

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté des Sciences et technologie

Département d'électrotechnique

# Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN : électrotechnique

**Spécialité : Machine électrique**

Commande électrique

Par

**NOM Prénom : BOUHAMMOU Khadîdja Zineb**

**NOM Prénom : ZOUBIR Mohammed**

**Thème :**

---

**Étude et réalisation d'un convertisseur DC/DC Boost**

---

Soutenue le 22/06/2025 devant le jury composé de :

TALEB Rachid	Professeur/ UHB-Chlef	Président
MOSTEFAOUI Hakima	MCD/ UHB-Chlef	Encadreur
BOUNADJA Mohammed	Professeur / UHB-Chlef	Examinateur
DJAHBAR AbdelKader	Professeur / UHB-Chlef	Examinateur

Année Universitaire 2024-2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements

Avant tout, nous remercions الله le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la santé nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame **Dr. Mostefaoui Hakima**, pour son encadrement, ses conseils avisés et son accompagnement précieux tout au long de ce projet.

Nos remerciements s'adressent également à **Dr. Arab Mustapha**, dont le soutien constant et la contribution active ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Nous remercions sincèrement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que l'ensemble des enseignants du département d'électrotechnique pour la qualité de leur enseignement.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réussite de ce projet.

## *Dédicaces :*

*Je dédie ce travail à ceux qui occupent une place précieuse dans mon cœur*

### *À mon cher père*

*Merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'avoir guidée, protégée et aimée sans condition.*

*Tu es un exemple de force et d'amour*

*Je suis fière d'être ta fille*

### *À ma chère maman*

*Tu es mon cœur, et ma lumière. Merci pour tout ce que tu fais,*

*Pour ton amour, ta patience et ton courage.*

*Je t'aime de tout mon cœur.*

### *À mon frère, Sid Ahmed*

*À la lumière de mes jours et à leur plus belle part,*

*À celui qui m'a tendu la main dans mes faiblesses .Merci pour ta présence indéfectible.*

### *À ma belle-sœur, Férial*

*Bien plus qu'une belle-sœur : une véritable confidente.*

*Merci pour ton soutien et tout l'amour que tu partages.*

### *À ma famille*

*À Basmala, Oumaima, Manel, Ahlem, Abdelhak, Mohamed, Nasrine, Aya, à mes tantes paternelles, à ma tante, à ma sœur Fadila, et à Amir*

*Merci pour votre présence constante et votre amour.*

### *À mes chers amis*

*Douaa, Marwa, Aya , Marwa, aya*

*Merci d'avoir été à mes côtés dans les moments difficiles comme dans les instants de joie.*

*Votre amitié sincère et votre soutien sont inestimables.*

*Zineb Bouhammou*

## *Dédicaces :*

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à  
l'être le plus cher de ma vie, ma mère*

*À Mes chers frères et sœurs.*

*À tous mes amis de promotion de master 2ème année en  
électrotechnique commande électrique.*

*À toute personne qui occupe une place dans mon cœur.*

*À tous les membres de ma famille*

**MOHAMMED**

# ملخص

بفضل التقدم التكنولوجي المحقق خلال السنوات الأخيرة في مجال إلكترونيات القدرة والبرمجة المصغرة، أصبح مجال استخدام المحولات الساكنة يتوسع تدريجياً. بعض هذه التطبيقات الحديثة تتطلب أداءً ديناميكياً عالياً ومرونة كبيرة في التحكم. ولهذا السبب، يتمحور هذا العمل بجهد خرج قابل للضبط، يتم التحكم فيه بواسطة لوحة أردوينو، وذلك لاستخدامه في (Boost) حول دراسة وتصميم محول رافع للجهد العديد من التطبيقات التي تتطلب رفع الجهد المستمر مع تحكم رقمي بسيط وفعال

**الكلمات المفتاحية:** منظم PID, محول Buck, محول Boost, محول DC-DC, أردوينو

# Résumé :

Grâce aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance et de la microprogrammation, les convertisseurs statiques voient progressivement leur champ d'application s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications sont très exigeantes en matière de performances dynamiques et de flexibilité de commande. C'est pourquoi ce travail consiste à étudier et réaliser un convertisseur élévateur de tension (Boost) à tension de sortie réglable, commandé par une carte Arduino, destiné à être utilisé dans les nombreuses applications nécessitant une élévation de tension continue avec un contrôle numérique simple et efficace.

**Mots clés :** convertisseur DC-DC, convertisseur Boost, convertisseur Buck, régulateur PID, Arduino.

# Summary:

Thanks to the technological advancements achieved in recent years in the fields of power electronics and microprogramming, the scope of application of static converters has been gradually expanding. Some of these new applications are highly demanding in terms of dynamic performance and control flexibility. For this reason, the present work focuses on the study and design of a step-up (Boost) converter with adjustable output voltage, controlled by an Arduino board. This converter is intended to be used in various applications that require continuous voltage elevation with a simple and efficient digital control.

**Keywords:** DC-DC converter, Boost converter, Buck converter, PID controller, Arduino.

# Sommaire:

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>16</b>
-----------------------------------	-----------

## **Chapitre I : Des Généralités sur Les Convertisseurs DC/DC**

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
---------------------------	----------

<b>I.1. Exigences de l'utilisateur.....</b>	<b>3</b>
---------------------------------------------	----------

<b>I.3. Etude des convertisseurs classiques en mode de conduction continue .</b>	<b>4</b>
----------------------------------------------------------------------------------	----------

<b>I.4. Convertisseur élévateur (Boost) .....</b>	<b>4</b>
---------------------------------------------------	----------

I.5.1. Principe de fonctionnement.....	5
----------------------------------------	---

I.5.2. Formes d'ondes des courants et des tensions .....	6
----------------------------------------------------------	---

I.5.3. Applications de l'hacheur boost.....	7
---------------------------------------------	---

<b>I.5. Hacheur Buck (série) .....</b>	<b>8</b>
----------------------------------------	----------

I.6.1. Principe de fonctionnement.....	8
----------------------------------------	---

I.6.2. Formes d'ondes des courants et des tensions .....	10
----------------------------------------------------------	----

I.6.3. Tension moyenne aux bornes de L.....	10
---------------------------------------------	----

I.6.4. Applications d'un hacheur Buck .....	11
---------------------------------------------	----

<b>I.7. Hacheur série-parallèle (Buck-Boost).....</b>	<b>11</b>
-------------------------------------------------------	-----------

I.7.1. Principe de fonctionnement.....	12
----------------------------------------	----

I.7.2. Applications d'un hacheur (Buck-boost) .....	14
-----------------------------------------------------	----

<b>I.8. Hacheur Cuk .....</b>	<b>14</b>
-------------------------------	-----------

I.8.1. Principe de fonctionnement.....	14
----------------------------------------	----

Applications.....	16
-------------------	----

<b>I.9. Hacheur SEPIC .....</b>	<b>16</b>
---------------------------------	-----------

I.9.1. Principe de fonctionnement.....	17
----------------------------------------	----

<b>I.10. Rendement du convertisseur statique.....</b>	<b>19</b>
-------------------------------------------------------	-----------

<b>I.11. Conclusion .....</b>	<b>19</b>
-------------------------------	-----------

## **Chapitre II : Simulation D'un Hacheur Boost**

<b>II.1. Introduction.....</b>	<b>22</b>
--------------------------------	-----------

## Chapitre III:

---

<b>II.2.</b>	<b>Dimensionnement d'hacheur.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3.</b>	<b>Dimensionnement de l'hacheur Boost .....</b>	<b>22</b>
II.3.1.	Cahier de charges .....	22
II.3.2.	Etude Analytique de convertisseur Boost .....	23
	Reprenons le montage suivant :.....	23
II.3.2.1.	Équations de commutation .....	23
II.3.3.	Calcul du courant de sortie et d'entrée.....	26
II.4.3.	Calcul du rapport cyclique .....	27
II.4.4.	Détermination de la valeur de l'inductance L .....	27
II.4.5.	Détermination de la valeur de capacité C .....	27
<b>II.4.</b>	<b>Cellule de commutation.....</b>	<b>27</b>
II.4.1.	Choix de la diode D.....	27
II.4.2.	Choix de l'interrupteur K .....	28
<b>II.5.</b>	<b>Simulation sous Matlab/Simulink .....</b>	<b>30</b>
II.5.1.	Hacheur Boost .....	31
II.5.1.1.	Schéma bloc.....	31
II.5.1.2.	Résultats de simulation .....	31
II.5.1.3.	Etude de l'effet de la variation de l'inductance .....	32
II.5.1.4.	Etude de l'effet de la variation de rapport cyclique.....	33
II.5.1.5.	Etude de l'effet de la variation de résistance.....	34
<b>II.8.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>

### Chapitre III: Réalisation pratique du convertisseur Boost

<b>III. 1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>37</b>
<b>III. 2</b>	<b>Réalisation pratique du convertisseur Boost .....</b>	<b>37</b>
III.2. 1	Description du montage expérimental.....	37
III.2. 2	Bloc de Arduino .....	38
III.2.2.1.	La carte Arduino UNO.....	38
III.2.2.2.	Plateforme de programmation Arduino.....	39
III.2.2.3.	Structure d'un programme.....	40
<b>III.2.2.4.</b>	<b>Réalisation pratique .....</b>	<b>41</b>
III.2.2.5.	Le code de programmation de la carte Arduino .....	41
III.2. 3	Bloc de Driver (IR2113).....	44
III.2. 4	Le bloc de puissance.....	45
<b>III. 3</b>	<b>Étapes de montage .....</b>	<b>46</b>
III.3. 1	Choix des composants de la carte .....	46
III.3.1. 1	Transistor MOSFET .....	46
III.3.1. 2	Diode de puissance.....	46
III.3.1. 3	Capacité de filtrage.....	46
III.3.1. 4	Inductance de lissage du courant.....	46
<b>III. 4</b>	<b>Dimensionnement de la bobine.....</b>	<b>47</b>
III.4. 1	Dimensionnement de la bobine .....	47
III.4. 2	Calcul de l'intensité maximale admissible.....	48
III.4. 3	Paramètres dimensionnels d'un circuit magnétique .....	49
<b>III. 5</b>	<b>Schéma électrique de simulation de l'hacheur Boost réalisé sous ISIS..</b>	<b>50</b>
III.5. 1	Circuit électrique de l'hacheur .....	50
III.5. 2	Circuit électrique complet de l'hacheur .....	51
III.5. 3	Réalisation du l'hacheur sur la plaque d'essai .....	51
<b>III. 6</b>	<b>Réalisation de l'hacheur sur la place PCB.....</b>	<b>53</b>
III.6. 1	Dessin sur l'logiciel ARES .....	53
III.6. 2	Montage réalisé.....	54
<b>III. 7</b>	<b>Résultats expérimentaux .....</b>	<b>54</b>
III.7. 1	Effet de la variation du rapport cyclique.....	55
<b>III. 8</b>	<b>Comparaison avec les simulations et réalisation pratique .....</b>	<b>57</b>

**III. 9 Conclusion ..... 57**

**Conclusion générale ..... 58**

## Liste des Figures :

Figure I.1 : Symbole d'un convertisseur DC/DC	3
Figure I.2 : Schéma d'un hacheur boost.	4
Figure I.3: Schéma du Boost (S fermé).	5
Figure I.4 : Schéma du Boost (S ouvert).:	5
Figure I.5 : Formes d'ondes des courants et des tensions.	7
Figure I.6: Schéma d'un hacheur série.	8
Figure I.7: Convertisseur Buck à l'état passant.	9
Figure I.8: Convertisseur Buck à l'état bloqué.	9
Figure I.9 : Formes d'ondes du (courant et de la tension dans un hacheur Buck	10
Figure I.10 : Schéma d'un hacheur Buck-boost	11
Figure I.11: Schéma du Buck-Boost S fermé	12
En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient les équations suivantes :	12
Figure I.12 :Schéma du Buck-Boost S ouvert.	13
Figure I.13 : Schéma d'un hacheur Cuk.	14
Figure I.14: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Cuk.	15
Figure I.15 : Circuit équivalent du cuk quand l'interrupteur est fermé.	15
Figure I.16: Circuit équivalent du Cuk quand l'interrupteur est ouvert.	16
Figure I.17: Schéma de principe du hacheur SEPIC.	17
Figure I.18: Circuit équivalent du Sepic quand l'interrupteur est fermé.	17
Figure I.19: Circuit équivalent du SEPIC quand l'interrupteur est ouvert.	18
Figure I.20: Formes d'ondes de tensions d'un convertisseur SEPI Applications :	18
Figure II.1 : Schéma du convertisseur Boost	23
Figure II.2 : Circuit convertisseur boost en mode interrupteur ON.	24
Figure II.3 : Circuit convertisseur boost en mode interrupteur OFF.	25
Figure II.4 : <i>La diode.</i>	28
Figure II.5: Diagramme puissance-fréquence des composants.	29
Figure II.6 : Symbole de transistor –MOSFET "IRF830N".	29
Figure II.6 : Schéma de base d'un convertisseur Boost.	31
Figure II.7 Formes d'onde de tension et de courant de l'hacheur Boost simulé sous Simulink.	31
Figure II.8 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost	32
Figure II.9 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost	32
Figure II.10 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost	33
Figure II.11 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost.	33
Figure II.12 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost	34
Figure II.13 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost	34
Figure II.14 : Carte Arduino UNO.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure II.14 : Interface plateforme de programmation ARDUINO.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure II.16 : Schéma de génération de signal PWM	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure II.17 : Confirmation du signal PWM 40 kHz sur la broche 9	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure II.18 : Génération d'un signal PWM de 40KHz avec Arduino UNO	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure II.19 : Visualisation le signal MLI (PMW) avec oscilloscope.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure III.1 : Schéma bloc d'un hacheur boost.	37
Figure III.2 : Carte Arduino UNO.	38

## Liste des Figures

---

Figure III.3 : Interface plateforme de programmation ARDUINO.	40
Figure III.4 : Schéma de génération de signal PWM	41
Figure III.5 : Confirmation du signal PWM 40 kHz sur la broche 9	43
Figure III.6: Génération d'un signal PWM de 40KHz avec Arduino UNO	43
Figure III.7 : Visualisation le signal MLI (PMW) avec oscilloscope.	44
Figure III.8 : driver de puissance IR2113 (voire l'annexe)	44
Figure III.10: Photos des composant de la carte de puissance.	47
Figure III.11: Circuit magnétique d'une bobine.	49
Figure III.12 : Circuit de l'hacheur Boost sur ISIS.	50
Figure III.13 : Circuit complet du l'hacheur Boost sur ISIS.	51
Figure III.14 : Circuit complet d'hacheur sur la place d'essai.	52
Figure III.15 : Schéma du montage réel sur la plaque d'essai.	52
Photo 3D coté composent.	53
Photo 3D coté piste cuivré.	53
Figure III.16: Photo de la carte 3D des composent de l'hacheur .	54
Figure III.17 : Photo de l'hacheur Boost réalisé sur le circuit imprimé.	54
Figure III.18: Photo représenté l'essai de l'hacheur.	55
Figure III.19 : Courbe de tensions12V	55
Figure III.20 : Courbe de tensions17V.	56
Figure III.21 : Courbe de tensions24V	56

## *Liste des tableaux*

Tableau I.1: Rendement des convertisseurs DC-DC.....	19
Tableau II.1 : Caractéristiques de diode "Sr5020".....	28
Tableau II.2 : Caractéristiques de de transistor-MOSFET "IRF830N".....	30
Tableau III.1 : Relation entre fréquence, épaisseur de peau et courants efficaces.....	48
Tableau III.2 : Résumé des tests de la variation du rapport cyclique.....	57

## Liste des symboles et abréviation

**$\alpha$**  : rapport cyclique

**F** : fréquence

**T** : période

**$\mu$**  : Rendement

**P** : Puissance (W)

**U** ou **V** : Tension (V)

**V<sub>e</sub>** : Tension d'entrée

**V<sub>s</sub>** : Tension de sortie

**$\Delta v_s$**  : L'ondulation de la tension de sortie.

**V<sub>D</sub>**: tension ou borne de diode.

**I**: Courant (A)

**I<sub>min</sub>**: La valeur minimale du courant dans l'inductance.

**I<sub>max</sub>**: La valeur maximale du courant dans l'inductance.

**i<sub>L</sub>**: Le courant dans l'inductance.

**$\Delta i_L$** : L'ondulation du courant dans l'inductance.

**i<sub>s</sub>**: Le courant de sortie

**i<sub>e</sub>**: Le courant d'entrée

**I<sub>cc</sub>** : courant de court-circuit

**DC** : Courant Continu (Direct Current)

**CCM** : Mode de fonctionnement continu

**DCM** : Mode de fonctionnement discontinu

**PWM** : Pulse Width Modulation

## Liste des symboles et abréviation

---

**MLI** : Modulation de Largeur d'Impulsion

**UNO** : La carte Arduino

**ADC** : Analog-to-Digital Convert

# **Introduction Générale**

# Introduction générale

À l'ère de la transition énergétique et de la révolution technologique, les convertisseurs statiques DC-DC occupent une place importante dans le domaine de l'électrotechnique, en raison de leur rôle essentiel dans la gestion et la conversion de l'énergie électrique. Ces dispositifs, qui permettent de transformer une tension continue en une autre tension continue de niveau différent, sont devenus indispensables dans de nombreuses applications modernes, notamment les énergies renouvelables (systèmes photovoltaïques, éoliens), les véhicules électriques, l'électronique portable, les systèmes embarqués et les réseaux intelligents.

Les évolutions récentes en électronique de puissance, combinées à l'essor des microcontrôleurs et des techniques de microprogrammation, ont permis d'améliorer considérablement les performances de ces convertisseurs, en termes de rendement énergétique, de stabilité de la tension de sortie, de compacité et de flexibilité de commande. Ces progrès ont également ouvert la voie à des solutions innovantes pour répondre aux besoins croissants de systèmes électriques fiables, efficaces et adaptables.

Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte dynamique et se focalise sur l'étude, la conception et la réalisation pratique d'un convertisseur élévateur de tension, ou convertisseur Boost, à sortie réglable, piloté par une carte Arduino. Le convertisseur Boost, capable d'élever une tension d'entrée continue à un niveau supérieur, est particulièrement pertinent pour des applications nécessitant une adaptation précise des niveaux de tension, comme l'alimentation de dispositifs électroniques ou l'intégration de sources d'énergie renouvelables à des charges spécifiques.

L'utilisation d'une carte Arduino pour la commande numérique, via la modulation de largeur d'impulsion (PWM), simplifie la conception tout en offrant une grande flexibilité dans le réglage de la tension de sortie. L'objectif principal de ce travail est de concevoir un système robuste et performant, capable de fournir une tension de sortie stable et réglable, tout en respectant les contraintes imposées par un cahier des charges précis, notamment en termes de puissance, de fréquence de commutation et de rendement.

**Ce mémoire** est structuré en trois chapitres complémentaires, chacun abordant une étape clé du processus de développement. Le premier chapitre propose une étude théorique approfondie des **convertisseurs DC/DC non isolés**, détaillant leurs principes de fonctionnement, leurs

## Introduction générale

---

topologies (Boost, Buck, Buck-Boost, Cuk, SEPIC), leurs applications pratiques et leurs performances comparatives, notamment en termes de rendement.

Le deuxième chapitre se concentre sur le dimensionnement et la simulation d'un convertisseur Boost à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink. Cette étape permet de valider les calculs théoriques, d'analyser l'impact des paramètres clés (inductance, capacité, rapport cyclique) et de garantir la faisabilité du système avant sa mise en œuvre pratique. Enfin, le troisième chapitre, dédié à la **réalisation**, décrira l'aspect expérimental du convertisseur, en détaillant le montage sur plaque d'essai et sur circuit imprimé (PCB), les tests effectués, ainsi qu'une comparaison entre les résultats expérimentaux et les simulations.

Ce travail vise à démontrer la viabilité technique d'un convertisseur Boost commandé par Arduino, tout en mettant en lumière les **défis techniques rencontrés** (gestion des pertes, effets parasites, optimisation des composants) ainsi que les **solutions proposées** pour répondre aux exigences du projet.

En conclusion, ce mémoire apporte une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration des convertisseurs DC/DC, en alliant une approche théorique rigoureuse, des simulations numériques approfondies et une mise en œuvre pratique. Il s'adresse aux chercheurs, ingénieurs spécialisés en électronique de puissance, et aux étudiants souhaitant approfondir leurs connaissances sur la conception et la commande de systèmes électrotechniques modernes.

# Chapitre I

*Des Généralités sur*

*Les Convertisseurs DC/DC*

## Introduction

Dans ce chapitre, nous avons examiné les structures fondamentales des convertisseurs statiques de DC/DC non isolés, en observant le principe de fonctionnement du convertisseur classique.

Les hacheurs sont des dispositifs de conversion statique qui permettent d'obtenir une tension continue stable, avec une efficacité proche de la perfection. Ils remplissent la même fonction que les transformateurs en courant alternatif.

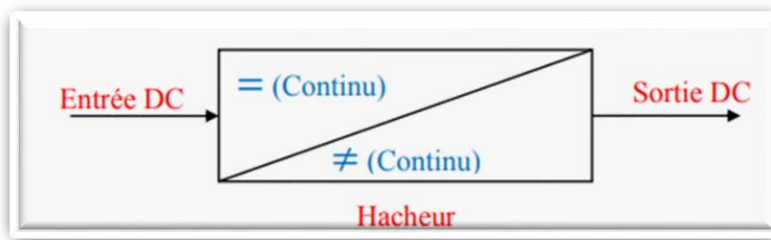


Figure I.1 : Symbole d'un convertisseur DC/DC

### I.1. Exigences de l'utilisateur

La fonction essentielle d'un convertisseur DC-DC : d'une part adapter la forme de L'énergie aux besoins d'une charge (typiquement en transformant une tension en une tension Continue et/ou en modifiant le niveau de la tension) et d'autre part stabiliser ce flux d'énergie En filtrant autant que possible les fluctuations de la source.

Dans le principe, assurer ces deux fonctions n'est pas excessivement complexe : Fabriquer une alimentation élémentaire demande un nombre de composants relativement Réduit. [1]

Mais l'utilisateur privé ou professionnel a beaucoup d'autres exigences. Idéalement, un convertisseur doit en effet :

1. Délivrer une ou souvent plusieurs tensions parfaitement continues, éventuellement Ajustables et stables quel que soit le courant demandé ;
2. Posséder un rendement élevé ;
3. Présenter un niveau de sécurité élevé, notamment en répondant aux normes d'isolation Entre l'utilisateur et le réseau ;
4. Posséder une fiabilité élevée relativement à la durée de vie de l'application, encre compris La résistance aux contraintes de l'environnement (vibrations, température, humidité, etc...) ;
5. Ne pas être une source de perturbations pour le réseau électrique amont ou les Équipements environnants ni être trop sensible aux perturbations émanant de ceux-ci

(Compatibilité électromagnétique) ;

6. Être la plus petite et la plus légère possible ;
7. Et bien entendu être de préférence peu coûteuse.

### I.3. Etude des convertisseurs classiques en mode de conduction continue

Il existe cinq structures principales de convertisseurs continu-continu non isolés sont les suivants :

- a) Convertisseur Boost (hacheur élévateur)
- b) Convertisseur Buck (hacheur abaisseur)
- c) Convertisseur Buck-Boost (hacheur à stockage inductif)
- d) Convertisseur Cuk (hacheur à stockage capacitif abaisseur-élévateur-inverseur)
- e) Convertisseur Sepic (hacheur capacitif abaisseur-élévateur)

Dans l'étude des convertisseurs, on a généralement recours à des calculs de valeurs moyennes en présumant que les tensions restent constantes pour déterminer les courants et vice versa, en supposant que les courants demeurent constants pour calculer les tensions. [2]

### I.4. Convertisseur élévateur (Boost)

Le convertisseur Boost permet d'élever la tension d'entrée grâce à son principe de stockage et de relâchement d'énergie via une inductance [4]. La Figure I.2 illustre son schéma de principe.

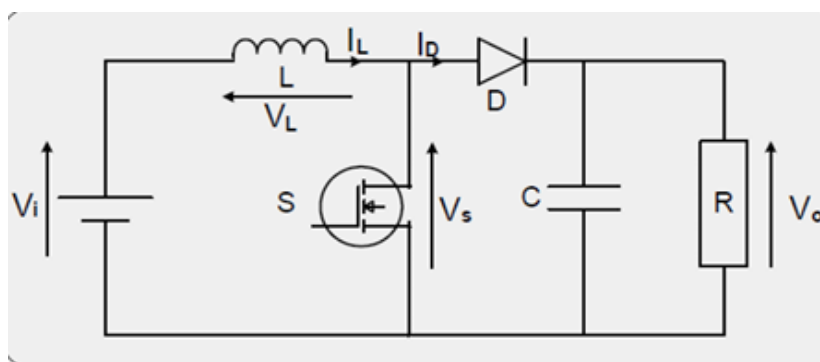


Figure I.2 : Schéma d'un hacheur boost.

### I.5.1. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de l'hacheur survolteur sera scindé en deux étapes différentes en fonction de l'état de l'interrupteur k :

- Pour  $0 < t < \alpha T$  l'interrupteur est fermé ( $S=1$ ) où le courant  $i_L$  est à l'instant initial. Pendant cet intervalle le courant traversant l'inductance augmente.

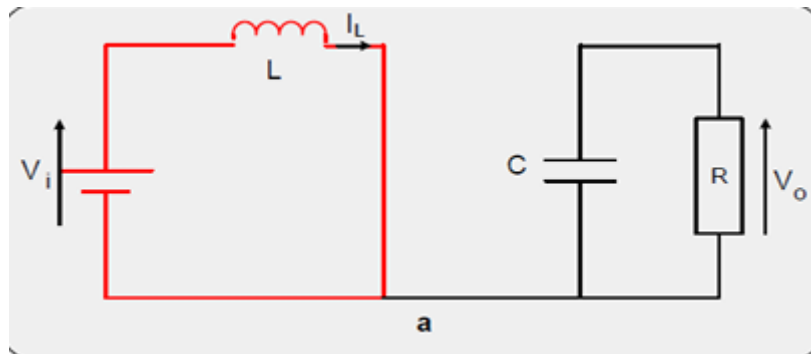


Figure I.3: Schéma du Boost (S fermé).

