

Université A.MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Mémoire

En vue d'obtention du diplôme Master

En Electrotechnique

Option : Réseaux Electriques

Couplage au réseau MT d'un groupe de production d'énergie électrique à travers un DVR

Réaliser par :

- Mr ZEROUROU Nabil
- Mr DJELLOULI Khaled

Encadre par :

- Mr ZIANE KHODJA .A

Remerciements

Nous remercions, Dieu, le tout puissant pour nous avoir donné la foi qui nous a guidés jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce projet.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus distingués :

*A notre promoteur **Mr ZIANE KHODJA AËK**, de nous avoir fait l'honneur d'assurer l'encadrement de notre travail, nous vous sommes très reconnaissants d'avoir veillé à son élaboration en ne ménageant aucunement votre temps et vos précieux et judicieux conseils.*

Nous tenons à remercier vivement les membres du jury d'avoir consacré de leur temps à la lecture de ce manuscrit, d'accepter de juger et d'évaluer ce travail.

Par le biais de ce travail, nous exprimons notre profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés à accompagner notre travail.

Nous voudrions remercier nos familles qui nous ont soutenus dans nos études.

Khaled et Nabil

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui je ne remercierais jamais assez :

Mes très chers Parents Pour leurs sacrifices, et encouragements qu'ils n'ont cessé de me conférer. Que le bon dieu puisse les garder éternellement heureux et fière de nous je vous remercie du fond du cœur.

- ❖ *A mes chers grands parents*
- ❖ *A mes chers frères « Salim et Samir »*
- ❖ *A ma très chère sœur « Lila » et son mari et mon petit neveu « Malek »*
- ❖ *A ma très chère « Sissa »*
- ❖ *A mes cousins et mes cousines*
- ❖ *A mes oncles et leurs femmes*
- ❖ *A mon très cher ami que je considère comme un frère mon binôme
ZEROUROU Nabil*
- ❖ *A tous mes amis*

DJELLOULI Khaled

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui je ne remercierais jamais assez :

Mes très chers Parents Pour leurs sacrifices, et encouragements qu'ils n'ont cessé de me conférer. Que le bon dieu puisse les garder éternellement heureux et fière de nous je vous remercie du fond du cœur.

- ❖ *A ma chère grande mère*
- ❖ *A la mémoire de mon grand-père Allah irahmou.*
- ❖ *A mon cher frère « Salim »*
- ❖ *A ma deuxième famille « dada Mohand, nana Samia, ainsi que leur enfants : Rosa, Zahra, Bachir, Saïd, Dyhia et Ouarda »*
- ❖ *A ma tante Nassima ainsi que son mari et ces enfants « Kamel, Ghilan et Melissa »*
- ❖ *A mes cousins et cousines.*
- ❖ *A mon très cher ami que je considère comme un frère mon binôme DJELOULI Khaled*
- ❖ *A tous mes amis « Asma, Nassima, Lamine, Hanafi, Lamia, Ferhat, Abdou, Faiza, Lisa, Kamel, Hassiba, Kenza, Mina, Salah, Aissa, Mina, Katou, Kamy, Bylka, Ninouche et Karim »*

Je vous remercie tous

ZEROUROU Nabil

Liste des figures

Chapitre I : Impact des groupes de production sur la distribution d'énergie

Fig.I.1 :	Architecture générale du réseau de distribution HTA.....	5
Fig.I.2 :	Creux de tension.....	8
Fig.I.3 :	Coupures brèves.....	8
Fig.I.4 :	Exemple de surtension.....	10
Fig.I.5 :	Variation de la fréquence.....	11
Fig.I.6 :	Distorsion provoquée par un seul harmonique.....	12
Fig.I.7 :	Distorsion provoquée par un seul inter-harmonique.....	12
Fig.I.8 :	Déséquilibre de tension.....	12
Fig.I.9 :	Protection de découplage dans le réseau de distribution 20kV.....	20

Chapitre II : Dispositifs atténuateurs des perturbations

Fig.II.1 :	Filtre passif résonant.....	23
Fig.II.2 :	Filtre passif amorti.....	23
Fig.II.3 :	Filtre actif série.....	25
Fig.II.4 :	Filtre actif parallèle.....	26
Fig.II.5 :	Filtre combiné série parallèle.....	26
Fig.II.6 :	Filtre actif série avec un filtre passif parallèle.....	28
Fig.II.7 :	Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle.....	28
Fig.II.8 :	Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.....	29
Fig.II.9 :	Schéma de raccordement série.....	31
Fig.II.10 :	Schéma de principe de a)TCSC et b) TSSC.....	32
Fig.II.11 :	Schéma de principe d'un SSSC.....	33
Fig.II.12 :	Structure d'un TCSR.....	33
Fig.II.13 :	Schéma de raccordements parallèles (shunts).....	34
Fig.II.14 :	Schéma de principe du STATCOM.....	35
Fig.II.15 :	Schéma de principe d'un SVC.....	36
Fig.II.16 :	Caractéristique d'un SVC.....	36
Fig.II.17 :	Schéma de raccordement série-parallèle.....	37
Fig.II.18 :	Schéma simplifié d'un UPFC connecté au réseau électrique.....	38
Fig.II.19 :	Schéma du contrôleur de puissance entre lignes.....	39

Liste des figures

Chapitre III : Description et apport d'un DVR

Fig.III.1 :	Schéma simplifié des circuits de puissances d'un DVR.....	41
Fig.III.2:	Schémas bloc de simulation d'un DVR.....	42
Fig.III.3 :	Les principaux éléments constituant un DVR.....	43
Fig.III.4 :	Schéma unifilaire du réseau comportant le DVR.....	43
Fig.III.5 :	Bloc de simulation d'un onduleur de tension triphasé.....	44
Fig.III.6 :	Bloc de simulation d'une commande MLI.....	45
Fig.III.7 :	Schéma synoptique de fonctionnement d'un DVR	47
Fig.III.8 :	Diagramme vectoriel de la compensation de DVR.....	48

Chapitre IV : Simulation et interprétations des résultats

Fig.IV.1 :	Schéma bloc d'éolienne.....	50
Fig.IV.2 :	Schéma bloc du réseau.....	51
Fig.IV.3 :	Tension à la source sans la présence de la PED.....	52
Fig.IV.4 :	Tension à la source avec la présence de la PED.....	52
Fig.IV.5 :	Tension aux charges avec et sans présence de la PED.....	53
Fig.IV.6 :	Tension a la PED.....	53
Fig.IV.7 :	Puissances active et réactive à la source sans présence de la PED.....	53
Fig.IV.8 :	Puissances active et réactive à la source avec présence de la PED.....	53
Fig.IV.9 :	Puissances active et réactive de la PED.....	53
Fig.IV.10 :	Puissances active et réactive de la charge 1 (avec et sans présence de la PED).....	54
Fig.IV.11 :	Puissances active et réactive de la charge 2 (avec et sans présence de la PED)	54
Fig.IV.12 :	Puissances active et réactive de la charge 3 (avec et sans présence de la PED)	54
Fig.IV.13 :	Tension à la source.....	55
Fig.IV.14 :	Tension a la PED.....	55
Fig.IV.15 :	Tension aux charges.....	55
Fig.IV.16 :	Puissances active et réactive à la source.....	55
Fig.IV.17 :	Puissances active et réactive à la PED.....	55
Fig.IV.18 :	Puissances active et réactive à la charge 1.....	56

Liste des figures

Fig.IV.19 :	Puissances active et réactive à la charge 2.....	56
Fig.IV.20 :	Puissances active et réactive à la charge 3.....	56
Fig.IV.21 :	Le couple de l'éolienne.....	56
Fig.IV.22 :	La vitesse de l'éolienne.....	56
Fig.IV.23 :	Tension à la source (avec et sans DVR).....	57
Fig.IV.24 :	Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR).....	57
Fig.IV.25 :	Tension à la charge 1 (sans DVR).....	58
Fig.IV.26 :	Tension à la charge 1 (avec DVR).....	58
Fig.IV.27 :	Les puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR).....	58
Fig.IV.28 :	Les puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR).....	58
Fig.IV.29 :	Tension à la charge 3 (sans DVR).....	58
Fig.IV.30 :	Tension à la charge 3 (avec DVR).....	58
Fig.IV.31 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR).....	59
Fig.IV.32 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR).....	59
Fig.IV.33 :	La tension à la PED (sans DVR).....	59
Fig.IV.34 :	La tension à la PED (avec DVR).....	59
Fig.IV.35 :	Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR).....	59
Fig.IV.36 :	Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR).....	59
Fig.IV.37 :	La vitesse de l'éolienne (sans DVR).....	60
Fig.IV.38 :	La vitesse de l'éolienne (avec DVR).....	60
Fig.IV.39 :	Le couple de l'éolienne (sans DVR).....	60
Fig.IV.40 :	Le couple de l'éolienne (avec DVR).....	60
Fig.IV.41 :	La tension injectée par le DVR.....	60
Fig.IV.42 :	Tension à la source (avec et sans DVR).....	62
Fig.IV.43 :	Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR).....	62
Fig.IV.44 :	Tension à la charge 1 (sans DVR).....	62
Fig.IV.45 :	Tension à la charge 1 (avec DVR).....	62
Fig.IV.46 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR).....	62
Fig.IV.47 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR)	62
Fig.IV.48 :	Tension à la charge 3 (sans DVR).....	63
Fig.IV.49 :	Tension à la charge 3 (avec DVR).....	63
Fig.IV.50 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR).....	63
Fig.IV.51 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR).....	63

Liste des figures

Fig.IV.52 :	Tension à la PED (sans DVR).....	63
Fig.IV.53 :	Tension à la PED (avec DVR).....	63
Fig.IV.54 :	Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR).....	64
Fig.IV.55 :	Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR).....	64
Fig.IV.56 :	La vitesse de l'éolienne (sans DVR).....	64
Fig.IV.57 :	La vitesse de l'éolienne (sans DVR).....	64
Fig.IV.58 :	Le couple de l'éolienne (sans DVR).....	64
Fig.IV.59 :	Le couple de l'éolienne (avec DVR).....	64
Fig.IV.60 :	La tension injecte par le DVR.....	65
Fig.IV.61 :	Tension à la source (avec et sans DVR).....	66
Fig.IV.62 :	Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR).....	66
Fig.IV.63 :	Tension à la charge 1 (sans DVR).....	66
Fig.IV.64 :	Tension à la charge 1 (avec DVR).....	66
Fig.IV.65 :	Puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR).....	67
Fig.IV.66 :	Puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR).....	67
Fig.IV.67 :	Tension à la charge 3 (sans DVR).....	67
Fig.IV.68 :	Tension à la charge 3 (avec DVR).....	67
Fig.IV.69 :	Puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR).....	67
Fig.IV.70 :	Puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR).....	67
Fig.IV.71 :	Tension à la PED (sans DVR).....	68
Fig.IV.72 :	Tension à la PED (avec DVR).....	68
Fig.IV.73 :	Puissances active et réactive à la PED (sans DVR).....	68
Fig.IV.74 :	Puissances active et réactive à la PED (avec DVR).....	68
Fig.IV.75 :	La vitesse de l'éolienne (sans DVR).....	68
Fig.IV.76 :	La vitesse de l'éolienne (avec DVR).....	68
Fig.IV.77 :	Le couple de l'éolienne (sans DVR).....	69
Fig.IV.78 :	Le couple de l'éolienne (avec DVR).....	69
Fig.IV.79 :	La tension injecte par le DVR.....	69
Fig.IV.80 :	Tension à la source (avec et sans DVR).....	70
Fig.IV.81 :	Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR).....	70
Fig.IV.82 :	Tension à la charge 1 (sans DVR).....	71
Fig.IV.83 :	Tension à la charge 1 (avec DVR).....	71
Fig.IV.84 :	Les puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR).....	71

Liste des figures

Fig.IV.85 :	Les puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR).....	71
Fig.IV.86 :	Tension à la charge 3 (sans DVR).....	71
Fig.IV.87 :	Tension à la charge 3 (avec DVR).....	71
Fig.IV.88 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR).....	72
Fig.IV.89 :	Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR).....	72
Fig.IV.90 :	Tension à la PED (sans DVR).....	72
Fig.IV.91 :	Tension à la PED (avec DVR).....	72
Fig.IV.92 :	Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR).....	72
Fig.IV.93 :	Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR).....	72
Fig.IV.94 :	La vitesse de l'éolienne (sans DVR).....	73
Fig.IV.95 :	La vitesse de l'éolienne (avec DVR).....	73
Fig.IV.96 :	Le couple de l'éolienne (sans DVR).....	73
Fig.IV.97 :	Le couple l'éolienne (avec DVR).....	73
Fig.IV.98 :	La tension injecte par le DVR.....	73
Fig.A.1 :	Schémas bloc de simulation de réseau sans la présence de la PED.....	Annexe
Fig.A.2 :	Schémas bloc de simulation de réseau sans la présence du DVR.....	Annexe
Fig.A.3 :	Schémas bloc de simulation de réseau avec la présence du DVR.....	Annexe

Liste des tableaux

Tab I.1 : Les différents domaines de tensions.....	4
Tab.II.1: Synthèse des principaux avantages techniques des différentes technologies de FACTS.....	40



Liste des abréviations

BT	Basse tension
DVR	Dynamique Voltage Restorer
FAS	Filtres actifs série
FAP	Filtres actifs parallèles
f	Fréquence
FACTS	Flexible Alternative Current Transmission Systems
GED	Groupe d'énergie décentralisé
GTO	Gate Turn-Off Thyristor
HT	Haut-Tension
HTA	Haut Tension A
HTB	Haut Tension B
IGBT	Transistor bipolaire à grille isolée
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPFC	Interline power flow controller
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
MT	Moyenne tension
PED	Production d'énergie décentralisée
PCC	Point d'accouplement commune PDE Production décentralisé d'énergie
RPF	Réglage primaire de fréquence
RSF	Réglage secondaire de fréquence
RTF	Réglage tertiaire de fréquence
SSSC	Static Synchronous Series Compensator
STATCOM	Compensateur Statique synchrone

Liste des abréviations

SVC	Static Var Compensator
TCR	Thyristors Controlled Reactor
TCSC	Thyristor controlled serie capacitor
TCSR	Thyristor controlled série Reactor
Tr	Couple résistant
TSC	Thyristors Switched Capacitor
TSSC	Thyristor swished série capacitor
TT	Transformateur de tension
TC	Transformateur de courant
UPFC	Unified Power Flow Controller
UPQC	Unified Power Quality Conditioner
Vinj	Tension injectée
VSI	Onduleur triphasé
W	La vitesse de l'éolienne

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
 Chapitre I : Impacts des groupes de production sur la distribution d'énergie	
Introduction.....	3
I.1 Les réseaux électriques.....	3
Introduction.....	3
I.1.1 Le réseau électrique et son rôle.....	3
I.1.2 Constitution d'un réseau électrique.....	4
I.1.2.1 Généralités.....	4
I.1.2.2 Le réseau de transport.....	4
I.1.2.3 Le réseau de répartition.....	5
I.1.2.4 Le réseau de distribution.....	5
1. Définition.....	5
2. Architecture du réseau de distribution HTA (MT).....	5
I.2 Les problèmes liés aux réseaux.....	6
Introduction.....	6
I.2.1 Qualité de l'énergie.....	6
I.2.1.1 Qualité de la tension.....	6
I.2.1.2 Qualité de courant.....	7
I.2.2 Classification des perturbations électriques.....	7
I.2.2.1 Creux de tension.....	7
I.2.2.2 Coupures brèves.....	8
I.2.2.3 Papillotement.....	9
I.2.2.4 Surtensions temporaires.....	9
I.2.2.5 Surtensions transitoires.....	9
I.2.2.6 Variations rapides de tension.....	10
I.2.2.7 Variation de fréquence.....	10
I.2.2.8 Tensions harmoniques.....	11
I.2.2.9 Déséquilibre de tension.....	12
I.3 Production Décentralisée.....	13
Introduction.....	13
I.3.1 Définition de la Production Décentralisée.....	13
I.3.2 Différents types de production décentralisée.....	13

Sommaire

I.3.2.1 La cogénération.....	13
I.3.2.2 Les énergies non renouvelables.....	14
I.3.2.3 Ressources énergétiques renouvelables.....	14
I.3.3 Caractéristiques de Production Décentralisée.....	15
I.3.3.1 Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone).....	15
I.3.3.2 Systèmes à générateurs asynchrones.....	15
I.3.3.3 Systèmes à interface avec convertisseur électronique.....	15
I.3.4 Intégration de l'énergie électrique produite dans un réseau de distribution.....	16
I.3.4.1 Généralités.....	16
I.3.4.2 Conditions de couplage au réseau.....	16
I.3.4.3 Découplage des sources auto productrices.....	17
I.3.4.4 Domaine d'application.....	17
I.3.5 Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution.....	17
I.3.6 Avantages de la production décentralisée.....	18
I.4 Réglage de tension et de fréquence.....	18
I.4.1 L'utilité de réglage de la tension.....	18
I.4.2 Réglage hiérarchisé de la fréquence.....	19
I.4.2.1 Réglage primaire de fréquence (RPF).....	19
I.4.2.2 Réglage secondaire de fréquence (RSF).....	19
I.4.2.3 Réglage tertiaire de fréquence (RTF).....	19
I.5 Les protections.....	20
I.5.1 Protection des réseaux de distribution.....	20
I.5.2 La protection de la production décentralisée.....	20
I.5.3 Protection des producteurs et réseaux industriels tertiaires.....	21
Conclusion.....	21

Chapitre II : Dispositifs atténuateurs des perturbations

Introduction.....	22
II.1 Les Filtres.....	22
II.1.1 Les filtres passifs.....	22
II.1.1.1 Types de filtres passifs.....	22
1. Filtre passif résonant.....	22
2. Filtre passif amorti.....	23

Sommaire

II.1.1.2 Inconvénients des filtres passifs.....	23
II.1.2 Les filtres actifs.....	24
II.1.2.1 Principe de fonctionnement d'un filtre actif.....	24
II.1.2.2 Classification des filtres actifs.....	25
a. Filtres actifs série (FAS).....	25
b. Filtres actifs parallèles (FAP).....	25
c. Les redresseurs MLI.....	26
d. Filtre combiné série parallèle UPQC.....	26
II.1.2.3 Avantages des filtres actifs.....	27
II.1.2.4 Inconvénients des filtres actifs.....	27
II.1.3 Combinaison hybride active et passive.....	27
1. Filtre actif série avec un filtre passif parallèle.....	27
2. Filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.....	28
3. Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.....	29
II.2 Système de transmission flexible en courant alternatif (FACTS).....	29
Introduction.....	29
II.2.1 Définitions et généralités.....	29
II.2.2 Rôle des dispositifs FACTS.....	30
II.2.3 Types de FACTS.....	31
II.2.3.1 FACTS de type série.....	31
1. Condensateur série commandé par thyristors (TCSC, TSSC).....	31
2. Compensateur Série Synchronique Statique (SSSC).....	32
3. Réactance Série Contrôlée par Thyristor TCSR.....	33
II.2.3.2 FACTS de type parallèle.....	34
1. Compensateur Statique Synchronique (STATCOM).....	34
2. Compensateur Statique de Puissance Réactive SVC.....	35
II.2.3.3 FACTS de type série parallèle (Hybride).....	37
1. UPFC.....	37
2. IPFC.....	38
II.2.4 Synthèse.....	39
Conclusion.....	40

Sommaire

Chapitre III : Description et apport d'un DVR

Introduction.....	41
III.1 Restaurateur Dynamique de Tension (DVR).....	41
III.2 Technologie et fonctionnement du DVR.....	42
III.3 Les deux convertisseurs de tension utilisés.....	44
III.3.1 Le redresseur.....	44
III.3.2 Onduleur de tension triphasée.....	44
III.3.3 Les techniques de la commande MLI.....	44
III.3.3.1 Structure de la MLI.....	44
III.3.3.2 Objectifs de la commande MLI.....	45
III.4 Stratégie de contrôle du DVR.....	46
III.5 Modélisation Vectorielle de DVR.....	48
III.6 Effet du DVR sur une ligne électrique.....	48
Conclusion.....	49

Chapitre IV : Simulation et interprétation des résultats

Introduction.....	50
IV.1 Présentation du réseau à simuler.....	50
IV.2 Les étapes de la simulation.....	51
IV.3 Les résultats obtenus.....	52
IV.4. Simulation.....	52
VI.4.1 Simulation du fonctionnement du réseau avec et sans PED en fonctionnement normal (sans perturbations).....	52
Interprétations.....	54
VI.4.2 Simulation du modèle sans DVR en fonctionnement normal (sans perturbations). ..	55
Interprétations.....	56
VI.4.3 Simulation du Modèle (sans DVR et avec DVR) en fonctionnement perturbé.....	57
1. Creux de tension.....	57
Interprétations.....	60
2. Coupure brève.....	61
Interprétations.....	65

Sommaire

3. Surtension.....	66
Interprétations.....	69
4. Chute de tension à la source.....	70
Interprétations.....	74
Conclusion.....	75
Conclusion générale.....	76

Introduction générale

Introduction générale

A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation. Ainsi, les transits de puissance circulent de l'amont depuis les productions d'énergie électrique de type grosses centrales thermique, hydraulique ou nucléaire, vers l'aval représenté par les consommateurs.

La libéralisation du marché de l'électricité et le développement de la production décentralisée amènent, dans le domaine du Génie Electrique, de nombreux problèmes scientifiques et techniques nouveaux sur les réseaux de distribution auxquels ils sont interconnectés et qui n'ont pas été conçus à cet effet. D'ailleurs, les impacts de la PED peuvent s'étendre jusqu'aux réseaux de transport (présence d'harmoniques et de perturbations d'amplitude sur les grandeurs électriques). Tout écart du seuil établi dans les normes représente donc une perturbation qui peut être gênante pour le bon fonctionnement des charges connectées.

Depuis de nombreuses années, le fournisseur d'énergie électrique s'efforce de garantir la qualité de l'énergie électrique, les premiers efforts se sont portés sur la continuité de service afin de rendre toujours disponible l'accès à l'énergie chez l'utilisateur. Aujourd'hui, les critères de qualité ont évolué avec le développement de l'électronique de puissance (les filtres et les dispositifs FACTS «Flexible Alternative Current Transmission System») qui permettent d'atténuer ces perturbations au niveau des réseaux électriques et d'améliorer le système.

Dans notre travail, on s'intéressera plus particulièrement à l'apport de DVR « Dynamique Voltage Restorer », dans le domaine de l'atténuation des perturbations subies par un réseau comprenant une PED.

Pour réaliser ce travail, ce mémoire sera divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre, consiste à définir d'une manière générale le réseau électrique (définition, composition), et la production décentralisée (définition, différents types) et son impact sur le réseau, ainsi que les problèmes liés aux réseaux (creux de tension, surtension ...etc.).

Introduction générale

Dans le second chapitre, on étudiera les différentes méthodes d'atténuation des perturbations et notre intérêt sera porté sur l'utilisation des filtres (actifs ou passifs), et les dispositifs FACTS (séries, parallèles ou hybrides).

Dans le troisième chapitre, on présentera l'un des dispositifs d'atténuation des perturbations qui est le DVR « Dynamique Voltage Restorer».

Dans le quatrième chapitre, nous étudierons par différentes simulations numériques à l'aide du logiciel MATBAB-SIMULINK le comportement d'un DVR inséré dans un réseau électrique soumis à des perturbations. Ce chapitre sera clôturé par des interprétations des résultats obtenus.

Enfin notre travail sera clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

Impact des groupes de production sur la distribution d'énergie

Introduction

L'électricité est une énergie non stockable, il faut donc d'abord la produire dans les unités de production, la transporter, puis la distribuer aux consommateurs.

Dans ce chapitre, on s'intéressera en général aux réseaux électriques, aux problèmes de perturbations des ondes courant et tension (creux de tensions, Flicker... etc.). Aussi, dans le cadre du renforcement de la structure du réseau, on s'intéressera à l'apport de la production décentralisée, ses caractéristiques et les différents types de productions décentralisées. Enfin, on décrira les conditions de couplages et raccordements entre la production décentralisée et les réseaux de distributions et les réglages nécessaires à effectuer (réglage de la tension et la fréquence) et les protections à leur associer.

I.1 Les réseaux électriques

Introduction

Suite à la libéralisation du secteur de l'énergie électrique, on s'attache à faciliter le marché de l'électricité et à faire en sorte qu'un maximum de transactions commerciales puisse s'exécuter. Dans ce contexte, le réseau doit permettre toute transaction entre différents nœuds du réseau et au-delà de la frontière des états. L'objectif est, en effet, de permettre à tout utilisateur de choisir librement son fournisseur d'électricité et le type de production sur la base de critères qui lui sont propres (prix, qualité du service, électricité verte, ...).

I.1.1 Le réseau électrique et son rôle

Un réseau électrique est un ensemble d'installations électriquement interconnectées permettant de transporter l'énergie électrique des centrales vers les consommateurs. Cet ensemble comprend des transformateurs, des générateurs, des lignes de transmission, des moyens de mesures et de contrôle et de protection.

Généralement il est composé de trois parties : réseau de transport, réseau de répartition et réseau de distribution.

I.1.2 Constitution d'un réseau électrique

I.1.2.1 Généralités

L'énergie électrique produite est directement injectée dans le réseau de transport maillé à très haute tension (**THT**, généralement de 225 kV et 400 kV) pour être transportée sur de grandes distances avec un minimum de pertes. Elle est transmise ensuite aux réseaux de répartition (de 30 kV à 150 kV, généralement de 63 kV et 90 kV), puis aux réseaux de distribution (**MT**: 3 kV à 33 kV, généralement de 20 kV) qui permettent la distribution aux gros consommateurs et aux réseaux de distribution à basse tension (**BT**, généralement 230/400 V) [1] (voir Tab I.1).

Tab I.1 : Les différents domaines de tensions.

Tensions de connexion (U_n)	Domaine de tension	
$U_n \leq 1 \text{ kV}$	BT Domaine de basse tension	
$1 \text{ kV} < U_n \leq 40 \text{ kV}$	HTA1	Domaine HTA
$40 \text{ kV} < U_n \leq 50 \text{ kV}$	HTA2	
$50 \text{ kV} < U_n \leq 130 \text{ kV}$	HTB1	
$130 \text{ kV} < U_n \leq 350 \text{ kV}$	HTB2	Domaine HTB
$350 \text{ kV} < U_n \leq 500 \text{ kV}$	HTB3	
		Domaine de haute tension

I.1.2.2 Le réseau de transport

La première de ces divisions est le réseau de transport (THT) ou réseau de haute tension de niveau B (HTB). C'est sur ce réseau que les centrales de production d'électricité classiques (centrales nucléaires, hydrauliques..) sont connectées. Ces réseaux ont une architecture maillée, ainsi les productions ne sont pas isolées mais toutes reliées entre elles. Cette structure permet une sûreté et la continuité de fonctionnement [2].

I.1.2.3 Le réseau de répartition

Le deuxième niveau de tension est le réseau de répartition (**HT**), celui-ci assure le transport des réserves en électricité composées de l'énergie puisée au réseau de transport et de productions de plus petites échelles vers les zones de consommation et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci [2].

I.1.2.4 Le réseau de distribution

1. Définition

La troisième et dernière subdivision est le réseau de distribution **MT**. Ce réseau a pour fonction d'alimenter l'ensemble de la clientèle principalement connectée à ce réseau. Son exploitation est gérée par un Gestionnaire de Réseau de Distribution (GRD).

2. Architecture du réseau de distribution HTA (MT)

Les réseaux de distribution sont, en général, conçus de façon hiérarchisée dans le sens des transits de puissance. L'architecture générale du réseau de distribution HTA est représentée sur la (Fig. I.1).

A partir d'un point de connexion au réseau HTB, un jeu de barres alimente deux transformateurs HTB/HTA. Leurs puissance est dimensionnée afin qu'un seul transformateur puisse alimenter l'ensemble de la charge du réseau au cours d'une période de maintenance sur l'une des deux branches du poste (redondance au niveau des branches du poste) [3].

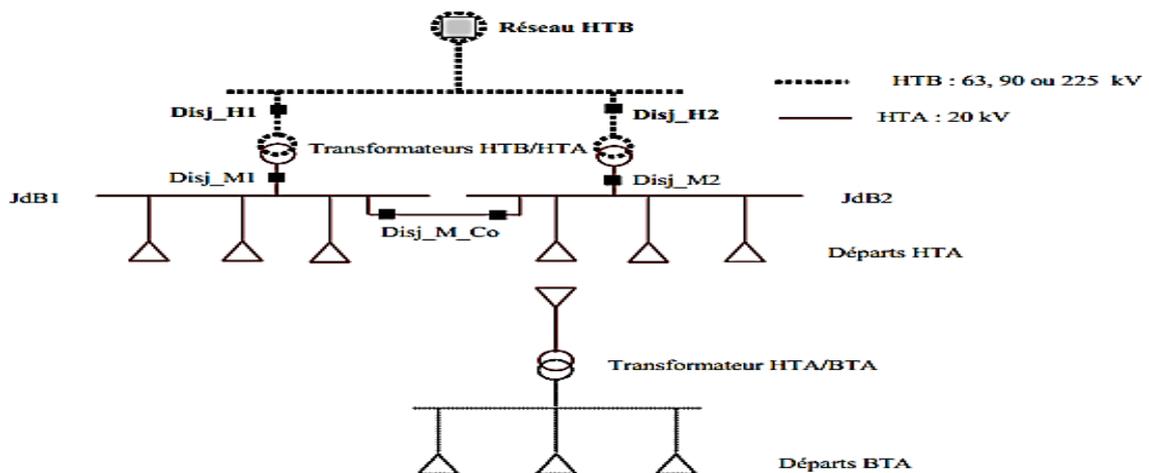


Fig.I.1 : Architecture générale du réseau de distribution HTA.

