure la tension de sortie et ajuste une source de courant commandée par une tension pour réguler la tension de sortie. Parmi les différents types de régulateurs, le LDO est le plus utilisé parce qu'il présente une chute de tension (dropout) faible. Sur la figure.II.5 est représenté un régulateur LDO (Low Dropout) qui utilise un transistor PNP.

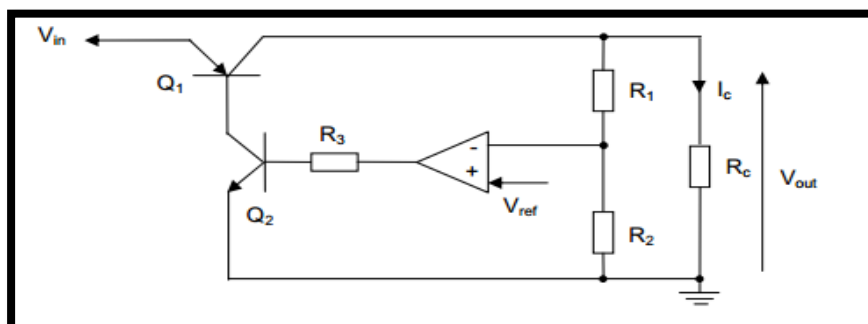


Figure.II.5. Régulateur linéaire LDO [16].

II.4.3 Alimentation à découpage

Depuis 1975, le principe du découpage de la tension a été utilisé pour alimenter des systèmes à partir d'un réseau alternatif ou continu. La mise en application de ce principe a été rendue possible par le développement des composants de puissance, et constitue maintenant la solution classique en électronique de puissance. La large utilisation des alimentations à découpage vient du fait qu'elles peuvent assurer l'isolation galvanique, réguler la tension de sortie en fonction des variations de la charge et de l'entrée, et qu'elles présentent un bon rendement de conversion.

Par rapport aux transformateurs, elles sont plus compactes du fait qu'elles peuvent fonctionner à hautes fréquences et qu'elles peuvent convertir une tension d'entrée continue. Dans une alimentation à découpage les interrupteurs sont des composants à semi-conducteurs fonctionnant en commutation. Les pertes sont faibles puisqu'elles sont dues principalement aux pertes par commutation, les pertes par conduction dans les résistances parasites peuvent être négligées. D'où l'intérêt de ce type d'alimentation par rapport à une alimentation à régulation linéaire où le transistor fonctionne en régime linéaire avec des pertes de conduction élevées (rendement de l'ordre du rapport de transformation, Ex : 20 % de rendement pour une conversion 10V vers 2V) [16].

II.5 Type des convertisseurs DC-DC

Il y a plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Ils sont classés par catégorie selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le Fly back, en demi-pont et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté [17].

Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu. Ces topologies sont encore classées en trois catégories :

- Elévateurs (Boost)
- Abaisseurs (Buck)
- Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost)

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, le Cuk, et le Sepic.

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé comme chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vus comme des transformateurs DC/DC.

II.5.1 Convertisseur Boost (élevateur de tension)

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur.

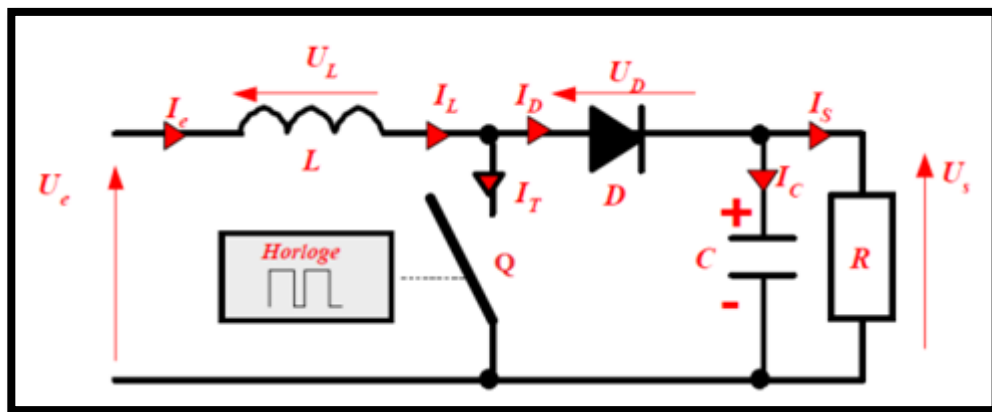


Figure.II.6. Schéma de convertisseur élevéteur << Boost >> [18].

II.5.1.a Principe de fonctionnement

Le convertisseur peut alors travailler suivant deux modes de fonctionnement dépendant de sa capacité de stockage d'énergie et de la période T de commutation. Ces deux modes de fonctionnement sont :

- Mode continu : dans ce cas, l'énergie emmagasinée dans l'inductance L est transférée partiellement et donc le courant dans celle-ci ne s'annule pas.
- Mode discontinu : dans ce cas, au contraire, l'énergie emmagasinée dans l'inductance L est transférée totalement et donc le courant dans celle-ci s'annule.

Le fonctionnement du circuit peut se diviser en deux selon l'intervalle de commutation (T_{ON} T_{OFF}).

L'intervalle T_{ON} commence quand on ferme le transistor Q à $t = 0$. Le courant d'entrée, qui s'élève, traverse l'inductance L et le transistor.

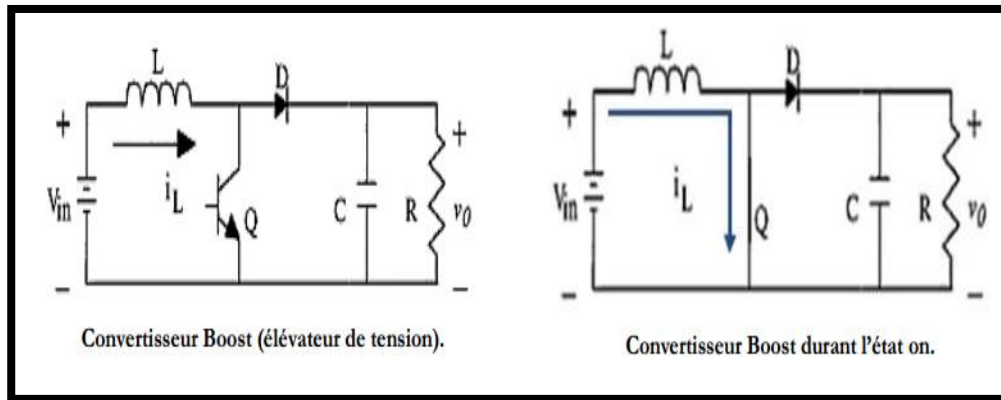


Figure.II.7. Représentation de convertisseur Boost (Step Up).

Si le commutateur Q est ouvert à T_0 et si la chute de tension aux bornes de la diode est négligée, alors V_0 est égale à V_{in} .

Lorsque le commutateur est fermé (figure.II.7), la tension de la charge chute immédiatement à zéro si le condensateur C est omis. Le courant du circuit i_L circule à travers l'inductance L est augmente [19], [20] et les équations d'état sont :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V_{in}) \\ \frac{dv_0}{dt} = \frac{1}{C} \left(-\frac{v_0}{R} \right) \end{cases}, 0 < t < dT, Q : ON \quad (II.1)$$

Lorsque Q est désactivé, l'inductance se trouve en série avec le générateur et sa f.é.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant i_L traversant l'inductance traverse ensuite la diode D , le condensateur C et la charge. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers le condensateur. Le courant décroît ensuite progressivement, car $v_0 > V_{in}$:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V_{in} - v_0) \\ \frac{dv_0}{dt} = \frac{1}{C} \left(i_L - \frac{v_0}{R} \right) \end{cases}, 0 < t < dt, Q : OFF \quad (II.2)$$

La diode D permet d'éviter la décharge du condensateur C , lorsque le commutateur est activé. Le condensateur est supposé assez grand pour pouvoir lisser la tension de la charge. La tension de la charge est donnée par : On considère ici uniquement le comportement du circuit en conduction continue.

$$V_0 = \frac{1}{(1-\alpha)} V_{in} \quad (\text{II. 3})$$

Avec $\alpha = \frac{T_{on}}{T_{off}}$: est le rapport cyclique ($0 < \alpha < 1$)

II.5.2 Convertisseur Buck-Boost

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse.

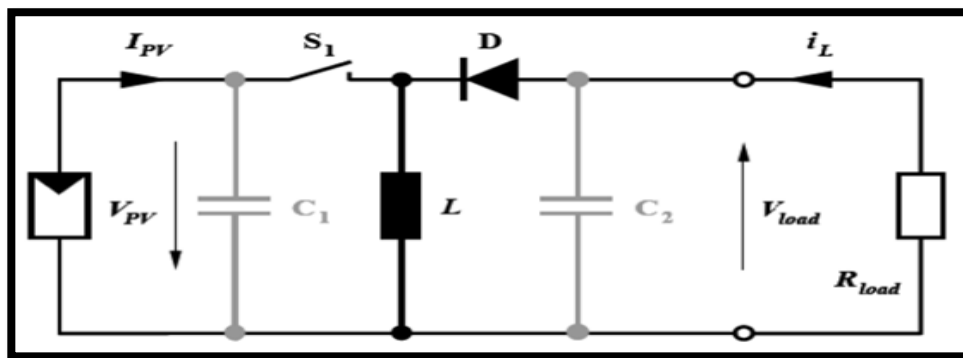


Figure.II.8. Schéma de convertisseur inverseur << Buck-Boost >> [21].

II.5.2.a Principe de fonctionnement

Durant l'état «ON», l'énergie apportée par la source (générateur PV) est stockée dans l'inductance L (figure II.9), cette énergie est livrée ensuite à la charge pendant l'état «OFF» (figure II.9). En raison de la présence de la diode D, le courant circule à travers l'inductance L seulement dans une direction durant les deux états. Par conséquent, V_{load} a une polarité opposée à V_{PV} . Pour cette raison, ce circuit est aussi appelé convertisseur inverseur.

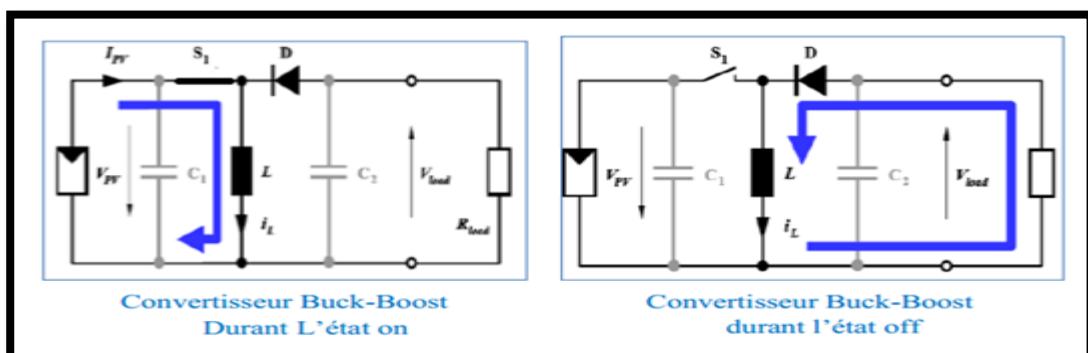


Figure.II.9. Schéma de convertisseur inverseur durant l'état on & off.

Les équations décrivant ce circuit peuvent être obtenues de la même manière qu’au paravent. Comme indiqué précédemment, le condensateur C_1 soutient la tension d’alimentation V_{PV} , C_2 lisse la tension de la charge.

En conclusion, l’amplitude de V_{load} peut être inférieure ou supérieure à V_{PV} suivant la valeur de t_{on} et t_{off} [21].

$$V_{Load} = -\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} V_{PV} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_{PV} \quad (II.4)$$

II.5.3 Convertisseur Buck

II.5.3.a Présentation du hacheur abaisseur (Buck)

Le convertisseur dévolteur (Buck converter), est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur.

Un interrupteur électronique K est commuté périodiquement suivant les ordres d’un circuit de commande ou de régulation.

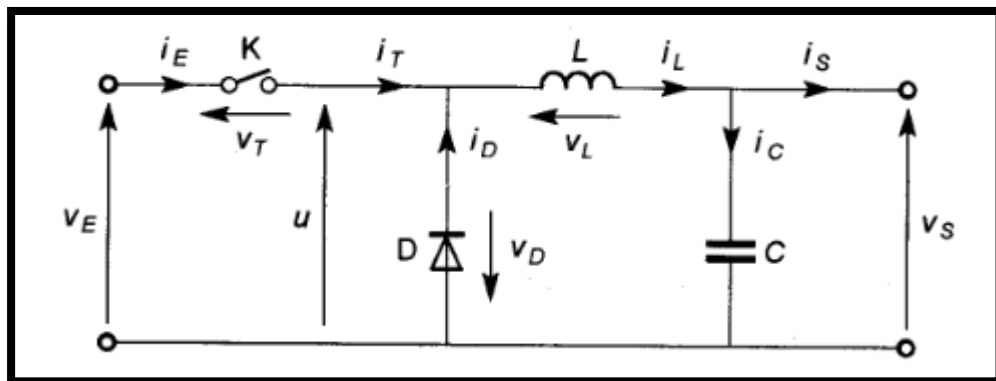


Figure.II.10. Schéma de base du convertisseur dévolteur (Buck).

II.5.3.b Principe de fonctionnement du hacheur série (Buck)

Si le commutateur S_1 est activé à t_0 , un courant circule dans le circuit, mais ne passe pas par la diode D puisqu’elle est inversement polarisée. Le courant i_L n’augmente pas immédiatement, mais plutôt linéairement avec un taux d’accroissement imposé par l’inductance L [21], [22].

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{PV} - V_{Load}}{L} \quad (II.5)$$

$$I_L = \left(\frac{V_{PV} - V_{Load}}{L} \right) t + I_m \quad (II.6)$$

Pendant ce temps, l'inductance emmagasine de l'énergie sous forme magnétique.

Si S_1 est désactivé après $t = t_1$, la charge est déconnectée de son alimentation. Le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers la diode D appelée «diode de roue libre». Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surtension. Selon l'équation (figure.II.11) le courant décroît, puisque :

$$\frac{di_L}{dt} = - \frac{V_{Load}}{L} \quad (II.7)$$

$$I_L = - \left(\frac{-V_{Load}}{L} \right) t + I_M \quad (II.8)$$

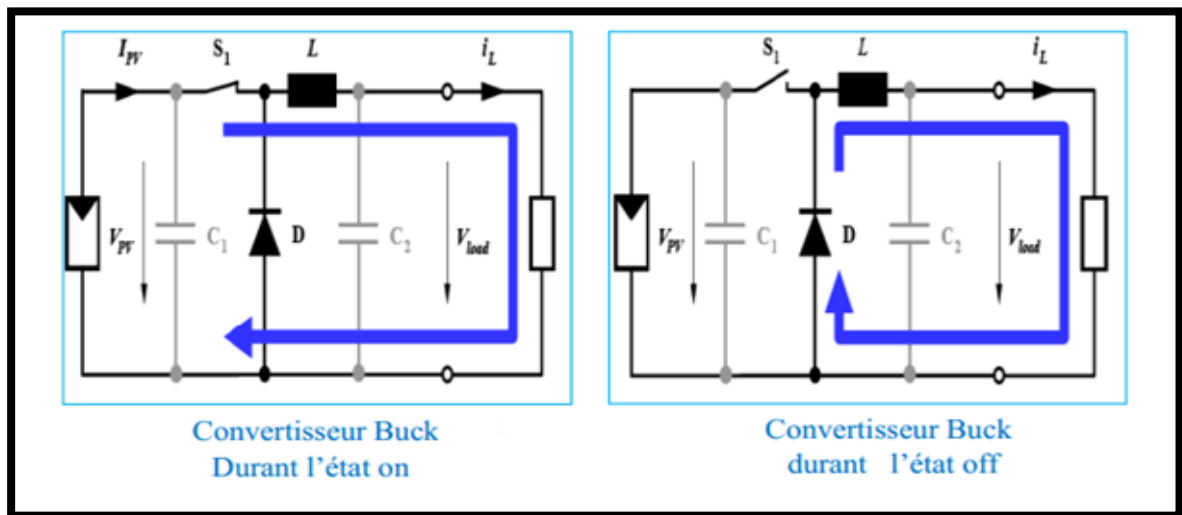


Figure.II.11. Convertisseur Buck durant l'état : on & off

Le condensateur C_1 permet de réduire les pics du courant tiré du GPV, de soutenir la tension d'alimentation V_{PV} et d'atténuer les bruits. Le commutateur S_1 est activé et désactivé avec une fréquence de commutation $f = 1/T$. Comme l'illustre la figure.II.12, la tension aux bornes de la charge présente une ondulation qui peut être lissée par l'ajout d'un condensateur C_2 . Quoiqu'il en soit, la valeur moyenne V_{load} est inférieure à V_{PV} . Dans le cas où la fréquence est augmentée, par exemple jusqu'au kHz, l'inductance nécessaire peut être réduite considérablement.

