

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité :

Automatisation et contrôle des systèmes industriels

THÈME

Etude et simulation d'un STATCOM à base d'un onduleur à cinq niveaux

Préparé par :

BOUMAAZA Khaled

DEMNI Khadidja

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Qualité
L.BESSOLTANE	MAA	Président
A.BERKANI	MAA	Examinateur
B.BELABBAS	MAA	Examinateur 1
R. OUARED	MAA	Encadreur

PROMOTION 2016 /2017

Remerciement

De prime abord, nous remercions Allah pour nous avoir donné la santé, le courage et la patience nécessaires pour l'aboutissement de ce travail.

Ce mémoire a été réalisée au niveau du département de génie électrique de l'université d'IBN KHALDOUN Tiaret

Nous tenons à remercier Monsieur OUARED Rahal, pour sa rigueur scientifique et ses qualités humaines. Ses conseils et ses critiques ont grandement contribué à la réalisation de ce travail nous sommes également profondément reconnaissant envers lui pour sa direction, sa disponibilité.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur, L.BESOLTANE, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'être président du jury.

C'est un agréable plaisir pour nous d'exprimer nos remerciements à messieurs A.BERKANI et B.BELLABBAS pour avoir accepté d'examiner et de rapporter ce travail.

Nous sommes aussi reconnaissant des aides ponctuelles et efficaces de Monsieur M.GUERROU, pour l'aide et les conseils qu'il nous a fourni durant la réalisation de Ce mémoire

Enfin, nous remercies ma grande famille et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de ma mère.

Khadidja

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mon frère, Adda

A mes sœurs

A ma grande famille

A mes chers amis, Khaled, Adda et Medah

A mon binôme qui réalise avec moi ce travail.

A tous les amis (es) d'études.

Khaled

Liste de figure

CHAPITRE 1

Figure .I. 1 : Schéma du TCR	Figure .I.2: Schéma du TSC	11
Figure .I. 3: Schéma du SVC	Figure .I. 4: Caractéristique d'un SVC.....	12
Figure.I. 5: Structure d'un SVC, schéma équivalen		13
<i>Figure .I. 6:</i> Schéma du SVC et TCBR		13
<i>Figure .I.7:</i> Schéma de base d'un STATCOM		14
Figure .I. 8: Ligne de transmission avec	Figure .I. 9 : Diagramme de frensel système de	15
Figure .I. 10: Structure d'un TCSC.....		16
Figure.I. 11: Structure d'un TCSR.....		16
Figure .I. 12 : Schéma de base du SSSC		17
<i>Figure .I. 13:</i> Caractéristique statique du SSSC		18
Figure .I. 14: Schéma de base d'un TCPAR		14
Figure.I.15: Diagramme vectoriel du TCPAR.....		20
Figure .I. 16: Schéma de base d'un IPFC		21
Figure .I. 17: schéma de base d'un UPFC		22

CHAPITRE 2

<i>Figure II. 1:</i> Profils de THD produits par l'augmentation des niveaux pour une fréquence d'échantillonnage, 1250 Hz		25
FigureII:2 Topologie des onduleurs NPC a) –NPC trois niveaux, b)-NPC cinq niveaux		26
<i>Figure II:3</i> Schéma de principe de la technique triangulo-sinusoidale.....		28
Figure II:4 Schéma d'un onduleur usuel à 2 niveaux.....		30
Figure II:5 Séquences de fonctionnement d'un bras de l'onduleur à deux niveaux.....		31
Figure II:6 Onduleur à trois niveaux à structure NPC		32
Figure II :7 Séquences de fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC trois niveaux		33
Figure II:8: Formes d'ondes d'un bras d'onduleur triphasé trois niveau de type NPC		34
Figure II:9 Interrupteur bidirectionnel équivalent au pair transistor – diode		35
Figure II:10 Structure de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC		36

