

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingéniorat  
Département : Electronique  
Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : automatique  
Spécialité : automatique et système

**Mémoire**

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Thème:**

**Étude et simulation de convertisseurs DC/DC pour véhicule électrique**

**Présenté par : BADI AKRAM**

**Encadrant : Lafifi morad** Grade : *Maitre de conference A* Université : *Badji mokhtar*

**Jury de Soutenance :**

Khaldouna Zahia	Maître de conference B	Badji mokhtar	Président
Lafifi Mohamed Morad	Maître de conference A	Badji mokhtar	Encadrant
Saadi Mohamed Nacer	Maître de conference B	Badji mokhtar	Examination

**Année Universitaire : 2020/2021**

# Résumé

## ملخص

إن الإهتمام المتزايد بسيارات الكهربائية هو حل من الحلول للقضاء علي الإحتباس الحراري الذي تعاني منه الأرض والهدف من هذا البحث هو دراسة و تحسين أداء المحولات مستمر مستمر و إستعملنا نظام و قمنا بتجريب علي محرك كهربائي تيار مستمر و قياس سرعة الدوران و نتائج هذا البحث يمكنها أن تجسد

## Résumé

Ce mémoire traite de l'étude des convertisseurs électronique utilisé dans les véhicules électriques ce dernier comporte 3 type de convertisseur (buck, boost, buckboost), Cette application a étudié en utilisant le contrôleur PID pour améliorer les performances. Pour rendre cette étude plus pratique nous avons introduit les modes fonctionnement du véhicule électrique avec différents tensions correspondantes aux différentes valeurs de vitesse de moteur dc du véhicule électrique.

## ABSTRACT

The growing interest in electric cars is one of the solutions to eliminate the global warming from which the earth suffers. The aim of this research is to study and improve the performance of the dc / dc converter. We used the pid controller and we tested a dc motor and measured the rotational speed and the results of this study can verify

Université Badji Mokhtar Annaba

# Remerciement

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux  
Personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire  
Ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Je tiens de remercier mon encadreur M. M.Lafifi

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce  
travail

Enfin, Je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce  
Travail.

# Dédicace

**Je dédie ce modeste travail**

**A :**

Mes chers parents

Mes frères

Toute ma famille

Tous mes amis

## TABLE DE MATIERE :

Liste des symboles.....	1
Liste des figures .....	
Introduction générale .....	1

### Chapitre 1 : généralité sur les véhicule électrique

1.1 Introduction .....	2
1.2 Histoire de véhicule électrique.....	4
1.3 Définition d'un véhicule électrique .....	5
1.4 Les composants d'un véhicule électrique et son fonction.....	6
1.4.1 Batterie.....	6
1.4.2 Les systèmes de propulsion .....	6
1.4.3 Moteur électrique.....	6
1.4.4 Convertisseur de puissance .....	7
1.4.5 Contrôleur... ..	8
1.4.6 Les auxiliaires... ..	9
1.5 Principe de fonctionnement d'un véhicule électrique.....	9
1.6 Les avantages d'un véhicule électrique .....	10
1.7 Les inconvénients .....	11
1.8 Conclusion... ..	12

### Chapitre 2 : convertisseur dc/dc

2.1 Introduction... ..	13
2.2 Définition d'un hacheur... ..	13
2.3 Différent type d'un hacheur... ..	13
2.4 Convertisseur abaisseur (Buck) .....	13
2.4.1 Principe .....	14
2.4.2 Hypothèse.....	14
2.4.3 Etude théorique en conduction continue.....	15
2.4.4 Courant moyen d'entrée .....	16
2.4.5 Limite de fonctionnement en conduction continue.....	16

2.4.6 Dimensionnement des composant actif.....	17
2.4.6.1 Courant dans l'intercepteur k.....	17
2.4.6.2 Tension maximale au borne de l'intercepteur k.....	18
2.4.6.3 Courant dans la diode D.....	18
2.4.6.4 Tension maximale au borne de la diode D .....	18
2.4.6.5 Dimensionnement du condensateur de sortie .....	19
2.4.6.6 Exemple de dimensionnement .....	20
2.4.6.7 Rapport cyclique .....	20
2.5 Convairtisseur élévateur ( boost) .....	21
2.5.1 Principe .....	21
2.5.2 Hypothèse .....	22
2.5.3 Etude théorique en conduction continue .....	22
2.5.4 Courant moyen d'entré .....	24
2.5.5 Limite de fonctionnement conduction continue .....	24
2.5.6 Démentions des composant actif .....	25
2.5.6.1 Courant dans l'intercepteur k .....	25
2.5.6.2 Tension maximale au borne de l'interrupteur k .....	25
2.5.6.3 Courant dans la diode D.....	26
2.5.6.4 Tension maximale au borne de la diode D .....	26
2.5.6.5 Calcule de valeur de condensateur de sortie .....	26
2.5.6.6 Exemple de dimensionnement .....	27
2.5.6.7 Rapport cyclique .....	27
2.5.6.8 Valeur de l'inductance.....	27
2.5.6.9 Capacité du condensateur de sortie.....	28
2.5.6.10 10 Dimensionnement du transistor MOS.....	28
2.6 Convertisseur abaisseur elvateur (Buck boost) .....	29
2.6.1 Principe .....	29
2.6.2 Hypothèse .....	29
2.6.3 Étude théorique en conduction continue .....	29
2.6.4 Courant moyen d'entré .....	31

2.6.5 Dimensionnement des composant actif .....	31
2.6.5.1 Courants dans l'interrupteur K .....	32
2.6.5.2 Tension maximale au borne de l'interrupteur k.....	32
2.6.5.3 courants dans la diode D.....	33
2.6.5.4 Tension maximale aux bornes de la diode D .....	33
2.6.5.5 Calcule de valeur condensateur de sortie.....	33
2.6.5.6 Limites de conduction continue .....	34
2.7 Conclusion.....	34

### **Chapitre 3 : Chapitre3 Modélisation et simulation pour les convertisseurs Dc/Dc**

3.1 Introduction .....	35
3.2 Buck convertisseur.....	35
3.2.1 Résultat.....	36
3.2.2 Analyse .....	37
3.3 Boost convertisseur .....	38
3.3.1 Résultat .....	39
3.3.2 Analyse.....	39
3.4 Buck boost convertisseur .....	40
3.4.1 Résultat .....	40
3.4.2 Analyse .....	41
3.4.3 Performance .....	42
3.5 Amélioration la performance convertisseur dc-dc par un contrôleur pid.....	43
3.5.1 Objectif .....	43
3.5.2 Convertisseur boost conventionnel.....	43
3.5.3 Contrôleur pid.....	45
3.5.4 Convertisseur proposé.....	47
3.5.5 Résultat et simulation.....	48
3.5.6 Comparaison entre conventionnel etconvertisseur boost proposé.....	54
3.6 Réalisation boost convertisseur Dc /Dc avec moteur Dc .....	55
3.6.1 Simulation .....	55
3.6.2 Discussion et comparaison.....	57

3.7 Conclusion .....	58
Conclusion générale.....	59

## Liste des symboles

Inductances [H] :

Capacité [F] :

Résistance [ $\Omega$ ] :

Tension [V] :

Courant [A] :

## Liste des figures

**Figure 1.1 : Véhicule électrique construite par Thomas parker 1895 [4]**

**Figure 1.2 : Publicité véhicules électriques jenatzy 1899 [3]**

**Figure 1.3 : La tesla model s est une berline familiale ayant une autonomie d'environ 500 km(2013) [3]**

**Figure 1.4 : Schéma fonctionnel d'une chaîne traction véhicule électrique [2]**

**Figure 1.5 : Modèle d'une batterie de véhicule électrique [9]**

**Figure 1.6 : Moteur électrique siemens pour véhicule électrique [11]**

**Figure 1.7 : Convertisseur dc/dc pour véhicule électrique [15]**

**Figure 1.8 : Contrôleur ou régulateur d'énergie électrique [8]**

**Figure 1.9 : Architecture d'une voiture électrique [16]**

**Figure 2.1 : Figure 2.1 convertisseur abaisseur (buck)**

**Figure 2.2 : Rendement**

**Figure 2.3 : Convertisseur boost**

**Figure 2.4 : Convertisseur buck boost**

**Figure 3.1 : Schéma Buck convertisseur avec  $v_i = 20\text{V}$**

**Figure 3.2 : Tension de sortie 10V**

**Figure 3.3 : Courant de sortie 0.41A**

**Figure 3.4 : Schéma boost convertisseur avec  $v_i = 12\text{V}$**

**Figure 3.5 : Tension de sortie  $\approx 20\text{V}$**

**Figure 3.6 : Courant de sortie 0.62A**

**Figure 3.7 : Schéma Buck boost convertisseur**

**Figure 3.8 : Tension de sortie -38V**

**Figure 3.9 : Courant de sortie 5.72 A**

**Figure 3.10 : Convertisseur Boost conventionnel**

**Figure 3.11 : Mode de fonctionnement du Boost Converter**

**Figure 3.12 : Structure de contrôle PID typique**

**Figure 3.13 : Convertisseur Boost proposé avec régulateur PID pour la régulation de la tension et réduction des dépassements**

**Figure 3.14 : Modèle MATLAB-Simulink du convertisseur Boost conventionnel**

**Figure 3.15 : Tracé de la tension de sortie du convertisseur Boost conventionnel fonctionnant à 50 % cycle de service pour les tensions d'entrée (a) 85V, (b) 90V et (c) 95V**

**Figure 3.16 : Modèle MATLAB-Simulink du convertisseur Boost proposé avec PID**

**Figure 3.17 : Tracé de la tension de sortie du convertisseur Boost proposé avec contrôleur PID fonctionnant à un facteur de marche de 50 % pour les tensions d'entrée (a) 85V, (b) 90 V et (c) 95 V**

**Figure 3.18 : Comparaison de la tension de sortie entre Boost conventionnel et proposé pid Convertisseur**

**Figure 3.19 : Boost convertisseur pour moteur Dc**

**Figure 3.20 : La vitesse de rotation en tension entre 85v**

**Figure 3.21 : La vitesse de rotation en tension entre 90 v**

**Figure 3.22 : La vitesse de rotation en tension entre 95v**

## **Introduction générale :**

Le grand nombre d'automobiles en circulation dans le monde a causé et continue de causer de graves problèmes d'environnement et de vie humaine. La pollution de l'air, le réchauffement climatique et l'épuisement rapide des ressources pétrolières de la planète sont désormais de sérieux problèmes. Les véhicules électriques (VE), les véhicules électriques hybrides (HEV) et les véhicules électriques à pile à combustible (FCEV) ont généralement été proposés pour remplacer les véhicules conventionnels dans un proche avenir. La plupart des configurations électriques et hybrides électriques utilisent deux dispositifs de stockage d'énergie, l'un à haute capacité de stockage d'énergie, appelé « système d'énergie principal » (MES), et l'autre à haute capacité de puissance et réversibilité, appelé « système de stockage d'énergie rechargeable » (RESS ). Le MES offre une autonomie étendue et le RESS offre une bonne accélération et un freinage régénératif. Les dispositifs de stockage ou d'alimentation d'énergie varient leur tension de sortie avec la charge ou l'état de charge et la haute tension du circuit intermédiaire crée des défis majeurs pour les concepteurs de véhicules lors de l'intégration de dispositifs de stockage/d'alimentation d'énergie avec un entraînement de traction. Les convertisseurs DC-DC peuvent être utilisés pour interfacer les éléments du groupe motopropulseur électrique en augmentant ou en coupant les niveaux de tension. En raison des contraintes automobiles, la structure du convertisseur de puissance doit être fiable, légère, de petit volume, avec un rendement élevé, de faibles interférences électromagnétiques

Le terme « voiture électrique » recouvre actuellement plusieurs concepts qui ont en commun de recourir à un moteur électrique pour tout ou partie de leur propulsion. Ils se différencient par leur autonomie et leur taux de rejet de CO<sub>2</sub>. Mais les voitures électriques ne sont toujours pas généralisées pour des raisons technologiques, et au Chapitre 1 nous présenterons généralités sur la voiture électrique en la définissant, ses composants de base, ses avantages et inconvénients, et l'un des composants important est le convertisseur dc/dc, dont nous allons réaliser une étude théorique sur les type de ce convertisseur et prendre connaissance de son fonctionnement et enfin nous présenterons des modèles et des cas de simulation avec différentes architectures de convertisseur non contrôlé et d'autre contrôlé par un PID tout cela dans le but d'améliorer les performances de la voiture électrique et nous essaierons le convertisseur dc /dc sur un moteur électrique et comparerons sa vitesse avec la tension sortie.

# Chapitre 1

---

## Généralité sur les véhicules électrique

### 1.1 Introduction

Une voiture électrique est une automobile mue par la force électromotrice de moteur, alimentée par une batterie d'accumulateur mais en l'état actuel de la technologie les batteries permettent difficilement d'assurer une autonomie suffisante, et nécessite des temps de recharges long (plusieurs heures) certains véhicule électrique sont donc munis de générateur électrique internes :moteur thermique classique assurant selon la situation une partie de la traction ou une fonction de groupe électrogène (véhicule « hybride ) ,pile a combustible ou autre groupe électrogène ,éventuellement des panneaux solaires intégré a la croiserie pour des véhicules électrique spécialement économes [1] et la voiture électrique a été souvent considérée comme une technologie pleine d'avenir et qui donne des espérances pour mettre fin à cette pollution alarmante de l'atmosphère due au secteur de transport routier, capable de prendre une importante part de marché, mais qui n'y est pas arrivée. Cet échec s'explique principalement par la concurrence, disposant d'une technologie bien établie: le moteur à explosion, qui a profité des économies d'échelle, du faible coût du carburant et des subsides et aussi Au début du 20ème siècle la voiture à essence connaît un succès important. Les voitures Électriques de cette époque avaient une faible autonomie, et les batteries ne permettaient pas au moteur de délivrer autant de puissance qu'un moteur thermique. C'est pourquoi jusqu'à nos jours la voiture à essence s'est développée. La voiture électrique ne fait donc pas encore partie de notre entourage mais elle devient de plus en plus sollicitée grâce à la constante hausse du pétrole et la médiatisation de la réduction du rejet de CO2 Après le grenelle de l'environnement et avant une crise pétrolière, de nombreuses entreprises et d'écologistes veulent développer la voiture électrique au niveau de l'autonomie des batteries et de l'utilisation maximale des énergies propres. Afin que celle-ci deviennent réellement plus propre et plus avantageuse que les voitures à essence [2]. Dans ce chapitre nous présentons une introduction générale sur les véhicules électriques les différents éléments constituant un véhicule électrique et les architectures/configurations, on commence par un bref historique et les progrès actuels sur les VE , par la suite on présente l'architecture choisi pour notre réalisation

### 1.2 Histoire d'un véhicule électrique

Le premier véhicule électrique, un train miniature, est construit par Thomas Davenport en 1834. En 1835, Sibrandus Stratingh met au point une voiture électrique expérimentale à

échelle réduite. D'autres prototypes de voitures électriques ont probablement été construits avant, mais il faudra attendre l'amélioration du fonctionnement des batteries par Gaston Planté en 1865 puis Camille Faure en 1881 pour que les voitures électriques prennent réellement leur essor. En novembre 1881, Gustave Trouvé présente une automobile électrique à l'Exposition internationale d'Électricité de Paris. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, trois modes de propulsion se partagent le marché naissant de la voiture automobile : le moteur à combustion interne ou « moteur à essence », le moteur électrique et le moteur à vapeur. La voiture électrique connaît un succès certain dans la dernière décennie du XIX<sup>e</sup> siècle, tant en Europe – et notamment en France – qu'aux États-Unis. Il s'agit principalement de flottes de taxis pour le service urbain, en lieu et place des fiacres et autres voitures de louages à cheval. Ces voitures étaient munies de batteries au plomb pesant plusieurs centaines de kilogrammes qui étaient rechargées la nuit dans des stations spécialisées. Pour la course Paris-Bordeaux-Paris de 1895, une voiture électrique est sur la ligne de départ, conduite par Charles Jeantaud, carrossier. Pour cette course, il crée un break à[3]



Figure 1.1 véhicule électrique construite par Thomas Parker 1895 [4]

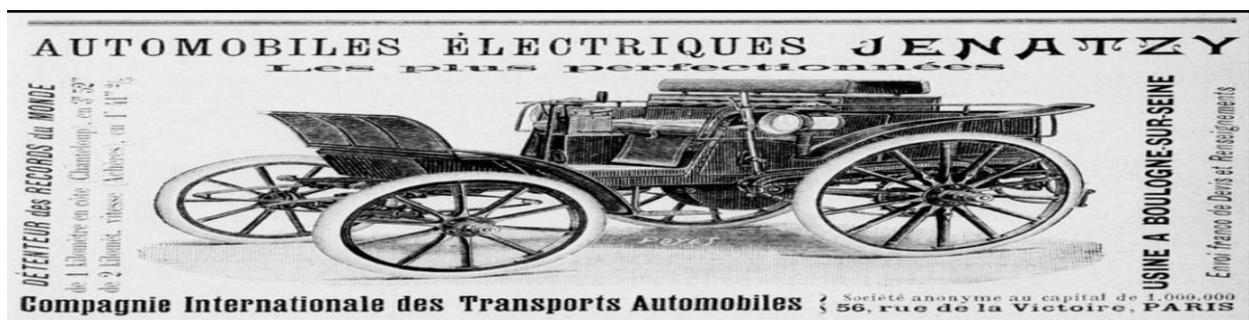


Figure 1.2 publicité véhicule électriques Jenatzy 1899 [3]

six places aux roues en bois. Cette voiture de 7 chevaux embarque 38 accumulateurs Fulmen de 15 kg chacun. L'autonomie est d'une cinquantaine de kilomètres, à la moyenne de 24 à 30 km/h, ce qui l'oblige à disposer des batteries neuves tout au long du parcours. On compte

également quelques véhicules marquants : c'est ainsi une voiture électrique, la *Jamais Contente* de l'ingénieur belge Camille Jenatzy, qui dépasse pour la première fois les 100 km/h en atteignant 105,88 km/h le 1<sup>er</sup> mai 1899. En 1900 sur 4192 véhicules fabriquées aux États-Unis, 1 575 étaient électriques, 936 à essence, et 1 681 à vapeur, l'automobile à essence a cependant fini par supplanter la voiture électrique. On retrouve aujourd'hui, dans l'explication de cet échec, les analyses divergentes des déterministes et des constructivistes. Les uns affirment que la technologie de la voiture à essence doit son succès à sa supériorité économique et technique : la voiture à essence offre plus d'autonomie, est moins difficile à entretenir, etc. Les autres, moins nombreux, critiquent cette explication et affirment que le destin de ces technologies repose essentiellement sur des facteurs contingents. C'est dans un article de 1955 que John B. Rae propose une explication déterministe à l'échec de l'automobile électrique. Celle-ci ne serait victime que de ses défauts intrinsèques en comparaison des avantages de la technologie des voitures à essence, et il était inéluctable que ces dernières s'imposent. Rae explique que le développement de l'automobile électrique au début du siècle fut « une excroissance parasite de l'industrie automobile, et que sa disparition ne fut regrettée que par ceux qui avaient [5] la malencontreuse idée d'y investir leur argent. ». Depuis 1955, la plupart des historiens ont accepté l'explication de Rae, à l'exception de Rudi Volti, qui fut le premier à remettre en question la thèse du déterminisme. Plusieurs sortes de raisons techniques et économiques étaient et sont encore avancées pour expliquer la supériorité intrinsèque de la voiture à essence. Cependant, au début des années 2000, un ouvrage de David A. Kirsch défend une perspective plus nuancée. Kirsch soutient en effet, en s'appuyant sur des travaux de sociologie et d'économie de l'innovation (notamment ceux de Paul A. David), que cette technologie aurait pu se développer dans des segments particuliers du marché automobile, notamment pour les flottes urbaines, si des facteurs contingents et sociaux ne s'y étaient pas opposés. D'autres auteurs, expliquent que la voiture électrique a échoué à cause de problèmes culturels plutôt que techniques. Au début du siècle, la technologie de la voiture électrique aurait peut-être pu se constituer en industrie viable, au moins sur certains secteurs (pour le transport urbain), mais de fait ce ne fut pas le cas. Quoi qu'il en soit, l'idée qu'elle reste une alternative ou un complément viable et prometteur aux véhicules à essence n'a jamais complètement disparu : Les espoirs placés dans la technologie des voitures électriques ne date en effet pas d'aujourd'hui. À la fin des années 1960, la voiture électrique connaît ainsi un regain d'intérêt, grâce notamment au développement de la pile à combustible, et est par exemple présentée à la télévision comme une technologie pouvant s'imposer à relativement brève échéance. Aujourd'hui à nouveau, on voit apparaître dans la presse des articles annonçant

l'émergence prochaine de cette technologie, sous la pression de l'augmentation du prix du pétrole et du développement des Préoccupations environnementales, et grâce aux derniers progrès techniques [6]



