

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

جامعة ابي بكر بلقايد - تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen

كلية التكنولوجيا
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electrotechnique

Spécialité : Commande Eléctriques

Par :

Heddadji amir younes

Benahmed miloud

Sujet

**Chargeur embarqué a bord et
intégré a la chaine de traction pour
véhicule électrique**

Soutenu publiquement, le 13 / 06 / 2024 , devant le jury composé de :

BENHABIB . M .C

BENARIBA . H

GHLAM . K

Professeur

MCA

MCA

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examinateur

Encadreur

Année universitaire : 2023 /2024

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers, respectueux et magnifiques parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

*A mes frères : **habib et ziad***

*A toute ma famille : **Heddadji***

A tous mes collègues et mes amis. et toute personne que je connais.

*Ainsi ne oublier pas mon binôme : **benahmed miloud***

Merci.

Heddadji . A

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers, respectueux et magnifiques parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes frères et ma sœur

*A toute ma famille : **Benahmed***

A tous mes collègues et mes amis. et toute personne que je connais

*Ainsi ne oublier pas mon binôme : **heddadj** **amir younes***

Merci.

Benahmed . M

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, notre **Dieu** le plus puissant qui a bien voulu nous donner la force et le courage pour effectuer ce présent travail.

À mes chers **parents**, en témoignage de ma reconnaissance pour leur patience, leur sacrifice et leur soutien indéfectible tout au long de mes études.

Que dieu leur prête santé.

nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Madame **Dr. GHLAM KARIMA** pour suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants qui nous ont enseigné depuis le primaire.

Nous tenons à exprimer nos gratitudeux aux membres du jury Monsieur **BENHABIB .M .C** et Monsieur **BENARIBA .H**, qui ont accepté d'examiner notre travail.

Un grand merci également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Heddadji et Benahmed

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	iii
Notations et Symboles	vii
Introduction générale	1
I Généralités sur les véhicules électriques	3
I.1 Introduction	3
I.2 Histoire des véhicules électriques	4
I.3 Les sources d'énergie	7
I.4 Véhicule électrique	8
I.5 Fonctionnement d'un véhicule tout électrique	8
I.6 Véhicule hybride électrique	9
I.6.1 Hybride série	10
I.6.2 Hybride parallèle	11
I.6.3 Hybride Série/Parallèle	12
I.7 La différence entre une voiture électrique et une voiture hybride	12
I.8 Types des véhicules électriques	13
I.8.1 Véhicule électrique à batterie	13
I.8.2 Véhicule hybride électrique	13
I.8.3 Véhicule hybride rechargeable	13
I.8.4 Véhicule électrique à pile à combustible	13
I.9 Traction	14
I.10 Les différentes architectures de traction	14
I.10.1 Véhicules électriques mono moteur	15
I.10.2 Véhicules électriques bi moteur	16
I.10.2.1 Moteur synchrones (MS)	16
I.10.2.2 Moteur asynchrone :	17
I.11 Sources d'énergies pour les véhicules électrique	18
I.11.1 Batteries pour VE	18
I.11.1.1 Inconvénients de la batterie de voiture électrique	18
I.11.2 Super-condensateurs	19
I.11.3 Une pile à combustible :	20
I.12 Différents modes de charge pour véhicules électriques	21
I.12.1 Prise domestique	21
I.12.2 Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection	22
I.12.3 Prise spécifique sur un circuit dédié	22
I.12.4 Connexion courant continu	22
I.13 Convertisseurs statiques de puissance	22
I.14 Auxiliaires pour VE	23
I.15 Réseau de recharge en Algérie	24

I.16	Avantages et Inconvénients des VE	24
I.17	Distance parcourue avant d’avoir à recharger le véhicule électrique	25
I.18	Vitesse maximale d’un véhicule électrique	25
I.19	Normes de sécurité dans les véhicules électriques	26
I.20	Durée de vie d’une batterie et le cout de remplacement	26
I.21	Performance d’un véhicule électrique en hiver	26
I.22	Conclusion	26
II	Structure de charge	28
II.1	Introduction	28
II.2	Stockage d’énergie	28
II.2.1	La batterie	29
II.2.1.1	Les différents types de batteries	30
II.2.1.2	Modélisation de la batterie	33
II.2.1.3	État de charge de la batterie (SOC)	34
II.2.1.4	Les inconvénients de la batterie	34
II.2.1.5	Le bilan écologique de la batterie voiture électrique	35
II.2.2	Le super condensateur composite structure	36
II.2.2.1	Structure d’un super condensateur composite structurel	36
II.2.2.2	Le principe de fonctionnement	37
II.3	Système de charge et niveaux de puissance	37
II.3.1	Convertisseur AC/DC (redresseur)	38
II.3.2	Correction du facteur de puissance (PFC)	39
II.3.3	Convertisseur DC/DC (le Hacheur)	39
II.3.4	Convertisseur DC/AC(Onduleur)	40
II.4	Chargeurs de batteries	40
II.4.1	Présentation des chargeurs des batteries	41
II.4.1.1	Chargeur externe	41
II.4.1.2	Chargeur embarqué	41
II.4.2	Chargeur de type rapide	41
II.4.2.1	Les bornes de recharge	41
II.4.2.2	Les chargeurs à coupleur inductif manuel	42
II.4.3	Chargeur de type lent	42
II.4.3.1	Chargeur classique	42
II.4.3.2	chargeurs à coupleur inductif automatique	43
II.4.4	Chargeurs filaires	43
II.4.4.1	Chargeurs filaires unidirectionnels	44
II.4.4.2	Chargeurs filaires bidirectionnels	44
II.4.5	Charge sur réseau monophasé	45
II.4.6	Charge sur réseau triphasé	48
II.5	Conclusion	49
III	Modélisation Et Simulation d’un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction	50
III.1	Introduction	50
III.2	Modélisation et Simulation d’un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction	51
III.3	Modélisation de la machine asynchrone	53
III.4	Simulation de machine asynchrone acage connectée à un réseau triphasé équilibré	54
III.4.1	Résultats de Simulation à Vide ($C_r=0$)	56
III.4.1.1	Interprétation des résultats	56

III.4.1.2	Résultats de Simulation en Charge	57
III.4.1.3	Interprétation des résultats	57
III.5	Modelisation et Simulation d'un onduleur	58
III.5.1	Modèle d'un onduleur	58
III.5.1.1	Les tensions composées	59
III.5.2	Principe de la Commande MLI	59
III.5.3	Simulation d'un onduleur de puissance avec la commande MLI	60
III.5.3.1	La MLI sinus-triangle	60
III.5.3.2	Equation de la porteuse	61
III.5.3.3	Equation de la référence	61
III.5.3.4	Schéma bloc d'une machine asynchrone commandé par un onduleur MLI	63
III.5.4	Les résultats de simulation de l'ensemble convertisseur-machine asynchrone	63
III.5.4.1	1er cas : Pour un couple de charge nul (moteur à vide $Cr = 0$)	63
III.5.4.2	Interprétation	64
III.5.4.3	2ième cas : Pour un couple de charge $Cr = 10$ Nm	65
III.5.4.4	Interprétation	65
III.6	Simulation du chargeur on board intégré en mode traction et en mode charge	66
III.6.1	Modélisation de couple de charge du véhicule électrique	75
III.6.1.1	Interpretation des resultats	78
III.6.2	Système de contrôle de batterie	78
III.6.2.1	Caractéristiques de LM3914	79
III.6.2.2	Réalisation du système de contrôle de batterie	81
III.7	Conclusion	82
	Conclusion générale	83
	Bibliographie	84
	Annexes	84
	Résumé	86

Table des figures

I.2.1	exemple de véhicule électrique « la jamais contante » réalisée en 1899[38].	6
I.2.2	Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui[39].	7
I.4.1	Véhicule électrique[41].	8
I.5.1	Constitution d'un véhicule électrique[42].	9
I.6.1	Automobile hybrides électrique[43].	10
I.6.2	Architecture série d'un HEV.	11
I.6.3	Architecture parallèle d'un HEV.	12
I.8.1	Véhicule hybride rechargeable[44].	13
I.8.2	Véhicule électrique à pile combustible.	14
I.10.1	Architecture d'un véhicule électrique mono moteur.	15
I.10.2	Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.	16
I.11.1	Super-condensateurs.	20
I.11.2	Principe de PAC.	20
I.12.1	Prise domestique.	21
II.2.1	La vue interne d'une batterie[19]	30
II.2.2	Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération[19].	31
II.2.3	Circuit équivalent de la batterie (pour une cellule) Modèle statique.	33
II.2.4	Comparaison entre les voiture a batterie électrique et les voiture hybride rechargeable dans le monde[19].	35
II.2.5	Structure d'un super condensateur[19].	37
II.3.1	Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.[19].	38
II.3.2	Schéma détaillé d'un redresseur.[19]	39
II.3.3	Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel[19]	40
II.4.1	Les topologies des chargeurs sont nombreux, mais ils peuvent être généralement classés en deux catégories : unidirectionnels et bidirectionnels.[29]	44
II.4.2	Chargeur unidirectionnel.[19]	44
II.4.3	Chargeur intégré bidirectionnel.[19]	45
II.4.4	Chargeur de batterie intégré basé sur des thyristors.[30]	46
II.4.5	Chargeur intégré basé sur un entraînement à deux moteurs.[30]	47
II.4.6	Chargeur triphasé avec machine deux pôles. (a) Mode traction, (b) Mode charge.[30]	48
III.2.1	Chaîne de traction d'un véhicule électrique[32]	52
III.4.1	Simulation du fonctionnement de la MAS alimenté par une source de tension triphasé.	55
III.4.2	Les résultats de la MAS à vide alimentée par un réseau.	56
III.4.3	Les résultats de la MAS en charge alimentée par un réseau.	57
III.5.1	Schéma d'un onduleur de tension triphasée.	58
III.5.2	Simulation de la commande MLI.	60
III.5.3	Principe de la commande MLI-ST.	61
III.5.4	Circuit de puissance d'un onduleur triphasé avec la commende MLI.	62
III.5.5	l'allure de tension a la sortie de l'onduleur.	62

III.5.6	Simulation d'une machine asynchrone commandé par un onduleur MLI. .	63
III.5.7	Résultats de la simulation du MAS commandé par un onduleur MLI. . .	64
III.5.8	Résultats de la simulation du MAS commandé par un onduleur MLI En charge.	65
III.6.1	Simulation du chargeur on board integre en mode traction.	66
III.6.2	Les graphes de la 1ér simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 650 v	67
III.6.4	Les graphes de la 1ér simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 400 v	69
III.6.5	Les graphes de la 1ér simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 300 v	69
III.6.6	Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 650 v	70
III.6.7	La vitesse W_r	70
III.6.9	Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 400 v	71
III.6.10	Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 300 v	72
III.6.11	simulation du chargeur on board integre en mode charge.	73
III.6.13	Les graphes de la simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 310 v	74
III.6.15	Les graphes de la simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 220 v	75
III.6.16	couple de charge de le véhicule électrique	76
III.6.17	Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 6.5 N.m	77
III.6.19	Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 32.5 N.m	77
III.6.20	Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 65 N.m	78
III.6.21	Système de contrôle de batterie sur logiciels Isis.	79
III.6.23	Circuit de contrôle de batterie.	82

Liste des tableaux

I.10.1	Exemples de l'application de différentes motorisations dans la voiture électrique.	15
I.10.2	Avantages et inconvénients des MCC.	16
I.14.1	Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.	24
II.2.1	Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles[22].	33
II.4.1	Tableau comparatif des types de recharge	43
III.6.1	Relation entre le Tension d'alimentation et la tension de sortie	72
III.6.2	Relation entre le Tension d'alimentation et le courant de sortie	73
III.6.3	Exemple de Données Expérimentales	76
III.6.4	L'état des LED en fonction du niveau de tension d'entrée.	80

Notations et Symboles

► Notations :

MAS Machine Asynchrone

MCC Machine Courant Continue

MLI Modulation de Largeur d'Impulsion

AC/DC Courant alternatif/Courant continu

f.e.m Force électromotrice

VE véhicules électriques

OBE On-bord embarque

DC/AC Onduleur

PAC Pile à combustible

► Symboles

P Nombre de paires de pôles

r Roue

σ Coefficient de dispersion

R_s Résistance d'une phase statorique

R_r Résistance d'une phase rotorique

l_s Inductance propre d'une phase statorique

l_r Inductance propre d'une phase rotorique

J Moment d'inertie des masses tournantes

C_{em} Couple électromagnétique

C_r Couple résistant

ω_s Pulsation des courants statoriques (rad/sec)

f Coefficient de frottement

[X] Vecteur d'états

- $[U]$ Vecteur de commande
- $[A]$ Matrice dynamique du système
- $[B]$ Matrice d'application de commande
- f Fréquence de la tension de référence (Hz)
- f_p Fréquence de la porteuse (Hz)
- V_r La vitesse linéaire du véhicule électrique
- V_s Valeur efficace de tension
- TL Le couple généré par le moteur de traction
- F La force de la voiture
- R_{roue} Le rayon de la roue
- Ω_{mot} La vitesse de rotation du moteur

Introduction générale

La question de la pollution de l'air est actuellement un sujet très préoccupant. Une des conséquences les plus graves de ce problème semble être le changement climatique dû aux gaz à effet de serre. En effet, le CO₂ est identifié comme particulièrement dangereux à cet égard.

Les véhicules contribuent à hauteur de 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, les plaçant ainsi en troisième position après le secteur de l'énergie et l'industrie.

Leur impact sur l'environnement est perceptible à l'échelle mondiale aussi bien que locale. De nombreux États se sont engagés à limiter leurs émissions de gaz à effet de serre en réponse à cette problématique[1].

Pour lutter contre le réchauffement climatique, notamment dans le contexte de l'essor des parcs automobiles et des usages de véhicules dans les pays émergents, la réduction des émissions par véhicule est une stratégie pour atteindre les objectifs fixés. Cependant, la promotion des véhicules électriques est probablement une solution plus efficace. Ces véhicules offrent une alternative propre, silencieuse et facile à entretenir, intégrant ainsi progressivement notre quotidien.

Les véhicules électriques actuellement utilisent des machines spécifiques électriques pour sa traction et des batteries comme source d'énergie, et parmi ces machines on trouve, les machines à courant continu, les machines synchrones et les machines asynchrones.

Les chargeurs de batteries jouent un rôle crucial dans l'industrie des véhicules électriques. Une grande variété de chargeurs, allant des modèles "rapides" aux modèles "lents", qui sont disponible pour répondre aux besoins des conducteurs de VE.

Les chargeurs de batteries pour les véhicules électriques sont soit embarqués à bord du véhicule, soit présents au niveau des bornes de recharge. Les chargeurs embarqués à bord présentent l'avantage de limiter les contraintes de masse et d'encombrement d'un VE, au détriment du coût lié aux infrastructures.

Le présent travail a pour objectif la modélisation et la simulation d'un chargeur

embarqué intégré dans la chaîne de traction. Le premier chapitre présente une recherche bibliographique sur le véhicule électrique : l'histoire d'un véhicule électrique, son architecture ainsi les éléments de sa chaîne de traction, son principe de son fonctionnement ainsi que les sources d'énergies nécessaires à son alimentation et sa motorisation sont détaillés.

Dans le deuxième chapitre, nous avons les types de charge du véhicule ainsi que les chargeurs de batterie On-board embarqué (OBE), qui sont intégrés dans la chaîne de traction ont été récemment introduits comme solution optimale et élégante pour augmenter la pénétration du marché des véhicules électriques (VE) tout en minimisant le coût global des VE.

Le troisième chapitre, consiste à simuler les éléments de la chaîne de traction d'un véhicule électrique (convertisseur statique et MAS), et simulation le chargeur on board intégré en mode traction en mode traction et chargeur, dans l'environnement MATLAB/Simulink. On terminera ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

Généralités sur les véhicules électriques

I.1 Introduction

La voiture électrique a souvent été présentée comme une technologie de transport et de lutte contre la pollution atmosphérique, promettant une solution aux problèmes environnementaux. Cependant, ce secteur rencontre de nombreux défis, dont les principaux sont les suivants :

- **Coût élevé** : Le prix d'une voiture électrique est encore beaucoup plus élevé que celui d'une voiture à essence ou diesel, ce qui limite son adoption par le grand public.
- **Autonomie limitée** : La distance parcourue par une voiture électrique avant de devoir être rechargée est encore limitée, ce qui peut être un frein pour certains utilisateurs.
- **Manque d'infrastructures de recharge** : Le nombre de bornes de recharge disponibles est encore insuffisant dans de nombreuses régions, ce qui peut rendre difficile l'utilisation d'une voiture électrique.
- **Impact environnemental de la production de batteries** : La production de batteries pour les voitures électriques peut avoir un impact environnemental négatif, car sa fabrication nécessite d'importantes quantités de ressources minières, en particulier du cobalt et du lithium. Or l'extraction et la transformation de ces matières sont complexes et polluantes.

Malgré ces défis, la voiture électrique a le potentiel de jouer un rôle important dans la réduction de la pollution atmosphérique et des émissions de gaz à effet de serre.

Des progrès importants sont en cours pour améliorer les technologies de batterie, réduire les coûts et développer les infrastructures de recharge.

Avec le soutien des gouvernements et des industriels, la voiture électrique peut devenir une solution fiable pour un transport plus propre et plus durable. Malheureusement, les véhicules électriques ne sont pas une solution miracle contre la pollution, mais ils pourraient contribuer à la réduire de manière significative.

Cependant, leur développement est freiné par plusieurs obstacles, dont le coût élevé, le poids, et l'autonomie limitée due à la capacité des batteries.

En effet, différents fabricants cherchent à améliorer la technologie des batteries, et des systèmes de charge dont de nombreux prototypes sont développés.

Les chargeurs de batterie pour véhicules électriques (VE) peuvent être largement classés en configurations Of bord, On-bord embarqué et non embarquées avec une capacité de transfert de flux de puissance unidirectionnel ou bidirectionnel.

Les chargeurs de batterie On-bord embarqué (OBE), qui sont intégrés dans la chaîne de traction ont été récemment introduits comme solution optimale et élégante pour augmenter la pénétration du marché des véhicules électriques (VE) tout en minimisant le coût global des VE.

Contrairement aux chargeurs de batterie classiques externes et internes, les chargeurs OBE exploitent l'équipement de propulsion existant pour la charge de la batterie sans composants encombrants supplémentaires et/ou infrastructure dédiée. Les chargeurs de batterie OBE sont largement catégorisés en types triphasé et monophasé avec un flux de puissance unidirectionnel ou bidirectionnel.

Ce chapitre introductif a pour but de donner un bref aperçu historique, de fournir des informations générales sur les véhicules électriques, expliquer leur fonctionnement, et présenter les topologies des chargeurs embarqués et non embarqués, et les éléments qui les composent[2].

I.2 Histoire des véhicules électriques

la première voiture électrique en 1894 de Jeantaud est souvent considérée comme un repère important dans l'histoire automobile, il est important de noter que des prototypes de véhicules électriques existaient bien avant. En effet, dès 1830, l'homme d'affaires écossais Robert Anderson avait mis au point une carriole électrique.

D'autres inventeurs, tels que Thomas Davenport et Robert Davidson, ont également développé des prototypes de locomotives électriques dans les années 1830 et 1840.

Les découvertes de Michael Faraday sur les lois de l'induction électromagnétique en 1831 ont ouvert la voie au développement des moteurs électriques[3].

Il faudra attendre l'invention de la batterie rechargeable par Gaston Planté en 1859 pour que la voiture électrique connaisse un véritable essor.

Néanmoins, la contribution de Jeantaud à l'histoire de la voiture électrique est importante car il a été l'un des premiers à commercialiser un véhicule électrique capable de rivaliser avec les voitures à essence et à vapeur de l'époque.

En 1835, l'Américain Thomas Davenport construisit une petite locomotive électrique, la première automobile alimentée par des batteries non rechargeables, qui réussit à parcourir une courte distance sur des rails. En 1838, Robert Davidson améliora cette invention en créant un modèle capable de rouler jusqu'à 6 km/h. Ces deux inventions fonctionnaient avec des batteries non rechargeables, car les batteries rechargeables n'avaient pas encore été inventées. La batterie rechargeable au plomb acide, inventée par le Français Gaston Planté en 1859, a permis de poser les bases des générations futures de véhicules électriques et de marquer le début de leur essor. En 1881, Gustave Trouvé présenta un prototype de tricycle électrique à l'Exposition Internationale d'Electricité à Paris, mais son utilisation était délicate, car le conducteur devait utiliser un système de poulies pour immerger des plaques de métal dans des récipients contenant de l'acide afin de moduler l'intensité du courant et donc la vitesse[4].

En 1897, les premiers taxis électriques de New York ont fait leur apparition. Deux ans plus tard, en 1899, une société belge a construit la « Jamais Contente » présenté dans la figure I.2.1, qui a dépassé la barre 100 km/h ,En 1900, sur les 4200 véhicules automobiles en circulation dans le monde, 22 % étaient électriques, 38 % à essence et 40 % à vapeur.

Ces chiffres montrent que les véhicules électriques étaient une alternative crédible aux autres types de véhicules au début du XXe siècle.

Cependant, le développement de la voiture à essence a rapidement supplanté celle électrique, en raison de son autonomie plus grande et leurs prix moins chers.

Il faudra attendre la fin du XXe siècle et les préoccupations croissantes liées à la pollution atmosphérique et au changement climatique pour que la voiture électrique connaisse un grand intérêt.

Aujourd'hui, les véhicules électriques représentent à nouveau une alternative fiable aux voitures à essence, leur développement étant soutenu par les gouvernements et les industriels du monde entier[5].



FIGURE I.2.1 – exemple de véhicule électrique « la jamais contante » réalisée en 1899[38].

Cependant, plusieurs constructeurs automobiles, tels que Roy Somers et General Motors, avaient déjà développé des prototypes de véhicules électriques performants dans les années 1970. Plus récemment, des constructeurs automobiles comme Mitsubishi ont commercialisé des modèles de voitures électriques.

En 2009, Mitsubishi a lancé la i-MiEV, une petite voiture électrique avec une autonomie de 160 km. D'autres constructeurs, tels que Nissan et Tesla, ont également fabriqué des modèles de voitures électriques plus performantes et plus autonomes[2].

Aujourd'hui, le marché de la voiture électrique est en pleine expansion et de nombreux nouveaux modèles (I.2.2) sont disponibles sur le marché. Le développement de la voiture électrique est une étape importante dans la lutte contre la pollution atmosphérique et le changement climatique.



FIGURE I.2.2 – Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui[39].

D'un point de vue énergétique, la plupart des véhicules électriques commercialisés étaient équipés de batteries au plomb. Entre 1950 et 2012, la densité énergétique de ces batteries a été améliorée d'environ 75 %, atteignant environ 40 Wh/kg pour les meilleures batteries au plomb. Cependant, cette densité reste nettement inférieure à celle de l'essence, qui est d'environ 13 000 Wh/kg. Des efforts ont été déployés pour les remplacer par de nouveaux types de batteries, tels que les batteries nickel-cadmium ou les batteries nickel-hydrure métallique. Cependant, ces nouvelles technologies rencontrent encore des problèmes de coût et sont souvent au cours de développement[40].

I.3 Les sources d'énergie

Depuis plus de 160 ans, la question des sources d'énergie demeure un défi majeur pour les véhicules électriques.

La batterie est la première technologie employée dans toutes les voitures électriques actuelles. La pile à combustible est la deuxième technologie, une solution perçue comme une solution d'avenir par les experts de ce domaine. Enfin, la technologie la plus récente est celle des super condensateurs, une source d'énergie supplémentaire qui peut répondre aux appels de puissance intenses et récupérer de l'énergie en cas de freinage[5].

I.4 Véhicule électrique

Un véhicule électrique (VE) est un véhicule qui exploite la batterie automobile comme source d'énergie pour propulser les roues grâce à un moteur électrique. En qualité de voiture, il est également tenu de respecter les normes routières, les règles de sécurité et d'autres exigences de transport. En comparaison avec les voitures traditionnelles, les véhicules électriques ont une empreinte écologique moindre. De cette façon, ses perspectives sont très prometteuses.

Les véhicules électriques sont classés en trois catégories selon leurs systèmes d'alimentation : véhicules électriques purs (VE), véhicules électriques hybrides (PHEV) et véhicules à pile à combustible (FCEV).

le véhicule électrique représente une solution prometteuse pour le développement du transport durable, mais il est important de l'intégrer dans une approche globale et cohérente[6].

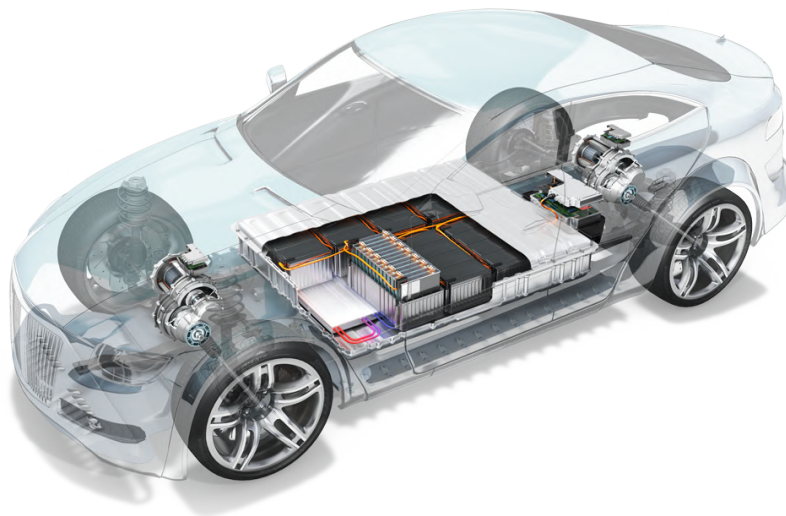


FIGURE I.4.1 – Véhicule électrique[41].

I.5 Fonctionnement d'un véhicule tout électrique

L'automobile électrique est équipée d'une batterie de stockage d'énergie, d'un moteur électrique avec un chargeur de batteries (I.5.1). La force motrice est transmise aux roues par un ou plusieurs moteurs électriques selon la solution de transmission retenue[7].

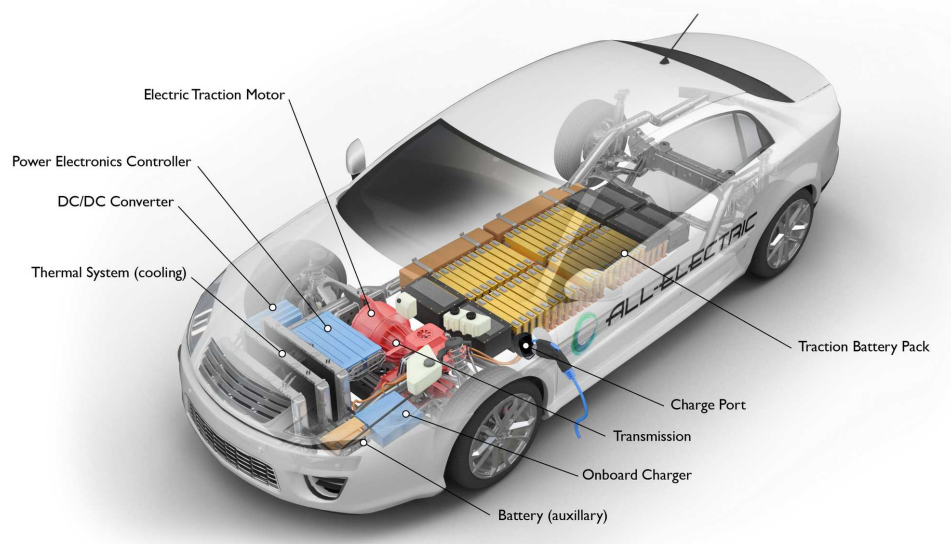


FIGURE I.5.1 – Constitution d'un véhicule électrique[42].

I.6 Véhicule hybride électrique

Une automobile hybride utilise deux types d'énergie embarquées pour se propulser. Les deux types d'énergie utilisés dans les automobiles hybrides sont l'électricité et un carburant fossile (essence, diesel, etc.).

L'électricité est stockée dans une batterie, tandis que le carburant fossile est stocké dans un réservoir. Le moteur électrique est utilisé pour propulser le véhicule à basse vitesse et lors des freinages, tandis que le moteur thermique est utilisé pour propulser le véhicule à haute vitesse et sur de longues distances. L'architecture la plus répandue pour les automobiles hybrides est la configuration "parallèle".

Dans cette configuration, le moteur électrique et le moteur thermique peuvent fonctionner simultanément ou indépendamment l'un de l'autre. Cette configuration permet de maximiser l'efficacité énergétique du véhicule. Le développement des automobiles hybrides est particulièrement important pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique[8].