La tension aux bornes de la charge est donnée par :

$$V_{Load} = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{PV} = \alpha \cdot V_{PV} \quad (II.9)$$

Avec $T = t_{on} + t_{off}$: est la période de commutation.

$\alpha = \frac{t_{on}}{T}$: est le rapport cyclique ($0 < \alpha < 1$)

Grâce à cette équation, on peut voir que la tension de sortie varie linéairement avec le rapport cyclique.

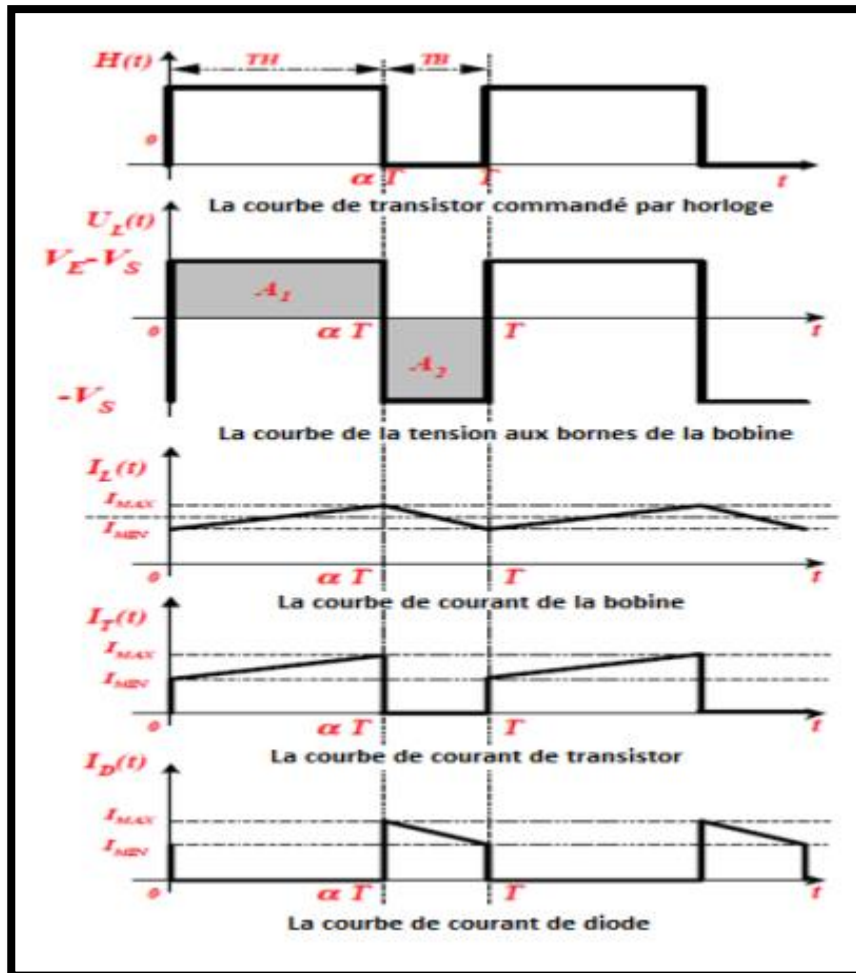


Figure.II.12. Chronogramme du convertisseur abaisseur << Buck >> [18].

II.5.3.c Mode de conduction continue

La figure.II.13 représente les formes d'ondes des principales grandeurs électriques en MCC.

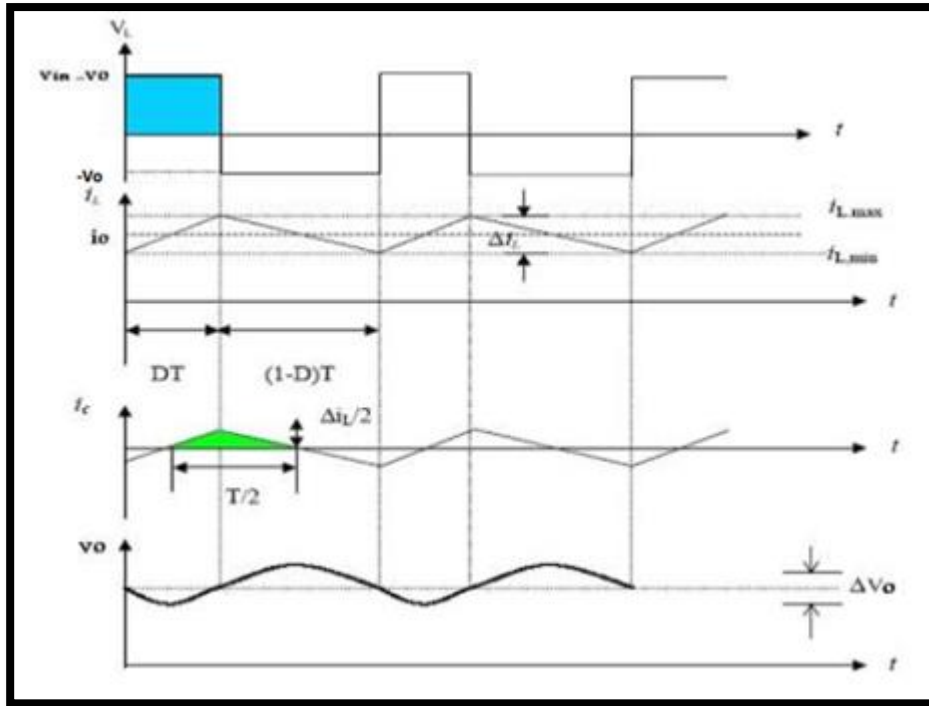


Figure.II.13. Formes d’onde des tensions et courants dans un convertisseur Buck en MCC.

L’augmentation du courant i_L durant l’état passant $t_{on} = \alpha T$ est donnée par (aire du rectangle bleu) :

$$\Delta i_{L\ on} = \int_{i_L(0)}^{i_L(\alpha T)} di_L = \int_0^{\alpha T} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_{in}-V_0)\alpha T}{L} \quad (II.10)$$

De même, la baisse du courant dans l’inductance durant l’état bloqué est donnée par :

$$\Delta i_{L\ off} = \int_{i_L(\alpha T)}^{i_L(T)} di_L = \int_{\alpha T}^T \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_0(T-\alpha T)}{L} \quad (II.11)$$

Si on considère que le convertisseur est en régime permanent, l’énergie stockée dans chaque composant est la même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Par conséquent, le courant i_L traversant l’inductance est le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Ce qui peut s’écrire de la façon suivante :

$$\Delta i_{L\ on} + \Delta i_{L\ off} = 0 \Rightarrow V_0 = \alpha V_{in} \quad (II.12)$$

La tension de sortie varie donc linéairement avec le rapport cyclique α . Le rapport cyclique étant compris entre 0 et 1, la tension de sortie V_0 est toujours inférieure à celle d’entrée. Si on considère que l’inductance, la diode et le commutateur sont idéaux et qu’il n’y a pas de

perte de puissance, alors les puissances moyennes à l'entrée et à la sortie du circuit sont égales [23] [24].

$$V_{in}I_{in} = V_0i_0 = \alpha \cdot V_{in}i_0 \Rightarrow i_0 = \frac{I_{in}}{\alpha} \quad (\text{II.13})$$

Le courant traversant la diode de roue libre est donné par :

$$I_D = (1 - \alpha) \cdot i_0 \quad (\text{II.14})$$

- **Ondulation du courant i_L et choix de L :**

Sur la figure.II.13 on voit que le courant traversant l'inductance L présente une ondulation (l'ondulation du courant est définie comme étant la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du courant) qui est donnée par [24] :

$$\Delta i_{L\ on} = \frac{(V_{in}-V_0)\alpha T}{L} = \frac{V_0(1-\alpha)}{L f} = \frac{V_{in}}{L f} (1 - \alpha) \quad (\text{II.15})$$

Avec, fréquence de commutation.

Sachant que l'ondulation du courant est maximale pour $\alpha = 0.5$, on peut écrire pour un courant d'ondulation maximum désiré [23], [25] :

$$L \geq \frac{V_{in}}{4 \Delta i_{L\ max} f} \quad (\text{II.16})$$

Le courant moyen passant à travers l'inductance est égal au courant continu traversant la charge, d'où :

$$i_{L\ moy} = i_{0(charge)} = \frac{V_0}{R} \quad (\text{II.17})$$

La valeur maximum admissible pour résulte d'un compromis :

- Une valeur trop faible de conduit à une valeur excessive de l'inductance L.
- Une valeur trop élevée de conduit augmente la valeur maximale de courant que le commutateur M et la diode doivent supporter, le maximum correspond en outre au courant que M doit pouvoir interrompre.
- Une valeur trop élevée de conduit augmente aussi la largeur de la zone correspondant à la conduction discontinue.

Le choix de la fréquence de commutation f est crucial. Plus elle est grande, plus est petit le noyau de l'inductance et plus sont importantes les pertes par commutation de la puissance.

- Ondulation de la tension de sortie V :

Choix de condensateur C :

Dans les topologies de convertisseurs, on rajoute un condensateur C pour que la tension de sortie V_0 et le courant I_0 se maintiennent à des valeurs constantes, même pendant l'ouverture de l'interrupteur. Aussi, les composants du convertisseur sont dimensionnés pour que le choix de la fréquence de commutation f soit crucial. Plus elle est grande, plus est petit le noyau de l'inductance et plus sont importantes les pertes par commutation de la puissance.

Les tensions et les courants à la sortie présentent des faibles ondulations lors du passage de l'interrupteur de la fermeture à l'ouverture et inversement.

L'ondulation de la tension de sortie peut être estimée en admettant que le courant traversant le condensateur soit égal à l'ondulation du courant dans l'inductance. Autrement dit, on fait l'hypothèse que l'ondulation du courant traversant la charge R est nulle.

Sur la figure.II.14 on peut voir que pour chaque demi-période de commutation, le condensateur emmagasine ou restitue une charge Q (aire du triangle hachuré) conduisant à une variation de la tension à ses bornes estimée à [24].

$$\Delta v_C = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta i_L T}{2} = \frac{\Delta i_L}{8 C f} \quad (\text{II.18})$$

$$\Delta v_C = \frac{V_0}{8.L.C.f^2} (1 - \alpha) = \frac{V_{in}}{8.L.C.f^2} (1 - \alpha). \alpha \quad (\text{II.19})$$

Ou en valeur relative

$$\frac{\Delta v_C}{v_C} = \frac{(1-\alpha)}{8.L.C.f^2} \quad (\text{II.20})$$

Cette relation montre que l'ondulation relative est indépendante de la charge [26].

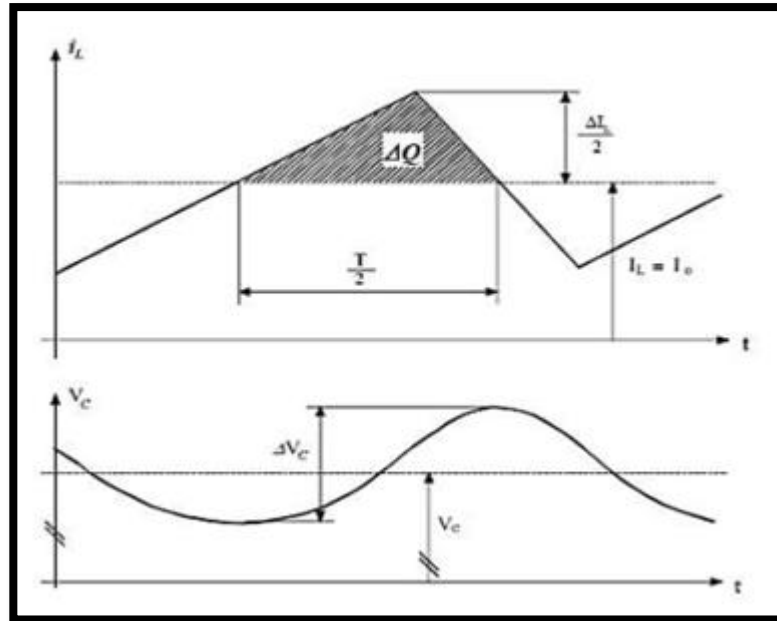


Figure.II.14. L'ondulation de tension de sortie.

II.5.3.d Limite entre la conduction continue et discontinue

Lorsque le courant à travers l'inductance s'annule juste au moment de la commutation, le courant moyen dans la charge est égal à la moitié de l'ondulation (i_L). On se trouve alors à la limite entre la conduction continue et la conduction discontinue [25].

Si la fréquence de commutation f et la résistance de la charge R désirées sont établies, alors il existe une valeur minimale L_{min} pour l'inductance qui assure le mode de conduction continue.

Donc on peut écrire :

$$L_{min} = \frac{1-L}{2f} R \quad (II.21)$$

Si la valeur de l'inductance L et la résistance de la charge R désirées sont établies, alors il existe une valeur minimale pour la fréquence de commutation f_{min} qui assure le mode de conduction continue.

$$f_{min} = \frac{1-L}{2L} R \quad (II.22)$$

Si la valeur de fréquence de commutation f et la valeur de l'inductance L désirées sont établies, alors il existe une valeur minimale pour la résistance de la charge $R_{0, min}$ qui assure le mode de conduction continue :

$$R_{0, min} = \frac{2.f.L}{1-\alpha} \quad (II.23)$$

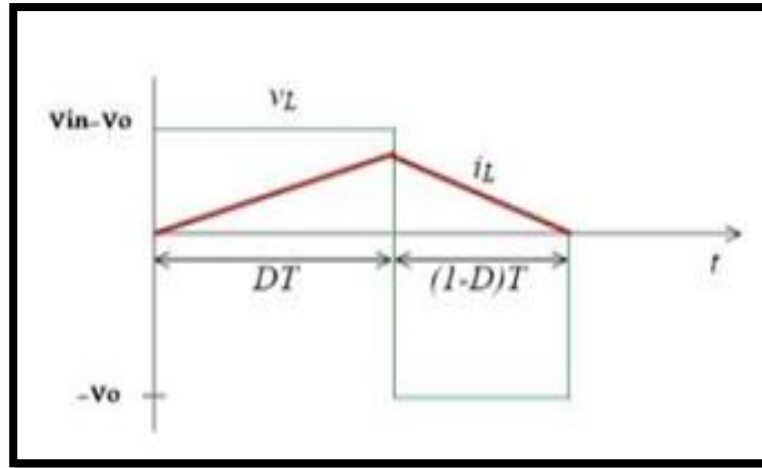


Figure.II.15. Tension et courant aux bornes de l'inductance.

Le courant moyen maximum $i_{0, \text{lim (max)}}$ dans la charge est lorsque $\alpha = 0.5$ on peut donc écrire la relation :

$$i_{0, \text{lim (max)}} = \frac{v_c}{2.L.f} \quad (\text{II.24})$$

II.5.3.e. Mode de conduction discontinue

Dans le cas du mode de conduction discontinue, le courant à travers l'inductance s'annule pendant l'intervalle t_{off} . Les formes d'ondes des courants et tensions sont représentées sur la figure.II.16.

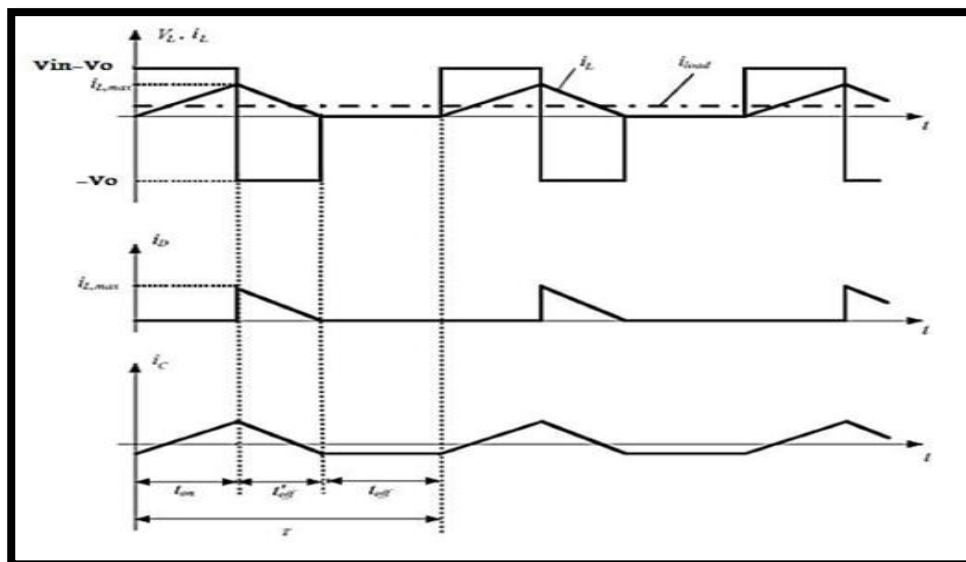


Figure.II.16. Forme d'onde des tensions et courants en MCD.