Figure1.3 la tesla model s est une berline familiale ayant une autonomie d'environ 500 km(2013) [3]

**1.3 Definiation** Un véhicule électrique est un moyen de déplacement dont la propulsion est assurée exclusivement par un ou plusieurs moteurs électriques. Il peut tirer son énergie de ressources embarquées comme une batterie électrique, ou être connecté à une source extérieure, par exemple via une caténaire. Le moteur peut être lui aussi embarqué, comme dans la plupart des véhicules terrestres.[7]

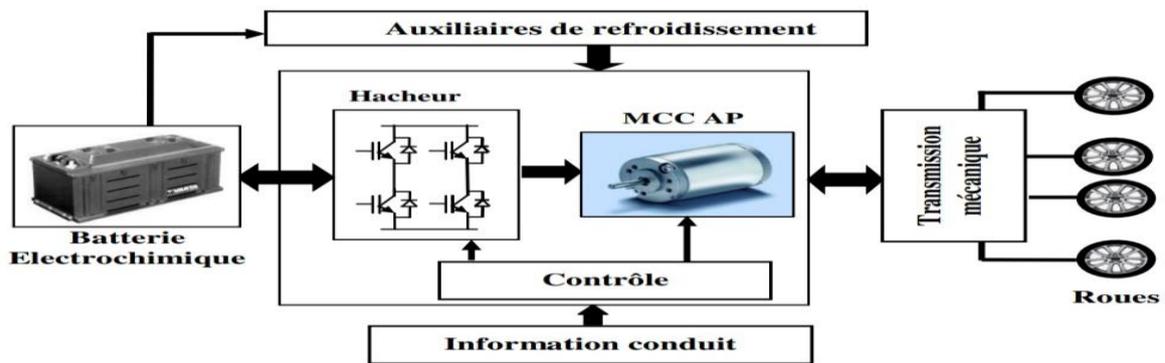


Figure1.4 schéma fonctionnel d'un chaine traction véhicule électrique [2]

**1.4 Les éléments d'un véhicule électrique**

Le composant et la fonction de la voiture électrique ou du véhicule dépendent du type de voiture. Il existe au moins quatre types de voitures électriques actuellement vendus dans le commerce et exploités dans le monde. Ce titre 1.4 traitera de divers composants ou pièces ou éléments communs de voitures électriques et de leur fonction, tels que les batteries de traction, les onduleurs et (convertisseurs DC-DC), les moteurs de traction, les chargeurs et les contrôleurs embarqués. Les différents types de composants de la voiture électrique déterminent le fonctionnement de la voiture. Composants de voitures électriques (véhicules) Les

principaux éléments de base des voitures électriques installées dans presque tous les types de voitures électriques sont les suivants

**1.4.1 Batterie :** La fonction de la batterie dans une voiture électrique est un système de stockage d'énergie électrique sous forme d'électricité à courant continu (CC). S'il reçoit un signal du contrôleur, la batterie enverra de l'énergie électrique CC à l'onduleur qui sera ensuite utilisée pour entraîner le moteur. Le type de batterie utilisé est une batterie rechargeable qui est agencée de manière à former ce qu'on appelle un pack batterie de traction.

Il existe différents types de batteries pour voitures électriques. Le type de batteries lithium-ion est le plus utilisé. Pour avoir une petite idée sur les batteries pour voitures électriques [8]



Figure1.5 model d'une batterie de véhicule électrique [9]

#### **1.4.2 Le système de propulsion électrique :**

Le système de propulsion électrique se compose d'un ou plusieurs moteurs électriques dont la puissance totale peut aller de 15 kW à plus de 400 kW, selon la taille du véhicule, l'usage et les performances recherchées, exemple pour une petite berline 4 places : 48 kW (65 CV). Il se compose aussi de convertisseurs de puissance et de leurs commandes.[10]

#### **1.4.3 Moteur électrique :**

C'est un composant très simple au cœur de la voiture électrique, il joue sur les forces d'interactions (vecteurs forces) entre un électroaimant et un aimant permanent. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique qui provient de la source, en énergie mécanique utilisée pour propulser le véhicule durant les phases de traction, ou inversement l'énergie mécanique en énergie électrique lors des phases de freinage, pour permettre la récupération d'énergie (régénération). Lors du freinage, la chaîne mécanique devient en partie la source de puissance, et la source d'énergie principale (batterie) devient le récepteur. Étant donné que le contrôleur fournit de l'énergie électrique à partir de la batterie de traction, les moteurs de traction électriques fonctionneront en faisant tourner la transmission et les roues. Certaines voitures

électriques hybrides utilisent un type de générateur-moteur qui remplit les fonctions de propulsion et de régénération. En général, le type de moteur électrique utilisé est le moteur BLDC (brushless DC ) [8]



Figure 1.6 moteur électrique simens pour véhicule électrique [11]

**1.4.4 Convertisseur statique : hacheur**(Le hacheur ou *convertisseur continu - continu* est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé[12]et Le découpage se fait à une fréquence très élevée ce qui a pour conséquence de créer une tension moyenne. C'est l'analogue, pour les sources de tensions continues, du transformateur utilisé en régime alternatif. Si la tension délivrée en sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée, le hacheur est dit dévolteur. Dans le cas contraire, il est dit survolteur. Il existe des hacheurs capables de travailler des deux manières (Boost-Buck).

On définit le rapport cyclique par :

$$\alpha = \frac{t_1}{T} \quad [13]$$

Pour un hacheur dévolteur, le rapport de la tension de sortie sur la tension d'entrée est égal au rapport cyclique.Certains hacheurs sont également réversibles : ils peuvent alors fournir de l'énergie à la charge, généralement une machine à courant continu dans ce type d'application, ou bien en prélever ce qui permet de freiner la machine.[14.]Les **hacheurs** de puissance sont utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu. En plus faible puissance, ils sont un élément essentiel des alimentations à découpage. La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu à aimants permanents est alors directement proportionnelle à la tension

d'alimentation de l'induit. )Le convertisseur statique utilisé dans la chaîne de traction est un hacheur, qui est des convertisseurs directs du type continu-continu. Ils permettent d'obtenir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe contrôlable par des impulsions générer par le circuit de contrôle

Actuellement il existe une grande diversité de structures envisageables pour les véhicules électriques. Dans ces applications, la structure se décompose en deux parties avec des rôles différents, DC et AC. Il faut utiliser des convertisseurs DC/DC, des convertisseurs DC/AC ou des convertisseurs AC/DC.



Figure1.7 Convertisseur dc/dc pour véhicule électrique [15]

#### 1.4.5 Contrôleur :

La fonction principale du contrôleur est de régulateur de l'énergie électrique provenant des batteries et des onduleurs qui sera distribuée aux moteurs électriques. Alors que le contrôleur lui-même reçoit l'entrée principale de la pédale de la voiture (qui est définie par le conducteur). Ce réglage de la pédale déterminera la variation de fréquence ou la variation de tension qui entrera dans le moteur et déterminera en même temps la vitesse de la voiture. En bref, cette unité gère le flux d'énergie électrique délivré par la batterie de traction, contrôlant la vitesse du moteur électrique de traction et le couple qu'il produit. Ce composant déterminera le fonctionnement de la voiture électrique [8]

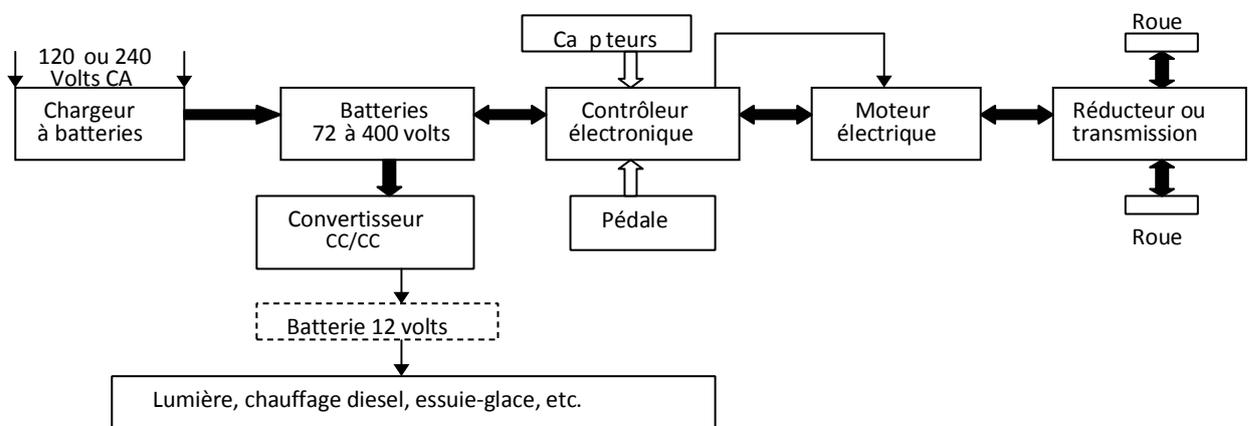


Fig 1.8 contrôleur ou régulateur l'énergie électrique [8]

### 1.4.6 Auxiliaire :

Il s'agit de tous les équipements électriques, pneumatiques et hydrauliques qui ne participent pas à la traction du véhicule. Comme la voiture thermique, la voiture électrique possède les mêmes auxiliaires. De très nombreuses fonctions sont apparues au cours des trente dernières années. Citons le verrouillage centralisé et la protection contre le vol, la direction assistée, les vitres électriques, la climatisation, les airbags qui deviennent incontournables vers 1995, citons aussi les essuie-glaces électriques, l'éclairage intérieur, les clignotants, le poste radio, les tableaux de bord avec lampes témoin.

### 1.5 principe de fonctionnement



Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont elles mêmes rechargées par un chargeur. L'énergie des batteries est envoyée vers le contrôleur électronique et le convertisseur CC/CC. Du convertisseur CC/CC, l'énergie est transformée et envoyée vers une batterie 12 volts si présente ou directement aux accessoires. Du contrôleur, l'énergie est envoyée au moteur pour être convertie en mouvement qui passe dans un réducteur ou une transmission vers les roues. [15]Le véhicule peut récupérer de l'énergie au freinage en transformant électriquement le moteur en génératrice et retourner de l'énergie aux batteries. Les utilisateurs du véhicule ont alors une sensation de compression motrice.

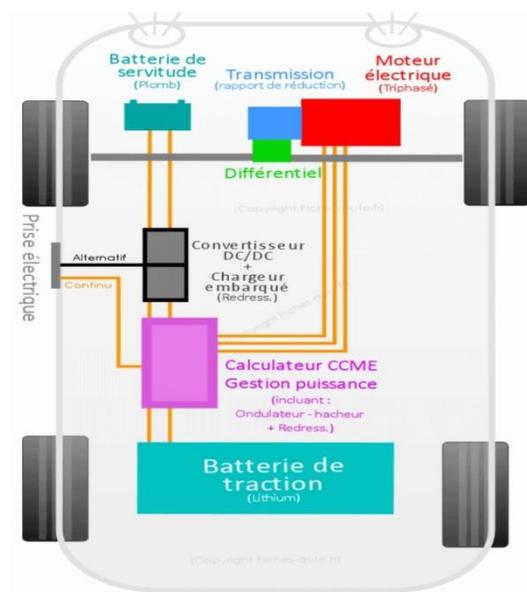


Figure 1.9 architecture d'une voiture électrique [16]

### 1.6 Avantages de la voiture électrique

1. Pas de polluants de l'air et pas d'émission de CO<sub>2</sub> à l'utilisation : Les voitures électriques ne rejettent de polluants dans l'atmosphère quand elles roulent. Pas de NO<sub>x</sub>, particules fines, hydrocarbures imbrûlés et autre monoxyde de carbone, souvent incriminés pour leurs impacts sur la santé. Il reste toutefois quelques émissions de particules venant des pneus et des freins, émises par tous les véhicules. Passer au véhicule électrique présente donc un bénéfice immédiat pour la qualité de l'air dans les villes et à proximité des routes.

2. Un bel avenir : Pour limiter le réchauffement climatique et respecter l'accord de Paris, la Belgique doit diminuer ses émissions de 80 à 95 % d'ici 2050 (par rapport à 1990). Pour y arriver, il faut notamment réduire drastiquement l'utilisation des combustibles fossiles (diesel et essence) pour le transport. Une des solutions techniques est de rouler à l'électricité. À condition de diminuer le nombre total de véhicules en circulation et de produire l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables (solaire, éolien...).

3. Silencieuse : Quand elle démarre et quand elle roule, la voiture électrique est quasi silencieuse. Un véritable atout pour la quiétude des villes. Ce ne sont pas les habitants proches des grands axes qui le contrediront. Le hic : cela peut représenter un danger pour les piétons qui ne l'entendent pas arriver. Prudence donc !

4.Économique à l'utilisation :On sait que les véhicules actuels consomment théoriquement entre 13 et 25 kWh/100 km (cycle normalisé)..[18]

5.Peu d'entretien :La voiture électrique demande peu d'entretien. Le système moteur est très simplifié par rapport à un véhicule thermique (essence, diesel ou gaz). Il y a cent fois moins de pièces en rotation, il n'y a pas de boîte de vitesse et pas d'huile à changer. Grâce au freinage régénératif (on récupère une partie de l'énergie cinétique pour en faire de l'électricité), les freins sont beaucoup moins sollicités et les plaquettes doivent être remplacées moins souvent qu'avec une voiture thermique.

### **1.7 Inconvénients de la voiture électrique**

1. L'impact de ses batteries : La production des batteries des voitures électriques posent de grands problèmes environnementaux et sociaux. On utilise de plus en plus de batteries au lithium pour les véhicules mais aussi pour leurs équipements informatiques et électroniques. Cela accroît la pression sur ce métal rare. Le lithium – aussi surnommé or blanc – provient souvent d'Amérique latine. Sa production, très gourmande en eau, met à mal les écosystèmes et la survie des populations locales dans des zones où la sécheresse est déjà problématique. Ces préoccupations restent d'actualité, même si l'efficacité des batteries évolue rapidement. Entre 2009 et 2016, elles sont passées de 100 Wh/litre à 350 Wh/litre, soit une capacité 3,5 fois plus élevée pour la même taille. Dans le même temps, leur prix a été divisé par trois. Tout indique que la performance des batteries va encore s'améliorer. La recharge reste une contrainte Longtemps considérée comme un facteur limitant, l'autonomie des voitures électriques évolue de manière spectaculaire. De plus en plus de modèles proposent 300 km, voire 600 km d'autonomie avec une seule charge.[18]Une conduite agressive et l'utilisation du chauffage ou de la climatisation diminuent rapidement cette autonomie. Pour aller loin, il faut ménager sa monture ! Évidemment, plus d'autonomie signifie des batteries de capacité plus importante (jusqu'à 100 kWh), plus de poids, plus d'impact à la fabrication et plus de temps pour les recharger. Une autonomie de 200 km suffit largement pour une utilisation quotidienne. Ce n'est que pour de plus longs trajets que le temps de recharge peut être handicapant, tant que le réseau de chargeurs rapides (de grande puissance) n'est pas suffisamment développé.

2. temps de recharge et la disponibilité des bornes : L'autonomie restant limitée, la facilité de recharge est un critère important. On peut charger sa voiture électrique à la maison via une prise normale ou sur une borne domestique, publique ou d'entreprise. Le nombre de bornes est

en hausse mais reste restreint. En ville, où l'on n'a pas nécessairement un garage, un réseau de bornes publiques facilite la recharge des véhicules.

3. Elle coûte cher à l'achat : Les constructeurs proposent de plus en plus de modèles mais le marché reste actuellement limité et les prix sont toujours très élevés par rapport à un véhicule classique. Les voitures électriques coûtent plus de 30 000 € pour les modèles populaires en Belgique : Renault Zoe (32 600€ ou 24 400€ si l'on choisit la location des batteries), VW eGolf (33 000€), Nissan Leaf (36 500€), BMW i3 (40 700€). Seules la Smart Fortwo (24 000€), la Smart Forfour (24 500€) et la VW eUp (23 000€) descendent sous les 30 000€ ! [18] Une voiture électrique d'occasion peut être une alternative intéressante, à condition qu'il ne faille pas changer la batterie. L'électrique : oui, à certaines conditions Si les émissions à l'utilisation d'une voiture électrique sont quasi nulles, on est cependant loin de la « pollution zéro ». Si l'on analyse le cycle de vie, une voiture électrique produit de 20g à 250g de CO<sub>2</sub>/km suivant le mix énergétique utilisé pour produire l'électricité

### **1.8 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art sur les véhicules électriques, un bref historique et les éléments qui compose ce genre de véhicule a été présenté au premier lieu, les avantages et les inconvénients et on a discuté sur le rôle des convertisseur dans le system d'un véhicule électrique et des figures présente les photo riel des composant de véhicule électrique et d'architecture. Et l'histoire d'un véhicule électrique et Tous les indicateurs mondiaux dans le domaine des voitures électriques indiquent que l'avenir sera aux voitures électriques pour plusieurs raisons, notamment la préservation de l'environnement, l'exploitation des énergies renouvelables et l'élimination des énergies non renouvelables coûteuses

# Chapitre 2

---

## Le Convertisseur DC /DC

### 2.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on a fait une petite définition sur les hacheurs (convertisseur dc-dc) et traite la conversion Dc-Dc, de chaque type de convertisseur par une étude théorique qui contient des équations et des calculs et des exemples mathématiques et les caractéristiques de Buck convertisseur et boost. Convertisseur et buck boost convertisseur et les dimensionnement des composants actifs

### 2.2 Définition d'un hacheur (convertisseur DC-DC)

Les hacheurs opèrent une conversion continue-continue. Placés entre un générateur et un récepteur, tous deux à courant continu, ils permettent de régler la tension appliquée au récepteur ou le courant qui y circule. Ils peuvent être directs ou indirects. Les hacheurs directs relient un générateur et un récepteur qui se comportent l'un comme une source de tension, l'autre comme une source de courant. Ils ne comportent que des interrupteurs qui permettent d'agir sur les connexions entre générateur et récepteur. Les hacheurs indirects relient un générateur et un récepteur de même nature. Ils comportent des interrupteurs et un élément de stockage d'énergie qui joue le rôle de source intermédiaire de courant ou de tension suivant que le générateur et le récepteur sont des sources de tension ou de courant. L'élément de stockage reçoit de l'énergie du générateur puis la transmet au récepteur en fonction des connexions établies par les interrupteurs.