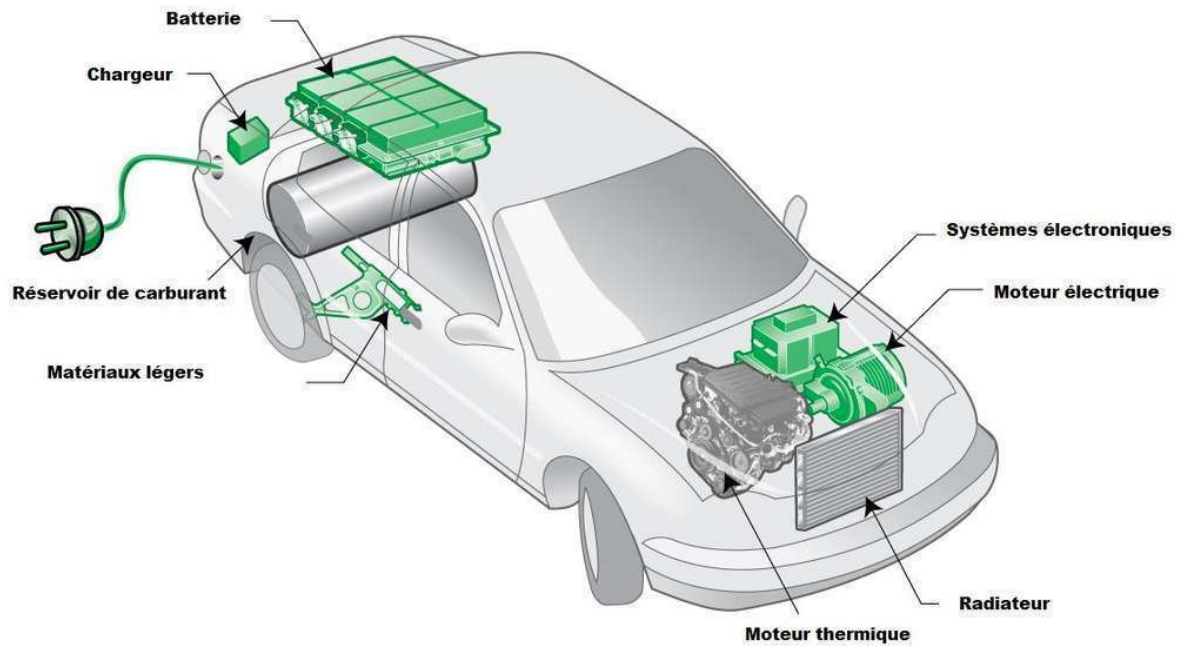


FIGURE I.6.1 – Automobile hybrides électrique[43].

I.6.1 Hybride série

L'architecture série est basée sur un découplage mécanique. Cela signifie que le moteur thermique et le moteur électrique sont liés à des arbres de transmission distincts.

Ce système offre la possibilité de placer le moteur électrique sur les roues, ce qui permet de ne pas tenir compte des conditions de fonctionnement du moteur thermique. Le couple demandé est déterminé en fonction des conditions externes. Le système de propulsion du véhicule est intégralement électrique. En effet, le moteur de traction est conçu pour fournir la puissance nécessaire à la conduite.

Le rendement global de la chaîne de traction est principalement limité par une cascade de rendements (conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique par le moteur thermique, puis conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique par le générateur, puis conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique par le moteur électrique).

Ceci confère un faible potentiel de réduction de la consommation d'énergie pour les HEV de série[9].

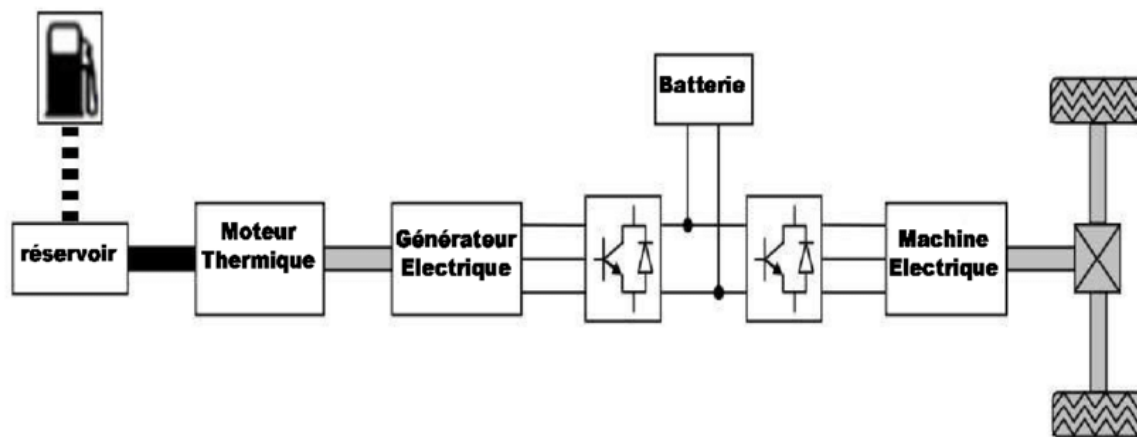


FIGURE I.6.2 – Architecture série d'un HEV.

I.6.2 Hybride parallèle

Un véhicule hybride électrique à une architecture parallèle, qui est une solution prometteuse pour le développement de véhicules plus économes en énergie et moins polluants.

En effet, ce type de véhicule utilise deux sources d'énergie : un moteur électrique et un moteur thermique. Le moteur électrique est utilisé pour propulser le véhicule à basse vitesse et lors des freinages, tandis que le moteur thermique est utilisé pour propulser le véhicule à haute vitesse et sur de longues distances.

La gestion de l'énergie est un élément clé du développement des véhicules hybrides électriques, elle consiste à optimiser l'utilisation des deux sources d'énergie afin de minimiser la consommation de carburant et les émissions polluantes.

L'architecture parallèle présente plusieurs avantages par rapport aux autres architectures hybrides. Elle permet une meilleure répartition des tâches entre les deux moteurs, ce qui se traduit par une meilleure efficacité énergétique.

De plus, elle est plus simple à mettre en œuvre et moins coûteuse que les autres architectures.

Le développement des véhicules hybrides électriques parallèle est un domaine en pleine expansion, de nombreux constructeurs automobiles investissent dans ce domaine, et de nouveaux modèles sont régulièrement mis sur le marché.

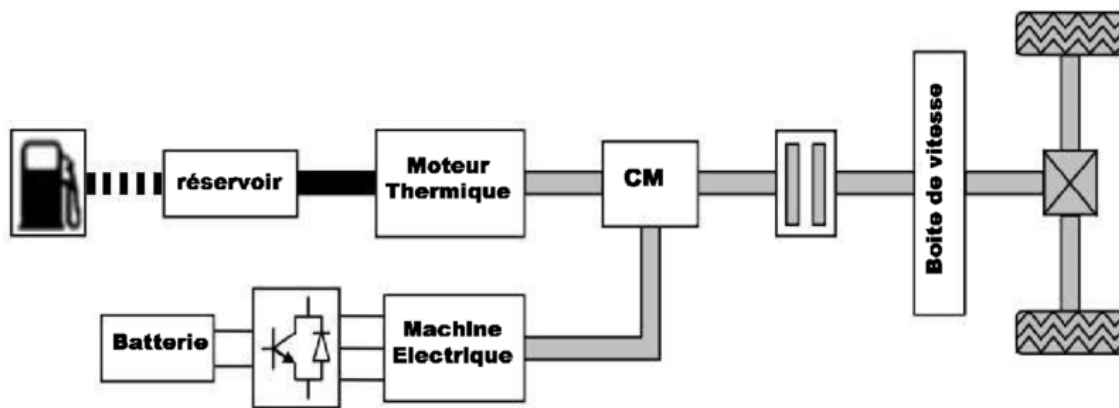


FIGURE I.6.3 – Architecture parallèle d'un HEV.

I.6.3 Hybride Série/Parallèle

Il s'agit du système le plus complexe. Comme son nom l'indique, il combine l'hybridation série et l'hybridation parallèle. Ainsi, le moteur thermique participe aussi bien à la propulsion de la voiture qu'à la recharge de la batterie. Le passage de l'un à l'autre se fait automatiquement en fonction des besoins de la voiture.

Les moteurs hybrides fonctionnant en série/parallèle sont associés à un répartiteur d'énergie. Celui-ci permet à la fois de faire tourner le moteur électrique et de recharger les batteries, l'une et l'autre fonction s'équilibrant selon les conditions de conduite dans le but d'assurer le meilleur rendement possible.

Enfin, l'hybride série/parallèle est équipé d'un inverseur/convertisseur qui permet de régler le courant alimentant la batterie et le moteur électrique[43].

I.7 La différence entre une voiture électrique et une voiture hybride

Alimentée uniquement par l'énergie électrique, une voiture électrique n'a besoin que d'une batterie.

En revanche, un véhicule électrique hybride utilise deux sources d'énergie : une batterie et un moteur thermique.

En cours d'un trajet donné, le véhicule électromécanique hybride alterne entre une traction hybride (utilisant les deux sources d'énergie) et une traction électrique (utilisant uniquement la batterie), le véhicule électrique, quant à lui, utilise uniquement la batterie pour se propulser.

Ainsi, les émissions de CO₂ d'une voiture électrique sont inférieures à celles d'une

voiture hybride, qui à son tour reste moins polluante qu'un véhicule entièrement thermique[10].

I.8 Types des véhicules électriques

I.8.1 Véhicule électrique à batterie

Les moteurs électriques du véhicule sont alimentés par une batterie intégrée, qui peut être rechargée simplement en la connectant au réseau électrique[11].

I.8.2 Véhicule hybride électrique

Dans ce modèle, un moteur à combustion interne est associé à un moteur électrique. La batterie se recharge grâce à des mécanismes internes plutôt que d'être branchée sur le réseau électrique[11].

I.8.3 Véhicule hybride rechargeable

Le moteur de ce modèle est à combustion interne et électrique. Il vous suffit de connecter la batterie au réseau électrique pour la recharger[11].



FIGURE I.8.1 – Véhicule hybride rechargeable[44].

I.8.4 Véhicule électrique à pile à combustible

En utilisant de l'oxygène et de l'hydrogène, les piles à combustible produisent de l'électricité. Quelques voitures de ce genre commencent à être commercialisées, mais il y a peu de stations de recharge qui peuvent les accueillir[11].

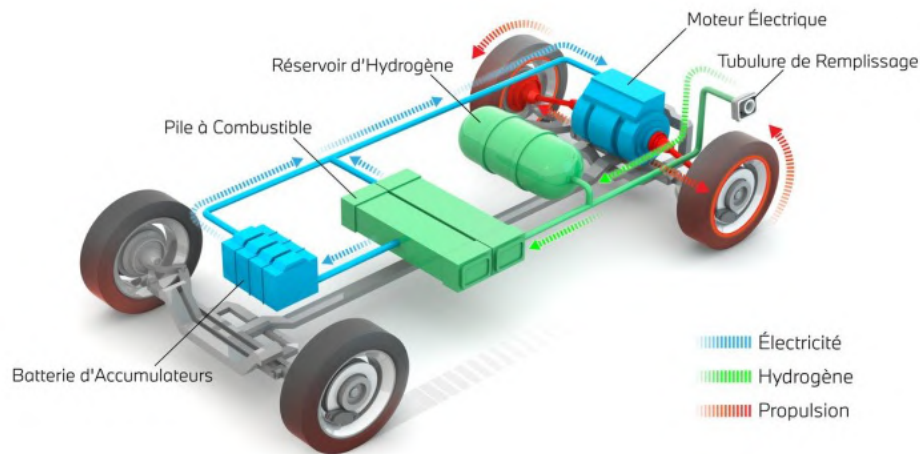


FIGURE I.8.2 – Véhicule électrique à pile combustible.

I.9 Traction

La traction du véhicule est assurée cette fois-ci par la machine électrique. Il s'agit du mode "zéro émission" où la consommation de carburant est nulle. Le temps d'utilisation de ce mode est influencé par la charge des éléments de stockage, tandis que les performances dynamiques de traction sont influencées par les puissances maximales que peuvent fournir les machines électriques qui lui sont liées[7].

I.10 Les différentes architectures de traction

On peut utiliser trois grandes catégories de machines électriques pour la traction automobile électrique : les machines à courant continu (MCC), les machines asynchrones (MAS) et les machines synchrones (MS), en modifiant seulement le type d'alimentation et le convertisseur. En se basant sur des comparaisons déjà établies dans la littérature, il est facile de fournir les avantages et les inconvénients de chaque structure en ce qui concerne l'application automobile[8].

Modèles EVs	Type de motorisation
Fiat Panda Elettra	MCC Series
Mazda Bongo	MCC séparé
Conceptor G-Van	MCC à excitation séparé

Suzuki senior tricycle	AM MCC
GM EV1	Moteur asynchrone
Toyota Prius	MSAP
Chloride Lucas	Moteur à RV

TABLE I.10.1 – Exemples de l’application de différentes motorisations dans la voiture électrique.

I.10.1 Véhicules électriques mono moteur

Le moteur à excitation séparée est principalement utilisé parmi les divers types de moteurs à courant continu (moteur serie, moteur à excitation séparée, moteur à aimants perméants). Il s'agit de la solution la plus abordable et la plus solide en raison de la facilité de la commande du moteur CC.

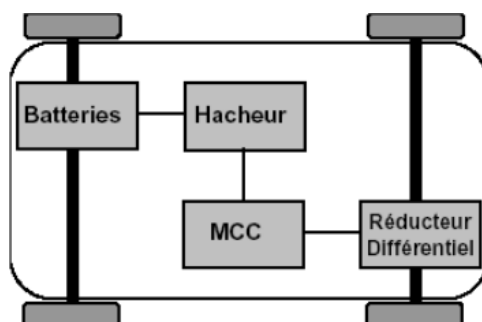


FIGURE I.10.1 – Architecture d’un véhicule électrique mono moteur.

Les premiers véhicules électriques en grande série à partir de 1995, tels que les Peugeot 106 et Partner, les Citroën AX, Saxo et Berlingo, ont été équipés par les MCC. Le véhicule est tracté par une MCC à excitation séparée, avec des puissances nominales et maximales de 11 et 20 kW pour la 106, respectivement. L'autonomie maximale des batteries au nickel/cadmium est de 90 km. Même si ces machines sont intéressantes en raison de leur facilité de déplacement et de contrôle. Cependant, elles présentent un important inconvénient : elles requièrent un entretien du système de balais-collecteur et présentent des performances intrinsèques plutôt limitées. Les machines à courant alternatif comme les machines asynchrones sont plus performant dans le domaine de l'automobile[8, 9].

Points forts du MCC	Points faibles du MCC
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Un défluxage simple à effectuer pour la MCC avec une excitation distincte. ➤ Commande de la vitesse simple. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La présence du système collecteur et balais nécessitent un entretien régulier. ➤ Le couple et la force massique rendent le refroidissement difficile. ➤ Coût de fabrication élevé, machine mécaniquement complexe.

TABLE I.10.2 – Avantages et inconvénients des MCC.

I.10.2 Véhicules électriques bi moteur

Il existe deux types de machine à courant alternatif Le moteur synchrone et Le moteur asynchrone.

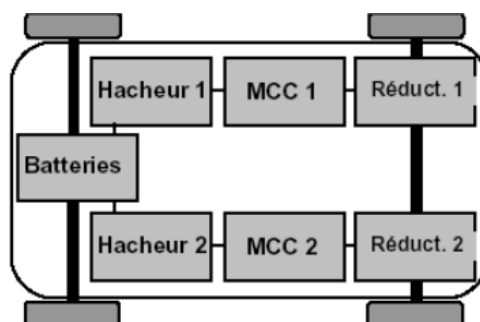


FIGURE I.10.2 – Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.

I.10.2.1 Moteur synchrones (MS)

On y trouve différentes formes de configurations, dont nous mentionnons la plus courante dans la littérature : Le moteur synchrone à aimants permanents (MSAP) apparaît à plusieurs égards comme une solution appropriée pour ses caractéristiques techniques et surtout son efficacité. Dans cette situation, l'excitation est générée par les aimants permanents. Les principales caractéristiques de cette machine sont les rapports élevés de couple/masse et de puissance/masse, ainsi que leur excellent rendement. Toutefois, le coût des aimants est élevé et ne permet pas, jusqu'à présent, de répondre à la contrainte prix de vente[10].

— **Avantages :**

- l'inertie du rotor est très faible.
- Ses performances en couple et en puissance sont remarquables.

— **Inconvénients :**

- Son coût demeure élevé

- difficulté à maintenir les aimants à température
- électronique de commande assez complexe
- fragilité des aimants et difficulté de montage du rotor aimanté.

I.10.2.2 Moteur asynchrone :

De nombreux constructeurs envisagent le moteur asynchrone comme solution. Des moteurs à bagues et à cage d'écureuil sont à distinguer. Le moteur à cage asynchrone est solide. Il possède une grande puissance en masse, ce qui entraîne un bon rendement pour la chaîne de traction. Le MAS est le choix idéal pour propulser les véhicules électriques (VE), en utilisant de nouvelles techniques de commande. La technique de commande la plus adaptée à l'heure actuelle est la commande vectorielle à flux rotorique orienté, qui permet de gérer la machine à une vitesse variable avec une grande flexibilité. Ainsi, pour chaque application de propulsion, un type de moteur différent est utilisé. Le moteur n'est pas universel, de même que les batteries. Chaque moteur présente des bénéfices et des désavantages, mais ce sont principalement les concepts de coût et de difficulté de commande qui sont confrontés[10].

— **Avantages :**

- Construction simple et robuste : Les moteurs asynchrones ne possèdent pas de balais ni de collecteurs, ce qui les rend plus simples et plus robustes que les moteurs à courant continu.
- Faible coût : La construction simple des moteurs asynchrones se traduit par des coûts de fabrication et d'entretien plus faibles.
- Rendement énergétique élevé : Les moteurs asynchrones ont un rendement énergétique élevé, ce qui se traduit par une consommation d'énergie moindre et des économies d'exploitation.
- Faible maintenance : Les moteurs asynchrones nécessitent peu d'entretien, ce qui réduit les coûts d'exploitation et les temps d'arrêt.
- Large plage de vitesse : Les moteurs asynchrones peuvent fonctionner à une large plage de vitesses, ce qui les rend adaptables à diverses applications.
- Couple de démarrage élevé : Les moteurs asynchrones peuvent fournir un couple de démarrage élevé, ce qui est important pour les applications qui nécessitent une accélération rapide.

— **Inconvénients :**

- Le couple maximum est plutôt bas.

- Le prix est élevé, principalement en raison des équipements électroniques d'alimentation et de contrôle.

I.11 Sources d'énergies pour les véhicules électrique

I.11.1 Batteries pour VE

La batterie d'un véhicule électrique stocke l'énergie chimique et la convertit en énergie électrique pour alimenter le moteur. Elle peut également être rechargée en convertissant l'énergie électrique du réseau en énergie chimique[11].

I.11.1.1 Inconvénients de la batterie de voiture électrique

La batterie électrique de la voiture peut présenter certains désavantages en ce qui concerne l'autonomie, le temps de recharge et le prix[11].

- **Autonomie :**

D'après les données du cycle d'homologation NDEC (New European Driving Cycle), une batterie électrique peut être utilisée pendant une durée de 160 à 200 km. Cependant, en pratique, la batterie d'un véhicule électrique ne peut guère dépasser 100 km.

Il est possible de maintenir l'autonomie de la batterie en suivant quelques astuces simples de conduite ou d'utilisation du chauffage ou de la climatisation, par exemple[11].

- **Recharge :**

Le temps de recharge d'une batterie de véhicule électrique dépend de plusieurs facteurs :

La capacité de la batterie : Plus la batterie est grande, plus le temps de recharge est long.

- La puissance du chargeur : Plus le chargeur est puissant, plus le temps de recharge est court.

- Le type de prise :La prise domestique 220V est moins puissante que la borne de recharge rapide, ce qui signifie que le temps de recharge est plus long.

- En général, la recharge d'une batterie de véhicule électrique peut prendre plusieurs heures sur une prise domestique.

- Les bornes de recharge rapide peuvent recharger une batterie en 30 minutes à 1 heure.

- Le coût d'une borne de recharge rapide est d'environ 600 euros[11].

Il est important de choisir une borne de recharge compatible avec votre véhicule.

Voici quelques conseils pour recharger votre véhicule électrique plus rapidement :

- Utilisez une borne de recharge rapide.
- Rechargez votre véhicule pendant la nuit.
- Planifiez vos trajets en fonction des stations de recharge disponibles.

Poids :

Le poids des batteries des véhicules électriques est actuellement de 250 kg : pour obtenir aujourd'hui l'autonomie d'un véhicule thermique, il devrait atteindre 1 250 kg[11].

I.11.2 Super-condensateurs

Les super-condensateurs sont un type de dispositif de stockage d'énergie qui peuvent fournir des débits de puissance élevés pour des recharges rapides.

Ils sont utilisés dans les bus hybrides électriques (PHEBUS) pour fournir une augmentation de puissance lors des phases d'accélération.

Les super-condensateurs stockent moins d'énergie par unité de volume qu'une batterie de masse équivalente, mais ils peuvent se charger et se décharger beaucoup plus rapidement.

Ceci est dû au fait que les super-condensateurs stockent l'énergie dans un champ électrique, tandis que les batteries la stockent dans une réaction chimique.

Les avantages des super-condensateurs par rapport aux batteries incluent :

- Temps de charge et de décharge plus rapides
- Durée de vie plus longue
- Meilleure efficacité énergétique
- Plus grande puissance massique et volumique
- Les inconvénients des super-condensateurs par rapport aux batteries incluent :
 - Coût plus élevé
 - Densité d'énergie plus faible
 - Plage de tension plus étroite

Les super-condensateurs sont une technologie prometteuse pour le stockage d'énergie dans les véhicules électriques et autres applications.

Ils peuvent être utilisés pour fournir une puissance de pointe, améliorer l'efficacité énergétique et prolonger la durée de vie de la batterie[12].



FIGURE I.11.1 – Super-condensateurs.

I.11.3 Une pile à combustible :

Une pile à combustible est un convertisseur d'énergie qui transforme directement l'énergie chimique d'un combustible en énergie électrique.

Elle fonctionne par l'oxydation d'un combustible, généralement de l'hydrogène (H_2), en présence d'un oxydant, généralement de l'oxygène (O_2).

Cette réaction chimique produit de l'électricité, de l'eau et de la chaleur.

- Les piles à combustible sont différentes des batteries par plusieurs points :
- Les piles à combustible ne stockent pas d'énergie. Elles convertissent l'énergie chimique du combustible en électricité au fur et à mesure qu'elle est nécessaire.
- Les piles à combustible peuvent fonctionner en continu tant qu'elles sont alimentées en combustible. Les batteries doivent être rechargées régulièrement.
- Les piles à combustible ont une durée de vie plus longue que les batteries.
- Les piles à combustible sont plus respectueuses de l'environnement que les batteries. Elles ne produisent aucune émission polluante, à l'exception de l'eau.
- Les piles à combustible sont une technologie prometteuse pour la production d'électricité propre et durable.

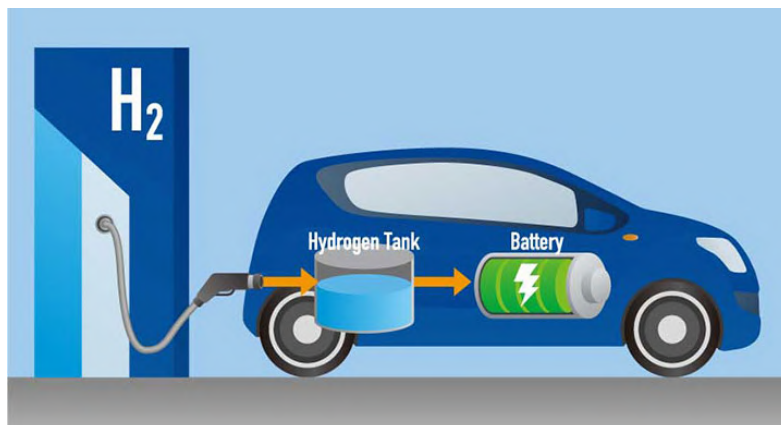


FIGURE I.11.2 – Principe de PAC.

I.12 Différents modes de charge pour véhicules électriques

I.12.1 Prise domestique

Le véhicule électrique peut être rechargé sur une simple prise domestique, mais le temps de charge sera long.

La Renault Twizy, par exemple, peut prendre jusqu'à 8 à 11 heures pour se recharger complètement sur une prise domestique.

Le temps de charge dépend de plusieurs facteurs :

- La puissance de la prise : Une prise de 16 A permettra de recharger le véhicule plus rapidement qu'une prise de 10 A.
- La capacité de la batterie : Une batterie plus grande prendra plus de temps à se recharger qu'une batterie plus petite.
- Le niveau de décharge de la batterie : Une batterie plus déchargée prendra plus de temps à se recharger qu'une batterie moins déchargée.
- Si vous avez besoin de recharger votre véhicule électrique rapidement, il est préférable d'utiliser une borne de recharge rapide.
- Les bornes de recharge rapide peuvent recharger un véhicule électrique en 30 minutes à 1 heure[13].



FIGURE I.12.1 – Prise domestique.

I.12.2 Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection

Un boîtier intelligent est une petite prise domestique de 1,8 kW qui se branche sur une prise domestique standard. Ce boîtier sert à sécuriser la recharge de votre véhicule électrique (VE).

Il est utile lorsque vous avez plusieurs appareils à recharger en même temps, car il peut limiter le courant tiré par le VE à 8 A[13].

I.12.3 Prise spécifique sur un circuit dédié

Le véhicule électrique peut être connecté directement au réseau de distribution AC principal en utilisant une fiche spécifique et un circuit dédié, avec une puissance de 3,7 kW/16 A ou 22 kW/32 A (triphase). Il est possible d'avoir ce type de matériel chez soi, connu sous le nom de « Wallbox » et installé par un électricien. Ce type de borne spécifique, recommandé par les fabricants de voitures électriques ou d'hybrides rechargeables, nécessite sa propre ligne électrique spécifique pour « fournir » le courant nécessaire. Le délai de charge (habituel ou rapide) varie de 1 heure à 8 heures[13].

I.12.4 Connexion courant continu

Le véhicule est alimenté en continu grâce à un chargeur externe qui est lui-même connecté à l'installation électrique générale. Au sein de cette configuration, le câble de recharge du véhicule est toujours attaché à l'installation. Les connecteurs de connexion sont particuliers. Le mode de charge en continu est conçu pour une charge rapide (environ 30 minutes), à des niveaux de puissance et de tension élevés (50 kW sous 500 V)[13].

I.13 Convertisseurs statiques de puissance

Les convertisseurs statiques sont nécessaires pour l'utilisation de plusieurs sources d'énergie de caractéristiques différentes à bord du véhicule électrique (VE). Par conséquent, on peut trouver à bord des véhicules ;

- Des convertisseurs de courant continu fournis par la batterie en courant alternatif, appelés onduleurs, Il est utilisé dans différents domaines à savoir les véhicules électriques, les variateurs de vitesses, et les énergies renouvelables.

- Des convertisseurs de courant continu en courant continu de tension ajustable (DC-DC), appelés hacheurs. Il y a deux grands types de hacheur selon le mode d'opération, le hacheur abaisseur et le hacheur élévateur.
- Des convertisseurs de courant alternatif en courant continu (AC-DC), appelés redresseurs. Au niveau de la voiture électrique, pour son opération, on trouve les hacheurs et les onduleurs. Il est pertinent de souligner que pour la connexion au réseau de recharge CA on a besoin d'un redresseur dédié à la recharge, ou de faire fonctionner l'onduleur en mode redresseur.

Chaque véhicule électrique est équipé d'une batterie qui génère une tension spécifique. Cependant, cette tension peut ne pas être adaptée aux besoins des divers composants électriques. Pour résoudre ce problème, des convertisseurs sont installés le long du circuit électrique pour ajuster la tension selon les besoins spécifiques des dispositifs.

I.14 Auxiliaires pour VE

L'ensemble des équipements électriques, pneumatiques et hydrauliques qui ne contribuent pas à la traction du véhicule sont présent. Le véhicule électrique est équipé des mêmes auxiliaires que le véhicule thermique. Dans les trente dernières années, de nombreuses fonctions ont émergé. On peut citer le verrouillage centralisé et la protection contre le vol, la direction assistée, les vitres électriques, la climatisation, les airbags qui deviennent indispensables vers 1995. On peut également mentionner les essuie-glaces électriques, l'éclairage intérieur, les clignotants, le poste radio et les tableaux de bord équipés de lampes témoin qui sont apparus après la Première Guerre mondiale.

Ordres de grandeur de puissances électrique	Puissance (W)
Phares et éclairage additionnel	250
Feux de brouillard avant	110
Feux de brouillard arrière	30
Radio, système audio	15-100
Vitre arrière dégivrante	150

Chauffage de siège	150
Essuie –glace avant	50
Chauffage	5000

TABLE I.14.1 – Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.

Les auxiliaires ne consomment pas toujours leurs puissances maximales en même temps. Par exemple, il est possible de modifier la consommation de chauffage en fonction de la température extérieure[14].

