

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUES

SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES

THEME

*Commande d'un SVC pour le contrôle de la tension
des lignes de transport d'énergie électrique*

Proposé et dirigé par:

- Mr. MESSALTI Sabir

Présenté par :

- LAALA Zakaria

Année Universitaire : 2015 / 2016

N° d'ordre : Rés _221

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à mon encadreur pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département Génie électrique qui a contribué à notre formation Par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes très chers parents et ma grande famille.

À mes très chers frères et mes sœurs.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

À vous.

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les Réseaux électriques

I.1.Introduction	4
I.2 Réseau de transport	5
I.2.1 Généralités sur les réseaux d'énergie électrique.....	5
I.3.Modélisation du réseau électrique.....	6
I.3.1. Modélisation des générateurs	6
I.3.2. Modélisation d'une transformateur.....	7
I.3.3. Modélisation d'une charge	8
I.3.4. Modélisation de ligne longue	8
I.3.5 Mise en équations du réseau de transport	9
I.3.6. Écoulement de puissance dans un réseau électrique	10
I.3.6.1. Méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance.....	9
I.3.6.2. L'organigramme de la méthode de Gauss Seidel.....	10
I.3.7. Puissance transite dans une ligne	12
I.3.8. Qualité de l'énergie électrique	14
I.3.9 Contrôle de la puissance réactive	14
I.4.Reglages de tension.....	15
I.4.1. Moyenne classique de compensation.....	15
I.5.Conclusion.....	16

Chapitre II : Généralité sur les FACTS

II.1 Introduction	17
II .2 Le système FACTS.....	18
II.2.1 Définition et le rôle d'un dispositif FACTS.....	18

II .2.2 Nécessite des systèmes FACTS	18
II.2.3. Les avantages des FACTS	19
II.2.3.1 Inconvénients des dispositifs FACTS.....	19
II.2.3. Application des dispositifs FACTS dans les réseaux électriques	19
II.3. compensateurs série	20
II. 3.1. Condensateurs série commande par thyristor (TCSC)	22
II.3.2 Les avantages de TCSC	23
II.4. Compensateur hybrides	23
II.4.1 Contrôleur unifié de l'écoulement de puissance (IPFC).....	23
II.5 Compensateurs parallèles (shunt)	24
II. 5.1 Compensateur statique (STATCOM).....	26
II. 5.2. Compensateur statique de l'énergie réactive (SVC).....	28
II .5.2.1 Définition du SVC	28
II.6 Compensateur SVC	30
II 6.1. Schéma électrique	30
II .6.2. Principe de fonctionnement.....	31
II .6.3.Modèle dynamique de SVC.....	32
II.7.Conclusion.....	35

Chapitre II : Modélisation des dispositifs FACTS

III.1 Introduction.....	36
III.2 Modélisation des dispositifs FACTS	37
III.2.1. Injection de puissance aux extrémités de la ligne.....	37
III.2.2. Création d'un nœud fictif.....	39
III.2.3. Modification de la matrice d'admittance nodal.....	40
III. 3.Choix des dispositifs FACTS.....	41
III.3.1.Dispositifs FACTS shunt.....	41
III.3.1.1.SVC placer en un nœud du réseau	41
III.3.1.2 .SVC placer au milieu d'un ligne	42
III .3.2. Modèle de compensateur statique de puissance réactive SVC.....	45

III.4.Dispositifs de compensation série.....	46
III.4.1.Modélisation de TCSC.....	46
III.5.Conclusion.....	48

Chapitre VI : Simulation et résultats

IV.1 Introduction.....	49
IV.2.Simulation et analyse des résultats.....	50
IV.3.Simulation 1 : contrôle de la tension d'un réseau avec deux jeux de barres	50
VI.3.1. Simulation du réseau a 2 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension.....	51
IV.3.2. Contrôle de la tension lors de variation brusque de la consommation et la tension du générateur.....	52
IV.4.Simulation 2 : contrôle de la tension d'un réseau de trois jeux de barres	54
IV.4.1. Simulation du réseau a 3 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension	55
IV.5.Simulation 3 : contrôle de la tension d'un réseau de 4 jeux de barres	58
IV.5.1 Simulation du réseau à 4 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension	59
IV.5.2 Contrôle de tension lors d'une variation brusque de la tension et déclenchement d'une ligne.....	61
IV.6.Conclusion.....	63
Conclusion générale	64
Bibliographie	66

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1 : Modèle d'une génératrice.....	6
Figure I.2 : Source de tension.....	7
Figure I.3 : Model d'un transformateur.....	8
Figure I.4 : Modélisation d'une charge.....	8
Figure I.5 : Modélisation d'une ligne longue.....	9
Figure I.6 : Organigramme de la méthode de GAUSS SIEDELE.....	11
Figure I.7 : Schéma monophasé équivalent.....	13
Figure I.8 : Diagramme vectoriel des tensions.....	13

CHAPITRE II

Figure II.1 : Diagramme schématique pour l'application des FACTS.....	20
Figure II.2 : Compensateur série dans un réseau de transmission.....	21
Figure II.3 : Ligne de tension et courant avec un compensateur série.....	22
Figure II.4 : Schéma de structure du TCSC.....	24
Figure II.5 : Schéma de base de l'un L'IPFC.....	24
Figure II.6 : Compensateur shunt dans un réseau de transmission.....	25

Figure II.7 : Ligne de tension et courant avec un compensateur série26

Figure II.8 : Schéma unifilaire du STATCOM.....27

Figure II.9 : Diagramme vectoriel de STATCOM..... 27

Figure II.10 : Schéma d'un SVC de type TCR-FC.....28

Figure II.11 Schéma base d'un SVC.....29

Figure II.12 : Caractéristique d'un SVC.....30

Figure II.13 Compensateur de puissance réactive SVC..... 30

Figure II.15 : Schéma d'un SVC de type TCR-TSC-FC..... 31

Figure II.15 : Modélisation du SVC, a) symbole, b) modèle.....32

Figure II.16 : Schéma général du circuit de commande du SVC..... 32

Figure II.17:Modèle dynamique du SVC.....33

Figure II.18 : Réponse fréquentielle d'un contrôleur conventionnel du SVC.....34

CHAPITRE III

figure III.1 : Modélisation par injection de puissance :a)ligne avec FACTS, b) ligne avec injection équivalent.....38

Figure III.2 : Modélisation avec nœud fictif : a) ligne avec FACTS, b) représentation équivalente.....39

Figure III.3 : Intégration du dispositif FACTS dans une ligne.....40

Figure III.4 : SVC placé en un nœud.....42

Figure III.5 : SVC placé en milieu de ligne.....43

Figure III.6 : Transformation en une ligne équivalente avec un SVC en son milieu.....43

Figure III.7 : Modélisation du SVC, a) symbole, b) modèle..... 45

Figure III.8 : modèle mathématiques e de TCSC.....46

CHAPITRE IV

Figure VI.1 : Réseau électrique à 2 jeux de barres50

Figure IV.2 : Réseau électrique à 2 jeux de barres avec SVC51

Figure IV.3 : Evolution de la tension sans et avec SVC.....52

Figure IV.4 : Evolution de la tension et Q_{SVC} 52

Figure IV.5 : Variation de l'admittance Y_{SVC} 52

Figure IV.6 : Evolution de la tension sans et avec SVC53

Figure IV.7 : Evolution de la tension et Q_{SVC}53

Figure IV.8 : Variation de l'admittance du SVC.....53

Figure IV.9 : Réseau électrique à 3 jeux de barres.....54

Figure IV.10 : Réseau électrique à 3 jeux de barres avec SVC.....55

Figure IV.11 : Evolution de la tension sans SVC.....56

Figure IV.12 : Evolution de la tension avec SVC.....56

Figure IV.13 : Evolution de la tension et Q_{SVC}56

Figure IV.14 : Variation de l'admittance Y_{SVC} 56

Figure IV.15 : Réseau électrique à 3 jeux de barres avec SVC.....57

Figure IV.16 : Evolution de la tension sans SVC.....57

Figure IV.17 : Evolution de la tension avec SVC.....57

Figure IV.18 : Evolution de la tension et Q_{SVC} 57

Figure IV.19 : Variation de l'admittance Y_{SVC} 57

Figure IV.20 : Réseau a 4 jeux de barres58

Figure IV.21 : Réseau de 4 jeux de barres avec SVC.....59

Figure IV.22 : Evolution de la tension sans SVC.....60

Figure IV.23 : Evolution de la tension avec SVC.....60

Figure IV.24 : Evolution de la tension avec et sans SVC.....	60
Figure IV.25 : Evolution de la tension et Q_{SVC}	60
Figure IV.26 :Variation de l'admittance Y_{SVC}	60
Figure IV.27 : Réseau de 4 jeux de barres avec un déclenchement.....	61
Figure IV.28 :Evolution de la tension sans SVC.....	62
Figure IV.29 : Evolution de la tension avec SVC.....	62
Figure IV.30 : Evolution de la tension avec et sans SVC.....	62
Figure IV.31 : Evolution de la tension et Q_{SVC}	62
Figure IV.32 : Variation de l'admittance Y_{SVC}	62

Liste des tableaux

CHAPITRE VI

Tableau IV.1 : Les paramètres du réseau a 2 jeux de barres (en p.u).....	50
Tableau IV.2 : Résultat d'écoulement de puissance du réseau a 2 jeux de barres (en p.u).....	51
Tableau IV.3 : Variation brusque de la tension V_1	51
Tableau IV.4 : Variation brusque de la consommation	53
Tableau IV.5 : Variation brusque de la tension V_1	53
Tableau IV.6 : les paramètres du réseau à 3 jeux de barres	54
Tableau IV.7 : Résultat d'écoulement de puissance du réseau a 3 jeux de barres.....	55
Tableau IV.8 : Variation brusque de la tension V_1	55
Tableau IV.9 : Les paramètres du réseau à 4 jeux de barres	58
Tableau IV.10 : Résultat d'écoulement de puissance du réseau a 4 jeux de barres	59
Tableau IV.11 : Variation brusque de la tension V_1	59
Tableau IV.12 : Variation brusque de la tension V_1	61

Table de nomenclature

<i>EPRI</i> :	Electric Power Research Institute
<i>FACTS</i> :	Flexible Alternative Current Transmission Systems
<i>GTO</i> :	Gate Turn Off
<i>SVC</i> :	Static Var Compensator
<i>TCR</i> :	Thyristor Controlled Reactor
<i>TSC</i> :	Thyristor Switched Capacitor
<i>TSR</i> :	Thyristor Switched Reactor
<i>CSPR</i> :	(acronyme anglais de Static Var Compensator SVC)
<i>STATCOM</i> :	Static Synchronous Compensator
<i>TCSC</i> :	Thyristor Controlled Series Capacitor
<i>MOV</i>	Métal Oxide Varistor
<i>IPFC</i> :	Interline Power Flow Controller
<i>l'IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<i>XC</i> :	Condensateur de réactance.
<i>XL</i> :	Réactance inductive
<i>BL</i> :	Susceptance l'inductance.
<i>R</i> :	resistance de la ligne
<i>X</i> :	Reactance de la ligne
<i>b_{svc}</i> :	la susceptance
<i>y_{svc}</i> :	l'admittance

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 les plus éloignés. Le réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de ligne, des milliers de poste de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage, dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique. Ainsi, des contrôles hiérarchisés assurent la tenue en tension et en fréquence ; ceux-ci couplés aux divers automates, ont la charge de garantir la continuité de service du système. Cependant le réseau peut être soumis à des perturbations se propageant vite et sur une partie étendue, et qui peuvent avoir un impact critique pour tout le système électrique [1]

Les seuls moyens classiques de contrôle des réseaux électrique ce sont des dispositifs électromécaniques (les transformateurs-déphaseurs à réglage en charge pour le contrôle de la puissance active, les condensateurs et inductances additionnelles commutés par disjoncteurs pour compensation série ou shunt, modification des consignes de production de puissance active et réactive des générateurs et changement de la topologie du réseau et action sur l'excitation des générateurs), la dernière action dans ces systèmes de commande est prise avec des dispositifs mécaniques ayant un temps de réponse plus au moins long et avec lesquels l'action d'amorçage et de réamorçage ne peut être répétitivement exécuté à une fréquence élevée par rapport aux dispositifs à base d'interrupteurs statiques (semi-conducteurs).

Le développement rapide de l'électronique de puissance a eu un effet considérable dans l'amélioration des conditions de fonctionnement des réseaux électriques en performant le contrôle de leurs paramètres par l'introduction de dispositifs de contrôle à base des composants d'électronique de puissance très avancés (GTO, IGBT) connus sous l'acronyme FACTS: Flexible Alternative Current Transmission Systems.

Les dispositifs FACTS font en général appel à de l'électronique de puissance, des microprocesseurs, de l'automatique, des télécommunications et des logiciels pour parvenir à contrôler les systèmes de puissance. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils permettent en principe un contrôle plus souple de l'écoulement de puissance. Ils donnent aussi la possibilité de charger les lignes de transit à des valeurs près de leur limite thermique, et augmentent la capacité de transférer de la puissance d'une région à une autre. Ils Limitent aussi les effets des défauts et des défaillances de l'équipement, et stabilisent le comportement du réseau.

L'objectif de ce mémoire est le contrôle de la tension dans un réseau de transport d'énergie électrique au moyen de dispositifs FACTS, comme celle comportant une branche de réactance commandée par thyristors, tel que le compensateur statique de puissance réactive appelé le SVC« Static Var Compensator ».

Le compensateur statique SVC est un dispositif qui sert à maintenir la tension en régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur de limites désirées. Le SVC injecte ou absorbe de la puissance réactive dans les jeux barre où il est branché de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge.

Le présent document est organisé en quatre chapitres avec une introduction générale et une conclusion générale présentant des suggestions:

Dans le premier chapitre nous présentons un aperçu sur le fonctionnement des réseaux électriques. On retrouve dans ce chapitre la définition, la modélisation du réseau électrique, et la puissance transmissible dans une ligne de transport. On va également discuter l'analyse de l'écoulement de puissance, problème de la qualité d'énergie et les différents moyens classiques de compensation. Ces dernières sont également présentées dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique des différents systèmes FACTS en générale à savoir leur principe de fonctionnement et une classification des différents types de FACTS sont proposée et les principaux dispositifs de chaque famille. Dans ce chapitre on étudie le fonctionnement du SVC, ainsi on présente les éléments qui constitué ce dispositif. Différentes configurations du SVC sont présentées.

Le troisième chapitre consacre à l'étude de la modélisation des dispositifs FACTS, et les déférentes méthodes de la modélisation. Nous avons présenté quelques modèles de dispositif FACTS tel que le compensateur shunt comme le SVC et les compensateurs série comme TCSC.

Le quatrième chapitre nous avons utilisé un réseau de 2, 3 et 4 jeux de barres dont plusieurs perturbation sont considérées à savoir : variation de la tension, variation de la charge et déclenchement d'une ligne avec et sans optimisation de la commande SVC et exprime les résultats et l'interprétation.

Chapitre I

Généralités sur les Réseaux électrique

I.1. Introduction

L'objectif fondamental des réseaux électriques est de fournir aux clients de l'énergie électrique avec une parfaite continuité, sous une forme de tension sinusoïdale, avec des valeurs d'amplitude et de fréquence préétablies. Cependant cet objectif semble idéal et n'est jamais facile à assurer, car le réseau électrique aujourd'hui est appelé à fonctionner sous un environnement de plus en plus agressif, et par conséquent, il doit faire face à de nombreux types de perturbations qui être peuvent d'origine interne comme l'évolution et la complexité du réseau et des charges qui lui sont connectées, ou externe liées aux phénomènes des changements climatiques [2]

La gestion du réseau électrique ne consiste pas seulement à faire en sorte que les transits de puissance soient inférieurs aux capacités de transport du réseau. Il faut également surveiller plusieurs paramètres techniques, dont le niveau de tension: la tension électrique doit rester dans une plage autorisée en tout point du réseau, dans toutes les situations de production et de consommation prévisibles. En effet, la tension peut localement être dégradée, par exemple les jours de forte consommation, dans ce cas, les transits à travers les lignes du réseau sont importants, ce qui provoque une chute de tension dans ces lignes.

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'ils maintiennent à leurs bornes. Il est évident que la qualité et la continuité de la tension est devenue un sujet stratégique pour plusieurs raisons concernent l'exploitation des réseaux électriques.

I.2. Réseau de transport

Le réseau de transport relie toutes les centrales électriques dans un système de puissance et distribue la puissance aux différents consommateurs. Les éléments principaux du réseau sont les lignes aériennes à haute tension, les câbles souterrains, les transformateurs et les jeux de barres. Des éléments auxiliaires peuvent être trouvés : des condensateurs en série, des réactances shunts et des systèmes compensation, des systèmes de protection..., [2].

I.2.1. Généralités sur les réseaux d'énergie électrique

Un réseau d'énergie électrique est un système d'éléments interconnectés qui est conçu:

- 1- pour convertir d'une façon continue de l'énergie mécanique en énergie électrique.
- 2- pour transporter l'énergie électrique sur de longues distances.
- 3- pour distribuer l'énergie électrique sous des formes spécifiques soumises à des contraintes bien déterminées.

Pour un consommateur, le réseau devrait idéalement vu de l'endroit où il prend son énergie électrique, comme une source de tension alternative parfaite: c'est-à-dire une source dont l'amplitude et la fréquence sont constantes quelle que soit la charge qu'il connecte. Pour satisfaire leur clientèle, les compagnies d'électricité doivent donc s'efforcer de maintenir l'amplitude et la fréquence de la tension le plus près possible de leur valeur nominale sur tout le réseau d'énergie électrique. [3]

Il est important de maintenir le niveau de tension près de la valeur nominale aux différents nœuds du réseau [3] [4]. Dans les réseaux triphasés on parle souvent de barres plutôt que de nœuds. Une barre est l'équivalent d'un nœud sur les trois phases du système.

Des niveaux de tension largement inférieurs à la tension nominale provoquent une dégradation considérable de la performance des charges et provoquent aussi des surintensités de courant dans les moteurs d'induction utilisés dans de nombreuses usines, alors que des surtensions occasionnent des bris d'équipements et des surintensités de courant dans les dispositifs constitués de matériaux ferromagnétiques saturables, en particuliers les transformateurs, et provoquent aussi une dégradation de la performance des charges.

Pour la majorité des réseaux et pour le réseau Algérien en particulier, la production de l'énergie électrique est assurée par plusieurs alternateurs synchrones situés dans différentes centrales de production. En régime permanent, ces machines tournent à vitesse constante définie comme la vitesse synchrone. Cette vitesse impose la fréquence de la tension sur le réseau.

Pour maintenir constante en régime permanent la fréquence de la tension, il est donc essentiel que les alternateurs tournent tous à cette même vitesse. Le synchronisme des alternateurs est associé au concept de la stabilité du réseau.

I.3 Modélisation du réseau électrique

I.3.1. Modélisation des générateurs

Une machine synchrone est une machine à courant alternatif, dans laquelle la fréquence de la tension induite engendrée et la vitesse sont en rapport constant. Elle est composée : d'un induit fixe, un inducteur tournant. On appelle une machine synchrone toutes les machines qui tournent exactement à la vitesse correspondant à la fréquence des courants et des tensions à ses bornes.

Les machines de faible vitesse angulaire. Pour les grandes machines à grande vitesse (3000 tr/min, dans les centrales à fuel ou charbon), (1500 tr/min dans les centrales nucléaires), on utilise des rotors lisses à entrefer constant.

Le schéma équivalent est représenté par la figure (I.1). [3]

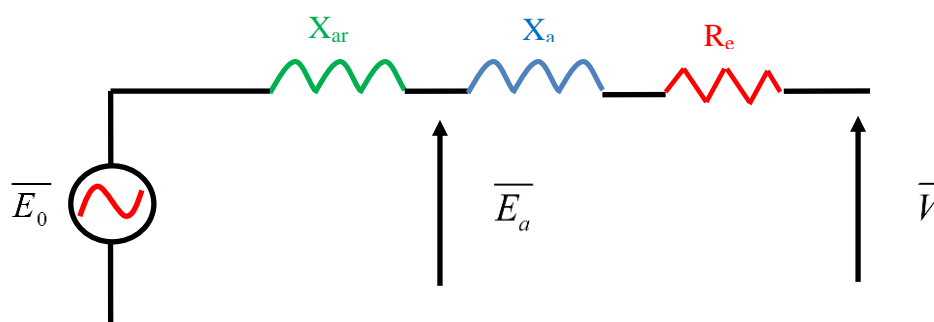


Figure .I.1 : Modèle d'une génératrice

Dans le calcul d'écoulement de puissance, il est représenté par une source de tension.



Figure I.2 : Source de tension.

$S_i = P_i + jQ_i$: La puissance apparente délivré par le générateur.

$V_i = |V_i| e^{j\delta_i}$: La tension simple.

E_0 : La fem à vide

E_a : la fem en charge

V : Tension de sortie.

X_{ar} : Réactance de réaction d'induit.

