



Mustapha Habib

# Commande et gestion d'énergie d'une alimentation hybride

Application au véhicule électrique

## SOMMAIRE

ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	6
LISTE DES FIGURES.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	12
INTRODUCTION GENERALE.....	13

### CHAPITRE I

#### Généralités sur les véhicules électriques multi-sources VEMS

I1.	Introduction.....	15
I2.	Pourquoi un véhicule électrique multi-sources ?.....	15
I3.	Structure générale d'un véhicule électrique.....	16
I4.	Description de la source principale d'énergie, la pile à combustible.....	17
I4.1.	Historique.....	17
I4.2.	Principe de fonctionnement.....	18
I4.3.	Types des piles à combustible.....	19
I4.4.	PàC de type PEM (PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell).....	20
I4.4.1.	Description d'une cellule de type PEM.....	21
I5.	Système pile à combustible destiné pour la propulsion électrique.....	22
I5.1.	Véhicule à pile à combustible.....	24
I5.1.1.	Dynamique du système pile à combustible.....	24
I5.1.2.	Dimensionnement du système PàC.....	25
I5.2.3.	Démarrage à froid du système PàC.....	25
I5.2.	Véhicule hybride à pile à combustible.....	25
I5.2.1.	Assister en puissance la pile à combustible.....	25
I5.2.2.	Récupérer l'énergie cinétique lors des freinages.....	25
I5.2.3.	Introduire un degré de liberté dans la répartition des puissances.....	25
I5.3.	Différents architectures d'un véhicule hybride à PàC.....	27
I6.	Description de la source d'énergie secondaire, batterie.....	29
I6.1.	Généralités sur la batterie électrochimique.....	29
I6.2.	Accumulateur au plomb-acide.....	30
I7.	Supercondensateurs.....	32
I7.1.	Généralités.....	32
I7.2.	Constitution.....	32
I8.	Énergie vs Puissance : batterie ou supercondensateur ?.....	34
I9.	Conclusion.....	35

### CHAPITRE II

#### Modélisation et dimensionnement des différentes sources d'énergie

II.1	Introduction.....	36
II.2	Modèle de la pile à combustible PEM.....	36
II.2.1	Caractéristiques statiques d'une cellule de la PàC.....	36
II.2.1.1	La tension à vide de la pile à combustible équation de Nernst.....	37
II.2.1.2	Les pertes d'activation.....	38
II.2.1.3	Les pertes ohmiques.....	40

II.2.1.4	Les pertes de concentrations.....	41
II.2.1.5	Tension aux bornes d'une PàC .....	42
II.2.2	Simulation du modèle de tension de la pile à combustible.....	43
II.3	Modélisation de la batterie .....	48
II.3.2	Le modèle du circuit équivalent.....	48
II.4	Modèle du supercondensateur.....	49
II.4.1	Modèle du circuit équivalent.....	49
II.5	Dimensionnement des sources d'énergie.....	50
II.5.1	Dimensionnement de la PàC .....	51
II.5.1.1	Puissance maximale de la PàC.....	51
II.5.1.2	Nombre de cellule en série de la PàC .....	51
II.5.1.3	Détermination de la surface des cellules.....	52
II.5.2	Dimensionnement du pack de batteries.....	53
II.6	Conclusion.....	54

### CHAPITRE III

#### Interface de puissance et lois de commande

III.1.	Introduction.....	55
III.2.	Topologies d'hybridation choisies.....	55
III.2.1.	Présentation de la partie électrique du véhicule.....	55
III.2.2.	Choix du convertisseur associé à la pile à combustible.....	57
III.2.3.	Choix du convertisseur associé à l'élément de stockage.....	58
III.3.	Topologies des convertisseurs de puissance associés aux sources.....	58
III.3.1	Convertisseur associé à la PàC.....	58
III.3.1.2.	Contraintes imposées par la PàC.....	58
III.3.2.	Boost entrelacé à deux phases.....	59
III.3.2.1	Principe de fonctionnement.....	59
III.3.2.2.	Contraintes sur les semi-conducteurs.....	60
III.3.2.3.	Dimensionnement.....	63
III.3.3.	Convertisseur associé à l'élément de stockage.....	64
III.4.	Modélisation et commande des convertisseurs.....	65
III.4.1.	Modèle mathématique du convertisseur DC-DC boost entrelacé.....	65
III.4.2.	Commande du hacheur associé à la pile à combustible.....	66
III.4.3.	Modèle mathématique du convertisseur DC-DC buck-boost.....	67
III.4.4.	Commande du convertisseur buck-boost.....	68
III.5.	Commande quadratique linéaire LQR.....	69
III.5.1	Modèle d'état du convertisseur boost entrelacé.....	69
III.5.2.	Conception d'un régulateur LQR.....	72
III.5.2.1.	Critère de stabilité.....	72
III.5.2.2.	Critère d'optimalité.....	73
III.5.3.	Optimisation du régulateur LQR par les algorithmes génétiques .....	73
III.6.	Résultats de simulation.....	74
III.6.1	Commande en courant (puissance).....	74
III.6.2	Commande en tension .....	77
III.7	Conclusion .....	79

