

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA - Bejaïa -
Faculté des Sciences Technologie
Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique

Spécialité : Commandes électriques

Thème

Bornes de recharge multi-source
pour un véhicule électrique

Présenté par :

- MOULOUD Ouarda
- MAMMASSE Chahinez

Encadré par :

Mr. B. AMROUCHE

Co-Encadré par :

Mme S. NACEF

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

Ce mémoire été réalisé à Bejaia, A l'université A-Mira campus Targa Ouzemour, faculté de technologie département de génie électrique.

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le Courage et la patience durant toutes ces années d'études, et que grâce à lui ce Travail a pu être réalisé.

Merci à nos parents d'avoir su nous écouter et nous motiver.

Merci à l'ensemble de nos amis(e), qui ont été là pendant les périodes de doute et de stress. Nous tenons à représenter nos vifs remerciements à notre promoteur Mr AMROUCHE .B enseignant à l'université de Bejaia pour avoir accepté de nous encadrer, et pour le thème qu'il nous a proposé et pour son aide précieuse, ses conseils et pour le temps qu'il nous a consacré tout au long de ce travail.

A toutes personnes ayant contribués de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers et adorables parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, que Dieu vous procure bonne santé et longue vie.

A mes sœurs et mon frère : Fatima, Oum elaaze, et Mohamed.

A Ma nièce et mon beau-frère : Alicia et Yacine

A toute la famille MOULOUD, TEFFAH.

A mon encadreur qu'été toujours présent pour nous.

A ma chère copine et binôme Chahinez et à toute sa famille.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, et à tous mes enseignants : du primaire à l'université qui m'ont accompagné et encouragé pendant tout ce parcours.

Je vous dis merci, qu'Allah vous protège

OUARDA

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers et adorables parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, que Dieu vous procure bonne santé et longue vie.

A mes sœurs : Sarah, Kamilia, et Roumaïssa.

A ma meilleure amie : Sarah

A toute la famille MAMMASSE, BOUDOUCÉ.

A mon encadreur qu'été toujours présent pour nous.

A ma chère copine et binôme Ouarda et à toute sa famille.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, et à tous mes enseignants : du primaire à l'université qui m'ont accompagné et encouragé pendant tout ce parcours.

Je vous dis merci, qu'Allah vous protège

CHAHINEZ

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les véhicules électriques

I.1 Introduction	3
I.2 Histoire des véhicules électriques	3
I.3 Définition d'un véhicule	5
I.4 Les éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement.....	6
I.4.1 Batterie.....	6
I.4.2 Système de propulsion électrique	7
I.4.3 Moteur électrique	8
I.4.4 Convertisseur statique.....	8
I.4.5 Contrôleur	8
I.4.6 Les auxiliaires	9
I.5 Les différentes architectures de traction	10
I.5.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu).....	10
I.6 Les différents modes de charge pour véhicules électriques.....	10
a) Prise domestique.....	10
b) Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection	10
c) prise spécifique sur un circuit dédié.....	10
d) connexion courant continu.....	10
I.7 Avantages de la voiture électrique	11
I.8 Inconvénients de la voiture électrique	11
I.9 Conclusion	12
II.1 Introduction	15
II.2 Définition	15
II.3 Composition d'une borne de recharge	15
II.4 Types de recharge.....	16
II.5 Technologie de charge des véhicules électriques.....	17

II.6 Infrastructure de borne de recharge.....	19
II.7 Topologies d'une borne de recharge.....	20
II.7.1 Stations de recharge non isolantes	20
II.7.1.1 Hacheur dévolteur-survolteur (BUCK-BOOST).....	20
II.7.2 stations de recharge isolantes	20
II.7.2.1 Pousser-tirer (Push-pull)	21
II.7.2.3 Pont-complet (full-bridge).....	21
II.7.2.4 Doubles ponts actifs	22
II.8 Les topologies du circuit de pont double actif (DAB)	22
II.8.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé en pont	22
II.8.2 Fonctionnement du transformateur	22
II.8.3 Fonctionnement Convertisseur Alternatif-Continu (AC/DC)	23
II.9 Conclusion	23
III.1 Introduction	25
III.2 Source triphasé	25
III.3 Redresseur triphasé en pont à MLI.....	25
Mise en équation :.....	26
III.4 Système d'équations du circuit.....	27
III.4.1 Système d'équations du DAB.....	27
III.4.2 Système d'équation du l'onduleur.....	28
III.4.3 Système d'équations du Transformateur	30
III.4.4 Système d'équations du redresseur actif	30
III.5 Dimensionnement d'une Batterie Lithium-ion	32
III.6 Commande DPC.....	33
III.7 Conclusion.....	35
IV.1 Introduction	36
a) La tension primaire, secondaire et le courant du DAB en Boucle Ouvert	36

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Puissance consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnels .**Error! Bookmark not defined.**

Tableau III.1 : Caractéristique d'une source de tension.....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau IV.2 : Caractéristique d'une batterie Lithium-ion**Error! Bookmark not defined.**

Liste des figures

Figure I.1 : publicité véhicule électrique JENATZY 1899 [2]	4
Figure I.2 : véhicule électrique construite par Thomas Parker 1895 [3]	4
Figure II.1 : la Tesla model S ayant une autonomie d'environ 500 Km 2013 [2]	5
Figure I.4 : schéma fonctionnel d'une chaine traction d'un véhicule électrique [7]	6
Figure I.5 : model d'une batterie de véhicule électrique [8].....	7
Figure I.6 : moteur électrique simens pour véhicule électrique [11].....	8
Figure I.7 : convertisseur DC/DC pour véhicule électrique [15].....	9
Figure I.8 : contrôleur ou régulateur l'énergie électrique [9]	10
Figure III.1 : les composants d'une borne de recharge	16
Figure II.2 : Types de recharge d'un véhicule électrique	16
Figure II.3 : Les quatre modes de charge pour véhicules électriques	17
Figure II.4 : Prise fixe non dédiée	17
Figure II.5 : Prise non dédiée avec dispositif de protection incorporé au câble	18
Figure II.6 : Prise fixe sur circuit dédié	18
Figure II.7 : Connexion CC	19
Figure II.8 : Les niveaux de recharge d'un véhicule électrique.....	19
Figure II.9 : Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST	20
Figure II.10 : schéma de circuit (push-pull)	21
Figure II.11 : schéma de circuit (half-bridge).....	22
Figure II.12 : schéma de circuit (full-bridge)	22
Figure II.13 : Schéma de principe d'un onduleur en pont	23
Figure IV.2 : Redresseur triphasé en pont à MLI	25

Figure III.3 : Configuration du circuit de pont double actif monophasé	27
Figure III.4 : modèle du transformateur du DAB	30
Figure III.5 : Modèle d'un Redresseur actif	31
Figure III.6 : commande de puissance directe	34
Figure V.1 : Allure des tensions primaire, secondaire et le courant du DAB	36
Figure IV.2 : Allure des tensions primaire, secondaire et le courant du DAB.....	36
Figure IV.3 : Allure de la tension à la sortie du DAB	37
Figure VI.4 : Allure de la tension du réseau	37
Figure IV.5 : Allure de la tension à la sortie du redresseur	38
Figures IV.6 : Allure du SoC d'une batterie lors d'une charge complète.....	39
Figure IV.7 : Figure de courant de la batterie lithium-ion lors d'une charge complète.....	39
Figure IV.8 : Figure de la tension d'une batterie lithium ion lors d'une charge complète	40

Liste des abréviations

VE	Véhicule électrique
NiCd	Nickel-cadmium
NiMH	Nickel-métal hydrure
Li-Ion	Lithium-ion
DAB	Double pont actif
DPC	Commande de puissance directe
BLDC	Brushless DC
DC	Direct courant
AC	Alternative courant
AC-DC	Convertisseur électrique alternatif / continu
DC-DC	Convertisseur électrique continu / continu
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
CCS	Combined Charging System
Push-pull	Pousser-tirer
Half-bridge	Demi-pont
Full-bridge	Pont complet
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
Soc	State of Charge
On-Board	Intern
Off-Board	Extern
Buck-Boost	Hacheur dévolteur-survolteur
V_e	Source de tension
R	Charge résistive
L	Inductance(H)
F	Fréquence (HZ)
T	Transistor
α	Rapport cyclique
Is	Courant (A)
K	Interrupteur

C	Capacité (F)
U	Tension (V)
D	Diode
P	Puissance (Watt)
P_{Ch}	Puissance de charge
V_{batt}	Tension aux bornes de la batterie
C_{batt}	Capacité nominale (Ah)
t	Durée en heures (h)
Q	Charge restante requise

Introduction Générale

Introduction générale

Le véhicule électrique a souvent été perçue comme une technologie prometteuse avec le potentiel de résoudre le problème préoccupant de la pollution atmosphérique causée par le secteur du transport routier. On espérait qu'elle pourrait capturer une part significative du marché, mais cela ne s'est pas concrétisé. Son arrivée comme alternative écologique et économique à nos modes de transports traditionnels entraîne lentement mais sûrement une mutation dans notre rapport global à la mobilité.

L'idée du véhicule électrique n'est pas récente et pourtant sa structure interne n'est pas figée. Des progrès sont constamment réalisés dans ce domaine, avec plusieurs solutions en cours de développement. La recherche sur les batteries joue un rôle essentiel et conduit à la création de nombreux prototypes [1].

Cette dernière est un élément essentiel du fonctionnement des véhicules électriques, mais elle représente également l'un des principaux défis en raison de sa taille importante et du temps de recharge nécessaire. Il existe différents types de batteries, tels que le plomb-acide, nickel-cadmium (NiCd), nickel-métal hydrure (NiMH), le lithium-ion (Li-Ion) et le lithium polymère. Chacun de ces types de batteries présente des caractéristiques de fonctionnement spécifiques.

Les bornes de recharges jouent un rôle crucial en fournissant une infrastructure indispensable permettant aux propriétaires de véhicules électriques de recharger facilement leurs batteries, offrant ainsi une autonomie pratique et une conduite sans émissions. Cette introduction vise à explorer l'importance croissante des bornes de recharge dans le contexte des véhicules électriques, en mettant en évidence leur contribution essentielle à la transition vers une mobilité plus durable, il existe plusieurs topologies de station de recharge tels que station de recharge isolante et non isolante.

Dans notre système on a utilisé la station de recharge (isolante), à base du convertisseur double pont actif (DAB) qui se compose d'un onduleur monophasé, transformateur et un redresseur connecté directement à la batterie.

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'articulent autour de quatre chapitres.

Notre travail débute par un chapitre qui définira l'état de l'art des véhicules électriques, en parlant sur leurs historique, les éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement en mettant en évidence les méthodes et les technologies utilisées.

Le deuxième chapitre abordera les bornes de recharges dédiées aux véhicules électriques. En commençant par une introduction qui présente le sujet et souligner l'importance des infrastructures de recharge, topologies du convertisseur double pont actif (DAB) ainsi que le fonctionnement de la batterie lithium-ion.

Dans le chapitre trois nous élaborons la modélisation des différents composants dans le contexte des véhicules électriques. Le concept de la commande directe des puissances (DPC) est également présenté, en montrant comment ces techniques peuvent être utilisées pour contrôler les systèmes électriques des véhicules.

Le dernier chapitre présentera l'essentiel de notre travail une simulation sur le logiciel MATLAB-SIMULINK et une interprétation des résultats de simulation.

Nous clôturons notre travail par une conclusion globale et des perspectives.

Chapitre I :

Généralités sur les véhicules électriques

I.1 Introduction

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 arrivé. Cet échec s'explique principalement par la concurrence, dispose d'une technologie bien établie : le moteur à explosion, qui a profité des économies d'échelle, du faible coût de carburant et des subsides.

Conçues pour lutter efficacement contre la pollution, les véhicules électriques sont malheureusement, freinés par leur coutes élever, leur autonomie limitée qui dépend de la capacités des batteries, le manque d'investissement et d'autre problèmes critique qui en décape cette invention, l'idée du véhicule électrique n'est pas récente et pourtant sa structure interne n'est pas figée. Plusieurs solutions sont actuellement en développement .La recherche dans le domaine est importante et donne lieu à des nombreux prototypes.

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter un bref historique, quelques généralités sur les véhicules électriques, et d'étudier son fonctionnement ainsi que ses différentes architectures et les éléments constitués.

I.2 Histoire des véhicules électriques

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 XIXe siècle, trois modes de propulsion de 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 XIXe siècle, tant en Europe et notamment en France qu'aux Etats-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 [2].

