

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département électromécanique

MÉMOIRE

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

En : électromécanique

Spécialité : électromécanique

Par : Bellameche Abed Al Halim

Bendaher Ammar

Thème

Commande en vitesse d'un véhicule électrique à base d'un moteur
asynchrone

Devant le jury composé de :

Mr. MRABET ELKHIR

PR

Univ-BBA

Président

Mr. CHOUDAR ADEL

MCB

Univ-BBA

Examineur

Mr ZEBIRI FOUAD

MCB

Univ-BBA

Encadreur

Année Universitaire 2022/202

Remerciements

En premier, nous remercions le bon Dieu le tout-puissant de nous
Avoir donné la santé, le courage et de la patience pour être ce que nous
Sommes aujourd'hui et pour mener à terme ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre

Encadreur Fouad Zebiri pour ses précieuses orientations ;

Son aide, ses conseils et son souci de réaliser ce travail de recherche,

Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury.

La présidente Dr. Adel chouder ainsi que l'examineur Dr. mrabet lkhir.

D'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous avoir

Honorées par leur présence le jour de la soutenance.

Dédicace

J'ai l'honneur de consacrer cette humble œuvre que nous avons accomplie avec la grâce de Dieu.

Je dédie cet humble acte à mon père et à ma mère.

Et toute ma famille et nous n'oublions pas de mentionner tous nos amis et tous ceux qui nous

ont soutenus tout au long de notre vie scientifique.

Résumé

Ce travail de fin d'étude porte sur le véhicule électrique (VE) qui se définit par une automobile qui se propulse par un moteur fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique.

Le but de ce travail était orienté à l'étude de la modélisation et la commande de VE, le choix du système de traction proposé un moteur asynchrone alimentés par un onduleur de tension, la commande vectorielle de ce dernier donne une bonne performance. Aussi La modélisation et la simulation de la dynamique de VE, constituent une étape indispensable pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble du système à partir la présentation des forces agissant sur un véhicule.

ملخص

تركز هذه الدراسة النهائية على السيارة الكهربائية والتي تعرف بانها سيارة تعمل بمحرك يعمل حصريا بالطاقة الكهربائية.

الهدف من هذه الاطروحة هو النمذجة والتحكم في السيارة الكهربائية مع اختيار نظام الجر الذي يتمثل في المحرك الغير متزامن موصول بعاكس الجهد، وعليه فان التحكم في التدفق الشعاعي يعطي نتائج جيدة، كما ان نمذجة ديناميكيات المركبة ومحاكتها، هي خطوة لا غنى عنها لضمان الأداء السليم لنظام بأكمله بدءا من دراسة القوى التي تؤثر على المركبة.

Abréviation

Symbole	Désignation	Unité
$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$	Flux rotorique de chaque phase	wb
i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}	Courants rotoriques	Ampère
R_r	Résistance rotorique	Ohm
R_s	Résistance statoriques	Ohm
l_s	Inductance propre du stator	Henry
m_{ss}	Inductance mutuelle du stator	Henry
$m_{sr(abc)}$	Inductance mutuelle entre stator et rotor	Henry
θ	Angle entre la phase « A » du stator et celle « a » du rotor	rad/s
M_{sr}	Valeur maximale de la mutuelle entre le stator et le rotor	Henry
$[A]$	Matrice d'état	
$[B]$	Matrice de commande	
$[X]$	Vecteur d'état	
P_e	Puissance électromagnétique	Watt
P_m	Puissance mécanique	Watt
C_{em}	Couple électromagnétique	Nm
C_r	Couple résistant	Nm
J	Moment d'inertie	$Kg\ m^2$
MAS	Moteur Asynchrone	
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion	

Abréviation

$V_{ab} V_{bc} V_{ca}$	Tensions composées aux bornes du moteur	Volt
$V_{ao} V_{bo} V_{co}$	Tensions simples par rapport au neutre fictif du côté continu	Volt
$V_{an} V_{bn} V_{cn}$	Tensions simples par rapport au neutre du moteur	Volt
V_{no}	Tension entre le neutre o continu et neutre n du moteur	Volt
$[V_{ac}]$	Matrice des tensions alternatives	Volt
$[T]$	Matrice de modélisation de l'onduleur	
$[V_{dc}]$	Tension continues	Volt
w_s	Pulsations statoriques	rad/s
$V_{sd} V_{sq}$	Tension statorique instantanées dans le repère de Park (d, q)	Volt
Φ_{ds}	Flux statoriques sur l'axe direct	Web
Φ_{sq}	lux statorique sur l'axe quadratique	
θ_s	Angles de rotation entre le référentiel (dq)	rad/s
θ_r	Angle de rotation entre le stator et le rotor	rad/s
K_{pw}	Est le coefficient du PI proportionnel	
K_{iw}	Le coefficient d'intégration du PI	
ζ	est l'amortissement choisi	
w_n	est la pulsation propre calculée en du temps de réponse	rad/s
G_{iBo}	La fonction de transfert en boucle ouverte	
G_{iBF}	La fonction de transfert en boucle fermée	
F_r	Force de résistance de roulement des roues	
F_{aero}	force aérodynamique	
F_{acc}	force d 'acceleration	
F_{pente}	Force de pente	
r	rayon d'une roue.	
M	Masse totale du véhicule	Kg

Abréviation

g	Accélération due à la gravité	m/s
C_{moy}	coefficient caractérisant	
α	Accélération ou de décélération du véhicule	
δ	Est un coefficient sans dimension	
f_r	Le coefficient de frottement de roulement.	
μ	Coefficient de résistance au roulement du pneu	

Liste de tableaux

tableau 3. 1 paramètre de moteur.....	49
---------------------------------------	----

Liste des figures

Chapitre :01

Figure 1.1premiere voiture électrique au monde.....	4
Figure 1.2 La jamais contente.....	5
Figure 1.3 la première voiture hybride.....	5
Figure 1.4 la Prius	6
Figure 1.5 VOITEUR TESLA.....	7
Figure 1.6 synoptique d'un système de propulsion	8
Figure 1.7 Chain de traction	9
Figure 1.8 Véhicule hybride : configuration série	11
Figure 1.9 véhicule hybride : configuration en parallèle	12
Figure 1.10 Véhicule hybride : configuration MIXTE	13
Figure 1.11 voiture à pile à combustible	13
Figure 1.12 Chain de traction monomoteur.....	14
Figure 1.13Vehicule multi-moteurs	15
Figure 1.14 Ensemble convertisseur machine triphasé.....	17

Chapitre :02

Figure 2. 1 rotor a cage	Figure 2. 2 le stator	Figure 2. 3 Rotor bobiné	18
Figure 2.4 Position des axes d,q par rapport aux axes de la machine			21
Figure 2 . 5 Structure d'un onduleur de tension triphasé à deux nive			24
Figure 2.6 Schéma de principe MLI sinus-triangl.....			26
Figure 2.7 Moteur courant continu et celui asynchrone avec démonstration de similition..			26
Figure 2.8 Orientation du flux rotorique.....			27
Figure 2 .9 Diagramme de couplage à l'intérieur de la machine asynchrone.....			28
Figure 2.10 Compensation dans la commande vectorielle			29
Figure 2.11 schéma bloc de boucle de régulation de la vitesse			30
Figure 2.12 Schéma bloc de la boucle de régulation des courants			31
Figure 2.13 Schéma Simulink de la commande vectorielle indirecte du moteur asynchrone			32
Figure 2 , 14 les courbes de la commande vectorielle indirect (démarrage en charge)			33
Figure 2.15les courbes de la commande vectorielle indirect (démarrage a vidé)			34

Chapitre :03

Figure 3. 1 les forces agissantes sur un véhicule une pente	37
Figure3. 2 La distribution de la pression dans la zone de contact	39
Figure 3. 3 Forces agissant sur un véhicule dans un cas général de mouvement.....	40
Figure 3. 4 cycle FTP75.....	43
Figure 3. 5 Cycle "Highway.....	43
Figure 3. 6 Cycle court IM240	44
Figure 3. 7 Cycles Europe ECE15 et EUDC	45
Figure 3. 8 Cycles japonais	45
Figure 3. 9 schéma global du modèle de véhicule.....	46
Figure3. 10 Efforts appliqués au véhicule	47
Figure 3. 11 Couples résistant.....	47
Figure 3. 12 La structure du système étudié.....	48
Figure 3. 13 la vites	50
Figure 3. 14 le courant Isq	50
Figure 3. 15 le couple électromagnétique.....	51

Sommaire

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

Chapitre : 01

1 GENERALITES SUR LES VEHICULES ELECTRIQUES	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique	3
1.3 Définition du véhicule électrique	7
1.4 Principes de fonctionnement VE	8
1.5 Architecture d'une chaîne de traction d'un VE	8
1.6 Classification des véhicules électriques	9
1.6.1 Véhicule tout électrique	9
1.6.2 Véhicule électrique à batterie	9
1.6.3 Véhicule Hybride	9
1.6.4 Véhicule électrique à pile à combustible	12
1.7 Différentes configurations de véhicule électrique	12
1.7.1 Véhicule électrique monomoteur (machine à courant continu) :	12
1.7.2 Véhicules électriques multi-moteur (machine à courant alternatif) :	13
1.8 L'électronique de puissance dans le véhicule électrique	13
1.8.1 Les redresseurs (AC/DC)	13
1.8.2 Les hacheurs (DC-DC)	14
1.8.3 Les onduleurs (DC-AC)	15
1.8.4 Le chargeur	15

1.9	Avantages et inconvénient des véhicules électriques	16
1.9.1	Les Avantages des véhicules électriques :	16
1.9.2	Les inconvénients des véhicules électriques :	16
1.10	Conclusion	17

Chapitre : 02

2	Modélisation de la MAS et l'onduleur avec la commande vectorielle	18
2.1	Introduction	18
2.2	Présentation de la machine asynchrone	18
2.3	Principe de fonctionnement de la MAS	19
2.4	Rappels sur la modélisation de la machine asynchrone	19
2.4.1	Equations électriques	19
2.4.2	Equations magnétiques:	19
2.5	Application de la transformation de Park a le machin asynchrone triphasée	20
2.5.1	Principe de la Transformation de Park :	20
2.5.2	Equations des tensions :	21
2.5.3	Equations magnétiques :	22
2.6	Expression du couple électromagnétique :	22
2.7	L'équation mécanique :	22
2.8	Modèle d'état de la machine asynchrone alimentée en tension :	23
2.9	Modélisation de l'onduleur de tension :	23
2.10	Hypothèses simplificatrices	24
2.11	Modèle de l'onduleur	24

2.12	Principe du la MLI sinus- triangulaire	25
2.13	La Commande Vectorielle Indirecte de la MAS.....	26
2.13.1	Principe de la commande vectorielle	26
2.14	Orientation du flux rotorique.....	27
2.15	Système d'équations.....	27
2.15.1	Découplage.....	28
2.15.2	Défluxage	29
2.16	La régulation	29
2.17	Calcul des régulateurs	30
2.17.1	Régulateurs de Vitesse.....	30
2.17.2	Régulateurs des courants:.....	31
2.18	Simulation de la commande vectorielle indirecte.....	32
2.18.1	Résultat de simulation.....	32
2.18.2	Interprétation des résultats.....	35
2.19	Conclusionn.....	36

Chapitre : 03

3	Dynamique De Véhicule électrique	37
3.1	Introduction	37
3.2	Modélisation Dynamique du véhicule	37
3.3	Couples résistant au déplacement	38
3.3.1	Force de résistance au roulement (F_{roul}).....	38
3.3.2	Force de résistance aérodynamique (F_{aero}).....	39

3.3.3	Force due au profil de la route (F_{pente})	40
3.3.4	Force d'accélération (F_{acc})	40
3.4	Conditions de déplacement du véhicule	41
3.5	Choix du réducteur dans la transmission électrique	41
3.6	Cycles de conduite dans les différents pays	42
3.7	Cycles réglementaires	42
3.8	Réglementation américaine	42
3.8.1	Cycle FTP75	42
3.8.2	Cycle "Highway"	43
3.8.3	Cycle court IM240	43
3.9	Réglementation européenne et japonaise	44
3.9.1	Cycles Europe ECE15 et EUDC :	44
3.9.2	Cycles japonais	45
3.10	Simulation de la dynamique du véhicule avec MATLAB/Simulink	45
3.11	La structure du système étudié	47
3.11.1	Résultat de simulation	48
3.12	Conclusion	51

Au niveau de la consommation d'énergie et la pollution environnementale, le secteur des transports routiers est l'un des plus polluants en termes d'émission de gaz à effet de serre. Pour cela, les scientifiques et experts proposent une solution prometteuse à ce problème qui est la conception et le développement des véhicules électriques.[1]

L'avenir de l'automobile dans les prochaines années est donc un sujet de recherche d'actualité. Ces dernières années, ce sont la recherche d'une meilleure qualité de vie, les contraintes environnementales et économiques ainsi que l'économie de l'énergie qui constituent les facteurs essentiels de l'intérêt que suscite le développement du véhicule électrique. La réussite dans ce domaine proviendra d'un subtil mélange entre une vision scientifique de haut niveau et une maîtrise de la technologie. [2]

Il a de plus l'avantage d'être excellent : il est le seul véhicule motorisé à "zéro émission" et silencieux. Mais il se heurte à un problème de taille lié à ses faibles capacités de stockage d'énergie limitant son autonomie. En outre, l'analyse économique de la chaîne aboutissant au véhicule électrique souligne les nettes infériorités de celui-ci comparé au véhicule thermique (le coût pratique du véhicule électrique est de 2 à 3 fois plus élevé que celui de son homologue thermique).[3]

Les véhicules électriques est tractée par un moteur asynchrone alimentée avec batterie qui stocke l'énergie et se recharge grâce à l'électricité du réseau, et l'énergie lors des phases de freinages. [4]

Introduction général

Dans le premier chapitre nous avons présent un généralise sur le véhicule électrique, est rappelle sur la Classification des véhicules électriques et ainsi L'électronique de puissance dans le véhicule électrique.

Le deuxième chapitre est consacré à la représentation mathématique de la modélisation du moteur asynchrone triphasé (basée sur la transformation PARK), puis à la modélisation de l'onduler de tension triphasé (MLI naturelle), enfin on a présenté le Théorie de la commande vectorielle indirecte.

Le troisième chapitre est consacré Nous avons présent la modélisation dynamique de véhicule électrique à partir la présentation des forces agissant sur un véhicule, puis le cycle de conduit dans les déférant baye et enfin la structure du système étudié.

On terminera par conclusion générale ainsi qu'une bibliographie indiquant quelques sources d'informations utilisées.

Chapitre : 01

GENERALITES SUR LES
VEHICULES ELECTRIQUES

1 GENERALITES SUR LES VEHICULES ELECTRIQUES

1.1 Introduction

Dans un temps où l'activité humaine et le potentiel économique ne cessent d'évoluer, le XXème siècle a connu un réchauffement climatique jamais enregistré auparavant. Les causes ne sont pas tant à rechercher dans la nature que dans la concentration des gaz polluants entre autres le CO2 dans l'atmosphère dues à l'activité humaine. Le secteur des transports est désormais le secteur le plus accusé des gaz à effet de serre, c'est la raison pour laquelle l'industrie de l'automobile s'intéresse précieusement au phénomène de la pollution afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre et contribuer à une vie plus saine, et propose le véhicule électrique pour améliorer la qualité de l'air.

Les véhicules électriques (VE) et hybrides constituent actuellement une alternative potentielle face aux véhicules conventionnels à carburant d'origine fossile, permettant aux constructeurs de véhicules de se focaliser sur l'objectif de pouvoir répondre aux quantités et quantités exigées par les utilisateurs (performances et consommation) s'aligner aux lois de protection de l'atmosphère (réduction des émissions de polluants).[4]

Dans ce chapitre nous avons présent un généralise sur le véhicule électrique, est rappelle sur la Classification des véhicules électriques et ainsi L'électronique de puissance dans le véhicule électrique.

1.2 Historique

Aujourd'hui, la voiture propre est un problème sur lequel travaillent nombre d'industriels de l'automobile, pour répondre aux problèmes que pose la pollution atmosphérique. La voiture électrique, que l'on présente d'ailleurs comme "la solution" au problème de la pollution des gaz d'échappement, ne date pas d'hier. Déjà, à la fin du 19ème siècle, au début de l'automobile, plusieurs modes de propulsion étaient en compétition (le moteur électrique, le moteur à vapeur et le moteur thermique). D'ailleurs, les performances des premiers prototypes de véhicule électrique n'avaient rien à envier à celles des véhicules à propulsion thermique de l'époque.

Le premier véhicule électrique fit son apparition dans les années 1830 (1832-1839). La première personne à avoir inventé une voiture électrique fut Robert Anderson, un homme d'affaire écossais.

Il s'agissait plutôt d'une carriole électrique. Vers 1835, l'américain Thomas Davenport construisit une petite locomotive électrique.