X_a : Réactance de fuite

$X_s = X_a + X_{ar}$ Réactance synchrone

R_e : Résistance d'enroulement

I.3.2 Modélisation du transformateur

Un transformateur de l'énergie électrique est représenté par un quadripôle en π non symétrique. Les grandeurs associées sont le rapport de transformation a et l'impédance de fuite. Les rapports a_{ij} sont inclus dans les éléments de la matrice admittance, c'est-à-dire que les susceptances de la matrice admittance B_{ij} sont vues comme des fonctions de rapports de transformation a figure (I.3). [4]

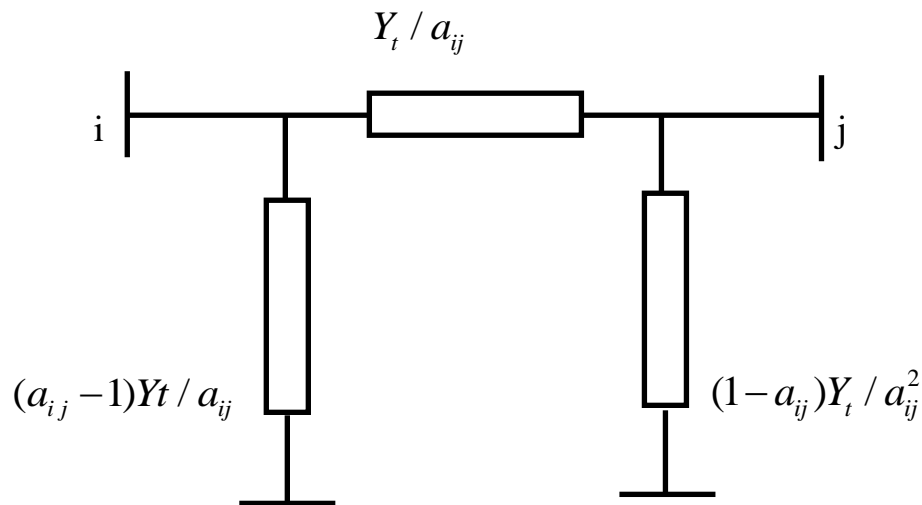


Figure.I.3 : Modèle d'un transformateur.

I.3.3. Modélisation d'une charge

Une charge peut être modélisée par une impédance qui consomme une quantité constante de puissance active et réactive Figures(I.4). [3]

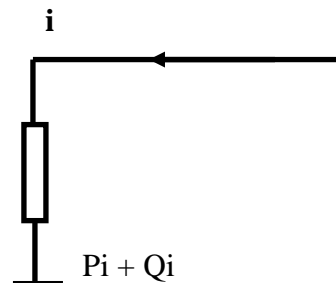


Figure I.4 : Modélisation d'une charge.

I.3.4. Modélisation de ligne longue

Une ligne peut être considérée comme une série de circuit à constantes répartie uniformément sur toute sa longueur. Ces circuits sont composés d'une infinité d'éléments identiques constitués, d'une inductance linéique, et d'une résistance linéique, dans le sens longitudinal, qui donnent naissance à de chutes de tension. Une conductance linéique et une capacité linéique dans le sens transversale. Le schéma équivalent en Π est représenté par la figure (I.5). [3]

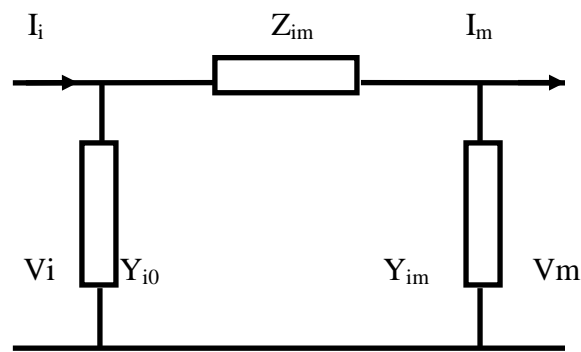


Figure I.5 : Modélisation d'une ligne longue

I.3.5. Mise en équations du réseau de transport.

L'établissement du modèle généralisé du réseau de transport et des charges implique de déterminer les équations algébriques représentant les interconnexions entre les circuits des générateurs et l'ensemble des transformateurs, des lignes de transmission et des charges du système. Le problème est ainsi de déterminer et de mettre en équations le fonctionnement du macro-modèle du réseau de transport. Le réseau électrique peut être décrit sous la forme matricielle suivante :

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}][\bar{V}] \quad (\text{I.1})$$

Ou :

I.3.6 Écoulement de puissance dans un réseau électrique

Les relations entre la puissance transmise, la tension reçue par la charge et la puissance réactive sont importantes lors de l'étude des caractéristiques du système de puissance.

Dans un réseau à N jeux de barres, la tension $[V]$ aux nœuds et les courants injectés $[I]$ sont reliée par l'équation : [3] [5]

$$[I] = [Y][V] \quad (\text{I.2})$$

La puissance injecta à n'importe quel jeu de barre i du réseau peut être exprimée par l'équation suivant

$$S_i = V_i^* I_i = P_i - jQ = V_i^* \sum_{k=1}^n y_{ik} V_k \quad \text{Pour } k=1,2,\dots,N \quad (\text{I.3})$$

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{j \neq i}^n y_{ij} \cdot v_j \right] \quad (\text{I.4})$$

Ou :

[V] : la matrice des tensions au nœud.

[Y] : la matrice admittance nodale du réseau.

Afin de déterminer les tensions des chaque nœud, ainsi les puissances transitées dans chaque branche l'écoulement de puissance est basé sur la méthode suivant :

I.3.6.1 Méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance

Cette méthode consiste à enlever séquentiellement chaque nœud et actualiser sa tension en fonction des valeurs disponibles de toutes les tensions. Pour le cas concret de l'écoulement de puissance, la résolution de l'équation nodale suivante [3] :

$$I_i = y_{i1}v_1 + y_{i2}v_2 + \dots + y_{in}v_n = \sum_{k=1}^n y_{ik}v_k \quad (\text{I.5})$$

En général, on calcule le vecteur V qui satisfait le système non linéaire est :

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{j \neq i}^n y_{ij} \cdot v_j \right] \quad (\text{I.6})$$

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(V_i^k)^*} - \sum_{j=1}^{i-1} y_{ij} \cdot V_j^{k+1} - \sum_{j=i+1}^n y_{ij} \cdot v_j \right] \quad (\text{I.7})$$

Le processus itératif est obtenu quand l'expression suivante est satisfaite [9]

$$\max |V_i^{k+1} - V_i^k| \leq \zeta \quad (\text{I.8})$$

I.3.6.2.L'organigramma de la méthode de Gauss Seidel [6]

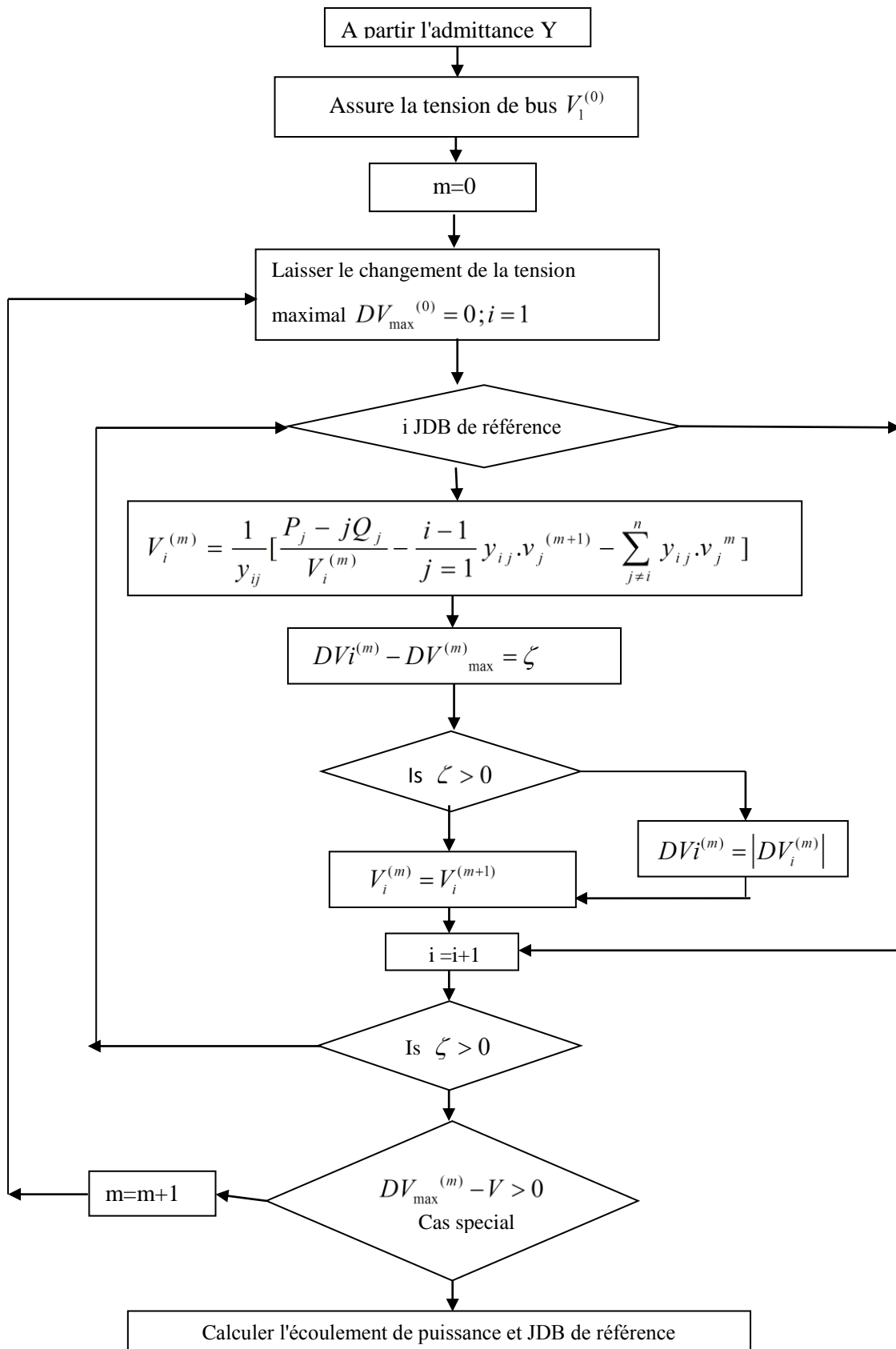


Figure I.6 : Organigramme de la méthode de GAUSS SEIDELE

I.3.7 Puissance transite dans une ligne

Contrairement à une idée très répandue, ce n'est pas l'échauffement maximal des conducteurs qui, en général, limite la puissance transmissible à travers une ligne [7], [8], [9].

En effet, considérons la figure (I.7) qui représente de manière très simplifiée, un dipôle d'impédance $\bar{Z} = R + jX$, une ligne destinée à alimenter la charge \bar{Z}_i . Nous supposons, d'abord, que la

Résistance R de la ligne est nulle (elle est généralement très faible vis-à-vis de la réactance X) et que la puissance réactive.

Nous nous attacherons d'abord à montrer qu'il est important de réguler la tension aux bornes de la charge.

Si nous désignons par θ l'angle entre les tensions \bar{V}_1 et \bar{V}_2 , nous avons, en considérant la figure (I.8) simplifiée (avec $R = 0$), le courant \bar{I} en phase avec la tension \bar{V}_2 , d'où :

$$X.I = V_1 \sin \theta \quad (\text{I.9})$$

Et la puissance active est

$$P_1 = P_2 = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta \quad (\text{I.10})$$

Si aucune précaution n'est prise pour maintenir V_2 constante lorsque la charge varie, on a :

$$V_2 = V_1 \cos \theta \quad (\text{I.11})$$

Soit

$$P_1 = P_2 = \frac{V_1^2}{2X} \sin 2\theta \quad (\text{I.12})$$

Il apparaît donc que, dans ce cas, on ne peut transporter qu'une puissance active maximale par phase égale à :

$$P_{\max} = \frac{V_1^2}{2X} \tag{I.13}$$

Cette valeur maximale est atteinte pour $\theta = 45^\circ$.

Si l'on maintient V_2 constante, ce qui implique que Q_2 n'est plus nulle, mais ne remet pas en cause l'expression (I.8), on a, pour $V_1 = V_2$

$$P_{\max} = \frac{V_1^2}{X} \tag{I.14}$$

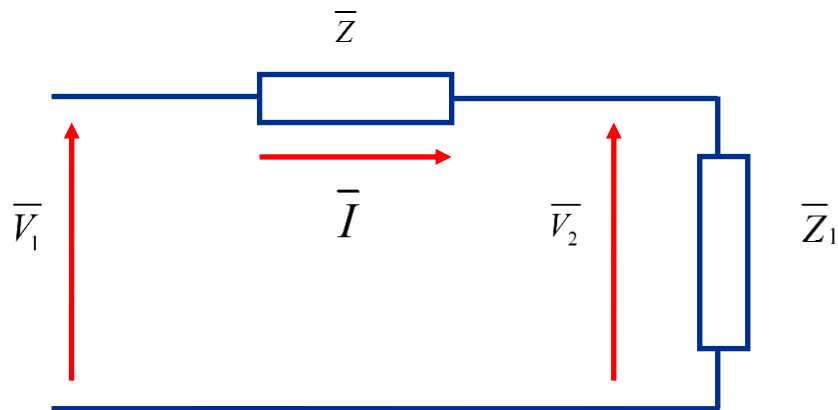


Figure I.7 : Schéma monophasé équivalent

Soit le double de la valeur précédente.

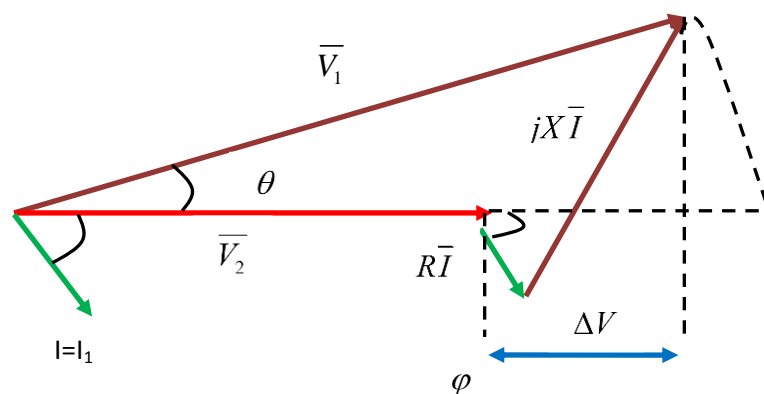


Figure I.8 : Diagramme vectoriel des tensions

Pour améliorer la capacité de transfert des réseaux, on voit donc qu'il est essentiel de disposer du plus grand nombre possible de points à tension fixée. On doit développer d'autre solution dépend du V2 Pour contrôler le transit.

I.3.8 Qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie électrique est étroitement liée à la qualité de l'onde de tension laquelle est caractérisée par les Paramétrés suivants : [10]

- ✓ Forme d'onde parfaitement sinusoïdale ; absence de dis torsions, de pics, de creux.
- ✓ Equilibre et symétrie parfaite des phases en amplitude et en phases.
- ✓ Stabilité de la fréquence.
- ✓ Facteur de puissance dans des limites tolérables.

I.3.9 Contrôle de la puissance réactive :

La compensation d'énergie réactive est l'une des méthodes utilisées pour augmenter la capacité de transfère de puissance et a amélioré la stabilité des systèmes de puissance.

Les méthodes de compensation peuvent être classes en deux classes :

- ✓ La première classe, basé sur le type de connexion, dit compensation série et shunt.
- ✓ La deuxième basé sur le type de l'opération de compensation, dit active et passive.

Dans la compensation active la tension et d'autres paramètres sont contrôles par la réaction d'une boucle de contrôle.

Parmi les raisons pour lesquels on doit minimiser le transfert de puissance réactive on site :

- a. Minimiser les pertes d'énergie active et réactive, pour des considérations économiques.

Ce -ci se traduit par les équations suivant [11], [12] :

$$I^2 = II^* = \left[\frac{P - jQ}{V^*} \right] \left[\frac{P + jQ}{V} \right] = \left[\frac{P^2 + Q^2}{V^2} \right] \quad (\text{I.15})$$

$$P_{\text{perte}} = I^2 R = \frac{P^2 + Q^2}{V^2} \cdot R \quad (\text{I.16})$$

$$Q_{\text{perte}} = I^2 X = \frac{P^2 + Q^2}{V^2} \cdot X \quad (\text{I.17})$$

Notant que les pertes active et réactive à travers l'impédance série de la ligne

Sont respectivement données par I^2R et I^2X , les équations précédentes montrent que les pertes sont réduites quand la puissance réactive est basse et la tension est élevée.

- b. Minimiser les surtensions temporaires, l'amplitude des surtensions est déterminée essentiellement par le transfert d'énergie réactive. [13]

II.4.Reglages de tension

La tension et la fréquence sont des paramètres très importants pour l'exploitation d'un système électrique. En effet, ces grandeurs sont les garants du bon fonctionnement de l'exploitation du réseau tant du point de vue du consommateur, dont certaines machines tournantes ou autres appareils (transformateurs, convertisseurs, etc.) sont dimensionnés pour des valeurs de fréquences ou de tension et de tensions fixes, que du point de vu de l'exploitation puisqu'un contrôle efficace de tension et de fréquence garanti une bonne qualité et bonne continuité de service. [1]

1.4.1 Moyens classiques de compensation de l'énergie réactive et de réglage de tension

En général, les moyens de compensation et de réglage à mettre en œuvre doivent faire face aux fluctuations périodiques liées à l'évolution journalière des transits de puissance mais aussi aux variations brusques liées aux incidents sur le réseau. [7]

Les dispositifs de compensation de l'énergie réactive et de réglage de la tension sont:

- ✓ des condensateurs et inductances fixes ;
- ✓ des compensateurs synchrones ;
- ✓ des compensateurs statiques (SVC) ;
- ✓ des transformateurs à prises variables (en charge ou à vide) ;
- ✓ les groupes générateurs.

I .5. Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons présenté un aperçu sur le fonctionnement des réseaux d'énergie électrique qui, influents sur la qualité de la tension, on commençant par une étude générale sur les réseaux, l'acheminement de puissance à travers ces réseaux. On a vu brièvement les facteurs qui limitent la puissance transmissible dans les lignes de transport provoquée par le transit de puissance réactive. En fin on à présent le réglage de tension et les différent moyens classique de compensation d'énergie réactive.

On a vu que les Méthodes traditionnelle sont toujours limite, alors des nouvelle méthodes sérient étudier dans le chapitre II.

Chapitre II

Généralité sur les FACTS

II.1.Introduction

L'évolution récente des réseaux de transport d'énergie électrique, et devant les Problèmes de transit de puissance, il sera de plus en plus difficile d'assurer dans l'avenir un contrôle fiable des transferts d'énergie dans les réseaux fortement interconnectés en utilisant des dispositifs de réglage classique à faible fréquence de manœuvre, et a risque de vieillissement accéléré tel que les transformateurs déphaseurs, les transformateurs à prises variables en charge, et les compensateurs de types série et shunt.

L'amélioration de la qualité de l'énergie, l'augmentation de la capacité transitée et le contrôle des réseaux existants peut être obtenus grâce à la mise en place de nouvelles technologies. La compagnie américaine EPRI (Electric Power Research Institute) a lancé, en 1988, un projet d'étude des systèmes FACTS afin de mieux maîtriser le transit de puissance dans les lignes électriques [14], [15], [16].

Le concept FACTS regroupe tous les dispositifs à base d'électronique de puissance qui permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique. La technologie de ces systèmes (interrupteur statique) leurs assure une vitesse et une fiabilité supérieures à celle des systèmes électromécaniques classiques. L'intérêt de ces systèmes est non seulement de pouvoir contrôler l'écoulement de puissance dans les réseaux mais aussi assure un contrôle efficace de transport jusqu'à leur limite thermique maximale tout en maintenant, voire en améliorant des paramètres qui influent sur la stabilité des réseaux électriques pendant le régime perturbant.

Cette partie est consacrée pour l'étude théorique générale des dispositifs FACTS, nous présenterons les différentes classifications ainsi que les propriétés de ces dispositifs.

Nous avons étudié dans le chapitre II les type de compensateur du système FACTS série, parallèle, hybride.

Le compensateur Statique de Puissance Réactive (CSPR) (acronyme anglais de Static Var Compensateur SVC) est l'un de composante FACTS est un équipement de compensation parallèle à base d'électronique de puissance (Thyristor) . Il est capable de fournir une tension pour compenser la puissance réactive de la ligne de transmission.

Nous avons présenté dans ce chapitre Une étude profonde concerne la commande du contrôleur SVC.

II .2 Les systèmes FACTS

II.2.1 définition et le rôle d'un dispositif FACTS :

Le concept FACTS « Flexible Alternative Currents Transmission Systems » est un terme générique qui caractérise l'ensemble des équipements mettant en jeu de l'électronique de puissance (diodes, thyristors, GTO, IGBT.....).

Ces équipements permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique c'est-à-dire les différents paramètres du réseau électrique tension, impédance, la phase du réseau....