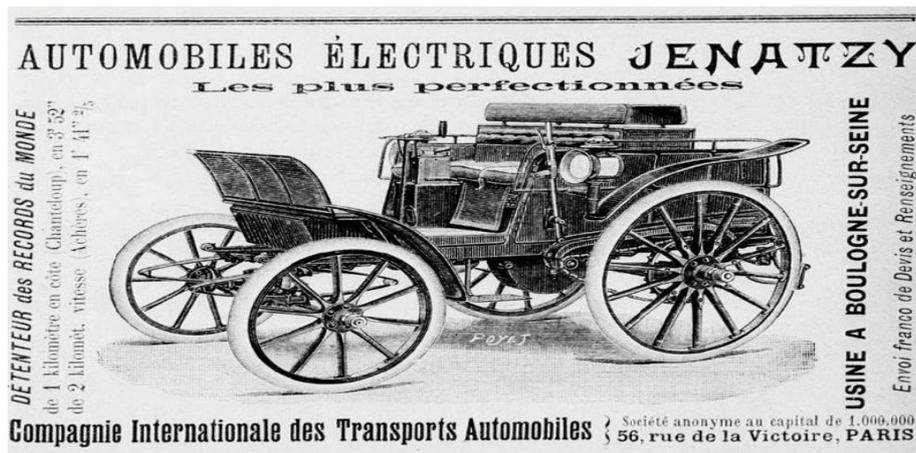


Figure I.1 : publicité véhicule électrique JENATZY 1899 [2]



Figure VII.2 : véhicule électrique construite par Thomas Parker 1895 [3]

Six places aux roues en bois. Cette voiture de 7 chevaux embarque 38 accumulateurs Fulmen de 15Kg chacun. L'autonomie est d'une cinquantaine de kilomètres, à la moyenne de 24 à 30km/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 100km/h en atteignant 105,88 km/h le 1^{er} mai 1899. En 1900 sur 4192 véhicules fabriquées aux Etats-Unis, 1575 étaient électriques, 936 à essence et 1681 à vapeur, l'automobile à essence a cependant fini par supplanter la voiture électrique. On trouve 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 factures contingentes. C'est dans un article de 1995 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 [4] 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. Davis), que cette technologie aurait pu se développer dans des segments 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 pour 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 connaît ainsi un regain d'intérêt, grâce notamment au développement de la pile à combustible, et 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 dans 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 [5].



Figure I.1 : la Tesla model S ayant une autonomie d'environ 500 Km 2013 [2]

I.3 Définition d'un véhicule

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 embarquée, comme dans la plupart des véhicules terrestres [6].

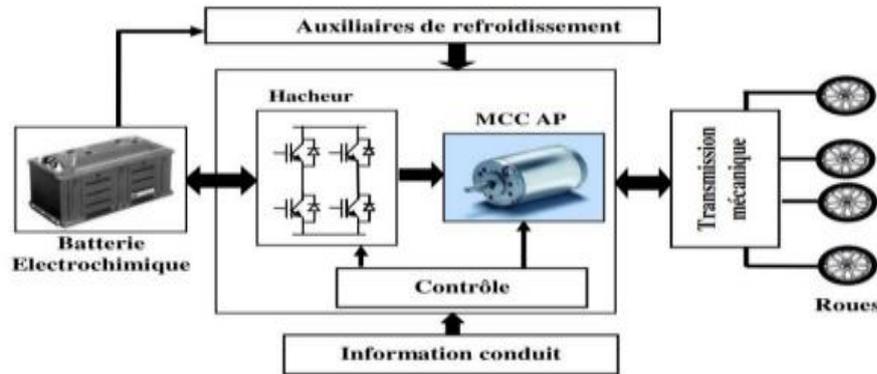


Figure I.4 : schéma fonctionnel d'une chaîne traction d'un véhicule électrique [7]

I.4 Les éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement

Les composantes présentes dans les voitures électriques ne sont jamais les mêmes selon le constructeur de modèle et la technologie utilisée. Cependant certains sont indispensables pour pouvoir qualifier un véhicule automobile comme électrique

Le véhicule électrique comporte une batterie haute tension dont le volume et la masse sont importants (environ 300 KG^o). La batterie fournit l'énergie prévenant soit de la charge par câble depuis une source extérieure, soit de la décélération du véhicule. La capacité des batteries est de l'ordre de 5 à 40 KWH, leur tension totale de 300 à 500V.

La voiture est aussi équipée de plusieurs convertisseurs de chargeur de batterie et quelques accessoires ainsi d'un ou plusieurs moteurs électriques

L'utilisation des panneaux solaire dans des véhicules électriques est aussi possible, cette dernière permet de recharger la batterie en petite quantité, malheureusement ceci n'est pas toujours une bonne idée, puisque la voiture doit être très légère, tout charge supplémentaire réduirait encore ces performances, sans parler du coût très élevés.

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux éléments importants utilisés dans un véhicule électrique comme les sources d'Énergie électrique et les systèmes de propulsion électrique ainsi que les auxiliaires.

I.4.1 Batterie

Permet de stocker l'énergie pour l'utiliser plus tard. Elle se compose de plusieurs éléments formés chacun d'une anode, une cathode, un séparateur convenable pour isoler électriquement les électrodes à l'intérieur, un électrolyte et d'un récipient. Le major problème de cette dernière, c'est la durée de vie qui n'est pas très grande, et le temps important qu'elle prenne pour se charger.

On distingue deux grandes familles de systèmes de stockage électrique direct :

- Les accumulateurs
- Les super condensateurs

a) Les accumulateurs

Ils stockent l'énergie par transformation de l'énergie chimique. Les accumulateurs sont constitués de deux couples électrochimiques composés de deux électrodes, émergés dans un électrolyte. Dès qu'interviennent des réactions d'oxydation ou de la réduction qui échange des électrons, les ions générés circulent dans l'électrolyte. Pour disposer d'une grande énergie stockée, il faut d'une part un nombre important d'électrons échangés, une réaction associant, un élément très oxydant et un élément très réducteur et d'autre part, il faut une parfaite réversibilité des processus électrochimiques ainsi que des matériaux de faible masse ou volume molaire [9].

a) Les super condensateurs

Ils stockent l'énergie électrique sous forme électrostatique, le principe général de fonctionnement des super condensateurs repose sur la formation d'une double couche électrochimique à l'interface d'un électrolyte et d'une électrode polarisable de grande surface spécifique. L'application d'une différence de potentiel aux bornes du dispositif entraîne le stockage ionique de charges aux deux interfaces électrode-électrolyte qui se comportent comme deux condensateurs en série. Les super condensateurs sont caractérisés par une énergie spécifique 10 à 20 fois plus faible que celle des batteries des accumulateurs, mais leur puissance spécifique peut être jusqu'à 10 fois plus élevée que celle des batteries au plomb par exemple [8].

Les batteries les plus utilisées sans les véhicules électriques sont celles constituées d'accumulateurs, par exemple les batteries au plomb, qui n'ont jamais quitté la scène depuis plus d'un siècle, et les accumulateurs Nickel/Cadmium et les batteries lithium-ion ou li-ion qui sont plus récentes, d'une densité énergétique beaucoup plus supérieure à celle des batteries plomb/acide. et les accumulateurs Nickel/Métal hydrure qui peuvent stocker deux fois plus d'énergie que les batteries au plomb et 35 % de plus que les Nickel/Cadmium a poids égal. Des nombreux travaux [10], [11] proposent d'utiliser les super condensateurs au sein des véhicules électriques. L'utilisation des super condensateurs permet essentiellement de faire fonctionner la batterie à un régime nominal de fonctionnement et donc d'augmenter sa durée de vie. L'utilisation des super condensateurs dans le cadre du secteur automobile, répondent particulièrement aux besoins suivants :

- démarrage et contraintes à basse température.
- assistance à l'accélération et récupération d'énergie.
- alimentation des organes auxiliaires.

I.4.2 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 a plus de 400 KW, selon la taille du véhicule, l'usage et les performances recherchées, exemple pour une petite berline quatre places :48 KW (65 CV).il se compose aussi de convertisseurs de puissance et de leurs commandes [10].

I.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.

En général, le type de moteur électrique utilisé est le moteur BLDC (brushless DC) [9].

I.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'analogie, 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). 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 générées 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/AC.

I.4.5 Contrôleur

La fonction principale du contrôleur est de réguler 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 [9].

I.4.6 Les auxiliaires

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.

Dans le tableau 1-1, nous listons la consommation des auxiliaires répertoriés dans la majorité des véhicules électriques [13].

Tableau 1.1 : Puissance consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnels

Ordres de grandeur De puissances	(W)
Électriques	
Phare et éclairage additionnel	250
Feux de brouillards avant	110
Feux de brouillards arrière	30
Radio, système audio	15-100
Vitre arrière dégivrante	150
Chauffage de siège	150
Essuie-glace avant	50
Chauffage	5000

Les auxiliaires ne consomment pas toujours de façon simultanée leurs puissances maximales. Par exemple la consommation du chauffage est modifiable en fonction de la température extérieure.

La voiture électrique fonctionne à partir des trois éléments principaux dont elle est constituée : la batterie, le ou les moteurs électriques et le système de commande. Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont-elles mêmes rechargées par un chargeur à partir d'une source extérieure pendant les périodes de repos. Cette dernière est connectée au moteur électrique par l'intermédiaire d'un contrôleur et d'un convertisseur continu/continu (DC/DC). L'énergie des batteries est donc envoyée vers le contrôleur électronique et le convertisseur continu/continu (DC/DC). Le contrôleur sert à régler l'intensité du courant qui alimente le moteur. Du convertisseur DC/DC, 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. En phase de décélération, l'électronique fait fonctionner le ou les moteurs électriques en générateurs, l'énergie délivrée par ces générateurs est utilisée pour recharger la batterie. Ainsi la consommation d'énergie est réduite.

I.5 Les différentes architectures de traction

Pour faire rouler un véhicule électrique, il existe deux types de moteurs : les moteurs à courant continu et les moteurs à courant alternatif.

I.5.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu)

C'est une architecture avec moteur à courant continu, une batterie, un variateur (un hacheur réversible), une machine à courant continu, un réducteur différentiel (réducteur de la vitesse, augmentation du couple).

I.5.2 Véhicules électriques bi moteur (machine à courant alternatif)

Dans ce type, la chaîne énergétique est doublée, c'est une architecture avec moteur synchrone (dans la roue), une batterie, deux variateurs (onduleur), deux machines synchrones. L'onduleur est utilisé pour convertir le courant électrique continu fourni par la batterie en courant alternatif nécessaire au moteur de la voiture électrique.

I.6 Les différents modes de charge pour véhicules électriques

a) Prise domestique

C'est une prise domestique toute simple. Le véhicule électrique est branché directement sur le réseau électrique de la maison. Il n'existe que très peu de véhicules dotés d'une "simple" prise, la Renault twizy en fait partie. Le temps de charge s'établit entre 8 et 11 heures, dépendant de l'état du réseau électrique de la maison. En tout état de cause, l'intensité de charge ne dépassera pas 8A.

b) Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection

Constitué d'une prise domestique (1,8KW) sur laquelle on trouve un boîtier intelligent. C'est à lui qu'incombe le bon déroulement et la sécurité de la charge. Depuis ce boîtier, il est possible de sélectionner l'intensité de charge désirée, sans que celle-ci ne dépasse les 8A. Il existe néanmoins des prises en 3,2 KW/14 A, mais l'intensité reste bloquée à 8A. En cas de problème, le boîtier peut stopper à tout moment le processus de recharge estimé entre 8 heures et 11 heures.

c) prise spécifique sur un circuit dédié

Branchement direct du véhicule électrique au réseau principal de distribution AC avec une fiche spécifique et un circuit dédié d'une puissance de 3,7 KW/16 A ou 22 KW/32 A (triphase). On peut avoir chez soi ce genre de matériel, appelé alors « Wallbox » et installé par un électricien. Ce genre de borne particulière, préconisée par les constructeurs automobiles de voitures électriques ou d'hybrides rechargeables, doit posséder sa propre ligne électrique dédiée afin d'apporter le courant adéquat. Le temps de charge (normale ou rapide) oscille entre 1 heure et 8 heures.

d) connexion courant continu

Le véhicule est alimenté en courant continu par l'intermédiaire d'un chargeur externe lui-même raccordé à l'installation électrique fixe. Dans ce mode, le câble de recharge du véhicule est fixé à demeure à l'installation. Les connecteurs de raccordement sont spécifiques. Le mode

de charge en courant continu est réservé à la charge rapide (de l'ordre de 30min), à des niveaux de puissance et de tension élevés (50 KW sous 500V).