Figure II:11 Structure d'un bras d'onduleur à cinq niveaux	37
Figure II:12 Réseau de pétri d'un bras d'onduleur à cinq niveaux.....	40
Figure II:13 Réseau de pétri réduit d'un bras	42
Figure II:14 Schéma du modèle de simulation de l'onduleur à deux niveaux.....	45
Figure II:15 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	45
Figure II:16 Le spectre d'harmonique de tension VA	46
Figure II :17 Le spectre d'harmonique de tension VA	46
Figure II:18 Le spectre d'harmonique de tension VA	47
Figure II:19 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	47
Figure II:20 Le spectre d'harmonique de tension VA	47
Figure II:21 Le spectre d'harmonique de tension VA	48
Figure II:22 Le spectre d'harmonique de tension VA	48
Figure II:23 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	49
Figure II:24 Le spectre d'harmonique de tension VA	49
Figure II:25 Le spectre d'harmonique de tension VA	49
Figure II:26 Le spectre d'harmonique de tension VA	50
Figure II:27 Schéma du modèle de simulation de l'onduleur à trois niveaux	50
Figure II:28 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	51
Figure II:29 Le spectre d'harmonique de tension VA	51
Figure II:30 Le spectre d'harmonique de tension VA	52
Figure II:31 Le spectre d'harmonique de tension VA	52
Figure II:32 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	53
Figure II:33 Le spectre d'harmonique de tension VA	53
Figure II:34 Le spectre d'harmonique de tension VA	53
Figure II:35 Le spectre d'harmonique de tension VA	54
Figure II:36 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	54
Figure II:37 Le spectre d'harmonique de tension V	54

Figure II:38 Le spectre d'harmonique de tension VA	55
Figure II:39 Schéma du modèle de simulation de l'onduleur à cinq niveaux	56
Figure II:40 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	56
Figure II:41 Le spectre d'harmonique de tension VA	57
Figure II:42 Le spectre d'harmonique de tension VA	57
Figure II:43 Le spectre d'harmonique de tension VA	58
Figure II:44 le spectre d'harmonique de tension Voa	58
Figure II:45 Le spectre d'harmonique de tension VA	59
Figure II:46 Le spectre d'harmonique de tension VA	59
Figure II:47 La courbe de tension composée (VA) de sortie de l'onduleur	59
Figure II:48 Le spectre d'harmonique de tension Voa	60
Figure II:49 Le spectre d'harmonique de tension Voa	60
Figure II:50 Le spectre d'harmonique de tension Voa	61

CHAPITRE 3

Figure III. 1: <u>structure de base d'un STATCOM couplé au réseau</u>	65
Figure III. 2: <u>STATCOM (Static Synchronous Compensator)</u>	66
Figure III. 3: <u>Circuit équivalent du STATCOM</u>	68
Figure III. 4: <u>Circuit monophasé équivalent du STATCOM</u>	69
Figure III.5: <u>Réponse en boucle ouverte</u>	74
Figure III. 6: <u>Réponse en boucle fermée</u>	75
Figure III. 7: <u>Circuit de commande du compensateur</u>	75
Figure III. 8: <u>Schéma de Simulink du SATATCOM</u>	76
Figure III. 9 : <u>régulation de l'énergie réactive</u>	77
Figure III.10: <u>tension de la sortie de l'onduleur</u>	77
Figure III. 11: <u>tension de l'onduleur avec tension du réseau</u>	78
Figure III. 12: <u>déphasage entre tension et courant dans le réseau</u>	79

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II:1 États possibles de l'onduleur usuel à 2 niveaux	32
Tableau II.2 états possibles de l'onduleur NPC à 3 niveaux.	35
Tableau II:3 Grandeurs électriques pour chacune des configurations d'un bras k.....	38
Tableau II:4 Table d'excitation des Interrupteurs de l'onduleur triphasé à cinq niveaux.....	42
Tableau II:5 Résultats de simulation des deux modèles d'onduleur pour $m = 0.25$	62
Tableau II.6 Résultats de simulation des deux modèles d'onduleur pour $m = 0.5$	63
Tableau II:7 Résultats de simulation des deux modèles d'onduleur pour $m = 0.95$	63

