



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2022

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Par

Moumene Oussama

Bey Abdelkader

Intitulé du sujet

Etude et simulation de l'intégration d'un onduleur cinq niveaux de tension dans la chaine de traction d'un véhicule électrique

Soutenu le 06 / 07 / 2022 devant le jury composé de :

Président :	Mr YOUNES A.	MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr SOUAG S.	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr BENYAMINA M.	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

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.

Nous exprimons nos profondes gratitudee a nos parents pour leurs Encouragements, leur soutien et pour les sacrifices Qu'ils ont enduré.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur 'Mr. Benyamina' pour son sérieux sa compétence et ses orientations.

Nous remercions vont aussi à tous les enseignants du département Génie Electrique qui ont contribué à notre formation.

Aussi nous tenons à exprimer notre reconnaissance a tous nos amis et toute la promotion d'électrotechnique industrielle (2022) Qui par leur amitié et leur bonne humeur, ont créé une ambiance de travail parfaite.

Dédicace

*Je dédie ce précieux travail aux êtres le plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est le vous dont je parle très chers parents. A mes frères et sœurs et toute la famille : **'Moumene'** sans exception.*

A tous mes amis qui m'ont toujours soutenu, et tous mes amis de la Promotion Génie électrique 2022.

*Sans omettre mon binôme **Bey Abdelkader** avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.*

En fin à tous ceux qui m'apprécient a ma juste valeur.

Moumene Oussama

Dédicace

*Je dédie ce précieux travail aux êtres le plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est le vous dont je parle très chers parents. A mes frères et sœurs et toute la famille : '**Bey**' sans exception.*

A tous mes amis qui m'ont toujours soutenu, et tous mes amis de la Promotion Génie électrique 2022.

*Sans omettre mon binôme **Moumene Oussama** avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.*

En fin à tous ceux qui m'apprécient a ma juste valeur.

Bey Abdelkader

Résumé

Le travail réalisé dans ce mémoire présente une étude sur une chaîne de traction intégrée pour véhicule électrique avec des batteries rechargeable. Conscients des préoccupations environnementales, ainsi que des normes en vigueur, nous avons proposé des solutions de convertisseurs embarqués qui permettent au véhicule d'assurer un mode tout électrique en zones urbaines tout en étant rechargeable pour limiter le recours au moteur thermique lors de phases de livraison, une simple juxtaposition de convertisseurs dédiés à une tâche particulière (recharge, traction, génération de réseau de bord de puissance pour les charges électriques du véhicules. Il devient alors inévitable de concevoir des topologies de convertisseurs qui permettent de mutualiser différentes fonctions de conversion d'énergie au sein du véhicule. En effet, sur les véhicules électriques modernes, les mêmes convertisseurs, et parfois les machines électriques sont utilisées dans le mode de traction et les différents modes de recharge des batteries.

Mots clé : Chaîne de traction, véhicule électrique, batterie rechargeable, convertisseurs.

ملخص

يقدم العمل الذي تم تنفيذه في هذه المذكرة دراسة حول سلسلة جر متكاملة لمركبة كهربائية ذات بطاريات قابلة لإعادة الشحن. وإدراكاً منا للمخاوف البيئية، فضلاً عن المعايير المعمول بها، فقد اقترحنا حلول محول على متن السيارة تسمح للمركبة بضمان وضع كهربائي بالكامل في المناطق الحضرية أثناء إعادة الشحن للحد من استخدام محرك الاحتراق أثناء مراحل التسليم، وهو تجاوز بسيط للمحولات المخصصة لمهمة معينة (الشحن، والجر، وتوليد شبكة طاقة داخلية للأحمال الكهربائية للمركبات. ثم يصبح من المحتم تصميم طوبولوجيا المحولات التي تجعل من الممكن تجميع وظائف التحويل المختلفة من الطاقة داخل السيارة. في الواقع، في السيارات الكهربائية الحديثة، يتم استخدام نفس المحولات، وأحياناً الآلات الكهربائية في وضع الجر وأنماط شحن البطارية المختلفة.

الكلمات المفتاحية : سلسلة جر، مركبة كهربائية، بطارية قابلة لإعادة الشحن، المحولات.

Liste des abréviations :

VE : Le véhicule électrique

VEB : Le véhicule électrique a batterie

VHR : Le véhicule hybride rechargeable

PAC : Le véhicule a pile à combustible

VHS : Véhicule hybride série

IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistors

IGCT : Insulated Gate Commutated Thyristors

MLI : Modulation de la Largeur d'Impulsion ou (PWM)

NPC : Neutral-Point-Clamped

PWM : Pulse Width Modulation

THD : Detorsion Harmonique Totale

DC : Courant Continu (Direct Current)

AC : Courant Alternatif (Alternative Current)

MCC : Machine a Courant Continu

MS : Le Moteur Synchrones

MCA : Machine a Courant Alternatif

CO2 : Dioxyde de carbone

NO : Monoxyde de carbone

SO2 : Monoxyde d'azote

EPFL : Dioxyde de soufre

Ni-Cd : Extra Packages for Entreprise Linux

Ni-Mh : Nickel-Cadmium

Li-ion : Nickel-hydrure Métallique

Ni-MH : Les batteries au nickel-hydrure métallique

SOH : State Of Health

Li-po : Lithium-ion

SOC : Lithium-ion

DOD : Etat de charge se la batterie

PFC : Depth of Discharge (taux de décharge)

F.E.M : Correction du facteur de puissance Force Electro-Motrice

Liste des symboles :

Ac : Amplitude du signal triangulaire

As : Amplitude du signal de la référence

D_{IH} , **D_{IB}** : Diodes supplémentaires niveaux (haut et bas)

F_c : Fréquence de la porteuse

F_s : Fréquence du réseau ou Fréquence de le référence

IM : Indice de Modulation en amplitude

I_{abc} : Courants des trois phases

K_{1,2,3} : Les signaux MLI intermédiaires

K_{1,2,3} : Les états de la phase résultante

m : Le facteur de modulation

ma : Le taux de modulation

mf : Rapport de fréquence

S_{jH} , **S_{jB}** : Interrupteurs de type transistor niveaux (haut et bas)

THD : Distorsion d'harmonique total

U_e : Tension continue d'alimentation du convertisseur miltiniveaux

U_s : Tension de sortie du convertisseur miltiniveaux

V_{H,1} , **V_{B,1}** : Tension niveaux (haut et bas) du convertisseur miltiniveaux

V_{ab} : Tension composé

V_{im} : Tension simple entre les points ABC et M

V_{mc} : La composante homopolaire de la tension

V_{om} : Tension entre les points O et M

α : Angle de déphasage entre les tensions du réseau et ceux de l'onduleur

β : Angle de déphasage

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les véhicules électriques

I.1	Introduction.....	03
I.2	Histoire des véhicules électriques.....	03
I.3	Comportement énergétique d'un véhicule électrique.....	05
I.4	Éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement.....	06
	I.4.1 Les sources d'énergie	06
	I.4.1.1 La batterie.....	06
	I.4.2 Le système de propulsion électrique.....	07
	I.4.2.1 Moteur électrique.....	07
	I.4.2.2 Convertisseur de puissance.....	08
	I.4.2.3 Commande des convertisseurs de puissances	08
	I.4.3 Les Auxiliaires.....	08
I.5	Les différentes architectures de traction.....	10
	I.5.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu).....	10
	I.5.2 Véhicules électriques bi moteur (machine à courant alternatif).....	10
I.6	Les différents modes de charge pour véhicules électriques.....	11
I.7	Les avantages et les inconvénients des véhicules électriques.....	11
I.8	Performances des véhicules électriques.....	12
	I.8.1 La distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique.....	13
	I.8.2 La vitesse maximale d'un véhicule électrique.....	13
	I.8.3 Les normes de sécurité dans les véhicules électriques.....	14
	I.8.4 La durée de vie d'une batterie et le coût de remplacement.....	14
	I.8.5 La performance d'un véhicule électrique en hiver.....	14
I.9	Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques.....	14
I.10	Conclusion.....	15

Chapitre II : Structure de charge

II.1	Introduction.....	17
II.2	Stockage de l'énergie.....	17
	II.2.1 La batterie.....	17
	II.2.1.1 Les différents types de batteries.....	18
	II.2.1.2 Les inconvénients de la batterie.....	21
	II.2.1.3 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique.....	21
	II.2.1.4.Perspective d'évolution de la batterie des VE.....	22
	II.2.2 Le super condensateur composite structurel.....	22
	II.2.2.1.Structure d'un super condensateur composite structurel.....	22
	II.2.2.2. Le principe de fonctionnement d'un super condensateur composite structurel.....	23
II.3	Système de charge et niveaux de puissance.....	23
	II.3.1 Convertisseur AC/DC (redresseur).....	24
	II.3.2 Correction du facteur de puissance (PFC).....	25
	II.3.3 Convertisseur DC/DC (le Hacheur).....	25
	II.3.4 Convertisseur DC/AC(Onduleur).....	26
II.4	Chargeurs de batteries.....	26
	II.4.1 Présentation des chargeurs des batteries.....	27
	II.4.1.1 Chargeur externe.....	27
	II.4.1.2 Chargeur embarqué.....	27
	II.4.2 Chargeur de type rapide.....	27
	II.4.2.1 les bornes de recharge.....	27
	II.4.2.2 les chargeurs à coupleur inductif.....	28
	II.4.3 Chargeur de type lent.....	28
	II.4.4 Chargeurs filaires.....	28
	II.4.4.1 Chargeurs filaires unidirectionnels.....	28
	II.4.4.2 Chargeurs filaires bidirectionnels.....	29
II.5	Conclusion.....	29

Chapitre III : Modélisation et simulation d'un onduleur cinq niveaux intégré dans un véhicule électrique

III.1	Introduction.....	31
III.2	Simulation du redresseur.....	31
III.3	Modélisation du hacheur.....	33
III.4	Onduleur Multi niveaux de type NPC.....	34
	III.4.1 Modélisation d'un onduleur a cinq niveaux à structure NPC.....	35
	III.4.1.1 Structure de l'onduleur à cinq niveaux à structure NPC.....	35
	III.4.1.2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC a cinq niveaux.	35
III.5	Les différentes techniques de modulation.....	39
	III.5.1 Commande MLI Triangula-sinusoidale.....	39
	III.5.2. Modulation sinusoidale a triangles multiple.....	39
III.6	Interprétation des résultats des différentes commandes.....	45
III.7	Conclusion.....	45

CHAPITRE IV: Modélisation et simulation de l'ensemble onduleur multiniveaux- machine asynchrone

IV.1	Introduction.....	46
IV.2	Généralités sur les machines asynchrones.....	46
	IV.2.1 Description et principe de fonctionnement.....	46
	IV.2.2 Hypothèse simplificatrices.....	47
	IV.2.3 Avantages et inconvénients la machine asynchrone.....	48
IV.3	Modèle triphasé de la MAS.....	48
	IV.3.1 Equations des tensions.....	49
	IV.3.2 Equations des flux.....	49
	IV.3.3 Equation d'état du modèle de la MAS.....	51
	IV.3.4 Expression du couple.....	52
	IV.3.5 Equation du mouvement.....	52
IV.4	Simulation de machine asynchrone connectée à un réseau triphasé équilibré.....	52
	IV.4.1 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 0 \text{ Nm}$	53
	IV.4.2 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 20 \text{ Nm}$	54
	IV.4.3 Interprétation des résultats.....	55
IV.5	Simulation de la machine asynchrone à cage alimenté par un onduleur à 5 niveaux commandé par La MLI a triangle multiple.....	56

IV.5.1	Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandé par La MLI modifiée : pour un couple résistant $C_r = 0\text{Nm}$	57
IV.5.2	Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 3 niveaux commandé par La MLI modifiée : pour un couple résistant $C_r = 20\text{Nm}$	60
IV.5.3	Interprétation des résultats.....	64
IV.6	Conclusion.....	64
	Conclusion Générale.....	65

Introduction Générale

Les recherches actuelles en électronique de puissance dans le domaine des applications automobiles notamment les voitures électriques (EVs) et la voiture hybride électrique (HEVs) se focalise essentiellement sur les convertisseurs de puissance destinés à la gestion d'énergie embarquée dans ces véhicules.

La disparité des niveaux de tensions et des courants entre les sources (pile à combustible, batteries, supercondensateurs) et les charges de la voiture (moteur de traction, auxiliaires) rend indispensable l'utilisation de tels dispositifs. La plupart de ces recherches proposent des topologies de convertisseurs à tension de bus continu (bus DC) constante dépassant souvent la centaine de volts. La littérature dans le domaine de l'électronique de puissance embarquée démontre que les pertes énergétiques du convertisseur de conditionnement (convertisseur DC-DC) sont d'autant plus importantes (c-à-d un rendement d'autant plus faible) que les niveaux de tensions des sources et du bus DC sont éloignés. Ce raisonnement est aussi valable du côté du convertisseur alimentant le moteur de traction (convertisseur AC-DC) où les pertes sont proportionnelles au rapport entre la tension du bus continu et la force contre-électromotrice du moteur.

Les topologies de convertisseurs de puissance proposées dans la littérature pour le conditionnement de l'énergie à bord des EVs n'intègrent pas vraiment ce paramètre dans leur choix. Lors des démarrages/arrêts très fréquents du VE en mode urbain, les niveaux de tension nécessaires à l'alimentation du moteur de traction sont faibles (quelques dizaines de volts).

Ainsi les sources telles que les piles à combustibles ou super condensateurs pourraient alimenter directement le moteur de traction sans avoir recours aux convertisseurs élévateurs de tension. Notre travail de thèse vise à exploiter cette fonctionnalité à travers l'exploration d'une nouvelle architecture de convertisseur basée sur l'adoption d'un niveau de tension variable du bus continu. Dans cette approche, la tension minimale de ce dernier est fixée en fonction des niveaux de tensions disponibles du côté des sources et de la vitesse requise (niveau des fém. du moteur de traction). Ainsi, le rapport variable d'élévation de la tension est minimal à faible vitesse du véhicule en mode urbain et il est maximal à grande vitesse.

Dans le premier chapitre, on a abordé l'historique du véhicule a fin de mieux comprendre son arrivée dans le marché de l'automobile. De plus nous avons vue que les batteries représentent une de ses majeurs faiblesse, plusieurs furent proposées afin d'améliorer ceci.

Le second chapitre on a vue les différents type de batteries utilisées dans les véhicule électriques, on vas faire des petites comparaisons aussi, on vas voir aussi les différents type de chargeurs nous nous somme intéressé a quelque un seulement et nous somme arriver a deux principaux type de chargeurs. Les chargeurs de moyennes puissance en générale de 3kw qui sont des chargeurs lent, le second type est réservé aux chargeurs de forte puissance supérieures a 10kw sous le nom de chargeurs rapide, car le temps de la charge est directement lié a la puissance.

Dans le chapitre trois et quatre vous allez voir les résultat obtenue après plusieurs essais de simulation avec le logiciel Powersim, on a aussi optimisé les commandes tringulo-sinusoidale a modélisation triangle multiple et montré aussi l'efficacité de la commande a MLI. Ce projet de fin d'étude nous a vraiment fait sortire de notre boule théorique et nous a permis d'apprendre de nouvelles choses dans ce magnifique domaine.

CHAPITRE I

Plan du Chapitre I

Chapitre I : Généralités sur les véhicules électriques

I.1	Introduction.....	03
I.2	Histoire des véhicules électriques.....	03
I.3	Comportement énergétique d'un véhicule électrique.....	05
I.4	Éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement.....	06
	I.4.1 Les sources d'énergie.....	06
	I.4.1.1 La batterie.....	06
	I.4.2 Le système de propulsion électrique.....	07
	I.4.2.1 Moteur électrique.....	07
	I.4.2.2 Convertisseur de puissance.....	08
	I.4.2.3 Commande des convertisseurs de puissances.....	08
	I.4.3 Les Auxiliaires.....	08
I.5	Les différentes architectures de traction.....	10
	I.5.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu).....	10
	I.5.2 Véhicules électriques bi moteur (machine à courant alternatif).....	10
I.6	Les différents modes de charge pour véhicules électriques.....	11
I.7	Les avantages et les inconvénients des véhicules électriques.....	11
I.8	Performances des véhicules électriques.....	12
	I.8.1 La distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique.....	13
	I.8.2 La vitesse maximale d'un véhicule électrique.....	13
	I.8.3 Les normes de sécurité dans les véhicules électriques.....	14
	I.8.4 La durée de vie d'une batterie et le coût de remplacement.....	14
	I.8.5 La performance d'un véhicule électrique en hiver.....	14
I.9	Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques.....	14
I.10	Conclusion.....	15

I.1 Introduction :

Les véhicules électriques sont un ancien concept qui a vu le jour pour la première fois en 1834. À cette époque, le moteur électrique était un concurrent direct pour les moteurs à essence et à vapeur. À la moitié du 20^{ème} siècle les véhicules à essence ont fini par exclure les véhicules électriques de la course. Il a fallu attendre le début du siècle suivant pour repenser à l'idée d'utiliser ce type de véhicules dans le but de diminuer les effets négatifs du grand nombre de véhicules conventionnels.

La voiture électrique a été souvent considérée comme une technologie pleine d'avenir et qui donne des espérances pour mettre fin à cette pollution alarmante de l'atmosphère due au secteur de transport routier, capable de prendre une importante part de marché, mais qui n'y est pas arrivée.

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

I.2 Histoire des véhicules électriques :

Les débuts de la voiture électrique coïncident avec ceux de l'histoire automobile, la première fut la JEANTAUD en 1894, c'était un phaéton deux places, La carriole électrique existait bien avant, la première a fait son apparition aux alentours de 1830 par un homme d'affaire écossais : Robert Anderson. [1]

Vers 1835, l'américain Thomas Davenport construit une petite locomotive électrique. Vers 1838 l'écossais Robert Davidson arrive avec un modèle similaire qui peut rouler jusqu'à 6 km/h. Ces deux inventeurs n'utilisaient pas de batterie rechargeable.

La batterie rechargeable au plomb acide a été apparue plus tard, en 1859, inventée par le Français Gaston Planté et améliorée au fil du temps. Cette invention posa les bases des prochaines générations des véhicules électriques et marqua le début de leur essor.

En novembre 1881, Gustave Trouvé présenta une automobile électrique, ou plutôt un tricycle électrique, à l'exposition Internationale d'Electricité à Paris. Puis en 1891, l'américain William Morrison construit la première vraie voiture électrique. [2]

En 1897, on peut apercevoir les premiers taxis électriques dans les rues de New York, et En 1899 en Belgique, une société intégrée « La Jamais Contente » la première auto

électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h). L'auto était pilotée par le belge Camille Jenatzy, et munie de pneus Michelin. Elle était en forme de torpille.

Dès 1900, la voiture électrique connaît ses beaux jours. Plus du tiers des voitures en circulation sont électriques, le reste étant des autos à essence et à vapeur, sur 4200 véhicules fabriqués aux Etats-Unis, 22 % étaient à essence, 38 % électrique et 40 % à vapeur, les faibles performances d'autonomie des véhicules électriques face aux thermiques eurent tôt fait de mettre fin au développement des véhicules électriques.



Figure I.1 : Exemple de véhicule électrique : ((La jamais contente)) réalisée en 1899.

Le développement du véhicule électrique devenant impératif pour répondre au problème de la pollution des villes, des études portant sur le choix de la chaîne de traction sont menées par plusieurs équipementiers électriques (LEROY SOMER, AUXILEC, ...) ainsi que par de grands groupes automobiles (NISSAN, GENERAL MOTORS, ...) afin d'améliorer ses performances. [3]

En 2006, Chris Paine sort un documentaire intitulé *Who Killed the Electric Car?* qui analyse la montée en puissance et la mort de la voiture électrique à la fin des années 90. Il s'attarde principalement à EV1 de GM. La même année, Tesla Motors dévoile pour la première fois le cabriolet électrique Roadster.



Figure I.2 : Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui.

Aujourd'hui, Les voitures électriques sont axées sur un usage urbain. Elles sont souvent de petite taille. Elles restent cependant assez chères, par exemple Mitsubishi commercialise une voiture électrique depuis 2009 au Japon, aux performances respectables d'une vitesse de 140KM/h et une autonomie flirtant avec les 160 km d'après leurs annonces.

On a bien mis au point pour les remplacer de nouveaux types de batteries, par exemple la batterie nickel-cadmium, ou encore les batteries nickel-hydrure métallique, mais ces nouvelles batteries continuent à poser de sérieux problèmes de coût et sont souvent encore au stade du développement.

I.3 Comportement énergétique d'un véhicule électrique :

Ces dernières années, la mobilité commence à se transformer par l'introduction du véhicule électrique (ou VE) sur le marché automobile. Moyen de transport peu polluant et silencieux, il semble répondre aux besoins environnementaux et énergétiques. Son arrivée comme alternative écologique et économique à nos modes de transports traditionnels entraîne lentement mais sûrement une mutation dans notre rapport global à la mobilité.

Si le VE possède de multiples atouts et avantages (coût d'entretien amoindri, réduction des émissions de carbone, prime gouvernementale, agréabilité du silence), son coût d'achat et le lent développement des infrastructures nécessaires à son déploiement constituent souvent des obstacles pour les conducteurs.

En effet, l'autonomie du VE est amenée à évoluer en fonction du type de conduite adoptée, de la consommation des accessoires (climatisation, chauffage), de l'environnement dans lequel le conducteur évolue et plus précisément de la topographie du terrain susceptible d'entraîner une récupération de l'énergie. [4]

I.4 Éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement :

Les composants présents dans les voitures électriques ne sont jamais les mêmes selon le constructeur du modèle et la technologie utilisée. Cependant certains sont indispensables pour pouvoir qualifier un véhicule automobile comme électrique. Le véhicule électrique comporte une batterie haute tension dont le volume et la masse sont importants (environ 300 kg). La batterie fournit l'énergie provenant soit de la charge par câble depuis une source extérieure, soit de la décélération du véhicule. La capacité des batteries est de l'ordre de 5 à 40 kWh, leur tension totale de 300 à 500 V.

Ainsi l'utilisation des panneaux solaire dans des véhicules électriques est aussi possible, cette dernière permet de recharger la batterie en petite quantité, malheureusement ce ci n'est pas toujours une bonne idée, puisque La voiture doit être très légère.

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

I.4.1 Les sources d'énergie :

I.4.1.1 La batterie :

Une batterie est le siège d'une réaction chimique réversible au cours de laquelle il peut y avoir soit libération d'énergie soit accumulation (conversion dans un sens ou dans l'autre d'énergie chimique en énergie électrique). La batterie est actuellement composée de plusieurs blocs élémentaires.

La question du stockage de l'énergie a suscité l'attention des scientifiques depuis deux siècles et reste l'une des contraintes pénalisantes pour l'évolution du système énergétique, Elle se compose de plusieurs éléments formés chacun d'une anode, une cathode, un séparateur convenable pour isoler électriquement les électrodes à l'intérieur, un électrolyte et d'un récipient. Le major problème de cette dernière c'est la durée de vie qui n'est pas très grande, et le temps important qu'elle prend pour se charger.

Les batteries sont connues par une durée de vie précise (généralement limitée) et une dégradation du rendement au cours du temps. Plusieurs mécanismes d'usure des batteries peuvent affecter sa performance et sa dégradation progressive jusqu'à ce qu'elles reviennent incapables de stocker de l'énergie.

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

- Les accumulateurs :

Ils stockent l'énergie par transformation de l'énergie chimique. Les accumulateurs sont constitués de deux couples électrochimiques composés de deux électrodes, immergées dans un électrolyte. Dès qu'interviennent des réactions d'oxydation ou de réduction qui échangent des électrons, les ions générés circulent dans l'électrolyte. Pour disposer d'une grande énergie stockée, il faut d'une part un nombre important d'électrons échangés.

- Les super-condensateurs :

Ils stockent l'énergie électrique sous forme électrostatique, Le principe général de fonctionnement des super-condensateurs repose sur la formation d'une double couche électrochimique à l'interface d'un électrolyte et d'une électrode polarisable de grande surface spécifique. L'application d'une différence de potentiel aux bornes du dispositif entraîne le stockage ionique de charges aux deux interfaces électrode-électrolyte qui se comportent comme deux condensateurs en série. Les super-condensateurs sont caractérisés par une énergie spécifique 10 à 20 fois plus faible que celle des accumulateurs, mais leur puissance spécifique peut être jusqu'à 10 fois plus élevée que celle des batteries au plomb par exemple. [5]

I.4.2 Le système de propulsion électrique :

Le système de propulsion électrique se compose d'un ou plusieurs moteurs électriques dont la puissance totale peut aller de 15 kW à plus de 400 kW, selon la taille du véhicule, l'usage et les performances recherchées, Il se compose aussi de convertisseurs de puissance et de leurs commandes.

I.4.2.1 Moteur électrique :

Très utilisée depuis plus d'un siècle, la machine électrique est le composant principal de la voiture électrique, elle est souple, silencieux, ne pollue pas et elle s'adapte à toutes les situations. De manière spécifique, la machine électrique de traction doit répondre aux critères suivants :

- il doit pouvoir tourner et freiner dans les deux sens de rotation
- il doit posséder un couple important à bas régime, ainsi qu'un bon rendement.

Il existe principalement deux types de motorisation électrique destiné à la voiture électrique ou hybride électrique, la motorisation avec balais (Brushed) et motorisation sans balais (Brushless).