La technologie de ces systèmes (interrupteur statique) leur assure une vitesse supérieure à celle des systèmes électromécaniques classiques. De plus, elles peuvent contrôler le transit de puissance dans les réseaux et augmenter la capacité efficace de transport tout en maintenant voir en améliorant, la stabilité des réseaux. Les systèmes FACTS peuvent être classés en trois catégories [16] :

- *les compensateurs parallèles*
- *les compensateurs séries*
- *les compensateurs hybrides (série - parallèle)*

II .2.2 Nécessite des systèmes FACTS

La compensation de l'énergie réactive au niveau des lignes de transmission permet la régulation du profil de la tension le long de ces lignes avec un bon contrôle de la puissance active transmise. il est connu que, la stabilité peut être améliorée, quel que soit son type, la compensation

réactive du système de transmission varie rapidement. Les méthodes de compensation de l'énergie réactive classique se basent sur les batteries de condensation ou les bobines fixes ou commandées mécaniquement. Ces méthodes ne sont pas efficaces dans le contrôle du réseau électrique quand il est sévèrement perturbé. [17]

II.2.3 Avantage des dispositifs FACTS

Les avantages apportés aux réseaux électriques sont :

- ✓ Grande fiabilité grâce à l'utilisation de contrôleurs d'électronique de puissance caractérisés par une grande rapidité de réaction ;
- ✓ Une grande flexibilité dans le contrôle de puissance de telle sorte qu'elle s'écoule le long de l'itinéraire de transmission prescrit ;
- ✓ Amélioration de la stabilité transitoire.

II.2.3.1 Inconvénients des dispositifs FACTS

Les dispositifs FACTS sont considérés comme des solutions pour aider les systèmes électriques, mais ils présentent des inconvénients, en plus qu'ils ne sont pas une solution universelle, ils existent plusieurs contraintes pour que ces dispositifs soient efficaces et rentables [18] :

- ✓ Le choix du FACTS ;
- ✓ Le choix du modèle du FACTS ;
- ✓ Choix de la localisation des FACTS ;
- ✓ Protection pour les FACTS et pour le réseau ;
- ✓ Interactions entre les dispositifs FACTS et les autres éléments.

II.2.4 Application des dispositifs FACTS dans les réseaux électriques

L'équation de la figure (II-1). Définit la puissance transmise entre les deux systèmes. V_s et V_r sont les tensions aux extrémités de la ligne, X représente l'impédance série de la ligne, $(\delta_1 - \delta_2)$ est l'angle de phase entre les deux systèmes. Il est clair que les trois paramètres tension, impédance, et angle de phase influencent la puissance transmise entre les deux systèmes. Comme il est illustré dans la figure (II-1). Chaque dispositif FACTS peut influencer un des trois paramètres, et par conséquent le contrôle de l'écoulement de puissance [19].

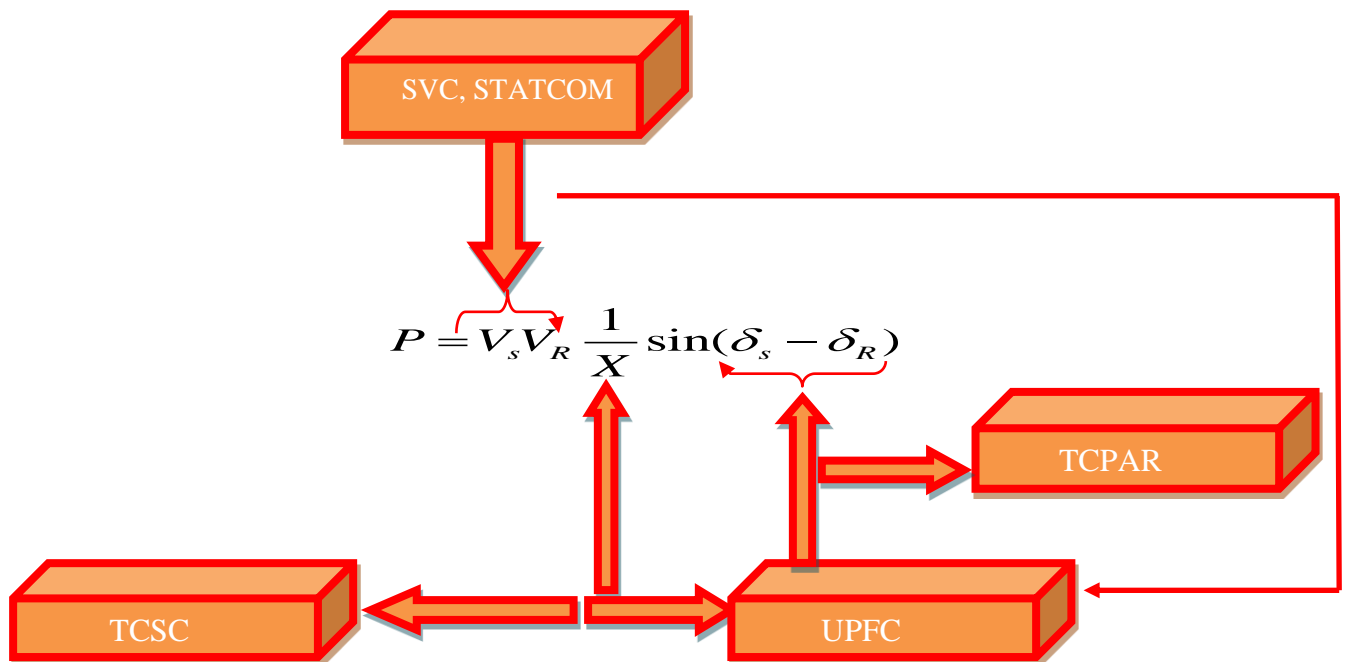


Figure II.1 : Diagramme schématique pour l'application des FACTS

I.3. compensateurs série

Ces compensateurs sont connectés en série avec le réseau et peuvent être utilisés comme une impédance variable (inductive, capacitive) ou une source de tension variable. En générale, Le objective principale de ces compensateurs et modifient l'impédance des lignes de transport (modifier le flux de puissance active pour un angle de phase fixe, de même la puissance réactive) en insérant des éléments en série avec celles-ci, pour annule une partie de la réactance actuelle (X_{eff}) et de cette façon réduit l'impédance effective de la ligne. [14]

Egalement on peut atteindre cet objectif en injectant une tension alternative, de même fréquence que le réseau, en série dans la ligne et qui en quadrature (90°) avec le courant de celle-ci.

Ce type de compensateur qui est représenté en général par l'insertion du condensateur en série qui diminue l'angle de transport « δ » et agit donc sur le transit actif. [9][20][21]

La figure (II-2) représente un réseau simple de transmission a courant alternatif avec un compensateur série connecté en série avec les condensateurs de la ligne de transmissions.

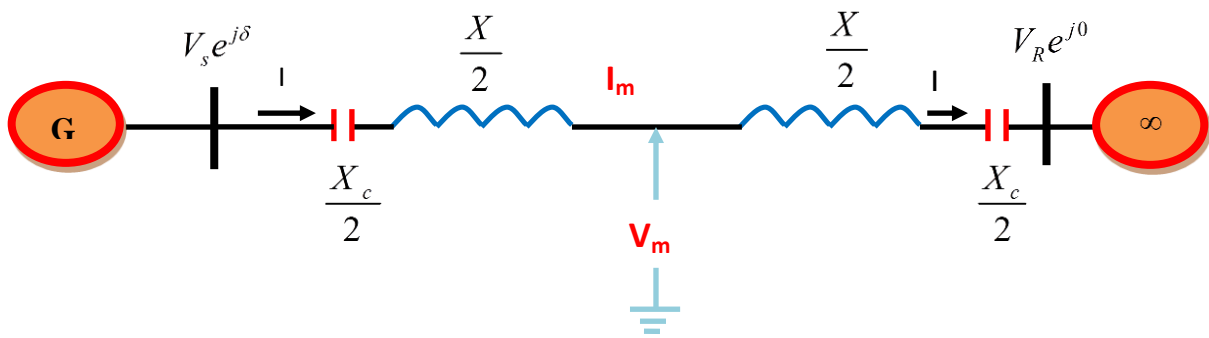


Figure II.2 : Compensateur série dans un réseau de transmission

Donc la réactance effective est donnée par la relation suivante :

$$X_{effe} = X - X_c \tag{II-1}$$

On pose que $K = X_c / X$ (coefficient de compensation série) tel que $0 < K < 0.8$

$$X_{effe} = X \cdot (1 - K) \tag{II-2}$$

Si $K=1$ \implies $X_{effe} = 0$

Si $K=1/2$ \implies $X_{effe} = X/2$

La figure (II-3) représente la relation entre les tensions V_s , V_r et V_m et le courant de ligne I

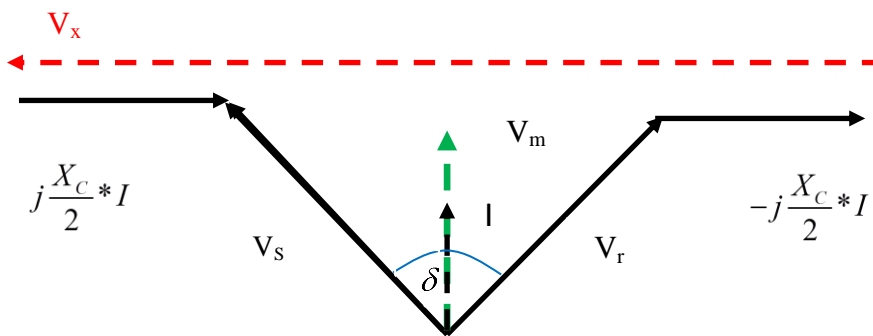


Figure II.2 : Ligne de tension et courant avec un compensateur série

La puissance active et réactive transitée dans les lignes de transport de l'énergie électrique dans ce cas est donnée par la relation suivante :

$$P_c(\delta, K) = \frac{V_r V_s}{X(1-K)} \sin(\delta) \quad (\text{II-3})$$

$$Q_c(\delta, K) = \frac{V_r^2}{X(1-K)} - \frac{V_r V_s}{X(1-K)} \cos(\delta/2) \quad (\text{II-4})$$

II. 3.1 Compensateur série

Les premiers schémas de compensateurs série à thyristors ont été proposés en 1986 [18]. À l'heure actuelle, conception principale de compensateurs série à thyristors peuvent être distinguées :

- ✓ le condensateur série commandé par thyristors (TCSC);

II. 3.1.1 condensateurs série commande par thyristor (TCSC) :

Un condensateur série commandé par thyristors TCSC (*Thyristor Controlled Series Capacitor*). C'est la première génération FACTS qui possède la possibilité de contrôler l'impédance.

Le TCSC (compensateur série contrôlé par thyristor) est composé d'une inductance en série avec un gradateur à thyristors, le tout en parallèle avec un condensateur [22], généralement ce dispositif possède un élément de protection contre les surtensions placées en parallèle avec ce dernier, appelé MOV (Métal Oxide Varistor) [23] comme l'indique la figure (II-4).

Du point de vue fonctionnement, le TCSC se comporte comme une réactance variable connectée en série avec la ligne de transmission

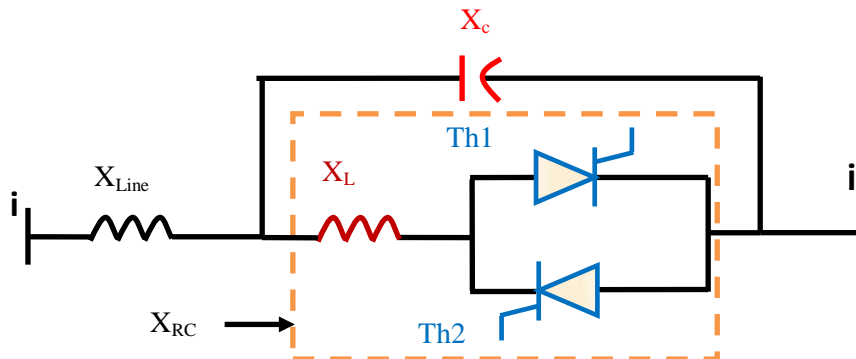


Figure II.4: schéma de structure du TCSC

Donc il est possible de changer la valeur de l'impédance du compensateur entre la zone capacitive et la zone inductive, par changement de l'angle d'amorçage des thyristors, pour augmenter la puissance transmise par la ligne, afin de renforcer la stabilité transitoire. [24] L'expression de l'impédance est donnée par l'équation suivante :

$$X_{TCSC}(\delta) = \frac{jL\omega}{\frac{2}{\pi} \left(\pi - \delta + \frac{\sin(2\delta)}{2} \right) - L\omega^2} \sin(\delta) \quad (\text{II-5})$$

Dans ce cas la puissance active qui transmise entre deux points ou deux jeux de barres et donnée par la relation suivant :

$$P_{sr} = \frac{V_r V_s}{X'} \sin(\delta_s - \delta_r) \quad (\text{II-6})$$

$$X' = X - X_{TCSC}$$

II.3.1.2 Les avantage de TCSC

- ✓ 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 hypo-synchrone

II. 4 Compensateur hybrides

II. 4.1 Contrôleur unifié de l'écoulement de puissance (IPFC)

Le contrôleur de transit de puissance entre ligne IPFC (*Interline Power Flow Controller*) est utilisé dans le cas d'un système de lignes multiples reliées à un même poste. Son principe est illustré à la figure (II.5). L'IPFC est formé de plusieurs SSSC, chacun d'eux fournissant une compensation série à une ligne différente. Du coté continu, tous les convertisseurs sont reliés entre eux via des disjoncteurs [23] [25].

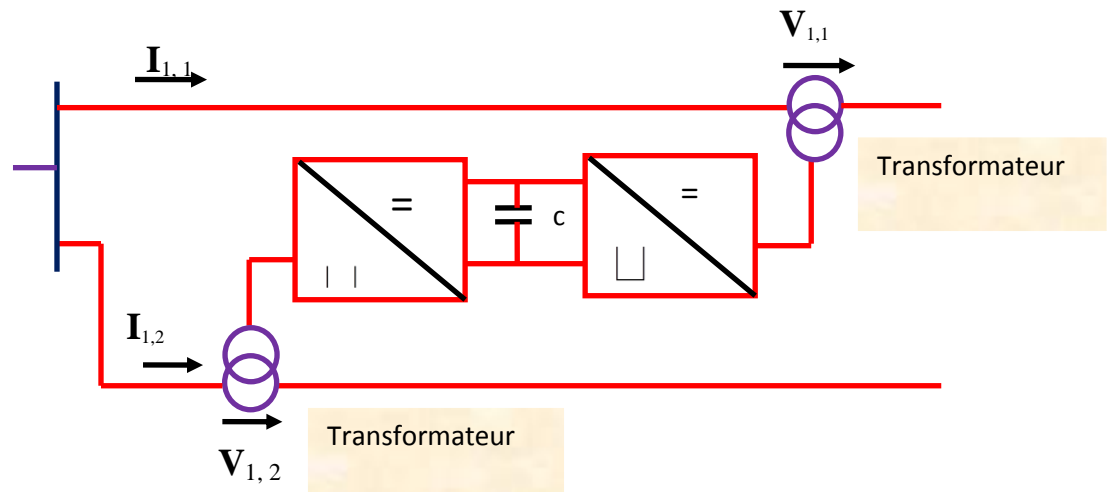


Figure II.5 : Schéma de base de l'un IPFC

L'IPFC permet de transférer de la puissance active entre les lignes compensées pour égaliser les transits de puissances active et réactive sur les lignes ou pour décharger une ligne surchargée vers une autre moins chargée. Les tensions injectées possèdent une composante en quadrature et une composante en phase avec les courants respectifs des lignes. La composante en quadrature permet une Compensation série indépendante dans chaque ligne, alors que la composante en phase définit le niveau de puissance active échangée avec les autres lignes. Sur la liaison continue, le bilan est toujours nul.

II.5. Compensateurs parallèles (shunt) :

Ces équipements ont fait leur apparition vers la fin des années 60. Ils sont constitués essentiellement d'une inductance en série avec un gradateur. Le retard à l'amorçage des thyristors permettait de régler l'énergie réactive absorbée par le dispositif. En effet, tous les compensateurs parallèles injectent du courant au réseau via le point de raccordement. [20]

Considérant le réseau de transmission de la figure (II-6) avec un compensateur idéal connecte au Point milieu de la ligne de transmission.

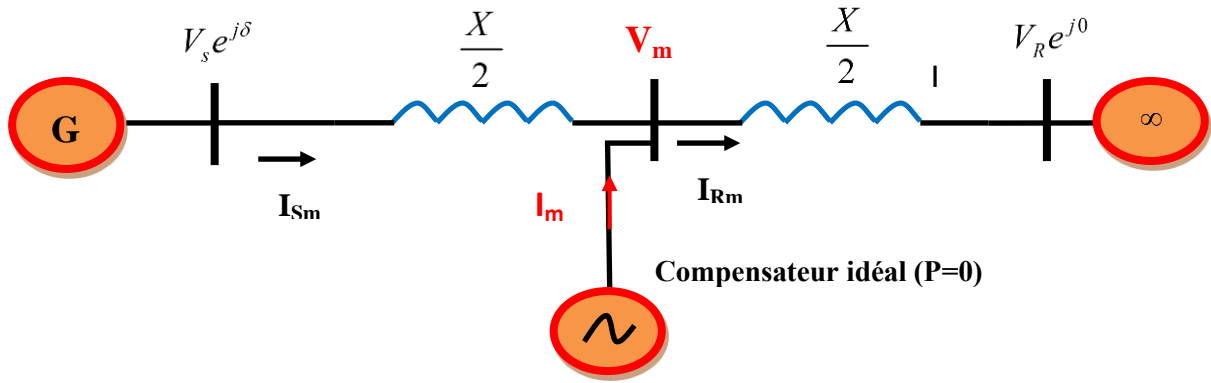


Figure II.6 : Compensateur shunt dans un réseau de transmission

Ce compensateur est représenté par une source de tension alternatif en phase avec la tension V_m du Point milieu de la ligne, le compensateur échange uniquement la puissance réactive avec le réseau. Le Compensateur partage le ligne de transmission en deux parties :

La première partie caractérisée par une Impédance de valeur $(X/2)$ qui transporte la puissance à partir de la source V_s ou point milieu quand la deuxième partie est caractérisée par une impédance de valeur $(X/2)$ qui transfère cette puissance du point milieu au récepteur [9]. La relation entre les tensions V_s , V_r et les courants I_{sm} , I_{Rm} sont données par les équations suivantes [20].

$$V_m(t) = V_R + j \frac{X}{2} I_{Rm} \quad (\text{II-7})$$

$$V_s(t) = V_m + j \frac{X}{2} I_{sm} \quad (\text{II-8})$$

Donc

$$I_m = I_{Rm} - I_{sm} \quad (\text{II-9})$$

La figure (II-7) représente le diagramme de phase des équations précédentes

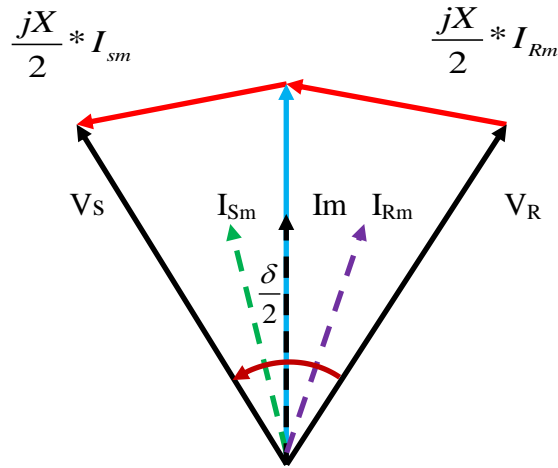


Figure II.7 : Les phases de tension et de courant du compensateur shunt

D'outre par nous avons connu que les équations de puissance active et réactive dans un linge de transmission est donne par les relations suivant :

$$P_c(\delta) = \frac{V_r V_s}{X_s} \sin(\delta) \quad (\text{II-10})$$

$$Q_c(\delta) = \frac{V_r V_s}{X_s} \cos(\delta) - \frac{V_r^2}{X_s} \quad (\text{II-11})$$

II. 5.1 Compensateur statique (STATCOM)

Le STATCOM (statice compensateur) appelé en anglais Advanced Stative Var Générateur ASVG, représente la deuxième génération de FACTS. Le STATCOM est nouveau compensateur de puissance réactive qui surmonte les limitations techniques et le cout élevé de SVC. Ce compensateur se compose d'un onduleur triphasé formé le thyristor GTO et de diode en Anti parallèle, couplé au réseau à travers un transformateur comme illustre la figure (II.9).

Par son aptitude de contrôler tension de sortie de l'onduleur V_{sh} le STATCOM peut échanger l'énergie réactive avec le réseau, laquelle (V_{sh}) est en phase avec la tension du réseau V , comme suite [20]

- ✓ Si $V_{sh} < V$, le courant circulant dans l'inductance est déphasée de $-\pi/2$ par rapport à la tension V ce qui donne un courant inductif ;(fig. II-8-a)
- ✓ Si $V_{sh} > V$, le courant circulant dans l'inductance est déphasée de $+\pi/2$ par rapport à la tension V ce qui donne un courant capacitif ; (fig. II-8-b)

- ✓ Si $V_{sh} = V$, le courant circulant dans l'inductance est nul et par conséquent il n'y a pas d'échange d'énergie.