Dans les trois cas cités en haut, l'adaptation entre la source et la charge est réalisée en choisissant des valeurs adéquates du rapport cyclique. Généralement, pour les convertisseurs DC/DC, l'interrupteur est commandé par un signal PWM (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) [24].

II.5.3.f Différents schémas conceptuels du convertisseur Buck

1- Convertisseur Buck à la base d'un circuit intégré AP3502E :

L'AP3502E est un convertisseur continu-continu de type Buck (step-down), à fréquence fixe de 340 kHz, en mode PWM synchrone, capable de générer une charge de 2A avec un rendement élevé, une excellente régulation de ligne et de charge [27].

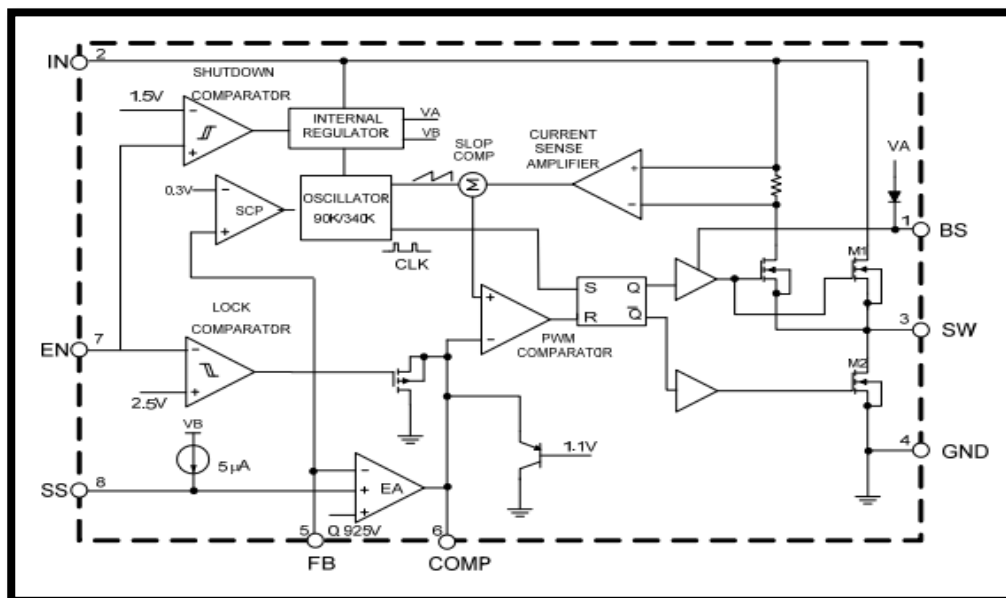


Figure.II.17. Diagramme du block fonctionnel de L'AP350E.

Applications

- Télévision LCD
- Décodeur numérique
- Cadre photo numérique

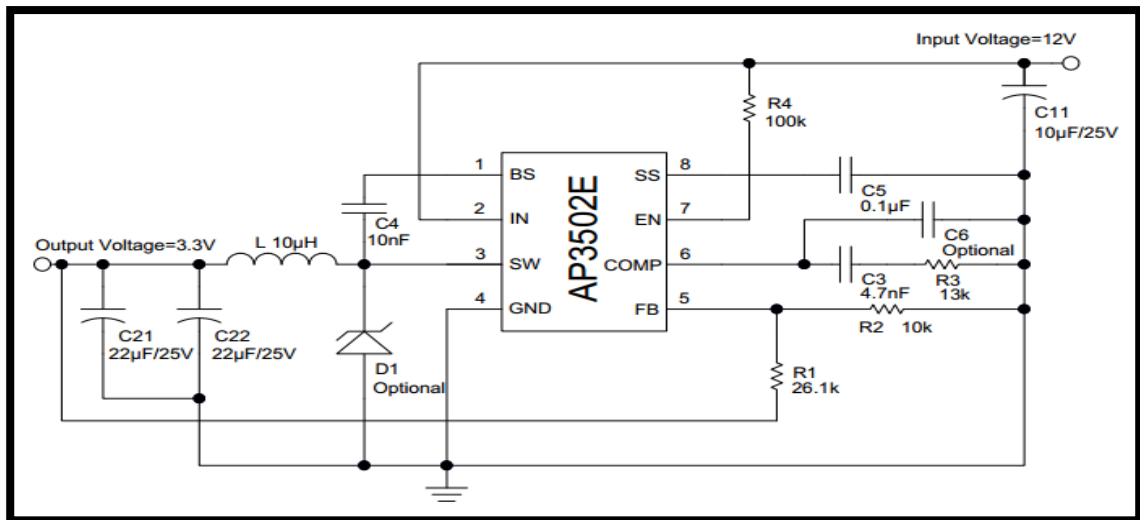


Figure.II.18. Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base de l'AP3502E.

2- Convertisseur Buck à la base d'un circuit intégré LM2596 :

Le régulateur LM2596 est un circuit intégré monolithique idéal pour la conception facile et pratique d'un régulateur de commutation débrayable (convertisseur Buck) [28].

Ce dispositif est disponible en version de sortie réglable et il est compensé en interne pour minimiser le nombre de composants externes pour simplifier la conception d'alimentation.

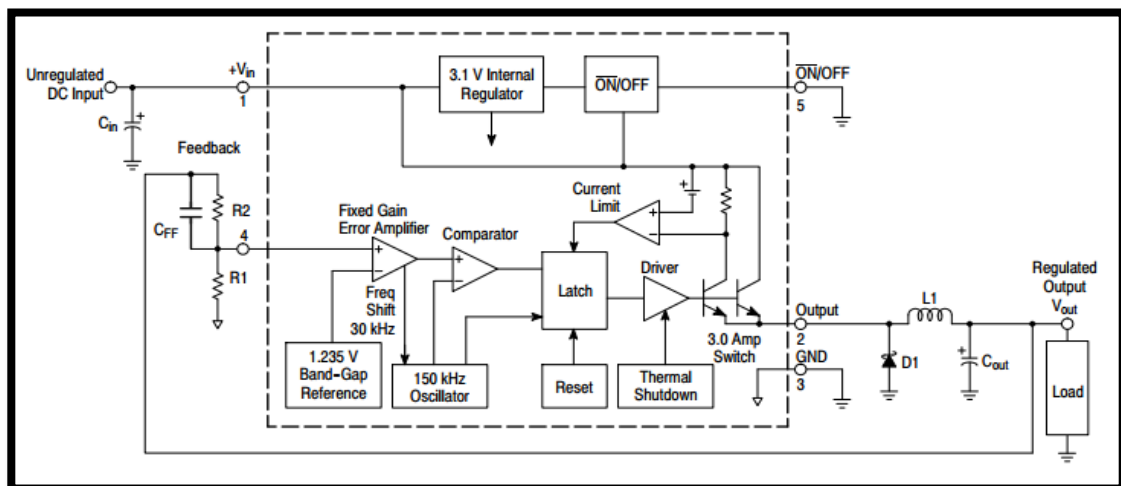


Figure.II.19. Diagramme du block fonctionnel de LM2596.

Applications

- Régulateur Simple Basse Débit (Buck).
- Convertisseur positif à négatif (Buck-Boost).
- Convertisseurs Step-Up négatifs.
- Alimentation pour chargeurs de batterie.

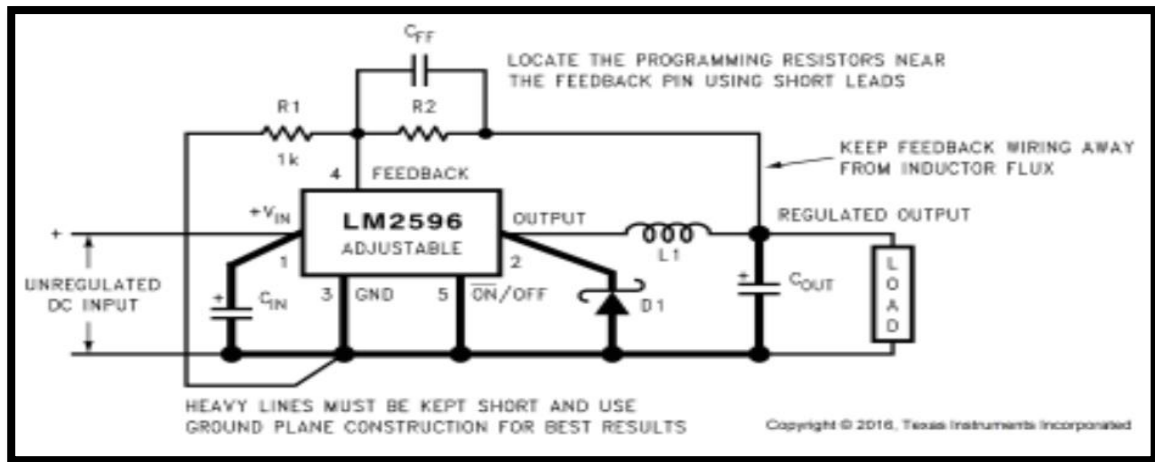


Figure.II.20. Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base du LM2596.

3- Convertisseur Buck à la base d'un circuit intégré LT3433 :

Le LT3433 est un convertisseur continu-continu (step-up et step down) à fréquence fixe de 200 kHz, qui fournit à la fois une régulation avec une seule inductance.

Les circuits de contrôle interne surveillent les conditions du système et les convertissent d'un fonctionnement à un seul commutateur Buck à un double commutateur, entre la conversion de tension step-down et step-up [29].

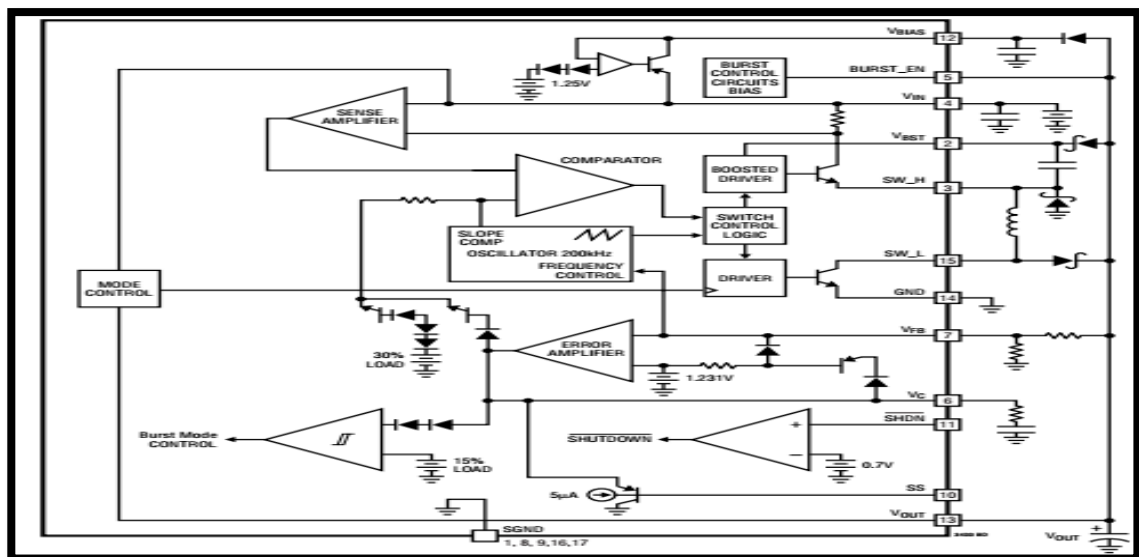


Figure.II.21. Diagramme du block fonctionnel de LT3433.

Application

- Systèmes automobiles 12V
- Systèmes alimentés par adaptateur mural
- Tampon de la tension d'alimentation de la batterie

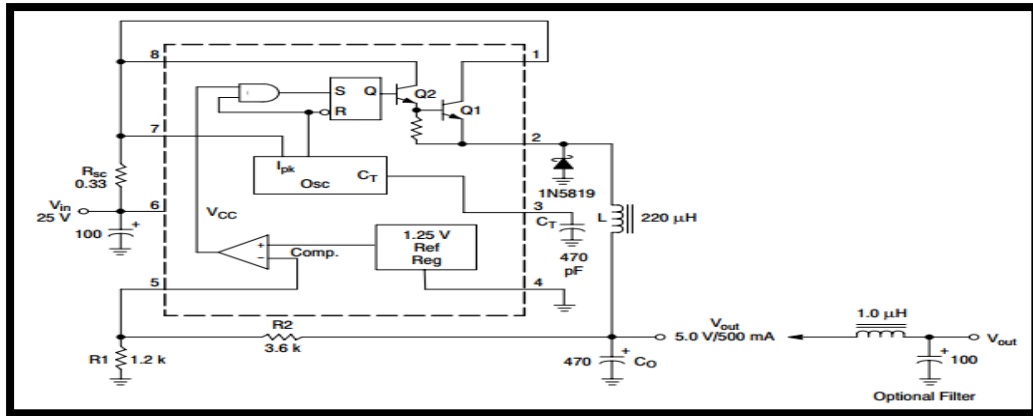


Figure.II.24. Schéma conceptuel du convertisseur Buck à la base du MC34036.

II.6 Comparaison entre les différents types des convertisseurs Buck

Nome du produit	L'AP3502E	LM2596	LT3433	MC34063A
L'entreprise	BCD Semiconductor Company	Texas Instruments Company	Linear Technology Company	Texas Instruments Company
Le Nombre de pin	8	5	16	8
La tension d'entrée (V _{in})	4.5V à 18V	Jusqu'à 40 V	4 V à 60 V	3 V à 40 V
La tension de sortie (V _{out})	Ajustable	Ajustable : 1.2 V à 37 V	3.3 V to 20 V	Ajustable
Le courant de sortie (I _{out})	2 A	3 A	100 μA	1.5 A
La fréquence	340 kHz	150 kHz	200 kHz	100 kHz
L'écart de température	-40 au 85°C	- 65 à150°C	- 65 à 150°C	0 à 70°C
Le rendement	82%	73%	78%	90%

Tableau.II.1. La comparaison entre les différents schémas conceptuels du convertisseur Buck.

Après étude différents schémas conceptuels présentés par plusieurs laboratoires de recherche à travers le monde, et pour parachever ce travail par la réalisation d'un dispositif fonctionnel nous avons choisi parmi ces schéma de travaillé avec le circuit intégré MC34063 pour des raisons liés au cout, rendement et à la robustesse.

Dans le cadre de réaliser un convertisseur DC/DC de type Buck (step-down), nous supposons le schéma suivant :

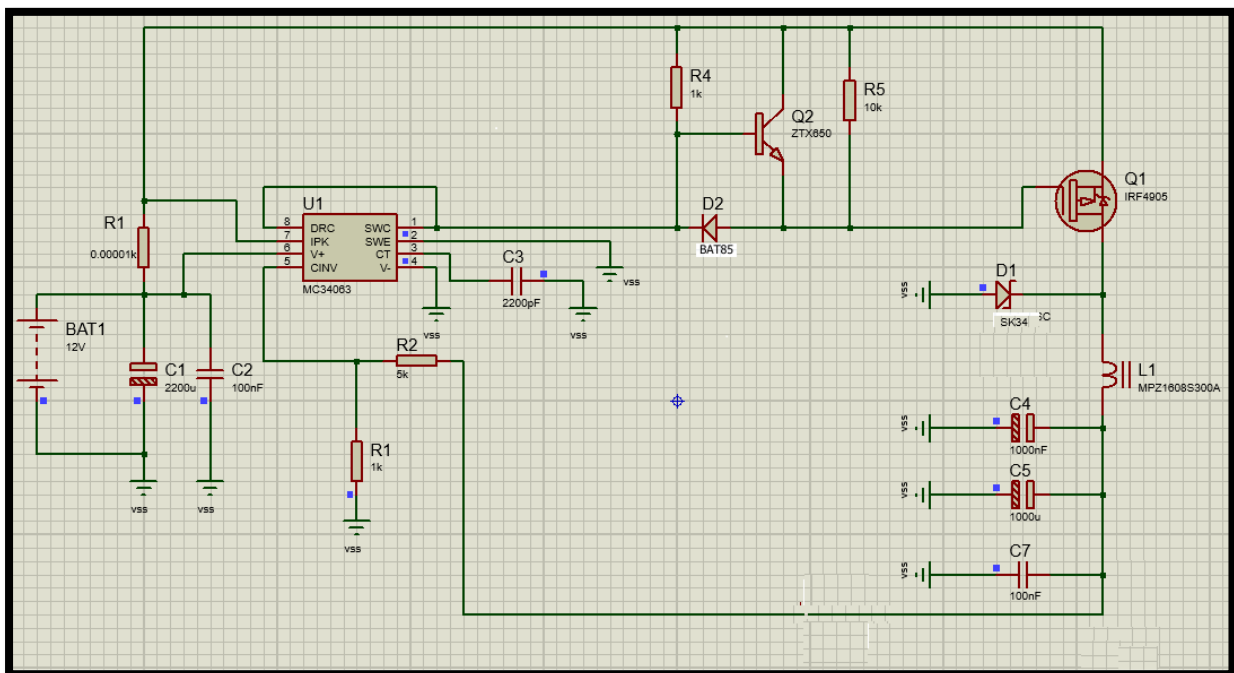


Figure.II.25. Schéma final du convertisseur Buck à la base d'un circuit MC34036.

