



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



N° d'ordre : M...../GE/2019

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Option: Electrotechnique Industrielle

Par

DJELLOUL Houria

MOKRI Abdelmalek

Dimensionnement du moteur électrique d'un véhicule hybride parallèle

Soutenu le 10 /07/2019

devant le jury composé de :

Président : Mme NADDAR.H

Université de Mostaganem

Examineur : Mme BEKKOUCHE.F

Université de Mostaganem

Examineur : Mr RESFA.A

Université de Mostaganem

Encadreur : Mr CHAOUCH.A

Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Nos remerciements s'adressent tout d'abord au Dieu tout puissant de nous avoir donné tous ce que nous possédons et de guider nos pas vers le chemin du savoir.

Nous tenons à exprimer nos haute gratitude, nos profonds respects et nos sincères remerciements et reconnaissances d'abord à Monsieur CHAOUCH Abd-Ellah, qui nous a guidé avec grande patience tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à Mme NEDDAR, Mme BEKKOUCHE et Mr RESFA, qui nous fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.

Dédicace

" Louange à Dieu, le seul et unique "

A nos très chers parents et nos frères et sœurs,

A notre encadreur Mr CHAOUCH Abd-Allah

A nos amis, A tous ce qui ont participé de près

ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
Table des figures	v
Nomenclature.....	vi
Introduction générale.....	1

Chapitre I

I- 1 Définition du véhicule hybride.....	3
I- 2 Historique du véhicule électrique hybride.....	4
I-3 Principaux modes de fonctionnement (Tableau I-1).....	5
I-3-1 Le mode thermique pur.....	6
I-3-2 Le mode électrique pur.....	6
I-3-3 Le mode hybride	6
I-4 Les principales architectures d'un véhicule hybride.....	9
I-4-1 Architecture série (VHS) [9].....	9
I-4-2 Architecture parallèle (VHP) [10].....	10
I-5 Conclusion.....	11

Chapitre II

II.1 Introduction.....	12
II.2 Modélisation de la dynamique du véhicule.....	12
II-2-1 Les forces de traction du véhicule.....	12
II-2-2 Modélisation du moteur thermique.....	15
II-2-2-1 Boite de vitesse.....	15
II-2-3 La modélisation de la Batterie.....	16
II-2-4 Modélisation de la machine électrique.....	16
II-2-4 -1 Les machines à courant continu.....	16
II-2-4-2 Les machines asynchrones [3].....	17
II-2-4-3 les machines synchrones à aimants permanents [4].....	17
II-2-4-4 les machines les machines à réluctance variable [5].....	18

II.3 Conclusion.....	18
----------------------	----

Chapitre III

III.1 Introduction :.....	19
III.2 Représentation globale du véhicule électrique hybride parallèle sous simulink matlab :.....	19
III.3 modèle mathématique du MSAP :.....	22
III.4 Résultats de la simulation de MSAP :.....	28
III.4.1 présentation du bloc de simulink	28
III.4.2 Description du bloc MSAP.....	29
III.4.3 Interprétation	30
III.5 Conclusion	33
Conclusion générales et Perspectives.....	34

Table des figures

Automobile Pieper en 1900 avec une propulsion essence-électrique [4].....	4
La figure I-1 présente le fonctionnement dynamique du VEH.....	7
Figure I-2 Configuration Série.....	9
Figure I-3 Configuration Parallèle.....	10
Figure II-1 les différentes force de traction du véhicule.....	12
Figure III.1:schéma global du VEHP.....	20
Figure III.2 : représente le bloc de fonctionnement électrique pure.....	22
Figure III.3 : Représentation schématique d'une machine synchrone à aimant permanant.....	22
Figure III.4 : block du moteur électrique sous simulink.....	28
Figure III.5 : représentation du block PM synchrone moteur drive.....	29
Figure III.6 : block de la machine synchrone à aimant permanant.....	30
Courant du stator.....	31
La vitesse du rotor.....	32
Le couple électromagnétique.....	32

Nomenclature

symbole	Désignation
VEH	Véhicule électrique hybride
VHS	Véhicule hybride série
VHP	Véhicule hybride parallèle
F_{tot}	La somme des forces de traction du véhicule
F_w	La force aérodynamique
F_r	La force de résistance au roulement
F_h	la force d'inclinaison
F_a	la force de l'accélération du véhicule
V_{res}	vitesse relative du véhicule
V	la vitesse du véhicule
V_w	la vitesse du vent
A	angle d'inclinaison
A_f	surface frontale du véhicule(m^2)
C_w	coefficient de frottement aérodynamique,
C_r	coefficient de résistance des roues au roulement,
m	la masse du véhicule (kg)
Λ	facteur de masse qui dépend de la vitesse engagée
P	densité de l'air (kg/m^3)
g	accélération gravitationnelle(m/s^2)
C_m	couple moteur
v_s	vecteurs spatiaux complexes des tensions, courants
r_s	la résistance de l'enroulement du stator
λ_s	liaisons de flux triphasés du stator
L_{ls}	l'inductance de fuite de l'enroulement
L_0	l'inductance moyenne due au flux d'espace d'air fondamental dans l'espace
i_s	courants du stator
T_e	couple électromagnétique
T_m	couple mécanique
ω_m	la vitesse angulaire du rotor
B	Frottement visqueux combinée du rotor et de la charge
J	Inertie combinée du rotor et de la charge
T_L	Couple de frottement statique de l'arbre
θ	Position angulaire du rotor
P	nombre de paire de poles

Introduction générale

Introduction générale

Le désir humain d'améliorer la qualité de vie à motiver l'introduction de milliers d'inventions et de nouvelles technologies. Ce désir nous a porté des moyens de transport marins, terrestres et aériens. Parmi eux, les automobiles qui dominent nos voyages au quotidien.

Les clients prennent des décisions dans l'achat en évaluant à quel point le véhicule répond à leurs exigences. Mais beaucoup d'attention des clients d'aujourd'hui se base sur l'économie du carburant, les gaz polluants et le bruit des voitures.

La résolution du problème de la pollution est donc l'un des défis du XXIème siècle. En outre, la réduction des ressources fossiles remet progressivement en cause l'utilisation des véhicules à propulsion thermique. Le véhicule tout électrique semble a priori ne pas être une solution fiable à court et moyen terme de part sa faible autonomie et son temps important de recharge.

Ainsi, depuis peu, des nouvelles structures alternatives aux véhicules conventionnels, qui allient les avantages des propulsions thermique et électrique, sont mises en place. Ces nouveaux véhicules sont nommés véhicules hybrides.

Les véhicules hybrides, s'ils sont très intéressants dans la problématique actuelle de réduction de la consommation de carburant et des émissions de polluants, nécessitent aussi d'avoir un contrôle adapté, par rapport aux objectifs à atteindre, et aussi à leur architecture. Le contrôle d'un véhicule hybride est en effet assez différent de celui d'un véhicule traditionnel, dans le sens où, celui-ci disposant de deux sources d'énergie. Un contrôleur "haut-niveau" doit déterminer quelle est la puissance que doit fournir chacun des deux moteurs. Le contrôle d'un véhicule hybride doit donc être adapté à son architecture et à ses fonctionnalités (possibilité de récupérer de l'énergie au freinage, de couper le moteur thermique tout en utilisant le moteur électrique pour la traction, etc...).

Le véhicule hybride envisagé pour les applications quotidiennes du transport associe donc une chaîne de traction basée sur un moteur thermique (essence, diesel) et une chaîne de traction électrique (batterie). Ils sont donc intermédiaires entre les véhicules thermiques conventionnels et les véhicules électriques.

Dans le but d'améliorer les performances des moteurs hybrides il est nécessaire d'avoir un modèle complet de propulsion hybride, notre étude consiste à modéliser les différents organes constituant un moteur hybride. Et nous avons intéressé au moteur électrique utilisé dans les véhicules hybrides de type machine synchrone à aimant permanent.

Le premier chapitre est un état de l'art sur les véhicules hybrides électriques ainsi que leurs différentes architectures.

Le deuxième chapitre traite la modélisation de la dynamique et les différents composants d'un véhicule hybride parallèle.

Le troisième chapitre présente les résultats de simulation de la machine synchrone à aimant permanent.

On termine par une conclusion générale et on mentionne nos perspectives.

Chapitre I

**Etat de l'art du véhicule
hybride parallèle**

I- 1 Définition du véhicule hybride

Une automobile hybride est une automobile faisant appel à deux stockages d'énergie embarqués distincts pour se mouvoir, dont l'un de nature électrique.

L'architecture la plus répandue pour ce type de véhicule hybride associe le moteur électrique à un moteur thermique, généralement à essence.

La nature réversible de la partie motrice électrique permet la récupération d'une partie de l'énergie cinétique du véhicule par freinage régénératif. Le moteur électrique devient alors générateur et produit de l'électricité en fournissant un couple résistant aux roues, laquelle est stockée dans une batterie d'accumulateurs ou de super condensateurs.

Les systèmes hybrides impliquent un surcoût de plusieurs milliers d'euros ainsi que d'énergie grise, lors de leur fabrication. En contrepartie, ils peuvent réduire les émissions directes de CO₂ par le véhicule de 15 à 30 %, lorsque utilisés en ville, où la circulation est erratique.

On définit communément trois familles d'architectures hybrides :

- Les hybrides parallèles, pour lesquels le moteur thermique fournit directement un couple aux roues,
- Les hybrides séries, où le moteur thermique n'est pas directement lié aux roues,
- Les hybrides combinés, dont l'architecture reprend les caractéristiques des hybrides série et parallèle.

Selon l'architecture choisie, le véhicule hybride peut exploiter plusieurs fonctionnalités qui peuvent participer à la réduction de la consommation de carburant, ou à la récupération d'énergie électrique.

I- 2 Historique du véhicule électrique hybride

En 1894, Paul Pouchain, un inventeur lillois conçoit une voiture avec un moteur à essence sous le capot et des moteurs électriques [1].

En 1899 Une autre automobile de ce type est présentée par les Établissements Pieper (de), de Liège. Étonnamment similaire dans ses caractéristiques aux hybrides modernes, elle utilise un moteur à pétrole de 3,5 chevaux qui entraîne directement les roues. Sur l'arbre de transmission, en amont d'une boîte de vitesses à engrenages à deux rapports avec embrayage, est intercalée une dynamo, selon le principe de l'hybride parallèle. Le moteur fonctionne toujours à pleine charge, la dynamo permet la charge d'accumulateurs, pour un poids de seulement 25 kg. Lorsque la tension de la dynamo est supérieure à celle de la batterie celle-ci est chargée sinon le courant électrique s'inverse et la dynamo se comporte alors comme un moteur électrique. La puissance de l'ensemble moteur-dynamo peut alors atteindre 6 ch.[3]



Automobile Pieper en 1900 avec une propulsion essence-électrique [4].