I.7 Avantages de la voiture électrique

Pas de polluants de l'air et pas d'émission de CO₂ à l'utilisation : Les voitures électriques ne rejettent de polluants dans l'atmosphère quand elles roulent. Pas de NO_x, 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, émis 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.

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...).

- 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 !

- Économique à l'utilisation : On sait que les véhicules actuels consomment théoriquement entre 13 et 25 kWh/100 km (cycle normalisé) [16].

- 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.

I.8 Inconvénients de la voiture électrique

L'impact de ses batteries : La production des batteries des voitures électriques pose 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 [16]. 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.

- 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.

- 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€ ! [17] 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 CO₂/km suivant le mix énergétique utilisé pour produire l'électricité.

I.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les généralités des véhicules électriques, un bref historique et les éléments qui compose ce genres de véhicule a était présenté au premier lieu, les avantages et les inconvénients ont été aussi discutée.

Les véhicules électriques, étant écologiques et propres, vont certainement être le nouveau moyen de transport qui va prendre une place de plus en plus importante au marché dans un avenir proche, et vont donc remplacer dans les prochaines années les voitures thermiques qui sont beaucoup trop polluantes, et surtout non éternelles.

Chapitre II :

Bornes de recharge dédiées

Aux VE

II.1 Introduction

Les bornes de recharge sont des équipements conçus pour fournir de l'électricité aux véhicules électriques. Ces bornes sont utilisées pour recharger les batteries des voitures électriques, des motos électriques, des vélos électriques et d'autres véhicules similaires. Les bornes de recharge peuvent être installées dans des lieux publics tels que les parkings, les stations-service, les centres commerciaux et les aéroports, ainsi que dans des lieux privés tels que les domiciles des propriétaires de véhicules électriques.

Il existe plusieurs types de bornes de recharge, notamment les bornes de recharge lentes, les bornes de recharge accélérées et les bornes de recharge rapides. Les bornes de recharge sont un élément clé de l'infrastructure de recharge pour les véhicules électriques, et leur disponibilité et leur accessibilité sont des facteurs importants pour encourager la transition vers la mobilité électrique.

Ce deuxième chapitre se portera sur l'étude des bornes de recharge dédiées aux véhicules électriques.

II.2 Définition

La borne de recharge est un équipement conçu pour recharger les batteries des véhicules électriques. Elle peut être fixe et reliée directement à un tableau de distribution électrique ou être connectée à une prise de courant. Les bornes de recharge sont souvent installées dans des endroits publics tels que les parkings, les stations-service et les centres commerciaux. Elles peuvent être classées en différentes catégories en fonction de leur vitesse de recharge, telles que les bornes de recharge rapide, normale ou accélérée, chacune ayant des capacités de charge différentes. Ces bornes sont indispensables pour encourager l'adoption de véhicules électriques et peuvent également offrir des fonctionnalités supplémentaires telles qu'un compteur d'énergie, des systèmes de paiement électronique, un accès par carte et une connexion internet. Ce système de recharge propose quatre niveaux de puissance différents, allant de 3,7 kW à 22 kW [18].

II.3 Composition d'une borne de recharge

- **Le boîtier externe** : il renferme les éléments électroniques et électriques, tels que les connecteurs de charge, les circuits de contrôle et de sécurité, les capteurs, etc. Le boîtier peut être fabriqué en métal, en plastique ou un matériau composite résistant aux intempéries [19].

- **Les connecteurs de charge** : ils sont le point de connexion entre la borne de recharge et le VE. Les connecteurs peuvent être de différents types, tels que le connecteur CCS (Combined Charging System), le connecteur CHAdeMO, le connecteur Type 2 (Mennekes). Chaque connecteur est conçu pour être compatible avec un certain type de VE.

- **Les câbles de charge** : ils relient les connecteurs de charge aux batteries du VE, les câbles peuvent être intégrés à la borne ou peuvent être amovibles.

- **Les circuits de contrôle et de sécurité** : ils surveillent le processus de charge et s'assurent que la tension, le courant et la température sont à des niveaux sûrs pour la batterie et l'utilisateur. Les circuits de sécurité peuvent également détecter les anomalies et arrêter automatiquement la charge si nécessaire [19].

- **Les capteurs** : ils surveillent l'environnement de la borne de recharge, tels que la température, l'humidité, la pression, etc. Les capteurs peuvent aider à optimiser la performance de la borne de recharge et à prévenir les dommages dus aux intempéries.

- **Les interfaces de l'utilisateur** : elles permettent aux utilisateurs de sélectionner les options de charge, de démarrer et d'arrêter la charge, de régler la puissance de charge, etc. Les interfaces peuvent être des boutons, des écrans tactiles, des lecteurs de cartes RFID et des applications mobiles [19].

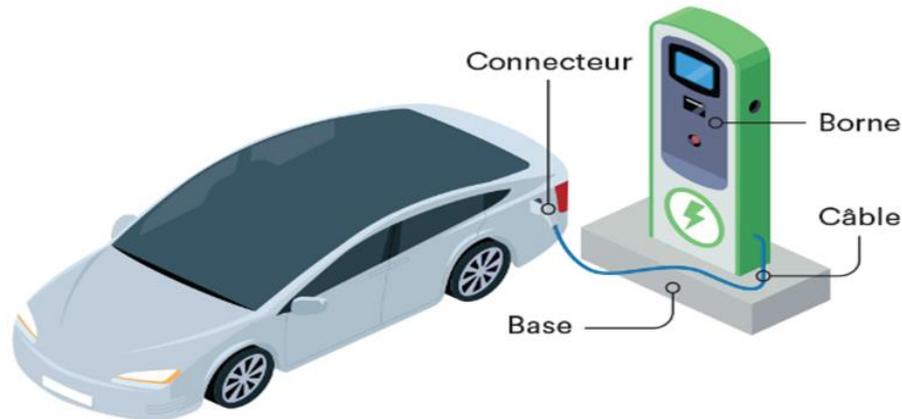


Figure VIII.1 : les composants d'une borne de recharge

II.4 Types de recharge

L'installation du chargeur pour les véhicules électriques (VE) varie en fonction de la direction de flux d'énergie et de la densité volumique. On distingue les chargeurs intégrés (installés à l'intérieur du véhicule) et les chargeurs externes (installés dans les stations de charge). De plus, le processus de charge des véhicules électriques peut être unidirectionnel ou bidirectionnel, avec des équipements isolés ou non isolés [20].

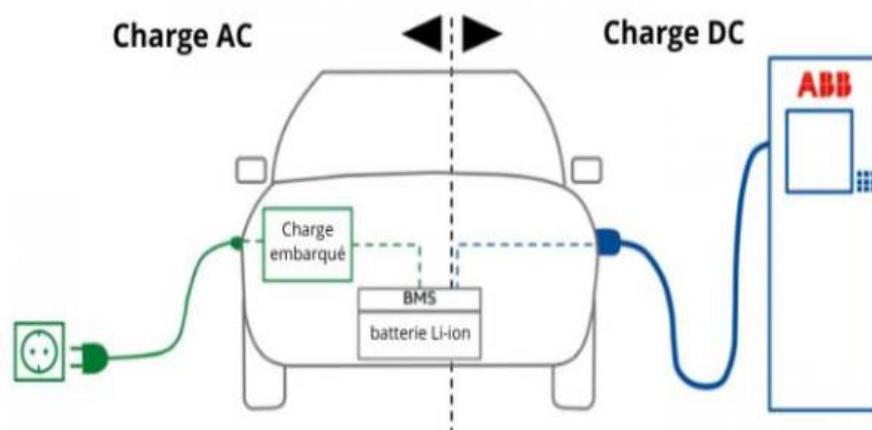


Figure II.2 : Types de recharge d'un véhicule électrique

Le chargeur de batterie pour les véhicules électriques (VE) convertit le courant alternatif du réseau en un courant continu qui est ensuite injecté dans la batterie du VE. Il peut être installé à l'intérieur du véhicule (on-board) ou à l'extérieur (off-board). Le chargeur est conçu pour permettre la recharge des véhicules électriques partout où une source d'alimentation appropriée est disponible, que ce soit à domicile ou dans des lieux publics. Cependant, le chargeur externe

(station charge rapide) offre plus de flexibilité en termes de taille et de poids, ce qui le rend adapté à la charge rapide de niveau 3 qui nécessite une tension de 50V à 1500V, une capacité de courant allant de 80A à 400V ou plus, et le niveau de puissance varie de 48 à 400Kw ou plus. il s'agit d'une station de recharge préférée des collectivités. Et il faut près de 0.5 heure pour recharger un véhicule électrique [21].

II.5 Technologie de charge des véhicules électriques

Les modes de recharge pour véhicule électrique :

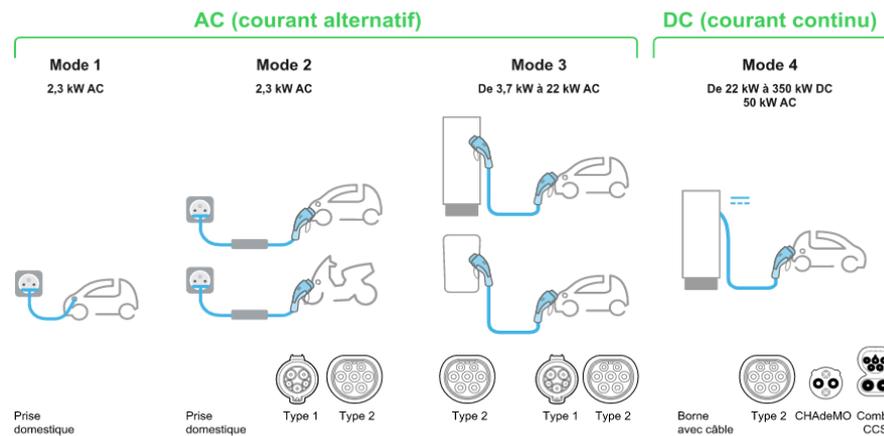


Figure II.3 : Les quatre modes de charge pour véhicules électriques

- **Mode 1 :** Le branchement du véhicule électrique au réseau principal de distribution en courant alternatif peut se faire par le biais de socles de prise de courant normalisés (intensité standard : 10 A) présents côté alimentation, monophasés ou triphasés, avec conducteurs de terre d'alimentation et de protection. Cependant, cette méthode de recharge à prise fixe non dédiée n'est pas recommandée pour la recharge des voitures électriques [22] [23].



Figure II.4 : Prise fixe non dédiée

- **Mode 2 :** La recharge s'effectue en utilisant une prise non dédiée avec un dispositif de protection incorporé au câble. Cette méthode permet de brancher le véhicule électrique au réseau principal de distribution en courant alternatif à l'aide de socles de prise de courant normalisés, mono ou triphasés, avec conducteurs de terre d'alimentation et de protection. Le

câble comprend également une fonction pilote de contrôle entre le véhicule électrique et la fiche ou le coffret de contrôle incorporé au câble. La prise peut être dédiée (3,2 kW / 8 A) ou non dédiée (1,8 kW / 8 A maximum) pour une charge lente occasionnelle [22] [23].

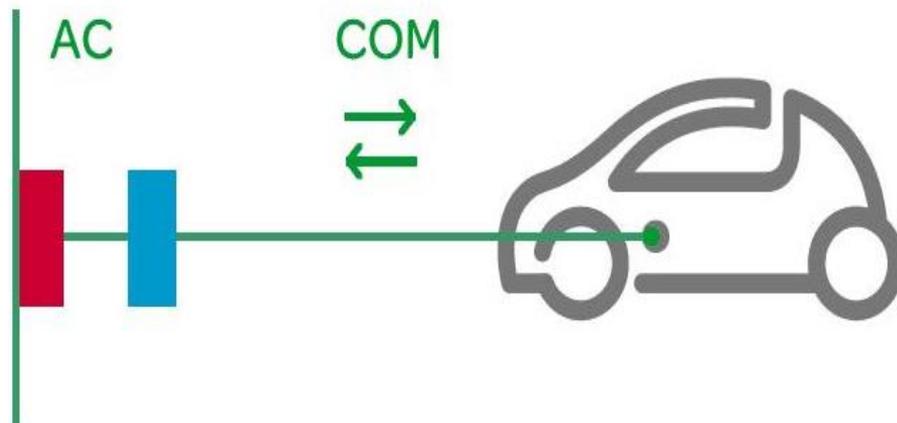


Figure II.5 : Prise non dédiée avec dispositif de protection incorporé au câble

- **Mode 3 :** La prise fixe sur circuit dédié permet de connecter directement le véhicule électrique au réseau principal de distribution en courant alternatif via une fiche spécifique et un circuit exclusivement réservé à la recharge. Ce dispositif comprend une fonction de contrôle et de protection permanente intégrée à l'installation. Les bornes de charge associées à cette prise permettent une recharge normale à accélérer quotidienne avec une puissance maximale de 3,7 kW en monophasé et 22 kW en triphasé.

