



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique



Projet de Fin d'Étude

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : technologie

Filière : génie mécanique

Spécialité : électromécanique

Thème

**Systeme de gestion de l'énergie entre la batterie et le
supercondensateur dans un véhicule électrique**

Présenté par :

KHETTAB Boubaker

DJARI MOHAMMED Salah

CHABANI Abdellatife

Soutenu le2021

Devant le jury composé de :

President

El-Oued University

Examiner

El-Oued University

Supervisor

ZINE Bachir

El-Oued University

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah pour nous avoir donné la santé, la volonté, la force, le courage, Et la puissance pour pouvoir surmonter les moments difficiles, et atteindre nos objectifs Et sans lesquels notre projet n'aurait pas pu voir la lumière du jour.

Nous remercions infiniment tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce projet, plus particulièrement :

Mes profonds remerciement à nos parents de nous avoir soutenu moralement et financièrement durant ces longues années

Notre promotrice

Dr. ZINE Bachir

Nous tenons à remercier aussi les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire..

Merci aussi à nos ENSEIGNANTS à qui Nous exprimons tout notre respect Et profonde gratitude.

Dédicace

Nous dédions ce travail

*Aux personnes les plus chères et les plus proches du cœur, mon père et ma mère,
qui ont été mon aide et mon soutien,*

A tous ceux qui nous ont soutenu de près ou de loin

Mes frères et sœurs qui ont été une source de soutien pour nous

*Aux gens de crédit et à mes professeurs qui m'ont comblé d'amour, d'appréciation
et de conseils.*

Boubaker

MOHAMMED Salah

Abdellatif

Sommaire

Remerciements	I
Dédicace	II
Sommaire	III
Liste de symboles et des abréviations	V
Liste des figures et tableaux	VII
Introduction générale	1

Chapitre I : état de l'art du véhicule électrique

I.1 INTRODUCTION	3
I.2 LA VEHICULE ELECTRIQUE	3
I.2.1 Définition	3
I.2.2 Historique	4
I.3 DESCRIPTION GENERALE DE LA CHAINE DE TRACTION	7
I.3.1 Moteur à courant continu	7
I.3.2 Moteur asynchrone	8
I.3.3 Moteur synchrone	8
I.4 LES SOURCES D'ENERGIE	9
I.4.1 Les batteries	9
I.4.2 Les supercondensateurs	12
I.4.3 Batterie VS Supercondensateur	13
I.5 LES SYSTEMES DE PROPULSION ELECTRIQUE	15
I.5.1 Les redresseurs (AC/DC)	16
I.5.2 Les onduleurs (DC-AC)	16
I.5.3 Les hacheurs (DC-DC)	17
I.5.4 Le chargeur	17
I.6 LES PRINCIPALES CONFIGURATION DES VEHICULES ELECTRIQUES	18
I.7 CONCLUSION	19

Chapitre II : Modélisation du système de gestion d'énergie

II.1 INTRODUCTION	21
II.2 L'ARCHITECTURE CHOISIE POUR LE SYSTEME ELECTRIQUE	21
II.3 MODELISATION DE LA BATTERIE	21
II.3.1 Equation électrique de charge et décharge	22
II.3.2 Equation de l'état de charge	22
II.4 MODELISATION DE LA SUPERCONDENSATEUR	22

II.4.1 Equation électrique de charge et décharge	23
II.4.2 Equation de l'état de charge	23
II.5 Modèle moyen du convertisseur bidirectionnel de la batterie.....	23
II.6 LES DIFFERENTS CYCLES DE CONDUITES	25
II.6.1 Cycle Américain	25
II.6.2 Cycle Australien	26
II.6.3 Cycle Européen	27
II.6.4 Cycle Japonais	28
II.7 CONCLUSION	29
Chapitre III : Résultats de Simulation	
III.1 INTRODUCTION.....	31
III.2 APPROCHE DE COMMANDE.....	31
III.2.1 Commande du bus contenue	31
III.2.2 Calcule du paramètre du régulateur	32
III.3 RESULTATS DE SIMULATION	33
III.4 CONCLUSION	37
Conclusion générale	39
Annexes	40
Références bibliographiques	42
Resumé	47

Liste de symboles et des abréviations

VE	Véhicule électrique
Ld	l'axe direct
Lq	l'axe en quadrature
DSP	Digital Signal Processor
GTO	Gate Turn-off thyristor
IGBT	Insulated Gate Bipolar transistor
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MCC	Moteur à courant continue
MAS	Moteur Asynchrone
MSAP	Moteur Synchrone à aimant permanent
MRV	Moteur à reluctance variable
MSI	Medium-Scale Integration
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
PI	Proportionnel-intégrale
SOC _{bat}	L'état de charge de la batterie
DoD	Profondeur de décharge de la batterie
V _{bat}	Tension de la batterie (V)
i _{bat}	Courant de la batterie (A)
r _{bat}	Résistance série d'une cellule de la batterie (Ω)
n	Nombre de cellule
E _{bat}	Tension à vide (V)
C _N	La capacité nominale de la batterie (F)
SoC _{bat int}	L'état de charge initiale de la batterie
V _{sc}	Tension de supercondensateur (V)
i _{sc}	Courant de supercondensateur (A)
SOC _{sc}	L'état de charge de supercondensateur
C ₁	La capacitance (F)
Q	La charge électrique (c)
V ₁	La tension appliquée (V)
ϵ	Constante diélectrique du matériau isolant
A	La surface (m ²)

Liste de symboles et des abréviations

w	L'énergie électrostatique stockée
d	L'épaisseur (m)
$V_{C_{sc}}$	La tension au borne de la capacité C_{sc} (V)
R_{sc}	La résistance interne du supercondensateur (Ω)
C_{sc}	La capacité du supercondensateur (F)
L_{bat}	Inductance de l'hacheur de la batterie (H)
L_{sc}	Inductance de l'hacheur du supercondensateur (H)
V_{dc}	Tension de bus continu (V)
$V_{dc_{ref}}$	Tension de bus continu de référence (V)
α_{bat}	Rapport cyclique de l'hacheur de la batterie
α_{sc}	Rapport cyclique de l'hacheur du supercondensateur
i_c	Courant de bus continu (A)
C	Capacité du bus continu (F)
e	L'erreur de tension
e'	La dérivée de l'erreur
K_p	Terme proportionnel
T_i	Constante de temps (Terme intégrateur)
S	Surface frontale du véhicule (m ²)

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

Figure I.1 Une des premières voitures électrique (Thomas Parker 1884).....	5
Figure I.2 Le Tesla Roadster I.....	6
Figure I.3 Structure de la chaîne de traction dans un VE.....	7
Figure I.4 Schéma fonctionnel de la batterie.....	10
Figure I.5 Schéma fonctionnel d'un super-condensateur.....	13
Figure I.6 Diagramme de Ragone pour comparer les performances énergétiques de différents systèmes.....	14
Figure I.7 Schéma de fonctionnement pour un système de propulsion électrique.....	15
Figure I.8 Plage de courant, de tension et de fréquence pour les différents interrupteurs de puissance.....	16
Figure I.9 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie A.....	18
Figure I.10 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie B.....	18
Figure II.1 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie A.....	21
Figure II.1 Modèle équivalent électrique simple d'une batterie.....	21
Figure II.2 Modèle d'un Supercondensateur.....	23
Figure II.3 Convertisseur associé aux batteries.....	23
Figure II.4 Le schéma de principe de la première séquence de conduction.....	24
Figure II.5 Le schéma de principe de la deuxième séquence de conduction.....	24
Figure II.6 Cycles américains FTP 75 (urbain) et Highway (autoroutier) pour véhicules légers sur banc à rouleaux.....	26
Figure II.7 Cycle américain court IM240 (véhicules légers, sur banc à rouleaux, lors du contrôle technique).....	26
Figure II.8 Cycle Européen ECE urbain et périurbain (véhicules légers, sur banc à rouleaux).....	27
Figure II.9 Cycle de vitesse Européen Normalisé, partie urbaine (ECE15).....	28
Figure II.10 Cycle de vitesse réel.....	28
Figure II.11 Cycle japonais 10-15 modes (véhicules légers, sur banc à rouleaux).....	29
Figure III.1 Schéma du contrôleur robuste du bus continu.....	32

Figure III.2 Le courant de la charge	33
Figure III.3 la tension du bus contenue et sa tension de référence	34
Figure III.4 la tension de la batterie.....	34
Figure III.5 la tension du supercondensateur.....	35
Figure III.6 le courant de la batterie et se courant de référence	35
Figure III.7 le courant du supercondensateur et se courant de référence.	36
Figure III.8 le rapport cyclique de l'hacheur de la batterie.	36
Figure III.9 le rapport cyclique de l'hacheur du supercondensateur.	37

Listes des tableaux :

Tableau: I.1 Comparaison de performances de différents types de véhicules entre 2010 et 2020	4
Tableau I.2 Comparaison des différents Moteurs.....	9
Tableau I.3 Résumé des différents types de batteries les plus utilisés dans le domaine des véhicules électriques et hybrides	11
Table I.4 Donnée constructeur de divers supercondensateurs.....	13
Tableau I.5 Résume les performances du super-condensateur et de la batterie.	14
Tableau I.6 Temps de charge des batteries.....	17

Introduction générale

Dans les prochaines décennies, la stagnation probable de la production du pétrole entre 2020 et 2030, et les conséquences du changement climatique obligeront les gouvernements à employer l'énergie de façon plus efficace et à recourir à de nouvelles sources d'énergie moins polluantes [32]. La voiture électrique comme objectif d'étude est multi problèmes ouverts, qu'ils soient techniques ou socio-économiques. Les véhicules électriques sont en effet devenus une question sociale fondamentale en raison de l'importance croissante des préoccupations environnementales, de la volatilité des prix du pétrole et de l'autorité souveraine des pouvoirs publics. La volonté politique de déplacer les émissions polluantes vers la production d'énergie se concentre d'une part et la nécessité de réduire la facture énergétique d'autre part a conduit à plusieurs façons de penser scientifique. Travailler sur la structure de puissance interne du véhicule ou considérer son intégration comme une charge utile, ou même une génératrice, non conventionnelle dans le réseau seul ou de concert avec d'autres charges, y compris le bâtiment. D'autres vont plus loin en pensant à un "groupe énergétique" où la voiture est un acteur important avec des générateurs d'énergie renouvelable et enfin des bâtiments et des réseaux intelligents. Les objectifs généraux des véhicules électriques sont les suivants : Réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO₂) ou toxiques (PCx, CO, etc.), portée améliorée, coûts réduits, expédition rapide, systèmes de stockage plus longs et sécurité opérationnelle. Les objectifs sont d'accroître l'indépendance et de réduire le stress de la batterie en améliorant les flux d'énergie, en créant de bonnes structures électriques autour du stockage et en concevant des algorithmes de contrôle basés sur une norme technique économique (coûts d'installation, maintenance, indépendance, repos, etc.).

Les buts envisagés de ce travail sont :

- Des stratégies de contrôle pour les convertisseurs de puissance sont présentées afin de protéger les équipements et de gérer les échanges de flux d'énergie entre les sources et la charge.
- Permettre Le superviseur d'énergie proposé basé sur des règles une permutation souple des différents modes de fonctionnement afin d'assurer l'énergie demandée par la charge.

Pour atteindre ces objectifs, trois chapitres sont proposés sont :

- Dans le premier chapitre, un aperçu général sur le VE et les systèmes de génération électriques, ainsi que l'état de l'art de ces systèmes sont présentés.
- La modélisation et la caractérisation des différents éléments constituant le système et fixation des règles de contrôle sont détaillées dans le deuxième chapitre.
- À partir de ces modèles et lois de commande de système du véhicule électrique, des simulations sont effectuées et présentées dans le dernier chapitre.

Chapitre I : etat de l'art du véhicule électrique

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 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.

Conçues pour lutter efficacement contre la pollution, les véhicules électriques sont, malheureusement, freinés par leurs coûts élevés, leur autonomie limitée qui dépend de la capacité des batteries, le manque d'investissements et d'autres problèmes critiques qui handicapent 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 des batteries est importante et donne lieu à de 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 ses différentes architectures et les éléments constituant.

I.2 LA VEHICULE ELECTRIQUE

I.2.1 Définition

La voiture électrique présente la particularité d'être mue par un ou plusieurs moteurs électriques qui transmettent la force motrice aux roues selon la solution de transmission retenue. Compte tenu des progrès scientifiques et technologiques accomplis dans le domaine de l'électronique de puissance, etc. beaucoup d'idées et de nouvelles conceptions sont explorées pour développer ce mode de propulsion. Toutes ces explorations sont liées à une problématique commune : la production, le transport, le stockage et l'utilisation de l'électricité [1][2]. Le système de propulsion électrique est l'organe principale du VE, il est propulsé électriquement par des moteurs et comporte un système de transmission formé par un ou plusieurs moteurs électriques entraînant deux roues motrices [2]. Il a une architecture très simple. Il est constitué d'un actionneur électrique, un dispositif de transmission, et des roues.