Figure II.7 : Diagramme vectoriel de STATCOM

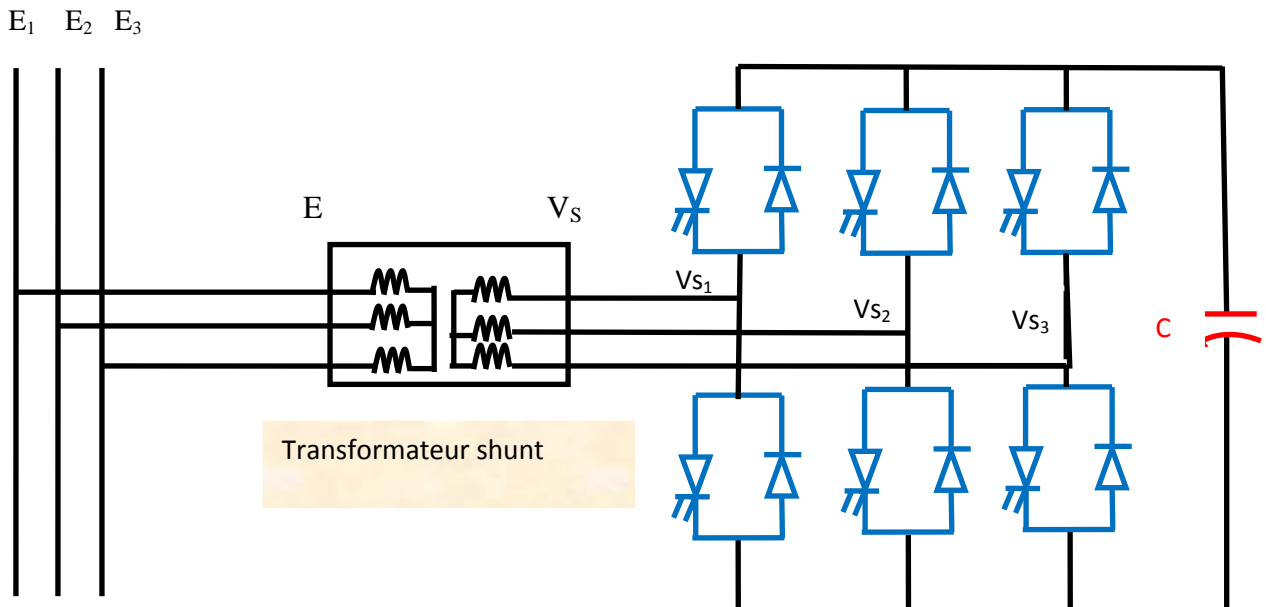


Figure II.8 : Schéma unifilaire du STATCOM

Le STATCOM présente plusieurs avantages :

- ✓ Bonne réponse à faible tension : le STATCOM est capable de fournir son courant nominal, même lorsque la tension est presque nulle ;
- ✓ bonne réponse dynamique : Le système répond instantanément.

Cependant, le STATCOM de base engendre de nombreux harmoniques. Il faut donc utiliser, [16], [22].

Le STATCOM est fréquemment utilisé pour accomplir les fonctions suivantes :

- ✓ Amélioration de la stabilité transitoire
- ✓ Support de la tension en régime permanent
- ✓ Equilibrage de la tension

II. 5.2 Compensateur statique de l'énergie réactive (SVC)

II.5.2.1 Définition du SVC

Selon l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), définit le SVC (*Static Var Compensator*) comme un générateur (ou absorbeur) statique d'énergie réactive, shunt, dont la sortie est ajustée en courant capacitif ou inductif afin de contrôler des paramètres spécifiques du réseau électrique, typiquement la tension des nœuds [9].

Le compensateur statique de puissance réactive SVC est un dispositif qui sert à maintenir la tension en régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur de limites désirées. Le SVC injecte de la puissance réactive dans la barre où il est branché de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge [26]

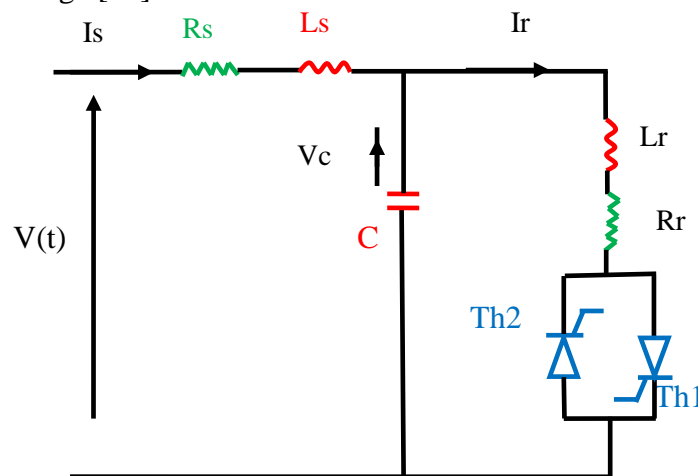


Figure II.10: Schéma d'un SVC de type TCR-FC

Le SVC (statice var compensateur) est la première génération FACTS qui a été déposée sur le marché il y a presque plus de vingt ans. Il est constitué d'un banc de condensateurs commutés à thyristors (TSC thyristors switcher capacitors), et d'un banc de bobines contrôlées à thyristor (TCR Thyristor Controller reactors) comme l'indique la figure (II.10), le premier SVC installé sur un ligne de transport d'énergie était en 1979 en Afrique du sud [26].

Avec une coordination appropriée de l'interrupteur des condensateurs et le contrôle des bobines, la puissance réactive de sortie peut être variée continuellement entre les taux capacitifs et inductifs de l'équipement.

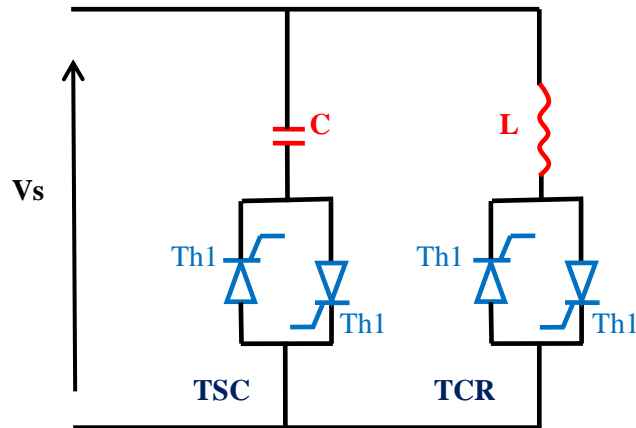


Figure II.11: Schéma de base d'un SVC

À partir de la caractéristique statique de compensateur SVC, on peut distinguer trois zones de fonctionnement comme l'indique la figure (II.12), [17]:

- ✓ Une zone (Capacitive) où le TSC donne son énergie maximale, seules les capacités sont connectées au réseau.
- ✓ Une zone (Mixte) ou de réglage où l'énergie réactive est une combinaison des TCR et des TSC.
- ✓ Une zone (Inductive) où le TCR donne son énergie maximale (butée de réglage), les condensateurs sont déconnectés.

Le SVC est basé sur des éléments inductifs et capacitifs ordinaires, et le contrôle se fait à travers des éléments à base d'électronique de puissance (thyristors ordinaires).

Les principales fonctions d'un SVC [27] :

- ✓ Le support de la tension.
- ✓ Amortir les oscillations de la puissance.
- ✓ Améliorer les marges de stabilité statique et transitoire.

Malgré ces caractéristiques, le SVC présente des inconvénients comme son comportement hors de la zone de réglage et sa capacité limitée par les éléments inductifs et capacitifs. D'application installée en parallèle avec un SVC équipé d'un banc de condensateurs et d'un filtre d'harmonique.

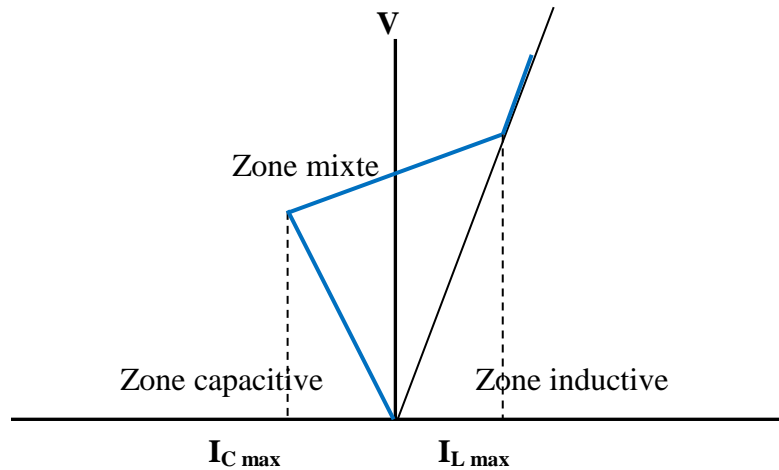


Figure II.12 : Caractéristique d'un SVC

II.6. Compensateur SVC

II .6.1 Schéma électrique SVC

La figure (II.12) présente différentes configurations possibles de SVC. Lorsque le dispositif comporte une anche de type TCR, un filtre permettant de réduire les harmoniques est rajouté. La zone de fonctionnement équivalente du SVC est obtenue par la combinaison des zones de toutes les branches. Un exemple est donné à la figure (II.13).

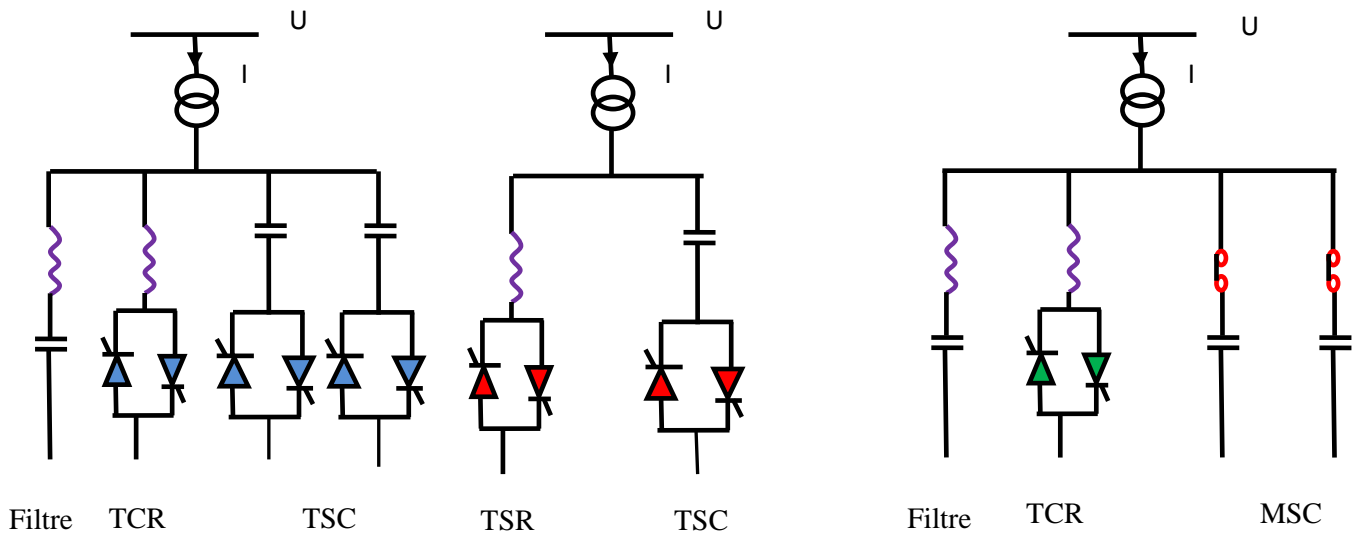


Figure II.13: Compensateur statique de puissance réactive SVC

II .6.2 Principe de fonctionnement

Le SVC est utilisé fondamentalement pour contrôler la tension à la barre où il est connecté au réseau électrique, de façon à obtenir un profil plat de la tension. Pour ce faire, il doit générer ou absorber de la puissance réactive à ses bornes [17].

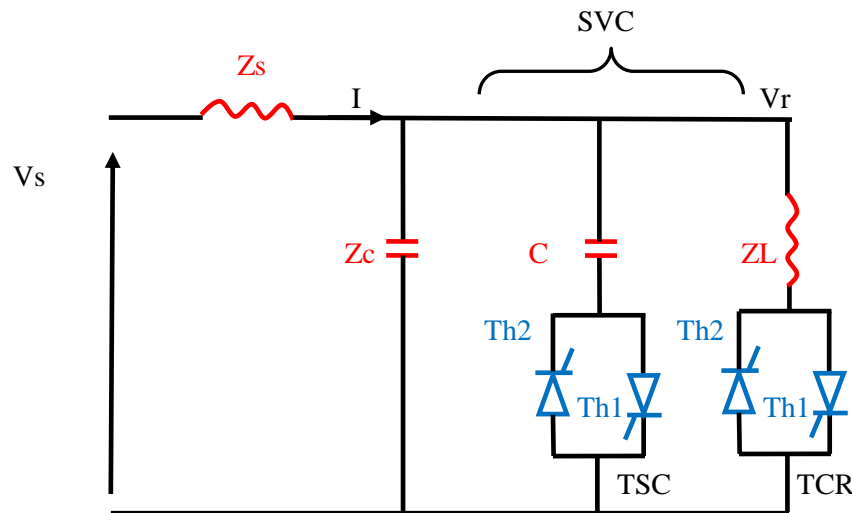


Figure II.14: Schéma d'un SVC de type TCR-TSC-FC

Dans le cas du TCR, une inductance fixe, typiquement avec un noyau du type sans fer, est branchée en série avec une valve à thyristors. Le courant à la fréquence fondamentale est réglé par la commande de phase des à thyristors.

Un TSC comprend un condensateur branché en série avec une valve à thyristors et une inductance d'atténuation. La fonction du commutateur à thyristors consiste à enclencher et à déclencher le condensateur pour un nombre entier de demi-cycles de la tension appliquée.

Le condensateur n'est pas commandé en phase, mais simplement enclenché et déclenché. L'inductance du circuit TSC sert à limiter le courant sous des conditions anormales, ainsi qu'à accorder le circuit à la fréquence voulue. Les impédances des inductances et des condensateurs, ainsi que du transformateur définissent la gamme d'utilisation du SVC.

Le MSC est une branche accordée comprenant un banc de condensateurs et une inductance. Il est conçu pour n'être commuté qu'un petit nombre de fois par jour, vu que les commutations sont effectuées par des disjoncteurs. Le but du MSC consiste à fournir la puissance réactive en régime permanent.

Le but du SVC est de maintenir la tension VC aux bornes du SVC fixe. Lorsque la tension VS diminue, le contrôle du SVC doit connecter le condensateur fixe (FC), si la tension diminue encore on doit connecter aussi le TSC. Par contre, lorsque la tension VS augmente, le TCR doit entrer en fonctionnement.

II.6.3 Modèle dynamique du SVC

La tâche principale du compensateur statique est le réglage de la tension à ses bornes. Le SVC est généralement modélisé par le schéma bloc présenté à la Figure II.15.

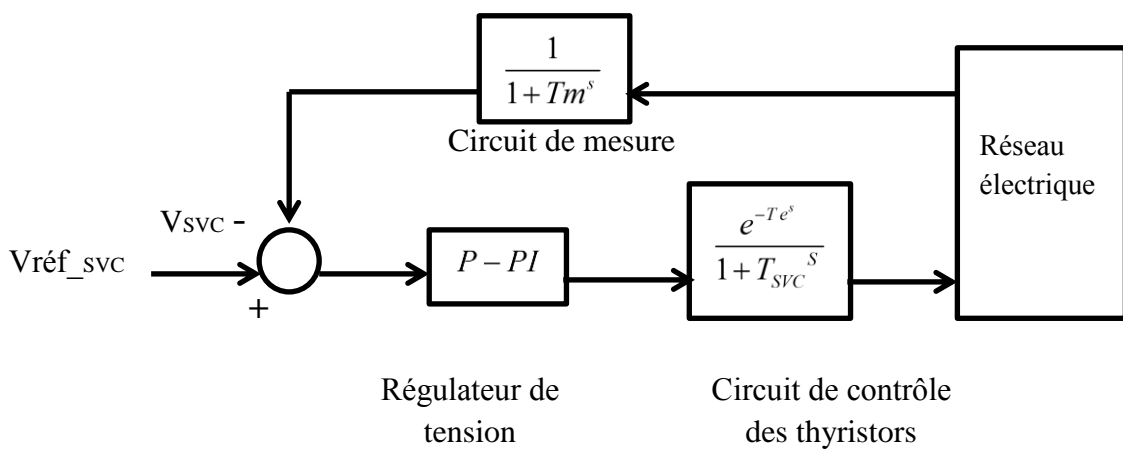


Figure II.15 : Schéma général du circuit de commande du SVC.

Le contrôleur principal de la tension peut être proportionnel, intégral ou la combinaison des deux actions. Le délai associé à la mesure de la tension (T_m) ainsi que le délai dû à la conduction (T_d) des thyristors sont pris en considération [28].

Le modèle dynamique simplifié du compensateur statique (Figure II.16) est un système de premier ordre $\frac{K_{svc}}{1+T_{svc}s}$ avec T_{svc} la constante de temps et K_{svc} le gain du SVC.

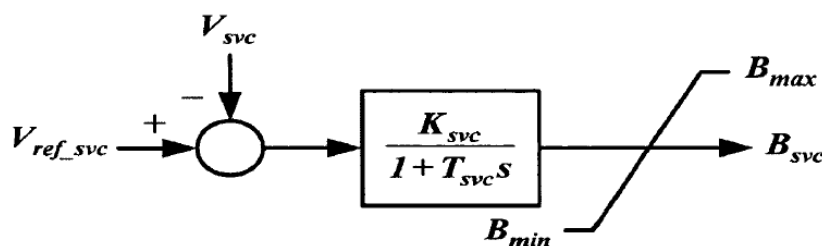


Figure II.16 : Modèle dynamique du SVC.

La dynamique du compensateur est représentée par l'équation suivante:

$$B = \frac{-1}{T_{SVC}} B_{SVC} + \frac{K_{SVC}}{T_{SVC}} (V_{ref-SVC} - V_{SVC}) \quad (\text{II.12})$$

Où

B_{SVC} : Susceptance équivalente du SVC.

V_{SVC} : Tension aux bornes du SVC.

$V_{ref-SVC}$: Référence de la tension du SVC.

La Figure II.17 illustre le système en boucle fermée composé du réseau électrique et du contrôleur du SVC avec :

- $H(s)$: fonction de transfert du contrôleur du SVC;
- $G(s)$: fonction de transfert du réseau électrique.

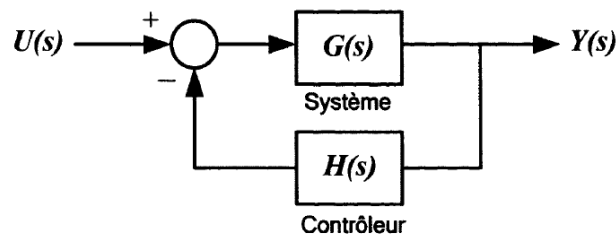


Figure II.17 : Système en boucle fermée avec le contrôleur du SVC.

En boucle fermée la fonction de transfert est décrite par l'équation suivante :

$$G_{BF}(S) = \frac{G(S)}{1+G(S)H(S)} \quad (\text{II.13})$$

L'équation caractéristique de cette fonction permet de faire une imposition de pôles pour calculer les paramètres du contrôleur du SVC. Cependant, la fonction de transfert peut être utilisée pour appliquer la méthode des résidus.

Le contrôleur conventionnel du SVC noté $H(s)$ est composé d'un:

- ✓ gain d'amortissement;

- ✓ filtre passe haut (washout filter);
- ✓ compensateur de phase (lead-lag).

$$H(S) = \frac{T_w S}{1 + T_w S} \left(\frac{1 + T_1 S}{1 + T_2 S} \right) \quad (\text{II.14})$$

D'après [19], l'angle maximum que peut fournir chaque bloc de compensateur de phase est de 60 degrés et le nombre de ces blocs est généralement égal à deux ($n = 2$). L'angle φ_{com} qui représente l'angle φ comme compenser par le contrôleur doit satisfaire les conditions suivantes [28] :

$$\text{Angle: } \alpha = \frac{1 - \sin\left(\frac{\varphi_{\text{com}}}{n}\right)}{1 + \sin\left(\frac{\varphi_{\text{com}}}{n}\right)} \quad \text{et} \quad \text{constantes de temps : } T_1 = \frac{1}{W_n \sqrt{\alpha}} ; \quad T_2 = \alpha T_1$$

Pour le filtre passe, haut on utilise généralement une constante de temps T_w large (entre 1s et 10 s) pour laisser passer les signaux associés aux oscillations étudiées.

La Figure II.8 nous montre la réponse fréquentielle d'un contrôleur conventionnel du SVC.

On constate que dans l'intervalle des oscillations interzones 0.1 Hz – 1Hz et jusqu'aux fréquences des oscillations locales, le contrôleur ne présente pas de retard de phase. Ce qui présente un avantage, aussi dans cet intervalle d'intérêt le gain du contrôleur augmente et il a une valeur suffisamment grande.

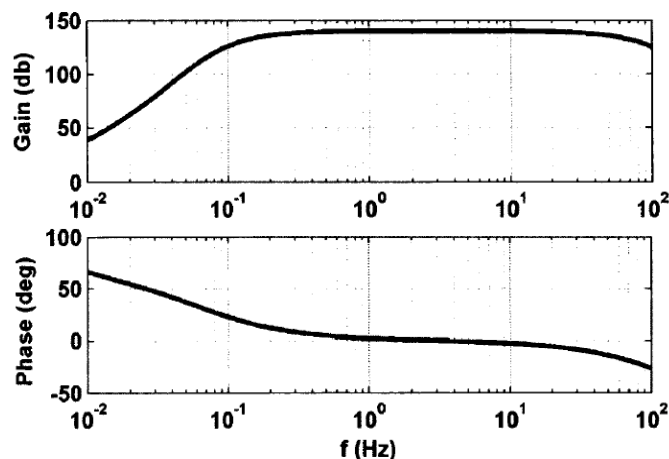


Figure II.18 : Réponse fréquentielle d'un contrôleur conventionnel du SVC.