I.15 Réseau de recharge en Algérie

Sonelgaz, à travers sa filiale, la SAIEG (Société algérienne des industries électriques et gazières) a procédé depuis juillet 2023 à l'installation de ces bornes à travers plusieurs wilayas. A Béjaïa, 8 stations totalisant 14 bornes sont en cours d'installation à travers plusieurs communes, dans le cadre d'un plan national visant à développer la transition énergétique et la promotion de l'utilisation des véhicules électriques. Selon nos sources, «Sonelgaz est tenue de réaliser un poste transformateur de 400 KVA pour chacune des stations abritant des bornes de recharge». disposant de trois types de prises (adaptées aux voitures européennes, asiatiques et hybrides) sont dotées d'une puissance de 150 kilowatts extensibles à 300 kilowatts, pouvant recharger un véhicule en 15 minutes environ. la mise en service de la première station de recharge des voitures électriques a été effectuée en juillet 2023, au niveau du parc des Sablettes de la capitale, sous la tutelle du ministre de l'Energie et des Mines. Les pouvoirs publics ont annoncé alors que le programme en question vise l'installation, d'ici la fin 2024 de 1000 bornes à travers le pays, et ce, dans le but «de promouvoir et de développer la transition énergétique à travers la mise en œuvre du programme national des énergies nouvelles et renouvelables afin de contribuer à la réduction de l'empreinte carbone[15].

I.16 Avantages et Inconvénients des VE

► **Les avantages :**

Les véhicules électriques offrent de nombreux avantages économiques,

environnementaux et de fiabilité. Ils sont simples à conduire, silencieux et sans pollution environnementale locale. Ils réduisent également la maintenance quotidienne et la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles pour le transport. Leurs chaîne de conversion est réversible et elle peut permettre la récupération d'énergie dans les descentes ou lors des freinages.

► **Les inconvénients :**

Les inconvénients des voitures électriques se concentrent principalement sur la batterie et sa recharge. Les véhicules électriques ont des limites telles que le temps de recharge de la batterie, L'autonomie des voitures électriques reste l'un des principaux inconvénients.

I.17 Distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique

Les véhicules entièrement électriques de nouvelle génération ont généralement une autonomie d'au moins 200 kilomètres sur une seule charge. Certaines voitures électriques hybrides rechargeables peuvent parcourir de 40 à 80 kilomètres sur la charge électrique et de 500 à 900 kilomètres de plus avec l'essence. La distance qu'un VE parcourir dépend : La technologie du véhicule (électrique à batterie ou hybride rechargeable) ; La capacité de la batterie ; Le poids transporté ; La température ; Les accessoires utilisés ; Le style de conduite du conducteur.

Les batteries des véhicules électriques . Comme sur les véhicules à essence, le tableau de bord indique le niveau de la charge, de sorte que vous puissiez planifier vos déplacements.

I.18 Vitesse maximale d'un véhicule électrique

Les véhicules fonctionnent grâce à des moteurs électriques, qui peuvent être équipés de batteries, de piles à combustible ou de moteurs thermiques. Le moins que l'on puisse dire, c'est que des moteurs électriques, c'est-à-dire des milliers de véhicules, ont été produits, et ils ont continué à monter en puissance, avec des vitesses de pointe enregistrées comme 250 km/h, les petites voitures électriques ont des vitesses et des accélérations plus faibles[16].

I.19 Normes de sécurité dans les véhicules électriques

Les conséquences des normes pour les interventions sur véhicules ont été étudiées par EXPERT-VE, qui propose un point d'étape sur la normalisation des véhicules électriques et hybrides, en particulier en ce qui concerne les risques. Les éléments particuliers sont en constante évolution, en particulier au niveau des règlements européens.

I.20 Durée de vie d'une batterie et le cout de remplacement

La batterie de voiture a une durée de vie moyenne de 4 à 5 ans, cependant cela ne nécessite pas de la remplacer tous les 4 ou 5 ans. Avant de la remplacer, il est essentiel de vérifier les signes de fatigue. La vie de la batterie varie en fonction de son état lors de son achat, avec une batterie d'origine qui a une durée de vie supérieure à celle de remplacement.

I.21 Performance d'un véhicule électrique en hiver

Les véhicules, qu'ils soient à essence ou électriques, perdent en efficacité lorsque le temps est froid. Mais paradoxalement, la voiture électrique souffre davantage en raison de sa « trop bonne » efficacité : alors qu'une voiture thermique génère beaucoup de chaleur inutile, les modèles électriques convertissent la totalité de l'énergie produite pour la propulsion. Mais c'est précisément sa faiblesse lorsque le temps est froid.

I.22 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé une vision générale du véhicule électrique et les origines de leur création. Ensuite, nous avons exposé les divers types de voiture électrique qui possède différentes méthodes de fonctionnement. La recharge des véhicules électriques implique plusieurs facteurs. Tout d'abord, le type de recharge, qu'il s'agisse de courant alternatif ou de courant continu. Ensuite, il y a les batteries, avec leurs différentes technologies, que nous avons présentées dans ce chapitre. Dans une voiture électrique, on trouve également des convertisseurs statiques qui jouent un rôle crucial dans la recharge et la gestion de l'énergie du véhicule. Bien entendu, il est impossible d'aborder la question

de la recharge sans mentionner les infrastructures et les stations de recharge, un secteur en pleine expansion en Algérie et dans le monde entier.

CHAPITRE II

Structure de charge

II.1 Introduction

Les chargeurs de batteries jouent un rôle crucial dans l'industrie des véhicules électriques. Une grande variété de chargeurs, allant des modèles "rapides" aux modèles "lents", est disponible pour répondre aux besoins des conducteurs de VE. Ces chargeurs se distinguent par leurs caractéristiques et leurs fonctionnalités, et sont proposés par de nombreuses marques différentes[17].

L'efficacité d'un chargeur de batterie est un facteur crucial pour une expérience utilisateur optimale dans les véhicules électriques (VE). Plusieurs aspects influencent l'efficacité d'un chargeur.

II.2 Stockage d'énergie

Dans les véhicules électriques (VE), la batterie constitue la principale source d'énergie. Cependant, un convertisseur continu/continu bidirectionnel joue également un rôle crucial. Ce convertisseur permet d'ajuster la tension de la batterie pour alimenter les différents systèmes du véhicule et de récupérer l'énergie lors du freinage pour la recharger.

Le coût de recharge d'un véhicule électrique (VE) est généralement plus économique que celui de l'essence. En effet, le prix de l'électricité par kWh est généralement inférieur au prix de l'essence par litre. De plus, les VE consomment moins d'énergie que les véhicules à essence, ce qui se traduit par une économie supplémentaire sur le long terme.

II.2.1 La batterie

Dans les véhicules électriques et hybrides, la batterie joue un rôle crucial en stockant l'énergie électrique qui alimente le moteur. Les batteries les plus courantes dans ce domaine sont les batteries lithium-ion, appréciées pour leur densité énergétique élevée, leur longue durée de vie et leur fiabilité.

Dans une batterie chimique, l'énergie chimique est stockée sous forme de réactions rédox (réduction-oxydation) impliquant des ions et des électrons. Lors de la décharge de la batterie, ces réactions libèrent des électrons qui circulent dans un circuit externe pour produire un courant électrique. Ce courant peut ensuite alimenter divers appareils électroniques.

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.)[\[18\]](#).

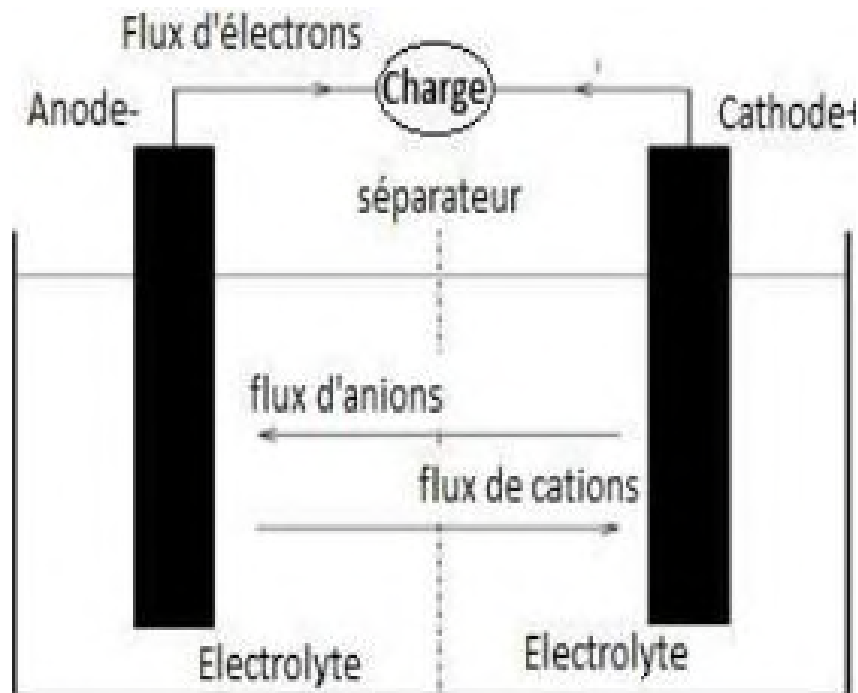


FIGURE II.2.1 – La vue interne d'une batterie[19]

II.2.1.1 Les différents types de batteries

- La batterie Plomb Acide :

Les batteries au gel, également appelées batteries plomb-acide à gel, sont des batteries rechargeables qui utilisent un électrolyte sous forme de gel au lieu d'un liquide. Ce gel est obtenu en ajoutant un agent gélifiant à l'électrolyte liquide traditionnel, ce qui lui confère une texture plus solide et visqueuse.

«Cependant, sa technologie est déjà dépassée et correspond de moins en moins aux appareils qui sont fabriqués de nos jours. La preuve est que l'énergie stockée dans les batteries au plomb est généralement moins importante que celle contenue dans d'autres batteries. Autrement dit, c'est une batterie peu performante dans l'utilisation des appareils électroniques actuels» [20].

Ce genre de batterie est extrêmement sensible à la décharge totale et à la surcharge, car elles sont conçues pour rester chargées régulièrement.

Elle était largement utilisée pour les dispositifs électriques qui nécessitent une alimentation électrique importante, tels que les téléphones portables ou les appareils photo numériques. Ce genre de batterie possède une durée de vie relativement longue (environ 1000 cycles).

- Les batteries Nickel-hydrure Métallique (Nickel-Métal hybride Ni-Mh) :

Les piles nickel-cadmium (Ni Cd) sont couramment utilisées dans les appareils portables. Elles se déclinent en de nombreux formats et sont conçues pour répondre aux besoins de différentes applications.

Les performances des batteries nickel-cadmium sont généralement considérées comme satisfaisantes par rapport aux autres types de batteries.

les piles au cadmium, autrefois couramment utilisées dans les appareils portables, sont désormais interdites dans la majorité des produits électroniques. Elles ont été remplacées par les batteries Ni-MH.

Les piles Ni-MH sont couramment utilisées dans les appareils portables. Elles se déclinent en de nombreux formats et sont conçues pour répondre aux besoins de différentes applications.



FIGURE II.2.2 – Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération[19].

- Les batteries Lithium-ion (Li-ion) :

L'édition de 1990 et deux variantes de lithium-ion batteries seraient disponibles en début. D'abord une LCO(Lithium cobalt), il y a ensuite une LMO(lithium manganèse), en format de stockage.

Bien que ce type de batterie soit généralement considéré comme acceptable, il souffre d'un effet mémoire. Cela peut réduire son cycle de vie. En termes d'autonomie, les batteries Nickel-Cadmium sont plus performantes que cela.

Li-ion, offre une dénergétique vitale importante, en double du ni-MH, mais ils ont une durée de vie inférieur au de Ni-MH[21].

- Les batteries Lithium-ion Polymère (Li-Po) :

La batterie Lithium polymère est une variante de la technologie Lithium-ion. Ce type de batterie a une densité énergétique et des caractéristiques à peu de chose près similaires à celles de la batterie Lithium-ion. Par contre, à l'inverse de la batterie Lithium ion, l'électrolyte de cette dernière est à base de gel. C'est cela qui contribue à la rendre moins dangereuse. De plus, la technologie utilisée dans la conception de ce modèle est un peu plus stable que celle du Lithium ion. Néanmoins, elle a une recharge plus compliquée et son utilisation nécessite un chargeur adapté.

- Batteries Nickel-Métal Hydrure :

Les batteries lithium-ion, telles que celles utilisées dans les appareils nickel-métal-hydrure, remplacent les batteries nickel-cadmium pour des raisons environnementales. Une batterie lithium-métal offre un modèle plus sûr et une plus grande capacité de stockage d'énergie qu'une batterie nickel-cadmium.

Le tableau II.2.1 présente les différentes caractéristiques pour différents types de batteries utilisées dans les véhicules électriques.

Type de la Batterie	Plomb Acide	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion	Li-Po
Densité énergétique (wh/kg)	30-50	45-80	60-120	160-200	100-130
Nombre de cycles (Charge décharge)	500 à 800	1000 à 2000	600 à 1500	400 à 1200	400 à 600
Temps de charge	6 à 12h	1h à 2h	2 à 4h	2 à 4h	2 à 4h

Température de Fonctionnement	-20 à 60°C	-40 à 60°C	-20 à 60°C	-20 à 60°C	-20 à 60°C
Puissance massique (w/kg)	90	200	220	220-330	220-330
Tension nominale D'une cellule (v)	2	1.2	1.2	3.9	3.7
Prix en euro	200-250	600	1500-2000	2000	1500-2000

TABLE II.2.1 – Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles[22].

II.2.1.2 Modélisation de la batterie

Dans notre étude, la batterie est modélisée comme un générateur de tension parfait en série avec

la résistance interne de la batterie, comme dans la figure II.2.3.

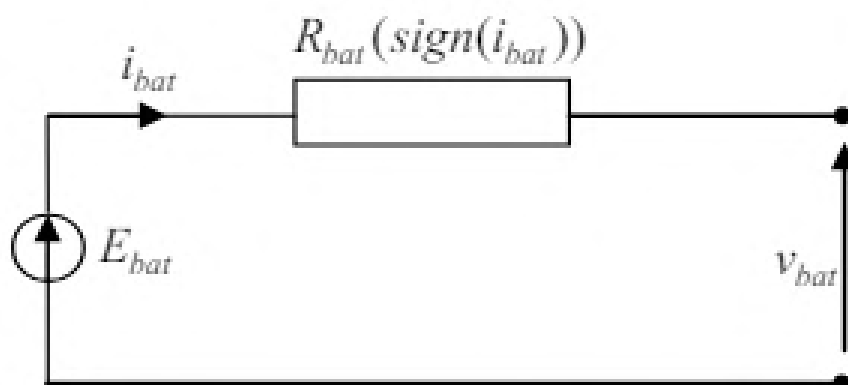


FIGURE II.2.3 – Circuit équivalent de la batterie (pour une cellule) Modèle statique.

Pour calculer la tension de la batterie on utilise l'équation suivante :

$$V_{bat} = E_{bat} - R_{bat} \times I_{bat} \quad (\text{II.2.1})$$

Tel que : E_{bat} est la tension à vide, R_{bat} est la résistance interne, et I_{bat} est le courant fourni par la batterie.

Comme nous pouvons observer dans l'équation II.2.1 la résistance interne de la batterie dépend du signe du courant. On distingue donc deux cas de résistances, une résistance en charge et une résistance en décharge.

II.2.1.3 État de charge de la batterie (SOC)

Le SOC (State of charge), couramment utilisé en génie électrique, est un paramètre estimé pendant que la batterie est traversée par un courant électrique. Le SOC est donné par le rapport entre la capacité actuelle disponible et la capacité totale effective disponible à l'instant qui précède l'utilisation (à ne pas confondre avec la capacité initiale de la batterie neuve).

$$\text{SOC} = \frac{C_{\text{actuelle}}}{C_{\text{totale}}} = \text{SOC}(t_0) - \frac{1}{c} \times \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt \quad (\text{II.2.2})$$

Où, $\text{SOC}(t_0)$ est l'état de charge initial, et $i(t)$ représente le courant traversant la batterie. Tout comme la capacité, cet indicateur dépend des conditions de mesures, notamment, la température.

L'état de charge de la batterie est souvent donné en %. Par exemple, quand la batterie est pleinement chargée, l'état de charge (SOC) vaut 100% et quand la batterie est complètement déchargée, le SOC vaut 0%.

À partir de la définition de l'état de charge, nous avons aussi la notion de taux de décharge (Depth of Discharge, DOD). Si l'on considère une batterie chargée avec $\text{SOC} = 100\%$ alors DOD en pourcents est : $\text{DOD} = 100 - \text{SOC}$.

II.2.1.4 Les inconvénients de la batterie

La batterie présente plusieurs risques non négligeables en raison de son manque de sécurité, tels que :

- Les batteries lithium-ion sont réputées pouvoir provoquer des explosions lorsqu'elles équipent des appareils mobiles.

- Un court-circuite peut se produire en route. Ce qui avaient déclaré un danger en route pour les passagers. .
- Une batterie en mauvais état serait susceptible de provoquer un incendie.
- Un risque supplémentaire est celui de la surcharge de la batterie au lithium, ce qui pourrait entraîner son implosion. Une défaillance d'une cellule de la batterie (l'unité de base) entraînerait un effet domino avec les autres cellules qui se mettraient en feu immédiatement.
- La combustion des cellules de la batterie peut provoquer la libération de substances chimiques mortelles[23].

II.2.1.5 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique

Au commencement de l'ère automobile, les trois quarts des véhicules étaient électriques. Cependant, le XXe siècle a vu l'ascension du véhicule à combustion interne. De nos jours, ce changement est largement attribuable aux préoccupations environnementales telles que l'émission de gaz à effet de serre et la pollution locale.

Grâce aux progrès réalisés dans le domaine des batteries, le marché assiste à un retour des véhicules électrifiés, qu'ils soient entièrement électriques ou hybrides avec possibilité de recharge ou non.

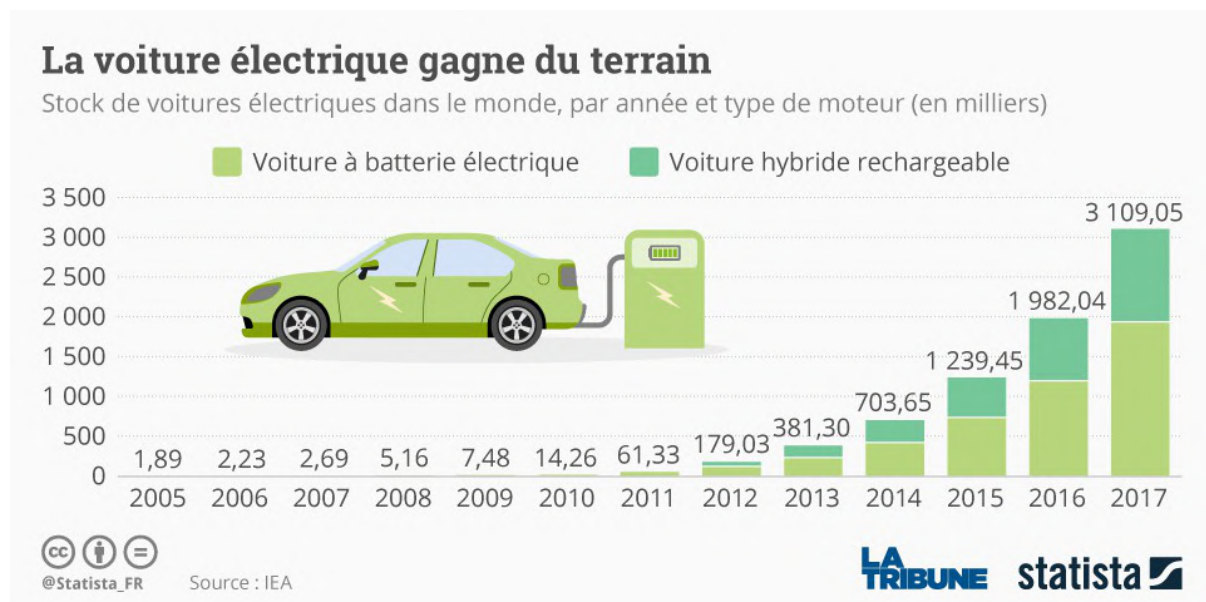


FIGURE II.2.4 – Comparaison entre les voiture a batterie électrique et les voiture hybride rechargeable dans le monde[19].

L'énergie électrique est emmagasinée dans des batteries sous forme chimique, grâce à des réactions électrochimiques réversibles. À l'origine, dans les années 90, les premiers véhicules électriques utilisaient des batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd).

À partir de 1997, avec l'introduction des premières Toyota Prius hybrides au Japon, les batteries Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH) ont été adoptées, puis utilisées dans les Kangoo dans les années 2000. Elles ont progressivement cédé la place aux technologies au lithium, notamment les batteries Li-ion qui sont sur le point de dominer le marché. Toyota reste principalement fidèle aux batteries Ni-MH pour ses véhicules hybrides.

II.2.2 Le super condensateur composite structure

Une alternative pour stocker de l'énergie électrique dans les véhicules électriques est l'emploi de supercondensateurs. Ces dispositifs stockent l'énergie sous forme électrostatique, en accumulant des charges ioniques à travers une interface électrode/électrolyte.

II.2.2.1 Structure d'un super condensateur composite structurel

Un supercondensateur à base de charbon actif est principalement constitué de collecteurs de courant en aluminium et d'électrodes en charbon actif imprégnées d'un électrolyte organique ou aqueux. Un séparateur est placé entre les deux électrodes pour les isoler (voir Figure II.2.5). Les techniques d'assemblage sont similaires à celles des condensateurs conventionnels.

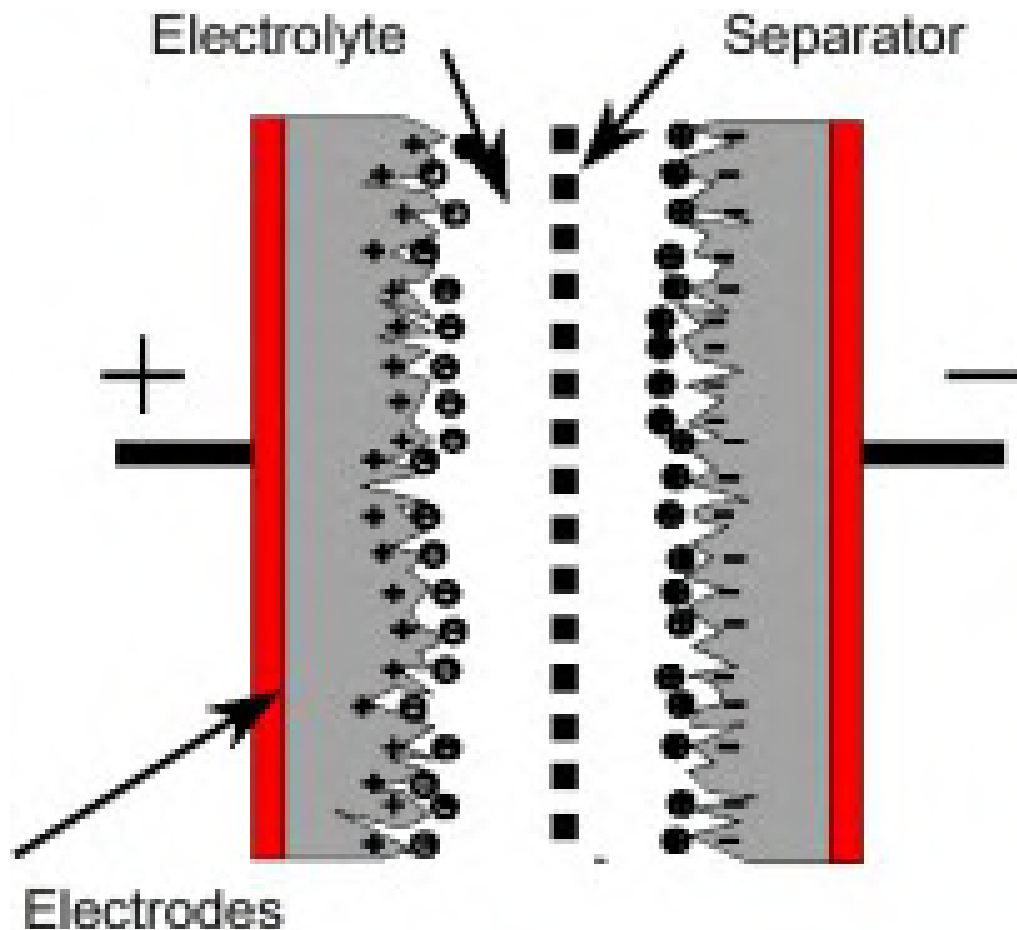


FIGURE II.2.5 – Structure d'un super condensateur[19].

II.2.2.2 Le principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un supercondensateur repose sur la conservation de l'énergie par la distribution des ions de l'électrolyte le long de la surface des deux électrodes. Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes d'un supercondensateur, une zone de charge d'espace se forme aux deux interfaces entre l'électrode et l'électrolyte. Cette zone de charge d'espace est connue sous le nom de double couche électrique. Ainsi, la structure fondamentale d'un supercondensateur peut être décrite comme deux condensateurs en série séparés par une résistance équivalente[24].

II.3 Système de charge et niveaux de puissance

La compatibilité des différentes sources d'énergie, qu'elles soient en courant continu ou alternatif, ainsi que les tensions entre les sources et les récepteurs du même type, posent souvent problème dans la plupart des véhicules électriques. Pour remédier à ces incompatibilités, des convertisseurs électroniques sont intégrés à bord de ces véhicules, chargés de réguler le fonctionnement pour assurer une compatibilité optimale. Ainsi, à

l'intérieur des véhicules, on peut trouver :

Les redresseurs, également connus sous le nom de convertisseurs de courant alternatif en courant continu (AC/DC), sont présents à bord pour effectuer cette conversion.

Les hacheurs, aussi nommés convertisseurs de courant continu en courant continu de tension différée (DC/DC), jouent un rôle essentiel dans ce processus de transformation à bord des véhicules électriques.

Les onduleurs, connus comme les convertisseurs de courant continu en courant alternatif (DC/AC), sont également présents dans les véhicules pour accomplir cette conversion spécifique.

La figure II.3.1 représente le schéma qui montre les différents convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques

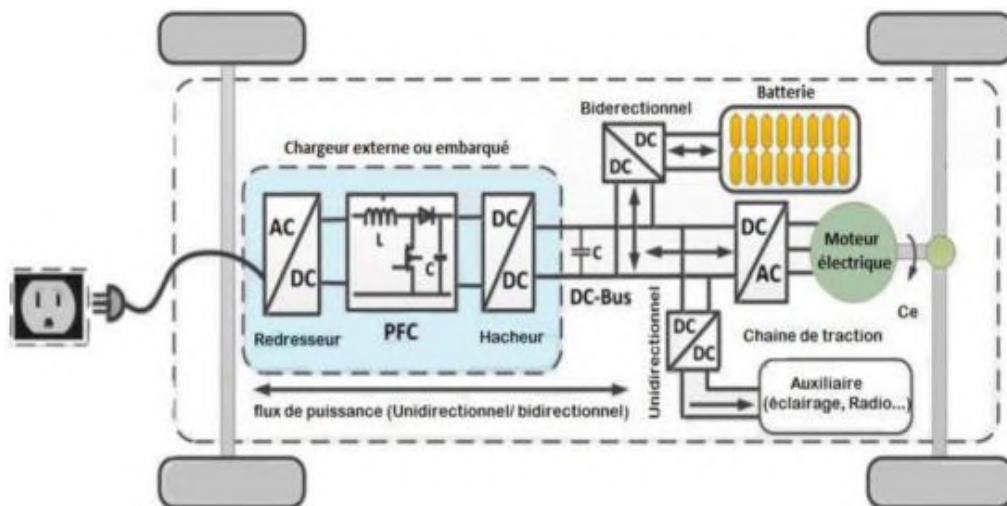


FIGURE II.3.1 – Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.[19].

II.3.1 Convertisseur AC/DC (redresseur)

Les convertisseurs AC/DC sont conçus pour transformer une source d'énergie alternative en une charge continue. On les désigne généralement sous le nom de redresseurs. Il existe différents types de redresseurs, tels que ceux à diodes, les PFC, les redresseurs monophasés, triphasés et les redresseurs commandés et les redresseurs non commandés[25].

Nous pouvons identifier deux types de redresseurs : ceux à thyristors, qui offrent la possibilité de réguler de manière continue le rapport entre la tension continue récupérée à leurs bornes de sortie et la tension alternative appliquée à leurs bornes d'entrée en ajustant l'angle de déclenchement des thyristors, et ceux à diodes, qui établissent une relation fixe entre la tension continue de sortie et la tension alternative d'entrée.

À l'intérieur d'un véhicule électrique, les redresseurs ont pour fonction de convertir

l'énergie électrique provenant soit du réseau électrique principal, soit d'un alternateur installé à bord du véhicule et associé à un moteur thermique, qui fonctionne en courant alternatif.