I.2 Les problèmes liés aux réseaux

Introduction

Depuis de nombreuses années, le distributeur de l'énergie électrique s'efforce à garantir la qualité de l'énergie électrique qui est fournie aux consommateurs. Les premiers efforts se sont portés sur la continuité de service afin de rendre toujours disponible l'accès à l'énergie chez l'utilisateur. Aujourd'hui, les critères de qualité ont évolué avec le développement des équipements où l'électronique prend une place prépondérante dans les systèmes de commande et de contrôle des réseaux électriques.

I.2.1 Qualité de l'énergie

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et de la qualité de courant.

I.2.1.1 Qualité de la tension

Pour rappel, la tension possède quatre caractéristiques principales : fréquence, amplitude, forme d'onde et symétrie.

La qualité de la tension peut être affectée, soit du fait de certains incidents inhérents à la nature physique et aux sujétions liées à l'exploitation du réseau, soit de la nature non linéaire de certains récepteurs. Ces défauts se manifestent sous forme de différentes perturbations, dont les principales sont les suivantes :

a. Les fluctuations de la fréquence à 50 Hz : Elles sont rares et ne sont observées que lors de circonstances exceptionnelles, par exemple certains défauts graves du réseau, au niveau de la production ou du transport.

b. Les variations de l'amplitude : Il ne s'agit pas des variations lentes de tension qui sont corrigées par les transformateurs de réglage en charge, mais de variations rapides de tension ou de creux de tension se présentant souvent sous forme d'à-coups brusques. Les creux de tension peuvent être soit isolés, soit plus ou moins répétitifs, de forme régulière ou non.

c. La modification de la forme d'onde de la tension : Cette onde n'est alors plus sinusoïdale et peut être considérée comme représentable par une onde fondamentale à 50 Hz, associée soit à des harmoniques de fréquence multiple entier de 50 Hz, soit même parfois à des ondes de fréquence quelconque.

d. La dissymétrie du système triphasé : La symétrie d'un système triphasé se caractérise par l'égalité des modules des trois tensions et celle de leurs déphasages relatifs. Lorsque cette symétrie n'est plus assurée pour une quelconque raison, on dit que le système est dissymétrique ou déséquilibré.

I.2.1.2 Qualité de courant

La qualité du courant est relative à une dérivé des courants de leur forme idéale et se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constante, déphasés de $2\pi/3$ radians entre eux et de forme purement sinusoïdale.

Le terme « qualité de courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement liée à la qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, « la qualité d'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension ».

I.2.2 Classification des perturbations électriques

On distingue quatre familles de perturbations électriques :

1. Les variations de l'amplitude (creux de tension, coupure brèves, surtension, Flicker)
2. Les fluctuations de la fréquence autour de la fréquence fondamentale.
3. Les modifications de la forme d'onde (harmoniques, inter harmoniques, bruits).
4. La dissymétrie du système triphasé déséquilibre (de phase et d'amplitude).

II.2.2.1 Creux de tension [4]

Description

Les creux de tension sont des réductions soudaines de plus de 10% de la tension nominale, suivies de son rétablissement après une courte durée variant entre 8 millisecondes et une minute (Voir Fig.I.2).

Cause

Les creux de tension sont généralement attribuables à de forts appels de courant dus à des défauts du réseau ou des installations des clients. Il s'agit d'événements aléatoires imprévisibles pour la plupart. La fréquence annuelle de ces événements dépend largement du type de réseau et du point d'observation et leur répartition sur une année peut être très irrégulière.

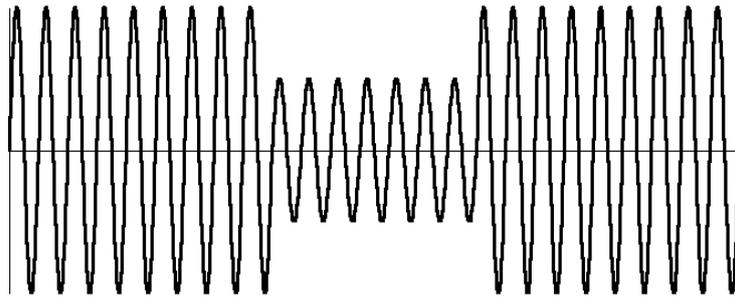


Fig.I.2 : Creux de tension.

I.2.2.2 Coupures brèves [4]

Description

Les coupures brèves correspondent à la perte momentanée de la tension d'alimentation sur toutes les phases pour des durées inférieures à 1 minute (Voir Fig.I.3).

Cause

La plupart du temps, les coupures brèves sont dues à l'action des dispositifs de protection des réseaux en vue d'éliminer les défauts. Sur les lignes à haute tension, il est de pratique courante d'effectuer un ré-enclenchement automatique dans le but de réalimenter le plus rapidement possible une ligne perturbée par un défaut fugitif. Ainsi, au lieu d'une interruption, les clients alimentés par la ligne perturbée ne subissent qu'une coupure brève dont la durée peut varier de 0,5 à 1,5 seconde, en l'absence de contraintes de coordination de protection.

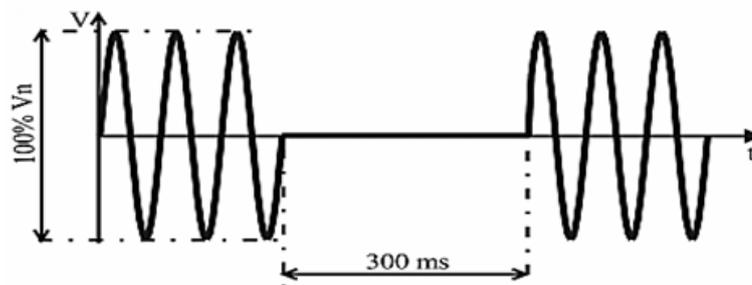


Fig.I.3 : Coupures brèves.

I.2.2.3 Papillotement [4]

Description

Le papillotement traduit l'inconfort physiologique éprouvé au niveau de la vision à la suite de changements répétitifs de luminosité de l'éclairage. À certaines fréquences, il peut percevoir l'effet sur l'éclairage de très faibles variations de tension. La plupart des appareils ne sont toutefois pas perturbés par ce phénomène.

Cause

Le papillotement est dû aux variations répétitives de tension causées par certaines charges industrielles comme les machines à souder, les laminoirs, les gros moteurs à charge variable, les fours à arc...etc.

I.2.2.4 Surtensions temporaires [4]

Description

Les surtensions temporaires sont des hausses soudaines de la valeur efficace de la tension de plus de 110% de la tension nominale, laquelle se rétablit après une courte durée. Les surtensions temporaires s'établissent en des durées allant entre 8 millisecondes et une minute.

Cause

Les surtensions temporaires peuvent être attribuables à des défauts, à des délestages de charge ou à des phénomènes de résonance et de Ferro-résonance. Le plus souvent, elles résultent des surtensions qui se produisent sur les phases saines lors de court-circuit monophasés à la terre, par exemple.

I.2.2.5 Surtensions transitoires [4]

Description

On classe généralement dans cette catégorie les perturbations de très courte durée, qui durent typiquement moins d'un demi-cycle, c'est-à-dire de quelques microsecondes (μs) à plusieurs millisecondes (ms). Les surtensions transitoires peuvent être unidirectionnelles ou oscillatoires et elles peuvent endommager les isolants de l'appareillage ou des composants électroniques (Voir Fig.I.4).

Cause

Les surtensions peuvent être dues à :

- ✓ Des manœuvres sur les lignes et les équipements en réseau, notamment des commutations de batteries de condensateurs qui se traduisent par une onde oscillatoire amortie superposée à l'onde fondamentale et présentent une fréquence généralement comprise entre 100 Hz et 9 kHz et d'une durée de crête inférieure à $\frac{1}{2}$ cycle.
- ✓ La foudre qui se traduit généralement par une impulsion unidirectionnelle présentant, dans les cas les plus rapides, un temps de montée de l'ordre de la microseconde.

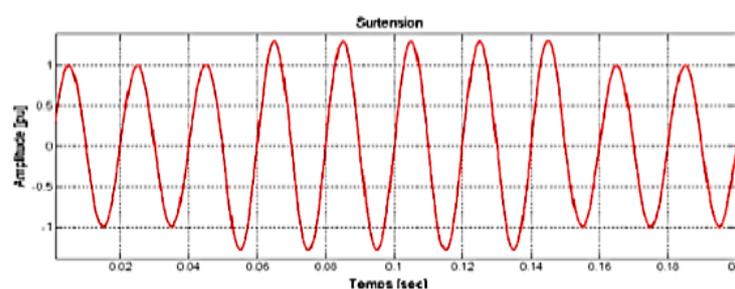


Fig.I.4: Exemple de surtension.

I.2.2.6 Variations rapides de tension [4]

Description

Les variations rapides de tension sont des variations soudaines mais relativement faibles de la tension se produisant à l'intérieur des plages définies pour l'amplitude de la tension en régime permanent. Les variations rapides de tension occasionnelles n'ont pas nécessairement beaucoup d'effet sur le papillotement mais elles peuvent perturber certains équipements et doivent, par conséquent, être limitées en amplitude.

Cause

La plupart du temps, elles résultent de variations de la charge des clients ou de manœuvres sur le réseau. Elles peuvent être occasionnelles ou répétitives.

I.2.2.7 Variation de fréquence [4]

Description

La fréquence nominale de la tension alternative fournie par le réseau est de 50 ou 60 Hz. Cette valeur est déterminée par la vitesse des alternateurs des centrales (Voir Fig.I.5).

Cause

Le maintien de la fréquence d'un réseau dépend de l'équilibre établi entre la charge et la puissance des centrales. Comme cet équilibre évolue dans le temps, il en résulte de petites variations de fréquence dont la valeur et la durée dépendent des caractéristiques de la charge et de la réponse de la production. Par ailleurs, le réseau peut-être soumis à des variations plus importantes dues à des défauts ou des variations de charge ou de production qui causent des variations de fréquence temporaires dont l'amplitude et la durée dépendent de la sévérité de la perturbation.

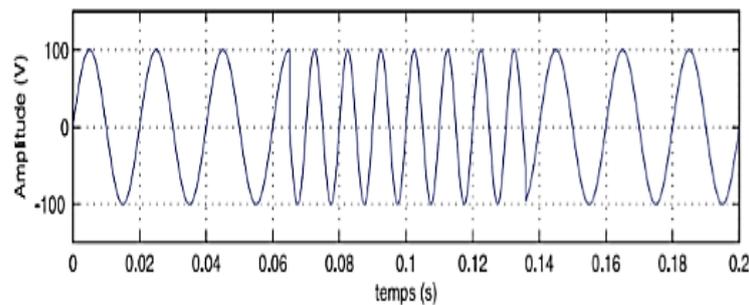


Fig.I.5 : Variation de la fréquence.

I.2.2.8 Tensions harmoniques [4]

Description

Les harmoniques sont des tensions ou des courants sinusoïdaux dont les fréquences correspondent à des multiples entiers de la fréquence fondamentale (50 ou 60 Hz). On considère dans la présente définition les harmoniques de longue durée, excluant les phénomènes transitoires isolés (Voir Fig.I.6 et Fig.I.7).

Cause

Les harmoniques sont créés par des appareils dont la caractéristique tension/courant n'est pas linéaire, comme c'est le cas avec les convertisseurs statiques à base de composants d'électronique de puissance des entraînements de moteurs, les redresseurs utilisés pour l'électrolyse, les fours à arc... etc.

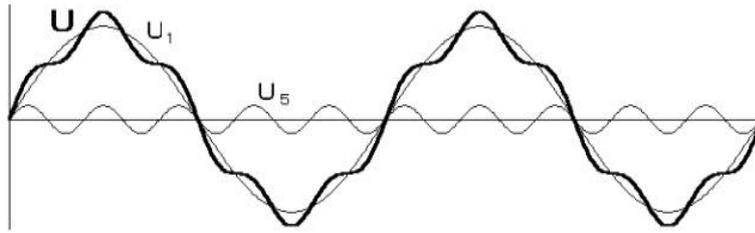


Fig.I.6 : Distorsion provoquée par un seul harmonique.

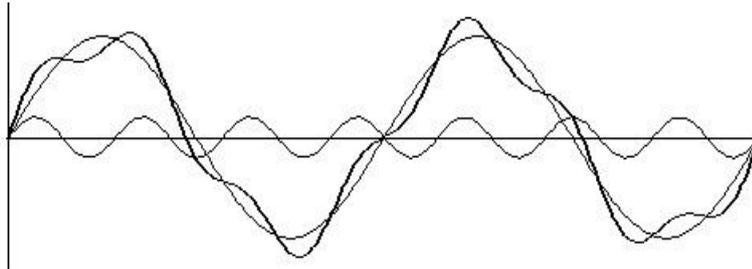


Fig.I.7 : Distorsion provoquée par un seul inter-harmonique.

I.2.2.9 Déséquilibre de tension [4]

Description

Cet indice sert à caractériser les asymétries d'amplitude et de déphasage des tensions triphasées en régime permanent. Le taux de déséquilibre de tension est défini suivant la méthode des composantes symétriques, comme le rapport existant entre le module de la composante inverse de la tension et celui de la composante directe (Voir Fig.I.8).

Cause

Les déséquilibres de tension qui s'appliquent aux tensions triphasées ont deux causes principales, soient les asymétries d'impédance des lignes du réseau et les déséquilibres de charge.

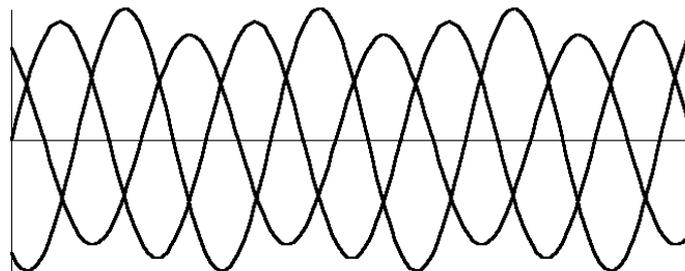


Fig.I.8 : Déséquilibre de tension.

I.3 Production Décentralisée

Introduction

Le processus de libéralisation des marchés électriques qui a démarré il y a quelques années, permet le développement d'une offre nouvelle pour la production d'électricité. Certains producteurs de petite taille ne peuvent pas être raccordés au réseau de transport d'électricité, la connexion est alors faite directement au réseau de distribution. Ces comportements particuliers se sont progressivement développés et sont maintenant définis sous le nom de Génération Décentralisée.

I.3.1 Définition de la Production Décentralisée

La Production Décentralisée est définie comme toute source d'énergie raccordée au réseau de transport, de répartition ou distribution et qui fait partie des énergies non conventionnelles (éolienne, solaire, piles à combustible entre autres) ou conventionnelles de petite puissance < 100MW (micro-turbines à gaz, cogénération, moyen de stockage de l'énergie entre autres), elles sont généralement raccordées au réseau distribution [5].

I.3.2 Différents types de production décentralisée

Il existe plusieurs technologies de productions d'énergie électrique raccordées au réseau de distribution. Celles-ci diffèrent cependant de par leur puissance ou encore de par le type de carburant qu'elles utilisent comme le gaz naturel, l'hydrogène, le diesel ou encore des énergies dites renouvelables comme le soleil ou le vent. Ces technologies de productions se différencient également par leur méthode de raccordement au réseau. D'une part, il y a les PED utilisant un alternateur synchrone ou asynchrone directement connecté au réseau, d'autre part celles utilisant un interfaçage d'électronique de puissance, comme dans le cas des piles à combustibles ou des panneaux solaires [1].

On distingue ainsi les types suivants :

I.3.2.1 La cogénération

La cogénération électricité – chaleur est une technique permettant de récupérer la chaleur produite par toute microcentrale électrique proche de bâtiments et fonctionnant à haute température, qu'il s'agisse de centrales thermiques classiques ou de certains types de piles à combustible. Le rendement énergétique global d'une telle installation peut atteindre 90% et l'utilisation locale de la chaleur produite permet d'éviter une consommation supplémentaire d'énergie pour le chauffage des bâtiments [2].

I.3.2.2 Les énergies non renouvelables

Energies fossiles (gaz, charbon, pétrole) : les technologies utilisant ces énergies primaires sont nombreuses et bien éprouvées, ce qui leur confère un grand intérêt économique. Les principales technologies sont [1]:

- Le thermique à flamme, basé sur des turbines ou micro turbines à vapeur.
- Les moteurs à combustibles fossiles : Les turbines à gaz et les groupes diesel sont des moyens de production utilisant une génératrice synchrone pour transformer l'énergie mécanique développée par celles-ci en énergie électrique [1].
- Hydrogène : Les piles à combustible produisent directement de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène par réaction inverse de l'électrolyse de l'eau [2].

I.3.2.3 Ressources énergétiques renouvelables [2]

- **Hydraulique** : Les centrales hydrauliques fonctionnent grâce à l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau des rivières, des lacs ou des fleuves. Celle-ci est transformée en énergie électrique par un alternateur entraîné par une turbine mue par la force de l'eau qui est due soit à la hauteur de chute dans le cas de centrales alimentées par une conduite forcée, soit au débit dans le cas de centrales au fil de l'eau.

- **Eolien** : Les aérogénérateurs, ou éoliennes, tirent leur énergie du vent qui est transmise par le rotor et le multiplicateur de vitesse à une génératrice. Cette source d'énergie, qui commence à atteindre sa maturité technologique est de plus en plus, répandue grâce à son fort attrait écologique.

- **Géothermie** : Les centrales géothermiques utilisent la chaleur de nappes d'eau souterraines qui peuvent atteindre 350 °C dans les zones les plus favorables. Cette eau chaude est pompée vers la surface pour passer dans des échangeurs. La vapeur produite est turbinée dans une installation thermique classique.

- **Solaire photovoltaïque** : Les panneaux solaires convertissent directement l'énergie reçue par rayonnement solaire en énergie électrique à courant continu.

- **Solaire thermique** : Les centrales solaires thermiques sont des centrales thermiques utilisant des turbines à vapeur, celle-ci étant produite par chauffage de l'eau via un fluide caloporteur en utilisant le rayonnement solaire concentré sur un échangeur par des miroirs paraboliques.

- **Biomasse et déchets** : Certaines centrales thermiques à flamme utilisent comme source primaire des combustibles issus de la biomasse (bois, biogaz, paille, déchets organiques, etc.) ou de déchets industriels et domestiques.

- **Marémotrice** : Les centrales marémotrices peuvent s'apparenter à des centrales hydrauliques au fil de l'eau à ceci près que les turbines sont réversibles pour profiter du flux et du reflux des marées.

- **Hydrolienne** : Les centrales hydroliennes utilisent l'énergie cinétique de la houle dont l'énergie provient du vent.

I.3.3 Caractéristiques de Production Décentralisée

Les systèmes de production décentralisée peuvent se caractériser par le type de générateur ou d'interface utilisé. On distingue ainsi les catégories suivantes et leurs domaines d'applications actuels, avec quelques empiétements entre catégories [1].

I.3.3.1 Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone) [1]

Ces systèmes sont dits classiques en raison de l'utilisation de générateurs synchrones comme dans les centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire, et dans les centrales hydrauliques.

- Biomasse
- Energie géothermique
- Diesel
- Solaire à bac parabolique et tour
- Turbine à gaz à cycle simple
- Turbine à gaz à cycle combiné
- Vent

I.3.3.2 Systèmes à générateurs asynchrones [1]

- Solaire réflecteur-moteur (à miroirs paraboliques et moteurs à cycle Stirling et Brayton)
- Vent
- Houle

I.3.3.3 Systèmes à interface avec convertisseur électronique [1]

- Vent (avec générateur synchrone ou asynchrone)
- Photovoltaïque
- Stockage par batterie
- Stockage par bobine supraconductrice et Piles à combustible

Tout générateur destiné à être raccordé au réseau triphasé à courant alternatif 50/60 Hz doit constituer une source de trois forces électromotrices triphasées symétriques, de même ordre de succession que les tensions du réseau. De nombreux types de GED existent qui utilisent des technologies matures ou en phase de développement. Les énergies primaires utilisées sont également très variées, d'origine renouvelable ou fossile [1].

I.3.4 Intégration de l'énergie électrique produite dans un réseau de distribution

I.3.4.1 Généralités

Le raccordement aux réseaux de distribution (MT) d'unités de production décentralisées doit respecter certaines contraintes techniques et impose, généralement, des aménagements dans le réseau pour assurer un fonctionnement correct de ce dernier, en particulier dans les réseaux de distribution qui n'ont pas été à l'origine conçus et développés pour accueillir des unités de production. Des précautions quant à l'insertion de GED sur les départs de réseaux de distribution sont ainsi à prévoir par des règles de raccordement afin de conserver le bon déroulement du fonctionnement du réseau. Ces règles sont des prescriptions techniques de conception et de fonctionnement : la protection, la puissance d'installation, la perturbation et la fréquence, tension... [2].

I.3.4.2 Conditions de couplage au réseau [6]

Les différentes étapes de l'étude de raccordement ont pour objet de concourir à la détermination des ouvrages à établir ou à modifier pour assurer une desserte dans des conditions techniques et économiques optimales. Chacun des domaines d'interaction du site avec le réseau ou les autres utilisateurs est exploré et le dimensionnement du raccordement projeté doit assurer le maintien du réseau existant et futur dans un domaine de fonctionnement acceptable.

Les opérations à mener pour vérifier l'impact du raccordement et déterminer les solutions de raccordement de tous les utilisateurs producteur ou consommateur sont les suivantes :

- ❖ Tenue thermique des éléments du réseau : vérification des capacités de transit.
- ❖ Vérification des conséquences sur les plans de tension des réseaux HTA et BT.

Pour les utilisateurs producteurs, les vérifications complémentaires suivantes sont à effectuer :

- ❖ Vérification de la tenue de la tension au poste source : risque de butée régleur.

- ❖ Modification des comptages au poste source.
- ❖ Vérification de la tenue des matériels aux courants de court-circuit supplémentaires apportés par l'installation de production.
- ❖ Vérification du fonctionnement du plan de protection contre les défauts entre phases du réseau HTA et du poste de livraison.
- ❖ Choix de la protection de découplage.
- ❖ Évaluation de la nécessité d'installation d'un dispositif d'échange d'informations d'exploitation.

Certaines installations de consommation ou de production particulières peuvent nécessiter des études complémentaires compte tenu de leur impact possible sur la qualité. Ces études ne sont pas systématiques et sont engagées selon la nature et les caractéristiques de l'installation (en soutirage ou en injection) envisagée et les caractéristiques du réseau d'accueil:

- ❖ Évaluation du niveau de variations rapides de tension.
- ❖ Évaluation des niveaux de courants harmoniques injectés.
- ❖ Évaluation du déséquilibre des charges.
- ❖ Évaluation de l'affaiblissement du signal de transmission tarifaire.

I.3.4.3 Découplage des sources auto productrices [7]

Afin de permettre les travaux sur les réseaux, l'installation de production décentralisée doit pouvoir en être séparée par un dispositif de coupure de sécurité visible à verrouillage et accessible en permanence au gestionnaire de réseau. Si la tension n'est pas normale, la source autonome doit pouvoir être déconnectée automatiquement du réseau.

I.3.4.4 Domaine d'application

Ces prescriptions techniques s'appliquent aux installations de production d'énergie électrique à raccorder sur le réseau de distribution à basse tension ou à moyenne tension, couvrant la gamme des puissances allant jusqu'à plus ou moins de 25 MVA.

I.3.5 Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution [8, 9, 10]

La production décentralisée peut occasionner quelques impacts sur le réseau électrique, dont on cite :

- **Impacts sur le sens d'écoulement de l'énergie**, le système électrique a été dimensionné pour un flux de puissance du système de transport vers le système de distribution.

Ainsi, il est possible que l'énergie soit injectée à partir du système de distribution dans le système de répartition et de transport. Ceci implique un besoin de bidirectionnalité dans l'équipement mis en jeu.

- **Impacts sur le plan de protection**, dimensionnement des seuils des protections, sélectivité entre protections et possibilité d'une mauvaise opération, déclenchements intempestifs, aveuglement des protections.

- **Impacts sur la stabilité du système** à cause de l'insertion de machines synchrones qui changent le temps critique d'élimination de défaut du système.

- **Impacts sur la qualité de l'énergie** (forme et valeur efficaces de la tension, déséquilibres entre autres).

- **Impacts sur la planification du réseau**, son contrôle et son exploitation. Ceci implique une nouvelle observabilité des réseaux de distribution car ils ont été conçus comme un élément passif. Avec la production décentralisée, ces réseaux deviennent actifs.

I.3.6 Avantages de la production décentralisée

- Les GED peuvent être installées près des sites de consommation, réduisant ainsi le coût de transport, les pertes en lignes et l'appel de puissance réactive au niveau du poste source.

- Le temps d'installation est plus court que pour la production centralisée et les sites d'installation sont plus faciles à trouver.

- Les nouvelles technologies mises en œuvre sont plus propres et l'utilisation des producteurs décentralisés en cogénération améliore nettement le rendement énergétique global de l'installation et donc son attrait économique.

I.4 Réglage de tension et de fréquence [5,9]

I.4.1 L'utilité de réglage de la tension

Le réglage de la tension sur les réseaux de distribution est essentiel pour la sûreté, la qualité et l'optimisation des systèmes électriques. Tout en permettant aux utilisateurs du réseau de faire fonctionner leurs matériels dans des conditions optimales, il assure aux gestionnaires du réseau une exploitation du réseau à moindre coût et dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

I.4.2 Réglage hiérarchisé de la fréquence

En fonctionnement normale, la fréquence d'un système d'énergie électrique est identique, à un instant donné, sur l'ensemble du réseau. Elle est liée à la vitesse des groupes de productions, tous les alternateurs tournent à la même vitesse électrique. La stabilité de la fréquence est assurée par l'équilibre entre la production et consommation. Les centres de productions sont donc régulés pour garantir la stabilité de la fréquence et son maintien à une valeur nominale de référence. Ceci est rendu possible grâce à la constitution de réserves de puissance réparties sur différents réglages hiérarchisés intervenant successivement, le réglage primaire, secondaire, et tertiaire.

I.4.2.1 Réglage primaire de fréquence (RPF)

Ce réglage de fréquence est basé sur le constat qu'un déséquilibre entre la production et la consommation induit une variation de fréquence due à la variation de vitesse des groupes alternateurs. Ce réglage est réalisé automatiquement au niveau des centres de production. Ce réglage suit une relation linéaire entre la fréquence (imposée par la vitesse des groupes tournants) et la puissance.

I.4.2.2 Réglage secondaire de fréquence (RSF)

Son objectif est de ramener la fréquence à sa fréquence nominale, ce réglage automatique centralisé dans les centres nationaux de dispatching envoie de nouvelles consignes de puissance au groupe participant au RSF. Les RSF sont plus lents que le réglage primaire et il intervient une dizaine de secondes après la stabilisation de la fréquence par le réglage primaire.

I.4.2.3 Réglage tertiaire de fréquence (RTF)

Ce réglage est manuel : il est effectué par les opérateurs du réseau depuis le centre de dispatching, cette réserve tertiaire permet d'une part de compléter le RSF. Si cette réserve s'est trouvée insuffisante pour ramener la fréquence à sa valeur nominale mais également de compenser la différence entre production et consommation lors de variation lente de cet écart, cette réserve doit être mobilisable dans un délai de 15 minutes. En somme, les réserves secondaire et tertiaire doivent être dimensionnées pour faire face aux pointes de consommations, alors que la réserve primaire doit faire face aux variations rapides de fréquence.

I.5 Les protections

I.5.1 Protection des réseaux de distribution

Le système de protection est conçu pour une direction unique du transit de puissance du poste source ou distributeur vers les consommateurs, ce système de protection doit répondre aux objectifs suivants :

- Assurer la continuité de fourniture aux consommateurs.
- Préserver la sécurité des personnes et des biens.
- Eviter la destruction des matériels.

I.5.2 La protection de la production décentralisée [11]

Deux types de protections peuvent être énumérés : la protection de découplage, la Protection des machines du réseau.

- Les protections dans le réseau ont pour but l'élimination de défauts dans le réseau, c'est à dire la protection des biens et des personnes. Cette tâche est normalement réalisée, par les mesures du courant (et mesure de la tension homopolaire).

- La protection entre le réseau et la production décentralisée (ou protection de découplage) (voir Fig.I.9), est placée au point de raccordement de la production décentralisée et du réseau. Le but de cette protection est de protéger les générateurs d'un mauvais état de fonctionnement dans le réseau ou les personnes chargées de la réparation du réseau. Ainsi, lorsqu'un tronçon est déconnecté, il faut éviter que les producteurs décentralisés n'électrocutent les agents responsables de la maintenance ou de la réparation.

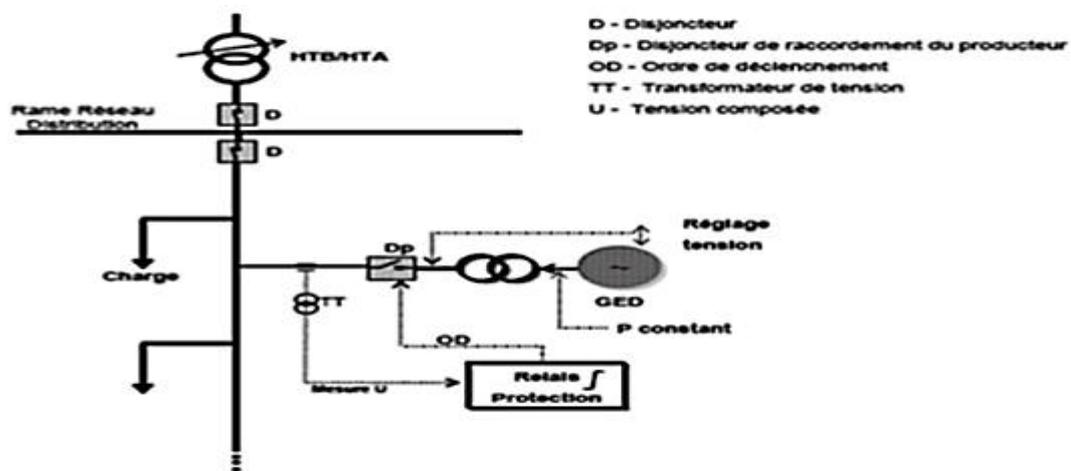


Fig. I.9: Protection de découplage dans le réseau de distribution 20kV.