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

- ❖ En 1859, le français Gaston Planté inventa la batterie rechargeable au plomb acide, qui sera améliorée par Camille Faure en 1881. En 1884, on voit sur la photo de la Figure 1.1, Thomas Parker assis dans une voiture électrique, qui est la première au monde. [5]



Figure 1.1 première voiture électrique au monde

- ❖ En 1899 en Belgique, une société a construit "La Jamais Contente", la première voiture électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h). La voiture était pilotée par le belge Camille Genetazy et elle était en forme de torpille (Figure 1.2).
- ❖ Dès 1900, la voiture électrique connaît ses beaux jours. Plus du tiers des voitures en circulation sont électriques, le reste étant des voitures à essence et à vapeur. Dans les années 1920, certains facteurs mèneront au déclin de la voiture électrique. On peut citer leur faible autonomie, leur vitesse trop basse, leur manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et leur prix deux fois plus élevé que ceux à essence [5].



Figure 1.2 La jamais contente

- ❖ Dans les années 1920, certains facteurs comme la faible autonomie, la vitesse trop basse, le manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et le prix deux fois plus élevé que celles à essence, ont mené au déclin de la voiture électrique.
- ❖ En 1972, Victor Wouk le parrain du véhicule hybride construit la première voiture hybride, la Buick Skylark de GM (Général Motors°) [6].



Figure 1.3 la première voiture hybride

- ❖ En 1976, « the Electric and Hybridé Véhiculé Research, Développement and Démonstration Act » a été adopté par le Congrès américain, qui a permis de favoriser le développement des nouvelles technologies de batteries, moteurs et composants hybrides.
- ❖ Dès 1988, la société automobile Général Motors lance un projet de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra l'VE 1 et qui va être produite entre 1996 et 1998.

- ❖ En 1997, Toyota lance la Prius (Figure 1.4), la première voiture hybride à être commercialisée en série. 18 000 exemplaires ont été vendus au Japon la première année et en 2006 Toyota a passé le cap des 500.000 unités vendues à travers le monde avec son célèbre véhicule hybride [6].
- ❖ De 1997 à 2000, de nombreux modèles électriques hybrides ont été lancés : la Honda EV Plus, la G.M. EV1, le Ford Ranger pickup EV, Nissan Altra EV, Chevy S-10 EV et le F



Figure 1.4 la Prius

- ❖ Cependant à partir de 2000, la voiture électrique va ré-mourir à nouveau. En 2004, c'est la fin de l'EV1, GM va récupérer tous les véhicules EV1 pour les détruire, et ce malgré plusieurs mouvements de protestation. Le constructeur fut accusé de céder au lobbying des sociétés pétrolières. [6]
- ❖ En Juillet 2009, La Mitsubishi i-MiEV a été lancée au Japon pour les professionnels, et en Avril 2010 pour les clients individuels, puis on a commencé à la vendre au public Hongkongais en mai 2010.
- ❖ En décembre 2010, La Nissan LEAF (Leading, Environmentally Friendly, Affordable, Family car) la voiture électrique à cinq places annoncées qui a été déjà annoncé en 2009, a pu être commercialisée au Japon et aux États-Unis et en arrivant aux marchés européens la fin 2011.
- ❖ Aujourd'hui, le véhicule électrique est devenu une réalité. Les principaux constructeurs automobiles, à l'image de Renault avec la ZOE (Figure 1.5) en 2013, ont développé un modèle 100% électrique et non un seul véhicule électrifié. Les installations de bornes de recharge sont aujourd'hui de plus en plus nombreuses. [6]



Figure 1.5 VOITEUR TESLA

1.3 Définition du véhicule électrique

Est une automobile tractée par une motorisation électrique alimentée par une batterie d'accumulateurs. Cette dernière, exerçant la fonction de stockage de l'électricité, est rechargeable par l'utilisation d'un chargeur et d'un câble depuis une source extérieure. La récupération de l'énergie lors des phases de freinages est également possible par le biais du moteur passant en mode générateur. [7].

La constitution du VE et les composants de bases sont représentés en figure

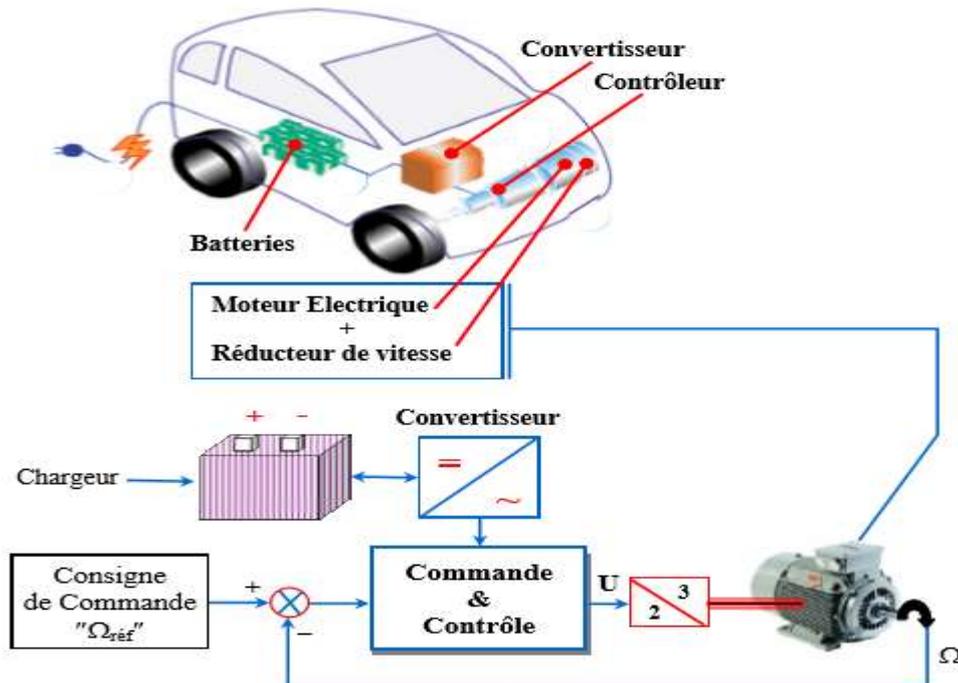


Figure 1.6 synoptique d'un système de propulsion

1.4 Principes de fonctionnement VE

Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont-elles mêmes rechargées par un chargeur. L'énergie des batteries est envoyée vers le contrôleur électronique et le

convertisseur CC/CC. Du convertisseur CC/CC, l'énergie est transformée et envoyée vers une batterie 12 volts si présente ou directement aux accessoires. Du contrôleur, l'énergie est envoyée au moteur pour être convertie en mouvement qui passe dans un réducteur ou une transmission vers les roues.

Le véhicule peut récupérer de l'énergie au freinage en transformant électriquement le moteur en génératrice et retourner de l'énergie aux batteries. [8].

1.5 Architecture d'une chaîne de traction d'un VE

La solution la plus simple pour réaliser un véhicule électrique est de le construire sur la base d'un véhicule thermique existant, en remplaçant le moteur thermique par un moteur

Électrique. Cependant, la transmission mécanique peut être simplifiée. La capacité des Moteurs électriques à démarrer à couple élevé et de fonctionner sur une large plage de vitesse.

La chaîne de traction classique d'un VE comprend donc, la source d'énergie, le convertisseur, le moteur électrique, la transmission mécanique englobant le différentiel et les roues. Cette configuration est présentée sur la Figure [9]

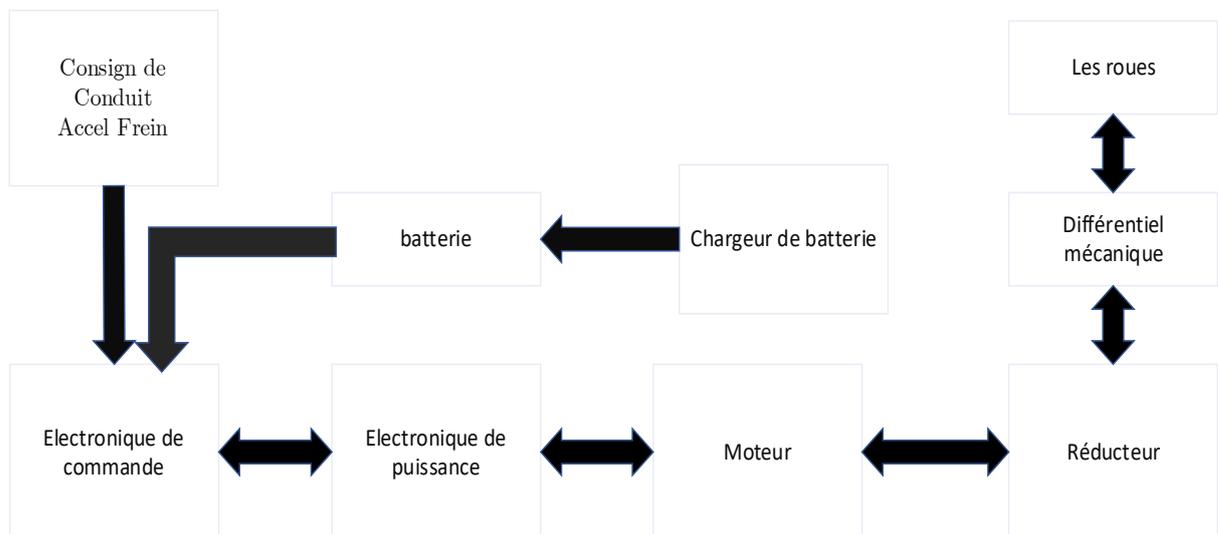


Figure 1.7 Chain de traction

1.6 Classification des véhicules électriques

- Véhicule tout électrique
- Véhicule électrique à pile à combustible

➤ Véhicule Hybride

1.6.1 Véhicule tout électrique

Le développement de véhicule électrique, comme on l'a déjà dit précédemment, est fortement lié au développement de son alimentation en énergie : les batteries. Les batteries dont l'énergie massique est relativement faible sont de plus très lourdes et très coûteuses. Selon la source d'énergie utilisée pour alimenter ces véhicules, on distingue essentiellement deux types de véhicules électriques : voitures électriques à batteries rechargeables par prise de courant et voitures électriques à alimentation par pile à combustible [5].

1.6.2 Véhicule Hybride

On introduit la notion de véhicule hybride lorsqu'un véhicule à moteur électrique embarque plusieurs sources d'énergies supplémentaires. L'hybridation est aussi l'association d'un moteur à combustion interne avec une machine électrique associée à un système de stockage. Cette dernière permet de diminuer la consommation d'énergie ainsi que les émissions de gaz à effet de serre. On distingue alors deux principaux concepts de véhicule hybride à savoir : – Hybride série ; Hybride parallèle, Véhicule hybride MIXTE [10]

1.6.2.1 Véhicules hybrides série

Le véhicule est propulsé uniquement par un moteur électrique. Ce moteur est Alimenté par des batteries qui sont rechargées par une deuxième source d'énergie et Un freinage régénératif. La seconde source peut être thermique ou électrique [10].

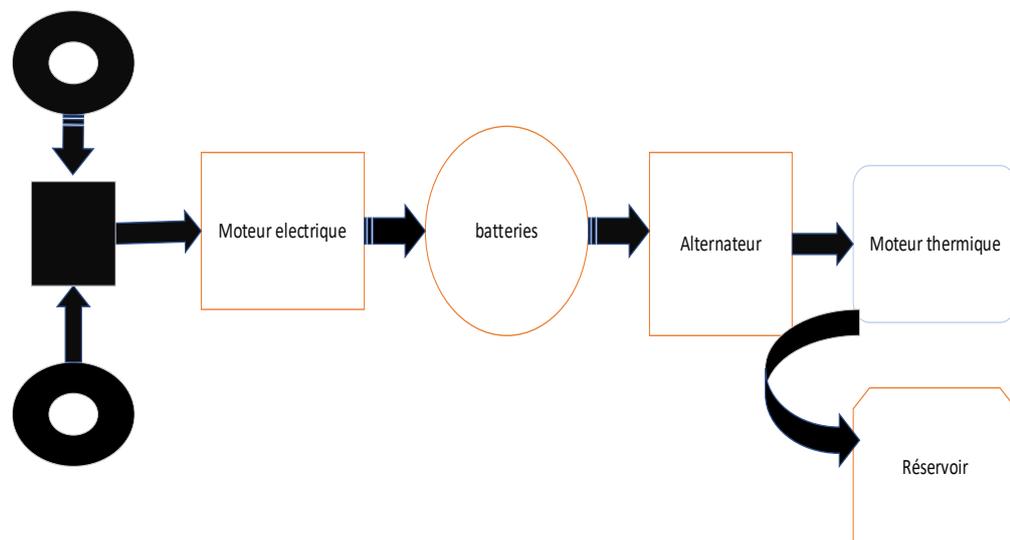


Figure 1.8 Véhicule hybride : configuration série

1.6.2.2 Véhicule hybride parallèle

La première idée est de faire deux véhicules en un. En bénéficiant des avantages de chacun. Le VHP (figure) possède ainsi deux moteurs fonctionnant en parallèle : un électrique et l'autre thermique. Les deux moteurs ont utilisé séparément et on résout le problème écologique du moteur thermique en ville, en fonctionnant en mode électrique et celui de l'autonomie du véhicule électrique pour le grand déplacement hors des agglomérations en fonctionnant en mode thermique.

Le point de jonction entre les différentes chaînes de traction est cette fois mécanique. Dans configuration parallèle, les moteurs thermique et électrique sont tous les deux directement connectés à la transmission, donc aux roues.

Les deux moteurs peuvent participer d'une façon parallèle au déplacement du véhicule, en transmettant chacun une puissance mécanique aux roues. [11].

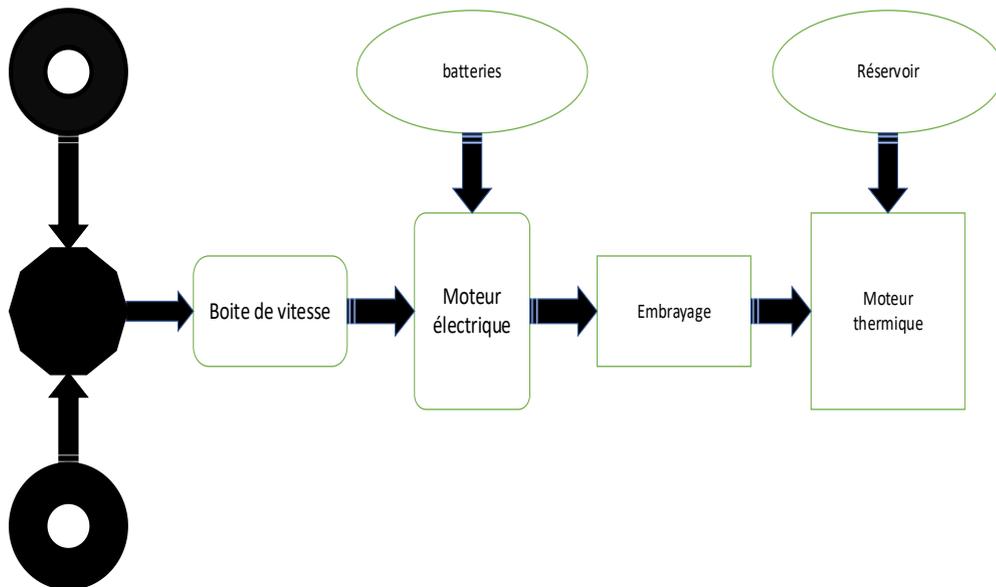


Figure 1.9 véhicule hybride : configuration en parallèle

1.6.2.3 Véhicule hybride mixte

Les configurations série-parallèle présentent, a priori, les meilleurs potentiels de gain puisqu'elles actionnent les deux types d'hybridation. La puissance du moteur thermique peut permettre de propulser le véhicule directement ou de recharger la batterie via la génératrice électrique. Le véhicule peut donc être propulsé par le moteur thermique, ou par la machine électrique, ou par les deux. Ainsi, une commande appropriée permet d'utiliser le moteur thermique à son point de fonctionnement optimal, comme dans la structure série en profitant d'un bon rendement de la chaîne de conversion de l'énergie comme dans l'architecture

parallèle. L'inconvénient de cette structure combinée est la complexité de la commande des trois machines, qui implique aussi un coût élevé. [12].

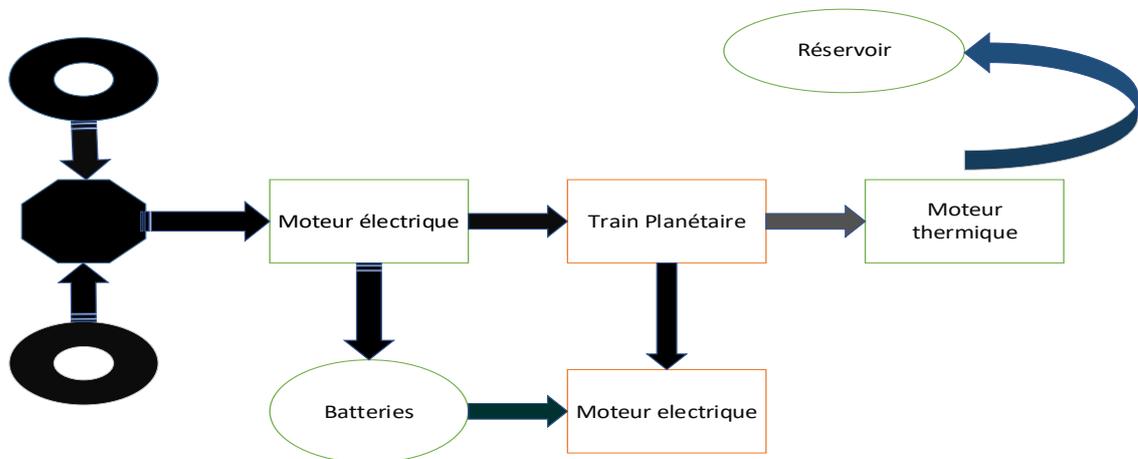


Figure 1.10 Véhicule hybride : configuration MIXTE

1.6.3 Véhicule électrique à pile à combustible

Un véhicule à pile est principalement un véhicule électrique. La motorisation est fournie par une ou plusieurs machines électriques et l'énergie est délivrée par le système de pile à combustible. Du fait des rendements élevés du système PAC, son utilisation dans un véhicule électrique se révèle être une solution intéressante. La figure illustre l'architecture typique d'un véhicule à pile à combustible [13].