### 2.3 Différents types d'hacheurs :

L'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples qui puissent être. Les différences de structures de hacheurs dépendent du cahier des charges imposé au système pour choisir le type de hacheur. On prend en compte la nature des réseaux d'entrée et de sortie, différents types de convertisseurs de tension peuvent être :

- 1 Hacheur abaisseur (ou Buck).
- 2 Hacheur élévateur (ou Boost).
- 3 Hacheur abaisseur élévateur (ou Buck Boost). [18]

### 2.4 CONVERTISSEUR ABAISSEUR (BUCK)

#### 2.4.1 PRINCIPE

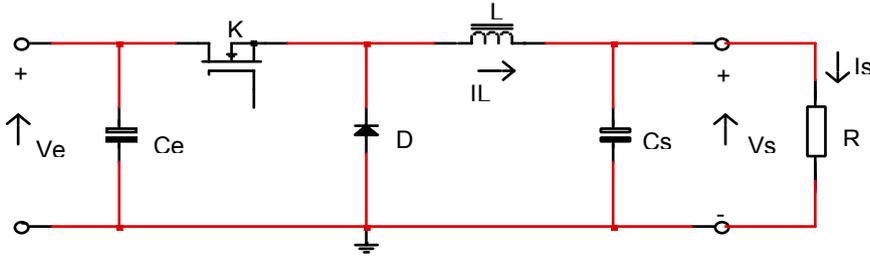


Figure 2.1 convertisseur abaisseur (buck)

Le circuit est alimentée par une source de tension  $V_e$ , la sortie est chargée par une résistance  $R$  et débite un courant  $I_s$ . L'interrupteur  $K$ , symbolisé ici comme un MOS FET de puissance, est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique  $\alpha$  à la fréquence  $F = 1/T$ .

On distingue deux modes de fonctionnement de ce circuit selon que le courant circulant dans l'inductance ( $L$ ) est ou non continu (ne s'annule pas au cours de la période).Le mode conduction continue étant le plus intéressant pour ce convertisseur, nous n'étudierons que ce mode. [19]

**2.4.2 HYPOTHESES**

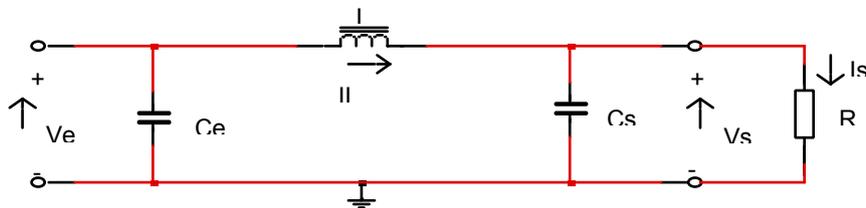
Dans cette étude théorique, nous admettrons les hypothèses suivantes :

- Tous les composants sont parfaits (sans pertes)
- Le régime sera suppose établi
- La capacité du condensateur de sortie sera supposée suffisamment grande pour que la tension à ses bornes puisse être considérée comme constante au cours de la période

**2.4.3 ETUDE THEORIQUE EN CONDUCTION CONTINUE**

Phase 1 (0 < t <  $\alpha T$ )

L'interrupteur  $K$  est fermé, la diode  $D$  est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant:



On a:

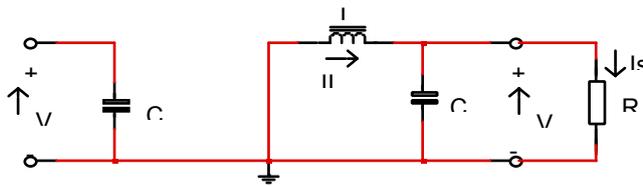
$$V_e - V_s = L \frac{di}{dt} \quad \text{d'où} \quad i(t) = I_m + \frac{V_e - V_s}{L} t$$

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

$$I_M = I_m + \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T \quad (1)$$

Phase 2 ( $\alpha T < t < T$ )

A  $t = \alpha T$  on ouvre l'interrupteur K. La diode D devient conductrice et le schéma équivalent du circuit devient :



$$-V_s = L \frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad V_s = -L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = I_M - \frac{V_s}{L} (t - \alpha T)$$

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

$$I_m = I_M - \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T \quad (2)$$

Soit  $\Delta I$  l'ondulation du courant dans l'inductance :  $\Delta I = I_M - I_m$

De l'équation (1) on tire:

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T$$

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T$$

l'équation (2)

En combinant ces deux relations, on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$V_s = \alpha V_e \quad (3)$$

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 abaisseur de tension.

On notera que la tension de sortie est théoriquement indépendante de la charge. Dans la pratique, la boucle de régulation ne devra donc compenser que les variations de la tension d'entrée et les imperfections des composants réels. La stratégie de régulation qui semble la plus évidente est la modulation de largeur d'impulsion (MLI) à fréquence fixe et rapport cyclique  $\alpha$  variable.

#### 2.4.4 Courant moyen d'entrée

Tous les éléments étant supposés parfaits, le rendement théorique de ce convertisseur est égal à 1. On peut donc écrire:

$$V_s I_s = V_e I_e$$

En combinant avec l'équation (3), on établit l'expression du courant d'entrée:

$$I_e = \alpha I_s \quad (4)$$

#### **2.4.5 Limite de fonctionnement en conduction continue**

Lorsque le courant de sortie  $I_s$  diminue, par exemple par augmentation de la résistance  $R$ , le circuit peut passer en conduction discontinue (le courant s'annule au cours de la période).

On montre que l'expression de la tension de sortie s'écrit alors:

$$V_s = \frac{V_e}{1 + \frac{2LI_s}{\alpha^2 TV_e}} \quad (5)$$

On remarque que la tension de sortie n'est plus indépendante ni de la charge, ni de la fréquence de découpage. Il est donc important de connaître la limite de fonctionnement en conduction continue. La limite de conduction continue étant atteinte pour  $I_m = 0$ , on tire de l'équation (1) :

$$I_m = \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T$$

En portant cette expression dans l'équation du courant durant la phase 2, on détermine l'instant  $t_0$  d'annulation du courant:

$$t_0 = \frac{V_e}{V_s} \alpha T$$

La valeur moyenne du courant traversant l'inductance est égale au courant de sortie  $I_s$  et peut s'écrire:

$$I_s = \frac{1}{T} \int_0^T I_L dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} \frac{V_e - V_s}{L} t dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^{t_0} \left[ I_M - \frac{V_s}{L} (t - \alpha T) \right] dt$$

$$I_s = \frac{\alpha^2 T V_e}{2L} \left( \frac{V_e}{V_s} - 1 \right) \quad (6)$$

On en déduit l'expression de la valeur minimale du courant de sortie permettant de rester en conduction continue

$$I_{s \min} = \frac{\alpha (1 - \alpha) T V_e}{2L}$$

On remarquera que cette valeur est égale à la moitié de l'ondulation de courant  $\Delta I$ .

NB: de l'équation (6) on tire l'expression (5) de la tension de sortie en régime de conduction discontinue.

#### 2.4.6 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS ACTIFS

Afin de pouvoir dimensionner correctement les composants et notamment les semi-conducteurs, il est nécessaire de connaître les valeurs maximales (dans les conditions de fonctionnement les plus sévères) des tensions et des courants. Rappelons que le calcul des pertes de conduction dans les semi-conducteurs nécessitent la connaissance des valeurs crête, moyenne et efficace du courant qui les traverse.

##### 2.4.6.1 Courant dans l'interrupteur K :

Le courant crête  $I_M$  dans l'interrupteur K est atteint à  $t = \alpha T$ . Il est plus intéressant de l'exprimer en fonction des grandeurs d'entrée ou de sortie. La valeur moyenne du courant dans l'inductance L étant égale au courant de sortie  $I_s$ , on peut écrire:

$$\widehat{I}_K = I_M = I_s + \frac{\Delta I}{2} = \frac{I_e}{\alpha} + \frac{\Delta I}{2}$$

La valeur moyenne du courant dans l'interrupteur est égale au courant d'entrée :

$$I_{K\text{moy}} = I_e = \alpha I_s$$

On démontre que la valeur efficace s'écrit:

$$I_{K\text{eff}} = I_s \sqrt{\alpha \left( 1 + \frac{1}{12} \left( \frac{\Delta I}{I_s} \right)^2 \right)}$$

Cette expression est en fait peu différente de

$$I_{K\text{eff}} \approx I_s \sqrt{\alpha}$$

#### 2.4.6.2 Tension maximale aux bornes de l'interrupteur K :

Durant la phase 2, lorsque la diode D conduit, l'interrupteur K est soumis à la tension d'entrée  $V_e$ .

$$V_{K\text{max}} = V_e$$

#### 2.4.6.3 Courant dans la diode D

Le courant crête dans la diode est identique à celui traversant l'interrupteur K. La valeur moyenne du courant dans la diode est égale à:

$$I_{D\text{moy}} = I_s (1 - \alpha)$$

On adoptera pour la valeur efficace du courant dans la diode la valeur approchée:

$$I_{D\text{eff}} = I_s \sqrt{1 - \alpha}$$

#### 2.4.6.4 Tension maximale aux bornes de la diode D

Durant la phase 1, lorsque l'interrupteur K conduit, la diode est soumise à la tension d'entrée  $V_e$

$$V_{D\text{max}} = V_e$$

### 2.4.6.5 Dimensionnement du condensateur de sortie

Le courant  $I_c$  traversant le condensateur  $C_s$  est égal à la différence entre le courant circulant dans l'inductance  $L$  et le courant de sortie  $I_s$ :  $I_c = I_L - I_s$ . Sa valeur moyenne est nulle (voir formes d'onde). Soit  $\Delta Q$  la variation positive de charge du condensateur  $C_s$ . On peut calculer géométriquement  $\Delta Q$  en remarquant que c'est l'aire du triangle hachuré, dont la base vaut  $T/2$  et la hauteur  $\Delta I/2$ .

$$\text{on a} \quad \Delta Q = T \Delta I / 8 \quad \text{et} \quad \Delta Q = C_s \Delta V_c$$

On en déduit la valeur de la capacité  $C_s$  nécessaire pour obtenir une ondulation de la tension de sortie  $\Delta V_s$  ( $\Delta V_s = \Delta V_c$  si le condensateur est parfait)

$$C_s = \frac{T \Delta I}{8 \Delta V_s}$$

On notera que l'ondulation de tension  $\Delta V_c$  résulte de l'intégration d'un courant de forme triangulaire et est donc constituée d'arcs de parabole.

$$V_s(t) = \frac{1}{C_s} \int I_c dt$$

Dans la réalité, les condensateurs ne sont pas parfaits et l'on doit tenir compte de leur résistance série équivalente, notée ESR, qui introduit une ondulation supplémentaire  $\Delta V_{ESR}$  en phase avec l'ondulation de courant  $\Delta I$ .

$$\Delta V_{ESR} = ESR \cdot \Delta I$$

Bien souvent, l'ondulation  $\Delta V_{ESR}$  est prépondérante et impose le choix du condensateur de sortie  $C_s$ .

Dans le cas de circuits fonctionnant avec une ondulation de courant importante, il faudra veiller à ce que le condensateur de sortie soit capable d'absorber le courant efficace le traversant sans échauffement excessif.

### 2.4.6.6 EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT

On désire alimenter à partir d'une batterie de  $12V \pm 2V$  un appareil fonctionnant sous  $5V$  et consommant  $10A$ . L'isolement galvanique de la sortie n'est pas nécessaire. L'ondulation de la tension de sortie ne devra pas excéder  $100 \text{ mV}$ . Le rendement devra être supérieur ou égal à

80 %. A partir d'un tel cahier des charges, il existe une infinité de solutions. Le concepteur est donc amené à faire des choix. Deux paramètres sont nécessaires pour pouvoir conduire le calcul dans sa totalité:

- la fréquence de découpage F
- l'ondulation du courant dans l'inductance  $\Delta I$

Le rendement  $\eta$  devant être au moins de 80%, nous aurons :  $P_s / P_e \geq 0,8$

On en déduit la valeur du courant consommé sur la batterie à tension nominale:

$$I_e = \frac{I_s V_s}{\eta V_e}$$

D'où

$$I_e = 5,2 \text{ A pour } V_e = 12\text{V} \quad \text{et} \quad I_e = 6,25 \text{ A pour } V_e = 10\text{V}.$$

Le courant moyen dans l'inductance est égal au courant de sortie, donc 10 A. Choisissons une ondulation maximale de ce courant de 10% de sa valeur nominale :  $\Delta I = 1 \text{ A}$  et une fréquence de découpage de 100 kHz. Nous pouvons maintenant calculer la plupart des paramètres de fonctionnement du convertisseur.

#### 2.4.6.7 Rapport cyclique

Nous avons théoriquement:

$$\alpha = \frac{V_s}{V_e}$$

soit  $\alpha = 0,42$  à la tension d'entrée nominale

En fait, le rendement n'étant pas égal à 1 nous avons:

$$\frac{P_s}{P_e} = \frac{V_s I_s}{V_e I_e} = \eta$$

Cette expression montre que l'influence du rendement se traduit, pour une tension d'entrée donnée, par une augmentation du courant d'entrée ( $I_e$ ).

$$I_e = \frac{V_s I_s}{V_e \eta} = \frac{\alpha I_s}{\eta}$$

On peut donc considérer que le courant d'entrée (Ie) s'écrit:

(Ie) =  $\alpha$  réel Is avec  $\alpha$  réel >  $\alpha$  théorique On en déduit la relation suivante:

$$\alpha_{\text{réel}} = \frac{\alpha_{\text{théorique}}}{\eta}$$

La courbe ci-dessous représente le coefficient multiplicatif  $k = 1/\eta$  à utiliser en fonction du rendement estimé  $\eta$

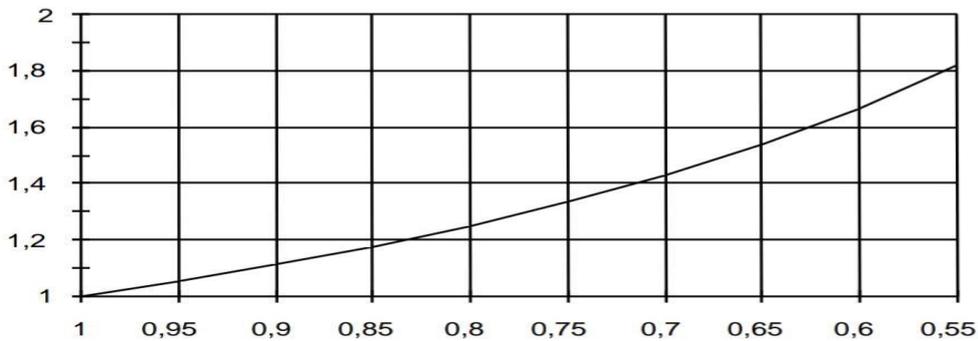


Figure 2.2 Rendement

Dans notre exemple  $\eta = 80\%$  nous avons donc:

- à la tension d'entrée nominale  $V_e = 12V$   
 $\alpha$  théorique = 0,417 et  $\alpha$  réel = 0,521
- dans la plage de tension d'entrée  $10V < V_e < 14V$   
 $0,500 > \alpha$  théorique  $> 0,357$  et  $0,625 > \alpha$  réel  $> 0,446$

## 2.5 Convertisseur elvataur boost

### 2.5.1 PRINCIPE :

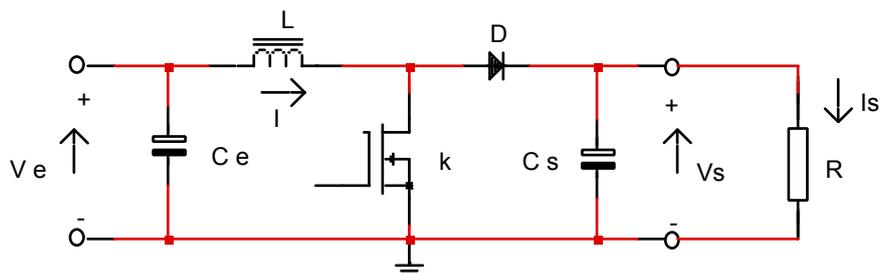


Figure2.3 convertisseur boost

Le circuit est alimentée par une source de tension  $V_e$ , la sortie est chargée par une résistance  $R$  et débite un courant  $I_S$ . L'interrupteur  $K$ , symbolisé ici comme un MOS FET de puissance, est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique  $\alpha$  à la fréquence  $F = 1/T$ . On distingue deux modes de fonctionnement de ce circuit selon que le courant circulant dans l'inductance  $L$  est ou non continu (ne s'annule pas au cours de la période). Le mode conduction continue étant le plus intéressant pour ce convertisseur, nous n'étudierons que ce mode. [20]

### 2.5.2 HYPOTHESES :

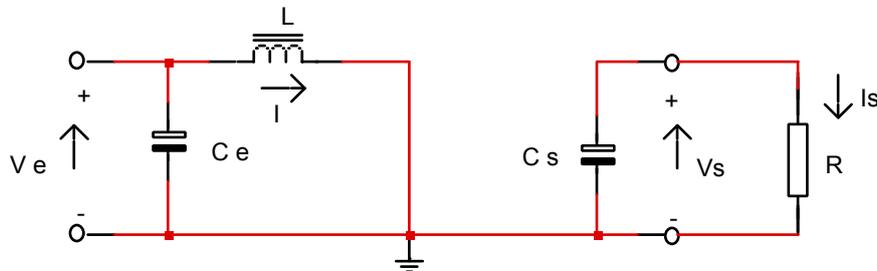
Dans cette étude théorique, nous admettrons les hypothèses suivantes :

- Tous les composants sont parfaits (sans pertes)
- Le régime sera supposé établi
- La capacité du condensateur de sortie sera supposée suffisamment grande pour que la tension à ses bornes puisse être considérée comme constante au cours de la période

### 2.5.3 ETUDE THEORIQUE EN CONDUCTION CONTINUE :

Phase 1  $(0 < t < \alpha T)$

L'interrupteur  $K$  est fermé, la diode  $D$  est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant:



On a:

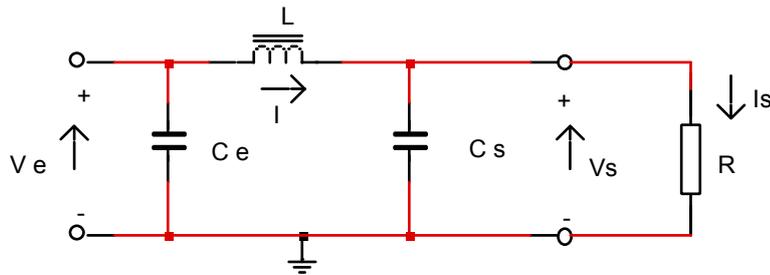
$$V_e = L \frac{di}{dt} \quad \text{d'où} \quad i(t) = I_m + \frac{V_e}{L} t$$

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

$$I_M = I_m + \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (1)$$

Phase 2 ( $\alpha T < t < T$ )

A  $t = \alpha T$  on ouvre l'interrupteur K. La diode D devient conductrice et le schéma équivalent du circuit devient :



$$V_e - V_s = L \frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad V_s - V_e = -L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = I_M - \frac{V_s - V_e}{L} (t - \alpha T)$$

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

$$I_m = I_M - \frac{V_s - V_e}{L} (1 - \alpha)T \quad (2)$$

Soit  $\Delta I$  l'ondulation du courant dans l'inductance :  $\Delta I = I_M - I_m$

De l'équation (1) on tire:

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_e}{L} \alpha T$$

ET EQUATION (2)

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_s - V_e}{L} (1 - \alpha)T$$

En combinant ces deux relations, on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$V_s = \frac{V_e}{(1 - \alpha)} \quad (3)$$

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 :

On notera que la tension de sortie est théoriquement indépendante de la charge. Dans la pratique, la boucle de régulation ne devra donc compenser que les variations de la tension d'entrée et les imperfections des composants réels. La stratégie de régulation qui semble la plus évidente est la modulation de largeur d'impulsion (MLI) à fréquence fixe et rapport cyclique  $\alpha$  variable.

#### 2.5.4 Courant moyen d'entrée :

Tous les éléments étant supposés parfaits, le rendement théorique de ce convertisseur est égal à 1.

On peut donc écrire:

$$V_s I_s = V_e I_e$$

En combinant avec l'équation (3), on établit l'expression du courant d'entrée:

$$I_e = \frac{I_s}{(1-\alpha)} \quad (4)$$

#### 2.5.5 Limite de fonctionnement en conduction continue :

Lorsque le courant de sortie  $I_s$  diminue, par exemple par augmentation de la résistance  $R$ , le circuit peut passer en conduction discontinue (le courant s'annule au cours de la période).