I.5.3 Protection des producteurs et réseaux industriels tertiaires [15]

- Protection des réseaux industriels : il s'agit typiquement d'interrupteurs placés au point de raccordement avec le réseau et qui sont déclenchés par mesure de courant.
- Sont désignées comme protection des producteurs toutes les différentes protections existantes pour assurer la sécurité des machines et turbines (survitesse, excitation, surintensité, température entre autres).

Conclusion

Ce chapitre expose une vision générale sur les réseaux MT, son rôle et les problèmes liés à ces réseaux (qualité de l'énergie) et aussi la classification des perturbations liées au système électrique (creux de tensions, harmoniques.. etc.).

Et nous avons exposé, dans ce chapitre, la définition de la production décentralisée et ses caractéristiques, les types des GED et les différents impacts sur les réseaux électriques.

Nous avons, particulièrement, mis en évidence que l'intégration de la production décentralisée sur un réseau électrique doit respecter certaines conditions (réglage de fréquences, niveau de tension...).

Il appartient aux planificateurs de réseaux de réfléchir aux dispositions qui seront alors à prendre pour que la qualité de service électrique que nous connaissons aujourd'hui soit maintenue ou améliorée.

Chapitre II

Dispositifs atténuateurs des perturbations

Introduction

Le réseau électrique peut être soumis à différentes perturbations qui se propagent vite et sur une partie étendue et qui peuvent avoir un impact critique sur tout le système électrique.

Dans le présent chapitre, nous allons en premier lieu, voir les modes de compensation de la puissance réactive et d'harmoniques, à savoir : les filtres et en particulier les filtres actifs. En deuxième lieu, on s'intéressera aux différents types de FACTS suivant leurs classifications (série, parallèle, ou hybride).

II.1 Les Filtres

Afin de limiter les effets harmoniques et réactifs d'un courant perturbé, il a été développé différents systèmes de filtrage. On va ainsi présenter, ci-après une description restreinte des différents types de filtres pour ensuite développer plus longuement les filtres actifs [12].

II.1.1 Les filtres passifs

Le principe du filtrage passif consiste à insérer en parallèle de la charge, un ou plusieurs circuits accordés sur les harmoniques à rejeter. Un filtre passif est constitué d'éléments passifs tels que des inductances, des condensateurs et des résistances, qui forment une impédance dont la valeur varie en fonction de la fréquence de l'harmonique ciblé. Le dimensionnement de ces filtres dépend des rangs des harmoniques à éliminer, des performances exigées et de la nature des récepteurs.

II.1.1.1 Types de filtres passifs

1. Filtre passif résonant

C'est un filtre sélectif constitué d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine en série, comme décrit sur la figure (II.1) [13].

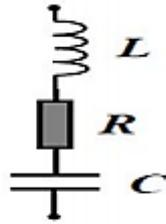


Fig.II.1 : Filtre passif résonant.

2. Filtre passif amorti

C'est un filtre passe haut constitué d'une inductance en parallèle avec une résistance, le tout en série avec un condensateur comme décrit sur la figure (II.2) [13].

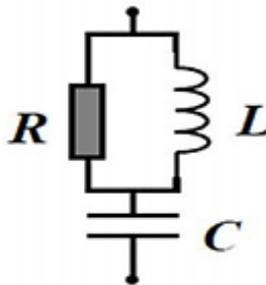


Fig.II.2 : Filtre passif amorti.

II.1.2 Inconvénients des filtres passifs

- La conception du filtre nécessite une connaissance de la configuration du réseau électrique.
- Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source.
- Aux fréquences spécifiques, il existe des anti-résonances entre l'impédance de source et les filtres passifs en plus, des harmoniques de courants générés par la tension de source non-sinusoïdale s'écoulent par les filtres passifs LC.
- La variation de la fréquence de la source alternative affecte les caractéristiques de compensation des filtres passifs par conséquent, la taille des composants dans chaque branche accordée devient peu pratique si la variation de fréquence est grande.

- Toute modification du réseau (restructuration, nouveaux clients,...), en changeant la fréquence d'accord, peut rendre le filtre passif inadapté et perturbateur (phénomène de résonance). Donc si la structure du réseau évolue, on devra automatiquement modifier les paramètres du filtre.
- Afin de limiter les risques de résonances en tension, le facteur de qualité du filtre accordé est dégradé et provoque une consommation de puissance active.
- Pour le fondamental, ces circuits ont un comportement capacitif et sont une source de puissance réactive [14].

II.1.2 Les filtres actifs

L'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs comme les thyristors GTO et les transistors IGBT ont conduit à concevoir une nouvelle structure de filtres appelés filtres actifs de puissance [15].

Ces filtres ont pour but d'injecter sur le réseau soit :

- Des harmoniques de courant dans le cas d'un filtre actif parallèle.
- Des harmoniques de tension dans le cas d'un filtre actif série.
- Soit les deux dans le cas de filtre hybride [16].

Les filtres actifs sont connectés en série, en parallèle, en combinant ces deux dernières structures ensemble ou associés à des filtres passifs en fonction des grandeurs électriques harmoniques (courants ou tensions) à compenser.

II.1.2.1 Principe de fonctionnement d'un filtre actif

Les filtres actifs sont des convertisseurs de puissance qui agissent comme des sources de tension ou de courants harmoniques soit en série ou en parallèle, en opposition de phase avec ceux du réseau. Ainsi l'objectif de FAP consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, déséquilibres) produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance de réseau.

II.1.2.2 Classification des filtres actifs

Les filtres actifs peuvent être classés à partir du type de convertisseur qu'ils utilisent, de leurs topologies ou encore de leur nombre de phases. Nous nous limiterons ici à la classification selon leurs différentes topologies (série, en parallèle ou mixte).

a. Filtres actifs série (FAS)

Les filtres actifs série sont une solution adaptée à la compensation des tensions perturbatrices, harmoniques, déséquilibrées et les creux de tensions. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge [15].

Ils injectent une tension, sur le réseau, qui est ajoutée à la tension de source pour maintenir une tension purement sinusoïdale aux bornes de la charge, il se comporte donc, comme une source de tension contrôlable.

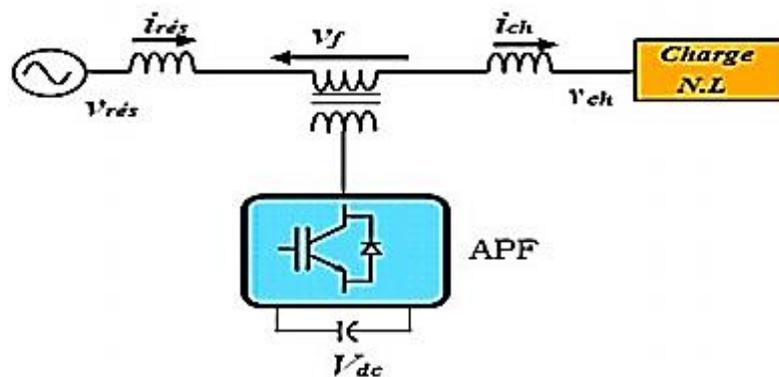


Fig.II.3 : filtre actif série.

b. Les filtres parallèles (FAP)

Appelés aussi filtres actifs «shunt», ils sont connectés en parallèle sur le réseau. Les FAP sont souvent utilisés pour l'élimination des courants harmoniques engendrés par les charges génératrices des courants harmoniques. Dans certaines conditions, ils peuvent être utilisés pour compenser la puissance réactive.

c. Les redresseurs MLI

C'est un convertisseur à modulation de largeur d'impulsions utilisant des composants à commutation forcée tels que les IGBT ou les thyristors GTO. L'emploi de cette technique permet non seulement une réduction de la perturbation harmonique, en prélevant des courants d'allure sinusoïdale mais aussi un contrôle des puissances actives et réactives [17].

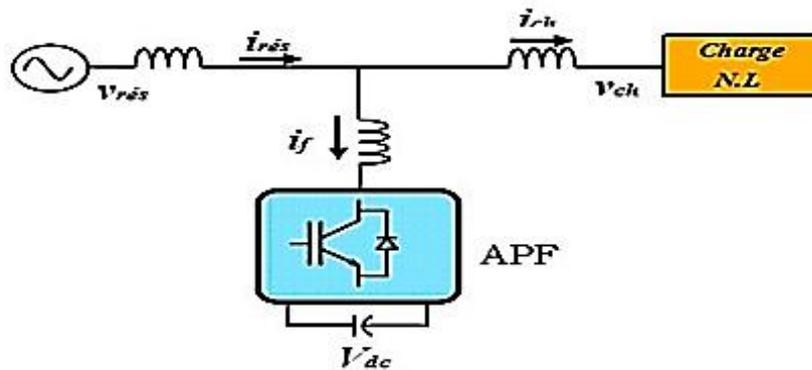


Fig.II.4 : filtre actif parallèle.

d. Filtre combiné série parallèle UPQC

La combinaison série parallèle, aussi appelée UPQC (Unified Power Qualité Conditioner) est principalement la combinaison de deux filtres actifs série et parallèle qui partagent le même condensateur sur le bus continu. Ce type de dispositif est capable de régler, à la fois, la tension du réseau et d'éliminer les harmoniques. Il est considéré comme le plus puissant dispositif et il est capable d'effectuer efficacement toutes les tâches de conditionnement de puissance. Cependant, son prix important et la complexité des commandes des nombreux interrupteurs limitent son utilisation [13].

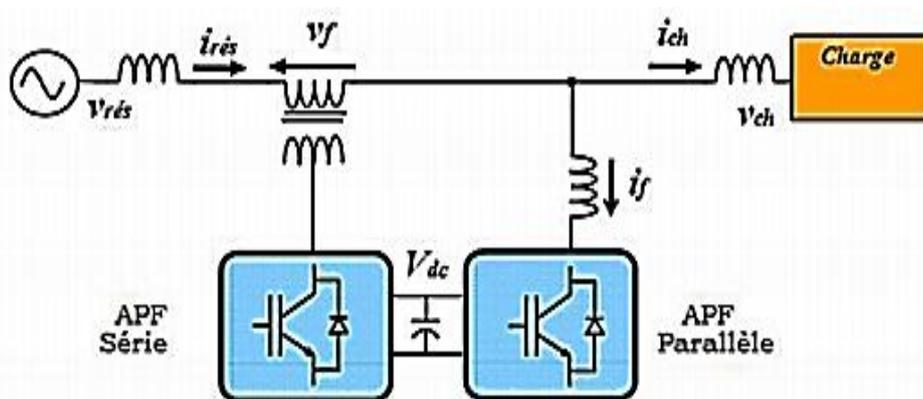


Fig.II.5 : filtre combiné série parallèle.

II.1.2.3 Avantages des filtres actifs [18]

Les avantages de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants :

- Ils sont plus fiables (toutes les chaînes de fabrication sont automatisées).
- Le volume physique du filtre est plus réduit.
- La capacité de filtrage est supérieure.
- La flexibilité et adaptabilité sont très supérieures.
- Ont une grande qualité.

II.1.2.4 Inconvénients des filtres actifs [12]

- Les composants actifs nécessitent une source d'énergie.
- Leur coût élevé a limité leur implantation dans l'industrie.
- Les composants actifs ont une bande passante réduite, au contraire les composants passifs utilisés pour les applications haute fréquence.
- Les circuits actifs sont très sensibles à la précision sur leurs composants, c'est-à-dire que leurs caractéristiques peuvent varier si les composants utilisés ne sont pas à leurs valeurs nominales.

II.1.3 Combinaison hybride active et passive

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent, le prix des filtres actifs, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut constituer une solution.

Dans ce cas, le rôle de filtre actif est de maintenir et d'améliorer les performances de filtrage en fonction de l'évolution de la charge et de réseau, tandis que le filtre passif s'occupe de la compensation d'une bonne partie des harmoniques [19].

De nombreuses configurations existent combinant des éléments passifs et filtres actifs série ou parallèle.

1. Filtre actif série avec un filtre passif parallèle

Dans cette combinaison, le filtre série régule la tension au point PCC tandis que le filtre parallèle est réglé sur quelques harmoniques de courant (rangs inférieurs) qui doivent être supprimés [14].

Cette configuration permet de minimiser la puissance de filtre actif car une grande partie des courants harmoniques est absorbée par les filtres passifs.

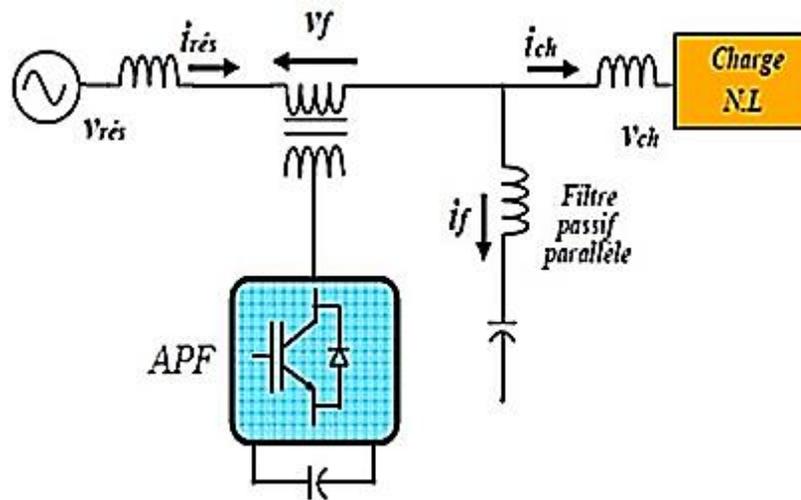


Fig.II.6 : Filtre actif série associé à un filtre passif parallèle.

2. Filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles

Le principe de fonctionnement de cette configuration, montré en figure (II.7) est la même que la précédente avec l'avantage de réduire encore les dimensions du filtre actif série car le courant qui le traverse est plus faible. De plus, le filtre actif série est à l'abri d'un éventuel court-circuit de la charge [15].

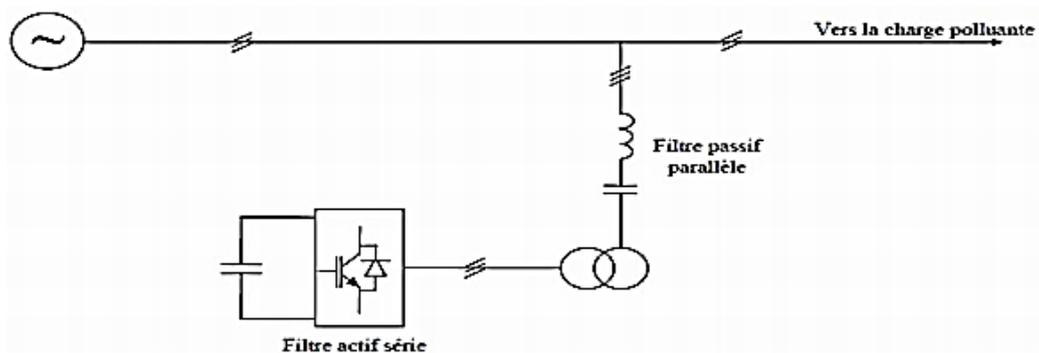


Fig.II.7 : Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle.

3. Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle

Dans cette combinaison, le rôle du filtre actif est la compensation des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante pendant que le filtre passif est conçu pour les courants harmoniques de haute fréquence. Le principal défaut de cette technique est qu'elle contient trop de composants de puissance, en particulier pour le filtre passif [15].

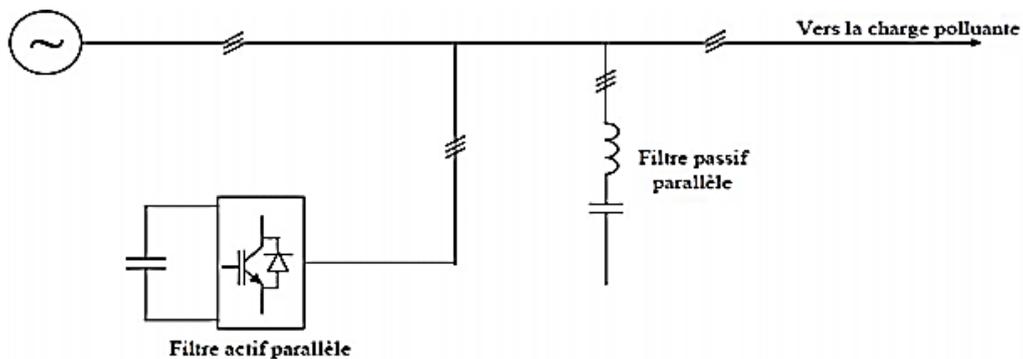


Fig.II.8 : Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

II.2 Système de transmission flexible en courant alternatif (FACTS)

Introduction

Un FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) est un équipement d'électronique de puissance d'appoint utilisé pour contrôler la tension, augmenter les capacités de transit ou assurer la stabilité dynamique des réseaux de transmission d'électricité. Il agit, généralement, en fournissant ou en consommant dynamiquement de la puissance réactive sur le réseau. Ceci a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude de la tension à son point de connexion et par conséquent la puissance active maximale transmissible [20].

II.2.1 Définitions et généralités

Selon l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), la définition du terme FACTS est la suivante : Système de Transmission en Courant Alternatif comprenant des dispositifs basés sur l'électronique de puissance et d'autres dispositifs statiques utilisés pour accroître la contrôlabilité et augmenter la capacité de transfert de puissance du réseau [12].

Avec leurs aptitudes de modifier les caractéristiques apparentes des lignes, les FACTS sont capables d'accroître la capacité du réseau dans son ensemble en contrôlant les transits de puissances.

Il est donc important de souligner que les dispositifs FACTS ne peuvent pas augmenter la capacité thermique des lignes de transport. En revanche, ils permettent d'utiliser les lignes plus proches de leurs limites lesquelles sont déplacées vers de plus grandes valeurs, en particulier, celles liées à la stabilité. Finalement, il faut noter que les FACTS ne remplacent pas la construction de nouvelles lignes, Ils sont un moyen de différer les investissements en permettant une utilisation plus efficace du réseau.

II.2.2 Rôle des dispositifs FACTS

Dans un réseau électrique, les FACTS permettent de remplir des fonctions tant en régime stationnaire qu'en régime transitoire. Ils agissent, généralement, en absorbant ou en fournissant de la puissance réactive, en contrôlant l'impédance des lignes ou en modifiant les angles des tensions. En régime permanent, les FACTS sont utilisés principalement dans les deux contextes suivants :

- Le maintien de la tension à un niveau acceptable en fournissant de la puissance réactive lorsque la charge est élevée et que la tension est trop basse, alors qu'à l'inverse ils en absorbent si la tension est trop élevée.
- Le contrôle des transits de puissances de manière à réduire, voir supprimer, les surcharges dans les lignes ou les transformateurs ainsi que pour éviter les flux de bouclage dans le réseau. Ils agissent alors en contrôlant la réactance des lignes et en ajustant les déphasages.

De par leur vitesse de commande élevée, les FACTS possèdent de nombreuses qualités en régime dynamique [12].

Ils permettent en particulier :

- D'accroître la réserve de stabilité transitoire.
- D'amortir les oscillations de puissances.
- De supporter de manière dynamique la tension.

Les dispositifs FACTS ont également une action bénéfique sur les niveaux des courants de court-circuit ainsi qu'en cas de résonance hypo-synchrone.

II.2.3 Types de FACTS

Les contrôleurs FACTS peuvent être classés comme suit:

II.2.3.1 FACTS de type série

Ces types de FACTS connectés en série dans le réseau peuvent être utilisés comme une impédance variable (inductive, capacitive) ou une source de tension variable. En général, ces compensateurs modifient l'impédance des lignes de transport en insérant des éléments en série avec celles-ci, Voir (Fig.II.9).

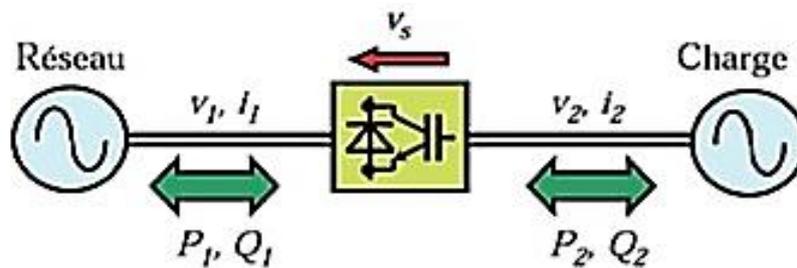


Fig.II.9 : Schéma de raccordement série.

1. Condensateur série commandé par thyristors

Ceci peut être réalisé de deux manières:

✓ Par un contrôle continu

Un module de TCSC (Thyristor-Controlled Series Capacitor) est composé d'un banc de condensateurs de réactance X_C en parallèle avec une réactance inductive X_{ind} contrôlée par deux thyristors. L'impédance totale X_{TCSC} vue par la ligne est une combinaison parallèle de la capacité et de l'inductance équivalente variable selon l'angle d'amorçage des thyristors. On peut aligner plusieurs modules commandés en série dans la ligne à compenser [21]. Ce système permet:

- D'accroître la longueur électrique d'une ligne de transmission à courant alternatif.
- L'amortissement des oscillations de puissance.
- La stabilité de la tension.
- L'équilibrage des flux de charge dans les réseaux de transmission.
- Une grande plage de variation de l'impédance équivalente capacitive et inductive.
- La réduction des problèmes dus aux phénomènes de résonance sub-synchrone.

✓ Par une commande discrète

La différence entre TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor) et le TCSC est que l'angle d'amorçage est soit de 90 degrés soit de 180 degrés [21].

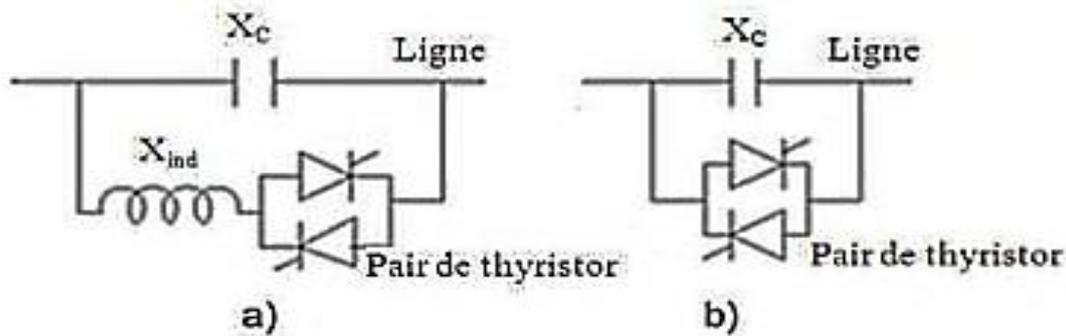


Fig.II.10 : Schéma de principe de a)TCSC et b) TSSC.

2. Compensateur Série Synchronique Statique (SSSC)

Static Synchronous Series Compensator (SSSC)

Le SSSC est constitué d'un convertisseur statique avec une source d'énergie V_{dc} , connectée en série avec la ligne de transmission à travers un transformateur de tension placé en série comme le montré la figure (II.11).

Le SSSC injecte en série une tension alternative V_C en quadrature avec le courant de ligne I_L à l'aide d'un transformateur série. Le SSSC peut produire ou absorber la puissance réactive Q suivant la commande D du convertisseur statique (prend la mesure de la tension à l'aide d'un transformateur de tension TT, et du courant à l'aide d'un transformateur de courant TC).

Le SSSC a une fonction comparable au TCSC. Mais contrairement à ce dernier qui présente une zone morte à la résonance parallèle, le réglage est continu. De plus, l'introduction d'un stockage d'énergie est possible du fait de la structure du convertisseur VSC. En distribution, il a des niveaux de puissance plus faibles. Cette topologie est utilisée pour rendre fiable les utilisations critiques, face aux microcoupures : celle-ci porte alors le nom de DVR stockage dynamique de tension, (Dynamics Voltage Restorer) [21].

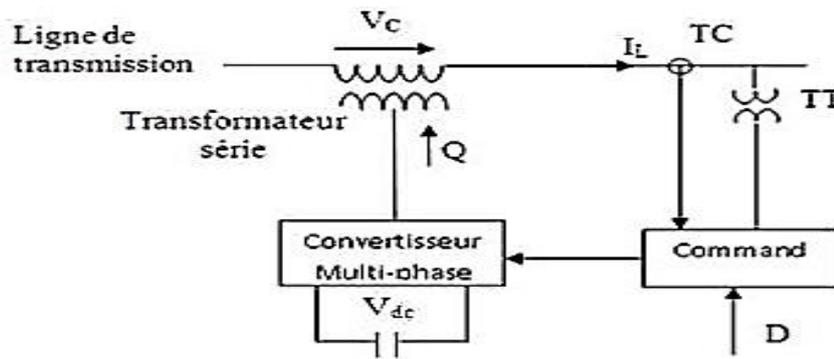


Fig.II.11 : Schéma de principe d'un SSSC.

3. Réactance Série Contrôlée par Thyristor TCSR

Thyristor Switched Serie Reactor (TCSR)

Le TCSR (Fig.II.12) est un compensateur inductif placé en série avec la ligne de transmission, qui se compose d'une inductance X_{ind1} en parallèle avec une autre inductance X_{ind2} commandée par thyristor afin de fournir une réactance inductive série variable. Lorsque l'angle d'amorçage de la réactance commandée par thyristor est de 180° , le thyristor cesse de conduire, et la réactance non contrôlable X_{ind1} agit comme un limiteur de courant de défaut. Pendant que l'angle d'amorçage diminue au-dessous de 180° , la réactance équivalente diminue jusqu'à l'angle de 90° , où elle est la combinaison parallèle de deux réactances [21].

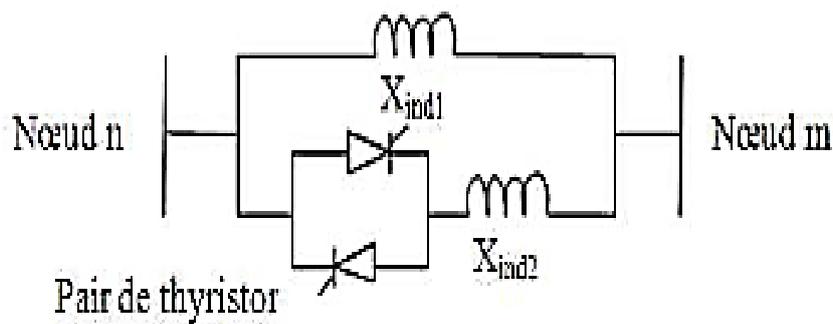


Fig.II.12 : Structure d'un TCSR.

II.2.3.2 FACTS de type parallèle

Ce sont, le plus souvent, des éléments statiques qu'ils génèrent ou absorbent de l'énergie réactive. Ce contrôle de l'énergie réactive injectée permet de maintenir le niveau de tension à une valeur consigne. En effet, la chute de tension dans une ligne peut être réduite en jouant sur la valeur de l'énergie réactive. Nous citons par la suite les dispositifs les plus utilisés.

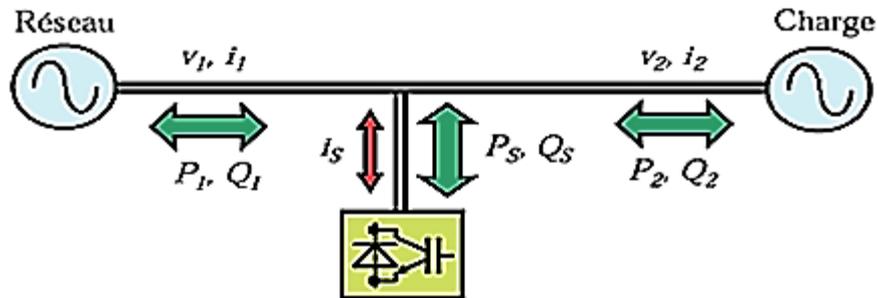


Fig.II.13 : Schéma de raccordement parallèle (shunt).

1. Compensateur Statique Synchrones (STATCOM)

Static synchronous compensator (STATCOM)

Le compensateur statique synchrone STATCOM est constitué d'un convertisseur source de tension, d'un transformateur d'accouplement et d'un circuit de commande. Dans cette application, la source d'énergie Vdc peut être remplacée par un condensateur C, de sorte que l'échange d'énergie, en régime permanent, entre le compensateur statique et le réseau soit uniquement réactif, comme il est illustré dans la figure (II.14) où I_C est le courant de sortie du convertisseur, perpendiculaire à la tension du convertisseur V_C . L'amplitude de la tension du convertisseur et la puissance réactive à la sortie du convertisseur sont réglables. Si V_C est supérieure à la tension V_L du réseau, le compensateur statique fournit la puissance réactive au système, dans le cas contraire, le compensateur statique absorbe la puissance réactive.

Le modèle simplifié du STATCOM est considéré comme une source de tension variable ajustée automatiquement pour atteindre la tension désirée et le point de connexion est considérée comme un jeu de barres où l'amplitude de la tension et la puissance active et réactive sont spécifiées [22].