En appliquant la loi de Kirchhoff des tensions,

On obtient :

$$V_i = L \frac{di}{dt} \text{ d'où } i(t) = I_{min} + \frac{V_i}{L} t$$

A l'instant  $t = \alpha T$  le courant dans l'inductance atteint la valeur crête :

$$I_{MAX} = I_{min} + \frac{V_i}{L} t \quad (I.1)$$

Pour,  $\alpha T < t < T$  l'interrupteur est ouvert ( $S=0$ ), et le courant de l'inductance diminue car l'énergie accumulée dans l'inductance  $L$  sera transférée à la capacité et la charge.

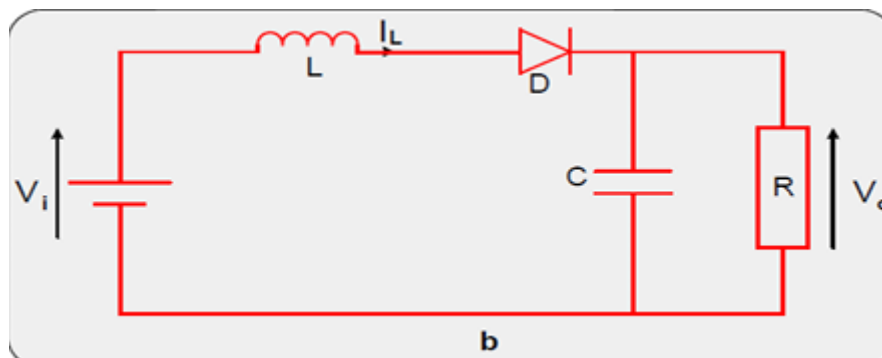


Figure I.4 : Schéma du Boost (S ouvert):.

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient les équations suivantes :

$$L \frac{di_L}{dt} = V_i - V_0$$

Donc :

$$I(t) = I_{\text{Max}} - \frac{V_0 - V_i}{L} \cdot (t - \alpha T)$$

A l'instant  $t = T$  le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

Calcul de  $i_{L\text{min}}$  :

$$I_{L\text{min}} = I_{L\text{Max}} - \frac{V_0 - V_i}{L} (1 - \alpha) \quad (\text{I.2})$$

Soit  $\Delta I$  l'ondulation du courant dans l'inductance :

$$\Delta I = I_{\text{max}} - I_{\text{min}}$$

De l'équation (I-2) on tire :

$$\Delta I = \frac{V_i}{L} \alpha T \quad (\text{I.3})$$

Et de l'équation (I-2) on tire :

$$\Delta I = \frac{V_0 - V_i}{L} (1 - \alpha) T \quad (\text{I.4})$$

En combinant les équations (I-3) et (I-4) on peut établir l'expression de la tension de sortie  $V_0$

$$V_0 = \frac{V_i}{(1 - \alpha)} \quad (\text{I.5})$$

### I.5.2. Formes d'ondes des courants et des tensions

On constate que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que de la tension d'entrée et du rapport cyclique  $\alpha$ . Celui-ci étant toujours compris entre 0 et 1, le convertisseur est toujours élévateur de tension.

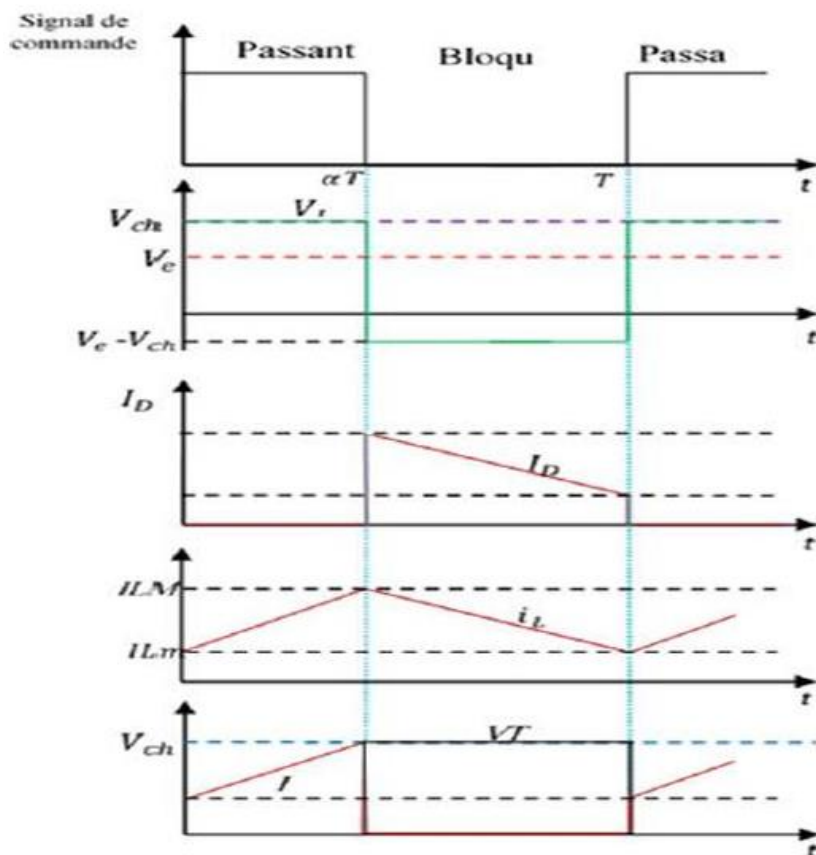


Figure I.5 : Formes d'ondes des courants et des tensions.

Le diagramme présente le fonctionnement périodique d'un hacheur boost. Quand l'interrupteur est fermé, l'inductance stocke de l'énergie, provoquant une hausse du courant et une tension équivalente à  $V_e$ . Quand l'interrupteur s'ouvre, l'énergie emmagasinée dans l'inductance se transmet à la charge, ce qui fait augmenter la tension de sortie au-delà de  $V_e$ . Le courant présente une fluctuation en forme de dent de scie, typique du mode de fonctionnement en continu.

### I.5.3. Applications de l'hacheur boost

Le hacheur boost est utilisé dans plusieurs applications, notamment :

- Alimentation à découpage : Conversion DC/DC pour augmenter la tension (ex. chargeurs de batterie, alimentation de LED).
- Énergies renouvelables : Adaptation de la tension des panneaux solaires ou des piles à combustible aux besoins des convertisseurs.
- Véhicules électriques : Augmentation de la tension du bus DC pour améliorer l'efficacité des moteurs électriques.

- Aérospatial et ferroviaire : Régulation des tensions dans les systèmes embarqués à courant continu.

### I.5. Hacheur Buck (série)

Après avoir étudié le convertisseur Boost, nous allons maintenant examiner le convertisseur Buck. Un convertisseur Buck est un convertisseur DC-DC qui convertit une tension continue en une autre tension continue d'une valeur plus faible que celle d'entrée. Le schéma général d'un hacheur série est donné dans la figure I.6

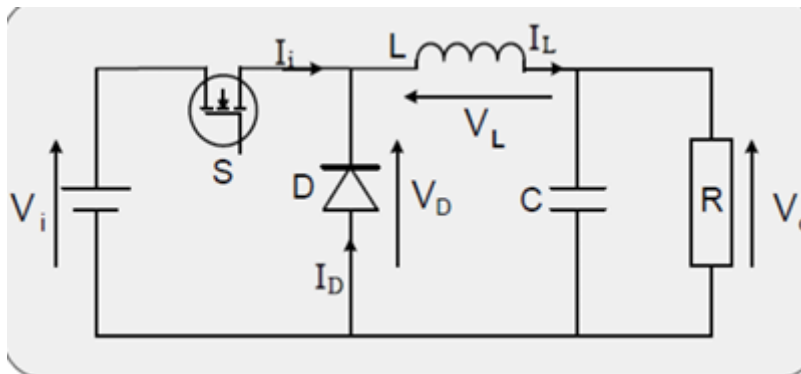


Figure I.6: Schéma d'un hacheur série.

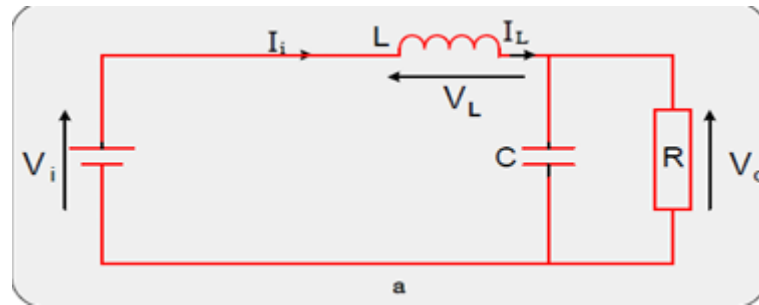
L'interrupteur  $S$  peut être remplacé par un transistor MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), thyristor...etc, puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage). C'est un convertisseur qui donne en sortie une tension plus petite que celle de l'entrée [6].

La charge est constituée d'une résistance. Les éléments  $L$  et  $C$  forment un filtre dont le but est de limiter l'ondulation résultante du découpage sur la tension et le courant de sortie.

Le fonctionnement du circuit hacheur Buck peut se diviser en deux configurations selon l'état de l'interrupteur  $S$  : l'état passant quand l'interrupteur est fermé et l'état bloqué quand l'interrupteur est ouvert.

#### I.6.1. Principe de fonctionnement

- Pour  $0 < t < \alpha T$  l'interrupteur est fermé ( $S=1$ ) un courant circule dans le circuit, mais aucun courant ne passe pas dans la diode  $D$  puisqu'elle est polarisée en inverse. Le courant  $i_L$  augmente linéairement avec un taux d'accroissement imposé par l'inductance  $L$  [7,8]



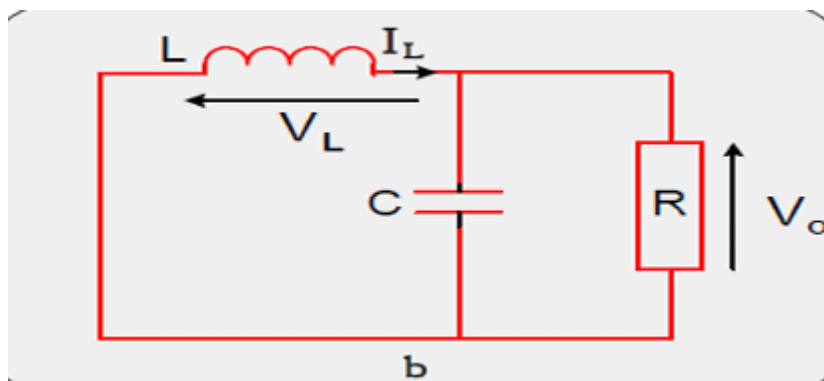
**Figure I.7: Convertisseur Buck à l'état passant.**

Dans l'état passant, l'interrupteur S est fermé (Figure I.7), la tension de sortie vaut :

$$V_0 = V_i - V_L \quad (\text{I.6})$$

Le courant traversant l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de la diode étant négative, aucun courant ne la traverse.

- Pour,  $\alpha T < t < T$  l'interrupteur est ouvert ( $S=0$ ), Durant cet intervalle le courant de l'inductance  $i_L$  diminue (l'énergie accumulée dans l'inductance L est transférée à la capacité et la charge).

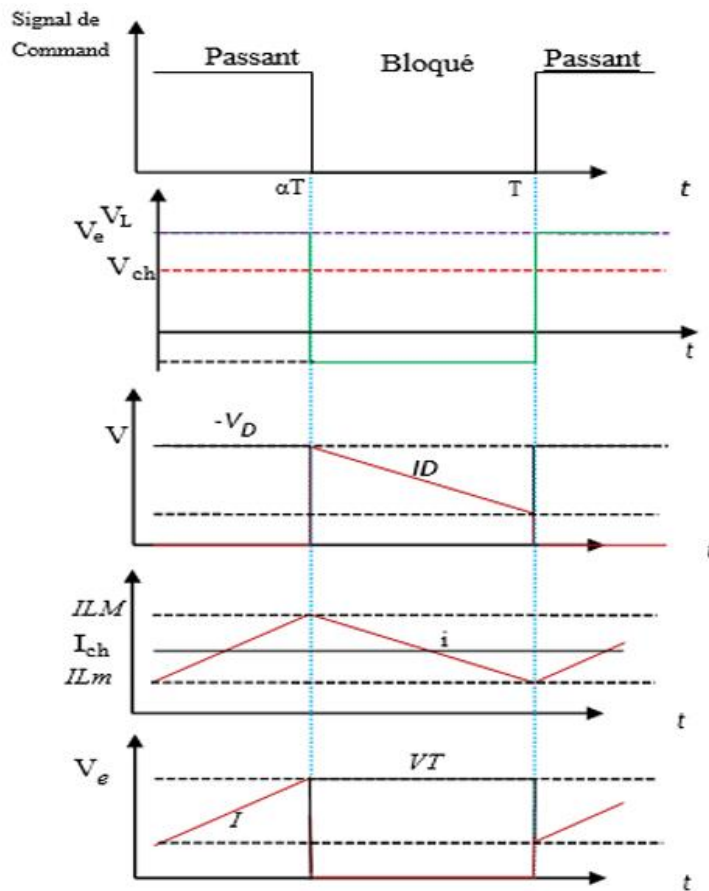


**Figure I.8: Convertisseur Buck à l'état bloqué.**

Dans l'état bloqué, l'interrupteur S est ouvert (Figure I.8). La diode devient passante afin d'assurer la continuité du courant dans l'inductance. La tension de sortie vaut :

$$V_0 = -V_L \quad (\text{I.7})$$

## I.6.2. Formes d'ondes des courants et des tensions



**Figure I.9 : Formes d'ondes du (courant et de la tension dans un hacheur Buck**

Le chronogramme montre le fonctionnement d'un hacheur Buck, qui réduit la tension d'entrée  $V_E$ . Lorsque l'interrupteur est fermé, l'inductance stocke de l'énergie et la tension de sortie  $V_S$  suit  $V_E$ . Lorsque l'interrupteur s'ouvre, l'inductance restitue son énergie à la charge, maintenant  $V_S$  à une valeur inférieure à  $V_E$ . Le courant  $i_L$  varie en dents de scie, caractéristique du mode continu.

## I.6.3. Tension moyenne aux bornes de L

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L dt$$

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} (V_I - V_0) dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (-V_0) dt$$

$$V_{Lmoy} = \alpha(V_I - V_0) + (1 - \alpha)V_0$$

En régime permanent la tension moyenne aux bornes de l'inductance L est nulle :

$$\begin{aligned}\alpha(V_I - V_0) + (1 - \alpha)V_0 &= 0 \\ \rightarrow \frac{V_0}{V_I} &= \alpha\end{aligned}\quad (\text{I.8})$$

$\alpha$ : est le rapport cyclique, sa valeur est comprise entre 0 et 1

L'équation (I-8) montre que la tension de sortie est toujours inférieure ou égale à la tension de sortie. Ce qui justifie la fonction (abaisseur) de ce convertisseur.

### I.6.4. Applications d'un hacheur Buck

L'emploi d'un diviseur de tension est la méthode la plus facile pour diminuer une tension, cependant, les diviseurs de tension présentent divers désavantages : Dissipation par le biais de chaleur, un rendement faible qui est un obstacle pour les applications.

En l'électronique de puissance, Un convertisseur Buck offre une grande efficacité (jusqu'à 95 %) et permet d'ajuster la tension de sortie. Il est donc idéal pour les applications d'électronique de puissance, comme l'adaptation de (12-24) V d'une batterie d'ordinateur portable aux quelques volts nécessaires au processeur.

### I.7. Hacheur série-parallèle (Buck-Boost)

Un convertisseur Buck-boost est un dispositif de conversion de puissance capable de délivrer une tension inférieure ou supérieure à celle présente en entrée. Toutefois, une des limites de ce type de convertisseur réside dans le fait que son interrupteur n'est pas connecté au point zéro, ce qui complexifie son contrôle.

La figure (I.10) ci-dessous présente le modèle général d'un hacheur série-parallèle.

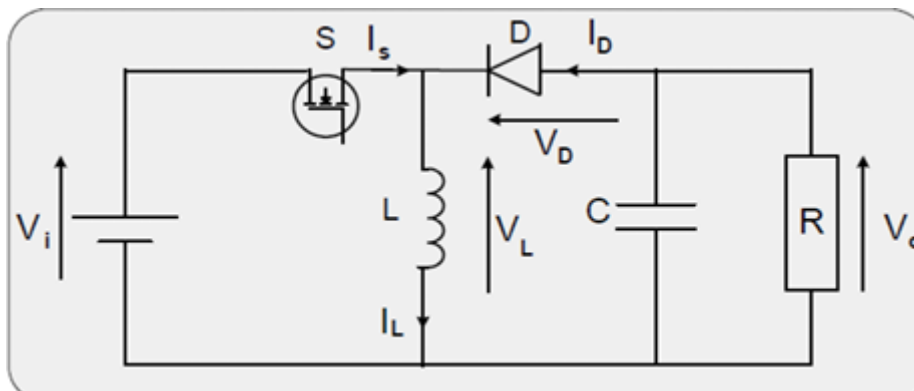


Figure I.10 : Schéma d'un hacheur Buck-boost

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

### I.7.1. Principe de fonctionnement

- Pour  $0 < t < \alpha T$  l'interrupteur est fermé ( $S=1$ ) et durant cette période, le courant  $i_L$  qui traverse l'inductance L augmente.

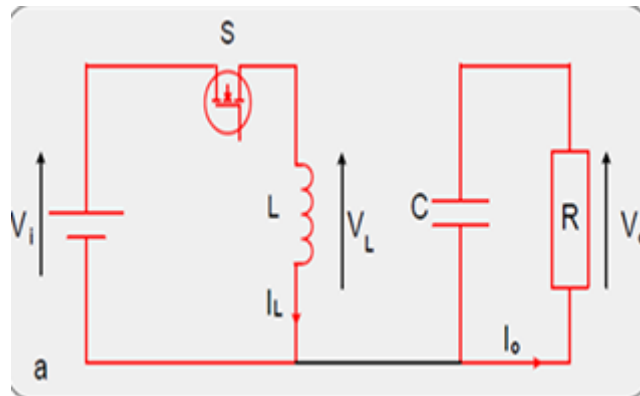


Figure I.11: Schéma du Buck-Boost S fermé

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient les équations suivantes :

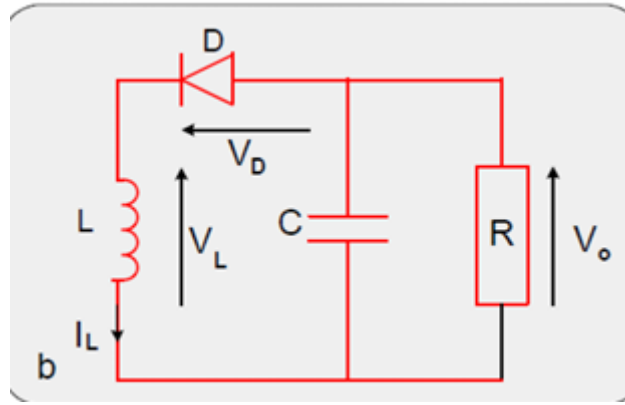
$$L \frac{di_L}{dt} = V_i \quad (I.9)$$

$$C \frac{dV_C}{dt} = -\frac{v_o}{R} \quad (I.10)$$

- Pour  $\alpha T < t < T$  l'interrupteur est ouvert ( $S=0$ ) l'inductance L est reliée à la charge et à la capacité. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance L vers la capacité C et la charge R.

En comparant le convertisseur Buck-Boost aux convertisseurs Buck et boost, les principales différences sont :

- La tension de sortie est de polarité inverse par rapport à celle d'entrée.



**Figure I.12 :Schéma du Buck-Boost S ouvert.**

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient les équations suivantes (1.9) et (1.10) :

$$L \frac{di_L}{dt} = V_I + V_0 \quad (1.11)$$

$$C \frac{dv_C}{dt} = -i_L - \frac{V_0}{R} \quad (1.12)$$

Le modèle rassemblant les deux cas :

$$L \frac{di_L}{dt} = kV_I + (1 - K)V_0 \quad (1.13)$$

$$C \frac{dv_C}{dt} = -(1 - K)i_L - \frac{V_0}{R} \quad (1.14)$$

Le modèle mathématique du convertisseur Buck-Boost est décrit par les équations suivantes (1.14) :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = K \frac{1}{L} V_E + \frac{1}{L} (1 - K) V_S \\ \frac{dv_C}{dt} = -\frac{1}{C} (1 - K) i_L - \frac{V_S}{RC} \end{cases} \quad (1.15)$$

Le convertisseur Buck-Boost est caractérisé par trois modes de fonctionnement distincts : la conduction continue où le courant  $i_L$  ne s'interrompt pas, et une conduction critique où le courant vient à s'interrompre.

De manière intermittente, et un passage discontinu où le courant  $i_L$  adopte une valeur zéro sur une période non nulle.

### I.7.2. Applications d'un hacheur (Buck-boost)

Ce dispositif adapte la tension d'entrée (amplification, atténuation ou inversion de polarité), parfait pour les systèmes qui requièrent une gestion énergétique flexible. Applications majeures :

- Dispositifs fonctionnant sur batterie.
- Énergies vertes.
- Systèmes industriels et spatiaux.
- Éclairage à diodes électroluminescentes.
- Véhicules propulsés par l'électricité.
- Dispositifs IoT et appareils portables.

### I.8. Hacheur Cuk

Le convertisseur Cuk tire son nom de son créateur. Ce convertisseur est capable de fournir une tension de sortie supérieure ou inférieure à celle d'entrée. En utilisant un condensateur pour le stockage, il génère une tension de sortie inversée par rapport à la tension d'entrée.

La figure ci-dessous présente le modèle général d'un hacheur Cuk. [10]

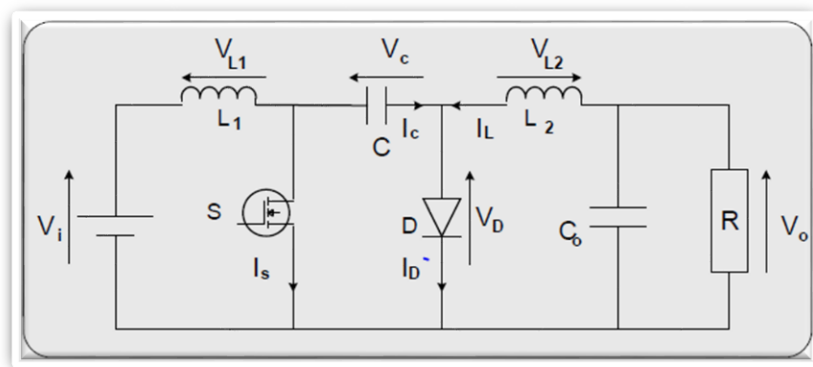
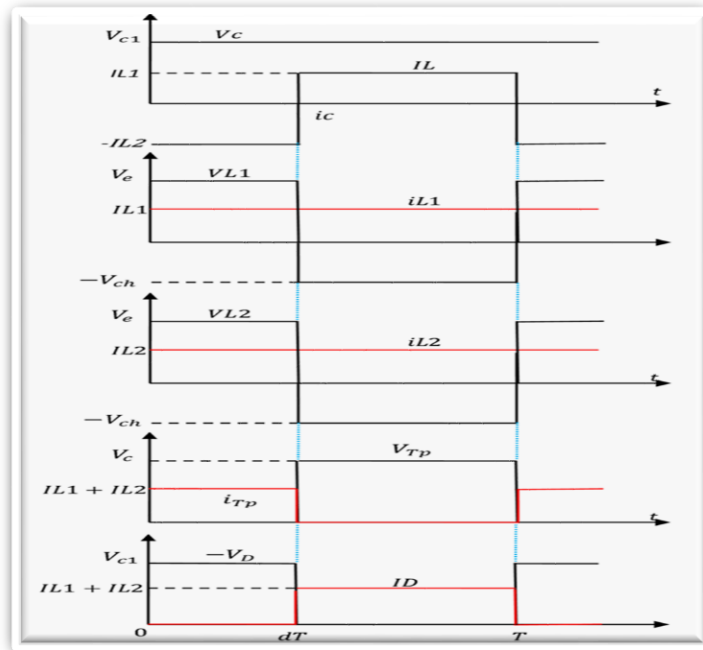


Figure I.13 : Schéma d'un hacheur Cuk.

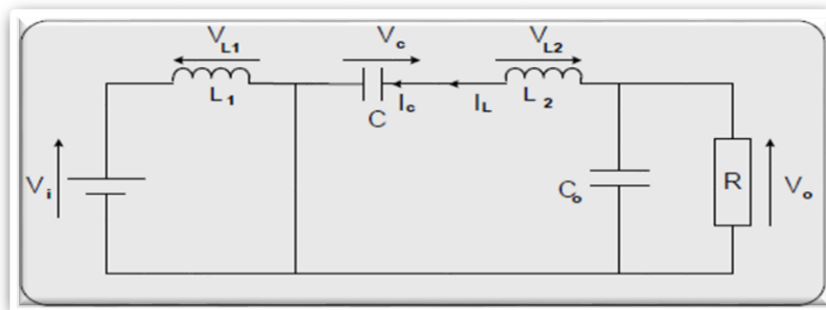
#### I.8.1. Principe de fonctionnement

La figure (I.13) présente le schéma de fonctionnement du convertisseur Cuk, et la figure (I.14) donne les intervalles de conduction de l'interrupteur et de la diode ainsi que les formes d'ondes des courants (à gauche) et des tensions (à droite).