On montre que l'expression de la tension de sortie s'écrit alors:

$$V_s = V_e \left\{ \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{RT}{2L} \alpha^2} \right\}$$

On remarque la tension de sortie n'est plus indépendante de la charge et de la fréquence. Il est donc important de connaître la limite de fonctionnement en conduction continue. La valeur moyenne du courant traversant la diode (donc transitant vers la charge durant la phase 2) est égale au courant de sortie  $I_s$ .

$$I_s = \frac{1}{T} \int_0^T I_D dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T \left[ I_M - \frac{(V_s - V_e)}{L} (t - \alpha T) \right] dt$$

La limite de conduction continue étant atteinte pour  $I_m = 0$ , on tire de l'équation (1) :

$$I_M = \frac{V_e}{L} \alpha T$$

En portant cette expression dans l'équation précédente, on détermine l'expression de la valeur minimale du courant de sortie permettant de rester en conduction continue :

$$I_{s \text{ min}} = \frac{(1 - \alpha) \Delta I}{2}$$

**2.5.6 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS ACTIFS :**

Afin de pouvoir dimensionner correctement les composants et notamment les semi-conducteurs, il est nécessaire de connaître les valeurs maximales (dans les conditions de fonctionnement les plus sévères) des tensions et des courants. Rappelons que le calcul des pertes de conduction dans les semi-conducteurs nécessite la connaissance des valeurs crête, moyenne et efficace du courant qui les traverse.

**2.5.6.1 Courant dans l'interrupteur K :**

Le courant crête  $I_M$  dans l'interrupteur K est atteint à  $t = \alpha T$  . Il est plus intéressant de l'exprimer en fonction des grandeurs d'entrée ou de sortie. La valeur moyenne du courant dans l'inductance L étant égale au courant d'entrée ( $i_e$ ) , on peut écrire La valeur moyenne s'écrit:

$$\widehat{I}_K = I_M = I_e + \frac{\Delta I}{2} = \frac{I_s}{(1-\alpha)} + \frac{\Delta I}{2}$$

$$I_{K \text{ moy}} = \alpha I_e = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_s$$

On démontre que la valeur efficace s'écrit:

$$I_{K\text{ eff}} = I_c \sqrt{\alpha \left( 1 + \frac{1}{12} \left( \frac{\Delta I}{I_c} \right)^2 \right)}$$

Cette expression est en fait peu différente de

$$I_{K\text{ eff}} \approx I_c \sqrt{\alpha}$$

### **2.5.6.2 Tension maximale aux bornes de l'interrupteur K :**

Durant la phase 2, lorsque la diode D conduit, l'interrupteur K est soumis à la tension de sortie  $V_s$ .

$$V_{K\text{ max}} = V_s$$

### **2.5.6.3 Courant dans la diode D**

Le courant crête dans la diode est identique à celui traversant l'interrupteur K. L'intégralité du courant transitant de la source vers la charge traverse la diode D. La valeur moyenne du courant dans la diode est donc égale au courant de sortie:

$$I_{D\text{ moy}} = I_s$$

On adoptera pour la valeur efficace du courant dans la diode la valeur approchée:

$$I_{D\text{ eff}} = I_c \sqrt{1-\alpha} = \frac{I_s}{\sqrt{1-\alpha}}$$

### **2.5.6.4 Tension maximale aux bornes de la diode D :**

Durant la phase 1, lorsque l'interrupteur K conduit, la diode est soumise à la tension de sortie  $V_s$ .

$$V_{D\text{ max}} = V_s$$

### **2.5.6.5 Calcul de la valeur du condensateur de sortie :**

Durant la phase 1 qui dure  $\alpha T$ , le condensateur fournit seul l'énergie à la charge. Le courant de sortie étant supposé constant, on peut calculer la charge fournie par le condensateur:

$$\Delta Q = I_s \alpha T$$

Si l'on admet une ondulation  $\Delta V_s$  de la tension de sortie, on peut écrire:

$$\Delta Q = C \Delta V_s$$

On en déduit la capacité du condensateur de sortie:

$$C = \frac{I_s \alpha T}{\Delta V_s}$$

Dans la pratique, il faut également tenir compte de la résistance série équivalente ESR du condensateur. Le courant crête dans le condensateur est égal à  $I_M - I_S$ , d'où:

$$\widehat{I}_{C_S} = \frac{\alpha I_S}{1 - \alpha} + \frac{\Delta I}{2}$$

ce qui entraîne une ondulation supplémentaire de la tension de sortie que l'on peut écrire:

$$\Delta \widehat{V} = ESR \cdot \widehat{I}_{C_S} = ESR \cdot \left( \frac{\alpha I_S}{1 - \alpha} + \frac{\Delta I}{2} \right)$$

### 2.5.6.6 Exemple de dimensionnement :

On désire alimenter à partir d'une batterie de  $12V \pm 2V$  un appareil fonctionnant sous  $28 V$  et consommant  $5A$ . L'isolement galvanique de la sortie n'est pas nécessaire. L'ondulation de la tension de sortie ne devra pas excéder  $100 mV$ . Le rendement devra être supérieur à  $80 \%$ . A partir d'un tel cahier des charges, il existe une infinité de solutions. Le concepteur est donc amené à faire des choix. Deux paramètres sont nécessaires pour pouvoir conduire le calcul dans sa totalité:

- la fréquence de découpage  $F$
- l'ondulation du courant dans l'inductance  $\Delta I$

Le rendement  $\eta$  devant être au moins de  $80\%$ , nous aurons :  $P_s / P_e \geq 0,8$

On en déduit la valeur du courant consommé sur la batterie à tension nominale:

$$I_e = \frac{I_s V_s}{\eta V_e}$$

D'où

$I_e = 14,59 A$  pour  $V_e = 12V$  et  $I_e = 17,5 A$  pour  $V_e = 10V$ .

Le courant nominal dans l'inductance s'établit donc aux alentours de  $15A$ . Choisissons une ondulation de ce courant de  $10\%$  :  $\Delta I = 1,5 A$  et une fréquence de découpage de  $100 kHz$ . Nous pouvons maintenant calculer la plupart des paramètres de fonctionnement de ce convertisseur.

### 2.5.6.7 Rapport cyclique :

De l'équation (3) on tire:

$$\alpha = 1 - \frac{V_c}{V_s}$$

soit  $\alpha = 0,571$  à la tension d'entrée nominale et  $0,5 < \alpha < 0,643$  dans la plage de variation de la tension d'entrée.

#### 2.5.6.8 Valeur de l'inductance :

Nous avons établi la relation:

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_c}{L} \alpha T$$

$$L = \frac{\alpha V_c}{F \Delta I}$$

On en tire la valeur de l'inductance

#### 2.5.6.9 Capacité du condensateur de sortie :

$$\text{Soit } L = 45,7 \mu\text{H}$$

nous avons  
établi que:

$$C = \frac{I_s \alpha T}{\Delta V_s}$$

On remarque que l'ondulation est maximale lorsque la tension d'entrée est la plus faible, ce qui correspond au rapport cyclique  $\alpha$  maximal soit ici  $C_s \geq 321 \mu\text{F}$  pour  $V_e = 10\text{V}$ .

#### 2.5.6.10 Dimensionnement du transistor MOS :

Tension drain-source maximale :  $28 \text{ V} \rightarrow$  On choisira un modèle 50 ou 60 V Le courant crête maximal est atteint pour une tension d'entrée de 10V: I crête max = 18,2 A On choisira un MOS dont la RDS on est spécifiée à ce courant, par exemple 50 mΩ. La valeur efficace maximale est de 14 A alors

que la valeur efficace nominale est de 11A. On en déduit la puissance dissipée dans le transistor (en négligeant les pertes de commutation):

$$P = R_{DS\ on} \cdot I_{eff}^2$$

d'où  $P_{nominale} = 6\text{ W}$   $P_{maximale} = 9,8\text{ W}$

## 2.6 Convertisseur Buck boost

### 2.6.1 PRINCIPE

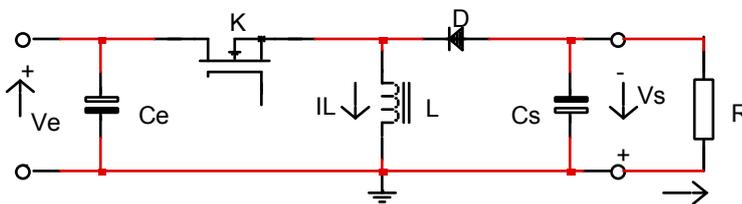


Figure 2.4 convertisseur buck boost

Le circuit est alimenté par une source de tension  $V_e$ , la sortie est chargée par une résistance  $R$  et débite un courant  $I_S$ . L'interrupteur  $K$ , symbolisé ici comme un MOS FET de puissance, est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique  $\alpha$  à la fréquence  $F = 1/T$ . On distingue deux modes de fonctionnement de ce circuit selon que le courant circulant dans l'inductance  $L$  est ou non continu (ne s'annule pas au cours de la période). Les deux modes de fonctionnement étant intéressants pour ce convertisseur, nous les étudierons successivement.[21]

### 2.6.2 HYPOTHESES

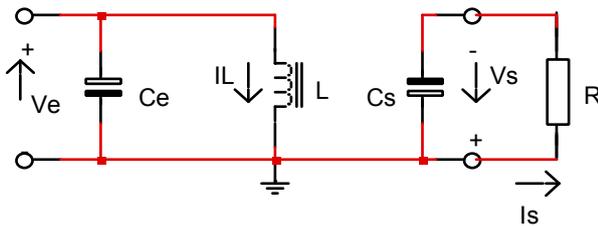
Dans cette étude théorique, nous admettrons les hypothèses suivantes :

- Tous les composants sont parfaits (sans pertes)
- Le régime sera supposé établi
- La capacité du condensateur de sortie sera supposée suffisamment grande pour que la tension à ses bornes puisse être considérée comme constante au cours de la période

### 2.6.3 ETUDE THEORIQUE EN CONDUCTION CONTINUE

Phase 1  $(0 < t < \alpha T)$

L'interrupteur K est fermé, la diode D est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant:



On a:

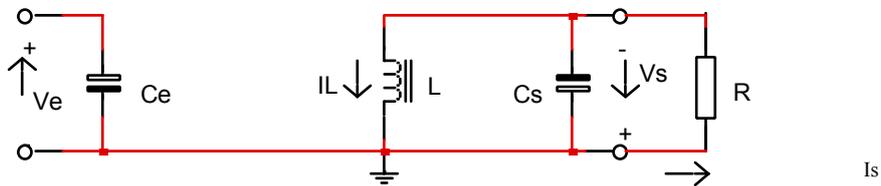
$$V_c = L \frac{di}{dt} \quad \text{d'où} \quad i(t) = I_m + \frac{V_c}{L} t$$

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

$$I_M = I_m + \frac{V_c}{L} \alpha T \quad (1)$$

Phase 2 ( $\alpha T < t < T$ )

A  $t = \alpha T$  on ouvre l'interrupteur K. La diode D devient conductrice et le schéma équivalent du circuit devient :



$$V_s = -L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = I_M - \frac{V_s}{L} (t - \alpha T)$$

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

$$I_m = I_M - \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T \quad (2)$$

Soit  $\Delta I$  l'ondulation du courant dans l'inductance :  $\Delta I = I_M - I_m$

De l'équation (1) on tire:

$$\begin{aligned}\Delta I &= I_M - I_m = \frac{V_c}{L} \alpha T \\ \Delta I &= I_M - I_m = \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T\end{aligned}\quad (3)$$

Et de l'équation (2)

En combinant ces deux relations, on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (4)$$

que l'on peut aussi écrire:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{\alpha T}{(1 - \alpha)T} = \frac{t_{on}}{t_{off}} \quad (5)$$

On constate que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que de la tension d'entrée et du rapport cyclique  $\alpha$ . Le rapport de transformation de ce convertisseur peut être soit abaisseur ( $\alpha < 0,5$ ), soit élévateur ( $\alpha > 0,5$ ) d'où l'appellation anglo-saxonne de Buck-Boost. Par contre, la tension de sortie est toujours de signe opposé à celle d'entrée, pour cette raison nous lui préférons l'appellation de convertisseur inverseur. On notera que la tension de sortie est théoriquement indépendante de la charge. Dans la pratique, la boucle de régulation ne devra donc compenser que les variations de la tension d'entrée et les imperfections des composants réels. La relation (5) montre que le rapport de transformation peut s'exprimer de manière très simple en fonction du temps de conduction  $t_{on} = \alpha T$  de l'interrupteur K et du temps de non conduction  $t_{off} = (1 - \alpha)T$  de ce même interrupteur. Ceci suggère des stratégies de régulation autre que la modulation de largeur d'impulsion (MLI) à fréquence fixe et rapport cyclique  $\alpha$  variable, comme par exemple la commande à temps de conduction  $t_{on}$  constant et fréquence variable.

#### 2.6.4 Courant moyen d'entrée :

Tous les éléments étant supposés parfaits, le rendement théorique de ce convertisseur est égal à 1.

On peut donc écrire:  $V_s I_s = V_e I_e$

En combinant avec l'équation (4), on établit l'expression du courant d'entrée:

$$I_e = \frac{\alpha I_s}{(1-\alpha)} \quad (6)$$

### **2.6.5 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS ACTIFS :**

Afin de pouvoir dimensionner correctement les composants et notamment les semi-conducteurs, il est nécessaire de connaître les valeurs maximales (dans les conditions de fonctionnement les plus sévères) des tensions et des courants. Rappelons que le calcul des pertes de conduction dans les semi-conducteurs nécessite la connaissance des valeurs crête, moyenne et efficace du courant qui les traverse.

#### **2.6.5.1 Courant dans l'interrupteur K :**

Le courant crête  $I_M$  dans l'interrupteur K est atteint à  $t = \alpha T$ . Il est plus intéressant de l'exprimer en fonction des grandeurs d'entrée ou de sortie. La valeur moyenne du courant traversant la diode (donc transitant vers la charge durant la phase 2) est égale au courant de sortie  $I_s$ . Nous pouvons donc écrire:

$$I_s = \frac{1}{T} \int_0^T I_D dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T \left[ I_M - \frac{V_s}{L} (t - \alpha T) \right] dt$$

en effectuant et en combinant avec l'équation (3) on obtient:

$$I_s = \left( I_M - \frac{\Delta I}{2} \right) (1-\alpha) \quad (7)$$

d'où l'on tire l'expression du courant crête dans l'interrupteur:

$$\widehat{I}_K = I_M = \frac{I_s}{(1-\alpha)} + \frac{\Delta I}{2}$$

La valeur moyenne est égale au courant d'entrée:

$$I_{K\text{moy}} = I_e = \frac{\alpha I_s}{(1-\alpha)}$$

Cette expression est en fait peu différente de:

$$I_{K\text{eff}} = I_s \frac{\sqrt{\alpha}}{(1-\alpha)} = \frac{I_e}{\sqrt{\alpha}}$$

### 2.6.5.2 Tension maximale aux bornes de l'interrupteur K :

Durant la phase 2, lorsque la diode D conduit, l'interrupteur K est soumis à la somme de la tension de sortie  $V_s$  et de la tension d'entrée  $V_e$ .

$$V_{K\text{ max}} = V_s + V_e$$

### 2.6.5.3 Courant dans la diode D :

Le courant crête dans la diode est identique à celui traversant l'interrupteur K.

L'intégralité du courant transitant de la source vers la charge traverse la diode D. La valeur moyenne du courant dans la diode est donc égale au courant de sortie:

$$I_{D\text{ moy}} = I_s$$

La valeur efficace du courant dans la diode s'écrit:

$$I_{D\text{ eff}} = I_s \sqrt{(1-\alpha) \left( \frac{1}{(1-\alpha)^2} + \frac{1}{12} \left( \frac{\Delta I}{I_s} \right)^2 \right)}$$

Cette expression est peu différente de:

$$I_{D\text{ eff}} = \frac{I_s}{\sqrt{1-\alpha}}$$

### 2.6.5.4 Tension maximale aux bornes de la diode D :

Durant la phase 1, lorsque l'interrupteur K conduit, la diode est soumise à la somme de la tension de sortie  $V_s$  et de la tension d'entrée  $V_e$ :

$$V_{D\text{ max}} = V_s + V_e$$

### 2.6.4.5 Calcul de la valeur du condensateur de sortie :

Durant la phase 1 qui dure  $\alpha T$ , le condensateur de sortie fournit seul l'énergie à la charge. Le courant de sortie étant supposé constant, on peut calculer la charge fournie par le condensateur:

$$\Delta Q = I_S \alpha T$$

Si l'on admet une ondulation  $\Delta V_S$  de la tension de sortie, on peut écrire:  $\Delta Q = C \Delta V_S$  On en déduit la capacité du condensateur de sortie:

$$C = \frac{I_S \alpha T}{\Delta V_S}$$

Dans la pratique, il faut également tenir compte de la résistance série équivalente ESR du condensateur Le courant crête dans le condensateur est égal à  $I_M - I_S$ , d'où:

$$\widehat{I}_{C_S} = \frac{\alpha I_S}{1 - \alpha} + \frac{\Delta I}{2}$$

ce qui entraîne une ondulation supplémentaire de la tension de sortie que l'on peut écrire:

$$\Delta \widehat{V} = ESR \cdot \widehat{I}_{C_S} = ESR \cdot \left( \frac{\alpha I_S}{1 - \alpha} + \frac{\Delta I}{2} \right)$$

### 2.6.4.6 Limite de conduction continue :

Lorsque le courant de sortie  $I_S$  diminue, par exemple par augmentation de la résistance  $R$ , le circuit peut passer en conduction discontinue (le courant s'annule au cours de la période). L'équation établie précédemment donne l'expression du courant de sortie

$$I_s = \left( I_M - \frac{\Delta I}{2} \right) (1 - \alpha)$$

## 2.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé des types de convertisseur et d'une étude théorique pour chacun des trois ( Buck. Boost. Buck boost) et le principe de conversion par des équations mathématique Plus précisément, nous avons traduit ce qui se passe réellement en équations mathématiques et des calculs sur les diode et les transistor MOS pour arriver a comprendre le principe de conversion mathemathiquement . D'apres et les caclues et les l'étude le convertisseur buck fait un abaisment d tension et le convertisseur boost augmente la tension de la source et le convertisseur buck –boost abaisse et augmente au meme temps

# Chapitre 3

### Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique

#### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter une étude et proposition sur le fonctionnement des types des convertisseurs. Et analyser la simulation que nous avons effectuée dans le cas normal en boucle ouverte, on réduit la tension et augmente la tension et réduisent augmente en ensemble mais pour améliorer la performance d'un convertisseur il faut ajouter un régulateur pid qui a la possibilité de d'appliquer sur les voiture électrique comme stabilisateur de vitesse et charger une batterie dans le circuit de voiture électrique