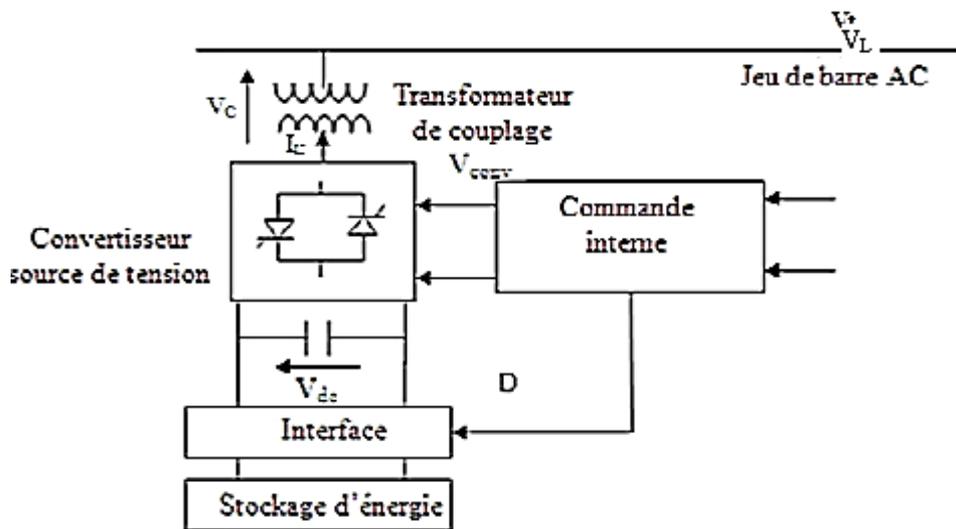


Fig.II.14 : Schéma de principe du STATCOM.

2. Compensateur Statique de Puissance Réactive SVC

Static Var Compensator

En pratique, il y a plusieurs modèles de SVC, le modèle défini par (Conférence Internationale des Grandes Réseaux Electrique) et considère le SVC comme un générateur synchrone qui ne produit aucune puissance active, identique à un condensateur synchrone en parallèle à une réactance inductive. Le jeu de barres au point de raccordement est comme un jeu de barres PV bus, devient PQ bus quand le SVC fonctionne à sa limite.

Le compensateur statique de puissance réactive SVC rend possible le contrôle rapide de la tension. La figure (II.15) ci- dessous illustre le schéma d'un SVC [22].

Le dispositif SVC est appliqué pour :

- la régulation de la tension.
- l'amélioration de la stabilité synchrone et équilibrage dynamique des charges.

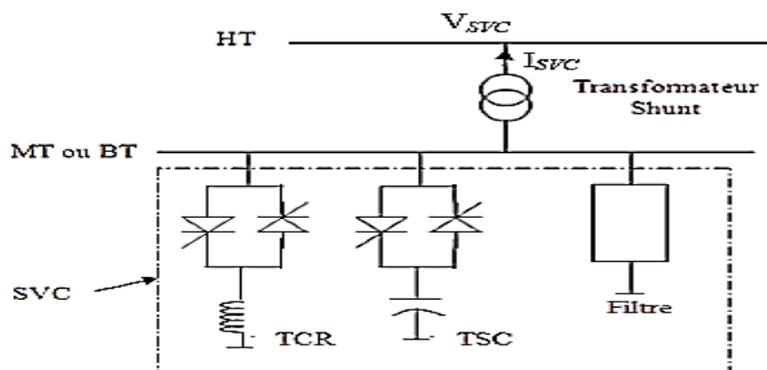


Fig.II.15 : Schéma de principe d'un SVC.

Caractéristique du SVC

La courbe caractéristique est une droite dont la pente et la tension de référence peuvent être ajustées par le système de contrôle.

Trois zones de fonctionnement distinctes sont énumérées :

- Une zone où seules les capacités sont connectées au réseau.
- Une zone de réglage où l'énergie réactive est une combinaison des TCR et des TSC.
- Une zone où le TCR délivre son énergie maximale (butée de réglage), les condensateurs sont déconnectés [16].

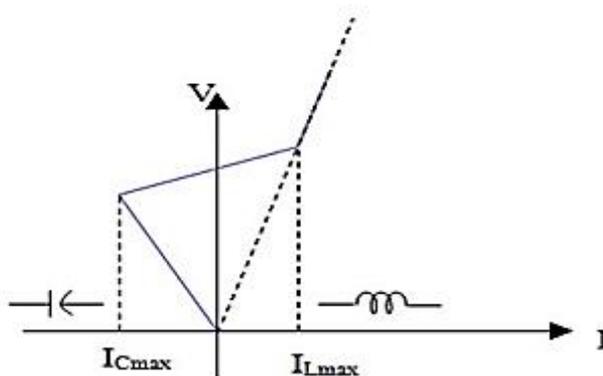


Fig.II.16 : Caractéristique statique d'un SVC.

II.2.3.3 FACTS de type série parallèle (Hybride)

Les compensateurs FACTS cités précédemment (série ou parallèle) permettent d'agir uniquement sur un des trois paramètres déterminant la puissance transmise dans une ligne (tension, impédance et angle). Par une combinaison des deux types de dispositifs, il est possible d'obtenir des dispositifs hybrides capables de contrôler simultanément les différentes variables précitées [23] [24].

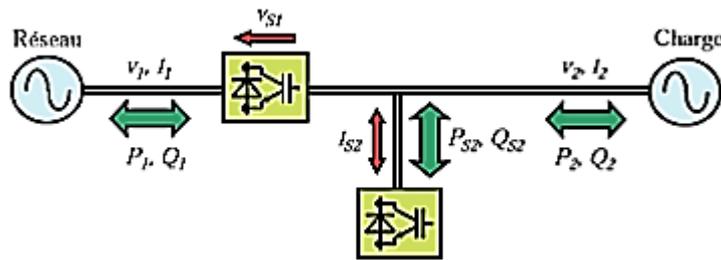


Fig.II.17 : Schéma de raccordement série-parallèle.

1. UPFC (Unified Power Flow Controller)

Le contrôleur de transit de puissance unifié UPFC (Unified Power Flow Controller) est formé de deux convertisseurs de tension reliés par une liaison à courant continu formée par un condensateur. Il s'agit, en fait, de la combinaison d'un STATCOM et d'un SSSC. IEEE définit l'UPFC comme étant une combinaison entre un STATCOM et un SSSC couplés via une liaison à courant continu, pour permettre un écoulement bidirectionnel de la puissance active entre la sortie du SSSC et celle du STATCOM. L'UPFC permet le contrôle de la tension, de l'impédance et de l'angle ou de l'écoulement de la puissance active et réactive de la ligne [23] [24].

Principe de fonctionnement de l'UPFC

L'onduleur série injecte une tension de même fréquence que celle du réseau et dont l'amplitude et la phase sont ajustables. Ce réglage d'amplitude et de phase permet d'obtenir trois modes de fonctionnement de la partie série :

- Contrôle de tension : la tension injectée est en phase avec celle du nœud de raccordement au réseau électrique.
- Contrôle de l'impédance de ligne : la tension injectée est en quadrature avec le courant de ligne. Ce mode permet de faire varier l'impédance de la ligne comme un compensateur série.

- Contrôle de phase : l'amplitude et la phase de la tension injectée sont calculées de manière à obtenir le même module de la tension avant et après l'UPFC.

Le but principal de ces trois modes de fonctionnement est le contrôle des puissances active et réactive qui transitent dans la ligne. De plus, l'UPFC est capable de combiner les différentes compensations et de basculer d'un mode de fonctionnement à un autre [19].

Structure

Le dispositif UPFC est constitué de deux onduleurs triphasés à deux niveaux, l'un connecté en parallèle au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur triphasé et l'autre connecté en série avec le réseau via trois transformateurs monophasés dont les primaires sont reliés, entre eux, en étoile. Les deux onduleurs sont interconnectés par un bus continu et par un condensateur de filtrage comme indiqué sur la figure (II.18) [16].

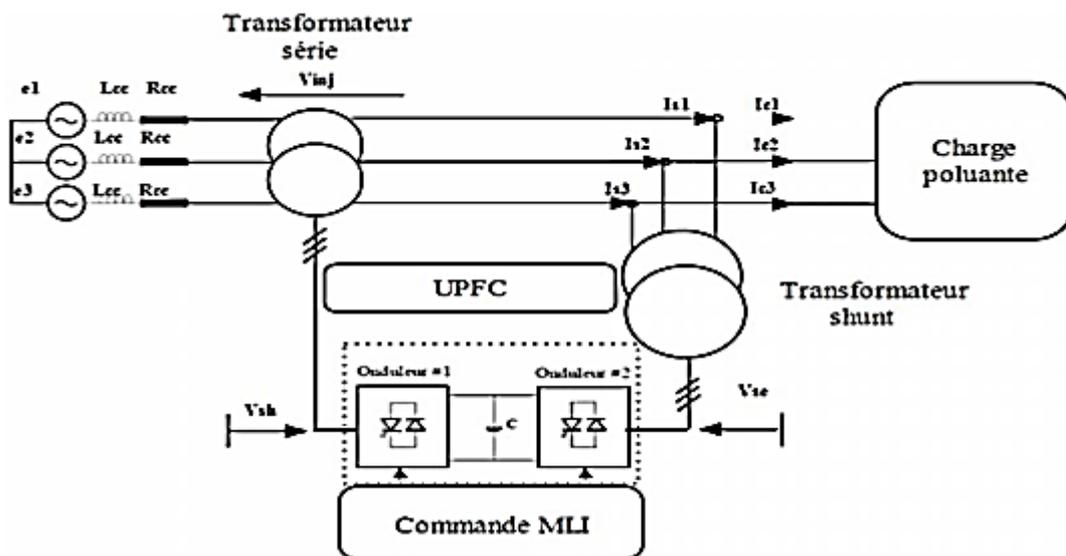


Fig.II.18 : Schéma simplifié d'un UPFC connecté au réseau électrique.

2. IPFC (Interline Power Flow Controller)

L'IPFC a été proposé par Gyugyi, Sen et Schuder en 1998 afin de compenser un certain nombre de lignes de transmission d'une sous-station. Sous sa forme générale, l'IPFC utilise des convertisseurs DC-DC placés en série avec la ligne à compenser. En d'autres termes, l'IPFC comporte un certain nombre de SSSC.

Le contrôleur de transit de puissance entre ligne IPFC est utilisé dans le cas d'un système de lignes multiples reliées à un même poste [23] [24].

Structure

L'IPFC est formé de plusieurs SSSC, chacun d'eux fournissant une compensation série à une ligne différente. Du côté continu, tous les convertisseurs sont reliés entre eux via des disjoncteurs [24].

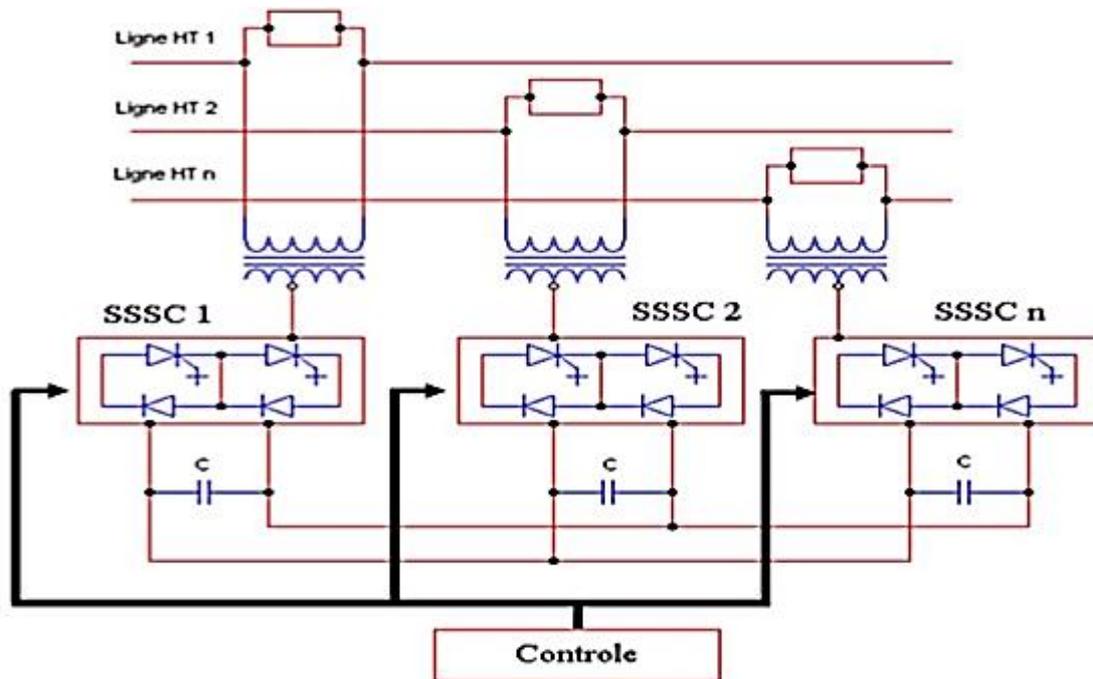


Fig.II.19 : Schéma du contrôleur de puissance entre lignes.

II.2.4 Synthèse

Les différents dispositifs FACTS présentés dans ce chapitre, possèdent tous leurs propres caractéristiques tant en régime permanent qu'en régime transitoire. Chaque type de dispositif sera donc utilisé pour répondre à des objectifs bien définis. Des considérations économiques entreront également dans le choix du type d'installation à utiliser.

Le tableau suivant synthétise les principaux avantages techniques des différentes technologies de FACTS. Le nombre "+" est proportionnel à l'efficacité du dispositif [23] [24].

Tab.II.1 : Synthèse des principaux avantages techniques des différentes technologies de FACTS

Dispositif	Contrôle de charge	Contrôle de tension	Stabilité transitoire	Amplitude des oscillations
SVC	+	+++	+	++
STATCOM	+	+++	+	++
TCSC	++	+	+++	++
SSSC	+++	+	+++	++
UPFC	+++	+++	+++	+++
IPFC	+++	+	+++	++

Conclusion

La stabilité de la tension et la qualité de l'énergie sont des aspects de la sécurité et de bon fonctionnement des grands réseaux d'énergie électrique.

Dans ce chapitre, nous avons, en premier lieu, présenté les filtres qui sont des compensateurs d'harmoniques avec leurs différents types (série, parallèle, hybride), nous avons donné leurs définitions, leurs structures ainsi que leurs avantages et inconvénients.

En deuxième lieu, on a vu les différents dispositifs FACTS dont on a donné une définition et une classification de ces divers comme le SVC, STATCOM, TCSC, TCSR, SSSC, UPFC, IPFC ainsi que leurs influence sur les réseaux électriques dans le but d'amélioration du transit de puissance.

Chapitre III

Description et apport d'un DVR

Introduction

Les systèmes d'alimentation actuels sont des réseaux complexes, comprenant des grandes parties telles que la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique. Les soucis principaux des consommateurs sont la présence ou continuité de service puis la qualité de l'énergie aux divers centres de charges.

Les problèmes de la qualité de l'énergie sont associés à un nombre étendu des perturbations dans les systèmes d'alimentation avec une large gamme des tranches de temps telles que : les variations de longue durée, de courte durée et d'autres perturbations. Leurs conséquences ont pu s'étendre à des défauts techniques aux appareils électriques sensibles, ainsi, en termes économiques, ils présentent des pertes financières dues à l'arrêt de production au niveau de l'industrie.

Dans cette partie, on visera principalement les perturbations en tension qui sont provoquées par des pannes électriques ou par l'excitation des grandes charges qui exigent au démarrage un appel du courant très important. Pour compenser ces perturbations on utilise un DVR qui est basé sur le principe d'un convertisseur de source de tension.

III.1 Restaurateur Dynamique de Tension (DVR)

Le DVR est un dispositif utilisé dans le domaine de la qualité de l'énergie (Fig.III.1) qui possède un circuit de commande pour contrôler et surveiller la tension au point d'accouplement commun PCC et un système de stockage d'énergie muni d'une batterie d'énergie de capacité maximale pour pouvoir injecter des tensions compensatrices à travers un transformateur d'injection qui relie ce dispositif en série avec le réseau.

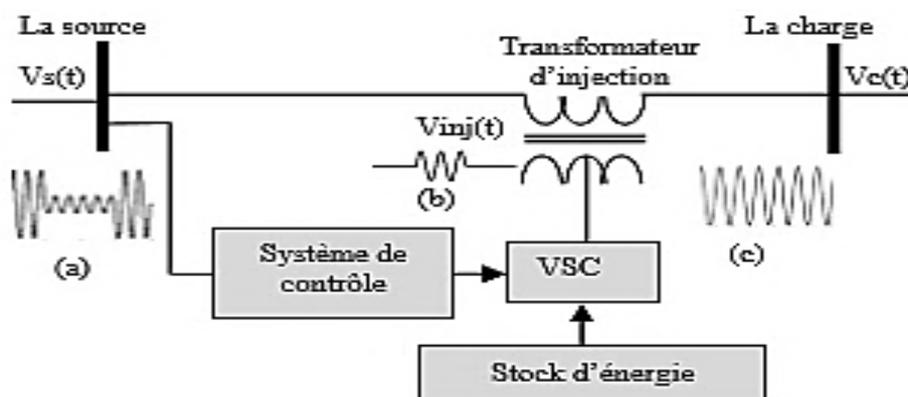


Fig.III.1: Schéma simplifié des circuits de puissances d'un DVR.

Le DVR peut avoir une excellente exécution dynamique et capable d'une protection critique d'une charge sensible contre les différentes perturbations de tension. Une meilleure compréhension de ce dispositif est importante pour atténuer ces problèmes de la qualité de l'énergie, ceci nous permettrait de nous servir d'une meilleure manière des fonctions de tels dispositifs avec des techniques efficaces de commande.

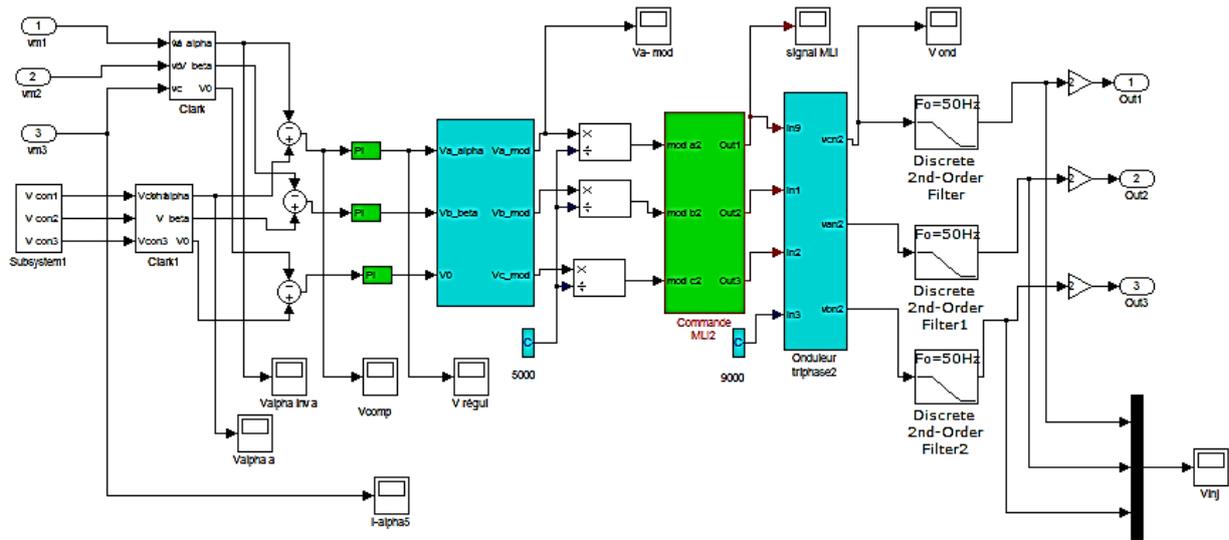


Fig.III.2 : Schémas bloc de simulation d'un DVR.

III.2 Technologie et fonctionnement du DVR

La figure (III.3), représente les principaux éléments constituant un DVR. Il est composé d'un onduleur de tension triphasé contrôlé par une commande MLI et alimenté par une source de tension continue. Ce système est couplé au réseau à travers un filtre de tension de deuxième ordre et un transformateur de couplage dont le secondaire est inséré en série au réseau qui alimente la charge électrique à protéger [28].

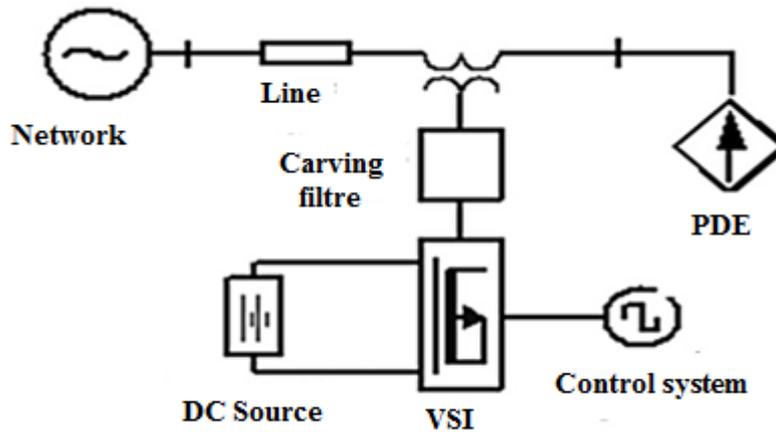


Fig.III.3: Les principaux éléments constituant un DVR.

Durant son fonctionnement, le DVR permet d'injecter, en série au réseau, une tension fidèlement opposée à la perturbation enregistrée dans ce dernier. La détection, l'identification et la génération de cette tension est obtenue grâce à un dispositif de détection associé à une commande pilotant l'onduleur qui reproduit la perturbation à compenser. Le schéma équivalent du circuit complet peut ainsi être représenté par le schéma unifilaire de la Figure(III.4).

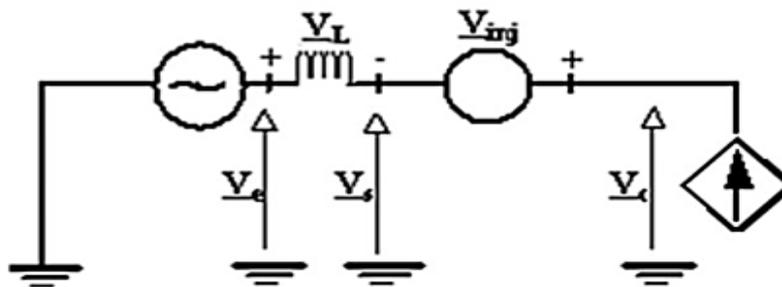


Fig.III.4 : Schéma unifilaire du réseau comportant le DVR.

Le fonctionnement du réseau compensé à l'aide de DVR est ainsi caractérisé par l'équation suivante :

$$\overline{V_c} = \overline{V_s} + \overline{V_{inj}} \quad (III.1)$$

III.3 Les deux convertisseurs de tension utilisés

III.3.1 Le redresseur

C'est un convertisseur statique qui assure la conversion de la tension alternative (V_a, V_b, V_c) du réseau à simuler en tension continue [25].

III.3.2 Onduleur de tension triphasée

C'est un convertisseur statique assurant la conversion continu en alternatif. Alimenté par la tension redressée avec le redresseur déjà utilisé, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir une tension alternative à la sortie de l'onduleur [25].

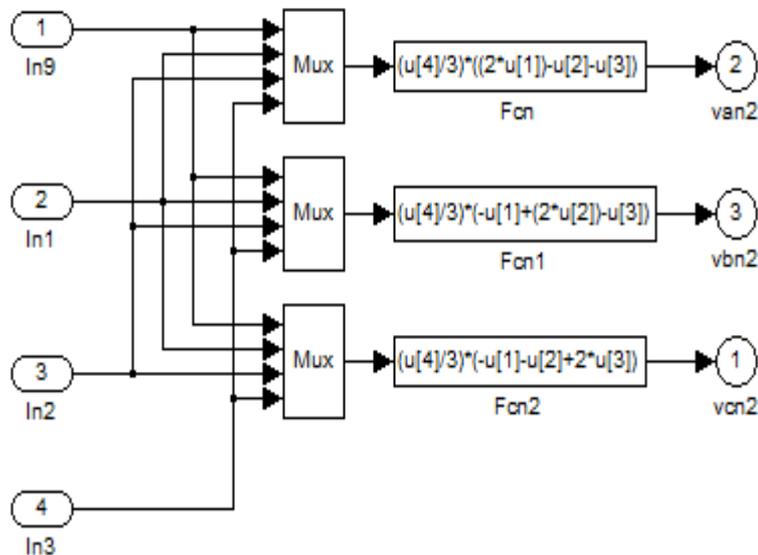


Fig.III.5 : Bloc de simulation d'un onduleur de tension triphasé.

III.3.3 Les techniques de la commande MLI

III.3.3.1 Structure de la MLI

La technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet de commander la tension de sortie de l'onduleur en amplitude et en fréquence à partir des signaux de commandes des interrupteurs de l'onduleur tout en limitant l'effet des harmoniques. Trois types de MLI sont généralement utilisés [26].

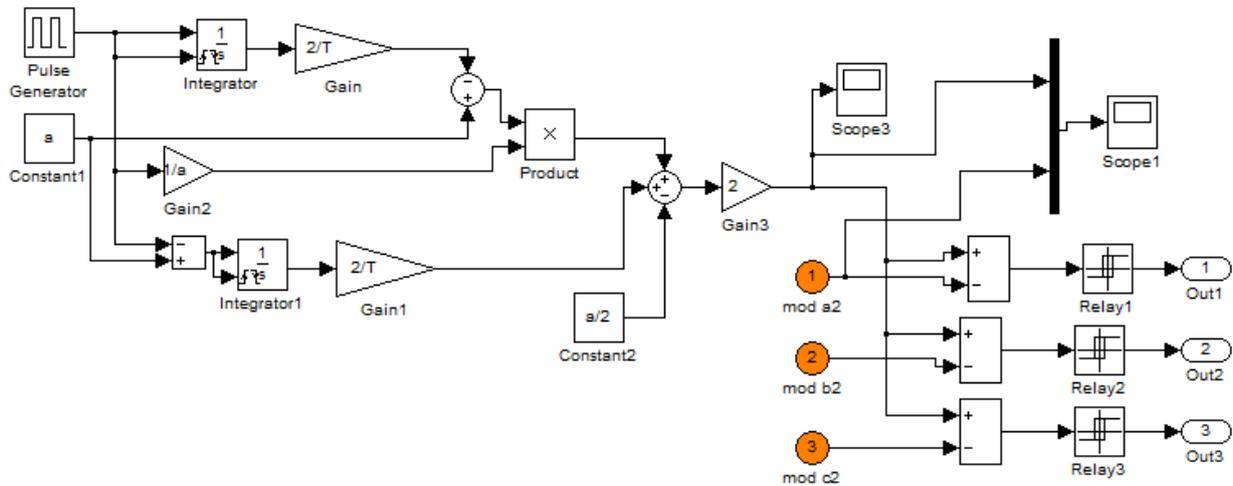


Fig.III.6 : Bloc de simulation d'une commande MLI.

1. La MLI pré-calculée : consiste à calculer les instants de commutation des interrupteurs de puissance de manière à éliminer certaines harmoniques non désirables.

2. La MLI dents scie : est basée sur la comparaison entre une onde modulante, de forme sinusoïdale à faible fréquence et une autre onde porteuse de forme dents de scie à fréquence plus élevée.

3. La MLI vectorielle : utilisée dans les commandes modernes des machines asynchrones pour obtenir des formes d'ondes arbitraires non nécessairement sinusoïdales.

III.3.3.2 Objectifs de la commande MLI

Les objectifs principaux d'une MLI sont les suivants [27] :

- Obtenir dans la charge électrique des courants dont la variation est proche de la forme sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie.
- Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées.
- Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamental des tensions de sortie généralement sur la plus grande plage possible et pour une fréquence de sortie large et variable.

III.4 Stratégie de contrôle du DVR

Il existe deux types de perturbations :

- Celles qui engendrent, seulement, une variation d'amplitude de tension.
- Celles qui engendrent, en plus, un saut de phase de la tension, V_s , imposée par le réseau à l'entrée du DVR.

La tension (V_{inj}), injectée au réseau par le DVR, piloté par une stratégie de compensation, dépendra du type de perturbation à compenser afin d'obtenir la tension désirée aux bornes de l'élément protégé.

Les diverses stratégies de commande élaborées s'appuient sur une multitude de méthodes d'identification des perturbations, l'énergie mise en jeu par le DVR pour assurer la compensation et le but assigné à celle-ci [29].

La plupart de ces méthodes utilisent comme entrée au système de commande la différence entre la tension de référence et celle mesurée et ce, en passant par les transformations de Clark ou de Park.

Où :

$$[A_{M(1,2,3)}] = [T]^{-1} \cdot [A_{M(\alpha,\beta,0)}] \quad \text{(III.2)}$$

$$[T] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(III.3)}$$

[T] : Représente de transformation de Clark.

[A] : Représente la matrice des courants ou tensions.