II.7 Rendement du convertisseur statique

Dans ce qui a précédé, nous avons décrit le fonctionnement des convertisseurs Buck, ce convertisseur présente un meilleur rendement. En effet, il existe d'autres configurations de convertisseur, mais dont le rendement est plus faible. Le tableau donne une idée sur le rendement de quelques convertisseurs connus. L'expression du rendement du convertisseur est donnée par :

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P}$$

Structure	Rendement de conversion	Batterie
Boost	92%	24V
Buck	93%	12V
Boost-Buck	92%	12-24V

Tableau.II.2. Rendement de quelques convertisseurs connus [30].

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié en détail les différents types des convertisseurs DC-DC, leurs principe de fonctionnement et, on a présenté aussi les divers schémas conceptuelle d'un convertisseur Buck (step-down).

Dans le prochain chapitre, on va faire une étude concise sur notre schéma conceptuel et le dimensionnement de leurs composants.

CHAPITRE III

Etude du convertisseur DC/DC type Buck

Introduction

L'utilisation des régulateurs de commutation dans de nouveaux modèles d'équipements est de plus en plus prononcée par rapport aux régulateurs linéaires. Ceci est primordial en raison de la nécessité de réduire la taille et le poids qui dictent une demande toujours croissante pour une efficacité de conversion de puissance supérieure d'un bloc de batterie. Dans ce chapitre nous allons voir le principe de fonctionnement du convertisseur Buck, le dimensionnement de ces principales composantes.

III.1 Convertisseur DC/DC type Buck

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur.

III.1.1 Représentation du schéma conceptuel du convertisseur

Les montages les plus simples utilisent une bobine pour accumuler l'énergie et un condensateur pour assurer le filtrage de la tension. Nous nous sommes basés sur ces principes, le schéma ci-dessous représente le montage de convertisseur abaisseur à base du circuit MC34063.

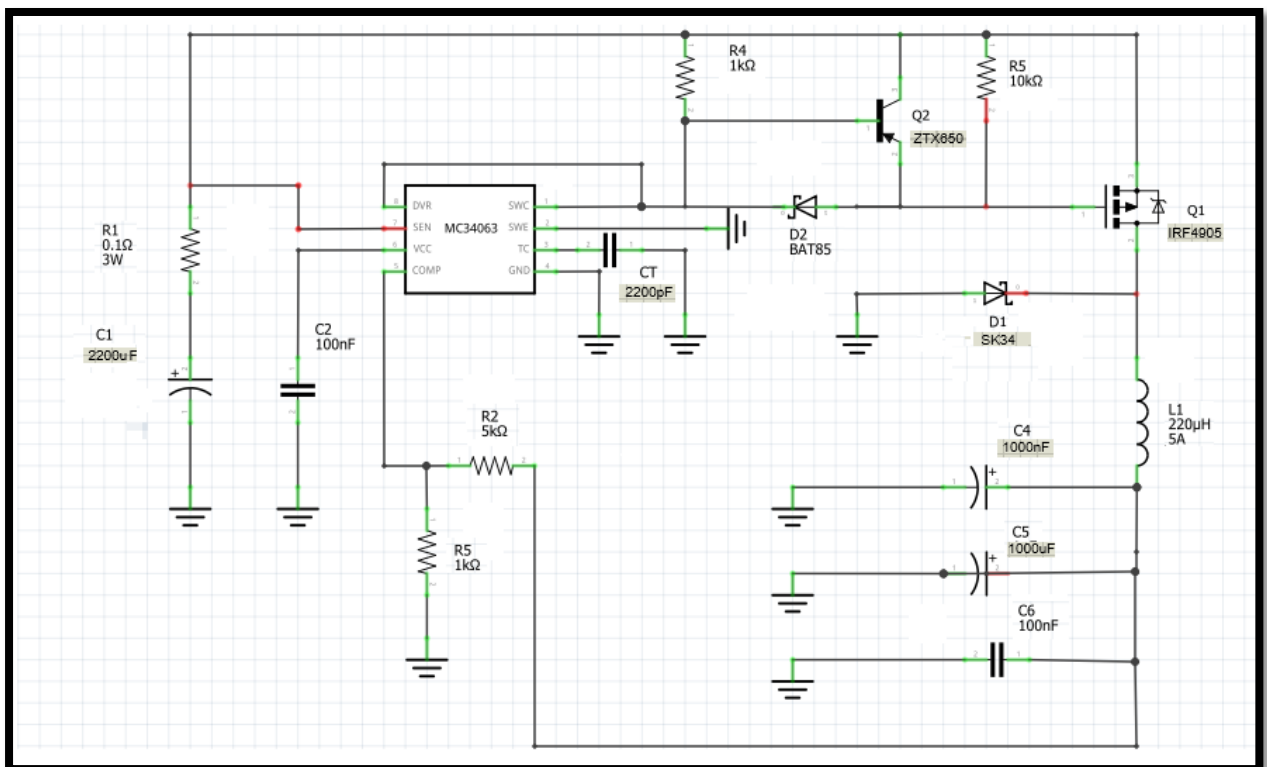


Figure III.1. Le circuit électrique du convertisseur Buck à la base du MC34063

III.1.2 Description des composants du montage

III.1.2.a Le circuit MC34063

Les MC34063 sont des sous-systèmes monolithiques de régulateurs de commutation destinés à être utilisés comme convertisseurs DC/DC.

Ce dispositif représente un progrès significatif dans la facilité de mise en œuvre des alimentations à commutation hautement efficaces mais néanmoins simples. L'utilisation de régulateurs de commutation devient plus prononcée que celle des régulateurs linéaires, car les réductions de taille dans les nouvelles conceptions d'équipement nécessitent une plus grande efficacité de conversion. Un autre avantage majeur du régulateur de commutation est qu'il a une flexibilité d'application accrue

de la tension de sortie. La sortie peut être inférieure, supérieure ou de polarité opposée à celle de la tension d'entrée [28].

- **Circuit intégré monolithique**

Un circuit intégré monolithique hyperfréquence ou MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) est un type de circuit intégré fonctionnant aux fréquences radio intermédiaires entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion dites « micro-ondes » (de 300 MHz à 300 GHz). Ces composants électroniques sont utilisés le plus souvent comme mélangeurs micro-ondes, comme amplificateurs de puissance, comme amplificateurs faible bruit ou comme commutateurs haute fréquence [28].

- **Principe de fonctionnement** (régulateur de commutation)

Le régulateur de commutation se compose d'une référence stable et d'un amplificateur à erreur de gain élevé identique à celui du régulateur linéaire. Ce système diffère en ce que l'on a ajouté un oscillateur à fonctionnement libre et un verrou verrouillé. L'amplificateur d'erreur surveille la tension de sortie, la compare au niveau de référence et génère un signal de commande.

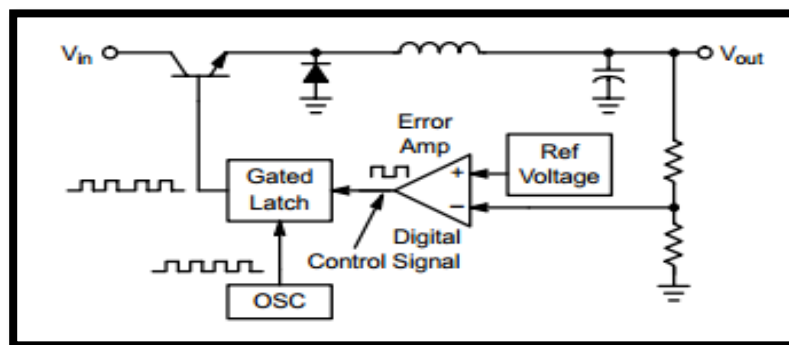


Figure.III.2. Convertisseur abaisseur (régulateur de commutation)

Si la tension de sortie est inférieure à la valeur nominale, le signal de commande passe à un état haut et actif la grille, ce qui permet aux impulsions d'horloge de l'oscillateur de piloter alternativement l'élément passe-série de la coupure à la saturation. Cela continuera jusqu'à ce que la tension de sortie soit pompée légèrement au-dessus de sa valeur nominale. A ce moment-là, le signal de commande va baisser et fermer la porte, mettant fin à toute autre commutation de l'élément passe-série. La tension de sortie finira par diminuer au-dessous de la valeur nominale du fait [28].

Le MC34063 contenant toutes les fonctions actives requises pour un convertisseur DC/DC. Cet appareil contient une température interne de référence compensée, comparateur, cycle de service contrôlé par oscillateur avec un circuit de limitation de courant de crête actif, un

conducteur, et un commutateur de sortie de courant. Cette série était spécifiquement conçue pour être incorporés dans les step-up, step-down convertisseurs de tension. Ces fonctions sont contenues dans un paquet en ligne à 8 broches.

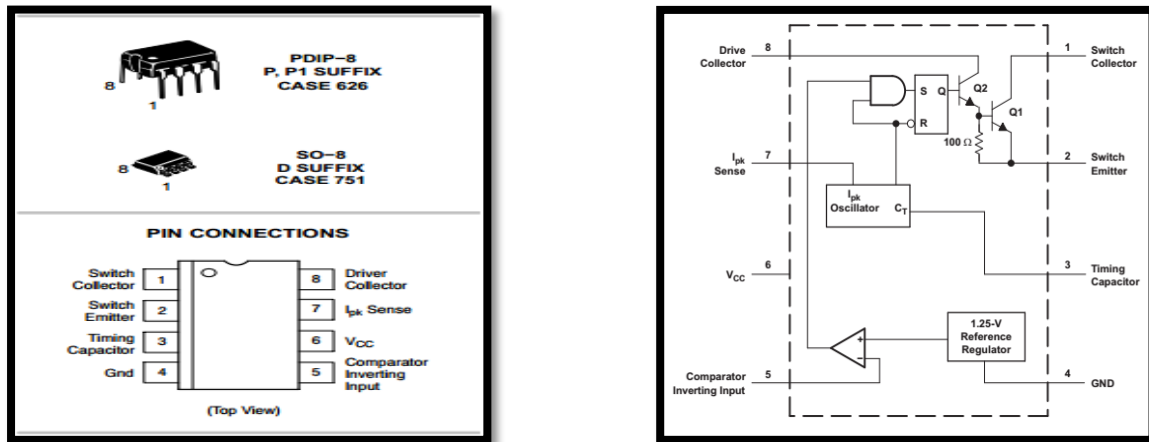


Figure.III.3.Constitutions du circuit MC34063

III.1.2.b Les condensateurs

Les condensateurs qui nous rencontrons dans les alimentations à découpage remplissent deux rôles distincts : ils servent d'énergie lors des variations de commande ou de charge, et ils servent également de condensateur de découpage ou filtrage vis-à-vis du fonctionnement en haut fréquence de l'alimentation .Ce sont les condensateurs chimique dits à faible résistance série qui présentent des valeurs de capacité importantes, tout en présentant une excellente tenue en fréquence. Le condensateur se caractérise par 6 grandeurs physiques qui définissent ses domaines d'application. La capacité d'un condensateur est égale au rapport de la charge électrique Q emmagasinée à la tension V appliquée entre ses armatures [31] :

$$C(F) = Q(C)/V (V) \tag{III.1}$$

Dans le cas simplifié d'un condensateur dont la surface S des armatures en regard est plane l'expression de la capacité C'est est :

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 S/e \tag{III.2}$$

Avec :

ϵ : Permittivité du vide.

ϵ_r : Permittivité relative (2 à 20 000) du diélectrique.

e : Épaisseur du diélectrique [31].

III.1.2.c Les inductances

Le rôle d'une inductance est de stocker une énergie électrique sous forme magnétique, puis de la restituer. On peut naturellement réaliser des bobinages à air. Mais, l'utilisation de circuits magnétiques tels que présentés ci-avant permet :

- 1) de diminuer l'encombrement, à valeur égale, de l'inductance.
- 2) de confiner le flux magnétique dans un espace restreint et ainsi de limiter les rayonnements parasites.

Les inductances sont utilisées essentiellement dans des applications de filtrage, de conversion d'énergie (alimentations à découpage...), et d'interrupteur magnétique (inductances saturables).

Le schéma électrique équivalent d'une inductance simple L est le suivant :

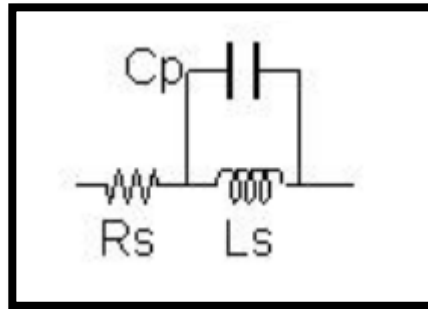


Figure.III.4. Schéma électrique équivalent d'une inductance

Où R_s représente la résistance série du fil bobiné et C_p les capacités parasites inter spires.

○ Dimensionnement de l'inductance

La valeur de l'inductance est obtenue par :

$$L = \mu_0 \mu_e \frac{S_e}{l_e} N^2 \quad (\text{III.3})$$

avec :

$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ (SI)

μ_e : perméabilité effective (y compris entre fer éventuel)

S_e : section effective magnétique du noyau (section moyenne)

l_e : Longueur magnétique effective (longueur moyenne du circuit magnétique)

N : nombre de spires [32].

III.1.2.d Diode Schottky

Une diode Schottky nommée d'après le physicien allemand Walter H. Schottky, est une diode qui a un seuil de tension directe très bas et un temps de commutation très court. Ceci permet la détection des signaux HF faibles et hyperfréquences. On l'utilise aussi pour sa capacité à laisser transiter relativement des fortes intensités pour le redressement de puissance avec des pertes par effet joule réduites du fait de sa faible chute de tension.

Une diode Schottky utilise une jonction métal-semi-conducteur (au lieu d'une jonction P-N comme les diodes conventionnelles). Alors que les diodes standard en silicium ont une tension de seuil d'environ 0,6 volt, les diodes Schottky ont une tension de seuil (pour un courant de polarisation directe d'environ 1 mA) dans la gamme de 0,15 V à 0,45 V, ce qui les rend utiles en limitation de tension et en prévention de saturation des transistors. Elles sont également très appréciées comme diodes de commutation du fait de l'absence totale de phénomène de recouvrement inverse de charge [33].

Les inconvénients de ces diodes par rapport aux diodes à jonction P-N sont une tension de claquage en inverse beaucoup plus faible (40 V pour une diode Schottky standard), un courant en polarisation inverse plus élevé, ainsi qu'une plage de fonctionnement en température moins importante. Malgré les progrès effectués, ces diodes sont donc plus fragiles dans ces conditions.

La diode Schottky présente deux avantages par rapport aux diodes classiques :

- Caractéristique électrique : tension de blocage de 600 V.
- Tension de seuil plus faible ($V_F \approx 0,3V$).
- Les diodes Schottky ont des temps de recouvrement inverse très courts (t_{rr} de 0,15 à 0,35 μ s).

○ Applications de diode Schottky

Les diodes Schottky sont utilisées en basse tension dans les circuits nécessitant une grande vitesse de commutation, par exemple dans les montages redresseurs à haute fréquence que l'on rencontre dans les alimentations à découpage [33].

Axial Power Schottky redresseur adapté pour les alimentations en mode commutateur et les convertisseurs DC / DC haute fréquence. Emballés dans le DO-201AD, ces appareils sont conçus pour une utilisation dans des convertisseurs basse tension, haute fréquence, roue libre, protection de polarité et petits chargeurs de batterie.

III.1.2.e Les interrupteurs commandables

À l'opposé de la diode, dont toutes les commutations sont spontanées l'électronique de puissance dispose d'une gamme de composants, qui sont commandable à l'amorçage ainsi qu'au blocage. Ce sont des interrupteurs à deux segments [34].

Nous proposons de présenter ici :

○ Le MOSFET

Le Transistor à Effet de Champ à Métal Oxyde Semi-conducteur (MOSFET : Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) a sa grille isolée du canal par une couche de dioxyde de silicium (SiO_2). Le transistor MOS possède 4 électrodes : la Source (Source) S : point de départ des porteurs, le Drain (Drain) D : point de collecte des porteurs. La Grille (Gate) G et le Substrat (Body) B sont les électrodes de la capacité MOS qui contrôle le nombre de porteurs présents dans le canal.