#### 3.2 Buck convertisseur

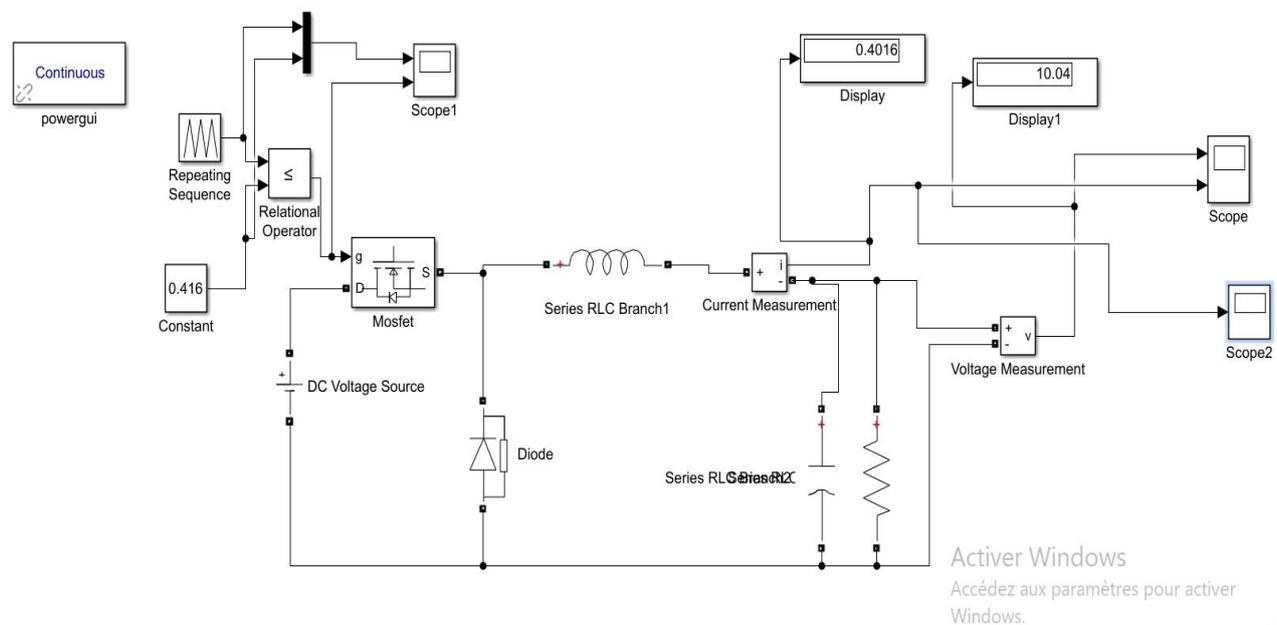


Figure 3.1 schéma Buck convertisseur avec  $v_i = 20\text{v}$

$$D = 0.41$$

$$L = 15.91 \text{ mH}$$

$$V_o = 10\text{v}$$

$$C = 50 \text{ uF}$$

$$V_i = 24\text{v}$$

$$R = 52 \text{ ohm}$$

**3.2.1 Résultat**

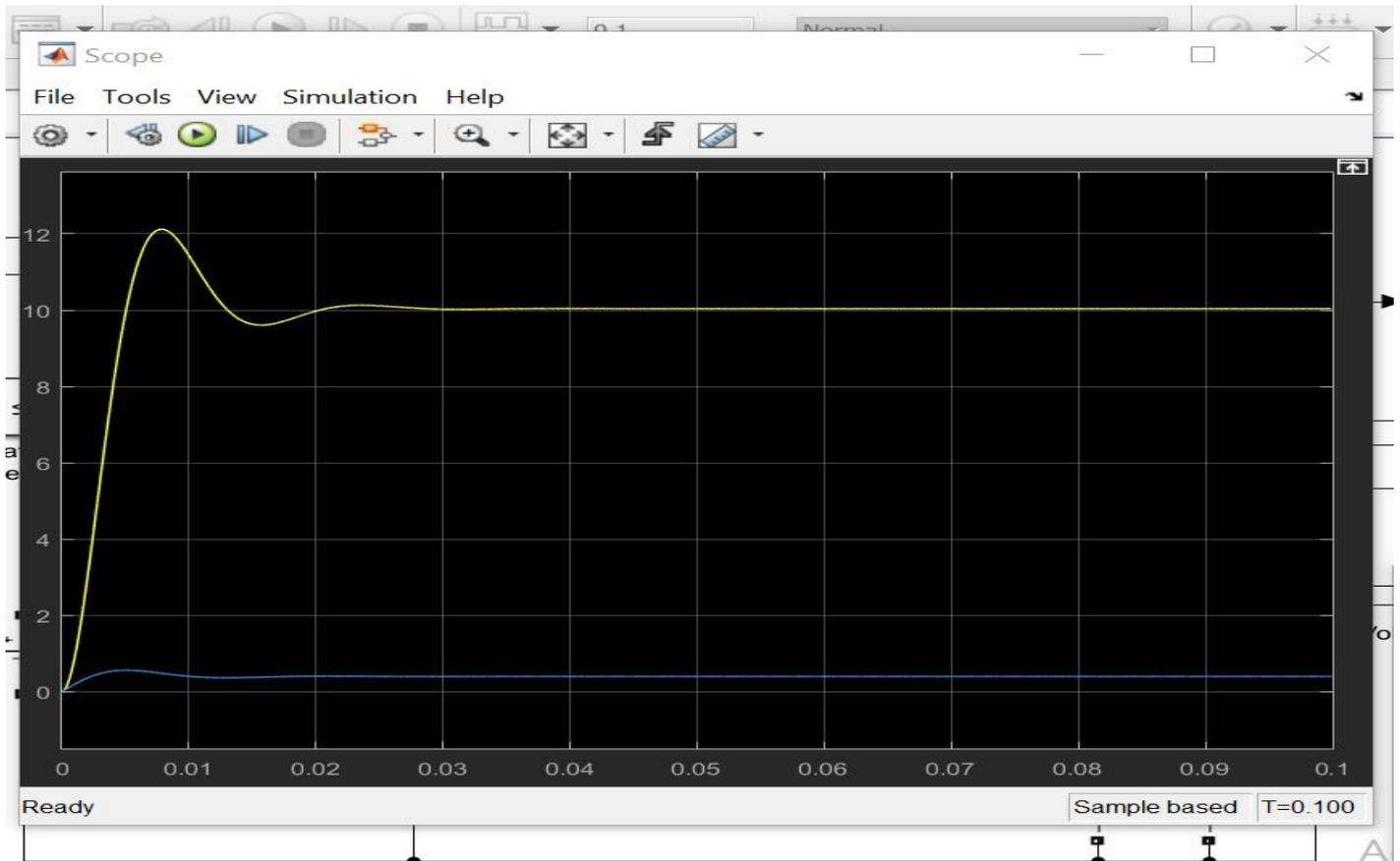


Figure 3.2 tension de sortie 10v

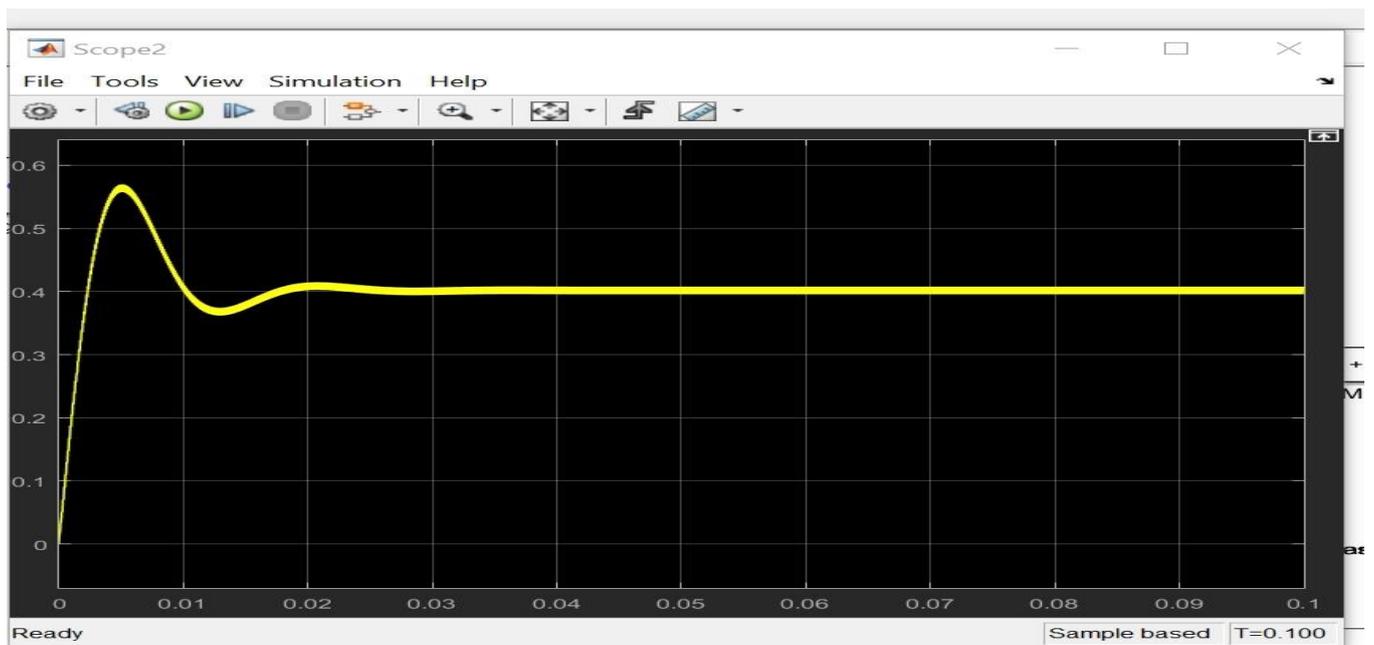


Figure 3.3 Courant de sortie 0.41A

### 3.2.3 Analyse

Convertisseur démunie la tension de 24v a 10v mais la réponse du system a un grand dépassement et la perturbation provoque L'erreur statiques aussi le temps de réponse long dans cd ca une faible performance

### 3.3 Boost convertisseurs

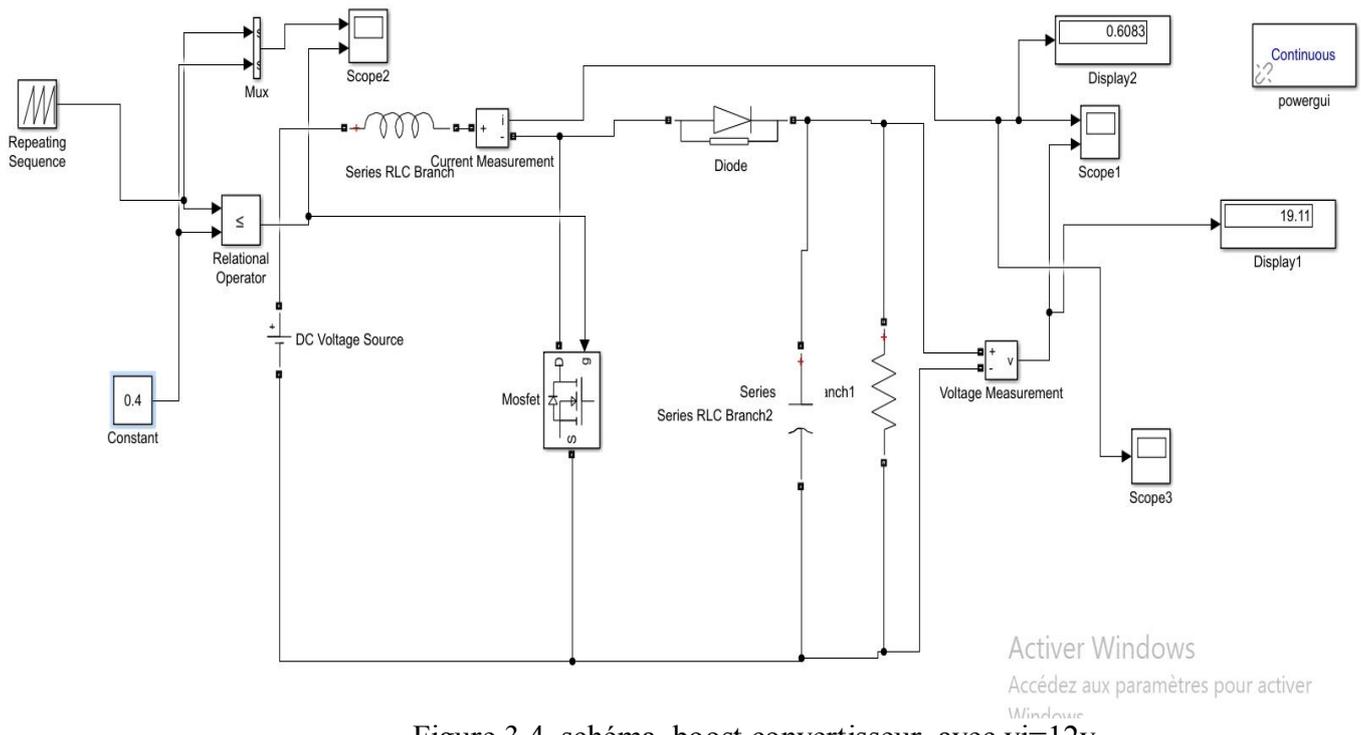


Figure 3.4 schéma boost convertisseur avec  $v_i=12v$

$$D=0.4$$

$$V_i=12 \text{ v}$$

$$V_o \approx 20 \text{ v}$$

$$R= 52 \text{ ohm}$$

$$C=50 \text{ uF}$$

$$L=15 \text{ 91mH}$$

#### 3.3.1 Résultat

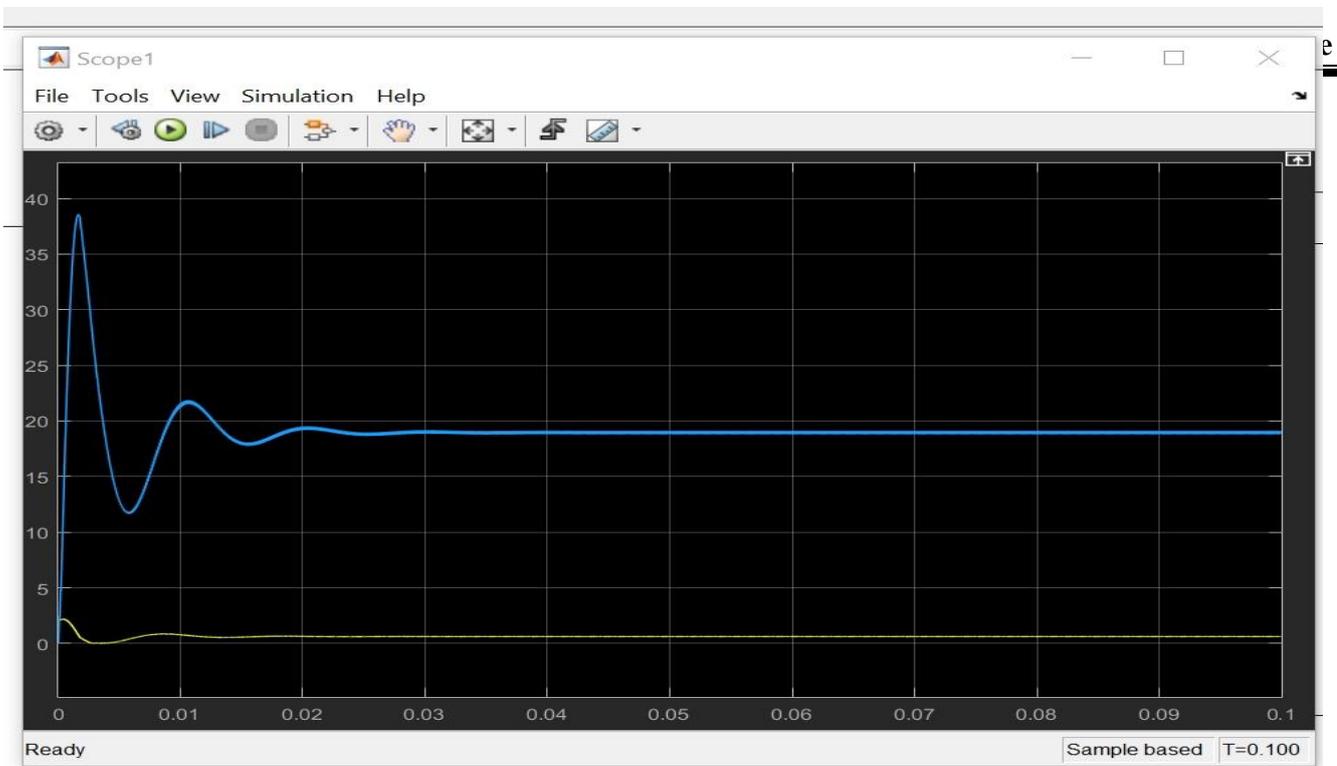


Figure 3.5 Tension de sortie  $\approx 20V$

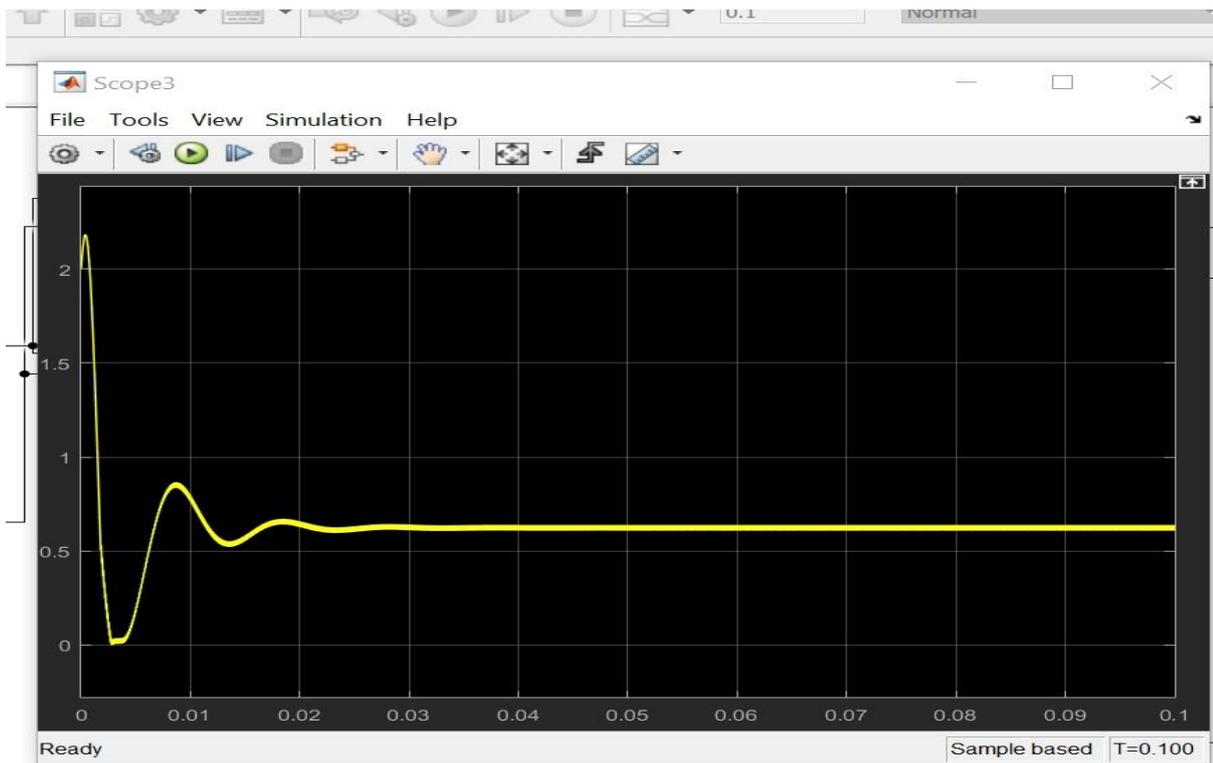
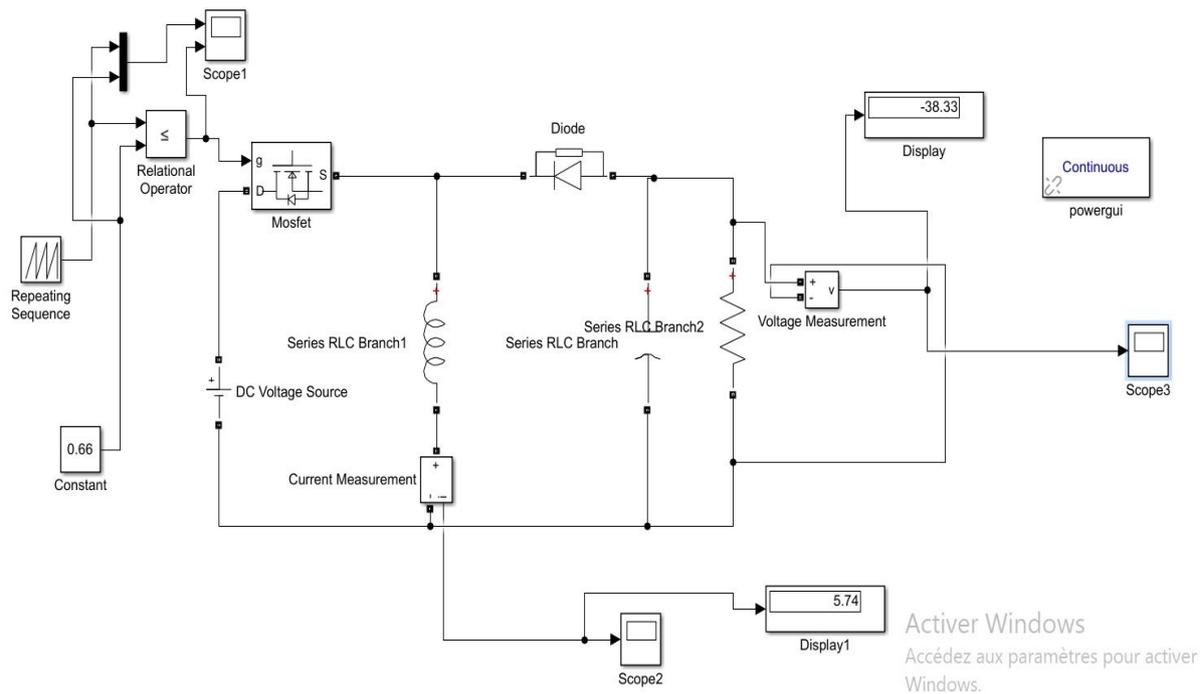