Puis :

$$[T]^{-1} = [T]^t = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 0 & 1 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \sqrt{\frac{3}{2}} & 1 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(III.4)}$$

Par ailleurs :

Les composantes symétriques des grandeurs (courants ou tensions) en fonction des grandeurs réelles mesurées sont données par l'équation suivante :

$$[A_{M(\alpha,\beta,0)}] = [K] \cdot [A_{M(1,2,3)}] \quad \text{(III.5)}$$

Où :

[K] : est la matrice de transformation de Fortescue donnée comme suite

$$[K] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(III.6)}$$

Avec :

$$a = e^{j\frac{2}{3}\pi} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \text{ opérateur vectoriel.}$$

Ainsi, les deux matrices, des composantes symétriques des grandeurs mesurées et de leurs composantes dans le référentiel de Clark, sont reliées par l'expression suivante :

$$[A_{M(d,i,h)}] = [D] \cdot [A_{M(\alpha,\beta,0)}]$$

Avec :

$$[D] = [K] \cdot [T]^{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & j\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & -j\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(III.7)}$$

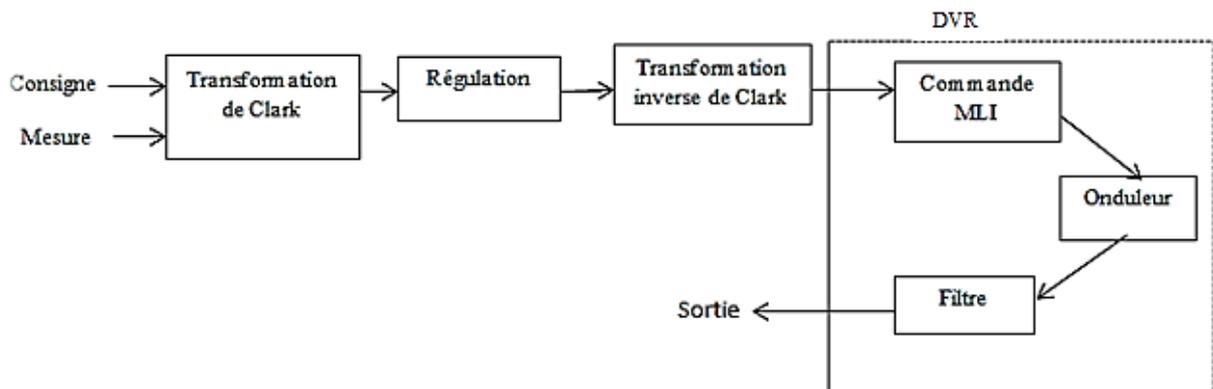


Fig.III.7 : Schéma synoptique de fonctionnement d'un DVR.

III.5 Modélisation Vectorielle de DVR

La compensation des anomalies de tension peut être limitée par un certain nombre de facteurs, y compris l'estimation de puissance active de DVR, les conditions de charge, et les types de défaut.

La stratégie de commande devrait pouvoir compenser n'importe quelles perturbations de tension. La figure (III.8) montre un diagramme vectoriel pour compenser les défauts en tension. Au début, le vecteur de tension de charge V_c est le même que le vecteur $V_{s\text{-défaut}}$, et est supposé prendre la valeur 1.0 pu. Si la tension perturbée, le vecteur réel de la tension de source V_s est déplacé à V_s défaut.

Pour reconstituer le vecteur de tension de charge V_c , un vecteur de tension injecté V_{inj} est fourni par le DVR [30].

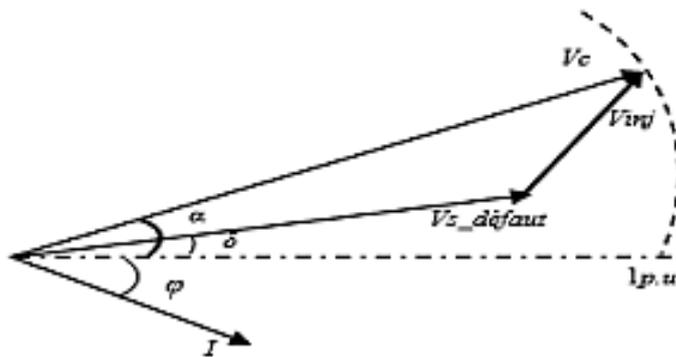


Fig.III.8: Diagramme vectoriel de la compensation de DVR.

III.6 Effet du DVR sur une ligne électrique

Le diagramme vectoriel des tensions de la ligne de transport, lorsque $|\overline{V_s}| = |\overline{V_c}| = V$ et V_{inj} en quadrature avec le courant de la ligne est donné par la figure(III.8), sur laquelle on constate que l'angle de phase du courant de la ligne est $\delta/2$, l'expression du courant sera :

$$I = \frac{[V \sin(\delta) + V_{inj} \cos(\frac{\delta}{2})]}{Xl} + \frac{j[V + V \cos(\delta) + V_{inj} \sin(\frac{\delta}{2})]}{Xl} \quad (III.8)$$

D'où l'on peut exprimer la puissance transportée par cette ligne par les équations suivantes :

$$P_s = \frac{V^2 \sin(\delta)}{Xl} + \frac{V \cdot V_{inj} \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)}{Xl} \quad (\text{III.9})$$

$$Q_s = \frac{V^2 (1 - \cos(\delta))}{Xl} - \frac{V \cdot V_{inj} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{Xl} \quad (\text{III.10})$$

En comparant ces équations avec celles d'une ligne sans compensation on trouve que les puissances active et réactive transmises sont augmentées par les termes $\frac{V \cdot V_{inj} \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)}{Xl}$ et $\frac{V \cdot V_{inj} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{Xl}$, ces puissances additionnelles sont fonction de la tension injectée dur DVR [24].

Conclusion

Concernant le rôle des dispositifs de compensation dynamique (FACTS) dans les réseaux électriques, il est convaincant que leur intégration dans ces réseaux permet le réglage des tensions, le contrôle de transit de puissance, ce qui permet de portée de main une meilleure gestion de l'énergie et une amélioration des indices de qualité de l'énergie électrique.

Dans ce chapitre, on à étudié, principalement, le DVR qui est connecté en série entre la source et la charge. Le rôle de ce dispositif est d'injecter la tension dans le système afin de régler la tension du côté de la charge.

Il est normalement installé dans un système de distribution entre la source et un dispositif d'alimentation de la charge critique au point que l'on appelle de couplage commun (PCC) .Sa fonction principale est de stimuler rapidement la tension du côté de la charge en cas d'une chute de tension afin d'éviter toute perturbation de puissance à cette charge ainsi qu'il peut également avoir d'autres fonctionnalités telles que la compensation des harmoniques de tension, la réduction des transitoires de tension, les surtensions, les creux de tension...etc.

Chapitre IV

Simulation et Interprétation des résultats

Introduction

Dans ce chapitre, on traitera le cas d'un contrôle de tension à la sortie d'une PED connectée au réseau de distribution à l'aide d'un DVR commandé en tension. Les simulations effectuées à l'aide de logiciel MATLAB-Sim Power System sont établies comme suit :

- Modèle sans PED : on déconnecte la production décentralisée pour visualiser son influence sur le fonctionnement du réseau.
- Modèle sans DVR : application de différentes perturbations de tension comme surtension, creux de tension, coupure brève et une chute de tension au niveau de la source.
- Modèle avec DVR : insertion d'un DVR en amont d'une PED, pour visualiser l'atténuation des perturbations injectées à la source à 10% de la tension nominale.

IV.1 Présentation du réseau à simuler

Dans notre cas de simulation, nous utilisons un réseau triphasé classique composé d'une source triphasée sinusoïdale variable en amplitude, en phase et en fréquence. Ce réseau est couplé à une source de production décentralisée (éolienne à vitesse fixe) présentée sur la figure(IV.1), d'une puissance de 1.5MVA et d'une tension 480 V au primaire du transformateur.

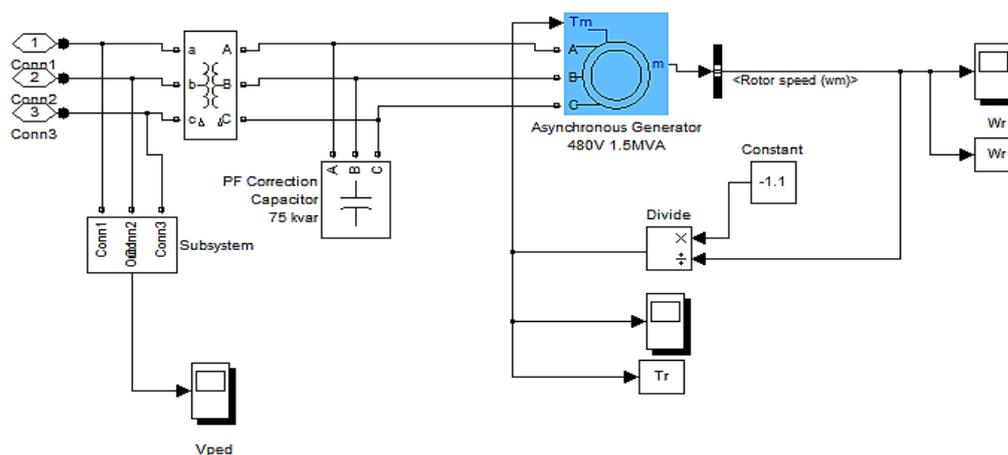


Fig.IV.1 : Schéma bloc d'éolienne

Le réseau simulé (Fig.IV.2) est constitué de 3 lignes de caractéristiques $[R1, R0] = [0.025 \ 0.03864]$, Ohm/Km ; $[L1, L0] = [0.3183e^{-3} \ 4.1264e^{-3}]$ H/Km ; $[C1, C0] = [8, 94e^{-12} \ 7.75e^{-12}]$ F/Km, 50 Hz), auxquelles sont connectées à trois charges : la première charge (50 Hz, 30kV, 1.5 MW, 0.5383 MVAR, $Q_c = 0$), la deuxième (50 Hz, 30 kV, 1 MW, 0.5383 MVAR, $Q_c = 0$), la troisième charge est connectée directement à la sortie de la PED, elle a les mêmes caractéristiques que la deuxième charge.

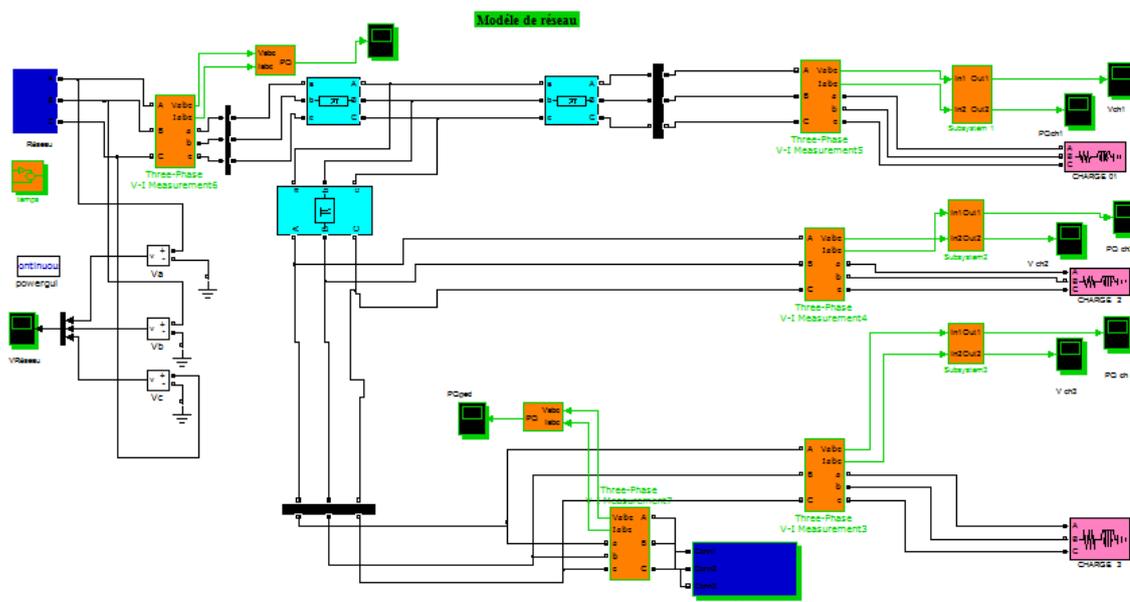


Fig.IV.2 : Schéma bloc du réseau.

IV.2 Les étapes de la simulation

1. Simulation du modèle avec et sans PED en fonctionnement normal (sans perturbations).
2. Simulation du modèle sans DVR en fonctionnement normal (sans perturbations).
3. Simulation du modèle sans DVR en fonctionnement perturbé (surtension, creux de tension, coupure brève, chute tension à la source).
4. Simulation du modèle avec DVR en fonctionnement perturbé (surtension, creux de tension, coupure brève, chute tension à la source).

IV.3 Les résultats obtenus

Nous avons relevé dans tous les cas de simulations les allures des grandeurs suivantes :

- Tensions au niveau de la source du réseau, de la PED, et des charges (1-2-3) et la tension injectée par le DVR.
- Puissances active et réactive au niveau de la source, la PED, la charge1 et la charge3.
- La vitesse d'éolienne.
- Le couple résistant.

IV.4. Simulation

VI.4.1 Simulation du fonctionnement du réseau avec et sans PED en fonctionnement normal (sans perturbations)

Pour ces deux modèles que nous avons simulés, représentés respectivement par les figures (voir annexe (Fig.A.1) et (Fig.A.2)), nous avons analysé et comparé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée, les charges triphasées (1-2-3), et nous avons obtenus ces résultats suivants :

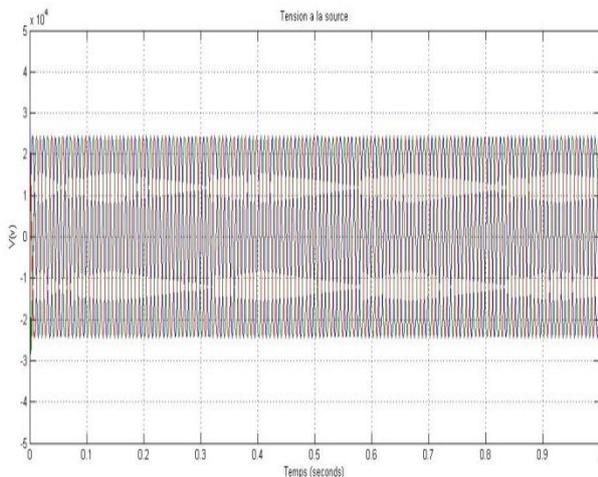


Fig.IV.3 : Tension à la source sans la présence de la PED

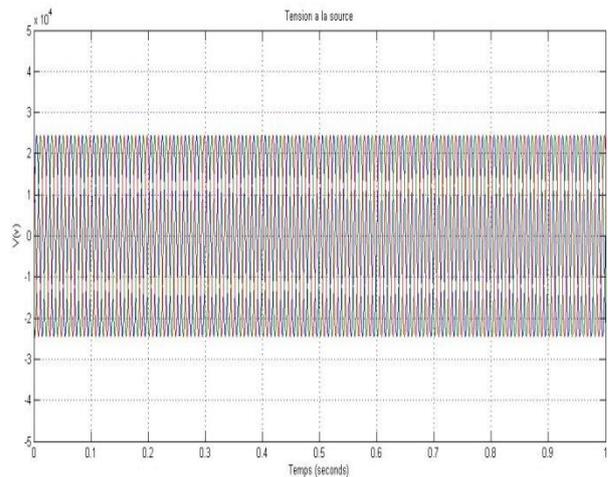


Fig.IV.4 : Tension à la source avec la présence de la PED

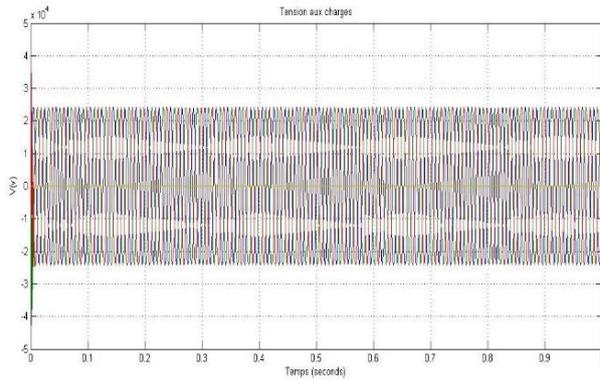


Fig.IV.5 : Tension aux charges avec et sans présence de la PED

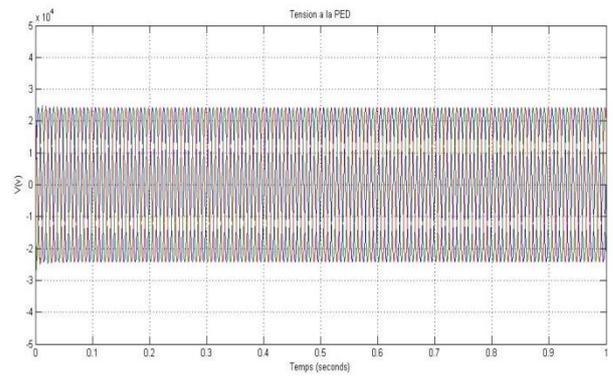


Fig.IV.6 : Tension à la PED

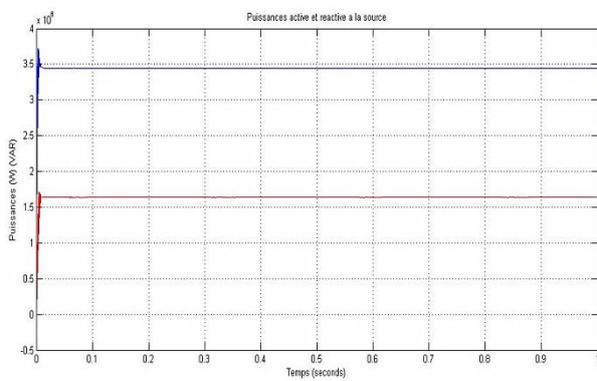


Fig.IV.7 : Puissances active et réactive à la source sans présence de la PED

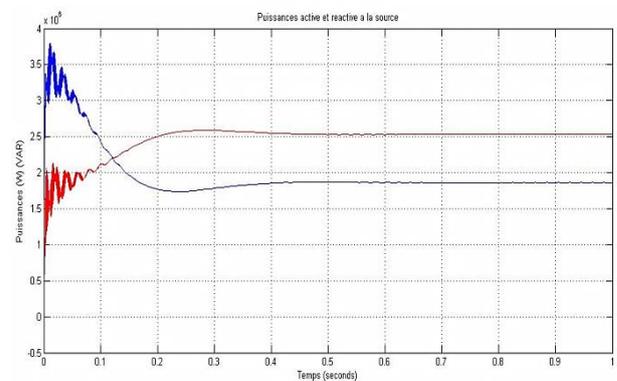


Fig.IV.8 : Puissances active et réactive à la source avec présence de la PED

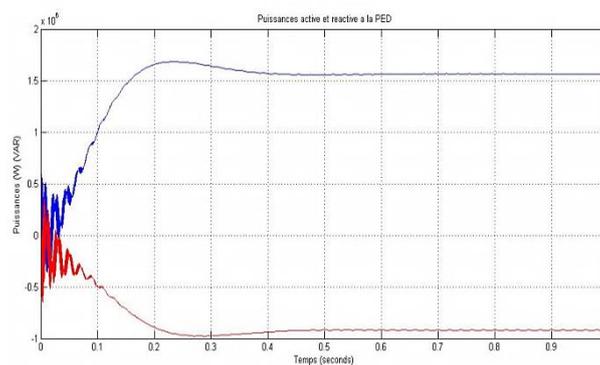


Fig.IV.9 : Puissances active et réactive de la PED

■ Puissance active ■ Puissance réactive

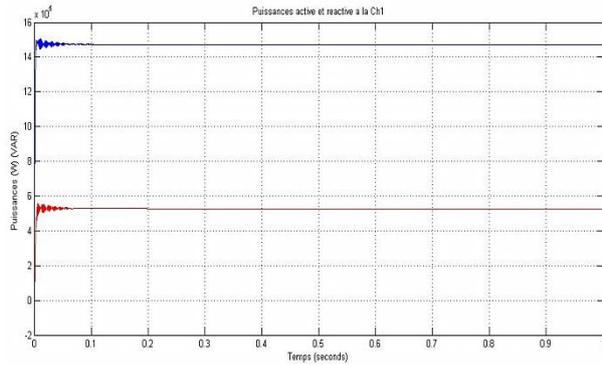


Fig.IV.10 : Puissances active et réactive de la charge 1 (avec et sans présence de la PED)

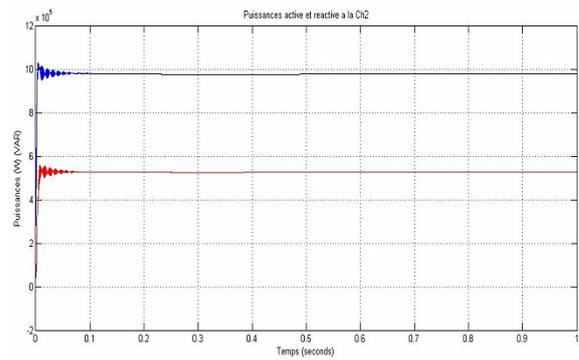


Fig.IV.11 : Puissances active et réactive de la charge 2 (avec et sans présence de la PED)

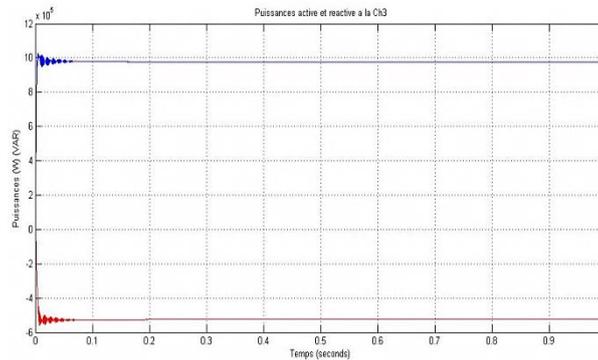


Fig.IV.12 : Puissances active et réactive de la charge 3 (avec et sans présence de la PED)

— Puissance active — Puissance réactive

Interprétations

Pour ces deux simulations que nous avons effectuées, représentées précédemment par des schémas de montage de chaque type, nous avons analysé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée et les charges triphasées (1-2-3) avec ou sans la présence de la PED. Et on a noté les points suivants :

- La tension au niveau de la source, à la PED, et les charges triphasées (1-2-3) sont sinusoïdales, équilibrées en phases et en amplitudes.
- Les puissances active et réactive au niveau des charges triphasées sont stables.
- La puissance fournie par la source en absence de la PED est maximale car elle alimente toutes les charges, contrairement à la présence de cette dernière (la source fournit la moitié de la puissance demandée).

- D'après les résultats obtenus le but de la présence de la PED est de soulager la source.

VI.4.2 Simulation du modèle sans DVR en fonctionnement normal (sans perturbations)

Pour le régime nominal (sans perturbations) sans DVR que nous avons simulé, représenté précédemment dans l'annexe (Fig.A.2), nous avons analysé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée et à la PED, les charges triphasées (1-2-3), ainsi que le couple et la vitesse de la PED. Et nous avons obtenus ces résultats :

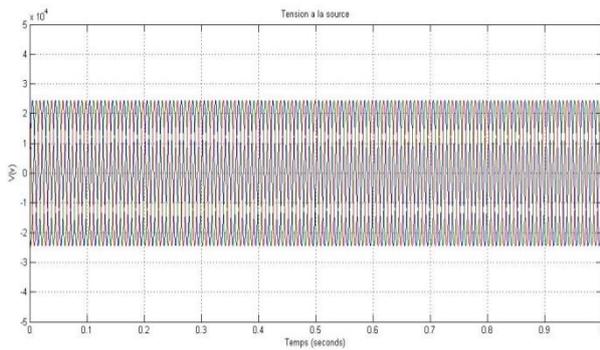


Fig.IV.13 : Tension à la source

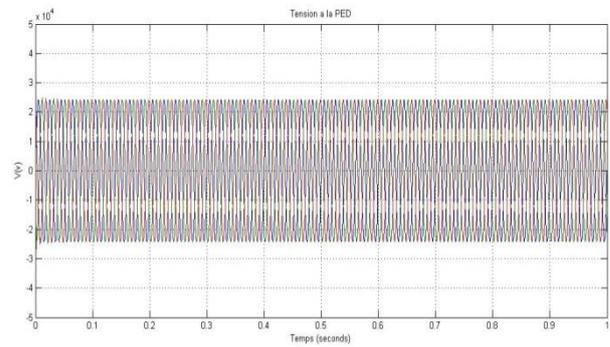


Fig.IV.14 : Tension à la PED

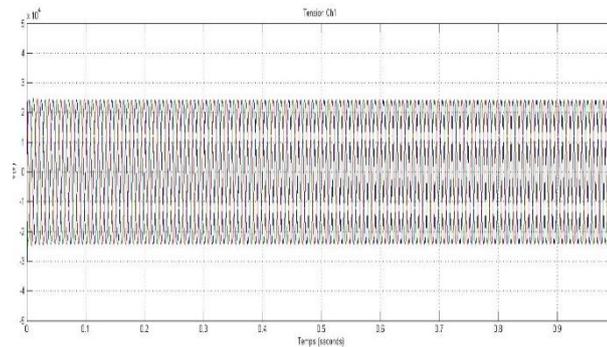


Fig.IV.15 : Tension aux charges

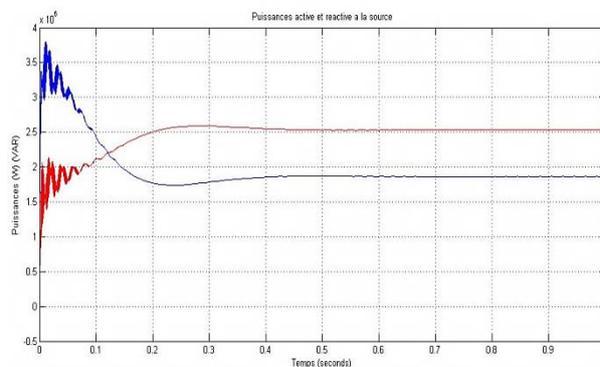


Fig.IV.16 : Puissances active et réactive à la source

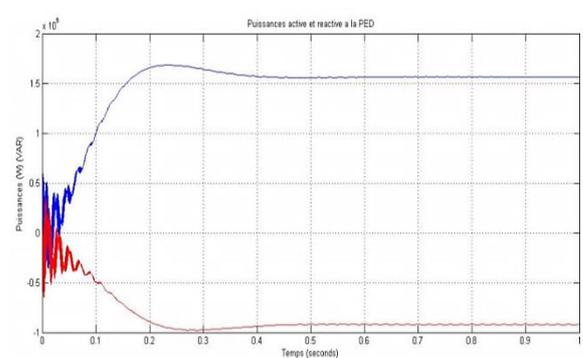


Fig.IV.17 : Puissances active et réactive à la PED

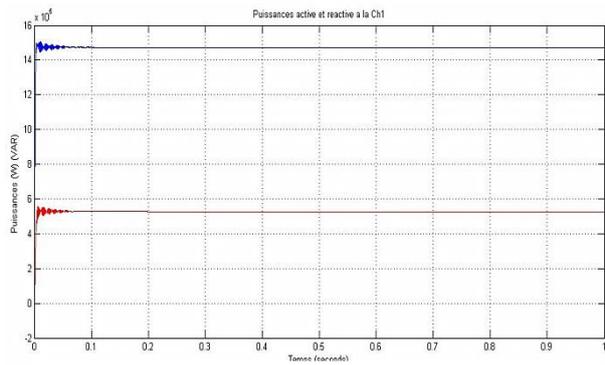


Fig.IV.18 : Puissances active et réactive à la charge 1

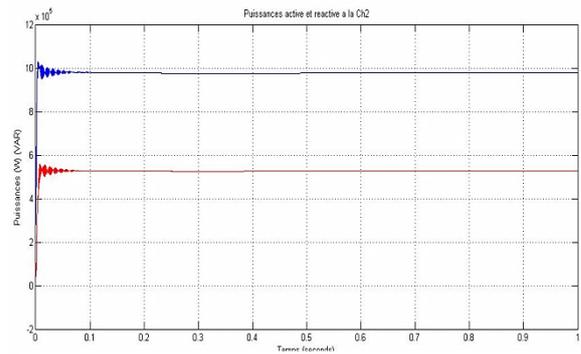


Fig.IV.19 : Puissances active et réactive à la charge 2

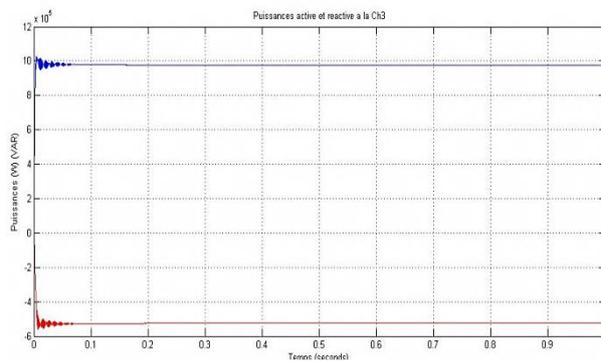


Fig.IV.20 : Puissances active et réactive à la charge 3

■ Puissance active ■ Puissance réactive

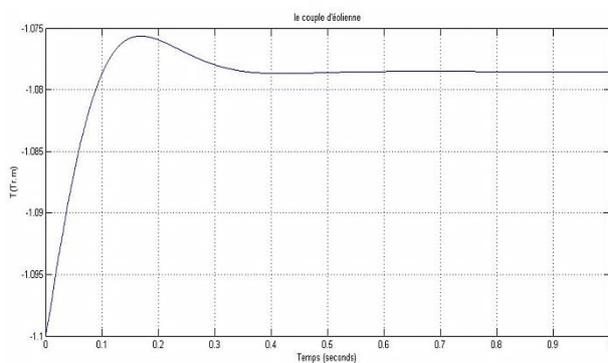


Fig.IV.21 : Le couple de l'éolienne

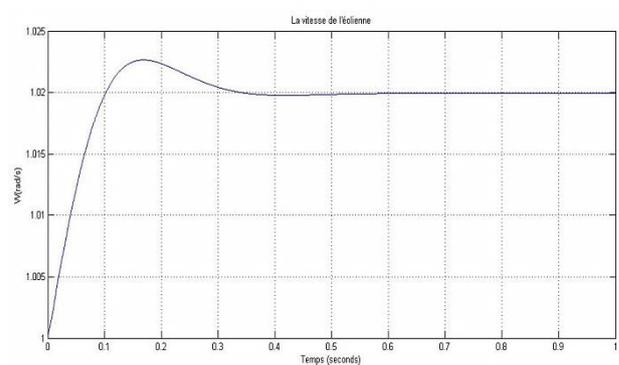


Fig.IV.22 : La vitesse de l'éolienne

Interprétations

Pour le régime nominal (sans perturbations) sans DVR que nous avons simulé, représenté par la (Fig.A.2), nous avons analysé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée, les charges triphasée (1-2-3) et à la sortie de la PED, et aussi la vitesse et le couple résistant de l'éolienne et on a noté les points suivants :

- La tension au niveau de la source, à la PED, et les charges triphasées (1-2-3) sont sinusoïdales, équilibrés en phases et en amplitudes.
- Les puissances active et réactive au niveau de la source, la PED, les charges triphasées sont aussi stables.
- La vitesse et le couple (Tr) d'éolienne varie en fonction du temps jusqu'à 0.3s après ils se stabilisent.
- Dans ce cas (sans perturbations) la présence de DVR n'influe pas sur le réseau.