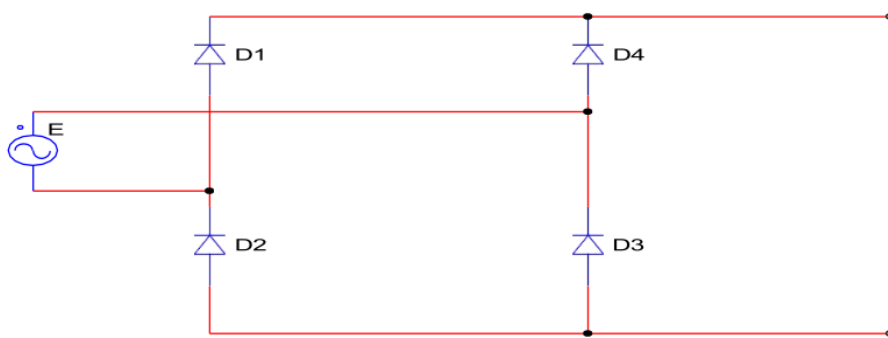


FIGURE II.3.2 – Schéma détaillé d'un redresseur.[19]

II.3.2 Correction du facteur de puissance (PFC)

Le PFC (Correction du Facteur de Puissance) est principalement employé pour corriger les distorsions du courant absorbé par le réseau électrique, prévenant ainsi l'émergence de courants harmoniques qui pourraient perturber le réseau. Il joue également un rôle dans l'alignement en phase du courant et de la tension.

En d'autres mots, le PFC fera en sorte que le réseau perçoive l'appareil comme une simple résistance, plutôt que comme une charge non linéaire[26].

II.3.3 Convertisseur DC/DC (le Hacheur)

Un convertisseur DC-DC est un dispositif électrique ou électronique qui transforme une source de courant continu (DC) d'un certain niveau de tension en une autre tension. Il appartient à la catégorie des convertisseurs de puissance électrique.

Comme tous les autres convertisseurs de puissance, un convertisseur DC-DC est constitué de cellules de commutation. Ces cellules sont ajustées pour augmenter ou diminuer la tension continue (ou le courant continu) de chaque côté du convertisseur.

L'hacheur est un convertisseur statique continu/continu (DC/DC) qui permet de générer une tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. Il fonctionne en modulant le courant du circuit de charge par une commutation périodique d'un interrupteur unidirectionnel, alternant entre ouverture et fermeture.

La fonction d'hacheur dans un VE est de :

Garantir l'alimentation du réseau basse tension du véhicule (comprenant l'éclairage, les calculateurs, la climatisation, etc.).

Recharger la batterie basse tension en utilisant l'énergie de la batterie haute tension.

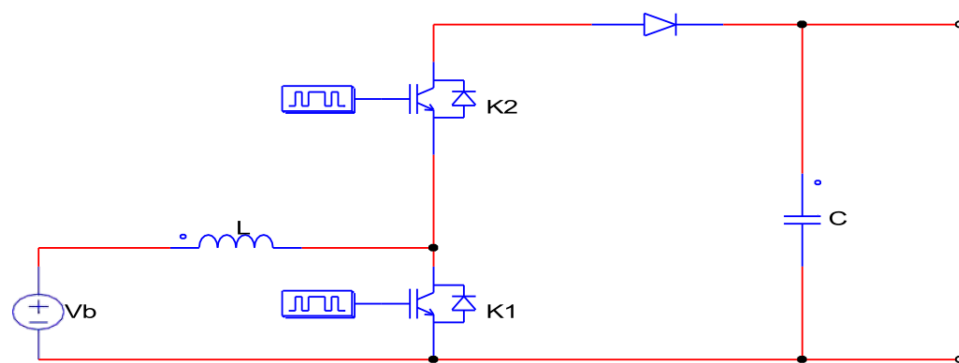


FIGURE II.3.3 – Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel[19]

Dans les véhicules électriques, la tension d'entrée du convertisseur continu/continu (hacheur) est fournie par la batterie. Le courant traversant ce système peut circuler dans les deux directions en fonction du mode de fonctionnement du véhicule, ce qui en fait un convertisseur bidirectionnel[27].

II.3.4 Convertisseur DC/AC(Onduleur)

Les convertisseurs de courant continu (DC) en courant alternatif (AC) sont également connus sous le nom d'onduleurs. Il est important de ne pas les confondre avec les onduleurs destinés aux ordinateurs, qui sont des dispositifs de protection et de régulation du courant, visant à prévenir les dommages causés par les surtensions aux équipements informatiques.

La conversion de courant continu en courant alternatif peut être effectuée de diverses manières. Cependant, dans le contexte spécifique des véhicules routiers et pour rationaliser les solutions industrielles, une approche couramment utilisée est celle d'un onduleur à six interrupteurs bidirectionnels. Ce système est composé de combinaisons d'IGBT (transistors bipolaires à grille isolée) et de diodes montés en antiparallèle, contrôlés selon un schéma particulier. Cette configuration permet d'associer une source de tension (telle qu'une batterie) à un récepteur de type source de courant[28].

II.4 Chargeurs de batteries

Le chargeur de batterie est aussi crucial que les autres composants des véhicules électriques, étant essentiellement leur "station-service". Pour cette raison, plusieurs systèmes de recharge ont été développés.

Ces systèmes visent à améliorer la durée de vie des batteries en équilibrant le niveau de charge de chaque élément du bloc. Dans ce mémoire, nous nous concentrerons uniquement sur les dispositifs de charge, Pour cette raison, plusieurs systèmes de recharge ont été développés

II.4.1 Présentation des chargeurs des batteries

II.4.1.1 Chargeur externe

Si le chargeur est placé à l'extérieur du véhicule, l'alimentation électrique provient directement du mode de raccordement sélectionné par l'utilisateur, que ce soit une prise domestique standard, une prise domestique équipée d'un dispositif de protection, une prise spécifique sur un circuit dédié ou une connexion DC. Les chargeurs externes utilisent des éléments de la chaîne de propulsion du véhicule pour recharger les batteries.

II.4.1.2 Chargeur embarqué

En l'incorporant directement au véhicule, l'énergie électrique du réseau est acheminée vers celui-ci. Il est équipé d'un dispositif totalement séparé de la chaîne de propulsion électrique, ce qui élimine le besoin d'un transformateur supplémentaire au sol.

II.4.2 Chargeur de type rapide

Les chargeurs qualifiés de "rapides" sont conçus pour des structures avec une puissance transitée dépassant les 10 kW. Actuellement, la puissance maximale atteint 150 kW[28]. L'objectif de ces systèmes est de permettre une recharge partielle des batteries (environ 80 %) en moins de 30 minutes. Deux types de structures de charge ont été développés pour atteindre cet objectif :

- les bornes de recharge.
- les chargeurs à coupleur inductif manuel

II.4.2.1 Les bornes de recharge

Ces équipements sont conçus pour être installés sur les routes publiques. Ils sont équipés d'un système de paiement intégré similaire à celui des stations-service ouvertes 24 heures sur 24. Actuellement, plusieurs systèmes basés sur ce concept sont en cours de développement, nous en illustrerons deux exemples.

Dans le cadre du projet européen "EUREKA 93", les entreprises SAGEM et

E.d.F. ont collaboré pour concevoir une borne de recharge rapide [Lin C. - 95]. Cette borne se branche directement sur le pack de batteries grâce à une prise spécialement conçue à cet effet. Avec une puissance de 35 kW, elle permet à la batterie d'un petit véhicule tel qu'une Clio, une AX ou une 106 d'atteindre 70 % de sa capacité en seulement 20 minutes. Grâce à sa large plage de tension (45 V - 425 V), elle peut s'adapter à de nombreux véhicules, jouant ainsi parfaitement son rôle de "station-service". Cette borne de recharge fait suite à un produit initial développé par la société WESTINGHOUSE pour le projet expérimental de La Rochelle [Le Roy-95][29].

II.4.2.2 Les chargeurs à coupleur inductif manuel

Pour l'utilisateur, ce type de structure ne présente pas de différence significative par rapport aux bornes de recharge classiques de type "SAGEM". La principale distinction réside dans le système de connexion. Dans ce cas, la prise de raccordement ressemble à une "raquette" (voir figure I.6.1) insérée dans une fente prévue sur le véhicule.

II.4.3 Chargeur de type lent

Le chargeur de type "lent" est un appareil de puissance moyenne, généralement de 3 kW. Pour recharger complètement un pack de batteries (comme celui de la "Clio" composé de 19 batteries de 6 V et 100 Ah), il faut généralement de 5 à 8 heures. Cette opération peut donc être effectuée pendant les heures creuses. Pour éviter les problèmes de décharge complète pendant la journée, des chargeurs plus puissants (du type "rapide") ont été développés. Actuellement, deux types de chargeurs "lents" sont en cours de développement :

- le chargeur "classique" qui est généralement embarqué dans le véhicule.
- le chargeur à coupleur inductif automatique.

II.4.3.1 Chargeur classique

Ce chargeur est généralement embarqué dans le véhicule. Il se connecte sur le réseau 230V - 16A. Les structures utilisées pour la charge lent sont généralement à absorption sinusoïdale ou quasi-sinusoïdale permettant ainsi répondre aux normes régissant les harmoniques basses fréquences et incluent une isolation galvanique.

Les principaux avantages du chargeur classique sont de pouvoir se connecter facilement (utilisation de la prise classique 16A - 230V) et de permettre une charge complète du pack de batterie assurant sa longévité. Ses principaux inconvénients sont de nécessiter un temps

de charge important et causer un supplement de poids et de prix non negligables pour le vehicule.

II.4.3.2 chargeurs à coupleur inductif automatique

Le systeme de connexion automatique a ete developpe afin de rendre le processus de charge completement transparent pour l'utilisateur .Il stationne son vehicule sur leplacement reserve a la charge , Un dispositif mecanique effectue le couplage mecanique.Le systeme gere alors toute la charge sans aucune manipulation pour l'automobiliste et se met bien sur en fonctionnement une fois le paiement valide.

Type de charge	Duree de recharge	Alimentation	Tension	Courant Maximum
Lente	6 à 8 heures	Monophasée 3.3 kW	230 V	16 A
	2 à 3 heures	Triphasée 10 kW	400 V	16 A
	3 à 4 heures	Monophasée 7 kW	230 V	32 A
Rapide	1 à 2 heures	Triphasée 22 kW	400 V	32 A
	20 à 30 min	Triphasée 43 kW	400 V	63 A
	20 à 30 min	Triphasée 50 kW	400 à 500 V	100 à 125 A

TABLE II.4.1 – Tableau comparatif des types de recharge

II.4.4 Chargeurs filaires

Les chargeurs filaires doivent être connectés à un câble pour fournir de l'énergie à la batterie. Il est possible de distinguer les chargeurs embarqués et non embarqués au mode de transmission de l'énergie. Les chargeurs non embarqués (cf. Figure II.4.1)

présente l'avantage de limiter les contraintes de masse et d'encombrement d'un VE, au détriment du coût lié à la redondance des installations de recharge au sol.

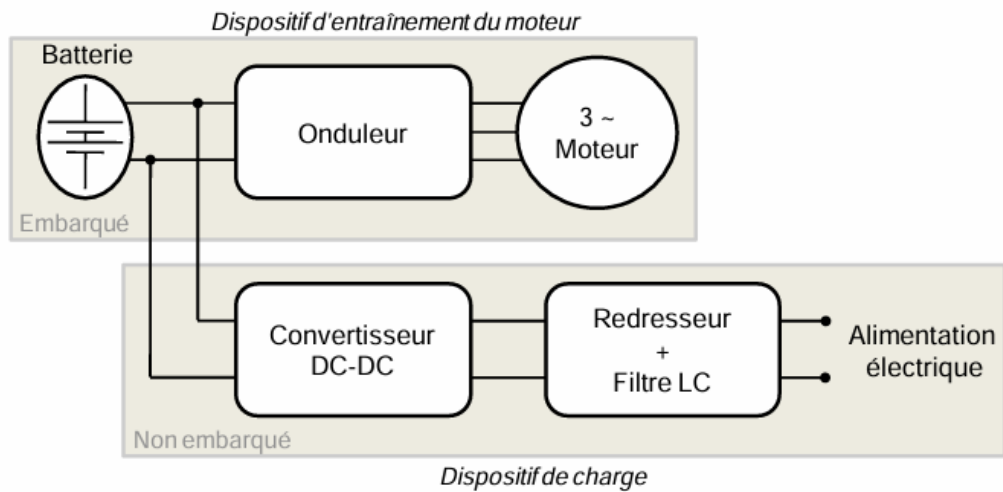


FIGURE II.4.1 – Les topologies des chargeurs sont nombreux, mais ils peuvent être généralement classés en deux catégories : unidirectionnels et bidirectionnels.[29]

II.4.4.1 Chargeurs filaires unidirectionnels

Dans une configuration unidirectionnelle, l'énergie est transférée du réseau vers la batterie. Ainsi, les véhicules électriques équipés de chargeurs unidirectionnels peuvent charger leur batterie mais ne peuvent pas injecter d'énergie dans le réseau électrique.

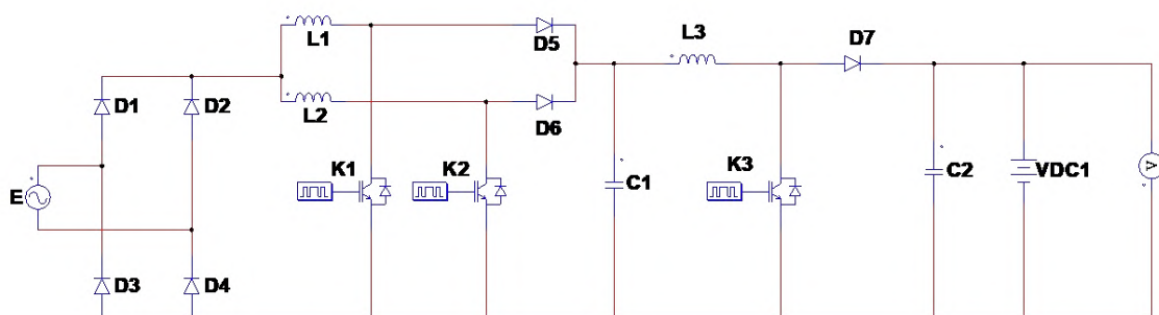


FIGURE II.4.2 – Chargeur unidirectionnel.[19]

II.4.4.2 Chargeurs filaires bidirectionnels

Les chargeurs bidirectionnels sont intégrés dans le véhicule et utilisent des composants de la chaîne de traction pour recharger les batteries. Tout chargeur bidirectionnel peut être employé pendant les phases de freinage pour la récupération d'énergie. Ainsi, le véhicule électrique peut à la fois charger sa batterie et injecter de l'énergie dans le réseau électrique.

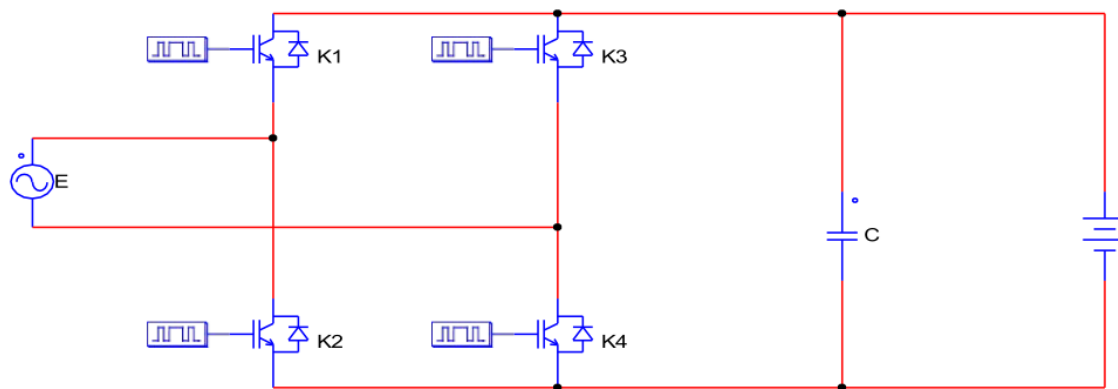


FIGURE II.4.3 – Chargeur intégré bidirectionnel.[19]

Le chargeur étant embarqué au sein du véhicule, profitant ainsi du caractère bidirectionnel de certains convertisseurs. Tout chargeur bidirectionnel peut être utilisé lors de phases de freinage récupératif. Nous avons fait le choix de présenter uniquement les architectures bidirectionnelles réutilisant les enroulements des moteurs de traction. Pour cela, nous distinguons deux cas : le cas d'une alimentation monophasée (charge lente) puis d'une alimentation triphasée (charge rapide)[30].

II.4.5 Charge sur réseau monophasé

Le chargeur intégré monophasé initialement introduit en 1985 [review] est illustré à la Figure II.4.4 Pendant la propulsion, l'interrupteur S est ouvert, la machine est entraînée par un onduleur triphasé.

Le mode de charge est lancé en connectant une alimentation monophasée entre le point étoile de la machine et un quatrième bras de l'onduleur par l'interrupteur S. Pendant la charge, les trois branches de l'onduleur sont contrôlées pour garantir des courants statoriques de séquence nulle.

Cette exigence pour une quatrième branche permettant le retour du courant neutre est considérée comme le principal inconvénient de cette technique, car la capacité de courant de cette branche supplémentaire est trois fois celle des autres branches. D'autre part, à la fois les couples moyens et pulsatoires peuvent être éliminés.

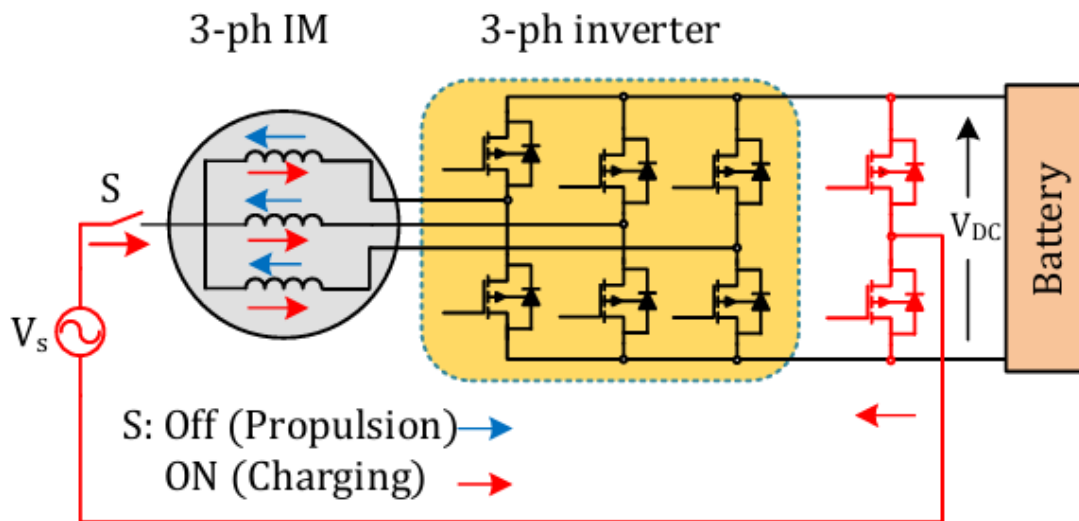


FIGURE II.4.4 – Chargeur de batterie intégré basé sur des thyristors.[30]

Le second montage proposé, est un e chargeur intégré, qui se compose d'une source d'alimentation CC bidirectionnelle, de deux machines à induction, de deux onduleurs alimentés en tension et d'une unité de contrôle.

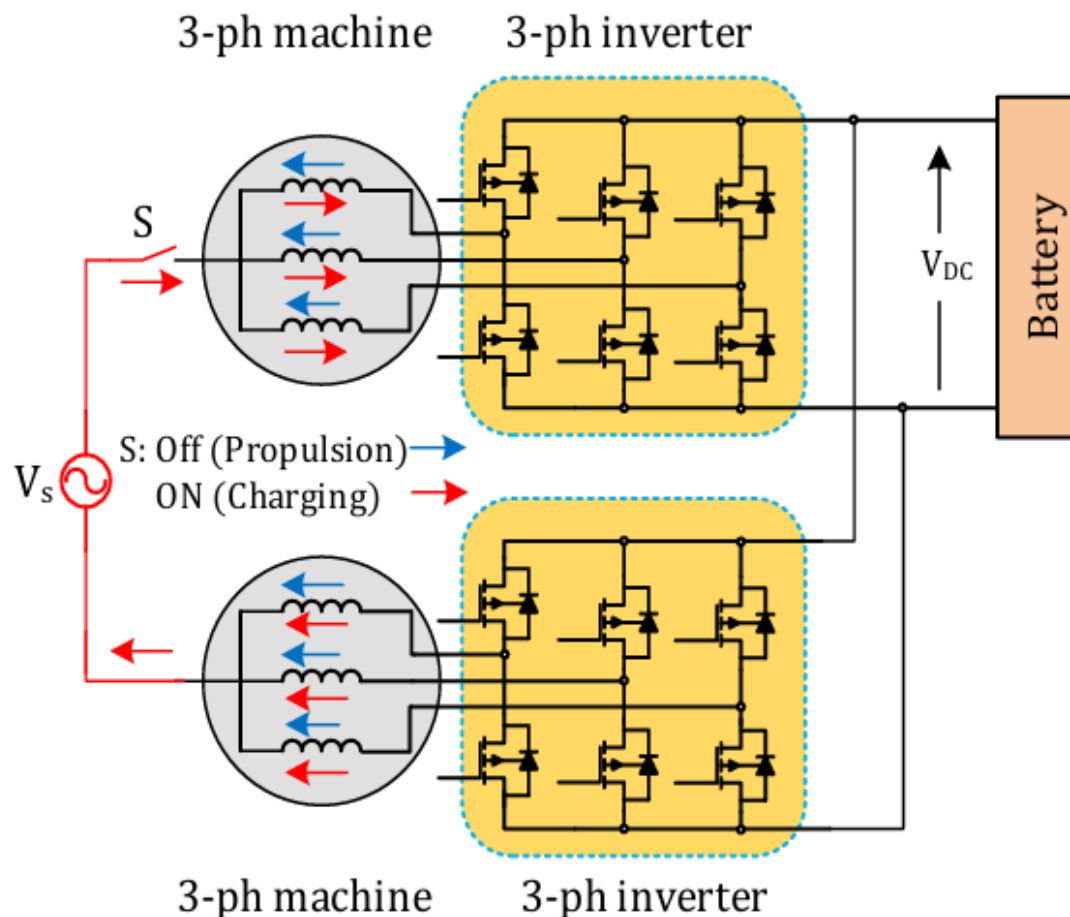


FIGURE II.4.5 – Chargeur intégré basé sur un entraînement à deux moteurs.[30]

Cette topologie peut être mise en œuvre en utilisant deux approches différentes : soit deux IM séparées, soit un seul moteur avec deux enroulements de stator triphasés. Pendant le mode de propulsion, la puissance est transférée de l'alimentation CC, la batterie, aux deux moteurs partageant le couple total de conduite. Pendant le processus de charge, le réseau monophasé est connecté aux points neutres des deux moteurs. Les principaux avantages de cette solution comprennent la production de couple moyen nul pendant le processus de charge, pas besoin de différentiel mécanique pendant le mode de propulsion, et la capacité d'injecter de l'énergie de la batterie dans le réseau.

Chaque moteur est commandé par un onduleur lors du mode traction, tandis qu'en charge, l'onduleur est utilisé pour la conversion alternatif-continu. Par l'intermédiaire de contacteurs, le réseau monophasé est relié au point neutre de chaque machine, dont les enroulements servent alors d'inductance de filtrage. Les deux convertisseurs fonctionnent alors en élévateur de tension.

II.4.6 Charge sur réseau triphasé

L'adaptation pour une alimentation par un réseau triphasé de la Figure II.4.6 est donnée ci dessous.

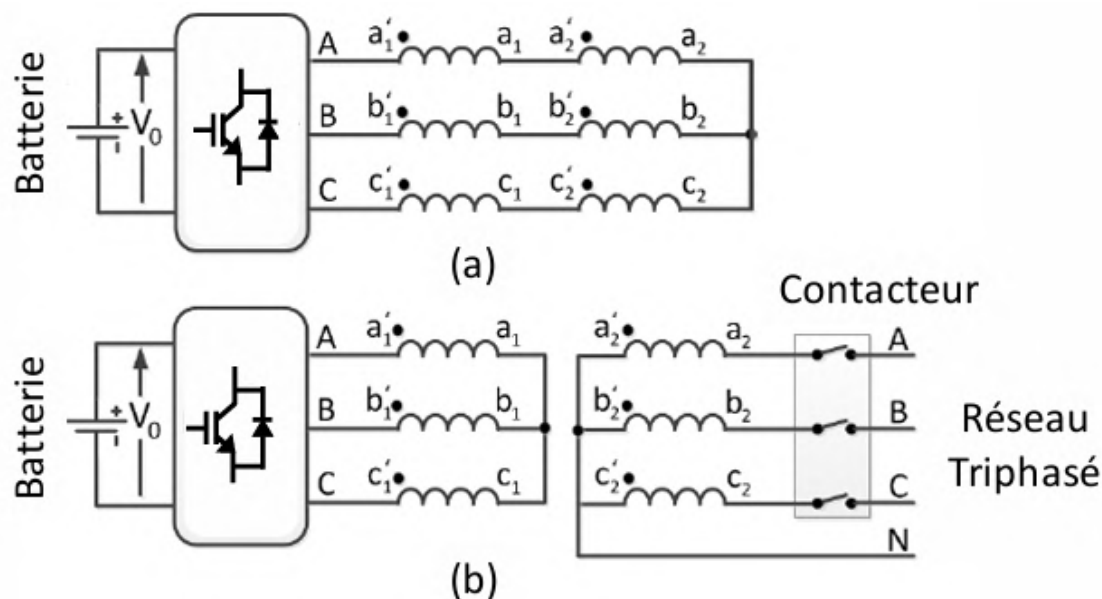


FIGURE II.4.6 – Chargeur triphasé avec machine deux pôles. (a) Mode traction, (b) Mode charge.[30]

Chargeur triphasé avec machine deux pôles. (a) Mode traction, (b) Mode charge

En mode traction, les enroulements sont connectés les uns aux autres en série pour constituer un système à trois phases. Ces phases peuvent être reliées en Δ ou Y pour former le stator d'une machine triphasée classique. La machine est alors alimentée par la batterie au travers du convertisseur fonctionnant en onduleur de tension. Dans le fonctionnement en mode chargeur, le système est reconfiguré par des contacteurs. Un contacteur triphasé permet de connecter le système au réseau électrique. Cette configuration des enroulements lui confère un comportement proche d'un transformateur triphasé. Notons que la puissance du chargeur est limitée par la dissipation thermique de la machine[30].

II.5 Conclusion

Ce chapitre a abordé les diverses catégories de batteries ainsi que les différents modèles de chargeurs.

La batterie joue un rôle essentiel dans le transfert d'énergie, et la durée de charge dépend de la puissance de la source d'alimentation. En effet, plus la puissance de charge est élevée, plus le temps nécessaire pour charger la batterie est court.

Les attributs des chargeurs de type "rapide" les qualifient pour agir comme des "stations-service", complétant ainsi efficacement la fonction des chargeurs de type "lent", essentiels pour garantir une durabilité accrue des batteries.

Les chargeurs lents sont habituellement intégrés dans le véhicule, tandis que les chargeurs rapides, agissant comme des stations-service, se situent à l'extérieur sous forme de bornes de recharge. Les chargeurs filaires sont de plus en plus incorporés dans le véhicule pour une meilleure fonctionnalité, ce qui limite leur conception.

CHAPITRE III

Modélisation Et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction

III.1 Introduction

L'évolution rapide de l'industrie automobile vers des solutions plus écologiques et durables a conduit à une adoption accrue des véhicules électriques (VE). Un élément crucial de ces véhicules est le système de charge, notamment les chargeurs embarqués (on board), qui permettent de recharger la batterie du véhicule à partir de diverses sources d'alimentation.

La modélisation et la simulation d'un chargeur embarqué intégré dans la chaîne de traction jouent un rôle essentiel dans l'optimisation des performances et de l'efficacité énergétique des VE.

Cette intégration permet non seulement de réduire le poids et le volume des composants, mais aussi d'améliorer la gestion thermique et la fiabilité du système de charge. Dans ce chapitre nous développons un modèle détaillé d'un chargeur on board et de simuler son fonctionnement en interaction avec la chaîne de traction du véhicule électrique.

Enfin, une part importante de ce chapitre sera destinée à présenter la réalisation d'un circuit de contrôle de la charge de niveau d'une batterie.

III.2 Modélisation et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté une topologie de chargeur de batteries pour les véhicules électriques, qui a une topologie unique permettant la charge et la traction d'un véhicule électrique. Ces chargeurs filaires ou inductifs sont de plus en plus intégrés au véhicule pour plus de fonctionnalité, contraignant ainsi leur conception. Dans ce troisième chapitre, nous présentons la simulation et la modélisation des différents composants d'une structure embarquée bidirectionnelle proposés dans la littérature scientifique et utilisés dans l'industrie pour la recharge de véhicules électriques à partir d'une alimentation à courant CC. Une description détaillée des modes de fonctionnement de ce chargeur filaire est présentée. Enfin, une part importante de ce chapitre sera destinée à présenter la réalisation d'un circuit.

L'utilisation d'une même chaîne de puissance est faite à la fois pour la recharge et pour la traction du véhicule, permettant de :

- Réduire le nombre global des composants en augmentant leur taux d'utilisation.
- Réduire la multiplicité des électroniques juxtaposées pour chacune des fonctions.
- Simplifier le système complet pour en réduire les coûts, en augmenter la compacité, tout cela pour l'adapter facilement à une large gamme de véhicules électriques et hybrides rechargeables.
- Réduire les pertes du système complet afin d'améliorer l'autonomie du véhicule, déjà critique dans l'usage du VE.
- Intégrer la fonction de recharge sans ajouter d'organe électronique dédié.