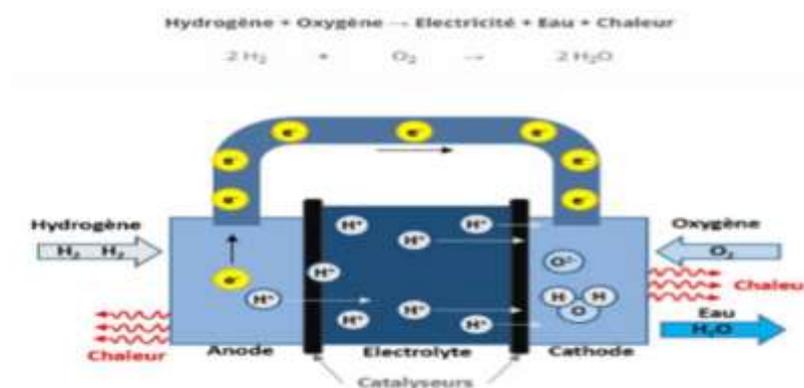


Figure 1.11 voiture à pile à combustible

1.7 Différentes configurations de véhicule électrique

On envisage actuellement deux types de véhicule électriques selon le nombre de Motors électrique

1.7.1 Véhicule électrique monomoteur (machine à courant continu) :

L'architecture mono moteur qui emploie un moteur à courant continu, une batterie plus un Variateur (un hacheur réversible) en série et un réducteur différentiel (réduction de la vitesse, Augmentation du couple) comme le montre la figure [14].

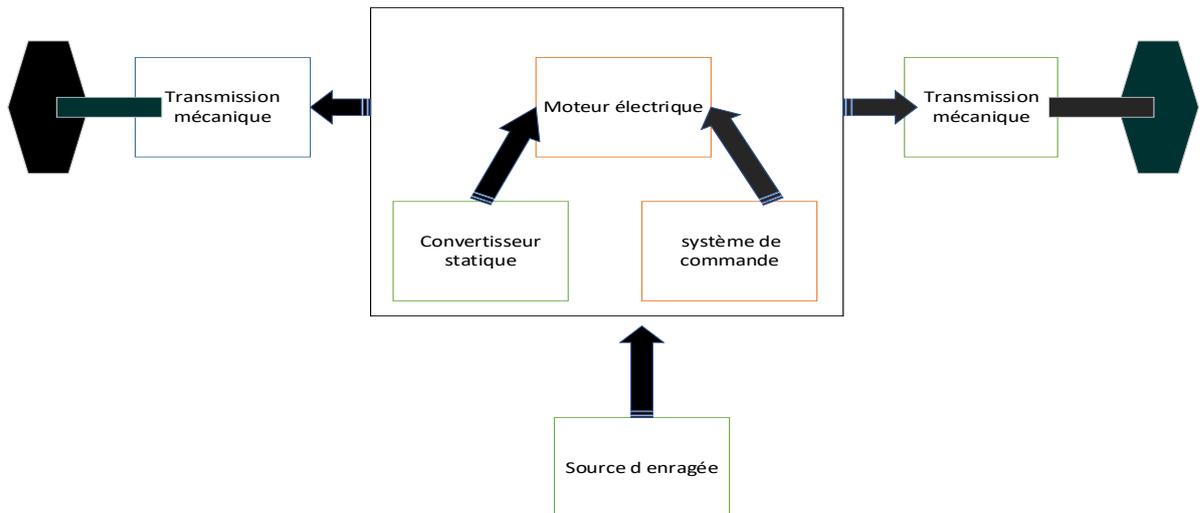


Figure 1.12 Chain de traction monomoteur

1.7.2 Véhicules électriques multi-moteur (machine à courant alternatif) :

Sur les VE bi moteur on trouve deux grandes architectures, l'une utilise une double chaîne de Traction à l'aide de deux moteurs à courant continu qui permet d'avoir plus de fiabilité cotée Moteur 24 : l'autre utilise un moteur asynchrone et deux moteurs roue pour permettre D'augmenter le différentiel mécanique du véhicule ainsi expliquée sur les figures suivantes [14].

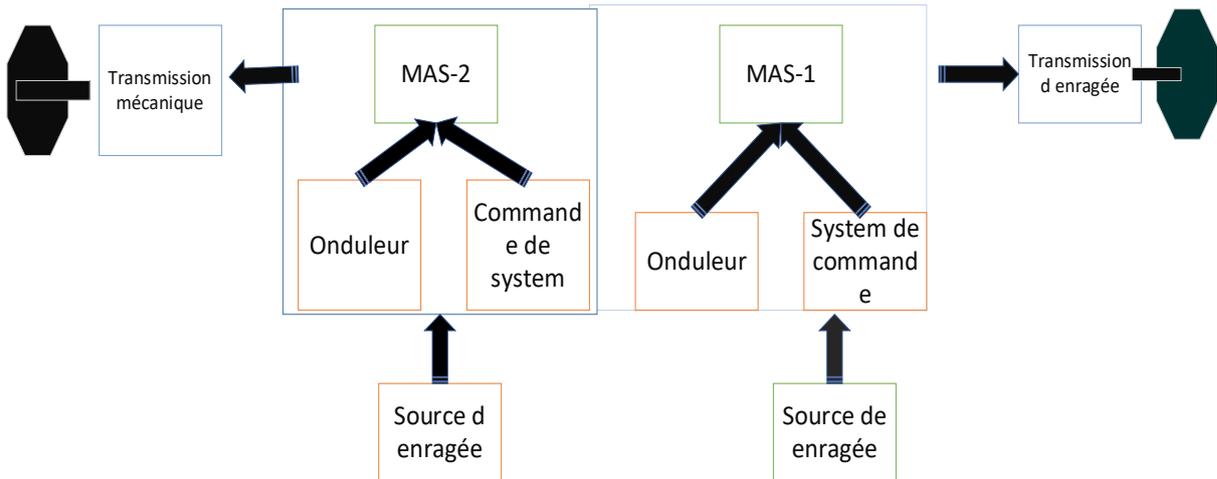


Figure 1.13 Vehicule multi-moteurs

1.8 L'électronique de puissance dans le véhicule électrique

1.8.1 Les redresseurs (AC/DC)

Les redresseurs sont des convertisseurs d'énergie qui transforment une source triphasée en une source électrique continue. Nous pouvons distinguer

- ❖ Des redresseurs à diodes : ces convertisseurs établissent une relation rigide

Entre la tension continue de sortie et la tension alternative d'entrée ;

- ❖ Des redresseurs 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 mixtes associant des diodes et des thyristors ;
- ❖ Des groupements de redresseurs à thyristors destinés à améliorer les performances et à diminuer les perturbations ;
- ❖ Des redresseurs MLI qui associent des IGBT et des diodes et qui ont pour avantage d'être faiblement perturbateur des sources alternatives qui les alimentent ;

Dans un véhicule électrique, les redresseurs sont utilisés pour transformer l'énergie électrique à courant alternatif fourni, soit par le réseau de distribution générale, soit par un alternateur placé à bord du véhicule et accouplé à un moteur thermique ; en énergie électrique à courant continu

qui peut être stockée dans une batterie d'accumulateurs électrochimiques et /ou dans une batterie de grande capacité. [11].

1.8.2 Les hacheurs (DC-DC)

Un hacheur est un convertisseur de courant qui permet d'obtenir à partir d'une source de tension à courant de valeur sensiblement constante, des tensions et des courants contrôlés réglables des valeurs d'entre et adaptés aux besoins nécessaires à l'alimentation de divers récepteurs (moteurs batteries etc...).

Dans un véhicule électrique, les hacheurs ont deux usages essentiels

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

En effet, on ne peut envisager le branchement brutal d'un à courant continu sur une source d'énergie tension fixe pour les raisons suivantes

- ❖ Aucun réglage du couple moteur ni de la vitesse du moteur ne serait possible ;
- ❖ Le régime transitoire à la mise sous tension directe du moteur serait destructif tant du point de vue électrique (surintensité) que mécanique (sur couple) ;

L'utilisation d'un hacheur permet en effet de maintenir le courant moteur à la valeur souhaitée tout en assurant le réglage progressif et sans perte notable de la tension du moteur. Il permet également de régler le couple et la vitesse du moteur et donc du véhicule en traction mais aussi en freinage électrique. [11].

1.8.3 Les onduleurs (DC-AC)

Dans un véhicule électrique équipé d'un moteur à courant alternatif nous pouvons utiliser un convertisseur statique qui transforme l'énergie électrique à courant continu en courant alternatif qui permet de contrôler le couple et la vitesse du moteur du véhicule tant en mode traction qu'en mode freinage [15].

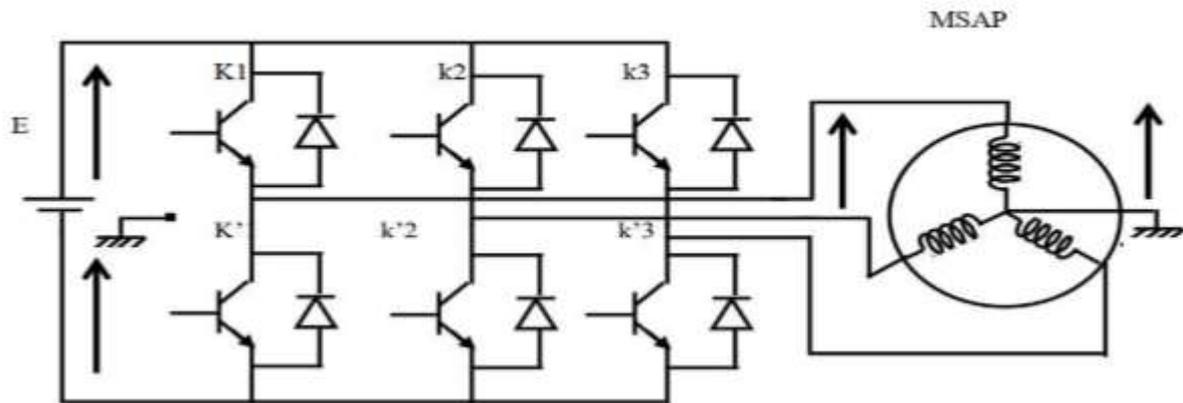


Figure 1.14 Ensemble convertisseur machine triphasé

1.8.4 Le chargeur

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

- les chargeurs de type " lents " : Le chargeur de type lent est un dispositif d'une puissance moyenne, généralement de 3 kW. Il nécessite pour une charge complète du pack de batteries une durée de 5 à 8 heures. Cette opération peut donc s'effectuer en heures creuses.
- les chargeurs de type " rapides " : Les structures, dont la puissance transmise est supérieure à 10 kW, ont été classées dans les chargeurs dits rapides. La puissance maximale atteint aujourd'hui 150 kW. L'objectif de ce type de montage est de permettre, en peu de temps (inférieur à 30 min.) une recharge partielle (80 %) des batteries [16].

1.9 Avantages et inconvénient des véhicules électriques

1.9.1 Les Avantages des véhicules électriques :

Les VE possèdent de nombreux avantages :

- ❖ Ne pas polluer l'environnement.
- ❖ Les véhicules électriques sont dépourvus de pollution sonore puisqu'ils sont totalement silencieux.
- ❖ Le démarrage est très rapide.

- ❖ Les véhicules électriques ne consomment pas d'énergie dans les embouteillages et les freinages.
- ❖ Ces véhicules sont plus faciles d'entretien et leurs dépenses sont réduites de 30 40(par exemple le moteur électrique ne requiert pas de vidange). De plus, les occasions de pannes sont 3 fois moins nombreuses.
- ❖ L'architecture technique des véhicules électriques est simple il est composé de 6000 pièces de moins qu'une auto traditionnelle.
- ❖ Leurs chaînes de conversion est réversible et elle peut permettre la récupération d'énergie dans les descentes ou lors des freinages

1.9.2 Les inconvénients des véhicules électriques :

- ❖ Les inconvénients notables d'un véhicule électrique concernent son système de stockage d'énergie
- ❖ Une masse trop élevée d'accumulateurs ou une faible autonomie.
- ❖ Une longue durée de recharge ou une puissance excessive de charge.
- ❖ La durée de vie de la batterie et la puissance du moteur électrique ne sont pas encore très importantes.
- ❖ D'autant que comme les produits innovants ont un coût souvent élevé, le prix de ces voitures devrait être élevé.

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pressante une généralité sur les véhicules électrique, Nous avons exposé l'évolution des VE à travers le temps et présenté aussi l'architecture des chaines de tractions des VE tout en se basant sur les différentes technologies utilisées pour ce type de véhicule.

Chapitre 02

Modélisation et commande

Vectorielle de machine

asynchrone

2 Modélisation de la MAS et l'onduleur avec la commande vectorielle

2.1 Introduction

La machine asynchrone présente l'avantage d'être robuste, peu coûteuse et de construction simple. Cette simplicité s'accompagne toutefois d'une grande complexité physique liée aux interactions électromagnétiques entre le stator et le rotor. Par ailleurs, pour étudier une machine électrique, le but de l'électrotechnicien est d'élaborer un modèle aussi fin que possible afin qu'il puisse se rendre compte de la réalité.

La conception d'une chaîne de commande passe par une phase de modélisation afin de dimensionner et valider les stratégies retenues. [24]

Dans ce chapitre, nous présenterons la modélisation de la machine asynchrone et l'onduleur avec La commande vectorielle.

2.2 Présentation de la machine asynchrone

La machine asynchrone, connue également sous le terme "anglo-saxon" de machine à induction, est constituée des principaux éléments suivants: le stator, le rotor et les organes mécaniques permettant la rotation et le maintien des différents sous-ensembles.

Le stator de forme cylindrique représente la partie statique de la machine. Il est constitué d'un bobinage, le plus souvent triphasé, logé dans des encoches et relié à la source d'alimentation. Le rotor est la partie tournante. Il peut prendre plusieurs aspects permettant de distinguer les différents types de machine asynchrone: [19]

Rotor bobiné, de forme cylindrique portant un enroulement bobiné à l'intérieur d'un Circuit magnétique constitué de disques en tôles empilées sur l'arbre de la machine. Les Enroulements bobinés sont généralement identiques à ceux du stator;

Rotor à cage d'écureuil, composé de barres métalliques en cuivre, en bronze ou en Aluminium formant un cylindre (cage cylindrique) et reliées entre elles à leurs extrémités Par des anneaux.



Figure 2. 1 rotor a cage



Figure 2. 2 le stator



Figure 2. 3 Rotor bobiné

2.3 Principe de fonctionnement de la MAS

Les courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statorique, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique. La vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme.

L'enroulement au rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît qui crée des courants rotoriques. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux : loi de Lenz. Le rotor se met donc à tourner pour tenter de suivre le champ statorique.