**CHAPITRE IV**  
**Stratégies de gestion d'énergie dans un VEMS**

1			
2			
3			
8	IV.1.	Introduction.....	80
8	IV.2.	la notion de la gestion d'énergie.....	80
9	IV.3.	Généralités sur les stratégies de gestion d'énergie utilisées dans les VEMS.....	81
9	IV.4.	Estimation de la puissance de traction d'un véhicule .....	83
10	IV.4.1.	Cycle d'entraînement.....	83
11	IV.4.2.	Dynamique du véhicule.....	84
11	IV.5.	Stratégies de gestions d'énergie.....	86
11	IV.5.1.	Architecture PaC/Batterie à un seul degré de liberté.....	86
52	IV.5.2.	Architecture PaC/Batterie à deux degrés de liberté.....	89
53	IV.5.2.1.	Gestion d'énergie par hystérésis .....	90
54	IV.5.2.2.	Gestion d'énergie par la séparation fréquentielle .....	92
	IV.5.2.3.	Gestion d'énergie à base de règles.....	94
	IV.5.2.4.	Gestion d'énergie à base de règle optimisée par l'OEP.....	96
	IV.5.2.5.	Gestion d'énergie à base de règles floues.....	98
55	IV.5.3.	Architecture PaC/Batterie/SC à deux degré de liberté.....	100
55	IV.5.4.	Architecture PaC/Batterie/SC à trois degrés de liberté.....	103
55	IV.6.	Discussion et commentaires des résultats.....	106
57	IV.7.	Conclusion.....	107
58		<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>109</b>
58		<b>ANNEXE A</b>	
58		<b>ANNEXE B</b>	
59		<b>ANNEXE C</b>	
59		<b>ANNEXE D</b>	
60		<b>ANNEXE E</b>	
63		<b>ANNEXE F</b>	
64		<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
65			
65			
66			
67			
68			
69			
69			
72			
72			
73			
73			
74			
74			
77			
79			

L'objectif de ce travail est de focaliser la lumière sur les stratégies de stockage et de récupération d'énergie dans un véhicule électrique multi-sources: pile à combustible, batterie et supercondensateur. Pour bien entamer l'étude, un modèle électrochimique a été développé pour la pile à combustible de type PEM. Des modèles plus simples à base de circuits équivalents sont utilisés pour la batterie et le supercondensateur. Dans le niveau bas de control ou la commande rapprochée des convertisseurs, une commande quadratique linéaire LQR est développée pour le convertisseur DC-DC boost entrelacé de la pile à combustible. Pour les convertisseurs buck-boost des sources auxiliaires, une commande PI classique est utilisée. Dans le niveau haut de control, plusieurs topologies d'hybridation sont étudiées avec leurs stratégies de gestion d'énergie associées. Parmi ces stratégies, on cite: la gestion d'énergie à base de règle. La gestion à base de règles floues. La gestion d'énergie à base de règles optimisée par l'OEP.



Chercheur algérien, il a obtenu son diplôme d'ingénieur en électromécanique en 2005 de l'université de Djelfa, Algérie, et son diplôme de magistère en génie électrique en 2014 de l'école militaire polytechnique EMP, Algérie. Actuellement, il est doctorant à l'université des sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, Algérie.

Horizon Education



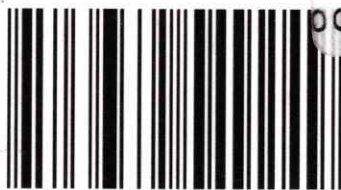
9783639549249

COMMANDE ET GEST  
BLTEC

4/08/17

D  
0  
0  
1

0001



978-3-639-54924-9