I.4.2.2 Convertisseur de puissance :

Le convertisseur de puissance est utilisé pour alimenter le ou les moteurs électriques dans les limites admissibles de tension et de courant. Actuellement il existe une grande diversité de structures envisageables pour les véhicules électriques. Dans ces applications, la structure se décompose en deux parties avec des rôles différents, DC et AC. Il faut utiliser des convertisseurs DC/DC, des convertisseurs DC/AC ou des convertisseurs AC/DC.

Les deux types de convertisseurs sont couplés via un bus continu et la distribution de l'énergie électrique dans les véhicules électriques est réalisée par le bus DC. Les principaux composants dans les convertisseurs de puissance sont les semi-conducteurs. [6]

I.4.2.3 Commande des convertisseurs de puissances :

Chaque système d'électronique de puissance a besoin de dispositifs de réglage appropriés. Ils permettent de régler une grandeur au niveau de la charge et de limiter des grandeurs internes afin d'éviter des surcharges sur la charge et le convertisseur statique. Ainsi, les circuits de réglage sont complexes et nécessitent des signaux, fournis par les organes de mesure. Il est nécessaire également de compter des dispositifs de commande pour commander le convertisseur. [7]

I.4.3 Les Auxiliaires :

Comme la voiture thermique, la voiture électrique possède les mêmes auxiliaires. Il s'agit de tous les équipements électriques, pneumatiques et hydrauliques qui ne participent pas à la traction du véhicule. Comme la voiture thermique, la voiture électrique possède les mêmes auxiliaires. De très nombreuses fonctions sont apparues au cours des trente dernières années.

Citons le verrouillage centralisé et la protection contre le vol, la direction assistée, les vitres électriques, la climatisation, les airbags qui deviennent incontournables vers 1995, citons aussi les essuie-glaces électriques, l'éclairage intérieur, les clignotants, le poste radio, les tableaux de bord avec lampes témoin. [7]

Tableau I.1 : Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.

Ordres de grandeur de puissances électriques	Puissance (w)
Phares et éclairage additionne	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

La voiture électrique fonctionne à partir des trois éléments principaux dont elle est constituée: la batterie, le ou les moteurs électriques et le système de commande. Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont elles mêmes rechargées par un chargeur à partir d'une source extérieure pendant les périodes de repos. Cette dernière est connectée au moteur électrique par l'intermédiaire d'un contrôleur et d'un convertisseur continu/continu (DC/DC).

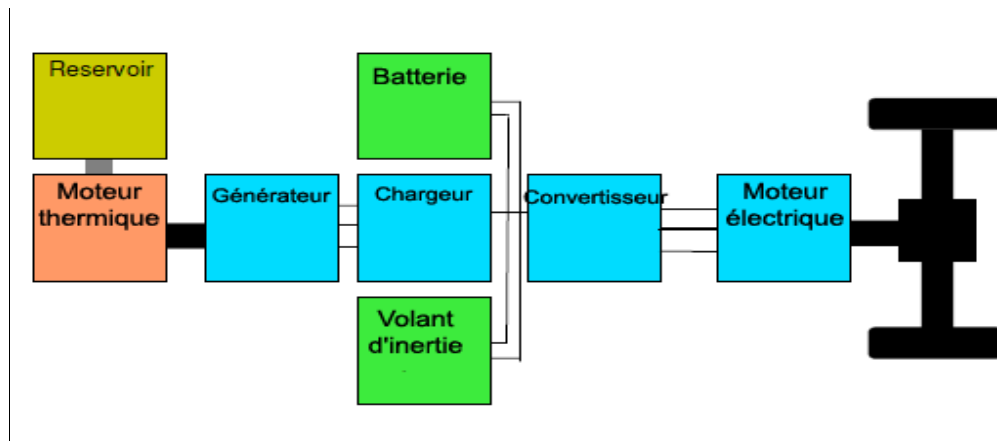


Figure I.3 : Schéma synoptique de fonctionnement d'un véhicule électrique.

L'énergie des batteries est donc envoyée vers le contrôleur électronique et le convertisseur continu/continu (DC/DC).

Le contrôleur sert à régler l'intensité du courant qui alimente le moteur.

Du convertisseur DC/DC, l'énergie est transformée et envoyée vers une batterie 12 volts si présente ou directement aux accessoires.

Du contrôleur, l'énergie est envoyée au moteur pour être convertie en mouvement qui passe dans un réducteur ou une transmission vers les roues.

I.5 Les différentes architectures de traction :

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

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

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

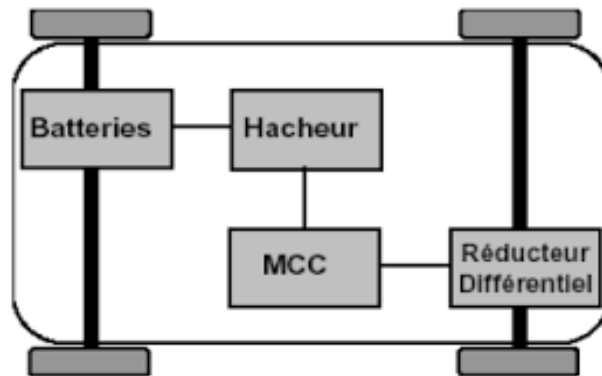


Figure I.4 : Architecture d'un véhicule électrique mono moteur.

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

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

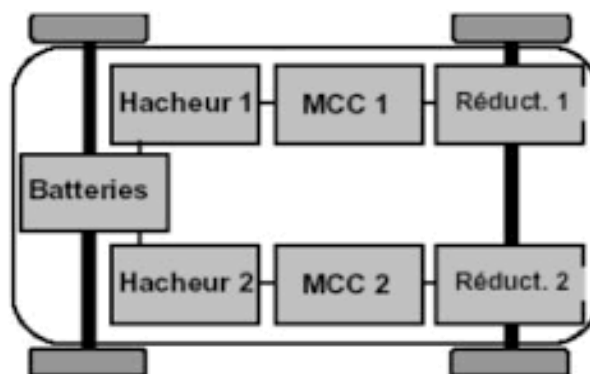


Figure I.5 : Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.

I.6 Les différents modes de charge pour véhicules électriques :

- Prise domestique :

Le véhicule électrique est branché directement sur le réseau électrique de la maison. Il n'existe que très peu de véhicules dotés d'une 'simple' prise, la Renault Twizy en fait partie. Le temps de charge s'établit entre 8 et 11 heures, dépendant de l'état du réseau électrique de la maison.

- Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection :

Constitué d'une prise domestique (1,8 kW) sur laquelle on trouve un boîtier intelligent. C'est à lui qu'incombent le bon déroulement et la sécurité de la charge. Depuis ce boîtier, il est possible de sélectionner l'intensité de charge désirée, sans que celle-ci ne dépasse les 8 A. Il existe néanmoins des prises en 3,2 kW/14 A, mais l'intensité restera bloquée à 8 A.

- Prise spécifique sur un circuit dédié :

Raccordement direct du véhicule électrique au réseau principal de distribution AC avec une prise spécifique et un circuit dédié d'une puissance de 3,7 kW / 16 A ou 22 kW / 32 A (triphase). Ce type d'équipement peut se trouver chez soi, alors il s'appelle "Wallbox" et est installé par un électricien. Ce type particulier de borne, préconisé par les constructeurs de voitures électriques ou hybrides rechargeables, doit disposer de sa propre ligne d'alimentation afin de "fournir" le courant adéquat. Le temps de charge (normal ou express) varie de 1 à 8 heures.

- Connexion courant continu :

Le véhicule est alimenté en courant continu par l'intermédiaire d'un chargeur externe lui-même relié à l'installation électrique fixe. Dans ce mode, le câble de charge de la voiture est connecté en permanence à l'installation. Le mode de charge en courant continu est destiné à une charge rapide (environ 30 minutes), à des niveaux de puissance et de tension élevés (50 kW sous 500 V).

I.7 Les avantages et les inconvénients des véhicules électriques :

Le véhicule électrique est économique, il ne consomme pas d'énergie pendant les phases de ralenti, et les batteries se rechargent pendant les phases de décélération.

Les voitures électriques ne rejettent de polluants dans l'atmosphère quand elles roulent. Pas de NOx, particules fines, hydrocarbures imbrûlés et autre monoxyde de carbone, souvent incriminés pour leurs impacts sur la santé. Il reste toutefois les émissions de particules venant des pneus et, dans une moindre mesure, des freins (grâce au freinage régénératif les freins sont moins sollicités que ceux d'un véhicule thermique).

Passer au véhicule électrique présente donc un bénéfice immédiat pour la qualité de l'air dans les villes et à proximité des routes. Quand elle démarre et quand elle roule, la voiture électrique est quasi silencieuse. Un véritable atout pour la quiétude des villes.

Le véhicule électrique est un véhicule très fiable, son moteur électrique est quasi-incroyable, et aussi un véhicule agréable à conduire puisque le moteur ne cale jamais.

Bien que le véhicule électrique présente de nombreux avantages, mais possède aussi des points critiques :

La production des batteries des voitures électriques pose de grands problèmes environnementaux et sociaux. On utilise de plus en plus de batteries au lithium pour les véhicules mais aussi pour leurs équipements informatiques et électroniques. De plus, la batterie risque d'être polluante et très dangereuse.

Le prix important des véhicules électriques, Les constructeurs proposent de plus en plus de modèles mais le marché reste actuellement limité et les prix sont toujours très élevés par rapport à un véhicule classique.

L'avantage de son moteur silencieux peut être un inconvénient lorsqu'il s'agit de la sécurité puisque il n'est pas toujours bien entendu par les usagers faibles de la route (motards, cyclistes, piétons).

I.8 Performances des véhicules électriques :

Si on le compare directement aux véhicules à combustion interne actuels, dont la technologie n'a cessé d'évoluer depuis plus d'un siècle, force est de constater que les voitures électriques perdent considérablement en termes de performances. Il est clair que les voitures électriques pures sont actuellement limitées à un usage urbain. Pour les longs trajets à vitesse constante, on privilégie dans un premier temps les véhicules hybrides plus adaptés à ce type d'exercice.

La moindre performance des véhicules électriques est principalement due à la capacité de leurs batteries : les batteries au plomb qui équipent actuellement de nombreux véhicules électriques peuvent stocker au maximum 40 W/kg d'énergie électrique, ce qui est faible par rapport à la densité énergétique de l'essence. (Environ 13 000 W/kg). Cependant, le moteur électrique convertit la puissance électrique en couple avec une efficacité approximative

Trois fois le taux de conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique dans un moteur thermique.

Les performances des voitures électriques sont limitées par un autre facteur : la puissance des batteries, c'est-à-dire la quantité d'énergie que la batterie peut délivrer par unité de temps.

Pour les voitures électriques, se pose également le problème du temps de recharge des batteries. Temps de charge standard des batteries des véhicules électriques auxquels il est connecté

Prise secteur classique (courant de charge typique : 16A) varie de 6 à 10 heures. Ce facteur, ajouté à la courte distance que peuvent parcourir les véhicules électriques avec une seule charge, a pour effet de limiter les utilisations possibles. On perd ainsi l'intérêt principal des véhicules à moteur thermique, qui sont disponibles à tout moment pour aller n'importe où.

I.8.1 La distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique :

La distance peut bien sûr varier en fonction de la route et des conditions de conduite, mais la moyenne observée jusqu'à présent est de 140 à 450 kilomètres d'autonomie théorique selon la marque de voiture. Les conducteurs de véhicules électriques finissent par adopter des habitudes de conduite telles que laisser la voiture perdre de la vitesse naturellement et progressivement pour s'arrêter, réduire la consommation d'énergie et parcourir des distances nettement plus importantes avant de devoir recharger.

I.8.2 La vitesse maximale d'un véhicule électrique :

La vitesse maximale dépend en grande partie de la marque et du modèle de la voiture, ainsi que du type de moteur électrique qui l'alimente. Les véhicules électriques conçus pour la conduite sur autoroute atteignent une vitesse de pointe d'environ 140 km/h. Comme les petits moteurs à combustion intégrée, les petits véhicules électriques atteignent des vitesses et des taux d'accélération plus faibles.

I.8.3 Les normes de sécurité dans les véhicules électriques :

Les constructeurs de véhicules électriques doivent respecter toutes les normes de sécurité fédérales. Ainsi, parce que les constructeurs accordent une grande importance au succès et à la durabilité de l'industrie des véhicules électriques, ils s'intéressent vivement à ce que la sécurité de ces véhicules soit une priorité.

I.8.4 La durée de vie d'une batterie et le coût de remplacement :

Difficile pour l'instant de déterminer la durée de vie moyenne des batteries de véhicule électriques, car la technologie ne va pas s'arrêter là ! La durée va à coup sûr s'améliorer. En revanche, vous pouvez déjà vous fier aux garanties (nombre d'années et de kilomètres) fournies par les constructeurs automobiles lorsque vous procédez à l'achat ou à la location de la batterie. Celles-ci vont de 8 à 10 ans, soit environ 160 000 km.

I.8.5 La performance d'un véhicule électrique en hiver :

Le principal effet du froid sur les véhicules électriques est de réduire la distance qu'ils peuvent parcourir. Un véhicule a été testé par temps chaud : il pouvait alors parcourir 155 km. Sa moyenne en hiver se réduisait à 100 km d'autonomie, et même à 75 km par temps très froid. [8]

I.9 Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques :

Pour résoudre le problème de recharge des batteries, mettre en place un réseau de bornes de recharge ou remplacer les batteries en stations par Renault Nissan, mais la main d'œuvre et le coût de mise en place de ce type d'infrastructures sont coûteux. De plus, il faudra prévoir un format de batterie standard pour tous les véhicules, ce qui rendra la tâche encore plus compliquée.

Des chercheurs de l'EPFL ont mis au point un système de stockage intermédiaire. De quoi déconnecter les bornes de recharge du réseau tout en assurant une vitesse d'exécution inégalée. Concrètement, ce stockage d'électricité consiste en une batterie au lithium fer de la taille d'un conteneur maritime. Cette batterie est alimentée en continu et à faible puissance sur le réseau.

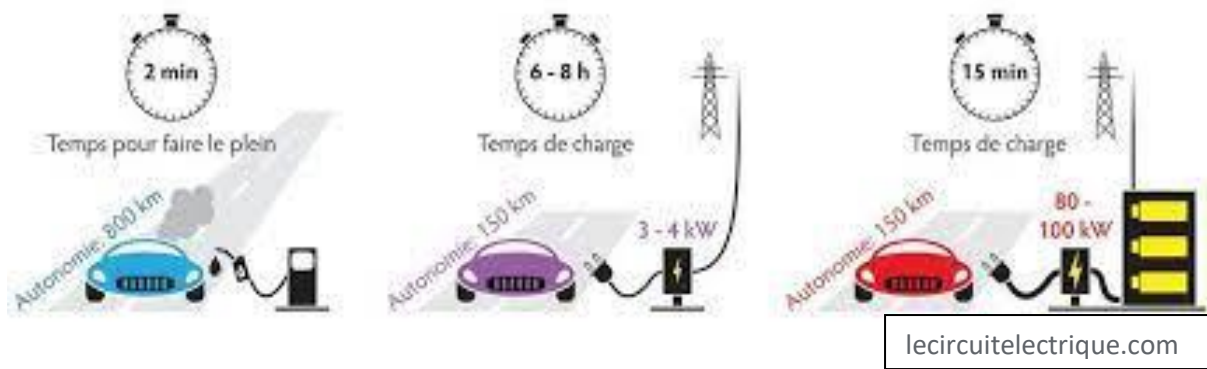


Figure I.6 : Les différents modes de charge proposés.

Une autre solution proposée pour réduire la variation du courant de décharge et de charge dans les batteries est l'utilisation de sources d'alimentation supplémentaires telles que des super condensateurs. Ensuite, l'étude du système d'assistance énergétique avec le système de stockage d'énergie embarqué est présentée. Son objectif principal est de soulager les contraintes de puissance appliquées aux batteries et ainsi d'éliminer les défauts précités. De plus, la solution choisie permet de récupérer l'énergie de freinage et de réduire de façon optimale les différences de courant de charge/décharge dans les packs batteries.

Concernant les prix très élevés des voitures électriques, la plupart des grands constructeurs travaillent, en partenariat avec les fournisseurs de batteries, à la construction d'usines qui, grâce à la production de masse, réduiront l'écart de coût entre une seule usine.

I.10 Conclusion :

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

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art sur la chaîne de traction électrique d'un VE. Ensuite, nous avons donné les étapes nécessaires à leur conception où l'on a traité les différentes sources embarquées comme les batteries et les différentes technologies de motorisation les mieux adaptées à cette application, un bref historique et les éléments qui composent ce genre de véhicule a été présenté au premier lieu, les avantages et les inconvénients ont été aussi discutés.

Une grande partie de ce chapitre a été consacrée à la problématique de la performance des véhicules électriques, avec leurs avantages et leurs inconvénients.

Le chapitre suivant fait l'objet d'une étude concernant la structure de charge du VE.

Bibliographie du Chapitre I :

- [1] : Harun TURKER. ((Véhicules Electriques Hybrides Rechargeables, Evaluation des Impacts sur le Réseau Electrique et Stratégies Optimales de Recharge)), **Thèse de doctorat**, université de Grenoble, France, 2012.
- [2] : <https://www.mobilitytechgreen.com/dossier-lhistoire-de-la-voiture-electrique/>.
- [3] : Bertrand CHAUCHAT. ((Chargeur de batteries intégré pour véhicule électrique)). **Thèse de doctorat**, institut national polytechnique de Grenoble, France, 1997.
- [4] : Jean Syrota, p. Hirtzman, D. Auverlot, ‘‘La voiture de demain : carburants et électricité ’’, Centre d’analyse stratégique, Rapport & Document, juin 2011.
- [5] : F. BELHACHEMI, ((Modélisation et caractérisation des super-condensateurs a couche double électrique utilises en électronique de puissance)), **Thèse de doctorat**, L’institut National Polytechnique de Lorraine 2001.
- [6] : K. AMMOUS, ((Contribution a la construction systématique des modèles moyens de convertisseurs de puissance)), **Thèse de doctorat**, L’institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2002.
- [7] : Ahmed BOUCHERIT, ((Conception d’un convertisseur de puissance pour les véhicules électrique multi-sources)), **Thèse de doctorat**, Université de technologie de Belfort Montbéliard, France, 2001.
- [8] : BENNANI Samy et MERAHI Sofiane, ((La commande non linéaire d’un véhicule électrique entraîné par un moteur asynchrone)), Ecole Nationale Polytechnique d’Oran, 2015

Listes des figures du Chapitre I :

- Figure I.1 :** Exemple de véhicule électrique : ((La jamais contente)) réalisée en 1899.
- Figure I.2 :** Exemple de véhicule électrique d’aujourd’hui.
- Figure I.3 :** Schéma synoptique de fonctionnement d’un VE.
- Figure I.4 :** Architecture d’un véhicule électrique mono moteur.
- Figure I.5 :** Architecture d’un véhicule électrique bi moteur.
- Figure I.6 :** Architecture d’un véhicule électrique bi moteur.

Liste des tableaux du Chapitre I :

- Tableau I.1 :** Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.

CHAPITRE II

Plan du Chapitre II

Chapitre II : Structure de charge

II.1	Introduction.....	17
II.2	Stockage de l'énergie.....	17
	II.2.1 La batterie.....	17
	II.2.1.1 Les différents types de batteries.....	18
	II.2.1.2 Les inconvénients de la batterie.....	21
	II.2.1.3 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique.....	21
	II.2.1.4 Perspective d'évolution de la batterie des VE.....	22
	II.2.2 Le super condensateur composite structurel.....	22
	II.2.2.1. Structure d'un super condensateur composite structurel.....	22
	II.2.2.2. Le principe de fonctionnement d'un super condensateur composite structurel.....	23
II.3	Système de charge et niveaux de puissance.....	23
	II.3.1 Convertisseur AC/DC (redresseur).....	24
	II.3.2 Correction du facteur de puissance (PFC).....	25
	II.3.3 Convertisseur DC/DC (le Hacheur).....	25
	II.3.4 Convertisseur DC/AC(Onduleur).....	26
II.4	Chargeurs de batteries.....	26
	II.4.1 Présentation des chargeurs des batteries.....	27
	II.4.1.1 Chargeur externe.....	27
	II.4.1.2 Chargeur embarqué.....	27
	II.4.2 Chargeur de type rapide.....	27
	II.4.2.1 les bornes de recharge.....	27
	II.4.2.2 les chargeurs à coupleur inductif.....	28
	II.4.3 Chargeur de type lent.....	28
	II.4.4 Chargeurs filaires.....	28
	II.4.4.1 Chargeurs filaires unidirectionnels.....	28
	II.4.4.2 Chargeurs filaires bidirectionnels.....	29
II.5	Conclusion.....	29

II.1 Introduction :

Le chargeur de batteries est un élément important du véhicule électrique. Deux grands types de chargeurs ont été définis pour cette fonction : les chargeurs de type "lents" et ceux dit "rapides". Nous présentons leurs principales caractéristiques ainsi que les projets les plus aboutis. [1]

Un chargeur de batterie doit être efficace et fiable. Son fonctionnement dépend des composants, du contrôle, et des stratégies de changement. Actuellement, plusieurs systèmes mis en place permettent de répondre à l'attente des utilisateurs.

Ce chapitre se portera sur l'étude des batteries et leurs chargeurs qui sont essentiellement destinés au développement du véhicule électrique.

II.2 Stockage d'énergie :

La source de stockage d'énergie est la batterie bien évidemment, cette dernière, est associée à un convertisseur continu/continu qui doit être bidirectionnel.

Le stockage de l'énergie est un obstacle majeur à une vaste adoption des véhicules électriques. La densité énergétique des batteries est inférieure à celle des produits pétroliers ce qui résulte en un poids supérieur pour une autonomie moindre.

Le coût des batteries et leur rechargement bien plus long qu'un passage à la pompe à essence est encore un autre frein.

II.2.1 La batterie :

La batterie est un assemblage d'accumulateurs qui stocke l'énergie électrique issue de la circulation des ions entre deux électrodes, et des électrons dans un circuit extérieur. Différentes batteries existent selon leur fonction dans un véhicule, hybride ou électrique : traction en continu, récupération d'énergie au freinage, etc.

L'énergie chimique stockée dans chaque pile est convertie directement en énergie électrique lorsque les bornes de la batterie sont connectées à un consommateur électrique.

Le principe de fonctionnement de celle-ci est que la réaction chimique entre les électrodes et l'électrolyte provoque une oxydoréduction. Dans ce cas, l'électrode négative subit une oxydation, c'est-à-dire que la réaction chimique libère des électrons, tandis que l'électrode

positive subit une réduction, autrement dit elle absorbe des électrons. Ce déséquilibre des charges électriques génère la F.E.M (Force électro Motrice) de l'accumulateur. [2]

La figure II.1 Représente la vue interne d'une batterie utilisée dans les véhicules électriques

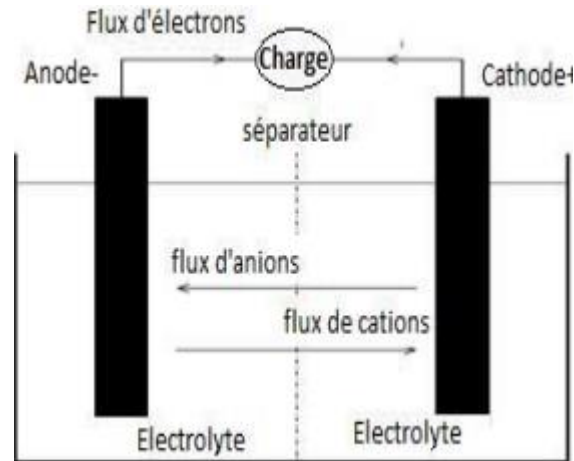


Figure II.1 : La vue interne d'une batterie

II.2.1.1 Les différents types de batteries :

- La batterie Plomb Acide :

Également appelées batteries acides ou gel, les batteries au plomb ont longtemps été la seule option disponible, et aujourd'hui c'est la batterie la moins chère sur le marché. Une batterie de ce type est composée d'un ensemble d'accumulateurs au plomb-acide disposés en série et réunis dans un même boîtier.

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. [3]

Ce type de batterie supporte très mal la décharge complète et la surcharge, elles sont faites pour rester chargées en permanence.

C'est une technologie très ancienne aussi, inventée par le suédois Waldemar Jungner en 1899.

Elle était très répandue pour les appareils électriques nécessitant un courant électrique important comme les téléphones portables ou les appareils photos numériques. Ce type de batterie a une longévité assez importante (environ 1000 cycles).

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

Les batteries au Nickel-Cadmium (Ni-Cd) sont composées d'électrodes de nickel et de cadmium. Le Nickel-Cadmium est une chimie de batterie rechargeable puissante, mais de technologie ancienne.

Les performances de ce type de batterie sont plutôt acceptable, et la charge rapide. Cependant, il est sujet à ce qu'on appelle un « effet mémoire » et cela contribue à réduire de manière effective sa durée de vie. De plus, les batteries au Nickel-Cadmium sont dépassées en termes d'autonomie.

Elles sont interdites dans l'Union Européenne depuis que le Cadmium a été interdit dans les produits électroniques. Les batteries Ni-Mh (Hydrure de Métal Nickel) les ont remplacées.