chapitre III

Tableau III. 1: Pramaitre du circuit	73
---	----

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : compensation de l'énergie réactive et les systèmes FACTS	
I.1.Introduction.....	3
I.2.1.Energie active, réactive, apparente	3
I.2.2.La problématique de l'énergie réactive en milieu industriel.....	3
I.2.3.Objectifs	4
I.2.4.Amélioration du facteur de puissance.....	4
I.3.1.Différents types de compensation	5
I.3.1.1Compensation globale.....	5
I.3. 1.2 Compensation partielle	5
I.3. 1.3 Compensation locale	5
I.3.2 Les moyens classiques de compensation réactive et de réglage de tension.....	6
I.3.2.1 Condensateurs et inductances fixes :	6
I.3.2.2.Compensateurs synchrones	7
I.3.2.3. Compensateurs statiques	7
I.3.2.4. Transformateurs avec prises réglables en charge.....	8
I.4.1 Compensateur à éléments passifs.....	8
I.4.2 Compensateur parallèle.....	8
I.4.3 Compensateur série	8
I.4.4 Transformateur Régulateur	8
I.4.5 Transformateur Déphaseur.....	9
I.5.1 Définition et le rôle d'un dispositif FACTS :	9
I.5.2 Nécessité des systèmes FACTS	9
I.5.3 Classification des systèmes FACTS :	10
I.5.3 .1 Compensateurs parallèles.....	10

I.5.3.2 Compensateurs séries.....	15
I.5.3.3 Compensateurs hybrides (série – parallèle)	18
I.6 Conclusion	23
Chapitres II : les onduleurs multiniveaux	
II.1 Introduction.....	24
II.2 L'intérêt des onduleurs multi niveaux	24
II.3 Les avantages des onduleurs multiniveaux	25
II.4 Les différentes topologies des onduleurs multiniveaux	25
II.5 Onduleur multi niveaux à diode de bouclage(NPC)	26
II.6 Stratégie de commande de l'onduleur triphasé a N niveaux.....	28
II.7 Le principe de la technique triangulaire sinusoïdale.....	28
II.8 Les onduleurs multiniveaux	29
II.8.1 Onduleur à deux niveaux de tension de type NPC	29
II.8.1.1 Structure.....	30
II.8.2 Onduleur à trois niveaux de tension de type NPC.....	31
II.8.2.1 Structure de l'onduleur à trois niveaux.....	31
II.8.2.2 Principe de fonctionnement.....	33
II.8.3 Onduleur à cinq niveaux de tension de type NPC	35
II.8.3.1 Structure de l'onduleur triphasé à cinq niveaux	35
II.8.3.2 Modélisation du fonctionnement d'un bras d'onduleur à cinq niveaux	36
II.8.3.3 Réseau de Pétri d'un bras d'onduleur à cinq niveaux	39
II.8.3.4 Modèle de commande de l'onduleur à cinq niveaux.....	41
II.9 Simulation des onduleurs multiniveaux à structure NPC	44
II.9.1 Onduleur à deux niveaux	44
II.9.1.1 Résultats de simulation	45
II.9.2 Onduleur à trois niveaux.....	50
II.9.2.1 Résultats de simulation	51
II.10 Développement d'un modèle de simulation d'onduleur NPC à 5 niveaux	56

II.10.1	Résultats de simulation	56
II.11	Tableau de l'étude comparative entre deux onduleurs deux, trois et cinq niveaux.....	61
II.12	Conclusion.....	63
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE		
III.1.	Introduction	64
III.2.	Static Synchronous Compensator (STATCOM).....	64
III.2.1.	Description.....	64
III.2.2.	Le STATCOM présente plusieurs avantages	65
III.2.3.	Principe de Fonctionnement	66
III.3.	Circuit principal du STATCOM.....	67
III.4.	Modélisation du STATCOM.....	69
III.4.1.	Modèle du compensateur sur les axes d-q	70
III.4.2.	Modèle linéaire	71
III.5.	Synthèse des Réglages du STATCOM	72
III.5.1.	Réglage proportionnel-Intégral (PI)	72
III.5.2.	Détermination des paramètres du régulateur PI.....	73
III.6.	Conclusion.....	79
Conclusion générale		80
Annexe A.....		81
Annexe B.....		83
Annexe C.....		87
Annexe D.....		88
Annexe E.....		92
Bibliographie.....		93