Figure 3.6 courant de sortie 0.62A

### 3.3.2 Analyse

Le system de conversion a une oscillation et le temps de réponse ca prend de temps pour reprendre ( un dépassement) et une erreur statique dans se cas une faible performance



### 3.4 Convertisseur Buck boost

Figure 3.7 Schéma Buck boost convertisseur

$$D=0.66$$

$$V_i=20 \text{ v}$$

$$V_o=-38 \text{ v}$$

$$R=20 \text{ ohm}$$

$$L= 15.91 \text{ mH}$$

$$C=50 \text{ uF}$$

**3.4.1 Résultat**

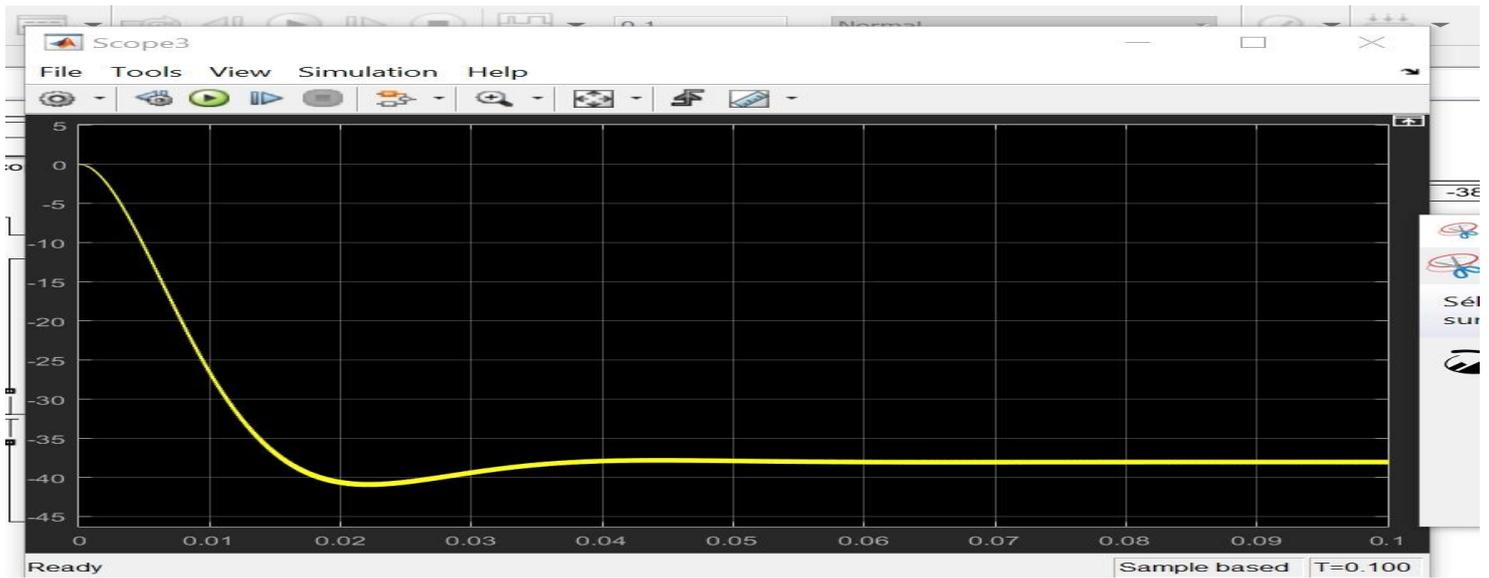


Figure 3.8 tension de sortie -38v

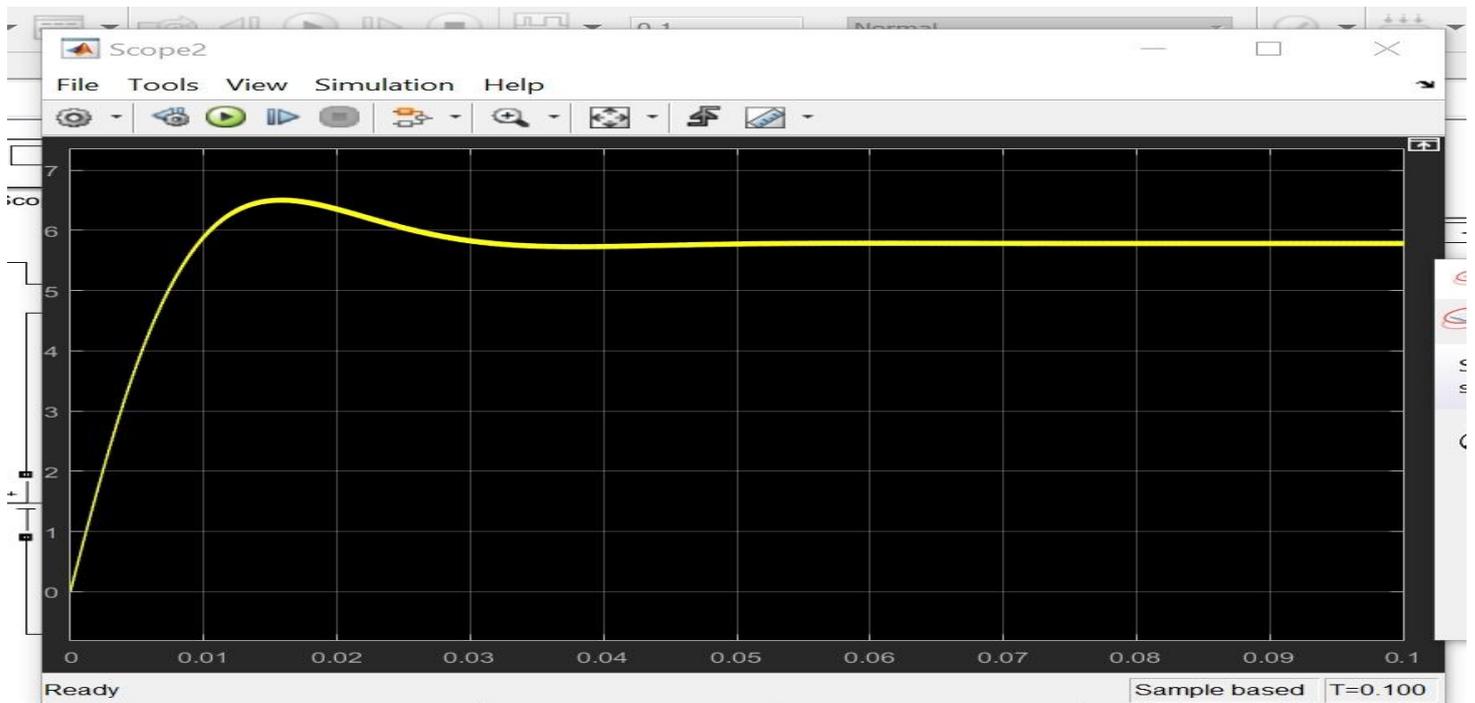


Figure 3.9 courant de sortie 5.72 A

### **3.4.2 Analyse**

La tension de sortie -38.33 v est négative et un grand dépassement et erreur statique et longue temps pour répondre dans ce ca une faible performance aussi

### **Performance du trois type**

Pour avoir une bonne performance il faut réduit le temps de réponse et le dépècement

## **3.5 Amélioration la performance convertisseur dc-dc par un contrôleur pid**

### **3.5.1 Objectif**

Cette simulation on propose la conception et la simulation d'un Convertisseur DC-DC Boost utilisant un contrôleur PID, améliorant performances globales dans véhicule électrique. L'objectif principal d'un DC-Le convertisseur CC doit maintenir une tension de sortie constante malgré Variations de la tension d'entrée/source, des composants et du courant de charge. Les concepteurs visent à obtenir une meilleure efficacité de conversion, minimisée Distorsion harmonique et facteur de puissance amélioré tout en gardant coût du convertisseur dans une plage acceptable. Un simple PID(Proportionnel, Intégral et Dérivé) a été Appliqué à un convertisseur Boost conventionnel et testé environnement MATLAB-Simulink pour une tension améliorée Régulation.

### **3.5.2 Convertisseur boost conventionnel**

Un convertisseur DC-DC Boost conventionnel est composé d'une inductance boost, de deux semi-conducteurs (une diode et un transistor) et d'un condensateur de sortie en parallèle avec la charge comme indiqué dans fig 3.10

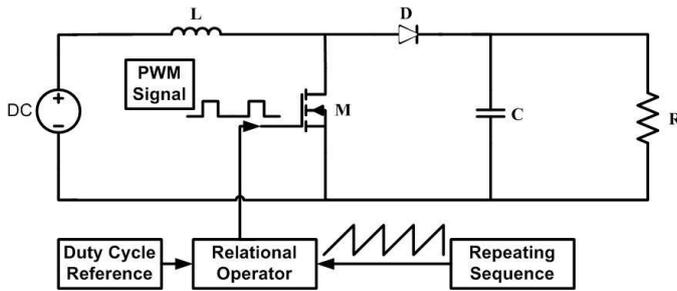


Figure 3.10 Convertisseur Boost conventionnel

Le convertisseur Boost, également connu sous le nom de convertisseur ascendant, fournit une tension de sortie supérieure à la tension d'entrée. L'entrée pour un convertisseur boost peut être une simple source CC telle qu'une batterie, panneau solaire ou peut être obtenu directement à partir d'une source CA par un redresseur. La tendance des inducteurs à résister aux variations dues aux changements du champ magnétique est la clé principe qui anime le convertisseur Boost. Le convertisseur Boost est fonctionné en deux modes. La commutation est réalisée en utilisant soit un MOSFET soit un IGBT. Dans les applications basse tension Le MOSFET est préféré à l'IGBT en raison de sa plus grande

vitesse de calcul par rapport à l'IGBT. Modes de fonctionnement de Le convertisseur Boost est le suivant :

- Le mode 1 commence à  $t = 0s$  lorsque le transistor est commuté en faisant circuler le courant d'entrée croissant à travers l'inductance L, emmagasinant de l'énergie dans son champ magnétique. Durant ce mode de fonctionnement comme le montre la Fig. 3.10 la charge côté est complètement isolé du côté source.

- Le mode 2 commence à  $t = t_1$  lorsque le transistor est commuté désactivé. L'inductance, L produit une force contre-électromotrice ayant l'opposé polarité du Mode 1 en raison de la chute rapide du courant. la tension aux bornes de l'inducteur et de la source moins la petite chute de tension directe aux bornes de la diode, D se charge le condensateur, C et alimente également la charge. le le chemin de conduction est représenté sur la figure 3.11

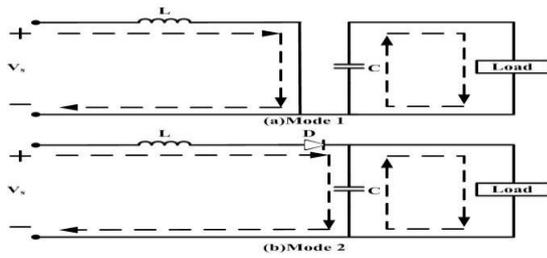


Figure 3.11 Mode de fonctionnement du Boost Converter

La période de commutation du transistor est donnée par

Mode 1

$$\begin{aligned} T_{on} &= DT_p \\ T_{off} &= (1-D)T_p \end{aligned} \quad (1)$$

Mode 2.

Tension aux bornes de l'inductance,

$$\begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= V_i \\ L \frac{di}{dt} &= -(V_i - V_o) \end{aligned} \quad (2)$$

Mettre l'équation (1) dans l'équation (2)

$$\begin{aligned} L \frac{\Delta i}{DT_p} &= V_i \\ L \frac{\Delta i}{(1-D)T_p} &= V_o - V_i \end{aligned}$$

Courant d'ondulation  $\Delta i$  est donné par

$$\Delta i_{on} = \frac{V_i DT_p}{L} \quad (3)$$

$$\Delta i_{off} = \frac{(1-D)(V_o - V_i)T_p}{L} \quad (4)$$

Équation de l'équation de courant d'ondulation (3) et (4) du mode 1 et du mode 2

$$\begin{aligned}
 \Delta i_{on} &= \Delta i_{off} \\
 V_i D &= V_o - V_i - DV_o + DV_i \\
 V_i &= V_o - DV_o \\
 V_i &= V_o(1-D) \\
 \frac{V_o}{V_i} &= \frac{1}{1-D}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Où

$V_i$  =Input Voltage,  $V_o$ =Output Voltage,  $T_{on}$ =MOSFET on, sec .  $t_{off}$ =MOSFET off, sec  
 $T_p$ =Switching Period, sec  $D$ =Duty Cycle . $\Delta i$ =ripple current

### 3.5.3 Contrleur pid

L'un des contrôleurs les plus simples et les plus largement utilisés pour Faire une régulation de tension dans une véhicule électrique est le contrôleur PID. PID signifie proportionnel (P), contrôleur intégral (I) et dérivé (D). La figure 3.12 montre le bloc

schéma d'un régulateur PID typique.

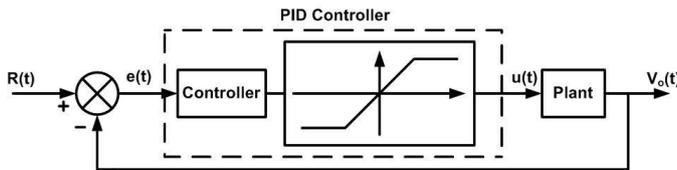


Figure 3.12 Structure de contrôle PID typique

Le système à l'étude est l'installation à laquelle une excitation est fournie, réalisant ainsi une boucle fermée globale contrôler efficacement. Un PID peut être exprimé comme

$$\begin{aligned}
 C(s) &= \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \\
 C(s) &= K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$K_p$ = gain proportionnel

$K_d$ = gain derive

$K_i$  = gain intégral

Le signal  $e(t)$  comme indiqué sur la Fig. 4 représente le suivi Erreur obtenue à partir de la différence entre le signal de référence Qui sert d'entrée  $R(t)$  et le signal de sortie réel  $V_o(t)$ . L'erreur de suivi est transmise au contrôleur PID qui Calcule la dérivée et l'intégrale du signal

### **Chapitre 3 : Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique**

fourni. La sortie du contrôleur PID  $u(t)$  à appliquer à l'installation Est égal au gain proportionnel (KP) multiplié par l'amplitude de Le signal d'erreur plus le gain intégral (KI) multiplié par l'intégrale de Le signal d'erreur plus le gain dérivé (KD) multiplié par le Dérivée du signal d'erreur. Représentation dans le domaine temporel du signal  $u(t)$  envoyé au L'installation est donnée par

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

L'installation à la réception du signal  $u(t)$  va générer une sortie modifiée  $V_o(t)$  qui sera à nouveau comparée à la Signal de référence jusqu'à ce que le niveau souhaité soit atteint Formant un système en boucle fermée. Effet de proportionnel, intégral et le contrôle dérivé sur le système en boucle fermée est résumé dans

le tableau I. fourni ci-dessous.

#### EFFET DU PID SUR LE SYSTÈME EN BOUCLE FERMÉE

	Temps de montée	Dépassement	Temp de prise	Erreur de régime permanent
Proportionnel	Diminuer	Augmenter	Petit Chang	Diminuer
Intégral	Diminuer	Augmenter	Augmenter	Eliminer
Dérivés	Petit Chang	Diminuer	Diminuer	Petit Chang

Les contrôleurs peuvent être mis en œuvre individuellement ainsi que en combinaison, avec les convertisseurs pour obtenir le résultat souhaité

#### 3.5.4 CONVERTISSEUR PROPOSÉ

Le convertisseur proposé tel qu'illustré à la Fig 3.13 est similaire au convertisseur Boost conventionnel mais diffère uniquement dans l'incorporation d'un contrôleur PID qui est largement utilisé dans de nombreuses applications pratiques pour une meilleure performance. Le contrôleur PID proposé a été obtenu par la méthode de réduction du schéma fonctionnel en

### Chapitre 3 : Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique

quatre étapes, comme indiqué La première figure, représente un PID conventionnel schéma fonctionnel du contrôleur lors des étapes successives, par réduction de schéma fonctionnel technique le schéma de commande proposé pour le convertisseur Boosta été obtenu ce qui est faisable pour convertisseur proposé. Le dépassement initial est une préoccupation majeure pour faire fonctionner des machines dans les industries et les chercheurs visent concevoir un convertisseur avec une bonne régulation de tension et réduction des dépassements.

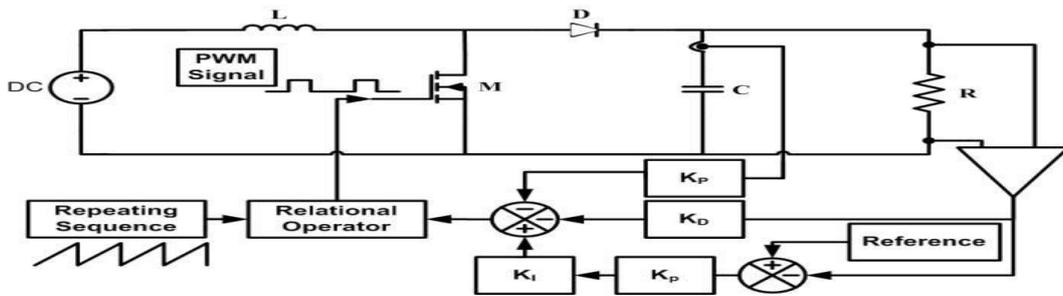


Figure 3.13 Convertisseur Boost proposé avec régulateur PID pour la régulation de la tension et Réduction des dépassements

L'intégration d'un contrôleur PID avec le convertisseur améliore La réponse dynamique et réduit l'erreur en régime permanent. Le Le contrôleur dérivé (KD) améliore la réponse transitoire Et le contrôleur intégral (KI) réduira l'erreur en régime permanen Du système. Notre système proposé maintient une sortie de 200V lorsque l'entrée est dans la plage de 85V-95V, ce qui rend Il est tout à fait possible de l'appliquer sur un system de véhicule électrique

#### 3.5.5 RÉSULTAT ET SIMULATION

La simulation a été effectuée dans l'environnement MATLAB-Simulink. Les paramètres utilisés pour cette simulation sont donnés dans le tableau II.

comme indiqué ci-dessous

#### PARAMÈTRES DE SIMULATION

Paramètre	Valeur
voltage source	85v-95v
Voltage de sortie	200v
puissance	800W
Rapport cyclique	0.5
inductance	400 $\mu$ H
condansateur	100 $\mu$
Résistance	50 $\Omega$
Kp	0.0033
Ki	6.43
Kd	0.0027

Remarque :

Le convertisseur Boost conventionnel, a été simulé à 50% du cycle de service et les formes d'onde de sortie observé pour les variations de tension d'entrée de 85V - 95V avec incrément de 5V. On constate que la tension de sortie fluctue avec la variation de la tension d'entrée par une grande quantité. De plus, le convertisseur présente une augmentation significative de dépassement lorsque la tension d'entrée varie .