La machine est dite asynchrone car elle est dans l'impossibilité.[23]

2.4 Rappels sur la modélisation de la machine asynchrone

2.4.1 Equations électriques

La loi de Faraday et la loi d'Ohm permettent de relier les tensions sur les enroulements aux flux totalisés et aux courants dans ces bobinages.[18]

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\Phi_s] \quad (2.1)$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\Phi_r] \quad (2.2)$$

$$[V_r] = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}; [I_r] = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}; [\Phi_r] = \begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix}; [R_r] = \begin{pmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$$[V_s] = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}; [I_s] = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}; [\Phi_s] = \begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix}; [R_s] = \begin{pmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

2.4.2 Equations magnétiques

Des hypothèses simplificatrices adoptées, le flux est relié aux courants par des relations linéaires.[17]

Le flux pour une phase statorique :

$$\Phi_{sa} = l_s i_{sa} + m_{ss} i_{sb} + m_{ss} i_{sc} + m_{sra} i_{ra} + m_{srb} i_{rb} + m_{src} i_{rc} \quad (2.5)$$

l_s : Inductance propre de la phase a du stator

m_{ss} : Inductance mutuelle entre phases du stator

$m_{sr(abc)}$: Inductance mutuelle entre phase du stator et l'autre du rotor. Elle est fonction de la position.

$$m_{sra} = M_{sr} \cos(\theta) \text{ Et } m_{srb} = M_{sr} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) ; \text{ et } m_{src} = M_{sr} \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.6)$$

θ : Angle entre la phase « A » du stator et celle « a » du rotor

M_{sr} : Valeur maximale de la mutuelle entre le stator et le rotor

On aboutit aux équations suivantes sous forme matriciel

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & m_{ss} & m_{ss} \\ m_{ss} & l_s & m_{ss} \\ m_{ss} & m_{ss} & l_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_{sr(abc)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & m_{rr} & m_{rr} \\ m_{rr} & l_s & m_{rr} \\ m_{rr} & m_{rr} & l_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_{rs(abc)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\text{Avec : } \begin{bmatrix} m_{sr(abc)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{rs(abc)} \end{bmatrix}^t$$

En introduisant les équations 2.7 et 2.8 Dans 2.3 et 2.5 nous obtenons le système suivant en écriture matricielle

$$\begin{bmatrix} V_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left(\begin{bmatrix} L_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \end{bmatrix} \right) + \left(\begin{bmatrix} m_{sr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_r \end{bmatrix} \right) \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_r \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left(\begin{bmatrix} L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_r \end{bmatrix} \right) + \left(\begin{bmatrix} m_{rs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \end{bmatrix} \right) \quad (2.10)$$

2.5 Application de la transformation de Park a le machin asynchrone triphasée

2.5.1 Principe de la Transformation de Park

La structure symétrique et équilibrée de la machine permet le passage d'une représentation Triphasée à une autre représentation biphasée équivalente. Il existe plusieurs transformations Permettant le passage d'une représentation vectorielle d'une grandeur triphasée à une autre Représentation vectorielle biphasée équivalent, ce qui réduit considérablement la complexité Du modèle en vue de commande. L'une des transformations la plus utilisée est la transformation de

Park. Dans cette transformation toutes les grandeurs électromagnétiques de la machine, statoriques ou rotoriques, sont ramenées à un seul référentiel biphasé comme le montre (Figure 2.1)ci-dessous.[20]

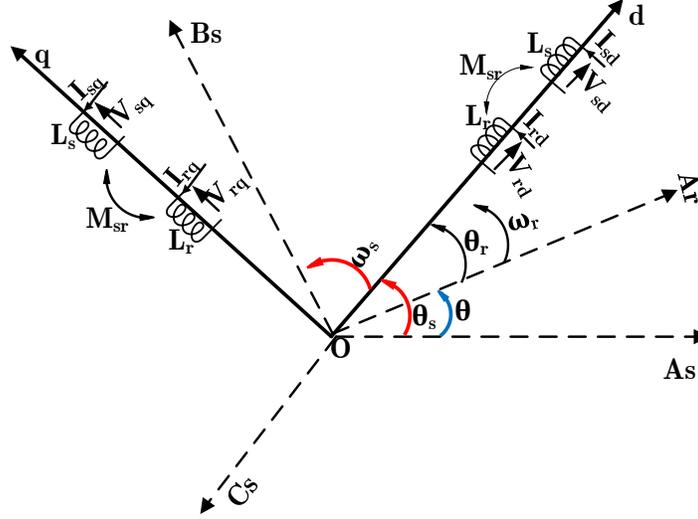


Figure 2.4 Position des axes d.q par rapport aux axes de la machine

$$[P] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$[P]^{-1} = [P]^t$ $[P]$ Est une matrice orthogonale. Le coefficient $\sqrt{\frac{2}{3}}$ est choisi pour conserver la puissance. Ainsi le nombre d'équations sera diminué de six à quatre.

2.5.2 Equations des tensions

D'après les équations de park nous aboutissons au système des tensions suivants :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d}{dt} \Phi_{sd} - \omega_s \Phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d}{dt} \Phi_{sq} + \omega_s \Phi_{sd} \\ V_{rd} = 0 = R_r i_{rd} + \frac{d}{dt} \Phi_{rd} - (\omega_s - \omega) \Phi_{rq} \\ V_{rq} = 0 = R_r i_{rq} + \frac{d}{dt} \Phi_{rq} + (\omega_s - \omega) \Phi_{rd} \end{cases} \quad (2.12)$$

V_{rd} Et V_{rq} sont nulles car le rotor est à cage d'écurueil c-à-d en court-circuit

2.5.3 Equations magnétiques :

Les flux seront calculés dans le repère d-q par l'utilisation de la transformé de Park :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sd} \\ \Phi_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sd} \\ \Phi_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

2.6 Expression du couple électromagnétique

Dans le cas général la puissance électrique instantané p_e fournie aux enroulements statorique et rotorique s'exprime en fonction des grandeurs d'axes d, q :[29]

$$p_e = V_{sd}I_{sd} + V_{sq}I_{sq} + V_{rd}I_{rd} + V_{rq}I_{rq} \quad (2.15)$$

Elle se décompose en trois séries de termes:

Puissance dissipée en pertes Joule:

$$R_s(I_{sd}^2 + I_{sq}^2) + R_r(I_{rd}^2 + I_{rq}^2) \quad (2.16)$$

Puissance transmise au rotor sous forme de variation d'énergie magnétiques:

$$I_{sd}(d\Phi_{sd}/dt) + I_{sq}(d\Phi_{sq}/dt) + I_{rd}(d\Phi_{rd}/dt) + I_{rq}(d\Phi_{rq}/dt) \quad (2.17)$$

Puissance mécanique:

$$P_m = (\Phi_{sd}I_{sq} - \Phi_{sq}I_{sd})\omega_c + (\Phi_{rd}I_{rq} - \Phi_{rq}I_{rd})\omega_s \quad (2.18)$$

Le couple électromagnétique développe par la machine est donné par L'expression:

$$C_e = \frac{P_m}{\Omega} \quad \text{Et} \quad \Omega = \frac{\omega}{P}$$

Donc on tire l'expression scalaire du couple

$$C_e = p(\Phi_{sd}I_{sq} - \Phi_{sq}I_{sd}) \quad (2.19)$$

2.7 L'équation mécanique :

A partir des principes de la mécanique fondamentale pour la rotation nous avons:

$$C_{em} - C_r - f_r\Omega = J \frac{d}{dt}\Omega \quad (2.20)$$

2.8 Modèle d'état de la machine asynchrone alimentée en tension

Nous supposons que la machine est alimentée en tension sinusoïdal, les équations différentielles et les relations décrivent d'une manière générale le fonctionnement de la machine et permettent de concevoir une représentation d'état, alors le modèle de la machine est décrit par l'équation d'état suivante.

Nous allons obtenir le Système suivante :

$$[X\dot{\bullet}] = [A][X] + [B][Y]$$

$$[X] = \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ \Phi_{rd} \\ \Phi_{rq} \end{bmatrix} \quad [Y] = \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix}$$

Les matrices $[A]$, $[B]$ sont comme suit

$$[A] = \begin{bmatrix} -\gamma & \omega_s & \frac{1}{\sigma T_r} \frac{M}{L_s L_r} & \omega \frac{M}{\sigma L_s L_r} \\ -\omega_s & -\gamma & -\omega \frac{M}{\sigma L_s L_r} & \frac{1}{\sigma T_r} \frac{M}{L_s L_r} \\ \frac{M}{T_r} & 0 & \frac{1}{T_r} & \omega_s - \omega \\ 0 & \frac{M}{T_r} & -(\omega_s - \omega) & \frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad [B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.9 Modélisation de l'onduleur de tension

Le réglage de la vitesse du rotor d'une machine asynchrone se réalise logiquement par action simultanée sur la fréquence et la tension statorique. Par conséquent, pour se donner les moyens de cette action, il faut disposer d'une source d'alimentation capable de délivrer une tension d'amplitude et fréquence réglable en valeur instantanée. L'onduleur est composé de trois bras chacun comportant deux interrupteurs bidirectionnels et entièrement commandables à l'ouverture et à la fermeture. Ils peuvent être soit des MOSFET pour les faibles puissances et fréquences très élevées, des IGBT pour les grandes puissances et fréquences élevées, ou des GTO pour les très grandes puissances et fréquences faibles. [21]

L'onduleur de tension à MLI permet d'imposer à la machine des ondes de tension à amplitude et fréquence variables à parti d'une source de tension continu.[28]

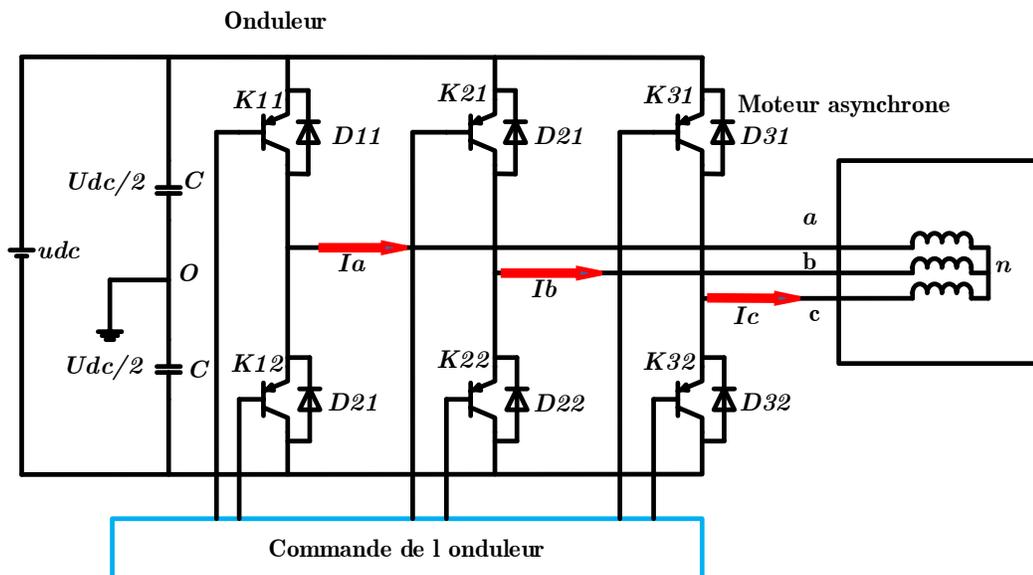


Figure 2. 5 Structure d'un onduleur de tension triphasé à deux niveau

- La commutation des interrupteurs est instantanée
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable (considérés idéales).
- La charge est équilibrée couplée en étoile avec le neutre isolé (inaccessible)

2.10 Modèle de l'onduleur

Conformément à la (figure 2.5), les tensions composées v_{ab} , v_{bc} et v_{ca} sont calculées comme suit :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{ao} + V_{ob} = V_{ao} - V_{bo} \\ V_{bc} = V_{bo} + V_{oc} = V_{bo} - V_{co} \\ V_{ca} = V_{co} + V_{oa} = V_{co} - V_{ao} \end{cases} \quad (2.21)$$

v_{ao} , v_{bo} et v_{co} ce sont les tensions d'entrées de l'onduleur prises par rapport à un point milieu d'un diviseur fictif. A l'aide des relations de Charles nous pouvons écrire ce qui suit.

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{an} + V_{no} \\ V_{bo} = V_{bn} + V_{no} \\ V_{co} = V_{cn} + V_{no} \end{cases} \quad (2.22)$$

Comme la charge est équilibrée nous avons $V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$ la somme des trois équations du système 2.22 et en tenant compte de la dernière égalité nous obtenons.

$$V_{no} = \frac{1}{3}(V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (2.23)$$

En remplaçant v_{no} dans le **système** d'équation (2.22) et en calculant les tensions simples de sortie de l'onduleur nous aurons.

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{bn} = -\frac{1}{3}V_{ao} + \frac{2}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{cn} = -\frac{1}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} + \frac{2}{3}V_{co} \end{cases} \quad (2.24)$$

Conversion de ce système en écriture matricielle en posant

$$\begin{aligned} [V_{ac}] &= [T] * [V_{dc}] \\ \text{Avec } [V_{ac}] &= \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad \text{et } [V_{dc}] = \begin{bmatrix} V_{ao} \\ V_{bo} \\ V_{co} \end{bmatrix} \\ [T] &= \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

2.11 Principe du la MLI sinus- triangulaire

Pour déterminer les instants de fermeture et d'ouverture (instants de commutation) des interrupteurs, on utilise la technique MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion), qui consiste à comparer le signal de référence onde (modulante) de forme sinusoïdale à faible fréquence, à un signal triangulaire onde (porteuse) de fréquence élevée. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la porteuse et la modulante. [25]

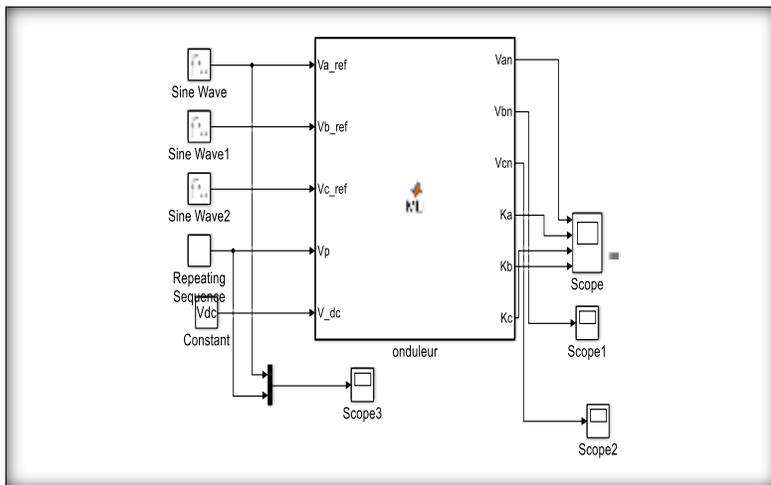


Figure 2.6 Schéma de MLI sinus-triangl

2.11.1 Principe de la commande vectorielle

Le principe de cette commande est de réduire l'équation de couple électromagnétique de la machine afin d'être comparable à celle d'une machine à courant continu.

Le référentiel (d, q) lié au champ tournant est choisi de telle façon que l'axe (d) coïncide avec la direction du flux (I_{sd}) et que l'axe (q) coïncide avec la direction de la composante (I_{sq}) donnant le couple électromagnétique. [22]

La plus fréquemment utilisée est la commande vectorielle par orientation du flux rotorique, puisque dans le cas de la MAS non saturée on obtient les équations du rotor complètement découplées. Pour cela, dans le présent travail, c'est ce type de commande qui sera traité. Le choix du type de commande vectorielle à flux orienté dépend du choix de l'équation de couple électromagnétique. [27]

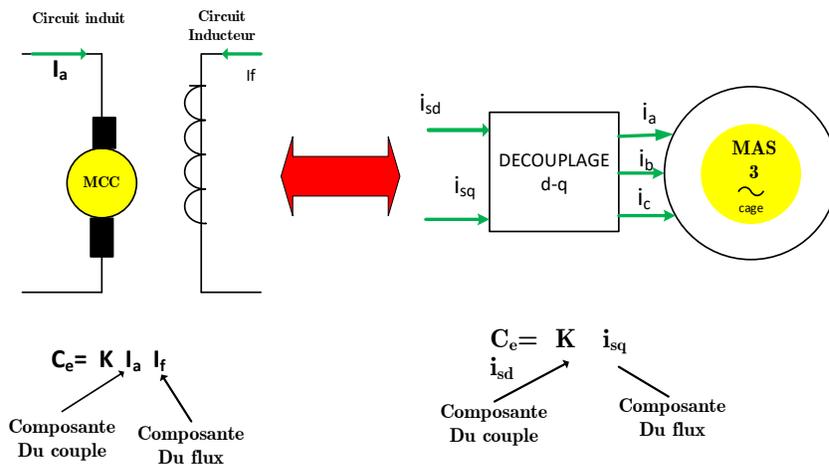


Figure 2.7 Moteur courant continu et celui asynchrone avec démonstration de similitude

Pour effectuer ce principe, on oriente le repère d-q de telle sorte que le flux rotorique est coïncidé avec l'axe 'd'. Cette orientation se fait par l'agissant sur l'angle de transformation de Park comme indique la figure (2. 2) $\Phi_{rd} = \Phi_r$ Et $\Phi_{rq} = 0$

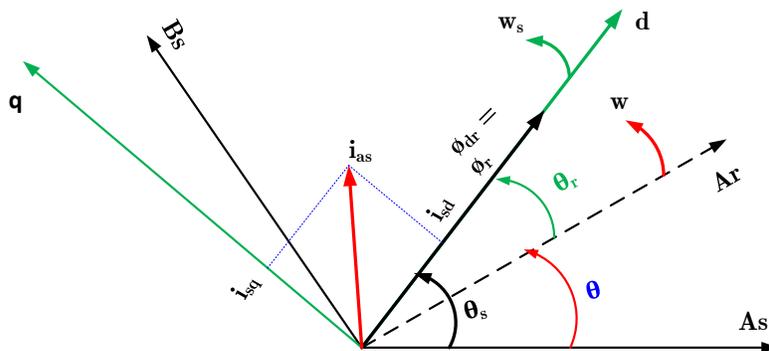


Figure 2.8 Orientation du flux rotorique

Nous avons vu que le couple en régime quelconque s'exprime dans le repère dq comme un produit croisé de courants ou de flux:

$$C_e = p \frac{L_m}{L_r} (\Phi_{rd} I_{sq} - \Phi_{rq} I_{sd}) \quad (2.25)$$

Donc si le flux rotorique est orienté sur l'axe d'un repère lié au champ tournant alors le couple devient:

$$C_e = p \frac{L_m}{L_r} (\Phi_r I_{sq}) \quad (2.26)$$

A l'examen de ces dernières relations, on constate que:

La composante I_{sd} joue le rôle du courant d'excitation qui génère et contrôle le flux d'excitation Φ_r .