Il est clairement établi que les modes de charge et de traction ne sont jamais simultanément utilisés pendant le fonctionnement du véhicule. Cette observation permet d'utiliser les inductances de la machine électrique et les composants de commande des phases du moteur pour réaliser la fonction de charge. Les inductances de phase du moteur, conçues pour la traction et permettant le passage d'un courant élevé, permettent d'atteindre des puissances importantes en mode charge, offrant ainsi une fonction de charge rapide à faible coût.

En effet, la chaîne de traction classique des véhicules électriques est composée de moteurs électriques. Sources d'énergie, convertisseurs, transmissions mécaniques, y compris différentiels et roue[31]. (Figure III.2.1).

Les quatre principaux composants d'un véhicule électrique sont :

- Le moteur.
- Convertisseur.
- Source d'énergie.
- un système de liaison mécanique (réducteur de vitesse, différentiel).

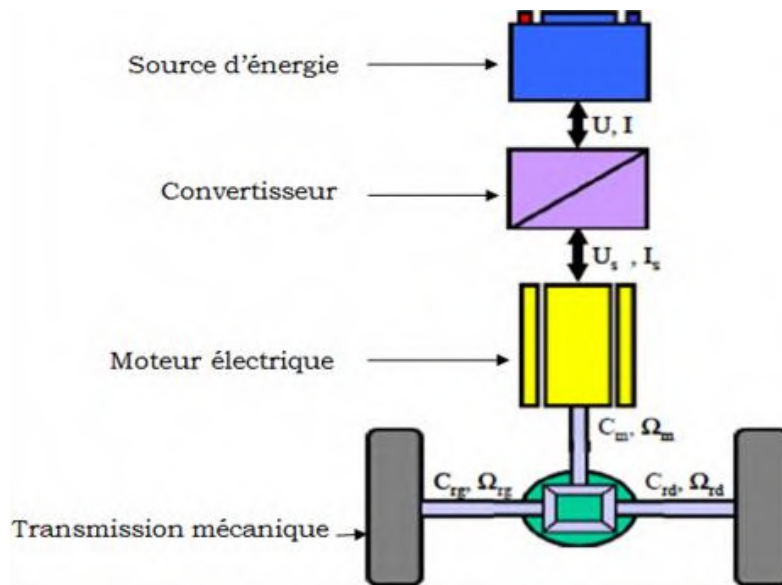


FIGURE III.2.1 – Chaîne de traction d'un véhicule électrique[32]

- **Source d'énergie** : La batterie d'accumulateur ou le supercondensateur sont utilisés comme source d'énergie, avec pour objectif de fournir de l'électricité et éventuellement de la récupérer lors du freinage.
- **Convertisseur** : Les onduleurs sont employés dans la chaîne de traction pour réguler les flux d'énergie entre la source d'énergie et le groupe motopropulseur, qui comprend le moteur de traction. L'onduleur de tension permet de fournir une alimentation alternative triphasée au moteur. Les composants semi-conducteurs utilisés sont des IGBT.
- **Moteur de traction** : Le moteur utilisé est de type asynchrone triphasé. le moteur asynchrone à cage d'écureuil (MAS), alimenté par onduleur triphasé, est une solution envisagée par de nombreux constructeurs car ce moteur est bien connu et, surtout, on possède l'expérience de sa fabrication en série[33].
- **Partie mécanique** : Une transmission mécanique est présente, comprenant un réducteur situé entre le moteur et la roue.[34]

Le moteur de traction doit fournir un couple mécanique capable de vaincre la force de traction, qui est une force résultante, F , produite en raison de la friction entre les pneus

du véhicule et la route, génère un couple qui impacte le moteur de traction. Elle joue un rôle crucial dans la propulsion du véhicule et s'exprime comme suit[35] :

$$Tt = F * R_{roue} \quad (III.2.1)$$

$$T_{mot} = \frac{T_r}{K_r} \quad (III.2.2)$$

L'association entre la vitesse angulaire du moteur : Ω_{mot} , et la vitesse linéaire du véhicule électrique, Vr est présenté comme suit :

$$\Omega_{mot} = T_r * \Omega_r \quad (III.2.3)$$

$$Vr = \frac{R_{roue}}{K_r} * (\Omega_{mot}) \quad (III.2.4)$$

Où :

- Tt : le couple de traction.
- T_r : couple reducteur.
- Tm : couple moteur.
- R_{roue} : le rayon de la roue.
- Ω_{mot} : la vitesse de rotation du moteur.
- Kr : coefficient de réduction.

Pour estimer le couple de traction nous prenons le cas d'un véhicule de masse en charge de 1500 kg, sur une rampe de 20%, la force à fournir aux roues motrices est d'environ 3000 N, et, le couple total maxi aux roues est de $CrpMax\% = 1000$ N.m (rayon de la roue de 33 cm).[33]

De plus, si l'on souhaite une vitesse de pointe de 110 km/h, la puissance nécessaire au véhicule pour atteindre cette vitesse est de $Pr_{max} = 25kW$ pour $r_{max} = 92rad/s$ Le couple correspond est : $T = 28.45Nm$ [33].

III.3 Modélisation de la machine asynchrone

Pour la propulsion, on considère généralement la machine asynchrone (IM), la machine synchrone à aimants permanents (PMSM) et la machine à réluctance variable (SRM). Le "meilleur" choix est un compromis entre le coût, la masse, le volume, l'efficacité, la fiabilité, la maintenance, etc. Le moteur asynchrone à cage d'écureuil (MAS) est choisie,

également alimenté par un onduleur triphasé, est une option prisée par de nombreux fabricants, en raison de sa grande familiarité et de l'expérience acquise dans sa production en série. Le contrôle vectoriel permet d'atteindre des performances élevées, de l'arrêt jusqu'à des vitesses élevées, et lorsqu'il est associé à un contrôle adéquat du flux, il est possible d'optimiser le rendement.

La machine électrique est divisée en une partie électrique et une partie mécanique. La partie électrique de la MAS est modélisée dans le référentiel dq sous forme d'équation d'état comme suit :

$$\dot{X} = A.X + B.U$$

Avec :

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda & \omega_s & \frac{K}{T_r} & \omega_s K \\ -\omega_s & -\lambda & -\omega K & \frac{K}{T_r} \\ \frac{L_m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & \omega_{sl} \\ 0 & \frac{L_m}{T_r} & -\omega_{sl} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} \quad (\text{III.3.1})$$

Avec :

$$T_r = \frac{L_r}{R_r}, \quad K = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}, \quad \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \quad \lambda = \frac{R_s}{\sigma} \frac{1}{L_s} + \frac{L_m^2}{\sigma L_s} \frac{R_r}{L_s L_r^2} \quad (\text{III.3.2})$$

La partie mécanique de la MAS peut être modélisée comme suit :

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = (C_e - C_r - f_r \Omega_r) / J \quad (\text{III.3.3})$$

Le couplage entre la partie électrique et la partie mécanique est donné par :

$$C_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\phi_{dr} I_{qs} - \phi_{qr} I_{ds}) \quad (\text{III.3.4})$$

III.4 Simulation de machine asynchrone acage connectée à un réseau triphasé équilibré

La simulation numérique est aujourd'hui largement reconnue dans le domaine des machines et des entraînements électriques. Elle nous permet de modéliser, analyser et simuler des systèmes avec une grande précision et une efficacité opérationnelle, atteignant

Chapitre III. Modélisation Et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction

ainsi les performances dynamiques souhaitées. De nombreux logiciels sont utilisés à cet effet ; nous utilisons MATLAB Simulink, qui nous permet de comprendre les performances dynamiques du moteur et d'évaluer les valeurs des grandeurs caractéristiques en fonction de ses paramètres. La simulation de la machine asynchrone alimenté par une source de tension triphasé est **présenté** par la figure III.4.1.

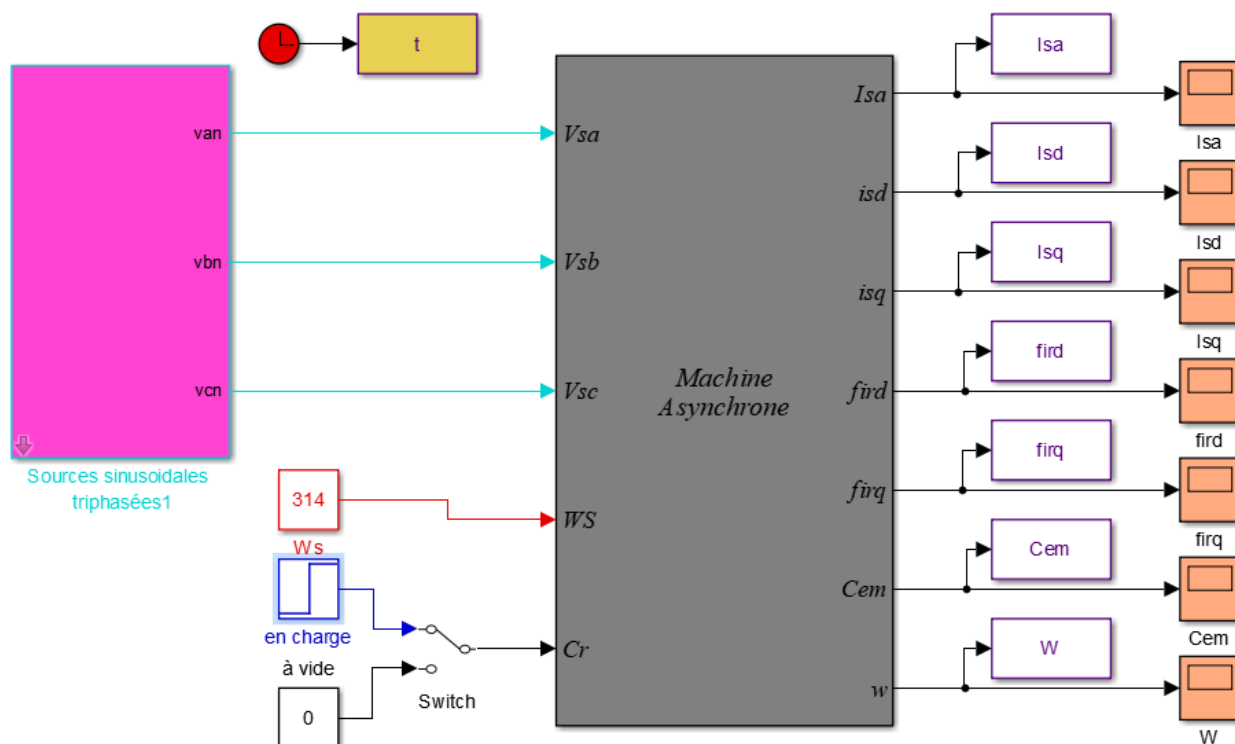


FIGURE III.4.1 – Simulation du fonctionnement de la MAS alimenté par une source de tension triphasé.

Les résultats de simulation présentés pour une machine en démarrage directe, alimentée par le réseau (220/380V et 50Hz).

Les tensions d'alimentation ont supposées parfaitement sinusoïdales d'amplitudes égales et constantes, elles peuvent présentées comme suite :

$$\begin{cases} v_{sa}(t) = V_s \cdot \sqrt{2} \sin(\omega_s \cdot t) \\ v_{sb}(t) = V_s \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega_s \cdot t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_{sc}(t) = V_s \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega_s \cdot t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (\text{III.4.1})$$

III.4.1 Résultats de Simulation à Vide ($C_r=0$)

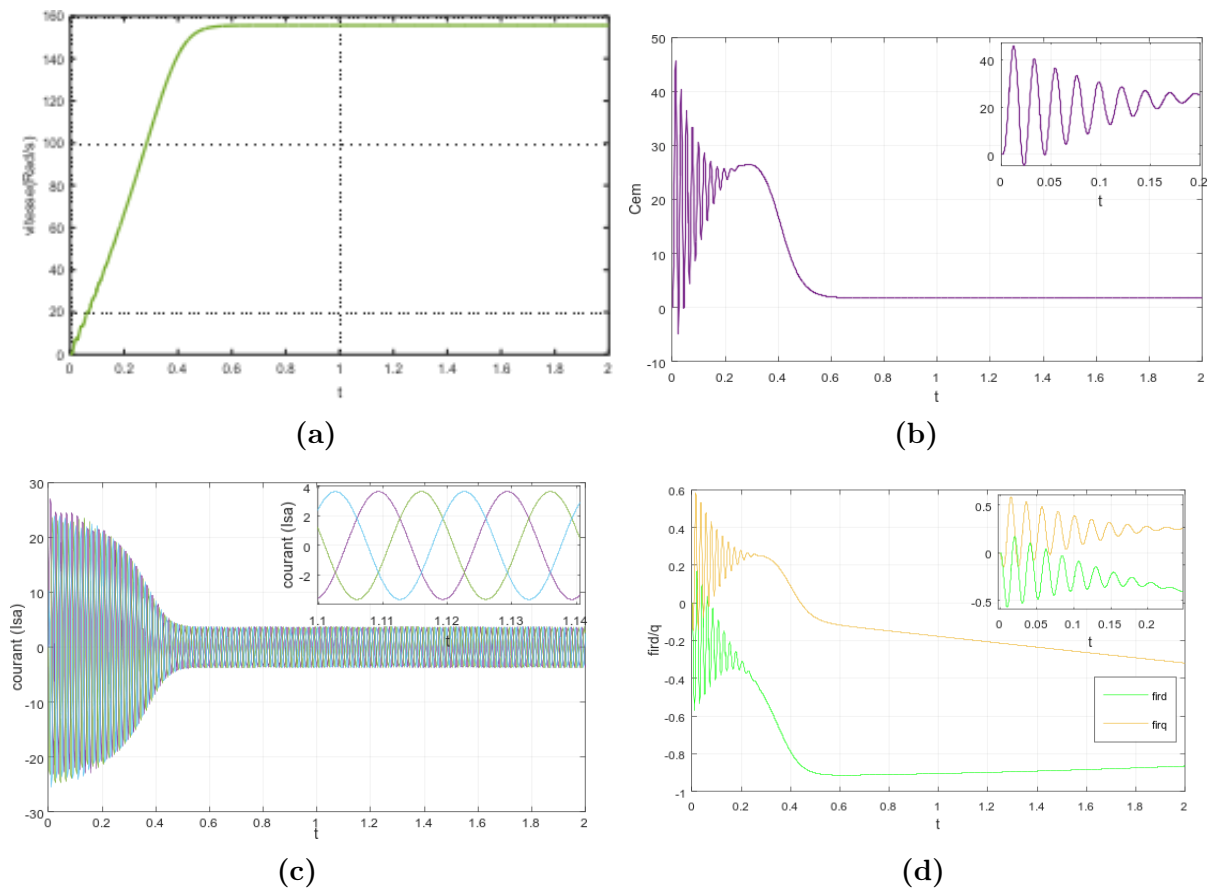


FIGURE III.4.2 – Les résultats de la MAS à vide alimentée par un réseau.

III.4.1.1 Interprétation des résultats

► **Avide :**

En régime transitoire, au démarrage de la machine asynchrone, on observe une augmentation initiale du courant de phase et du flux statorique. Cependant, une fois stabilisé, le courant adopte une forme sinusoïdale d'amplitude constante, comme le montrent les figures ci-dessus.

► **La vitesse (a) :**

La vitesse de rotation augmente au démarrage jusqu'à atteindre sa valeur max au régime nominale puis elle se stabilise (constante) à 157 rad/s après 0.5.

► **Le couple électromagnétique (b) :**

Pendant la phase transitoire, le couple électromagnétique de la machine asynchrone subit une variation brusque, affichant une oscillation pendant environ 0,5 seconde, avec un pic d'environ 45 Nm. Une fois le régime transitoire terminé, le couple tend à diminuer jusqu'à atteindre zéro.

► **Les courant statorique (c) :**

Chapitre III. Modélisation Et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaine de traction

Le courant, on voit qu'au démarrage, le moteur fait appel à des forts courants.

► Le flux fird et Le flux firq (d) :

Le flux fird se démarre à des valeurs importantes puis il se stabilise a l'instante 0.5s et ensuite il se diminue peu.

Le flux firq se démarre aussi à des valeurs importantes puis il se stabilise après 0.5s et il se augmente peu.

III.4.1.2 Résultats de Simulation en Charge

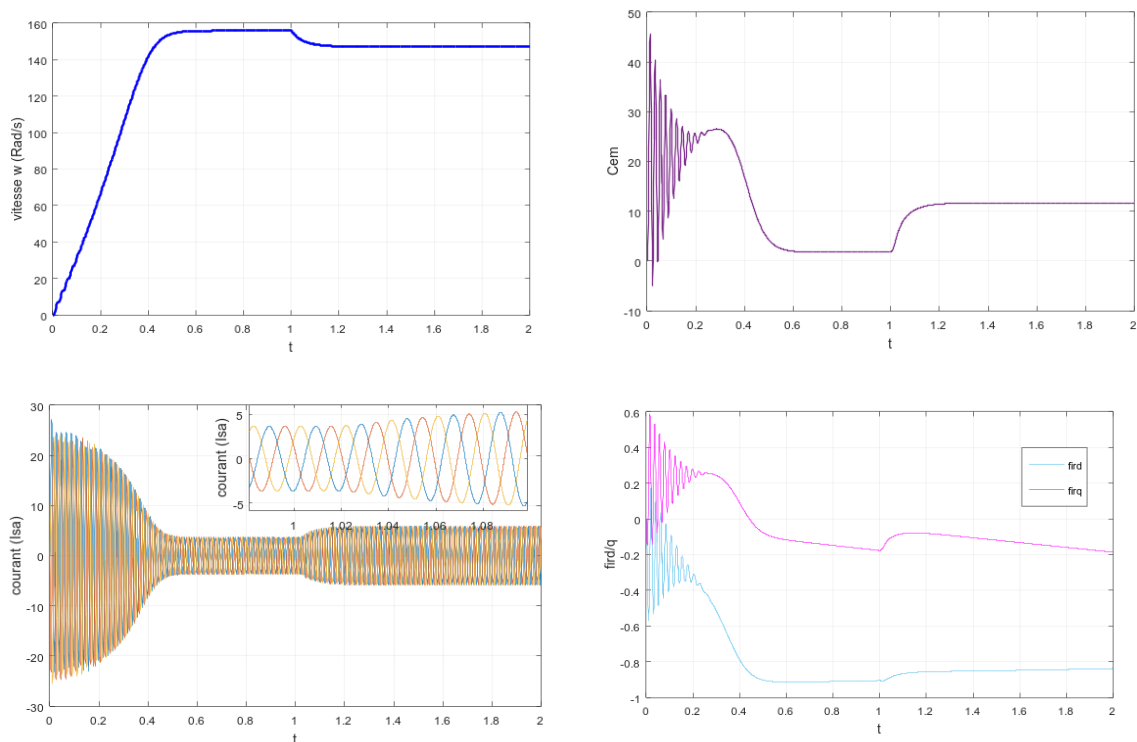


FIGURE III.4.3 – Les résultats de la MAS en charge alimentée par un réseau.

III.4.1.3 Interprétation des résultats

► En charge :

A la fin de la phase de démarrage, le couple s'annule puisque le moteur n'est pas chargé. En charge, une perturbation du couple ($C_r = 10\text{Nm}$), est appliquée à l'arbre de la machine (à l'instant $t = 1\text{s}$). Le couple électromagnétique se stabiliser finalement à la valeur du couple de charge, évidemment une diminution de la vitesse de rotation. On remarque également une augmentation de l'amplitude des courants statoriques et une légère diminution du flux.

► La vitesse de rotation W :

Lorsque on applique un couple résistant ($C_r = 10\text{ mN}$) La vitesse est diminué après 1s

puis stabilisée.

► **Le couple électromagnétique C_{em} :**

le couple augmente après 1s puis stabilisée, car si la machine est chargée, la vitesse à tendance à baissée donc le moteur va fournir plus de couple pour assurer cette équilibre.

► **Le courant statorique I_{sa} :**

Elévation de la valeur du courant, dès l'application du couple de charge.

► **La composante directe du flux :**

Le flux f_{ird} et f_{irq} après 1s est augmenté un peu.

III.5 Modélisation et Simulation d'un onduleur

III.5.1 Modèle d'un onduleur

L'onduleur de tension triphasé (FIGURE III.5.1) permet l'échange d'énergie entre une source de tension continu et une charge inductive triphasée. Il est constitué de trois bras utilisant des interrupteurs à trois segments, bidirectionnels en courant et commandés à l'amorçage et au blocage, Les interrupteurs peuvent être réalisés, suivant la puissance à contrôler, avec des IGBT associés à une diode en antiparallèle pour obtenir la réversibilité en courant[36].

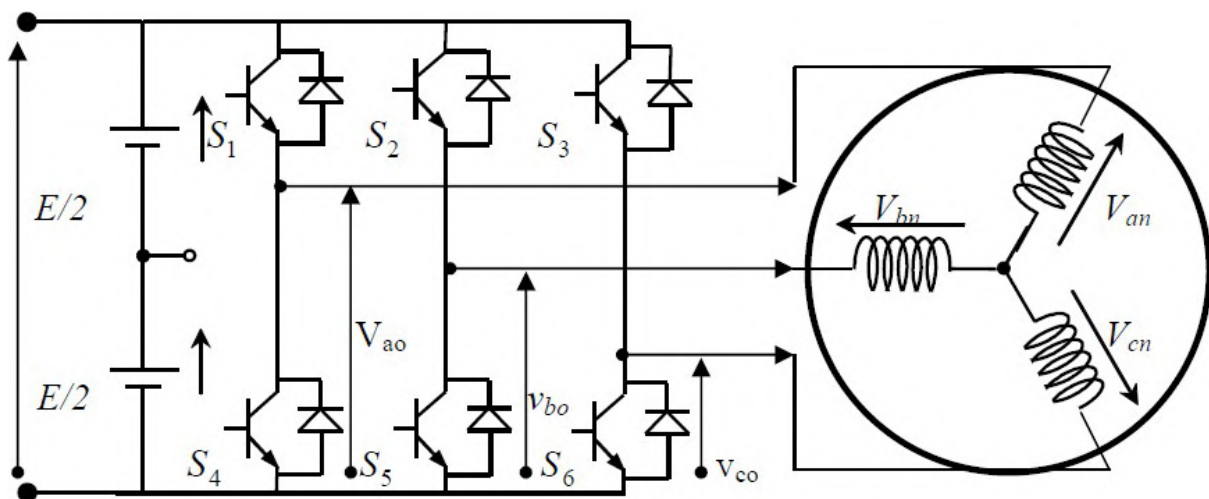


FIGURE III.5.1 – Schéma d'un onduleur de tension triphasée.

L'état des interrupteurs, supposés parfaits peuvent être définis par trois grandeurs booléennes de commande S_i ($i = a, b, c$) :

- $S_i = 1$ le cas où l'interrupteur de haut est fermé et celui d'en bas ouvert.
- $S_i = 0$ le cas où l'interrupteur de haut est ouvert et celui d'en bas fermé.

III.5.1.1 Les tensions composées

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{an} - V_{bn} \\ V_{bc} &= V_{bn} - V_{cn} \\ V_{ca} &= V_{cn} - V_{an} \end{aligned} \quad (\text{III.5.1})$$

- V_{ao} , V_{bo} et V_{co} sont les tensions de sortie de l'onduleur par rapport a la référence «o» les tensions des phases sont données par :

$$\begin{cases} V_{an} = V_{ao} - V_{no} \\ V_{bn} = V_{bo} - V_{no} \\ V_{cn} = V_{co} - V_{no} \end{cases} \quad (\text{III.5.2})$$

- V_{no} : est la tension de neutre de la charge par rapport au point «o» .

On a : ($V_{ao} + V_{bo} + V_{co} = 0$)

Donc on tire :

$$V_{no} = \frac{1}{3}(V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (\text{III.5.3})$$

En remplace (III.5.3) dans (III.5.2) on obtient :

$$\begin{aligned} V_{an} &= \frac{2}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{bn} &= -\frac{1}{3}V_{ao} + \frac{2}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{cn} &= \frac{1}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} + \frac{2}{3}V_{co} \end{aligned} \quad (\text{III.5.4})$$

les équations instantanées des tensions simples en fonction des grandeurs de commande :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.5.5})$$

III.5.2 Principe de la Commande MLI

Parmi les techniques des commandes à MLI les plus utilisées on a la technique triangulo-sinusoidale. Il s'agit de la comparaison entre deux signaux, un signal de porteuse V_p , qui définit la cadence de la commutation des interrupteurs statiques de l'onduleur. Et

un signal de référence V_{ref} représente l'image de la sinusoïde qu'on désire à la sortie de l'onduleur. Ce signal est modulable en amplitude et en fréquence.

Deux paramètres sont définis pour caractériser cette méthode de commande :

- L'indice de modulation «m» égal au rapport de la fréquence de modulation (f_P) sur la fréquence de référence (f).
- Le coefficient de réglage en tension «r» égal au rapport de l'amplitude de la tension de référence (V_m) à la valeur crête de l'onde de modulation (V_{pm}).

III.5.3 Simulation d'un onduleur de puissance avec la commande MLI

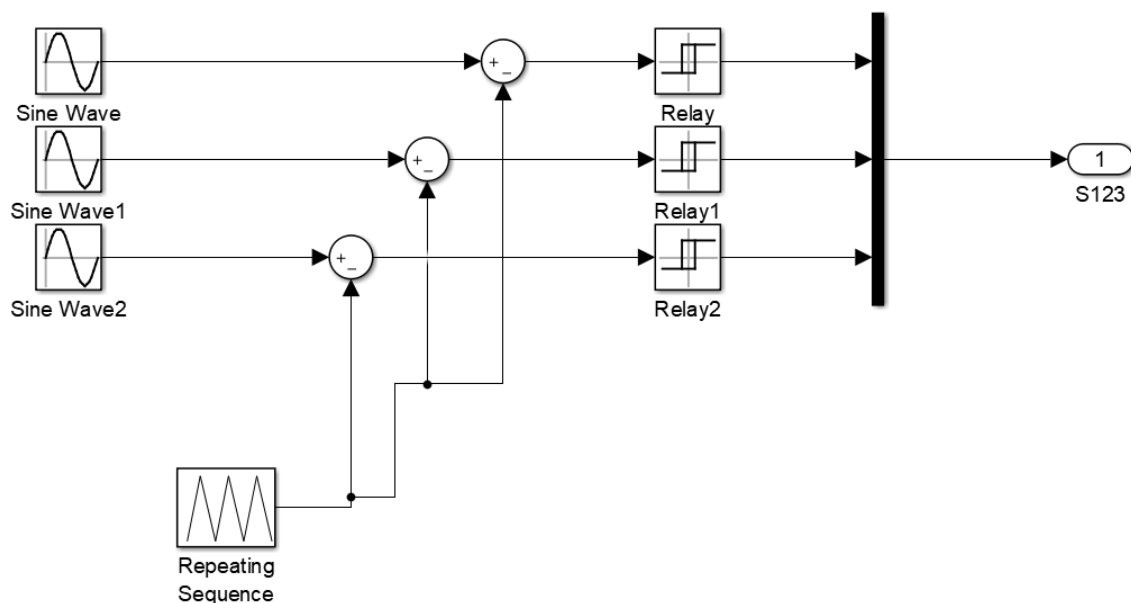


FIGURE III.5.2 – Simulation de la commande MLI.

III.5.3.1 La MLI sinus-triangle

Le principe de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) repose sur la comparaison entre une onde modulante, généralement sinusoïdale à basse fréquence, et une onde porteuse de forme triangulaire à fréquence plus élevée. Les points d'intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation. Le schéma de principe est illustré dans la figure III.5.3[37].

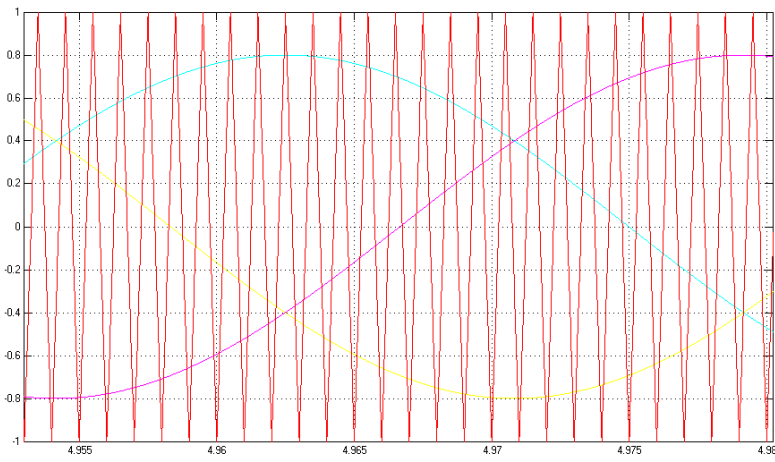


FIGURE III.5.3 – Principe de la commande MLI-ST.