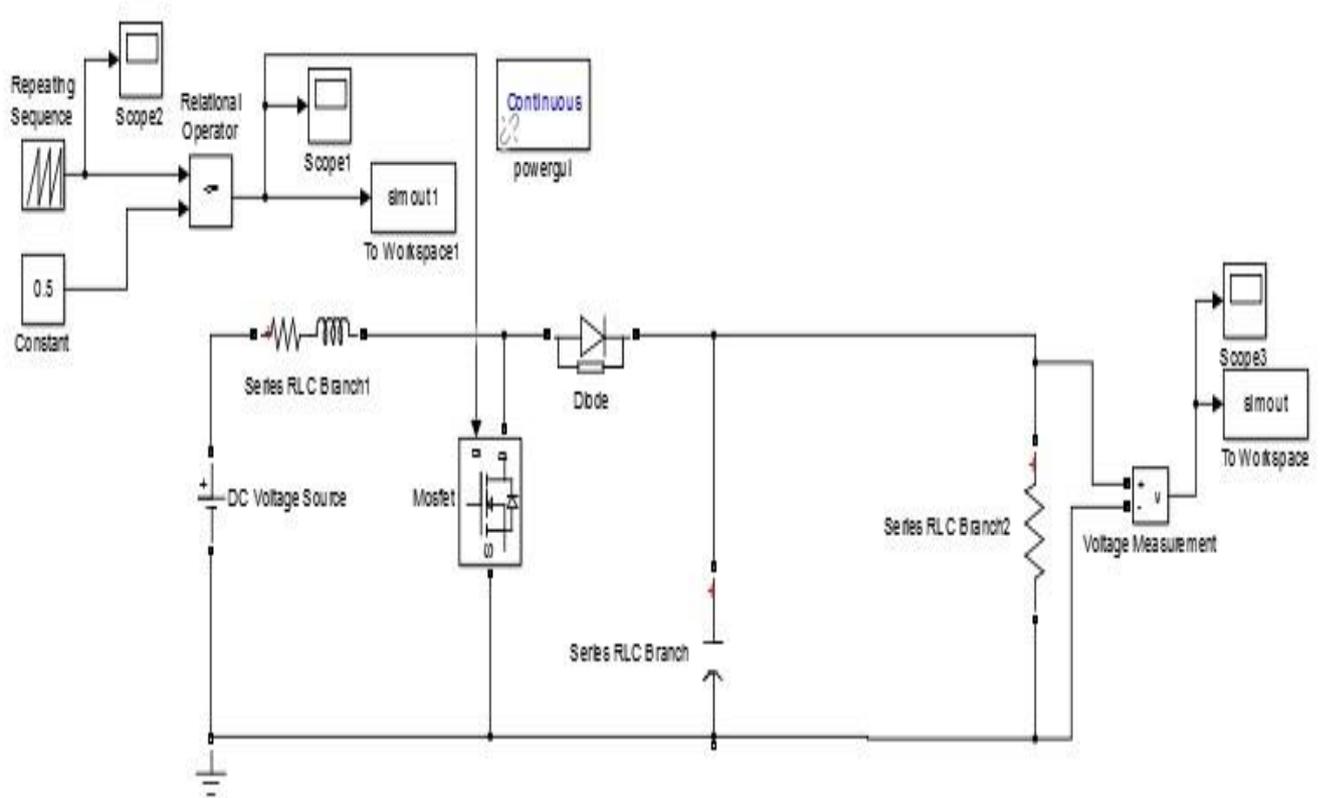
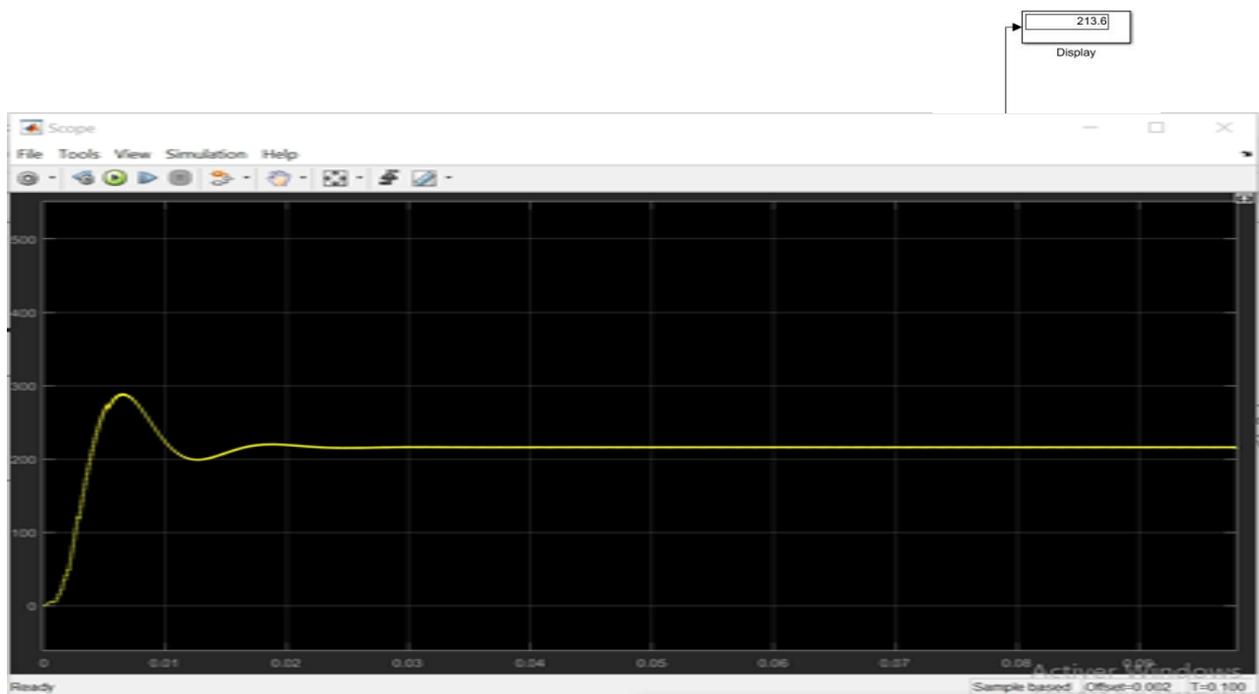
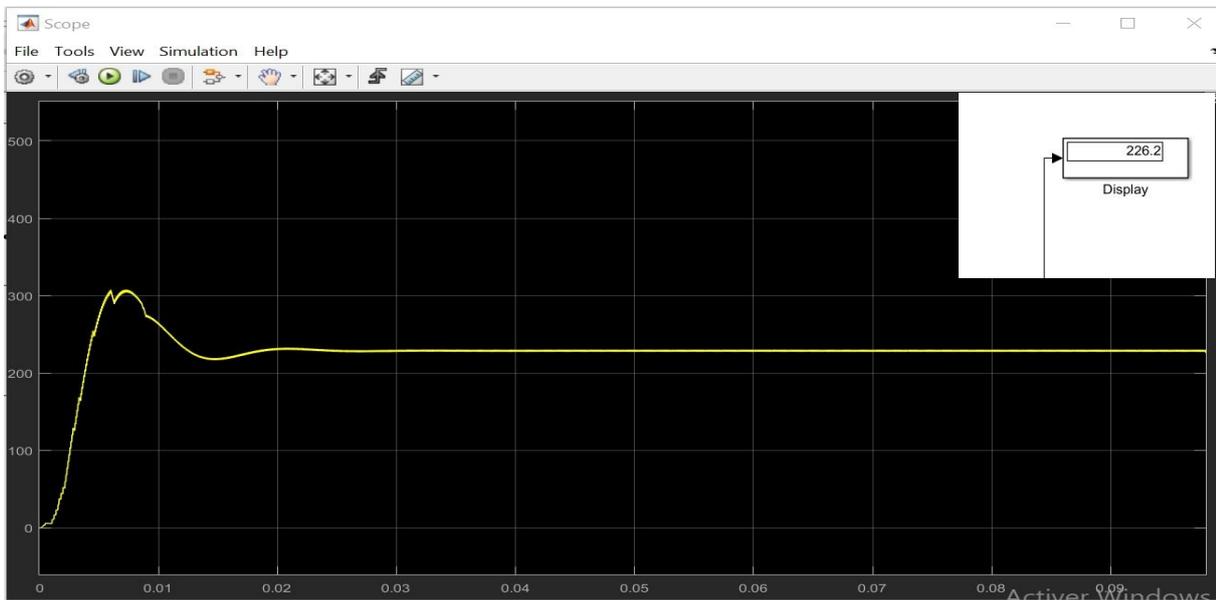


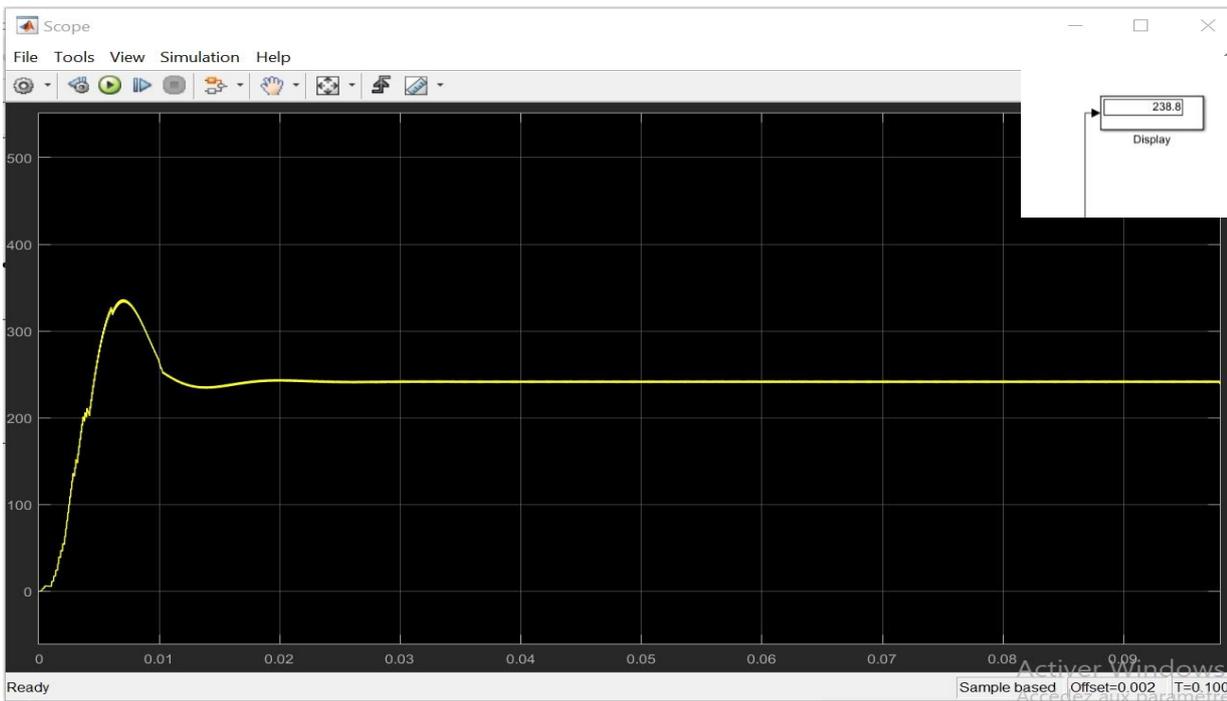
Figure 3.14 Modèle MATLAB-Simulink du convertisseur Boost conventionnel



a 85 v (a)



a 90 v (b)



a 95 v (c)

Figure 3.15 Tracé de la tension de sortie du convertisseur Boost conventionnel fonctionnant à 50 % cycle de service pour les tensions d'entrée (a) 85V, (b) 90V et (c) 95V

Pour une régulation correcte de la tension et une réduction des dépassements, le convertisseur Boost proposé, a été simulé pour Tension d'entrée 85V – 95 V avec incréments de 5V et sortie Formes d'onde observées. Il peut être observé Que la tension de sortie reste constante à la tension souhaitée De 200V et ne varie pas avec la variation de la tension d'entrée. De plus, une réduction significative du dépassement a également été Observé.

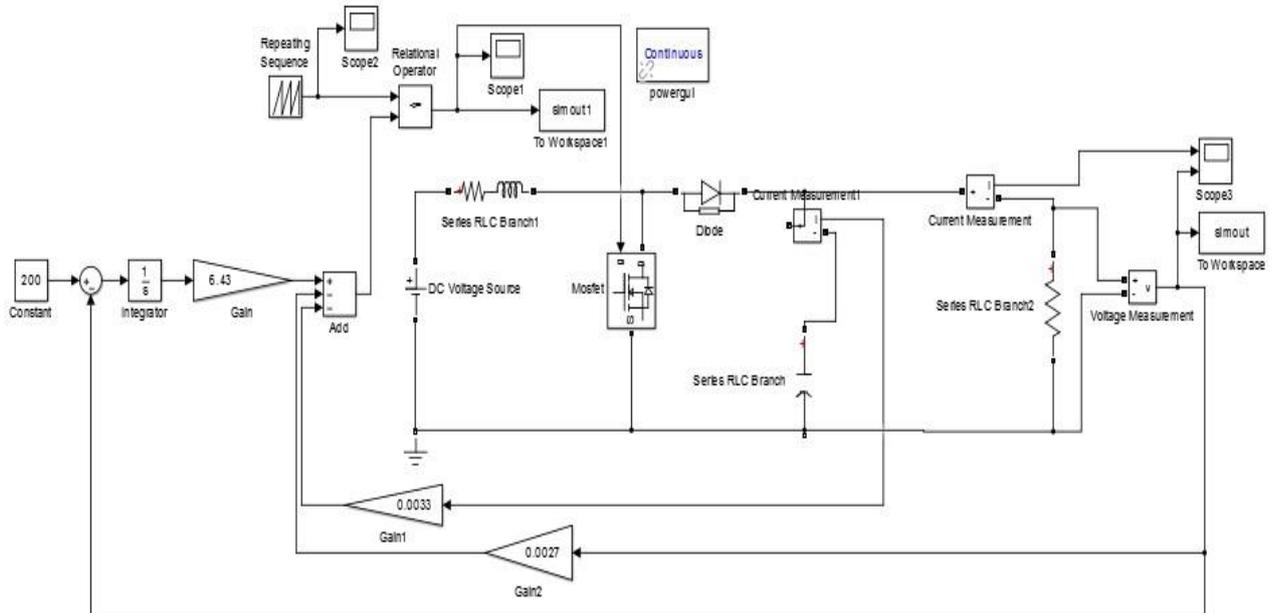
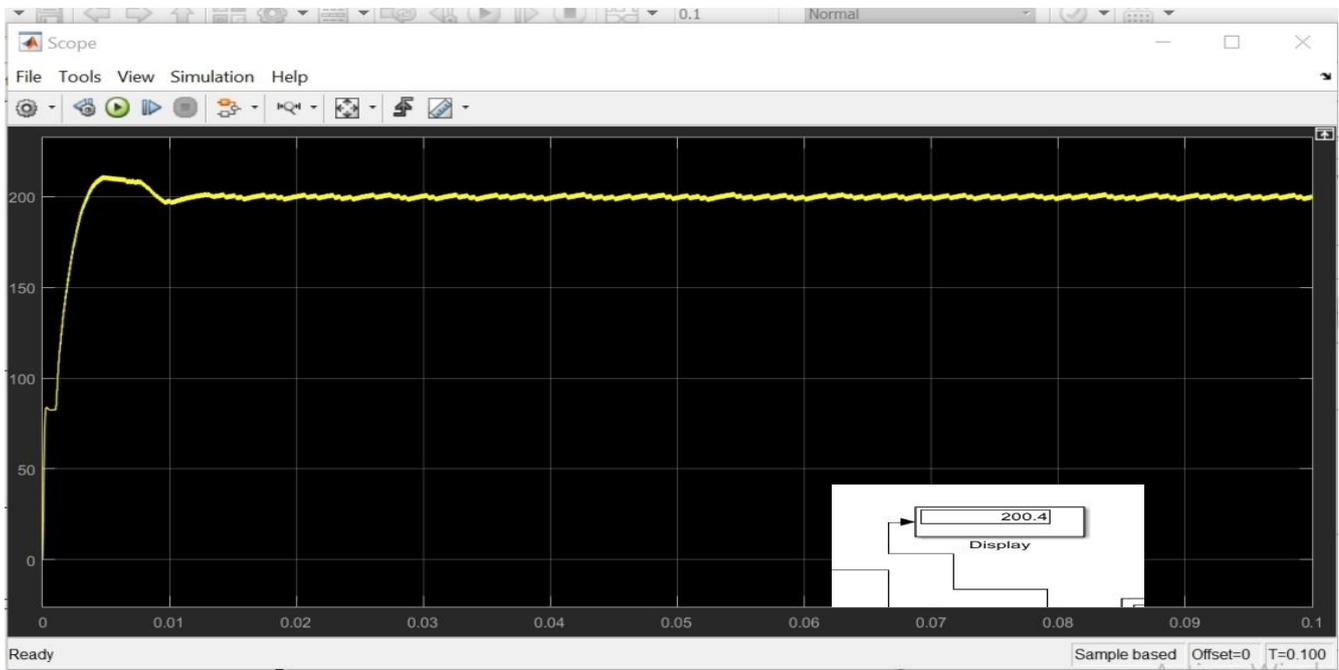
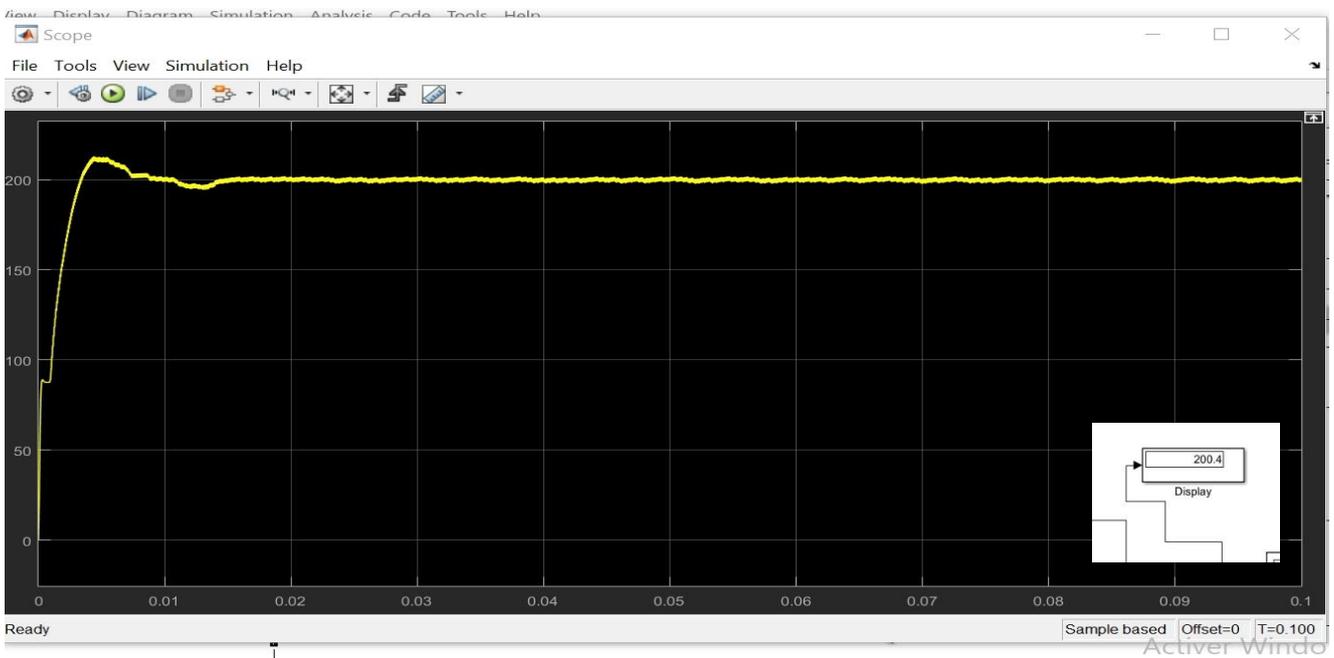