La composante I_{sq} joue le rôle du courant induit qui, à flux d'excitation donné, contrôle le couple.[27]

2.12 Système d'équations

Si on remplace $\Phi_{rd} = \Phi_r$ et $\Phi_{rq} = 0$, dans l'expression modèle d'état de la machine asynchrone :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{sd} = (L_s - \frac{M^2}{L_r}) \frac{d}{dt} i_{sd} + R_s i_{sd} + \frac{M}{L_r} \frac{d}{dt} \Phi_{rd} - w_s (L_s - \frac{M^2}{L_r}) i_{sq} \\ V_{sq} = (L_s - \frac{M^2}{L_r}) \frac{d}{dt} i_{sq} + \frac{M}{L_r} \frac{d}{dt} \Phi_{rq} + w_s (L_s - \frac{M^2}{L_r}) i_{sd} + R_s i_{sq} + w_s \frac{M}{L_r} \Phi_{rd} \\ \frac{d}{dt} \Phi_{rd} = \frac{R_r M}{L_r} i_{sd} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{rd} \\ \frac{d}{dt} \Phi_{rq} = \frac{R_r M}{L_r} i_{sq} - (w_s - \omega) \Phi_{rd} = 0 \end{array} \right. \quad (2.27)$$

2.12.1 Découplage

A partir du système d'équation (2.27), nous constatons que les tensions agissent en même temps sur les composantes du courant statorique directe et en quadrature. Comme il est illustré sur la figure suivante.[18]

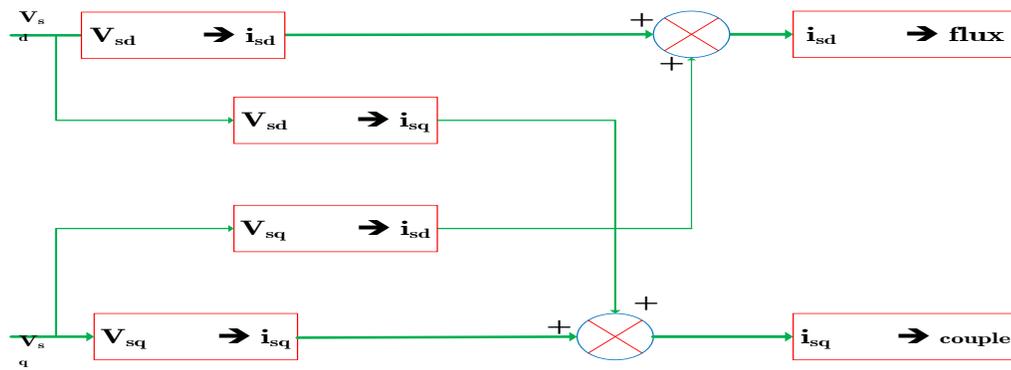


Figure 2.9 Diagramme de couplage à l'intérieur de la machine asynchrone

En posant que le flux du rotor est orienté sur l'axe d les tensions de commande en remplaçant

$\frac{d}{dt} \Phi_{rq}$ et $\frac{d}{dt} \Phi_{rd}$ par leurs expressions dans les équations des tensions (2.27) son :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{sd}^c = \sigma L_s \frac{d}{dt} i_{sd} + \sigma L_s \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)}{\sigma T_r} \right) i_{sd} \\ V_{sq}^c = \sigma L_s \frac{d}{dt} i_{sq} + \sigma L_s \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)}{\sigma T_r} \right) i_{sq} \end{array} \right. \quad (2.28)$$

1. Plus les termes suivants

$$\begin{cases} emf_d = -w_s \sigma L_s i_{sq} - w_s \frac{M}{L_r} \Phi_{rd} \\ emf_q = +w_s \sigma L_s i_{sd} + w_s \frac{M}{L_r} \Phi_{rd} \end{cases} \quad (2.29)$$

emf_d Et emf_q ce sont des termes à rajouter et déduire respectivement après les correcteurs des courants pour obtenir les tensions de consigne. Il s'agit de découplage par compensation ou autrement désigné découplage statique. Il est montré dans la figure suivante :[18]

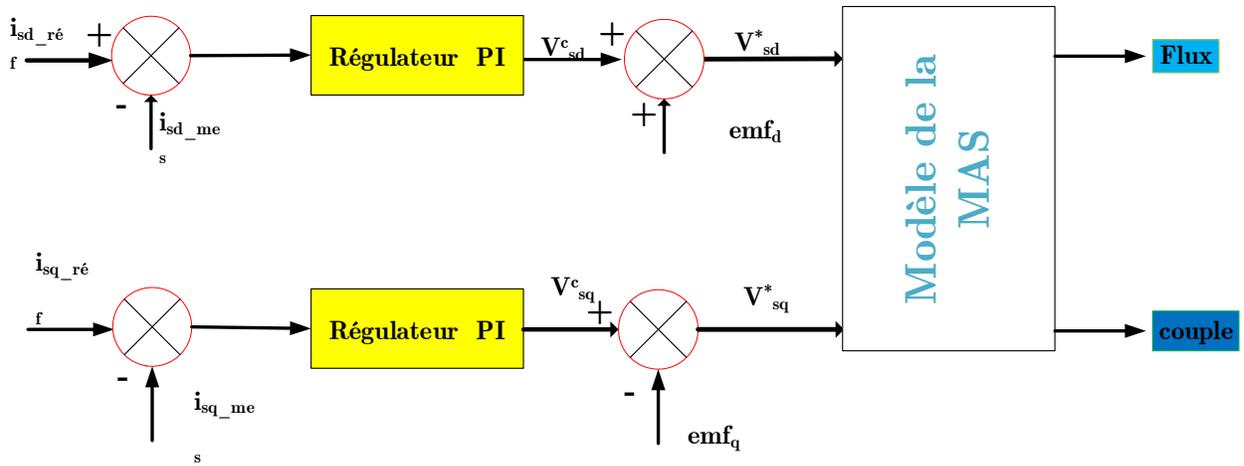


Figure 2.10 Compensation dans la commande vectorielle

2.12.2 Défluxage

Le bloc de défluxage est défini par la fonction non linéaire suivante :

$$\phi_r^* = \begin{cases} \phi_m & \left| \Omega_r \right| \leq \left| \Omega_m \right| \\ \phi_m \frac{\left| \Omega_m \right|}{\left| \Omega_r \right|} Si & \left| \Omega_r \right| \geq \left| \Omega_m \right| \end{cases} \quad (2.30)$$

Il assure le fonctionnement à flux constant ou couple constant pour les vitesses inférieures à la vitesse nominale et au-delà de cette vitesse il permet de diminuer le couple. Dans ce cas, il assure un fonctionnement à puissance constante ou tension constante [26]

2.13 La régulation

Dans le cas de notre étude on se limite à la technique du contrôle PI. Le régulateur proportionnel intégrale PI est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent

à de multiples grandeurs physiques. Le régulateur ou le correcteur PI améliore la stabilité de la réponse et l'élimination de l'erreur statique en régime permanent. [22]

2.14 Calcul paramètre des régulateurs

2.14.1 Régulateurs de Vitesse

Pour calculer les coefficients du régulateur PI, doit commencer par l'équation

Mécanique du moteur :

$$C_{em} - C_r - f_r \Omega = J \frac{d}{dt} \Omega \quad (2.31)$$

En considérant C_r comme perturbation la fonction de transfert de la vitesse avec le couple électromagnétique est comme suit :

$$\frac{\Omega}{C_{em}} = \frac{1}{J s + f_r} \quad (2.32)$$

La chaîne de régulation de vitesse peut être représentée par le schéma fonctionnel suivant :

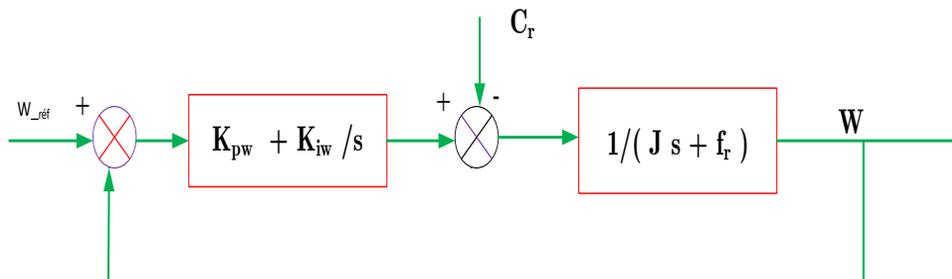


Figure 2.11 schéma bloc de boucle de régulation de la vitesse

En utilisant la méthode de placement de pôles toujours, la fonction de transfert de system en boucle ouverte :

$$G_{Bo} = \left(K_{pw} + \frac{K_{iw}}{s} \right) \left(\frac{1}{J s + f_r} \right) \quad (2.33)$$

K_{pw} : est le coefficient du PI proportionnel

K_{iw} : le coefficient d'intégration du PI

La fonction de Transfer en boucle fermé est :

$$G_{BF} = \frac{G_{Bo}}{1 + G_{Bo}} \quad (2.34)$$

Après développement et simplification on aboutit au résultat suivante:

Le système canonique du deuxième ordre :

$$P = s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2 \quad (2.35)$$

ζ : est l'amortissement choisi

w_n : est la pulsation propre calculée en du temps de réponse

Les paramètres du régulateur de la vitesse seront calculés par :

$$\begin{cases} \frac{f_r + K_{pw}}{J} = 2\zeta w_n \\ \frac{K_{iw}}{J} = w_n^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_{pw} = 2\zeta w_n J - f_r \\ K_{iw} = w_n^2 J \end{cases}$$

2.14.2 Régulateurs des courants

En utilisons la méthode de placement de pôles, le découplage proposé permet d'écrire :

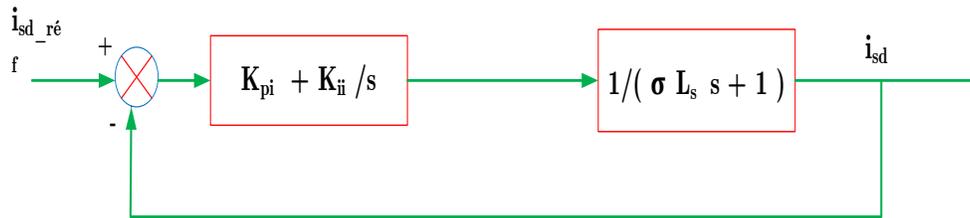


Figure 2.12 Schéma bloc de la boucle de régulation des courants

La fonction de transfert en boucle ouverte est : $G_{iBo} = (K_{pi} + \frac{K_{ii}}{s}) (\frac{1}{\sigma L_s s + R_s})$

La fonction de transfert en boucle fermée est : $G_{iBF} = \frac{G_{iBo}}{1 + G_{iBo}}$

Alors,

$$G_{iBF} = \frac{\frac{1}{\sigma L_s} (K_{pi} s + K_{ii})}{(s^2 + \frac{R_s + K_{pi}}{\sigma L_s} s + \frac{K_{ii}}{\sigma L_s})} \quad (2.36)$$

Le comparant au polynôme canonique du deuxième ordre sous la forme

$$P = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$$

Les paramètres du régulateur de courant seront calculés par :

$$\begin{cases} \frac{R_s + K_{pi}}{\sigma L_s} = 2\zeta\omega_n \\ \frac{K_{ii}}{\sigma L_s} = \omega_n^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_{pi} = 2\zeta\omega_n \sigma L_s - R_s \\ K_{ii} = \omega_n^2 \sigma L_s \end{cases}$$

2.15 Simulation de la commande vectorielle indirecte

Conformément à la théorie développée ci-dessus concernant la commande vectorielle à l'aide du logiciel MATLAB nous avons introduit le schéma bloc suivant.

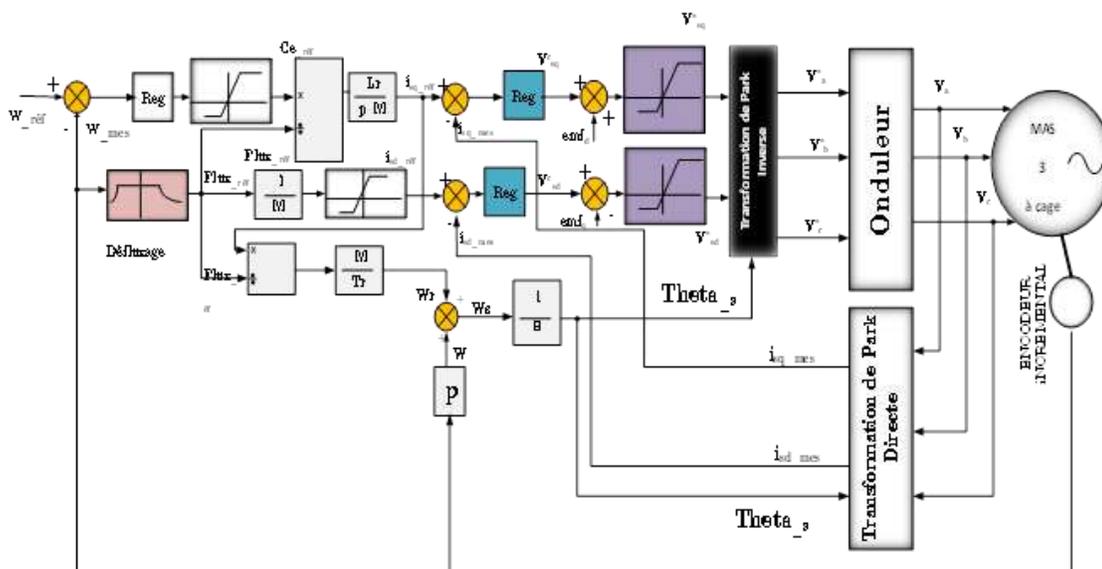


Figure 2.13 Schéma de la commande vectorielle indirecte du moteur asynchrone

2.15.1 Résultat de simulation

Pour évaluer les performances de la commande vectorielle indirecte, nous avons effectués des simulations numériques sous les conditions suivantes :

- Démarrage à vide puis l'application d'un couple de (46 Nm) à une seconde (7s) et (12s)

Les résultats de simulation sont représentés par les (figures 2.14)

- Démarrage à vide avec changement de référence

Les résultats de simulation sont représentés par les (figures 2.15)

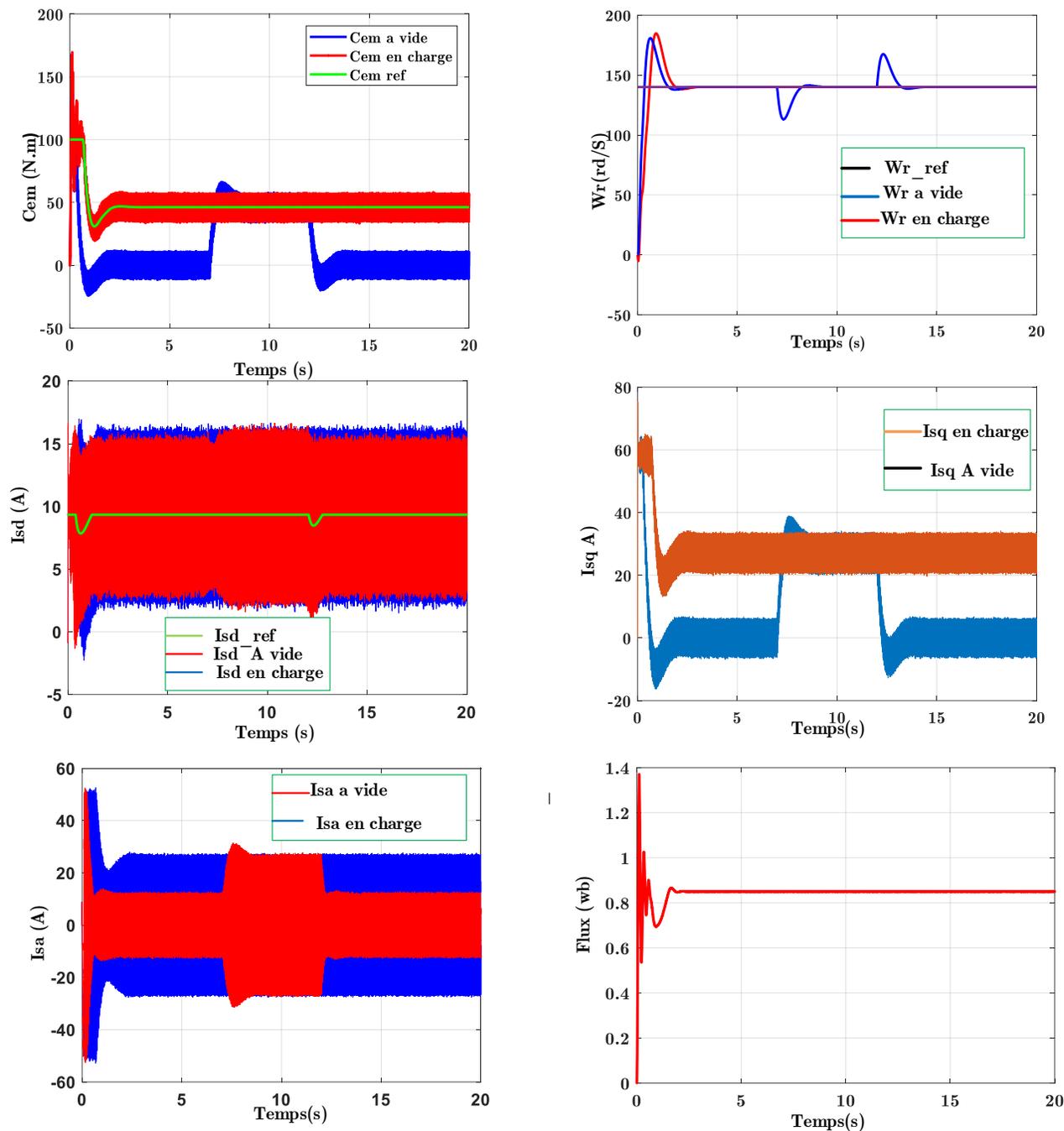


Figure 2.14 courbes de la commande vectorielle indirect (démarrage en charge)