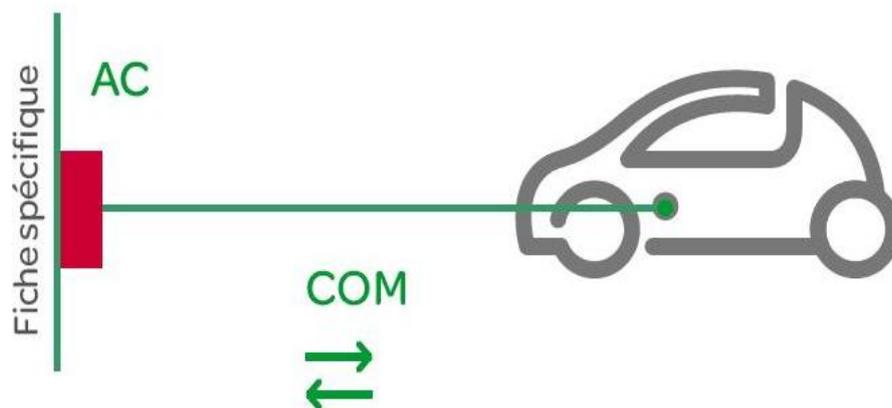


Figure II.6 : Prise fixe sur circuit dédié

- **Mode 4 :** La connexion en courant continu consiste à relier le véhicule électrique au réseau principal de distribution en courant continu par l'intermédiaire d'un chargeur externe. Cette méthode implique l'installation permanente d'un câble de recharge et de fonctions de contrôle et de protection. Elle permet une recharge rapide occasionnelle grâce à des stations de charge pouvant atteindre 50 kW / 120 A [22] [23].

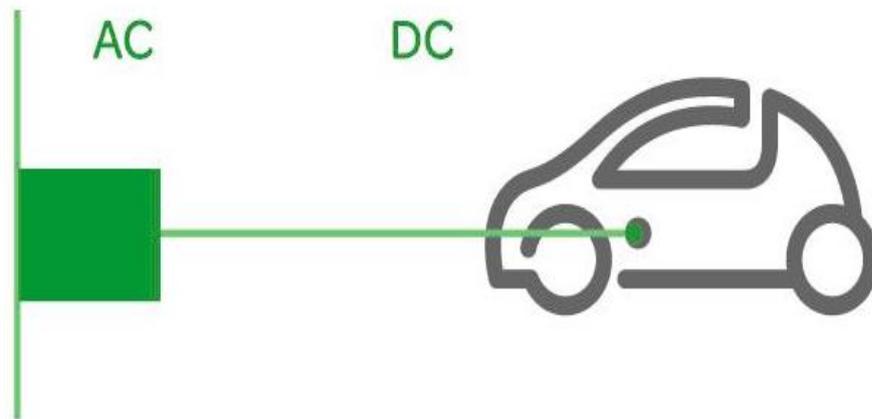


Figure II.7 : Connexion CC

II.6 Infrastructure de borne de recharge

Les trois niveaux de recharges les plus utilisés sont caractérisés par [24] :



Niveau 1

Une borne de niveau 1 se branche dans une prise murale traditionnelle de 120 volts. C'est le chargeur le plus lent : il vous faudra des dizaines d'heures pour recharger complètement votre véhicule 100% électrique et plusieurs heures pour un hybride rechargeable.



Niveau 2

Un chargeur de niveau 2 est l'équivalent de la borne de recharge habituellement installée au domicile d'un propriétaire de véhicule électrique ou d'un hybride rechargeable. La majorité des chargeurs publics sont des bornes de niveau 2.



Niveau 3

Une borne de recharge rapide, aussi appelée BRCC ou « niveau 3 », est le moyen le plus rapide de recharger votre véhicule électrique. Il est important de noter que ce ne sont pas tous les véhicules qui peuvent se recharger à une BRCC.

Figure II.8 : Les niveaux de recharge d'un véhicule électrique

II.7 Topologies d'une borne de recharge

Il existe plusieurs topologies de stations de recharge pour véhicules électriques (VE), adaptées à différents besoins et exigences. Voici quelques-unes des topologies couramment utilisées :

II.7.1 Stations de recharge non isolantes

Les stations de recharge non isolantes sont des installations de recharge électrique qui nécessitent une connexion au réseau électrique principal afin de pouvoir fonctionner. Contrairement aux stations de recharge isolantes, elles ne sont pas autonomes et dépendent de l'électricité fournie par le réseau pour alimenter les bornes de recharge.

II.7.1.1 Hacheur dévolteur-survolteur (BUCK-BOOST)

Dans ce circuit, une source de tension V_e alimente le système, avec une sortie connectée à une charge résistive R qui génère un courant I_S . L'interrupteur K , représenté comme un MOSFET de puissance, est périodiquement activé et désactivé avec un rapport cyclique (α) à une fréquence donnée ($F=1/T$). L'objectif de ce convertisseur est de régler une tension moyenne de sortie V_S qui satisfait les critères suivants :

- V_S Peut être inférieure ou supérieure à V_e .
- V_S Peut être ajustée selon les besoins en modifiant le rapport cyclique (α) [25].

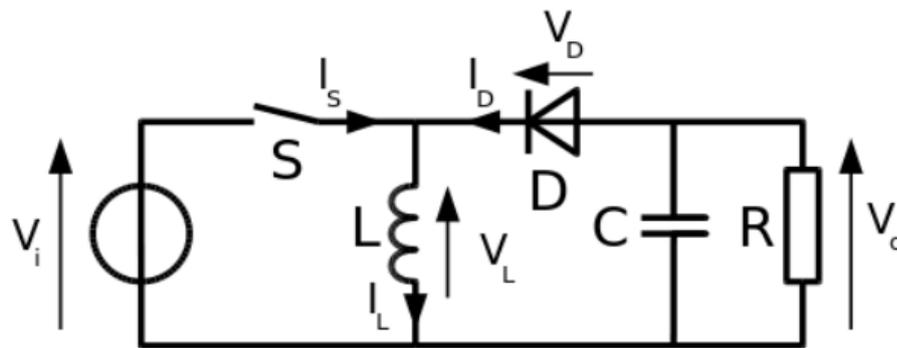


Figure II.9 : Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST

Lorsque le rapport cyclique est inférieur à la moitié ($\alpha < 1/2$), la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée, tandis que dans le cas contraire, elle est supérieure [26].

D'autres types de hacheurs, tels que le SEPIC et le CUK, fonctionnent de manière similaire à un hacheur Buck-Boost.

II.7.2 stations de recharge isolantes

Les stations de recharge isolantes, appelées aussi stations de recharge hors réseau ou stations de recharge autonomes, sont des installations de recharge électrique indépendantes du réseau électrique principal. Elles sont spécialement conçues pour être autonomes et peuvent être utilisées dans des endroits isolés ou éloignés où l'accès à l'électricité du réseau est limité ou inexistant [27].

Voici quelques exemples illustrant cette situation.

II.7.2.1 Pousser-tirer (Push-pull)

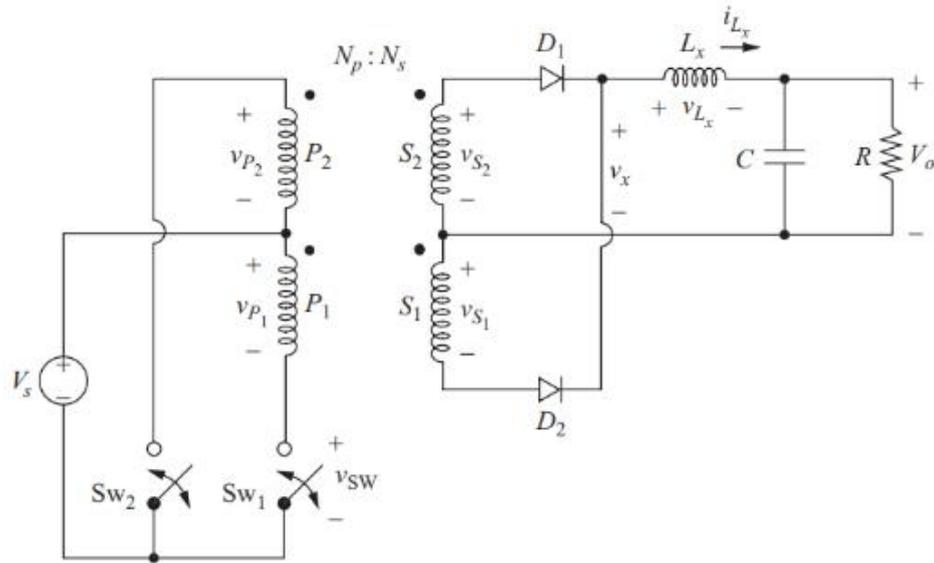


Figure II.10 : schéma de circuit (push-pull)

Le convertisseur Buck-Boost de type "pousser-tirer" est un dispositif efficace en boucle ouverte, qui tire parti du rapport d'enroulement du transformateur pour fonctionner sans nécessiter de circuit de rétroaction. Ses principaux avantages sont un faible courant d'ondulation, ce qui améliore l'efficacité globale, et des inductances magnétiques élevées avec un faible nombre de tours. Toutefois, la conception du transformateur selon les spécifications peut être complexe. Le convertisseur pousser-tirer est couramment utilisé dans diverses applications, telles que les batteries, les systèmes de gestion de batteries, les chargeurs embarqués, les onduleurs de traction, les circuits de pilotage et les applications militaires [27].

II.7.2.3 Pont-complet (full-bridge)

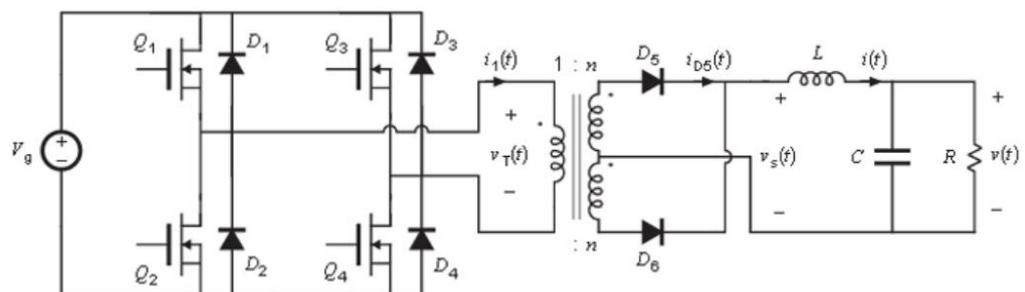


Figure II.12 : schéma de circuit (full-bridge)

Le pont complet (full bridge) est un convertisseur qui dépend à la fois de la tension d'entrée et de la tension de sortie souhaitée, utilisant la totalité de la tension de la liaison en courant continu. Parmi ses avantages, on compte l'absence de pics de tension dus à l'inductance de fuite et une puissance de sortie supérieure à celle d'un convertisseur en demi-pont. Cependant, la performance du convertisseur est conditionnée par la conception de l'inductance de fuite. Les applications courantes du pont complet incluent les chargeurs rapides, les

chargeurs embarqués et débarqués, le stockage d'énergie et les applications photovoltaïques [27].

II.7.2.4 Doubles ponts actifs

Le redresseur double pont actif est un composant clé utilisé dans les systèmes de charge des véhicules électriques. Il présente l'avantage d'une efficacité élevée, permettant une meilleure autonomie du véhicule, ainsi que la possibilité d'un contrôle précis de la charge de la batterie. Cependant, il peut être coûteux et sa complexité technique peut rendre son installation et sa maintenance plus complexes. Les avantages et les inconvénients spécifiques peuvent varier en fonction des caractéristiques et des performances de chaque redresseur utilisé [28].

II.8 Les topologies du circuit de pont double actif (DAB)

Les configurations des chargeurs de batteries pour les véhicules électriques se distinguent par l'utilisation de composants à hautes fréquences tels que des onduleurs, des transformateurs et des redresseurs.

