République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'El-Oued

Faculté des Sciences et de la Technologie

N° d'Ordre :

N° de Série :

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

Magister en Electrotechnique

Option : Maîtrise d'Énergie

Par :

BENAOUADJ Mahdi

**CONTROLE D'UNE SOURCE HYBRIDE
BATTERIES/SUPERCONDENSATEURS, RECHARGEE PAR
L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE, POUR TRACTION
ÉLECTRIQUE « VEHICULE HYBRIDE »**

Soutenu le : 15/10 /2012 devant le jury composé de :

Président	BENATTOUS Djilani	M.C	U. El-Oued
Rapporteur	ABOUBOU Abdennacer	M.C	U. Biskra
Examineurs	MOUSSI Ammar	Pr	U. Biskra
	BAHRI Mebarek	M.C	U. Biskra
Invité	SRAIRI Kamel	Pr	U. Biskra

Table des matières

Chapitre I : Production et Stockage de l'énergie électrique photovoltaïque

I.1 Introduction.....	5
I.2 Production de l'énergie électrique photovoltaïque	5
I.2.1 Le rayonnement solaire.....	5
I.2.2 La cellule photovoltaïque.....	7
I.2.2.1 Généralités.....	7
I.2.2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	8
I.2.2.3 Différentes technologies des cellules photovoltaïques	9
I.2.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	11
I.2.2.5 Caractéristique courant - tension d'une cellule photovoltaïque	12
I.2.3 Le générateur photovoltaïque.....	14
I.2.3.1 La mise en série / parallèle	14
I.2.3.2 Influence de l'éclairement et de la température ambiante.....	15
I.2.3.3 Caractéristiques nominales d'un générateur photovoltaïque.....	16
I.2.4 Principes de la recherche du point maximal de puissance	16
I.2.4.1 Les méthodes indirectes	17
I.2.4.2 Les méthodes directes	18
I.2.5 Applications des systèmes photovoltaïques.....	21
I.2.5.1 Les systèmes raccordés au réseau.....	21
I.2.5.2 Les systèmes isolés et autonomes	22
I.3 Stockage de l'énergie électrique photovoltaïque	23
I.3.1 Accumulateurs, piles et batteries : des performances en constante amélioration	23
I.3.2 Les batteries au plomb	25
I.3.2.1 Constitution d'une batterie au plomb.....	25
I.3.2.2 Principe de fonctionnement d'un accumulateur au plomb.....	27
I.3.2.3 Différentes familles des batteries au plomb	29
I.3.2.4 Performances techniques	30
I.3.2.5 Contraintes de stockage de l'énergie photovoltaïque dans une batterie au plomb.....	31
I.4 Conclusion	31

Chapitre II : Place des batteries et supercondensateurs dans les véhicules électriques

II.1 Introduction	33
II.2 Les véhicules électriques : solution ultime du problème de CO ₂	33
II.3 Historique de développement du véhicule électrique	34
II.4 Principales configurations des véhicules électriques	39
II.4.1 Les véhicules tout électriques	40
II.4.2 Les véhicules hybrides.....	41
II.4.2.1 Différentes architectures des véhicules hybrides	41
II.4.2.2 Principaux modes de fonctionnement des véhicules hybrides	44
II.5 Les véhicules électriques et la source d'énergie embarquée	46
II.5.1 Source d'énergie irréversible	46
II.5.2 Source d'énergie réversible.....	46
II.5.2.1 Le stockage mécanique sous forme d'énergie cinétique dans un volant d'inertie	47
II.5.2.2 Le stockage pneumatique	48
II.5.2.3 Le stockage électrochimique	48
II.6 Sources hybrides : découplage du besoin en énergie et en puissance.....	50
II.7 Différents moyens de recharge des véhicule électriques	51
II.7.1 L'échange de batteries	51
II.7.2 La recharge par induction	52
II.7.3 Les chargeurs branchables	53
II.7.3.1 La structure For Grid To Vehicle	53
II.7.3.2 La structure For Home To Vehicle	54
II.8 Conclusion.....	55

Chapitre III : Mise en œuvre d'un système de recharge hybride

III.1 Introduction	57
III.2 Dimensionnement et modélisation du système de recharge hybride.....	57
III.2.1 Présentation du système de recharge.....	57
III.2.2 Dimensionnement énergétique du système de recharge.....	58
III.2.2.1 Dimensionnement du système photovoltaïque autonome.....	58
III.2.2.2 Dimensionnement du système interdépendant embarqué dans le véhicule	63
III.2.3 Modélisation du système de recharge	69
III.2.3.1 Modélisation du système photovoltaïque autonome	69
III.2.3.2 Modélisation du système interdépendant embarqué dans le véhicule	79

III.3 Evaluation des performances du système de recharge hybride	83
III.3.1 Performances du système photovoltaïque autonome	83
III.3.1.1 Seuils de tension du système de supervision.....	84
III.3.1.2 Efficacité de l’algorithme de l’incrément de conductance	85
III.3.1.3 Fonctionnement dans des conditions optimales, le mois de Juillet	87
III.3.1.4 Fonctionnement dans des conditions dégradées, le mois de Décembre	88
III.3.2 Performances du système interdépendant embarqué dans le véhicule.....	89
III.3.2.1 Seuils de tension du système de supervision.....	89
III.3.2.2 Recharge du pack de supercondensateurs	91
III.3.2.3 Recharge du pack de batteries au lithium-ion	92
III.4 Conclusion.....	93

Chapitre IV : Contrôle par platitude de la source hybride batteries / supercondensateurs

IV.1 Introduction	95
IV.2 Hybridation des dispositifs électrochimiques	95
IV.2.1 Concept d’hybridation.....	95
IV.2.2 Structures et stratégies de contrôle des sources hybrides.....	97
IV.3 Définition d’un système plat	101
IV.4 Domaines d’utilisation du contrôle basé sur la théorie de la platitude différentielle	102
IV.5 Contrôle par platitude de la source hybride	102
IV.5.1 Présentation du système multi-sources	102
IV.5.2 Dimensionnement des convertisseurs et de la capacité du bus continu	103
IV.5.3 Modélisation du système multi-sources	104
IV.5.4 Gestion d’énergie et lois de contrôle	105
IV.5.4.1 Régulation de l’énergie capacitive	106
IV.5.4.2 Etude de la platitude du système multi-sources	106
IV.5.4.3 Planification de la trajectoire de référence	107
IV.5.4.4 Asservissement de la sortie plate à sa référence	107
IV.5.4.5 Contrôle de la puissance du pack de batteries.....	108
IV.5.4.6 Asservissement des courants inductifs	108
IV.5.5 Résultats et discussion.....	112
IV.6 Comparaison des deux types de stockage face à de fortes sollicitations	115
IV.7 Conclusion	119
Conclusion générale	122
Annexe	126
Références Bibliographiques	139