Tableau: I.1 Comparaison de performances de différents types de véhicules entre 2010 et 2020 [8]

Performances	Véhicule Essence	Véhicule urbain	Véhicule électrique	Véhicule routier	Véhicule rechargeable
2010 : Consommation	4.8L/100km	4.2L/100km	0.2kWh/100km	5.8L/100km	mix
2010/Émission de co2 en circulation (g co2/km)	115	100	0	155	78
2020 : Consommation	3.7L/100km	3.1L/100km	0.2 kWh/100km	4.7L/100km	mix
2020/Émission de co2 en circulation (gco2/km)	90	85	0	125	63

I.2.2 Historique

Aujourd'hui, la voiture propre est un problème sur lequel travaillent un nombre d'entreprises de l'industrie d'automobile, pour répondre aux problèmes que pose la pollution atmosphérique. La voiture électrique, que l'on présente d'ailleurs comme « la solution » au problème de la pollution des gaz d'échappement, n'est pas une idée d'hier.

A la fin du 19ème siècle, au début de l'automobile, plusieurs modes de propulsion étaient en compétition (le moteur électrique, le moteur à vapeur et le moteur thermique). D'ailleurs, les performances des premiers prototypes de véhicule électrique n'avaient rien à envier à celles des véhicules à propulsion thermique de l'époque [1]. Ci-dessous on compte les véhicules électriques qui ont marqué l'histoire.

Dans les années 1830 (1832-1839), le premier véhicule électrique fit son apparition. L'homme d'affaires écossais Robert Anderson fut la première personne à avoir inventé une voiture électrique. Il s'agissait plutôt d'une carriole électrique.

Vers 1835, l'américain Thomas Davenport construit une petite locomotive électrique.

Vers 1838, l'écossais Robert Davidson arriva avec un modèle similaire qui pouvait rouler jusqu'à 6 km/h.

En 1859, le français Gaston Planté inventa la batterie rechargeable au plomb acide, qui sera améliorée par Camille Faure en 1881.

En 1884, Thomas Parker assis dans la première voiture électrique au monde.



Figure I.1 Une des premières voitures électrique (Thomas Parker 1884). [21]

Dès 1900, la voiture électrique a connu ses beaux jours. En circulation, plus que le tiers des voitures sont électriques et le reste étant des voitures à essence et à vapeur.

Dans les années 1920, certains facteurs comme la faible autonomie, la vitesse trop basse, le manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et le prix deux fois plus élevé que celles à essence, ont mené au déclin de la voiture électrique.

En 1972, Victor Wouk, le parrain du véhicule hybride construit la première voiture hybride, la Buick Skylark de GM (Général Motors).

En 1976, « the Electric and Hybrid Vehicle Research, Development and Demonstration Act » a été adopté par le Congrès américain, qui a permis de favoriser le développement des nouvelles technologies de batteries, moteurs et composants hybrides.

Dès 1988, la société automobile Général Motors lance un projet de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra l'EV 1 et qui va être produite entre 1996 et 1998.

En 1997, Toyota lance la Prius, la première voiture hybride à être commercialisée en série. 18 000 exemplaires ont été vendus au Japon la première année et en 2006 Toyota a passé le cap des 500.000 unités vendues à travers le monde avec son célèbre véhicule hybride [1].

De 1997 à 2000, de nombreux modèles électriques hybrides ont été lancés : la Honda EV Plus, la G.M. EV1, le Ford Ranger pickup EV, Nissan Altra EV, Chevy S-10 EV et le Toyota RAV4 EV.

Cependant à partir de 2000, la voiture électrique va ré-mourir à nouveau. En 2004, c'est la fin de l'EV1, GM va récupérer tous les véhicules EV1 pour les détruire, et ce malgré plusieurs mouvements de protestation. Le constructeur fut accusé de céder au lobbying des sociétés pétrolières.

En 2008 Tesla à démarrer la production en série du premier véhicule, le Roadster Tesla (Figure I.2). [7]



Figure I.2 Le Tesla Roadster I

En Juillet 2009, La Mitsubishi i-MiEV a été lancée au Japon pour les professionnels, et en Avril 2010 pour les clients individuels, puis on a commencé à la vendre au public Hongkongais en mai 2010.

En décembre 2010, La Nissan LEAF (Leading, Environmentally Friendly, Affordable, Family car) la voiture électrique à cinq places annoncée qui a été déjà annoncé en 2009, a pu être commercialisée au Japon et aux Etats-Unis et en arrivant aux marchés européens la fin 2011.

I.3 DESCRIPTION GENERALE DE LA CHAINE DE TRACTION

La chaîne de traction d'un VE est plus simple que celle d'un véhicule thermique. Le choix et l'arrangement des composants qui constituent la chaîne de traction décrits dans la figure I.3

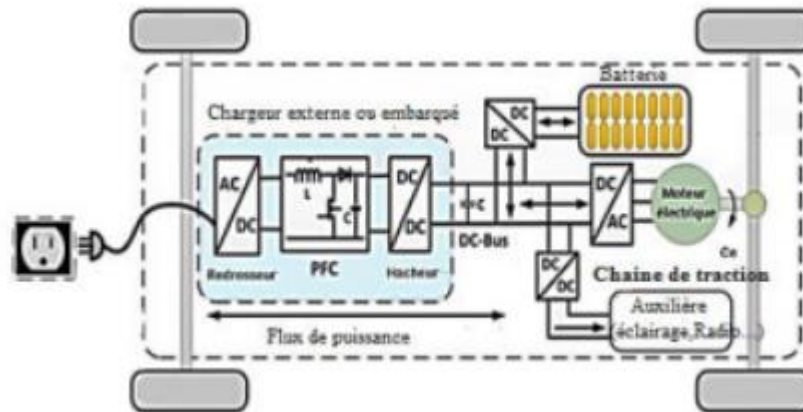


Figure I.3 Structure de la chaîne de traction dans un VE.

Il s'agit, si l'on part du réseau d'alimentation alternatif, du chargeur de batteries, de la batterie électrochimique de la source embarquée d'énergie électrique, de l'ensemble convertisseur statique du moteur électrique et le contrôle et, enfin, de la transmission mécanique dont la fonction est d'adapter la caractéristique mécanique de la charge à celle du moteur. Pour l'analyse de la consommation totale, il faut aussi prendre en compte les auxiliaires comme le système de refroidissement (air ou eau) du moteur et de son convertisseur électronique, ainsi que la gestion des flux d'énergie entre eux restent au stade de la recherche. Dans cette partie, on essaiera de présenter les organes de la traction électrique en justifiant le choix de chaque organe [3][1]

C'est le composant responsable de la production d'énergie mécanique dans un véhicule 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 [5].

I.3.1 Moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est un bon choix pour les véhicules électriques car le courant de la batterie est également direct. Historiquement, les entraînements utilisant des moteurs à

courant continu ont été employés bien en avant dans les véhicules électriques parce qu'ils offrent un contrôle de vitesse simple. De plus, ce type de moteur dispose d'excellentes caractéristiques pour la propulsion électrique (courbe du couple très favorable à faible vitesse). En revanche, leur fabrication est onéreuse et nécessite l'entretien du système balais-collecteur. Leur vitesse est limitée et ayant une faible puissance massique avoisinant en général, les 0,3 à 0,5 kW/kg ; alors que celle des moteurs à essence est de l'ordre de 0,75 à 1,1 kW/kg. Ce qui les rend moins fiables et non appropriés dans ce domaine d'application. [2]

I.3.2 Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est formé d'un stator et d'un rotor :

- Stator : la partie fixe du moteur. Il comporte trois bobinages (ou enroulements) qui peuvent être couplés en étoile (Y) ou en triangle (Δ) selon le réseau d'alimentation.

- Rotor : la partie tournante du moteur. Cylindrique, il porte soit un bobinage (d'ordinaire triphasé comme le stator) accessible par trois bagues et trois balais, soit une cage d'écureuil non accessible, à base de barres conductrices en aluminium. Dans les deux cas, le circuit rotorique est mis en court-circuit (par des anneaux ou un rhéostat) [9].

La machine asynchrone, du part sa simplicité de fabrication et d'entretien est actuellement la machine la plus répandue dans le secteur industriel et présente de bien meilleures performances que les autres types de machines. Par ailleurs, ces machines possèdent un couple massique, un rendement et un facteur de puissance plus faible que les machines à aimants. [10]

I.3.3 Moteur synchrone

Bien que plus délicats à piloter, plus coûteux et peut-être le moins puissant, il devrait être choisi dans les voitures électriques et hybrides [10]. La machine synchrone offre le meilleur rendement en mode générateur et moteur. Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor [11].

Dans cette catégorie, on trouve plusieurs sortes de configurations dont nous citons deux types les plus fréquents :

a- A aimants permanents : Ce moteur offre des meilleures performances en termes de rendement, de couple et de puissance massique. De plus, il demande peu de maintenance et il est relativement facile à commander. Cependant le coût de production, dépendant essentiellement de la qualité des aimants, est parmi les plus élevés. C'est aussi le moteur la plus populaire pour l'entraînement des véhicules électriques [13].

b- A réluctance variable : Le moteur synchrone à réluctance variable gagne l'intérêt des constructeurs car c'est un moteur solide, facile à contrôler, sans balais donc sans usure ou entretien, et pouvant avoir de bonnes performances en termes de couple maximum, de rendement et de facteur de puissance [1]. Le rotor de ce type de moteur ne contient ni aimants, ni bobinage d'excitation. Le couple est créé seulement grâce à l'effet reluctance. Le stator est semblable à celui de la majorité des machines à courant alternatif. Le rotor est construit de manière à ce que le rapport entre l'inductance dans l'axe direct et l'axe en quadrature (L_d/L_q) soit le plus important possible. La plage de fonctionnement en vitesse à puissance constante est directement liée à ce rapport. Il en est de même pour le facteur de puissance (plus ce rapport est élevé plus le facteur de puissance est grand). L'obtention d'un rapport (L_d/L_q) élevé induit des contraintes au niveau de la fabrication, qui se répercutent négativement sur le coût [14].

Chacun de ces moteurs a des avantages et des inconvénients, mais ce sont essentiellement les notions de coût et de difficulté de la commande qui s'affrontent.

Le tableau (1.3) résume les avantages et les inconvénients des principaux types de moteurs utilisés dans les véhicules électriques.

Tableau I.2 Comparaison des différents Moteurs

+ : avantage 0 : neutre - : désavantage. [12]

	MCC	MAS	MSAP	MRV
Rapport puissance/poids	0	+	++	+
Vitesse de rotation max	-	+	+	+
Rendement(%)	80-85	85-90	90-95	90-94
Contrôlabilité	++	+	+	+
Maintenance	-	+	0	+
Coût du moteur	-	++	-	+

I.4 LES SOURCES D'ENERGIE

I.4.1 Les batteries

Les batteries constituent l'élément-clé limitatif du développement des véhicules électriques. Une batterie ou une batterie d'accumulateurs, est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques reliés entre eux de façon à créer un générateur de courant continu de capacité

et de tension données. Ces accumulateurs sont parfois appelés éléments de la batterie ou cellule. En fonction du nombre de cellules choisi et de leur agencement (série, parallèle ou série-parallèle), nous avons la possibilité d'avoir la configuration de batterie désirée en terme de tension en sortie et de capacité.

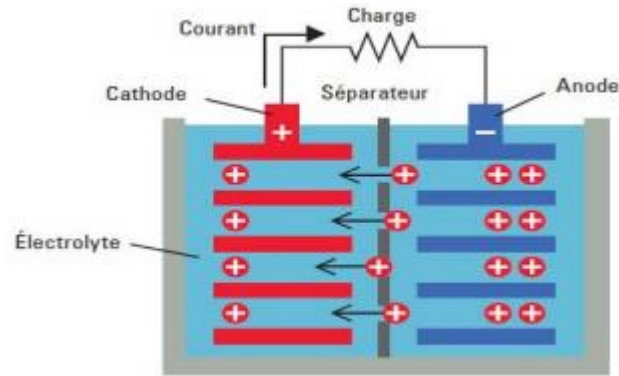


Figure I.4 Schéma fonctionnel de la batterie. [18]

Les critères de choix des différents types de batteries utilisées dans la traction électrique sont généralement les suivants :

- Les performances énergétiques ;
- Le rendement sur un cycle ;
- La durée de vie (cyclique ou temporelle) ;
- L'autodécharge et l'impact environnemental ;
- L'énergie massique exprimée en Wh/kg qui détermine l'autonomie du véhicule électrique ;
- La puissance massique exprimée en W/kg dont dépend la capacité du véhicule électrique à changer de régime (accélération, dépassement, etc.). [15]

Le tableau I.4 résume les caractéristiques des différentes batteries usuelles utilisées dans les véhicules électriques et hybrides et les performances exigées des futures batteries à moyen et long terme.