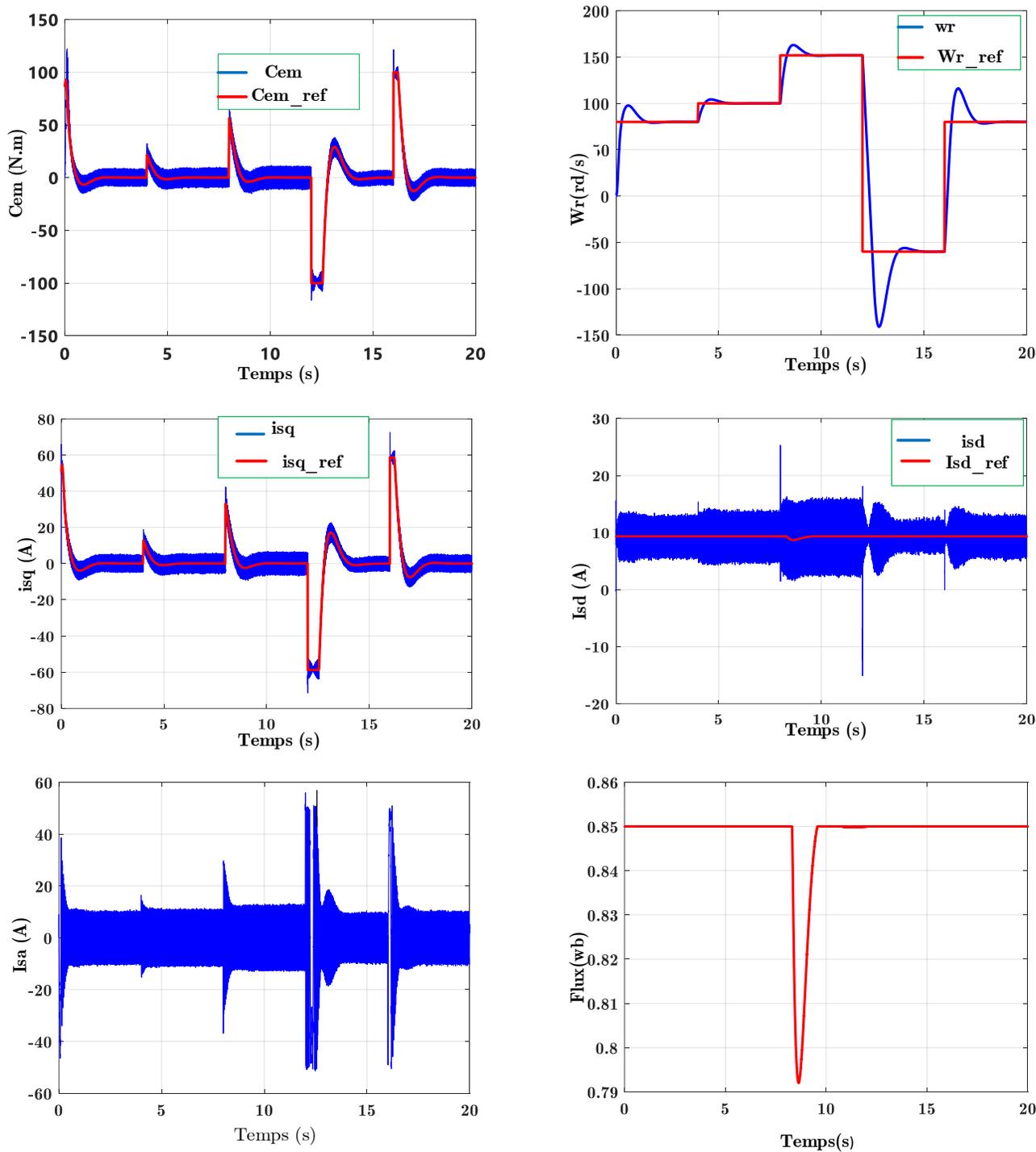


Figure 2.15 courbes de la commande vectorielle indirect (démarrage a vidé)

2.15.2 Interprétation des résultats

- Pour le premiers test (fonctionnement à vide et en charge) on constate que : La vitesse du rotor atteint la vitesse de référence au bout de $t=2s$ et suit parfaitement sa référence, ce résultat présente un dépassement de 15 %, une rejection rapide de la perturbation de couple de charge par le régulateur de vitesse. En charge, le temps de repense est d'environ 2.4s avec un dépassement de 19%.

Le couple électromagnétique a un régime transitoire, avec une valeur de démarrage est égale à 60N.m, en régime établi, le couple électromagnétique oscille autour de zéro. Après l'application de la charge, le couple électromagnétique compense le couple résistant et les frottements.

Les courants d'axe 'q' ont la même allure de couple électromagnétique, les deux courants ont les mêmes valeurs sous déférentes conditions (à vide et en charge), ils ont une valeur crête au démarrage de 60A. En régime transitoire et en charge, ils oscillent autour de 30A. Ils oscillent autour de zéro en cas d'absence de charge.

Le courant I_{sd} Il oscillent autour de 9.3A ; il diminue lors la vitesse mesurée supérieur à la vitesse nominale à cause de défluxage.

Le flux rotorique suit l'orientation de flux à l'axe 'd'après le régime transitoire. Aucune influence sur cette orientation lors de l'application d'une charge nominale, on dit que le découplage reste parfait.

- La figure 2.15 illustre les résultats de simulation d'une poursuite lors la variation de consigne de vitesse. Les performances de la régulation de vitesse été validé avec aucun couple de charge ($C_r=0$).

Au démarrage de moteur, la vitesse du rotor atteint la vitesse de référence au bout de $t = 1s$ et présente un dépassement de 10% ; la perturbation du couple de charge a été rapidement rejetée par le régulateur de vitesse. Lorsque le régime de moteur a été établi en fait plusieurs changements des références de consigne de vitesse, dans ce cas le dépassement est envirent 5.66% de chaque changement de consigne et un temps de réponse de 1s sauf le moment de changement de sens, le temps de réponse atteint le 3s.

2.16 Conclusionn

Dans la première partie de ce travail, nous avons présenté la modélisation de la machine asynchrone, et on étudie la commande vectorielle par orientation de flux rotorique.

La commande vectorielle par orientation de flux rotorique est un outil de contrôle fort intéressant au fonctionnement réel et pratique de la machine asynchrone dans ses applications industrielles. Cette technique de commande est devenue faisable sur ce type de machines grâce à la possibilité de découplage de flux du couple, de façon, presque analogue, à celle appliquée sur la machine à courant continu. Cette faisabilité lui permettra d'être, grâce à ses qualités technico-économiques très attrayantes. Dans ce type de commande la qualité, des performances.

Chapiter 03

Dynamique

De

Véhicule électrique

3 Dynamique de Véhicule électrique

3.1 Introduction

Dans le but d'étudier la commande du véhicule, il est nécessaire de disposer d'un modèle qui rend compte de la dynamique du véhicule à partir des efforts de traction développés par ses actionneurs et des forces de résistance au déplacement. Ainsi, cette section a pour objectif ; la modélisation de la dynamique du véhicule. Ce dernier est un système intrinsèquement non linéaire de par sa cinématique et ses caractéristiques dynamiques comme les éventuels glissements sur la chaussée, les fluctuations d'adhérence sur la route, le comportement des pneus ou encore l'inertie inhérente à tout système mécanique. Tous ces phénomènes sont complexes et difficiles à appréhender. [30]

3.2 Modélisation dynamique du véhicule

Le véhicule est modélisé comme une masse en mouvement soumise à la force motrice F_t Développée par le groupe motopropulseur et à différents efforts liés à l'environnement. Lorsque le véhicule est mobile, il y a une résistance qui tente d'arrêter son mouvement, cette résistance comprend en général la résistance au roulement, la traînée aérodynamique et la résistance en montée.

Les différentes forces auxquelles le véhicule en mouvement est soumis sont représentées sur la Figure 3.1.

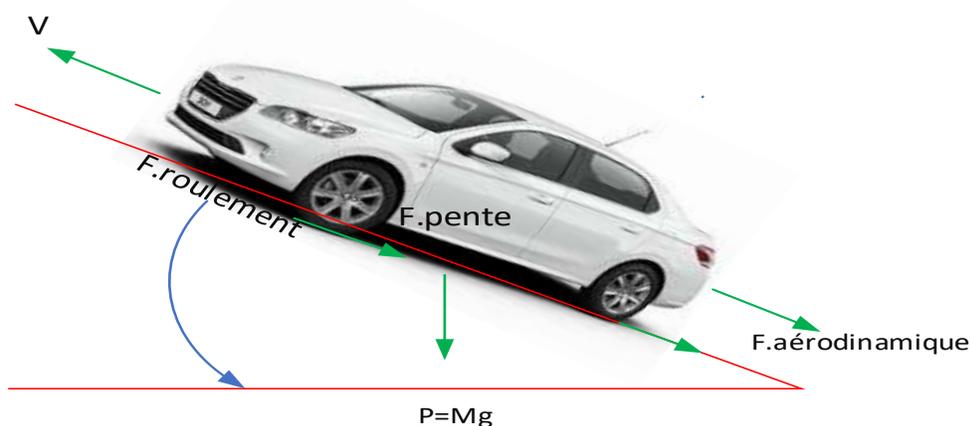


Figure 3. 1 les forces agissantes sur un véhicule une pente

Selon la deuxième loi de Newton, l'accélération du véhicule peut être écrite comme :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_t - F_r}{M} \quad (3.1)$$

Où V est la vitesse du véhicule, F_t est l'effort de traction totale du véhicule, F_r est la résistance totale, M est la masse totale du véhicule.

$$F_t = F_r + F_a + F_{pente} + F_{acc} \quad (3.2)$$

F_r : force de résistance de roulement des roues

F_a : force aérodynamique

F_{acc} : force d'accélération

F_{pente} : force de pente

3.3 Couples résistant au déplacement

Le couple résistant à la roue (C_r) lié à l'effort résistant total (F_r) que doit vaincre le Système de motorisation est donné par la relation :

$$C_{rou} = F_r * r \quad (3.3)$$

r : rayon d'une roue.

3.3.1 Force de résistance au roulement (F_{roul})

La résistance au roulement des pneus sur les surfaces dures est principalement causée par l'hystérésis dans les matériaux des pneus. La figure 3.2) montre un pneu à l'arrêt, sur lequel une force P , agit sur son centre, La pression dans la zone de contact entre les pneumatiques et le sol est répartie symétriquement par rapport à la ligne centrale et la force résultante de réaction, P_z , est aligné à P . La déformation, z , par rapport à la charge. [36]

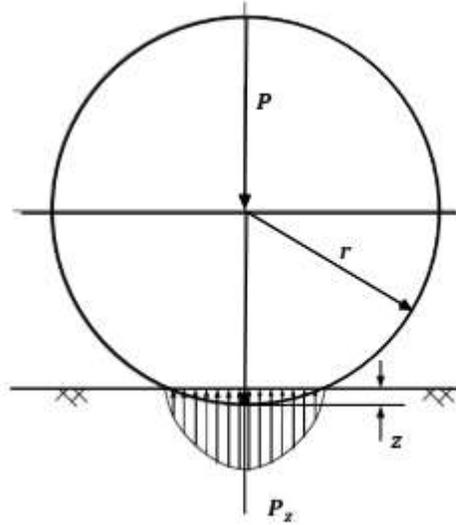


Figure3. 2 la distribution de la pression dans la zone de contact

L'expérience montre que la force qu'il faut appliquer à une roue pour la faire avancer en tournant est égale au produit du poids Mg par le coefficient de frottement de roulement C_{moy} . [31]

$$R_r = C_{moy} * M * g \quad (3.4)$$

g : accélération due à la gravité (9.81m/s)

M : masse totale du véhicule (kg)

C_{moy} : coefficient caractérisant la résistance au roulement dépend de la nature et de l'état du bandage de la roue, du sol et de la vitesse de déplacement.

3.3.2 Force de résistance aérodynamique (F_{aero})

La force de la résistance aérodynamique est proportionnelle à la masse volumique de l'air ρ à la section frontale $S_f(m^2)$ au coefficient de pénétration dans l'air C_x au carré de la vitesse

Relative (compte tenu du vent) par rapport à l'air.

$$F_{aero} = 0.5 * \rho * C_x * S_f * (V \pm V_v) \quad (3.5)$$

En général ρ est pris égal à 1,23 kg/m³ bien qu'il dépende de l'altitude et de la température. D'autre part le coefficient de pénétration dans l'air C_x dépend de la forme globale du véhiculée mouvement. [32]

3.3.3 Force due au profil de la route (F_{pente})

C'est la force de résistance due à la pente à gravir. Dans le cas où l'automobile devrait gravir une pente d'angle (α_p) qui peut être une montée ou une descente comme le montre la Figure (3.5), il y a une force supplémentaire proportionnelle à la masse totale (M)

$$F_{pente} = \pm M * g * \sin \alpha_p \quad (3.6)$$

La pente est positive pour une montée et négative pour une descente. Cela fait que la force devient positive en montée, et devient négative en descente. Dans une descente, cette composante n'est plus une force résistante mais une force motrice, d'où la nécessité d'abandonner la pédale de l'accélérateur et laissant le véhicule en mode frein moteur.

La pente en pourcentage (%) est définie comme l'évolution verticale en mètre pour une distance horizontale de 100 mètres (Figure 2.5). Si (Y) représente l'évolution verticale, la pente (%) est donnée par la relation suivante : [33]

$$Pente(\%) = \left(\frac{y}{100} \right) * 100\% \quad (3.7)$$

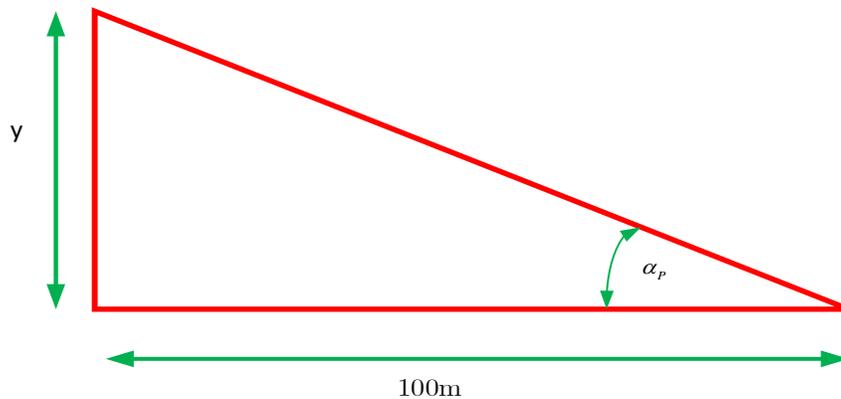


Figure 3. 3 Forces agissant sur un véhicule dans un cas général de mouvement

3.3.4 Force d'accélération (F_{acc})

F_{acc} Représente le terme dynamique d'accélération ou de décélération du véhicule :

$$F_{acc} = \delta * M * \frac{dv}{dt} = \delta * M * \alpha \quad (3.8)$$

α : accélération ou de décélération du véhicule.

δ : est un coefficient sans dimension, légèrement supérieur à 1, intervenant sur la masse qui prend en compte l'effet des masses en rotation dans la chaîne de traction telles que les roues, les engrenages, les axes et les rotors des moteurs électriques. La variation de ce coefficient est de 1,01 à 1,4. Pour les véhicules particuliers, le coefficient peut être calculé en utilisant une relation empirique.

$$\delta = 1.04 + 0.0025 * gr^2 \quad (3.9)$$

Le terme 1,04 dans l'équation 3.20 représente la contribution de l'inertie en rotation des roues du véhicule. Le deuxième terme représente la contribution des autres composants qui tournent à la vitesse du moteur où gr est le rapport de réduction global rapporté aux roues.[6]

3.4 Conditions de déplacement du véhicule

Pour faire avancer un véhicule il semble qu'il suffise de communiquer aux roues un effort susceptible de vaincre la résistance au roulement du véhicule. Ce n'est pas toujours le cas, car la roue peut tourner en s'accrochant sur le sol (adhérence) mais peut également glisser (perte d'adhérence)

Si on désigne par F_m la force appliquée aux roues, ou encore par C_m le couple de moteur, la condition de traction du véhicule est la suivante.[32]

$$f_r gM \leq F_m \leq \mu gM \quad (3.10)$$

Ou encore

r : étant le rayon de la roue.

Les trois autres cas suivants peuvent se présente

$F_m < f_r gM < \mu gM$: Le couple est insuffisant, le véhicule reste immobile.

$f_r gM < \mu gM < F_m$: Le couple est trop grand, la rotation des roues fait avancer le Véhicule mais il y a patinage.

$\mu gM < f_r gM < F_m$: L'adhérence est exceptionnellement plus faible que la résistance au Roulement : Les roues patinent et le véhicule reste sur place.

f_r : le coefficient de frottement de roulement.

μ : Coefficient de résistance au roulement du pneu.