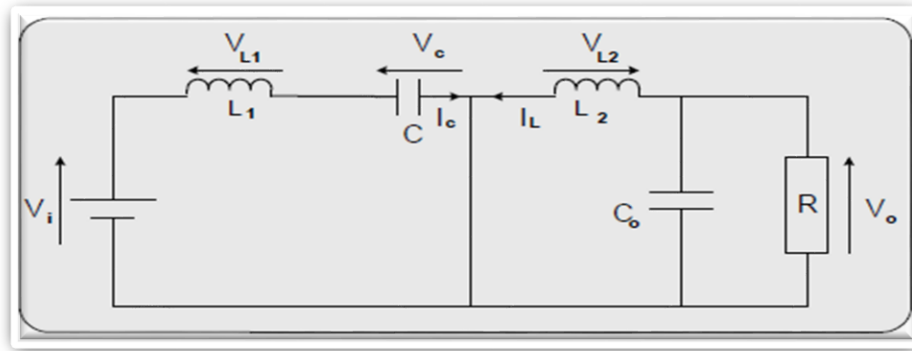
**Figure I.14: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Cuk.**

Le circuit électrique du convertisseur est illustré dans la figure (I.15) dans le cas où K est fermé et D est ouvert durant l'intervalle.  $0 < t < \alpha T$  [10]



**Figure I.15 : Circuit équivalent du cuk quand l'interrupteur est fermé.**

Dans le cas où K est ouvert et D est fermé durant l'intervalle  $\alpha T < t < T$  le circuit électrique devient figure (I.16) :[10]



**Figure I.16: Circuit équivalent du Cuk quand l'interrupteur est ouvert.**

La tension de sortie en valeur moyenne est donnée par :

$$V_S = \frac{\alpha V_e}{1-\alpha} \quad (1.16)$$

On remarque que le rapport de transformation est similaire à celui du Buck-Boost. De même, on peut dire que c'est un montage abaisseur-élévateur-inverseur en tension. La relation entre les valeurs moyennes des courants est donnée par :

$$i_L = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_{L'} = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_S \quad (1.17)$$

### Applications

Il est utilisé lorsque la tension de sortie doit être soit inférieure, soit supérieure à celle d'entrée.

Utilisation en mode dormant à faible consommation et simultanément, notamment dans les niveaux de tension de sortie à polarité haute et négative.

Utilisation dans les systèmes renouvelables comme régulateur de tension dans la technologie solaire hybride où la tension d'entrée dépend du soleil et du vent. Il ajuste la tension de sortie selon les entrées dans une variation de l'intensité solaire et éolienne.

### I.9. Hacheur SEPIC

SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter) est un convertisseur DC-DC qui permet de convertir une tension continue en une autre tension continue de valeur différente (plus faible ou plus grande).

Le SEPIC est similaire au convertisseur Buck-Boost, mais il présente l'avantage de fournir une tension de sortie de même polarité que la tension d'entrée. [10/11]

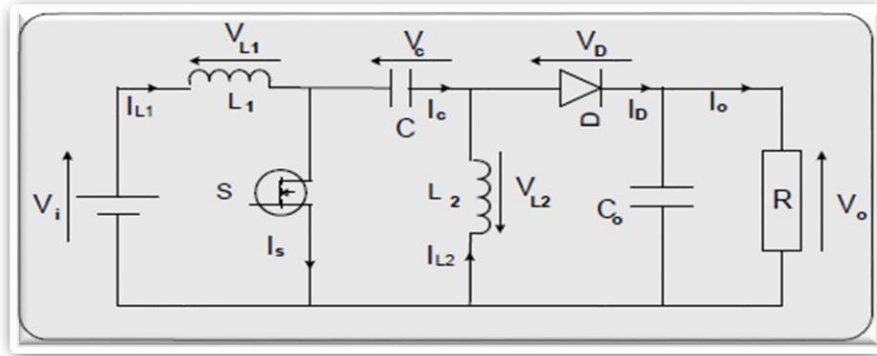


Figure I.17: Schéma de principe du hacheur SEPIC.

### I.9.1.Principe de fonctionnement

Un SEPIC est un dispositif de conversion de tension qui abaisse et élève simultanément, offrant l'avantage d'une sortie non inversée (c'est-à-dire que la tension de sortie conserve la même polarité que la tension d'entrée), d'une isolation garantie entre l'entrée et la sortie (assurée par un condensateur en série) et une véritable

État hors tension : Lorsque l'interrupteur est éteint, sa sortie diminue à 0 volt.

L'analyse de ce genre de convertisseur est divisée en deux sections selon l'état de conduction de l'interrupteur de puissance K. [12].

- Pour.  $0 < t < \alpha T$  On ferme l'interrupteur K.

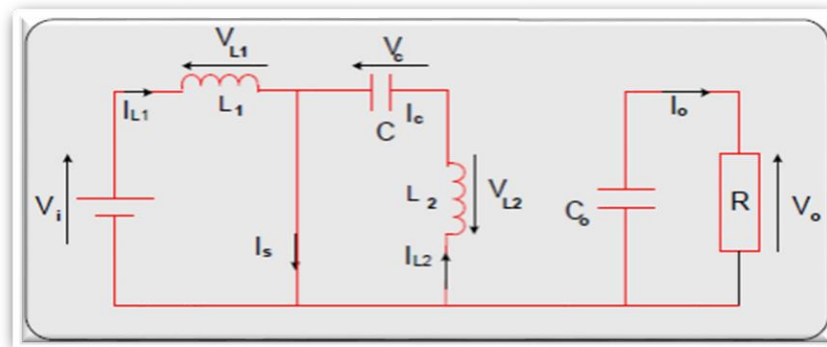
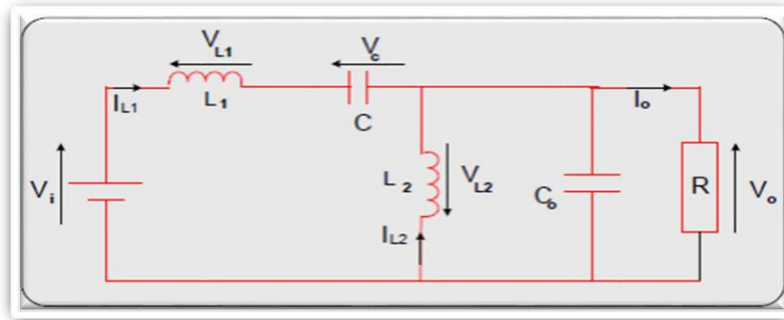


Figure I.18: Circuit équivalent du Sepic quand l'interrupteur est fermé.

- Pour  $\alpha T < t < T$  On ouvre l'interrupteur K [10]



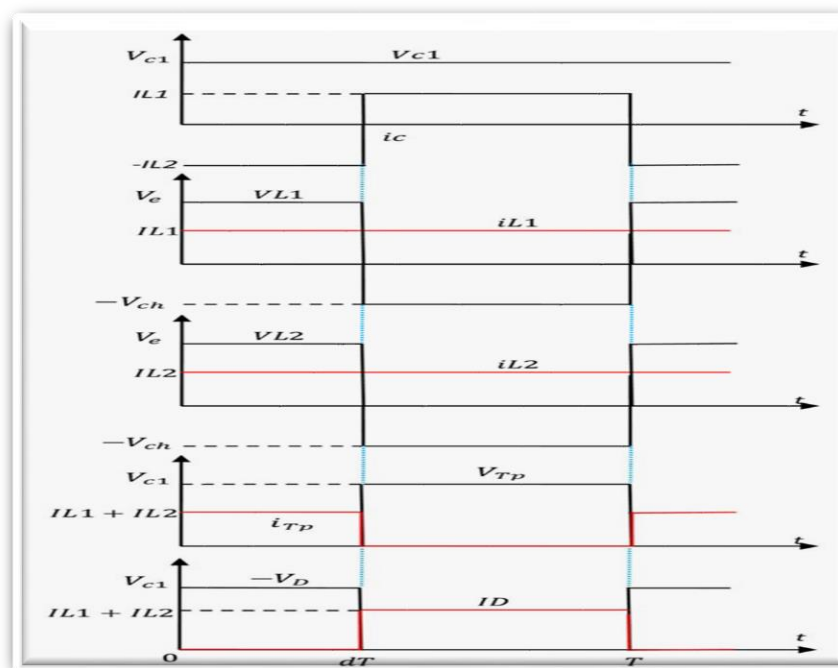
**Figure I.19: Circuit équivalent du SEPIC quand l'interrupteur est ouvert.**

La relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie du convertisseur SEPIC est donnée par :

$$V_S = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_e \quad (1.18)$$

Voici une interprétation du graphe de l'hacheur SEPIC de Figure **I.20**:

Le graphe illustre les formes d'onde des tensions aux différents points du convertisseur SEPIC. Lorsque l'interrupteur  $Q_1$  est fermé (ON), l'inductance  $L_1$  se charge avec la tension,  $V_{IN}$  tandis que  $L_2$  est couplée par le condensateur. Lorsque  $Q_1$  s'ouvre (OFF), l'énergie stockée dans  $L_1$  et  $L_2$  est transférée vers la charge, produisant une tension de sortie  $V_{OUT}$  pouvant être supérieure, égale ou inférieure à  $V_{IN}$ .



**Figure I.20: Formes d'ondes de tensions d'un convertisseur SEPI Applications :**

## Chapitre I : Généralité sur les convertisseur DC/DC

---

- Électronique portable (ex : gestion de batterie Li-ion avec tension variable).
- Circuits où la masse commune entre entrée et sortie est critique.

### I.10. Rendement du convertisseur statique

Les cinq convertisseurs cités précédemment présentent un meilleur rendement.

Le tableau suivant présente le rendement de certains convertisseurs réputés.

La formule du rendement du convertisseur est donnée par :  $\mu = \frac{P_S}{P_E}$ .

Convertisseur DC-DC	Rendement de conversion	Gain en tension
Buck	93 %	$1/1 - \alpha$
Boost	92%	$\alpha$
Buck-boost	92%	$\alpha/1 - \alpha$
SEPIC	85%	$\alpha/1 - \alpha$
Cuk	80%	$\alpha/1 - \alpha$

**Tableau I.1: Rendement des convertisseurs DC-DC.**

### I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes structures des convertisseurs DC-DC non isolés (BOOST, Buck, Buck-boost, SEPIC, CUK), leurs principes de fonctionnement et leurs applications. Nous avons également comparé leurs rendements pour souligner leurs Performances. Dans le chapitre suivant, nous aborderons le dimensionnement et la simulation d'un hacheur boost.

# Chapitre II

## Simulation D'un Kacheur

### Boost

### II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons analysé et développé les outils de dimensionnement du convertisseur DC-DC "hacheur élévateur (Boost)". À base de la carte Arduino / Simulink Nous allons effectuer la simulation du convertisseur en utilisant le Logiciel Matlab/Simulink, suite au dimensionnement des composants de ces Convertisseurs.

### II.2. Dimensionnement d'hacheur

Le dimensionnement d'un système consiste à établir les formules permettant de déterminer les valeurs des paramètres associés aux composants physiques de ce système, en tenant compte d'un cahier des charges précis. À partir d'un cas d'application donné, les valeurs numériques de ces paramètres sont ensuite calculées pour un régime et un point de fonctionnement spécifiques. [13]

### II.3. Dimensionnement de l'hacheur Boost

#### II.3.1. Cahier de charges

Pour dimensionner un convertisseur Boost nous avons les paramètres suivants :

- ✓ Tension d'entrée :  $V_{IN} = 12 \text{ V}$
- ✓ Tension de sortie :  $V_{OUT} = 24 \text{ V}$
- ✓ La valeur de la résistance de la charge :  $R = 10\Omega$
- ✓ Fréquence de hachage :  $f = 40\text{kHz}$
- ✓ Puissance d'entrée :  $P = 64 \text{ W}$

### II.3.2. Etude Analytique de convertisseur Boost

Reprenons le montage suivant :

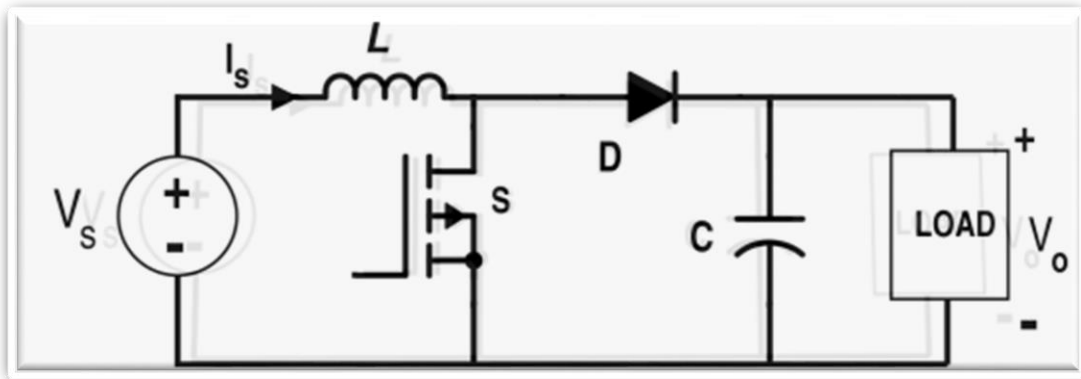


Figure II.1 : Schéma du convertisseur Boost

Dans cette conception de convertisseur Boost, nous avons utilisé le mode de conduction Continue (CCM) comme mode de fonctionnement. Ainsi, le courant à travers l'inductance ( $L$ ) ne tombe jamais à zéro. Un rendement plus élevé peut-être atteint en CCM comparé au mode de conduction discontinue (DCM). Le gain de tension ne dépend pas de la charge, le courant d'entrée est continu et non pulsé, l'ondulation du courant dans l'inductance est plus faible que sa composante moyenne – ce sont là quelques propriétés du CCM. À l'état stable, la tension continue moyenne à travers l'inductance doit être nulle. Ainsi, après chaque cycle, l'inductance revient au même état, car la tension à ses bornes est proportionnelle au taux de variation du courant qui la traverse. [14]

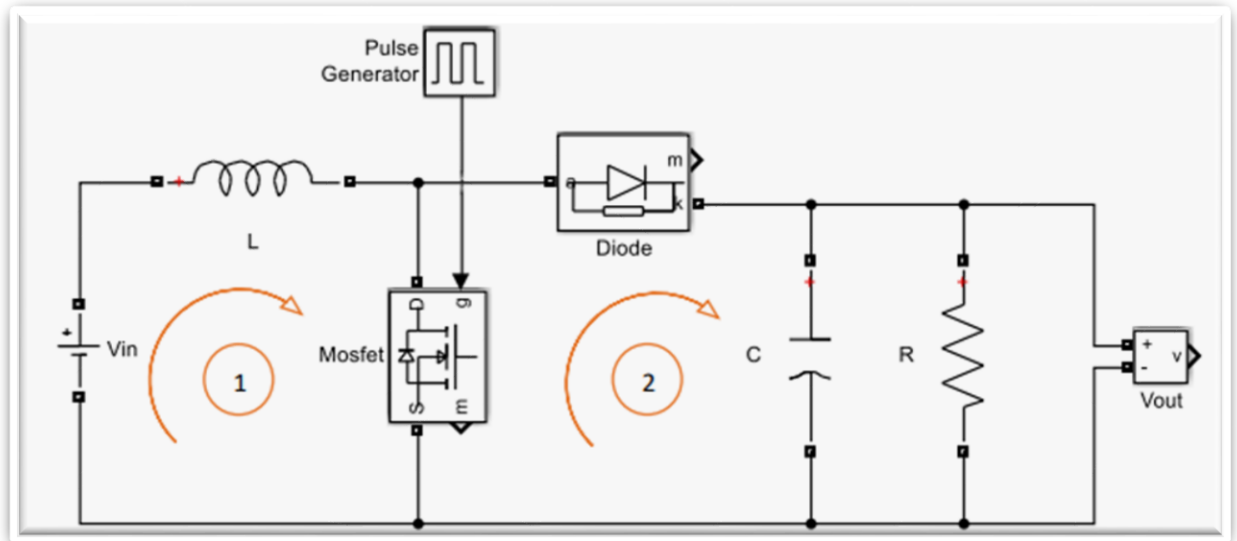
#### II.3.2.1. Équations de commutation

Pour ce circuit de convertisseur élévateur, nous pouvons utiliser n'importe quel commutateur semi-conducteur non isolé, comme un MOSFET, un commutateur idéal, un IGBT, etc. Dans ce projet de fin d'étude, nous avons utilisés un commutateur MOSFET, car il présente une très faible chute de tension drain-source à l'état passant et une faible perte de puissance d'entrée. Il existe principalement deux modes de commutation : [8]

$$\text{État de commutation} = \begin{cases} \text{mode I} \rightarrow ON; 0 < t < \alpha T \\ \text{mode II} \rightarrow OFF; \alpha T < t < T \end{cases}$$

Ici,  $\alpha$  : rapport cyclique et  $T$  : Période de commutation

- Considérons le mode I (ON),



**Figure II.2 : Circuit convertisseur boost en mode interrupteur ON.**

Ici, la tension aux bornes de la diode est négative, ce qui signifie que la diode est bloquée et polarisée en inverse. Elle agit donc comme un circuit ouvert. On applique la loi de Kirchhoff au circuit ci-dessus pour construire les équations. [14]

**En appliquant la loi de Kirchhoff à la maille 1.**

$$V_D = -V_{OUT}$$

$V_D$  : tension ou borne de diode.

**En appliquant la loi de Kirchhoff à la maille 2.**

$$V_L = V_{IN}$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

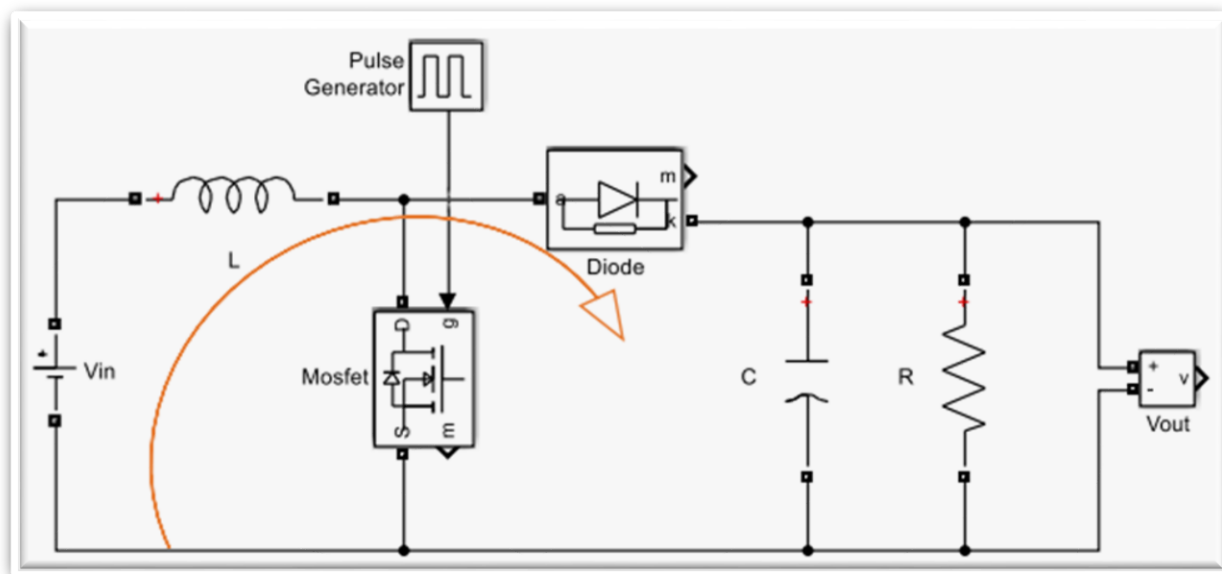
$$I_L(t) = I_{MIN} + \frac{V_{IN}}{L} t$$

Donc :

$$I_{MAX} = I_L(\alpha T) = I_{MIN} + \frac{V_{IN}}{L} \alpha T \text{ ----- (1)}$$

$$\Delta I_L = I_{MAX} - I_{MIN} = \frac{V_{IN}}{L} \alpha T \text{ ----- (2)}$$

➤ **Considérons le mode II (OFF) :**



**Figure II.3 : Circuit convertisseur boost en mode interrupteur OFF.**

Ici, l'inductance force la diode à se mettre en conduction car le courant de l'inductance ( $I_L$ ) ne veut pas devenir nul.

**Alors :**

$$V_L = V_{IN} - V_{OUT}, \quad V_L < 0$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$I_L(t) = I_{MAX} + \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} (t - \alpha T) \quad (II .1)$$

**Donc :**

$$I_{MIN} = I_L(T) = I_{MAX} + \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} (T - \alpha T) \quad (3)$$

$$\Delta I_L = I_{MAX} - I_{MIN} + \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} (T - \alpha T) \quad (4)$$

➤ **En considérant les équations (2) et (4) :**

$$\frac{V_{IN}}{L} \alpha T = - \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} (T - \alpha T)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{IN}} = \frac{1}{1-\alpha} \quad (5) \quad (II .2)$$

**Trouvons le courant moyen de l'inducteur :**

$$\langle I_L \rangle \geq \frac{I_{MIN} - I_{MAX}}{2} \quad (II.3)$$

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1-d} \quad (II.4)$$

$$I_{MAX} + I_{MIN} = \frac{V_{OUT}}{(1-\alpha)R} + \frac{V_{IN}}{2L} \alpha T \quad (6)$$

En additionnant les équations (6) +(2) :

$$I_{MAX} = \frac{V_{IN}}{(1-\alpha)^2 R} + \frac{V_{IN}}{2L} \alpha T \quad (7) \quad (II.5)$$

En soustrayant les équations (6) -(2) :

$$I_{MIN} = \frac{V_{IN}}{(1-\alpha)^2 R} - \frac{V_{IN}}{2L} \alpha T \quad (8) \quad (II.6)$$

En considérant la 5<sup>th</sup> hypothèse (supposant la condition idéale) :

$$P_{IN} = P_{OUT}$$

$$V_{IN} \langle I_L \rangle = \frac{V_{OUT}}{R} V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1-\alpha} \quad (II.7)$$

$$\langle I_L \rangle = \frac{V_{IN}}{(1-\alpha)^2 R} \quad (II.8)$$

Considérons la deuxième hypothèse (le convertisseur élévateur fonctionne en mode de Conduction continue). Cette hypothèse stipule que le courant minimal de l'inductance est Supérieur à zéro.  $I_{min} > 0$  [16]

### II.3.3. Calcul du courant de sortie et d'entrée

- **Courant de sortie :**

$$I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ A} \quad (II.9)$$

- **Puissance de sortie :**

$$p_s = V_s \times I_s = 24 \times 2,4 = 57,6 \text{ W} \quad (II.10)$$

- **Courant d'entrée :**

$$I_{IN} = \frac{P_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{57,6}{12} = 4,8 \text{ A} \quad (II.11)$$

$$\Delta I_L = 30\% \times 4,8 = 1,44A \quad (\text{II.12})$$

### II.4.3. Calcul du rapport cyclique

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1-\alpha} \rightarrow \alpha = 1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} = 1 - \frac{12}{24} = 0,5 \quad (\text{II.13})$$

### II.4.4. Détermination de la valeur de l'inductance L

$$L = \frac{V_{IN} \times \alpha}{f \times \Delta I_L} = \frac{12 \times 0,5}{40000 \times 1,44} \approx \frac{6}{57600} \approx 104,17 \mu H \quad (\text{II.14})$$

### II.4.5. Détermination de la valeur de capacité C

$$C = \frac{I_{OUT} \times \alpha}{f \times \Delta V_{OUT}} = \frac{2,4 \times 0,5}{40000 \times 0,24} \approx \frac{1,2}{9600} \approx 125 \mu F \quad (\text{II.15})$$

## II.4. Cellule de commutation

La cellule de commutation est composée de deux interrupteurs :

- L'interrupteur D doit supporter une tension inverse et doit pouvoir conduire un courant positif. Son amorçage et son blocage peuvent être spontanés. Cet interrupteur sera donc une diode.
- L'interrupteur K doit supporter une tension positive et doit pouvoir conduire un courant positif. Les commutations de cet interrupteur doivent être commandées. Cet interrupteur pourra être de type transistor à effet de champs (MOSFET). [17].

### II.4.1. Choix de la diode D

Dans un hacheur boost, la diode Schottky est très appréciée pour sa faible chute de tension directe, souvent autour de 0,2 à 0,5 V, ce qui limite les pertes d'énergie. Cela permet d'améliorer considérablement le rendement du convertisseur. Elle se distingue aussi par sa grande rapidité de commutation, grâce à l'absence de charges stockées. Cette réactivité est idéale pour les applications à haute fréquence [18].

Pour notre projet, nous avons sélectionné la diode Schottky de référence "SR5020".

Il est essentiel de considérer plusieurs paramètres clés, notamment la tension inverse, le courant moyen, comme indiqué dans le tableau II.1 suivant :

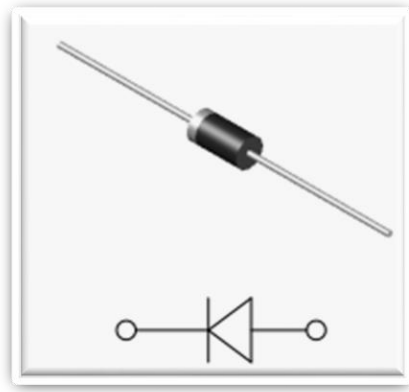


Figure II.4 : La diode.

- Courant moyen  $I_{F(VA)}$
- Courant crête  $I_{FSM}$
- Tension inverse  $V_{RRM}$

Grandeurs	Valeur
$I_{F(VA)}$	5A
$I_{FSM}$	150A
$V_{RRM}$	150V

Tableau II.1 : Caractéristiques de diode "Sr5020"

### II.4.2. Choix de l'interrupteur K

Le tableau, présenté à la figure (II.5) permet de choisir le type de technologie à utiliser en fonction de la puissance nominale et la fréquence de découpage auxquelles Est soumis le composant. [19]

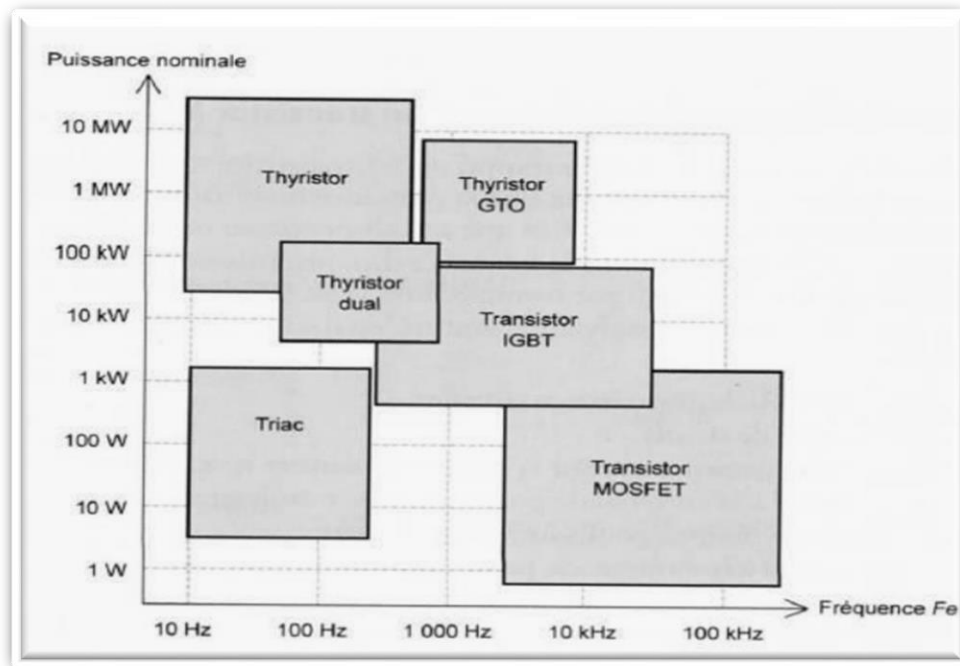


Figure II.5: Diagramme puissance-fréquence des composants.