Tableau I.3 Résumé des différents types de batteries les plus utilisés dans le domaine des véhicules électriques et hybrides [4] [16] [17]

	Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Zébra	Li-phosphate	Li-Ion	Li-polymère
Énergie massique [W h/kg]	30-50	45-80	60-110	120	120-140	150-190	150-190
Densité d'énergie [W h/litre]	75-120	80-150	220-330	180	190-220	220-330	220-330
Puissance massique [W/kg]	Jusqu'à 700		Jusqu'à 900	200	Jusqu'à 800	Jusqu'à 1500	Jusqu'à 250
Nombre de cycles	400-600	2000	1500	800	>2000	500-1000	200-300
Autodécharge par mois	5%	20%	30%	12% par jour	5%	10%	10%
Tension nominale d'un élément [v]	2	1.2	1.2	2.6	3.2	3.6	3.7
Gamme de température de fonctionnement	-20°C à 60°C	-40°C à 60°C	-20°C à 60°C	-20°C à 50°C	-0 °C à température 45°C (charge) -20°C à 60°C (décharge)	20°C à 60°C	0°C à 60°C
Avantages	Faible coût	Fiabilité performance à froid	Très bonne densité énergétique	bonne densité énergétique et bonne cyclabilité	Très bonne densité d'énergie et sécurité	Excellente énergie et	Batteries minces possibles

					coût cyclabilité	puissan ce	
Inconvénients	Faible énergie, mort subite	Relativement basse énergie, toxicité	Coût des matériaux de base, danger quant température élevée	Puissance limitée autoconsommation	Charge à température positive	Sécurité des gros éléments Coût	Performance à froid Coût
Coûts indicatif Euros/kWh	200 à 250	600	1500 à 2000	800 à 900	1000 à 1800	2000	1500 à 2000
Autonomie [km]	70-120	70-120	150-200	100-140	80-120	150-200	120-200

I.4.2 Les supercondensateurs

Les super condensateurs stockent l'énergie sous forme électrostatique. Ils sont des systèmes de stockage d'énergie de faible densité d'énergie mais d'une densité de puissance importante. Par conséquent, ils sont utilisés dans les phases transitoires pour fournir les pics de puissance demandés, afin de réduire les sollicitations en courant, de diminuer la taille et d'augmenter la durée de vie de la source principale d'énergie. [19]

Le super condensateur se compose de deux collecteurs métalliques, chacun couplés à deux électrodes carbonées, poreuses et imprégnées d'électrolyte.

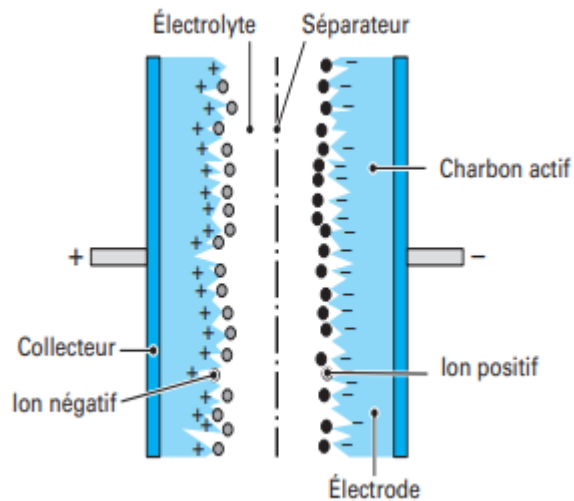


Figure I.5 Schéma fonctionnel d'un super-condensateur. [24]

Pour remédier aux problèmes de surdimensionnement des batteries dans les applications des véhicules électriques, les super condensateurs présentent des propriétés très intéressantes, la cinétique du transfert de charge est plus rapide que dans le cas des batteries. Leur durée de vie est de l'ordre de quelques centaines de milliers de cycles de charge/décharge. [20]

Table I.4 Donnée constructeur de divers supercondensateurs. [21]

Constructeur	Capacité / Tension nominal (F)/(V)	Poids (kg)	Energie massique (Wh/kg)	Puissance massique (W/kg)	Type
Maxwell	3000/2.7V	0.51	6	1200	Organique
Batscap	2600 / 2,7V	0.50	5.3	20000	Organique
Esma	80 000 / 1,7V*	2.8	9	500	Aqueuse
Nesscap	3 000 / 2,7V	0.53	5.73	11000	Organique

I.4.3 Batterie VS Supercondensateur

Les batteries et les super-condensateurs diffèrent considérablement dans leurs propriétés électriques. Le diagramme de Ragone est alors utilisé pour comparer leurs performances respectives. Il s'agit d'un graphique à axes logarithmiques. Nous portons en abscisse l'énergie massique et en ordonnée la puissance massique, deux grandeurs prépondérantes en matière de stockage embarqué. La Figure 11 montre que les batteries ont une forte densité énergétique

mais une faible densité de puissance. Quant aux supercondesateurs, disposent d'une puissance spécifique importante mais ils ont une capacité spécifique faible.

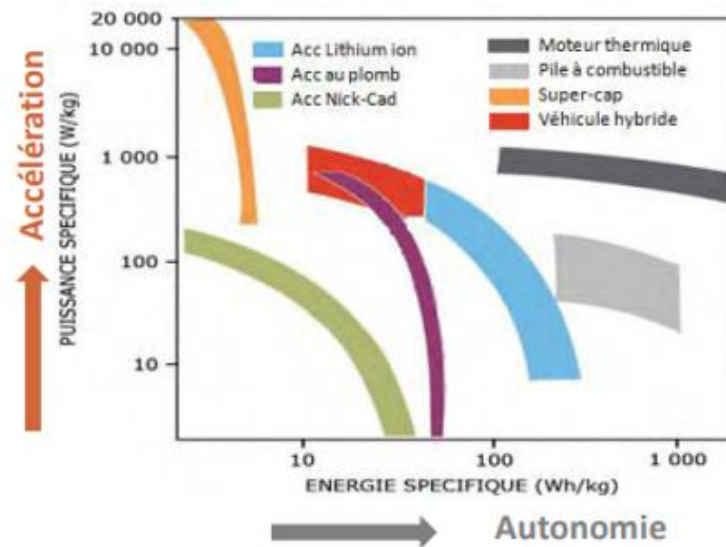


Figure I.6 Diagramme de Ragone pour comparer les performances énergétiques de différents systèmes. [8]

En outre, la durée de stockage est l'une des différences évidentes entre eux. La durée de vie de la batterie est déterminée par le nombre de cycles de charge et de décharge, ce qui signifie qu'elle est relativement limitée, tandis que la durée de vie d'un super condensateur est longue en raison de l'absence de réaction chimique à l'intérieur, car il peut être chargé et déchargé des milliers de fois. Le résumé des performances de deux éléments de stockage est donné dans le Tableau.

Tableau I.5 Résumé les performances du super-condensateur et de la batterie. [8]

	Supercondensateur	Batterie
Temps de charge t	$1s < t < 30s$	1 heure < t
Temps de décharge t	$1s < t < 30s$	0.3 heure < 3 heures
Rendement charge/décharge	entre 85% et 98%	entre 70% et 85%
Densité de puissance (W/kg)	10^4	$< 10^3$
Densité d'énergie (Wh/kg)	entre 1 et 10	entre 10 et 100
Durée de vie nombre de cycles	10^6	10^3

D'après les données du tableau ci-dessus, Nous constatons que le super condensateur est un composant potentiel du stockage d'énergie embarquée comme source pour la demande de fortes puissances pendant quelques secondes. Le supercondensateur a déjà pris place dans la voiture pour la récupération d'énergie et pas seulement dans les véhicules électriques. En effet, les supercondensateurs sont particulièrement efficaces pour répondre à ce besoin. La charge et la décharge peuvent également être effectuées très rapidement, car le super condensateur assume le rôle d'une batterie ultra-rapide et fiable. [8]

I.5 LES SYSTEMES DE PROPULSION ELECTRIQUE

Le système de propulsion électrique est le cœur des véhicules électriques. Ils se composent des moteurs électriques, de convertisseurs de puissance et de leurs contrôles/commandes. Le moteur électrique est utilisé pour convertir l'énergie électrique qui provient de la source d'énergie mécanique utilisée pour propulser le véhicule ou inversement pour permettre la récupération d'énergie pendant le freinage. Lors du freinage, la chaîne mécanique devient en partie la source de puissance, et la source d'énergie principale devient le récepteur. Le convertisseur de puissance est alors utilisé pour alimenter le moteur électrique dans les limites admissibles de tension et de courant.

Pour une bonne gestion de tous les composants qui constituent le système de propulsion électrique, le système de contrôle-commande fournit des signaux de commande et des références à poursuivre en couple ou en vitesse suivant les desiderata du conducteur et de la mission. [15]

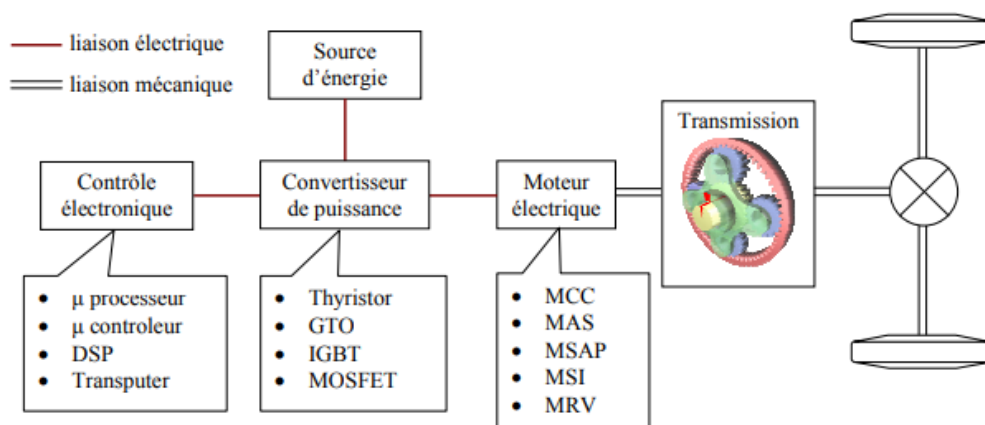


Figure I.7 Schéma de fonctionnement pour un système de propulsion électrique. [15]

Le choix des systèmes de propulsion électrique pour le véhicule électrique et hybride dépend essentiellement de trois facteurs, à savoir la source d'énergie [22], le cycle de conduite, et de les contraintes du véhicule. Le cycle de conduite est défini comme le cycle qui comprend

l'accélération, la vitesse maximale, le freinage et la durée des différentes phases. Les contraintes du véhicule, y compris le volume et le poids sont fonction du type et de la mission du véhicule. Les principales sources d'énergie sont les batteries, les supercondensateurs, les volants d'inertie, etc. L'interaction des sous-systèmes et les impacts probables des facteurs exogènes sont bien entendu un point d'orgue nécessitant toute l'attention. [15]

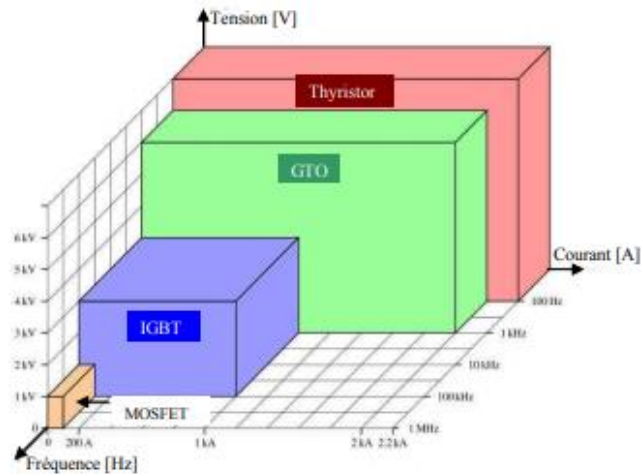


Figure I.8 Plage de courant, de tension et de fréquence pour les différents interrupteurs de puissance. [23]

Ce graphique est valable aujourd'hui mais il est en constante progression et peut être modifié dans le futur du fait des évolutions technologiques des semi-conducteurs.

I.5.1 Les redresseurs (AC/DC)

Dans un véhicule électrique, les redresseurs sont utilisés pour transformer l'énergie électrique à courant alternatif fournie, soit par les réseaux de distribution générale, soit par un alternateur placé à bord du véhicule et accouplé à un moteur thermique, en énergie électrique à courant continu qui peut être stockée dans une batterie d'accumulateurs électrochimiques ou dans une batterie de grande capacité [4].

I.5.2 Les onduleurs (DC-AC)

Dans les véhicules électriques équipés d'un moteur à courant alternatif, il est nécessaire d'interposer entre la source d'énergie et le ou les moteurs de traction un dispositif de conversion appelé onduleur, qui transforme l'énergie électrique à courant continu en énergie électrique à courant alternatif et qui permet de réaliser la commande du couple des moteurs et le réglage de la vitesse du véhicule tant en mode traction qu'en mode freinage [5][4].

I.5.3 Les hacheurs (DC-DC)

Un hacheur est un convertisseur de courant qui permet d'obtenir à partir d'une source de tension à courant continu de valeur sensiblement constante, des tensions et des courants contrôlés, réglables et adaptés aux besoins nécessaires à l'alimentation des divers récepteurs (capteurs, régulateurs, etc.). Dans un véhicule électrique, les hacheurs ont deux usages essentiels :

- Ils sont indispensables dans l'alimentation des moteurs de propulsion quand ceux-ci sont des moteurs à courant continu.
- Ils sont nécessaires pour adapter la tension de la batterie principale à celle des auxiliaires électroniques utilisés (capteurs, régulateurs, etc...)

I.5.4 Le chargeur

Les chargeurs de batteries sont spécifiques au type d'alimentation électrique à leur emplacement (embarqués ou non au sein du véhicule) et au mode de transmission de l'énergie. Pendant la charge, la batterie se comporte comme un récepteur de courant [1]. Deux grands types des chargeurs ont été définis pour cette fonction :

- les chargeurs de type " lents " : Le chargeur de type lent est un dispositif d'une puissance moyenne, généralement de 3 kW. Il nécessite pour une charge complète du pack de batteries une durée de 5 à 8 heures. Cette opération peut donc s'effectuer en heures creuses.
- les chargeurs de type " rapides " : Les structures, dont la puissance transitée est supérieure à 10 kW, ont été classées dans les chargeurs dits rapides. La puissance maximale atteint aujourd'hui 150 kW. L'objectif de ce type de montage est de permettre, en peu de temps (inférieur à 30 min.) une recharge partielle (80 %) des batteries [6].