La technologie Ni-Mh est la mieux adaptée pour les véhicules électriques grâce notamment à un coût financier qui est plus faible que les batteries Li-ion.



Figure II.2: Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération.

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

Les batteries Lithium ion sont apparues au début des années 1990 et existent sous deux variantes. D'abord, on avait le LCO (Lithium cobalt), et ensuite il y a eu le LMO (lithium manganèse). Les batteries Lithium ion ont une très grande capacité de stockage dans un faible volume et avec un faible poids.

Les performances de cette batterie et sa grande capacité lui ont valu une utilisation rapide avec des appareils high-tech et électroniques du quotidien comme les téléphones portables,

les tablettes, ordinateurs portables, cigarettes électroniques. Toutefois, les batteries Lithium ion n'acceptent pas la surcharge parce qu'elles risquent d'exploser. Il en est de même pour les chocs trop violents ou les percements qui peuvent entraîner un enflamment immédiat de la batterie.

Cette batterie offre une densité énergétique importante (le double du Ni-Mh) mais une durée de vie inférieure aux batteries Ni-Mh. [4]

- 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 Nickel-Métal Hydrure sont venues remplacer le Nickel-cadmium. Cette batterie rechargeable est libre de métaux toxiques ce qui en fait un modèle plus sûr. Outre cela, le NiMH est plus léger et produit 40% d'énergie en plus par rapport au Nickel-cadmium.

Le tableau II.1 présente les différentes caractéristiques pour différents types de batteries utilisées dans les véhicules électriques.

Tableau II.1 : Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles. [5]

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

II.2.1.2 Les inconvénients de la batterie :

Le manque de sécurité engendre plusieurs risques non négligeables lors de l'utilisation de la batterie tel que :

Risque d'explosion Des incidents ou accidents sont provoqués par des explosions dues aux batteries d'accumulateurs.

Un court-circuit pourrait se produire en cas de choc, ce qui présente un danger direct pour les passagers (incendie, électrocution, etc.).

Une batterie en mauvais état serait susceptible de provoquer un incendie.

Autre risque, celui de la surcharge de la batterie au lithium, qui pourrait ainsi entraîner son implosion. Une cellule de la batterie (l'unité de base) qui se dégrade provoquerait un effet domino avec les autres cellules qui prennent feu aussitôt.

La combustion des cellules de la batterie pourrait provoquer l'émanation de substances chimiques nocives pour l'homme, ce qui peu provoquer la mort. [6]

II.2.1.3 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique :

Dans les débuts de l'automobile, un tiers des véhicules étaient électriques. Le 20ème siècle a été celui du véhicule thermique. Aujourd'hui, essentiellement pour des problématiques environnementales (production de gaz à effet de serre et pollution locale en ville), le marché assiste au retour des véhicules électrifiés (véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables ou non) grâce aux progrès effectués sur les batteries.

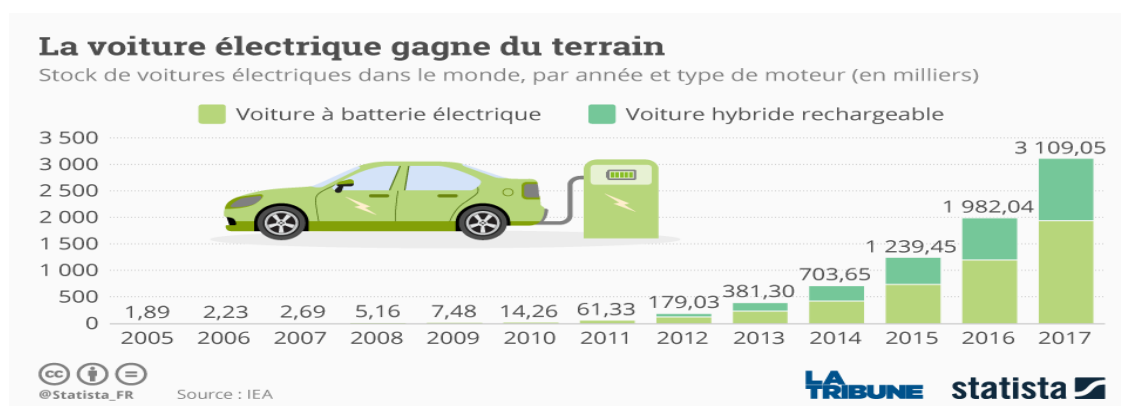


Figure II.3: Comparaison entre les voiture a batterie électrique et les voiture hybride rechargeable dans le monde

Les batteries assurent le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique : la conversion réversible se fait grâce à des réactions électrochimiques. Les batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd) des premiers véhicules électriques (106 électrique des années 90,

Kangoo dans les années 2000) ont été complétées par les batteries Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH) dès 1997 (premières Toyota Prius hybrides au Japon) puis remplacées peu à peu par des technologies au lithium, avec les batteries Li-ion qui couvriront bientôt l'essentiel du marché. Le Ni-MH est toujours majoritairement utilisé pour les véhicules hybrides avec Toyota.

II.2.1.4 Perspective d'évolution de la batterie des VE :

Dans les débuts de l'automobile, un tiers des véhicules étaient électriques. Le 20^{ème} siècle a été celui du véhicule thermique. Aujourd'hui, essentiellement pour des problématiques environnementales (production de gaz à effet de serre et pollution locale en ville), le marché assiste au retour des véhicules électrifiés (véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables ou non) grâce aux progrès effectués sur les batteries.

Les batteries assurent le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique : la conversion réversible se fait grâce à des réactions électrochimiques. Les batteries Nickel-Cadmium des premiers véhicules électriques ont été complétées par les batteries Nickel-Metal Hydrure dès 1997 puis remplacées peu à peu par des technologies au lithium, avec les batteries Li-ion qui couvriront bientôt l'essentiel du marché.

II.2.2 Le super condensateur composite structurel :

Un supercondensateur est un réservoir de puissance dont la constitution est similaire à celle d'un condensateur électrolytique. Le stockage des charges électriques est basé sur la polarisation d'un électrolyte. Son principe de fonctionnement a été découvert en 1853 par le physicien Helmholtz, il est basé sur les propriétés capacitatives des interfaces entre un conducteur électronique solide et un électrolytique ionique liquide.

II.2.2.1 Structure d'un super condensateur composite structurel :

La structure élémentaire d'un supercondensateur en charbon actif est constituée par des collecteurs de courant en aluminium, des électrodes en charbon actif imprégné dans un électrolyte organique ou aqueux. Un séparateur est intercalé entre les deux électrodes pour les isoler (Figure 2). L'assemblage est réalisé par les mêmes techniques que pour les condensateurs classiques.

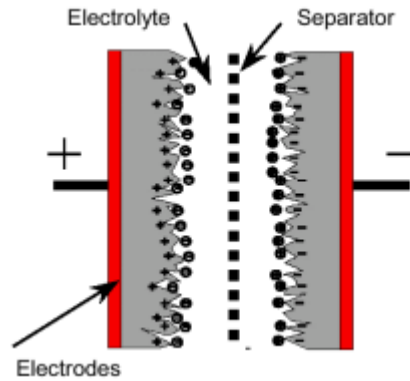


Figure II.4 : Structure d'un super condensateur

II.2.2.2 Le principe de fonctionnement d'un super condensateur composite structurel:

Le principe de fonctionnement d'un super-condensateur est basé sur le stockage de l'énergie par distribution des ions provenant de l'électrolyte au voisinage de la surface des deux électrodes. En effet, lorsque l'on applique une tension aux bornes d'un supercondensateur, on crée une zone de charge d'espace aux deux interfaces électrode-électrolyte. C'est cette zone de charge d'espace qui est appelée double couche électrique. On peut donc considérer la structure élémentaire d'un supercondensateur comme deux condensateurs en série séparés par une résistance équivalente. [7]

II.3 Système de charge et niveaux de puissance :

Dans la plupart des véhicules électriques, on se trouve confronté à la compatibilité des sources d'énergie à courant continu et à courant alternatif et à l'intérieur d'une même catégorie à des compatibilités entre les tensions des sources et des récepteurs. Ce problème de compatibilité sous-entend la présence à bord des véhicules électrique de convertisseurs électroniques dont le rôle est de lever les incompatibilités de fonctionnement. De ce fait on pourra trouver à bord des véhicules :

- Des convertisseurs de courant alternatif en courant continu (AC/DC), que l'on appelle redresseurs.
- Des convertisseurs de courant continu en courant continu de tension différée (DC/DC), que l'on appelle hacheurs.
- Des convertisseurs de courant continu en courant alternatif (DC/AC), que l'on appelle onduleurs.

La figure II.4 représente le schéma qui montre les différents convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques.

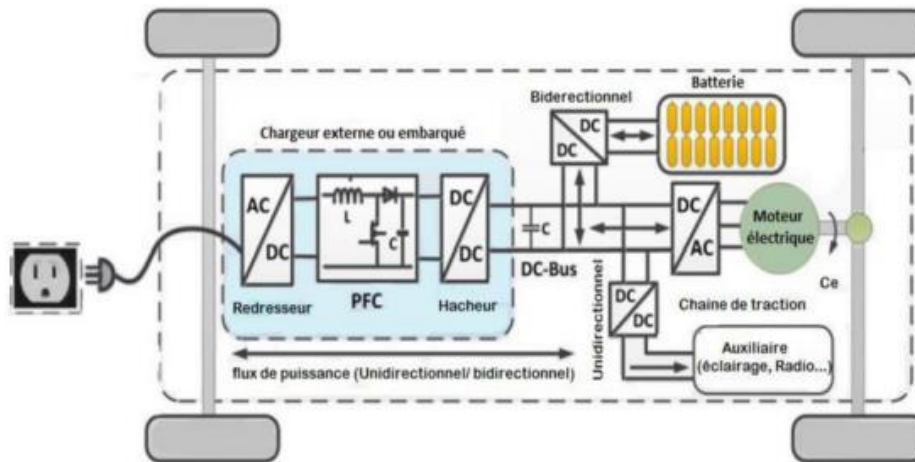


Figure II.5 : Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.

II.3.1 Convertisseur AC/DC (redresseur) :

Les convertisseurs AC/DC permettent l'adaptation d'une source alternative vers une charge continue. Ces convertisseurs sont génériquement appelés redresseurs. Plusieurs types de convertisseurs AC/DC existent : redresseur à diodes, PFC, redresseur monophasé, redresseur triphasé, redresseur commandé... [8]

Les redresseurs sont des convertisseurs d'énergie qui transforme une source électrique à courant alternatif en une source électrique à courant continu. Nous pouvons distinguer des redresseurs à thyristors, qui permettent de faire varier 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 agissant sur l'angle d'amorçage des thyristors, des redresseurs à diodes : ces convertisseurs établissent une relation rigide entre la tension continue de sortie et la tension alternative d'entrée.

Dans un véhicule électrique, les redresseurs sont utilisés pour transformer l'énergie électrique à courant alternatif fournie, soit par le réseau de distribution général, soit par un alternateur placé à bord du véhicule et accouplé à un moteur thermique.

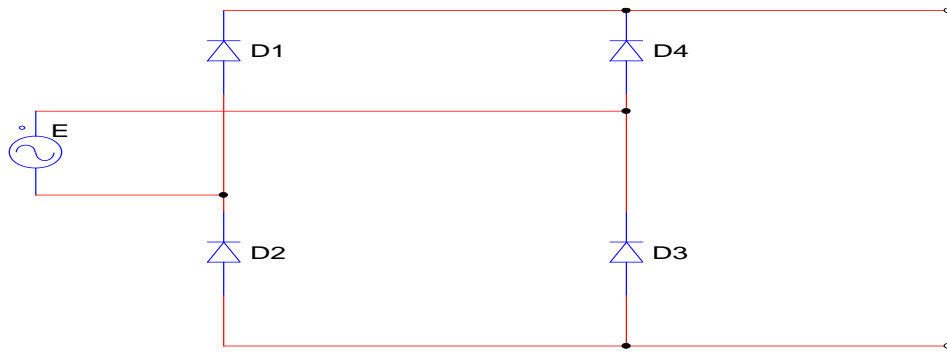


Figure II.6 : Schéma détaillé d'un redresseur.

II.3.2 Correction du facteur de puissance (PFC) :

Le PFC (Power Factor Correction) est principalement utilisé pour éliminer les distorsions du réseau électrique sur le courant absorbé afin d'éviter l'apparition de courants harmoniques nuisibles au réseau. Il aura aussi pour rôle de mettre en phase courant et tension.

En d'autres termes, le PFC amènera le réseau à voir l'affichage comme une résistance pure et non comme une charge non linéaire. [9]

II.3.3 Convertisseur DC/DC (le hacheur) :

Un Convertisseur DC-DC est un circuit d'électronique de puissance ou un dispositif électromécanique qui convertit une source de courant continu (DC) d'un niveau de tension spécifié à un autre différent. C'est un type de convertisseur de puissance électrique.

Comme l'ensemble des convertisseurs de puissance, un convertisseur DC-DC se compose de cellules de commutations. Ces cellules sont dimensionnées afin d'augmenter ou de diminuer la tension continue (respectivement un courant continu) de part et d'autre du convertisseur.

Le hacheur est un convertisseur statique continu/continu (DC/DC) qui nous permet d'obtenir à partir d'une source de tension continue fixe.

Ce dernier agit en hachant le courant du circuit de charge, par la commutation ouverture fermeture, périodique d'un interrupteur unidirectionnel.

Le rôle du convertisseur continu/continu dans un véhicule électrique est :

- Assurer l'alimentation du réseau de bord basse tension du véhicule (l'éclairage, Calculateurs, climatisation...).

- Recharger la batterie basse tension à partir de la batterie haute tension.

Le schéma de principe de base du convertisseur DC/DC est représenté dans la figure II.5

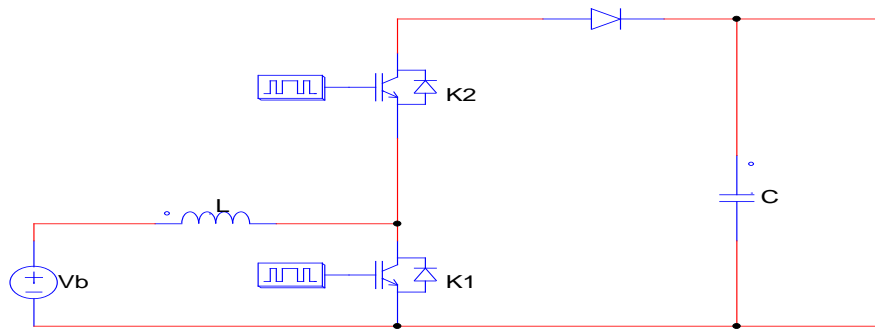


Figure II.7 : Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.

Dans les véhicules électriques, la tension d'entrée du convertisseur continu/continu (hacheur) est la tension de la batterie. Le courant qui passe par ce système peut circuler dans les deux sens selon le mode de fonctionnement du véhicule, c'est un convertisseur bidirectionnel. [10]

II.3.4 Convertisseur DC/AC(Onduleur) :

On appelle aussi les convertisseurs de courant continu (DC) en courant alternatif (AC), des onduleurs. A ne pas confondre avec les onduleurs pour les ordinateurs, qui sont des appareils de protection et de stabilisation du courant, afin que les surtensions ne viennent pas endommager votre informatique.

La conversion DC/AC peut être réalisée de multiples manières. Mais l'usage, les particularités des véhicules routiers et la rationalisation des solutions industrielles ont conduit à privilégier une structure d'onduleur à six interrupteurs bidirectionnels constitués par l'association d'un IGBT et d'une diode montés en antiparallèle et commandés selon une loi du type de montage permet d'associer une source de tension (de type batterie) et un récepteur de type source de courant. [11]

II.4 Chargeurs de batteries :

Le chargeur de batterie est aussi important que tout les autres composantes des véhicules électriques, ce dernier joue le rôle de la "station service". Pour cela plusieurs systèmes de recharge ont alors été conçus.

L'objectif de ces systèmes est d'assurer une plus grande longévité aux batteries en faisant en sorte que chaque élément du bloc soit dans le même état de charge. Dans notre

présentation des chargeurs nous ne nous intéresserons qu'aux dispositifs de charge, ceux-ci étant indépendants des "équilibres". Pour cela plusieurs systèmes de recharge ont alors été conçus.

II.4.1 Présentation des chargeurs des batteries :

II.4.1.1 Chargeur externe :

Lorsqu'il est installé à l'extérieur du véhicule, l'alimentation électrique du véhicule est effectuée directement à partir du mode de raccordement choisi par l'utilisateur (prise domestique, prise et câble domestiques avec dispositif de protection, prise spécifiée dans un circuit dédié, raccordement DC). Les chargeurs externes réutilisent des éléments de la chaîne de poussée du véhicule pour recharger les batteries.

II.4.1.2 Chargeur embarqué :

En l'intégrant au véhicule, l'énergie électrique fournie par le réseau est transmise au véhicule. Il est équipé d'un dispositif totalement indépendant de la chaîne de traction électrique, et cette configuration ne nécessite pas de transformateur supplémentaire au sol.

II.4.2 Chargeur de type rapide :

Les structures, dont la puissance transitée est supérieure à 10 kW, ont été classées dans les chargeurs dits "rapides". La puissance maximale atteint aujourd'hui 150 kW [A.L.A.B. Consortium- 95]. [12] L'objectif de ce type de montage est de permettre, en peu de temps (inférieur à 30 min.) une recharge partielle (80 %) des batteries. Deux types de structures de charge ont été développés :

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

II.4.2.1 les bornes de recharge :

Ces dispositifs sont destinés à être placés sur la voie publique. Ils possèdent un système de paiement intégré comme le sont aujourd'hui les stations services dites 24h 1 24h. Plusieurs systèmes sont actuellement développés sur ce principe, nous en présenterons deux exemples.

Dans le cadre du projet européen "EUREKA 93", les Sociétés SAGEM et E.d.F. ont développé une borne de recharge rapide [Lin C. - 95].

Elle se connecte directement sur le pack de batteries par l'intermédiaire d'une prise spécialement étudiée. La puissance qui a été choisie pour ce système est de 35 kW. Cela permet à la batterie d'un petit véhicule (Clio, AX, 106, ...) d'atteindre 70 % de sa capacité en 20 minutes. Sa large plage de tension (45 V - 425 V) lui permet de s'adapter à beaucoup de véhicules et de jouer ainsi parfaitement son rôle de "station service". Cette borne de recharge fait suite à un premier produit développé, par la Société WESTINGHOUSE, pour le projet expérimental de LA ROCHELLE [Le Roy- 95]. [13]

II.4.2.1 les chargeurs à coupleur inductif :

Du point de vue de l'utilisateur, ce genre de structure n'apporte pas de différence notable par rapport aux bornes de recharge type "SAGEM". La différence réside dans le système de prise de raccordement. Elle ressemble dans le cas de ces structures à une "raquette" (figure 1. 5) que l'on introduit dans une fente se situant sur le véhicule.

II.4.3 Chargeur de type lent :

Le chargeur de type "lent" est un dispositif d'une puissance moyenne, généralement de 3 kW. Il nécessite pour une charge complète du pack de batteries (cas de la "Clio" : 19 batteries de 6 V et 100 Ah) une durée de 5 à 8 heures. Cette opération peut donc s'effectuer en heures creuses. Pour pallier le problème de la "panne sèche" en cours de journée, des dispositifs plus puissants (chargeur de type "rapide") ont alors été mis en œuvre. Deux types de chargeur "lent" sont actuellement développés :

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

II.4.4 Chargeurs filaires :

Les chargeurs filaires nécessitent obligatoirement une connexion par câble pour pouvoir alimenter la batterie. Ces derniers peuvent être externes ou embarqués, suivant l'application et surtout les niveaux de puissance mis en jeu.

Les structures de chargeurs sont diverses et variées, mais elles peuvent se classer dans deux catégories, qui sont les unidirectionnelles et les bidirectionnelles. [14]

II.4.4.1 Chargeurs filaires unidirectionnels :

Dans le cadre d'une structure unidirectionnelle, le transfert d'énergie s'effectue du réseau à la batterie, les véhicules électriques avec chargeurs unidirectionnels peuvent donc

charger mais ne pas injecter d'énergie dans le réseau électrique. La figure (II.8) présente le schéma d'un chargeur unidirectionnel.

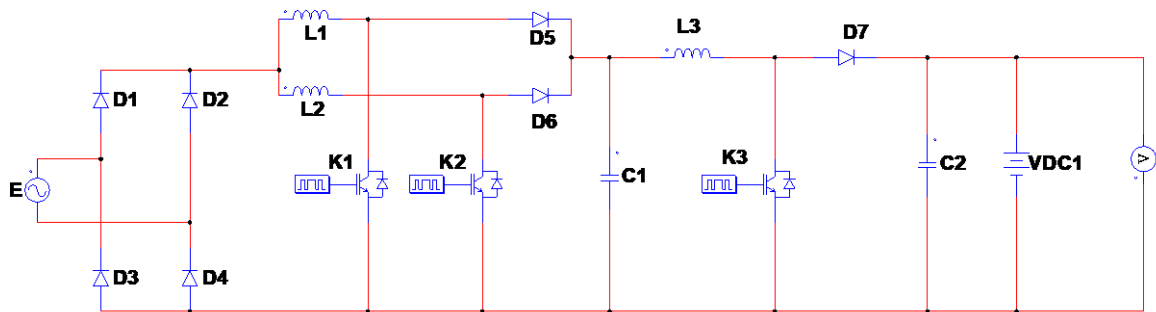


Figure II.8 : Chargeur unidirectionnel

II.6.2 Chargeurs filaires bidirectionnels :

Les chargeurs bidirectionnels sont embarqués au sein du véhicule, pour la charge des batteries on utilise des éléments de la chaîne de tractions. Tout chargeur bidirectionnel peut être utilisé lors de phases de freinage récupératif. Le véhicule électrique peut charger et injecter l'énergie dans le réseau électrique. La figure (II.9) représente le schéma d'un chargeur intégré bidirectionnel.

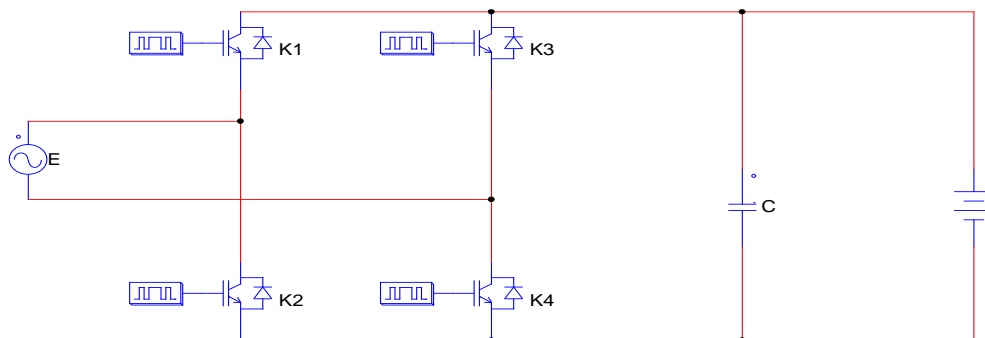


Figure II.9 : Chargeur intégré bidirectionnel

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de batteries ainsi que les différents types de chargeurs.

La batterie est l'élément central de la transmission d'énergie, et le temps de charge de cette dernière dépend de la puissance de la source d'alimentation, en effet, plus la puissance de charge est élevée, plus le temps de charge est court.

Les caractéristiques des chargeurs de type "rapide" permettent de jouer le rôle de "station service" et donc en l'occurrence de parfaitement compléter la fonction du chargeur de type "lent" qui reste indispensable pour assurer une plus grande longévité aux batteries.

Les chargeurs lents sont généralement embarqués au sein du véhicule, alors que les chargeurs rapides jouant un rôle de stations-services se trouvent à l'extérieur sous forme de bornes de recharge. Les chargeurs filaires sont de plus en plus intégrés au véhicule pour plus de fonctionnalité, Contraignant ainsi leur conception.