Plusieurs constructeurs se lancent, pendant la première décennie du vingtième siècle, dans ce qui est alors appelé l'automobile mixte, ou pétroléoélectrique, dont la Lohner-Porsche mixte, créée par Ferdinand Porsche en 1900 pour Ludwig Lohner (de) ou les Auto Mixte fabriquées sous la

marque GEM par Léonce Girardot. Aucun de ces coûteux modèles ne rencontrant le succès, la technologie disparaît avec la Première Guerre mondiale. Il faut attendre plus de 80 ans avant la mise sur le marché, en grande série, de la Toyota Prius, fin 1997 au Japon, dans une version commercialisée uniquement dans l'archipel. La troisième version de la Prius (modèle NHW20) a reçu le titre européen de voiture de l'année en 2005 [5].

Le coupé deux-places Honda Insight sorti en 1999 a été exporté aux États-Unis et dans quelques autres pays mais pas en France. Sans approcher le succès de la Prius, Honda commercialise depuis plusieurs années une version hybride dite IMA de la Honda Civic et un modèle spécifique, l'Insight.

En 2007, Toyota remporte avec sa Camry Hybride plusieurs prix d'importance dans le monde automobile, l'Association des journalistes automobiles du Canada ayant octroyé à la Camry Hybride 2007 les titres de voiture canadienne de l'année et de meilleure voiture familiale de plus de 30 000 \$ CAN et l'association canadienne des automobilistes le prix Pyramide 2007 CAA pour des initiatives environnementales.

Le constructeur français Peugeot a adopté une position originale en utilisant la structure existante d'un véhicule à traction Diesel en ajoutant deux moteurs électriques sur les roues arrière .

En 2018, Honda prévoyait la sortie de son véhicule hybride Honda Clarity qui présente la plus forte autonomie de conduite en mode tout électrique, jusqu'à 76 km. De plus, le constructeur vise à ce que les véhicules électriques représentent les deux tiers de ses ventes automobiles mondiales d'ici 2030 [8].

I-3 Principaux modes de fonctionnement (Tableau I-1)

Les véhicules hybrides disposant de plusieurs sources d'énergie pour assurer leur propulsion. Une propulsion hybride consiste à combiner un ou

plusieurs moteurs électriques avec un moteur thermique. Lorsque le véhicule est immobile, les deux moteurs sont à l'arrêt.

On distingue trois principaux modes de fonctionnement possibles. D'une façon très générale, on peut les résumer de la manière suivante :

I-3-1 Le mode thermique pur

Lorsqu'une accélération plus forte est demandée, le moteur thermique est démarré pour fournir le supplément de puissance et remplacer progressivement le moteur électrique, ce mode correspond à une propulsion intégralement assurée par le moteur thermique. Les performances en termes de consommation et de pollution sont alors similaires à celles d'un véhicule conventionnel ;

I-3-2 Le mode électrique pur

la mise en mouvement de la voiture est assurée par le moteur électrique seul, jusqu'à une vitesse maximum variant entre 70 à 130 km/h. Ce mode correspond à une propulsion intégralement assurée par le moteur électrique. Le véhicule est alors dit ZEV (Zero Emission Vehicle) et les performances en terme de dynamique et d'agrément de conduite sont similaires à celles d'un véhicule électrique. Ce mode conduit à plus ou moins long terme à la décharge des batteries.

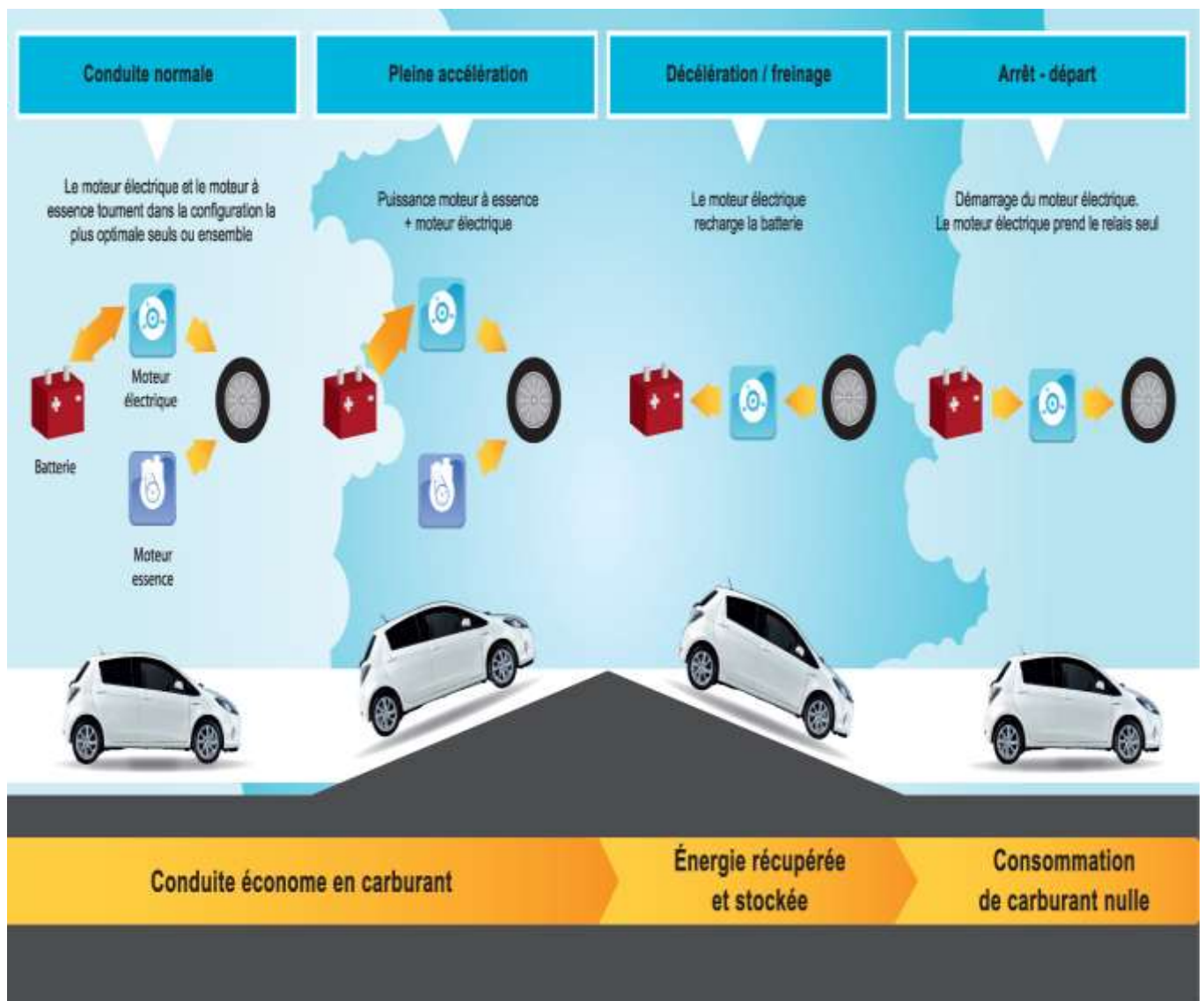
I-3-3 Le mode hybride :

En cas de demande de puissance importante (forte accélération ou forte pente), les deux moteurs fonctionnent simultanément pour additionner leurs couples moteurs.

En traction, l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule peut être délivrée soit par les deux moteurs, soit par le moteur thermique seul. Le moteur électrique est alors utilisé pour recharger les batteries en roulant.

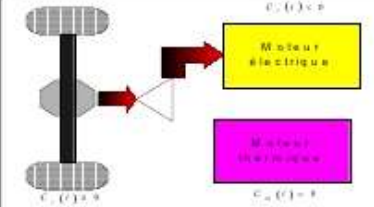
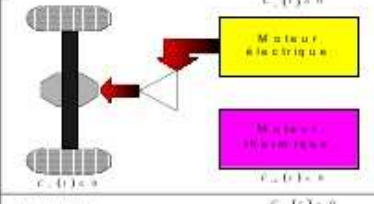
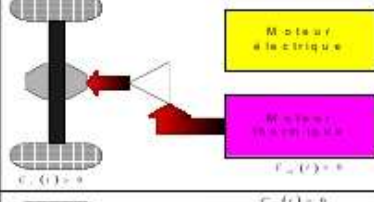
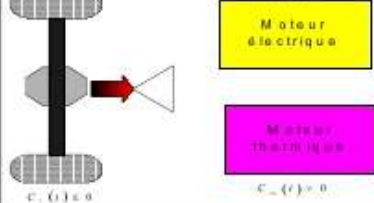
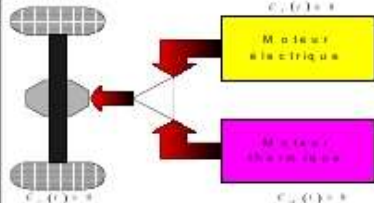
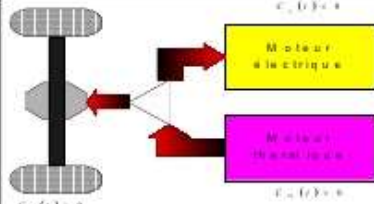
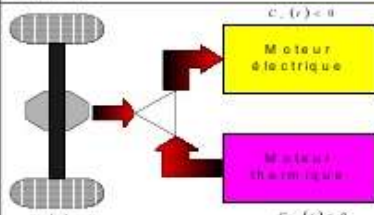
En phase de décélération ou de descente, le freinage régénératif permet au moteur/générateur de convertir une part de l'énergie cinétique en énergie électrique, rechargeant la batterie. Ce rôle de frein moteur peut être accru en forçant le moteur thermique à tourner sans injection de carburant, soulageant les freins mécaniques à friction. Celui-ci peut au contraire être arrêté pour réduire la consommation et la pollution, ce qui désactive son frein-moteur.

La figure I-1 présente le fonctionnement dynamique du VEH.