VI.4.3 Simulation du Modèle (sans DVR et avec DVR) en fonctionnement perturbé

Pour ces modèles que nous avons simulés, représentés respectivement par (Fig.A.2) et (Fig.A.3), nous avons comparé dans les deux cas (avec DVR et sans DVR) les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée, les charges triphasées (1-3), et la PED ainsi que son couple et sa vitesse, en présence de perturbations, et nous avons obtenus ces résultats :

1. Creux de tension

On a appliqué un creux de tension de 10% au niveau de la source dans l'intervalle 0.4 à 0.8s.

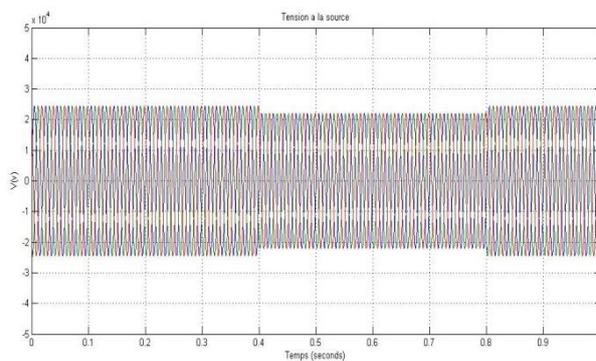


Fig.IV.23 : Tension à la source (avec et sans DVR)

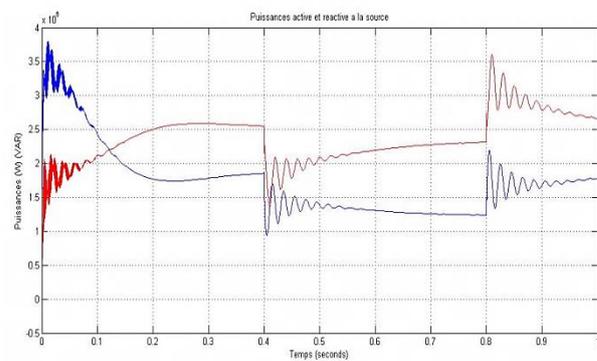


Fig.IV.24 : Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

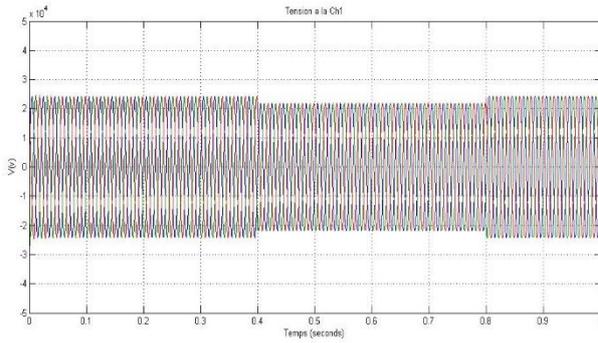


Fig.IV.25 : Tension à la charge 1 (sans DVR)

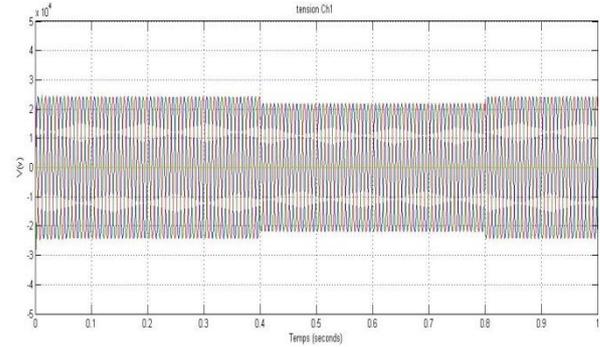


Fig.IV.26 : Tension à la charge 1 (avec DVR)

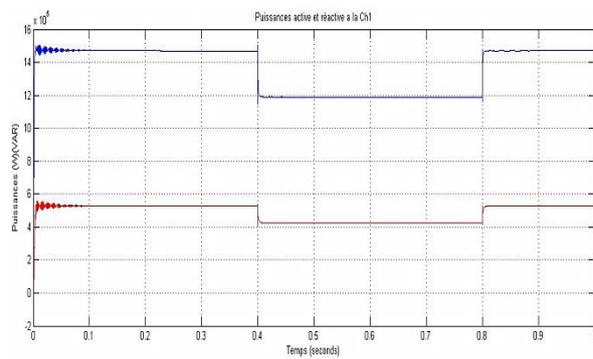


Fig.IV.27 : Les puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR)

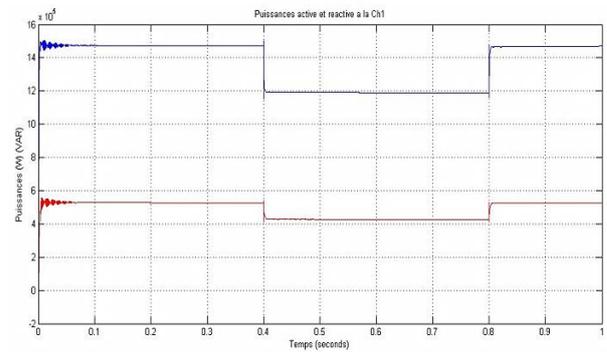


Fig.IV.28 : Les puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

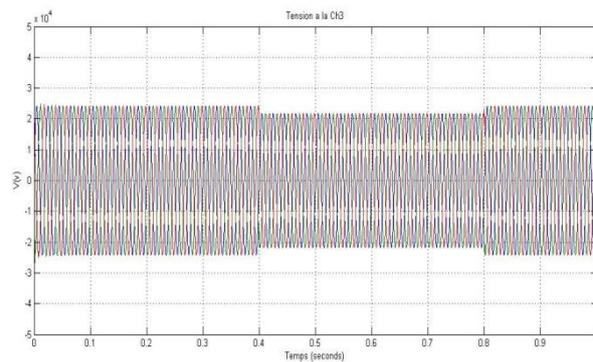


Fig.IV.29 : Tension à la charge 3 (sans DVR)

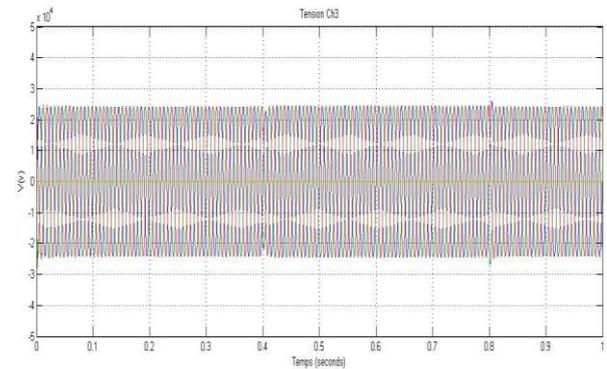


Fig.IV.30 : Tension à la charge 3 (avec DVR)

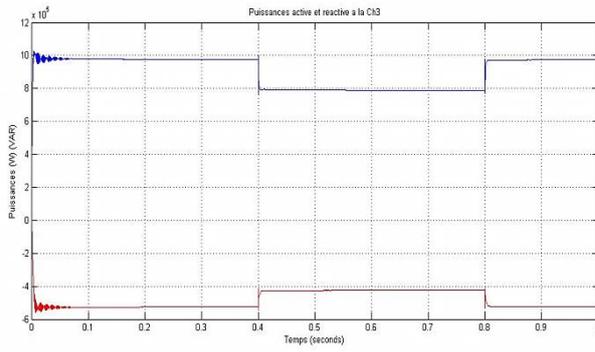


Fig.IV.31: Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR)

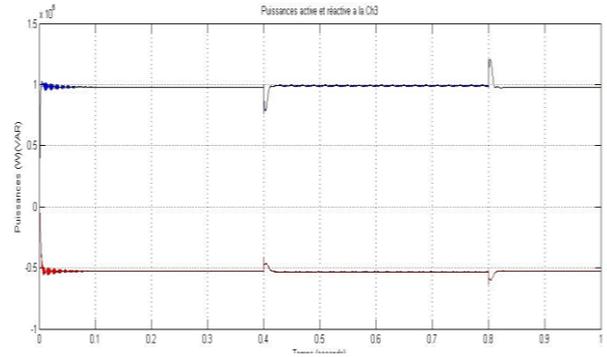


Fig.IV.32 : Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

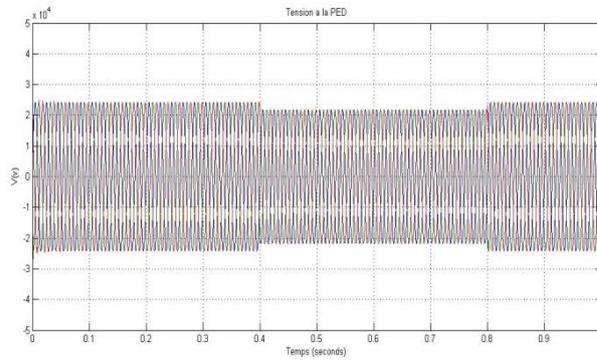


Fig.IV.33: La tension à la PED (sans DVR)

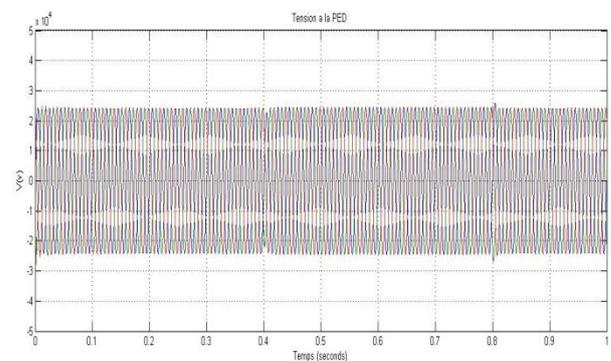


Fig.IV.34: La tension à la PED (avec DVR)

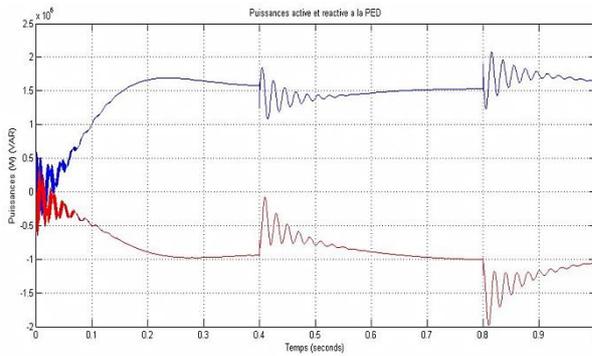


Fig.IV.35 : Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR)

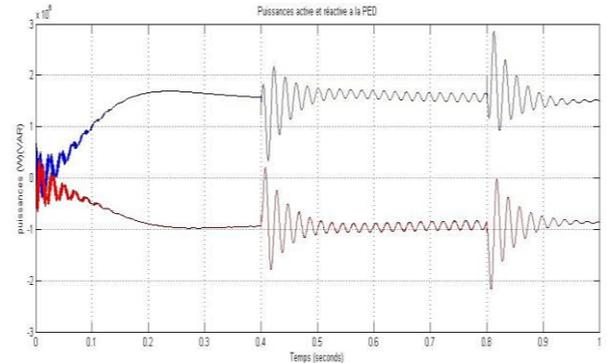


Fig.IV.36: Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

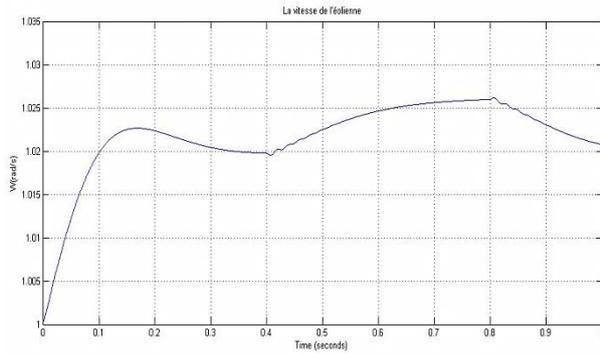


Fig.IV.37 : La vitesse de l'éolienne (sans DVR)

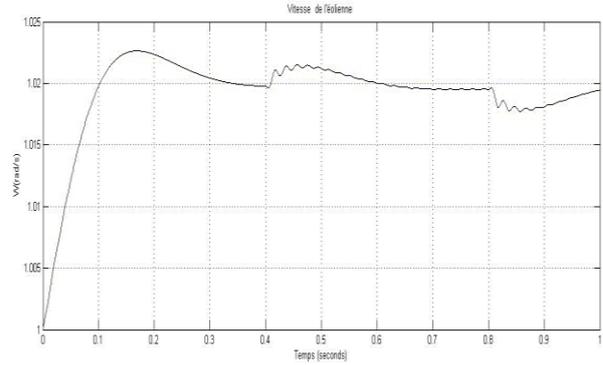


Fig.IV.38 : La vitesse de l'éolienne (avec DVR)

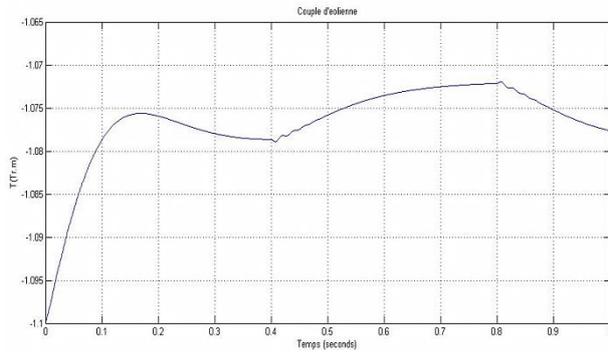


Fig.IV.39 : Le couple de l'éolienne (sans DVR)

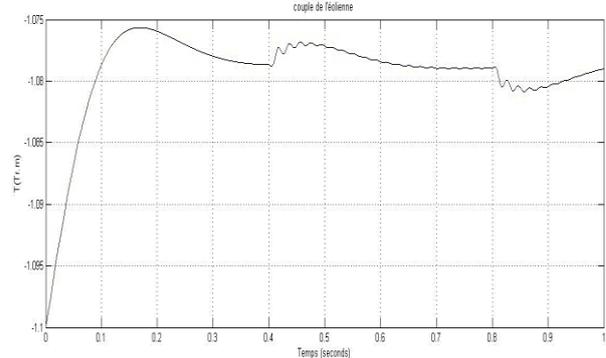


Fig.IV.40: Le couple de l'éolienne (avec DVR)

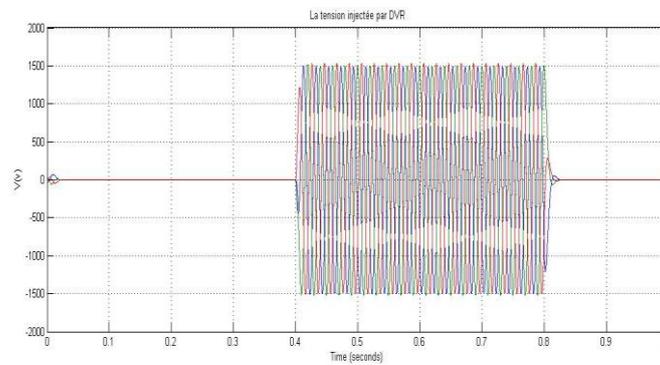


Fig.IV.41 : La tension injectée par le DVR

Interprétations

Pour le creux de tension imposée au réseau de distribution que nous avons simulé, nous avons comparé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée, les charges triphasée (1-3) et à la sortie de la PED. Aussi, on a analysé la vitesse et le couple résistant de la PED, et cela en absence et en présence du DVR.

a) Cas d'un creux de tension en absence du DVR

Dans ce cas, on a remarqué la propagation de la perturbation sur la PED et les charges triphasées et aussi :

- Diminution de la tension avec 10% de la tension nominale du réseau de distribution.
- Diminution de la tension avec 10% au niveau de la PED et les charges triphasées.
- Diminution de la puissance active et réactive de la PED et les charges triphasées.
- Augmentations de la vitesse d'éolienne et le couple d'éolienne.

b) Cas d'un creux de tension en présence du DVR

L'implantation d'un DVR en amont d'éolienne a pour but la stabilisation de la tension et en compensant toute sorte de creux de tension pouvant nuire à la PED et les charges triphasées.

Les résultats de simulation ont montré que :

- Le DVR arrive à maintenir la tension invariable aux bornes de la PED et la charge triphasée (3), grâce à la tension qu'il injecte pour maintenir l'équilibre de la tension.
- Le DVR n'a pas pu maintenir la tension invariable aux bornes de la charge triphasée (1) qui est connectée directement au réseau de distribution et en amont au DVR.

Et on a remarqué aussi la stabilisation de la puissance active et réactive aux bornes de la PED, la charge triphasée (3), ainsi que la vitesse et le couple résistant d'éolienne, ceci prouve l'influence favorable du DVR qui protège la PED de toute forme de perturbations venant de réseau.

2. Coupure brève

On a appliqué une coupure brève au niveau de la source dans l'intervalle 0.4 à 0.8s.

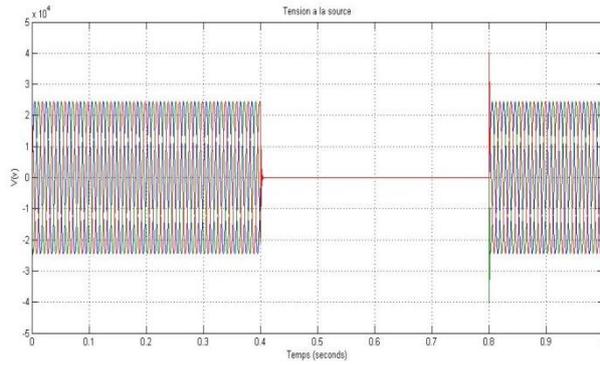


Fig.IV.42 : Tension à la source (avec et sans DVR)

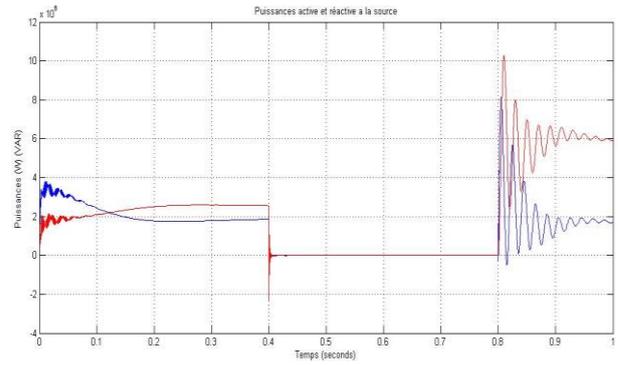


Fig.IV.43 : Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

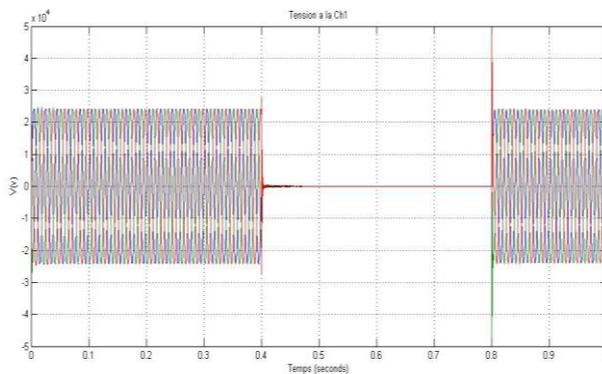


Fig.IV.44: Tension à la charge 1 (sans DVR)

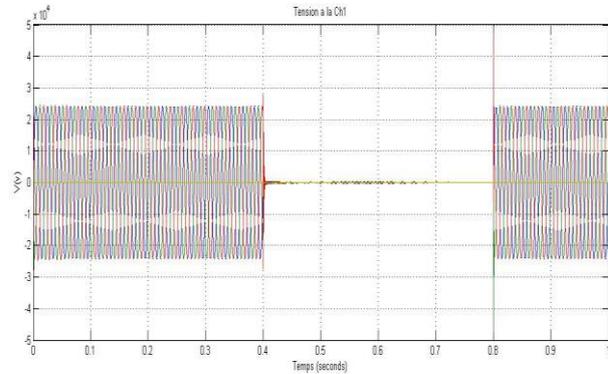


Fig.IV.45: Tension à la charge 1 (avec DVR)

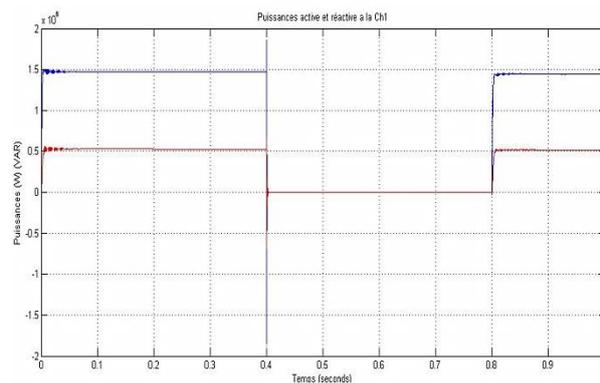


Fig.IV.46: Les puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR)

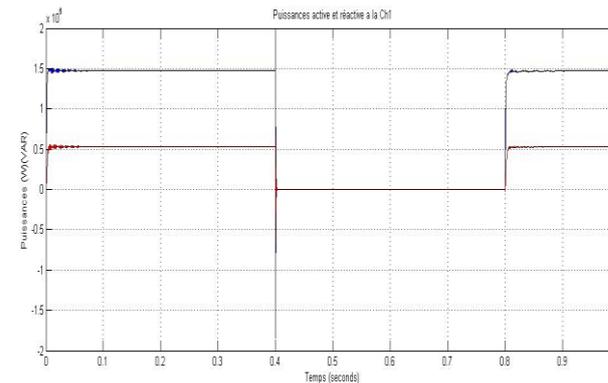


Fig.IV.47: Les puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

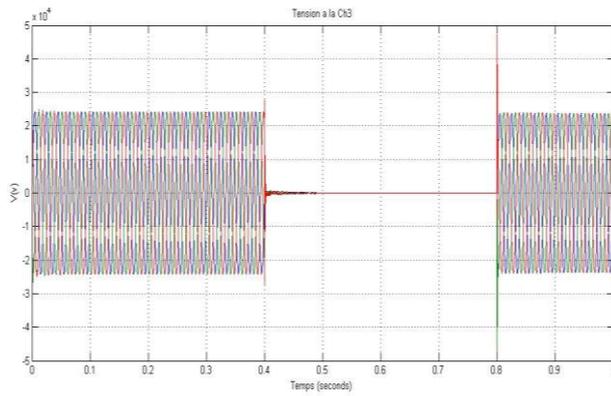


Fig.IV.48: Tension à la charge 3 (sans DVR)

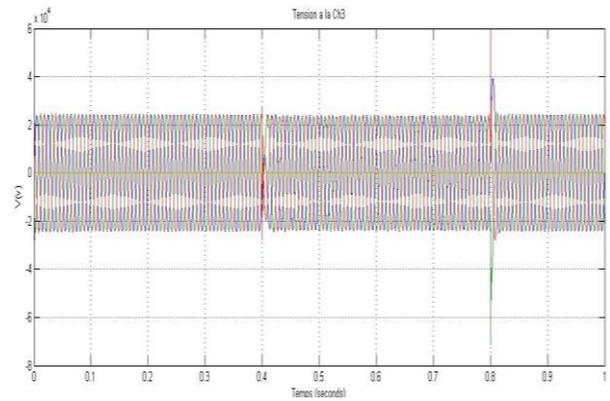


Fig.IV.49: Tension à la charge 3 (avec DVR)

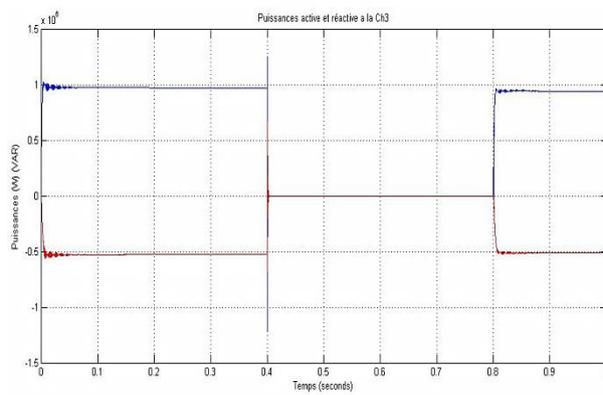


Fig.IV.50: Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR)

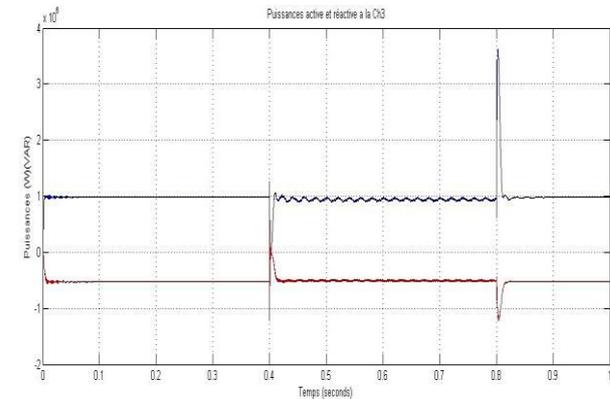


Fig.IV.51: Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

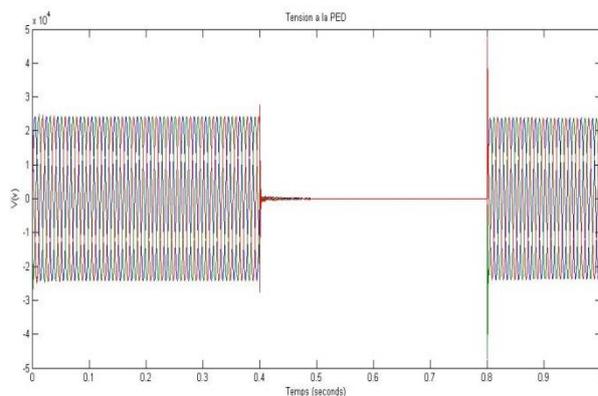


Fig.IV.52: Tension à la PED (sans DVR)

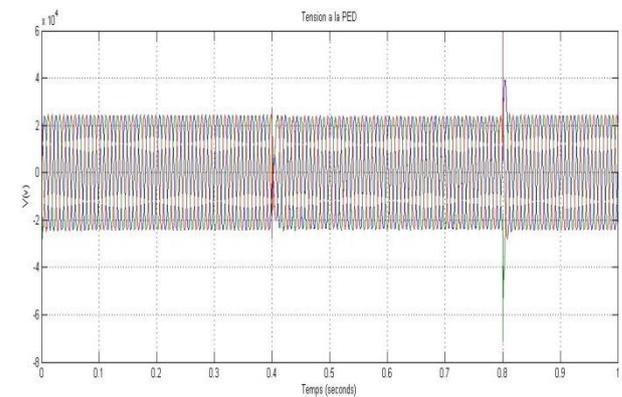


Fig.IV.53: Tension à la PED (avec DVR)

CHAPITRE IV : Simulation et interprétation des résultats

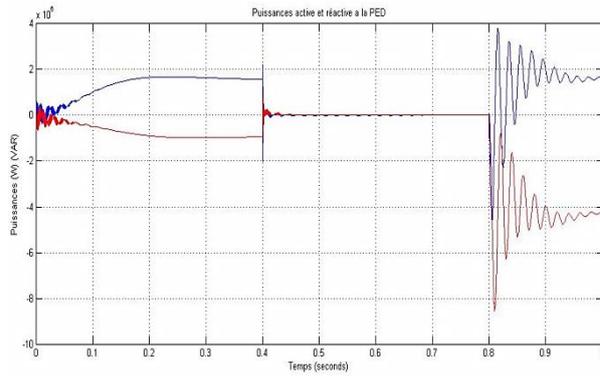


Fig.IV.54: Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR)

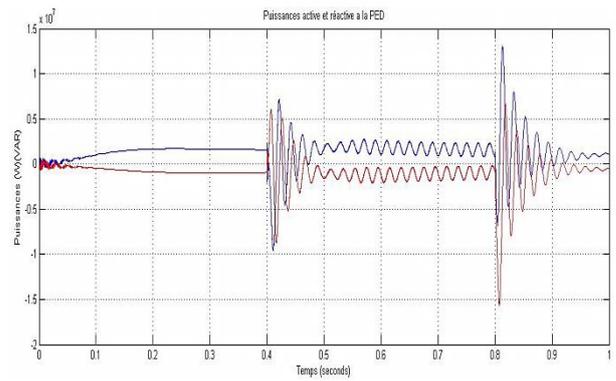


Fig.IV.55: Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

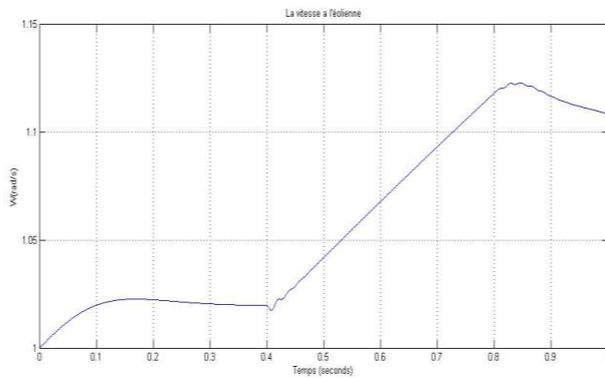


Fig.IV.56: La vitesse de l'éolienne (sans DVR)