Bibliographie du Chapitre II :

- [1] : Jean Syrota, P. Hirtzman, D. Auverlot, "La voiture de demain : carburants et électricité", Centre d'analyse stratégique, Rapport & Document, juin 2011.
- [2] : AOUZELLAG Haroun. ((Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique)), **Thèse de doctorat**, université de Grenoble, France, 2012.
- [3] : Alexandre Laurent "Les différents types de batteries de voitures électriques" Groupe Renault, N°1 de la Mobilité électrique en Europe le 18.10.2019
- [4] : Marc DEBRUYNE ((Apport de l'électronique de puissance pour la traction électrique)) technique d'ingénieur 2010.
- [5] :Kevin Tanguy, ((Modélisation et optimisation de la recharge bidirectionnelle de véhicules électriques Application a la régulation électrique d'un complexe immobilier)), Québec, Canada, 2013.
- [6] : Bordji Abdelmalek et Flitti Hamza "Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique" Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. Mémoire Présenté pour obtenir le Diplôme de Master en Génie Electrotechnique. 2019.
- [7] : Nassim RIZOUG : ((Modélisation électrique et énergétique des supercondensateurs et méthodes de caractérisation : Application au cyclage d'un module de supercondensateurs basse tension en grande)) ; **Thèse de doctorat 2006** , l'Université des Sciences et Technologies de Lille
- [8] : Jeseoph Bretta, le génie électrique automobile, la traction électrique, ouvrage page 99.
- [9] : Bordji Abdelmalek et Flitti Hamza "Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique" Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Master en Génie électrotechnique, 2019.
- [10] : M.BNEALI YOUCEF ((contribution a la modélisation et commande de l'ensemble convertisseur deux menteurs roues (2MSAP) pour l'entraînement de véhicule électrique)) Université USTO, doctorat 2020.
- [11] : MERFED Djamal et HAMROUN Kamal "Etude et Stratégies de Commande d'un Véhicule Hybride Séroe" Mémoire de Fin d'Etude Université MOULOUD MAMMERI de TIZI OUZOU Promotion : 2012/2013.
- [12] : Sif Eddine Guenidi, ((Modélisation, Commande et gestion de l'énergie d'un véhicule électrique hybride)), Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Algérie, 2016.
- [13] : Modélisation et simulation des systèmes électriques, Modélisation d'une chaine de traction d'un véhicule électrique. Document
- [14] : Mounir MARZOUK. ((Développement de chargeurs intégrés pour véhicules hybrides plug-in)), **Thèse de doctorat**, Université de Grenoble ALPES, France, 2015.

Listes des figures du Chapitre II :

Figure II.1 : La vue interne d'une batterie.

Figure II.2 : Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération.

Figure II.3: Comparaison entre les voiture a batterie électrique et les voiture hybride rechargeable dans le monde

Figure II.4 : Structure d'un super condensateur

Figure II.5 : Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique

Figure II.6 : Schéma détaillé d'un redresseur.

Figure II.7 : Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.

Figure II.8 : Chargeur unidirectionnel.

Figure II.9 : Chargeur intégré bidirectionnel

Liste des tableaux du Chapitre II :

Tableau II.1 : Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles.

hanenyahiabey@gmail.com

CHAPITRE III

Plan du Chapitre III

Chapitre III : Modélisation et simulation d'un onduleur cinq niveaux intégré dans un véhicule électrique

III.1	Introduction.....	31
III.2	Simulation du redresseur.....	31
III.3	Modélisation du hacheur.....	33
III.4	Onduleur Multi niveaux de type NPC	34
	III.4.1 Modélisation d'un onduleur a cinq niveaux à structure NPC.....	35
	III.4.1.1 Structure de l'onduleur à cinq niveaux à structure NPC.....	35
	III.4.1.2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC a cinq niveaux...	35
III.5	Les différentes techniques de modulation.....	39
	III.5.1 Commande MLI Triangula-sinusoidale.....	39
	III.5.1.1 Modulation sinusoidale a triangles multiple.....	39
III.6	Interprétation des résultats.....	45
III.7	Conclusion.....	45

III.1 Introduction :

L'objectif de cette partie est de présenter une modélisation et une simulation des différents composants d'un véhicule électrique à l'aide du logiciel PSIM.

Les composants essentiels considérés sont les convertisseurs qui sont connectés à l'intérieur du véhicule électrique.

En général, les convertisseurs de tension multiniveaux peuvent être considérés comme des synthétiseurs de tension, dans lesquels la tension de sortie est synthétisée en plusieurs niveaux de tension discrets.

Pour établir le modèle de véhicule, nous simulons chaque élément séparément pour évaluer le modèle global choisi pour notre véhicule électrique.

III.2 Simulation du redresseur :

Le schéma détaillé d'un redresseur utilisé pour la simulation est présenté à la figure (III.1) pour une résistance de $R = 24 \Omega$.

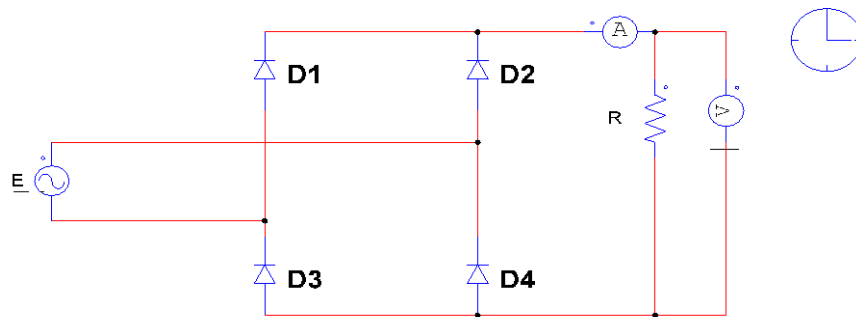


Figure III.1: Schéma détaillé d'un redresseur.

Résultats obtenus :

D1 et D4 passantes et D2 et D3 bloquées :

$$I = I_1 = I_4 > 0, U_{D1} = U_{D4} = 0$$

$E = RI > 0$ D1 et D4 bloquées et D2 et D3 passantes :

$$I = I_2 = I_3 > 0, U_{D2} = U_{D3} = 0, E = -RI < 0$$

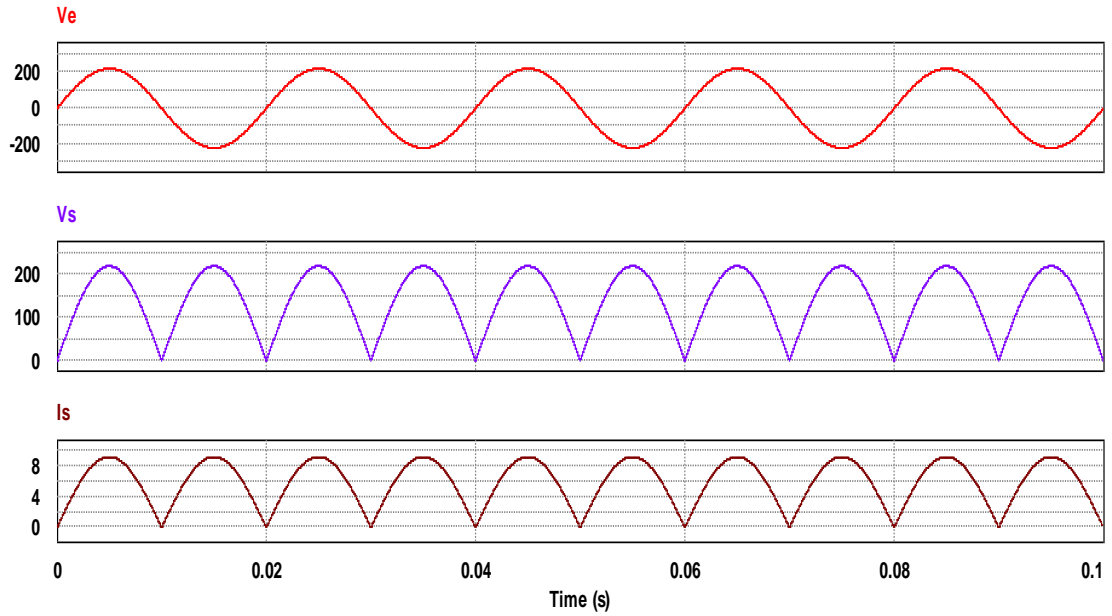


Figure III.2: Signaux caractéristiques d'un redresseur.

Dans les chargeurs utilisés pour les véhicules électriques on associe un PFC comme le montre la figure (III.3)

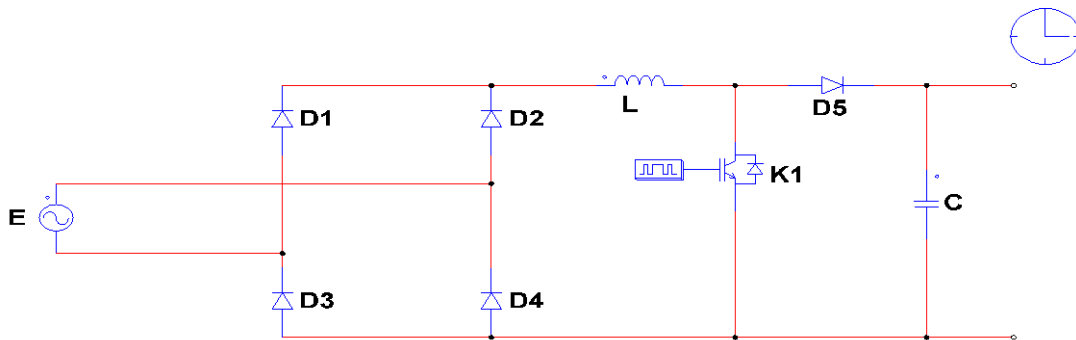


Figure III.3: Schéma du redresseur associé au PFC.

Le but du PFC est de protéger le réseau, puisque le redresseur représente une source de pollution pour le réseau.

III.3 Modélisation du hacheur :

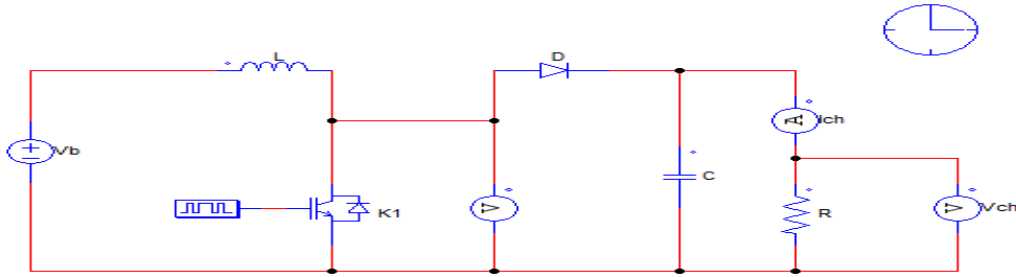


Figure III.4: Schéma détaillé d'un hacheur.

Dans notre étude, l'hacheur utilisé est composé d'un transistor IGBT, et d'une bobine branché comme le présente la figure (III.4).

Pour contrôler l'ondulation du courant dans l'inductance L, il faut étudier les deux états de l'interrupteur K1 :

a. K1 fermé

Lorsque K1 est fermé, la tension aux bornes de l'inductance et le courant traversant le condensateur sont égaux à :

$$V_L = v_b \quad (III.1)$$

$$I_C = \frac{V_{ab}}{R} \quad (III.2)$$

A noter que les ondulations dans le convertisseur sont négligées.

b. K1 ouvert :

Dans ce cas, la tension aux bornes de l'inductance et le courant traversant le condensateur sont égaux à :

$$V_L = V_b - V_{ab}$$

$$I_C = I_L - \frac{V_{ab}}{R}$$

A noter que les oscillations sont négligées dans ce cas aussi.

Donc :

$$V_L = V_b - V_{ab}$$

$$I_C = I_L - \frac{V_{ab}}{R}$$

Enfin, on peut déduire des équations précédentes la tension aux bornes de l'inductance au cours d'une période de commutation :

$$\int_0^T ic(t)dt = -\frac{V_{ba}}{R} * \alpha * T + (1 - \frac{V_{ba}}{R}) * \alpha * T \quad (III.3)$$

En regroupant les termes semblables et en égalant la dernière équation à zéro, l'équation obtenue est la suivante :

$$-\frac{V_{ab}}{R}(\alpha + \dot{\alpha}) + I * \dot{\alpha} = 0 \quad (\text{III.4})$$

La résolution de l'équation précédente nous donne le courant traversant le convertisseur :

$$I = \frac{V_{ab}}{R * \dot{\alpha}} \quad (\text{III.5})$$

Les résultats de la simulation de la figure (III.5) montrent la tension et le courant de l'hacheur bidirectionnel utilisé

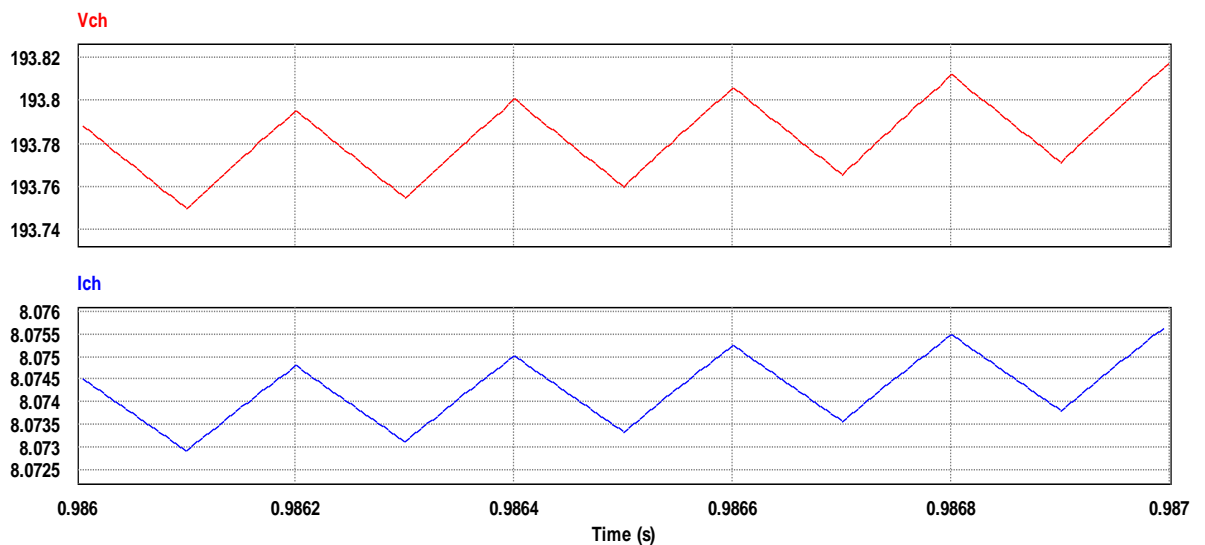


Figure III.5: Résultat de simulation de l'hacheur dans le régime permanent.

III.4 Onduleur Multi niveaux de type NPC :

L'onduleur Neutral Point Clamped (NPC) est proposé par Baker. Cet onduleur permet d'avoir un niveau impair de tension. Le premier onduleur NPC a été développé pour une tension de sortie à trois niveaux par la superposition de deux interrupteurs élémentaires alimentés chacun par une source de tension continue distincte.

Après le premier onduleur NPC breveté par Baker, d'autres chercheurs ont développé les différentes structures basées sur NPC.

L'onduleur NPC permet de disposer d'un nombre impair de niveaux dans le motif de la tension en sortie. Cependant, l'onduleur Multiple Point Clamped (MPC) a été développé dans les années 90 pour un nombre pair de tensions.

III.4.1 Modélisation d'un onduleur a cinq niveaux à structure NPC :

III.4.1.1 Structure de l'onduleur à cinq niveaux à structure NPC :

L'onduleur triphasé à cinq niveaux étudié se compose de trois bras et de quatre sources de tension continue. Chaque bras a huit commutateurs, plus deux diodes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et d'une diode montés tête-bêche. La figure (III.6) donne une représentation schématique d'un bras de cet onduleur [1].

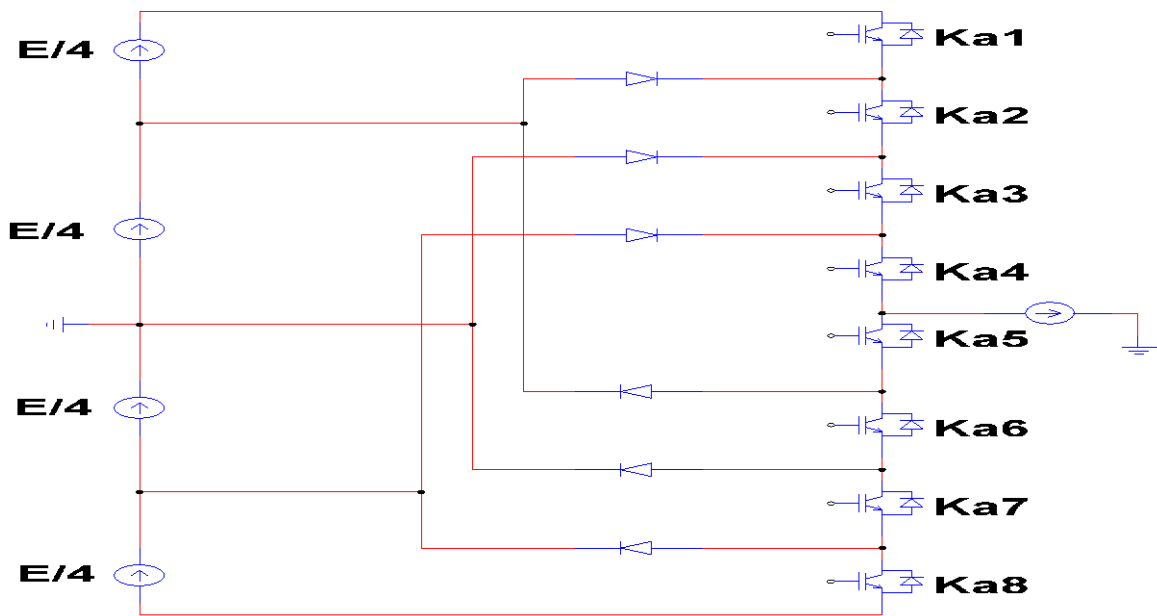


Figure III.6: Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux.

III.4.1.2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC a cinq niveaux :

Une analyse topologique d'un bras montre cinq configurations possibles. Pour définir les séquences de fonctionnement de cet onduleur, définissons d'abord les différents états que peut prendre la tension simple (la tension entre le bras de l'onduleur et le point milieu fictif), par exemple. La tension simple V_{ao} est définie par l'état de huit quadruplet qui peuvent être un transistor, un GTO ou bien un IGBT ou autre avec une diode en antiparallèle. Les états possibles d'un seul bras d'interrupteurs est de $2^8 = 32$ états que l'on peut représenter par un quadruplet de 0 et 1. Seules les cinq états suivants sont possibles [2].

-Première configuration (11110000)

Ka1, Ka2, Ka3 et Ka4 sont passants et Ka5, Ka6, Ka7 et Ka8 sont bloqués (**Figure III.7**), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = +E/2$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka5} = V_{ka6} = V_{ka7} = V_{ka8} = +\frac{E}{4}$$

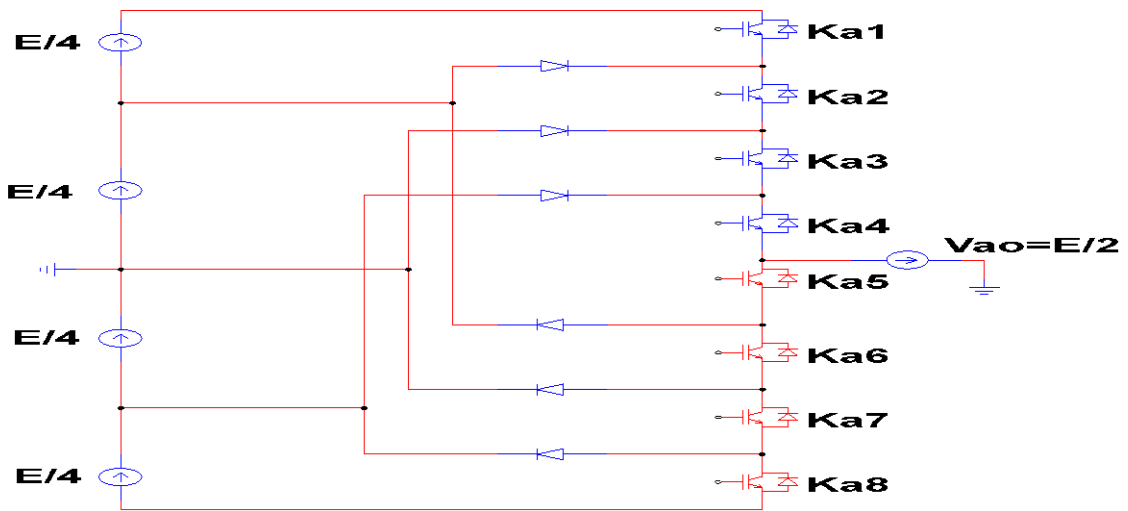


Figure III.7: 1 ère configuration du 1er bras.

Deuxième configuration (01111000)

Ka2, Ka3, Ka4 et Ka5 sont passants et Ka6, Ka7, Ka8 et Ka1 sont bloqués (**Figure III.8**), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = +E/4$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka6} = V_{ka7} = V_{ka8} = +\frac{E}{4}$$

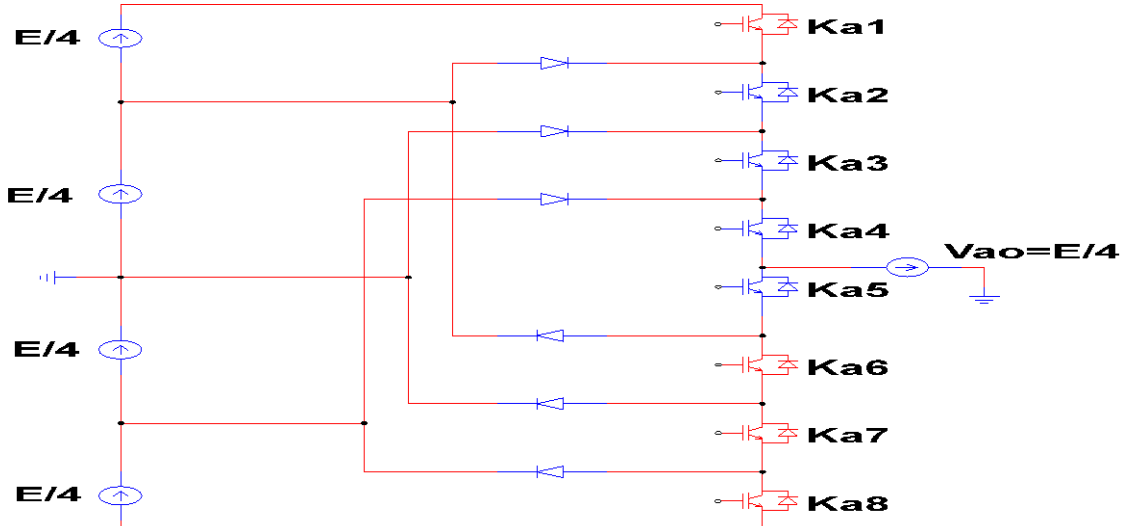


Figure III.8: 2 ème configuration du 1er bras.

Troisième configuration (00111100)

Ka3, Ka4, Ka5 et Ka6 sont passants et Ka7, Ka8, Ka1 et Ka2 sont bloqués (Figure III.9),

la valeur de tension simple Vao est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = 0$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka7} = V_{ka8} = +\frac{E}{4}$$

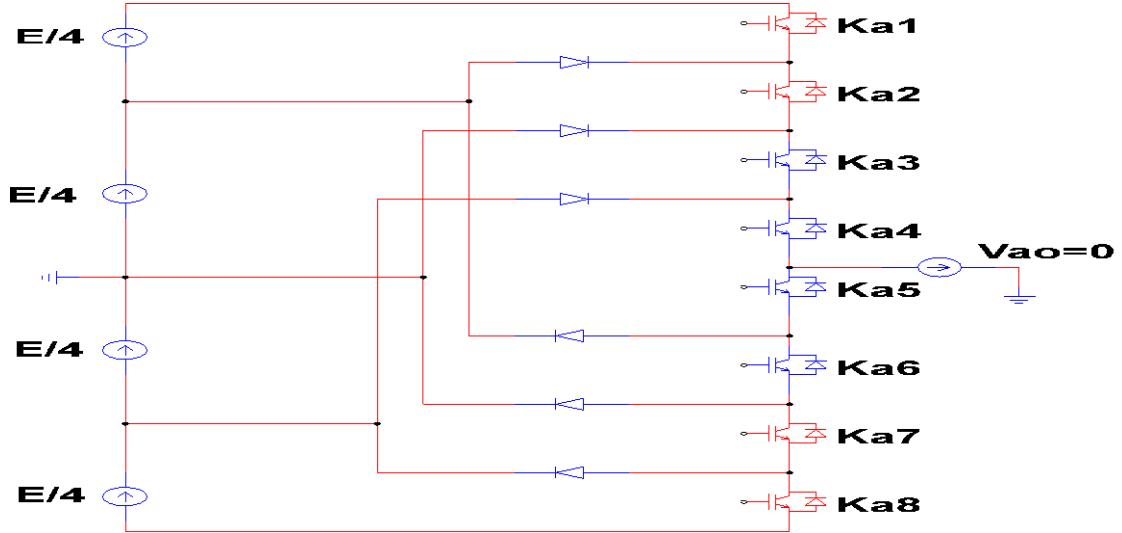


Figure III.9: 3 ème configuration du 1er bras.