II.8.conclusion

Dans ce chapitre nous avons une vue globale sur les dispositifs de contrôle et de commande des réseaux électriques appelés FACTS comme le SVC, STATCOM, TCSC, IPFC Cette classification est adoptée comme classification universelle des systèmes FACTS. La plupart d'entre eux sont déjà en service dans la pratique. d'une structure principalement à base d'onduleurs conçus avec les interrupteurs IGBT/GTO de technologie très avancée caractérisés par un temps de réaction très court qui permet une flexibilité du courant transité et par conséquent l'habilité de ces dispositifs de performer le fonctionnement du système énergétique et d'améliorer sa stabilité.[26]

Nous avons choisi d'étudier le SVC (Static Var Compensator) comme dispositifs FACTS pour contrôler et améliorer la tension et la puissance réactive dans un réseau électrique. Une étude profonde concernant le fonctionnement et les principaux éléments constituant le dispositif SVC est fait dans ce chapitre.

Chapitre III

Modélisation des Dispositifs FACTS

III.1. Introduction

Après une généralité présentée dans le chapitre 2 précédant concernant les systèmes de compensation dynamique FACTS dans les réseaux électriques, il est intéressant d'entamer dans ce présent chapitre la modélisation des dispositifs FACTS.

Dans la première partie une introduction sur la modélisation des dispositifs FACTS. Les Méthodes de la modélisation le plus utilisé comme (Injection de puissance aux extrémités de la ligne, Création d'un nœud fictif et Modification de la matrice d'admittance nodale.

Ensuite nous avons présent les choix de modélisation des dispositifs FACTS.

Enfin, on a choisi quelques modèles de dispositif FACTS tel que le compensateur shunt comme le SVC (proposé dans le cadre), et les compensateurs série comme TCSC.

III.2. Modélisation des dispositifs FACTS

Différentes façons de modéliser les dispositifs FACTS ont été développées pour l'étude des régimes stationnaires. Elles se différencient principalement par la méthode utilisée pour intégrer les FACTS dans le calcul du load flow. Les trois modélisations rencontrées le plus souvent dans la littérature sont basées respectivement sur l'injection de puissance équivalente, la création d'un nœud fictif ou encore la modification de la matrice d'admittance. Ces trois techniques sont présentées aux paragraphes suivants [29] :

III.2.1 Injection de puissance aux extrémités de la ligne

Une des méthodes les plus répandues consiste à représenter les dispositifs FACTS sous forme d'injections de puissances aux nœuds telles que représentées à la (figure. III.1).

Le principe consiste à remplacer l'effet dû au dispositif FACTS sur les transits de puissances dans la ligne (Figure.III.1(a)), par des injections de puissances aux deux extrémités (Figure III.1 (b)). Celles-ci sont calculées de manière à ce que l'effet produit soit équivalent à celui du dispositif en question Les injections de puissances active et réactive au nœud i sont données par :

$$P_i^F = P_{ij} - P_{ij}^F \quad (\text{III.1})$$

$$Q_i^F = Q_{ij} - Q_{ij}^F \quad (\text{III.2})$$

Avec :

P_i^F, Q_i^F : Injection équivalent de la puissance active et réactive dans le nœud i

P_{ij}, Q_{ij} : Transits de la puissance active et réactive dans le dispositif FACTS

P_{ij}^F, Q_{ij}^F : Transits de la puissance active et réactive avec le FACTS dans la ligne

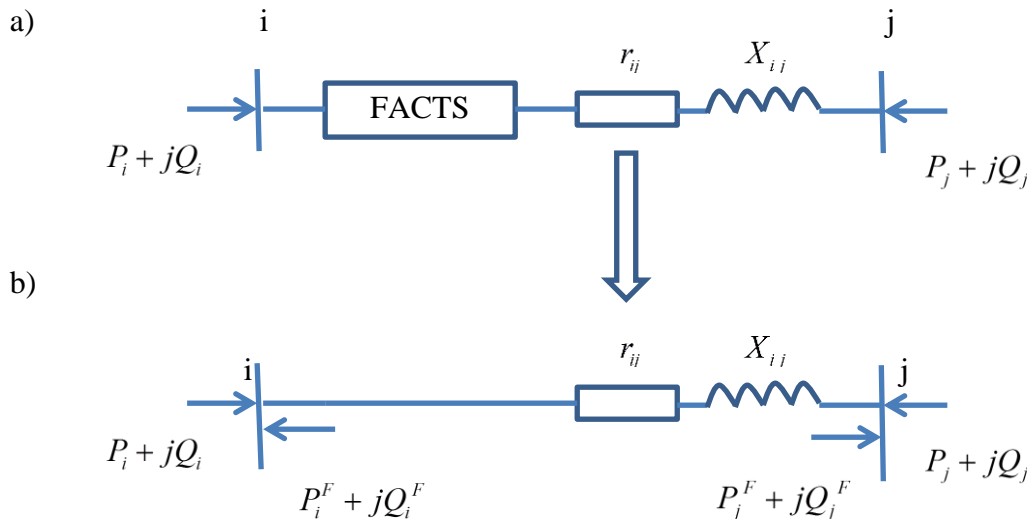


Figure III.1 Modélisation par injection de puissance :a) ligne avec FACTS, b) ligne avec injection équivalent

Deux relations similaires sont obtenues pour le nœud. Ces quatre injections équivalentes, ainsi que le modèle standard de la ligne, sont utilisées dans les équations du load flow. Elles sont traitées comme des charges ou des générations aux nœuds et. Les injections de puissances actives aux nœuds *PV* et *PQ* s'écrivent [29] :

$$P_i + P_i^F = V_i \sum_{k=1}^n V_j \left[G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \right] \quad (\text{III.3})$$

Et les puissances réactives injectées aux nœuds *PQ* valent :

$$Q_i + Q_i^F = -V_i \sum_{k=1}^n V_j \left[G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) \right] \quad (\text{III.4})$$

Avec :

- n nombre de nœuds du système.

Les valeurs des injections sont calculées après chaque itération, mais ne sont pas utilisées dans le calcul de la matrice jacobienne. $P_i^f; Q_i^f$

Des variantes de cette modélisation ont été proposées. Dans l'imitateur, un modèle des injections de puissances décomposées est proposé. Les effets des FACTS sur les transits de puissances dans les lignes et ceux sur le contrôle des tensions aux nœuds sont traités séparément [29]

III.2.2 Création d'un nœud fictif

Une modélisation de FACTS basée sur la création d'un nœud fictif est présentée dans [29]. Le modèle d'un dispositif de type UPFC, permettant de contrôler les transits de puissances active et réactive (la figure.III.2).

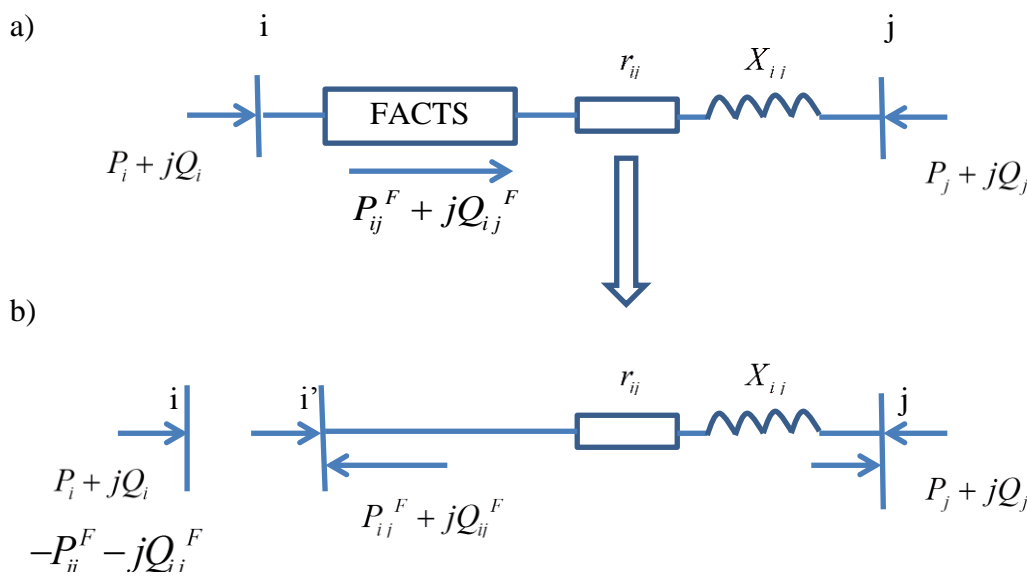


Figure. III.2 Modélisation avec nœud fictif : a) ligne avec FACTS, b) représentation équivalente.

Les valeurs de consigne des dispositifs sont directement exprimées en termes de puissances circulant dans les lignes ou injectées aux nœuds (Figure.III.2. (a)). Un nœud fictif i' dans lequel la ou les puissances contrôlées sont injectées, est temporairement créé. Pour conserver le bilan de puissance, la puissance injectée au nœud i' est soustraite au nœud i (Figure.III.2 (b)). Le nouveau nœud est pris en compte dans le calcul de répartition des puissances en modifiant la structure de la matrice jacobéenne.

III.2.3. Modification de la matrice d'admittance nodale

Les FACTS sont envisagés comme des éléments venant modifier directement la matrice d'admittance nodale du réseau [29]. Ils sont insérés dans la ligne selon la représentation de la (figure.III.3) Selon le type de FACTS modélisé, le dispositif peut être placé au milieu ou à une extrémité de la ligne.

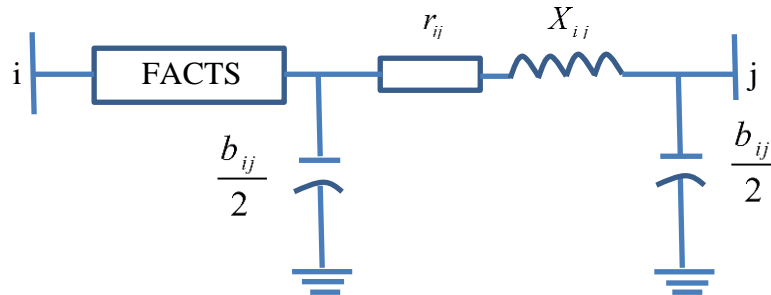


Figure. III.3 Intégration du dispositif FACTS dans une ligne.

Les paramètres d'une ligne équivalente sont déterminés et substitués à ceux de la ligne sans FACTS dans la matrice d'admittance nodale. Cette dernière est modifiée de la manière suivante:

$$Y_{\text{mod}} = \begin{bmatrix} Y'_{ii} & Y'_{ij} \\ Y'_{ji} & Y'_{jj} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} Y_{ii} & Y_{ij} \\ Y_{ji} & Y_{jj} \end{bmatrix}}_{\text{Ligne}} + \underbrace{\begin{bmatrix} y_{ii}^F & y_{ij}^F \\ y_{ji}^F & y_{jj}^F \end{bmatrix}}_{\text{FACTS}}$$

Selon le type de FACTS et sa position dans la ligne, seule une partie des coefficients de la matrice Y subissent des modifications. Cette modélisation est celle utilisée dans le cadre de ce travail de recherche. Elle est présentée de manière plus détaillée pour plusieurs types de FACTS dans les sections qui suivent.

Différentes méthodes sont possibles pour traiter les valeurs des dispositifs. Elles peuvent être utilisées comme grandeurs d'entrées dans un load flow classique ou alors comme variables à optimiser dans un calcul optimal de répartition des puissances. [29]

III.3.Choix des dispositifs FACTS

Les FACTS sont choisis de manière à pouvoir agir sur les trois paramètres principaux régissant les transits de puissance dans un réseau. Dans cette optique, les dispositifs modélisés sont les suivants :

- ✓ Les compensateurs de puissance réactive ;
- ✓ Les compensateurs série à thyristor ;
- ✓ Le régulateur de tension ;
- ✓ Les dispositifs déphaseurs ;
- ✓ Les contrôleurs de transit de puissance unifié ;

Les FATCS sont modélisés pour des régimes de fonctionnement stationnaire. Ils peuvent prendre un nombre discret de valeurs dans leur gamme de réglage.

De manière générale, les FACTS peuvent être insérés soit aux nœuds de réseau, soit en série avec la ligne. En pratique, les dispositifs qu'ils soient shunt ou série, sont souvent insérés à des postes déjà existants. Bien que parfois cette position ne soit pas la meilleure, elle est justifiable par la réduction des coûts en évitant la création d'un nouveau poste. [25]

III.3.1.Dispositifs FACTS shunt

Plusieurs modèles de dispositifs FACTS shunt ont été développés, tant pour des régimes de fonctionnement statique (qui est notre cas) que dynamique. Certains modèles sont spécifiques à un type de dispositif alors que d'autres, plus généraux, sont utilisés pour présenter plusieurs FACTS. Nombreux modèles mathématiques du SVC en régime permanent ont été proposés dans la littérature. Dans la méthode de la puissance injectée est proposée. Les caractéristiques électriques des équipements sont traduites et remplacées par des puissances injectées. Une autre méthode consiste à modéliser le SVC comme des réactances variables dont les valeurs dépendent de l'angle d'amorçage des thyristors [25].

III.3.1.1.SVC placé en un nœud du réseau

Lorsqu'ils sont connectés aux nœuds du réseau, les SVC sont généralement placés aux endroits où se trouvent des charges importants ou variant fortement. Ils peuvent également être positionnés à des nœuds où le générateur n'arrive pas à fournir ou absorber suffisamment de puissance réactive pour maintenir le niveau de tension désiré [25].

Lorsqu'un SVC est présent au nœud i , seul l'élément \underline{Y}_{ii} de la matrice d'admittance nodale est modifié, l'admittance du SVC lui étant additionnée :

$$\underline{Y}'_{ii} = \underline{Y}_{ii} + \underline{y}_{SVC} \quad (\text{III.5})$$

La figure (III.4) illustre le cas d'un SVC placé en un nœud i constituant une des extrémités d'une ligne.

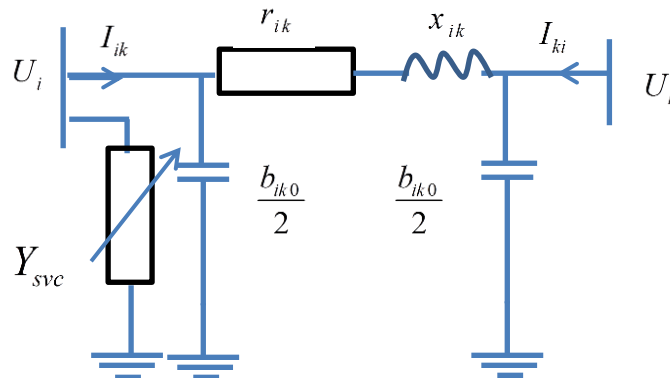


Figure III.4 SVC placé en un nœud

Dans ce cas, la matrice d'admittance est modifiée de la manière suivante:

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} \underline{y}_{ik} + \frac{y_{ik0}}{2} + \underline{y}_{SVC} & -\underline{y}_{ik} \\ -\underline{y}_{ik} & -\underline{y}_{ik} + \frac{y_{ik0}}{2} \end{pmatrix} \quad (\text{III.6})$$

III.3.1.2.SVC placé au milieu d'une ligne

Lorsque le compensateur statique est inséré au milieu d'une ligne, cette dernière est divisée en deux tronçons identiques. Le SVC est relié au nœud médian additionnel m , tel qu'illustré sur la (figure.III.5) [25].

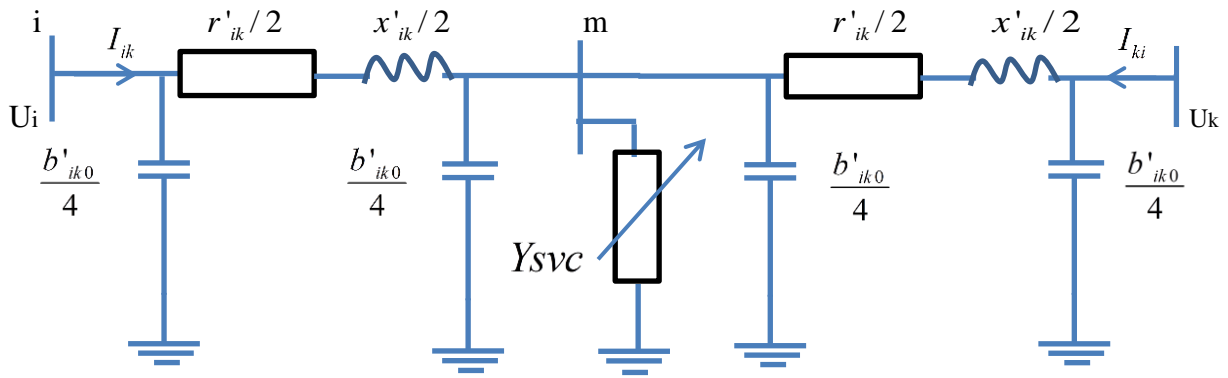


Figure III.5: SVC placé en milieu de ligne

Afin de prendre en compte ce nouveau nœud, une ligne et une colonne supplémentaires devraient être ajoutées à la matrice d'admittance nodale. Pour éviter à changer le nombre de nœuds du réseau et donc la taille de la matrice d'admittance, une transformation étoile-triangle permet de réduire le système en supprimant le nœud m et en calculant les paramètres d'une ligne équivalente. La figure (III.6) illustre les étapes pour obtenir cette ligne équivalente. [25]

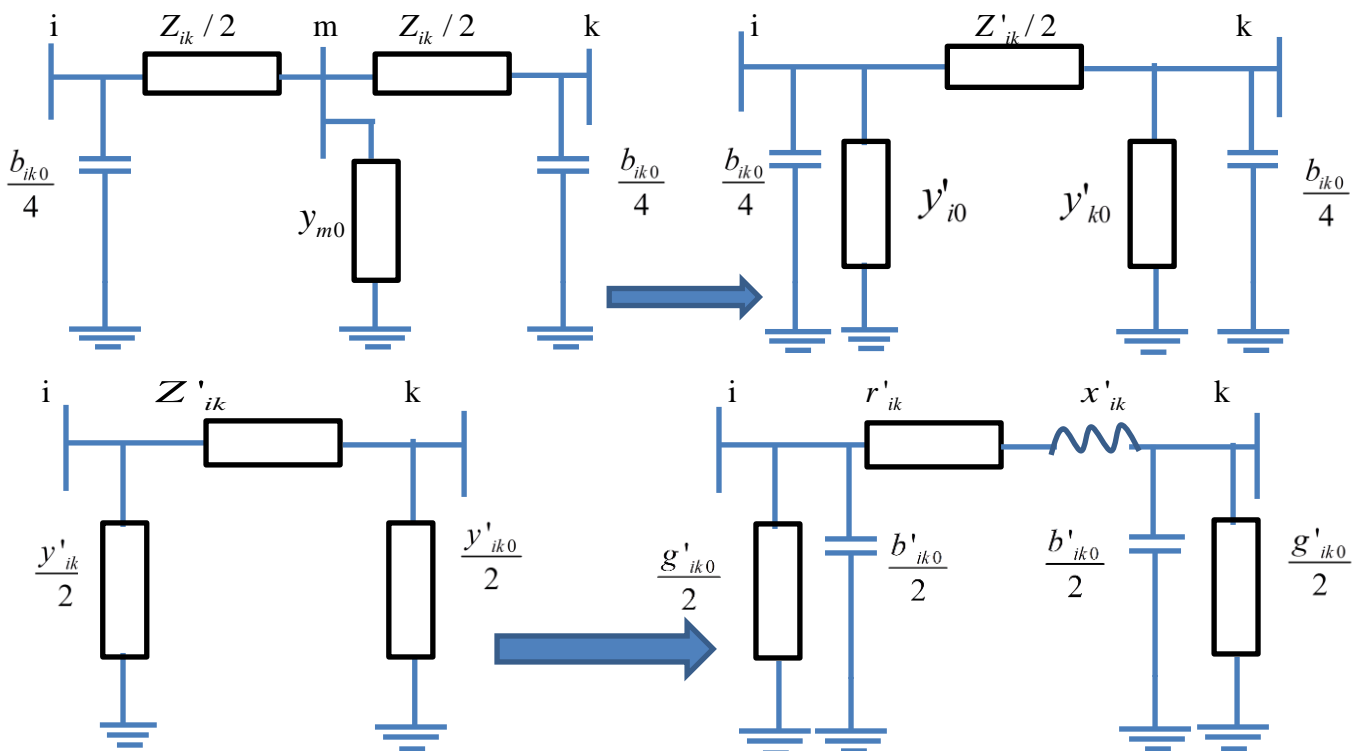


Figure III.6 : Transformation en une ligne équivalente avec un SVC en son milieu

$$\underline{Y}_{\text{mod}} = \begin{pmatrix} \underline{y}'_{ik} + \frac{\underline{y}'_{ik0}}{2} & -\underline{y}'_{ik} \\ -\underline{y}'_{ik} & -\underline{y}'_{ik} + \frac{\underline{y}'_{ik0}}{2} \end{pmatrix} \quad (\text{III.7})$$

Tous les éléments de la matrice d'admittance d'une ligne avec un SVC en son milieu sont modifiés:

Les valeurs effectives des éléments de la ligne équivalentes sont obtenues en posant:

$$\underline{y}_{m0} = \frac{\underline{y}_{ik0}}{2} + \underline{y}_{SVC} \quad (\text{III.8})$$

Il vient alors pour l'impédance longitudinale:

$$\underline{z}'_{ik} = \frac{4\underline{y}_{ik} + \underline{y}_{m0}}{4\underline{y}_{ik}^2} = \frac{1}{\underline{y}_{ik}} + \frac{\underline{y}_{m0}}{4\underline{y}_{ik}^2} = \underline{z}_{ik} + \frac{1}{4} \underline{z}_{ik}^2 \left(\frac{\underline{y}_{ik0}}{2} + \underline{y}_{SVC} \right) \quad (\text{III.9})$$

$$\underline{r}'_{ik} = \underline{r}_{ik} - \frac{1}{2} \underline{r}_{ik} \cdot \underline{x}_{ik} \left(\frac{\underline{b}_{ik0}}{2} + \underline{b}_{SVC} \right) \quad (\text{III.10})$$

$$\underline{x}'_{ik} = \underline{x}_{ik} - \frac{1}{4} (\underline{r}_{ik}^2 - \underline{x}_{ik}^2) \left(\frac{\underline{b}_{ik0}}{2} + \underline{b}_{SVC} \right) \quad (\text{III.11})$$

La variation des paramètres d'une ligne équivalente munie d'un SVC en fonction de la valeur de ce dernier, elle met en évidence que la susceptance shunt \underline{b}_{ik0} est l'élément qui est le plus affecté par la présence du compensateur [25]. Sa valeur, exprimée en (p.u) est pratiquement égale à celle du SVC. En d'autres termes, un SVC placé en milieu de ligne a pratiquement le même effet que deux SVC positionnés aux deux extrémités de la ligne.