Cette stratégie est caractérisée par deux paramètres :

- L'indice de modulation : $m = \frac{f_p}{f_r}$
- Le taux de modulation : $r = \frac{v_{mr}}{v_{mp}}$

Avec :

- f_p : Fréquence de modulation.
- f_r : Fréquence de référence.
- v_{mr} : Amplitude de tension de référence.
- v_{mp} : Valeur de crête de l'onde de modulation.

III.5.3.2 Equation de la porteuse

$$\nu_p(t) = \begin{cases} \nu_{mp} \left(4\frac{t}{T_p} - 1 \right) & \text{si } 0 \leq t \leq \frac{T_p}{2} \\ \nu_{mp} \left(-4\frac{t}{T_p} + 3 \right) & \text{si } \frac{T_p}{2} \leq t \leq T_p \end{cases} \quad (\text{III.5.6})$$

ou : $T_p = \frac{1}{f_p}$

III.5.3.3 Equation de la référence

Les signaux de référence forme un système tel que :

$$\begin{cases} v_{ar} = v_m \sin(\omega t) \\ v_{br} = v_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ v_{cr} = v_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (\text{III.5.7})$$

L'algorithme de commande :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } v_{ar} > v_p(t) \quad s_a = 1 \quad \text{si non } s_a = 0 \\ \text{si } v_{br} > v_p(t) \quad s_b = 1 \quad \text{si non } s_b = 0 \\ \text{si } v_{cr} > v_p(t) \quad s_c = 1 \quad \text{si non } s_c = 0 \end{array} \right. \quad (\text{III.5.8})$$

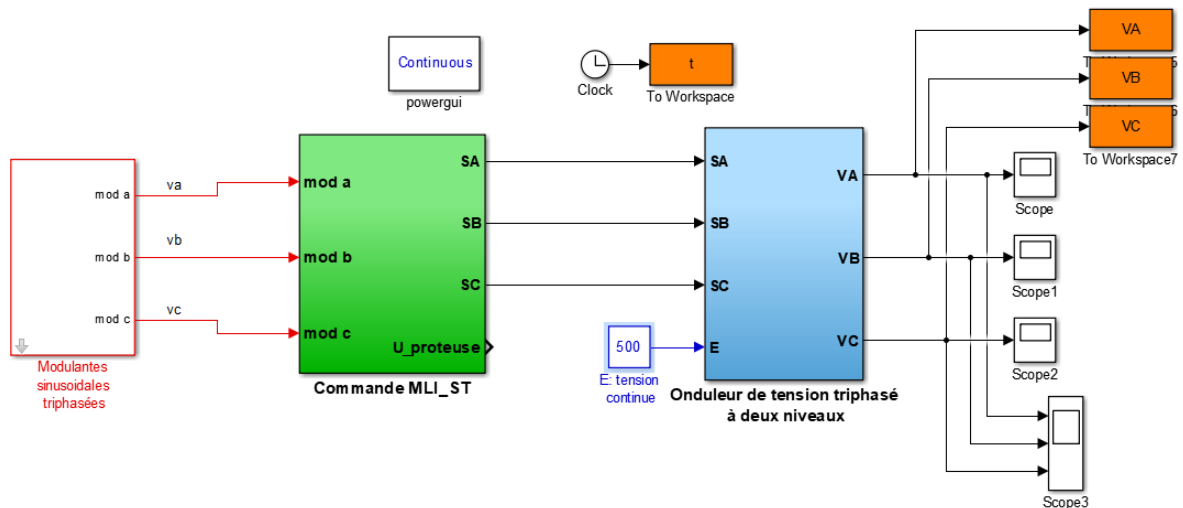


FIGURE III.5.4 – Circuit de puissance d'un onduleur triphasé avec la commande MLI.

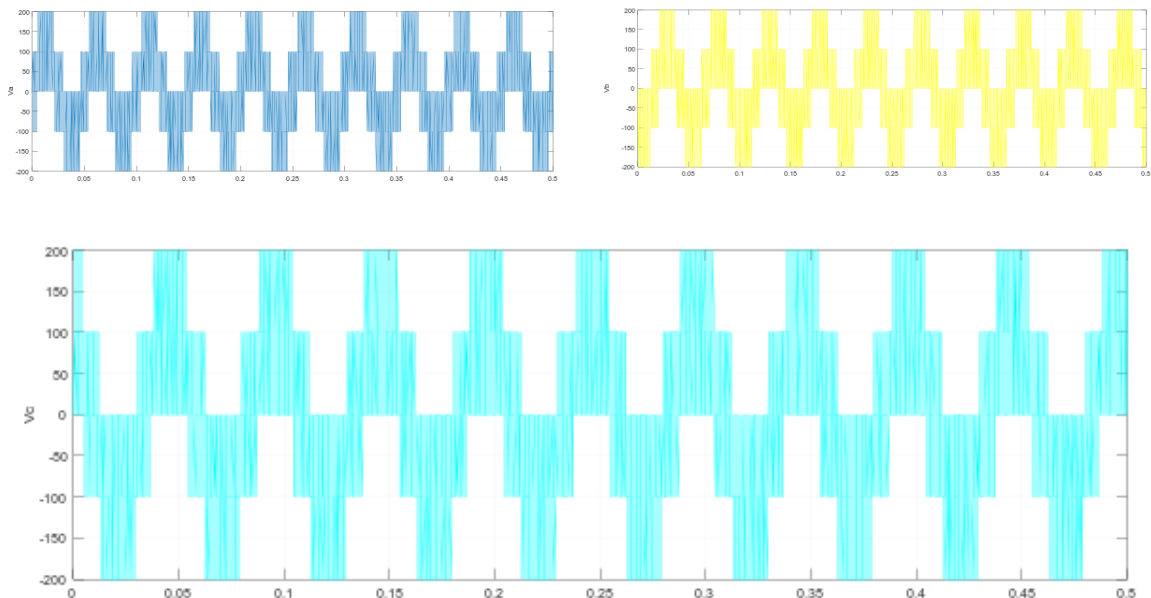


FIGURE III.5.5 – l'allure de tension a la sortie de l'onduleur.

III.5.3.4 Schéma bloc d'une machine asynchrone commandé par un onduleur MLI

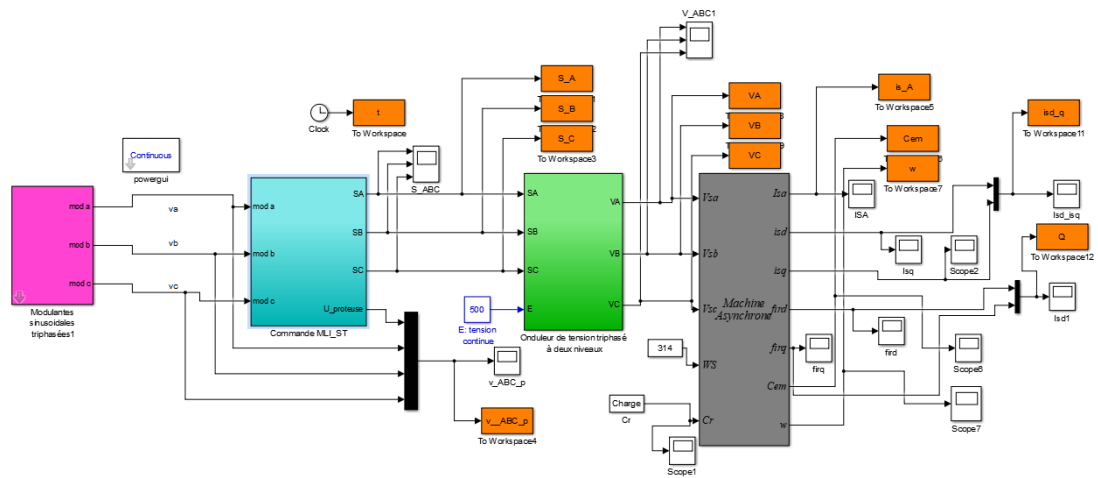
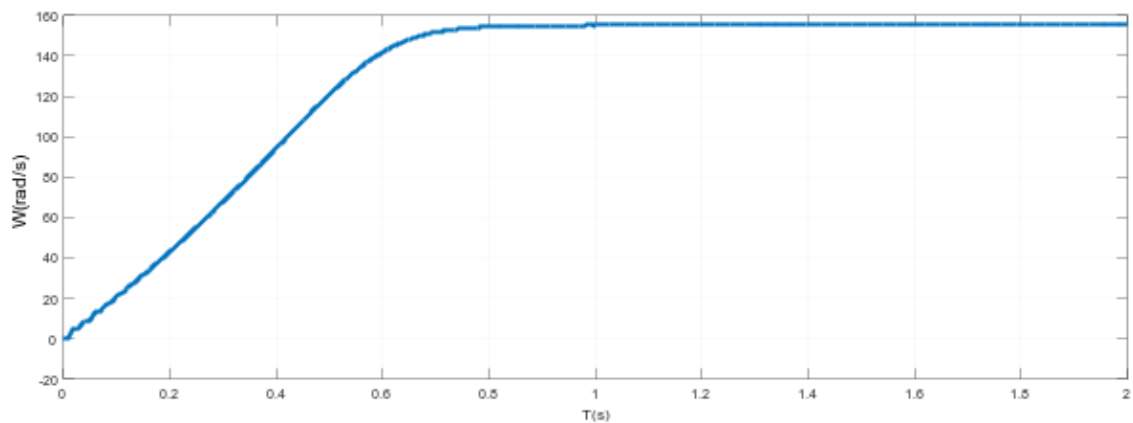


FIGURE III.5.6 – Simulation d'une machine asynchrone commandé par un onduleur MLI.

III.5.4 Les résultats de simulation de l'ensemble convertisseur-machine asynchrone

III.5.4.1 1er cas : Pour un couple de charge nul (moteur à vide $Cr = 0$)



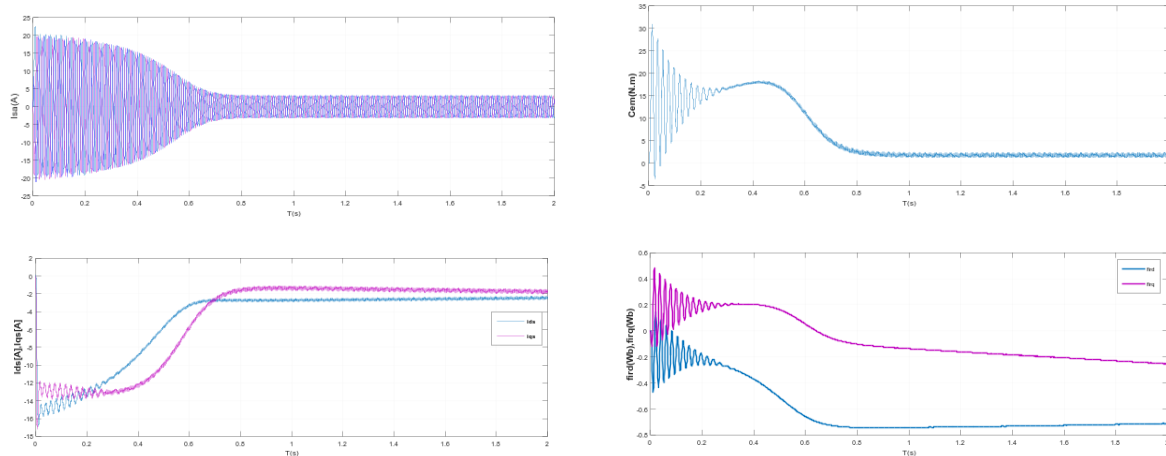


FIGURE III.5.7 – Résultats de la simulation du MAS commandé par un onduleur MLI.

III.5.4.2 Interprétation

► *La vitesse :*

Pendant le régime transitoire, la vitesse, comme indiqué dans la figure III.5.7 elle augmente de manière presque linéaire pour atteindre 157 rad/s, très proche de la vitesse synchrone, à $t= 0.5s$, marquant le début du régime permanent.

► *Le couple électromagnétique :*

Au début, le couple atteint sa valeur maximale de 31.5 Nm et présente des oscillations qui s'atténuent progressivement jusqu'à disparaître. Ensuite, le couple diminue de manière presque linéaire pour se stabiliser à sa valeur minimale de 0 Nm à $t= 0.5s$, puisque le moteur n'est pas chargé.

► *Les flux rotoriques :*

En fin de régime transitoire, les flux rotoriques selon les axes d et q se stabilisent respectivement, avec une évolution presque identique à celle du couple électromagnétique.

► *Le courant statorique :*

Jusqu'à 0,5 seconde, au démarrage, le courant statorique présente des oscillations successives autour de zéro, avec une amplitude maximale de 23A. Après ce temps, il diminue à 2,70A.

Après la modélisation de l'ensemble machine onduleur on a abouti au schéma bloqué de la figure III.5.6 à l'aide de Matlab Simulink. Le système global à étudier est constitué de :

- Un onduleur de tension triphasée.
- Un moteur asynchrone. Le couple de charge appliqué sur la machine asynchrone est le

suivant (Figure III.5.8)

III.5.4.3 2ième cas : Pour un couple de charge $Cr = 10 \text{ Nm}$

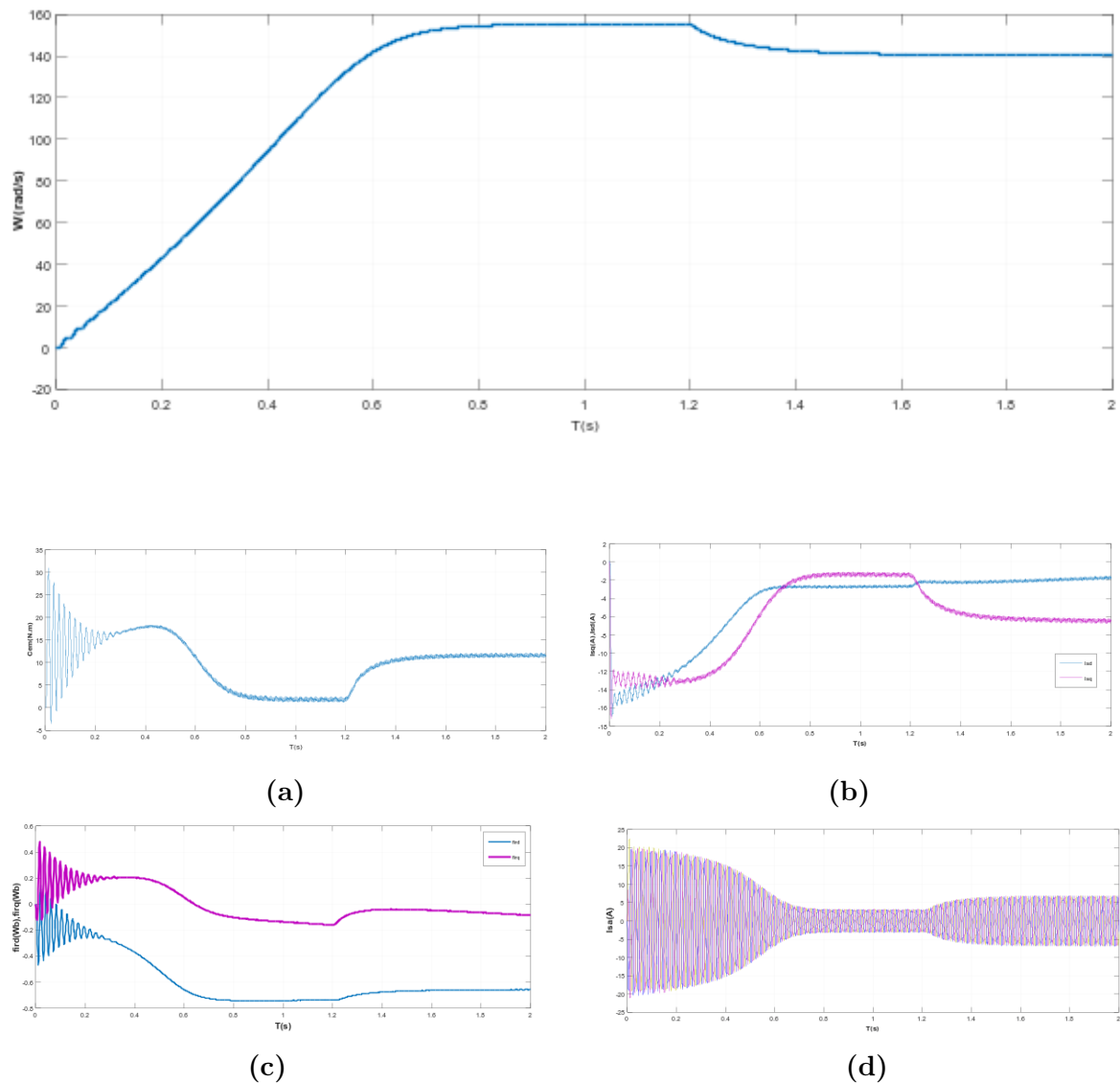


FIGURE III.5.8 – Résultats de la simulation du MAS commandé par un onduleur MLI En charge.

III.5.4.4 Interprétation

En appliquant la charge $Cr = 10 \text{ N.m}$ (machine en fonctionnement moteur) à partir de l'instant $t = 1.25 \text{ s}$, on constate que la vitesse diminue et se stabilise à 140 rd/s . Des augmentations sont observées sur le couple électromagnétique, et le courant statorique.

III.6 Simulation du chargeur on board intégré en mode traction et en mode charge

La figure III.6.1 montre le schéma de la conversion d'énergie en mode traction et en mode charge. Comme mentionné précédemment, le concept principal est de réutiliser les composants électroniques de la chaîne de traction du moteur pour créer le système de charge des batteries.

En mode charge, ce chargeur est compatible avec les réseaux électriques monophasés et triphasés, offrant ainsi deux modes de charge : l'un lent et l'autre rapide. En mode traction, l'onduleur convertit les grandeurs continues de la batterie en courants et tensions alternatifs pour alimenter une machine asynchrone qui sert de moteur de traction pour le véhicule.

La figure III.6.1 présente une analyse par simulation de la structure embarquée en mode traction. Toutes les figures sont basées sur les résultats de simulation obtenus avec MATLAB/Simulink.

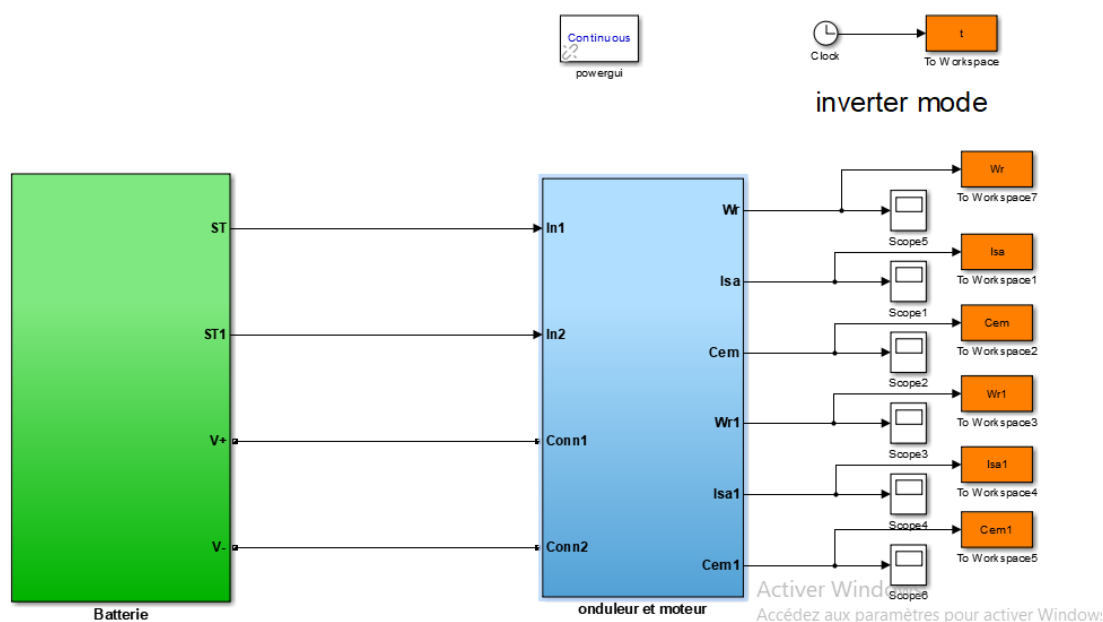


FIGURE III.6.1 – Simulation du chargeur on board intégré en mode traction.

Comme notre moteur est alimenté en 220 V/380 V

$$U_{\max} = U_{\text{eff}} \times \sqrt{2} = 220 \times \sqrt{2} = 311V$$

Dans le contexte du calcul de puissances, la tension crête à crête est utilisée pour déterminer la puissance d'un signal alternatif. Cela est particulièrement important dans

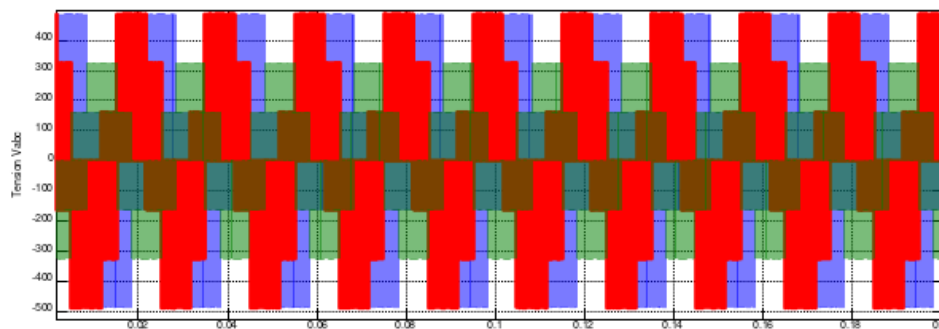
Chapitre III. Modélisation Et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaîne de traction

des applications telles que l'électronique de puissance, les convertisseurs et les systèmes de communication.

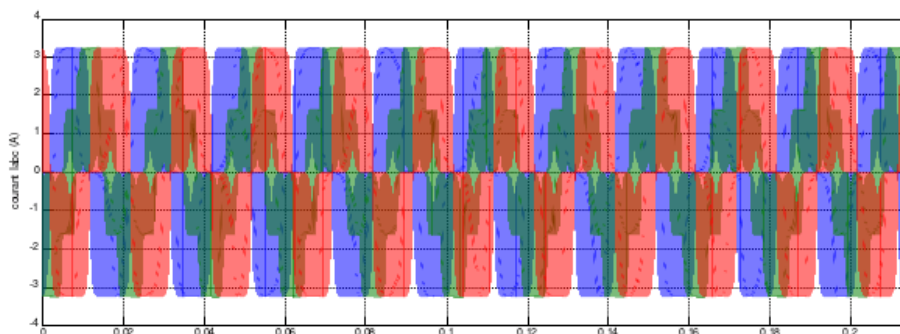
La puissance calculée à partir de la tension crête à crête peut être utilisée pour dimensionner les composants, optimiser l'efficacité du système et garantir que le système fonctionne correctement sans surcharges ou pertes excessives.

$$U_{CC} = 2 \times U_{\max} = 620V$$

Nous allons prendre les tension d'alimentations appliquée sur l'onduleur 650 V, 400 V, et 300 V . La tension appliquée sur l'entrée de l'onduleur et les tensions générées sur sa sortie sont présentées par les figures suivantes :

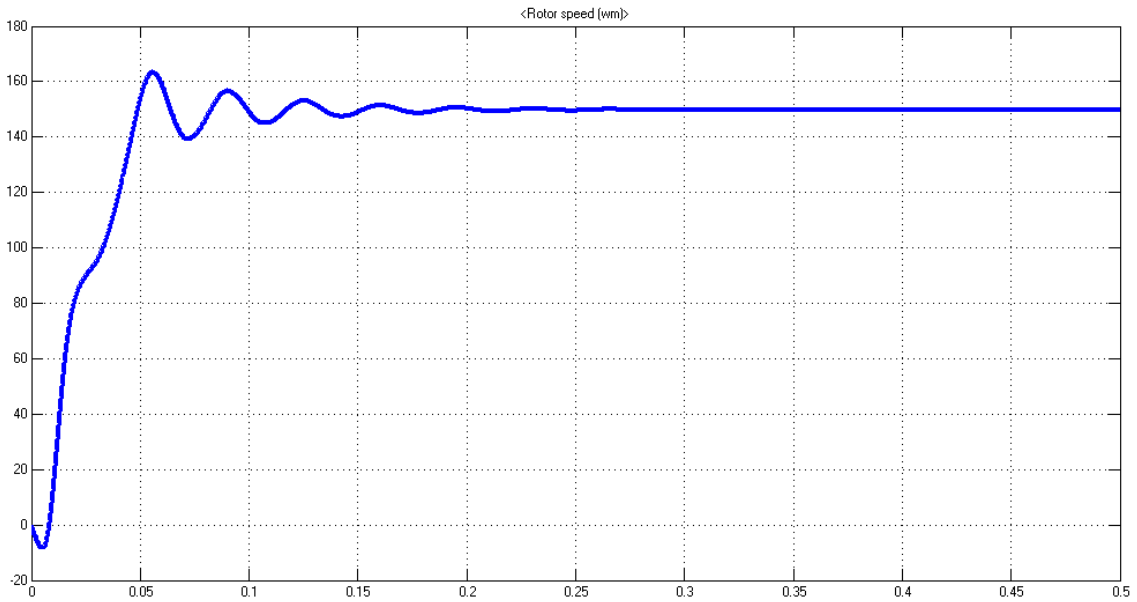


(a) Tension Vabc

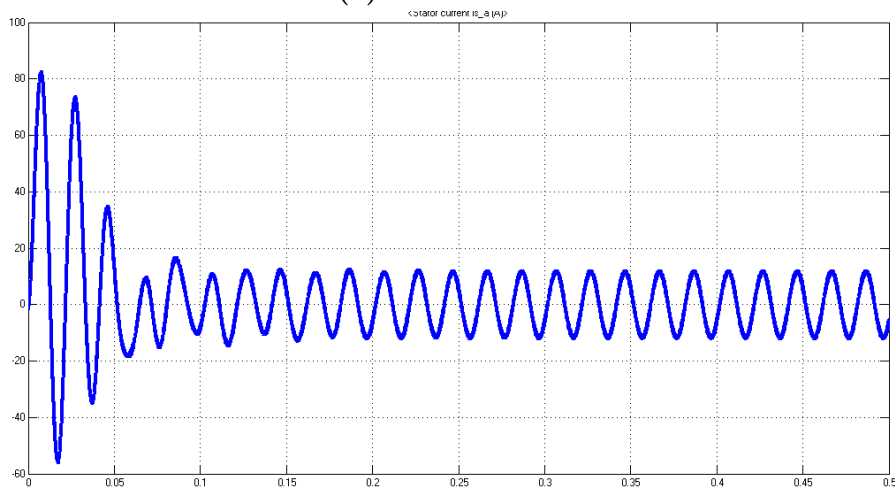


(b) Courant Iabc

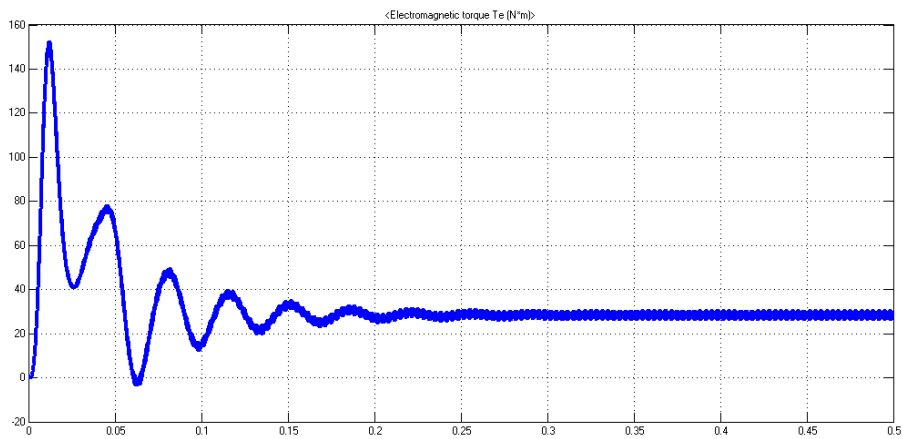
FIGURE III.6.2 – Les graphes de la 1^{er} simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 650 v