Tableau I.6 Temps de charge des batteries [1].

Durée de recharge	Alimentation	Tension	Courant maximum	Type de charge
6 à 8 heures	Monophasée 3.3 kw	230 VAC	16 A	Lente
2 à 3 heures	Triphasée 10 kw	400 VAC	16 A	Lente
3 à 4 heures	Monophasée 7 kw	230 VAC	32 A	Lente
1 à 2 heures	Triphasée 22 kw	400 VAC	32 A	Rapide
20 à 30 minutes	Triphasée 43 kw	400 VAC	63 A	Rapide
20 à 30 minutes	Continue 50 kw	400 à 500 VAC	100 à 125 A	Rapide

I.6 LES PRINCIPALES CONFIGURATION DES VEHICULES ELECTRIQUES

Aujourd'hui l'une des autres solutions pour limiter la variation du courant de décharge et de charge dans les batteries consiste à utiliser des sources auxiliaires de puissance comme les supercondensateurs.

Par la suite, l'étude d'un système d'assistance en puissance avec un système de stockage d'énergie embarqué est présentée. Son but principal est d'alléger les contraintes en puissance qui sont appliquées sur les batteries et donc de supprimer les inconvénients. De plus, la solution retenue permet de récupérer l'énergie de freinage et de limiter les variations du courant de charge/décharge dans les packs de batteries de manière optimale. [15]

Nous présenterons ci-dessous deux topologies pour un véhicule électrique (Figure I.9 et Figure I.10), topologie A et B.

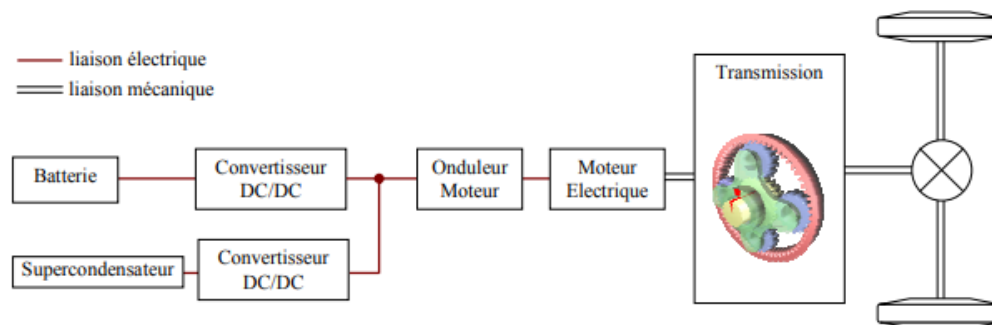


Figure I.9 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie A. [15]

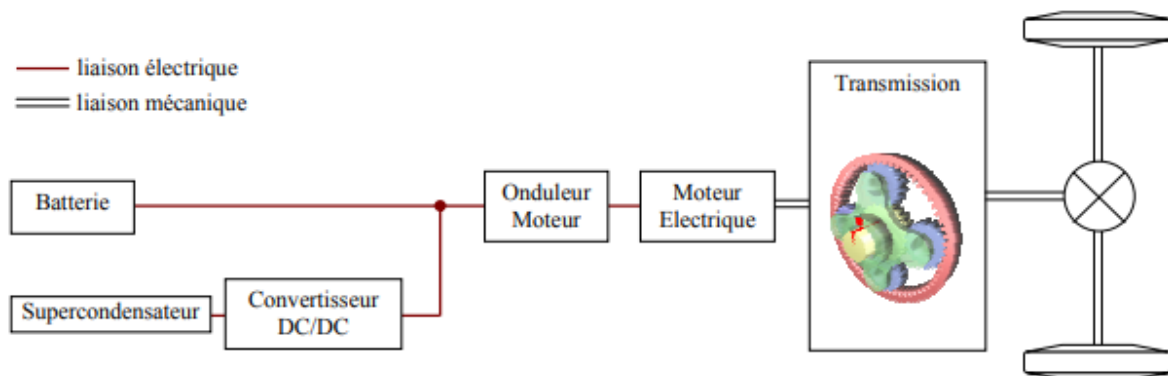


Figure I.10 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie B. [15]

La topologie A est la topologie qui nous donne le plus de degrés de libertés. Elle assure également une tension stable sur le bus DC. La topologie B avec un étage de conversion en

moins a une tension du bus DC variable mais moins de pertes. La variation de la tension du bus DC est due à une variation de charge en fonction du cycle de roulage. [15]

I.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons fourni un bref historique et une introductif sur le véhicule électrique, son système de propulsion, ses sources d'énergie, y compris les moteurs, les batteries, les supercondensateurs et les onduleurs, ainsi que le fonctionnement de chacun, les différences entre une batterie et un supercondensateur et leur importance dans l'économie de carburant. Dans cette étude, nous considérerons un groupe électrogène composé d'un moteur électrique, d'un ensemble de supercondensateurs et de batteries, et toutes les limites constituent des limitations qui seront discutées plus en détail dans le chapitre suivant. Nous nous intéressons particulièrement à la gestion de l'énergie électrique. Dans les chapitres suivants, nous explorerons différentes stratégies pour une répartition optimale de la puissance entre un véhicule électrique et un composant de stockage pour répondre à la demande de puissance du groupe de transmission.

Chapitre II : Modélisation du système de gestion d'énergie

II.1 INTRODUCTION

Après l'introduction que nous avons faite dans le chapitre précédent du système de voiture électrique et de ses composants, nous aborderons dans ce chapitre la modélisation des sous-systèmes de ce système, ainsi que le cycle dit de conduite pour fournir des informations à son sujet. Pour faciliter le fonctionnement du système

II.2 L'ARCHITECTURE CHOISIE POUR LE SYSTEME ELECTRIQUE

Dans notre étude actuelle, nous choisissons la figure A car elle présente deux caractéristiques importantes :

Lors du freinage, la chaîne mécanique devient une partie de l'alimentation électrique et la source d'alimentation principale devient l'importateur

Le deuxième avantage est qu'il n'y a pas de perte significative de tension électrique

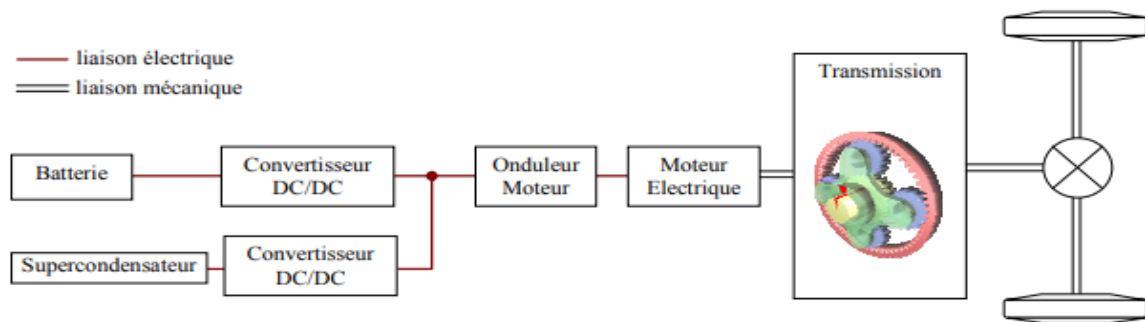


Figure II.1 Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie A. [15]

II.3 MODELISATION DE LA BATTERIE

Le modèle de la batterie adopté est celui permettant de prédire l'autonomie du système ascenseur, c'est-à-dire permettre à chaque instant d'estimer l'énergie restante (état de charge SOC_{bat} profondeur de décharge DoD) dans la batterie [25]. Le modèle choisi est, par conséquent, un modèle équivalent électrique (figure II.1) composé d'une source de tension en série avec une résistance (résistance interne). [26], [27]

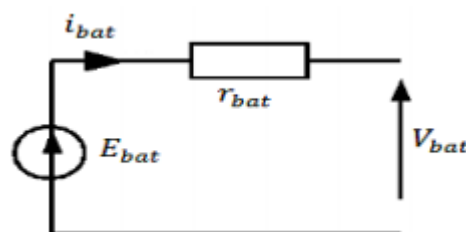


Figure II.1 Modèle équivalent électrique simple d'une batterie

II.3.1 Equation électrique de charge et décharge

La tension en charge est déduite directement à partir de la tension à vide et de la chute de tension due à la résistance interne série [28]:

$$V_{\text{bat}} = E_{\text{bat}} - r_{\text{bat}} \cdot i_{\text{bat}} \quad (\text{II.1})$$

La tension à vide E_{bat} est approximativement proportionnelle à l'état de charge de la batterie [29]. En considérant la variable DOD comme paramètre variant entre 0 et 1, selon que la batterie est chargée ou déchargée pleinement, l'équation (II.2) présente un modèle valide l'équation électrique.

$$E_{\text{bat}} = n (2.15 - \text{DoD} (2.15-2.00)) \quad (\text{II.2})$$

$$\text{DOD} = 1 - \text{SOC}_{\text{bat}} \quad (\text{II.3})$$

II.3.2 Equation de l'état de charge

L'état de charge de la batterie est un paramètre estimé pendant que la batterie est traversée par un courant électrique. Le SOC_{bat} est donné par le rapport entre la capacité actuelle disponible et la capacité totale effective disponible à l'instant qui précède l'utilisation [30]

$$\text{SOC}_{\text{bat}} = \frac{C_{\text{actuelle}}}{C_{\text{totale}}} = \text{SoC}_{\text{bat int}} + \frac{100}{CN} \int i(t) dt \quad (\text{II.4})$$

II.4 MODELISATION DE LA SUPERCONDENSATEUR

Les supercondensateurs constituent une nouvelle technologie de stockage d'énergie spécifique supérieure à celle des condensateurs usuels, et de puissance spécifique supérieure à celle des accumulateurs électrochimiques. Les supercondensateurs à couche double électrique, curieusement appelées capacités électrochimiques, ont en fait un fonctionnement analogue à celui des capacités électrostatiques classiques. Les dites sont typiquement constituées de deux électrodes métalliques séparées par un matériau diélectrique. L'énergie est stockée sous forme d'une charge électrique induite au voisinage de l'interface électrode-diélectrique, par l'application d'une différence de potentiel entre ces deux électrodes. Le rapport de la charge stockée sur la tension appliquée est connu sous le nom de capacitance, ou capacité, et est représentatif de l'aptitude du dispositif à stocker de l'énergie. Les relations de base s'écrivent, pour une capacité linéaire [31]:

$$c_1 = \frac{Q}{V_1} = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (\text{II.5})$$

$$w = \frac{1}{2} c_1 V_1^2 \quad (\text{II.6})$$

Ainsi, l'objectif est d'établir un modèle de connaissance du stockage de l'énergie par supercondensateurs, suffisamment précis et accessible. Le modèle équivalent d'un élément supercondensateur est un condensateur C_{sc} en série avec une résistance (R_{sc}) [32] (figure II.3).

La résistance décrit les pertes ohmiques de la composante tandis que la capacité désigne le comportement du supercondensateur pendant la charge et la décharge [33].

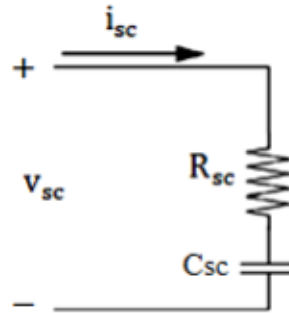


Figure II.2 Modèle d'un Supercondensateur

II.4.1 Equation électrique de charge et décharge

Pour analyser le circuit du modèle précédent, on admet que le courant du supercondensateur i_{sc} est positif pendant la phase de décharge et il est négatif pendant la phase de charge. La tension aux bornes des super condensateurs peut être présentée par :

$$V_{sc} = V_{Csc} + R_{sc} \cdot i_{sc} \quad (\text{II.7})$$

II.4.2 Equation de l'état de charge

L'état de charge, appelé SOC_{sc} , caractérise la quantité d'énergie présente dans les supercondensateurs. Il vaut 100% lorsqu'ils sont complètement chargés et 0% lorsqu'ils sont chargés à leur valeur minimale. L'équation (II.8) présente le modèle adopté dans ce travail [34].

$$SOC_{sc} = \frac{V_{sc}^2}{V_{scmax}^2} \quad (\text{II.8})$$

II.5 Modèle moyen du convertisseur bidirectionnel de la batterie

Dans le cas de l'hacheur utilisé pour adapter la tension aux bornes du moteur électrique, le transfert d'énergie s'effectue dans un seul sens, de la source (moteur électrique) vers le bus continu. Dans le cas de l'hacheur utilisé pour la charge/décharge des batteries, le courant électrique doit être réversible. Ainsi, pour réaliser le transfert d'énergie dans les deux sens, un hacheur survolteur et un hacheur dévolteur ont été associés comme l'indique la Figure II.5. [35]

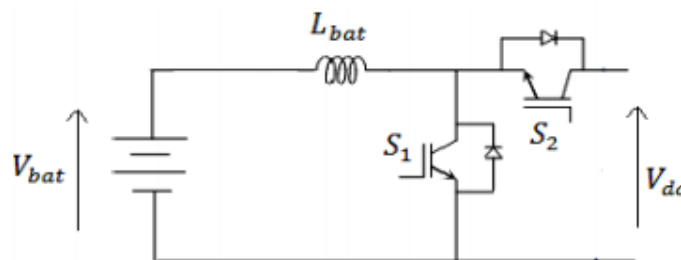


Figure II.3 Convertisseur associé aux batteries

- Séquences de fonctionnement et équations d'état:

De même, le modèle moyen du convertisseur réversible en courant de la batterie est adopté. Ce dernier permettra de tester les algorithmes de commande dans des modèles continus du système global. On distingue les deux phases de commutation des IGBT, représentés par un fil lorsqu'ils sont fermés et l'absence de connexion lorsqu'ils sont ouverts. Ainsi, la période de découpage (T_{pwm}) est scindée en deux [25], [36]

- Première séquence de conduction $t \in [0; \alpha_{bat} \cdot T_{pwm}]$:

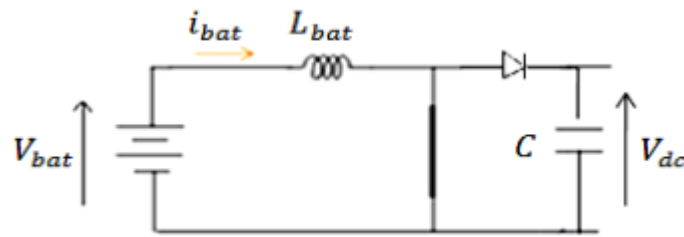


Figure II.4 Le schéma de principe de la première séquence de conduction

L'équation dynamique du courant de la bobine s'écrit :

$$V_{bat} = L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} \quad (II.9)$$

- Deuxième séquence de conduction $t \in [\alpha_{bat} \cdot T_{pwm}; T_{pwm}]$:

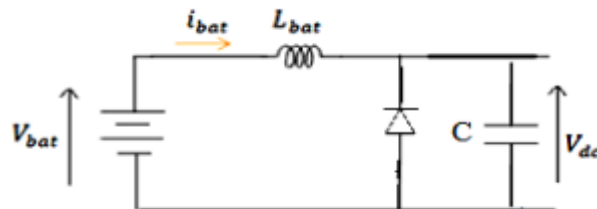


Figure II.5 Le schéma de principe de la deuxième séquence de conduction

La relation dynamique reliant tension de la batterie et le bus est donnée par :

$$V_{bat} = L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} + V_{dc} \quad (II.10)$$

La moyenne temporelle de ces deux équations donne ainsi un modèle moyen de ce convertisseur :

$$L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} = V_{bat} - (1 - \alpha_{bat}) V_{dc} \quad (II.11)$$

Le modèle de l'équation (II.11) reproduit le comportement de la batterie en cas de charge ($i_{bat} < 0$) et en décharge ($i_{bat} > 0$)

Remarque : Le convertisseur bidirectionnel du supercondensateur est modélisé de façon analogue à celui de la batterie :

$$L_{sc} \frac{di_{sc}}{dt} = V_{sc} - (1 - \alpha_{sc}) V_{dc} \quad (\text{II.12})$$

II.6 LES DIFFERENTS CYCLES DE CONDUITES

Fondamentalement, le développement des cycles de conduite implique :

- l'enregistrement des conditions de conduite à l'aide d'un ou plusieurs véhicules instrumentés, privés ou non, et généralement conduits pour leurs usages habituels. Les données ainsi enregistrées donnent une image attendue des conditions de circulation.

- analyser les données ci-dessus afin de décrire ou caractériser ultérieurement ces conditions. Ces analyses impliquent souvent de définir un niveau d'analyse (c'est-à-dire une échelle sur laquelle les habitudes de conduite sont analysées) et des variables décrivant ces habitudes de conduite.

- développer un ou plusieurs cycles représentatifs des conditions enregistrées, d'abord en termes de vitesses vécues, parfois d'accélération, de conditions de démarrage, de changements de vitesses, de température, de chargement. [37]

II.6.1 Cycle Américain

a- Cycle FTP75 (Federal Test Procedure, ou UDDS Urban Dynamometer Driving Schedule):

C'est le cycle actuellement utilisé pour contrôler les émissions des véhicules légers. Il simule un parcours urbain de 17,9 km et 31 minutes de route. La vitesse atteint 91 km/h, la vitesse moyenne est de 34 km/h. Les périodes à l'arrêt (au ralenti) représentent de l'ordre de 20% de la durée totale. Ce cycle, construit sur la base d'un itinéraire étudié à Los Angeles (en 1972) se compose de 3 phases :

- phase 1: elle s'effectue avec démarrage moteur froid, après repos du véhicule une nuit entière à 20°C (cette phase complète la procédure antérieure intitulée FTP72) ;

- phase 2 : elle s'enchaîne à la première après 10 mn. De repos;

- phase 3 : c'est la répétition de la phase 1, et elle s'effectue 10 mn après la phase 2, donc moteur chaud (cf. figure II.8).

Trois prélèvements des gaz d'échappement et 3 mesures globales sont effectués (par phase). Chacune des mesures est assortie de coefficients de pondération (respectivement : 0,43, 1, 0,57), déterminés pour rendre compte d'une moyenne de 4,7 démarrages par jour pour un véhicule aux États-Unis [38]. Les conditions de passage des rapports de boîte de vitesse ne sont

pas déterminées par la procédure et sont laissées pour chaque modèle à l'initiative de son constructeur. [41]

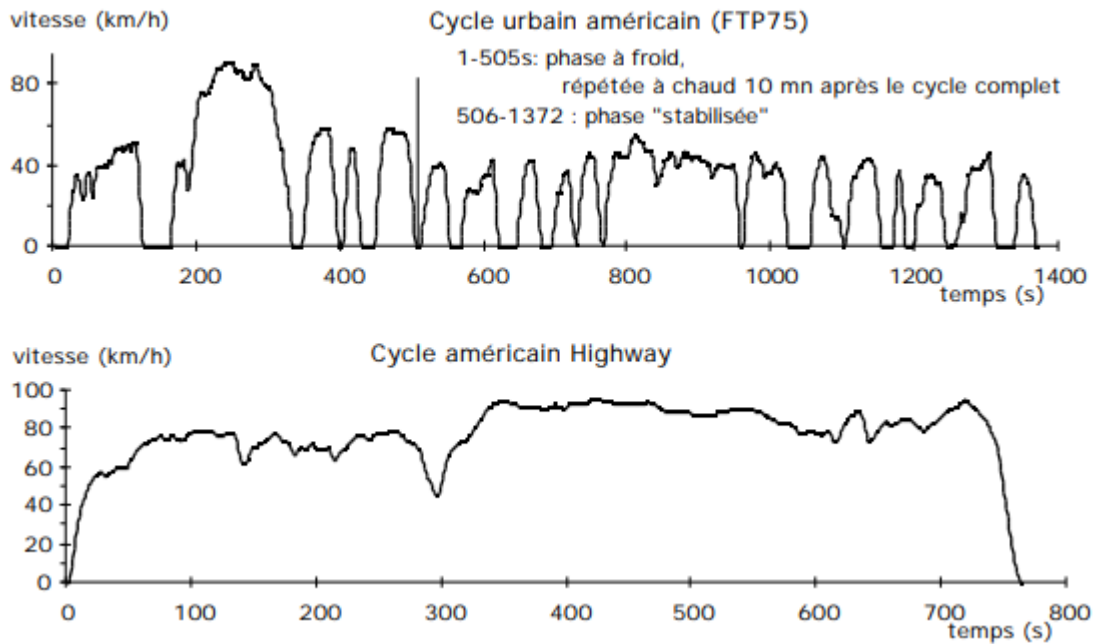


Figure II.6 Cycles américains FTP 75 (urbain) et Highway (autoroutier) pour véhicules légers sur banc à rouleaux [41]

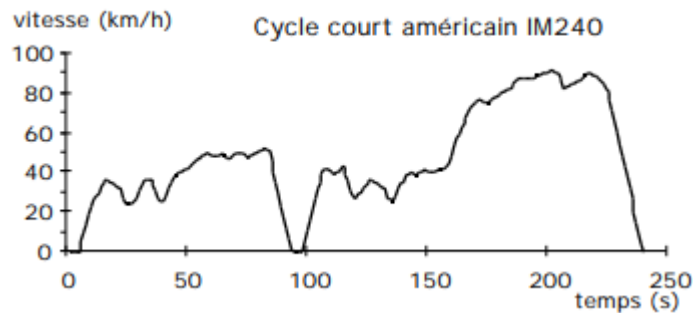


Figure II.7 Cycle américain court IM240 (véhicules légers, sur banc à rouleaux, lors du contrôle technique) [41]

Cette procédure est actuellement l'objet de révisions, en vue d'intégrer des conditions de fonctionnement des véhicules mal décrites par le cycle FTP75 : accélérations fortes, vitesses élevées ainsi que pour mieux cadrer avec les conditions d'utilisation des véhicules : conditions de conduite lors du démarrage, longueurs des trajets et périodes de repos entre trajets. [39] [40]

II.6.2 Cycle Australien

Est basée sur une adaptation du cycle américain, assorti de coefficients de pondération spécifiques au pays

a- Cycle "Highway" (Highway Fuel Economy Test, ou HFET):

Il s'agit d'un parcours interurbain de 16,4 km (vitesse moyenne : 77 km/h, maximale: 96,4 km/h, cf. figure II.8), parcouru 2 fois, la mesure étant effectuée sur la deuxième fois. Il a été construit initialement pour la mesure de la consommation. [41]

b- Cycle court IM240 :

C'est un cycle transitoire, de durée limitée (240 secondes) qui doit être utilisé lors des programmes de vérification des véhicules en service (programmes Inspection / Maintenance, figure II.9). [41]

II.6.3 Cycle Européen

Cycles Europe ECE15 et EUDC : le cycle ECE15 (figure II.10) avec son extension périurbaine est actuellement en vigueur en Europe. Il s'est également imposé dans certains pays en voie de développement. Le cycle se compose de 4 km en conditions de circulation urbaine (18,7 km/h) et de 7 km en périurbain (62,6 km/h). Le cycle urbain a été construit à partir de mesures de cinématiques de véhicules circulant à Paris (en 1962). Les rapports de boîte de vitesse sont imposés aux paliers de vitesse. Les émissions ne sont prises en compte qu'après 40 secondes de fonctionnement du moteur au ralenti, mais cette phase initiale devrait prochainement être intégrée à la mesure. [41]

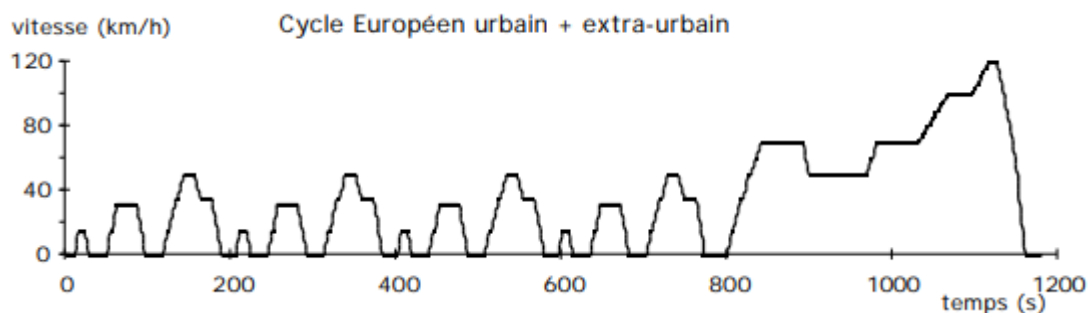


Figure II.8 Cycle Européen ECE urbain et périurbain (véhicules légers, sur banc à rouleaux)

[41]

Outre les paramètres de modélisation nécessaires pour la simulation du véhicule, un cycle de roulage doit être choisi. Il définit l'évolution de la consigne de vitesse du véhicule en fonction du temps. Il permet en général d'évaluer la consommation et/ou les émissions de polluants du véhicule. Dans la littérature, il existe plusieurs profils de roulage, vitesse/temps classifiés en deux catégories :

- Des cycles de roulage normalisés (comme par exemple, le ECE15 (cycle Européen Normalisé partie urbaine)) voir dans la Figure II.11. Étant des profils de vitesse simplistes, ils ne représentent pas un comportement réaliste du véhicule. Néanmoins, ils servent d'outils pour faciliter l'analyse et l'interprétation des résultats des différentes stratégies de gestion de l'énergie. [15]

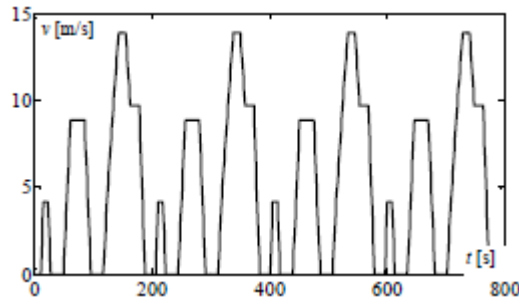


Figure II.9 Cycle de vitesse Européen Normalisé, partie urbaine (ECE15). [15]

- Des cycles de vitesse issus de mesures réelles, enregistrés lors des campagnes d'essais dans le cadre de projets Européens. Ils permettent une évolution plus réaliste des résultats issus des stratégies de gestion de l'énergie. La Figure II.12 illustre le cycle de vitesse réel utilisé dans notre étude.