Cette figure II.5 montre que le transistor MOSFET bien adapté pour l'hacheur « Boost » basse/moyenne puissances fonctionnant avec une grande fréquence de commutation. C'est pourquoi, dans la suite de ce document, nous considérerons que l'interrupteur **K** est un Transistor-Mosfet "IRF830N".[10]

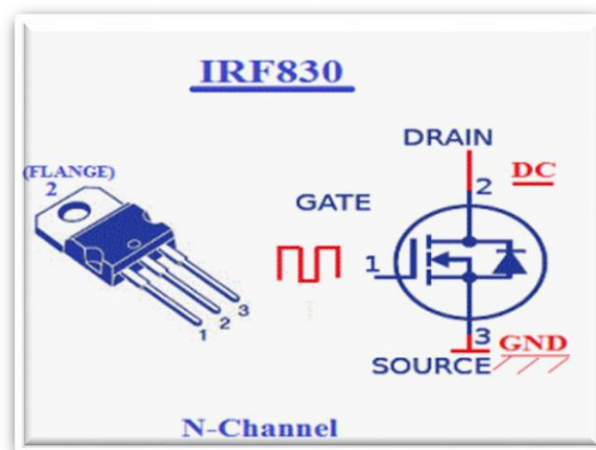


Figure II.6 : Symbole de transistor –MOSFET "IRF830N".

Les principaux critères de choix pour un transistor-MOSFET sont les suivants :

- $V_{DSS}$ : Tension drain-source maximale.
- $I_{DS}$ : Courant de drain.

- $R_{DS(on)}$ : Résistance drain-source à l'état passant (pertes en conduction).
- $Q_{G(on)}$ : Charge nécessaire sur la grille pour saturer le transistor.
- $t_{d(on)}$ : Retard à la commande pour saturer le transistor.
- $t_r$ : Temps de montée pour saturer le transistor.
- $t_{d(off)}$ : Retard à la commande pour bloquer le transistor.
- $t_f$ : Temps de descente pour bloquer le transistor

Grandeurs	Valeur
$V_{DSS}$	500 V
$I_{DS}$	4.5 A
$R_{DS(on)}$	1.5 $\Omega$
$Q_{G(on)}$	22 Nc
$t_{d(on)}$	11.5 ns
$t_r$	8 ns
$t_{d(off)}$	7 ns
$t_f$	8 ns

Tableau II.2 : Caractéristiques de de transistor-MOSFET "IRF830N".

### II.5. Simulation sous Matlab/Simulink

Les simulations ont pour but de valider les calculs théoriques, d'analyser l'impact des variations des paramètres clés (inductance, rapport cyclique, charge) et de garantir que l'hacheur boost fonctionne correctement avant sa mise en œuvre pratique avec l'Arduino. Les graphiques permettent de visualiser ces effets, confirmant la pertinence du système et guidant les ajustements pour optimiser la stabilité et l'efficacité.

Les outils de simulation sont des instruments puissants permettant de vérifier et d'évaluer le fonctionnement théorique des systèmes. Il est facile de vérifier les conditions dans lesquelles le dispositif à tester est exécuté. La simulation nous donne la possibilité de passer de la

Conception théorique du système à sa mise en pratique avec une plus grande certitude, car les modifications lors de la conception peuvent aisément être effectuées sur un système simulé. Cela nous offre l'opportunité d'explorer une vaste gamme de variations et de sélectionner finalement la solution idéale. [21].

### II.5.1. Hacheur Boost

Nous avons utilisé les valeurs précédentes pour simuler l'hacheur « Boost » dans le Matlab 2019.

#### II.5.1.1. Schéma bloc

Voici un schéma de circuit utilisé pour la simulation Matlab du convertisseur Boost.

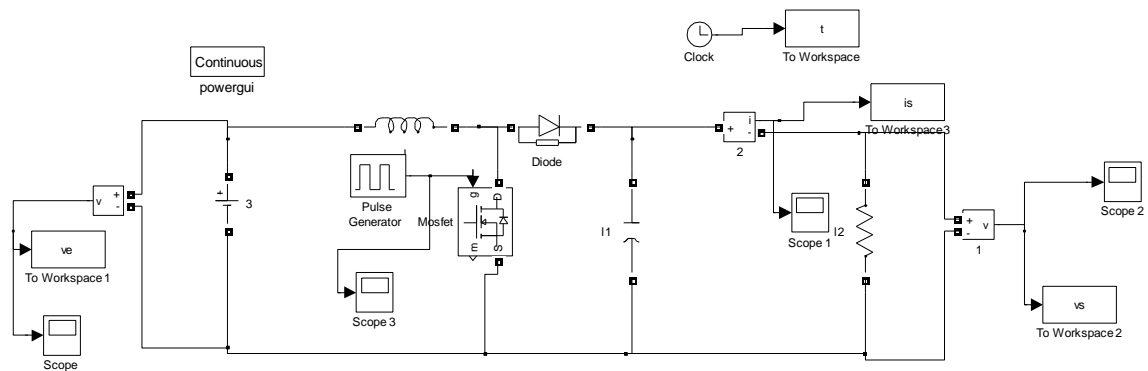


Figure II.6 : Schéma de base d'un convertisseur Boost.

#### II.5.1.2. Résultats de simulation

Les figures suivantes représentent les allures des paramètres :  $V_e$ ,  $V_s$ ,  $I_s$ ,

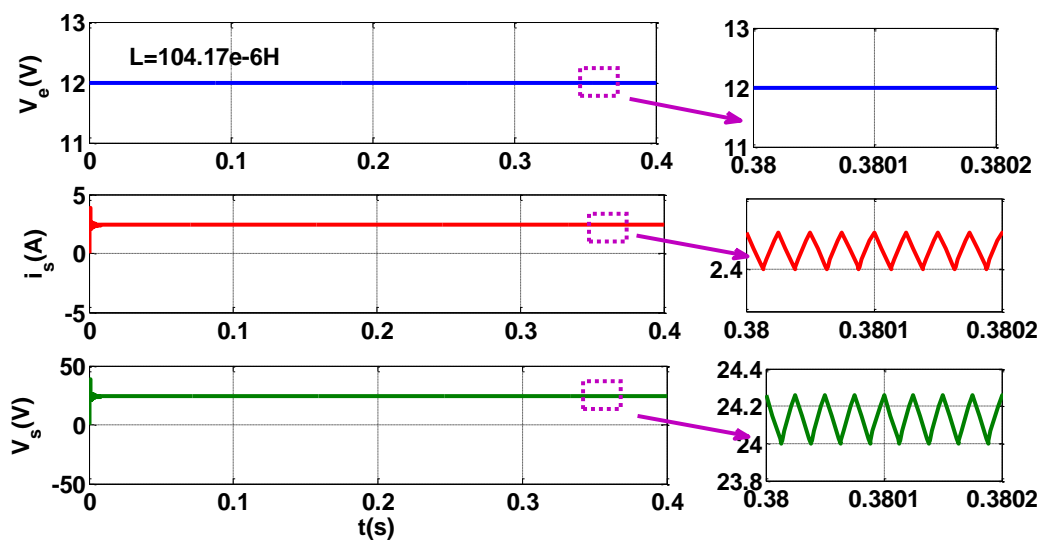


Figure II.7 Formes d'onde de tension et de courant de l'hacheur Boost simulé sous Simulink.

### II.5.1.3. Etude de l'effet de la variation de l'inductance

➤ Pour  $L=60\mu\text{H}$  :

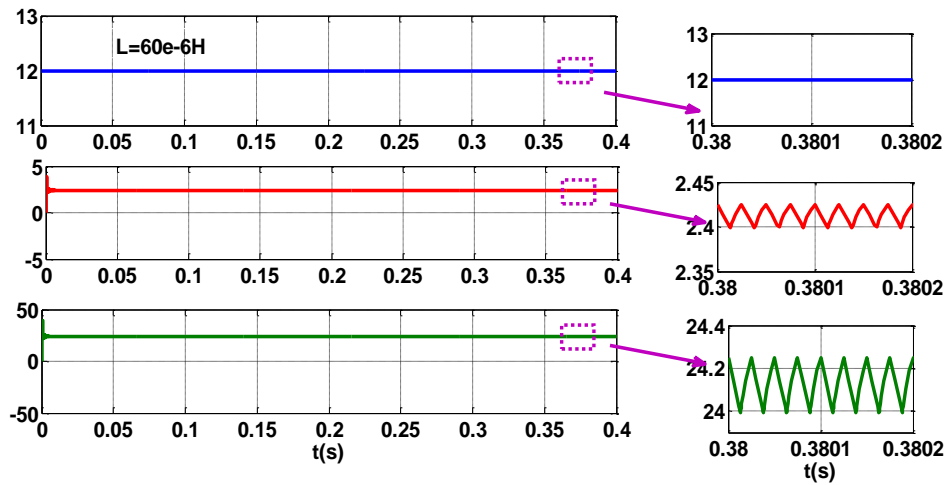


Figure II.8 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost

➤ Pour  $L=25\mu\text{H}$  :

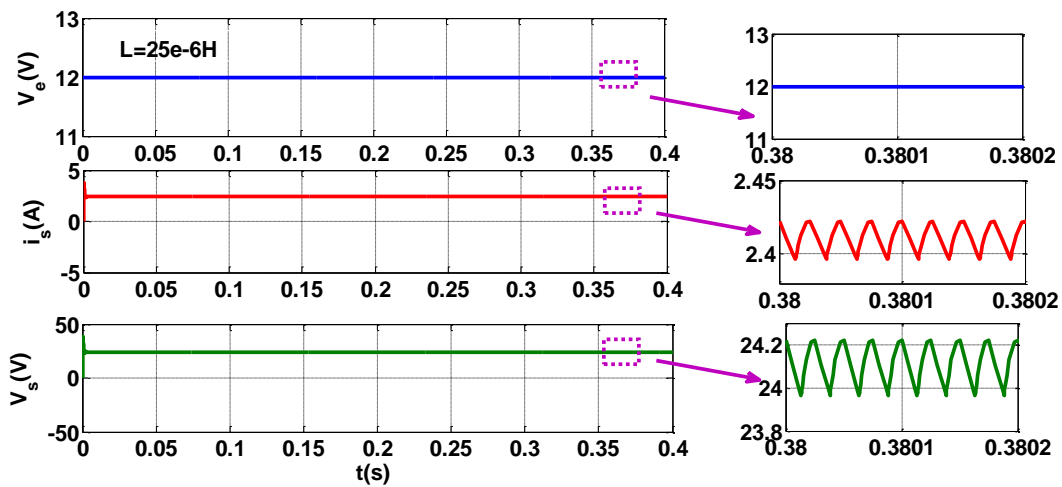


Figure II.9 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost

❖ **Interprétation des résultats :**

L'étude des variations de l'inductance montre son influence directe sur les formes d'ondes de la tension et du courant dans le convertisseur Boost. L'augmentation de l'inductance  $L$  dans un convertisseur Boost réduit l'ondulation du courant, favorise la stabilité et le mode de conduction continue, mais ralentit la réponse transitoire et augmente la taille de l'inductance. In contrast, a decrease in  $L$  increases undulation, accelerates response, but carries the risk of instability, mode discontinuity, and inductance saturation.

### II.5.1.4. Etude de l'effet de la variation de rapport cyclique

➤ Pour  $\alpha = 0.6$ :

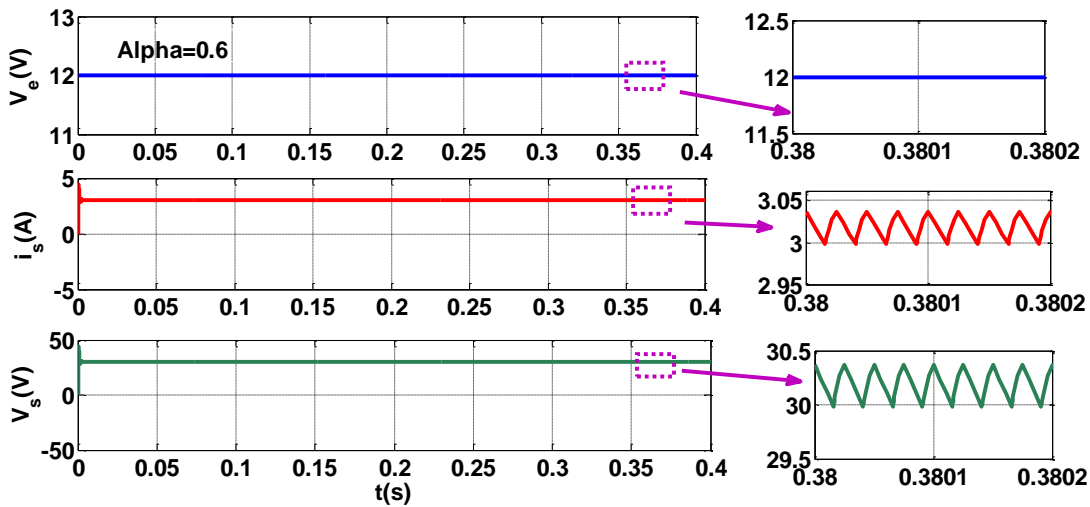


Figure II.10 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost

➤ Pour  $\alpha = 0.4$ :

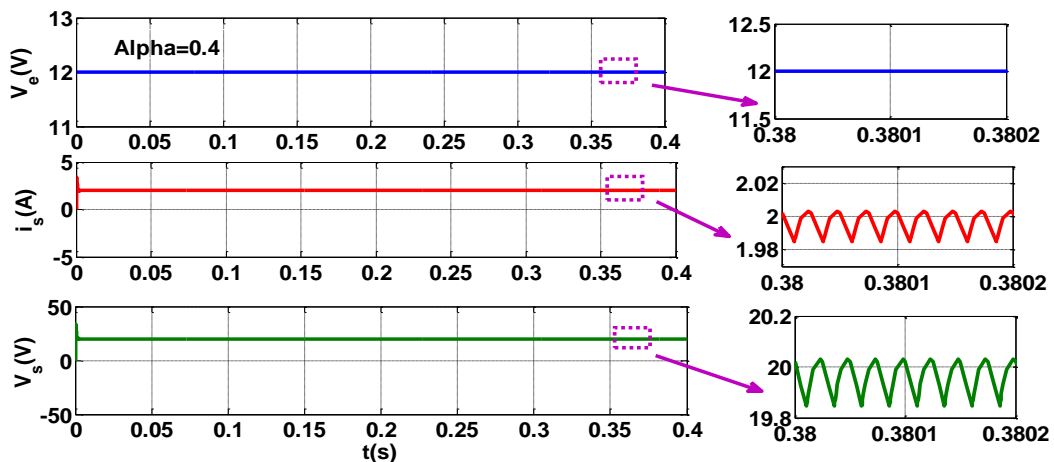


Figure II.11 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost.

#### ❖ Interprétation des résultats :

Comme nous l'avons vu précédemment, le rapport cyclique influe fortement sur la tension de sortie du convertisseur Boost.

Dans un convertisseur Boost, le rapport cyclique  $\alpha$  détermine la tension de sortie  $V_s$ , selon l'équation  $V_s = \frac{V_e}{1-\alpha}$  en mode de conduction continue. Une hausse de  $\alpha$  augmente  $V_s$ .

## Chapitre II: Simulation D'un Hacheur Boost

Cependant, des valeurs trop près de 1 peuvent engendrer une instabilité ou un passage en mode discontinu, rendant la régulation plus complexe. Une réduction de  $\alpha$  entraîne une diminution de  $V_s$ , ce qui fait que la tension de sortie se rapproche de la tension d'entrée. Un  $\alpha$  élevé accroît la fluctuation du courant et les pressions exercées sur les composants. Le choix de  $\alpha$  doit trouver un équilibre entre la tension souhaitée, la stabilité et l'efficacité. Ces effets sont confirmés par la simulation effectuée sur MATLAB/Simulink.

### II.5.1.5. Etude de l'effet de la variation de résistance

➤ Pour  $R = 5\Omega$ :

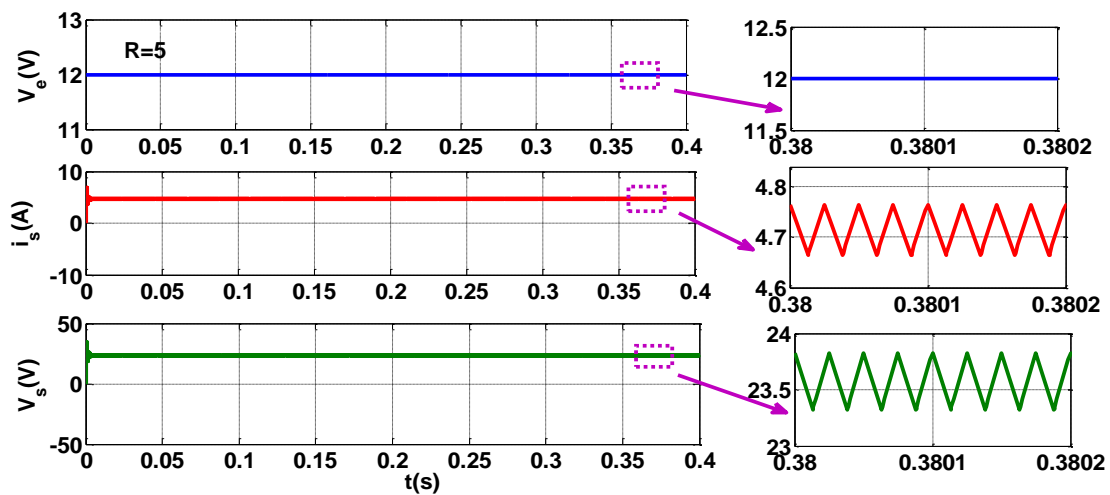


Figure II.12 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost

➤ Pour  $R = 100\Omega$ :

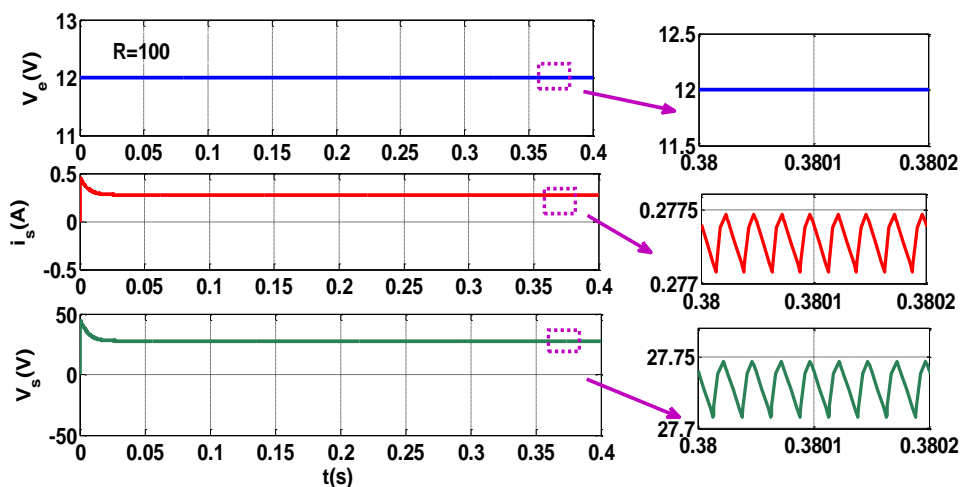


Figure II.13 : Tensions et Courants de l'hacheur Boost

### ❖ Interprétation des résultats :

La variation de la charge de sortie influence directement le comportement de l'hacheur Boost. Lorsque la charge augmente (valeur de résistance plus grande) le courant de sortie diminue ce qui entraîne une réduction de la chute de tension et donc une tension de sortie plus stable. A l'inverse, lorsque la charge diminue (valeur de résistance plus faible) le courant augmente ce qui peut provoquer une ondulation plus importante du courant et une légère diminution de la tension de sortie.

Ainsi on observe que le comportement du convertisseur est sensible à la variation de la charge ce qui nécessite une conception robuste capable de maintenir une tension de sortie stable même sous des conditions de charge variables.

### **II.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a présenté la simulation du convertisseur Boost sous MATLAB/Simulink. On a dimensionné les composants principaux, comme l'inductance et la capacité, puis validé le fonctionnement du convertisseur à travers les résultats de simulation. Ces résultats confirment la faisabilité de la réalisation pratique, qui sera développée dans le chapitre suivant.

# Chapitre III

## *Réalisation pratique du convertisseur Boost*

### III. 1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la mise en œuvre pratique d'un convertisseur Boost conçu pour convertir une tension d'entrée de 12 V en une tension de sortie de 24 V, conformément aux spécifications définies dans le cahier des charges. Après avoir exploré les aspects théoriques et validé le comportement du convertisseur à l'aide de simulations sous MATLAB/Simulink dans les chapitres précédents, nous présentons ici le montage expérimental réalisé. Cette section détaille les étapes de conception du circuit, les tests effectués, les résultats mesurés ainsi que leur comparaison avec les prévisions théoriques, afin d'évaluer les performances réelles du système et de vérifier sa conformité aux attentes.

### III. 2 Réalisation pratique du convertisseur Boost

Cette section détaille la mise en œuvre physique du circuit, en s'appuyant sur les composants dimensionnés dans le chapitre 2.

#### III.2. 1 Description du montage expérimental

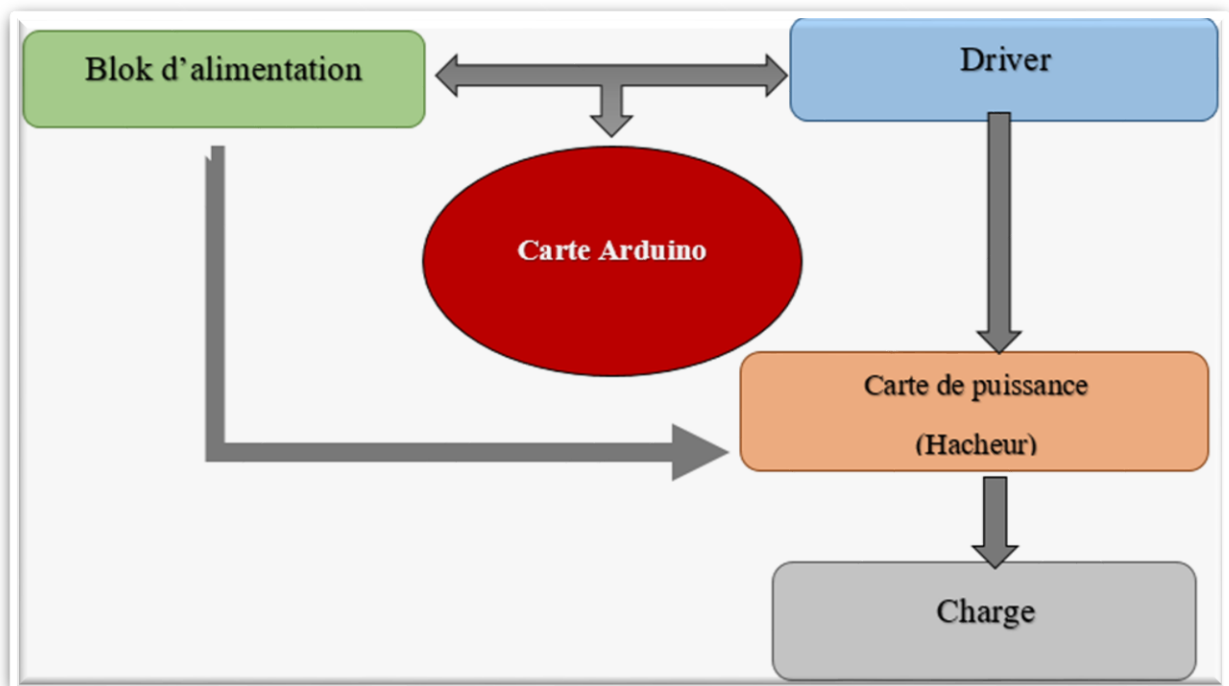


Figure III.1 : Schéma bloc d'un hacheur boost.

Le schéma III.1 illustre le plan général, présentant les trois composants majeurs qui composent notre hacheur boost, à savoir :

- **Bloc de Board Arduino:** une carte électronique

- **Bloc de Driver (IR2113)** : Composant essentiel dans les systèmes de commande des machines électriques
- **Bloc de puissance** : Composé de l'hacheur Élévateur (BOOST).

### III.2.2 Bloc de Arduino

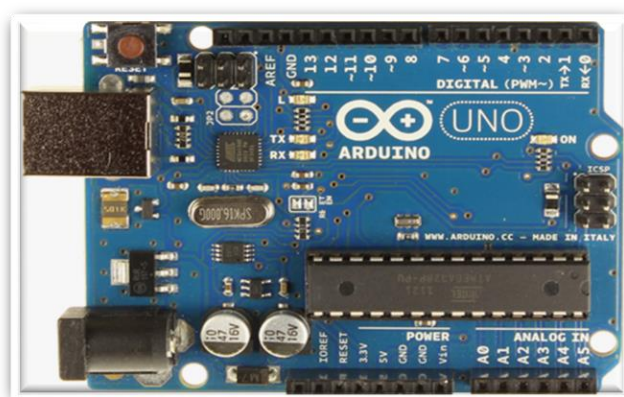
Cette partie consiste à réaliser un circuit de commande d'un hacheur Boost à base d'une carte Arduino.

#### III.2.2.1. La carte Arduino UNO

Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses. Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique. [22]

Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). [23]

Le modèle UNO est une carte électronique basée sur le microcontrôleur ATMEGA de référence ATmega328. L'ATmega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR. [24]



**Figure III.2 : Carte Arduino UNO.**

### III.2.2.2. Plateforme de programmation Arduino

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple pour programmer l'Arduino ATMEGA328P, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisé pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.[25]

La fonction « **Setup** » contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).