Dans le régime d'enrichissement en appliquant une tension positive sur la grille, on attire les électrons à l'interface isolant semi-conductrice et on repousse les trous. A partir d'une certaine valeur : tension de seuil V_{TH} (Threshold Voltage), une couche d'inversion apparaît et le transistor devient de plus en plus passant.

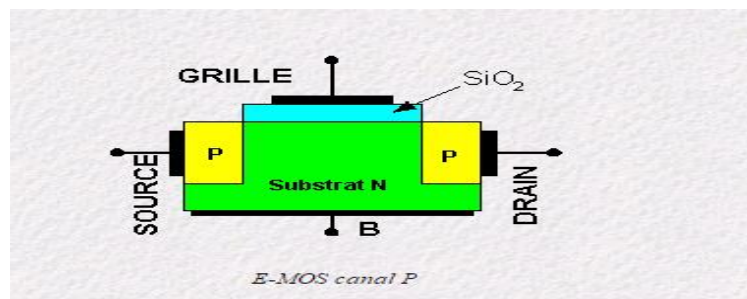


Figure.III.5. Structure du MOS à enrichissement canal P

Les transistors MOS à enrichissement sont bloqués sans tension de commande sur la grille (NORMALLY OFF), ils deviennent passants à partir d'une certaine tension de grille V_{TH} . Plus $|V_{GS}| > |V_{TH}|$, plus le transistor MOS devient passant.

Le MOSFET à enrichissement canal P :

- Il possède le même principe de fonctionnement que le NMOS à enrichissement
- La tension seuil $V_{t0} < 0$

- Les tensions de polarisation sont inversées

Régime de saturation : $V_{GS} < V_{t0} < 0$ et $V_{DS} \leq -V_{t0} + V_{GS}$

$$i_D = K(V_{GS} - V_{t0}), K = \frac{W}{2L} C_{ox} \mu_p$$

μ_p : Mobilité des trous

Régime ohmique : $V_{GS} < V_{t0} < 0$ et $V_{DS} \geq -V_{t0} + V_{GS}$

$$i_D = K(2(V_{GS} - V_{t0})V_{DS} - V_{DS}^2), K = \frac{W}{2L} C_{ox} \mu_p$$

○ Paramètres du transistor MOSFET

Voici quelques paramètres utiles à la compréhension de ce composant :

V_{GS} : c'est la tension entre la grille du transistor, équivalent à la base d'un bipolaire, et la source. Il faut noter que pour un transistor MOS, le respect de ce paramètre est crucial, car autrement, on risque le claquage du transistor.

I_{DSS} : courant circulant entre le drain et la source : c'est le courant continu maximal qui peut circuler sans destruction du composant. La plupart des datasheet de ces transistors décrivent le courant max en pointe, pendant une période de temps très court.

$R_{DS(on)}$: c'est la résistance série entre le drain et la source, pour une tension V_{GS} (grille source) donnée. On veillera à ce que la puissance générée dans cette résistance soit dissipée par le boîtier du transistor : $P=RI^2$.

V_{DS} : C'est la tension drain source.

V_{th} : C'est le seuil du MOS.

C_{iss} : Capacité d'entrée : capacité de grille. En cas d'ajout d'une résistance de grille, on veillera à ce que le filtre RC passe bas ainsi créer, ne gêne en rien quant au bon fonctionnement du circuit.

C_{oss} : capacité de sortie.

○ Principe du fonctionnement

Si on applique une tension V_G positive entre grille et source, le champ électrique qui, à travers la couche d'oxyde apparaît à la surface de la couche P entre drain et source, éloigne de cette zone les porteurs majoritaires (charges positives) et y attire les porteurs minoritaires.

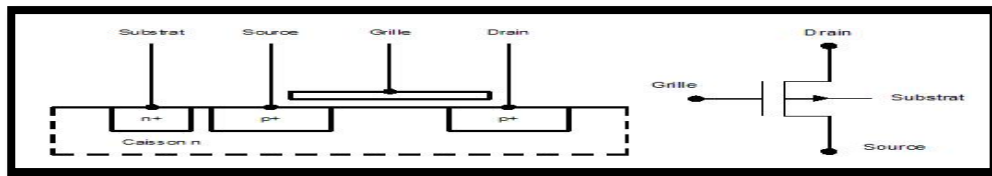


Figure.III.6.Représentation du MOSFET

A partir d'une certaine valeur de V_G , appelée tension de seuil (threshold voltage), au voisinage immédiat de la couche d'oxyde il y a plus de charges négatives que de charges positives. Cette zone du type N ainsi formée constitue un canal reliant la source et le drain.

Si on applique alors une tension positive entre le drain et la source, un courant de drain i_D peut passer par ce canal dont la section, et donc la résistance, dépend de l'écart entre V_{GS} et la tension de seuil [35].

- **Avantages des transistors (MOSFET)**
 - ✓ Le bruit intrinsèque est toujours très faible.
 - ✓ Ce type de transistor est simple à fabriquer et par suite peu onéreux.
 - ✓ La densité d'intégration autorisée par ce type de composant est très importante : on dépasse aujourd'hui le nombre de 10^7 transistors sur une seule puce.

III.2 Caractéristiques types du convertisseur Buck

Paramètres	Caractéristiques
Catégorie	Convertisseur DC/DC Buck
Alimentation	Tension continue
Nombre de sortie	1x
L*L*H	65*40*40
Poids	57g
Tension d'entrée	10V à 20V
Tension de sortie (fixe)	7.5 V
Courant de sortie (max)	2A
Rendement	90%
Utilisation	Pour charger des petites Batteries
Ecart de température	$-65 \leq \Delta T \leq 100 \text{ C}^\circ$

Tableau.III.1.caractéristique du dispositif réalisé

III.3 Fonctionnement du convertisseur Buck

Le circuit MC34063 est le cœur du montage, et les composants périphériques servent pour fixer le fonctionnement du montage complet. Le circuit du convertisseur peut être divisé en 7 parties :

- Entrée 10V à 20V sur la broche 6, avec filtrage par les condensateurs C1 et C2

On utilise ces deux condensateurs (C1 et C2) de filtrage qui assure une réserve d'énergie lorsque la tension issue du et devient faible. Ces condensateurs de filtrage aident à diminuer le taux d'ondulation sur la tension de sortie.

- Résistance de limitation en courant (R_{sc}) entre les broches 6 et 7

La plupart des résistances servent à limiter le courant traversant un composant ainsi qu'à créer de nouvelles tensions plus faibles à partir d'une tension donnée (pont diviseur).

On a besoin d'utiliser une résistance a un modèle 0.3W minimum. La résistance utilisée ici sert à encaisser la chute de tension entre l'alimentation et notre circuit. On l'appelle résistance chutrice.

- Condensateur Ct pour choisir la fréquence de travail du circuit MC34063
- Transistor Mosfet (canal P) externe Q1 pour atteindre un courant de sortie de 2A

Le transistor Mosfet (canal P) externe Q1 a été surdimensionné. Il accepte un courant maximum de plusieurs Ampères. Par exemple : IRF 9405 ---> $I_{max} = 23A$. Donc, en limitant I_{max} à 2A pour le montage, ce transistor ne chauffe même pas, et on n'a pas besoin de radiateur de refroidissement (volumineux et couteux).

- Driver pour ce Mosfet, composé de Q2, D2, R4

Ce driver permet de réduire les pertes par effet joule lors de la commutation On-Off du transistor Mosfet Q1.

- Diode de roue libre D1 et filtrage de la tension de sortie par L1, C3 et C4

Le bon choix de la bobine L1 (valeur de l'inductance et qualité du noyau en ferrite) détermine en majeure partie le rendement de ce montage.

- Pont diviseur R1 et R2 pour fixer la tension de sortie à 7.5V.

III.4. Analyse du circuit de convertisseur Buck

Le schéma de base du convertisseur abaisseur est illustré ci-dessous. Nous avons la tension d'entrée DC/DC (V_{dc}) et un commutateur qui ouvre et ferme périodiquement le chemin vers le côté droit [36].

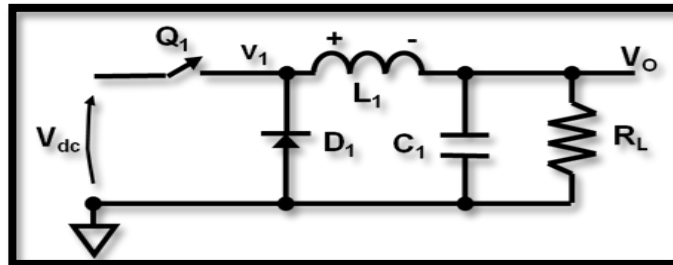


Figure.III.7.Schéma de base du convertisseur Buck

Pour définir les relations fondamentales du hacheur abaisseur, il faut se référer aux formes d'ondes des courants et tensions dans le convertisseur, en prenant comme référence le signal de commande du transistor :

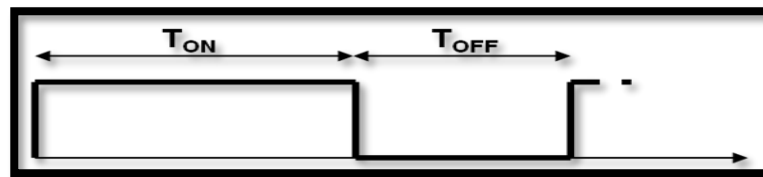


Figure.III.8.Signal de commande du transistor

Dans l'analyse suivante du circuit, on suppose que le système est déjà à l'état d'équilibre, c'est-à-dire que tous les transitoires du système sont éteints et que la tension de sortie a déjà atteint sa valeur nominale finale. Cette approche est utile pour comprendre le comportement général du circuit.

Pendant T_{ON} , le circuit peut être redessiné comme indiqué ci-dessous. La diode est polarisée en sens inverse pour ne pas conduire. Le côté gauche de l'inductance est plus positif que le côté droit et la tension peut être facilement calculée. Soyez conscient que nous supposons que nous sommes dans l'état d'équilibre, de sorte que la tension de sortie V_o , et la tension de l'inductance comme indiqué par l'équation. V_Q activé est la chute de tension sur l'interrupteur lorsqu'il est fermé. Ce terme peut souvent être négligé, car il est beaucoup plus petit que les autres valeurs. Une

certaine énergie est stockée dans le champ magnétique de l'inductance. Le courant, provenant de la source d'entrée, s'écoule à la sortie entre la résistance de charge R_L et la capacité C_1 le chargeant.

La tension à la borne de l'inductance L est donnée par l'équation suivante :

$$v_L = V_{dc} - V_{Q,on} - V_o \tag{III.4}$$

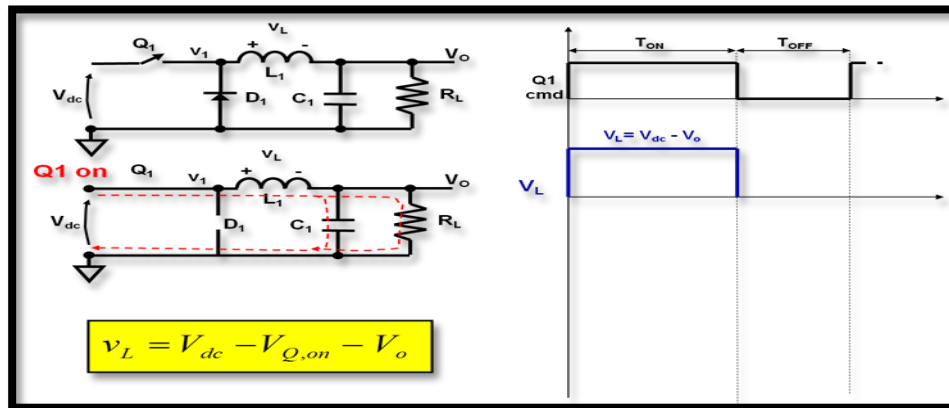


Figure.III.9. Forme d'onde de tension au borne de l'inductance (état ON)

Le courant qui s'écoule dans l'inductance est lié à la tension de l'inductance par cette équation ci-dessous. Il est facile de voir que le courant de l'inductance a un comportement linéaire avec une inclinaison positive [36].

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{V_{dc} - V_{Q,on} - V_o}{L} t \tag{III.5}$$

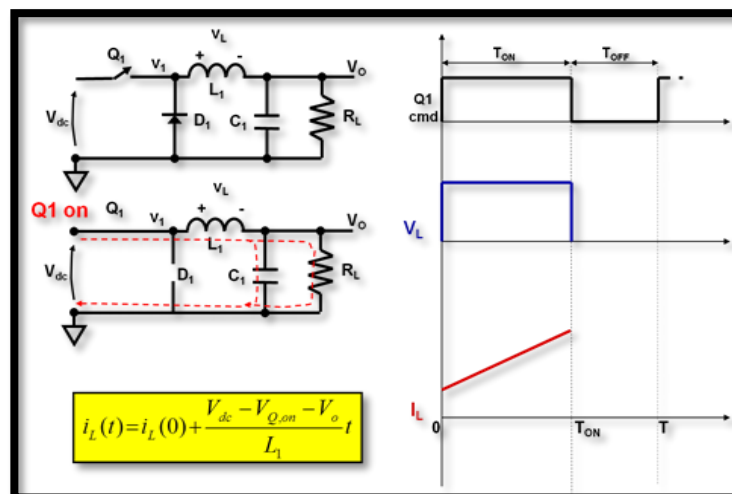


Figure.III.10. Forme d'onde du courant au borne d'inductance (état ON)

Pendant T_{off} , le circuit est comme indiqué ci-dessous. Le commutateur Q1 est ouvert. L'inductance tentera de maintenir le courant dans la même direction ; Mais cela signifie que la tension sur l'inductance lui-même inversera la polarité. Maintenant, le côté droit est plus positif que le côté gauche. Le nœud V_1 tentera de devenir négatif, mais la diode D1 l'empêchera d'aller plus bas que 0,7 V (c'est la fonction de roue libre de la tension de polarisation directe de la diode). On peut penser que l'inductance fonctionne, pendant T_{off} , en tant que générateur fournissant le courant à la résistance de charge. La capacité, C_1 , contribuera également à maintenir la tension de sortie constante. La tension sur l'inductance devient comme indiqué dans l'équation suivante :

$$v_L = -V_o - V_{D.on} \tag{III.6}$$

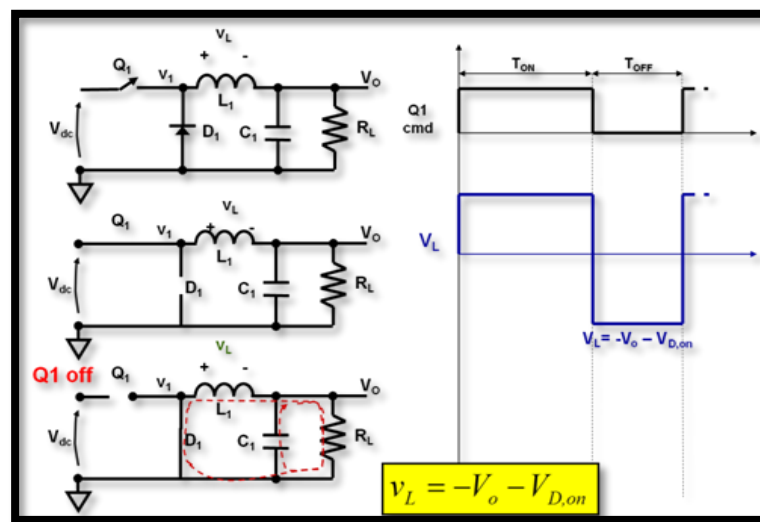


Figure.III.11. Forme d'onde de tension au borne de l'inductance (état OFF)

Le courant, pendant T_{off} , a toujours un comportement linéaire (descendant) puisque la tension sur l'inductance est constante et négative comme indiqué dans le diagramme ci-dessous.

L'équation du courant pendant T_{off} :

$$i_L(t) = i_L(T_{on}) + \frac{-V_o - V_{D.on}}{I_L} t \tag{III.7}$$

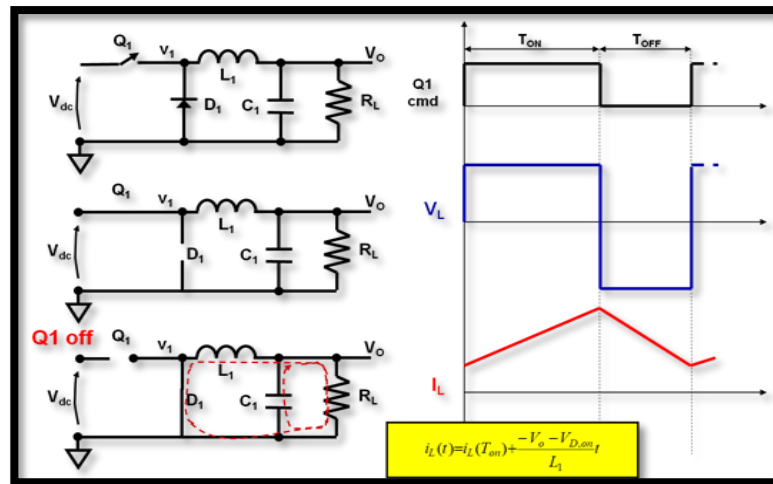


Figure.III.12. Forme d'onde du courant au borne d'inductance (état OFF)

✚ L'ondulation de courant

Examinons le courant qui traverse l'inductance pendant chaque période T. Comme décrit précédemment, nous allons profiter de l'exploitation du système à l'état stationnaire.