Quatrième configuration (00011110)

Ka4, Ka5, Ka6 et Ka7 sont passants et Ka8, Ka1, Ka2 et Ka3 sont bloqués (Figure III.10),

la valeur de tension simple Vao est donnée par l'équation suivante : $V_{ao} = -E/4$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka3} = V_{ka8} = +\frac{E}{4}$$

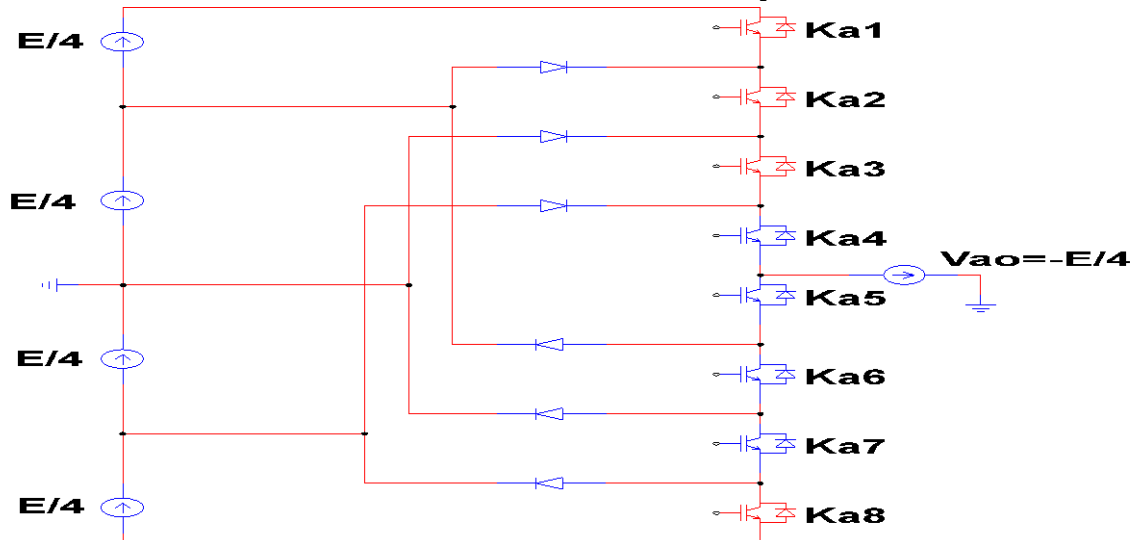


Figure III.10: 4 ème configuration du 1er bras.

Cinquième configuration (00001111)

Ka5, Ka6, Ka7 et Ka8 sont passants et *Ka1, Ka2, Ka3 et Ka4* sont bloqués (**Figure III.11**), la valeur de tension simple *Vao* est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = - E/2$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka3} = V_{ka4} = + \frac{E}{4}$$

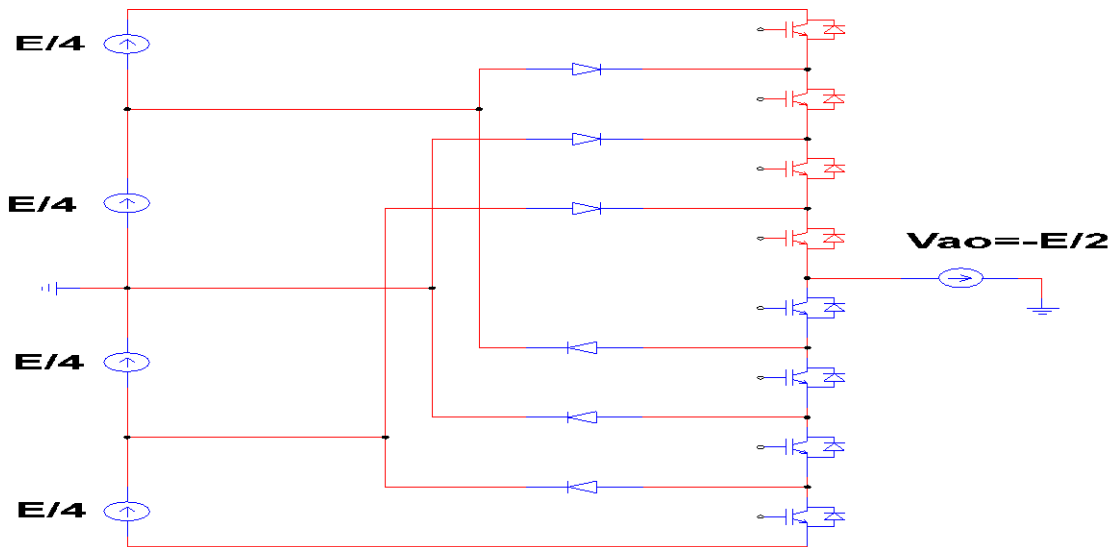


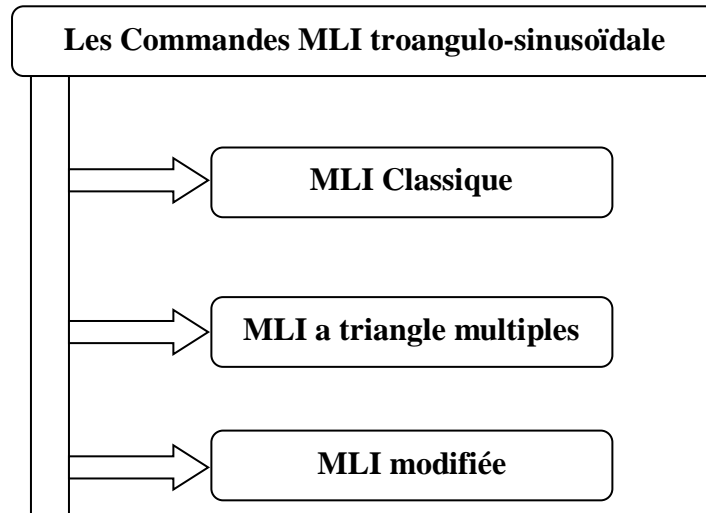
Figure III.11: 5 ème configuration du 1er bras.

Ce tableau résume les commutations de l'onduleur NPC à 5 niveaux

Tableau III.1: Table de commutation de l'onduleur NPC à 5 niveaux.

Etat des interrupteurs								Tension De sortie <i>Vao</i>
<i>Ka1</i>	<i>Ka2</i>	<i>Ka3</i>	<i>Ka4</i>	<i>Ka5</i>	<i>Ka6</i>	<i>Ka7</i>	<i>Ka8</i>	
1	1	1	1	0	0	0	0	E/2
0	1	1	1	1	0	0	0	E/4
0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	- E/4
0	0	0	0	1	1	1	1	- E/2

III.5 Les différentes techniques de modulation :



Les objectifs communs aux techniques de commutation dans ce cas sont :

- 1/Régulation en fréquence et en amplitude de la tension ou du courant générées par le convertisseur
- 2/La minimisation du taux d'harmonique de la tension ou du courant généré.
- 3/Equilibrage de la tension aux bornes des capacités
- 4/Elimination du mode homopolaire (mode commun) de la tension et du courant.

III.5.1 Commande MLI Triangula-sinusoidale :

La modulation de la largeur d'impulsion (PWM) est une technique très utilisée dans l'industrie. Son principe de base est la génération de signaux de commutation d'interrupteurs suite à une comparaison de l'amplitude de signaux en dent de scie nommés porteuses et un signal sinusoidale nommé référence. Les impulsions de commutations ainsi obtenues permettent la commande des interrupteurs du convertisseur. [3]

III.5.1.1 Modulation sinusoidale a triangles multiple :

Cette technique est basée, dans son principe, sur la modulation sinusoidale classique. Pour un onduleur à trois niveaux, elle recommande l'utilisation de deux signaux triangulaires de même fréquence f_c et de même amplitude A_c (crête à crête). Ces signaux triangulaires sont comparés, pour chaque phase, avec un signal de référence d'amplitude A_s et de fréquence f_s .

C'est la modulation sinusoïdale à double triangle. Pour les onduleurs avec un nombre de niveaux m supérieur à trois, la technique sinusoïdale classique avec son signal triangulaire unique, ne permet pas la génération de tous les signaux de commande requis. Alors, c'est la modulation sinusoïdale à triangles multiples qui le permet. Cette technique nécessite $(m-1)$ signaux triangulaires de même fréquence f_c et de même amplitude A_c

$$m_a = \frac{A_s}{A_c(m-1)} \quad (\text{III } 6)$$

$$m_f = \frac{f_c}{f_s} \quad (\text{III } 7)$$

Figure (III.12) représente le principe de la modulation sinusoïdale à double triangle. Deux porteuses sont utilisées, avec trois signaux de référence Figure (III.12), qui génère les signaux de commande des interrupteurs. S4H, S3H, S2H, S1H, S4B, S3B, S2B et S1B représentent les signaux de commande des interrupteurs pour la phase "A" Figure (III.12), D'une façon similaire, on génère les signaux de commande des interrupteurs pour les phases "B" et "C".

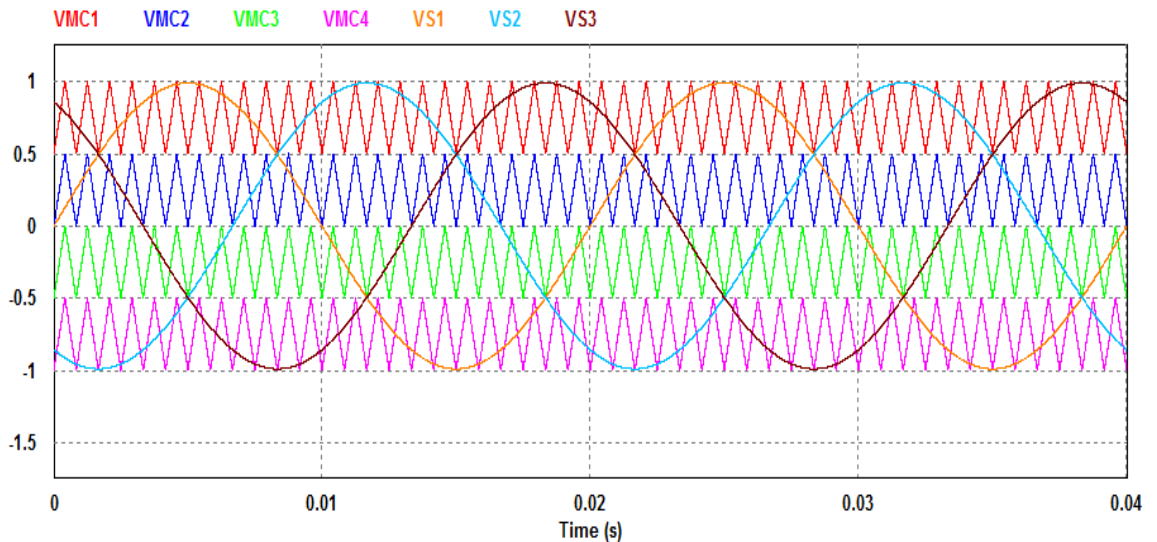


Figure III.12: les signaux d'entrés pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).

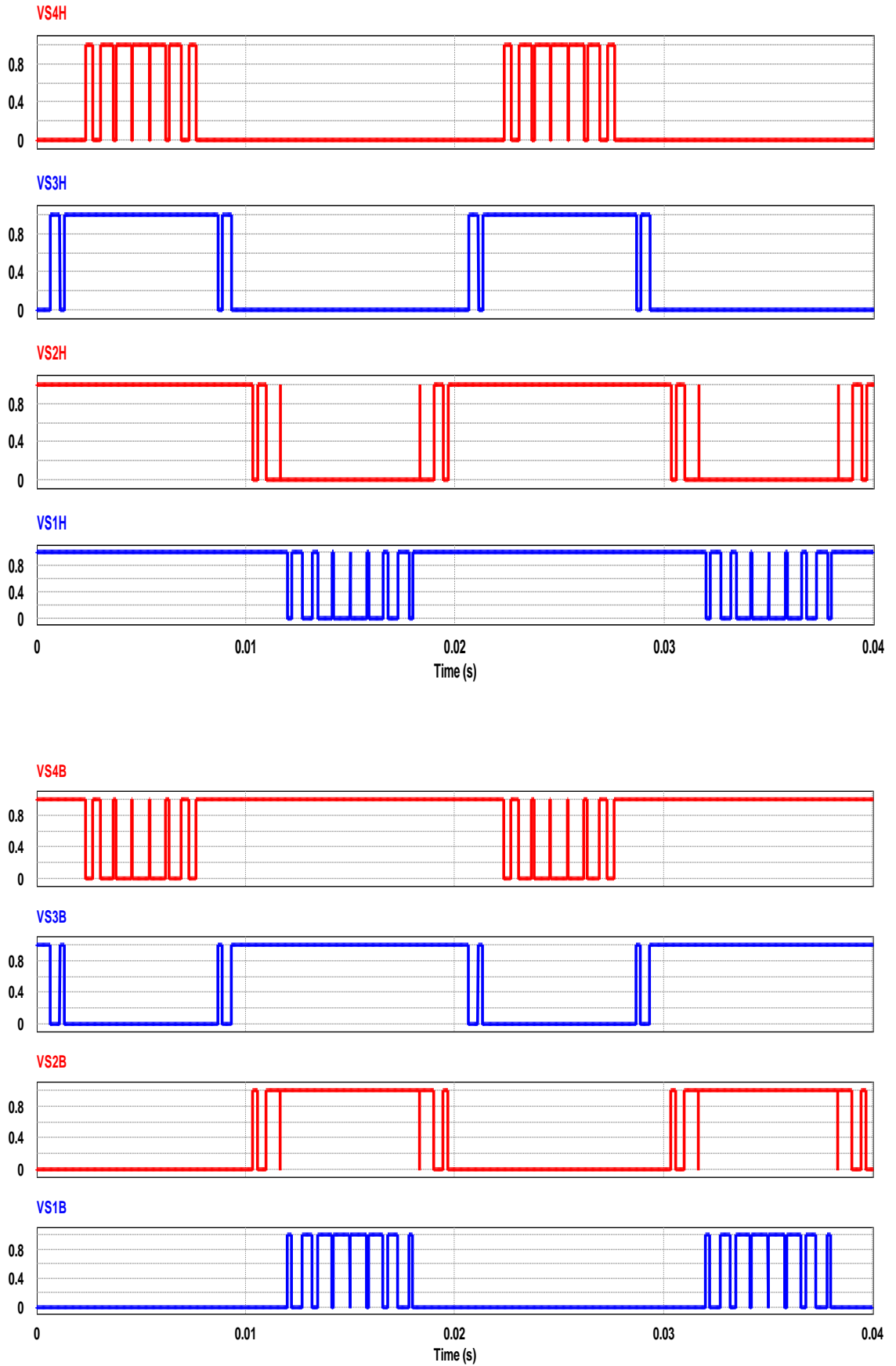


Figure III.13: Génération des signaux de commande par la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).

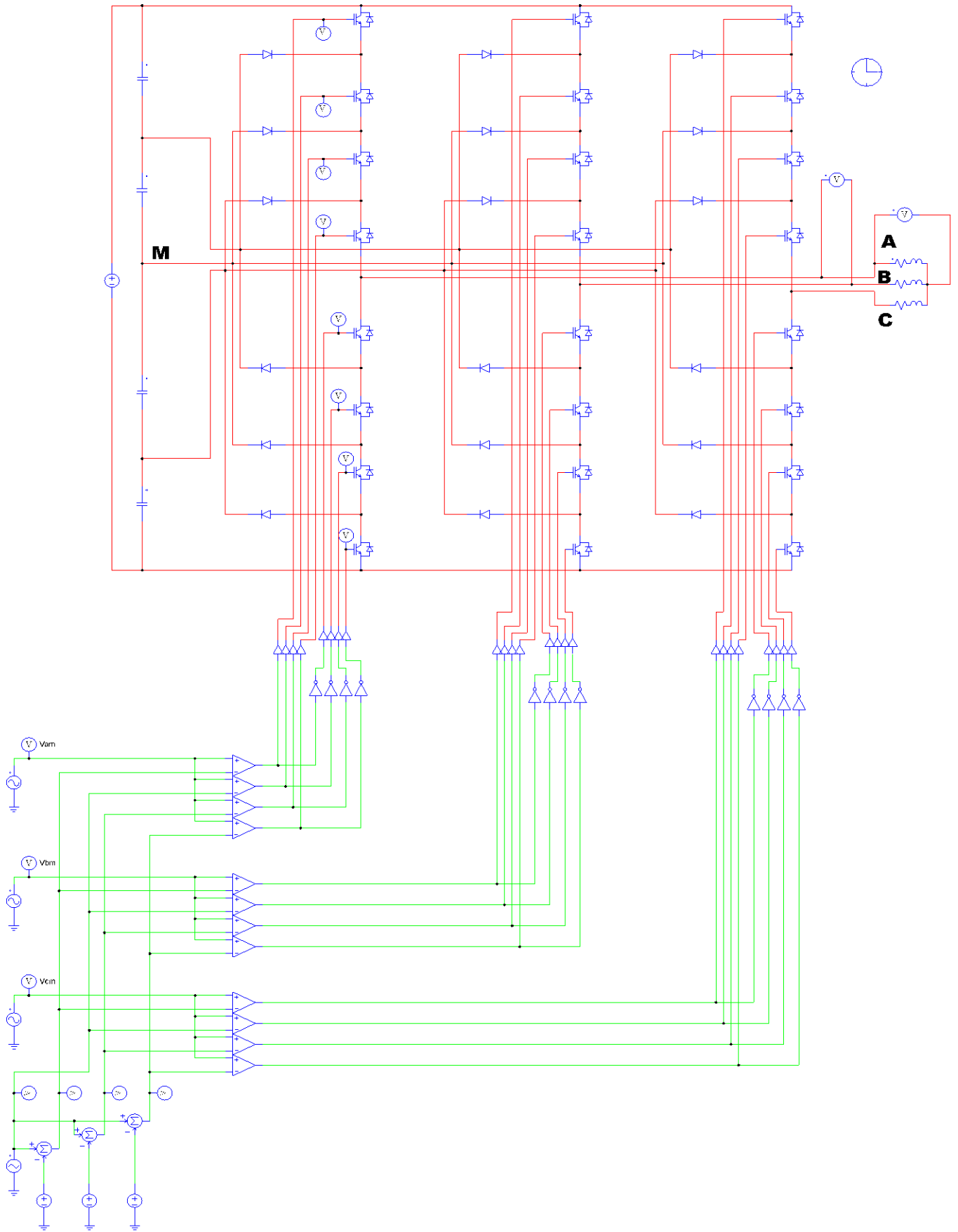


Figure III.14: schéma de simulation d'une commande MLI à triangle multiple d'un onduleur NPC à Cinq Niveaux.

Résultats de simulation pour l'onduleur trois niveaux commandé par la Modulation sinusoïdale à triangles multiples

Les résultats de simulation pour l'onduleur trois niveaux commandé par la Modulation sinusoïdale à triangles multiples sont illustrés dans les figures (III 12–13–14–15–16 et 17)

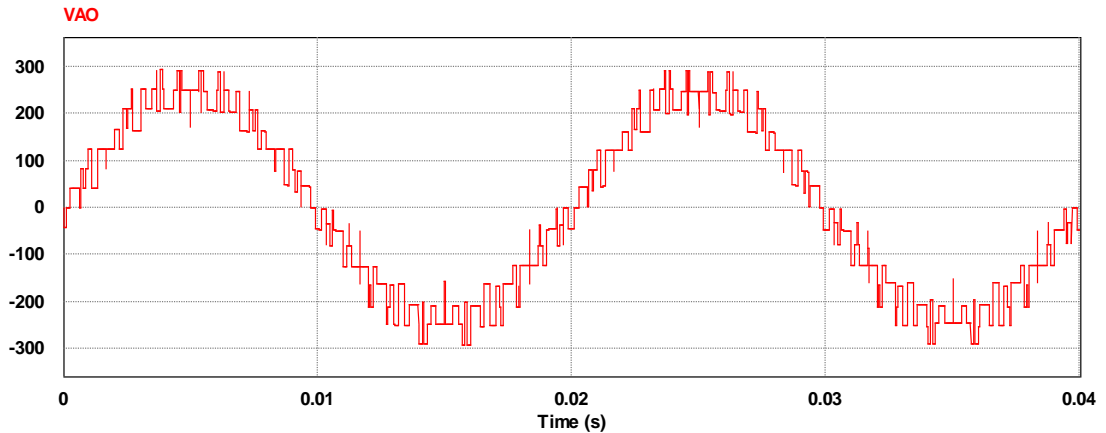


Figure III.15: Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ao}(t)$

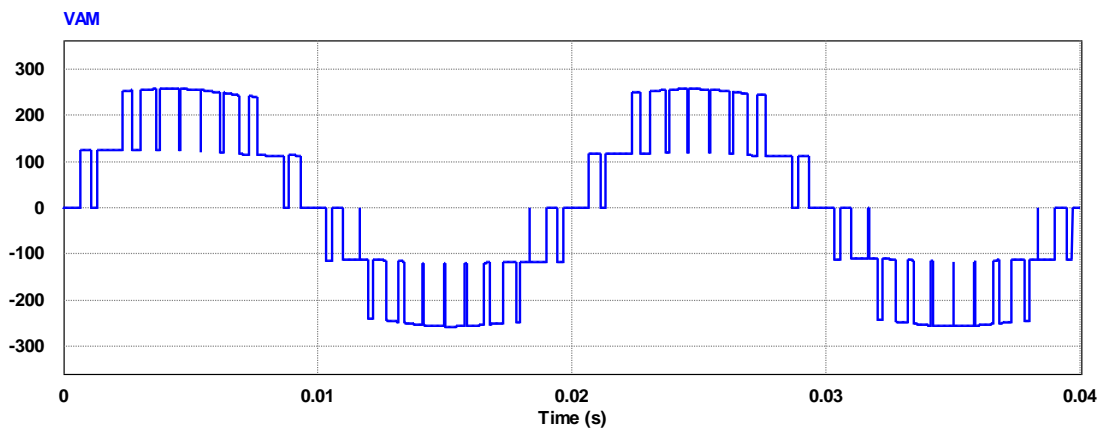


Figure III.16 : Tension d'une phase de l'onduleur par rapport au point neutre M, $V_{am}(t)$.

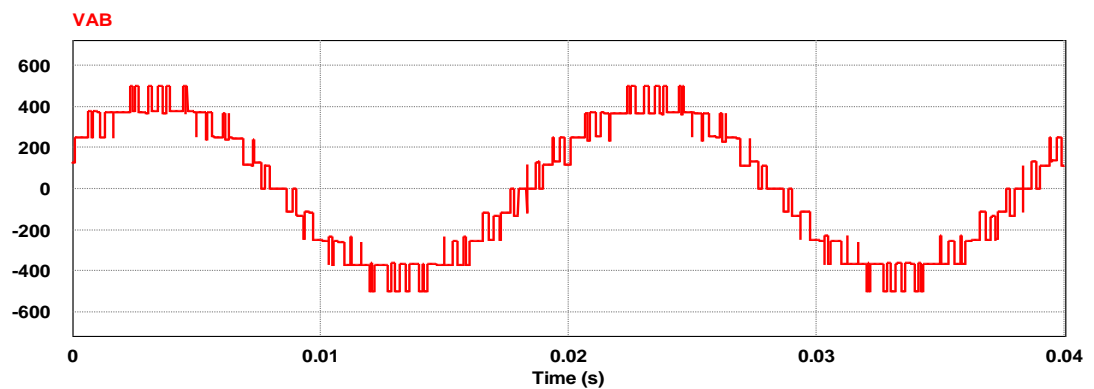


Figure III.6 : Tension entre phase de l'onduleur $V_{ab}(t)$.

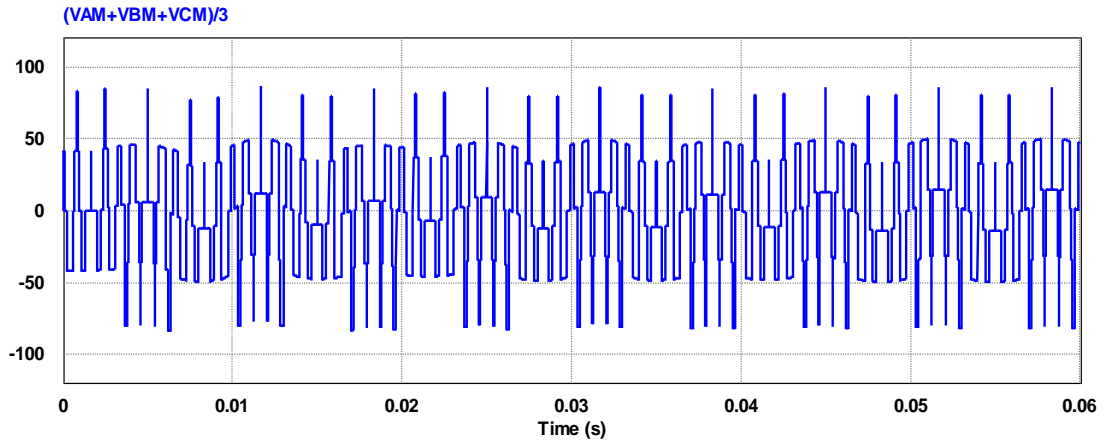


Figure III.18 : Tension du mode commun $(V_{am}+V_{bm}+V_{cm})/3$.