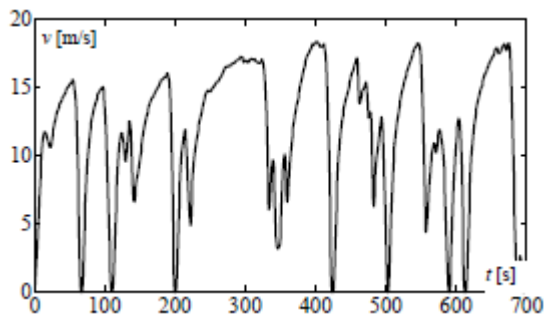


Figure II.10 Cycle de vitesse réel. [15]

Notons que nous n'avons utilisé que la partie urbaine du cycle parce que l'étude s'appuie sur un véhicule électrique à usage urbain.

Pour les simulations, on réalise une poursuite de la consigne de vitesse.

II.6.4 Cycle Japonais

Le cycle urbain 10-15 modes (figure II.11) consiste en 3 phases de 0,664 km à 17,7 km/h suivies d'une phase périurbaine atteignant 70 km/h (soit au total 4,16 km, 22,7 km/h, 31% au ralenti). Le cycle autoroute urbaine 11 modes consiste en un parcours de 1 kilomètre à 30,6 km/h. [41]

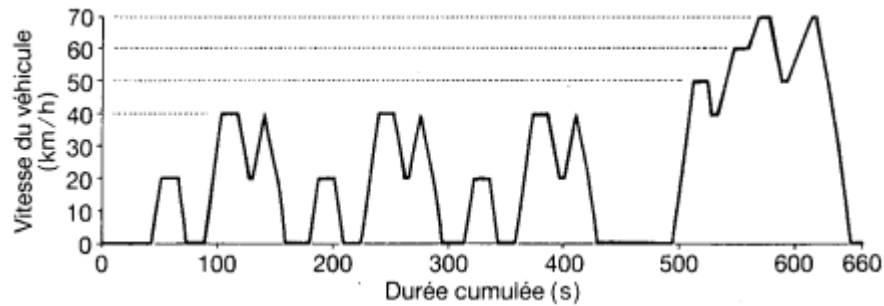


Figure II.11 Cycle japonais 10-15 modes (véhicules légers, sur banc à rouleaux) [41]

II.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons choisi le schéma le plus approprié pour modéliser individuellement la batterie et le supercondensateur, puis les avons regroupés dans le système global du véhicule électrique. Nous avons également défini les cycles et types de conduite les plus populaires. Quant à la modélisation, cette dernière nous permettra de prédire les performances du système en appliquant simplement les méthodes de contrôle proposées dans le chapitre suivant.

Chapitre III : Résultats de Simulation

III.1 INTRODUCTION

Après avoir connu les lois et modèles de contrôle qui ont été développés pour les différents éléments du système du véhicule électrique dans le chapitre précédent, nous utiliserons ces lois et modèles de contrôle pour conduire les résultats de simulation obtenus au cours de cette étude. L'un des objectifs de ce travail est d'améliorer la stratégie de gestion de l'énergie

Pour préserver ses éléments et également atteindre les meilleures performances de cette voiture

III.2 APPROCHE DE COMMANDE

III.2.1 Commande du bus contenue

La conception de cette commande est basée sur la théorie directe de Lyapounov. La stabilité asymptotique globale du système est assurée par un choix judicieux d'une fonction candidate de Lyapounov définie positive. [42]

On définit l'erreur de tension du bus comme suit :

$$e = V_{dc} - V_{dc_{ref}} \quad (\text{III.1})$$

La dérivée de l'erreur est alors :

$$e' = V_{dc}' - V_{dc_{ref}}' \quad (\text{III.2})$$

On choisit une fonction de Lyapounov quadratique :

$$V = 0.5 * e^2 \quad (\text{III.3})$$

La dérivée de V s'écrit :

$$V' = e * e' \quad (\text{III.4})$$

Une condition suffisante de stabilité est d'assurer la dérivée de V semi définie négative.

Choisissons une dérivée de V de forme exponentielle :

$$V' = -K_2 e^2 \quad (\text{III.5})$$

D'où, on aura:

$$e' = -K_2 e \quad (\text{III.6})$$

A partir de l'équation dynamique du bus continu :

$$i_c = C \frac{dV_{dc}}{dt} \quad (\text{III.7})$$

D'après l'équation (III.2) on a :

$$V_{dc}' = e' + V_{dc_{ref}}' \quad (\text{III.8})$$

En substituant l'expression de V_{dc}' de l'équation (III.8) dans l'équation (III.7), on déduit:

$$i_c = C (e' + V_{dc_{ref}}') \quad (\text{III.9})$$

Dans notre cas, la tension de référence $V_{dc_{ref}}$ est choisie égale à 100 V, et ce pour ne pas surdimensionner les éléments de stockage.

L'équation (III.9) devient :

$$i_c = C * e' \quad (\text{III.10})$$

En remplaçant l'équation (III.6) dans (III.10), on obtient :

$$i_c = - C K_2 e \quad (\text{III.11})$$

Où

$$K = - C K_2 \quad (\text{III.12})$$

Sur la figure (III.2) est illustré le schéma de principe de la régulation du bus continu. Il est à noter qu'une fois la tension du bus réglée, le courant i_c désigne le courant des sources de secours (batteries et supercondensateurs). [42]

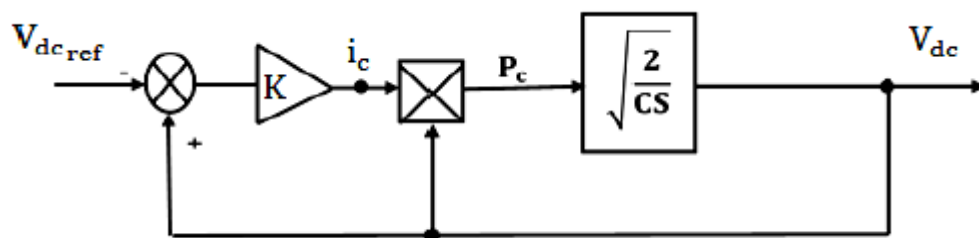


Figure III.1 Schéma du contrôleur robuste du bus continu [42]

III.2.2 Calcul du paramètre du régulateur

Le courant fourni en sortie par le supercondensateur est exprimé par la fonction de transfert dans l'Equation (III.1) (une modélisation similaire est faite pour le courant de la batterie voir Equation (III.2)) :

$$H_{sc}(s) = \frac{i_{sc}}{\alpha_{sc}} = \frac{-V_{dc_{ref}}}{L * s + R_{sc}} \quad (\text{III.13})$$

$$H_{bat}(s) = \frac{i_{bat}}{\alpha_{bat}} = \frac{-V_{dcref}}{L * s + R_{bat}} \quad (III.14)$$

Une structure de régulation classique du type proportionnel-intégral (PI) (avec boucle d'anti-saturation) est employée afin de suivre les références respectivement des courants de la batterie et du supercondensateur [43].

La fonction de transfert générale des correcteurs PI utilisée dans la structure de régulation bas niveau a la forme suivante :

$$H_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} \right) \quad (III.15)$$

Où K_p (K_{p1} ou K_{p2}) et T_i (T_{i1} ou T_{i2}) sont les paramètres de correcteur PI

En utilisant les Equations (III.1) et (III.2) nous pouvons écrire la fonction de transfert dans le cas général :

$$H(s) = \frac{-V_{dcref}}{L*s+R} = \frac{\frac{-V_{dcref}}{R}}{\frac{L}{R}*s+1} = \frac{-K}{T*s+1} \quad (III.16)$$

Où $K = V_{dc} / R$ et $T = L / R$ avec $R = R_{bat}$ pour le régulateur du convertisseur de la batterie ou $R = R_{sc}$ pour le régulateur du convertisseur du supercondensateur.

III.3 RESULTATS DE SIMULATION

On remarque une fluctuation de la valeur du courant de charge, atteignant 10 ampères à sa valeur maximale, et quant à la valeur minimale, elle atteint -5 ampères.

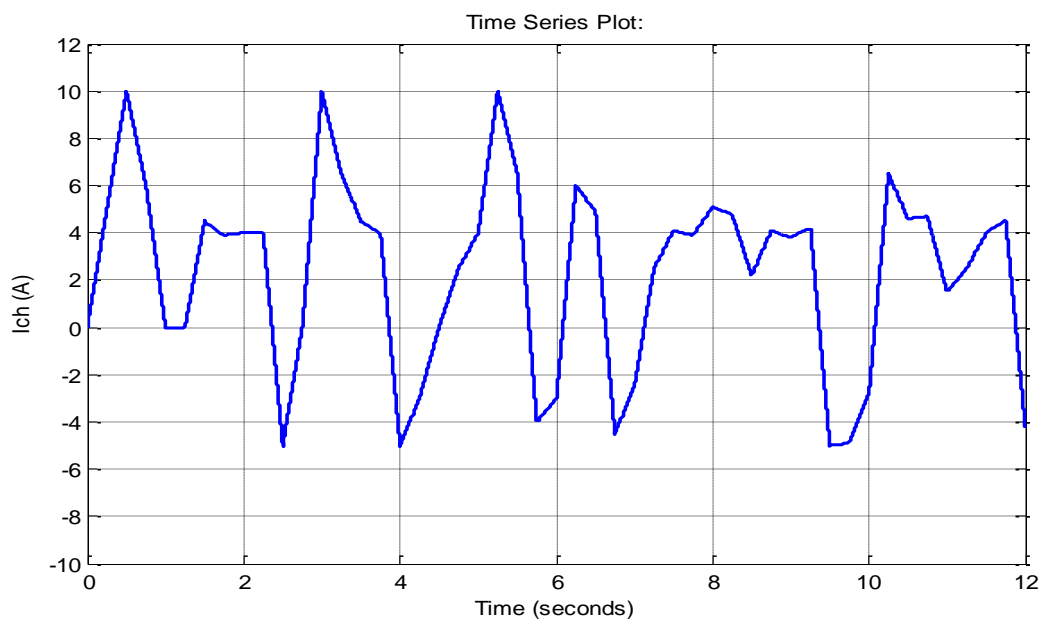


Figure III.2 Le courant de la charge

Le comportement de la tension aux bornes du bus contenu durant le cycle de fonctionnement est donné par la Figure III.2. Comme prévu, la tension de référence est maintenue à sa valeur de référence 100 V, avec de légers changements en la tension du bus contenu.

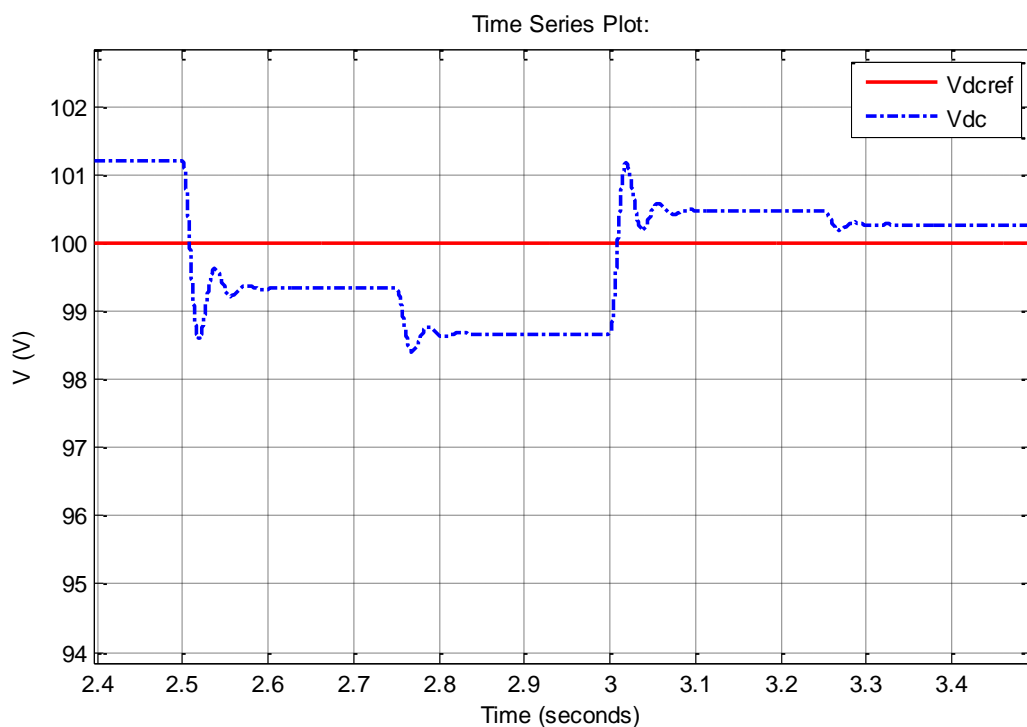


Figure III.3 la tension du bus contenue et sa tension de référence

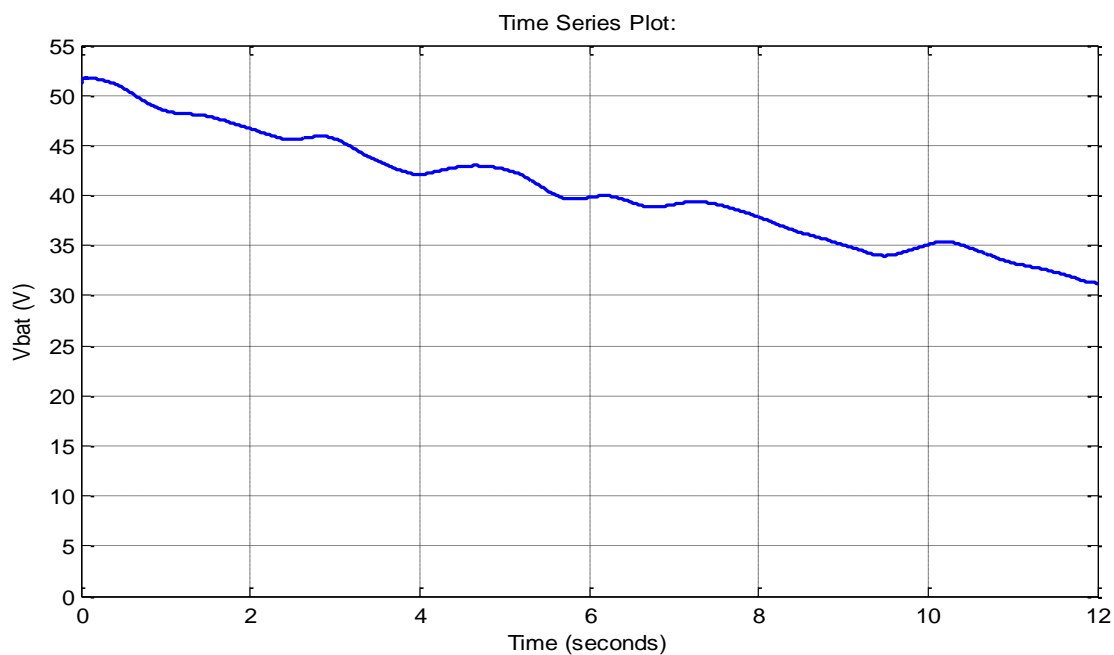


Figure III.4 la tension de la batterie

Où l'on note dans la figure III.4 la diminution de la valeur du courant dans la batterie à partir de la valeur de 52 volts jusqu'aux limites de 30 volts pendant que la voiture fonctionne