Dans cette condition, le courant circulant dans l'inductance à la fin de chaque période doit être égal au courant au début de la période (suivante). Si ce n'est pas vrai, cela signifie que le système n'a pas encore atteint la condition d'état stable, ou une sorte de perturbation s'est produite. La condition d'état stable est alors facile à calculer, y compris la valeur d'ondulation actuelle.

Notez que le courant de l'inductance est également le courant de sortie si l'on considère que le condensateur de sortie est idéal, de sorte que tout le courant d'ondulation s'écoule dans la terre (Gnd).

La valeur moyenne du courant de sortie de l'inductance est ensuite calculée comme la somme du courant au début de la période et la moitié de la valeur d'ondulation [36].

○ L'équation de courant dans l'état d'équilibre : $i_L(0) = i_L(T)$ (III .8)

○ L'équation d'ondulation de courant : $\Delta I = i_L(T_{ON}) - i_L(0)$ (III .9)

○ L'équation de courant moyen : $I_{ave} = i_L(0) + (\Delta I / 2)$ (III .10)

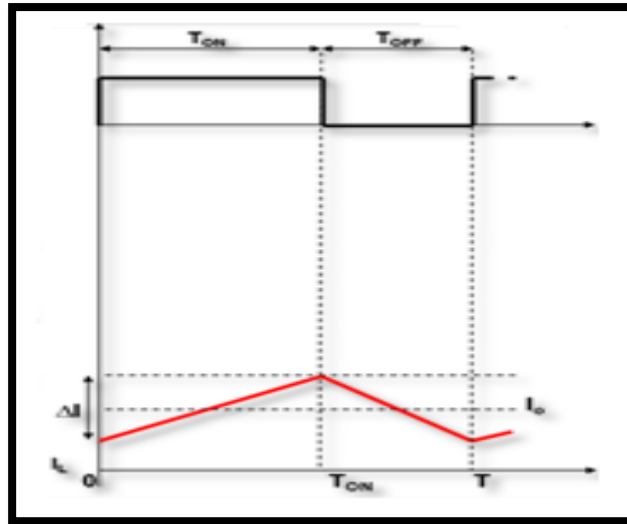


Figure.III.13.Ondulation du courant

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude réelle du convertisseur Buck, avec un dimensionnement précise de tous les composants périphériques et par la suite, on a donné l'analyse des caractéristiques électriques du convertisseur Buck, avec tous les graphes possible.

CHAPITRE IV

Réalisation d'un convertisseur DC/DC de type Buck

Introduction

Le convertisseur DC-DC est un circuit électrique qui transfère l'énergie d'une source de tension continue à une charge. L'énergie est d'abord transférée via des commutateurs électroniques vers des dispositifs de stockage d'énergie, ensuite changée de stockage en charge. Les interrupteurs sont des transistors et des diodes ; Les dispositifs de stockage sont des inducteurs et des condensateurs. Ce processus de transfert d'énergie entraîne une tension de sortie qui est liée à la tension d'entrée par les rapports de charge des commutateurs.

IV.1 Généralités sur la réalisation d'un convertisseur

Le processus de conception et réalisation d'un convertisseur DC/DC type Buck est composé de plusieurs étapes :

Etape 1 : Définition du cahier des charges et des objectifs de la conception.

Etape 2 : Proposition d'un circuit, c'est une procédure créative.

Etape 3 : Modélisation du circuit, les composants du circuit sont modélisés convenablement.

Etape 4 : Analyse du circuit orienté pour la conception, il s'agit de développer des équations qui permettent de choisir les valeurs des composants utilisés dans le circuit afin de répondre aux exigences du cahier des charges.

Et pour cela il existe deux méthodes pour déterminer les valeurs des composants périphériques :

- Les calculs des composants ont été faits suivant le datasheet MC34063.
- Il existe une solution (incomplète) en utilisant un calculateur pour MC34063 (MC34063A development aid).

Etape 5 : Analyse du pire des cas du circuit, vérifié si les spécifications sont remplies dans toutes les conditions.

Etape 6 : Itération, les étapes précédentes sont répétées afin d'améliorer la conception jusqu'à ce que la fiabilité et le rendement soient acceptables.

IV.2 Description du hardware

L'aperçu suivant indique les principaux composants de ce montage :

- CIRCUIT MC34063
- P-MOSFET IRF4905 (Q1)
- TRANSISTOR ZTX650 (Q2)
- DIODES SCHOTCKY : D1 = SK34, D2 = BAT85
- BOBINE 220 μ H
- CONDENSATEURS
- RESISTANCE DE LIMITATION R_{sc}
- LED

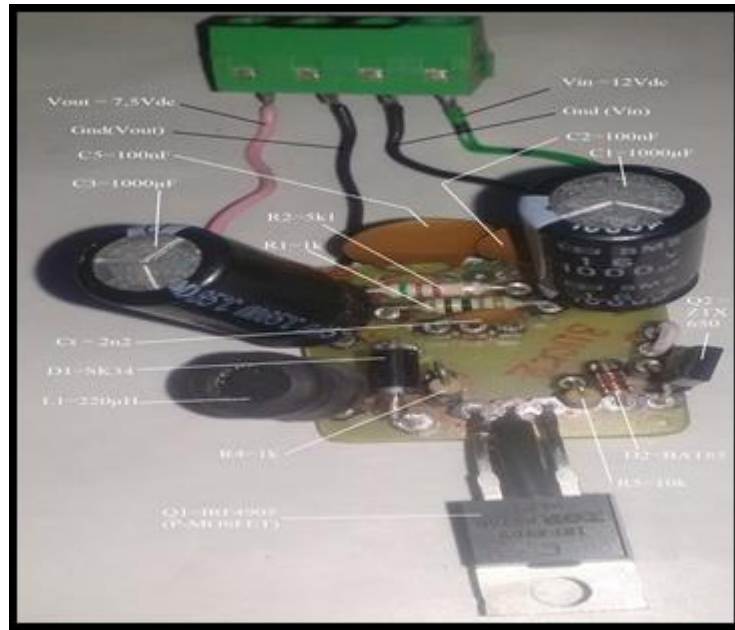


Figure.IV.1. Aperçu du dispositif réalisé



Figure.IV.2. Aperçu du dispositif réalisé

IV.2.1 Schéma théorique

Le générateur utilisé fournit une tension continue de 10V-20V. En sortie, le convertisseur possède une tension fixe de 7.57V. Le convertisseur est donc un simple abaisseur de tension.

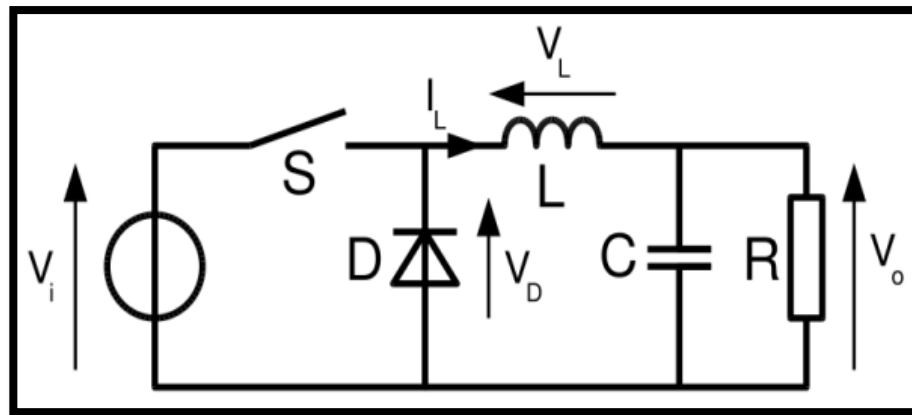


Figure IV.2. Le circuit de base d'un abaisseur

Ce montage est relativement simple. Notre objectif consiste donc à dimensionner au mieux les composants pour avoir un rendement optimal.

Il existe différentes méthodes pour l'améliorer. Nous avons remplacé le commutateur S par un circuit MC34063 et les composants périphériques. En effet, les diodes ont une chute de tension à leurs bornes lorsque celles-ci sont passantes (0,3V pour une bonne Schottky). Lorsque le Mosfet est passant, leur principale perte se situe dans leur résistance série (R_{sc}).

IV.2.2 Le circuit MC34063

Le MC34063 est un circuit de commande (sous-systèmes monolithique). Contenant toutes les fonctions actives requises pour les convertisseurs continu-continu.

Ce dispositif a été spécifiquement conçu pour être incorporée dans les applications Step-Down et Step-Up et inverseur de tension avec un nombre minimum de composants externes.

Ce petit circuit intégré est un régulateur/convertisseur "DC-DC" idéalement conçu pour résoudre tous les problèmes d'alimentation. Il permettra d'obtenir une tension de sortie plus élevée ou plus basse que la tension appliquée sur son entrée. Ne nécessitant que très peu de composants externes, il permettra par exemple (en fonction de la valeur des composants externes) de générer une tension de 28 V à partir d'une source 12 V, ou une tension de +5 V à partir d'une source 25 V, ou encore du -12 V à partir d'une tension comprise entre 4,6 V et 6 V ou tout autre combinaison de conversion.

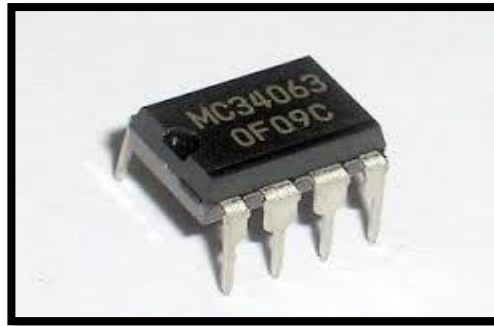


Figure.IV.3. Aperçu du circuit MC34063

Caractéristiques :

- Fonctionnement de 3.0 V à 40 V à l'entrée
- Limitation de courant
- Courant de commutation de sortie à 1,5 A
- Tension de sortie réglable

IV.2.3 Transistors

Pour le choix des transistors, nous avons opté pour un transistor Mosfet et un transistor NPN silicone. Voici les références et les caractéristiques des transistors retenus :

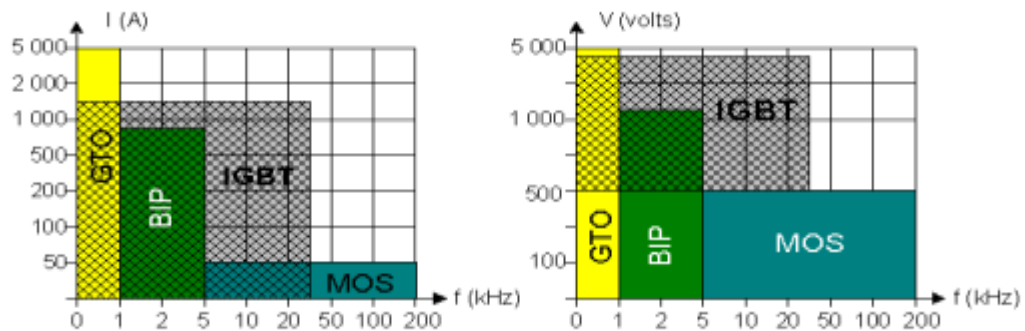


Figure.IV.4. Transistor Mosfet

Les Transistors	ZTX 650	P-MOSFET IRF4905
Caractéristiques	V_{CEO} : 60 volts	Dynamique d_t / d_v
	I_{CC} : 2 Ampère	Ultra basse résistance
	Tension de saturation basse	Commutation rapide
	P_{tot} 1 watt	La température de fonctionnement 175 C°

Tableau.IV.1.Caractéristiques techniques des transistors

IV.2.4 Diodes Schottky

Pour le dimensionnement de la diode en entrée du Buck, nous devons nous servir du courant nominal et trouver une diode ayant la chute de tension la plus faible. Nous prendrons donc deux diodes Schottky.

Les Diodes Schottky	BAT85	SK34
Caractéristiques	Faible tension directe	Haute capacité de courant
	Protection anneau de garde	Faible perte de puissance, haute efficacité
	Emballage en verre plombé hermétiquement scellé	Construction d'anneaux de protection pour protection transitoire
	Emballés dans SOD68 (DO-34)	Emballés dans le DO-201AD

Tableau.IV.2.Caractéristiques techniques des diodes

IV.2.5 Capacités d'entrée

La première partie du schéma est le filtrage de la tension en sortie de pile. En effet, la PAC peut avoir des chutes de tension lors d'un gros appel de courant. C'est pourquoi, nous devons mettre des capacités en entrée de notre carte pour « maintenir » une tension constante. Si la tension de la pile devient inférieure à la tension de ces capacités, elles pourraient se décharger dans la PAC. C'est pourquoi nous mettons une diode avant ces dernières.

IV.2.6 Driver de Mosfet

Le driver de Mosfet permet de commander un Mosfet qui n'a pas sa source à la masse du montage. Nous appelons cela une alimentation « flottante ». De plus, la grille du Mosfet provoque un fort appel de courant pour charger ces capacités parasites.

- Le tableau ci-dessous indique tous les calculs nécessaires pour les composants périphériques :

Calculations	Convertisseur Buck
t_{on}/t_{off}	$\frac{V_{out} + V_F}{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{out}}$
$(t_{on} + t_{off})$	$\frac{1}{f}$
t_{off}	$\frac{t_{on} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1}$
t_{on}	$(t_{on} + t_{off}) - t_{off}$
C_T	$4.0 \times 10^{-5} t_{on}$
$I_{PK(Switch)}$	$2I_{out(max)}$
R_{sc}	$0.3/I_{pk(switch)}$
$L_{(mine)}$	$\left(\frac{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{out}}{I_{pk(switch)}} \right) t_{on(max)}$
c_o	$\frac{I_{pk(switch)}(t_{on} + t_{off})}{8V_{ripple(pp)}}$

Tableau.IV.3.Les formules de conception

IV.3 Mesure

Une série de mesures sur oscilloscope a été relevées pour analyser les différents signaux du prototype réalisé.

Pour tester le dispositif réalisé, nous avons pris quelques étapes intéressantes dans la mesure des différents signaux :

- ✓ Tout d'abord, nous avons pris toutes les mesures de sécurité (pour nous protéger et le dispositif).

- ✓ Nous rassemblons tous les équipements nécessaires à la mesure (générateur de courant continue, l'oscilloscope, le multimètre et les câble de connexion).

La figure suivante montre le signal de tension de sortie du convertisseur Buck en fonction du temps :

Note : le calibre par rapport aux axasse est :

- L'axe des abscisses : $1\mu\text{s}$
- L'axe des ordonnées : 5V

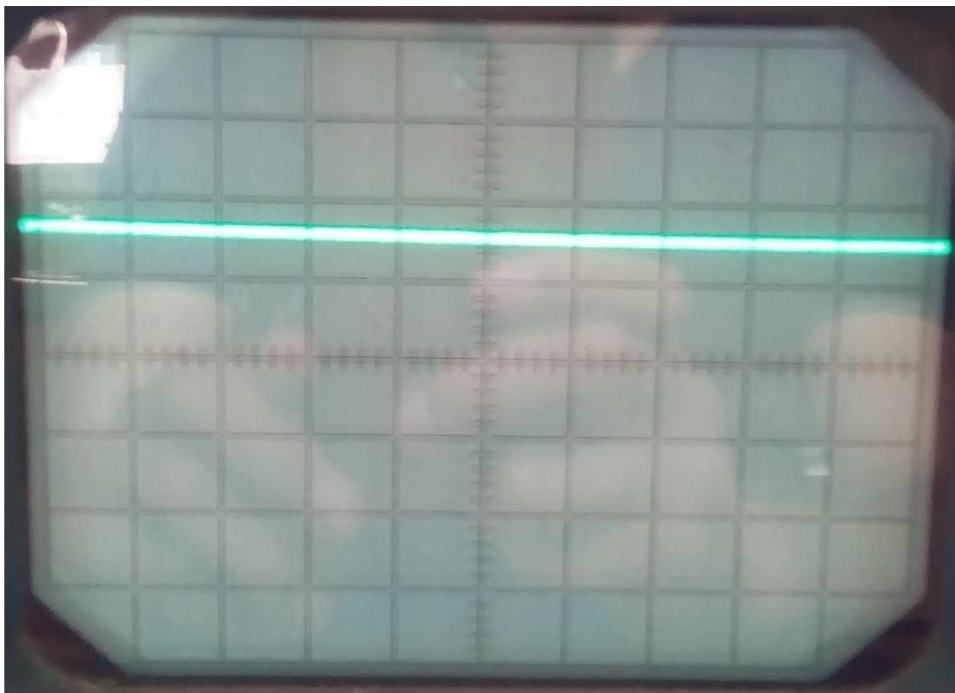


Figure.IV.4.Signal de sortie du convertisseur Buck

Nous prenons des mesures multiples prouvons le bon fonctionnement du prototype réalisé :

Le 1^{er} cas : l'absence de la tension $V_e = 0V$, $V_s = 0V$



Figure.IV.5. Aperçu d'opération de mesure

Le 2^{ème} cas : la tension d'entrée $V_e = 5V$, le convertisseur à l'état OFF.