La fonction « **Loop** » elle, est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup.

Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation.

En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il serait impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire. [26]



**Figure III.3 : Interface plateforme de programmation ARDUINO.**

### III.2.2.3. Structure d'un programme

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous-forme textuelle, lu ligne par ligne de haut vers le bas. [27]

La structure minimale est constituée de trois phases consécutives :

#### a. La définition des constantes et des variables :

Une déclaration (des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques etc....).

#### b. La configuration des entrées et des sorties :

Un setup (= initialisation) cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les Fonctions devant être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en Sortie, mise en marche etc...).[27]

#### c. La programmation des interactions et des comportements :

Une Loop (boucle) : cette partie est lue en boucle ! C'est ici que les fonctions sont réalisées.

En plus de cette structure minimale, on peut ajouter :

- ❖ Des « **sous-programmes** » ou « **routines** » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratiqué pour réaliser des morceaux de codes répétitifs.
- ❖ Des « **callbacks** », ce sont des fonctions qui sont rappelées automatiquement depuis une bibliothèque. [27]

#### III.2.2.4. Réalisation pratique

Afin de générer un signal PWM pour commander la grille d'un MOSFET, on va réaliser un circuit simple à base d'Arduino UNO. Ce microcontrôleur permet de produire un signal PWM a tension de sortie 5V et fréquence 40KHZ. Grâce à une programmation intuitive, on pourra ajuster le rapport cyclique selon les besoins de la charge grâce une résistance variable. Le schéma de montage est représenté dans la figure suivante (figure II.4) :

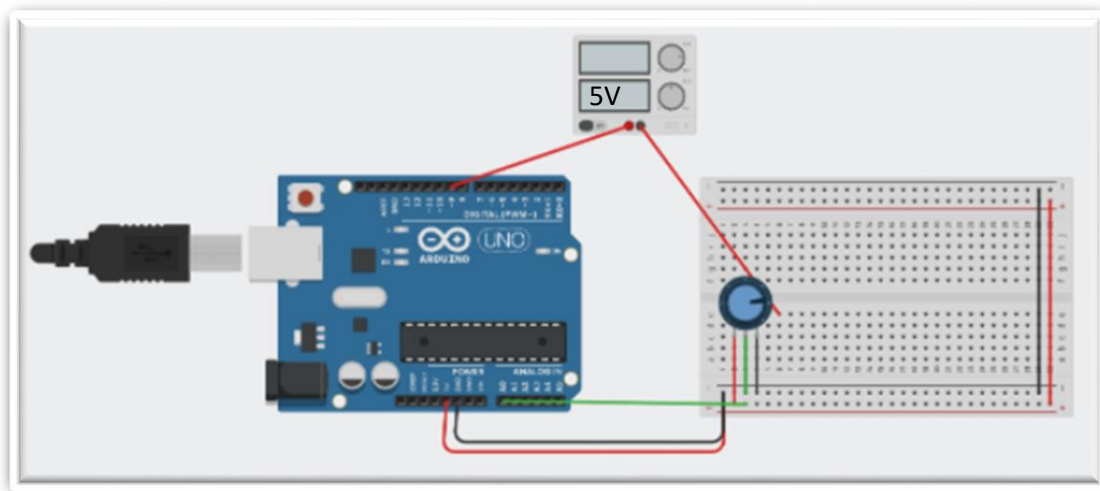


Figure III.4 : Schéma de génération de signal PWM

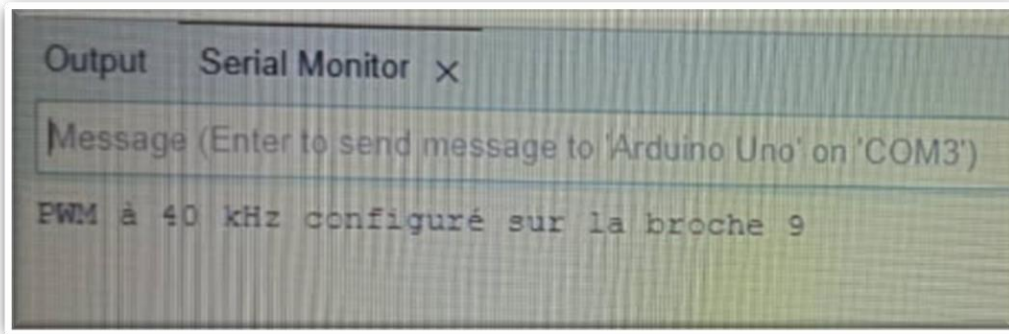
#### III.2.2.5. Le code de programmation de la carte Arduino

```

Const int potPin = A0; // Broche analogique où est connecté le potentiomètre
Const int pwmPin = 9; // Broche PWM pour contrôler l'optocoupleur
// Variables pour le potentiomètre et le PWM
Int pot Value = 0; // Valeur brute du potentiomètre (0-1023)
Int pwmValue = 0; // Valeur PWM (0-255)
Float dutyCycle = 0.0; // Rapport cyclique (0.0-1.0)
Const float MIN_DUTY_CYCLE = 0.1; // 10% minimum
Const float MAX_DUTY_CYCLE = 0.6; // 60% maximum (marge de sécurité)
Const float TARGET_DUTY_CYCLE = 0.5; // 50% pour obtenir théoriquement 24V
Void setup () {
// Configuration des broches
Mode (potPin, INPUT);
Pin Mode (pwmPin, OUTPUT);
Serial. Begin (9600);
TCCR1A = 0; // Reset le registre TCCR1A
TCCR1B = 0; // Reset le registre TCCR1B
TCNT1 = 0; // Reset le compteur du timer
// Mode Fast PWM, 8-bit
TCCR1A |= (1 << WGM10);
TCCR1B |= (1 << WGM12);
// Configuration non-inverting mode sur le pin OC1A (pin 9)
TCCR1A |= (1 << COM1A1);
// Prescaler = 1 (aucune division)
TCCR1B |= (1 << CS10);
// Réglage initial sur le rapport
cyclique cible
Analog Write (pwmPin, TARGET_DUTY_CYCLE * 255);
Serial.println ("Convertisseur boost 12V → 24V");
Serial.println ("Rapport cyclique théorique: 50%");}
Void loop () {

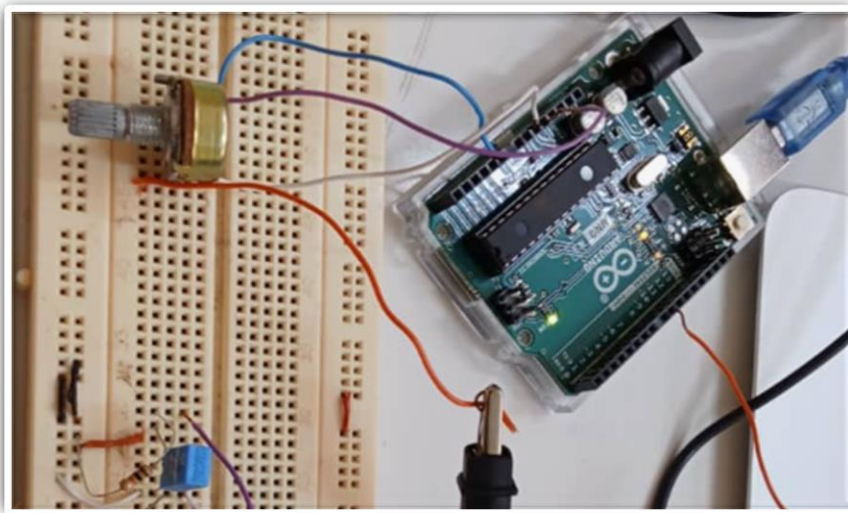
```

- Nous avons configuré le programme Arduino pour que la broche numéro 9 génère un signal périodique de 40 kHz.



**Figure III.5 : Confirmation du signal PWM 40 kHz sur la broche 9**

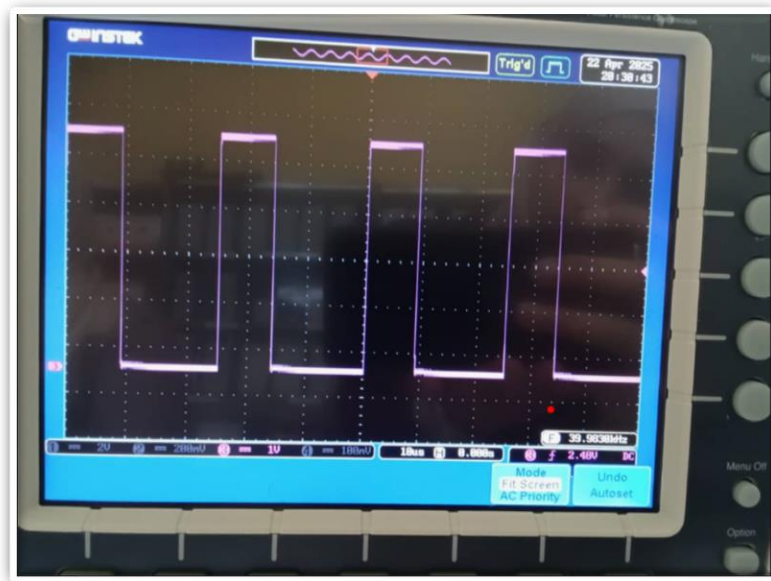
La figure suivante **III.6** montre le câblage d'un potentiomètre avec une carte Arduino pour le contrôle d'un signal analogique d'entrée :



**Figure III.6: Génération d'un signal PWM de 40KHz avec Arduino UNO**

Ce montage a pour objectif de varier une tension d'entrée à l'aide d'un potentiomètre, et d'en observer la réponse à travers un oscilloscope. Cette expérience permet d'illustrer le principe de la lecture d'une valeur analogique, sa conversion par le convertisseur analogique-numérique (ADC), ainsi que son exploitation dans une application.

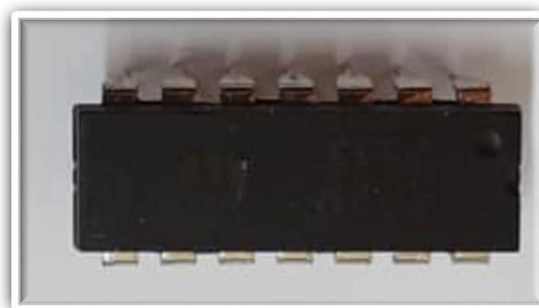
La figure suivante (Figure III.7) montre la réponse de signal MLI génère par Arduino UNO.



**Figure III.7 : Visualisation le signal MLI (PMW) avec oscilloscope.**

### **III.2. 3 Bloc de Driver (IR2113)**

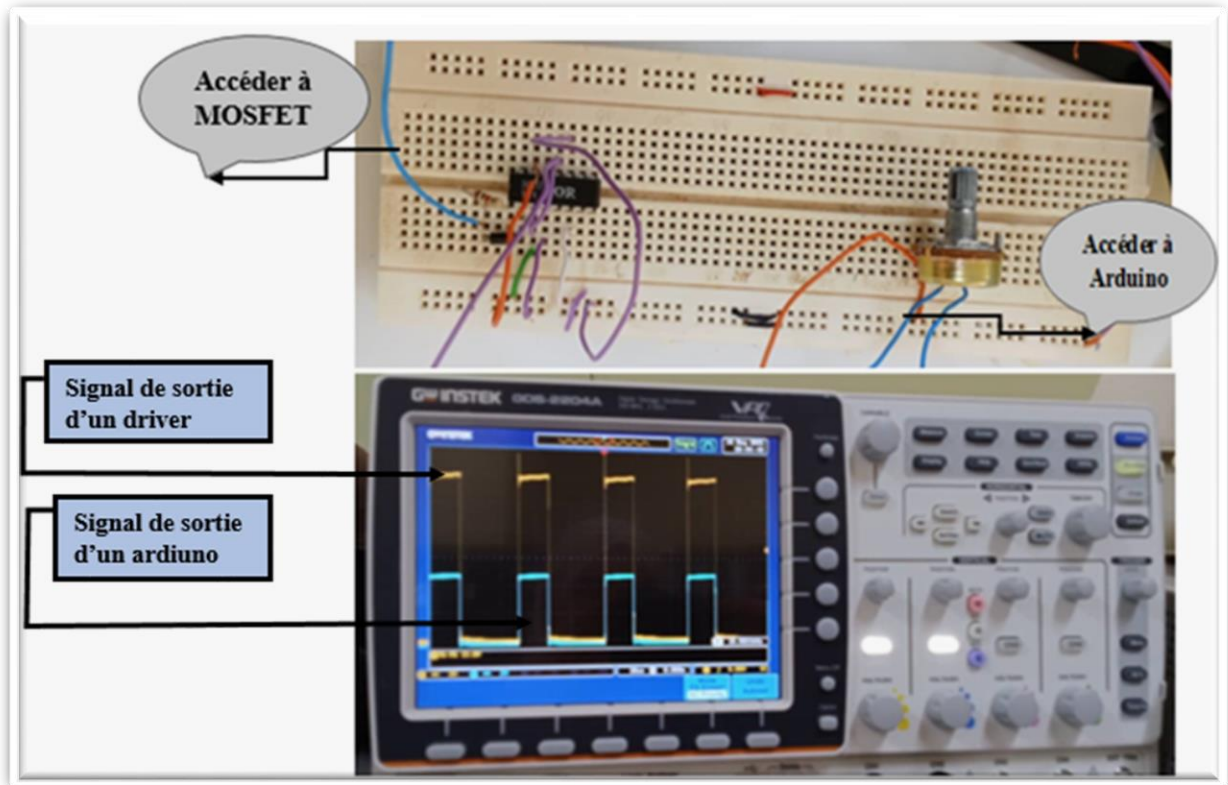
Le driver est un élément essentiel dans les systèmes d'électronique de puissance. Il assure la commande des interrupteurs électroniques comme les MOSFET, en adaptant le signal issu d'un microcontrôleur ou d'un circuit de commande. Ce bloc a pour rôle d'amplifier le signal de commande et d'assurer une isolation galvanique entre la commande et la puissance, ce qui protège les circuits sensibles. Il permet également de générer des temps de commutation rapides afin de minimiser les pertes d'énergie le driver peut-être de type low-side, high-side. On le retrouve dans de nombreuses applications comme les onduleurs, les hacheurs et les variateurs de vitesse.[11]



**Figure III.8 : driver de puissance IR2113 (voire l'annexe)**

- Dans notre travail nous avons utilisé le côté « LOW ». **Adaptation de niveau logique** pour passer du 5V logique à la tension de grille 12V pour MOSFET.

La figure III. 8 montre le câblage d'un potentiomètre avec une carte Arduino et le driver pour le contrôle d'un signal analogique. Le driver est pour le contrôle d'un signal analogique.[30]



**Figure III. 9 :** Résultat de signal de commande (MLI) en réalité.

Cette figure montre un montage électronique sur une plaque d'essai avec un MOSFET, un Arduino et un oscilloscope. Nous avons relevé et comparé les signaux de sortie : celui d'un driver tension de sortie 12V (en jaune) et celui de l'Arduino tension sortie 5V (en bleu), illustrant la transmission et la modification des signaux dans ce circuit.

### III.2. 4 Le bloc de puissance

Voici les éléments qui composent

Le bloc de puissance :

1. Transistor de puissance de type MOSFET "IRF530N".
2. Diode de puissance "Sr5020"
3. Capacité de filtrage.100 $\mu$ F/100V

4. Inductance de lissage du courant. 1.3mH

### **III. 3 Étapes de montage**

#### **III.3. 1 Choix des composants de la carte**

##### **III.3.1. 1 Transistor MOSFET**

Les équations (II-11) du chapitre II montrent que le courant traversant le transistor atteint la valeur maximale correspondant au courant de charge, lequel, selon le cahier des charges, ne dépasse pas 5 A. Le MOSFET sélectionné est capable de supporter un courant allant jusqu'à 30 A, ce qui est largement suffisant pour couvrir toute la plage de fonctionnement normal du convertisseur.

En ce qui concerne la tension à supporter, elle correspond à la tension de sortie maximale du hacheur, soit 24 V dans notre cas. Cette valeur reste bien inférieure à la tension de claquage indiquée dans la datasheet du MOSFET choisi (par exemple 60 V ou 100 V), assurant ainsi une marge de sécurité confortable et rendant notre choix techniquement raisonnable.

##### **III.3.1. 2 Diode de puissance**

D'après l'étude faite au chapitre II, la diode doit être capable de supporter le courant maximal de la charge, soit 5 A, ainsi que la tension inverse maximale égale à la tension de sortie du convertisseur, soit 24V. En consultant la datasheet de la diode choisie, on constate que le courant direct maximal est de 30 A et que la tension inverse admissible atteint 100 V, ce qui dépasse largement les exigences de fonctionnement. Ainsi, notre choix de cette diode est techniquement cohérent et justifié pour un convertisseur Boost 12V/24V.

##### **III.3.1. 3 Capacité de filtrage**

La valeur de la capacité de filtrage a été déterminée au chapitre II à l'aide de la formule (II-15) Le calcul donne une capacité de 125  $\mu$ F.

Ce choix garantit un bon filtrage, une tension de sortie plus stable, et assure ainsi un fonctionnement fiable du convertisseur Boost 12V/24V.

##### **III.3.1. 4 Inductance de lissage du courant**

Sa valeur, égale à 104  $\mu$ H a été calculée à l'aide de la formule (II -14) présentée au chapitre II Cette valeur reste adaptée au fonctionnement du convertisseur Boost 12/24 V. Il nous reste à effectuer le calcul du nombre de spires de la bobine, en fonction du circuit magnétique utilisé.



Figure III.10: Photos des composant de la carte de puissance.

### III. 4 Dimensionnement de la bobine

#### III.4. 1 Dimensionnement de la bobine

Lorsque le courant traversant les enroulements d'inductances ou de transformateurs fonctionnant à haute fréquence est alternatif, il ne se répartit plus uniformément dans la section du conducteur. Au lieu de cela, il circule majoritairement à la surface du conducteur, dans une région appelée **épaisseur de peau**. [1]

Cette épaisseur, notée généralement  $e_p$ , peut être estimée à l'aide de la formule suivante :

$$e_p = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu \omega}} \quad (\text{III.1})$$

Où :

- $\rho$  Est la résistivité du matériau ( $\Omega \cdot m$ ).
- $\mu$  Est la perméabilité magnétique du conducteur (H/m).

- $\omega = 2\pi f$  Est la pulsation (rad/s).
- $f$  Est la fréquence du courant (Hz).

Dans le cas du **cuivre**, cette formule est souvent simplifiée sous la forme :

$$e_p \approx \frac{70}{\sqrt{f}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{III.2})$$

Remarque : Pour un bon fonctionnement à haute fréquence, le rayon du fil ne doit pas dépasser l'épaisseur de peau. En effet, si le courant ne pénètre que partiellement le conducteur, cela augmente les pertes par effet de peau.

### III.4.2 Calcul de l'intensité maximale admissible

À partir de la fréquence, on peut déterminer l'intensité maximale admissible dans le fil.

La section totale d'un fil circulaire est donnée par :

$$S_{fil} = \pi r^2 \quad (\text{III.3})$$

Ce qui signifie que :

$$I_{eff} = \pi \epsilon r^2 j \quad (\text{III.4})$$

$J$  : est la densité de courant admissible (5A/mm).

Le tableau **III.1** donne l'épaisseur de peau et les courants efficaces en fonction de la fréquence.

Fréquence en [kHz]	$e_p$ en [mm]	$I_{eff}$ ( <b>max</b> ) en [A]
5	1	15
10	0.7	7.5
20	0.5	4
50	0.3	1.5
100	0.22	0.8

**Tableau III.1 : Relation entre fréquence, épaisseur de peau et courants efficaces.**

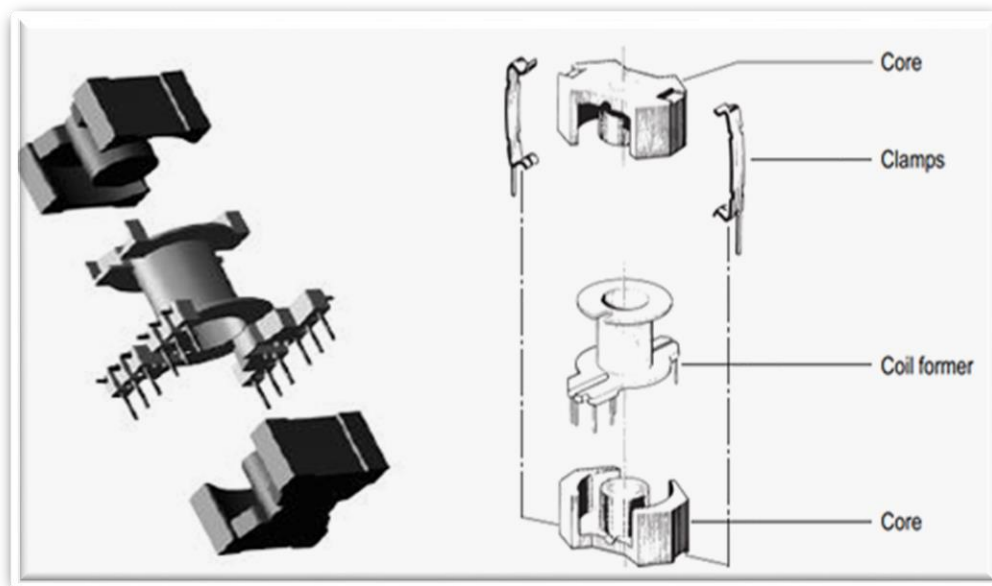
Ce tableau permet de sélectionner le diamètre du fil en fonction de la fréquence de fonctionnement de l'hacheur. À 40 kHz, une épaisseur de peau intermédiaire (environ 0,4 mm) est attendue, justifiant le choix d'un fil de 0,5 mm bobiné en parallèle pour supporter un courant efficace de 5 A.

### III.4.3 Paramètres dimensionnels d'un circuit magnétique

Le circuit magnétique utilisé pour la réalisation de l'hacheur est : [1]

- ✓ **Série** : B65815E0000R087.
- ✓ **Type** : N87.

Les caractéristiques générales du circuit magnétique sont données par la datasheet dans l'annexe.



**Figure III.11: Circuit magnétique d'une bobine.**

Pour simplifier le calcul de l'inductance, les fabricants fournissent un facteur appelé  $A_L$ , qui caractérise l'inductance du circuit magnétique.

$$A_L = \frac{\mu_0}{\frac{1}{\sum \frac{1}{A}}} 10^6 \quad [\text{nH}] \quad (\text{III.5})$$

$A_L$ : Facteur d'inductance du circuit magnétique.

$$A_L = 5.3 \mu\text{H} \quad (\text{III.6})$$

Calcul le nombre de spire de la bobine :

L'inductance est donc définie comme :

$$L = N^2 A_L \quad [\text{nH}] \quad (\text{III.7})$$

N : nombre de spire :

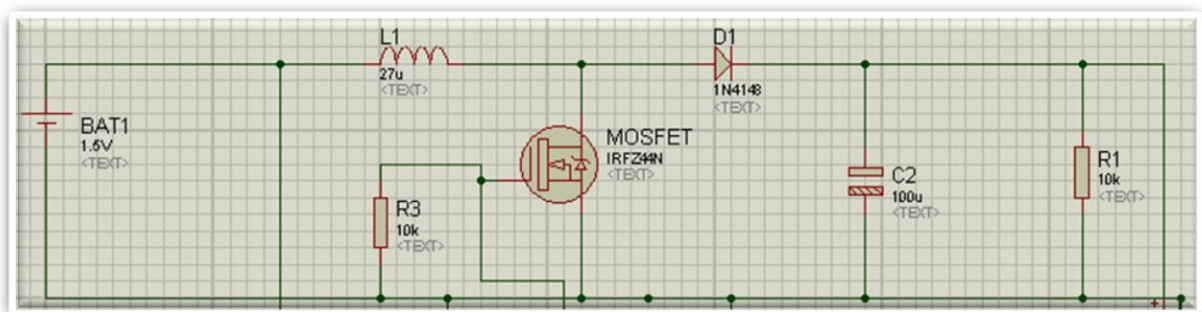
$$N = \sqrt{L/A_L} \quad (\text{III.8})$$

$$N = \sqrt{\frac{104.17 \cdot 10^3}{5.3 \cdot 10^3}} \approx 4.43 \approx (\text{nombre de spire } N = 5 \text{ spire})$$

Schéma électrique de simulation du hacheur Boost réalisé sous ISIS

### III. 5 Schéma électrique de simulation de l'hacheur Boost réalisé sous ISIS

#### III.5. 1 Circuit électrique de l'hacheur



**Figure III.12 : Circuit de l'hacheur Boost sur ISIS.**

La figure III.12 représente un schéma électrique simulé sous ISIS représentant le cœur du convertisseur Boost. On y distingue les principaux composants : transistor MOSFET, diode de roue libre, inductance de stockage, condensateur de filtrage et charge résistive. Ce montage permet d'analyser le comportement dynamique du hacheur en environnement simulé.