La figure I-1 Le fonctionnement dynamique du VEH

Tableau I-1

Mode électrique pur	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<u>Freinage récupératif en mode électrique pur :</u> L'énergie cinétique du véhicule est récupérée par le moteur électrique pour recharger les batteries.
	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<u>Traction en mode électrique pur :</u> Le moteur électrique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule.
Mode thermique pur	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<u>Traction en mode thermique pur :</u> Le moteur thermique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule.
	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<u>Freinage en mode thermique pur :</u> Le moteur thermique n'étant pas réversible, l'intégralité de l'énergie cinétique du véhicule est dissipée sous forme de chaleur dans les freins.
Mode Hybride	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<u>Traction du véhicule en mode hybride :</u> Les deux moteurs participent à la propulsion du véhicule.
			<u>Traction du véhicule en mode hybride :</u> Le moteur thermique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule ainsi qu'un supplément qui est récupéré par le moteur électrique afin de recharger les batteries.
	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<u>Freinage récupératif en mode hybride :</u> L'énergie cinétique du véhicule et l'énergie produite par le moteur thermique sont récupérées par le moteur électrique afin de recharger les batteries.

I-4 Les principales architectures d'un véhicule hybride

On distingue trois grandes familles d'architecture : série, parallèle et combinée. Une manière de différencier les deux premières est de considérer la nature du point de jonction entre les différentes chaînes de traction, appelé 'nœud'. Dans l'architecture 'Série', le nœud est électrique, dans l'architecture parallèle, il est mécanique.

I-4-1 Architecture série (VHS) [9]

Dans l'architecture série (figure I-2), la propulsion est intégralement assurée par un moteur électrique. Ce dernier peut être alimenté par les batteries et/ou par le groupe électrogène. Ce type d'architecture est souvent utilisé dans les bus hybrides. Une utilisation « naturelle » de ce type d'architecture consiste à augmenter l'autonomie d'un véhicule électrique par l'ajout d'un groupe électrogène. Cette architecture nécessite un moteur électrique relativement puissant car il assure à lui seul l'intégralité de la propulsion.

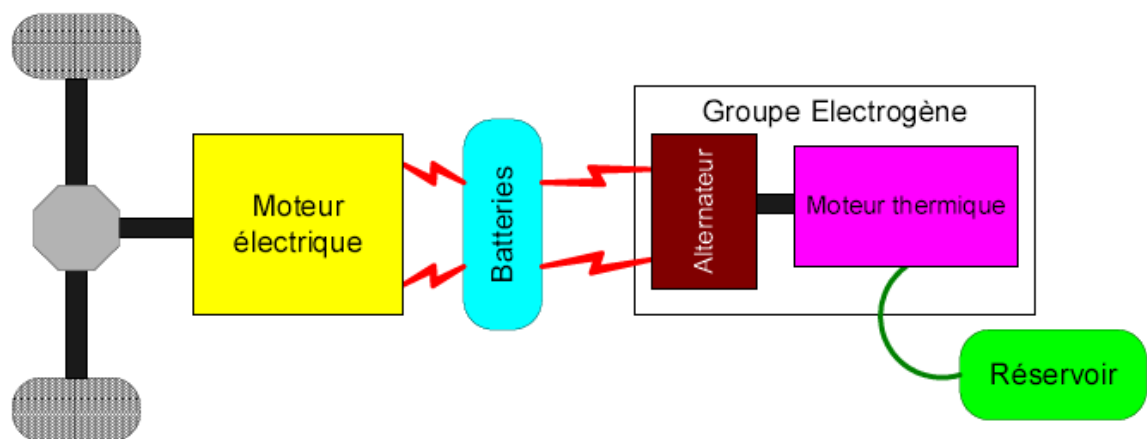


Figure I-2 Configuration Série

I-4-2 Architecture parallèle (VHP) [10]

La première idée est de faire deux véhicules en un. En bénéficiant des avantages de chacun. Le VHP (figure I-3) possède ainsi deux moteurs fonctionnant en parallèle : un électrique et l'autre thermique. Les deux moteurs sont utilisés 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 la 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.

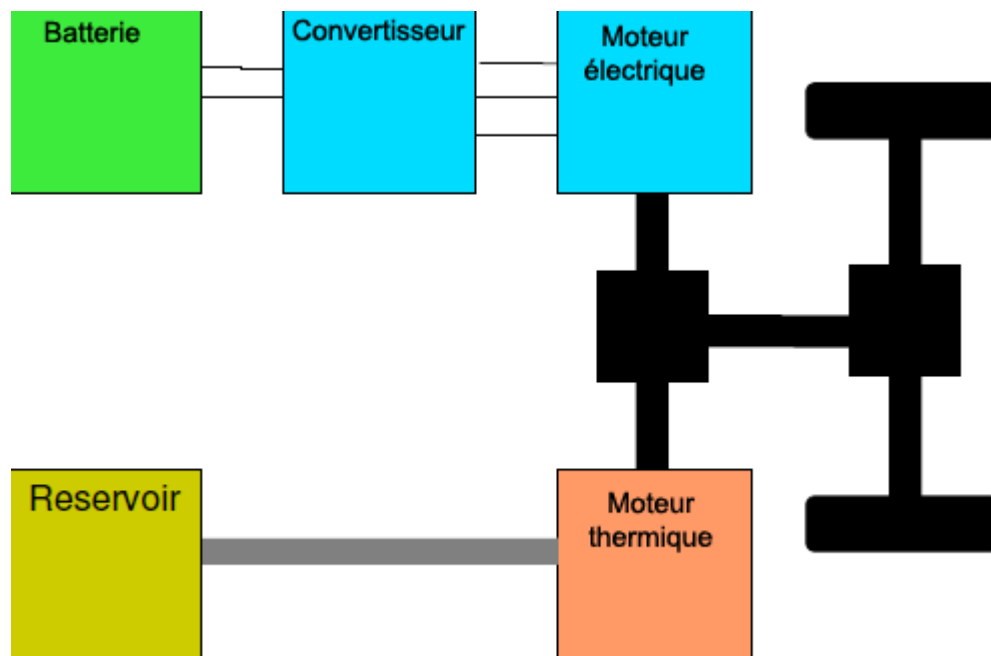


Figure I-3 Configuration Parallèle

I-5 Conclusion

Nous avons commencé dans ce chapitre par la définition du véhicule électrique hybride puis nous avons présenté l'état d'art sur le véhicule, ensuite ses différentes configurations. Dans notre projet nous intéressons sur la dernière configuration c'est véhicule électrique hybride parallèle. dans le chapitre suivant nous décrivons les différents éléments du véhicule avec leur modèle mathématique.

Chapitre II

Modélisation du véhicule hybride parallèle

II-1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de proposer un modèle de véhicule hybride. Vue la complexité du système nous étudierons le moteur électrique et en particulier le moteur synchrone à aimant permanent.

II-2 Modélisation de la dynamique du véhicule

II-2-1 Les forces de traction du véhicule

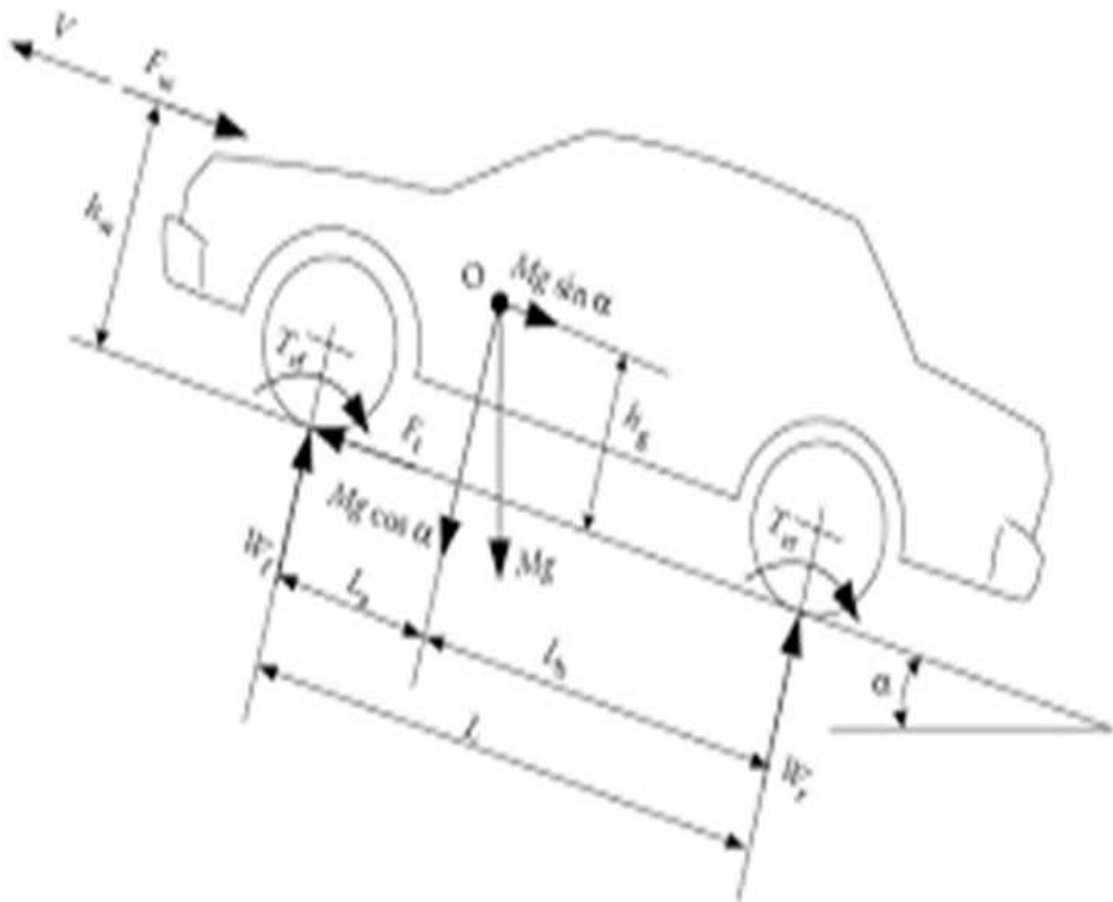


Figure II-1 les différentes force de traction du véhicule

Le comportement d'un véhicule en mouvement est le long de son sens de déplacement est déterminé par toutes les forces qui agissent sur lui dans la direction.