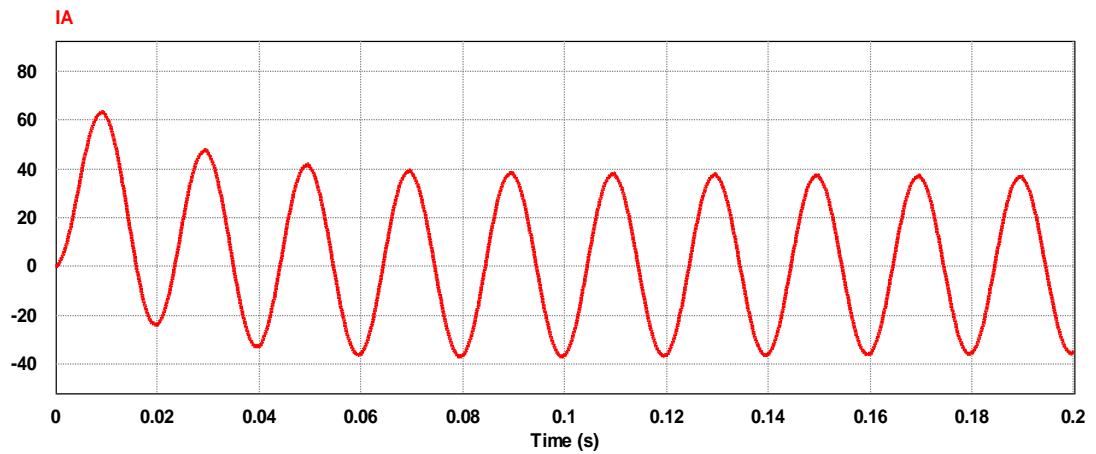


Figure III.19 : courant de la phase $I_a(t)$.

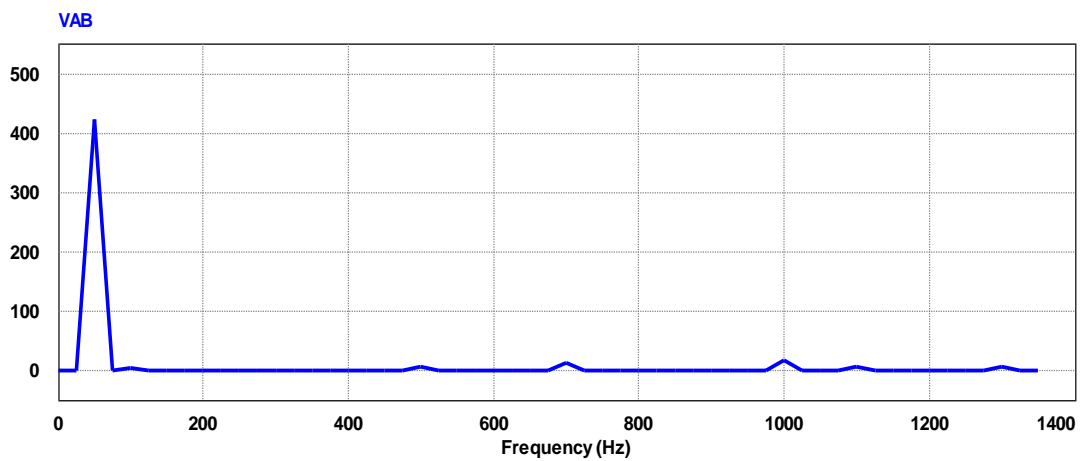


Figure III.20 : spectre d'harmoniques de la tension composée $V_{ab}(t)$, THD = 17.53%.

III.6 Interprétation des résultats :

D'après l'analyse des figures (III.12), (III.13) et (III.14) qui montrent les tensions simples et la tension composée, nous constatons que les tensions sont constituées de petits créneaux plus le m_f est augmenté, le nombre de créneaux augmente. A partir de l'analyse de la figure (III.20) qui représente le spectre d'harmonique de la tension composée, Le courant de la phase (A) est montré par la figure (III.19).

Nous constatons la présence de la tension du mode homopolaire (mode commun) sur la figure (III.18), qui est due à cette technique de commande.

III.7 Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons présenté les équations mathématiques utilisées pour la modélisation des convertisseurs utilisées dans les véhicules électriques, ainsi cette validation s'est effectuée par des simulations qu'on a également présentées. Il existe plusieurs topologies d'onduleurs, dont chacune correspond à un type d'application déterminé où permettant d'atteindre des performances recherchées. Nous avons étudié stratégies de commande à MLI triangulo-sinusoidale (triangle multiple) appliquées pour l'onduleur à Cinq niveaux de type NPC.

Le chapitre suivant sera consacré à la modélisation et la simulation de l'ensemble onduleur multi niveaux-machine asynchrone.

Bibliographie du Chapitre III :

- [1] : O. Bouakaz, “Contribution à l’Analyse des Onduleurs Multi niveaux Fonctionnement Symétrique et asymétrique ”, Mémoire d’ingénieur d’état, université de Batna, 2005.
- [2] : A. M. Lienhardt, « Etude de la Commande et de L’Observation d’une Nouvelle Structure de Conversion D’Energie de Type SMC (Convertisseurs Multicellulaire Superposé) », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [3] : YAKOUB KHADIDJA : Réduction des effets de la tension homopolaire dans les associations onduleur multiniveaux moteur a induction, Université de Batna diplôme Magister 2005.

Listes des figures du Chapitre III :

Figure III.7: Schéma détaillé d'un redresseur.

Figure III.8: Signaux caractéristiques d'un redresseur.

Figure III.9: Schéma du redresseur associé au PFC.

Figure III.10: Schéma détaillé d'un hacheur.

Figure III.11: Résultat de simulation de l'hacheur dans le régime permanent.

Figure III.6: Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux.

Figure III.7: 1 ère configuration du 1er bras.

Figure III.8: 2 ème configuration du 1er bras.

Figure III.9: 3 ème configuration du 1er bras.

Figure III.10: 4 ème configuration du 1er bras.

Figure III.11: 5 ème configuration du 1er bras.

Figure III.12: les signaux d'entrés pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples.
(Onduleur NPC à 5 niveaux).

Figure III.13: Génération des signaux de commande par la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).

Figure III.14: schéma de simulation d'une commande MLI à triangle multiple d'un onduleur NPC à Cinq Niveaux.

Figure III.15: Tension d'une phase de l'onduleur V_{ao} .

Figure III.16 : Tension d'une phase de l'onduleur par rapport au point neutre M, V_{am} .

Figure III.12 : Tension entre phase de l'onduleur V_{ab} .

Figure III.18 : Tension du mode commun V_{mc} .

Figure III.19 : courant de la phase I_a .

Figure III.20 : spectre d'harmoniques de la tension composée V_{ab} , THD = 13.44%

Liste des tableaux du Chapitre III :

Tableau III.1: Table de commutation de l'onduleur NPC à 5 niveaux

CHAPITRE IV

Plan du Chapitre IV

CHAPITRE IV: Modélisation et simulation de l'ensemble onduleur multiniveaux- machine asynchrone

IV.1	Introduction.....	46
IV.2	Généralités sur les machines asynchrones.....	46
	IV.2.1 Description et principe de fonctionnement.....	46
	IV.2.2 Hypothèse simplificatrices.....	47
	IV.2.3 Avantages et inconvénients la machine asynchrone.....	48
IV.3	Modèle triphasé de la MAS.....	48
	IV.3.1 Equations des tensions.....	49
	IV.3.2 Equations des flux.....	49
	IV.3.3 Equation d'état du modèle de la MAS.....	51
	IV.3.4 Expression du couple.....	52
	IV.3.5 Equation du mouvement.....	52
IV.4	Simulation de machine asynchrone connectée à un réseau triphasé équilibré.....	52
	IV.4.1 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 0\text{Nm}$	53
	IV.4.2 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 20\text{ Nm}$	54
	IV.4.3 Interprétation des résultats.....	55
IV.5	Simulation de la machine asynchrone à cage alimenté par un onduleur à 5 niveaux commandé par La MLI a triangle multiple.....	56
	IV.5.1 Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandé par La MLI modifiée : pour un couple résistant $C_r = 0\text{Nm}$	57
	IV.5.2 Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 3 niveaux commandé par La MLI modifiée : pour un couple résistant $C_r = 20\text{Nm}$	60
	IV.5.3 Interprétation des résultats.....	64
IV.6	Conclusion.....	64

IV.1 Introduction :

La modélisation de la machine asynchrone est une phase indispensable. Il est donc évident que cette étape est un passage obligatoire pour concevoir des systèmes de commande performants et adaptés aux variateurs de vitesse.

Le moteur asynchrone est le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie ; il est peu coûteux, on le fabrique en grande série, il est robuste, fiable et économique. Il fonctionne directement sur le secteur alternatif, sans transformations préalables de l'énergie électrique qui l'alimente, c'est le moteur industriel par excellence qui ne possède pas d'organes délicats comme le collecteur du moteur à courant continu et qui n'utilise pas de contacts glissants comme le moteur synchrone (pour l'excitation du rotor)

Il est devenu possible d'utiliser la technique MLI pour améliorer la forme d'onde du courant du moteur et par conséquent minimiser des harmoniques provoquant l'échauffement de la machine et les pulsations du couple. [1]

Dans ce chapitre, sera présentée la simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandés par La MLI à triangle multiple utilisé dans la traction d'un véhicule électrique.

IV.2 Généralités sur les machines asynchrones :

IV. 2.1 Description et principe de fonctionnement :

Le moteur asynchrone comporte deux parties essentielles, l'une fixe appelée stator (primaire), portant un bobinage triphasé logé dans les encoches, relié à la source d'alimentation, et l'autre mobile ou rotor (secondaire) qui peut être soit bobiné soit à cage d'écureuil. Ces deux parties sont coaxiales et séparées par un entrefer. Le principe de fonctionnement repose entièrement sur les lois de l'induction :

- La machine asynchrone est un transformateur à champ magnétique tournant dont le secondaire (rotor) est en court-circuit.
- La vitesse de rotation Ω_s du champ tournant d'origine statorique, rigidement liée à la fréquence f_s de tension triphasée d'alimentation.

$$\Omega_s = \frac{60 \cdot f_s}{n \cdot p} \quad (\text{tr/min}) \quad (\text{IV.01})$$

On désigne par "p" le nombre de paires de pôles de chacune des enroulements des phases statoriques. Lorsque le rotor tourne à une vitesse Ω_m , différente de Ω_r (asynchrone), l'application de la loi de Faraday aux enroulements rotoriques montre que ceux-ci deviennent

le siège d'un système de forces électromotrices triphasées.

Engendrant elles-mêmes trois courants rotoriques, d'après la loi de LENZ ces derniers s'opposent à la cause qui leur a donné naissance, c'est-à-dire la vitesse relative de l'induction tournante statorique par rapport au rotor. Ceci va entraîner le rotor vers la poursuite du champ et essayer de le faire tourner à la même vitesse Ω_s , cette vitesse ne peut être atteinte ; car il n'y aurait plus de courants induits, donc plus de force, et le rotor tourne à une vitesse Ω_r inférieure à Ω_s , il n'est pas au synchronisme du champ : la machine est dite asynchrone. De ce fait, selon que Ω_r est inférieure (hypo-synchrone) ou supérieure (hyper synchrone) à Ω_s , la machine développe respectivement un couple moteur tendant à accroître Ω_r , ou un couple résistant tendant à réduire Ω_r , de toute évidence le couple électromagnétique s'annule à l'égalité de vitesse. L'échange énergétique avec le réseau donne le signe de l'écart ($\Omega_s - \Omega_r$). On caractérise ainsi le fonctionnement asynchrone par le glissement défini par :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_r} \quad (\text{IV } 02)$$

Dans les conditions nominales de fonctionnement de la machine en moteur, le glissement exprimé en pourcent est de quelques unités. Une augmentation de la charge mécanique provoque une augmentation du glissement et des pertes joules dans les enroulements statoriques et rotoriques.

IV.2.2 Hypothèse simplificatrices :

La modélisation de la machine asynchrone s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, qui sont [2]:

L'entrefer est d'épaisseur uniforme.

L'effet d'encochage est négligeable.

La saturation du circuit magnétique,

L'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.

Pertes ferromagnétiques négligeables.

Les résistances des enroulements ne varient pas avec la température et on néglige l'effet de peau.

On admet de plus que les forces magnétomotrices f.é.m. créées par chacune des phases des deux armatures est à répartition sinusoïdale

IV.2.3 Avantages et inconvénients la machine asynchrone :

Les courants qui circulent dans le stator, constituent l'unique source externe du champ magnétique. Sa vitesse varie un peu quand on le charge, on dit qu'il glisse.

Mais ce glissement est en générale ne dépasse pas quelques centièmes de la vitesse à vide, il est négligeable le plus souvent. Le démarrage des moteurs asynchrones ne pose pas de problèmes pour les unités de petite puissance. Par contre, pour les moteurs de forte puissance, il faut démarrer sous tension réduite pour éviter un appel de courant trop élevé. Par contre dans le moteur asynchrone les courants statoriques sont à la fois à générer le flux et le couple. Le découplage naturel de la machine à courant continu n'existe pas. D'autre part on ne peut connaître les variables internes du rotor à cage qu'à travers le stator. L'inaccessibilité du rotor nous amènera à modifier l'équation vectorielle rotorique pour exprimer les grandeurs rotoriques à travers leurs actions sur le stator. La simplicité structurelle cache donc une grande complexité fonctionnelle due aux caractéristiques qui viennent d'être évoquées mais également aux non linéarités, à la difficulté d'identification et aux taux variations des paramètres (R_r en particulier) [1]

IV.3 Modèle triphasé de la MAS :

Pour avoir le modèle simplifié de la machine on utilise les hypothèses précédentes : La mise sous forme d'un modèle mathématique d'une machine asynchrone nous facilite largement son étude pour sa commande dans les différents régimes de fonctionnement transitoire ou permanent. Les axes rotoriques tournent avec Ω par rapport aux axes statoriques fixes comme le montre la Figure (IV 1)

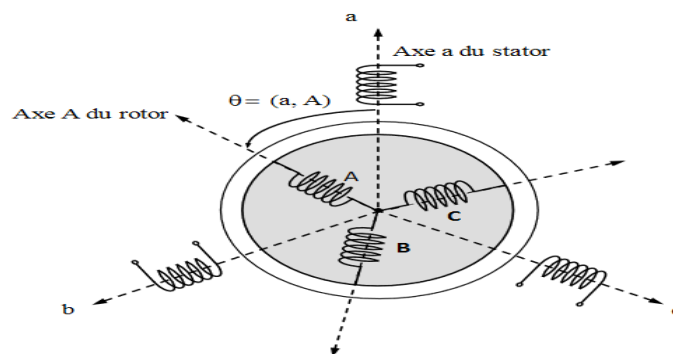


Figure IV 2: Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasée.

IV.3.1 Equations des tensions :

En partant de la Figure (IV.3), les équations électriques du modèle de la machine asynchrone triphasée s'écrivent respectivement par rapport au stator avec l'indice (s) et par rapport au rotor avec l'indice (r) comme suit :

Pour le stator:

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{IV 03})$$

En désignant par :

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Tensions appliquées aux trois phases statoriques.

I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} : Courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$: Flux totaux à travers ces enroulements.

R_s : Résistance d'une phase statorique.

Ou sous la forme compacte comme suit :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt} [\Phi_s]$$

Pour le rotor:

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{IV 04})$$

V_{ra}, V_{rb}, V_{rc} : Tensions rotoriques.

I_{ra}, I_{rb}, I_{rc} : Courants rotoriques.

$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$: Flux rotoriques.

R_r : Résistance d'une phase rotorique.

Ou sous la forme compacte comme suit :

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt} [\Phi_r]$$

IV.3.2 Equations des flux :

Les relations entre flux et courants s'écrivent sous forme matricielle comme suit :

Pour le stator :

$$[\Phi_s] = [L_{cs}]. [I_s] + [M_{sr}]. [I_r]$$

Où :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} = [L_{cs}]. \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + [M_{sr}]. \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} \quad (IV 05)$$

Pour le rotor :

$$[\Phi_r] = [L_{cr}]. [I_r] + [M_{sr}]. [I_s]$$

Où :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} = [L_{cr}]. \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + [M_{sr}]. \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \quad (IV.06)$$

Tel que : $[M_{sr}] = [M_{rs}]. T$

On désigne par :

$[L_{cs}]$: Matrice des inductances statorique

$[L_{cr}]$: Matrice des inductances rotoriques

$[M_{sr}]$: Matrice des inductances mutuelles statoriques.

$[M_{rs}]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques

Avec :

$$L_{CS} = \begin{bmatrix} I_s & M_s & M_s \\ M_s & I_s & M_s \\ M_s & M_s & I_s \end{bmatrix} \quad (IV 07)$$

$$L_{cr} = \begin{bmatrix} I_r & M_r & M_r \\ M_r & I_r & M_r \\ M_r & M_r & I_r \end{bmatrix} \quad (IV 08)$$

$$[M_{sr}] = [M_{sr}]^t = M \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) & \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (IV 09)$$

Avec :

θ : Angle qui définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases «as» et «ar» pris comme axes des références.

M : valeur maximale de l'inductance mutuelle lorsque les deux axes (ar et as) se coïncident.

IV.3.3 Equation d'état du modèle de la MAS :

La représentation du modèle de la machine dépend du référentielle choisi. On choisit le repère liée au stator (α, β) ce qui ne permet d'obtenir des grandeurs instantanées, considérons les courants ($I_{s\alpha}, I_{s\beta}$) les flux rotorique ($\Phi_{ra}, \Phi_{r\beta}$) et la vitesse mécanique comme variable d'état, les tensions ($V_{s\alpha}, V_{s\beta}$).

$$\left\{ \begin{array}{l} dI_{s\alpha} dt = -\frac{R_t}{\sigma L_s} I_{s\alpha} + \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r} \Phi_{ra} + \frac{M}{\sigma L_s L_r} \omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{s\alpha} \\ dI_{s\beta} dt = -\frac{R_t}{\sigma L_s} I_{s\beta} + \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r} \Phi_{ra} + \frac{M}{\sigma L_s L_r} \omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{s\beta} \\ \frac{d\Phi_{ra}}{dt} = \frac{M}{V} I_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{ra} - \omega \Phi_{r\beta} \\ \frac{d\Phi_{r\beta}}{dt} = \frac{M}{V} I_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{ra} - \omega \Phi_{r\beta} \end{array} \right. \quad (IV 10)$$

Où :

$\sigma = 1 - (M^2 / L_s L_r)$: est le coefficient de dispersion.

$T_r = L_r / R_r$; est la constance de temps rotorique

$R_t = R_s + M^2 L_r / T_r$: est la résistance totale ramenée au stator.

En identifiant le système (I-27) à la forme $dX/dt = AX+BU$

On aura :

Le vecteur d'états $X = [I_{s\alpha} \ I_{s\beta} \ \Phi_{ra} \ \Phi_{r\beta}]$, A la matrice dynamique du système, le vecteur de commande $U = [V_{s\alpha} \ V_{s\beta}]$.t et B la matrice d'application de commande,

Donc :

$$X = \begin{bmatrix} I_{s\alpha} \\ I_{s\beta} \\ \Phi_{ra} \\ \Phi_{r\beta} \end{bmatrix} ; \quad U = \begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} ; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (IV 11)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-R_t}{\sigma L_s} & 0 & \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r} & \frac{M}{\sigma L_r L_s} \omega \\ 0 & \frac{R_t}{\sigma L_s} & \frac{M}{\sigma L_s L_r} \omega & \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r} \\ \frac{M}{T_r} & 0 & \frac{-1}{T_r} & -\omega \\ 0 & \frac{M}{T_r} & \omega & \frac{-1}{T_r} \end{bmatrix}$$

IV.3.4 Expression du couple:

Pour le couple électromécanique :

$$C_{em} = P \frac{M}{L_r} (\Phi_r \cdot \alpha \cdot I_s \cdot \beta - \Phi_s \cdot \beta \cdot I_r \cdot \alpha) \tag{IV 12}$$

IV.3.5 Equation du mouvement :

L'étude du comportement de la machine asynchrone aux différents régimes de fonctionnement en particulier le régime transitoire, met en évidence l'équation du mouvement définie comme suit [3]

$$C_e - C_r = J \frac{d\Omega}{dx} + f\Omega \tag{IV 13}$$

IV. 4 Simulation de machine asynchrone connectée à un réseau triphasé équilibré :

On utilise le logiciel de simulation de circuits électriques PSIM pour analyser les grandeurs électriques (tension, courant, puissances) en amont d'un moteur asynchrone connecté en direct à un réseau triphasé.

- La puissance nominale du moteur est : PN = 15 kW ;
- Le nombre de pôles est : P = 6

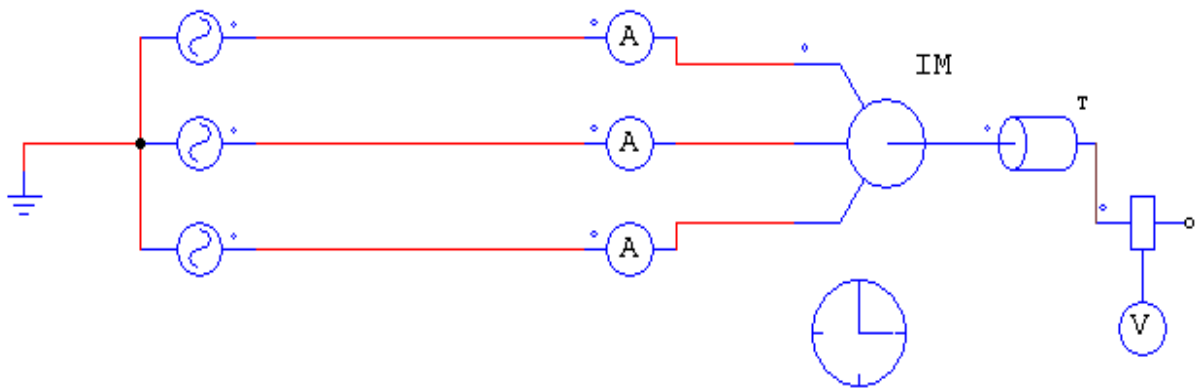


Figure IV 4: Schéma de simulation d'un moteur asynchrone connecté en direct à un réseau triphasé.

IV.4.1 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 0 \text{ Nm}$:

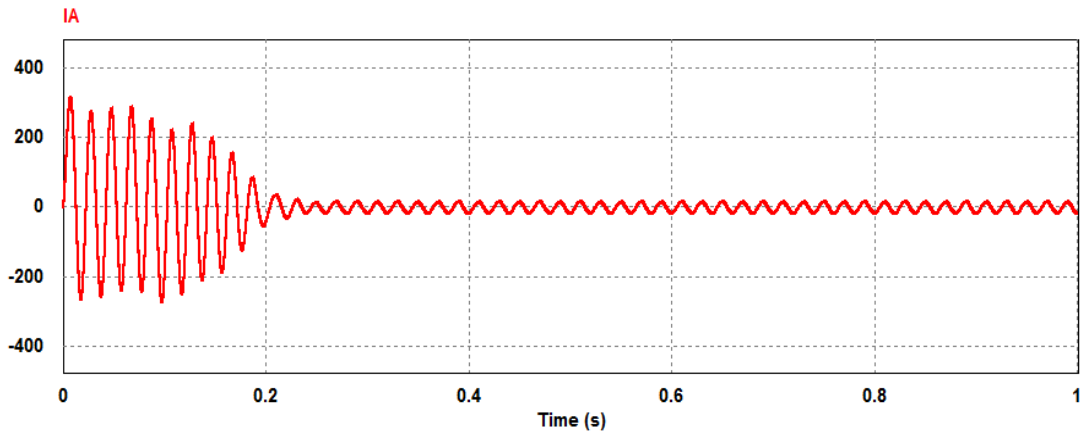


Figure IV 5: Courants de charge $I_a(t)$.

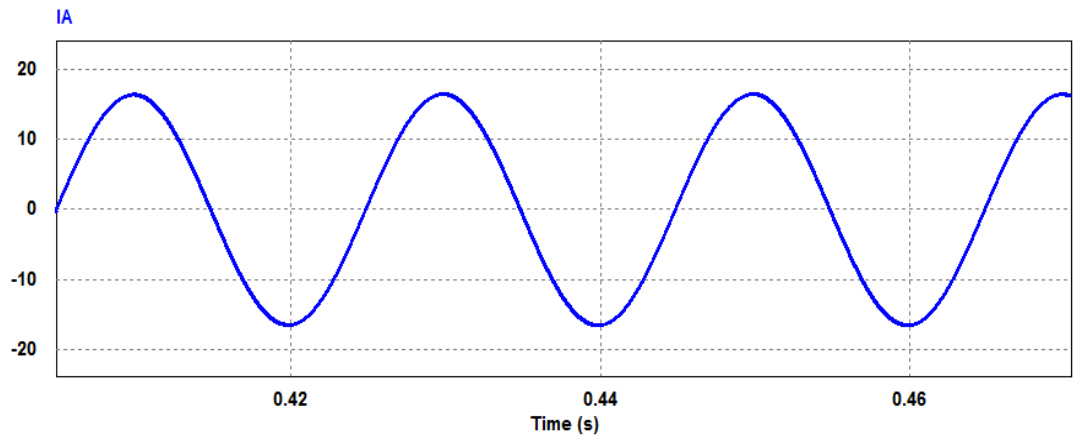


Figure IV 6: Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.