(a) La vitesse w_r

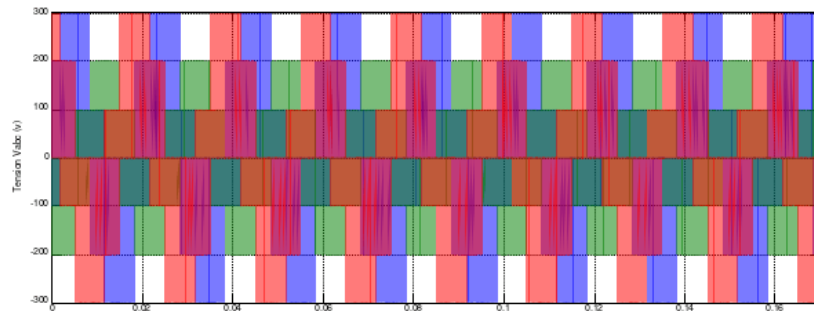


(b) courant statorique i_{sa}

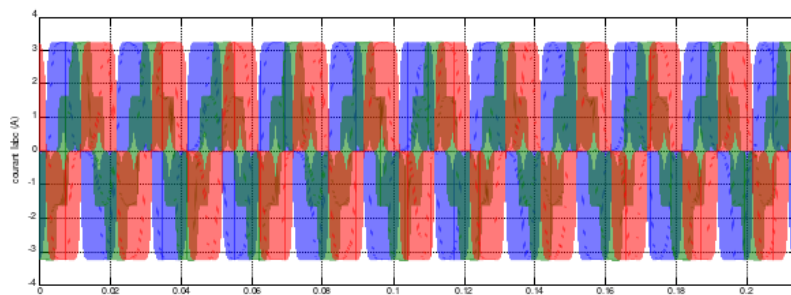


(c) Le couple electomagnetique C_{em}

Pour une tension d'alimentation : 400 v



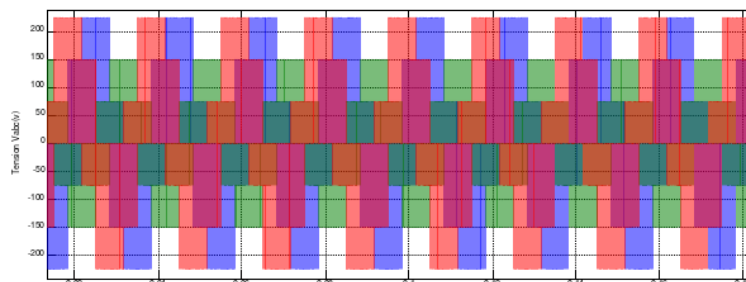
(a) Tension Vabc



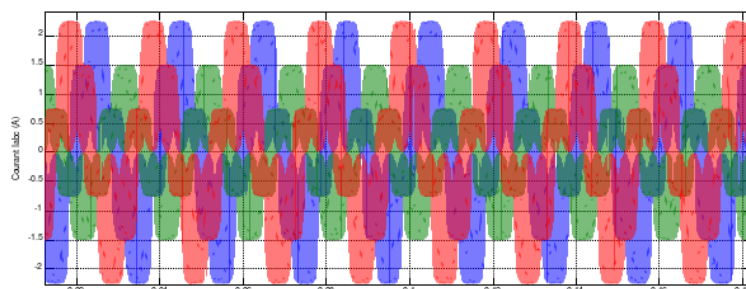
(b) Courant Iabc

FIGURE III.6.4 – Les graphes de la 1^{er} simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 400 v

Tension d'alimentation : 300 v



(a) Tension Vabc

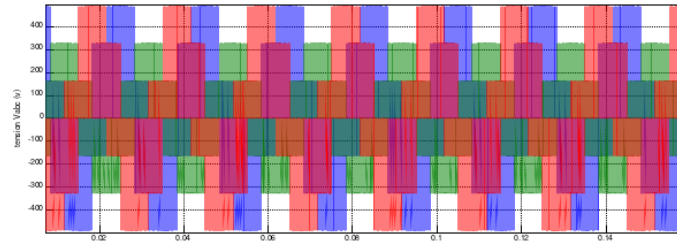


(b) Courant Iabc

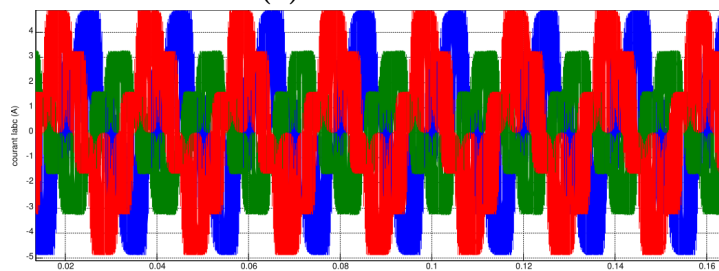
FIGURE III.6.5 – Les graphes de la 1^{er} simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 300 v

Partie 2 : résultats de simulation pour le deuxième moteur, car la voiture est entraîné par deux moteurs qui fonctionne simultanément

- Tension alimentation = 650 v



(a) Tension Vabc



(b) Courant Iabc

FIGURE III.6.6 – Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 650 v

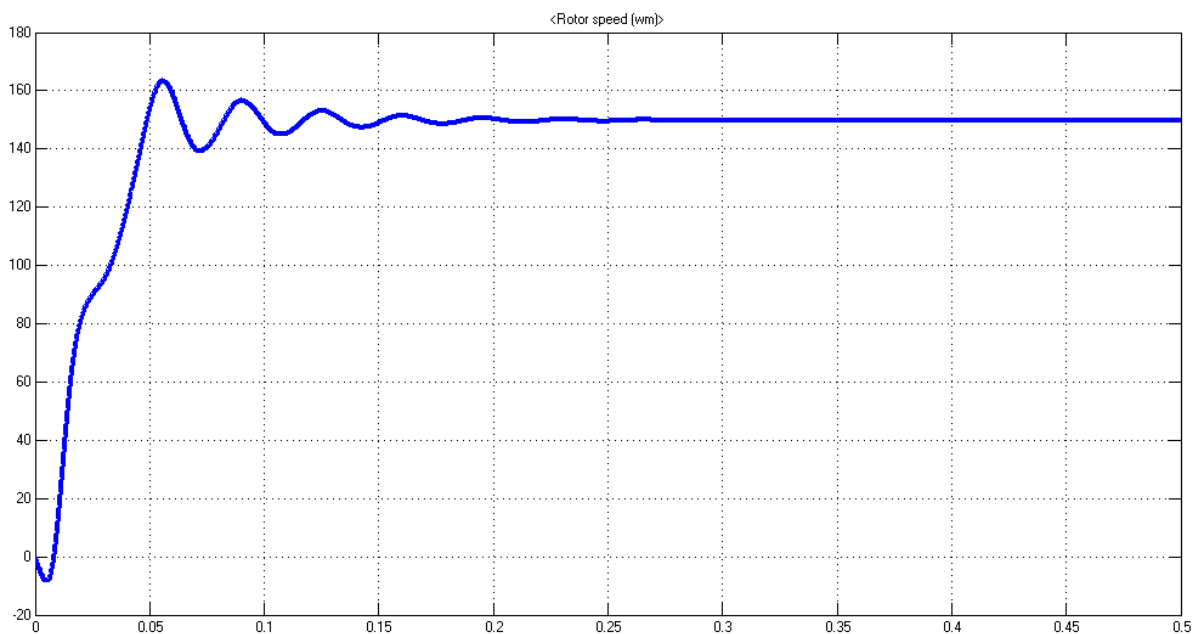
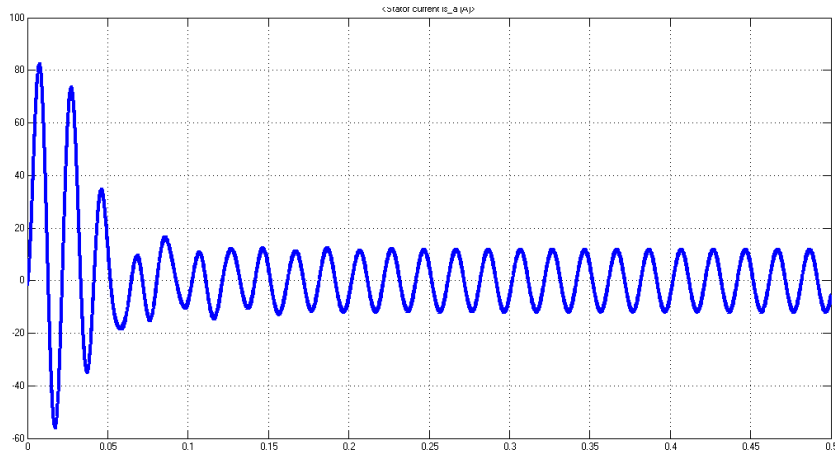
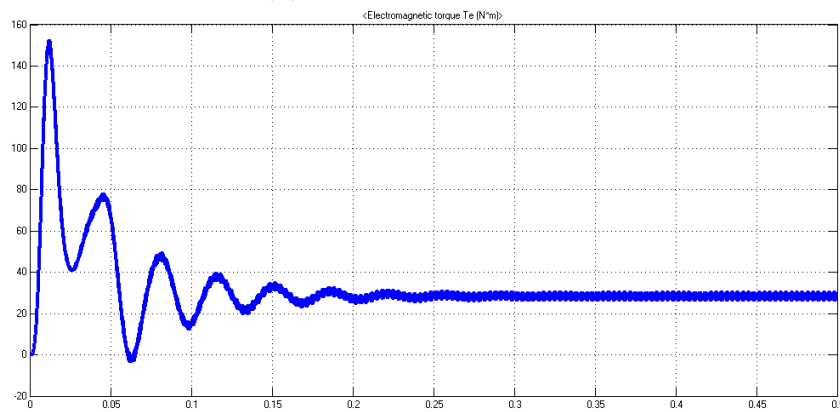


FIGURE III.6.7 – La vitesse W_r

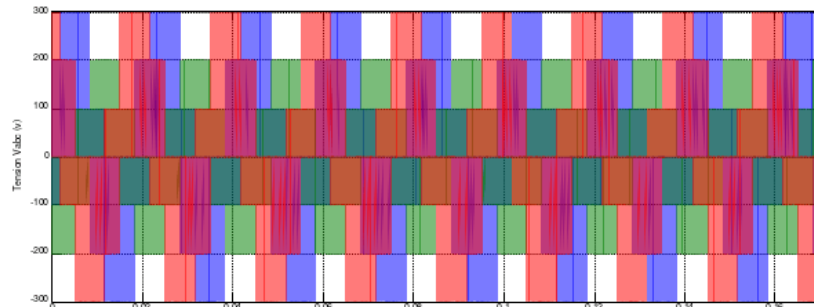


(a) courant statorique isa

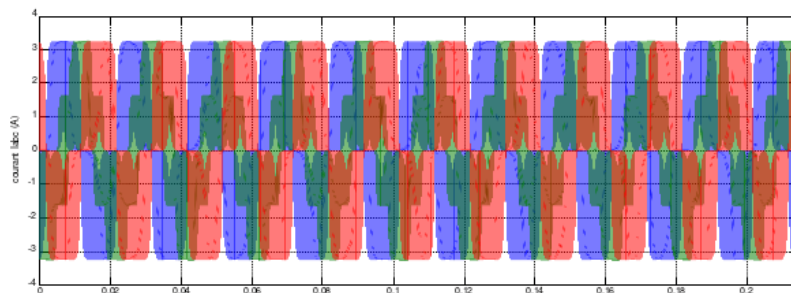


(b) Le couple electromagnetique Cem

- Tension alimentation = 400 v



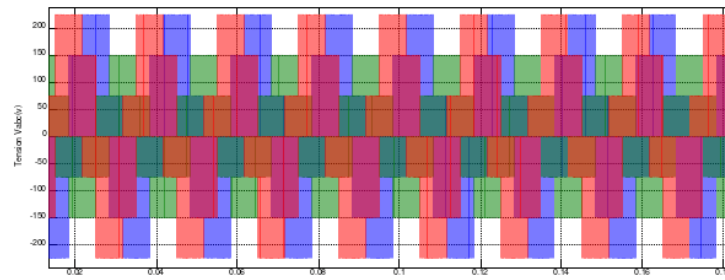
(a) Tension Vabc



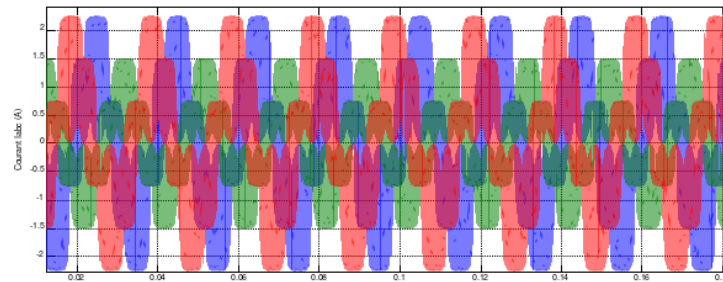
(b) Courant Iabc

FIGURE III.6.9 – Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 400 v

- Tension alimentation = 300 v



(a) Tension Vabc



(b) Courant Iabc

FIGURE III.6.10 – Les graphes de la 2ième simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 300 v

Interpretation

Dans la simulation du chargeur on board intégré en mode traction nous avons utilisé les tensions : 670V ,400V et 300V.

- en remarque que la tension de sortier est altarnatif (V_{abc}) et si en augment la tension d'alimentation, la tension de sortier augmente aussi comme suit :

Tension d'alimentation	Tension sortie de onduleur V_{abc}
300V	230V
400V	300V
650V	490V

TABLE III.6.1 – Relation entre le Tension d'alimentation et la tension de sortie

- en remarque que le courant (I_{abc}) est proportionnelle à la tension :

Tension d'alimentation	Courant sortie de onduleur I_{abc}
300V	2.30A
400V	3.00A
650V	4.90A

TABLE III.6.2 – Relation entre le Tension d'alimentation et le courant de sortie

- La vitesse : La courbe commence à une vitesse de 0 m/s et augmente progressivement jusqu'à atteindre une vitesse maximale d'environ 160 m/s à 0,25 seconde.
- Le courant : La courbe commence à un courant de 0 A et augmente progressivement jusqu'à atteindre un courant maximal d'environ 100 A à 0,1 seconde. Ensuite, le courant diminue progressivement jusqu'à atteindre une valeur fixe au régime établie.
- Le couple électromagnétique : le couple électromagnétique est le siège des pulsations pendant le régime transitoire. Et finissent par se stabilisé au régime établi.

Pour assurer la recharge de la batterie, le véhicule électrique utilise la même chaîne de conversion que celle décrite pour le mode traction comme dispositif de charge intégré. Dans cette configuration, la structure précédente est utilisée comme un convertisseur continu-alternatif pour redresser les courants et tensions du réseau. Les bobinages du moteur sont utilisés comme inductances de lissage, et le réseau électrique est directement relié à la machine électrique. Le mode chargeur est présenté par la figure suivante :

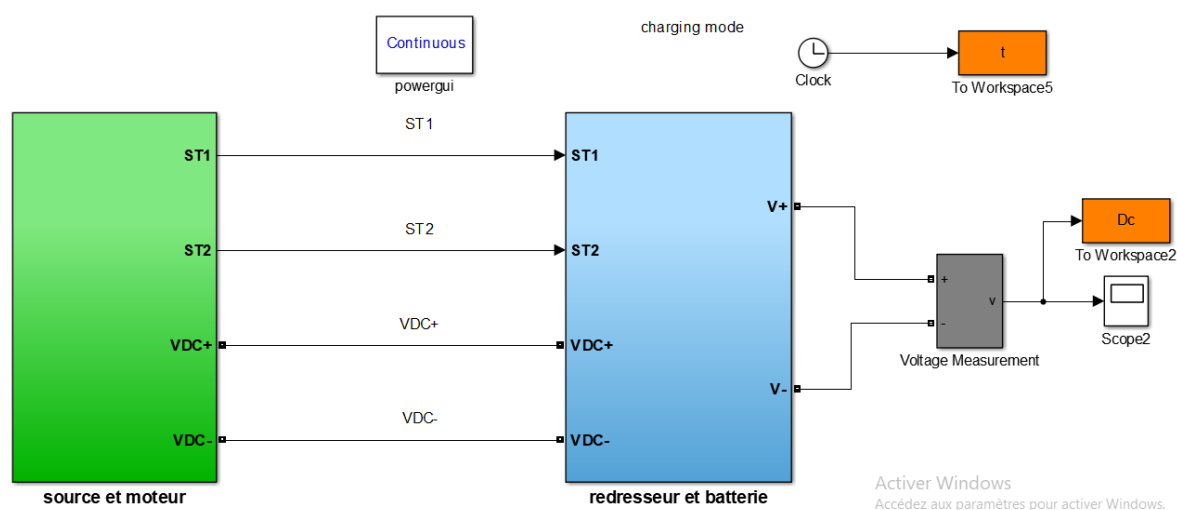
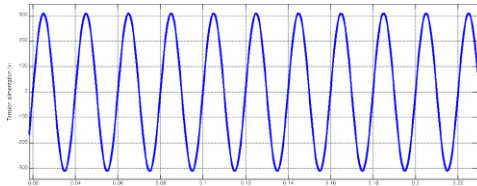


FIGURE III.6.11 – simulation du chargeur on board integre en mode charge.

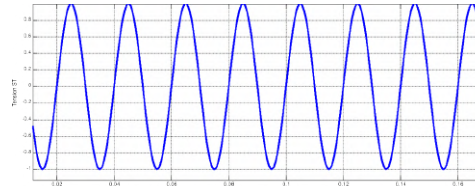
Cas de mode chargeur

Nous allons prendre les tension d'alimentations du réseau électrique : 310V, et 220V, et une fréquence de 50 Hz .qui sont présentées par les figures suivantes :

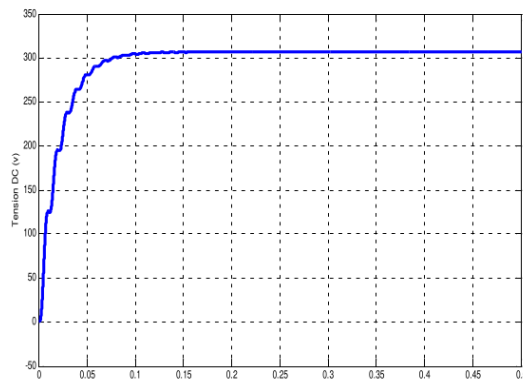
- Tension d'alimentation : 310 v



(a) Tension VAC



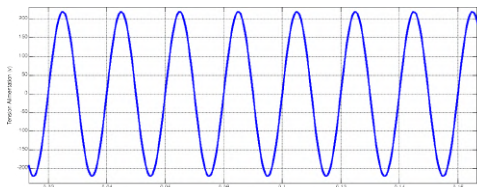
(b) Tension ST2



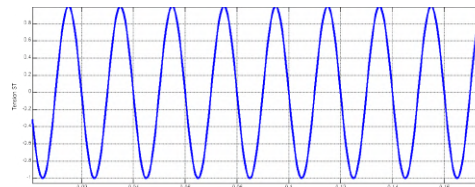
(a) Tension DC

FIGURE III.6.13 – Les graphes de la simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 310 v

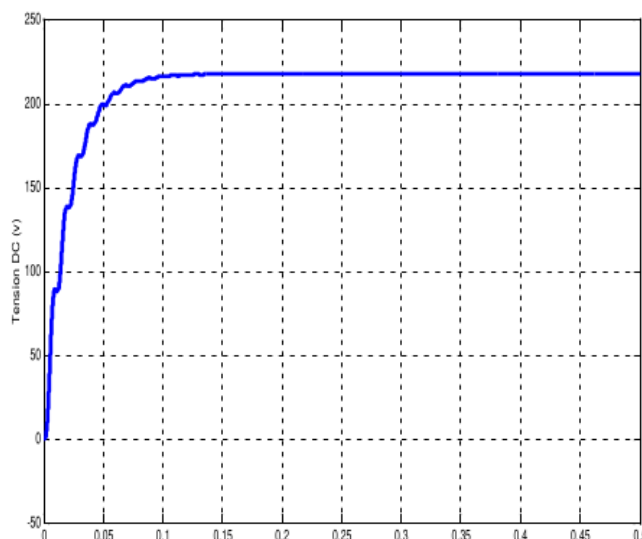
- Tension alimentation : 220 v



(a) Tension VAC



(b) Tension ST2



(a) Tension DC

FIGURE III.6.15 – Les graphes de la simulation du chargeur avec tension d'alimentation égale à 220 v

Interpretation

Dans la simulation du chargeur on board intégré en mode chargeur nous utilisons la tension alternatif pour charger la batterie, nous appliquons les tensions suivantes : 310v ,220v et les résultats sont comme suit :

- la tension visualisé au borne de la batterie est continue et d'après la figure III.6.13 et la figure III.6.15.

on remarque que la tension n'est pas purement contant (théoriquement) il y a des fluctuations, malgré une tension continue, qui sera justifier par les pertes dans les thyristors et la qualité du réseau électrique.

III.6.1 Modélisation de couple de charge du véhicule électrique

A titre d'exemple nous allons modéliser le couple de charge de la voiture par la variation de la position de la pédale de frein et du couple de freinage. Le modèle peut être exprimer en fonction des données expérimentale.

L'application d'un profil de couple au système globale du VE, impose une modification sur ce système global présenté dans la figure III.6.16, le couple de charge est maintenant variable en fonction de **la position de la pédale**

de frein, le système global approprié à cette simulation est le suivant :

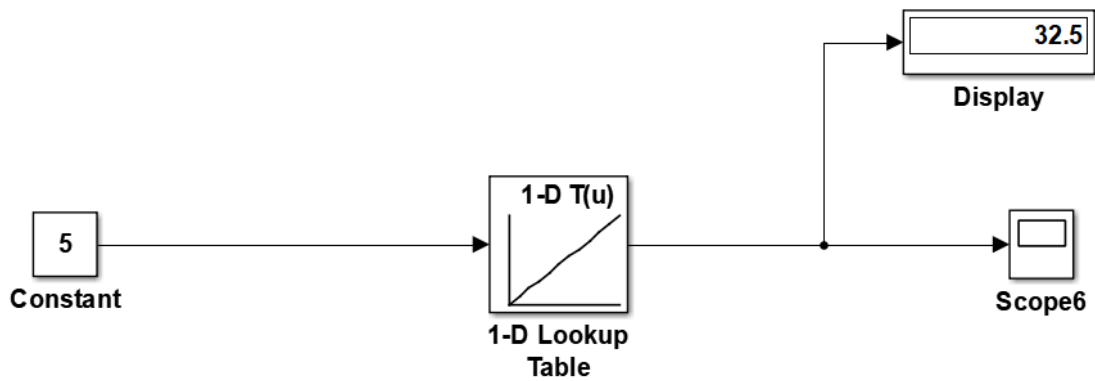


FIGURE III.6.16 – couple de charge de le véhicule électrique

position de la pédale de frein	le couple de charge
0	0
1	6.5
2	13
3	19.5
4	26
5	32.5
6	39
7	45.5
8	52
9	58.5
10	65
11	71.5

TABLE III.6.3 – Exemple de Données Expérimentales

- Pour le couple de charge = 6.5 N.m

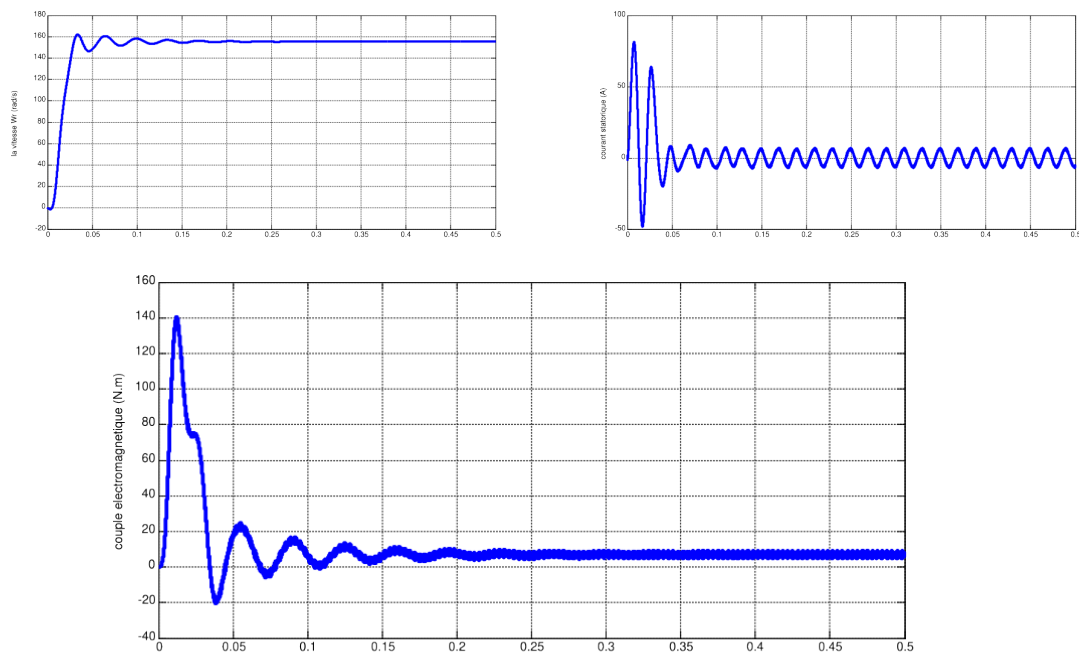


FIGURE III.6.17 – Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 6.5 N.m

- Pour le couple de charge = 32.5 N.m

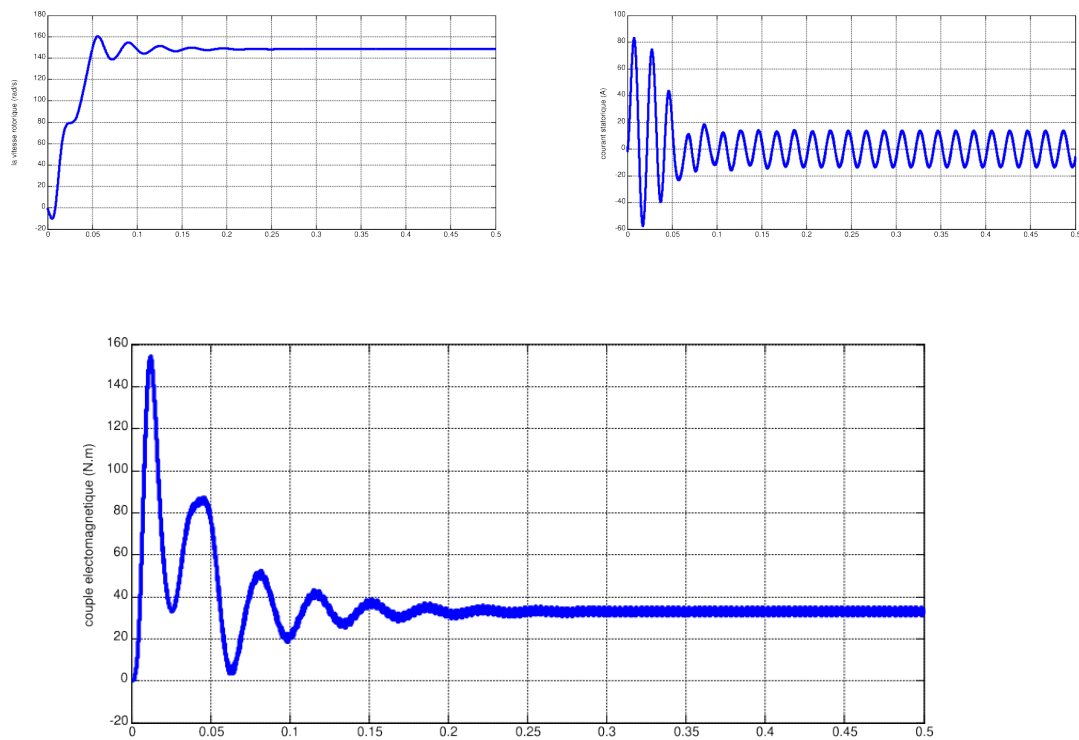


FIGURE III.6.19 – Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 32.5 N.m

- Pour le couple de charge = 65 N.m

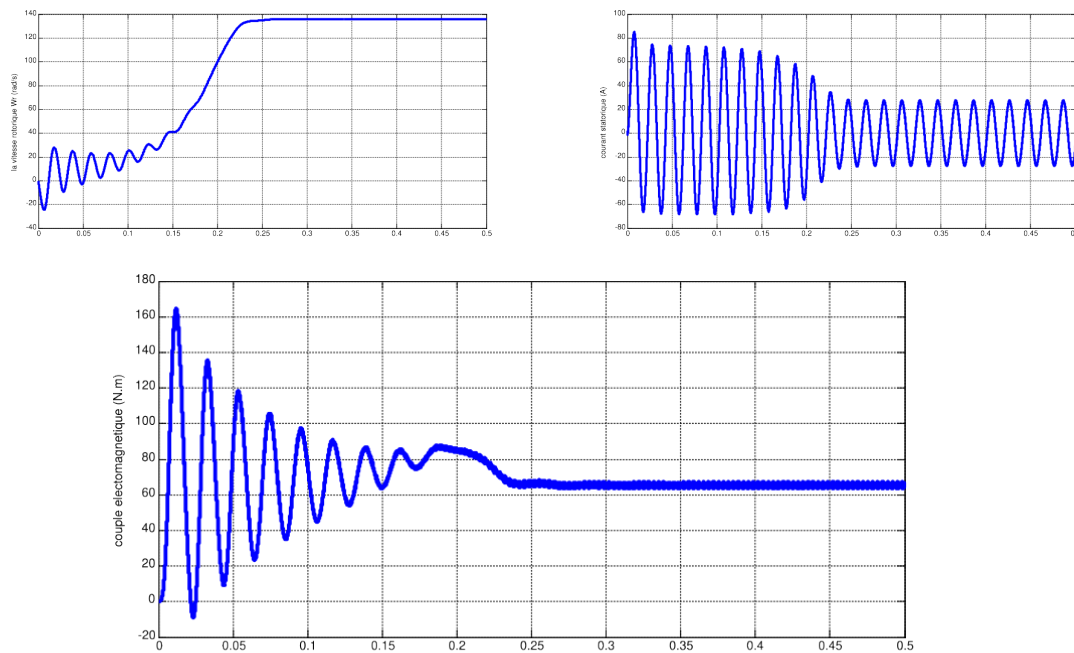


FIGURE III.6.20 – Les graphes de la simulation du chargeur avec le couple de charge égale à 65 N.m

III.6.1.1 Interpretation des resultats

- A partir les resultats de simulation en remarque que le couple et la vitesse ont une relation inverse si on augmente le couple de charge la vitesse diminue et si on diminue le couple la vitesse augmente, nous commandons le couple par la position de la pédale de frein.