II .3.2. Modèle de compensateur statique de puissance réactive SVC

Le dispositif SVC est modélisé par une admittance shunt y_{SVC} variable (fig. III.7.a). Le SVC étant supposé sans pertes, l'admittance est donc purement imaginaire:

$$\underline{y}_{SVC} = j \cdot b_{SVC} \quad (\text{III.12})$$

La susceptance b_{SVC} peut être de nature capacitive ou inductive afin de fournir, respectivement d'absorber, de la puissance réactive Q_{SVC} (fig. II.7)

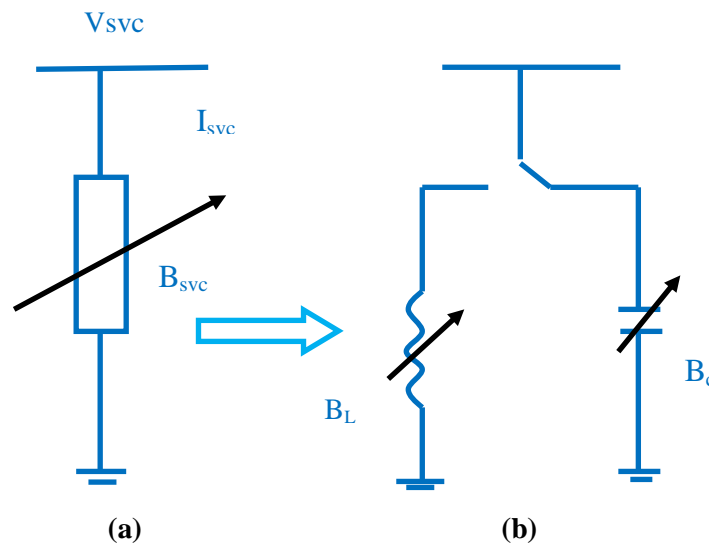


Figure III.7 Modélisation du SVC, a) symbole, b) modèle

Les valeurs des SVC sont exprimées sous forme de puissance réactive Q_{SVC} absorbée à la tension nominale U_n . La correspondance avec la susceptance b_{SVC} est donnée par la relation [25] :

$$B_{SVC} = -U_n^2 \cdot b_{SVC} = -U_n^2 \cdot \frac{X_C [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] - \pi X_L}{\pi X_C X_L} \quad (\text{III.13})$$

La puissance réactive réellement absorbée par le SVC est donnée par:

$$Q_{SVC} = -\frac{U^2}{U_n} B_{SVC} \quad (\text{III.14})$$

Le signe « moins » indique que le SVC fournit de la puissance réactive au système lorsqu'il est capacitif alors qu'il en consomme lorsqu'il est inductif. La variation de la puissance réactive injectée en fonction de la tension.

III.4. Dispositifs de compensation série

La compensation série est parmi les meilleures techniques actuellement connue pour accroître la capacité de transfert de puissance des lignes de transmission. Les compensateurs série à thyristors utilisés peuvent être de nature capacitive ou inductive. Ils s'apparentent donc à des dispositifs de type TCSC

III.4.1. Modélisation de TCSC :

Les condensateurs séries Ils sont modélisés par des impédances variables insérées en série avec la ligne. Les dispositifs étant considérés comme idéaux, seule la partie réactive de l'impédance est prise en compte. Le modèle est formé de deux branches en parallèles formées respectivement d'une inductance et d'une capacité variable. Pour éviter les phénomènes de résonance, les branches sont enclenchées de manière exclusive à l'aide d'un interrupteur.

Le modèle mathématique de TCSC est dans le schéma de la (figure.III.8) [29]

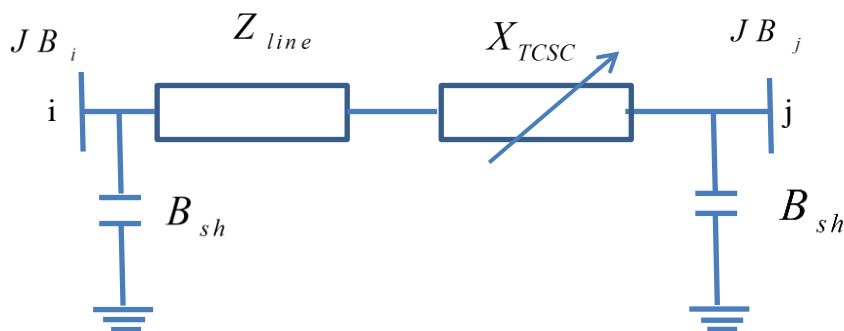


Figure.III.8 : modèle mathématiques e de TCSC

Le TCSC devient analogue à une impédance contrôlable, qui est le résultat de la mise en parallèle de la réactance équivalente d'un composant TCR et une capacité.

$$X_{TCSC}(\alpha) = j \frac{X_C X_L}{\frac{X_C}{\pi} (2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha) - X_L} \quad (\text{III.12})$$

La figure. 2.13 présente l'implantation d'un TCSC dans une ligne électrique. La réactance totale est la somme algébrique de la réactance du TCSC et la réactance réelle de la ligne.

$$X_{ij} = X_{line} + X_{tcsc} \quad (\text{III.13})$$

Afin d'éviter la surcompensation dans la ligne, la valeur de la réactance X_{TCSC} dépend de la valeur de la réactance de la ligne X_{line} ; telle que : Les degrés de compensation maximum sont de 80% en mode capacitif et 20% en mode inductif, La valeur de la réactance du TCSC est donc donnée par [29] :

$$-0.8X_{line} \leq X_{TCSC} \leq 0.2X_{line} \quad (\text{III.14})$$

La matrice d'admittance de la ligne est modifiée de manière suivant :

$$Y_{\text{mod}} = \begin{bmatrix} Y'_{ii} & Y'_{ij} \\ Y'_{ji} & Y'_{jj} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} Y'_{ii} + y_{ij0}/2 & -y'_{ij} \\ -Y'_{ji} & y'_{ij} + y_{ij0}/2 \end{pmatrix} \quad (\text{III.15})$$

$$\text{Avec :} \quad y'_{ij} = \frac{1}{r_{ij} + j(x_{ij} + x_{tcsc})} \quad (\text{III.16})$$

III.5.Conclusion

Afin d'étudier l'effet des dispositifs FACTS dans un réseau, il est indispensable de les modéliser et les intégrer dans l'algorithme de calcul permettant de simuler leurs effets dans l'ensemble du système. Il existe trois méthodes de modélisation des FACTS :

- ✓ Méthode d'injection des puissances équivalentes;
- ✓ Méthode de modification de la matrice admittance;
- ✓ Méthode du nœud fictif.

Dans le présent travail, nous avons utilisé la méthode de modification de la matrice admittance. Pour cela un compensateur parallèle SVC sont choisis dont la modélisation consiste à modifier l'admittance nodal. Nous avons simulé leurs effets dans l'ensemble du système dans le chapitre 4.

Chapitre IV

Simulations et Résultats

IV.1 Introduction

Dans tous les réseaux de transport, il est nécessaire de maintenir la tension aux différents des jeux de barres dans des limites acceptables. Les systèmes de transmissions flexibles en courant alternatif (FACTS) sont des moyens de contrôle rapides et flexibles capables de faciliter le transit des puissances et d'améliorer la stabilité des réseaux électriques. Le contrôleur dynamique shunt SVC est un dispositif FACTS qui permet de régler la tension et d'amortir l'oscillation due à des perturbations dans les réseaux électriques. [3]

L'importance de l'étude de l'écoulement de puissance est capitale pour l'obtention de tous les paramètres du réseau électrique, pour chaque nœud dont ils : Puissance (Active et Réactive) Tension (Module et Angle). Parmi les méthodes de résolution, on a choisi la méthode de GAUSS-SEIDEL, cette dernière a été appliquée dans différents réseaux avec et sans intégration des dispositifs de compensation FACTS (SVC).

Après avoir présenté dans le deuxième chapitre le principe de fonctionnement et la structure de base du SVC, ainsi que sa modélisation dans le troisième chapitre. Dans le quatrième chapitre nous avons présenté la simulation de l'ensemble du système sous l'environnement Matlab/Simulink.

Dans ce chapitre nous avons utilisé un réseau de 2, 3 et 4 jeux de barres dont plusieurs perturbation sont considérées à savoir : variation de la tension, variation de la consommation et déclenchement d'une ligne avec et sans optimisation de la commande SVC. Dans cette suite exprime les résultats et l'interprétation .

VI.2.Simulation et analyse des résultats

Afin de montrer l'efficacité de SVC pour le contrôle de la tension nous considérons une variation brusque de la tension du réseau côté générateur et nous avons calculé la tension par la méthode de GAUSS SIEDEL, deux cas étudiés dans cette partie:

- ✓ Simulation et analyse de la tension sans SVC.
- ✓ Simulation et analyse de la tension avec SVC.

Dans cette application, nous avons modélisé le compensateur SVC par une admittance shunt variable (capacitif ou inductif), cette admittance est fournie par le contrôleur PI et intégrée dans le programme d'écoulement de puissance selon la variation de la tension par rapport à sa référence.

IV.3.Simulation 1 : contrôle de la tension d'un réseau avec 2 jeux de barres

Au départ, un simple réseau électrique de 2 jeux de barres avec charge (Figure IV.1) est utilisé juste pour illustrer l'effet du dispositif de Compensation SVC. Les paramètres du réseau sont mentionnés dans le tableau suivant :

Z ₁₂	0.02+j*0.04
Y ₁₂	10 -j*30
S ₂	2.8 + j*0.6
V ₁	1∠0

Tableau IV.1: Les paramètres du réseau à 2 jeux de barres (en p.u)

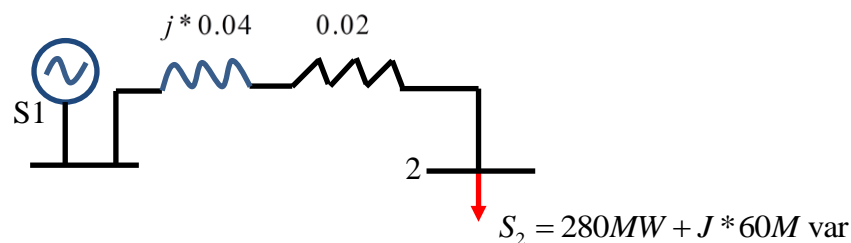


Figure IV.1 : Réseau électrique à 2 jeux de barres

Deux simulations sont considérées : sans SVC et avec SVC.

Les résultats de la simulation d'écoulement de puissance (en régime permanent) obtenue par la méthode de GAUSS SIEDEL sont mentionnés dans le tableau suivant :

V_2	0.9000 → Nécessite SVC
I_{12}	$3 - 1i$
I_{21}	$-3 + 1i$
S_{12}	$300 \text{ MW} + 100i \text{ M var}$
S_{21}	$-280 \text{ MW} - 60i \text{ M var}$
DS_{12}	$20 \text{ MW} + 40i \text{ M var}$

Tableau IV.2 : Résultat d'écoulement de puissance du réseau a 2 jeux de barres

Avec :

- ✓ V_i : la tension au niveau de jeu de barre.
- ✓ S_{ij} : la puissance transitée dans chaque ligne.
- ✓ I_{ij} : le courant traversé dans chaque branche.
- ✓ DS_{ij} : perte de puissance.

A partir les résultats mentionnés dans le tableau, il est nécessaire d'améliorer la tension du jeu de barre 2, pour cela nous avons utilisé SVC.

IV.3.1. Simulation du réseau a 2 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension

La figure IV.2 représenté un réseau de 2 jeux de barres avec SVC, Dans cette simulation nous avons considère une variation brusque de la tension V_1 (cote générateur) comme montré dans le tableau IV.3:

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
V_1 (p.u)	1.1	1.1	1.155	1.155	1.1	1.1	1.045	1.045	1.1

Tableau IV.3 : Variation brusque de la tension V_1

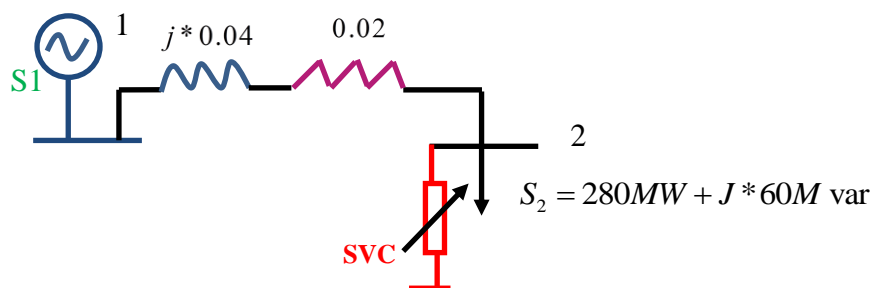


Figure IV.2 Réseau électrique à 2 jeux de barres avec SVC

Les résultats de simulation sont donnés par les figures suivantes :

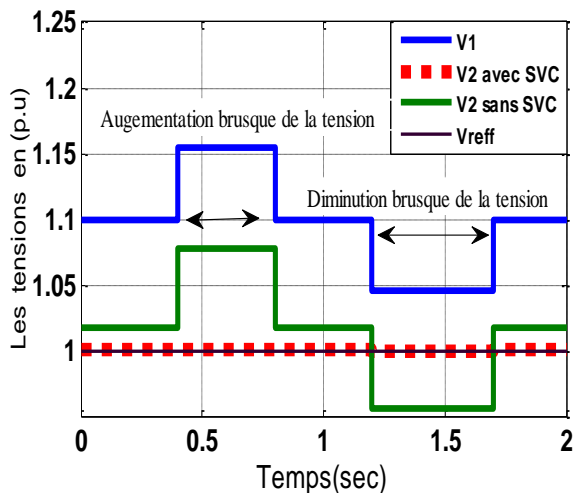


Figure IV.3 : Evolution de la tension sans et avec SVC

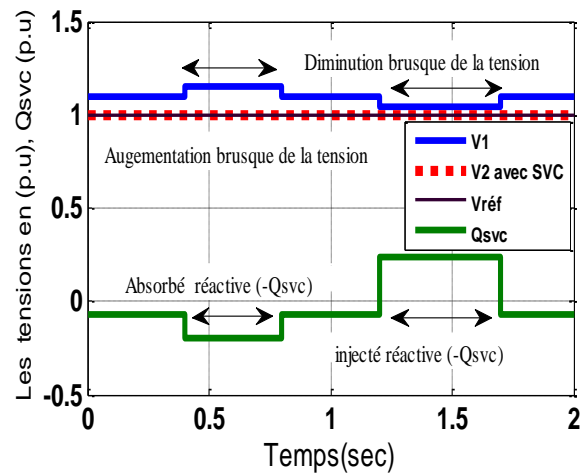


Figure IV.4 : Evolution de la tension et Q_{svc}

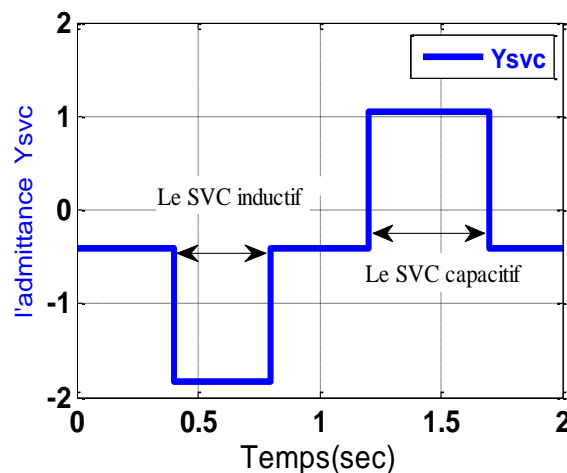


Figure IV.5 : variation de l'admittance Y_{svc}

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension du jeu de barre 2 lors de l'installation de SVC (V_2 suit la référence). On montre que lorsque la tension est inférieure à celle de référence le compensateur SVC injecte réactive ($+Q_{SVC}$), et lorsque la tension est supérieure de celle de référence le compensateur SVC absorbe réactive ($-Q_{SVC}$). Donc le compensateur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension.

IV.3.2. Contrôle de la tension lors de variation brusque de la consommation et la tension du générateur

De la même manière précédente, mais nous avons considéré une variation de la tension et de la charge comme présenté dans le tableau suivant :

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
P ₂ (p.u)	2.8	2.8	2.85	2.85	2.95	2.90	2.75	2.75	2.8

Tableau IV.4 : Variation brusque de la consommation

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
V ₁ (p.u)	1.03	0.95	1.2	1.3	1.1	0.95	1.03	1.03	1.03

Tableau IV.5 : Variation brusque de la tension V₁

Les résultats de simulation sont donnés par les figures suivantes :

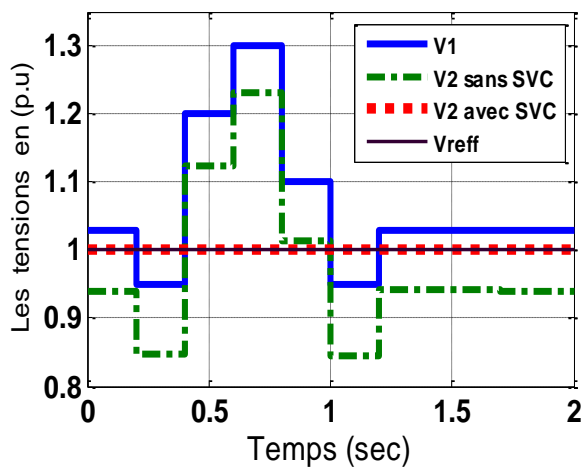


Figure IV.6 : Evolution de la tension sans et avec SVC

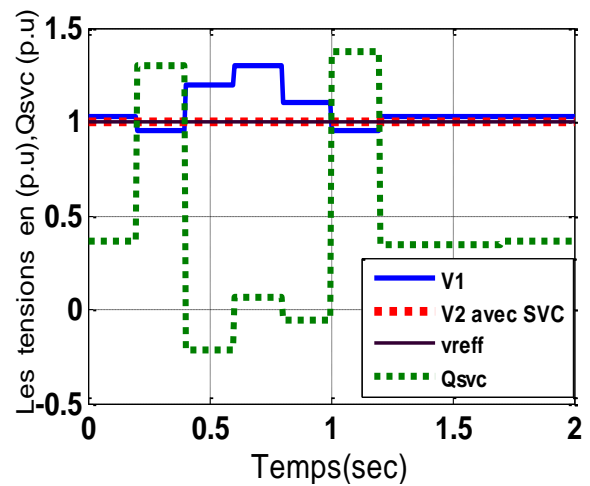


Figure IV.7 : Evolution de la tension et Q_{SVC}

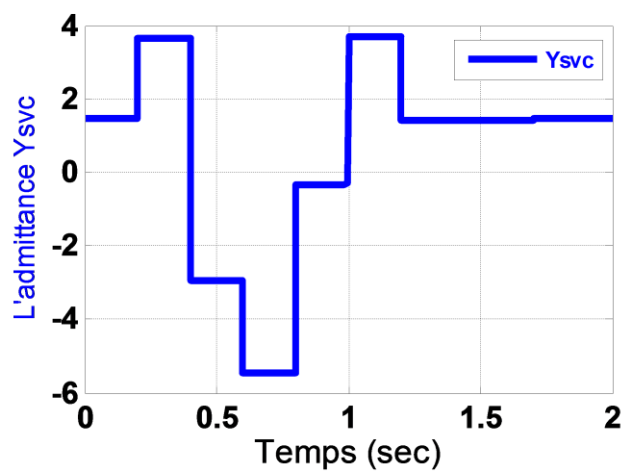


Figure IV.8 : Variation de l'admittance du SVC

Pour cette simulation, nous avons montré la possibilité d'améliorer le niveau de tension en utilisant le dispositif SVC malgré la présence des plusieurs perturbations (variation de la tension, variation de la puissance).