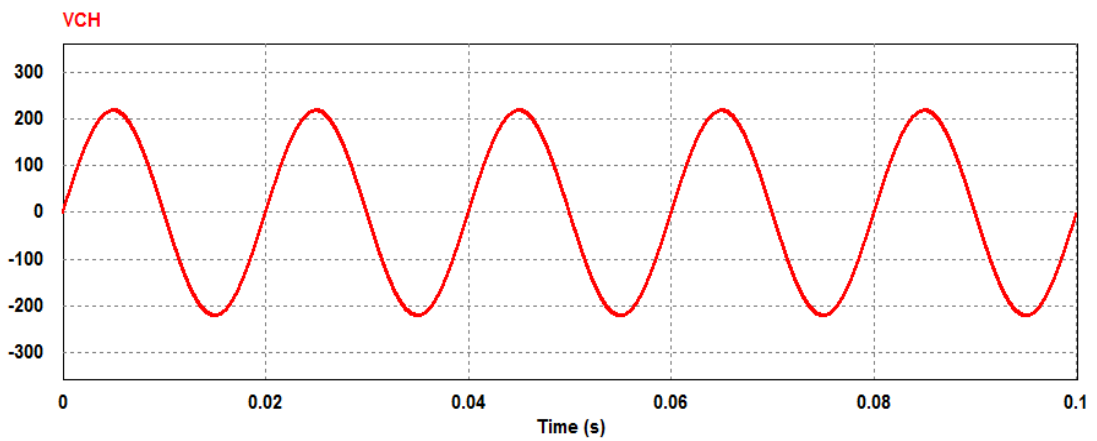


Figure IV 7: Tension de charge $V_{ch}(t)$.

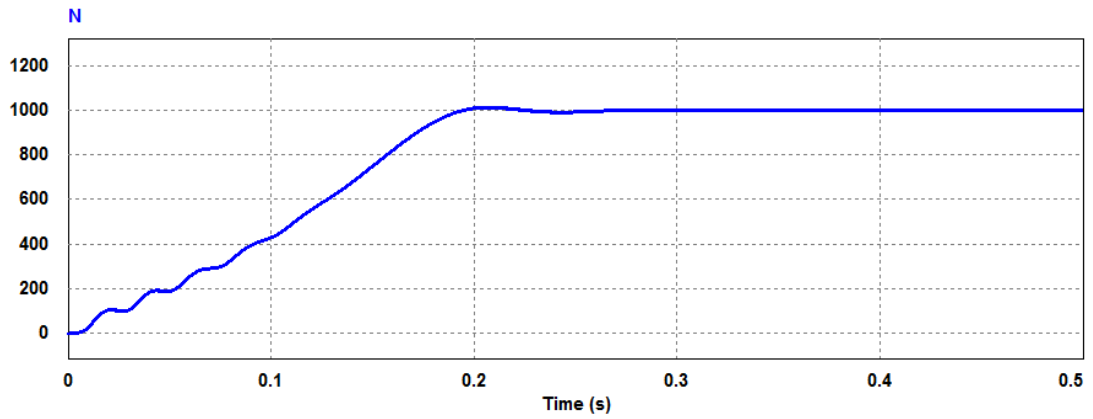


Figure IV 8: La vitesse de rotation N.

IV.4.2 Résultats de la simulation : pour un couple résistant $C_r = 20 \text{ Nm}$:

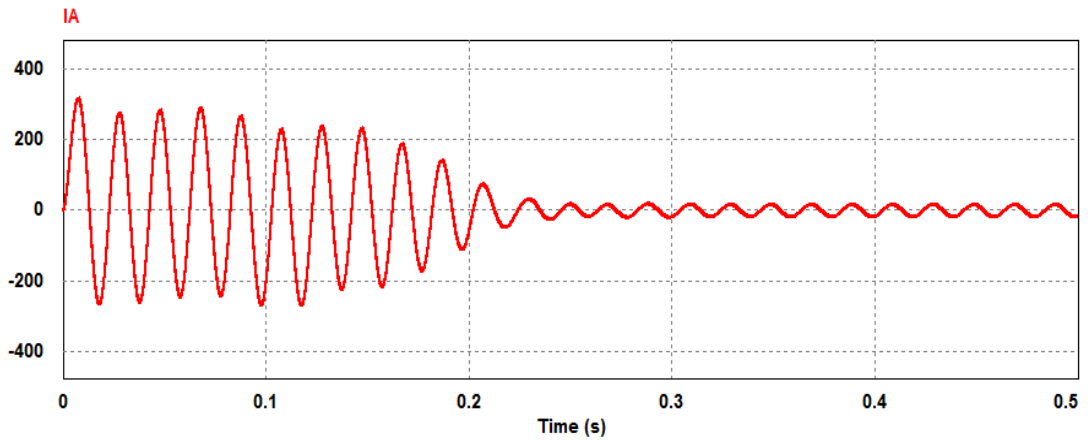


Figure IV 9: Courants de charge $I_a(t)$ pour $C_r = 20 \text{ Nm}$.

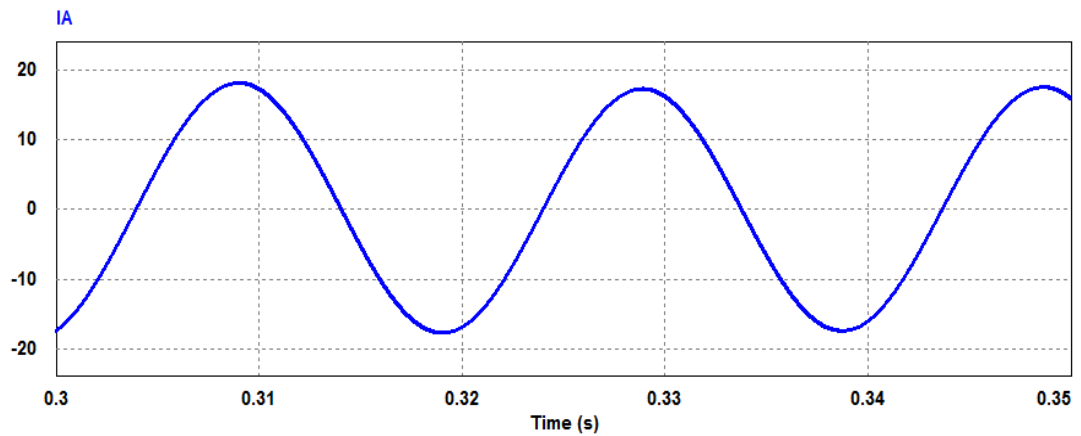


Figure IV 10: Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent pour $C_r = 20 \text{ Nm}$.

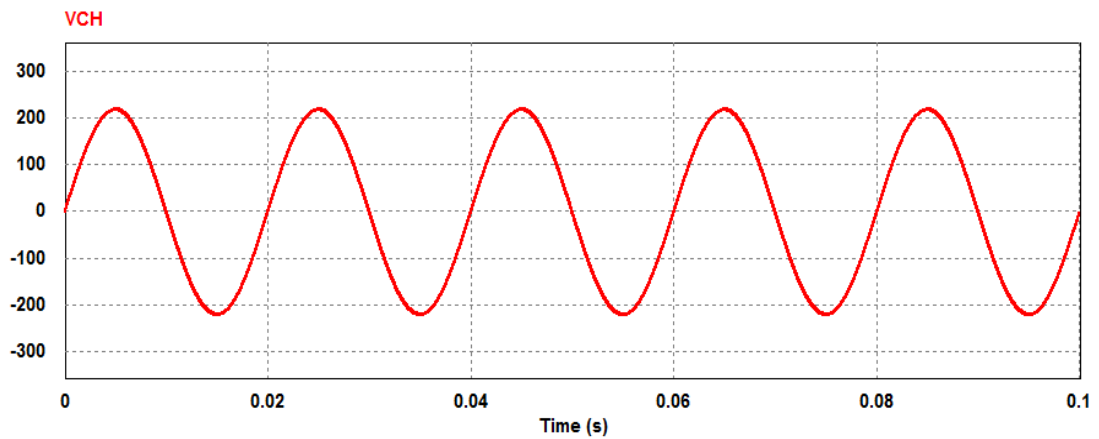


Figure IV 11: Tension de charge $V_{ch}(t)$.

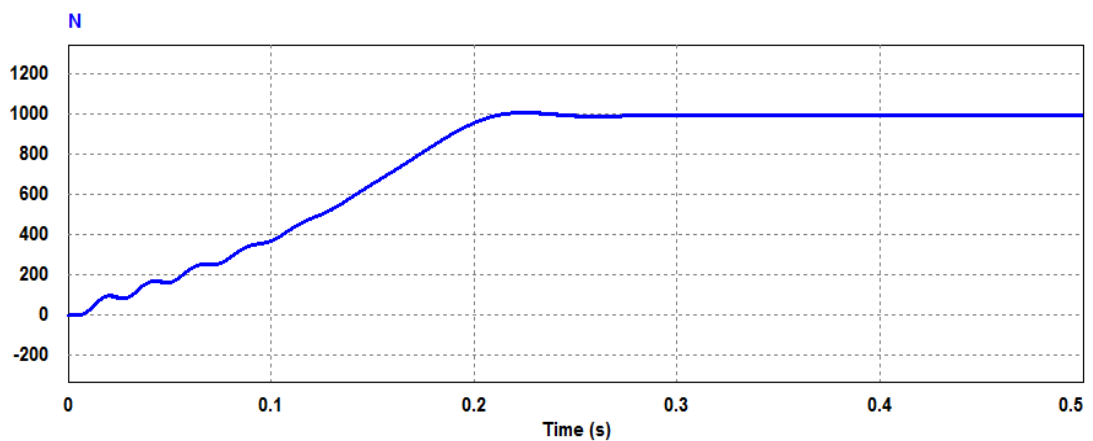


Figure IV 12: La vitesse N de rotation de la MAS.

IV.4.3 Interprétation des résultats :

Lors du démarrage, on constate des pics de courant importants qui s'atténuent avec l'évolution du régime transitoire.

La vitesse : En régime transitoire, on remarque un croisement linéaire de vitesse, avec une tendance à osciller à cause de l'inertie des masses tournantes et du coefficient d'amortissement du aux faibles valeurs des flux.

L'augmentation de la charge à 80 Nm fait une augmentation du courant à une valeur qui peut attendre la valeur de 38 A.

IV.5. Simulation de la machine asynchrone à cage alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandé par la MLI à triangle multiple :

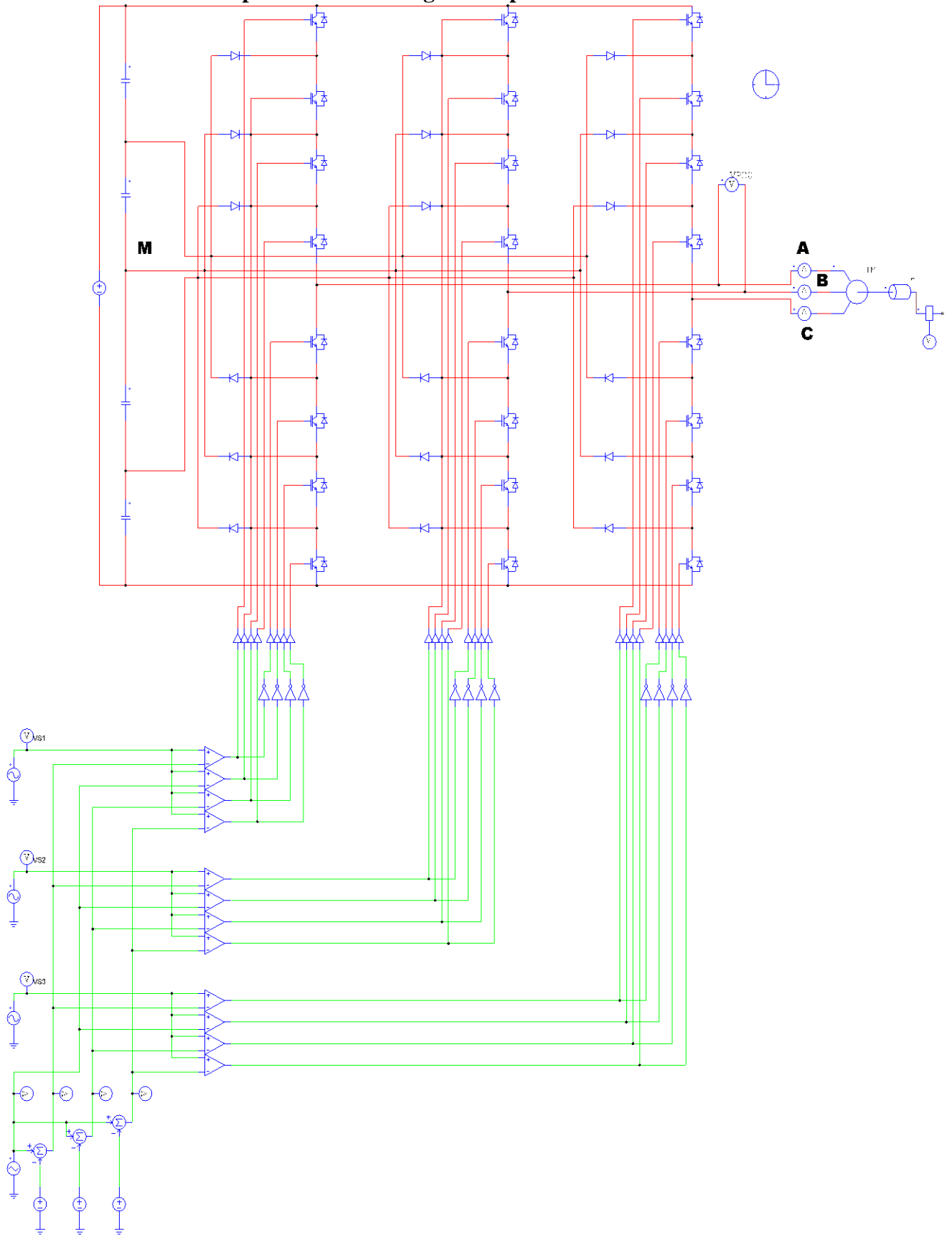


Figure IV 13 : Schéma de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur de 5 niveaux commandé par La MLI à triangle multiple.

IV.5.1 Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandé par la MLI à triangle multiple: pour un couple résistant $C_r = 0 \text{ Nm}$:

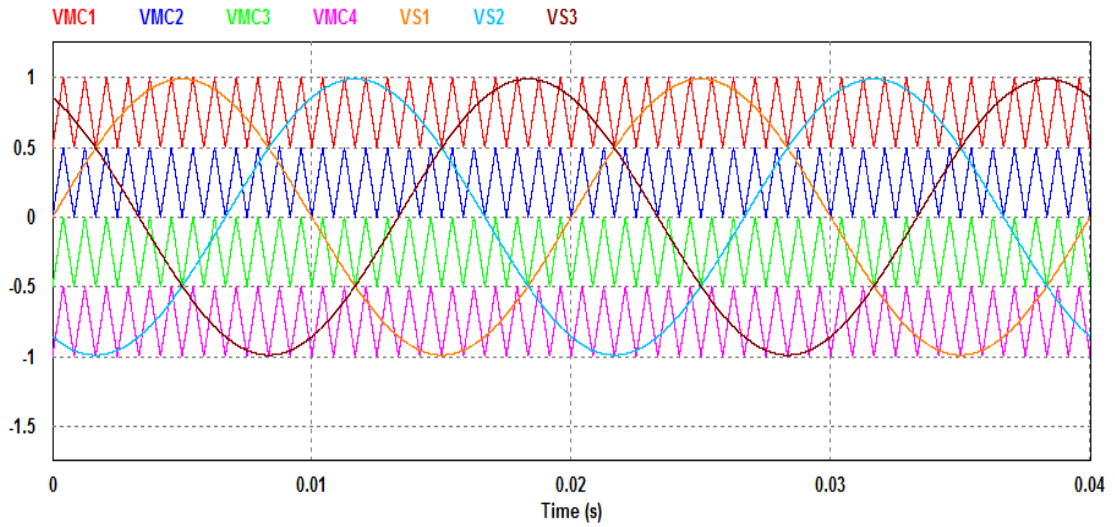


Figure IV 12: les signaux d'entrées pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).

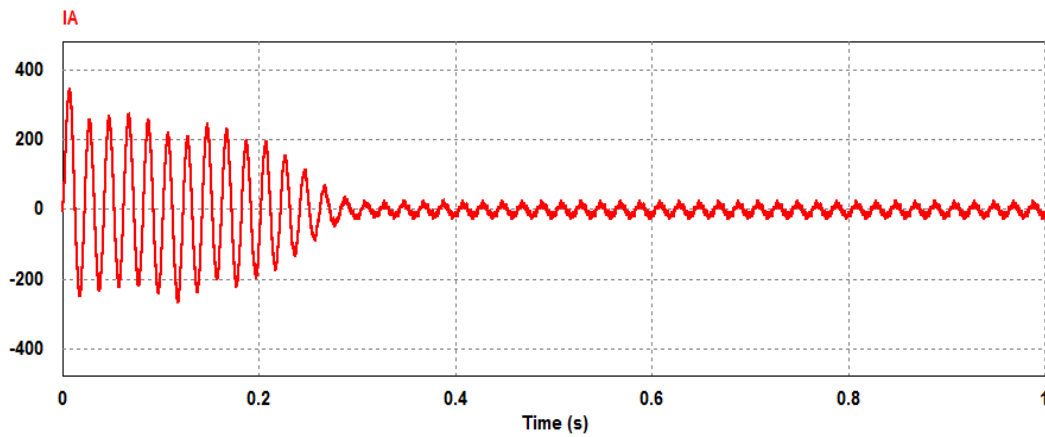


Figure IV 14: Le courant de la phase $I_a(t)$.

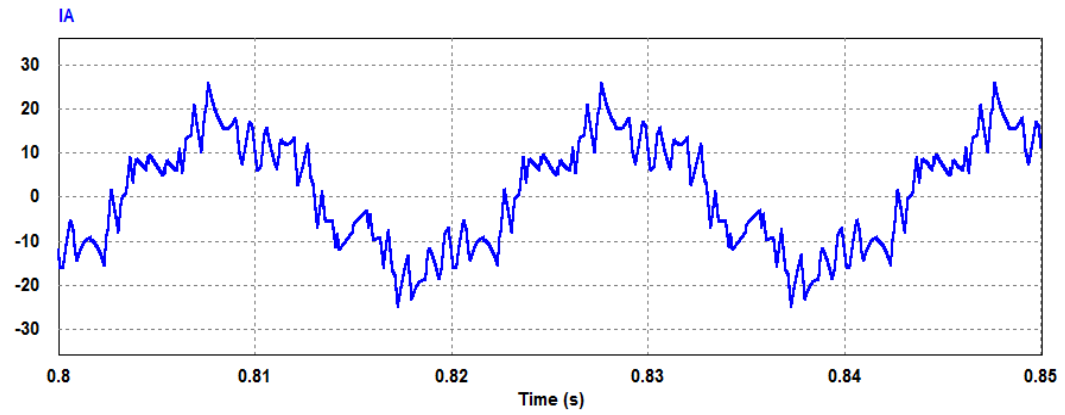


Figure IV 15: Courant de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.

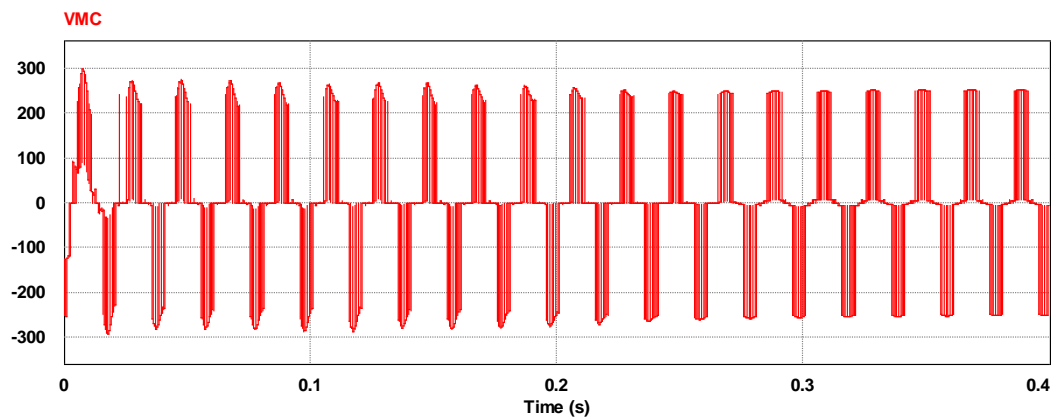


Figure IV 16: Tension du mode commun $V_{mc}(t)$.

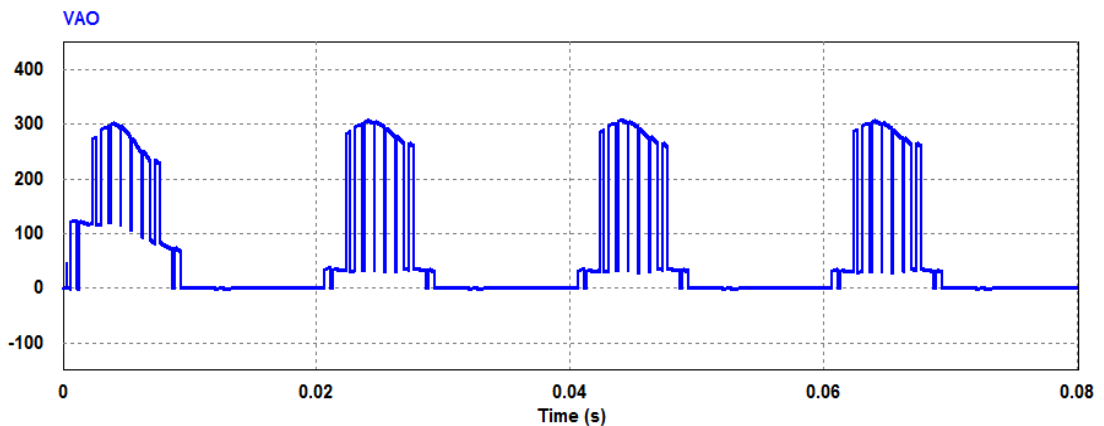


Figure IV 17: Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ao}(t)$.

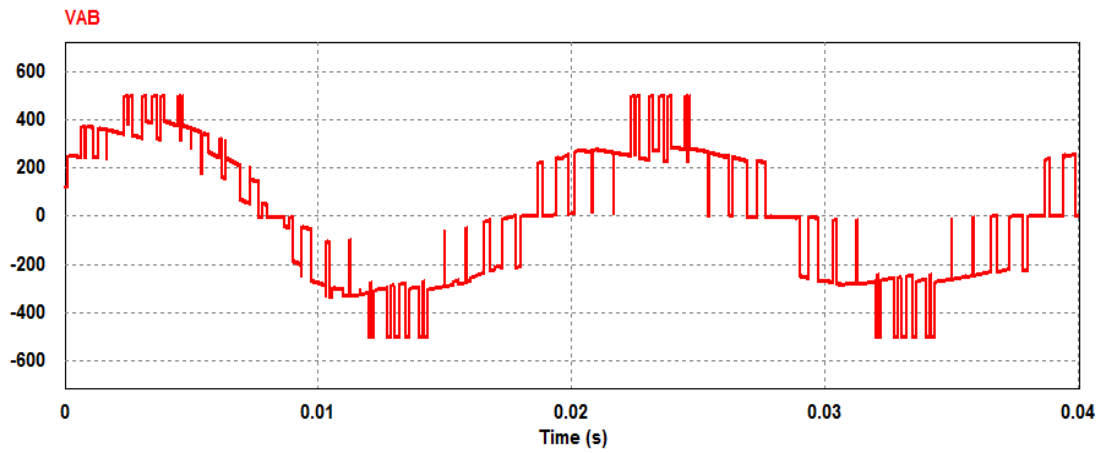


Figure IV 18: Tension composée de l'onduleur $V_{ab}(t)$.

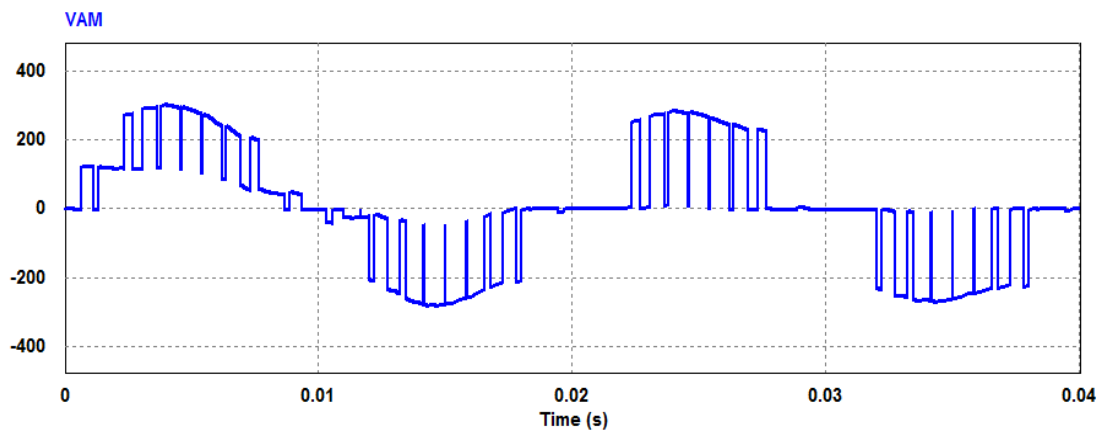


Figure IV 19: Tension d'une phase de l'onduleur par rapport au point neutre M, $V_{am}(t)$.