II.8.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé en pont

Ce système est constitué d'une source d'alimentation continue et deux bras. Chaque bras comprend deux transistors MOSFET et des diodes « D » utilisées pour bloquer les diodes internes des MOSFET, ainsi que des diodes « D » qui remplacent celles propres aux MOSFET [29].

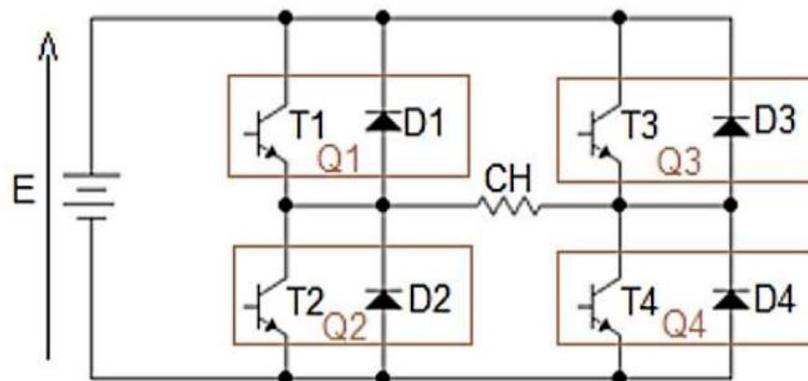


Figure II.13 : Schéma de principe d'un onduleur en pont

II.8.2 Fonctionnement du transformateur

Le fonctionnement d'un transformateur est basé sur les principes de l'induction électromagnétique. Un transformateur est composé de deux bobines enroulées autour d'un noyau ferromagnétique commun. Ces bobines sont appelées le bobinage primaire et secondaire.

Lorsqu'une tension alternative est appliquée au bobinage primaire, un courant alternatif circule à travers celui-ci, créant un champ magnétique dans le noyau du transformateur. Ce champ magnétique varie en intensité à mesure que le courant alternatif change de direction.

Ainsi, le transformateur permet de modifier la tension alternative d'une source électrique en une tension plus élevée ou plus basse, en fonction du rapport de transformation, et transmission la tension a au redresseur [30].

II.8.3 Fonctionnement Convertisseur Alternatif-Continu (AC/DC)

Le courant alternatif provenant du réseau électrique le redresseur va le convertir en courant continu utilisé pour charger la batterie du VE.

Il implique le redressement du courant alternatif, le filtrage de l'ondulation résiduelle, la régulation de tension et éventuellement la conversion de puissance pour fournir une sortie adaptée à la batterie du VE [31].

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés deux types de stations de recharge externe et interne. La borne de recharge externe présente plusieurs avantages par rapport à la borne de recharge interne. Elle offre une plus grande flexibilité en termes d'emplacement, car elle peut être installée dans différents endroits tels que votre domicile, votre lieu de travail ou des lieux publics.

L'installation d'une borne de recharge externe est généralement plus simple que celle d'une borne interne, de plus elle est évolutive, car il est possible de la mettre au niveau selon les besoins de charge. Il est primordial de sélectionner une borne de recharge externe de qualité, compatible avec le véhicule électrique et conforme aux normes de sécurité.

Chapitre III :

Modélisation d'une borne de
recharge d'un VE

III.1 Introduction

Ce chapitre est pour but de fournir une représentation et une simulation des divers composants d'un véhicule électrique en utilisant le logiciel MATLAB. Les principaux éléments pris en compte sont les convertisseurs qui sont reliés à l'intérieur du véhicule.

Pour créer le modèle du véhicule, chaque élément est simulé individuellement afin d'évaluer le modèle global choisi pour le véhicule électrique.

III.2 Source triphasé

Une source de tension triphasée caractérisée comme suit :

Tableau II.1 : Caractéristique d'une source de tension

La tension	380 V
La puissance	500 W
La Fréquence	50 Hz

III.3 Redresseur triphasé en pont à MLI

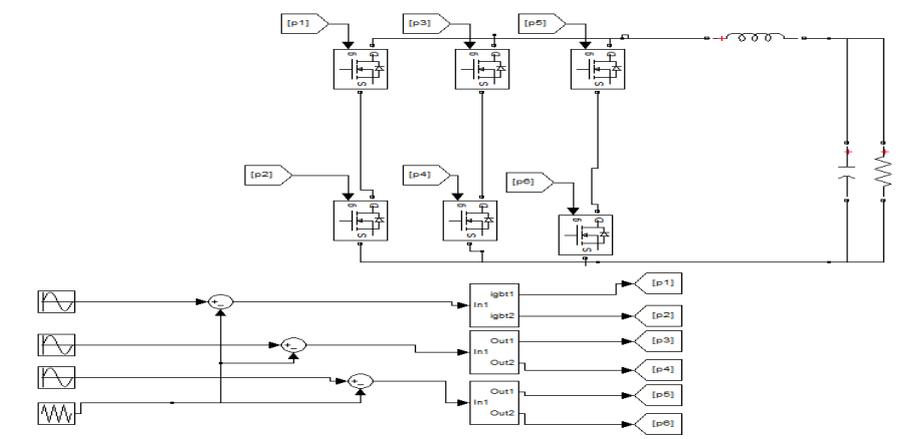


Figure IX.2 : Redresseur triphasé en pont à MLI

Le conditionnement de l'énergie entre un réseau alternatif et un équipement d'électronique de puissance de moyenne ou forte puissance est de plus en plus réalisé à l'aide d'un redresseur MLI à pour élément sinus. Grâce aux commutations rapides des semi-conducteurs utilisés, il est possible d'atteindre des fréquences de découpage de plusieurs dizaines de kHz, pour des puissances allant jusqu'à plusieurs dizaines de KW, voire plus selon les configurations envisagées. Cette large bande passante offre un bon contrôle des courants de ligne et une grande réactivité dans la régulation de la puissance [33].

Mise en équation :

Le redresseur est configuré en trois bras conventionnels est connecté à un réseau d'énergie via des inductances de liaison. (v_1, v_2, v_3) et (R, L) représentent respectivement les forces électromotrices et l'impédance totale perçues par le redresseur. Un point milieu fictif est introduit du côté du bus continu. En appliquant la loi des mailles à chacune des phases, on obtient les équations suivantes [33] :

$$v_1 = Ri_1 + L \frac{di_1}{dt} + u_{10} - u_0$$

$$v_2 = Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} + u_{20} - u_0$$

$$v_3 = Ri_3 + L \frac{di_3}{dt} + u_{30} - u_0$$

Dans ces équations, u_{10} , u_{20} , et u_{30} représentent la tension produite par les cellules et u_0 désigne la tension homopolaire. si une commande parfaitement synchronisée (sans temps mort) est appliquée aux interrupteurs de chaque cellule, les tensions des cellules peuvent être directement déduites des fonctions de connexion.

$$u_{10} = y_1 \frac{E}{2}$$

$$u_{20} = y_2 \frac{E}{2}$$

$$u_{30} = y_3 \frac{E}{2}$$

Etant donné que les forces électromotrices du réseau sont équilibrées avec une mise à la terre isolée, la tension homopolaire peut être directement déduite des relations (1) et (2) :

$$u_0 = \frac{u_{10} + u_{20} + u_{30}}{3} = \frac{E(y_1 + y_2 + y_3)}{6}$$

Le résultat précédent permet de réécrire le système global (1) comme suit :

$$v_1 = Ri_1 + L \frac{di_1}{dt} + \frac{E(2y_1 - y_2 - y_3)}{6}$$

$$v_2 = Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} + \frac{E(2y_2 - y_1 - y_3)}{6}$$

$$v_3 = Ri_3 + L \frac{di_3}{dt} + \frac{E(2y_3 - y_2 - y_1)}{6}$$

Ce système met en évidence le fait que la loi d'évolution du courant dans chaque phase dépend de l'état des trois cellules simultanément. Bien que seuls deux courants de ligne soient Independent, il y a un degré de liberté supplémentaire dans le choix de la tension homopolaire.

III.4 Système d'équations du circuit

Il est possible de trouver des fonctions de transfert appropriées entre le courant de sortie du DAB et le rapport de déphasage, ainsi qu'entre la tension d'entrée du DAB et le rapport cyclique du redresseur actif. Ces fonctions de transfert sont nécessaires pour concevoir des contrôleurs appropriés pour les opérations de charge et de décharge de la batterie. Cependant, le défi de la modélisation du circuit réside dans le fait que le système est hautement non linéaire en raison de la forme du courant du transformateur haute fréquence [34].

III.4.1 Système d'équations du DAB

Le convertisseur à double pont actif le fonctionnement du DAB peut être divisé en deux modes en fonction du type de charge connectée à sa sortie, à savoir une charge résistive ou une source de tension.

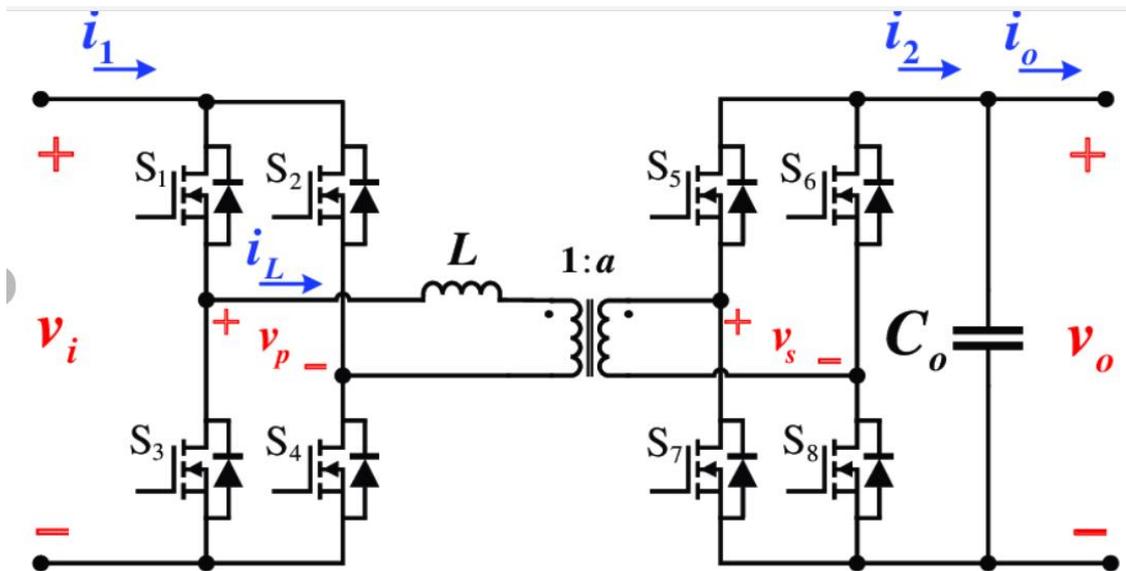


Figure III.3 : Configuration du circuit de pont double actif monophasé

Le modèle du circuit est analysé afin de déduire un système d'équations pour le DAB. Les fonctions de commutation pour les deux ponts sont calculées sur une période de commutation du DAB, en supposant des commutateurs idéaux. Ces fonctions sont les suivantes [35] :

$$\begin{cases} S_{11} = S_{13} = 1 - S_{12} \\ S_{12} = S_{14} = 1 - S_{11} \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_{21} = S_{23} = 1 - S_{22} \\ S_{22} = S_{24} = 1 - S_{21} \end{cases}$$

À partir de l'équation (III.5), en négligeant les caractéristiques de commutation des transistors (chute de tension et temps mort), les tensions d'entrée v_{B1B2} et de sortie v_{D1D2} , ainsi que les courants d'entrée i_B et de sortie i_D du DAB s'expriment par :

$$V_{B1B2} = \begin{cases} v_1 \text{ si } S_{11} = 1 \\ -v_1 \text{ si } S_{11} = 0 \end{cases}$$

$$v_{B1B2} = (S_{11}S_{13} - S_{14}S_{12})v_1 = [S_{11}(1 - S_{14}) - S_{14}(1 - S_{11})]v_1 = v_1(S_{11} - S_{14})$$

$$\text{Or } S_{14} = S_{12} = 1 - S_{11}$$

$$\text{D'où } v_{B1B2} = v_1(2S_{11} - 1)$$

De même pour v_{D1D2} , i_B et i_D on obtient :

$$v_{D1D2} = \begin{cases} v_2 \text{ si } S_{21} = 1 \\ -v_2 \text{ si } S_{21} = 0 \end{cases}; v_{D1D2} = v_2(2S_{21} - 1)$$

$$i_B = \begin{cases} i_L \text{ si } S_{11} = 1 \\ -i_L \text{ si } S_{11} = 0 \end{cases}; i_B = (i_L(2S_{11} - 1))$$

$$i_D = \begin{cases} n \cdot i_L \text{ si } S_{21} = 1 \\ -n \cdot i_L \text{ si } S_{21} = 0 \end{cases}$$