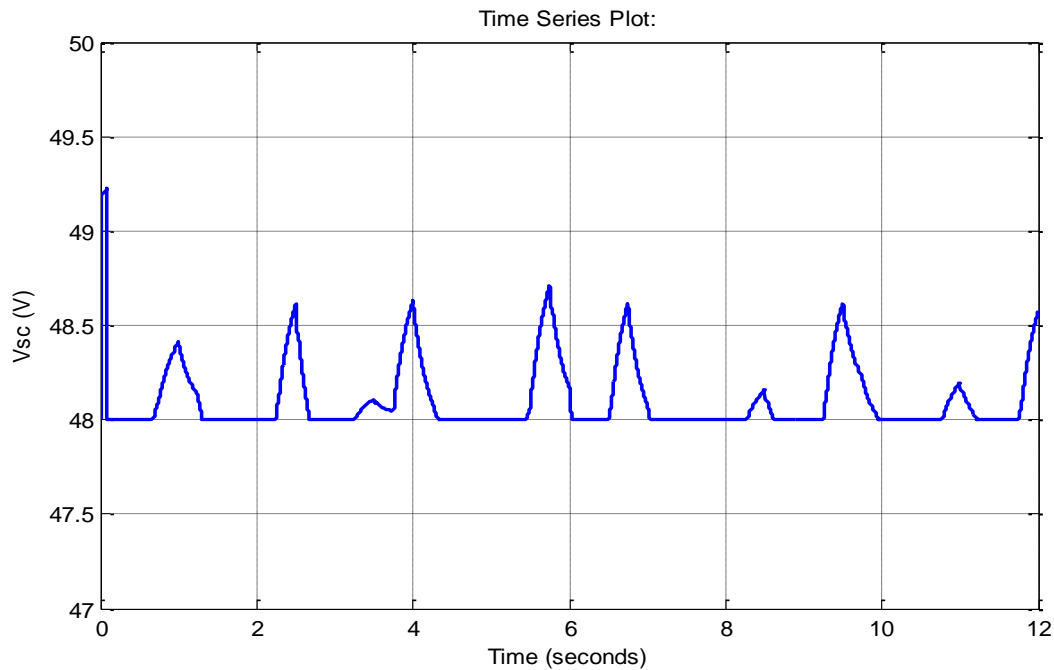


Figure III.5 la tension du supercondensateur

La Figure III.5 montre la tension de fonctionnement du supercondensateur. Son objectif est de maintenir un niveau d'énergie suffisant dans ce supercondensateur, ce qui se traduit en gardant V_{sc} dans des limites admissibles, dépendantes de chaque cas particulier, Où il ne peut pas descendre de la valeur de 48 volts à un maximum de 60 volts

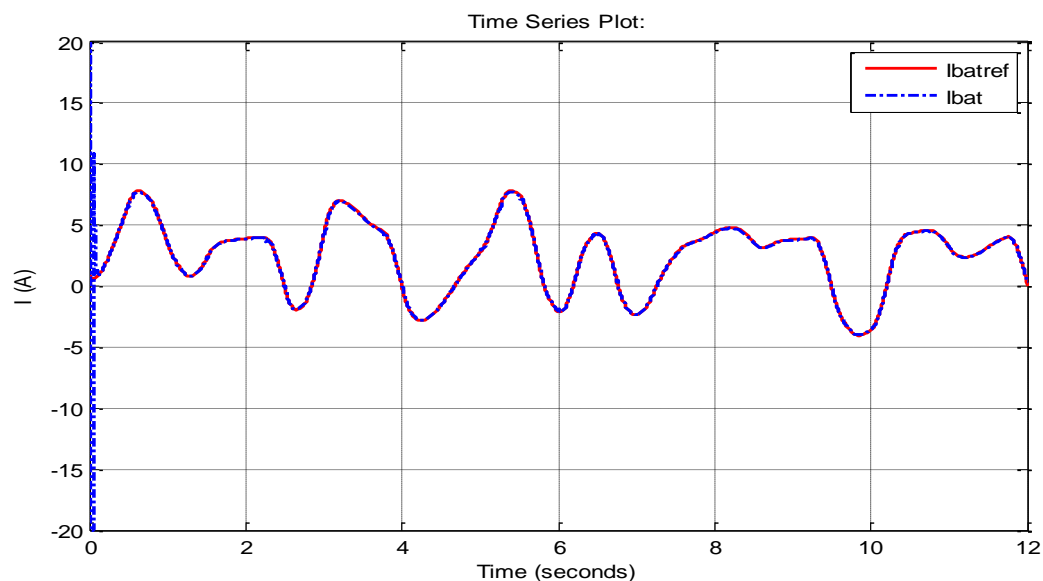


Figure III.6 le courant de la batterie et se courant de référence

Les comportements de la variation du courant de la batterie, de la variation du courant du supercondensateur sont données par la Figure III.6 et III.7 Nous notons également que le courant de la batterie correspond au sa courant de référence et la même chose avec le supercondensateur.

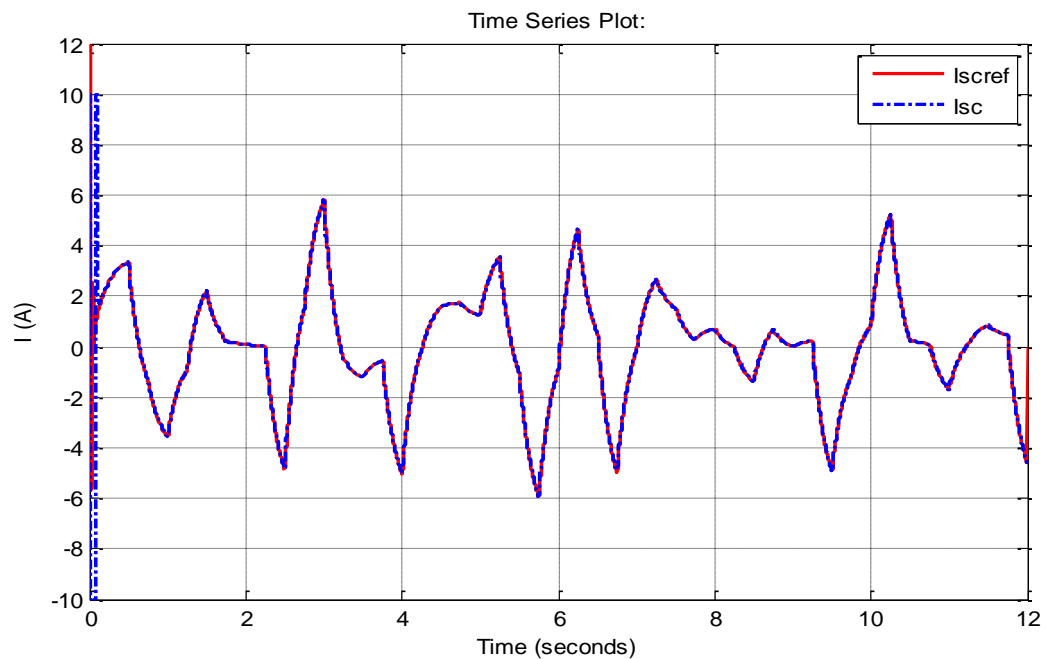


Figure III.7 le courant du supercondensateur et se courant de référence.

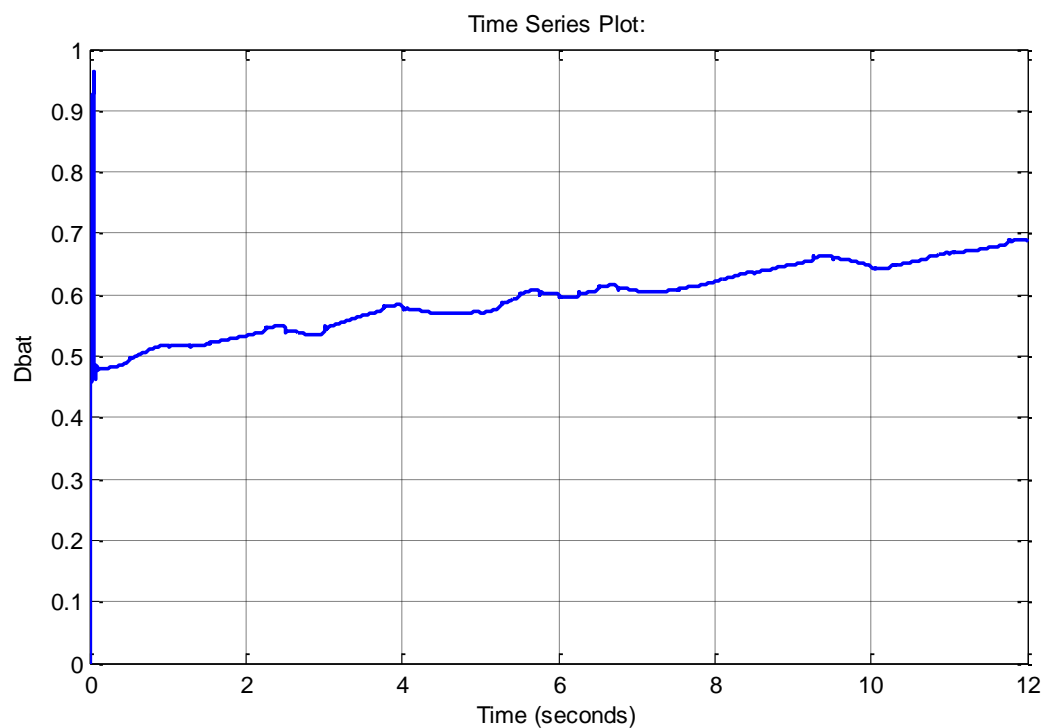


Figure III.8 le rapport cyclique de l'hacheur de la batterie.

Comme on peut le voir, les valeurs des tensions de la batterie et du supercondensateur respectivement sont différents. Ainsi, les deux rapports cycliques pour les deux convertisseurs de puissance ont des valeurs différentes. (Figure III.8 et III.9). En analysant les deux courbes, nous constatons que le rapport cyclique de la batterie II emprunte un chemin ascendant à partir de 0,5, et en même temps le rapport cyclique du supercondensateur est approximativement constant à 0,5.

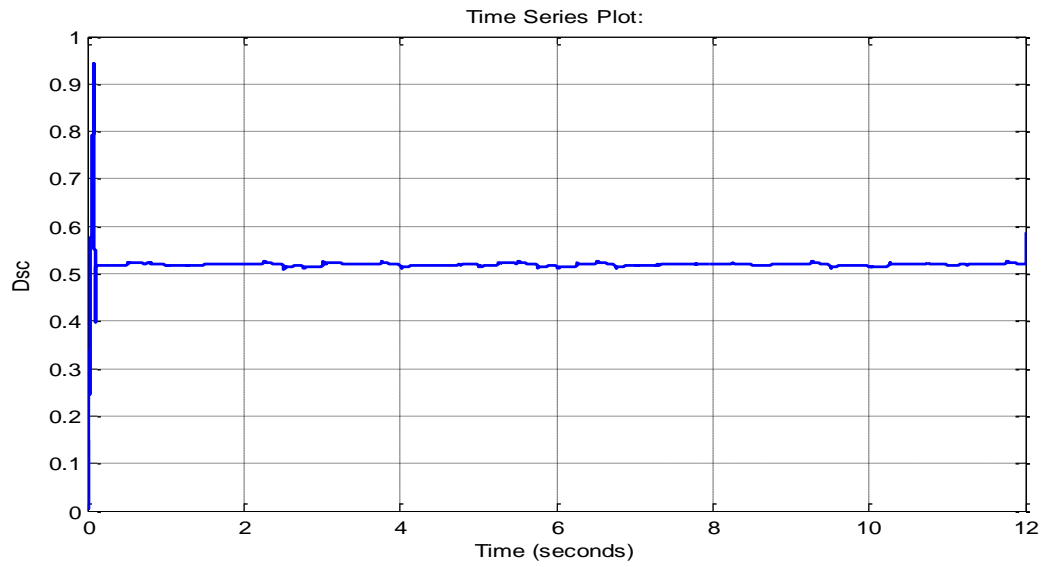


Figure III.9 le rapport cyclique de l'hacheur du supercondensateur.