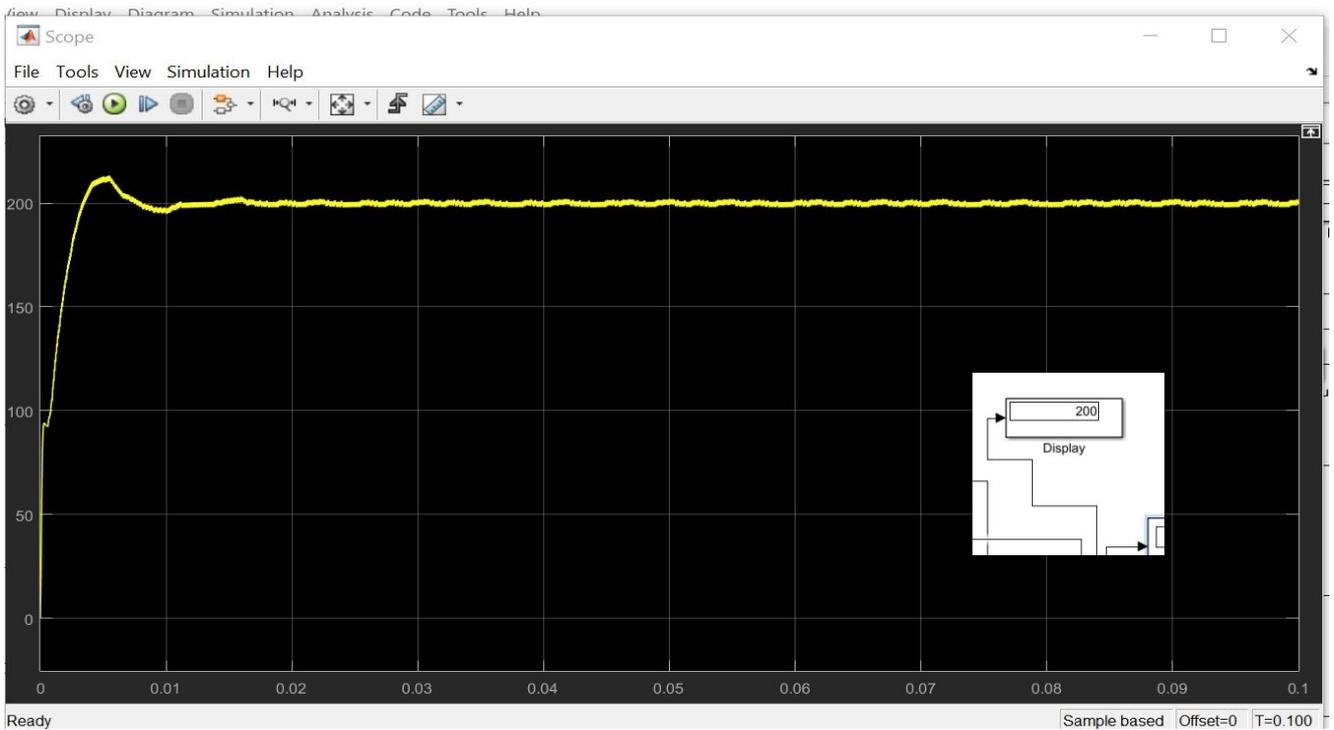
Figure 3.16 Modèle MATLAB-Simulink du convertisseur Boost proposé avec PID



a 85v (a)



a 90v (b)



a 95 v (c)

Figure 3.17 Tracé de la tension de sortie du convertisseur Boost proposé avec contrôleur PID fonctionnant à un facteur de marche de 50 % pour les tensions d'entrée (a) 85V, (b) 90 V et (c) 95 V

### Chapitre 3 : Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique

Les données de simulation obtenues comme indiqué dans le tableau 1 ont été tracées Dans MATLAB et la comparaison a été faite entre les Et le convertisseur Boost proposé en termes de tension de sortie comme Illustré à la Fig. 11

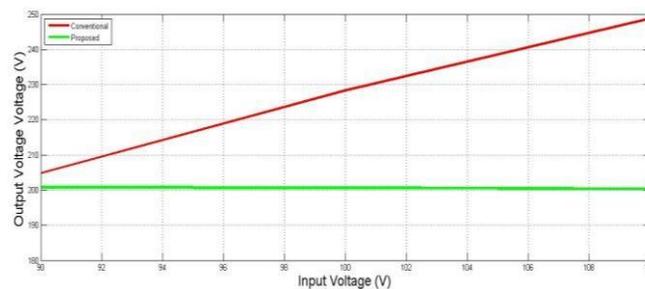
#### 3.5.6 COMPARAISON ENTRE CONVENTIONNEL ET CONVERTISSEUR BOOST PROPOSÉ

Input voltage	Output voltage
85	213
90	226
95	238

Boost conventionnel

Input voltage	Output voltage
85	200.4
90	200.4
85	200

Boost avec pid



## **Chapitre 3 : Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique**

---

Figure 3.18 Comparaison de la tension de sortie entre Boost conventionnel et proposé pid Convertisseur

Les résultats expérimentaux montrent que le contrôleur PID proposé Lorsqu'il est utilisé avec le convertisseur Boost fournit une meilleure tension de sortie Régulation et réduction des dépassements, améliorant ainsi la Performances du système.

Les convertisseurs Boost proposés avec régulateur PID Fournit une meilleure régulation de tension, une réduction de dépassement et Améliore les performances du convertisseur par rapport au Convertisseur Boost conventionnel. Cette simulations fournit avec succès Une méthode pour satisfaire l'objectif du convertisseur DC-DC pour Maintenir une tension de sortie constante du côté charge. Le circuit proposé est simple, facile à comprendre et peut être Mis en œuvre sans composants supplémentaires, gardant ainsi coût de fabrication du convertisseur dans Gamme considérable.

### **3.6 Réalisation boost convertisseur Dc /Dc pour moteur Dc**

#### **3.6.1 simulation**

Simulation d'un boost convertisseur pour moteur Dc pour montre comment fonctionne un convertisseur dans une véhicule électrique

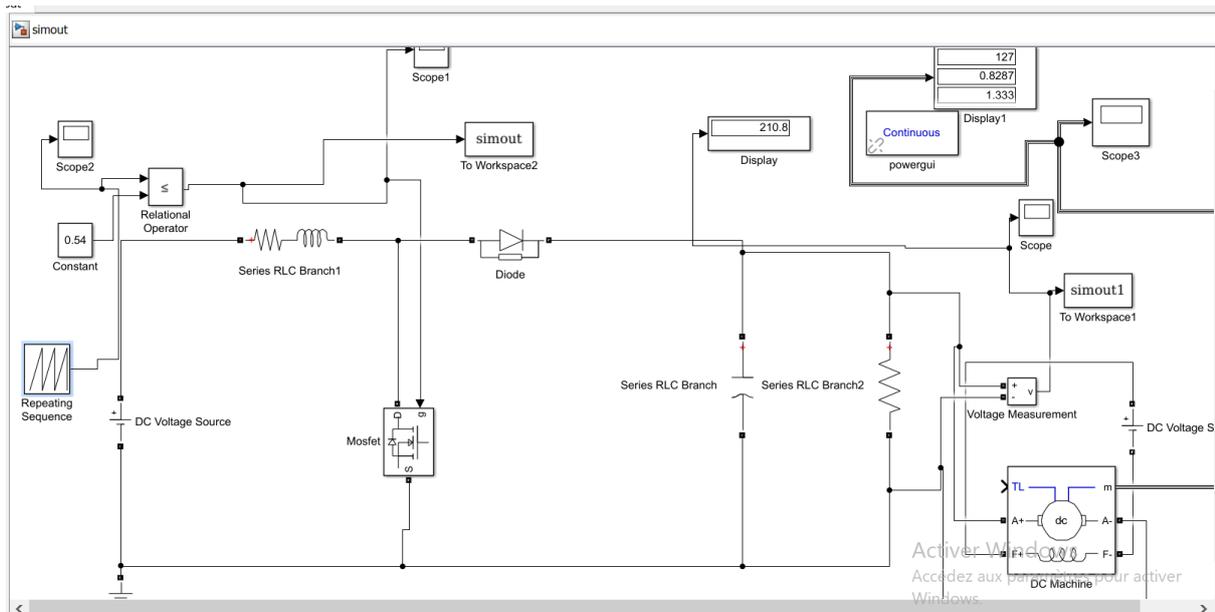


Figure 3.19 boost convertisseur pour moteur Dc

### 3.6.2 Descusion et analyse

Nous savons utilise ce boost convertisseur figure 3.14 et obtenons même résultat de figure 3.15 quand on utilise tension d'entre 85 v on observe vitesse de rotation 127rad/s

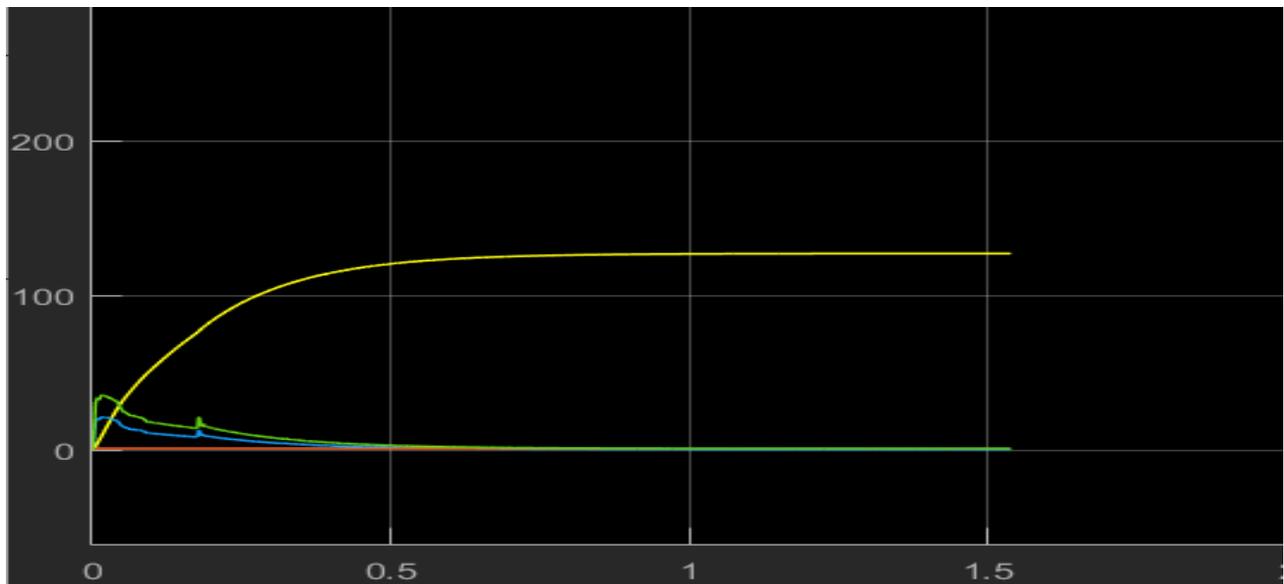


Figure 3.20 la vitesse de rotation en tension entre 85v

Tension d'entrée 90 v on observe un vitesse de rotation 134 rad/s

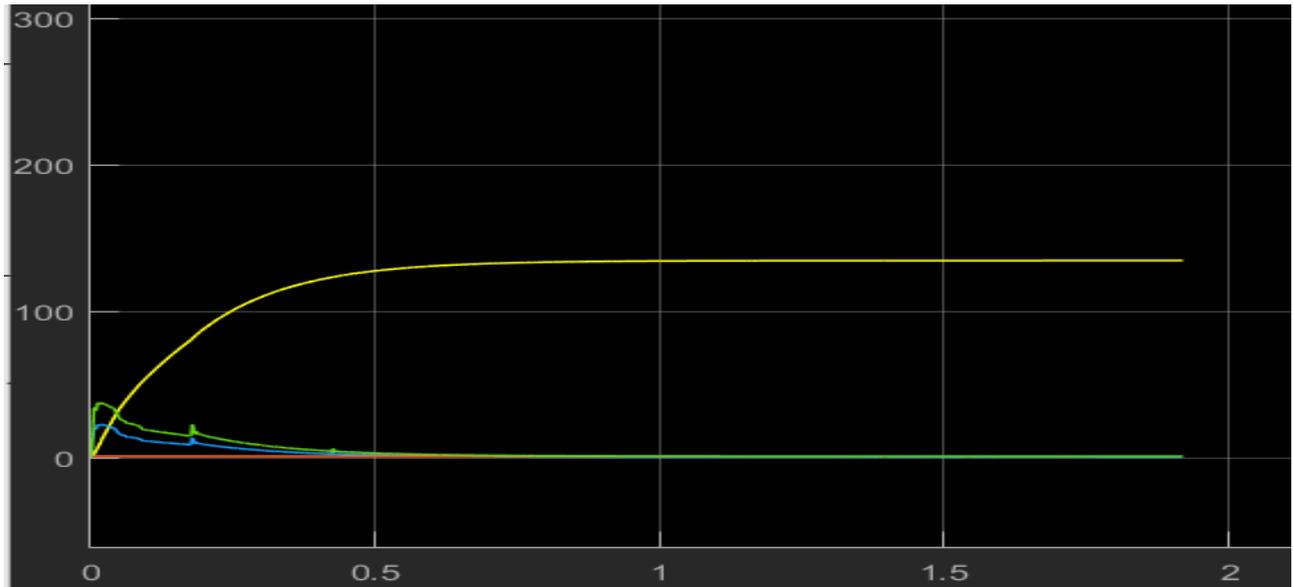


Figure 3.21 la vitesse de rotation en tension entre 90 v

Tension d'entrée 95 v on observe une vitesse de rotation 142 rad/s

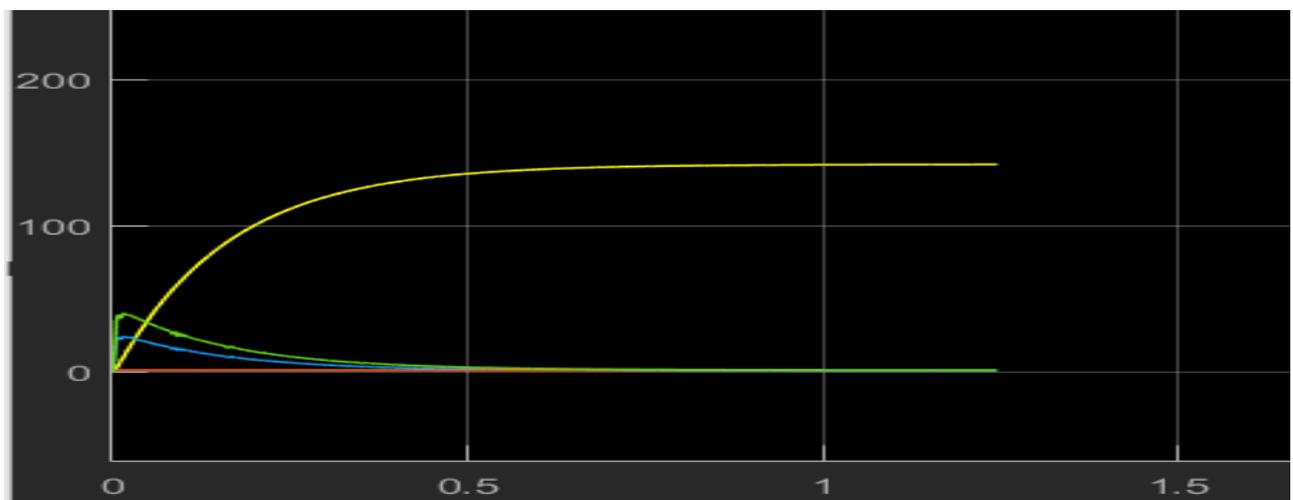


Figure 3.22 la vitesse de rotation en tension entre 95v

Le convertisseur boost augmente la tension et augmente la vitesse aussi

### **3.7 Conclusion**

La performance de convertisseur Dc/Dc joue un rôle important dans la tenue des performances des véhicules électrique et ce pour augmenter la tension ou diminuer la tension à la sortie et de varier la tension d'entrée tout en maintenant une sortie stable permettant au véhicule d'avoir une vitesse progressive du moteur Dc du véhicule électrique.

### **Conclusion Générale :**

On connaît le développement des voitures électriques qui seront la voiture du futur, et on a compris de cette étude que le convertisseur a un grand rôle dans la conduction de l'énergie électrique dans une voiture et l'augmentation de tension et diminuait, et le bénéfice de le convertisseur est pour convertir l'énergie et savoir la consommer et changer la vitesse du moteur électrique.

Vu la courte durée pour préparer ce mémoire, nous avons limité à ses architecture des convertisseurs, il existe d'autre d'un part et d'autre part concernant les contrôleurs qui prennent être utilisée dans ce domaine, il existe plusieurs type tels que (RST, FLC, MPC .....).

# **Références**

# **Bibliographiques**

### Chapitre 3 : Modélisation et simulation de convertisseurs dc/dc pour véhicule électrique

---

[1] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Voiture-electrique.html>

[2]

Mr. BOUCHA ABDELLAH Réalisation et commande d'un véhicule

électrique par dSpace embarqué Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister  
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf

[3]. [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Voiture\\_%C3%A9lectrique](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Voiture_%C3%A9lectrique)

[4] <https://www.futura-sciences.com/tech/questions-reponses/voiture-electrique-premiere-voiture-electrique-t-elle-ete-inventee-966/>

[5]

Adrien Fouquier et Yves Thomas, Histoire de la voiture électrique et de ses constituants, ISTE Editions, mars 2017, 152 p.

[6] Luc Debraine, Les Voitures électriques, un futur pour l'automobile, Lausanne, éditions Favre, 2006 (ISBN 978-2-8289-1066-2)

[7]

.B .GASBAOUI, "Analyse et Commande Directe du Couple d'un Véhicule Electrique à deux Roues Motrices", Thèse Doctorat Université de Béchar, 2012.

[8] <https://www.omazaki.co.id/en/electric-vehicle-components/>

[9] <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/au-quotidien/recharge/quel-est-le-prix-dune-batterie-de-voiture-electrique/>

[10] mémoire étude et simulation des convertisseurs statique dans un véhicule électrique université bejaia

[11] <https://www.voiture-electrique-populaire.fr/actualites/siemens-moteur-electrique-tres-compact-voitures-electriques>

[12]

[https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Hacheur\\_\(%C3%A9lectronique\)#:~:text=Le%20hacheur%2C%20ou%20convertisseur%20continu,continue%20avec%20un%20rendement%20%C3%A9lev%C3%A9.](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Hacheur_(%C3%A9lectronique)#:~:text=Le%20hacheur%2C%20ou%20convertisseur%20continu,continue%20avec%20un%20rendement%20%C3%A9lev%C3%A9.)

[13]

[PDF] Les hacheurs, sur [lerepairedessciences.fr](http://lerepairedessciences.fr), consulté le 17 novembre 2018

[14] <https://www.frwiki.org/wiki/Hacheur>

[15] <https://www.amazon.fr/Convertisseur-Electrique-R%C3%A9gulateur-dAlimentation-V%C3%A9hicule/dp/B0789JDD4W>

[16] document de référence sur véhicule électrique et hybrides CEVEQ

[16] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1946-fonctionnement-boost-voiture-electrique.php>

[17] <https://www.ecoconso.be/fr/content/voiture-electrique-ses-avantages-et-inconvenients>

[18] Cours d'électronique de puissance

Conversion DC/DC

Professeur A. Rufer

[19] <https://www.cours-gratuit.com/cours-electronique-de-puissance/cours-convertisseur-buck>

[20] <https://www.cours-gratuit.com/cours-electronique-de-puissance/cours-convertisseur-boost>

[21] <https://www.cours-gratuit.com/cours-electronique-de-puissance/cours-convertisseur-Buck-boost>