### III.5. 2 Circuit électrique complet de l'hacheur

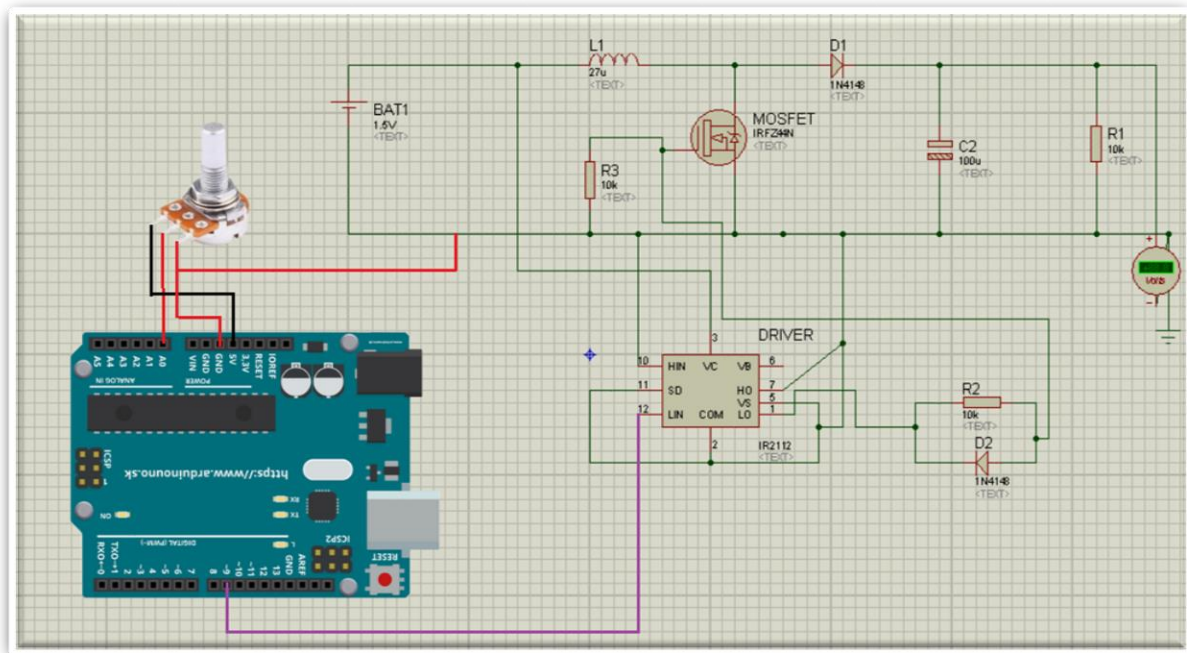


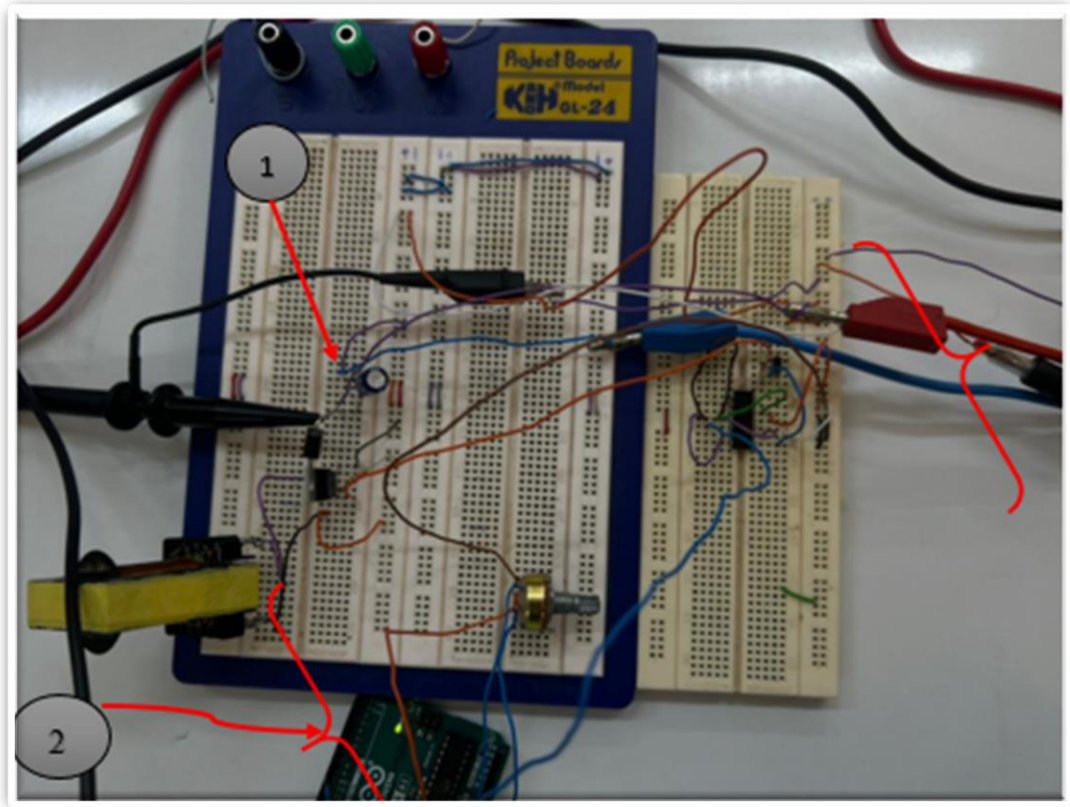
Figure III.13 : Circuit complet du l'hacheur Boost sur ISIS.

La Figure III.8 présente un schéma complet du convertisseur Boost dans l'environnement ISIS, incluant la commande PWM générée par l'Arduino, le driver de puissance IR2113, ainsi que le circuit de puissance. Ce schéma intègre tous les éléments nécessaires à la commande et à la conversion d'énergie.

### III.5. 3 Réalisation du l'hacheur sur la plaque d'essai

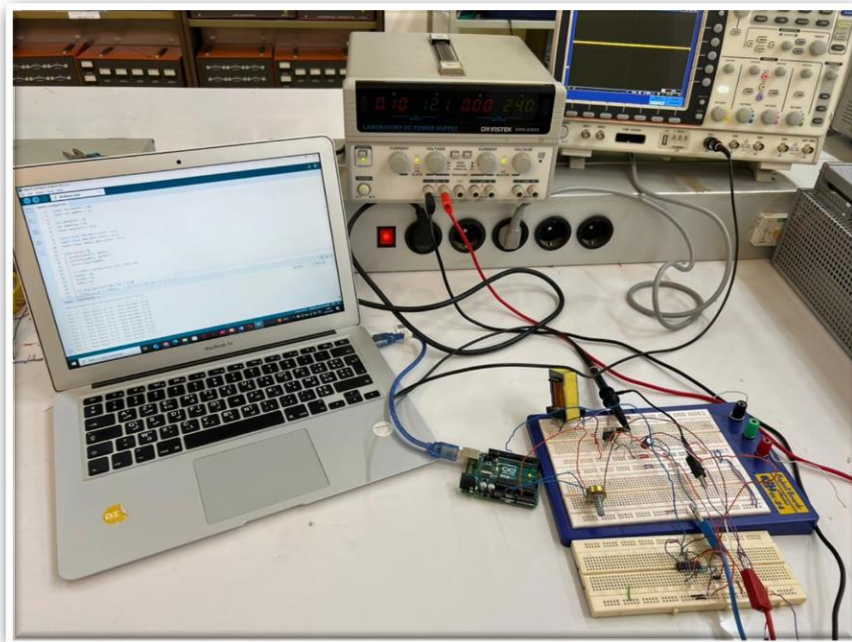
L'Hacheur est réalisé sur deux parties :

- 1) La première partie contient le circuit de puissance et les circuits de prélèvement des grandeurs électriques (courants et tensions)
- 2) La deuxième partie contient le Arduino, le driver de MOSFET (IRF530 voire l'annexe),



**Figure III.14 : Circuit complet d'hacheur sur la place d'essai.**

La figure III.15 montre le montage réel réalisé sur le banc d'essai, avec variation de l'angle  $\alpha$ .



**Figure III.15 : Schéma du montage réel sur la plaque d'essai.**

## III. 6 Réalisation de l'hacheur sur la place PCB

### III.6. 1 Dessin sur l'logiciel ARES

Le circuit imprimé (PCB) de notre montage a été réalisé à l'aide du logiciel ARES, comme illustré en vue 3D dans la figure III.16.

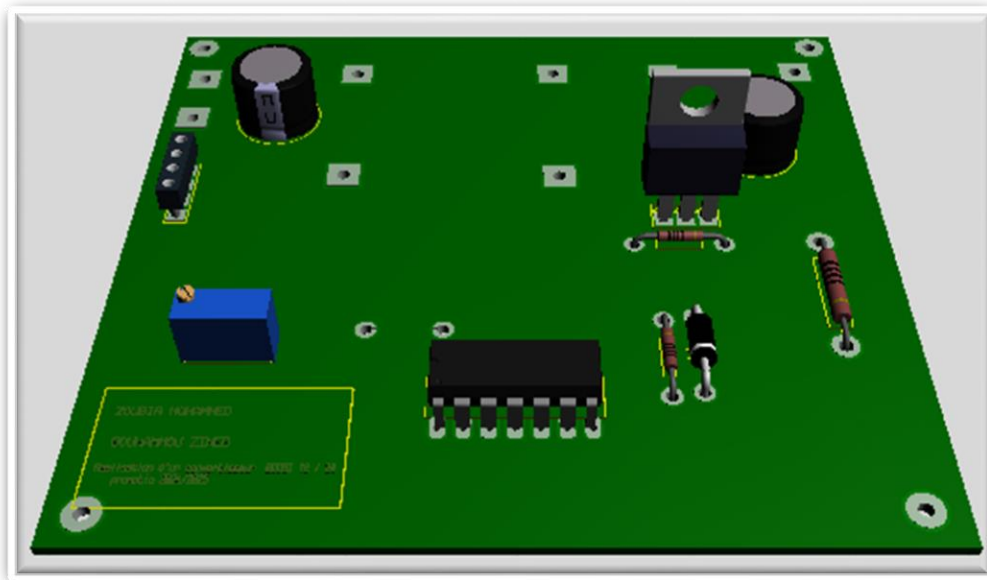


Photo 3D coté composent.

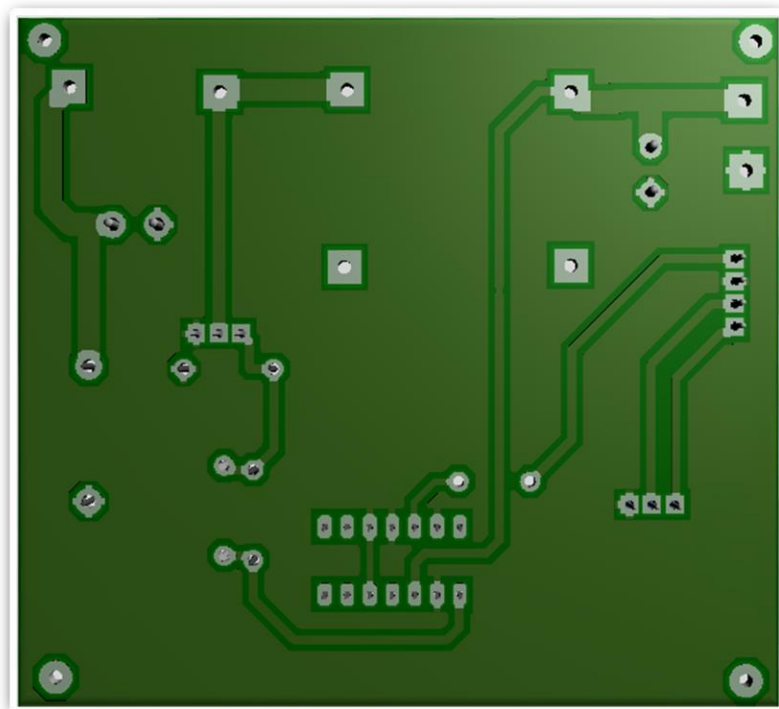
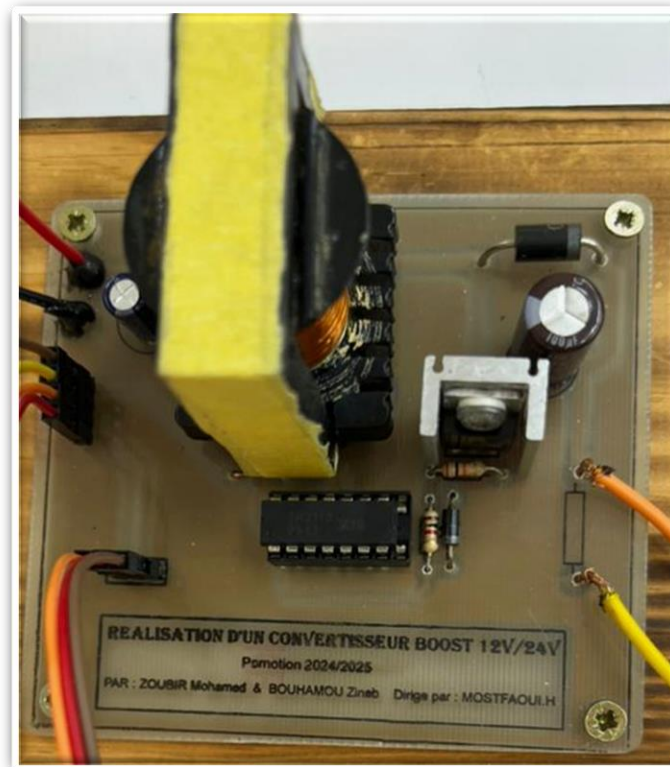


Photo 3D coté piste cuivrée.

**Figure III.16: Photo de la carte 3D des composent de l'hacheur .**

### **III.6. 2 Montage réalisé**



**Figure III.17 : Photo de l'hacheur Boost réalisé sur le circuit imprimé.**

### **III. 7 Résultats expérimentaux**

L'hacheur élévateur est initialement alimenté par une tension d'entrée de 12 V et chargé par une résistance R. En augmentant le rapport cyclique, cette charge a été remplacée par un moteur à courant continu, capable de supporter une tension maximale de 35 V. Ainsi, le fonctionnement de l'hacheur s'adapte afin d'alimenter des charges nécessitant une tension plus élevée

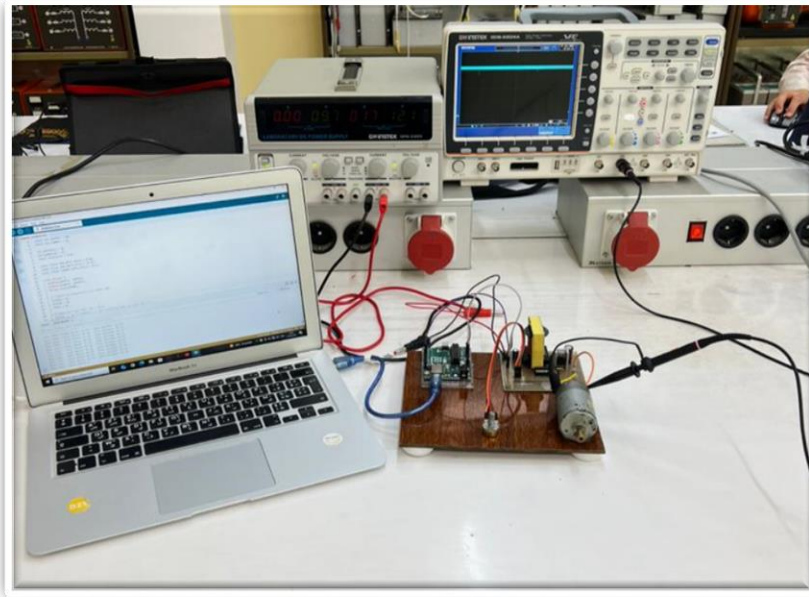


Figure III.18: Photo représenté l'essai de l'hacheur.

### III.7.1 Effet de la variation du rapport cyclique

- Test N°1 (Tension  $V= 12V$ , rapport cyclique  $\alpha = 0.03$ )

Courbes de tensions :

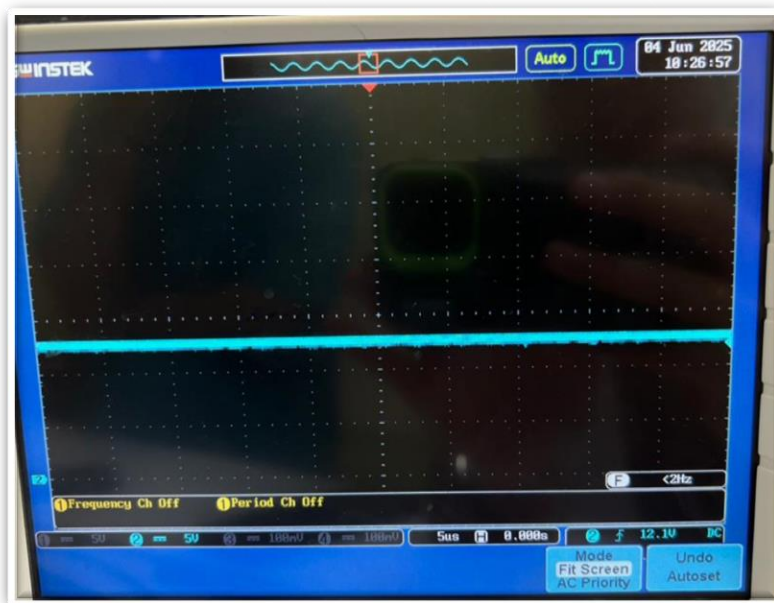
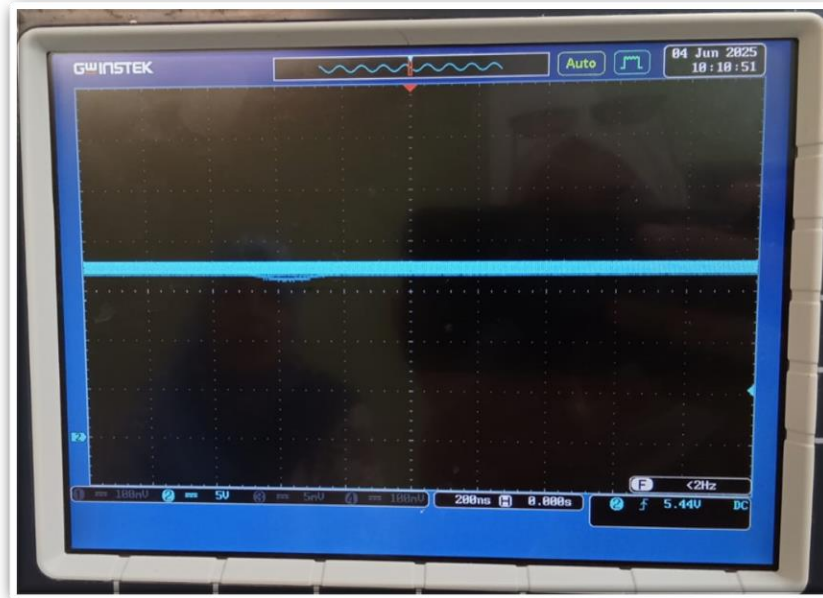


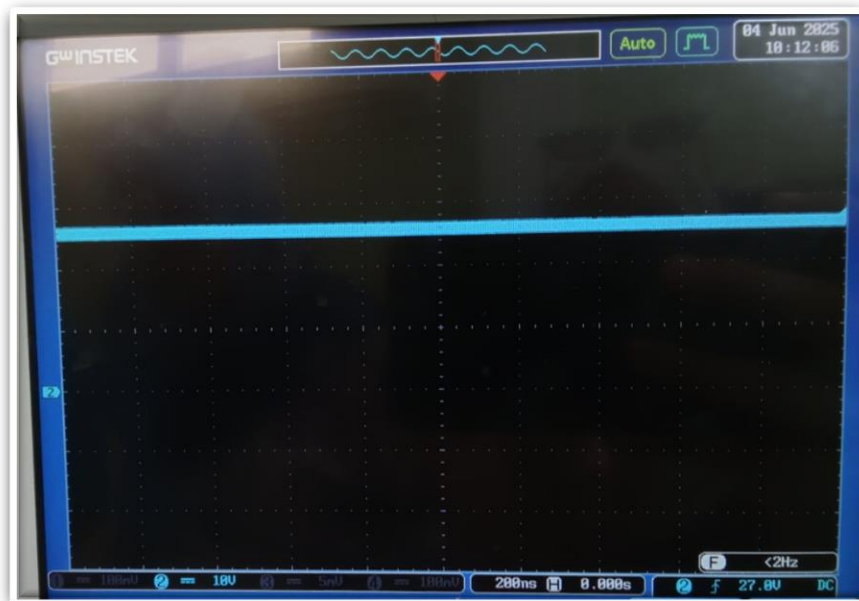
Figure III.19 : Courbe de tensions12V

- Test N°2 (Tension  $V= 17V$ , rapport cyclique  $\alpha = 0.3$ )



**Figure III.20 : Courbe de tensions17V.**

- Test N°3 (Tension  $V= 24V$ , rapport cyclique  $\alpha = 0.5$ )



**Figure III.21 : Courbe de tensions24V**

➤ **Interprétation des résultats :**

Le tableau **III.2** représente effet de la variation du rapport cyclique et de la tension d'entrée sur forme de la tension de sortie

Test	Tension(v)	Rapport cyclique	Observation
1	12V	0.03(3%)	Forme d'onde fine ou faible
2	17V	0.3(30%)	Forme d'onde plus marquée
3	24V	0.5(50%)	Forme d'onde large / forte

**Tableau III.2 : Résumé des tests de la variation du rapport cyclique**

La figure III.19 et III.20 et III.21 représentent la tension du rapport cyclique est un levier direct sur la tension de sortie de l'hacheur boost.

Lorsque  $\alpha$  augmente, la tension de sortie augmente aussi, mais pas de manière proportionnelle. La forme de la « tension de sortie » permet de visualiser le comportement dynamique de la conversion.

Ces tests sont essentiels pour valider le comportement réel par rapport à la théorie.

### III. 8 Comparaison avec les simulations et réalisation pratique

Les résultats expérimentaux obtenus lors des tests de l'hacheur Boost montrent une bonne concordance avec les simulations réalisées sous MATLAB/Simulink. Par exemple, dans la simulation, un rapport cyclique  $\alpha = 0.5$  permettait d'atteindre une tension de sortie proche de 24 V. En pratique, avec le même rapport cyclique, nous avons mesuré une tension de 26 V, ce qui confirme le bon fonctionnement du système tout en révélant une légère surestimation due aux conditions réelles (pertes dans les composants, tolérances, bruit, etc.). De même, pour un  $\alpha$  de 0.3, la tension de sortie simulée était autour de 17 V, ce qui a également été observé expérimentalement. Les formes d'ondes relevées à l'oscilloscope lors de la réalisation pratique suivent la même tendance que celles obtenues en simulation, bien que présentant des ondulations plus marquées, dues aux imperfections des composants réels et aux effets parasites non modélisés.

### III. 9 Conclusion

Pour conclure ce chapitre, nous avons étudié le modèle expérimental d'un hacheur BOOST à sortie réglable. Il se compose de trois blocs : commande, puissance et programme de contrôle du rapport cyclique ( $\alpha$ ). Il convient de souligner que cet hacheur a été réalisé conformément aux spécifications définies en début de chapitre. Les résultats expérimentaux obtenus ont pu être aisément comparés aux résultats de simulation.

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale :

Ce mémoire a permis de mener à bien l'étude, la conception, la simulation et la réalisation pratique d'un convertisseur élévateur de tension (Boost) à sortie réglable, commandé par une carte Arduino. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'exigences spécifiques en électrotechnique et répond à des objectifs précis : convertir une tension d'entrée de 12 V en une tension de sortie de 24 V, avec une puissance de 64 W et une fréquence de commutation de 40 kHz.

Le premier chapitre a posé les fondations théoriques en explorant les principes de fonctionnement des convertisseurs DC-DC non isolés (Boost, Buck, Buck-Boost, Cuk, SEPIC), leurs applications variées et leurs rendements respectifs. Cette analyse a permis de contextualiser l'importance cruciale du convertisseur Boost dans des domaines clés tels que les énergies renouvelables, les véhicules électriques et l'électronique portable.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur le dimensionnement précis des composants (inductance, capacité, diode Schottky SR5020, MOSFET IRF830N) et leur validation par des simulations sous MATLAB/Simulink. Ces simulations ont non seulement permis de confirmer les calculs théoriques, mais aussi d'étudier l'impact des variations de paramètres clés tels que l'inductance, le rapport cyclique et la charge, confirmant ainsi la faisabilité et la robustesse du système envisagé.

Enfin, le troisième chapitre a détaillé la mise en œuvre pratique du convertisseur, incluant le montage sur plaque d'essai et sur circuit imprimé (PCB), ainsi que les tests expérimentaux rigoureux. La comparaison des résultats obtenus en laboratoire avec ceux des simulations a démontré une bonne concordance, malgré de légères variations dues aux pertes inhérentes aux composants et aux effets parasites du circuit. Cette validation expérimentale confirme la pertinence de la conception proposée.

Ce projet a concrètement démontré la simplicité et la robustesse de l'utilisation d'une carte Arduino pour la commande numérique via PWM, offrant une solution à la fois économique et flexible pour contrôler la tension de sortie. Les défis techniques rencontrés, tels que la gestion des ondulations, la minimisation des pertes dans les composants et l'optimisation du circuit magnétique, ont été abordés avec succès, renforçant la fiabilité globale du système. Les résultats expérimentaux, notamment l'atteinte d'une tension de sortie de 26 V pour un rapport cyclique

## Conclusion générale

---

de 0.5, confirment le potentiel du convertisseur pour des applications nécessitant une élévation de tension stable et efficace.

En perspectives futures, ce travail pourrait être enrichi par plusieurs axes de recherche. L'intégration de régulateurs PID plus avancés, ou d'autres stratégies de commande adaptative, permettrait d'améliorer encore la dynamique et la robustesse face aux variations de charge ou de source. De même, l'utilisation de composants à plus haut rendement ou l'exploration de topologies hybrides pourraient être envisagées pour des applications de puissances supérieures. Ce mémoire contribue ainsi de manière significative à la compréhension approfondie des convertisseurs DC-DC et à leur mise en œuvre pratique, tout en ouvrant des voies prometteuses pour de futures recherches dans le domaine de l'électronique de puissance et des systèmes embarqués.