- D'autre part l'évolution du couple de charge donne l'évolution du courant statorique et le couple électromagnétique.

III.6.2 Système de contrôle de batterie

La batterie est menus de cellules et un système BMS Battery Management System, qui gère la charge et la décharge de la batterie.

Pour transférer l'énergie de la source (réseau) à la batterie du véhicule électrique de manière sécurisée et autonome, un système de contrôle est déployé en parallèle avec le circuit de puissance simulé précédemment.

Cela permet à l'utilisateur du système d'être informé de l'état de charge de la batterie. Nous pouvons utiliser ce circuit pour contrôler la charge de la batterie de la voiture. Ainsi, en utilisant ce circuit, nous pouvons augmenter la durée de vie de la batterie.

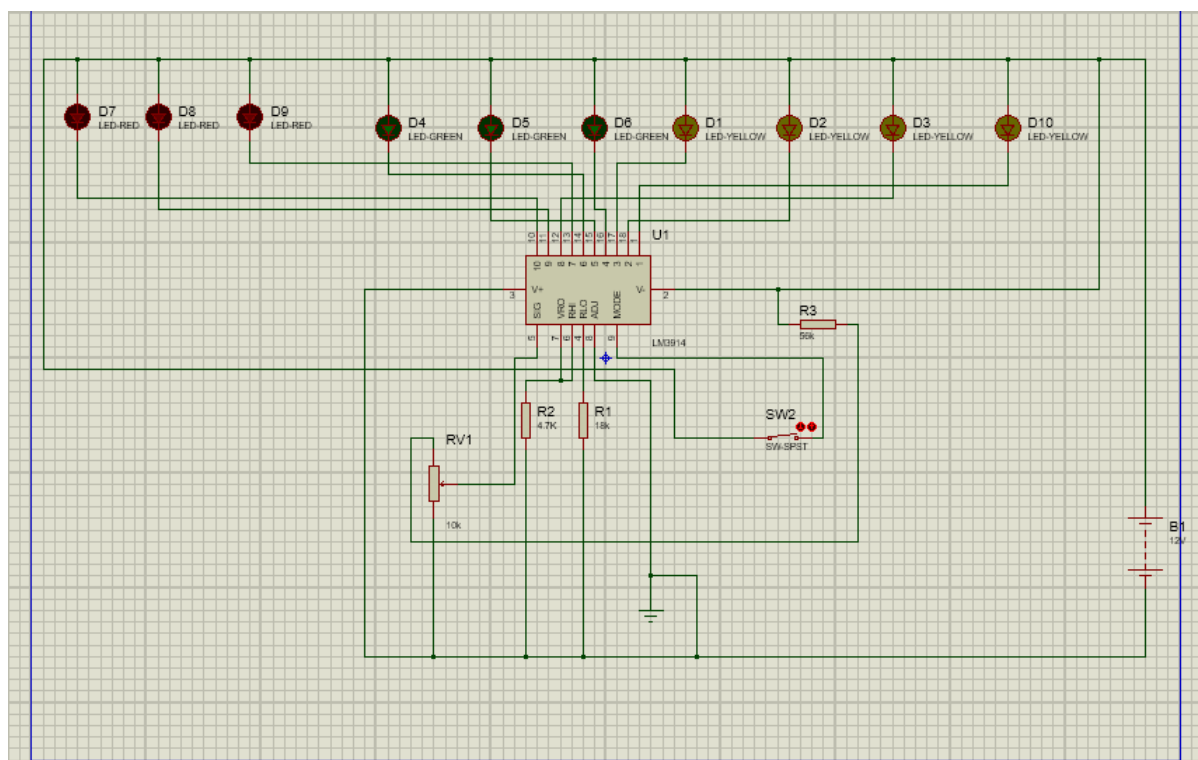


FIGURE III.6.21 – Système de contrôle de batterie sur logiciels Isis.

Différents composants sont utilisés dans la réalisation du circuit de contrôle de batterie. Le circuit intégré LM3914 constitue le composant essentiel de ce circuit. Ce composant convertit une tension analogique d'entrée et alimente 10 LED de manière linéaire en fonction de cette tension.

Dans ce circuit, il n'est pas nécessaire d'ajouter des résistances en série avec les LED, car le courant est régulé par le LM3914. Dans ce circuit, les LED (D1-D10) affichent la capacité de la batterie. Les broches 6 et 7 du CI sont reliées à la masse via une résistance. Cette résistance contrôle la luminosité des LED. Ici, la résistance R3 et le potentiomètre RV1 forment un circuit diviseur de potentiel. Le potentiomètre RV1 est utilisé pour la calibration. Il n'est pas nécessaire d'avoir une alimentation externe pour ce circuit.

Le circuit est conçu pour surveiller une tension continue de 10V à 15V. La tension de fonctionnement de ce circuit intégré est de 3V à 25V en continu.

III.6.2.1 Caractéristiques de LM3914

- Référence de tension interne de 1,2 à 12V en courant continu.
- Courant de sortie programmable de 2mA à 30mA.
- Les sorties du pilote de LED sont régulées en courant.
- Aucune interaction de multiplexage entre les sorties.
- Il prend en charge une large plage de températures de 0 à 70 degrés Celsius.

Chapitre III. Modélisation Et Simulation d'un chargeur on board intégré dans la chaine de traction

- Pour affichage en barre graphique - connectez la 9ème broche du circuit intégré à l'alimentation.
- Pour un affichage en point - laissez la 9ème broche du circuit intégré non connectée.

Ce circuit est particulièrement adapté pour indiquer le niveau de batterie de 12V. Dans ce circuit, chaque LED indique 10 pour cent du niveau de batterie.

Niveau de batterie	Pourcentage %	LED allumée
1.2 V	10	D1
2.4 V	20	D1.D2
3.6 V	30	D1.D2.D3
4.8 V	40	D1.D2.D3.D4
6.0 V	50	D1.D2.D3.D4.D5
7.2 V	60	D1.D2.D3.D4.D5.D6
8.4 V	70	D1.D2.D3.D4.D5.D6.D7
9.6 V	80	D1.D2.D3.D4.D5.D6.D7.D8
10.8 V	90	D1.D2.D3.D4.D5.D6.D7.D8.D9
12.0 V	100	Tous allume

TABLE III.6.4 – L'état des LED en fonction du niveau de tension d'entrée.

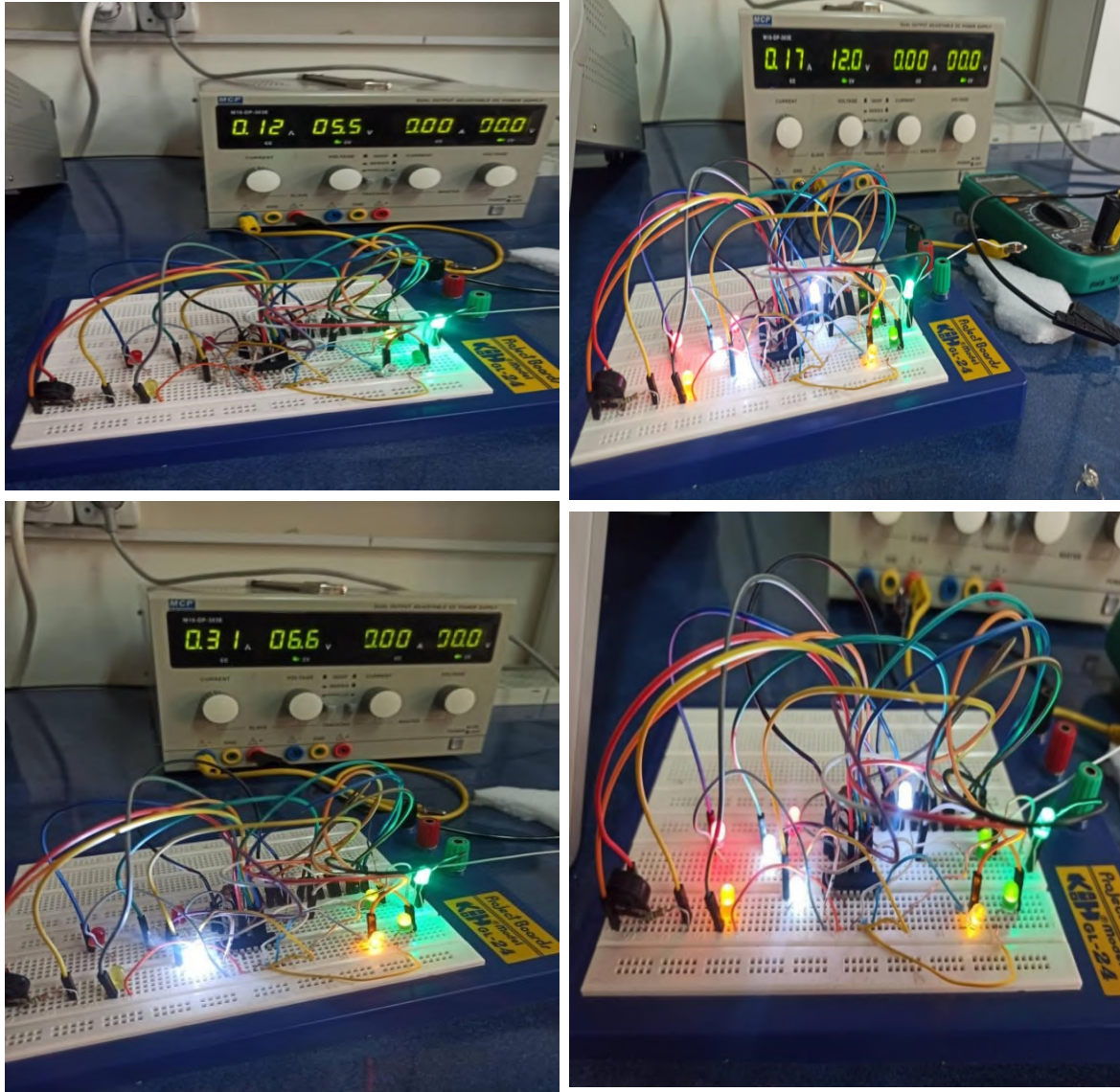
Si la tension que nous souhaitons surveiller est supérieure à la plage de fonctionnement du LM3914 (3V à 25V), nous devons utiliser un diviseur de tension pour abaisser la tension d'entrée au niveau acceptable pour le LM3914. Un diviseur de tension est généralement constitué de deux résistances, R_{v1} et R_3 , selon la formule suivante :

$$V_{\text{SORTIE}} = V_{\text{entree}} \times \frac{R_{v1}}{R_3 + R_{v1}} \quad (\text{III.6.1})$$

Nous devons choisir les valeurs de R_{v1} et R_3 de manière à ce que la tension de sortie V_{SORTIE} soit comprise dans la plage de fonctionnement du LM3914 (3V à 25V).

III.6.2.2 Réalisation du système de contrôle de batterie

Après, avoir réalisé le circuit sur le logiciel Isis, nous sommes passés à la réalisation sur une plaque d'essai. Les figures suivantes présentent le circuit réalisé et des essais avec différents niveaux de tension.



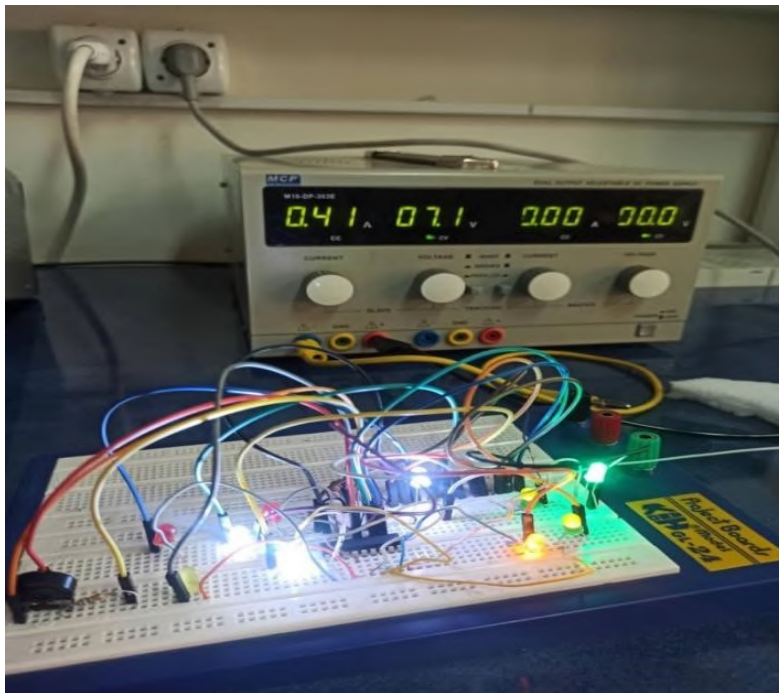


FIGURE III.6.23 – Circuit de contrôle de batterie.

Ce circuit est particulièrement adapté pour indiquer le niveau de charge d'une batterie. Chaque LED représente 10 % du niveau de charge de la batterie. On peut étendre ce circuit à 100 étapes en cascade en utilisant plusieurs circuits intégrés LM3914.

III.7 Conclusion

Ce chapitre a exploré la modélisation de la machine asynchrone triphasée. Cette approche nous a permis de créer un modèle mathématique simplifié de cette machine en faisant quelques hypothèses simplificatrices. Pour cela, nous avons employé la transformation de Park ainsi que le système d'équations d'état de la machine. Ensuite, nous avons examiné la modélisation de la partie d'alimentation.

Nous avons aussi présenté la modélisation de l'onduleur de tension et la technique de commande MLI. Nous avons ensuite procédé à une simulation des performances du système MAS-Onduleur en utilisant la commandes MLI sinus-triangle.

Nous avons présenté une structure de chargeur qui réutilise tous les éléments de la chaîne de traction pour la charge des batteries. Une de ses particularités est l'utilisation du moteur de traction pour le filtrage inductif du convertisseur AC/DC.

Enfin, nous avons réalisé un circuit de contrôle de la batterie sur le logiciel Isis, et une réalisation pratique sur une plaque d'essai. Nous pouvons utiliser ce circuit pour contrôler la charge de la batterie de la voiture. Ainsi, en utilisant ce circuit, nous pouvons augmenter la durée de vie de la batterie.

Conclusion générale

Notre étude s'est concentrée sur l'étude d'un modèle détaillé d'un chargeur on board et de simuler son fonctionnement en interaction avec la chaîne de traction du véhicule électrique.

En premier lieu, nous nous sommes prêtés à la présentation des généralités sur les véhicules électriques, en citant les différents enjeux actuels sur le contexte économique et écologique. En deuxième lieu, nous avons présenté les moyens de stockage de l'énergie comme les batterie et super condensateur, ensuite nous avons présenté les différents types des chargeur de batterie.

En troisième lieu, nous avons élaboré les blocs des différents éléments de la chaîne de traction, à savoir la source de l'alimentation, l'onduleur triphasé à deux niveaux, la machine asynchrone ainsi un modèle du couple de charge du Ve.

Nous avons présenté une structure de chargeur qui réutilise tous les éléments de la chaîne de traction pour la charge des batteries. Une de ses particularités est l'utilisation du moteur de traction pour le filtrage inductif du convertisseur AC/DC.

Enfin, nous avons réalisé un circuit de contrôle de la batterie sur le logiciel ISIS de proteus, et une réalisation pratique sur une plaque d'essai. Nous pouvons utiliser ce circuit pour contrôler la charge de la batterie de la voiture. Ainsi, en utilisant ce circuit, nous pouvons augmenter la durée de vie de la batterie.

D'après les résultats obtenus, des perspectives de recherches et de réalisations pratiques intéressantes sont envisageables dans le but d'améliorer le fonctionnement du véhicule électrique à base d'une machine asynchrone, nous proposons ce qui suit :

- L'application d'un profil de couple au système globale du chargeur embarqué à bord, dans le but de réaliser une étude sur le véhicule électrique.
- Etudier d'autres topologie de chargeur et faire des comparaisons.
- Modélisation du couple de charge du VE en fonction de la vitesse angulaire du moteur dans le but de l'appliquer directement sur la machine électrique.

Bibliographie

- [1] Basma BENBOUYA et Dihia OUABBAS. “Étude des éléments de la chaîne de traction d’un véhicule électrique à base d’une machine asynchrone double étoile”. In French. Master’s thesis. Bejaia, Algeria : Université A. MIRA-Bejaia, 2023.
- [2] Bertrand CHAUCHAT. “Chargeur de batteries intégré pour véhicule électrique”. France : Institut National Polytechnique de Grenoble, 1997.
- [3] Harun TURKER. “Véhicules Electriques Hybrides Rechargeables, Evaluation des Impacts sur le Réseau Electrique et Stratégies Optimales de Recharge”. France : Université de Grenoble, 2012.
- [4] *L’histoire de la voiture électrique*. URL : <http://www.mobilitytechgreen.com/dossier-lhistoire-de-la-voiture-electrique/> (visité le 20/04/2022).
- [5] Dr. Ernest H. WAKEFIELD. “The Electric Phoenix : An Illustrated History of Electric Cars, Motors , Controllers, and Batteries”. In : *Vehicular Technology Conference*. T. 28. 1978, p. 73-74. DOI : [10.1109/VTC.1978.1622512](https://doi.org/10.1109/VTC.1978.1622512).
- [6] Chao LI. “The Optimization of Hydrogen Consumption Based on the Controlling of Charging Circuit in NEMO Hybrid Electric Vehicle”. L’UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, 2015.
- [7] Ahmed NEFFATI. “Stratégies de gestion de l’énergie électrique d’un système multi-source : décision floue optimisée pour véhicule électrique hybride”. France : Université de Toulouse III, 2013.
- [8] Benjamin DAGUSÉ. “Modélisation analytique pour le dimensionnement par optimisation d’une machine dédiée à une chaîne de traction hybride à dominante électrique”. France : Ecole Doctorale, 2013.
- [9] Aiman NOUH. “Convertisseur au développement d’un simulateur les véhicules électriques routiers”. L’UNIVERSITE DE FRANCHE COMTE, 2008.

- [10] Karima HOUACINE. “Commande neuro-floue d’une machine asynchrone dans une chaîne de propulsion d’un véhicule électrique”. UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016.
- [11] *Batterie de voiture électrique*. URL : <https://entretien-voiture.ooreka.fr/astuce/voir/511041/batterie-de-voiture-electrique> (visité le 04/05/2024).
- [12] *Supercondensateur*. URL : <https://entretien-voiture.ooreka.fr/astuce/voir/481853/supercondensateur> (visité le 24/04/2024).
- [13] Bordji ABDELMALEK et Flitti HAMZA. “Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique”. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2018/2019.
- [14] Lekweiry Ahmed DIGUE et Mohamed Benselloua MOUAD. “Etude Comparative de la Commande des Eléments de Chargeurs Intégrés pour Véhicule Electrique”. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2021.
- [15] *Installation des stations de recharge des véhicules électriques*. URL : <https://elwatan-dz.com/installation-des-stations-de-recharge-des-vehicules-electriques-14-bornes-seront-deployees-a-bejaia>.
- [16] *Comment améliorer la durée de vie de la batterie de ma voiture électrique*. URL : https://www.autoaubaine.com/dossier-comment-ameliorer-la-duree-de-vie-de-la-batterie-de-ma-voiture-electrique_9002446.html.
- [17] Jean SYROTA, P. HIRTZMAN et D. AUVERLOT. “La voiture de demain : carburants et électricité”. Rapport & Document. Centre d’analyse stratégique, juin 2011.
- [18] ADARIAN FLORESCU. “Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique”. France : Université de Grenoble, 2012.
- [19] Moumene OUSSAMA et Bey ABDELKADER. “Etude et simulation de l’intégration d’un onduleur cinq niveaux de tension dans la chaîne de traction d’un véhicule électrique”. Mémoire de Fin d’Etude. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2021/2022.
- [20] Alexandre LAURENT. *Les différents types de batteries de voitures électriques*. N°1 de la Mobilité électrique en Europe, 18.10.2019. Groupe Renault. URL : <https://group.renault.com/>.
- [21] Marc DEBRUYNE. *Apport de l’électronique de puissance pour la traction électrique*. 2010.

- [22] Kevin TANGUY. “Modélisation et optimisation de la recharge bidirectionnelle de véhicules électriques : Application à la régulation électrique d’un complexe immobilier”. Québec, Canada, 2013.
- [23] Bordji ABDELMALEK et Flitti HAMZA. “Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique”. Mémoire Présenté pour obtenir le Diplôme de Master en Génie Electrotechnique. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [24] Nassim RIZOUG. “Modélisation électrique et énergétique des supercondensateurs et méthodes de caractérisation : Application au cyclage d’un module de supercondensateurs basse tension en grande”. Université des Sciences et Technologies de Lille, 2006.
- [25] Jeseoph BRETTEA. *Le génie électrique automobile, la traction électrique*, p. 99.
- [26] M.BNEALI YUCEF. “Contribution à la modélisation et commande de l’ensemble convertisseur deux moteurs roues (2MSAP) pour l’entraînement de véhicule électrique”. Université USTO, 2020.
- [27] MERFED DJAMAL et HAMROUN KAMAL. “Etude et Stratégies de Commande d’un Véhicule Hybride Série”. Université MOULOUD MAMMERI de TIZI OUZOU, 2013.
- [28] Sif Eddine GUENIDI. “Modélisation, Commande et gestion de l’énergie d’un véhicule électrique hybride”. Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Algérie, 2016.
- [29] Mounir MARZOUK. *Développement de chargeurs intégrés pour véhicules hybrides plug-in*. 2015. URL : <https://www.theses.fr/>.
- [30] Samantha LACROIX. “Modélisation et commande d’une chaîne de conversion pour véhicule électrique intégrant la fonction de charge des batteries”. Université PARIS-SUD, 2013.
- [31] R. SCHMITZ. *La voiture électrique comme alternative réaliste à la voiture à essence*. Travail de maturité. 2007.
- [32] Pierre CAILLARD. “Conception par optimisation d’une chaîne de traction électrique et de son contrôle par modélisation multi-physique”. Thèse de doct. École Centrale Lille, 2015.
- [33] Bernard MULTON et Laurent HIRSINGER. “Problème de la motorisation d’un véhicule électrique”. In : *Revue 3E.I* 4 (décembre 1995), p. 53-64.

- [34] Luiza RAYANE et Denden Hafida AYA. “Étude d’un véhicule électrique”. Mém. de mast. Université Badji Mokhtar Annaba, 2021.
- [35] BENARIBA HASSAN.
- [36] Bellabaci NOUREDDINE et Ben Salem IBRAHIM. *Commande vectorielle du moteur asynchrone sans capteur mécanique*. 2021.
- [37] Toufouti RIAD. “Contribution de la commande directe du couple de la machine asynchrone”. Thèse de doct. Université Constantine, 2008.
- [38] A TRAVERS LE MONDE et HISTOIRE DE L’AUTOMOBILE. *La Jamais contente franchit les 100km/h et établi un nouveau record de vitesse*. D’après « A travers le monde », paru en 1899 et « Histoire de l’automobile », paru en 1907. 29 avril 1899. 1899.
- [39] Michaël TORREGROSSA. “Voiture électrique : 42.764 immatriculations en France en 2019”. In : (jan. 2020). (Visité le 19/06/2024).
- [40] M. LAMKADMI, A. MIMOUNI et B. BERBAOUI. “Etude et simulation du Systems de commande d’un moteur à courant continu pour véhicule électrique”. Doctoral dissertation. UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2023.
- [41] Hugo LARA. Jan. 2020. URL : <https://www.automobile-propre.com/author/hugo-lara/> (visité le 19/06/2024).
- [42] *Composants techniques des véhicules et équipements électriques*. Fév. 2024. (Visité le 09/06/2024).
- [43] GUILLAUMEDARDING.FR ET AVERE FRANCE ET NUMERAMA ET WIKIPÉDIA ET CHALLENGES ET FUTURA PLANÈTE. *Sources Multiples : Guillaumedarding.fr, Avere France, Numerama, Wikipédia, Challenges, Futura Planète*. 2024. (Visité le 20/06/2024).
- [44] HYUNDAI. *Le véhicule hybride rechargeable, un atout pour le verdissement des flottes*. 17 DÉCEMBRE 2021 BY HYUNDAI. Déc. 2021.

Annexes

PARAMETRES DES MOTEURS ASYNCHRONES UTILISE

- Valeurs nominales : 220/380 V-50 Hz,
- $N_s=1500$ tr/min
- $P=1500\Omega$
- $U=220*\sqrt{2}$;
- $R_s=4.850\Omega$; Résistance statorique.
- $R_r=3.805\Omega$; Résistance rotorique.
- $L_s=0.274H$; Coefficient d'inductance statorique.
- $L_r=0.274H$; Coefficient d'inductance rotorique.
- $L_m=0.258H$; Coefficient d'inductance mutuelle.
- $p=2$; Nombre de pair de pole.
- $f_r=0.0114$; Coefficient de frottement.
- $f=50$ Hz
- $J=0.031$ Kg/m^2 ; Moment d'inertie totale
- $T=[2 \ -1 \ -1; \ -1 \ 2 \ -1; \ -1 \ -1 \ 2]$
- $f_{ref}=20$;
- $f_p=1000$;
- $L=[0.01 \ 0 \ 0; \ 0 \ 0.01 \ 0; \ 0 \ 0 \ 0.01]$
- $r=[1 \ 0 \ 0; \ 0 \ 1 \ 0; \ 0 \ 0 \ 1]$
- $m=95$;

- $r=0.82$;
- $\omega_s=314$ rad/s
- couple nominal : 5 N.m
- Courant nominal : 3.7/6.5 A

POUR BATTERIE

- $V = 650V$
- Capacité : 50 H
- Pourcentage de charge = 100%

Résumé

Résumé : Chargeur embarqué a bord et intégré a la chaîne de traction pour véhicule électrique

Les chargeurs embarqués intégrés à la chaîne de traction sont une technologie prometteuse qui peut améliorer l'efficacité, la taille, le poids et le coût des VE. Ils sont susceptibles de jouer un rôle important dans l'adoption généralisée des VE.

En plus des avantages mentionnés ci-dessus, les chargeurs embarqués intégrés à la chaîne de traction peuvent également :

- Récupérer l'énergie de freinage : Pendant le freinage, le moteur électrique peut agir comme un générateur et produire de l'électricité qui peut être utilisée pour recharger la batterie.
- Améliorer les performances du véhicule : En contrôlant plus précisément le flux d'énergie entre la batterie et le moteur électrique, les chargeurs embarqués intégrés à la chaîne de traction peuvent améliorer les performances du véhicule.

Mots clés: Chargeur embarqué, Véhicule électrique, Chaîne de traction, Moteur à induction, Onduleur, Modélisation

Abstract : On-board charger integrated into the traction chain for electric vehicles

On-board chargers integrated into the powertrain are a promising technology that can improve the efficiency, size, weight and cost of EVs. They are likely to play an important role in the widespread adoption of EVs.

In addition to the advantages mentioned above, on-board chargers integrated into the powertrain can also :

- Recover braking energy : During braking, the electric motor can act as a generator and produce electricity which can be used to recharge the battery.
- Improve vehicle performance : By more precisely controlling the flow of energy between the battery and the electric motor, on-board chargers integrated into the powertrain can improve vehicle performance.

Keywords : On-board charger, Electric vehicle, Powertrain, Induction Motor, Inverter, Modeling

ملخص: شاحن مدمج في سلسلة جر السيارة كهربائي

تعد أجهزة الشحن المدمجة في مجموعة نقل الحركة تقنية واعدة يمكنها القيام بذلك تحسين كفاءة وحجم ووزن وتكلفة المركبات الكهربائية. ومن المرجح أن يلعبوا دورا هاما في الاعتماد الواسع النطاق للمركبات الكهربائية. بالإضافة إلى المزايا المذكورة أعلاه، يتم دمج أجهزة الشحن الموجودة على متن السيارة في سلسلة الجر يمكن أيضا

- استعادة طاقة الكبح: أثناء الكبح، يمكن للمحرك الكهربائي أن يعمل بمثابة مولد كهربائي وإنتاج الكهرباء التي يمكن استخدامها لإعادة شحن البطارية .
- تحسين أداء السيارة: من خلال التحكم بشكل أكثر دقة في تدفق الطاقة بين البطارية والمحرك الكهربائي، يمكن لأجهزة الشحن المدمجة في سلسلة الجر وتحسين أداء السيارة.

الكلمات المفتاحية: شاحن داخلي، مركبة كهربائية، مجموعة نقل الحركة، محرك حثي، محول، نمذجة