3.5 Choix du réducteur dans la transmission électrique

Un moteur électromagnétique a un volume et une masse fonctions de son couple aussi pour réduire la masse embarquée et le coût de la motorisation, on préfère généralement associer le moteur à un réducteur mécanique de rapport de réduction n . Ceci permet de

réduire le couple que doit fournir le moteur en augmentant sa vitesse de rotation. Pour un rendement parfait de la transmission mécanique, le couple C_e que doit délivrer le moteur et sa vitesse de rotation Ω_e valent :[7]

$$C_e = \frac{C_r}{n} \quad \text{Et} \quad \Omega_e = n * \Omega_r$$

3.6 Cycles de conduite dans les différents pays

Le cycle de conduite est une courbe "consigne" de vitesse en fonction du temps, qui doit être reproduite par le conducteur du véhicule lors de l'essai. Pratiquement, la courbe vitesse - temps s'affiche sur un écran situé devant le conducteur, un spot indique la vitesse réelle du véhicule, le conducteur ajuste le spot sur la courbe. C'est le cycle qui détermine les conditions de fonctionnement du véhicule (accélération, freinages, changements des rapports de boîte, etc.). Son rôle est donc capital par rapport aux résultats des mesures d'émissions de polluants effectuées en sortie du pot d'échappement du véhicule. [34]

3.7 Cycles réglementaires

Les principaux cycles réglementaires américains, européens et japonais sont décrits en [Raynal, 1991]. On en donne ci-après les principales caractéristiques et quelques évolutions récentes.

3.8 Réglementation américaine

3.8.1 Cycle FTP75

(Federal Test Procédure, ou UDDS Urban Dynamomètre Driving Schedule) : c'est le cycle actuellement utilisé pour contrôler les émissions des véhicules légers. Il simule un parcours urbain de 17,9 km et 31 minutes de route. La vitesse atteint 91 km/h, la vitesse moyenne est de 34 km/h. Les périodes à l'arrêt (au ralenti) représentent de l'ordre de 20% de la durée totale. [34]

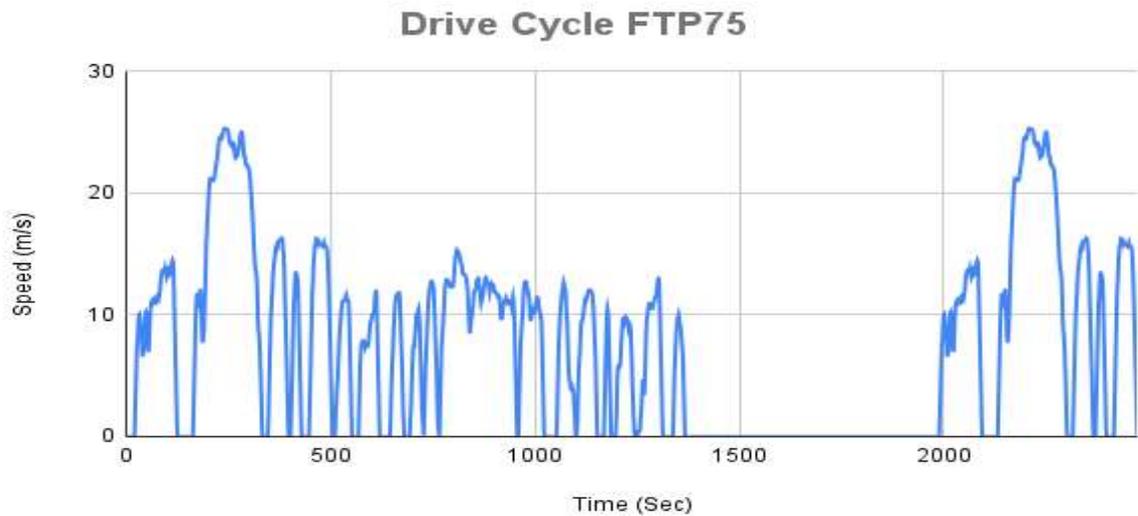


Figure 3. 4 cycle FTP75

3.8.2 Cycle "Highway"

(Highway Fuel Economy Test, ou HFET) : il s'agit d'un parcours interurbain de 16,4 km (vitesse moyenne : 77 km/h, maximale : 96,4 km/h, figure 3.5), parcouru 2 fois, la mesure étant effectuée sur la deuxième fois. Il a été construit initialement pour la mesure de la consommation.

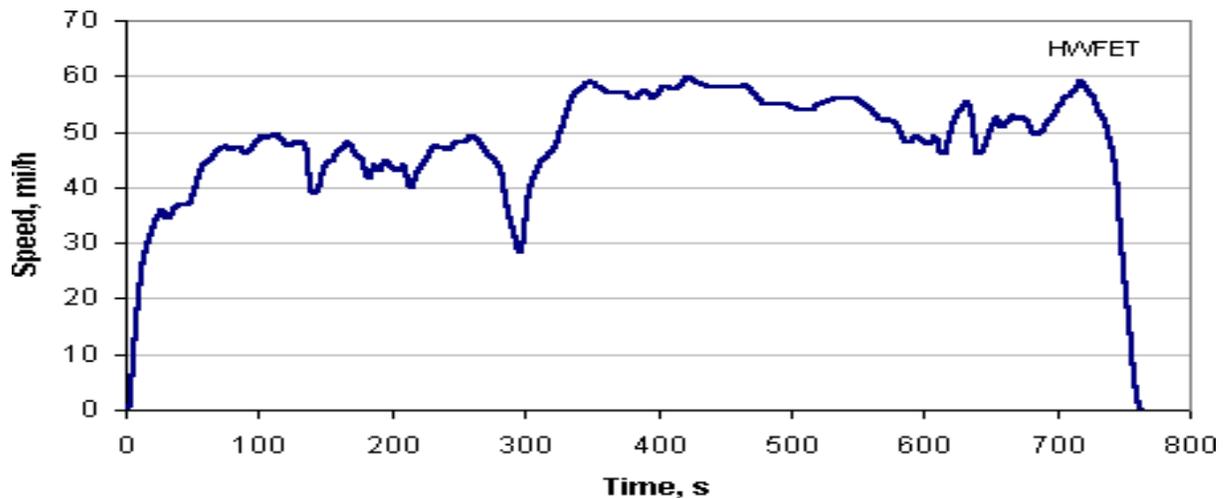


Figure 3. 5 Cycle "Highway"

3.8.3 Cycle court IM240

C'est un cycle transitoire, de durée limitée (240 secondes) qui doit être Utilisé lors des programmes de vérification des véhicules en service.

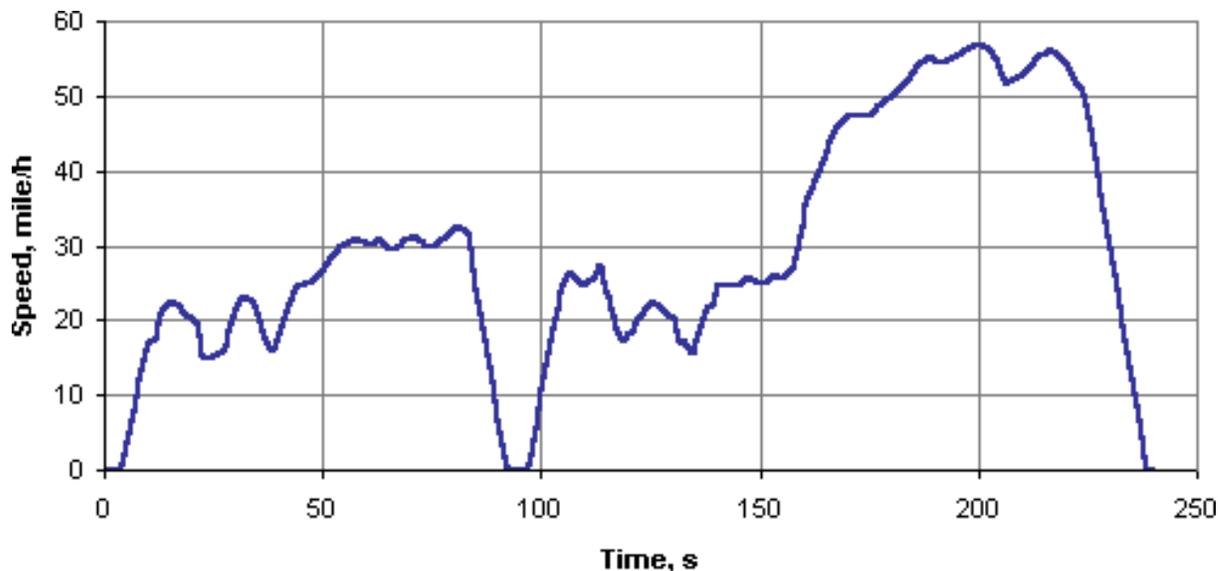


Figure 3. 6 Cycle court IM240

3.9 Réglementation européenne et japonaise

Les cycles d'essai se caractérisent par leur profil "simplifié", c'est à dire en segments de droite, limitant de ce fait la description des transitoires. [35]

3.9.1 Cycles Europe ECE15 et EUDC :

Le cycle ECE15 (figure 3.9) avec son extension périurbaine est actuellement en vigueur en Europe. Il s'est également imposé dans certains pays en voie de développement. Le cycle se compose de 4 km en conditions de circulation urbaine (18,7 km/h) et de 7 km en périurbain (62,6 km/h). Le cycle urbain a été construit à partir de mesures de cinématiques de véhicules circulant à Paris (en 1962). Les rapports de boîte de vitesse sont imposés aux paliers de vitesse. [35]

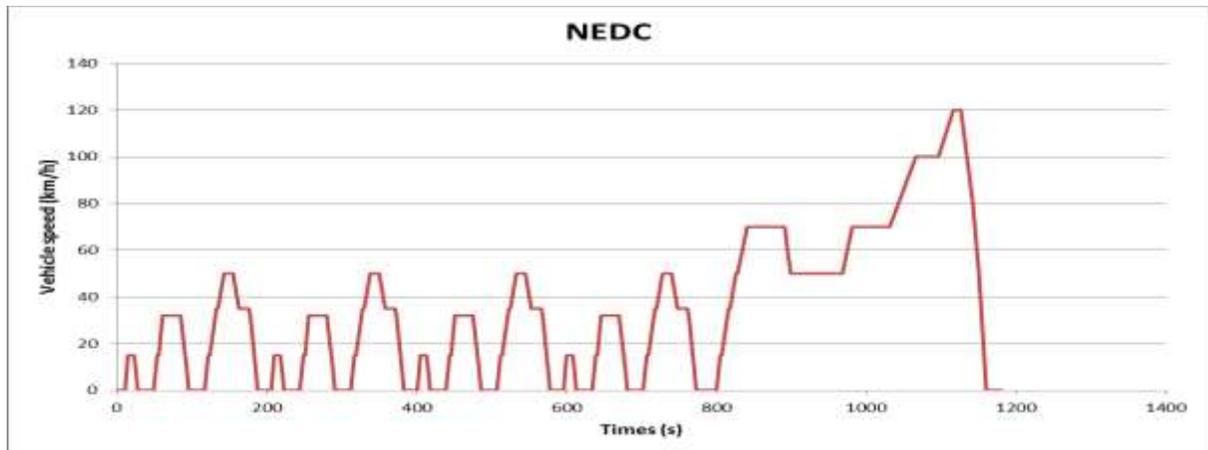


Figure 3. 7 Cycles Europe ECE15 et EUDC

Le cycle urbain 10-15 modes (figure 3.10) consiste en 3 phases de 0,664 km à 17,7 km/h suivies d'une phase périurbaine atteignant 70 km/h (soit au total 4,16 km, 22,7 km/h, 31% au ralenti). Le cycle autoroute urbaine 11 modes consiste en un parcours de 1 kilomètre à 30,6 km/h. [35]

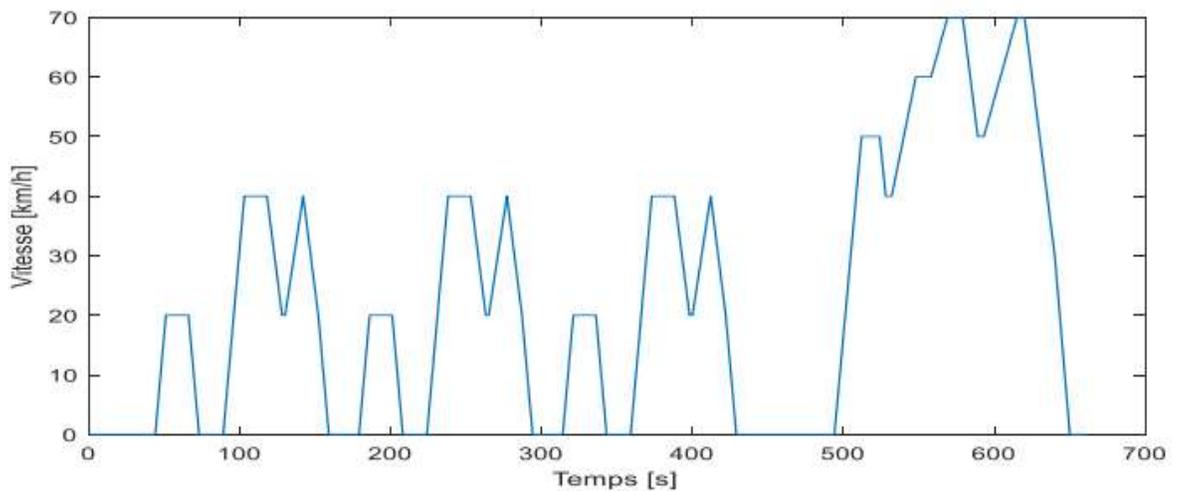


Figure 3. 8 Cycles japonais

3.10 Simulation de la dynamique du véhicule avec MATLAB/Simulink

Suivant les équations dynamiques du véhicule traitées précédemment nous pouvons donner un schéma global du modèle du véhicule sous l'environnement MATLAB/Simulink.

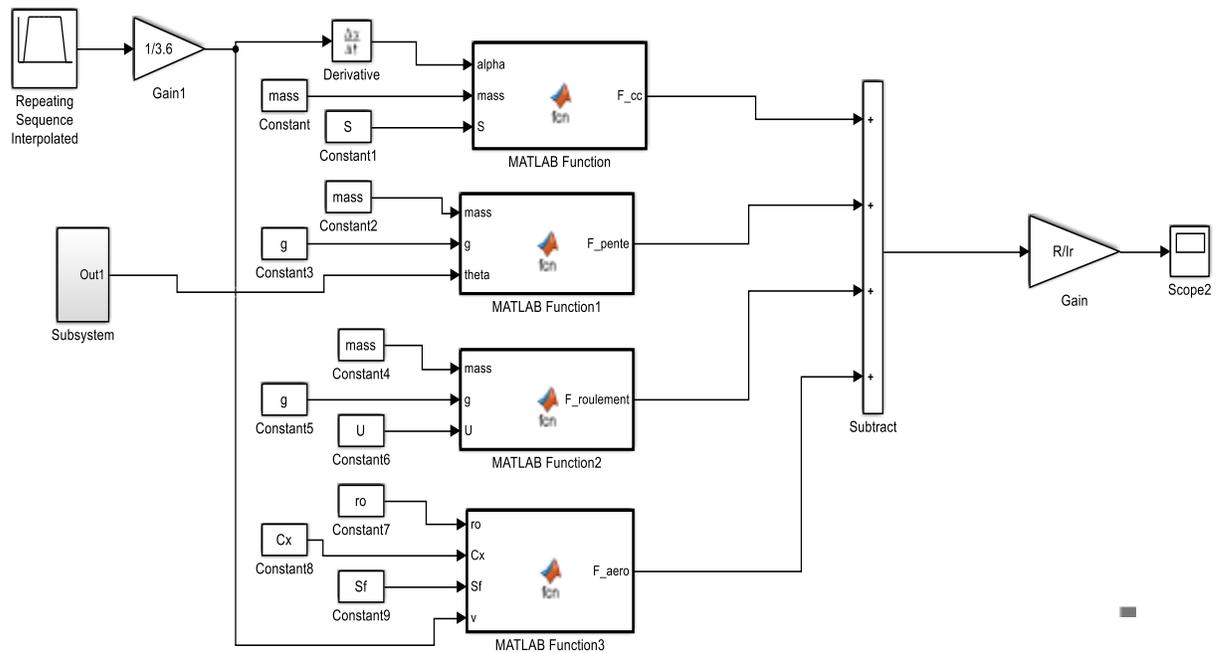


Figure 3. 9 schéma global du modèle de véhicule

La Figure (3.12) décrit les forces de résistance ; on peut dire que la pente sensibilise la motorisation à développer des efforts afin de satisfaire la demande de la chaîne de traction électrique et que la force aérodynamique dépend directement de la vitesse du véhicule