# **Bibliographié**

## Bibliographié

---

- [1] M. Arab, « Etude et réalisation d'un hacheur Buck à sortie réglable alimenté par un bus HVDC », Mémoire de Master, Université de Chlef, 2021.
- [2] Theodore.wildi. " electrotechnique "3 me edition de boeck université 2000
- [3] H .Sahraoui « modélisation et commande des convertisseurs DC-DC utilisés dans les systèmes photovoltaïques (théorie et expérimentation) », thèse de doctorat, université de Batna 2, 2016.
- [4] A .Abdelhak « propriétés électriques des composants électroniques minéraux et organiques, conception et modélisation d'une chaîne photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire ». Thèse de doctorat, université Toulouse, 2006.
- [5] a. Rufer, p. Barrade « cours d'électronique de puissance conversion DC/DC », octobre 2001, EPFL, 90 pages. École polytechnique fédérale de LAUSANNE.
- [6] S.Ghandour « conception de convertisseurs dc/dc à base de mems », thèse de doctorat, université de Grenoble, 2011.
- [7] Degrenne, B. Allard, F. Buret et J.M. Monier, « Répartition de l'énergie électrique produite par les piles à combustibles microbiennes », symposium de génie électrique „SGE“14, ENS Cachan France.
- [8] Philippe BARRADE, Electronique de puissance, Méthodologies et convertisseurs élémentaires
- [9] S. Petitbon, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». PhD thésis, Université Paul Sabatier Toulouse, Janvier 2009
- [10] P. Petit, « Optimisation du transfert d'énergie dans les capteurs photovoltaïques », PhD thesis, Université Paul Verlaine Metz, 2011.
- [11] M. Arab, « Etude et réalisation d'un simulateur de bus HVDC photovoltaïque », Mémoire de Master, Université de Chlef, 2012.
- [12] NADIR CHEYMA LAKHNACHE CHAHRA-ZAD, « Conception d'un caractériser autonome pour panneau photovoltaïque », Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

## Bibliographié

---

- [13] : B. W. Williams, "Power Electronics: Devices, Drivers, Applications and Passive
- [14] Rapport POWER ELECTRONICS AND MOTOR DRIVE BOOST CONVERTER DESIGN
- [15] A. Cid Pastor, « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, septembre 2006.
- [16] : B. Issartel : « Conception d'un convertisseur DC/DC de type boost », Projet P10AB04, Centre universitaire des sciences et techniques (Polytech Clermont- Ferrand), France, 2010
- [17] : EL M. Kamel « Dimensionnement d'un hacheur survolteur », Projet p09AB06, Centre universitaire des sciences et techniques (Polytech Clermont- Ferrand), France, 2009
- [18] S. Kurtz et al. High efficiency solar cells for large-scale electricity generation, NREL,26/9/348, <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/4435.pdf>
- [19] : B.Bayoub\_D.Youcef « Simulation et réalisation d'un MPPT appliqué à un système de pompage » Mémoire de Projet de Fin d'Etudes: Electronique: Alger, Ecole Nationale Polytechnique, 2012.
- [20] : <http://projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.odt> Access le 13/06/2025
- [21] : [www.arduinoHome.cc](http://www.arduinoHome.cc) Access le 13/06/2025
- [22] : <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> Access le 13/06/2025
- [23] Mohamed B. Debbat, Rochdi Bachir-Bouiadjra, Hafid A. Bouziane, Sliding mode control of two-level Boost DC-DC converter, 4th International Conference on Electrical Engineering IGEE, Boumerdes, December 13th -15th, 2015.
- [24] Hamochi hamid, « Conception & réalisation d'une centrale embarquée de la domotique « Smart Home », mémoire du projet de fin d'études, université Mohammed V, RABAT, 2015



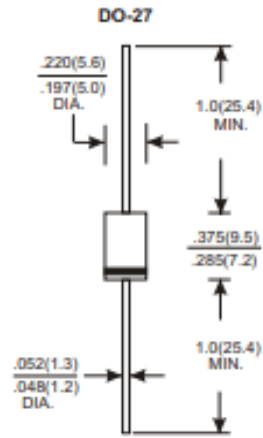
## **Bibliographié**

---

[25]: B. Charaf Eddine, T.Abdel Kader « Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu », Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.

# **Les Annexes**

**Datasheet de la diode utilisée pour la réalisation du Hacheur :**

 <p><b>SECOs</b> Elektronische Bauelemente</p>	<p><b>SR5150</b> <b>VOLTAGE 150V</b> <b>5.0 Amp Schottky Barrier Rectifiers</b></p>																																													
<p>RoHS Compliant Product A suffix of "-C" specifies halogen &amp; lead-free</p> 																																														
<p><b>FEATURES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Low forward voltage drop</li> <li>* High current capability</li> <li>* High reliability</li> <li>* High surge current capability</li> <li>* Epitaxial construction</li> </ul> <p><b>MECHANICAL DATA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Case: Molded plastic</li> <li>* Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant</li> <li>* Lead: Lead solderable per MIL-STD-202, method 208 guaranteed</li> <li>* Polarity: As Marked</li> <li>* Mounting position: Any</li> <li>* Weight: 1.10 grams(Approximately)</li> </ul>	<p>DO-27</p>  <p>Dimensions in inches and (millimeters)</p>																																													
<p><b>MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b></p> <p>Rating 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.</p>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">TYPE NUMBER</th> <th style="text-align: center;">SR5150</th> <th style="text-align: left;">UNITS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: left;">V</td> </tr> <tr> <td>Working Peak Reverse Voltage</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: left;">V</td> </tr> <tr> <td>Maximum DC Blocking Voltage</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: left;">V</td> </tr> <tr> <td>Maximum Average Forward Rectified Current</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>See Fig. 1</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: left;">A</td> </tr> <tr> <td>Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: left;">A</td> </tr> <tr> <td>Maximum Instantaneous Forward Voltage (I<sub>F</sub> = 5 Amps, T<sub>F</sub> = 25°C)</td> <td style="text-align: center;">0.85</td> <td style="text-align: left;">V</td> </tr> <tr> <td>Maximum Instantaneous Forward Voltage (I<sub>F</sub> = 5 Amps, T<sub>F</sub> = 125°C)</td> <td style="text-align: center;">0.72</td> <td style="text-align: left;">V</td> </tr> <tr> <td>Maximum DC Reverse Current T<sub>a</sub>=25°C</td> <td style="text-align: center;">0.02</td> <td style="text-align: left;">mA</td> </tr> <tr> <td>at Rated DC Blocking Voltage T<sub>a</sub>=125°C</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: left;">mA</td> </tr> <tr> <td>Typical Junction Capacitance (Note1)</td> <td style="text-align: center;">350</td> <td style="text-align: left;">pF</td> </tr> <tr> <td>Typical Thermal Resistance R<sub>θJC</sub> (Note 2)</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: left;">°C/W</td> </tr> <tr> <td>Operating Temperature Range T<sub>J</sub></td> <td style="text-align: center;">-50 ~ +150</td> <td style="text-align: left;">°C</td> </tr> <tr> <td>Storage Temperature Range T<sub>STG</sub></td> <td style="text-align: center;">-65 ~ +175</td> <td style="text-align: left;">°C</td> </tr> </tbody> </table>		TYPE NUMBER	SR5150	UNITS	Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	150	V	Working Peak Reverse Voltage	150	V	Maximum DC Blocking Voltage	150	V	Maximum Average Forward Rectified Current			See Fig. 1	5	A	Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	150	A	Maximum Instantaneous Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 5 Amps, T <sub>F</sub> = 25°C)	0.85	V	Maximum Instantaneous Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 5 Amps, T <sub>F</sub> = 125°C)	0.72	V	Maximum DC Reverse Current T <sub>a</sub> =25°C	0.02	mA	at Rated DC Blocking Voltage T <sub>a</sub> =125°C	10	mA	Typical Junction Capacitance (Note1)	350	pF	Typical Thermal Resistance R <sub>θJC</sub> (Note 2)	12	°C/W	Operating Temperature Range T <sub>J</sub>	-50 ~ +150	°C	Storage Temperature Range T <sub>STG</sub>	-65 ~ +175	°C
TYPE NUMBER	SR5150	UNITS																																												
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	150	V																																												
Working Peak Reverse Voltage	150	V																																												
Maximum DC Blocking Voltage	150	V																																												
Maximum Average Forward Rectified Current																																														
See Fig. 1	5	A																																												
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	150	A																																												
Maximum Instantaneous Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 5 Amps, T <sub>F</sub> = 25°C)	0.85	V																																												
Maximum Instantaneous Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 5 Amps, T <sub>F</sub> = 125°C)	0.72	V																																												
Maximum DC Reverse Current T <sub>a</sub> =25°C	0.02	mA																																												
at Rated DC Blocking Voltage T <sub>a</sub> =125°C	10	mA																																												
Typical Junction Capacitance (Note1)	350	pF																																												
Typical Thermal Resistance R <sub>θJC</sub> (Note 2)	12	°C/W																																												
Operating Temperature Range T <sub>J</sub>	-50 ~ +150	°C																																												
Storage Temperature Range T <sub>STG</sub>	-65 ~ +175	°C																																												
<p>NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 5.0V D.C.</li> <li>2. Thermal Resistance Junction to Case.</li> </ol>																																														
<p><a href="http://www.SeCoSGmbH.com">http://www.SeCoSGmbH.com</a> <span style="float: right;">Any changing of specification will not be informed individual</span></p>																																														



**SR5150**  
**VOLTAGE 150V**  
**5.0Amp Schottky Barrier Rectifiers**

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (SR5150)

FIG.1-TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

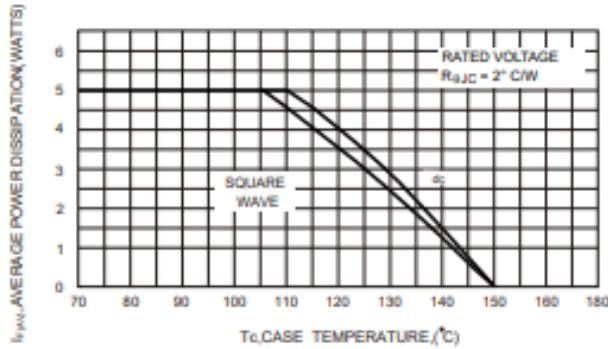


FIG.2- TYPICAL FORWARD VOLTAGE (PER LEG)

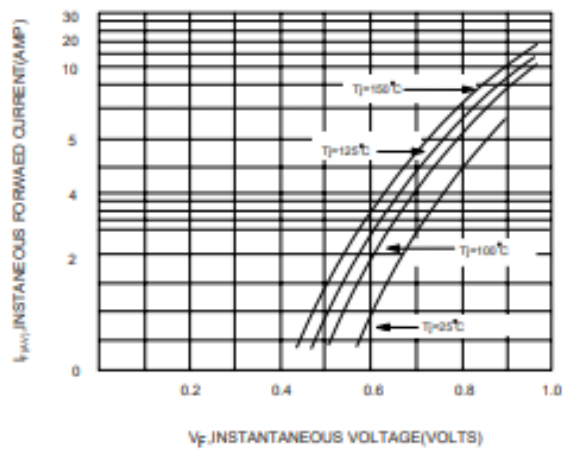


FIG.3-MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

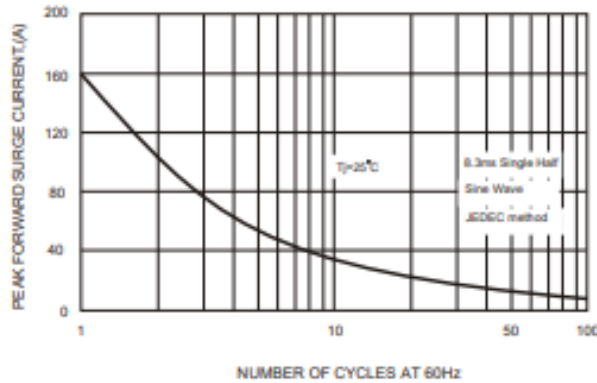


FIG.5-TYPICAL REVERSE CURRENT (PER LEG)

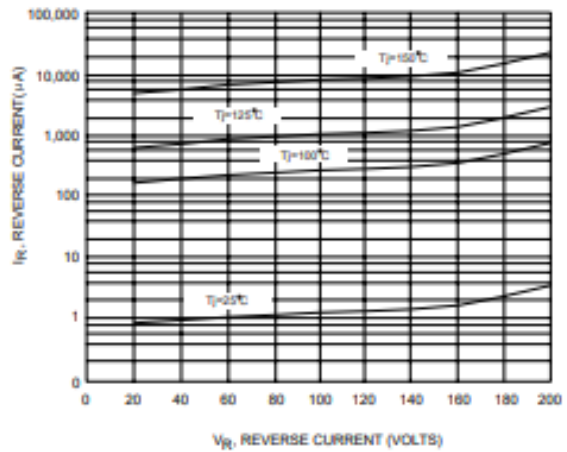
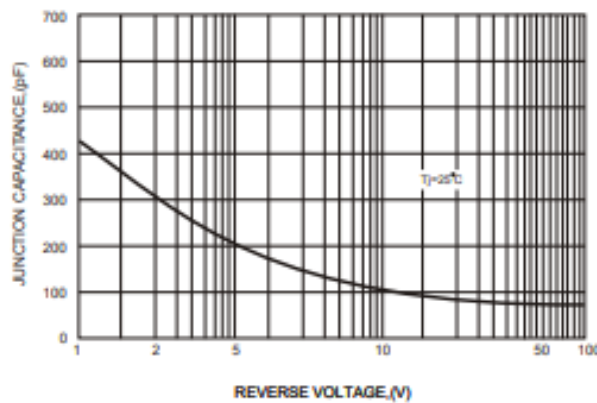


FIG.4-TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE



Datasheet de L'IGBT utilisé pour la réalisation du Hacheur

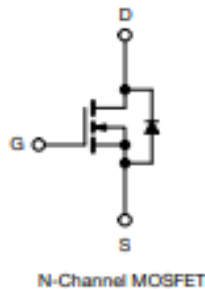
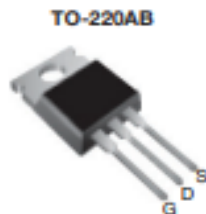


www.vishay.com

IRF530

Vishay Siliconix

Power MOSFET



FEATURES

- Dynamic dV/dt rating
- Repetitive avalanche rated
- 175 °C operating temperature
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



RoHS\*  
Available  
HALOGEN  
FREE  
Available

Note

\* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details

DESCRIPTION

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

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

PRODUCT SUMMARY	
V <sub>DS</sub> (V)	100
R <sub>DS(on)</sub> (Ω)	V <sub>GS</sub> = 10 V 0.16
Q <sub>g</sub> max. (nC)	26
Q <sub>gs</sub> (nC)	5.5
Q <sub>gd</sub> (nC)	11
Configuration	Single

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF530PbF
Lead (Pb)-free and halogen-free	IRF530PbF-BE3



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>C</sub> = 25 °C, unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-source voltage	V <sub>DS</sub>	100	V
Gate-source voltage	V <sub>GS</sub>	± 20	
Continuous drain current	V <sub>GS</sub> at 10 V	T <sub>C</sub> = 25 °C	14
		T <sub>C</sub> = 100 °C	10
Pulsed drain current <sup>a</sup>	I <sub>DM</sub>	56	A
Linear derating factor		0.59	W/°C
Single pulse avalanche energy <sup>b</sup>	E <sub>AS</sub>	69	mJ
Repetitive avalanche current <sup>a</sup>	I <sub>AR</sub>	14	A
Repetitive avalanche energy <sup>a</sup>	E <sub>AR</sub>	8.8	mJ
Maximum power dissipation	T <sub>C</sub> = 25 °C	P <sub>D</sub>	88
Peak diode recovery dV/dt <sup>c</sup>	dV/dt	5.5	V/ns
Operating junction and storage temperature range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	-55 to +175	°C
Soldering recommendations (peak temperature) <sup>d</sup>	For 10 s	300	
Mounting torque	6-32 or M3 screw		10
			1.1

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11)
- V<sub>DD</sub> = 25 V, starting T<sub>J</sub> = 25 °C, L = 528 μH, R<sub>g</sub> = 25 Ω, I<sub>AS</sub> = 14 A (see fig. 12)
- I<sub>SD</sub> ≤ 14 A, di/dt ≤ 140 A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>DS</sub>, T<sub>J</sub> ≤ 175 °C
- 1.6 mm from case

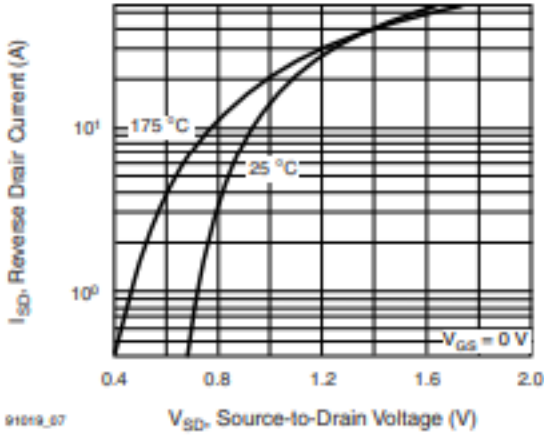


THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum junction-to-ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-sink, flat, greased surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum junction-to-case (drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.7	

SPECIFICATIONS ( $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)							
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX. UNIT	
<b>Static</b>							
Drain-source breakdown voltage	$V_{DS}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		100	-	- V	
$V_{DS}$ temperature coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{ mA}$		-	0.12	- V/°C	
Gate-source threshold voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		2.0	-	4.0 V	
Gate-source leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$		-	-	$\pm 100\text{ nA}$	
Zero gate voltage drain current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 100\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$		-	-	25 $\mu\text{A}$	
		$V_{DS} = 80\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$		-	-	250 $\mu\text{A}$	
Drain-source on-state resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 8.4\text{ A}^b$	-	-	0.16 $\Omega$	
Forward transconductance	$g_{fs}$	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 8.4\text{ A}^b$		5.1	-	- S	
<b>Dynamic</b>							
Input capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$ , see fig. 5		-	670	-	pF
Output capacitance	$C_{oss}$			-	250	-	
Reverse transfer capacitance	$C_{rss}$			-	60	-	
Total gate charge	$Q_g$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 14\text{ A}, V_{DS} = 80\text{ V}$ , see fig. 6 and 13 <sup>b</sup>	-	-	26	nC
Gate-source charge	$Q_{gs}$			-	-	5.5	
Gate-drain charge	$Q_{gd}$			-	-	11	
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 50\text{ V}, I_D = 14\text{ A}$ $R_g = 12\text{ }\Omega, R_D = 3.6\text{ }\Omega$ , see fig. 10 <sup>b</sup>		-	10	-	ns
Rise time	$t_r$			-	34	-	
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$			-	23	-	
Fall time	$t_f$			-	24	-	
Gate input resistance	$R_g$	$f = 1\text{ MHz}$ , open drain		1.0	-	4.7	$\Omega$
Internal drain inductance	$L_D$	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 		-	4.5	-	nH
Internal source inductance	$L_S$			-	7.5	-	
<b>Drain-Source Body Diode Characteristics</b>							
Continuous source-drain diode current	$I_S$	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 		-	-	14	A
Pulsed diode forward current <sup>a</sup>	$I_{SM}$			-	-	56	
Body diode voltage	$V_{SD}$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 14\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$		-	-	2.5	V
Body diode reverse recovery time	$t_{rr}$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 14\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$		-	150	280	ns
Body diode reverse recovery charge	$Q_{rr}$			-	0.85	1.7	$\mu\text{C}$
Forward turn-on time	$t_{on}$	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S$ and $L_D$ )					

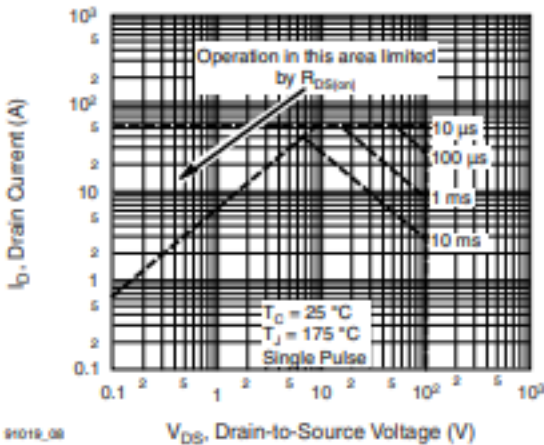
**Notes**

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11)
- b. Pulse width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$



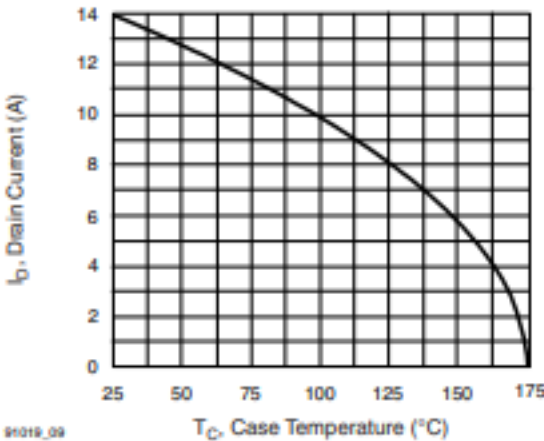
91019\_07

Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



91019\_08

Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area



91019\_09

Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

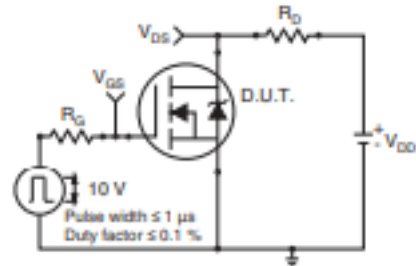


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

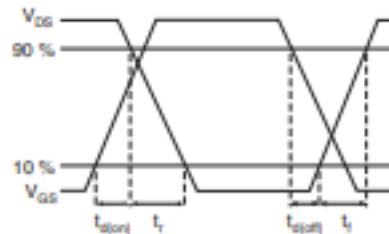


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

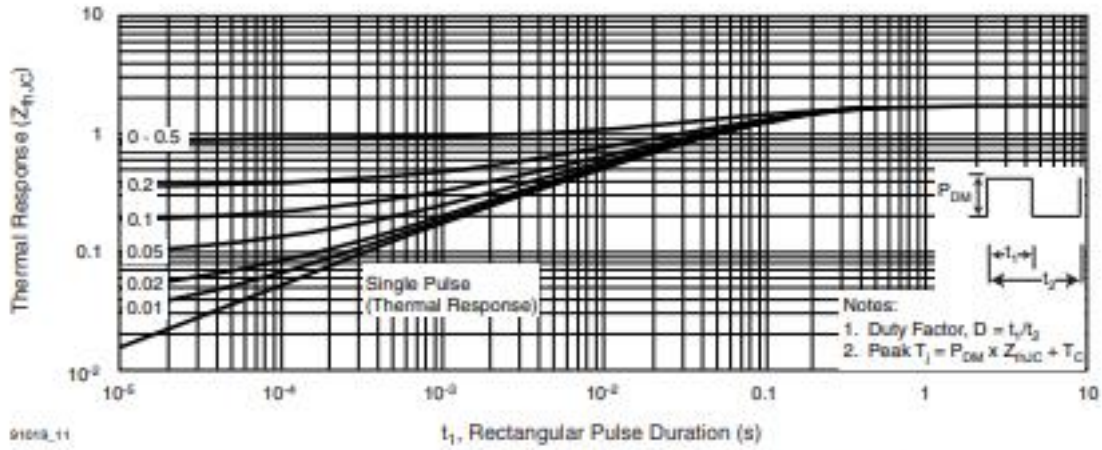


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

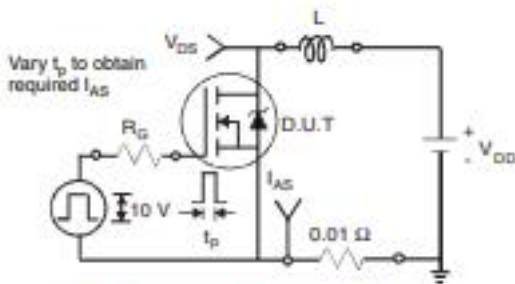


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

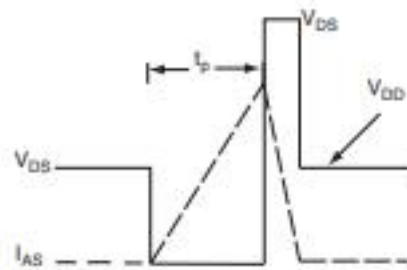


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

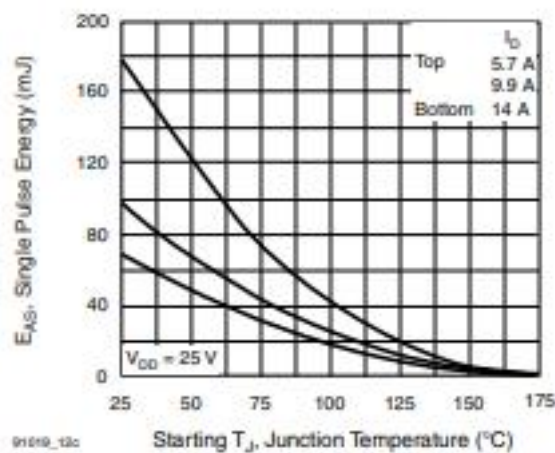


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

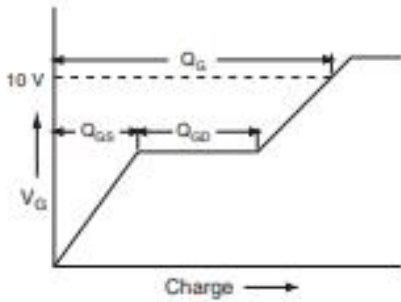


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

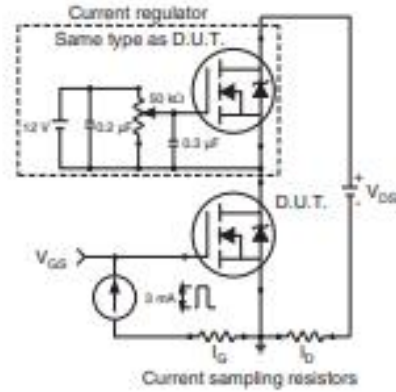


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

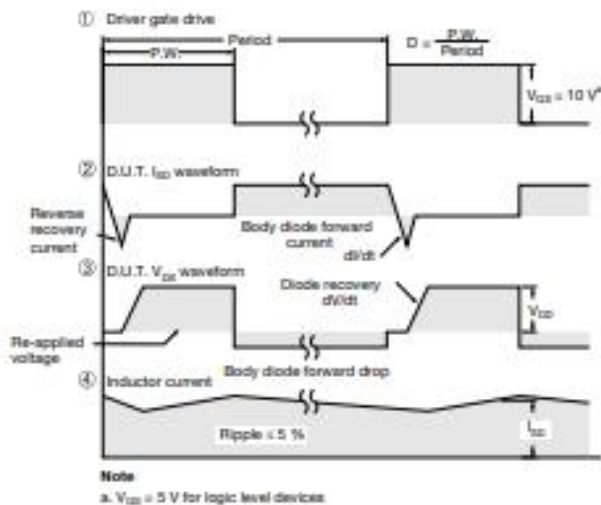
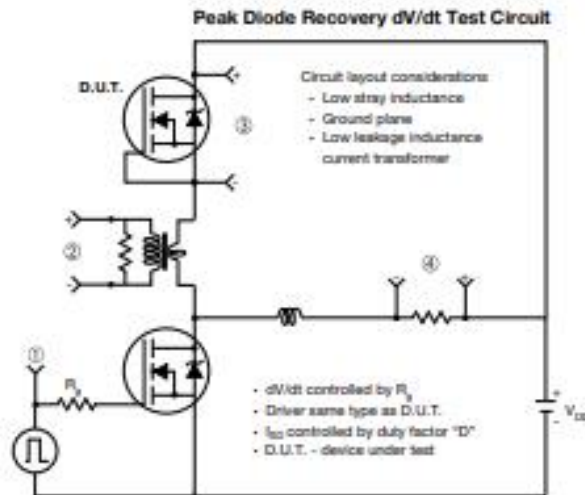


Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see [www.vishay.com/long291015](http://www.vishay.com/long291015).