Le système de propulsion doit fournir un effort de traction au niveau de la roue égale à la somme des forces pour surmonter la traînée aérodynamique, la résistance au roulement et l'inclinaison de la route. Il doit également fournir l'effort nécessaire à l'accélération du véhicule. Selon les chercheurs [1], la force nécessaire à la traction du véhicule au niveau des roues est définie à partir des équations suivantes:

$$F_{\text{tot}} = F_w + F_r + F_h + F_a \quad \text{II-1}$$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho A_f C_w V_{\text{res}}^2 \quad \text{II-2}$$

$$F_r = m g C_r \cos \alpha \quad \text{II-3}$$

$$F_h = m g \sin \alpha \quad \text{II-4}$$

$$F_a = m \lambda \frac{dV_{\text{res}}}{dt} \quad \text{II-5}$$

Où la force due à

F_w est la force aérodynamique, F_r est la force de résistance au roulement, F_h l'inclinaison et F_a la force de l'accélération du véhicule.

V_{res} : vitesse relative du véhicule, $V_{\text{res}} = V + V_w$ avec V la vitesse du véhicule et V_w la vitesse du vent.

α : angle d'inclinaison

A_f : surface frontale du véhicule (m^2)

C_w : coefficient de frottement aérodynamique,

C_r : coefficient de résistance des roues au roulement,

m : la masse du véhicule (kg),

λ : facteur de masse qui dépend de la vitesse engagée,

ρ : densité de l'air (kg/m^3)

g : accélération gravitationnelle (m/s^2)

$$F_a = m \lambda \frac{dV_{res}}{dt} = \left[m + \sum J \left(\frac{i}{r} \right)^2 \right] \frac{dV_{res}}{dt} \quad \text{II-6}$$

Où J est le moment d'inertie au niveau de la circonférence de la roue motrice, i le rapport de la boîte de vitesse et r le rayon de la roue (m).

La force aérodynamique F_w est d'une part proportionnelle à C_w . ainsi, plus ce coefficient est réduit, le profil du véhicule est meilleur.

La force aérodynamique F_w est d'autre part proportionnelle à la surface frontale du véhicule A_f , ainsi une réduction de A_f minimise la consommation d'énergie.

Pour identifier les coefficients du modèle mécanique du véhicule, est de lancer le véhicule à une vitesse donnée et de laisser en roue libre (débrayer le moteur). A partir des équations précédentes, on obtient :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_w \times V_{res}^2 + mgC_r \times \cos \alpha + \\ & + m \times g \times \sin \alpha + m \times \lambda \times \frac{dV_{res}}{dt} = 0 \end{aligned} \quad \text{II-7}$$

Aucune vitesse n'étant enclenchée, on a $\lambda = 1$. Sachant que $\frac{dV_{res}}{dt} = \frac{dV}{dt} + \frac{dV_w}{dt}$

En considérant la vitesse du vent est constante donc :

$$\frac{dV_{res}}{dt} = \frac{dV}{dt} \quad \text{II-8}$$

La vitesse du vent n'est pas souvent prise en compte dans les études énergétiques des véhicules. Le modèle mécanique du véhicule peut comporter

donc trois variables d'entrée qui sont la vitesse du véhicule, son accélération et l'inclinaison de la route. La masse est un paramètre d'entrée du modèle qui dépend du dimensionnement de la chaîne de traction.

II-2-2 Modélisation du moteur thermique

Dans un véhicule hybride, le moteur thermique est considéré comme la première source de propulsion. Donc le critère de dimensionnement est le maintien de la vitesse de croisière demandée. En effet, la machine électrique est réservée pour les phases de démarrage et vient assister le thermique lorsque la demande de puissance augmente.

II-2-2-1 Boite de vitesse

En sortie de l'arbre du moteur électrique, un couple est disponible. Ce couple est transmis aux roues par l'intermédiaire de plusieurs éléments mécaniques. Le premier est la boîte de vitesse. Le système modélisé est celui d'un réducteur de vitesse ayant un rapport de transmission fixe.

Sachant que :

$$C_r \Omega_r = C_m \Omega_m = \text{cte} \quad \text{II-9}$$

$$\text{Donc} \quad c_r = \frac{C_m \Omega_m}{\Omega_r} \quad \text{II-10}$$

Le quotient $\frac{\Omega_m}{\Omega_r}$ est le rapport à appliquer au couple moteur C_m pour multiplier sa valeur, et il permet de calculer le couple C appliqué à l'arbre des roues. Il est nommé le rapport de transmission (r).

II-2-3 La modélisation de la Batterie

Ce modèle s'exprime, selon une convention génératrice, par la relation :

$$V = E_{\text{batt}} + R_{\text{batt}} I_{\text{batt}} \quad \text{II-11}$$

Les grandeurs E_{batt} et R_{batt} correspondent à des données de fournisseurs déterminées expérimentalement. Elles sont fonction de l'état de charge de la batterie, du sens du courant et de la température.

Si en multipliant les deux membres de cette égalité par I_{batt} , nous pouvons déduire facilement les pertes Joules ($R_{\text{batt}} I_{\text{batt}}^2$) engendrées par la résistance interne de la batterie R_{batt} , soit :

$$P_{\text{batt}} = V I_{\text{batt}} = E_{\text{batt}} I_{\text{batt}} + R_{\text{batt}} I_{\text{batt}}^2 \quad \text{II-12}$$

II-2-4 Différents types de la machine électrique utilisés dans les véhicules électriques hybride :

Le principe général de fonctionnement des machines électriques est basé sur l'interaction de deux champs magnétiques, l'un engendré par la partie fixe de la machine (stator), l'autre par la partie mobile (rotor). Il existe un grand nombre de réalisations pratiques qui permettent de classer les machines électriques en différentes catégories, et pour celles utilisées dans le domaine automobile on citera :

II-2-4 -1 Les machines à courant continu

Bien que leur usage soit en très nette régression, alimentées directement par le réseau de bord en courant continu sous 12V, elles restent très utilisées dans le domaine automobile pour assurer l'entraînement d'organes auxiliaires (ventilateur, lève vitre, essuie-glace, ...). Jusque dans les années 2005 [2], elles

ont été utilisées pour assurer la traction des véhicules électriques. Toutefois, les principaux inconvénients que sont l'usure des balais voire du collecteur qui nécessite un entretien périodique, et leur faible puissance spécifique ont conduit les concepteurs à développer des machines sans balais dit moteur « Brushless ».

II-2-4-2 Les machines asynchrones [3]

ces machines sont très largement répandues et représentent environ 80% du marché mondial des machines électriques. Leur simplicité de conception en fait un matériel très robuste qui ne demande que peu d'entretien. On les rencontre sur un très large spectre de puissance de quelques W (moteurs asynchrones monophasés) à plusieurs MW pour assurer la propulsion de sous-marins par exemple. Dans le domaine automobile, seule la société Tesla utilise cette technologie pour propulser son véhicule électrique nommé model "S". Aujourd'hui, bon nombre de constructeurs automobiles et d'équipementiers étudient ce type de machine qui pourrait à moyen terme remplacer les technologies de machines synchrones à aimants permanents ou à rotor bobiné.

II-2-4-3 les machines synchrones à aimants permanents [4]

Ce sont les plus répandues dans le domaine de la traction automobile. Ces dernières années un regain d'intérêt s'est porté sur les machines à aimants permanents car elles présentent des rendements particulièrement élevés. L'augmentation du prix des terres rares qui entrent dans la composition des aimants, imposée par la Chine qui en maîtrise plus de 90% de la production, a amené les constructeurs à étudier d'autres types de machines électriques. En particulier, les machines synchrones à rotor bobiné, dont le principe est utilisé depuis quelques dizaines d'années pour l'application des alternateurs, a fait l'objet d'évolutions récentes. Un onduleur s'est substitué au redresseur afin de

rendre ces machines réversibles pour assurer les fonctions de Stop and Start. Des développements se poursuivent actuellement pour en augmenter la puissance spécifique en jouant sur la tension (passage de 12V à 48V) et atteindre une puissance maximale d'une dizaine de kW pour offrir aux clients de nouvelles prestations accessibles aux MHEV.

II-2-4-4 les machines les machines à réluctance variable [5]

Si elles présentent un grand intérêt vis à vis de leur coût de production, la complexité de la commande, leurs fortes ondulations de couple et leurs émissions sonores n'ont pas permis d'envisager pour l'application automobile leur industrialisation. Des progrès techniques sont encore nécessaires pour passer du stade prototype à la commercialisation.

Selon les directives de notre encadreur, nous limiterons notre étude sur la machine synchrone à aimant permanent.

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le modèle dynamique du véhicule électrique hybride (VEH), en prenant chaque composant du VEH et nous avons déterminé les équations qui régissent le système tel que les forces de traction, la batterie, le moteur thermique et leurs éléments en fin nous décrivons les différentes machines électriques utilisées dans le domaine d'automobile.

Dans notre projet de fin étude nous limiterons sur la machine synchrone à aimant permanent, dans le chapitre suivant nous décrivons la modélisation de cette machine.

Chapitre III
Simulation du véhicule
hybride parallèle

III.1 Introduction :

Ce chapitre est basé sur la simulation de la dynamique du véhicule hybride parallèle est on s'intéresse au moteur électrique utilisé de type machine synchrone à aimant permanent avec son modèle mathématique et sa simulation.