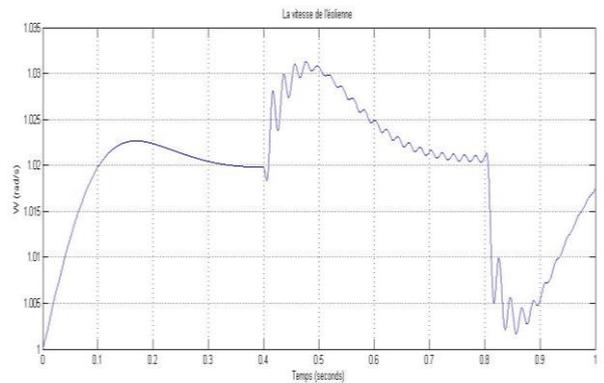


Fig.IV.57: La vitesse de l'éolienne (sans DVR)

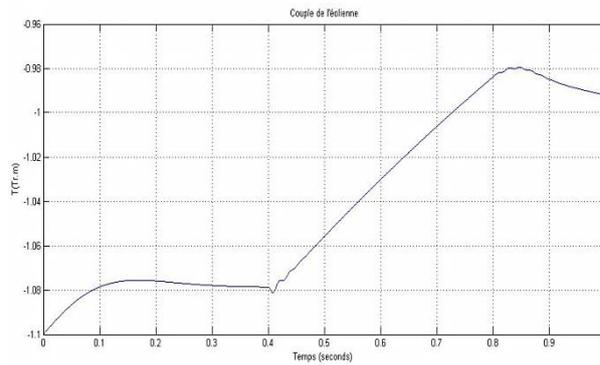


Fig.IV.58: Le couple de l'éolienne (sans DVR)

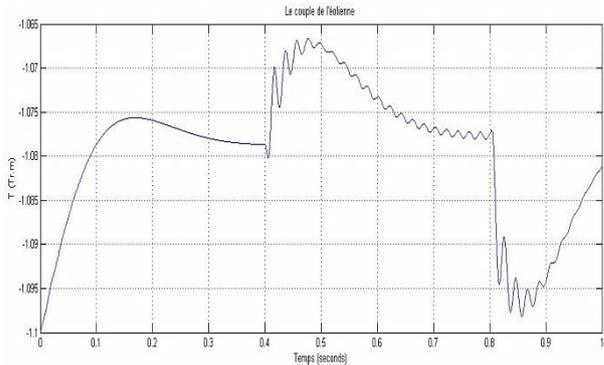


Fig.IV.59: Le couple de l'éolienne (avec DVR)

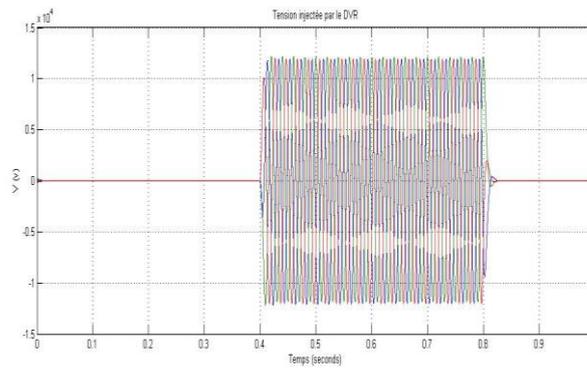


Fig.IV.60: La tension injecte par le DVR

Interprétations

Pour la coupure brève imposée au réseau que nous avons simulé, nous avons analysé et comparé les tensions, les puissances active et réactive au niveau de la source triphasée, les charges triphasée (1-3) et à la sortie de la PED. Aussi, on a analysé la vitesse et le couple résistant de la PED et cela en absence et en présence du DVR.

a) Cas d'une coupure brève en absence d'un DVR :

A partir de notre comparaison entre les allures du régime normal (sans surtension) et les allures du régime perturbé (Coupure brève) on a remarqué les points suivants :

- La tension nominale du réseau est nulle pendant l'intervalle [0.4s à 0.8s].
- Les tensions au niveau de la PED et les charge triphasées (1-3) sont nulles dans l'intervalle [0.4s à 0.8s].
- Les puissances active et réactive au niveau de la PED et les charges triphasées (1-3), ainsi que la source sont nulles entre [0.4s à 0.8s].
- Augmentation de la vitesse et le d'éolienne.
- Diminution du couple de l'éolienne.

Ainsi, les perturbations subies par le réseau affectent automatiquement le bon fonctionnement des éléments qui lui sont connectés.

b) Cas d'une coupure brève en présence du DVR :

La présence du DVR a pour but de la stabilisation de la tension et en compensant toute sorte de perturbation de tension pouvant nuire à la PED et les charges triphasées.

CHAPITRE IV : Simulation et interprétation des résultats

Les résultats de simulation ont montré l'influence du DVR sur le réseau, ce dernier arrive à maintenir la tension invariable aux bornes de la PED et la charge triphasée (3) qui est connectée à la sortie d'éolienne (en injectant une tension compensatrice).

On a remarqué que le DVR n'a pas pu maintenir la tension invariable aux bornes de la charge triphasée (1) qui est connectée directement au réseau de distribution (charge 1 est montée avant le DVR).

Et on a remarqué aussi la stabilisation de la puissance active et réactive à la borne de la PED, la charge triphasée (3), la vitesse et le couple résistant d'éolienne à la présence du DVR.

Ainsi, le DVR permet de protéger les éléments connectés en aval sans distinction.

3. Surtension :

On a appliqué une surtension de 10% au niveau de la source dans l'intervalle 0.4 à 0.8s.

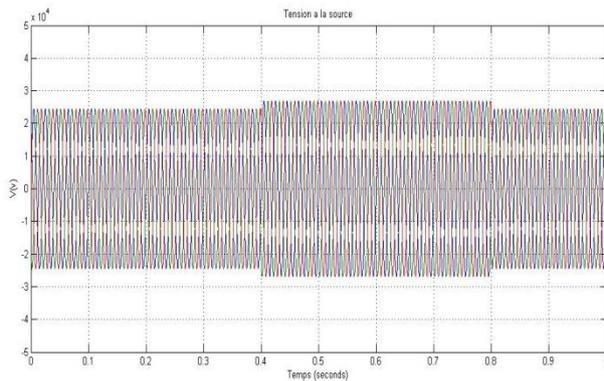


Fig.IV.61: Tension à la source (avec et sans DVR)

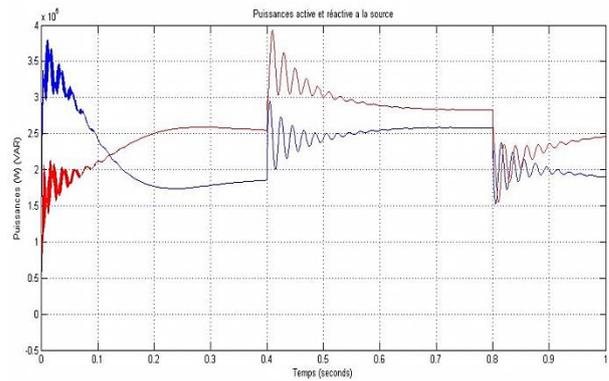


Fig.IV.62: Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR)

—■— Puissance active

—■— Puissance réactive

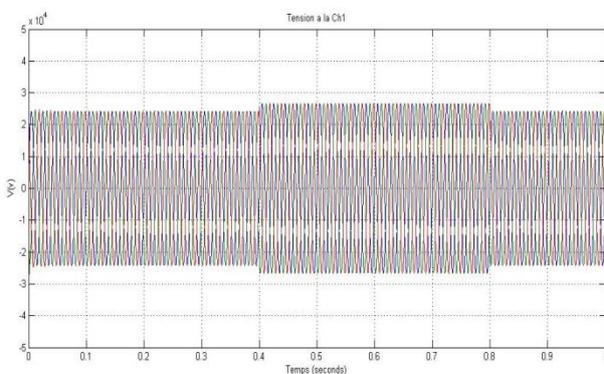


Fig.IV.63: Tension à la charge 1 (sans DVR)

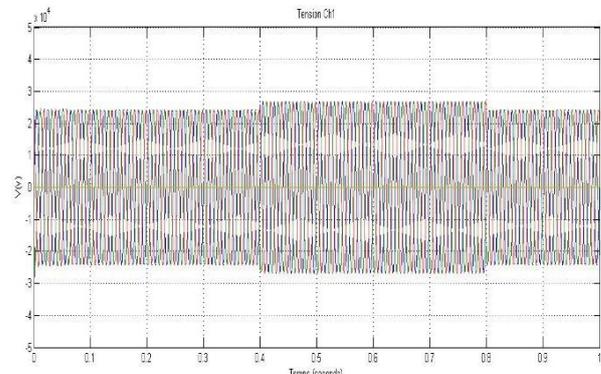


Fig.IV.64: Tension à la charge 1 (avec DVR)

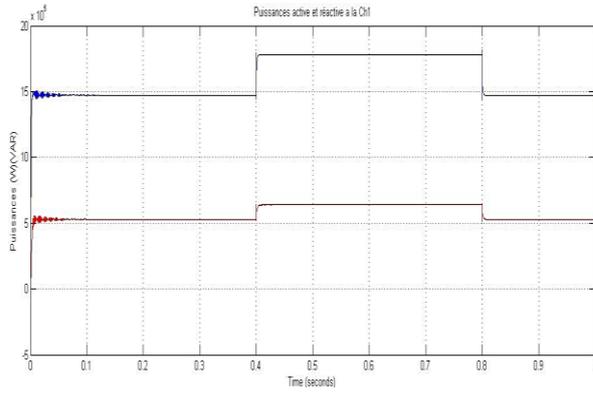


Fig.IV.65: Puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR)

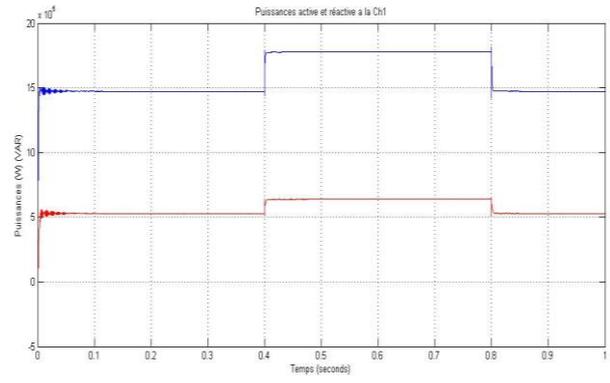


Fig.IV.66: Puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR)

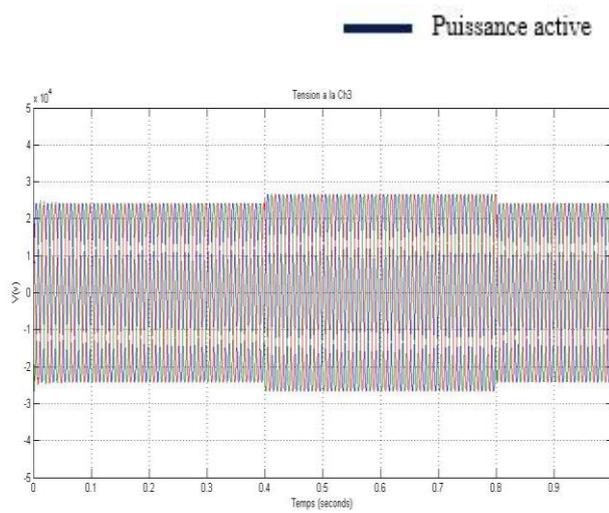


Fig.IV.67: Tension à la charge 3 (sans DVR)

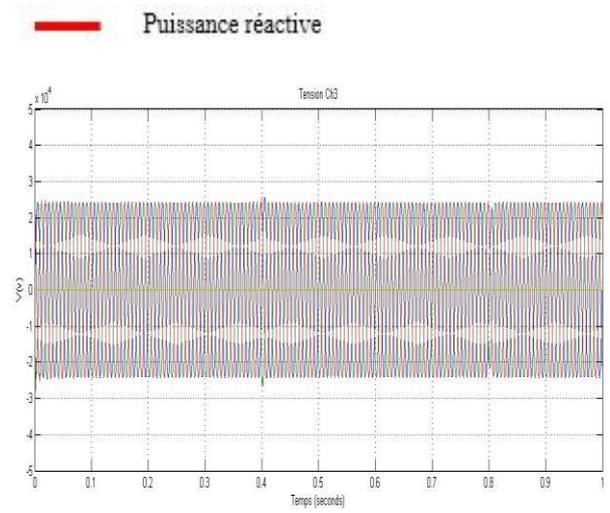


Fig.IV.68: Tension à la charge 3 (avec DVR)

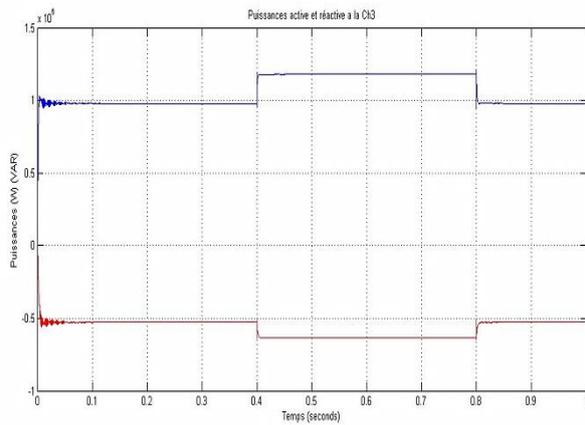


Fig.IV.69: Puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR)

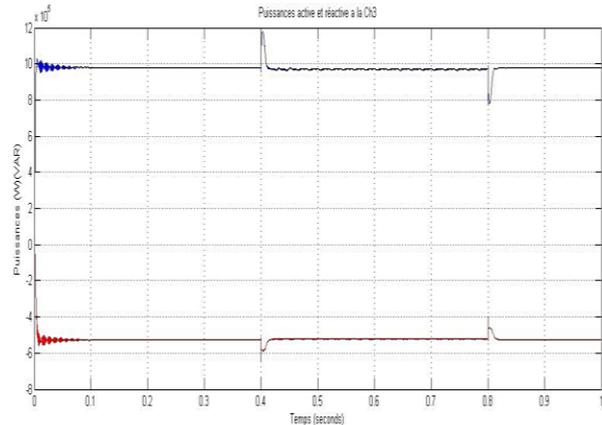


Fig.IV.70: Puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

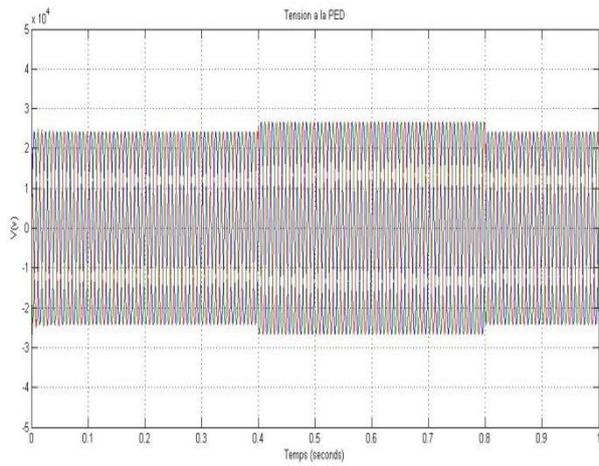


Fig.IV.71: Tension à la PED (sans DVR)

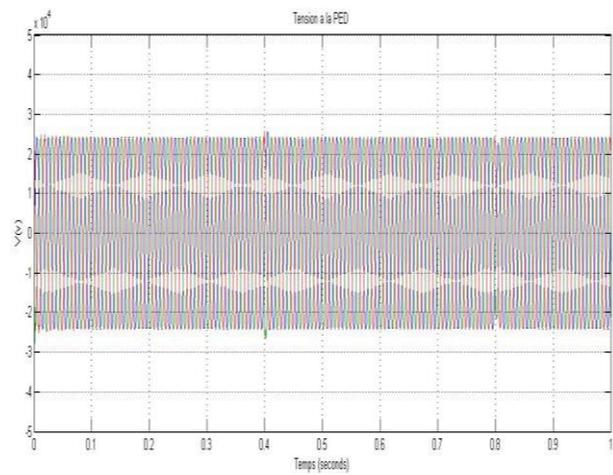


Fig.IV.72: Tension à la PED (avec DVR)

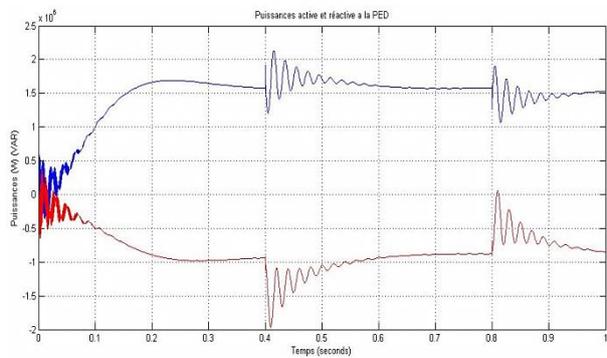


Fig.IV.73: Puissances active et réactive à la PED (sans DVR)

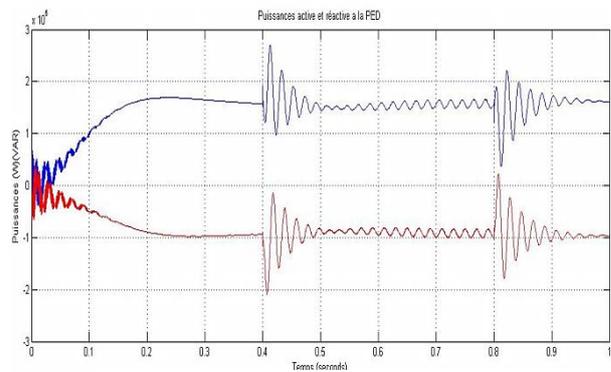


Fig.IV.74: Puissances active et réactive à la PED (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

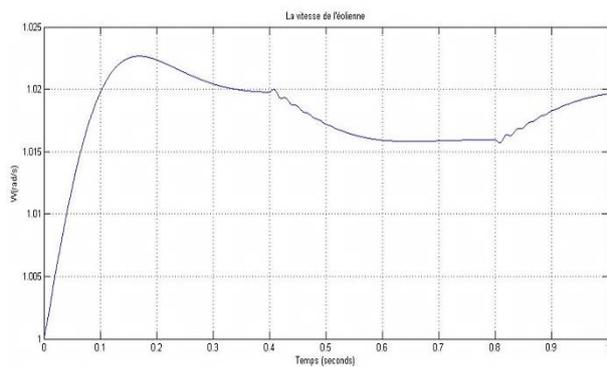


Fig.IV.75: La vitesse de l'éolienne (sans DVR)

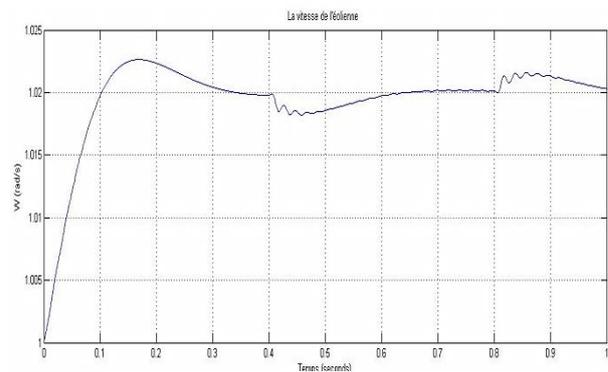


Fig.IV.76: La vitesse de l'éolienne (avec DVR)

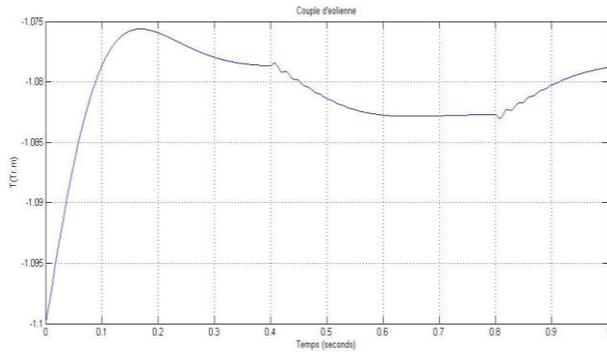


Fig.IV.77: Le couple de l'éolienne (sans DVR)

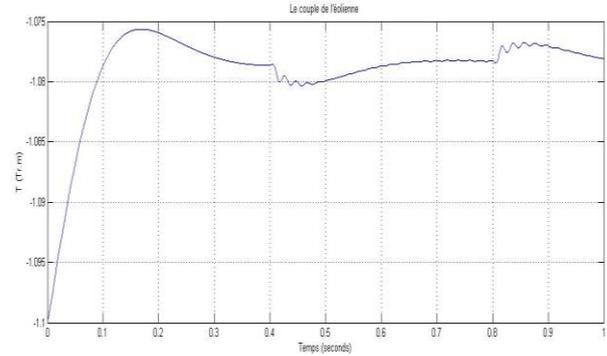


Fig.IV.78: Le couple de l'éolienne (avec DVR)

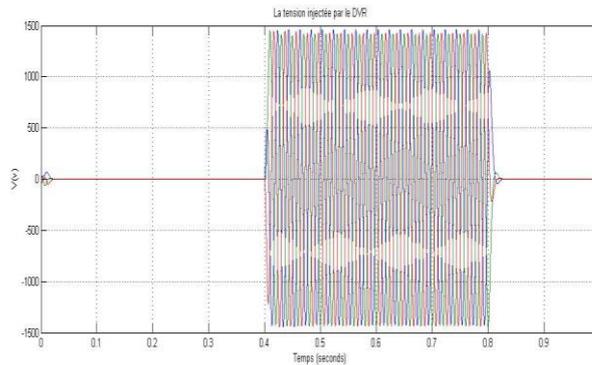


Fig.IV.79: La tension injectée par le DVR

Interprétations

Nous avons introduit un autre sens de la perturbation en créant une surtension de 10% au niveau du réseau d'une durée de 0.4s.

A partir de notre comparaison entre les allures du régime normal (sans surtension) et les allures du régime perturbé on a remarqué les points suivants :

a) Cas d'une surtension en absence d'un DVR

- Augmentation de la tension nominale du réseau pendant l'intervalle [0.4s à 0.8s].
- Augmentation des tensions au niveau de la PED et des charges triphasées (1-3) dans l'intervalle [0.4s à 0.8s].
- Augmentation de la puissance active et réactive au niveau de la PED et ainsi que la source entre [0.4s à 0.8s].
- Augmentation de la puissance active et réactive au niveau des charges triphasées (1-3) pendant la perturbation.
- Diminution de la vitesse et du couple de l'éolienne pendant la perturbation.

b) Cas d'une surtension en présence du DVR

Le DVR est introduit dans le réseau (en amont d'éolienne) afin de vérifier sa réaction lors de la surtension.

Les résultats de simulation ont montré que :

- Le DVR arrive à équilibrer les tensions aux bornes de la PED et la charge triphasée(3) qui est connecté à la sortie d'éolienne contrairement à la charge 1.
- A la présence de dispositif d'atténuation de perturbation (DVR), on remarque que les puissances active et réactive se stabilise au niveau de la PED et la charge3.
- Le DVR n'a pas d'influence sur la charge 1 qui est place aval de ce dernier.
- La vitesse et le couple de l'éolienne sont pratiquement stables.

4. Chute de tension à la source

On a diminué la tension nominale de 30KV à 27KV au niveau de la source pendant toute la simulation (temps de simulation 1s).

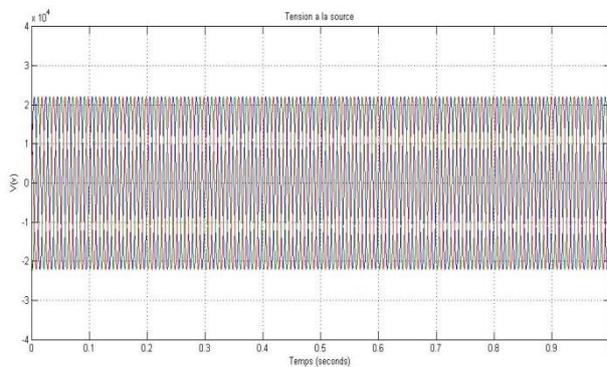


Fig.IV.80: Tension à la source (avec et sans DVR)

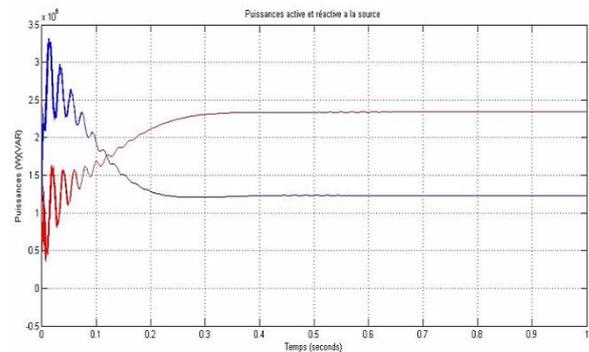


Fig.IV.81: Les puissances active et réactive à la source (avec et sans DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

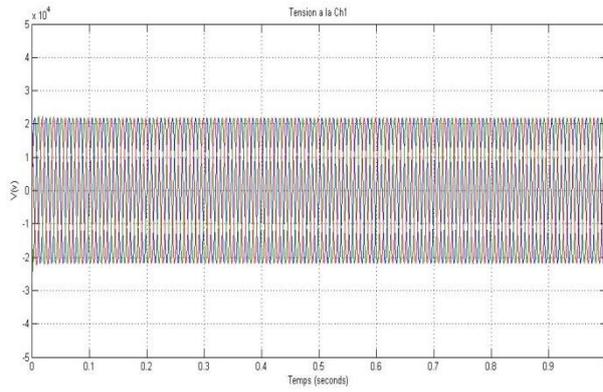


Fig.IV.82: Tension à la charge 1 (sans DVR)

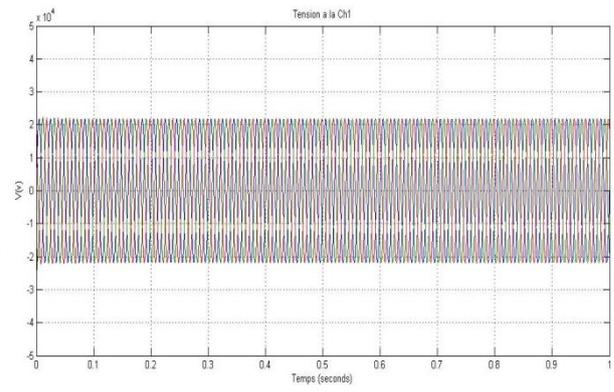


Fig.IV.83: Tension à la charge 1 (avec DVR)

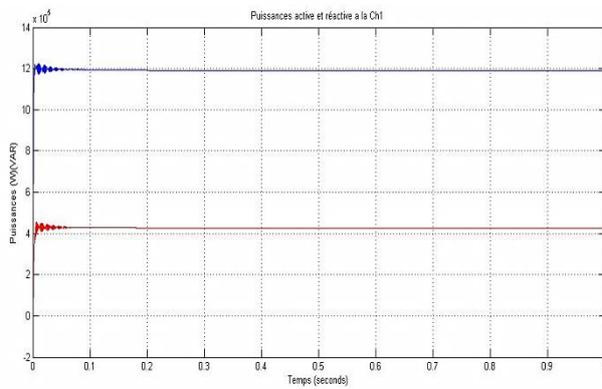


Fig.IV.84: Les puissances active et réactive à la charge 1 (sans DVR)

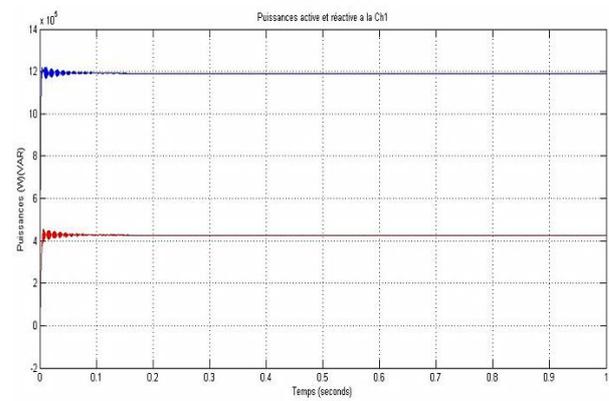


Fig.IV.85: Les puissances active et réactive à la charge 1 (avec DVR)

— Puissance active — Puissance réactive

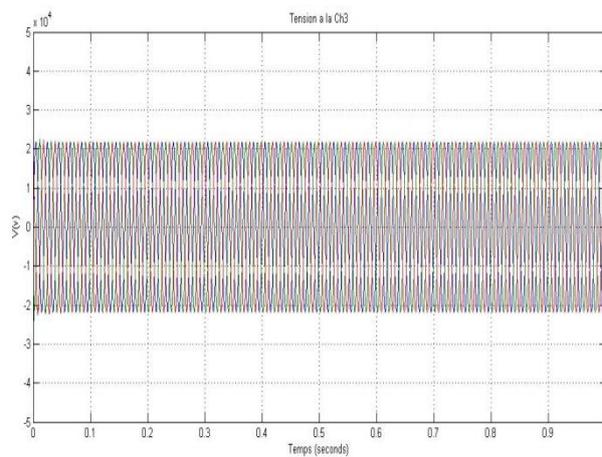


Fig.IV.86: Tension à la charge 3 (sans DVR)