Le courant dans l'inductance L et la tension aux bornes de la capacité C_2 , représentent les variables d'état du DAB tel que :

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{B1B2} - L \frac{di_L}{dt} - n \cdot v_{D1D2} = 0 \rightarrow L \frac{di_L}{dt} = v_{B1B2} - n \cdot v_{D1D2} \\ i_D - i_{C2} - i_2 = 0 \rightarrow C_2 \frac{dv_2}{dt} = i_D - i_2 \\ L \frac{di_L}{dt} = v_{B1B2} - n \cdot v_{D1D2} = v_1(2S_{11} - 1) - n \cdot v_2(2S_{21} - 1) \\ C_2 \frac{dv_2}{dt} = i_D - i_2 = n \cdot i_L(2S_{21} - 1) - i_2 \end{array} \right.$$

Les deux équations d'état du système DAB sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} [v_1(2S_{21} - 1) - i_2] \\ \frac{dv_2}{dt} = \frac{1}{C_2} [n \cdot i_L(2S_{21} - 1) - i_2] \end{array} \right.$$

III.4.2 Système d'équation du l'onduleur

La tension est la tension aux bornes d'une résistance plus celle aux bornes d'une bobine :

$$U(t) = R \times i(t) + L \times \frac{di}{dt}$$

En intégrant l'équation on trouve :

$$i(t) = \exp\left(-\left(\frac{R}{L}\right)t + cste\right)$$

Pour la solution particulière, elle s'exprime sous la forme :

$$i_p = At + B \quad i_p(t) = \frac{E}{R}$$

Comme solution générale on a :

$$i_t(t) = i_p(t) + i(t)$$

$$i_t(t) = K \times e^{\frac{t}{\tau}}$$

Aux conditions initiales, on a :

- $i_t(0) = 0$
- $K = -I_M - \frac{E}{R}$

La solution totale s'écrit donc sous la forme suivante :

$$i_t(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right) - I_M \times e^{\frac{t}{\tau}}$$

De la même manière, la solution totale de cette équation est la somme de la solution générale sans second membre (SSM) et d'une solution particulière.

La solution SSM : est la même que le premier cas, on obtient ainsi,

$$i(t) = K \times e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

La solution particulière, on obtient le terme :

$$i(t) = -\frac{E}{R}$$

Ainsi la solution totale de l'équation s'écrit :

$$i_t(t) = i_p(t) + i(t)$$

D'où :

$$i_t(t) = K \times e^{\frac{t}{\tau}} - \frac{E}{R}$$

Dans les conditions suivantes :

$$At = \frac{T}{2}$$

- $i_t\left(\frac{T}{2}\right) = +M_I$
- $K = +I_M + \frac{E}{R}$

Finalement la solution totale s'exprime dans ce cas comme suit :

$$i_t(t) = \frac{E}{R} - \left(1 + e^{\left(-\frac{t-T}{\tau} \right)} \right) + I_M e^{\left(-\frac{(t-T)}{\tau} \right)}$$

III.4.3 Système d'équations du Transformateur

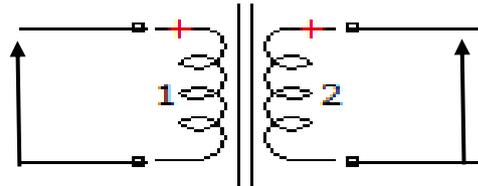


Figure III.4 : modèle du transformateur du DAB

On a :

$$\begin{cases} i_D = \frac{p}{v_2} = \frac{nv_1}{Lw_s} \varphi \left(1 - \frac{|\varphi|}{\pi} \right) \\ i_B = \frac{p}{v_1} = \frac{nv_2}{Lw_s} \varphi \left(1 - \frac{|\varphi|}{\pi} \right) \end{cases}$$

Ce qui nous donne :

$$C_2 \frac{dv_2}{dt} = i_D - i_2 = \frac{nv_1}{Lw_s} \varphi \left(1 - \frac{|\varphi|}{\pi} \right) - i_2$$

III.4.4 Système d'équations du redresseur actif

Un redresseur actif est un dispositif de conversion d'énergie électrique qui assure la conversion bidirectionnelle entre l'énergie électrique alternative et continue, tout en maintenant une tension de bus constante. Pour cela, il utilise des composants électroniques tels que des transistors pour réguler la tension et le courant de sortie, ce qui permet une meilleure efficacité énergétique [36].

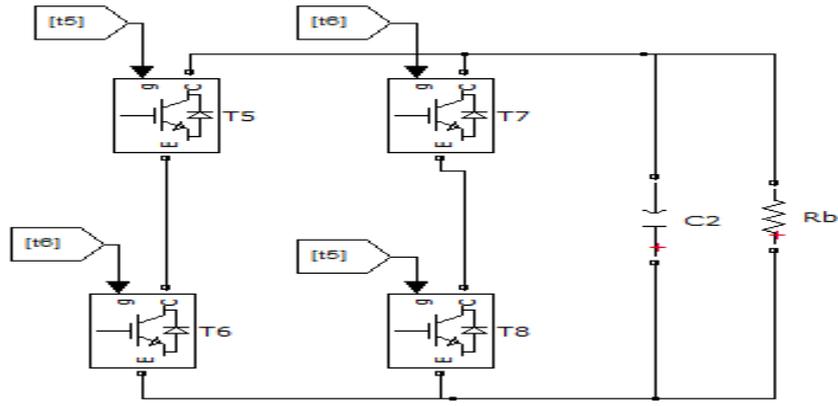


Figure III.5 : Modèle d'un Redresseur actif

Les fonctions de commutation du redresseur actif sont :

$$\begin{cases} S_1 = S_3 = 1 - S_2 \\ S_2 = S_4 = 1 - S_1 \end{cases}$$

Et la tension d'entrée du redresseur s'exprime par :

$$v_{A1A2} = \begin{cases} v_1 \text{ si } S_1 = 1 \\ -v_1 \text{ si } S_1 = 0 \end{cases}$$

$$v_{A1A2} = v_1 S_1 - v_1 (1 - S_1) = v_1 S_1 - v_1 \bar{S}_1 = v_1 (S_1 - \bar{S}_1) = v_1 (2S_1 - 1)$$

Avec $d = S_1 \rightarrow v_{A1A2} = v_1 (2d - 1)$

Soit d le rapport cyclique du redresseur actif, l'équation (3.9) peut s'écrire en fonction de d :

$$v_{A1A2} = v_1 (2d - 1) \text{ Tel que } d = [0,1]$$

$$v_{A1A2} = v_1 \text{ si } d = 1$$

$$v_{A1A2} = -v_1 \text{ si } d = 0$$

Ce qui nous donne un courant de sortie du redresseur de la forme :

$$i_1 = \begin{cases} i_{LS} \text{ si } S_1 = 1 \\ -i_{LS} \text{ si } S_1 = 0 \end{cases}$$

$$i_1 = i_{LS} S_1 - i_{LS} \bar{S}_1 = i_{LS} (S_1 - \bar{S}_1) = i_{LS} (2S_1 - 1)$$

On peut exprimer les variables d'état du redresseur actif comme étant le courant i_{LS} circulant dans l'inductance L_s et la tension v_1 aux bornes de la capacité C_1 , qui déterminent le régime transitoire de fonctionnement du système.

$$\begin{cases} L_S \frac{di_{LS}}{dt} = v_s - v_{A1A2} = v_s - v_1(2d - 1) \\ C_1 \frac{dv_1}{dt} = i_1 - i_B = i_{LS}(2d - 1) - i_L(2S_{11} - 1) \end{cases}$$

III.5 Dimensionnement d'une Batterie Lithium-ion

Le dimensionnement de batteries requiert une attention particulière afin d'augmenter sa durée de vie et par la même occasion assurer l'autonomie du système et diminuer son coût global [37].

Le courant :

On a:

$$P_{ch} = V_{Batt} \times I_{Batt}$$

$$\Rightarrow I_{Batt} = \frac{P_{ch}}{V_{Batt}}$$

On trouve : $I_{Batt} = 20 \text{ A}$

Avec :

V_{Batt} : Tension nominale de la batterie soit 24 V.

P_{ch} : Puissance de charge soit 500 W.

La capacité nominale :

$$C_{Batt} = \frac{100 \cdot I \cdot t}{100 - Q}$$

On trouve : $C_{Batt} = 595.2 \text{ Ah}$

Avec :

I : Courant

t : Durée en heures soit 10 h

Q : Charge restante requise en pourcentage soit 30%

Temps de charge :

$$T_{ch} = \frac{C_{Batt}}{P_{ch}}$$

$$T_{ch} = 0.02857 \text{ heures}$$

Avec :

C_{Batt} : Capacité de la batterie soit 595.2 en Ah et 14.285 en k Wh

Courant de charge :

$$I_{ch} = C_{Batt} \times Q$$

D'où

$$I_{ch} = 19.84 \text{ A}$$

Les caractéristiques de la batterie Lithium-ion utilisé :

Tableau III.2 : Caractéristique d'une batterie Lithium-ion

Tension nominale	24 V
Puissance de charge	500 W
Courant DC	20 A
capacité nominale	595.2 Ah
Temps de charge	0.02857 h
Courant de charge	19.84 A

III.6 Commande DPC

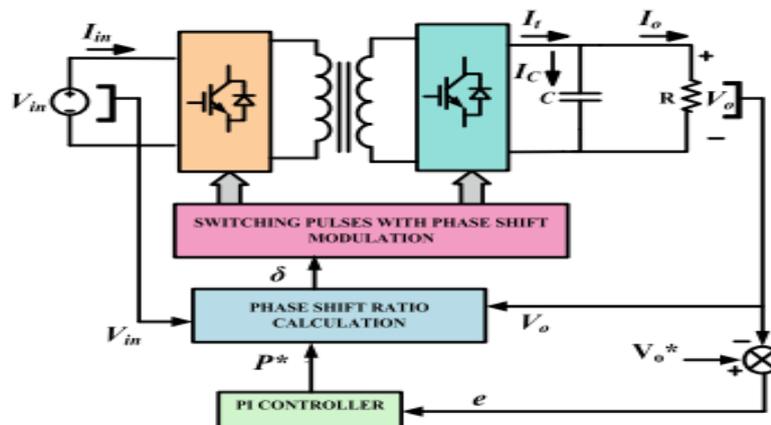


Figure III.6 : commande de puissance directe

La méthode de contrôle direct des puissances (DPC), développée dans la référence [38], utilise l'erreur entre la tension de sortie et la tension de référence pour générer un signal de référence de puissance. Ce signal de référence de puissance est obtenu en utilisant un contrôleur PI. La relation entre l'énergie et la puissance du condensateur de sortie peut être exprimée de la manière suivante :

$$\frac{dE_c}{d_t} = \frac{d\left(\frac{1}{2}CV_o^2\right)}{d_t} = P_t - V_o i_o$$

En tenant compte du transfert de puissance positif, la valeur du rapport de déphasage (d) est considérée comme positive.

L'équation dynamique de la tension de sortie est obtenue comme suit :

$$CV_o \frac{dV_o}{dt} = \frac{V_{in}V_o\delta(1-\delta)}{2nL_k f_s} - V_o i_o$$

Considérant un terme,

$$P^* = \frac{V_{in}V_o\delta(1-\delta)}{2nL_k f_s}$$

Le terme P^* est utilisé comme variable de contrôle pour réguler le transfert de puissance à travers le transformateur en contrôlant directement le rapport de déphasage. En régime permanent, il est souhaitable que le taux de variation de la tension de sortie soit nul, ce qui est réalisé en définissant une tension de sortie de référence pour le régulateur. Le contrôleur vise à maintenir le taux de variation de la tension de sortie nul malgré les fluctuations de tension et les variations de charge. La référence de la variable de contrôle P^* peut être générée à l'aide d'un contrôleur PI comme indiqué ci-dessous (3.26), et les coefficients k_p et K_I sont réglés pour le comportement dynamique requis.

$$P^* = V_o i_o + k_p(V_o^* - V_o(t)) + K_I \int (V_o^* - V_o(t)) dt$$

L'utilisation précise de ces coefficients permet au contrôleur d'être robuste et de suivre rapidement la tension de référence, en assurant ainsi une réponse transitoire rapide. Cependant, toute disparité dans les paramètres du convertisseur ou dans les coefficients du régulateur entraîne des performances insatisfaisantes du système.