III.2 Représentation globale du véhicule électrique hybride parallèle sous Simulink Matlab :

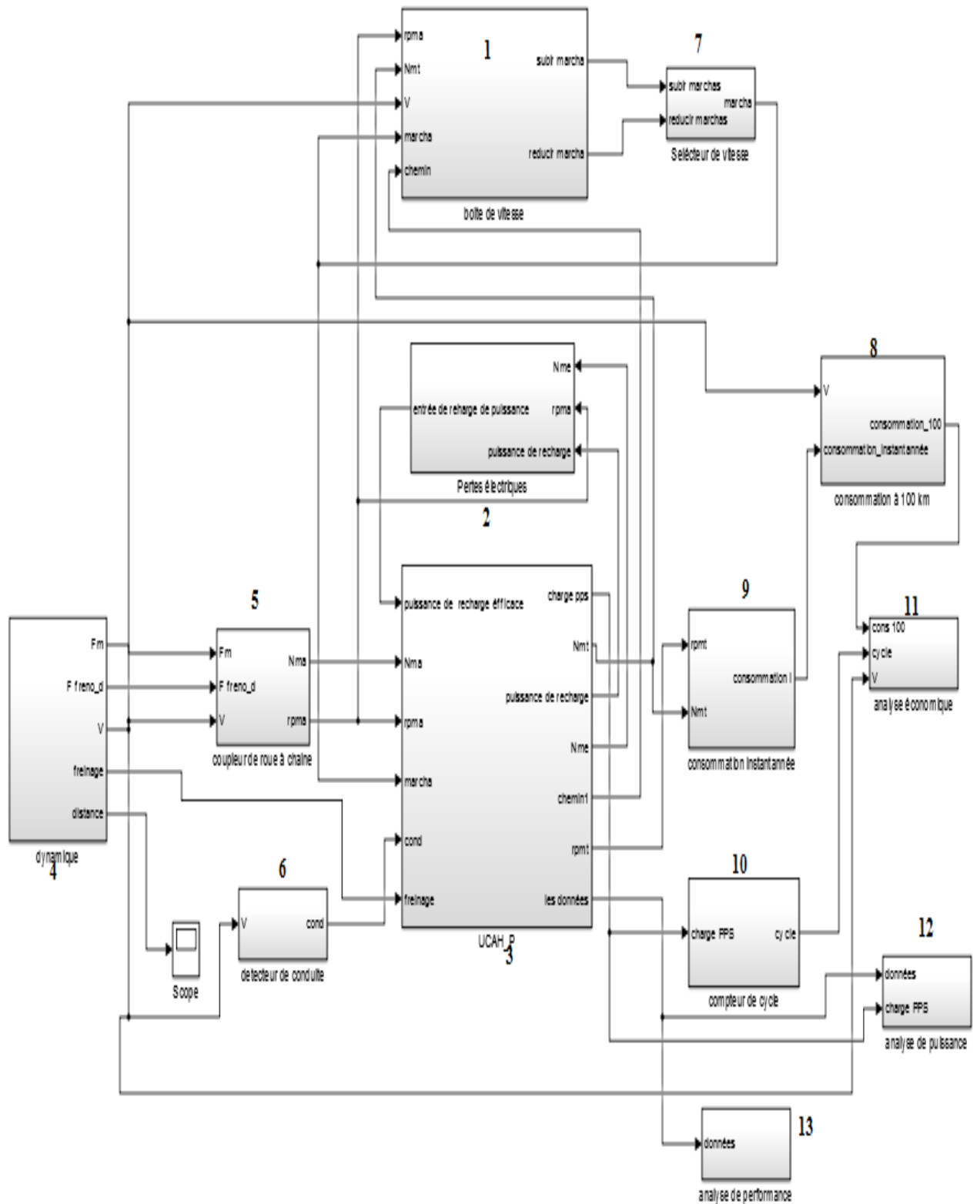
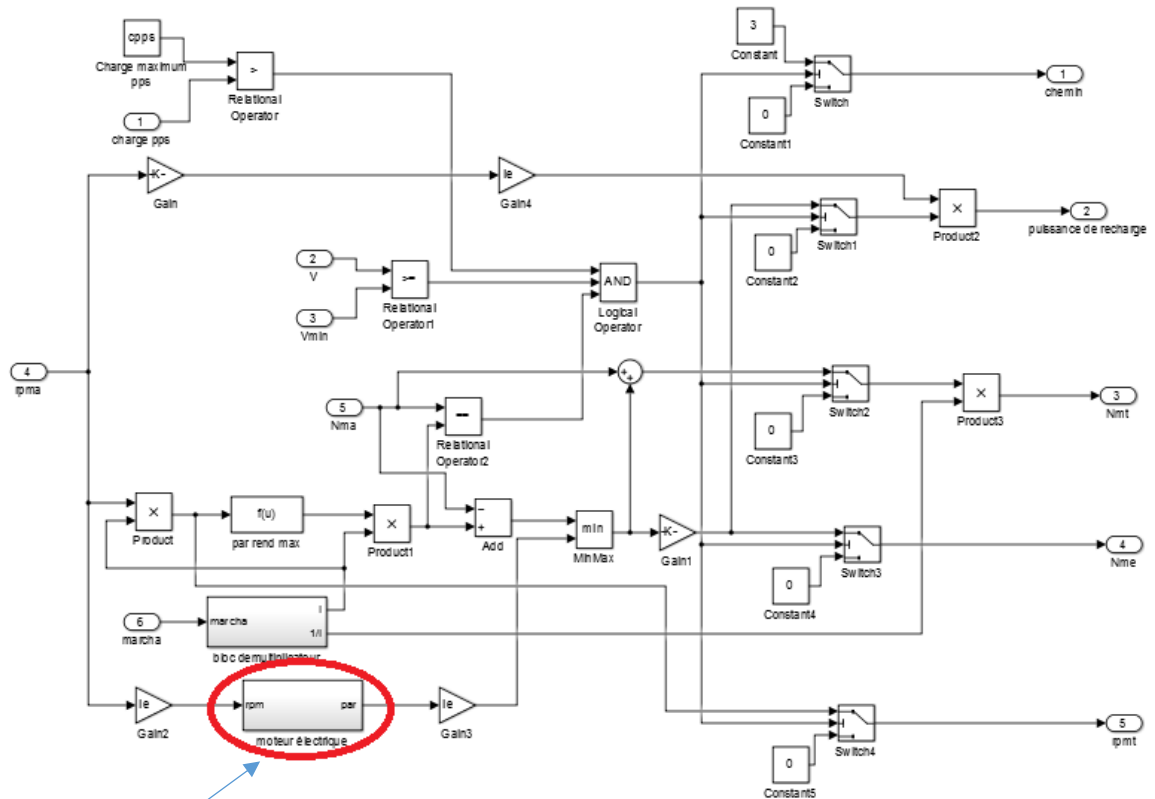


Figure III.1 : schéma global du VEHP

- 1 : boîte de vitesse.
- 2 : pertes électrique.
- 3 : Unité de contrôle de couplage hybride parallèle (UCAH-P).
- 4 : la dynamique.
- 5 : coupleur de roues à chaînes.
- 6 : détecteur de conduite.
- 7 : sélecteur de vitesse.
- 8 : consommation à 100km.
- 9 : consommation instantanée.
- 10 : compteur de cycle.
- 11 : analyse économique.
- 12 : analyse de puissance.
- 13 : analyse de performance.

La figure ci-dessus représente le schéma global du véhicule sur Simulink. mais nous nous intéressons au modèle de la machine synchrone à aimant permanent parce qu'elle est une composante nécessaire dans la chaîne de traction du véhicule électrique hybride parallèle.



Moteur électrique (MSAP)

Figure III.2 : représentation du bloc de mode de fonctionnement électrique.

III.3 modèle mathématique du MSAP :

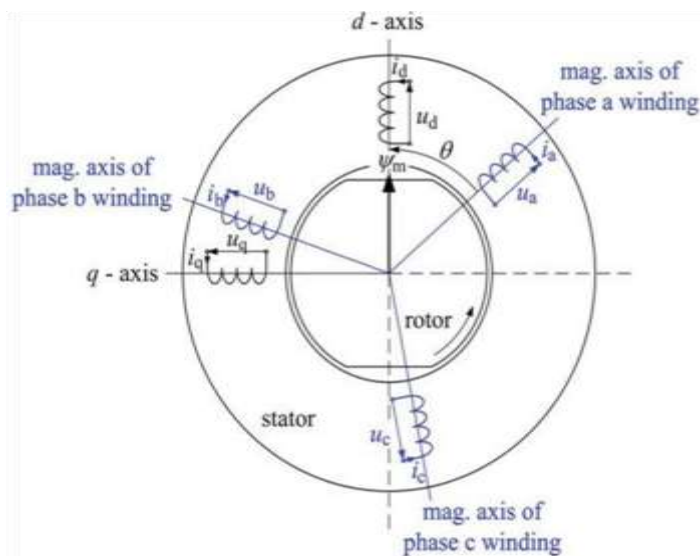


Figure III.3 : Représentation schématique d'une machine synchrone à aimant permanent.

Dans la MSAP, les inductances varient en fonction de l'angle du rotor. Le modèle

De circuit équivalent à deux phases (d-q) est utilisé pour l'analyse. La forme vectorielle spatiale de l'équation de tension de stator dans le cadre de référence stationnaire est donnée par :

$$v_s = r_s i_s + \frac{d\lambda_s}{dt} \quad \text{III.1}$$

Où r_s , v_s , λ_s sont la résistance de l'enroulement du stator, vecteurs spatiaux complexes des tensions, courants et liaisons de flux triphasés du stator, tous exprimés dans le cadre de référence fixe fixé au stator, respectivement. Ils sont définis comme :

$$v_s = [v_{sa}(t) + a v_{sb}(t) + a_2 v_{sc}(t)]$$

$$i_s = [i_{sa}(t) + a i_{sb}(t) + a_2 i_{sc}(t)] \quad \text{III.2}$$

$$\lambda_s = [\lambda_{sa}(t) + a \lambda_{sb}(t) + a_2 \lambda_{sc}(t)]$$

Avec a et a_2 sont des opérateurs spatiaux pour l'orientation des enroulements de stator, $a = e^{j2\pi/3}$ et $a_2 = e^{j4\pi/3}$. v_{sa} , v_{sb} , v_{sc} . Sont les valeurs des tensions de phase instantanée du stator. i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} sont les valeurs des courants de phase instantanés du stator. λ_{sa} , λ_{sb} , λ_{sc} sont les liaisons de flux de stator et sont données par:

$$\lambda_{sa} = L_{aa} i_a + L_{ab} i_b + L_{ac} i_c + \lambda_{ra}$$

$$\lambda_{sb} = L_{ab} i_a + L_{bb} i_b + L_{bc} i_c + \lambda_{rb} \quad \text{III.3}$$

$$\lambda_{sc} = L_{ac} i_a + L_{bc} i_b + L_{cc} i_c + \lambda_{rc}$$

où L_{aa} , L_{bb} et L_{cc} , sont les auto-inductances du stator a, b et c-phase respectivement. L_{ab} , L_{bc} et L_{ca} , sont les inductances mutuelles entre les phases ab, bc et ac respectivement λ_{ra} , λ_{rb} et λ_{rc} sont les liaisons de flux qui changent en fonction de l'angle du rotor établi dans les enroulements de phase du stator a, b et c respectivement en raison de la présence des aimants permanents sur le rotor. Ils sont exprimés comme :