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension du jeu de barre 2 lors l'utilisation du SVC (V_2 suite la référence). Donc le compensateur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension.

IV.4.Simulation 2 : contrôle de la tension d'un réseau avec 3 jeux de barres

Dans cette simulation un réseau de 3 jeux de barres chargé à deux nœuds comme indique dans La Figure IV.9. Les paramètres du réseau sont mentionnés dans le tableau suivant :

V1	$1\angle 0$
Z12	$1/30*j$
Z13	$j*0.0125$
Z23	$j*0.05$
Y12	$-j*30$
Y13	$-j*80$
Y23	$-j*20$
S2	$4 + j*3.2$
S3	$3 + j*2.7$

Tableau IV.6 : les paramètres du réseau à 3 jeux de barres (en p.u)

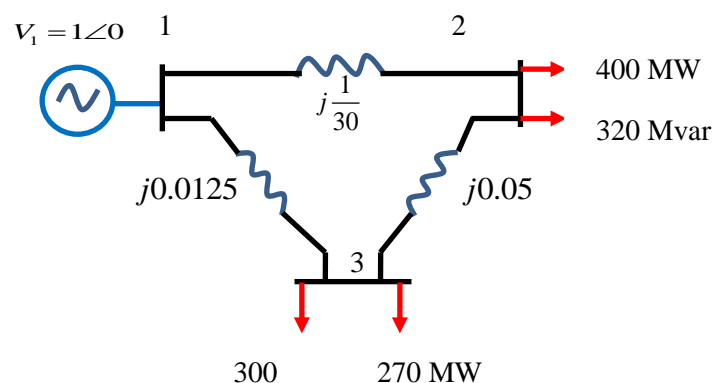


Figure IV.9 : Réseau électrique à 3 jeux de barres

Deux simulation sont considèrent : sans SVC et avec SVC.

Les résultats de la simulation d'écoulement de puissance (en régime permanent) obtenue par la méthode de GAUSS SIEDEL sont mentionnés dans le tableau suivant

Nécessite SVC	V_2	0.9	S_{12}	300 MW + 300i Mvar
Nécessite SVC	V_3	0.95	S_{21}	-300 MW - 240iM var
	I_{12}	3 - 3i	S_{32}	100 MW + 90i Mvar
	I_{21}	-3 + 3i	S_{23}	-100 MW - 80i Mvar
	I_{23}	-1 + 1i	S_{13}	400 MW + 400i Mvar
	I_{32}	1 - 1i	S_{31}	-400 MW - 360iM var
	I_{13}	4 - 3i	DS_{13}	40i M var
	I_{31}	-4 + 3i	DS_{23}	10i M var
			DS_{12}	60i M var

Tableau IV.7 : Résultat d'écoulement de puissance du réseau à 3 jeux de barre

A partir les résultats mentionnés dans le tableau, il est nécessaire d'améliorer la tension du jeux de barres 2et 3, pour cela nous avons utilisé SVC.

IV.4.1. Simulation du réseau à 3 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension

Dans cette simulation nous avons considère une variation brusque de la tension V_1 comme montré dans le tableau VI.8:

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
V_1 (p.u)	1.1	1.1	1.155	1.155	1.1	1.1	1.045	1.045	1.1

Tableau IV.8: variation brusque de la tension V_1

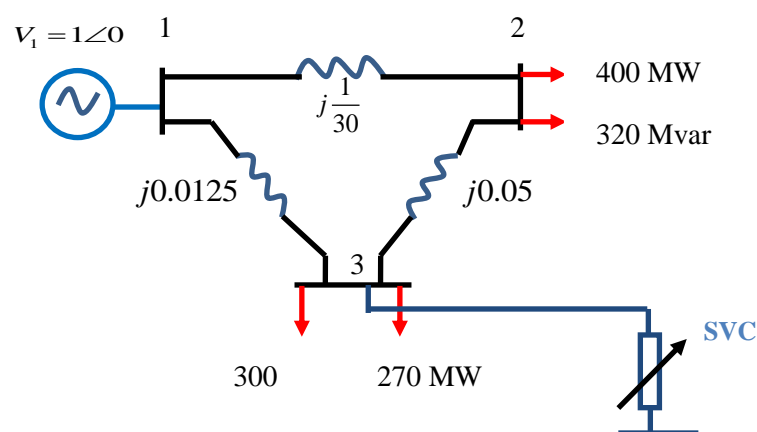


Figure IV.10 : Réseau électrique à 3 jeux de barres avec SVC

Les résultats de simulation sont donnés par les figures suivantes :

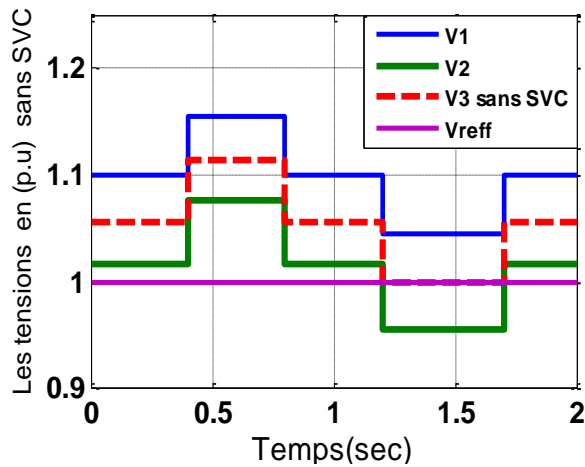


Figure IV.11 : Evolution de la tension sans SVC

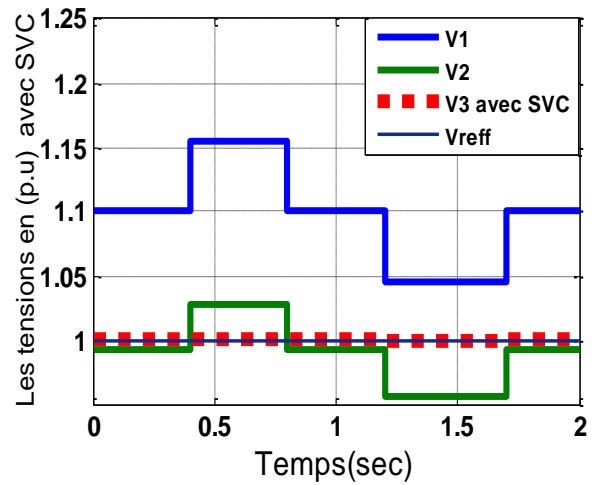


Figure IV.12 : Evolution de la tension avec SVC

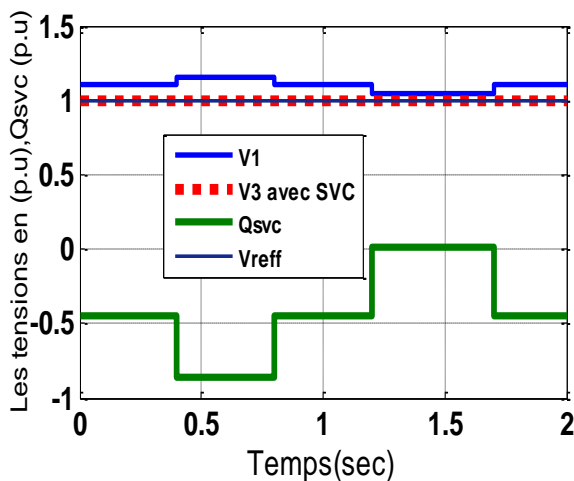


Figure IV.13 : Evolution de la tension et Q_{svc}

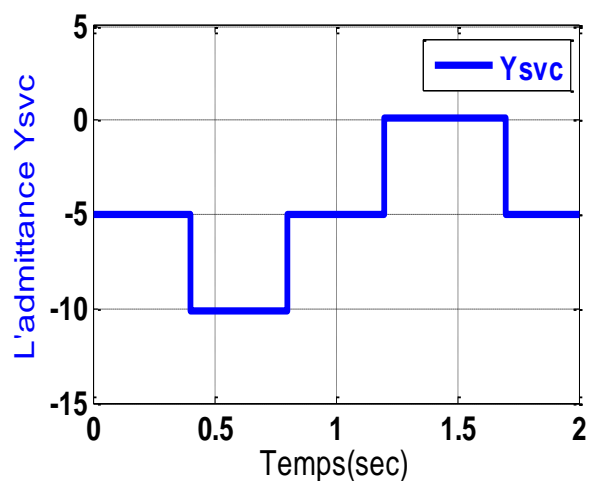


Figure IV.14 : Variation de l'admittance Y_{svc}

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension du jeu de barre 3 lors l'utilisation du SVC (V_3 suite la référence). Donc le compensateur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension

De la même manière précédente, mais nous avons placé le SVC dans le nœud 2 pour contrôler la tension V_2 (Figure IV.15)

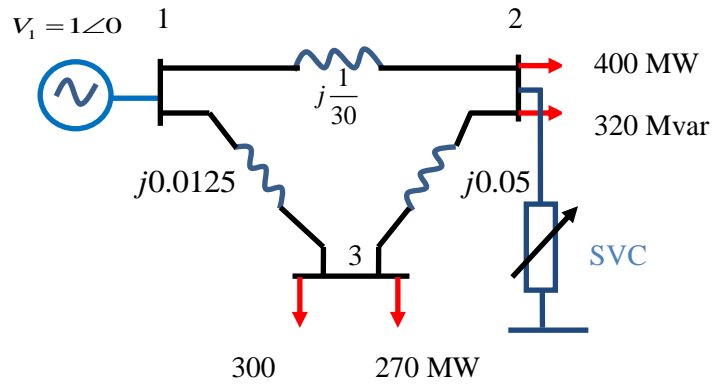


Figure IV.15 : Réseau électrique à 3 jeux de barres avec SVC

Les résultats de simulation sont donnés par les figures suivantes :

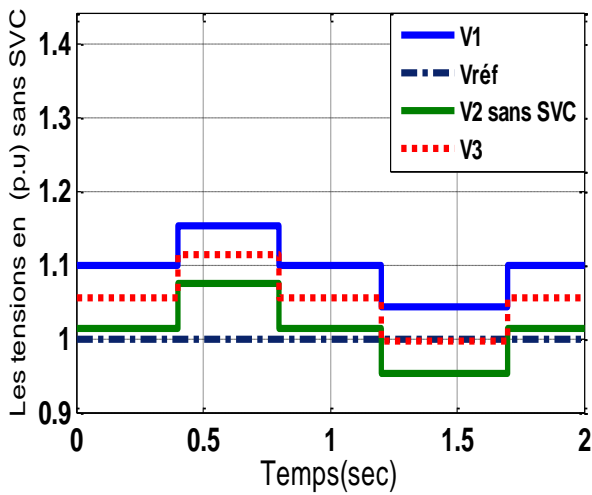


Figure IV.16 : Evolution de la tension sans SVC

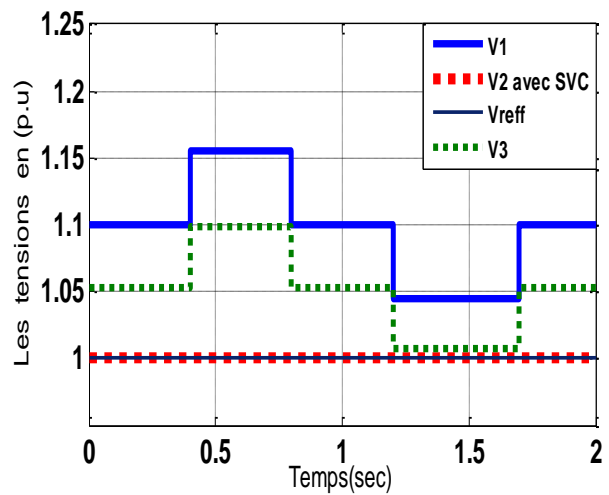


Figure IV.17 : Evolution de la tension avec SVC

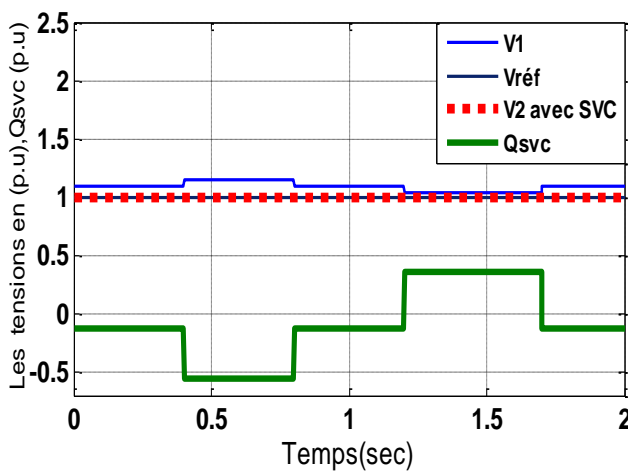


Figure IV.18 : Evolution de la tension et Q_{svc}

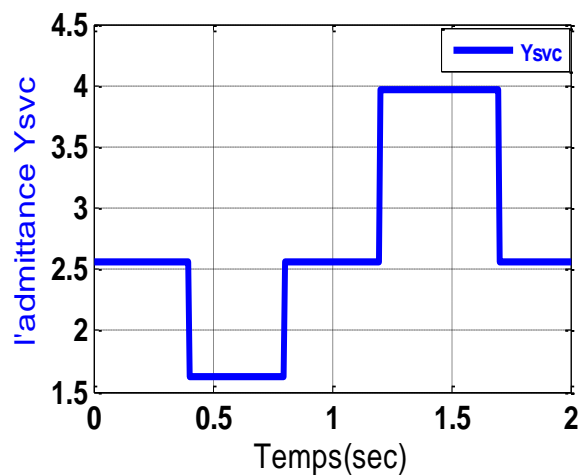


Figure IV.19 : Variation de l'admittance Y_{svc}

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension du jeu de barre après l'installation de SVC (V_2 arrive à suivre la référence V_{ref}).

Les résultats de simulation obtenus ont montré que lorsque la tension est inférieure à celle de référence le compensateur SVC injecte de réactive (+ Q_{svc}), et lorsque la tension est supérieure de celle référence le compensateur SVC absorbe de réactive (- Q_{svc}). Donc le compensateur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension.

IV.5.Simulation 3 : contrôle de la tension d'un réseau avec 4 jeux de barres

Dans cette simulation un réseau de 4 jeux de barres chargé à 3 nœud comme indique dans la Figure IV.20. Les paramètres du réseau sont mentionnés dans le tableau suivant :

Z_{12}	$j*0.025$	S2	$4 + j*3.2$
Z_{13}	$j*0.05$	S3	$3 + j*2.7$
Z_{34}	$j*0.05$	S_{G4}	$2 + j*1.5$
Z_{24}	$j*0.025$	S_{L4}	$2 + j*1.5$
V1	$1\angle 0$		

Tableau IV.9 : Les paramètres du réseau à 4 jeux de barres (en p.u)

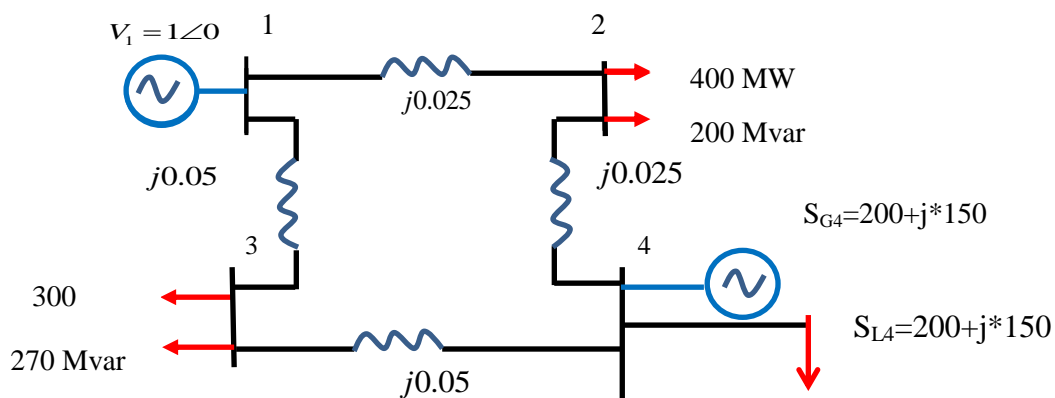


Figure IV.20 : Réseau a 4 jeux de barres

Deux simulation sont considérées : sans SVC et avec SVC.

Les résultats de la simulation d'écoulement de puissance obtenue par la méthode de GAUSS SIEDEL sont mentionnés dans le tableau suivant :

Nécessite SVC

V2	0.97	S12	400 MW+ 200i Mvar
V3	0.9325	S21	-400 MW - 175i Mvar
V4	1	S13	150 MW+ 135i Mvar
I12	2- 1 i	S31	-150 MW - 114.64i Mvar
I21	-2 +1i	S24	-200 MW - 87.5i Mvar
I13	1.5 - 1.35i	S42	200 MW + 100i Mvar
I31	-1.5 + 1.35i	S34	150 MW+ 114.65i Mvar
I24	-2+ 1i	S43	150 MW+ 135i Mvar
I42	2 - 1 i	DS12	25i Mvar
I34	-1.5 + 1.35i	DS13	20.36i Mvar
I43	1.5 - 1.35i	DS24	12.50i Mvar
		DS ₃₄	20.36i Mvar

Tableau IV.10: Résultats d'écoulement de puissance du réseau à 4 jeux de barres

A partir les résultats mentionnés dans le tableau, il est nécessaire d'améliorer la tension du jeu de barre 3, pour cela nous avons utilisé SVC.

IV.5.1 Simulation du réseau à 4 jeux de barres lors d'une variation brusque de la tension

La figure IV.22 représenté un réseau de 4 jeux de barres avec SVC, Dans cette simulation une considère une variation brusque de la tension V_1 comme montré dans le tableau VI.11:

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
V_1 (p.u)	1.1	1.1	1.155	1.155	1.1	1.1	1.045	1.045	1.1

Tableau IV.11 : Variation brusque de la tension V_1

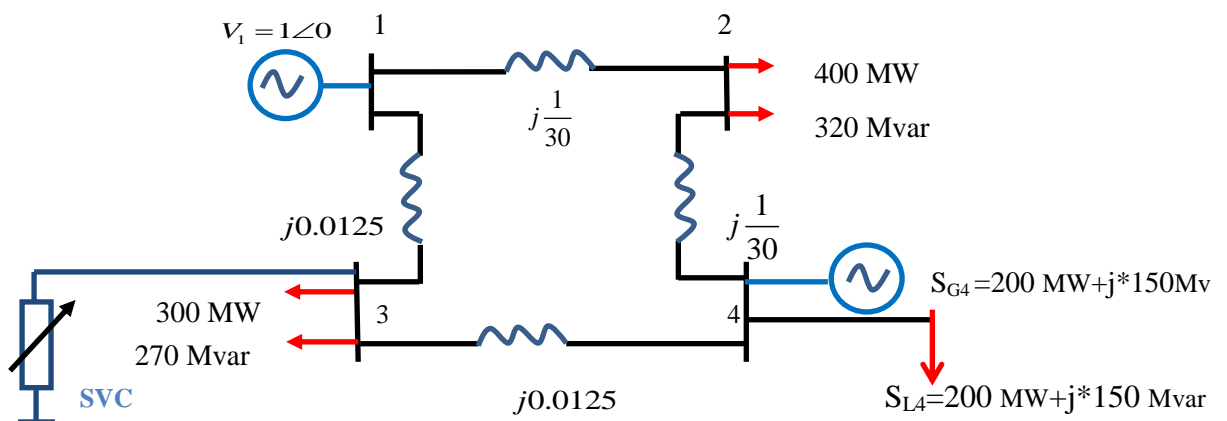


Figure IV.21 : Réseau de 4 jeux de barres avec SVC

Les résultats de simulation sont donnés par les figures suivantes :