III.7 Conclusion

Ce chapitre récapitule les points clés abordés et offre une vue d'ensemble des différents systèmes et commandes discutés. Tout d'abord, nous avons présenté le sujet en fournissant une brève introduction du circuit étudié. Ensuite, nous avons procédé à une analyse détaillée du système d'équations du circuit en examinant séparément le dispositif d'alimentation batterie (DAB), l'onduleur, le transformateur et le redresseur actif. Chacun de ces systèmes d'équations a été examiné en détail, mettant en évidence les variables et les relations qui les régissent. De plus, nous avons abordé le dimensionnement d'une batterie lithium-ion, soulignant l'importance de prendre en compte les spécifications du système et les contraintes associées à la batterie pour garantir des performances optimales. Ensuite, nous avons examiné deux méthodes de commande spécifiques, la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et la commande directe des puissances (DPC).

Chapitre IV :

Résultats de simulation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulation d'une borne de recharge du véhicule électrique avec une source de stockage (batterie lithium-ion) sous MATLAB Simulink.

IV.2 Les résultats de simulation

Nous avons simulé Le modèle sur une période de 1 seconde pendant la recharge de la batterie en utilisant le modèle dynamique d'une borne de recharge dans logiciel MATLAB.

a) La tension primaire, secondaire et le courant du DAB en Boucle Ouvert

➤ Pour $\alpha = 0.1$:

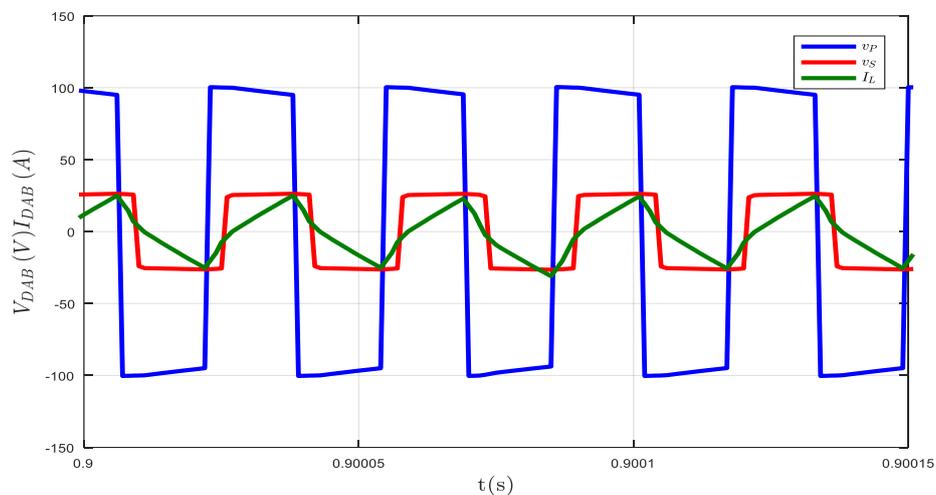


Figure X.1 : Allure des tensions primaire, secondaire et le courant du DAB

➤ Pour $\alpha = 0.2$:

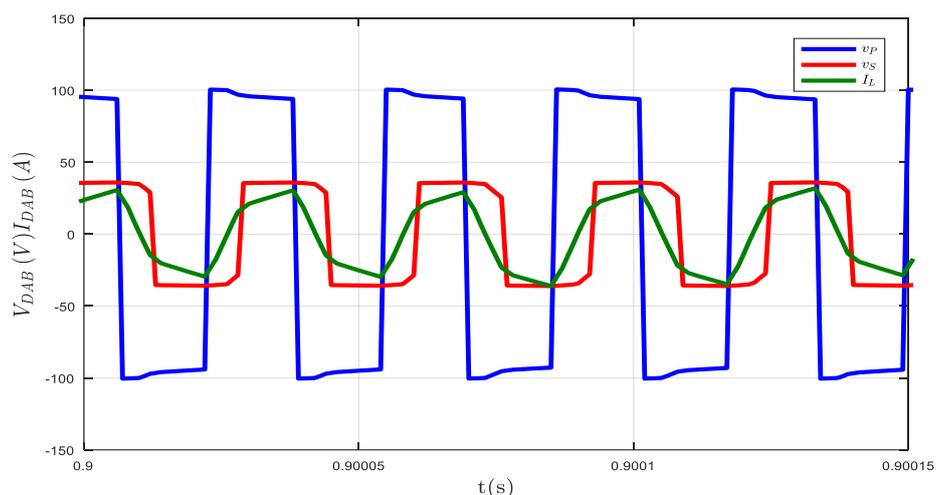


Figure IV.2 : Allure des tensions primaire, secondaire et le courant du DAB

La figure (IV.1) -(IV.2) montrent l'allure de tension des deux côtés primaire et secondaire et le courant du convertisseur DAB. Le transfert de puissance du primaire au secondaire se produit lorsqu'un déphasage est introduit dans ces formes d'onde de tension, plus que le

déphasage alpha appliqué plus que le courant d'inductance augmente avec un grand flux de puissance.

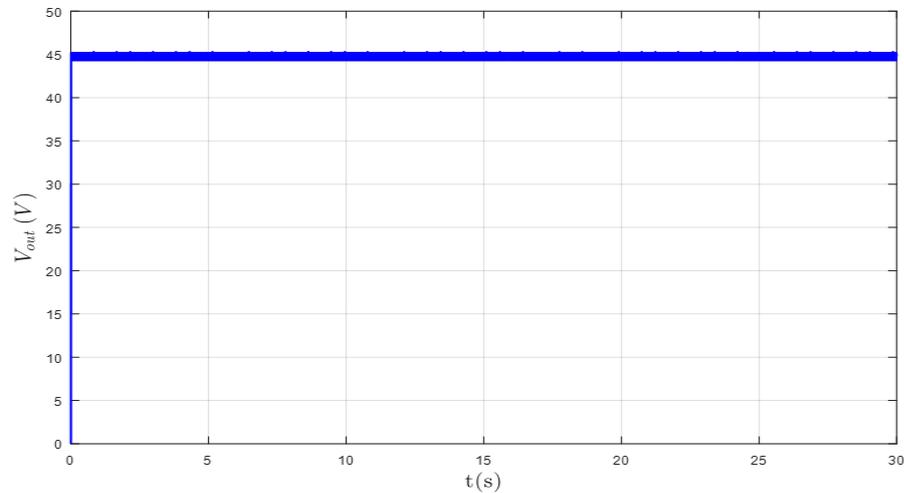
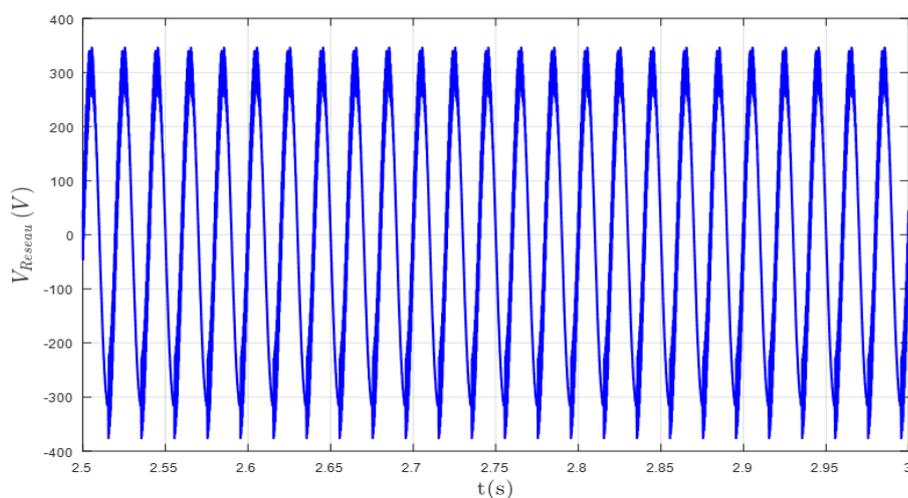


Figure IV.3 : Allure de la tension à la sortie du DAB

Dans la figure (VI.3) on présente une augmentation progressive suivie d'une stabilisation de la tension à la sortie du DAB. La tension s'accroît graduellement au fur et à mesure de la recharge de la batterie, une fois que la charge de la batterie atteint un seuil adéquat, le DAB agit pour stabiliser la tension de sortie à un niveau constant.

Le convertisseur Double pont actif est généralement alimenté par la tension triphasée provenant du réseau électrique.



FigureVI.4 : Allure de la tension du réseau

La Figure (VI.4) illustre le profil de tension de la source, caractérisé par une forme sinusoïdale. La tension est une tension continue adaptée au bon fonctionnement du DAB grâce à des techniques de conversion d'énergie.

La tension de sortie d'un redresseur de double pont actif dépend de plusieurs facteurs, tels que la tension d'entrée, la topologie du redresseur et les paramètres de commande. Le redresseur de double pont actif est couramment utilisé pour convertir une tension alternative en une tension continue.

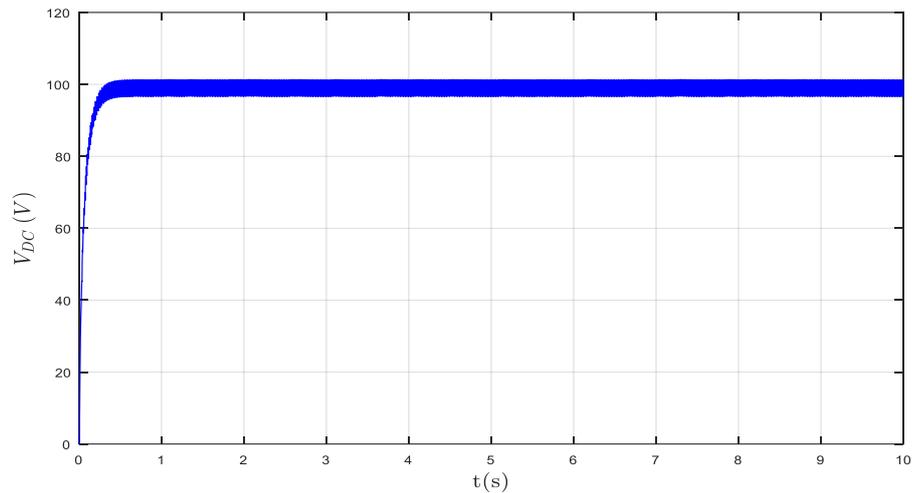
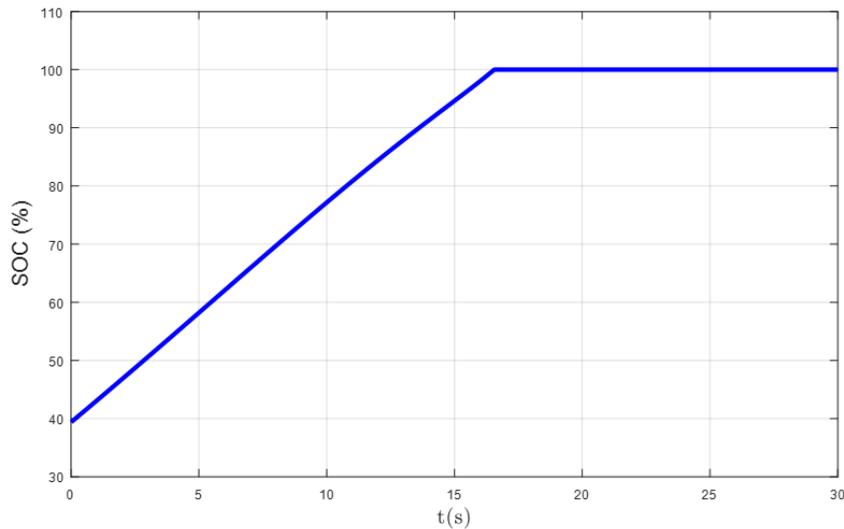


Figure IV.5 : Allure de la tension à la sortie du redresseur

Figure (IV.5) la tension de sortie d'un redresseur de double pont actif se présente sous forme d'une tension continue.



Figures IV.6 : Allure du SoC d'une batterie lors d'une charge complète

La figure (IV.6) représente l'effet du double pont actif sur la recharge de la batterie ce qui est positif, qui offrant un contrôle précis de l'état de charge. Grâce à sa capacité à réguler activement la tension et le courant, il permet une recharge optimisée en ajustant intelligemment les paramètres en fonction du SOC de la batterie. Cette technologie de pointe garantit une recharge rapide et efficace dans une petite période, tout en préservant la durée de vie de la batterie.