Le rôle du filtre

Le filtre passe-bas agit sur la sortie du correcteur proportionnel-intégral (PI), reflétant la demande totale du courant de charge, en orientant une composante à basse fréquence qui devient la référence pour la boucle de contrôle du courant de la batterie et une composante à haute fréquence étant la référence pour la boucle de contrôle du courant dans le supercondensateur.

III.4 CONCLUSION

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de simulation d'un système de gestion de l'énergie VE. Cela permet une gestion efficace de l'énergie, afin de répondre aux exigences du véhicule pour fonctionner de la meilleure façon possible. D'autre part, les supercondensateurs peuvent répondre à des besoins en énergie électrique très importants dans des délais de 1 à 10 secondes. Les batteries peuvent également répondre aux besoins avec une stabilisation lente du temps.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à comprendre le système de gestion de l'énergie dans un véhicule électrique comprenant des supercondensateurs en sus des batteries. Un des objectifs principaux a été de minimiser le stress dans les batteries en faisant supporter aux supercondensateurs les fortes dérivées du courant. Aussi la définition d'une stratégie de gestion d'énergie permettant les échanges de flux d'énergie entre les sources et la charge. Des simulations sous Matlab/Simulink de l'ensemble du sous-système.

Dans le but de valider le système de gestion proposée, nous avons dans un premier temps défini la structure électrique du véhicule ainsi que les modèles de ses différentes composantes.

La question de la gestion de l'énergie dans le véhicule électrique a été traitée en prenant en compte les supercondensateurs comme source auxiliaire. Une stratégie de gestion de l'énergie basée sur la séparation en fréquence a été mise en œuvre. La gestion d'énergie a permis d'utiliser une structure de contrôle-commande simplifiée, facile d'implantation dans un véhicule réel et en même temps respectant les contraintes du constructeur. Le problème de la gestion de l'énergie a été divisé en deux approches : la première a consisté en utilisation d'un filtre de premier ordre pour la séparation en fréquence et la deuxième s'appuie sur un filtre adaptatif où la fréquence de séparation peut être modifiée en temps réel. Les résultats des simulations ont montré que le courant de la batterie peut être lissé en fonction des préférences de l'utilisateur par une simple reconfiguration des paramètres concernant la fréquence de séparation.

Les perspectives résultant de ce travail sont très nombreuses dans le cadre actuel pour la recherche concernant la diminution du stress dans les batteries et l'accroissement de leur durée de vie.

La réalisation d'un banc d'essai à partir des résultats de simulation pour compléter le travail et concrétiser ce projet.

Annexes

Les caractéristiques de la batterie :

- La tension 48 V
- La capacité 200 Ah
- r_{bat} 0.02 Ω
- n 24 cellules

Convertisseur associé $L_{bat} = 250 \mu H$

Les caractéristiques du supercondensateur :

- Capacité totale 14.5 F
- Tension nominale 60 V
- Energie disponible 19575 J
- R_{sc} 0.11827 Ω

Bus continu :

- C 0.001 F
- V_{dc} **100 V**

Les Paramètres du regulateur PI du bus contenu

$K_P = 2.5$

$T_i = 33 \text{ ms}$

Références bibliographiques

- [1]. H. Benariba, Contribution à la commande d'un véhicule électrique, Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Décembre 2018.
- [2]. D. Benoudjit, Contribution à l'optimisation et à la commande d'un système de propulsion pour véhicule électrique, Mémoire de magister, Université de Batna, Thèse de doctorat, Janvier 2010.
- [3]. A. Boucha, Réalisation et commande d'un véhicule électrique par dSpace embarqué, Mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- [4]. A. Nouh, Contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électriques routiers, Thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard et par l'université de Franche-Comté, Mars 2008.
- [5]. S. Zaouzaou, S. Meziani, Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2017.
- [6]. B. Chauchat, Chargeur de batteries intégrée pour véhicule électrique, Thèse de doctorat, Novembre 1997.
- [7]. Tesla(automobile).
- [8]. A. Neffati. Stratégies de gestion de l'énergie électrique d'un système multi-source : décision floue optimisée pour véhicule électrique hybride. Thèse de doctorat, Université Toulouse III, Paul Sabatier, 2013.
- [9]. A. Daanoune, Contribution à l'Etude et à l'Optimisation d'une Machine Synchrone à Double Excitation pour Véhicules Hybrides, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Décembre 2012.
- [10]. MARIF Ismail & ABDAT Hichem. La commande en vitesse d'un véhicule électrique, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2019.
- [11]. V. Mester, Conception optimale systématique des composants des chaînes de traction électrique, Thèse doctorat, Ecole centrale de Lille, Mai 2007
- [12]. A. PAYMAN, Contribution à la gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides Multi-sources Multi charges, Thèse de doctorat, L'institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [13]. N. Janiaud, Modélisation du système de puissance du véhicule électrique en régime transitoire en vue de l'optimisation de l'autonomie des performances et des coûts associés, Thèse doctorat, Supélec, Septembre 2011.
- [14]. G. Henni, Modélisation et Commande d'un véhicule électrique hybride, Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef,

- [15]. Adrian Florescu. Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique. Energie électrique. Université de Grenoble, 2012.
- [16]. A. Boucherit. Conception d'un convertisseur de puissance pour les véhicules électriques multi-sources. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort–Montbéliard, 2011.
- [17]. R. Mosdale. Transport électrique routier batteries pour véhicules électriques. Techniques de l'ingénieur, (D5565), 2003.
- [18]. Rania MKAHL Contribution à la modélisation, au dimensionnement et à la gestion des flux énergétiques d'un système de recharge de véhicules électriques : étude de l'interconnexion avec le réseau électrique, thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD, 2015.
- [19]. S. Butterbach, Stockage d'énergie électrique par association de batteries au plomb et de supercondensateurs pour véhicule lourd, Thèse de doctorat, Université de technologie de Compiègne, septembre 2012.
- [20]. W. Lajnef, Modélisation des supercondensateurs et évaluation de leur vieillissement en cyclage actif à forts niveaux de courant pour des applications véhicules électriques et hybrides, Thèse de doctorat, L'université Bordeaux 1, Décembre 2006.
- [21]. HASSAINE Zakaria et ZEGHOUDI Soufiane, Commande latérale d'un véhicule électrique, mémoire de master, université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen de Tlemcen, 2020
- [22]. M. EHSANI, Y. GAO, S. E. GAY and A. EMADI, « Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Fundamentals, theory, and design », Boca Raton (USA) CRC Press, 2005.
- [23]. P. TRITSCHLER, « Optimisation de l'architecture électrique et gestion pour un système à pile combustible embarquée dédiée à l'application agricole », Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2010.
- [24]. H. Gualous and R. Gullay. Applications des supercondensateurs. Technique de l'ingénieur, 2007.
- [25]. Damien Paire, « Dimensionnement et gestion d'énergie de systèmes d'entraînements électriques hybrides : application à un ascenseur avec récupération d'énergie », Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, soutenue le 6 décembre 2010.

- [26]. Yann Riffonneau, « gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau – Application à l’habitat », Thèse de doctorat de l’Université de JOSEPH FOURIER, soutenue le 23 octobre 2009.
- [27]. Olivier Gergaud, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat de l’École Normale Supérieure de Cachan, Soutenue le 9 décembre 2002.
- [28]. Mohamed A. Ould Yahya 1, A. Ould Mahmoud 1 et I. Youm 2, « Modélisation d’un système de stockage intégré dans un système hybride (PV / Eolien / Diesel) », Revue des Energies Renouvelables, CDER, Vol. 10 N°2, 2007.
- [29]. Hoang Anh Dang¹, Caroline GUYON², Benoit DELINCHANT¹, Patrick BEGUERY², Frédéric WURTZ¹ « Gestion de l’énergie électrique dans l’habitat, cas du stockage électrochimique », rapport de Schneider Electric, juin 2012.
- [30]. Redha Sadoun, « Intérêt d’une Source d’Energie Electrique Hybride pour véhicule électrique urbain – dimensionnement et tests de cyclage », Thèse de doctorat de l’ECOLE CENTRALE DE LILLE, soutenue publiquement le 03/06/2013.
- [31]. Phatiphat Thounthong, « Conception d’une source hybride utilisant une pile a combustible et des supercondensateurs », Thèse de doctorat à L’Institut National Polytechnique de Lorraine, Soutenue le 09 décembre 2005.
- [32]. Hattab Maker, « Optimisation et gestion d'énergie pour un système hybride : association Pile à Combustible et Supercondensateurs », Thèse de doctorat de l’Université de TECHNOLOGIE BELFORT MONTBELIARD, soutenue publiquement le 4 novembre 2008.
- [33]. M.Y. Ayad, M. Becherif, D. Paire, A. Djerdir et A. Miraoui , « Passivity based control of hybrid power sources using fuel cell, supercapacitors, and batteries on the dc link for energy traction system», IEEE International Electric Machines & Drives Conference IEMDC '07, volume 1,2007.
- [34]. Damien Paire, Marcelo G. Simoes Jérémy Lagorse and Abdellatif Miraoui «A real-time sharing reference voltage for hybrid generation power system», IEEE conférence, 2010.
- [35]. Ionel Vechiu, « modélisation et analyse de l’intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thèse de doctorat de l’université du Havre, Soutenue le 15 décembre 2005.
- [36]. M. Becherif, M.Y. Ayad et A. Miraoui, « Modeling and Passivity-Based Control of Hybrid Sources: Fuel Cell and Supercapacitors», ISA 2006, vol.3, USA, Oct 2006.

- [37]. ANDRE.M .the ARTEMIS European driving cycle for measuring car pollutant emissions. Science of the total environment, 334-335, 73-84, 2004.
- [38]. RAYNAL, B. Moteurs thermiques et Pollution atmosphérique: Réglementations des véhicules automobiles. Techniques de l'Ingénieur. 1991. 17p. Fascicule B 378,2
- [39]. ENNS, P., GERMAN, J., MARKEY, J. EPA's Survey of In-Use Driving Patterns: Implications for Mobile Source Emission Inventories. Communication au congrès: AWMA/CARB: Specialty Conference on Emission Inventory: Perception and Reality, Pasadena, Californie, Octobre 1993. Ann Arbor (MI, USA): U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Certification Division, 1993. 18p.
- [40]. E.P.A. (Environmental Protection Agency). Federal Test Procedure Review Project: Preliminary Technical Report. Washington: U.S. EPA, Office of Air and Radiation, 1993.224 p. Report EPA420-R-93-007
- [41]. Michel André. Construction de cycles de conduite représentatifs pour la mesure des émissions de polluants des véhicules. Environnement et Société. INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON, 1998.
- [42]. Maamir, Madiha “*Gestion d’énergie d’un système d’entraînement électrique hybride basé sur un moteur synchrone à aimants permanents*”. Masters thesis, Université Mohamed Khider Biskra, 2014
- [43]. K. J. ÅSTROM, and T. HAGGLUND, « PID controllers: theory, design and tuning », 2nd edition, Instrument Society of America, 1995.

Resumé

Ce travail s'inscrit à un système électrique permettant de faire fonctionner un VE. Des batteries, et des supercondensateurs alimentent, via des convertisseurs de puissance. Les éléments constitutifs de la chaîne électrique ont été d'abord modélisés à des fins de commande et de simulation. Une partie de la chaîne de puissance est soit émulée par des sources contrôlées ou réalisée via des maquettes à échelle réduite mais à facteur de similitude respecté. Les essais sur le banc de test ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants et encourageants.

L'objet proposé consiste à optimisation le système de gestion d'énergie qui permettant de commander efficacement l'énergie fournie par les différentes sources.

Mots clés : véhicule électrique, batterie, supercondensateur, gestion d'énergie, commande électrique.

Abstract

This work is part of an electrical system to run an EV. Batteries and supercapacitors supply power via power converters. The building blocks of the power chain were first modeled for control and simulation purposes. A part of the power chain is either emulated by controlled sources or produced by models on a reduced scale but with a respected factor of similarity. The tests on the test bench produced satisfactory and encouraging results.

The proposed object is to optimize the energy management system ,which allows efficient control of the energy supplied by the different sources.

Keywords: electric vehicle, battery, supercapacitor, energy management, electrical control.

ملخص

هذا العمل جزء من نظام كهربائي لتشغيل السيارة الكهربائية. توفر البطاريات والمكثفات الفائقة الطاقة عبر محولات الطاقة. تم تصميم اللبنة الأساسية لسلسلة الطاقة لأول مرة لأغراض التحكم والمحاكاة. يتم محاكاة جزء من سلسلة الطاقة بواسطة مصادر خاضعة للرقابة أو يتم إنتاجه عبر نماذج على نطاق منخفض ولكن مع عامل تشابه محترم. أسفرت الاختبارات التي أجريت على منصة الاختبار عن نتائج مرضية ومشجعة.

الهدف المقترح هو تحسين نظام إدارة الطاقة الذي يسمح بالتحكم الفعال في الطاقة التي توفرها المصادر المختلفة.

الكلمات المفتاحية: سيارة كهربائية، بطارية، مكثف فائق، إدارة طاقة، تحكم كهربائي.