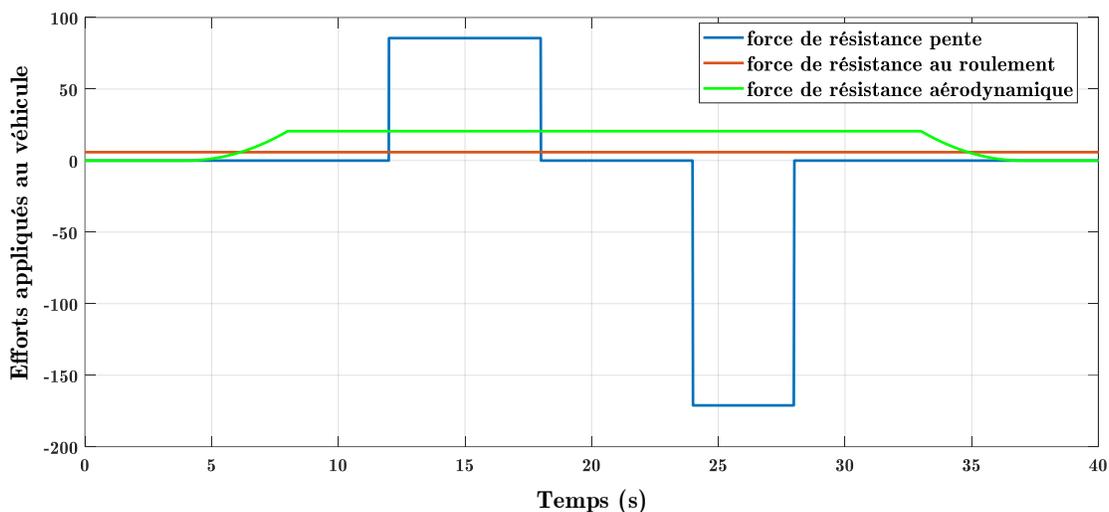


Figure 3. 10 Efforts appliqués au véhicule

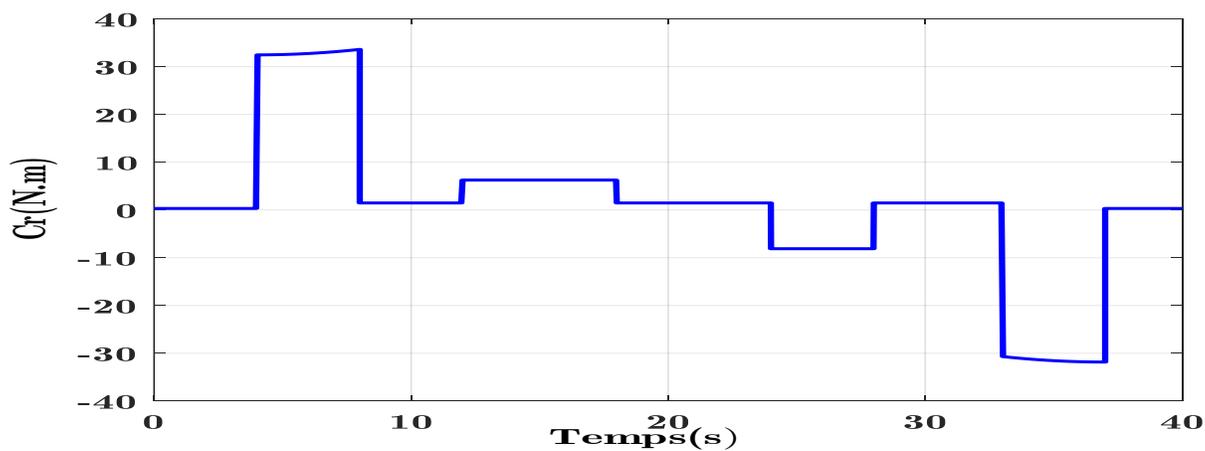


Figure 3. 11 Couples résistant

3.11 La structure du système étudié

La figure 3.12 montre le schéma bloc de la commande vectorielle d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension à 2 niveaux et entraînant deux roues motrices arrières dont la contribution à l'avancement du véhicule est représentée par un couplage mécanique .

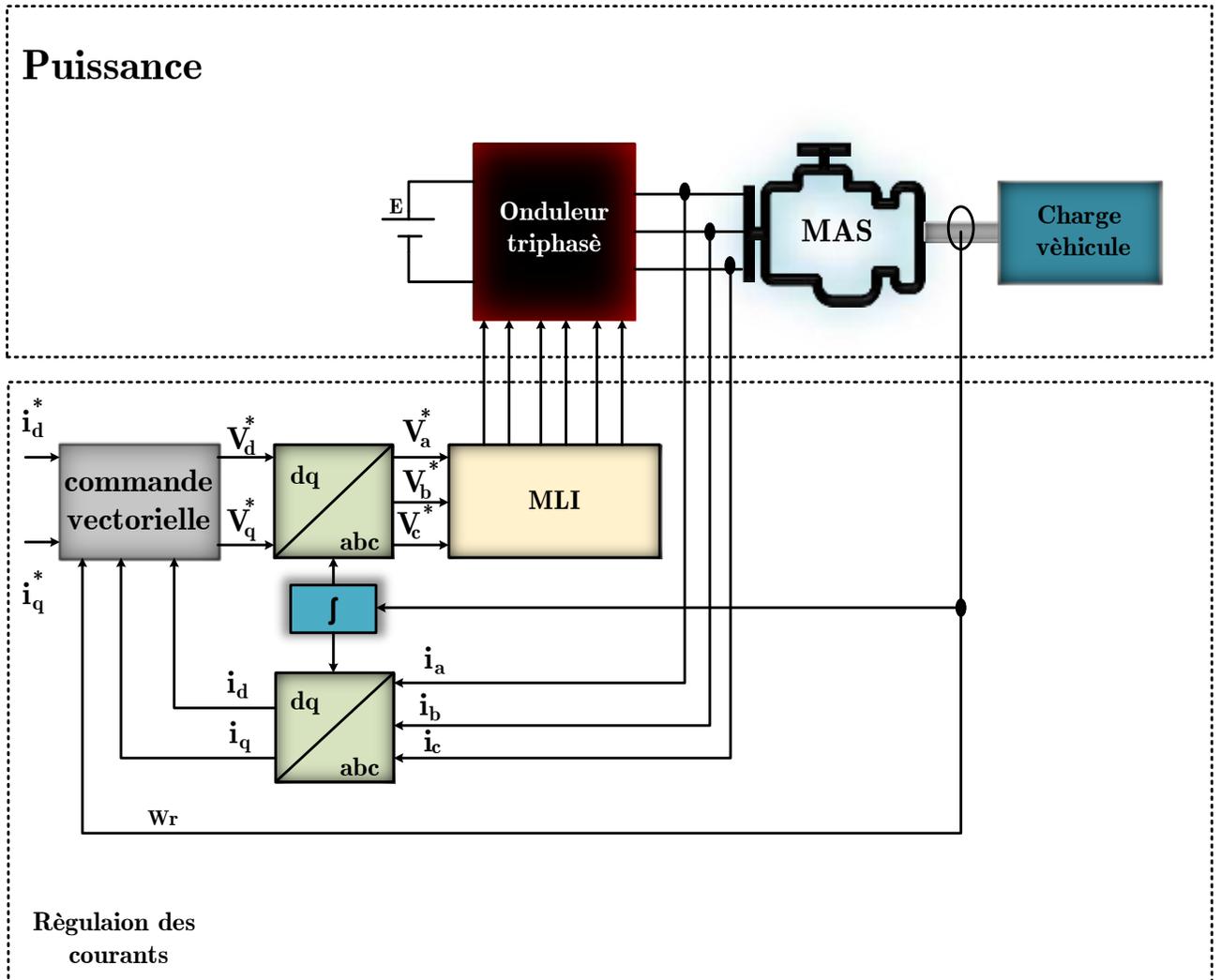


Figure 3. 12 La structure du système étudié

3.11.1 Résultat de simulation

Pour vérifier le contrôle du schéma proposé, un modèle de simulation a été construit sur la base de Matlab (Simulink). Le véhicule est piloté par une vitesse de référence fixée à l'amplitude de 30 km/h ; il passe par trois phases, une phase d'accélération, une phase de fonctionnement à vitesse constante et une phase de décélération. A 12 secondes, la voiture rencontre une résistance en montée dont la pente est de 2%, puis à 25 secondes, le véhicule affronte une descente dont la pente est 4% après l'instant 25 secondes, il continue le mouvement sans pente.

Les paramètres du VE sont résumés dans le tableau :

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
Masse du véhicule (kg)	250	Surface frontale du véhicule S_f (m ²)	1.25
Rapport de transmission	5	Densité de l'air ρ (kg/m ³)	1.28
Le coefficient de pénétration dans l'air	0.37	Rayon de roue R(m)	0.14
Coefficient de résistance au roulement du pneu μ	0.0024	Coefficient Gravité g	9.81

tableau 3. 1 parameter de la MAS

Les Figure. (3.14), Figure. (3.15) et Figure. (3.16) montrent que la vitesse linéaire du véhicule, le couple électromagnétique et les courants suivent leurs références et atteignent rapidement les régimes établis.

À $t = 12$ s, lorsque le véhicule a rencontré une pente positive, le couple de charge augmente, la vitesse du véhicule revient rapidement à la vitesse de référence. La référence de courant monte à environ 12 A pour générer un couple électromagnétique plus élevé afin de maintenir la consigne de vitesse, le convertisseur fonctionne en mode Buck. A $t = 19$ s, la pente positive a disparu.

A $t = 24$ s, le véhicule a rencontré une descente, le couple de charge devient négatif. Observez à nouveau que la vitesse du moteur suit sa référence comme souhaité.

À $t = 32,5$ s, le véhicule commence à décélérer jusqu'à la vitesse de 0 km/h. Le courant d'induit devient négatif et la vitesse diminue suivant la référence de vitesse.

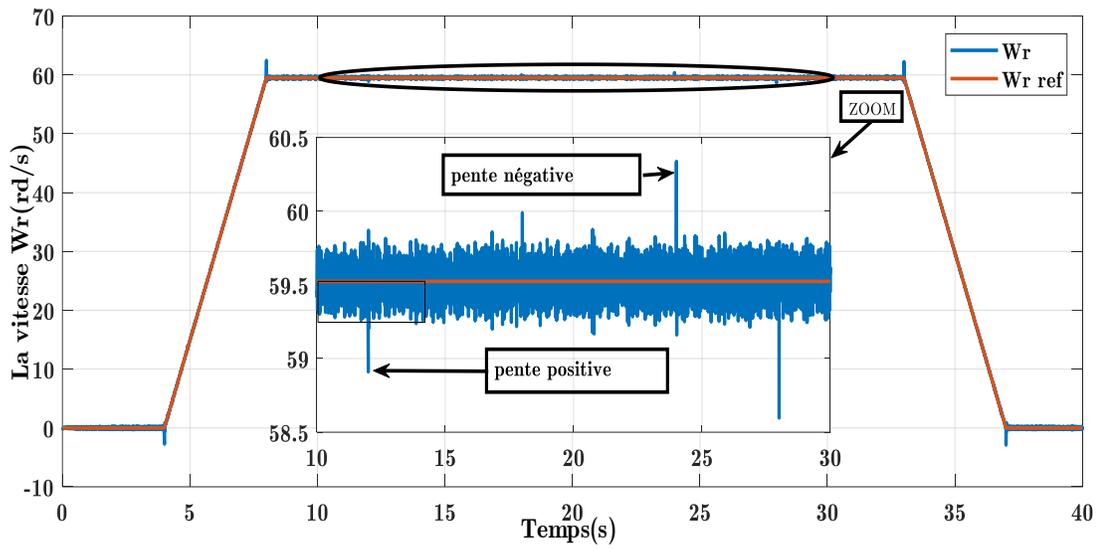


Figure 3. 13 la vite

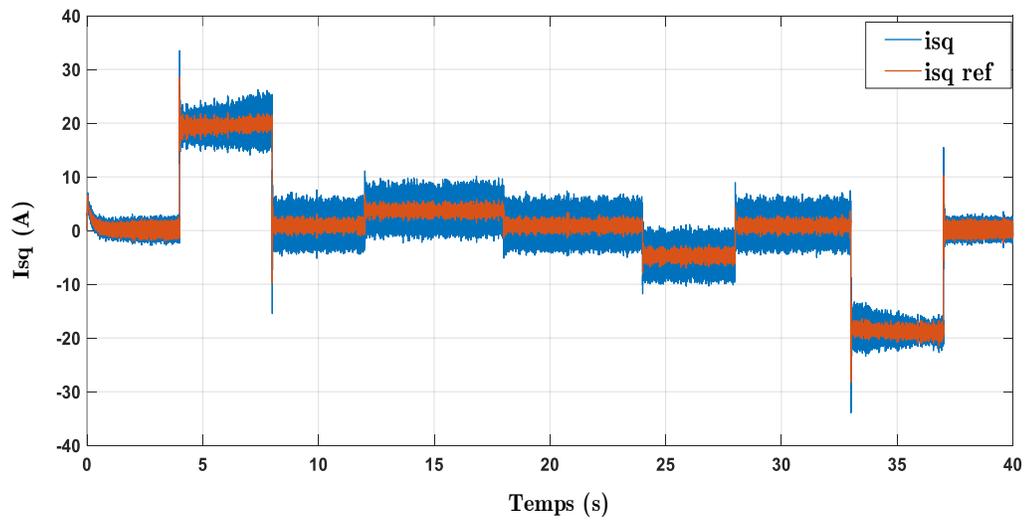


Figure 3. 14 courant I_{sq}

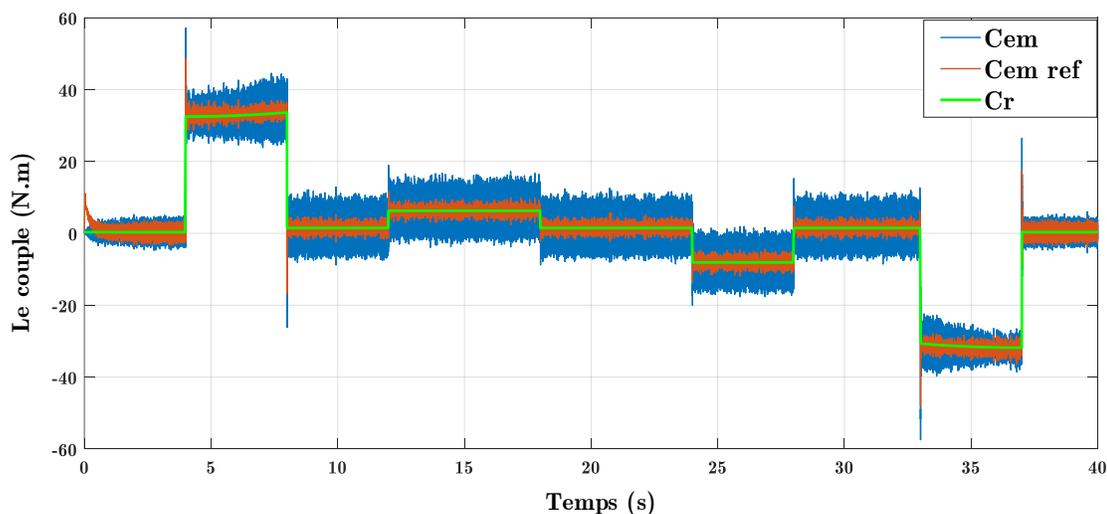


Figure 3. 15 le couple électromagnétique

3.12 Conclusion

Dans ce chapitre, une simulation d'un système de propulsion électrique est présentée ; la MAS est alimentée par une source de tension continu à travers un onduleur de tension, la dynamique du véhicule est prise en compte. Le mode de fonctionnement moteur seulement est expliqué. Le système conçu ne comporte qu'un seul sens de rotation. Les résultats de la simulation montrent que le régulateur de vitesse donne de bonnes performances en termes de suivi de vitesse, de précision et de rejet des perturbations des charges.

Dans cette partie, nous avons présenté la modélisation de la dynamique d'un VE à partir d'une étude dynamique en évoquant tous les efforts et résistances lors du déplacement d'un VE. Du leur déplacement VE.

Nous avons examiné par la suite les conditions de déplacement d'un VE, et les Cycles de conduite dans les différents pays.

Les résultats de simulation ont montré des performances satisfaisantes.

L'objectif de notre projet est d'implémenter la commande vectorielle de la machine asynchrone de VE que nous avons atteint, Il s'agit de l'étude théorique et la validation par simulation.

Le travail que nous avons présenté vise d'une part à évoluer l'intérêt de commande d'un VE et d'autre part à examiner l'apport de la dynamique de VE. L'architecture utilisée pour l'étude est un véhicule tout électrique à entraînement directe, propulsé par un moteur asynchrones commandé par commande vectorielle conventionnel. Ce moteur est alimenté par des batteries d'accumulateur à travers deux onduleurs triphasés pour entraîner les deux roues arrière du véhicule.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une description détaillée de la chaîne de traction électrique d'un véhicule électrique. L'action a été mise sur le choix et le dimensionnement des éléments constitutifs de la chaîne de traction.

Nous avons présenté, dans le deuxième chapitre, la modélisation individuelle de chaque bloc constituant le système d'entraînement considéré, à savoir la machine asynchrone et son alimentation de puissance (convertisseur associé). Les équations analytiques régissant le fonctionnement du système d'entraînement, en vue de sa simulation, ont été développées. Le modèle de la MAS a été développé sur la base de PARK, ce type d'approche est bien adapté à l'élaboration de la commande vectorielle. Les résultats de simulations montrent que la commande vectorielle avec régulateur classique (PI) permet d'obtenir des performances dynamiques et statiques satisfaisantes.

Le troisième chapitre a été consacré à exposer le modèle dynamique de VE que nous avons associé à les autres composants de chaine de traction.