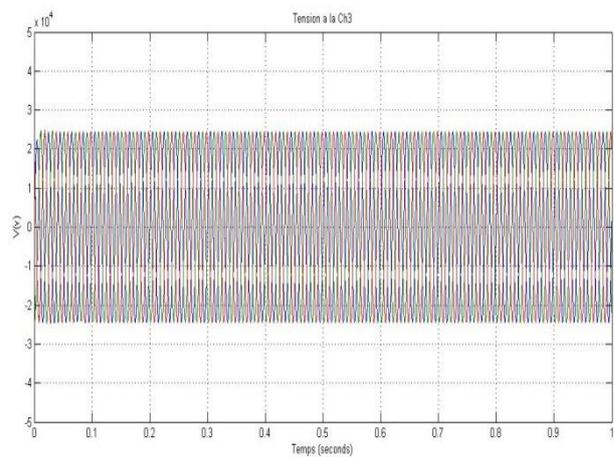


Fig.IV.87: Tension à la charge 3 (avec DVR)

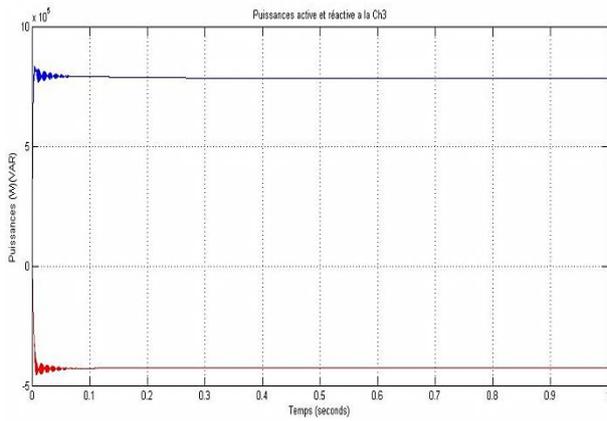


Fig.IV.88: Les puissances active et réactive à la charge 3 (sans DVR)

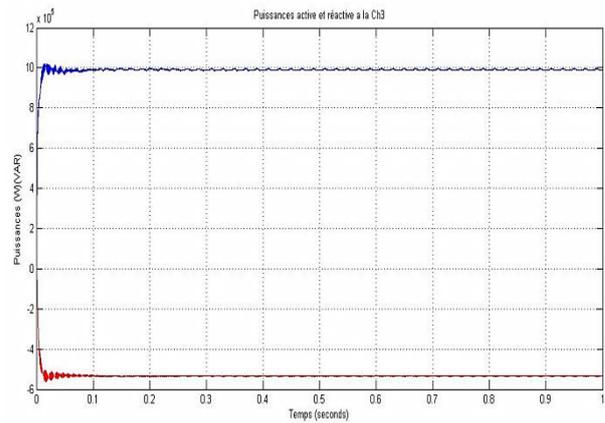


Fig.IV.89: Les puissances active et réactive à la charge 3 (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

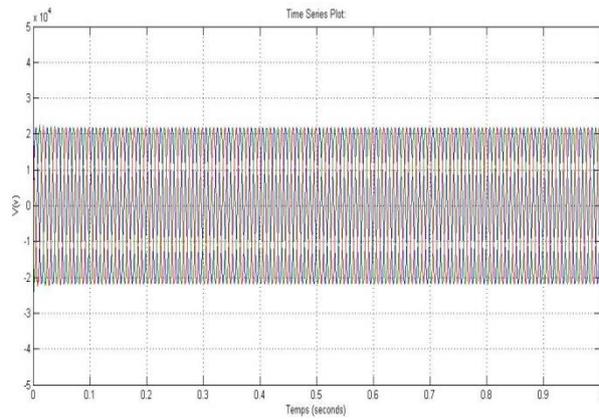


Fig.IV.90: Tension à la PED (sans DVR)

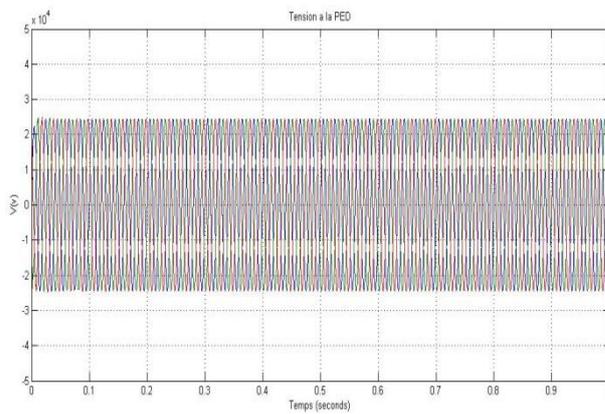


Fig.IV.91: Tension à la PED (avec DVR)

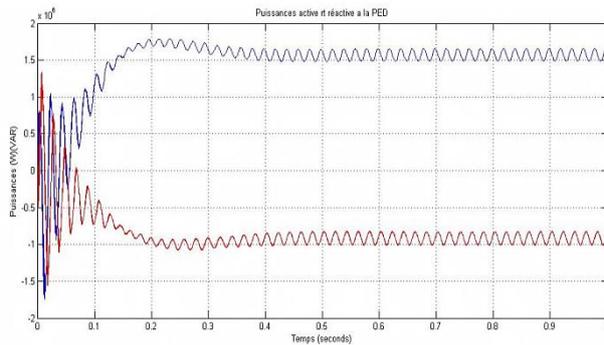


Fig.IV.92: Les puissances active et réactive à la PED (sans DVR)

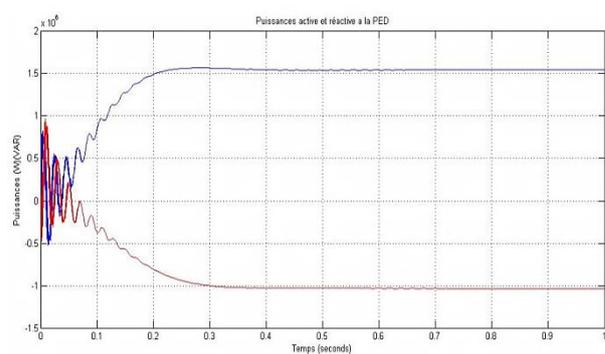


Fig.IV.93: Les puissances active et réactive à la PED (avec DVR)

— Puissance active

— Puissance réactive

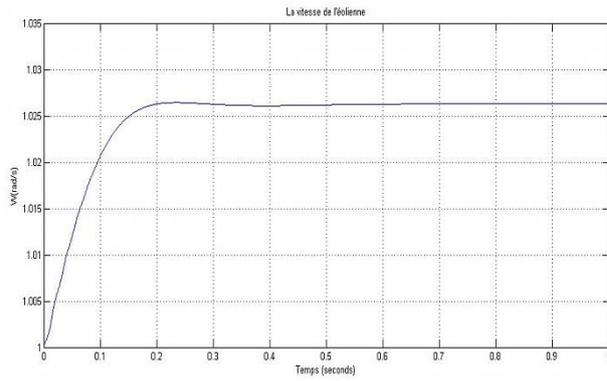


Fig.IV.94: La vitesse de l'éolienne (sans DVR)

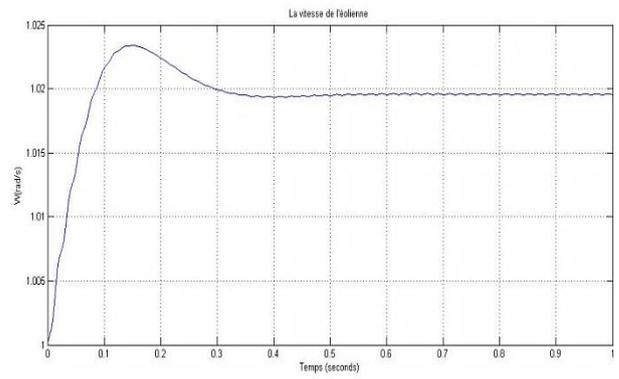


Fig.IV.95: La vitesse de l'éolienne (avec DVR)

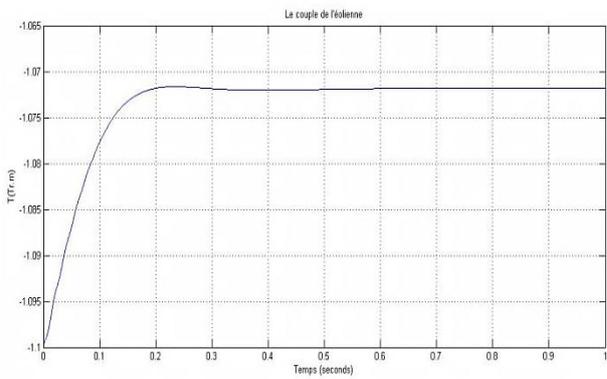


Fig.IV.96: Le couple de l'éolienne (sans DVR)

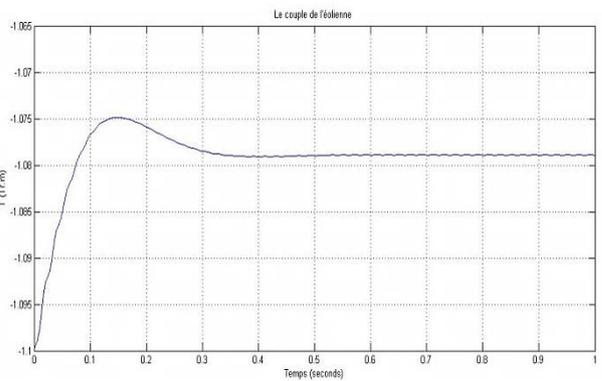


Fig.IV.97: Le couple l'éolienne (avec DVR)

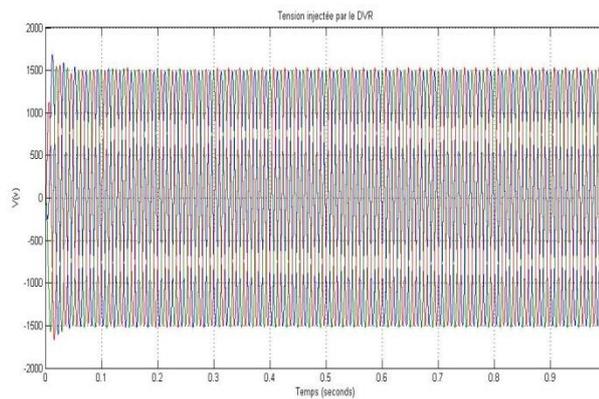


Fig.IV.98: La tension injecte par le DVR

Interprétations

Pour évaluer la réaction du DVR dans un autre sens, nous avons introduit un autre sens de la perturbation en créant une chute de tension au niveau du réseau durant toute la simulation 1s.

Après avoir simulé, on a comparés les allures des résultats obtenus, et on a remarqué les points suivants :

a) Cas d'une chute de tension en absence d'un DVR

- Diminution de la tension nominale du réseau, et la PED et les charge triphasées (1-3).
- Augmentation de la puissance active et réactive au niveau de la PED.
- Diminution de la puissance active et réactive au niveau de la source et les charges triphasées (1-3) pendant la perturbation.
- Légère augmentation de la vitesse et du couple de l'éolienne pendant la perturbation.

b) Cas d'une chute de tension en présence d'un DVR

- La présence de la chute tension au niveau de la source et la charge1.
- La compensation de la chute tension au niveau de la charge3 et PED par le DVR (la tension compensatrice injecté par le DVR).
- La stabilité des puissances actives et réactive a la PED, la charge3.
- Le couple et la vitesse de l'éolienne sont stables.

Remarque

D'après les résultats obtenus dans cette simulation, on a conclu que le dispositif (DVR) a pu rétablir la stabilité de la tension au niveau des charges sensibles à la perturbation (la PED et la charge3).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude de stabilité de tension pour un réseau triphasé raccordé à une éolienne à vitesse fixe. Celle-ci consiste à évaluer la limite de stabilité et étudier l'influence d'un DVR sur les charges triphasées et la PED.

Il est apparu d'après les résultats obtenus que :

- La présence de la PED soulage la source.
- Une perturbation de tension au niveau de la source influe sur la tension aux bornes des charges triphasées et cette perturbation propage aussi sur la PED.
- Le DVR permet de régler la tension en amont d'une charge sensible.
- Le DVR permet de régler la tension, la puissance active et réactive, la vitesse d'éolienne et le couple d'éolienne.
- Le DVR joue le rôle d'un absorbeur ou compensateur de tension, et permet de maintenir la stabilité du système.
- Le DVR possède une bonne dynamique qui lui permet une correction rapide.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'insertion des dispositifs d'électronique de puissance tels les FACTS dans les réseaux électriques en vue d'améliorer la qualité de l'énergie distribuée et d'augmenter leur capacité de transport continue de susciter un grand intérêt. Notre mémoire de fin d'études s'inscrit justement dans ce cadre et pour le réaliser nous avons orienté nos travaux vers l'étude de l'apport du couplage d'une PED à un réseau de distribution MT et celui des éléments FACTS et filtres sur le réglage du plan stabilité de la tension dans un réseau perturbé.

Par cette étude, nous estimons avoir cerné théoriquement les principaux types de perturbations apparaissant dans un système électrique (creux de tension, surtension, chute tension, coupure brève, les harmoniques...etc.), ainsi que les dispositifs d'atténuation des perturbations (filtre passif et actif et les dispositifs FACTS).

Les travaux de simulations numériques ont, principalement, porté sur l'apport d'une PED dans la flexibilité de distribution de l'énergie puis sur l'apport d'un DVR dans l'amélioration de la qualité de l'énergie distribuée et la protection de la PED vis à vis des perturbations provenant du réseau.

Par ces travaux, nous pensons avoir nettement amélioré nos connaissances et ce, grâce à une lecture minutieuse d'une très riche bibliographie élaborée dans ce domaine.

Enfin, nous souhaitons que ce travail puisse trouver applications et servir les futures promotions.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **Olivier RICHARDOT** « Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée » Thèse de doctorat INPG, 2000.
- [2] **Guillaume RAMI** « contrôle de tension auto adaptatif pour des productions décentralisées d'énergies connectées au réseau électrique de distribution » Thèse de doctorat INPG, 2006.
- [3] **Cong Duc PHAM** « Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTA en présence de génération d'énergie dispersée » Thèse de doctorat INPG, 2005.
- [4] **TransEnergie1999** « caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par le réseau de transport d'Hydro_Québec ».
- [5] **Kouadra Foued** : «étude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une production décentralisé dans un réseau MT » mémoire Magister ; université de Constantine; 2008.
- [6] **UEM** « Liste des études à mener pour le raccordement d'un utilisateur HTA aux réseaux publics de distribution » Référentiel technique HTA et BT 2005.
- [7] **Ismaël Daoud, Nicolas Pierreux** : « Analyse des systèmes de micro-cogénération » Ingénieur Civil Electromécanicien 2000-2001.
- [8] **R.Caire.** «Gestion et Stratégies de conduite de la Production Décentralisée».Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble (LEG). Grenoble, 2004.
- [9] **J.F.Canard.** «Impact de la génération d'Energie Dispersée dans les réseaux de distribution».Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble (LEG). Grenoble, 2000.
- [10] **Rapport final de la Commission Ampère, Octobre 2000. [Online]:**
http://mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/ampere_commission_fr.htm.
- [11] **Miguel Angel Fontela Garcia** : « Interaction des réseaux de transport et de distribution en présence de production décentralisé » ; INP Grenoble, Juillet 2008
- [12] **F. Sagnard** : « Introduction à la synthèse des filtres actifs » Polytechnique de Mons Thierry Dutoit, TCTS Lab. ; Notes de cours, première édition- 2007
-

Bibliographie

- [13] **Abdelmadjid Chaoui** « Filtrage actif triphasé pour charge non linière »Thèse doctorat; Sétif 2010
- [14] **Mohamed Magraoui** : « Validation de techniques de commande d'un filtre parallèle» Thèse Doctorat; Québec 2007.
- [15] **Mohamad ALAAEDDIN ALALI** « contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basses tension (automatisation des systèmes de puissance électrique)» université luis pasteur –Strasbourg I- doctorat -2002
- [16] **M. Damien Fleiller** « étude des stratégies de commande d'un filtre actif de type parallèle en vue d'assurer la compensation des harmoniques et du déséquilibre » projet fin d'études université cathodique de louvin- Belgique -2006
- [17] **Denoun Hakim** « Contribution a l'étude et la réalisation des convertisseurs » Thèse Doctorat université de Tizi Ouzou, 2009
- [18] **Sahli Abdeslem** : « Filtrage actif et contrôle de puissances : Application aux systèmes photovoltaïques interconnecté au réseau » ; mémoire Magister ; université de Setif ; 2012
- [19] **Steeve BEAULIEU** « Etude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique » Mémoire présente comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie ; université du Québec a chicoutiml-2007
- [20] **Eskandar Gholipour Shahraki**, « Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques », Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I en Génie Electrique soutenu le 13 Octobre 2003.
- [21] **Gabriela, Glanzmann**, « Flexible Alternating Current Transmission Systems », EEH - Power Systems Laboratory, 14. January 2005.
- [22] **Gyu-ha Choe, K Wallace, Min ho Park** « An improved PWM techniques for ac-chopper » IEEE transaction on power electronic vol 4 NO 1 October 1989
- [23] **Rabeh Benabide** : « Optimisation multi objectif de la synthèse des FACTS pour les particules en Essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques » ; mémoire Magister ; université Leghouat ; septembre 2007
-

Bibliographie

[24] **Rachida Haimour** : « Contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique » ; mémoire Magister ; université Oran ; 2008/2009.

[25] **Emanuel Florin Mogos** : « Production décentralisée dans les réseaux de distribution. Etude pluridisciplinaire de la modélisation pour le contrôle des sources » Docteur école nationale supérieur d'arts et métiers centre de Lille 2005.

[26] **S Lanrentin Capitaneanu** : «Optimisation de la fonction MLI d'un onduleur de tension deux –niveaux »Docteur de l'institut nationale polytechnique de Toulouse ; 2007

[27] **A. Ziane-khodja; M. Adli et R. Alkama** : « Apport d'un DVR dans la production d'énergie d'éistribuée » Laboratoire de Génie Electrique de Bejaia – Algérie ; 2012

[28] **A. Ziane-khodja** : « Les systèmes de l'électronique de puissance dédiés aux réseaux d'énergie électrique : impacts sur la qualité et la répartition de l'énergie »Thèse doctorat ; Université A. Mira de Bejaia ; 2013

[29] **Quatrième conférence sur le génie électrique** : « Compensation des perturbations en Tension des réseaux de distribution, DVR (Dynamic voltage restirer) » université de Bechar, Algérie, le 03-04 Novembre 2010

[30] **TANADJAOUI N, BENCHAIBA C, ABDELKHELEK O** : « Compensation des perturbations en tension des réseaux de distribution, DVR (Dynamic Voltage Restorer) multifonctions », quatrième conférence sur le génie électrique, 03-04 novembre 2010, Université de Bechar, Algérie.

Annexes

ANNEXES

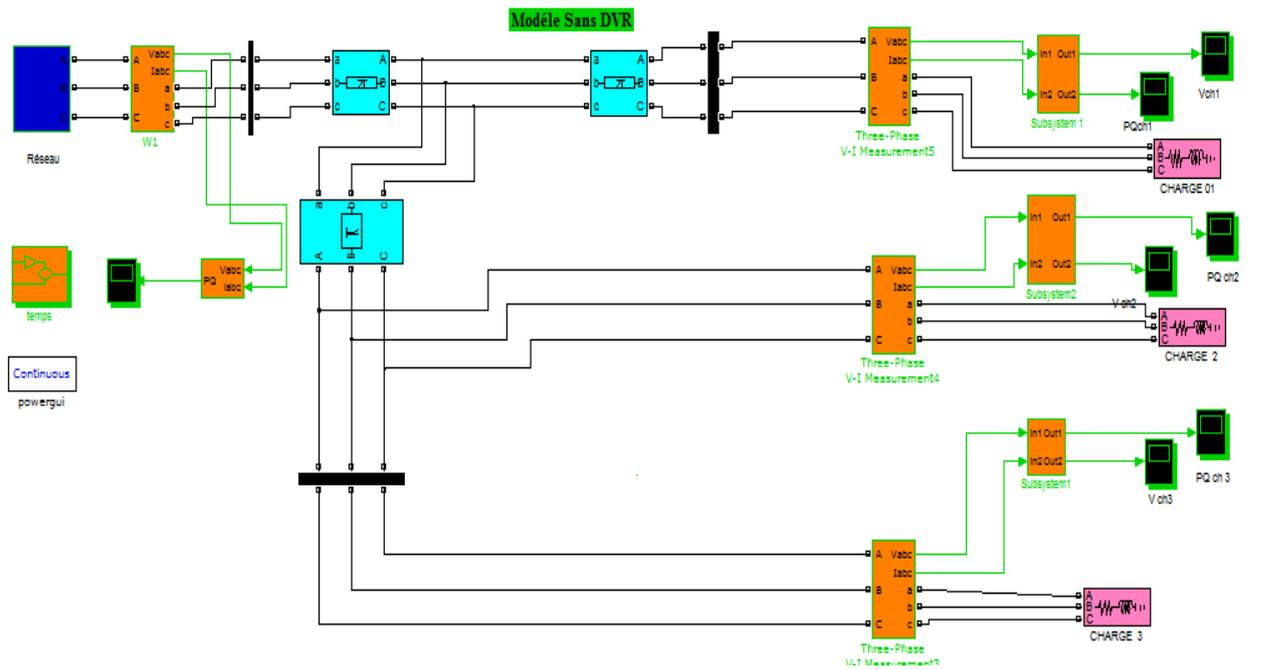


Fig.A.1 Schémas bloc de simulation de réseau sans la présence de la PED

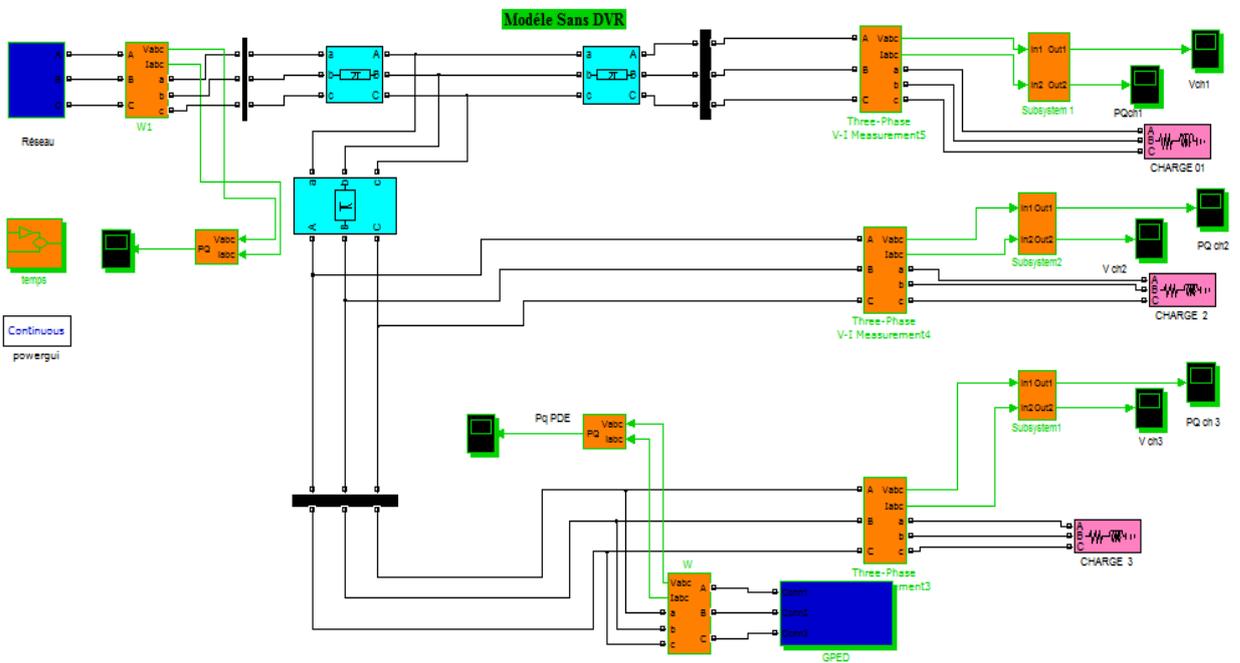


Fig.A.2 : Schémas bloc de simulation de réseau sans la présence du DVR

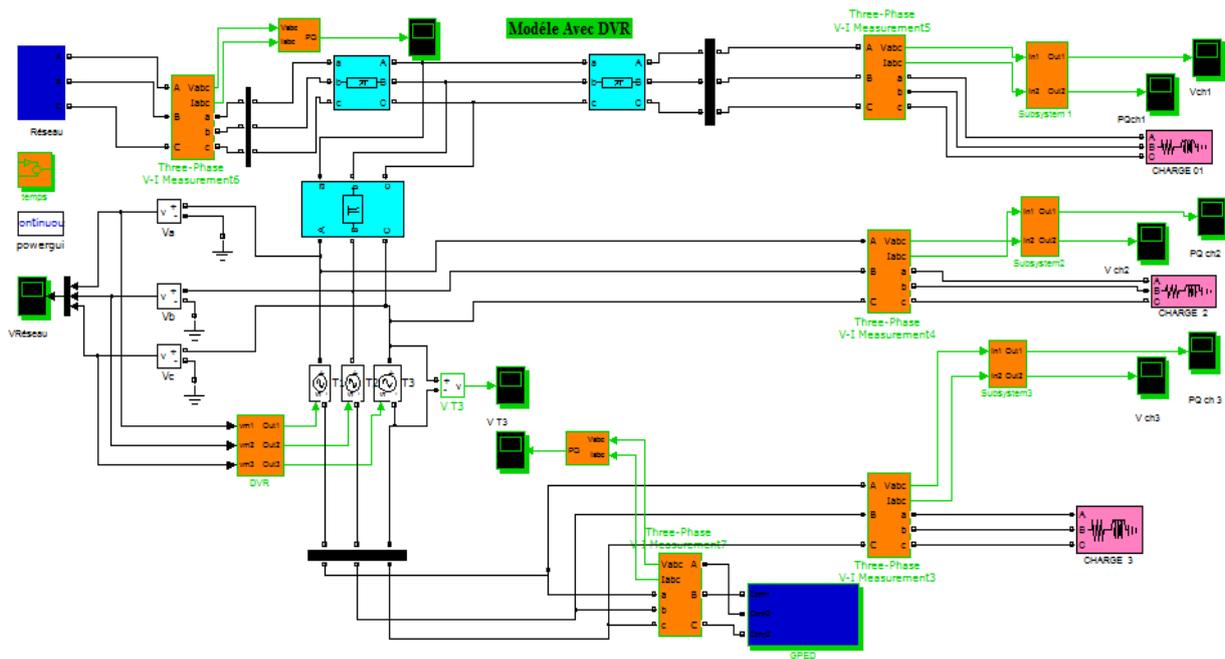


Fig.A.3 : Schémas bloc de simulation de réseau avec la présence du DVR

Paramètre des réseaux simulés

Les caractéristiques des lignes utilisées :

$$[R1, R0] = [0.025 \quad 0.03864] \text{ Ohm/Km}$$

$$[L1, L0] = [0.3183e-3 \quad 4.1264 e-3] \text{ H/Km}$$

$$[C1, C0] = [8,74 e-12 \quad 7.75 e-12] \text{ F/Km}$$

$$f = 50\text{Hz}$$

$$l = 15\text{Km}$$

Les paramètres de la source :

La tension nominale composée

$$U = 30\text{Kv}$$

ANNEXES

La tension nominale simple

$$V=24.5 \text{ KV}$$

$$f= 50\text{Hz}$$

Amplitude values = 1 Pu

Les paramètres de la PED :

Caractéristiques de la Machine asynchrone

Puissance nominale (VA)= $1.5 \cdot 10^6$ VA

Tension composée(KV) = 480Kv

$$f=50\text{Hz}$$

Stator: $[R_s L_s] = [0.016, 0.06]$ Pu

Rotor : $[R_l, L_r] = [0.015, 0.06]$ Pu

Inductance mutuel $L_m = 3.5$ Pu

Caractéristiques du Transformateur

$$f = 50\text{Hz}$$

Puissance nominale (VA)= $1.5 \cdot 10^6$ VA

Au primaire du transformateur

$$U_1 = 480\text{Kv}$$

$$R_1 = 0.002 \text{ Pu}$$

$$L_1 = 0.08 \text{ Pu}$$

Au secondaire du transformateur

$$U_2 = 30\text{Kv}$$

$$R_2 = 0.002 \text{ Pu}$$

$$L_2 = 0.08 \text{ Pu}$$

ANNEXES

La résistance magnétique du transformateur

$$R_m = 500 \text{ Pu}$$

Inductance magnétique du transformateur

$$L_m = 500 \text{ Pu}$$

Les paramètres des charges triphasées

Charge1 [f, U, P, Q, Qc] = [50 Hz, 30kV, 1.5 M W, 0.5383 MVar, Qc = 0].

Charge (2-3) [f, U, P, Q, Qc] = [50 Hz, 30kV, 1 M W, 0.5383 MVar, Qc = 0].

Le cas d'une perturbation

- Injection d'une perturbation à $t=0.4s$ jusqu'à $t=0.8s$ (surtension et creux de tension de 10% de la tension nominale).
 - Injection d'une perturbation à $t=0.4s$ jusqu'à $t=0.8s$ (coupure brève et une chute de tension).
-