**Datasheet du driver MOFET IR2112 :**



Data Sheet No. PD60026 revS

**IR2112(-1-2)(S)PbF**

**HIGH AND LOW SIDE DRIVER**

**Features**

- Floating channel designed for bootstrap operation
- Fully operational to +600V
- Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
- Separate logic supply range from 3.3V to 20V
- Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

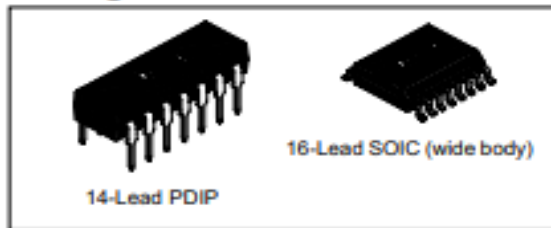
**Product Summary**

$V_{OFFSET}$	600V max.
$I_{O+/-}$	200 mA / 420 mA
$V_{OUT}$	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	125 & 105 ns
Delay Matching	30 ns

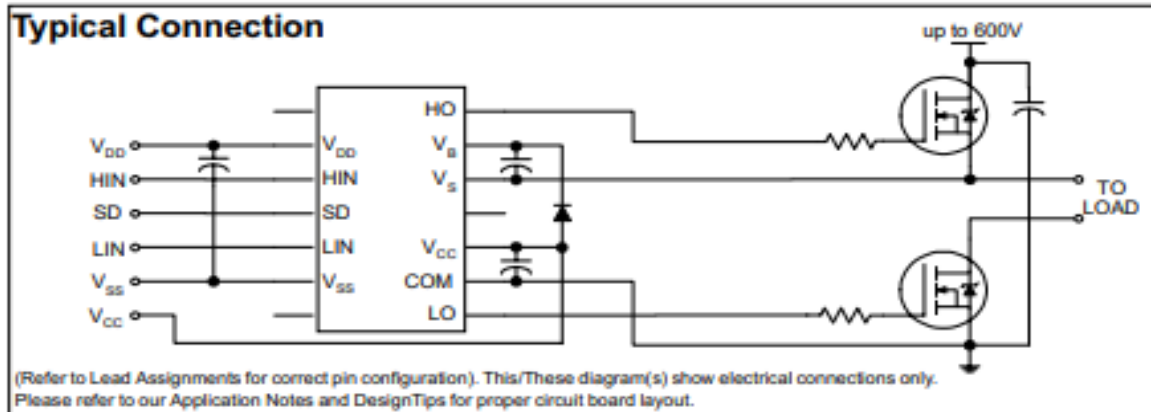
**Description**

The IR2112(S) is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

**Packages**



**Typical Connection**



# IR2112(-1-2)(S)PbF

## Absolute Maximum Ratings

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

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

## Recommended Operating Conditions

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

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High Side Floating Output Voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low Side Output Voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Offset Voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient Temperature	-40	125	°C

**Note 1:** Logic operational for V<sub>S</sub> of -5 to +600V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -5V to -V<sub>BS</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

**Note 2:** When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-On Propagation Delay	7	—	125	180	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-Off Propagation Delay	8	—	105	160		$V_S = 600V$
$t_{sd}$	Shutdown Propagation Delay	9	—	105	160		$V_S = 600V$
$t_r$	Turn-On Rise Time	10	—	80	130		
$t_f$	Turn-Off Fall Time	11	—	40	65		
MT	Delay Matching, HS & LS Turn-On/Off	—	—	—	30		

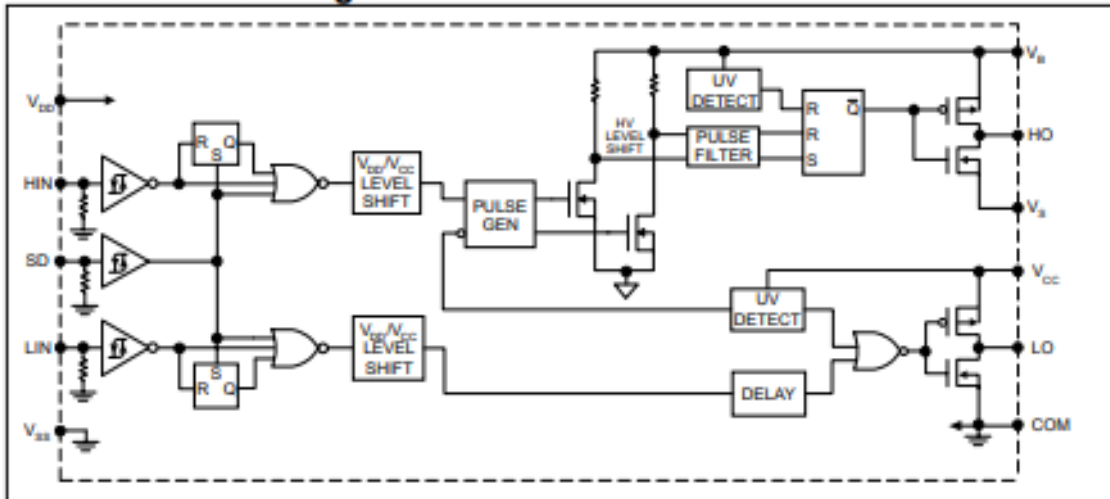
### Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IN}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" Input Voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" Input Voltage	13	—	—	6.0		
$V_{OH}$	High Level Output Voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	100	mV	$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage, $V_O$	15	—	—	100		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset Supply Leakage Current	16	—	—	50	$\mu A$	$V_B = V_S = 600V$
$I_{QBS}$	Quiescent $V_{BS}$ Supply Current	17	—	25	60		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QCC}$	Quiescent $V_{CC}$ Supply Current	18	—	80	180		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QDD}$	Quiescent $V_{DD}$ Supply Current	19	—	2.0	5.0		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" Input Bias Current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" Input Bias Current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ Supply Undervoltage Positive Going Threshold	22	7.4	8.5	9.6	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ Supply Undervoltage Negative Going Threshold	23	7.0	8.1	9.2		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ Supply Undervoltage Positive Going Threshold	24	7.6	8.6	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ Supply Undervoltage Negative Going Threshold	25	7.2	8.2	9.2		
$I_{O+}$	Output High Short Circuit Pulsed Current	26	200	250	—	mA	$V_O = 0V, V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output Low Short Circuit Pulsed Current	27	420	500	—		$V_O = 15V, V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

# IR2112(-1-2)(S)PbF

## Functional Block Diagram



## Lead Definitions

Symbol	Description
V <sub>DD</sub>	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V <sub>SS</sub>	Logic ground
V <sub>B</sub>	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V <sub>S</sub>	High side floating supply return
V <sub>CC</sub>	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Datasheet du arduino



Product Reference Manual  
SKU: A000066



**Description**

The Arduino® UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile development board is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor.

This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

**Target areas:**

Maker, introduction, industries

---



## Features

- **ATMega328P Processor**
  - **Memory**
    - AVR CPU at up to 16 MHz
    - 32 kB Flash
    - 2 kB SRAM
    - 1 kB EEPROM
  - **Security**
    - Power On Reset (POR)
    - Brown Out Detection (BOD)
  - **Peripherals**
    - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
    - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
    - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
    - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
    - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
    - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
    - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
    - Six PWM channels
    - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
  - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
  - 16 kB ISP Flash
  - 512B EEPROM
  - 512B SRAM
  - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
  - 2.7-5.5 volts



## CONTENTS

<b>1 The Board</b>	<b>4</b>
1.1 Application Examples	4
1.2 Related Products	4
<b>2 Ratings</b>	<b>5</b>
2.1 Recommended Operating Conditions	5
2.2 Power Consumption	5
<b>3 Functional Overview</b>	<b>5</b>
3.1 Board Topology	5
3.2 Processor	6
3.3 Power Tree	7
<b>4 Board Operation</b>	<b>8</b>
4.1 Getting Started - IDE	8
4.2 Getting Started - Arduino Cloud Editor	8
4.3 Sample Sketches	8
4.4 Online Resources	8
<b>5 Connector Pinouts</b>	<b>9</b>
5.1 JANALOG	10
5.2 JDIGITAL	10
5.3 Mechanical Information	11
5.4 Board Outline & Mounting Holes	11
<b>6 Certifications</b>	<b>12</b>
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	12
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	12
6.3 Conflict Minerals Declaration	13
<b>7 FCC Caution</b>	<b>13</b>
<b>8 Company Information</b>	<b>14</b>
<b>9 Reference Documentation</b>	<b>14</b>
<b>10 Revision History</b>	<b>14</b>



## 1 The Board

### 1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO R3 as a tool for education purposes or industry-related tasks, the UNO R3 is likely to meet your needs.

**First entry to electronics:** If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

**Industry-standard development board:** Using the UNO R3 board in industries, there are a range of companies using the UNO R3 board as the brain for their PLC's.

**Education purposes:** Although the UNO R3 board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

### 1.2 Related Products

- Arduino Starter Kit
- Arduino UNO R4 Minima
- Arduino UNO R4 WiFi
- Tinkerkit Braccio Robot



## 2 Ratings

### 2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40 °F)	85 °C ( 185 °F)

**NOTE:** In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected.

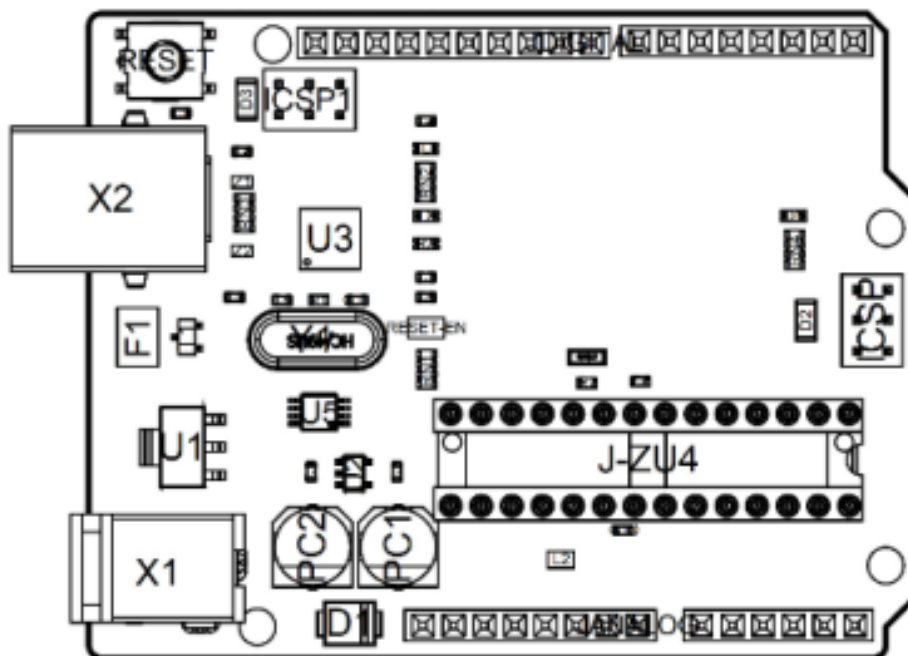
### 2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

## 3 Functional Overview

### 3.1 Board Topology

Top view



Board topology



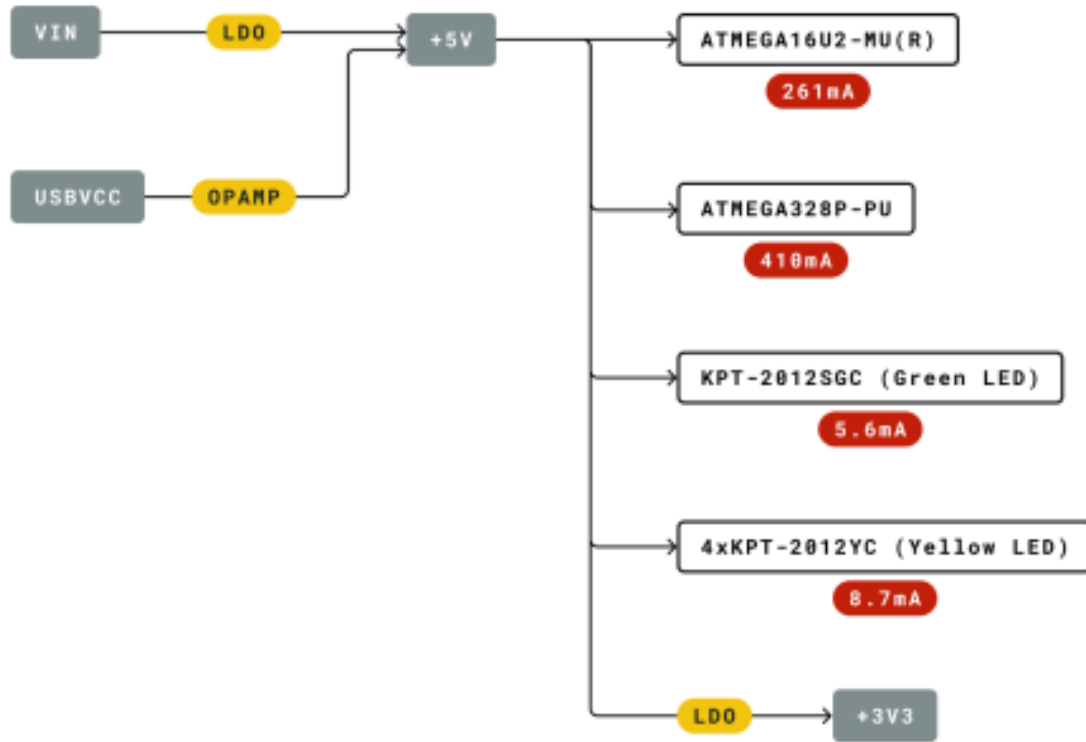
Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

### 3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.



### 3.3 Power Tree



Legend:

- Component
- Power I/O
- Conversion Type
- Max Current
- Voltage Range

Power tree



## 4 Board Operation

### 4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your UNO R3 while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the UNO R3 to your computer, you'll need a USB-B cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

### 4.2 Getting Started - Arduino Cloud Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Cloud Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Cloud Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

### 4.3 Sample Sketches

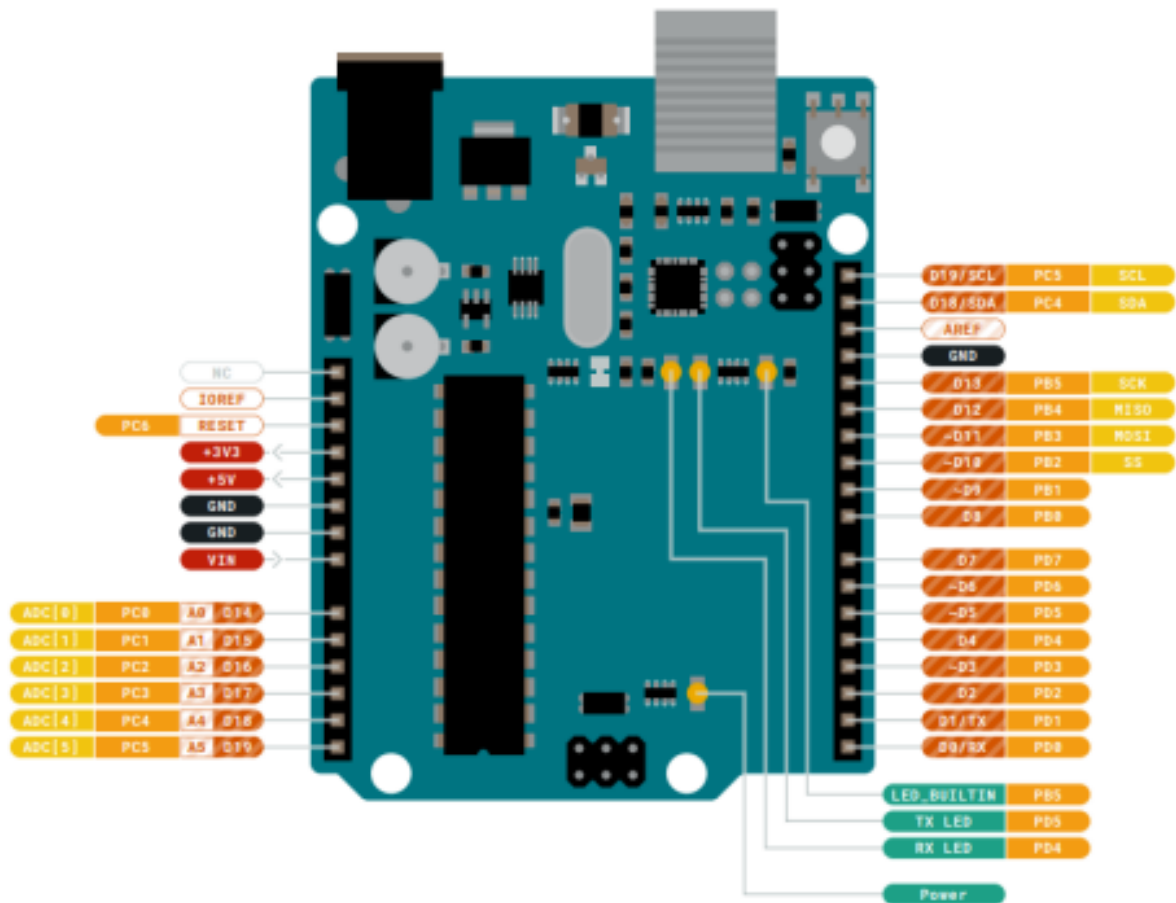
Sample sketches for the UNO R3 can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino website [4].

### 4.4 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on Arduino Project Hub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online Arduino store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more.



## 5 Connector Pinouts



Pinout



5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

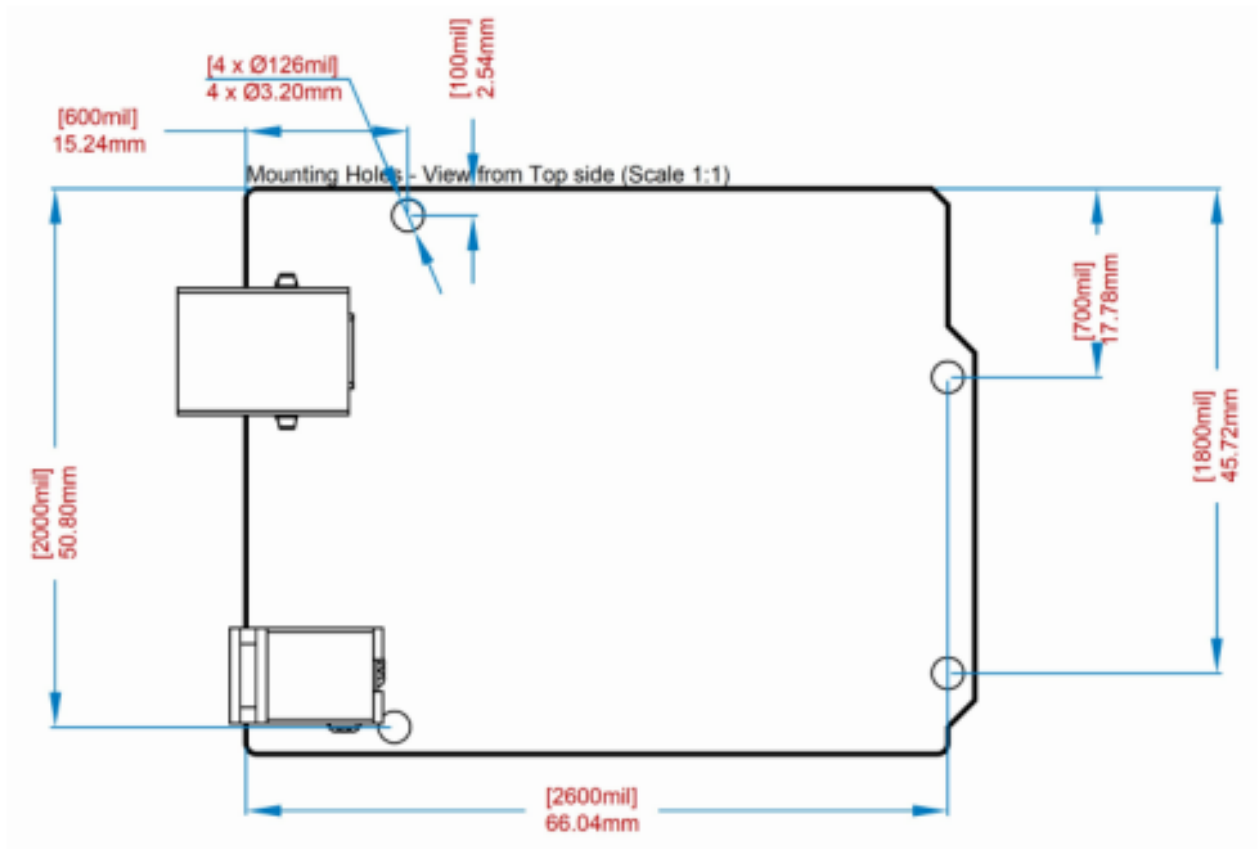
5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)



5.3 Mechanical Information

5.4 Board Outline & Mounting Holes



Board outline



## 6 Certifications

### 6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

<b>ROHS 2 Directive 2011/65/EU</b>	
Conforms to:	EN50581:2012
<b>Directive 2014/35/EU. (LVD)</b>	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
<b>Directive 2004/40/EC &amp; 2008/46/EC &amp; 2013/35/EU, EMF</b>	
Conforms to:	EN 62311:2008

### 6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



French: Lors de l'installation et de l'exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d'au moins 20 cm.

**Important:** The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

## 8 Company Information

Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

## 9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	<a href="https://www.arduino.cc/en/Main/Software">https://www.arduino.cc/en/Main/Software</a>
Arduino Cloud Editor	<a href="https://create.arduino.cc/editor">https://create.arduino.cc/editor</a>
Arduino Cloud Editor - Getting Started	<a href="https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/editor/">https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/editor/</a>
Arduino Website	<a href="https://www.arduino.cc/">https://www.arduino.cc/</a>
Arduino Project Hub	<a href="https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending">https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending</a>
Library Reference	<a href="https://www.arduino.cc/reference/en/">https://www.arduino.cc/reference/en/</a>
Arduino Store	<a href="https://store.arduino.cc/">https://store.arduino.cc/</a>

## 10 Revision History

Date	Revision	Changes
25/04/2024	3	Updated link to new Cloud Editor
26/07/2023	2	General Update
06/2021	1	Datasheet release

Datasheet de d'un circuit magnétique



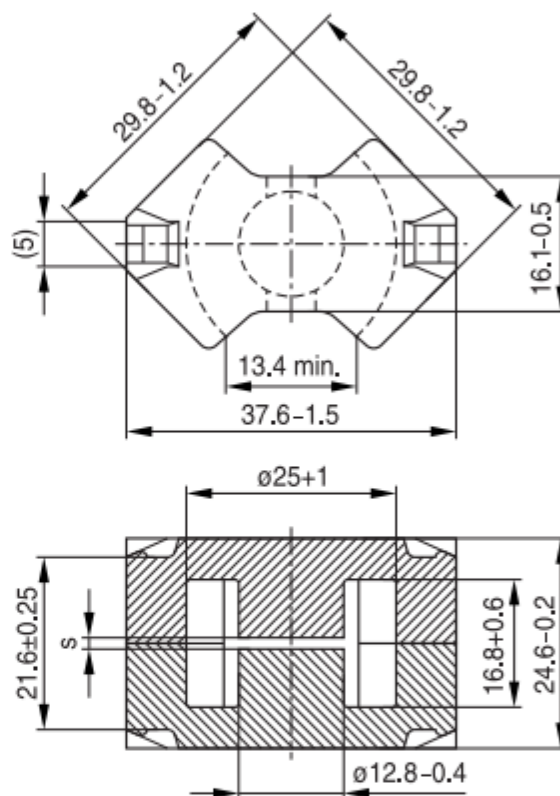
<b>RM 12</b>	
<b>Core</b>	<b>B65815</b>

- Optimized core cross section and increased thickness of base for power applications
- Without center hole
- Delivery mode: sets

**Magnetic characteristics (per set)**

$\Sigma l/A = 0.39 \text{ mm}^{-1}$   
 $l_e = 57 \text{ mm}$   
 $A_e = 146 \text{ mm}^2$   
 $A_{min} = 125 \text{ mm}^2$   
 $V_e = 8320 \text{ mm}^3$

**Approx. weight 45 g/set**



FRM0356-U

**Gapped ( $A_L$  values/air gaps examples)**

Material	$A_L$ value nH	s approx. mm	$\mu_e$	Ordering code -E without center hole
N41	160 ±3%	1.30	50	B65815E0160A041
	250 ±3%	0.70	78	B65815E0250A041
	400 ±5%	0.35	124	B65815E0400J041
	1000 ±5%	0.12	311	B65815E1000J041

**RM 12**

**Core**

**B65815**

**Ungapped**

Material	A <sub>L</sub> value nH	μ <sub>e</sub>	P <sub>V</sub> W/set	Ordering code -E without center hole
PC200 <sup>1)</sup>	1900 +30/-20%	590	< 1.20 ( 30 mT, 1000 kHz, 100 °C) < 1.20 ( 15 mT, 2000 kHz, 100 °C)	B65815E0000R608
N30	8700 +30/-20%	2700		B65815E0000R030
N49	3700 +30/-20%	1150	< 1.41 ( 50 mT, 500 kHz, 100 °C)	B65815E0000R049
N87	5300 +30/-20%	1640	< 4.50 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B65815E0000R087
N97	5300 +30/-20%	1640	< 3.60 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B65815E0000R097
N41	6000 +30/-20%	1860	< 1.50 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B65815E0000R041
N95	6600 +30/-20%	2050	< 3.70 (200 mT, 100 kHz, 100 °C) < 4.10 (200 mT, 100 kHz, 25 °C)	B65815E0000R095

<sup>1)</sup> Preliminary data

Other A<sub>L</sub> values/air gaps and materials available on request – see Processing remarks on page 9.