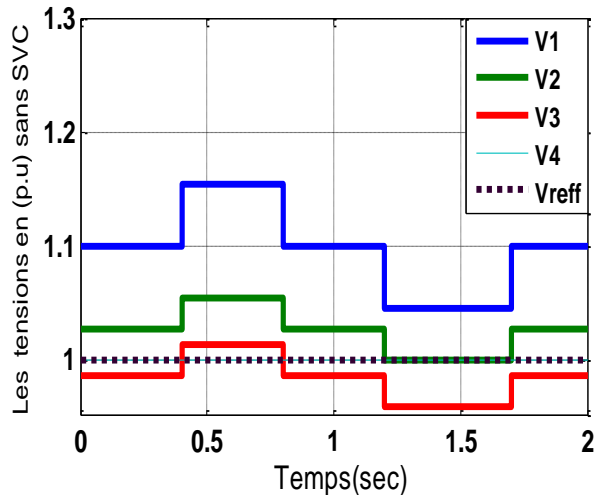


Figure IV.22 : Evolution de la tension sans SVC

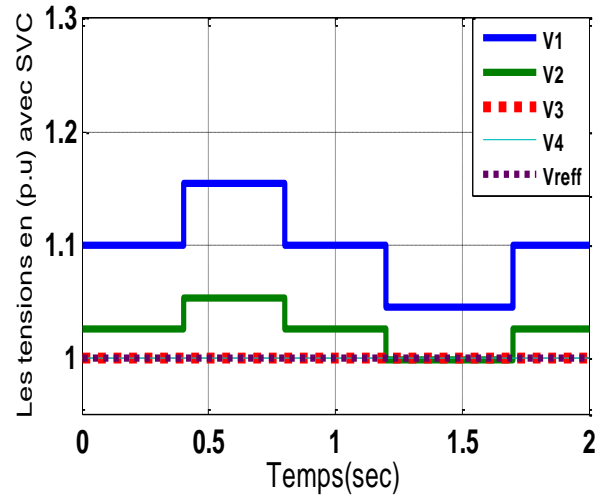


Figure IV.23 : Evolution de la tension avec SVC

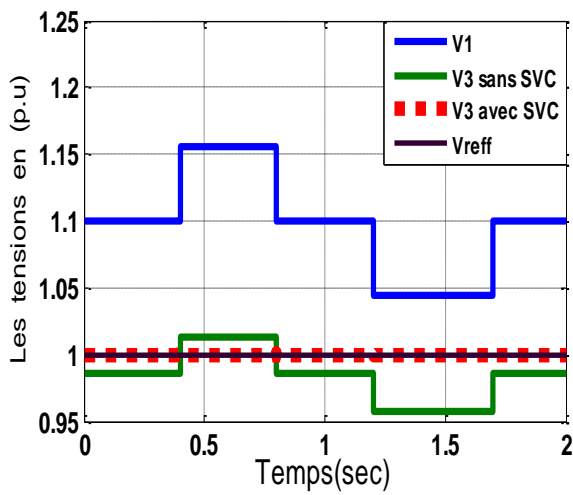


Figure IV.24 : Evolution de la tension avec et sans SVC

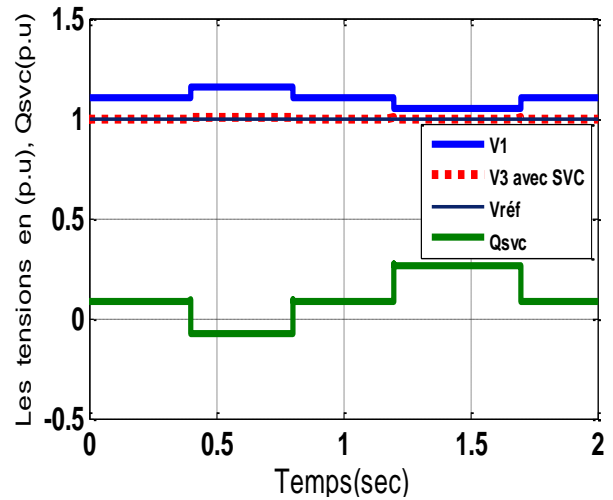


Figure IV.25 : Evolution de la tension et Q_{svc}

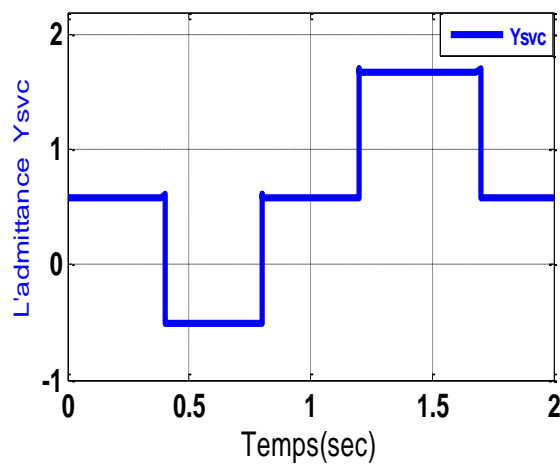


Figure IV.26 : Variation de l'admittance Y_{svc}

On constate qu'avec SVC, V_3 arrive à suivre la référence V_{ref} .

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension des jeux de barres après l'installation de SVC. Donc le contrôleur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension pour plusieurs jeux de barres.

IV.5.1 Contrôle de tension lors d'une variation brusque de la tension et déclenchement d'une ligne

Dans cette simulation on considère une variation brusque de la tension V_1 comme montré dans le tableau IV.12 et avec un déclenchement d'une ligne parallèle (1-3) à l'instant $t=1$ sec (figure IV.27).

Time (sec)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.7
V_1 (p.u)	1.1	1.1	1.155	1.155	1.1	1.1	1.045	1.045	1.1

Tableau IV.12: variation brusque de la tension V_1

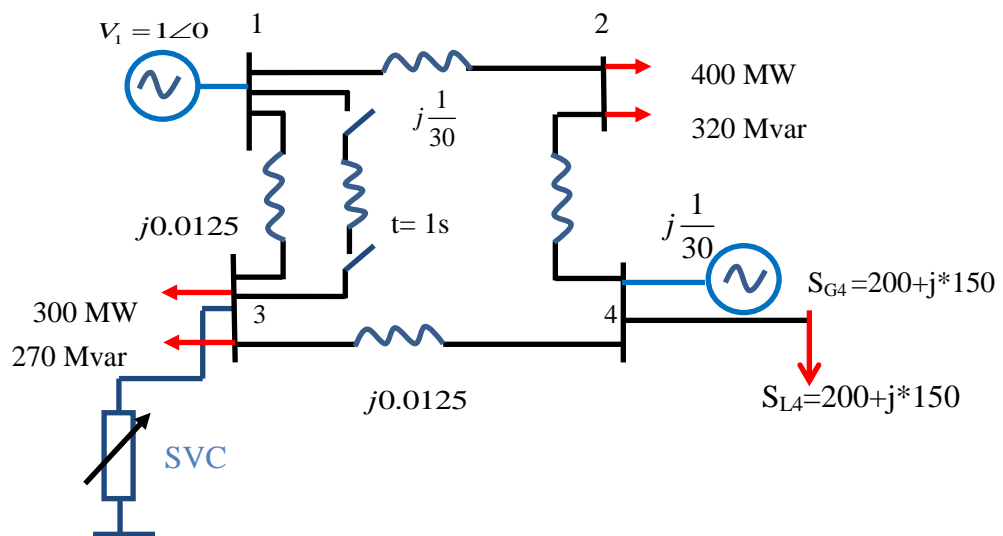


Figure IV.27 : Réseau de 4 jeux de barres avec un déclenchement

Les résultats de simulation sont donnés dans les courbes suivant :

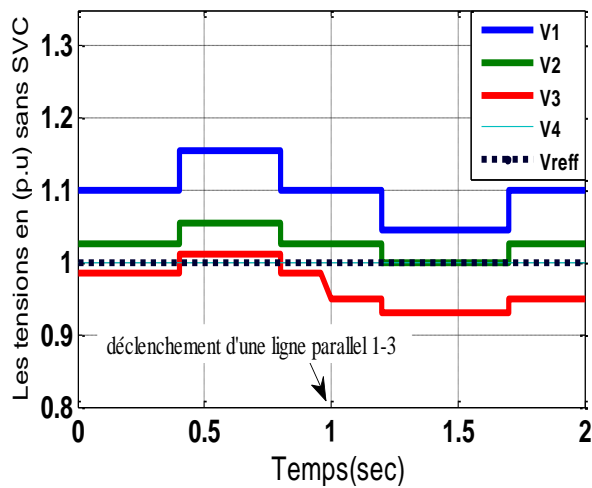


Figure IV.28 : Evolution de la tension sans SVC

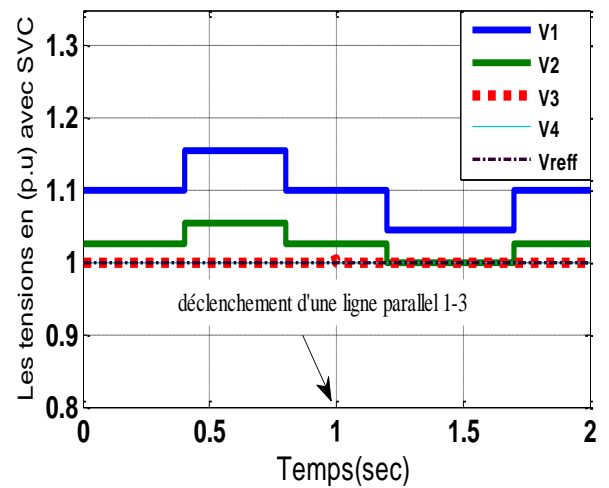


Figure IV.29 : Evolution de la tension avec SVC

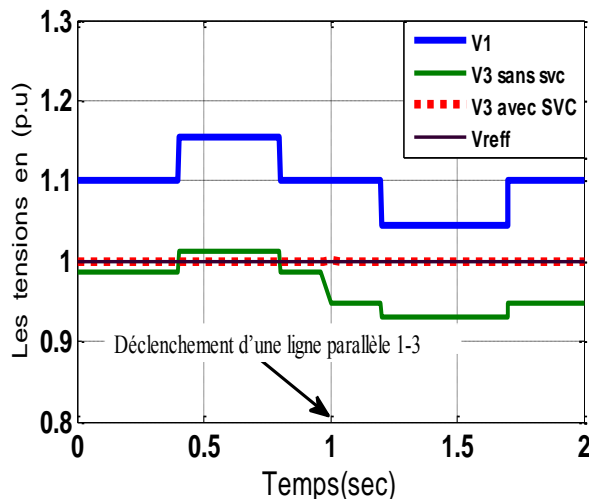


Figure IV.30 : Evolution de la tension avec et sans SVC

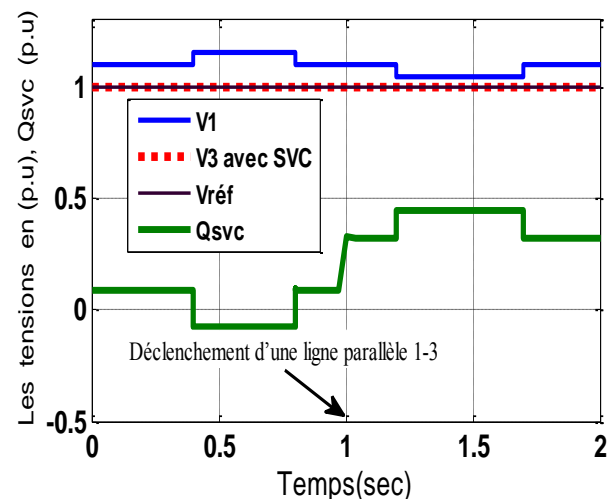


Figure IV.31 : Evolution de la tension et Q_{svc}

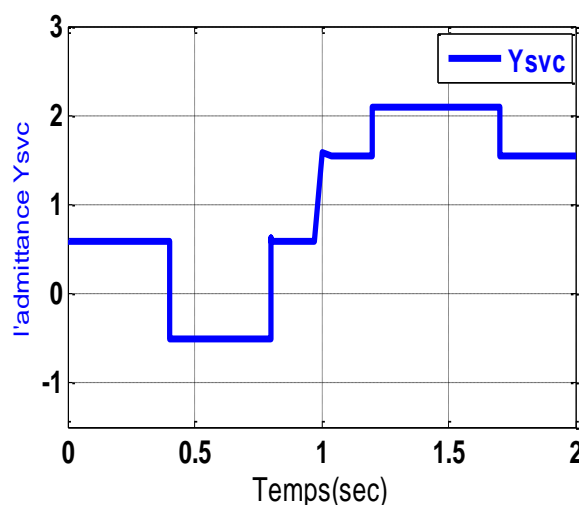


Figure IV.32 : Variation de l'admittance Y_{svc}

Pour cette situation, nous avons montré la possibilité d'améliorer le niveau de tension en utilisant le dispositif SVC.

Les résultats obtenus ont montré un contrôle parfait de la tension du jeu de barre 3 après l'installation de SVC (V3 suite la référence). Les résultats de simulation obtenus montrent que lorsque la tension est inférieure à celle de référence le compensateur SVC injecte de réactive ($+Q_{SVC}$), et lorsque la tension est supérieure de celle de référence le compensateur SVC absorbe de réactive ($-Q_{SVC}$). Donc le contrôleur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'impact d'intégration d'un dispositif SVC sur le comportement d'une ligne de transmission. Pour illustrer au mieux les motivations et les objectifs de ce travail, nous avons procédé à plusieurs cas :

- *Control de la tension sans SVC.*
- *Control de la tension avec SVC.*

Dont plusieurs perturbations sont exposées : contrôle de tension lors perturbation de tension (cote générateur), variation de la puissance et déclenchement d'une ligne. Les résultats obtenus par notre programme développé dans ce travail sous l'environnement (MATLAB), montrent clairement l'avantage d'intégrer ce dispositif, un contrôle flexible de l'énergie réactive est réalisé par un emplacement efficace du dispositif shunt(SVC). Les résultats obtenus montrent que le dispositif de contrôle SVC peut jouer un rôle très important dans le domaine de la compensation des puissances réactives et le contrôle des tensions des différents nœuds même en présence de plusieurs perturbations.

Conclusion générale

Le développement de l'électronique de puissance a permis d'améliorer la gestion des réseaux électriques en introduisant un nouveau concept par le système de transmission de l'énergie à courant alternatif flexible appelée FACTS, avec lesquels le contrôle du flux de puissance active et réactive ainsi que l'augmentation de la capacité de charge des lignes, sont atteints et performés par l'injection de tension (ou courant) des convertisseurs conçus avec des interrupteurs statiques modernes commandés en ouverture et en fermeture tels que les GTO, IGBT concernant la nouvelle génération de ces systèmes FACTS.

Le travail présenté dans ce mémoire est une contribution originale au problème de contrôle des tensions dans un réseau de transport d'énergie électrique. L'objectif est un but d'étudier un dispositif de réglage sur lequel on agit pour contrôler aussi rapidement la variation de la tension d'un réseau électrique.

Dans ce mémoire plusieurs types de dispositifs FACTS ont été présentés tel que le compensateur statique de puissance réactive SVC, le compensateur statique synchrone STATCOM, le compensateur série à thyristors TCSC, les dispositifs de contrôle de transit de puissance IPFC.

Parmi ces outils de contrôle, on a choisi le compensateur statique de puissance réactive (SVC) à cause de sa simplicité de contrôle et son coût dans le marché (moins cher par rapport aux autres FACTS). L'étude du compensateur statique SVC, présenté dans ce travail, est constituée de trois parties, à savoir:

- ✓ Description des éléments qui constituent le dispositif SVC.
- ✓ Modélisation du compensateur statique et son principe de fonctionnement.
- ✓ Contrôle de la tension du réseau électrique par le dispositif SVC.

Le réglage de la tension d'un réseau électrique au moyen de dispositifs SVC a été vérifié par des simulations faites sur des réseaux de transport d'énergie électrique sous environnement Matlab. nous avons procédé à plusieurs cas:

- ✓ Control de la tension sans SVC.
- ✓ Control de la tension avec SVC.

Dont plusieurs perturbations sont exposées : contrôle de tension lors perturbation de tension (cote générateur), variation de la puissance et déclenchement d'une ligne.

Les résultats obtenues par les simulations, nous montrent que la tension contrôlée par le régulateur du compensateur statique SVC varie dans des limites tout à fait acceptables avant de revenir à une valeur proche de la valeur de référence, le régulateur de tension contrôle l'admittance (Y_{SVC}) du compensateur statique, et comme cette admittance est une image de la puissance réactive, cette dernière sera calculée directement par le compensateur afin de développer (ou absorber) la puissance réactive dans la barre où le SVC est connecté au nœud du réseau . Donc le contrôleur SVC est très efficace pour le contrôle de la tension même en présence de plusieurs perturbations.

Bibliographie

- [1] Guillaume Rami. Contrôle de tension auto adaptatif pour des productions décentralisées d'énergies connectées au réseau électrique de distribution. Electric power. Institut Polytechnique de Grenoble – INPG ,2006
- [2] H.Alkhatib « Etude de la stabilité aux petites perturbations dans les grande réseaux électrique optimisation de la régulation par une méthode metaheuristique » mémoire de docteur, université Paul Cézanne d'Aix-Marseille.2008 EYROLLES 1984.
- [3] Oussama mameri «Puissance réactive dans une nœud a charge non linéaire en présence d'un système de compensation de l'énergie», mémoire de magister université de Batna 2011/2012.
- [4] Rabah BENABIB «optimisation de synthèse des FACTS par les Particules en essaim pour contrôler de la stabilité de tension des réseaux électrique», mémoire de magister université Amar Telidji, Laghouat 2007.
- [5] Nechadi Emir « Stabilité d'un système électro-énergétique approche par mode glissant » mémoire de magister, université de Sétif 2004.
- [6] Prof. P.S.R. Murthy « Power System Analysis » .
- [7] Delendi. Louardi « contrôle de l'écoulement de puissance active par un système FACTS» mémoire de magister, Université Batna, 2009.
- [8] P. Bornard, M. Pavard « Réseaux d'interconnexion et de transport : réglage et fonctionnement » Technique de l'ingénieur D4090.
- [9] Abdelali. Alibi « Contrôle des réseaux électrique par les systèmes FACTS : Flexible AC Transmission Systems» mémoire magister, université de Batna 2009.

- [10] Christophe Gombert « Simulation temps-réel des dispositifs d'Electronique de Puissance dédiés aux Réseaux d'Énergie Electrique », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005
- [11] Gilbert Droun « compensateur statique de puissance réactive» Technique de l'ingénieur D4315.2001.
- [12] G. Droun« circulation d'énergie réactive » Techniques de l'ingénieur D300.
- [13] Daniel J. Sullivan « Improvements in voltage control and dynamic performance of power transmission systems using Static Var Compensators (SVC) » mémoire de Master, université de Pittsburgh, Pennsylvania, USA 5 Avril 2006.
- [14] Leonard L.Grigsoby «Power Systems » electric Power engineering handbook second edition 2006 by Taylor & Francis Group.
- [15] Emmanuelle Gatz « Evolution techniques du système de transporte et de distribution d'électricité » Supélec 1999.France
- [16] E.G. Shahraki «Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques» Mémoire de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 13 Octobre 2003.
- [17] Belguidoum Hocine «Les systemes FACTS utilisant les convertisseurs entierement commandes » Mémoire de Magistère de l'université de Setif, 2012.
- [18] Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez and César Angeles-Camacho «FACTS Modelling and Simulation in Power Networks». Copyright © 2004 John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England
- [19] Ay abdelouhab «Modelisation et analyse d'un composantsateur statique SVC » mémoire de Magister université de Batna 2013
- [20] Laid Hichem « Contribution à l'étude du contrôle du flux de puissance par l'UPFC » mémoire de magister, université de Batna 2009.

- [21] Pr. J. Luchthomus « les systèmes flexibles de transport et de distribution électrique FACTS » Article 10eme entretiens physique industrie PARIS 19 octobre 2008.
- [22] K. Lamia « Optimisation de la synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaim Particulaires pour le contrôle des réseaux électrique » Mémoire de Magister de l'Université Alger (Ecole Nationale Polytechnique El-Harrach), 2006.
- [23] B. Houari « Contrôle des puissance réactive et des tension dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) » Mémoire de Magister de l'Université de Sidi Bel-Abbes, 2008.
- [24] E.G. Shahraki «Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques» Mémoire de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 13 Octobre 2003.
- [25] S. Gerbex « Métaheuristique appliquées au placement optimal de dispositifs FACTS dans un réseau électrique » Faculté des sciences et Techniques de l'ingénieur, EPFL- Lausanne 2003, Suisse.
- [26] A. Edris et al Proposed « Terms and Definition of FACTS » IEEE trans. on power delivery, 12(4):1884-1853, October 1997.
- [27] Hanene Kouara « Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un Réseau basse tension » mémoire de magister, université de Batna 2006.
- [28] Gabousseddik et dob Med lakhdar « l'impact des dispositifs de compensation dynamique –FACTS- sur les réseaux de transport » Mémoire de magister de université Biskra, 2006.
- [29] Nabil mancer « Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) » mémoire de magister, université de Mohamed Khider – Biskra. 2012.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTER EN GENIE ELECTRIQUES

SPECIALITE : RESAUX ELECTRIQUES

Proposé et dirigé par : Dr. MESSALTI sabir

Présenté par : LAALA Zakaria

Thème :

*Commande d'un SVC pour le contrôle de la tension des
lignes de transport d'énergie électrique*

Résumé :

Dans ce travail, nous avons présenté le contrôle de la tension d'une ligne de transport par les dispositifs FACTS (Flexible Alternative current Transmission system), dont le compensateur SVC (Static Var Compensator) est utilisé en raison de ses nombreux avantages. Le présent document est organisé en quatre parties, dans la première partie a exposé une brève description du réseau électrique, la modélisation ainsi que la méthode de calcul d'écoulement de puissance utilisant la méthode de Gauss-Seidel, La deuxième partie présente les différents dispositifs FACTS. Dans la troisième partie nous avons présente la modélisation des dispositifs FACTS.

Dans la quatrième patrie, nous avons étudié l'impact de l'intégration d'un dispositif SVC pour le contrôle de la tension des lignes de transport en présence des plusieurs perturbations telles que variation de la tension, variation de la consommation et déclenchement d'une ligne. L'avantage montre clairement un contrôle parfait de la tension dans chaque nœud.

Mots Clés :

FACTS, SVC, contrôle de la tension, écoulement de puissance, méthode de Gauss-Seidel

N° d'ordre : Rés _221