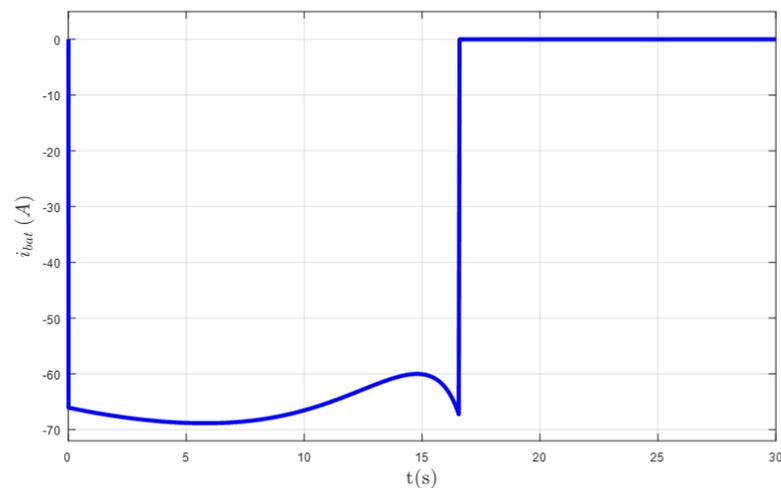


Figure IV.7 : Figure de courant de la batterie lithium-ion lors d'une charge complète

La figure IV.7 illustre la variation du courant de charge d'une batterie. Au début du processus de charge, lorsque la batterie est déchargée, le courant de charge est généralement élevé. Une fois que la batterie atteint sa capacité maximale de charge, le courant de charge se

stabilise à un niveau très faible, voire atteint zéro. Cela indique que le DAB le courant de recharge est maîtrisé avec précision.

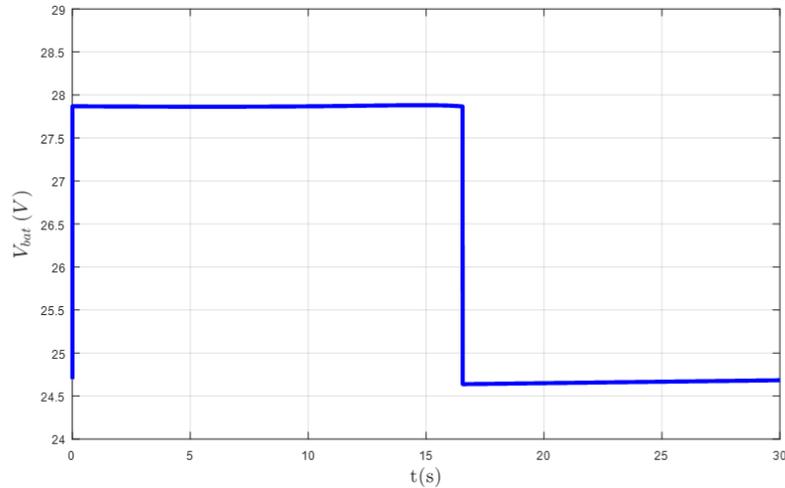


Figure IV.8 : Figure de la tension d'une batterie lithium ion lors d'une charge complète

La figure (IV.8) représente une charge complète de la batterie. La tension augmente progressivement à mesure que le SoC de la batterie augmente. Une fois que la batterie atteint sa capacité maximale de charge, la tension du DAB peut atteindre un seuil, généralement légèrement inférieur à la tension nominale de la batterie. Ce qui permet de maintenir la tension de cette batterie à des niveaux appropriés.

IV.3 conclusion

Le dernier chapitre établit un lien entre les études réalisées et la mise en œuvre du système sous MATLAB. La simulation joue un rôle clé en permettant la modélisation analyse de divers paramètres tels que la tension, le courant et l'état de charge (SOC) de la batterie. De plus, elle permet de tester différentes configurations du DAB.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude, la commande, et le dimensionnement d'une batterie Lithium-ion, nous avons aussi exploré les différentes caractéristiques et fonctionnalités des bornes de recharge dédiées aux véhicules électriques.

Le premier chapitre met l'accent sur les généralités des véhicules électriques, en présentant leur histoire, leur définition, leurs composants et le fonctionnement, ainsi que les différentes architectures de traction. Il explore également les avantages et les inconvénients des véhicules électriques, offrant une vision globale de cette technologie en plein essor.

Ensuite le deuxième chapitre, se concentre sur les bornes de recharge dédiées aux véhicules électriques, en décrivant leurs composants, les types et les modes de recharge disponibles, ainsi que les niveaux de recharge. Il examine également les avancées technologiques telles que les bornes de recharge sans fil et les différentes topologies du circuit de pont double actif (DAB).

Au cours du chapitre trois, aborde les systèmes de commande et le dimensionnement des composants électriques dans les véhicules électriques. Il explique les équations du circuit, les techniques de commande telles que la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et la commande directe de puissance (DPC), ainsi que le dimensionnement des batteries au lithium-ion.

En conclusion, ce chapitre présente les résultats de simulation d'une borne de recharge pour véhicule électrique avec une source de stockage (batterie lithium-ion) sous MATLAB Simulink. Les simulations mettent en évidence l'efficacité du convertisseur DAB dans la recharge des batteries lithium-ion pour véhicules électriques, en fournissant un contrôle précis de la tension et du courant, une recharge optimisée et une gestion efficace de l'état de charge de la batterie.

Ce travail nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de l'électronique de puissance, tel que : les différentes topologies des convertisseurs, ainsi que la maîtrise de l'outil de simulation MATLAB pour la validation des résultats du schéma global proposé présentant le circuit de puissance du véhicule électrique.

Références Bibliographiques

[1] <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>

[2] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%A9cial:Ouvrages_de_r%C3%A9f%C3%A9rence/1-5609-1299-5

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

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

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

[6] <http://www.autoblog.com/2011/12/16/this-is-the-last-tesla-roadster> Tesla Roadster Tesla Roadster

[7] Mr. BOUCHA ABDELLAH Réalisation et commande d'un véhicule

[8] <https://www.latribuneauto.com/reportages/economie/12382-la-batterie-lithium-ionrepr%C3%A9sente-seule-un-tiers-du-prix-du-v%C3%A9hicule-%C3%A9lectrique>

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

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

[11] <https://www.voiture-electrique-populaire.fr/actualites/siemens-moteur-electriquescompact-voitures-%C3%A9lectriques>

[12] <https://fr.aliexpress.com/item/32969971714.html>

[13] [PDF] Les hacheurs, sur lerepairedessciences.fr, consulté le 17 novembre 2018

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

[18] <https://www.qovoltis.com/principes-de-fonctionnement-dune-borne-de-recharge-pour-voiture-%C3%A9lectrique/>

[19] R. Raff, V. Golub, D. Pelin, D. Topić, Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles, in: 2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE), 2019, pp. 1–6, <https://doi.org/10.1109/IYCE45807.2019.8991586>.

- [20] Yilmaz, M., et P. T. Krein. 2013. « Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles ». IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no 5, p. 2151-2169.
- [21] Chun-Liang Liu, et al., An optimum fast charging pattern search for Li-ion batteries using particle swarm optimization, in: The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and the 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems, 2012, pp. 727–732.
- [22] Livre Vert sur les infrastructures de charge : 50 millions d'euros de subventions de l'État [archive], sur avere-France, 26 avril 2011.
- [23] La recharge des voitures électriques [archive], sur automobile-propre.com, 1er août 2020.
- [24] Tan, K.M., Ramachandaramurthy, V.K., Yong, J.Y., 2016. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. Renew. Sustain. Energy Rev. 53, 720–732.
- [25] Dimensionnement et conception des hacheurs Buck-BOOST & CUK.
- [26] BEDRANE F. "Étude comparative entre quelques méthodes de poursuite du point de puissance maximale dans les SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE " Mémoire de MASTER département ELECTRONIQUE Université de M'SILA .
- [27] F. Ahmad, M.S. Alam, I.S. Alsaidan, S.M. Shariff, Battery swapping station for electric vehicles: opportunities and challenges, IET Smart Grid 3 (2020) 280–286, <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0059>.
- [28] Bai, H., et C. Mi. 2008. « Eliminate Reactive Power and Increase System Efficiency of Isolated Bidirectional Dual-Active-Bridge DC–DC Converters Using Novel Dual-Phase-Shift Control ». IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no 6, p. 2905-2914.
- [29] M. Pinard, "Convertisseurs et électronique de puissance-Commande, description, mise en œuvre - Applications avec Labview ", Collection : Technique et Ingénierie, Dunod, Parution , avril 2007.
- [30] <https://www.gegi.usherbrooke.ca/leroux/projet/data/Moteur/chap08.htm#8.1%20-%20Principes%20de%20fonctionnement>

[31] Sujie Shao, Shaoyong Guo, Qiu Xuesong, A mobile battery swapping service for electric vehicles based on a battery swapping van, *Energies* 10 (2017) 1667, <https://doi.org/10.3390/en10101667>.

[32] <https://www.global.toshiba/ww/productssolutions/battery/scib/product/module/sip/download/batteryschool/episode1.html>

[33] H. VAN DER BROECK, "Analysis of the Voltage Harmonics of PWM Voltage Fed Inverter Using High Speed Switching Frequencies and Different Modulation Functions", *ETEP*, Vol. 2, N°6, pp. 341-349, Nov. 1992.

[34] Huang, J., Y. Wang, Z. Li, Y. Jiang et W. Lei. 2015. « Simultaneous PWM control to operate the three-phase dual active bridge converter under soft switching in the whole load range ». In 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). (15-19 March 2015), p. 2885-2891.

[35] Caron, Maxime. 2012. « Conception Et Mise Au Point D'un Module De Connexion Réseau Modulaire, Bidirectionnel En Courant Et Isolé ». MONTRÉAL, ÉTS, 157 p.

[36] KRISMER, FLORIAN. 2010. « Modeling and Optimization of Bidirectional Dual Active Bridge DC-DC Converter Topologies ». Technische Universität Wien.

[37] Zhang, J., et al. Control strategy of interlinking converter in hybrid AC/DC microgrid. in 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). 2013. IEEE.

[38] Malinowski, M., Jasinski, M., Kazmierkowski, M.P.: Simple direct power control of three-phase PWM rectifier using space-vector modulation (DPC-SVM). In: *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 51(2), 447–454, April (2004).

Annexes

Annexe 1

Fréquence du réseau	50	Hz
Tension nominale du réseau	380	V
Tension du bus continu Vdc	200	V
Inductance de filtrage	1	mH
Capacité de filtrage	22	μF
Fréquence de commutation	10	kHz
Tension primaire du DAB	100	V
Tension secondaire du DAB	50	V
Inductance du DAB	0.0102	mH
Capacité du DAB	6600	μF
Tension de la batterie	24	V
Puissance nominale de la batterie	500	W

Résumé

Ce mémoire est une étude approfondie et complète des véhicules électrique (VE) et des bornes de recharge associées. Les véhicules électriques sont présentés, ainsi que leur définition et les composants qui les constituent, les différentes architectures de traction et les modes de charge des VE sont également examinés. Différentes topologies de bornes de recharge sont également présentées. Ensuite une explication détaillée sur le fonctionnement d'un redresseur triphasé en pont à modulation de largeur d'impulsion (MLI). Les Systèmes d'équations des divers composants du circuit sont également discutés, ainsi que le dimensionnement d'une batterie lithium-ion et la commande DPC (Direct Power Control). Enfin, On présente les résultats de simulations obtenues sur MATLAB SIMULINK.

Mots clés : véhicule électrique (VE) ; Modulation de largeur d'impulsion (MLI) ; Commande direct de puissance (DPC)

Abstract

This dissertation is an in-depth and comprehensive study of electric vehicles (EVs) and associated charging stations. Electric vehicles are presented, along with their definition and constituent components, the different traction architectures and EV charging modes are also examined. Different charging station topologies are also presented. This is followed by a detailed explanation of the operation of a three-phase bridge rectifier with pulse-width modulation (PWM). The Systems of Equations of the various circuit components are also discussed, along with lithium-ion battery sizing and Direct Power Control (DPC). Finally, simulation results obtained with MATLAB SIMULINK are presented.

Keywords: electric vehicle (EV); pulse width modulation (PWM); direct power control(DPC)