$$\lambda_{ra} = \lambda_r \cos \theta$$

$$\lambda_{rb} = \lambda_r \cos(\theta - 120^\circ) \quad \text{III.4}$$

$$\lambda_{rc} = \lambda_r \cos(\theta + 120^\circ)$$

λ_r Représente la liaison de flux de crête due à l'aimant permanent. On l'appelle souvent la constante de dos-emf. Notez que dans les équations de liaison de flux, les inductances sont les fonctions de l'angle du rotor. Inductance propre de l'enroulement monophasé du stator, L_{aa} , y compris l'inductance de fuite et l'inductance mutuelle des phases a et b,

$$L_{ab} = L_{bc}$$

$$L_{aa} = L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos(2\theta) \quad \text{III.5}$$

$$L_{ab} = L_{ba} = \frac{1}{2} L_0 - L_{ms} \cos(2\theta)$$

Où L_{ls} est l'inductance de fuite de l'enroulement du stator due au flux de fuite d'induit. L_0 est l'inductance moyenne due au flux d'espace d'air fondamental dans l'espace; $L_0 = \frac{1}{2} (L_q + L_d)$, L_{ms} est la fluctuation d'inductance (saillance); en raison de la position du rotor en fonction du flux $L_{ms} = \frac{1}{2} (L_d - L_q)$. Similaire à celui de L_{aa} mais avec θ remplacé par $(\theta - 2\pi / 3)$ et $(\theta - 4\pi / 3)$ pour les phases b et c auto-inductances. L_{bb} et L_{cc} , peuvent également être obtenus de manière similaire. Toutes les inductances de stator sont représentées sous forme de matrice :

$$L_{ss} =$$

$$L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2\theta \quad -5L_0 - L_{ms} \cos(2\theta - \pi/3) \quad 5L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta + \pi/3)$$

$$-5L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta - \pi/3) \quad L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta - 2\pi/3) \quad -5L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta - \pi)$$

$$-5L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta + \pi/3) \quad -5L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta + \pi) \quad L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2(\theta + 2\pi/3)$$

III.6

Il ressort clairement de l'équation ci-dessus que les éléments de L_{ss} sont fonction de l'angle du rotor qui varie dans le temps au rythme de la vitesse de rotation du rotor. Dans un système équilibré triphasé sans circuit d'amortissement du rotor et connaissant les liaisons de flux, les courants de stator et les résistances du moteur, l'équation dynamique triphasée en termes de variables de phase peut être agencée sous forme de matrice, et écrit comme :

$$[v_s] = [r_s][i_s] + \frac{d[\lambda_s]}{dt} \quad \text{III. 7}$$

Ou

$$\begin{aligned} [v_s] &= [v_{sa}, v_{sb}, v_{sc}]t \\ [i_s] &= [i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}]t \\ [r_s] &= [r_{sa}, r_{sb}, r_{sc}]t \\ [\lambda_s] &= [\lambda_{sa}, \lambda_{sb}, \lambda_{sc}]t \end{aligned} \quad \text{III. 8}$$

v_s , i_s et λ_s se réfèrent aux tensions, courants et liaisons de flux triphasés du stator sous forme de matrice, comme indiqué dans l'équation précédant respectivement. De plus, toutes les résistances de phase sont égales et constantes, $r_s = r_a = r_b = r_c$

Comme L_{ss} présente une difficulté de calcul lorsqu'il est utilisé pour résoudre directement les quantités de phase. Pour obtenir les courants de phase à partir des liaisons de flux, l'inverse de la matrice d'inductance variant dans le temps devra être calculé à chaque pas de temps. Le calcul de l'inverse à chaque pas de temps prend beaucoup de temps et peut engendrer des problèmes de stabilité numérique. Pour supprimer les quantités variables dans le temps en tensions, courants, liaisons de flux et inductances de phase, les quantités de stator sont transformées en un référentiel tournant d-q en utilisant la transformation de Park. Il en résulte que les équations ci-dessus ont des coefficients invariants dans le temps. Les machines idéalisées ont les enroulements du rotor le long des axes d et q. Les

quantités d'enroulement de stator doivent être transformées d'un cadre de référence rotatif à rotor triphasé à biphasé d-q. La transformation de Park sert à transformer les quantités de stator en référentiel d-q, l'axe d aligné sur l'axe magnétique du rotor et l'axe q entraînant l'axe d de $\pi / 2$, comme indiqué à la Fig. La transformation originale de d-q Park $[T_{dq0} \theta_r]$ est appliquée aux quantités de stator n dans l'équation $[v_s]$ est donnée par:

$$[v_{dq0}] = [T_{dq0}(\theta_r)] [v_s]$$

$$[i_{dq0}] = [T_{dq0}(\theta_r)] [i_s] \quad \text{III.9}$$

$$[\lambda_{dq0}] = [T_{dq0}(\theta_r)] [\lambda_s]$$

Ou

$$[v_{dq0}] = [v_d v_q v_0]$$

$$[V_{dq0}] = [T_{dq0}(\theta_r)] [r_s] [T_{dq0}(\theta_r)]^{-1} [i_{dq0}] + [T_{dq0}] P [T_{dq0}(\theta_r)]^{-1} [T_{dq0}] \quad \text{III.10}$$

$$[T_{dq0}(\theta_r)] [r_s] [T_{dq0}(\theta_r)]^{-1} [i_{dq0}] = r_s [i_{dq0}]$$

Le modèle de PMSM sans enroulement de registre a été développé en utilisant les hypothèses suivantes :

- La saturation est négligée.
- Les champs électromagnétiques induits sont sinusoïdaux.
- Les pertes par courants de Foucault et par hystérésis sont négligeables.
- Il n'y a pas de dynamique de courant de champ.

Les équations de tension sont données par :

$$v_d = R_s i_d - \omega_r \lambda_q + \frac{d\lambda_d}{dt} \quad \text{III. 11}$$

$$v_q = R_s i_q - \omega_r \lambda_d + \frac{d\lambda_q}{dt}$$

$$\lambda_{d\lambda} = L_d i_d + \lambda_f$$

$$\lambda_q = L_q i_q$$

Equation de substitution on remplace ces derniers dans v_d et v_q :

$$V_d = R_s i_d - \omega_r L_q i_q + (L_d i_d + \lambda_f) \quad \text{III. 12}$$

$$V_q = R_s i_d - \omega_r L_q i_q + (L_q i_q)$$

Le couple développé est donné par :

$$T_e = 1.5(P/2)(\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \quad \text{III. 13}$$

L'équation mécanique du couple est :

$$T_m = T_L + B\omega_m + J \left(\frac{d\omega_m}{dt} \right) \quad \text{III. 14}$$

Résolution de la vitesse mécanique du rotor à partir de l'équation :

$$\omega_m = \int \left(\frac{T_m - T_L - B\omega_m}{J} \right) dt \quad \text{III. 15}$$

$$\omega_m = \omega_r (2/p)$$

Dans les équations ci-dessus, ω_r est la vitesse électrique du rotor, où ω_m est la vitesse mécanique du rotor.

III.4 Résultats de la simulation de MSAP :

III.4.1 présentation du bloc de Simulink :

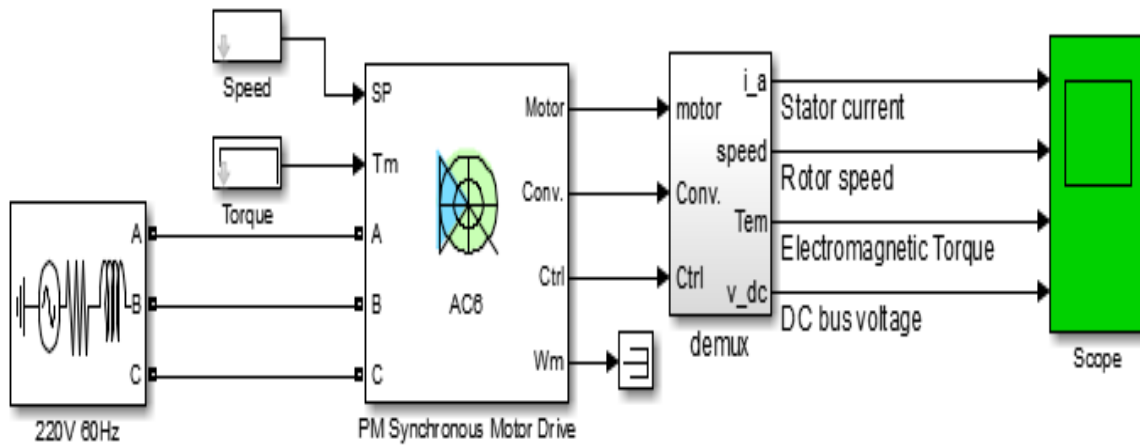


Figure III.4 : bloc du moteur électrique sous Simulink.

Le moteur synchrone PM est alimenté par un inverseur de source de tension PWM, construit à l'aide d'un bloc-pont universel. La boucle de contrôle de vitesse utilise un régulateur PI pour produire les références de flux et de couple pour le bloc de contrôle vectoriel. Le bloc de contrôle vectoriel calcule les trois courants de la ligne de moteur de référence correspondant aux références de flux et de couple, puis alimente le moteur avec ces courants à l'aide d'un régulateur de courant triphasé.

Les signaux de courant, de vitesse et de couple du moteur sont disponibles à la sortie du bloc.

Paramètres du MSAP :

$P=2238\text{w}$, $N=1800\text{tr/min}$, $U= 300\text{v}$, $F=50\text{HZ}$.