Figure.IV.6. Aperçu d'opération de mesure

Le 3^{ème} cas : la tension d'entrée $V_e = 10.2V$ et $V_s = 7.6V$ le convertisseur à l'état ON.

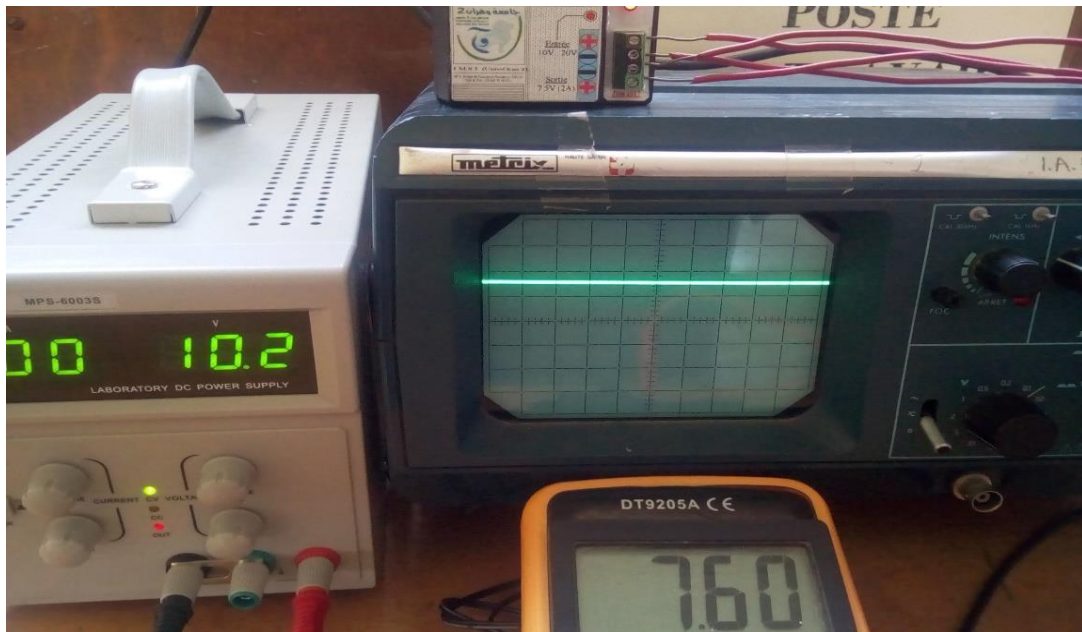


Figure.IV.7. Aperçu d'opération de mesure

Le 4^{ème} cas : la tension d'entrée $V_e = 14$ et la tension de sortie $V_s = 7.61V$ le convertisseur toujours à l'état ON.

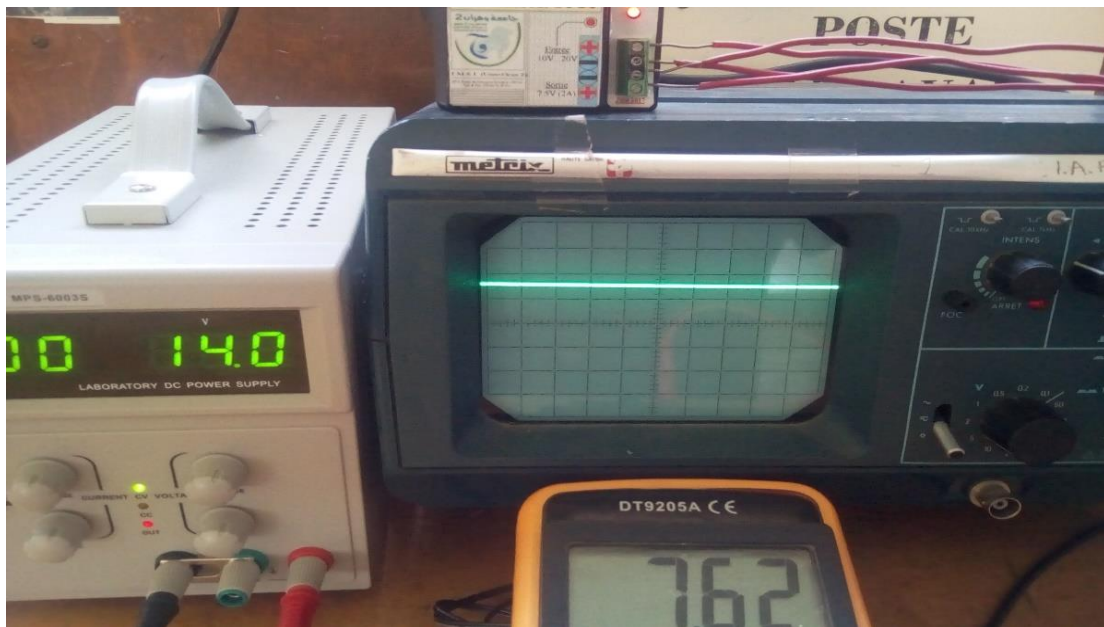


Figure.IV.8. Aperçu d'opération de mesure

Le 5^{ème} cas : la tension d'entrée au maximum valeur $V_e = 20V$ et la sortie toujours fixe $V_s = 7.61V$.



Figure.IV.9. Aperçu d'opération de mesure

🔧 Exemple d'utilisation :

Le convertisseur réalisé utilisé pour la charge des petites batteries (Sealed Acid Battery), cette batterie se charge avec une tension comprise entre 6.9V et 7.5V.



Figure.IV.10. Sealed Acid Battery

Conclusion

Un convertisseur Buck est un convertisseur électronique DC / DC de mode commutateur dans lequel la tension de sortie sera transformée en un niveau inférieur à la tension d'entrée. Il est également appelé convertisseur dévolteur. Le nom du convertisseur abaisseur provient du fait qu'il est analogue au transformateur abaisseur que la tension d'entrée est décalée à un niveau inférieur à la tension de sortie. Par la loi de conservation de l'énergie, le pouvoir d'entrée doit être égal à la puissance de sortie (en ne supposant aucune perte dans le circuit).

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail de mémoire, nous avons exploré théoriquement et par réalisation un dispositif de conversion des énergies photovoltaïques qui est utilisé pour bien adapter la source à la charge.

Le dispositif de conversion est basé sur l'utilisation d'un circuit intégré MC34063 (Motorola Circuit), la théorie du fonctionnement des MC34063 et de montrer la dérivation des équations basiques de conception de premier ordre.

Le circuit a été choisi pour explorer une variété de solutions rentables et pratiques dans la conception des convertisseurs de commutation, un autre objectif majeur est de montrer la facilité et la simplicité dans la conception des convertisseurs de commutation.

À l'aide d'une étude énergétique du convertisseur contenant des circuits intégrés dans leurs conceptions, nous avons établi le cycle de conversion et le schéma électrique d'un convertisseur DC/DC de type Buck. Nous avons également sélectionné parmi les divers schémas conceptuels présentés par les différents laboratoires du monde de travailler avec l'un qui est basé sur le principe du régulateur de commutation.

On a par la suite, fait des recherches bibliographiques sur des notions de base concernant les systèmes photovoltaïques, les convertisseurs DC/DC pour les systèmes d'énergie solaire, les différents types de convertisseurs DC/DC. Ensuite, nous avons fait une comparaison entre les divers schémas du convertisseur abaisseur.

L'étude d'un abaisseur de tension basé sur le circuit MC34063 donne des résultats promettant, environ 90% de rendement pour un abaisseur (10V-20V) à (7.5V), et montre ainsi que la méthode de conversion proposée est intéressante et mérite d'être validée expérimentalement.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le convertisseur envisagé est bien adapté pour utiliser, en assurant l'efficacité de travail, la robustesse et le rendement.

PERSPECTIVES

Avec plus de financement (si on accepte un coût global supérieur) et fournir des études intensives et consistes pour tous les angles du sujet, on peut dire qu'il y a place à l'amélioration et pourquoi pas pour la créativité dans ce domaine. Dans l'avenir, et avec la suffisante du matériel et un bon financement nous pouvons développer notre dispositif.

Parmi les perspectives pour améliorer ce montage, on peut citer :

- 1- Choisir un autre circuit intégré convertisseur, travaillant avec une fréquence plus élevée. Avantages ? La bobine est plus petite, le rendement est plus élevé.
- 2- Choisir un 2ème MOSFET au lieu de la diode D1 (à côté de la bobine) pour diminuer la tension de seuil (0.4V pour D1)
- 3- Choisir des condensateurs électrolytiques de bonne qualité (type LOW ESR), ce qui permet d'augmenter le rendement.

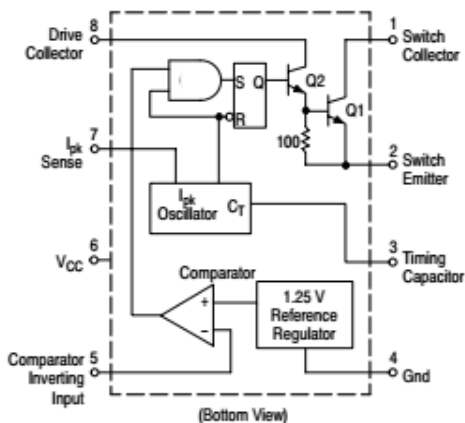
ANNEXE A

MC34063A, MC33063A, NCV33063A

1.5 A, Step-Up/Down/ Inverting Switching Regulators

The MC34063A Series is a monolithic control circuit containing the primary functions required for DC-to-DC converters. These devices consist of an internal temperature compensated reference, comparator, controlled duty cycle oscillator with an active current limit circuit, driver and high current output switch. This series was specifically designed to be incorporated in Step-Down and Step-Up and Voltage-Inverting applications with a minimum number of external components. Refer to Application Notes AN920A/D and AN954/D for additional design information.

- Operation from 3.0 V to 40 V Input
- Low Standby Current
- Current Limiting
- Output Switch Current to 1.5 A
- Output Voltage Adjustable
- Frequency Operation to 100 kHz
- Precision 2% Reference



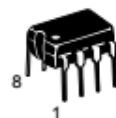
This device contains 51 active transistors.

Figure 1. Representative Schematic Diagram



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

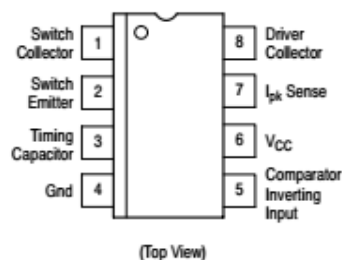


PDIP-8
P, P1 SUFFIX
CASE 626



SO-8
D SUFFIX
CASE 751

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 11 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

MC3x063A 1.5-A Peak Boost/Buck/Inverting Switching Regulators

1 Features

- Wide Input Voltage Range: 3 V to 40 V
- High Output Switch Current: Up to 1.5 A
- Adjustable Output Voltage
- Oscillator Frequency Up to 100 kHz
- Precision Internal Reference: 2%
- Short-Circuit Current Limiting
- Low Standby Current

2 Applications

- Blood Gas Analyzers: Portable
- Cable Solutions
- HMI's (Human Machine Interfaces)
- Telecommunications
- Portable Devices
- Consumer & Computing
- Test & Measurement

3 Description

The MC33063A and MC34063A devices are easy-to-use ICs containing all the primary circuitry needed for building simple DC-DC converters. These devices primarily consist of an internal temperature-compensated reference, a comparator, an oscillator, a PWM controller with active current limiting, a driver, and a high-current output switch. Thus, the devices require minimal external components to build converters in the boost, buck, and inverting topologies.

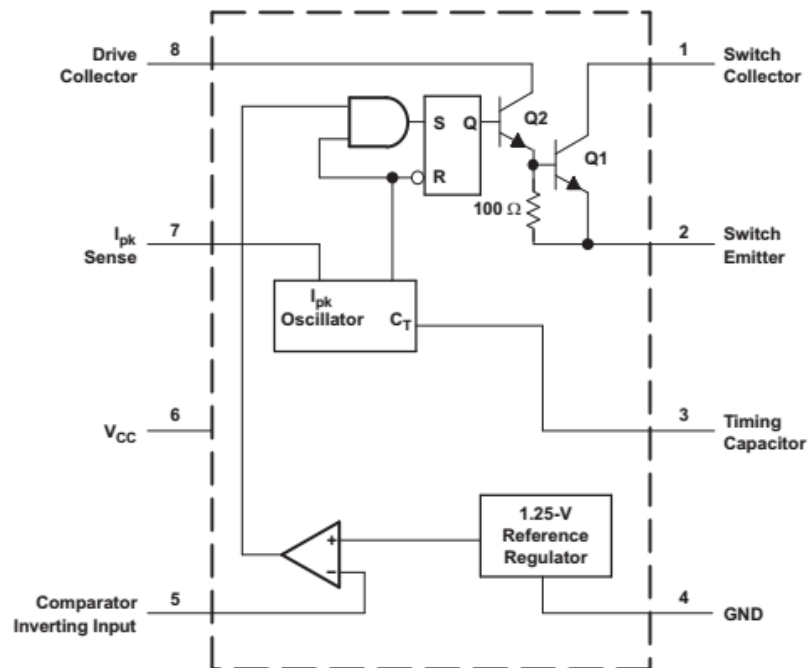
The MC33063A device is characterized for operation from -40°C to 85°C , while the MC34063A device is characterized for operation from 0°C to 70°C .

Device Information⁽¹⁾

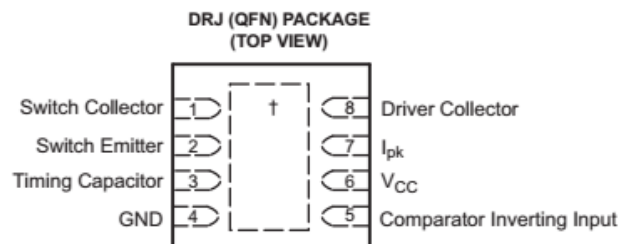
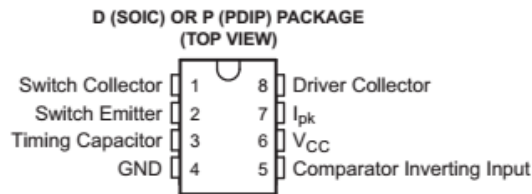
PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE
MC3x063A	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	SON (8)	4.00 mm × 4.00 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

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

4 Simplified Schematic



6 Pin Configuration and Functions



† The exposed thermal pad is electrically bonded internally to pin 4 (GND) .

Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
Switch Collector	1	I/O	High-current internal switch collector input.
Switch Emitter	2	I/O	High-current internal switch emitter output.
Timing Capacitor	3	—	Attach a timing capacitor to change the switching frequency.
GND	4	—	Ground
Comparator Inverting Input	5	I	Attach to a resistor divider network to create a feedback loop.
V_{CC}	6	I	Logic supply voltage. Tie to V_{IN} .
I_{PK}	7	I	Current-limit sense input.
Driver Collector	8	I/O	Darlington pair driving transistor collector input.

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage		40	V
V _{IR}	Comparator inverting input voltage range	-0.3	40	V
V _{C(switch)}	Switch collector voltage		40	V
V _{E(switch)}	Switch emitter voltage	V _{PIN1} = 40 V	40	V
V _{CE(switch)}	Switch collector to switch emitter voltage		40	V
V _{C(driver)}	Driver collector voltage		40	V
I _{C(driver)}	Driver collector current		100	mA
I _{SW}	Switch current		1.5	A
T _J	Operating virtual junction temperature		150	°C
T _{stg}	Storage temperature range	-65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

7.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
V _(ESD)	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins ⁽¹⁾	2500
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins ⁽²⁾	1500

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
 (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Recommended Operating Conditions

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage	3	40	V
T _A	Operating free-air temperature	MC33063A	-40	85
		MC34063A	0	70

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	MC33063A			UNIT	
	D	DRJ	P		
	8 PINS				
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	97	41	85	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report (SPRA953).