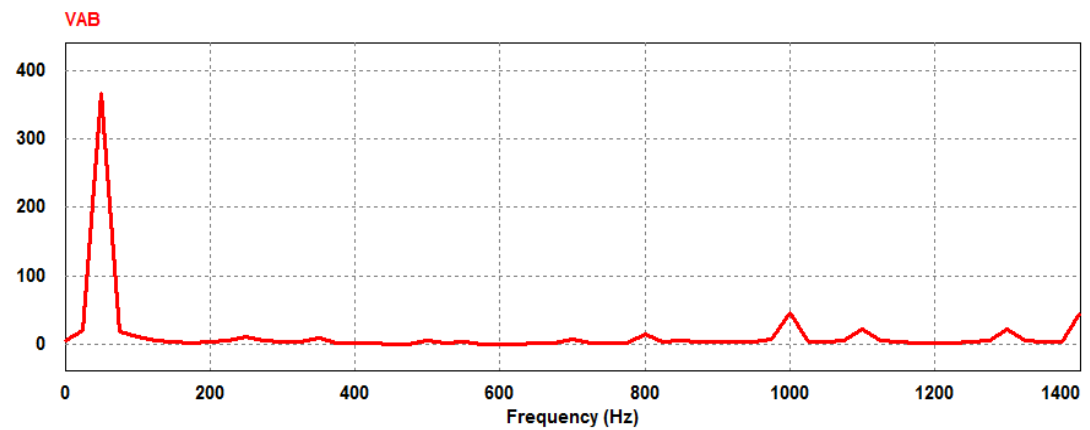


Figure IV 20: Spectre d'harmoniques de la tension composée $V_{ab}(t)$, THD = 39.75 %.

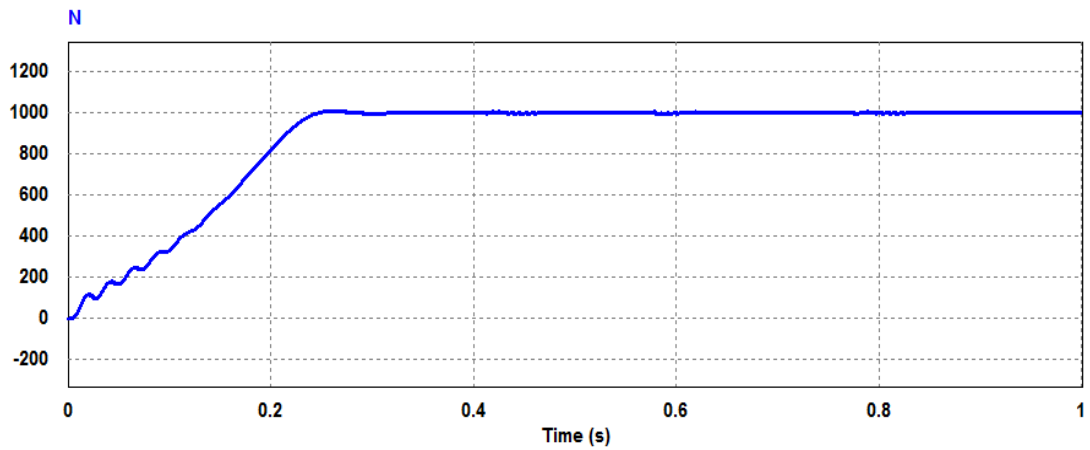


Figure IV 21 : La vitesse de rotation de la machine N.

IV.5.2 Résultat de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur à 5 niveaux commandé par la MLI a triangle multiple: pour un couple résistant $Cr=20Nm$:

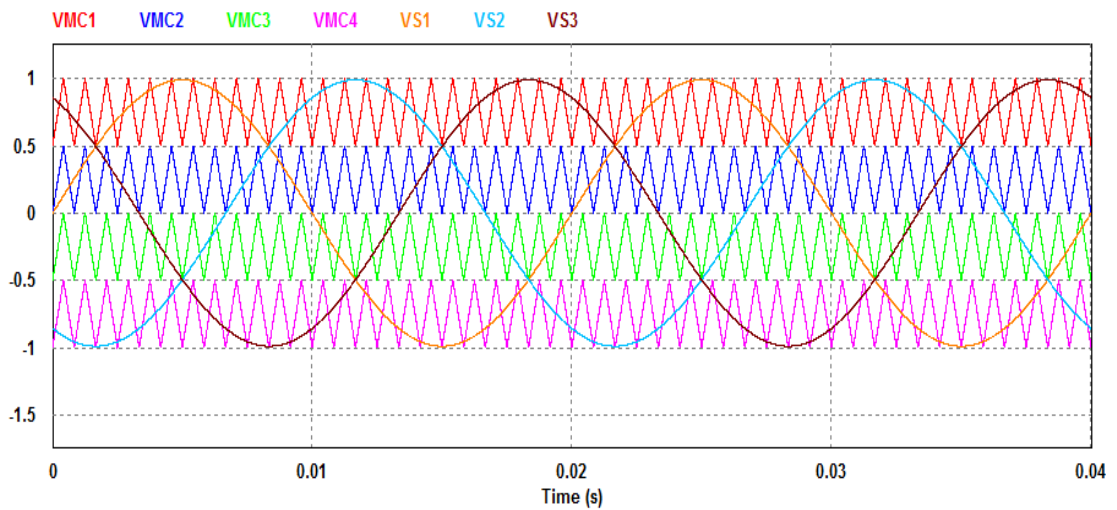


Figure IV 21: les signaux d'entrés pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).

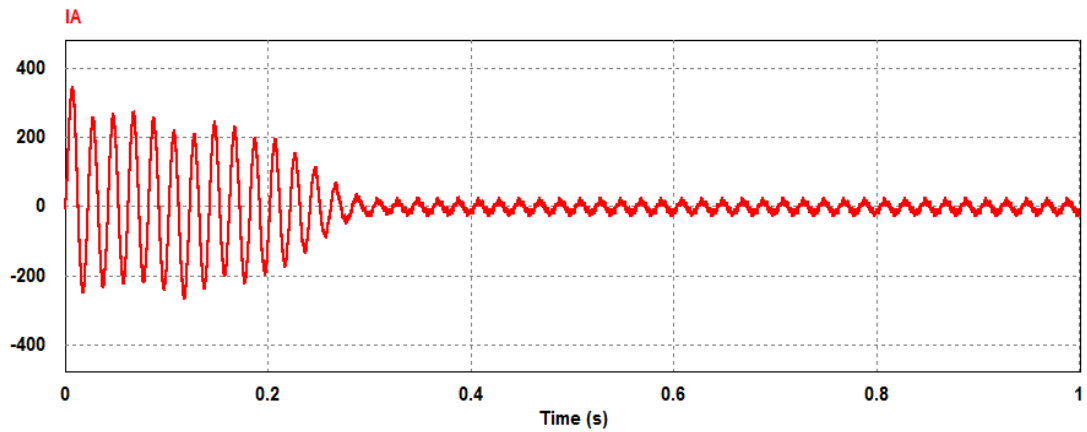


Figure IV 22: Le courant de la phase $I_a(t)$.

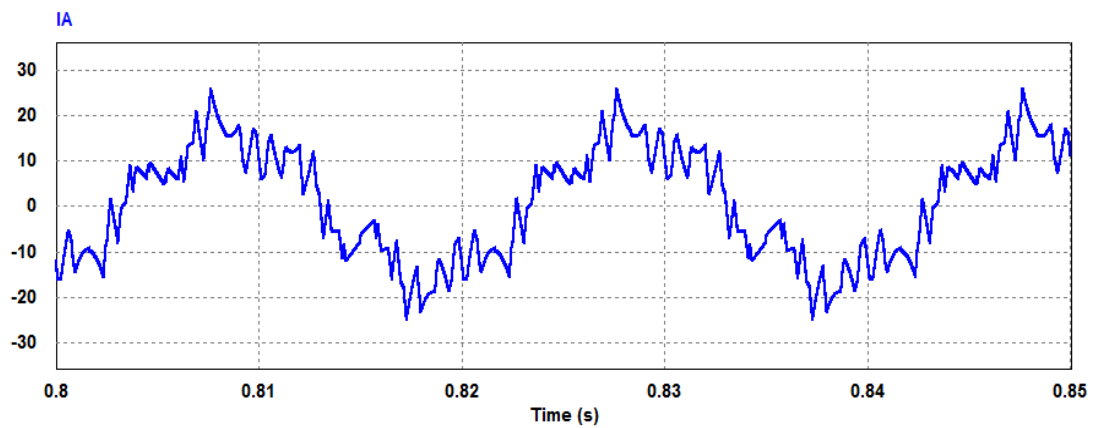


Figure IV 23: Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.

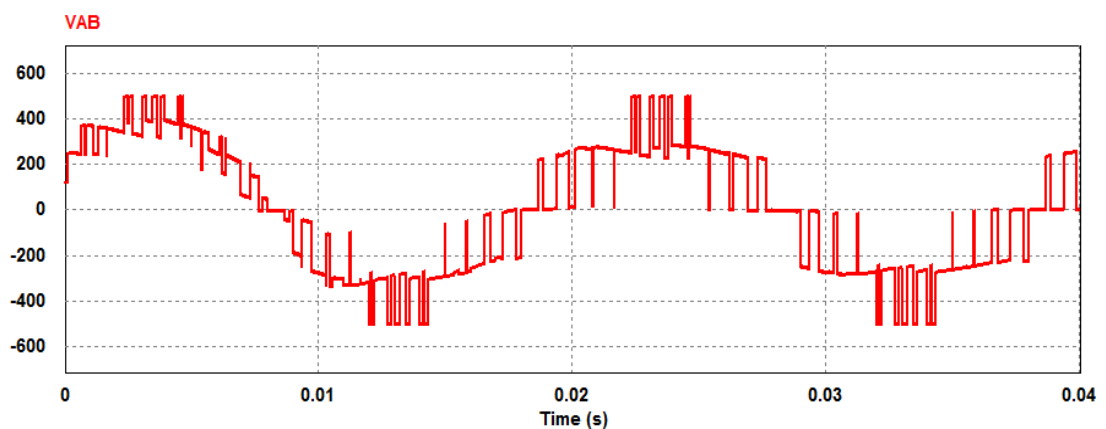


Figure IV 24: Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ab}(t)$.

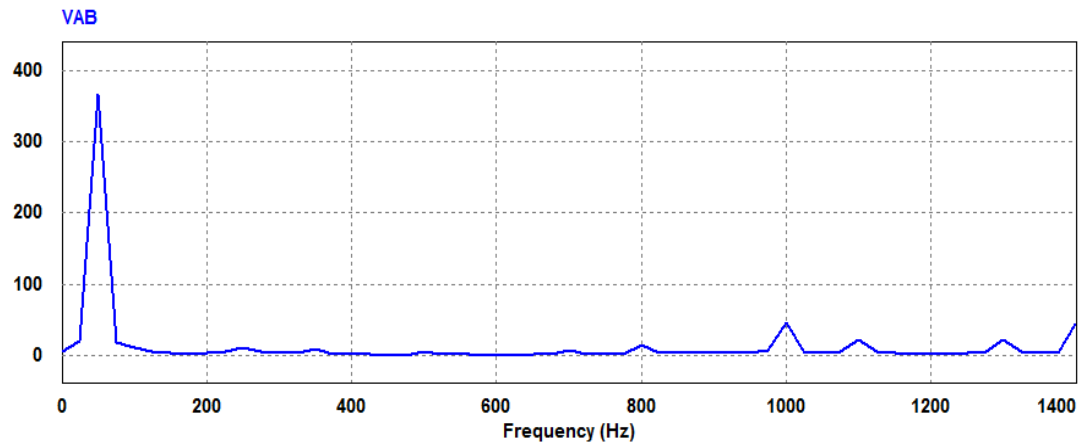


Figure IV 25: Spectre d'harmoniques de la tension composée $V_{ab}(t)$, THD =39.74%.

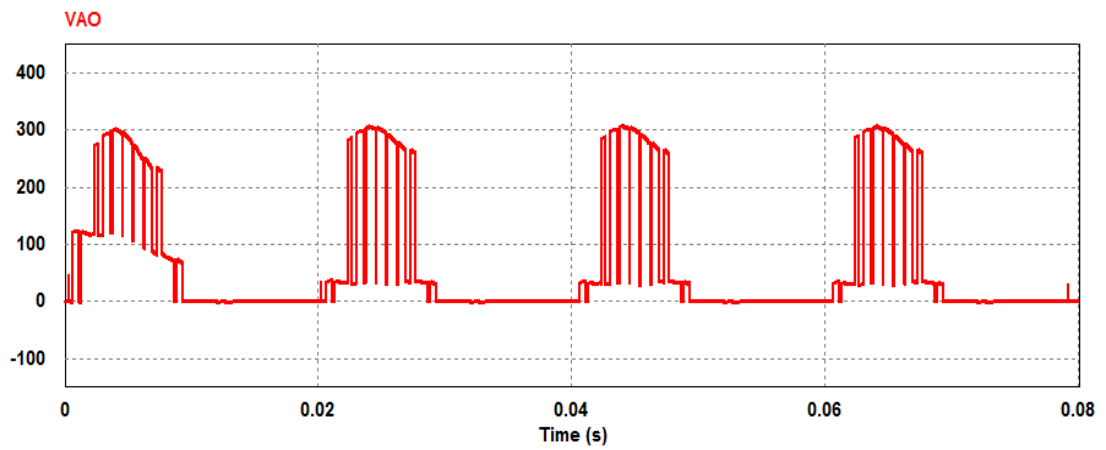


Figure IV 26: Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ao}(t)$.

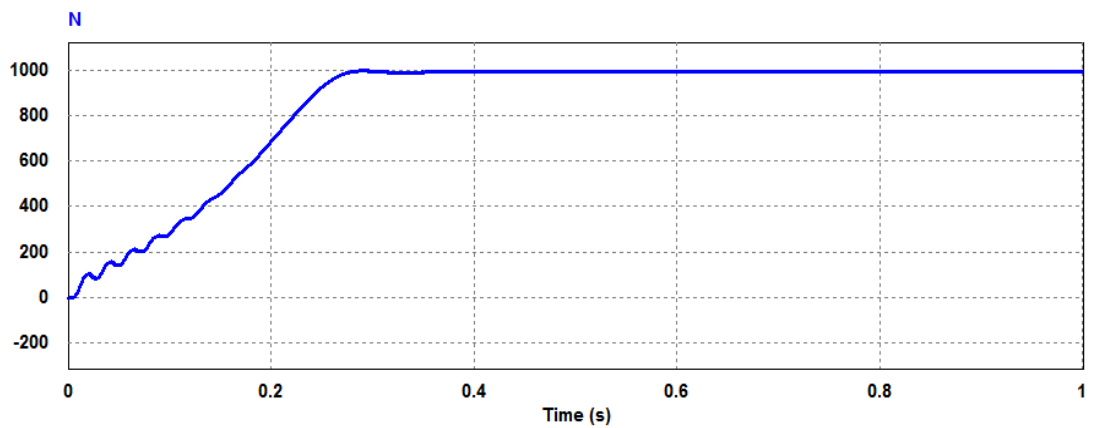


Figure IV 27: La vitesse de rotation N de la MAS.

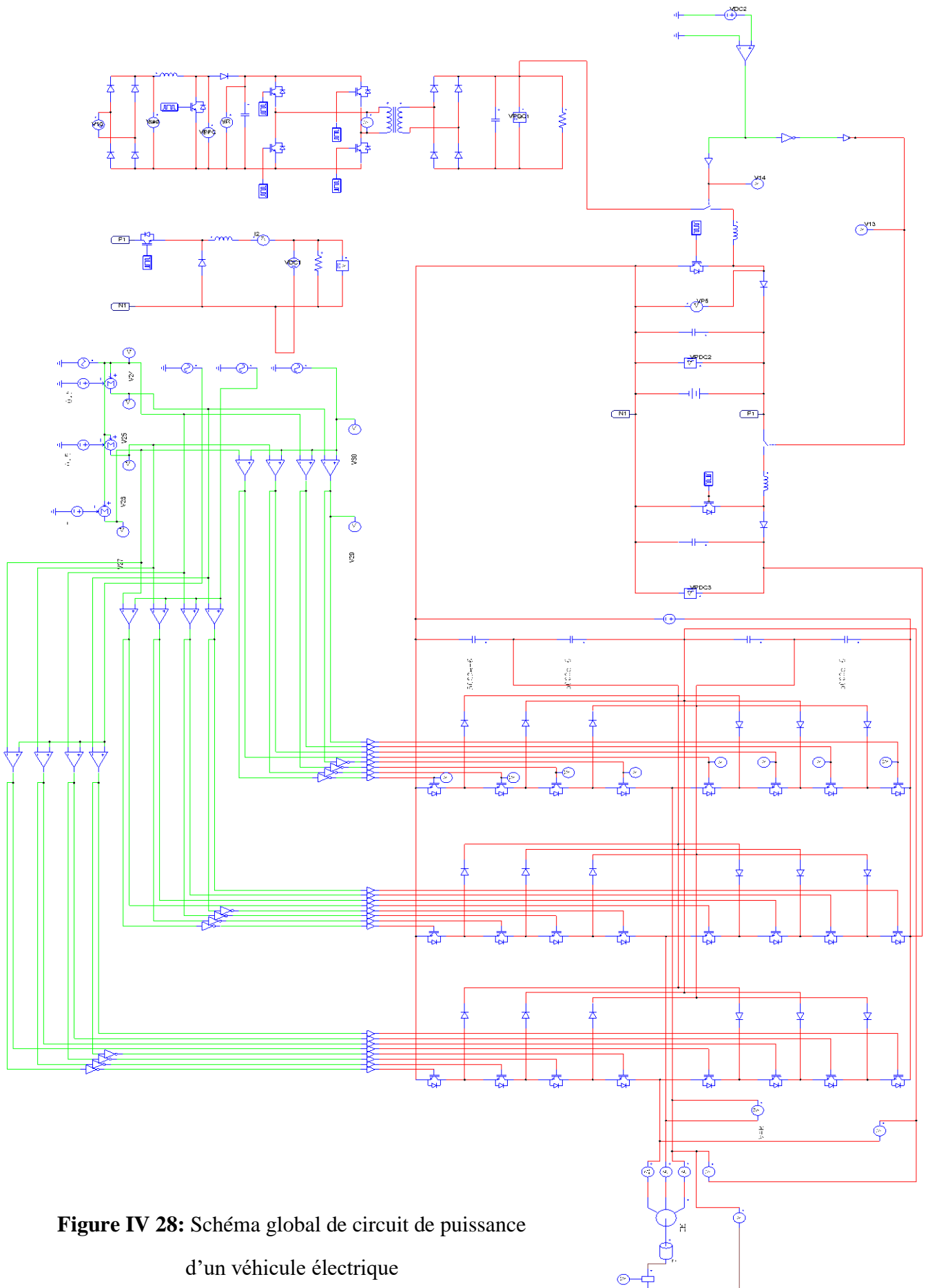


Figure IV 28: Schéma global de circuit de puissance d'un véhicule électrique

IV.5.3 Interprétation des résultats :

D'après les résultats de simulation de l'onduleur associé à la machine asynchrone qui ont montrés que la vitesse en régime permanent se stabilise à une valeur proche de la vitesse du synchronisme, exactement comme dans le cas de la MAS alimentée directement par le réseau triphasé.

La forme du courant est presque la même que celle dans le cas sans onduleur sauf qu'ici les valeurs maximales ont diminué

IV.6 Conclusion :

La modélisation et la simulation de l'association onduleur multiniveaux–moteur asynchrone, confirme et valide les résultats obtenus avec l'onduleur NPC. Dans notre cas, l'onduleur NPC à Cinq niveaux et la technique MLI à triangle multiple sont encore la solution optimale pour l'élimination de la tension du mode commun ou la tension homopolaire. On peut conclure que la modulation à triangle multiple réduit efficacement le courant de fuite dans les enroulements. Elle est donc plus avantageuse par rapport aux autres techniques présentées dans chapitre trois, l'onduleur à cinq niveaux nous donnent la possibilité de la variation de la vitesse du moteur électrique et par la suite commande de la vitesse du véhicule électrique.

Bibliographie du Chapitre IV :

[1] : Guedda Smail , Alia Salim (Commande Vectorielle d'une Machine à Induction)

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, MASTER ACADEMIQUE, Mai 2018

[2] : Mr. MOKHTARI Raouf: Étude et simulation d'un moteur asynchrone.

M'sila2004/2005 ingénieur d'état en génie électrotechnique

[3] MESSOUCI Ourdia (COMMANDE SANS CAPTEUR D'UNE MACHINE

ASYNCHRONE A CAGE : Application sur la plateforme temps réel NI Compact RIO

9022) UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, Année Universitaire :

2014/2015

Listes des figures du Chapitre IV :

- Figure IV 28:** Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasée.
- Figure IV 29:** Schéma de simulation d'un moteur asynchrone connecté en direct à un réseau triphasé.
- Figure IV 30:** Courants de charge $I_a(t)$.
- Figure IV 31:** Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.
- Figure IV 32:** Tension de charge $V_{ch}(t)$.
- Figure IV 33:** La vitesse de rotation N .
- Figure IV 34:** Courants de charge $I_a(t)$ pour $C_r = 20$ Nm.
- Figure IV 35:** Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent pour $C_r = 20$ Nm.
- Figure IV 36:** Tension de charge $V_{ch}(t)$.
- Figure IV 37:** La vitesse N de rotation de la MAS.
- Figure IV 38 :** Schéma de simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur de 5 niveaux commandé par La MLI a triangle multiple.
- Figure IV 12:** les signaux d'entrés pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).
- Figure IV 39:** Le courant de la phase $I_a(t)$.
- Figure IV 40:** Courant de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.
- Figure IV 41:** Tension du mode commun $V_{mc}(t)$.
- Figure IV 42:** Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ao}(t)$.
- Figure IV 43:** Tension composée de l'onduleur $V_{ab}(t)$.
- Figure IV 44:** Tension d'une phase de l'onduleur par rapport au point neutre M , $V_a(t)$.
- Figure IV 45:** Spectre d'harmoniques de la tension composée $V_{ab}(t)$, THD = 39.75 %.
- Figure IV 46 :** La vitesse de rotation de la machine N .
- Figure IV 21:** les signaux d'entrés pour la modulation sinusoïdale à triangles multiples (Onduleur NPC à 5 niveaux).
- Figure IV 47:** Le courant de la phase $I_a(t)$.
- Figure IV 48:** Courants de charge $I_a(t)$ dans le régime permanent.
- Figure IV 49:** Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ab}(t)$.
- Figure IV 50:** Spectre d'harmoniques de la tension composée $V_{ab}(t)$, THD = 39.74%.
- Figure IV 51:** Tension d'une phase de l'onduleur $V_{ao}(t)$.
- Figure IV 52:** La vitesse de rotation N de la MAS.
- Figure IV 28:** Schéma global de circuit de puissance d'un véhicule électrique.

Conclusion Générale

Le travail réalisé dans ce mémoire présente une étude sur une chaîne de traction intégrée pour véhicule électrique avec des batteries rechargeable. Conscients des préoccupations environnementales, ainsi que des normes en vigueur, nous avons proposé des solutions de convertisseurs embarqués qui permettent au véhicule d'assurer un mode tout électrique en zones urbaines tout en étant rechargeable pour limiter le recours au moteur thermique lors de phases de livraison, une simple juxtaposition de convertisseurs dédiés à une tâche particulière (recharge, traction, génération de réseau de bord de puissance pour les charges électriques du véhicules. Il devient alors inévitable de concevoir des topologies de convertisseurs qui permettent de mutualiser différentes fonctions de conversion d'énergie au sein du véhicule.

En effet, sur les véhicules électriques modernes, les mêmes convertisseurs, et parfois les machines électriques sont utilisées dans le mode de traction et les différents modes de recharge des batteries.

Dans Le premier chapitre, on a abordé l'historique du véhicule électrique afin de mieux comprendre son arrivée dans le marché de l'automobile. De plus, nous avons vu que les batteries représentent une de ses majeures faiblesses, plusieurs solutions furent proposées à fin d'améliorer ceci. Quelques généralités théoriques de base, dont les composantes des véhicules électriques, leurs performances, leurs avantages ainsi leurs inconvénients, sont également présentés

Le second chapitre est consacré pour les différents types de batteries utilisées dans les véhicules électriques, ainsi qu'une comparaison de deux grandes familles de chargeurs ont été présentées ensuite afin de mettre en évidence la segmentation du marché de la recharge (chargeurs externes et embarqués). Plusieurs types de recharge peuvent être classés suivant leur durée et la puissance de la source. On a pu voire deux principaux types de chargeurs, la première catégorie concerne les chargeurs de moyenne puissance (en générale 3 kW), qui sont les chargeurs lents, le second type est réservé aux recharges de fortes puissances (supérieures à 10 kW), ils sont qualifiés de chargeurs rapides.

Donc les résultats obtenus après plusieurs essais de simulation sous PSIM dans le chapitre trois, nous avons présenté les équations mathématiques utilisées pour la modélisation des convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques.

On a aussi optimisé les commandes triangulo- sinusoïdale à modulation triangle multiple afin de déduire l'indice de modulation en fréquence qui permet d'éliminer les harmoniques multiples de trois.

Le chapitre quatre nous a montré l'efficacité de la commande à MLI. Et nous dirons que cette dernière s'adopte mieux aux entraînements à vitesse variable, le cas des moteurs asynchrones, car elle s'intègre de façon naturelle dans le système de régulation.

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