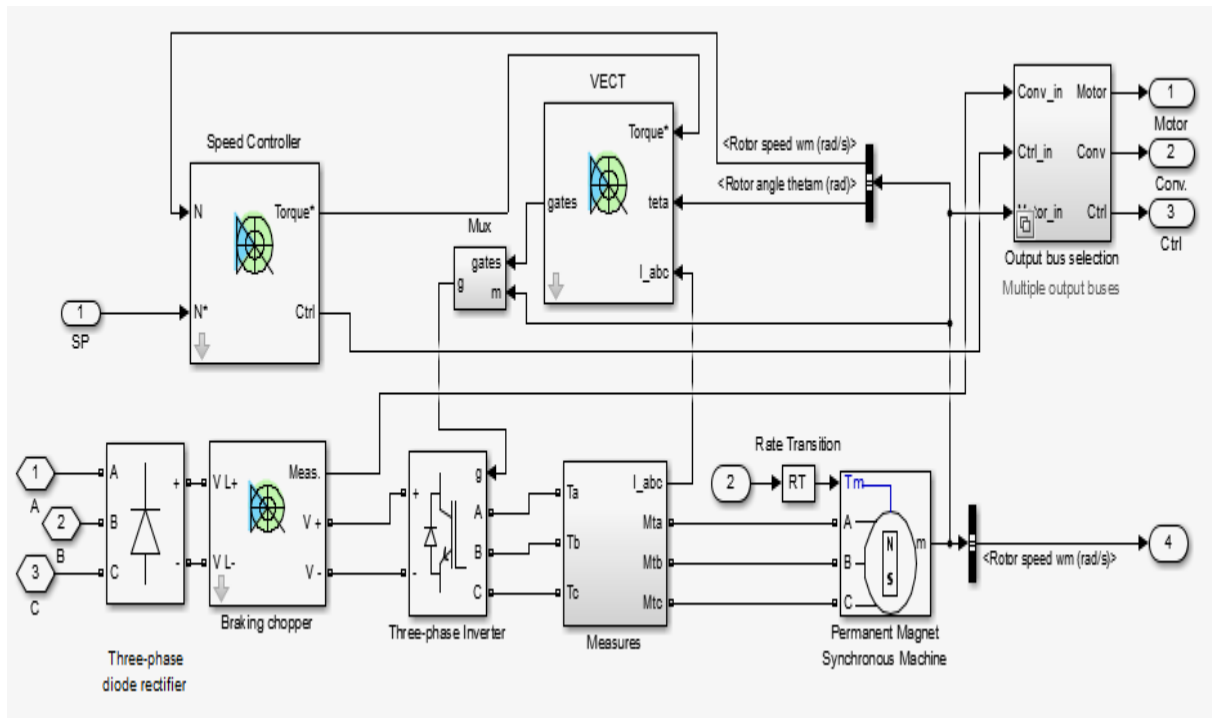


Figure III.5 : représentation du block PM synchrones moteur drive.

III.4.2 Description du bloc MSAP :

Le bloc Machine synchrone à aimant permanent fonctionne en mode générateur ou en mode moteur. Le mode de fonctionnement est dicté par le signe du couple mécanique (positif pour le mode moteur, négatif pour le mode générateur).

Le flux établi par les aimants permanents dans le stator est sinusoïdal, implique que les forces électromotrices sont sinusoïdales.

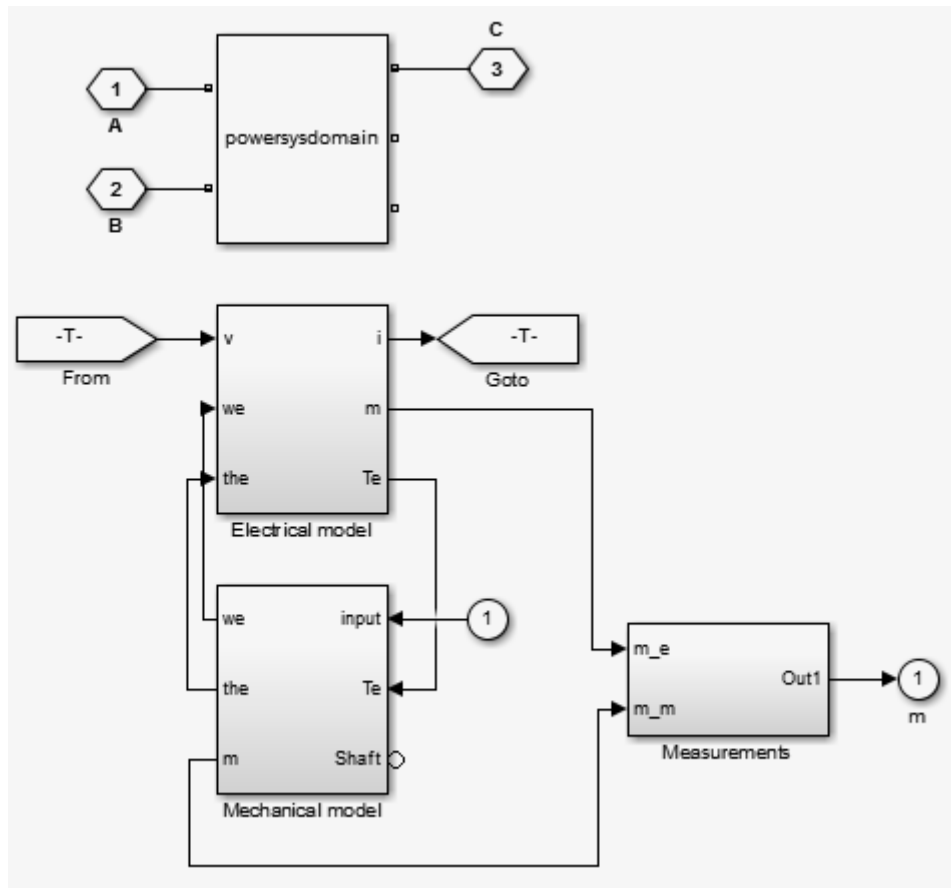
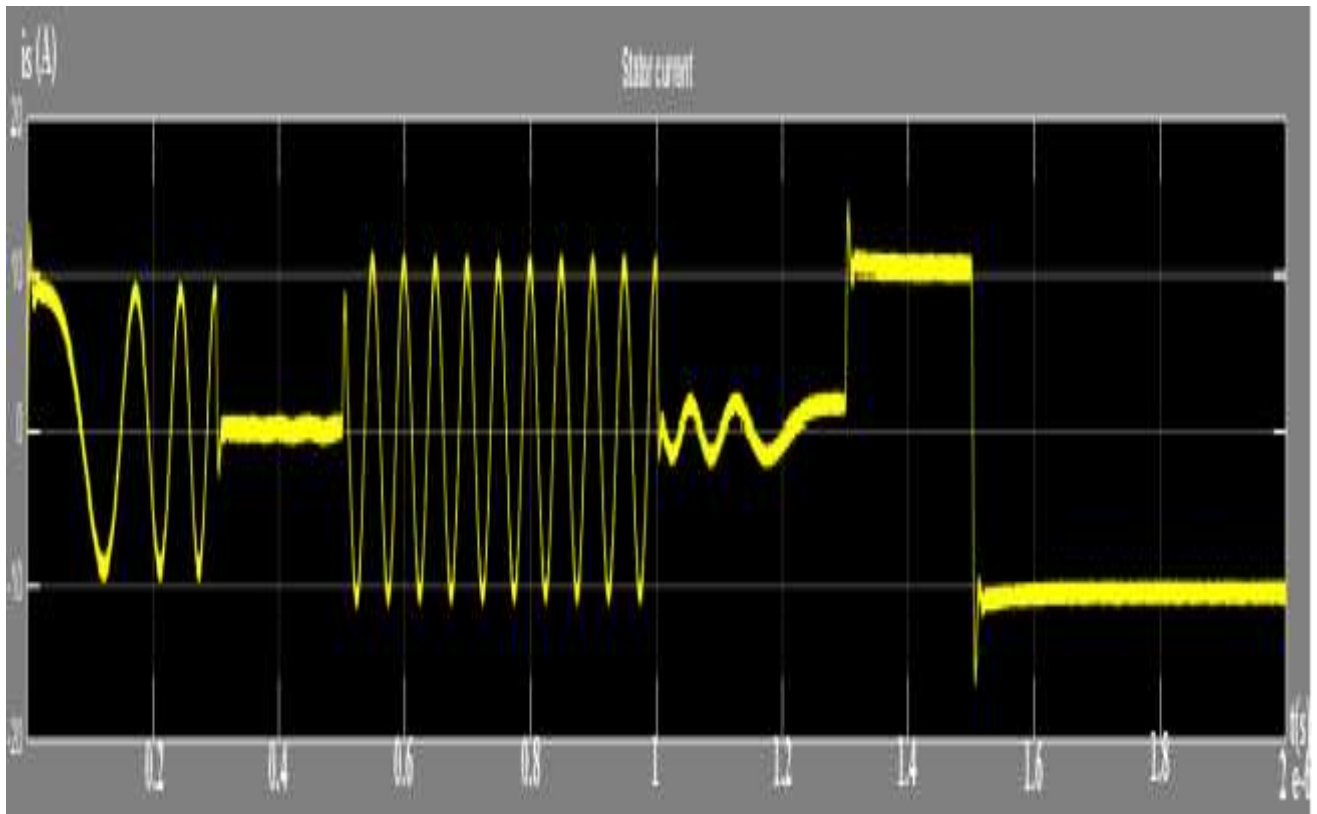


Figure III.6 : block de la machine synchrone à aimant permanent.

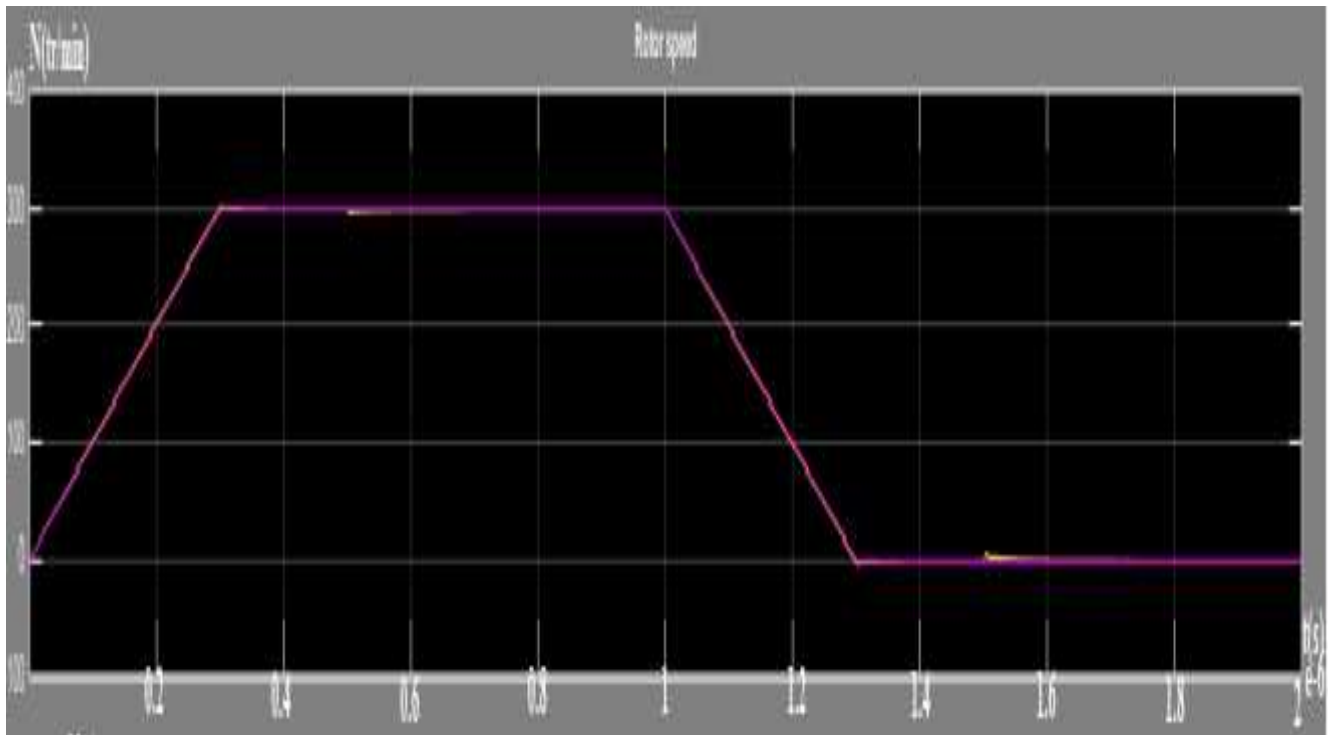
III.4.3 Interprétation :