7.5 Electrical Characteristics—Oscillator

 V_{CC} = 5 V, T_A = full operating range (unless otherwise noted) (see block diagram)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A	MIN	TYP	MAX	UNIT
f _{osc}	Oscillator frequency	V _{PIN5} = 0 V, C _T = 1 nF	25	33	42	kHz
I _{chg}	Charge current	V _{CC} = 5 V to 40 V	24	35	42	μA
I _{dischg}	Discharge current	V _{CC} = 5 V to 40 V	140	220	260	μA
I _{dischg} /I _{chg}	Discharge-to-charge current ratio	V _{PIN7} = V _{CC}	5.2	6.5	7.5	—
V _{lpk}	Current-limit sense voltage	I _{dischg} = I _{chg}	250	300	350	mV

7.6 Electrical Characteristics—Output Switch

 $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A =$ full operating range (unless otherwise noted) (see block diagram)⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{CE(sat)}$	Saturation voltage – Darlington connection	$I_{SW} = 1\text{ A}$, pins 1 and 8 connected	Full range	1	1.3	V
$V_{CE(sat)}$	Saturation voltage – non-Darlington connection ⁽²⁾	$I_{SW} = 1\text{ A}$, $R_{PIN8} = 82\ \Omega$ to V_{CC} , forced $\beta \sim 20$	Full range	0.45	0.7	V
h_{FE}	DC current gain	$I_{SW} = 1\text{ A}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$	25°C	50	75	—
$I_{C(off)}$	Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$	Full range	0.01	100	μA

(1) Low duty-cycle pulse testing is used to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

(2) In the non-Darlington configuration, if the output switch is driven into hard saturation at low switch currents ($\leq 300\text{ mA}$) and high driver currents ($\geq 30\text{ mA}$), it may take up to $2\ \mu\text{s}$ for the switch to come out of saturation. This condition effectively shortens the off time at frequencies $\geq 30\text{ kHz}$, becoming magnified as temperature increases. The following output drive condition is recommended in the non-Darlington configuration:

Forced β of output switch = $I_{C,SW} / (I_{C,driver} - 7\text{ mA}) \geq 10$, where -7 mA is required by the $100\text{-}\Omega$ resistor in the emitter of the driver to forward bias the V_{be} of the switch.

7.7 Electrical Characteristics—Comparator

 $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A =$ full operating range (unless otherwise noted) (see block diagram)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{th}	Threshold voltage	25°C	1.225	1.25	1.275	V
		Full range	1.21		1.29	
ΔV_{th}	Threshold-voltage line regulation	$V_{CC} = 5\text{ V}$ to 40 V	Full range	1.4	5	mV
I_B	Input bias current	$V_{IN} = 0\text{ V}$	Full range	-20	-400	nA

7.8 Electrical Characteristics—Total Device

 $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A =$ full operating range (unless otherwise noted) (see block diagram)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A	MIN	MAX	UNIT
I_{CC}	Supply current	$V_{CC} = 5\text{ V}$ to 40 V , $C_T = 1\text{ nF}$, $V_{PIN7} = V_{CC}$, $V_{PIN5} > V_{th}$, $V_{PIN2} = \text{GND}$, All other pins open	Full range	4	mA

ANNEXE B

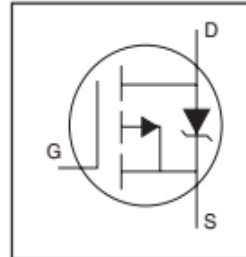
International
IR Rectifier

PD - 91280D

IRF4905

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

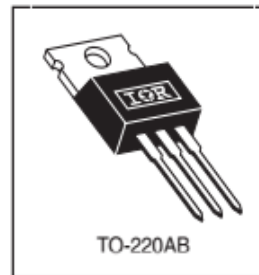


$V_{DS} = -55V$
$R_{DS(on)} = 0.02\Omega$
$I_D = -74A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-74	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-52	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	-260	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	930	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	-38	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	---	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	---	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	---	62	

ANNEXE C

NPN SILICON PLANAR MEDIUM POWER TRANSISTORS

ISSUE 2 - JULY 94

**ZTX650
ZTX651**

FEATURES

- * 60 Volt V_{CE0}
- * 2 Amp continuous current
- * Low saturation voltage
- * $P_{tot}=1$ Watt



E-Line
TO92 Compatible

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.

PARAMETER	SYMBOL	ZTX650	ZTX651	UNIT
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	80	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	45	60	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5		V
Peak Pulse Current	I_{CM}	6		A
Continuous Collector Current	I_C	2		A
Power Dissipation at $T_{amb}=25^{\circ}C$ derate above $25^{\circ}C$	P_{tot}	1 5.7		W mW/ $^{\circ}C$
Operating and Storage Temperature Range	$T_j; T_{stg}$	-55 to +200		$^{\circ}C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (at $T_{amb} = 25^{\circ}C$ unless otherwise stated).

PARAMETER	SYMBOL	ZTX650			ZTX651			UNIT	CONDITIONS.
		MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.		
Collector-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	60			80			V	$I_C=100\mu A$
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	45			60			V	$I_C=10mA^*$
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	5			5			V	$I_E=100\mu A$
Collector Cut-Off Current	I_{CBO}			0.1 10			0.1 10	μA μA μA μA	$V_{CB}=45V$ $V_{CB}=60V$ $V_{CB}=45V, T_{amb}=100^{\circ}C$ $V_{CB}=60V, T_{amb}=100^{\circ}C$
Emitter Cut-Off Current	I_{EBO}			0.1			0.1	μA	$V_{EB}=4V$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$		0.12 0.23	0.3 0.5		0.12 0.23	0.3 0.5	V V	$I_C=1A, I_B=100mA^*$ $I_C=2A, I_B=200mA^*$
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$		0.9	1.25		0.9	1.25	V	$I_C=1A, I_B=100mA^*$
Base-Emitter Turn-On Voltage	$V_{BE(on)}$		0.8	1		0.8	1	V	$I_C=1A, V_{CE}=2V^*$

ANNEXE D

Schottky barrier diode

BAT85

FEATURES

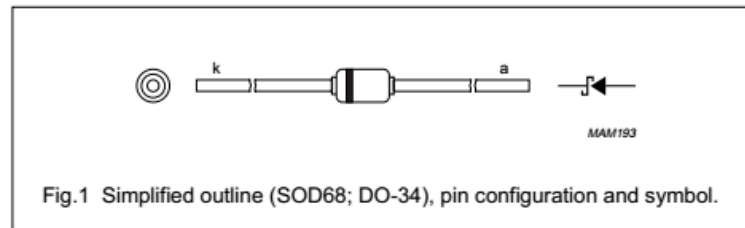
- Low forward voltage
- Guard ring protected
- Hermetically-sealed leaded glass package.

APPLICATIONS

- Ultra high-speed switching
- Voltage clamping
- Protection circuits
- Blocking diodes.

DESCRIPTION

Planar Schottky barrier diode with an integrated protection ring against static discharges, encapsulated in a hermetically-sealed subminiature SOD68 (DO-34) package. The diode is suitable for mounting on a 2 E (5.08 mm) pitch.



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_R	continuous reverse voltage		–	30	V
I_F	continuous forward current		–	200	mA
$I_{F(AV)}$	average forward current	PCB mounting, lead length = 4 mm; $V_{RWM} = 25$ V; $a = 1.57$; $\delta = 0.5$; $T_{amb} = 50$ °C; see Fig.2	–	200	mA
I_{FRM}	repetitive peak forward current	$t_p \leq 1$ s; $\delta 0.5$	–	300	mA
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	$t_p \leq 10$ ms	–	5	A
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	125	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+125	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICST_{amb} = 25 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MAX.	UNIT
V _F	forward voltage	see Fig.3 I _F = 0.1 mA I _F = 1 mA I _F = 10 mA I _F = 30 mA I _F = 100 mA	240 320 400 500 800	mV mV mV mV mV
I _R	reverse current	V _R = 25 V; see Fig.4	2	μA
t _{rr}	reverse recovery time	when switched from I _F = 10 mA to I _R = 10 mA; R _L = 100 Ω; measured at I _R = 1 mA; see Fig.6	4	ns
C _d	diode capacitance	f = 1 MHz; V _R = 1 V; see Fig.5	10	pF

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
R _{th j-a}	thermal resistance from junction to ambient	note 1	320	K/W

Note

1. Refer to SOD68 standard mounting conditions.

ANNEXE E



SK34

Technical Data
Data Sheet N0102. Rev. -

Green products

SK34 SCHOTTKY RECTIFIER

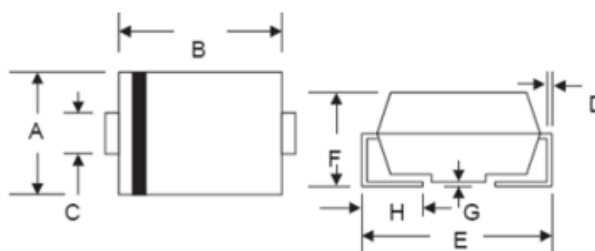
Applications:

- Switching power supply
- Converters
- Free-Wheeling diodes
- Reverse battery protection

Features:

- Schottky Barrier Chip
- Guard Ring Die Construction for Transient Protection
- High Current Capability
- Low Power Loss, High Efficiency
- High Surge Current Capability
- For Use in Low Voltage, High Frequency Inverters, Free Wheeling, and Polarity Protection Applications
- This is a Pb – Free Device
- All SMC parts are traceable to the wafer lot
- Additional testing can be offered upon request

Mechanical Dimensions (In mm/Inches)



SMC/DO-214AB				
Dim.	Min.	Max.	Min.	Max.
A	5.59	6.22	0.220	0.245
B	6.60	7.11	0.260	0.280
C	2.75	3.25	0.108	0.128
D	0.152	0.305	0.006	0.012
E	7.75	8.13	0.305	0.320
F	2.00	2.62	0.079	0.103
G	0.051	0.203	0.002	0.008
H	0.051	1.27	0.030	0.05
	In mm		In inch	

SMC

- China - Germany - Korea - Singapore - United States •
- <http://www.smc-diodes.com> - sales@smc-diodes.com •

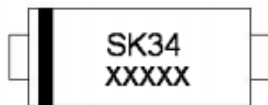


SK34

Technical Data
Data Sheet N0102. Rev. -

Green products

Marking Diagram:



Where XXXXX is YYWWL

SK34 = Part Name
YY = Year
WW = Week
L = Lot Number

Cautions: Molding resin
Epoxy resin UL:94V-0

Ordering Information

Device	Package	Shipping
SK34	SMC (Pb-Free)	3000pcs / reel

For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification.

Maximum Ratings:

Characteristics	Symbol	Condition	Max.	Units
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	-	40	V
Average Forward Current	$I_{F(AV)}$	50% duty cycle @ $T_c = 105^\circ\text{C}$ rectangular wave form	3.0	A
Peak One Cycle Non-Repetitive Surge Current	I_{FSM}	8.3 ms, half Sine pulse	75	A

- China - Germany - Korea - Singapore - United States •
- <http://www.smc-diodes.com> - sales@smc-diodes.com •



Electrical Characteristics:

Characteristics	Symbol	Condition	Max.	Units
Forward Voltage Drop*	V _{F1}	@ 3A, Pulse, T _J = 25°C	0.63	V
	V _{F2}	@ 3A, Pulse, T _J = 125°C	0.57	V
Reverse Current*	I _{R1}	@V _R = rated V _R T _J = 25°C	50	µA
	I _{R2}	@V _R = rated V _R T _J = 100°C	10	mA
Typical Junction Capacitance	C _j	@V _R = 4.0 V, T _c =25°C f _{SIG} = 1MHz	60	pF

* Pulse Width < 300µs, Duty Cycle <2%

Thermal-Mechanical Specifications:

Characteristics	Symbol	Condition	Specification	Units
Junction Temperature	T _J	-	-55 to +150	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-	-55 to +150	°C
Repetitive Peek Reverse Current	I _{RRM}	Tp=2µs F=1KHZsquare	1	A
Repetitive Peek Avalanche Power	P _{ARM}	Tp=2µs Tj=25°C	1300	W
Approximate Weight	wt	-	0.65	g
Case Style	SMC			

REFERENCES

- [1] www.connaissanecedesenergies.org/Fiche-pedagogique/solaire-photovoltaïque.
- [2] <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/photovoltaics.html>, 19.11.2010
- [3] ANNE LABOURET, MICHEL VILLOZ « Energie solaire photovoltaïque 3ème édition »
- [4] R. Lakehal « Réalisation d'un système de pilotage d'un simulateur solaire : mesures IV et extraction des paramètres » mémoire de master université de Tlemcen, Algérie, 2011.
- [5] BENGHANIMA WALID « Modélisation et commande d'une chaîne de pompage photovoltaïque » PFE Electronique 2012.
- [6] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT, juin 2007, www.itismajo.it/fff/.../Energie_solaire_photovoltaïque.pdf, consulté janv. 2014.
- [7] L. Protin, S. Astier, « Convertisseurs photovoltaïques », Techniques de l'ingénieur, Réf D3360 – Vol DAB, <http://ti.idm.fr>
- [8] www.photovoltaïque.info.
- [9] L. ABBASSEN ' Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque' Mémoire de magister, université mouloud Mammeri Tizi ouzzo, 2011.
- [10] M.F.Shraif« Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ». Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002
- [11] F.Antony, C.Durschner, K.Remmers : «Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », Institut National de l'énergie solaire, Berlin, 2006.
- [12] S.Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse de Doctorat en sciences, Université de Constantine, 2010.

- [13] [13] Julien LABBÉ, « L'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés », Thèse de Doctorat de l'école des Mines de Paris Spécialité "Énergétique", 2006.
- [14] F. Forest "Electronique de puissance basse tension, haut rendement pour les applications portables" Revue 3EI, vol. 29, (2002).
- [15] J.-P. Ferrieux and F. Forest. Alimentations à découpage { Convertisseurs à résonance. MASSON, second edition, 1994.
- [16] C. Simpson "Linear and switching voltage regulator fundamentals" National Semiconductor, Tech. Rep., (1995).
- [17] A. Oi, Design and simulation of photovoltaïque water pumping système, Thèse de Magister de l'université California, USA, Septembre 2005.
- [18] Philippe LETENNEUR, « Les alimentations électrique », 2003-2004.
- [19] M.H. Rashid, Power Electronics Handbook, Academic Press, 2001, p. 220.
- [20] J. Mahdavi, A. Emadi, and H. Toliyat, —Application of state space averaging method to sliding mode control of PWM DC/DC converters, lin proc. IEEE Ind. Application, Conf., New Orleans, USA, Oct. 1997, pp.820-827.
- [21] Antonio Luque and Steven Hegedus, «Handbook of Photovoltaic Science and Engineering», John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [22] W.Xiao, « A Modifed Adaptative Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control Method for Photovoltaic Power Systems», université de Columbia, 2003
- [23] Robert W. Erickson, —Fundamentals of Power Electronics, | Chapman& Hall, 115 Fifth Avenue, New York, NY 10003, 1997.
- [24] O. Adedamola, PhD thesis, —Analysis, Modeling and Simulation of Optimal Power Tracking of Multiple Modules of Paralleled Solar Cell Systems. Florida State University(2006).

- [25] L.Alminde, M. Bisgaard, F.Gudmundsson, C. Kejser, T. Koustrup, C.Lodberg, T.Viscor, «Power Supply for the AAU Cubesat " supervised by Prof. Gert K. Andersen, Institute of Electronic Systems University of Aalborg, Report G. 01gr509, December 20, 2001.
- [26] W. P. R. Ned Mohan, Tore M. Undeland, —Power Electronics Converters, applications and design. || Wiley (2edition), January 9, 1995.
- [27] <http://www.bcdsemi.com>
- [28] <http://www.onsemi.com/orderlit>
- [29] <http://www.linear.com>
- [30] M. Sattler, Y. Liu, and C. Edrington, —Comparison of linear and nonlinear buck converter models with varying compensator gain values for design optimization,|| in North American Power Symposium (NAPS), 2010, pp. 1–7, Sept. 2010.
- [31] Debabeche Ilyes, Heriz Walid « Etude et simulation d'un convertisseur continu-continu élévateur de tension à accumulation inductif (buck-boost)». Mémoire de Fin d'étude, Université Biskra, 2011.
- [32] Guy Chateigner, Michel Boës, Daniel Bouix, Jacques Vaillant, Daniel Verkindère « MANUEL DE GÉNIEÉLECTRIQUE » Edition Dunod.2007.
- [33] H.Mohamed « Etude et simulation d'un convertisseur continu-continu abaisseur de tension (Buck synchrone) » Mémoire de Fin d'étude, Université Biskra, 2013
- [34] Philippe Barrade « électronique de puissance- méthodologie et convertisseur élémentaires-» Édition presse électrotechniques et universitaire romandes.
- [35] Touir Ibrahim- Osmane Ali, « Etude et simulation d'un convertisseur continu continu élévateur de tension« Boost » Mémoire de Fin d'étude, Université de Biskra, 2006/2007
- [36] Digital power Converter Basics using dsPIC33 Digital Controllers