Si la simulation est lancée. Nous pouvons observer le courant du stator du moteur, la vitesse du rotor et le couple électromagnétique sur l'oscilloscope. Le point de consigne de vitesse et le point de consigne de couple sont également indiqués.

Courant du stator :

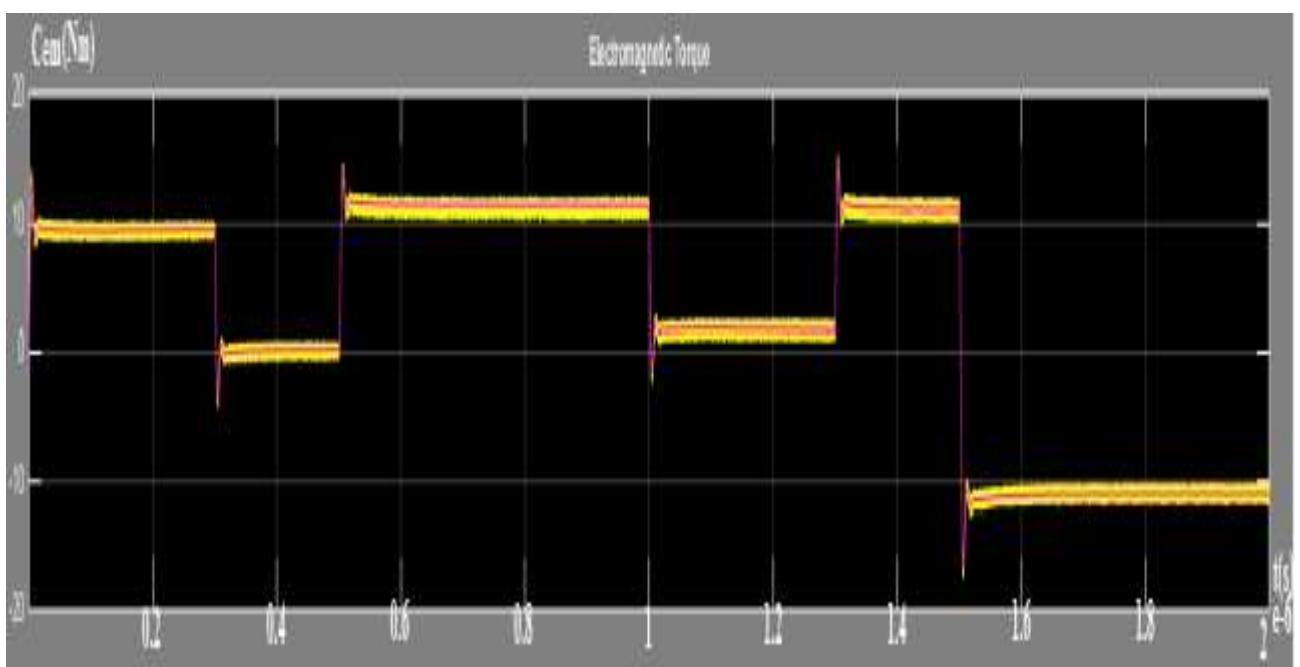
À l'instant $t=0.5$ (s) le courant du stator est nul. Nous pouvons observer que le courant suit une forme sinusoïdale.

À l'instant $t=1.5$ (s) le courant du stator passe de 10 A à -10A et le couple électromagnétique prend la même forme du courant.

La vitesse du rotor :

À l'instant $t = 0$ s, le point de consigne de la vitesse est 300 tr / min. Observons que la vitesse suit précisément la rampe d'accélération.

À $t = 1$ s, le point de consigne de vitesse passe à 0 tr / min. La vitesse diminue jusqu'à 0 tr / min en suivant précisément la rampe de décélération.

Le couple électromagnétique :

À $t = 0,5$ s, le couple à pleine charge est appliqué au moteur. Nous pouvons observer une légère perturbation de la vitesse du moteur, qui se stabilise très rapidement.

À $t = 1,5$ s, la charge mécanique passe de 11 Nm à -11 Nm. La vitesse du moteur se stabilise très rapidement après un petit dépassement.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté nos résultats de simulation de la machine synchrone à aimant permanent, cette dernière qui intervient comme une composante importante dans la chaîne de traction véhicule électrique hybride parallèle.

Nous avons conclu que la commande classique de cette machine présente des inconvénients, parmi ces inconvénients est l'oscillation du couple électromagnétique, ce qui nous ramène à envisager une commande avancée.

Conclusion générale

Conclusion générales et Perspectives

Durant ces dernières années le réchauffement climatique est au cours des débats écologiques, et les véhicules routiers avec leurs émissions de gaz carbonique CO₂, sont mis de l'avant comme l'un des causes majeurs de ce phénomène. Ainsi, depuis peu, des nouvelles structures alternatives aux véhicules conventionnels, qui allient les avantages des propulsions thermique et électrique, sont mises en place, ces nouveaux véhicules sont nommés véhicule hybride. C'est l'objet de notre travail.

Dans le premier chapitre, un état de l'art sur les véhicules hybrides, leurs types et les différentes architectures existantes, les avantages et les inconvénients de ces configurations.

Dans le deuxième chapitre, nous avons fait une description des divers organes constituant un véhicule hybride et en particulier Parallèle, par la suite le modèle dynamique de la chaîne de traction du véhicule. Vu la complexité du système nous avons abordé le moteur synchrone à aimant permanent.

Le troisième chapitre présente nos résultats de simulation sur la machine synchrone à aimant permanent, nous avons conclu que la commande classique présente des inconvénients, c'est l'oscillation du couple électromagnétique qui génèrent des harmoniques et par conséquent le bruit de la machine. Ces derniers représentent des contraintes sur les performances du véhicule.

Pour réduire ces pulsations nous suggérons aux futurs étudiants d'introduire une commande avancée pour atteindre l'objectif : améliorer les performances du véhicule.

Résumé :

Ce travail est consacré à la modélisation et à la simulation d'un véhicule électrique hybride ayant deux sources d'énergies : un moteur thermique et une motorisation électrique. Ce mémoire traite dans un premier temps, l'état de l'art sur les véhicules électriques hybrides et les différentes architectures pour la modélisation, Le modèle du véhicule construit pour la simulation consiste à assembler le moteur électrique utilisé de type machine synchrone à aimant permanent.

Mot clés : véhicule hybride, moteur thermique, moteur synchrone a aimants permanents.

Bibliographies:

[1] M.MOKUKCU <<Optimisation énergétique d'un véhicule hybride>>. Université Paris-Saclay, 2018.

[2] T.VANDEWATTYNE, Q. DEPOERS, 2012 <<Les voitures hybrides>>.

[3] B.AMROUCHE <<Étude et commande des véhicules hybrides parallèles>>. Thèse de Master, université A.MIRA Bejaïa.

[4] S.GUENIDI <<Modélisation, commande et gestion de l'énergie d'un véhicule électrique hybride>>.

<https://www.researchgate.net/publication/233414895>, 2011.

[5] T.MESBAHI <<Influence des stratégies de gestion d'une source hybride de véhicule électrique sur son dimensionnement et sa durée de vie par intégration d'un modèle multi-physique>>. Thèse de Doctorat, université centrale de Lille, 2016.

[6] D.HERVE (2005), *La motorisation d'un véhicule hybride*, 139, 2, 3, 6, 7.

[7] N.MARC <<Méthodologie de dimensionnement d'un véhicule hybride électrique sous contrainte de minimisation des émissions de CO₂>>. Université d'Orléans, 2013.

[8] N.MUBAYED, F. CHEHADI <<Gestion de l'énergie dans un véhicule hybride parallèle>>. Thèse de Doctorat, université Libanaise, Hadath, 2013.

[9] B.AFIFI, A.L.RÉTIF, D.STAMBOULI, Q.LENGLET, T.QUERREC, LTSETOGLOU <<Les moteurs hybrides pour les véhicules automobiles>>, 2015.

[10] V.REINBOLD <<Méthodologie de dimensionnement d'un moteur électrique pour véhicules hybrides>>. Thèse de Doctorat, université de Grenoble, 2014.

[11] J.SCORDIA <<Approche systématique de l'optimisation du dimensionnement et de l'élaboration de lois de gestion d'énergie de véhicules hybrides>>. Thèse de Doctorat, université d'Henri Poincaré - Nancy 1.

[12] F. ROY <<Optimisation énergétique de chaînes de traction électrifiées>>. Thèse de Doctorat, université Pierre et Marie Curie, 2015.

[13] G.SOUFFRAN << Dimensionnement de la chaîne de traction d'un véhicule électrique hybride basé sur une modélisation stochastique de ses profils de mission>>. Université de Nantes, 2012.

[14] G.ROUSSEAU <<Véhicule hybride et commande optimale>>. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.

[15] S. DELPRAT <<Evaluation de stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèles>>. Thèse de Doctorat, université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2002.

[16] I.TIHAMI, Y.BAHRIA<<Etude des performances d'un véhicule hybride>>. Thèse de Master, université Kasdi Merbah – Ouargla, 2017.