

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhder d'El-Oued
Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie
Filière: Génie électrique
Spécialité: Réseaux électriques

Thème

**Etude et calcul les paramètres de système de
compensation Shunt(SVC) pour contrôler la puissance
réactive et la tension**

Réalisé par:

- ❖ Azzouz Leïla
- ❖ Deyat Tahani
- ❖ Dogga Mouna

Encadré par:

- ❖ Mammeri Oussama

Année Universitaire: 2019/2020

Remerciements

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au sein du
Faculté de Technologie de L'Université Echahid Hamma Lakhdar*

El- Oued.

*Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le
courage et la volonté pour accomplir ce travail*

*Je remercie mon encadreur le Mr .**Mammeri Oussama** , pour avoir
dirigé ce travail, pour son aide immense, pour sa simplicité et ses valeurs
uniques qui m'ont toujours soutenue dans les moments les plus difficiles,
il m'a toujours reçu avec sympathie et il a mis son temps et ses
connaissances à ma disposition, il a suivi et encouragé les nombreuses
corrections jusqu'à l'achèvement de ce travail veuillez trouver ici
l'expression de ma reconnaissance.*

*Et je lui exprime particulièrement tout ma reconnaissance pour
m'avoir fait bénéficié de ses compétences scientifiques, ses qualités
humaines et sa constante disponibilité. L'Université Echahid Hamma
Lakhdar .El Oued d'avoir accepté de faire partie du Jury.*

Mes remerciements à :

Toutes nos gratitudes à nos enseignants.

Et nos amis.

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
travail.*

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail.

A ma chère mère, pour ses sacrifices depuis qu'elle mis au monde,

*A mon père, qui m'a toujours soutenu et aidé à affronter les
difficultés,*

A mes chères frères et sœurs, à toute ma famille.

A tous mes amis.

Azzouz

Leïla

DEDICACES

Grace à Dieu le tout puissant pour la réalisation de ce travail par lequel je fais hommage à mon chère père et ma chère mère qui m'ont toujours encouragé et m'incité par leurs conseils et leur soutien pour moi afin d'accomplir avec succès mes études durant toute l'étape de mes années scolaires.

Ils ont déployé un très grand effort pour mon éducation et grâce à ce sacrifice, ce but est devenu réel pour ma réussite.

A cet effet, je dédie également cette œuvre à tous mes chers frères et chères sœurs aussi à mes cousins maternels et plus particulièrement à ma grand-mère et à toutes mes familles et à mon fiancé et mes chères amies, et à tous ceux qui mon croient toujours.

Merci beaucoup à vous Tous.

Deyat

Tahani

DEDICACE

*Avec l'aide de dieu tout puissant est enfin achevé ce travail, lequel je
dédie à toutes les personnes qui me sont chères:*

*À ma chère mère qui pour ses sacrifices et son soutien tout au long de
mon parcours et À mon cher père qui m'a toujours soutenu et aidé à
affronter les difficultés*

À mes chères frères et mes chères sœurs

À toute ma grande famille DOGGA

À mes chers amis(es)

*Tous ceux qui ont contribué de près et de loin à l'aboutissement de ce
travail À vous tous un grand merci.*

Dogga

Mouna

Résumé

systèmes de dispositifs FACTS sont employés pour le contrôle dynamique de tension, impédance les et angle de phase de tension afin d' améliorer le comportement dynamique des réseaux ainsi que la répartition et l'écoulement des puissance dans les réseaux. Selon IEEE, les FACTS, sont définis comme suit:

Ce sont des systèmes à courant alternatif incorporant des éléments d'électronique de puissance et d'autres contrôleurs statiques pour l'amélioration de la contrôlabilité et la capacité du transit de la puissance. Compensateur statique de puissance réactive (Static Var Compensator- SVC):Un générateur (ou absorbteur) 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.

Le model de dispositif shunt (SVC) utilisé comme un régulateur efficace de l'énergie réactive, ont été intégré dans la méthode de NEWTON RAPHSON et GAUSS_SIEDAL, l'algorithme a convergé avec un nombre minimal d'itération.

Mots clé: FACTS ,Compensateur Statique (SVC), puissance réactive, control de tension.

ملخص:

أنظمة الأجهزة FACTS تستخدم للتحكم الديناميكي في التوتر، زاوية طور المقاومة والجهد من أجل تحسين السلوك الديناميكي للشبكات وكذلك توزيع وتدفق الطاقة في الشبكات. وفقاً لـ IEEE، يتم تعريف FACTS على النحو الآتي:

هذه هي أنظمة التيار المتردد التي تضم عناصر من إلكترونيات الطاقة ووحدات تحكم ثابتة أخرى لتحسين إمكانية التحكم وقدرة تدفق الطاقة. معوض القدرة الثابتة التفاعلية (ثابت (Var) المعوض (SVC)): مولد طاقة تفاعلية ثابتة (أو ماص) ، تحويل ، يتم ضبط ناتجها في تيار سعوي أو حثي من أجل التحكم في إعدادات محددة للشبكة الكهربائية، عادة تؤثر العقد.

تم دمج نموذج جهاز التحويل (SVC) المستخدم كمنظم فعال للطاقة التفاعلية ، في طريقة NEWTON RAPHSON و GAUSS_SIEDAL، حيث تقاربت الخوارزمية مع أقل عدد من التكرارات.

الكلمات المفتاحية: FACTS ، المعوض الثابت (SVC) ، القدرة التفاعلية ، التحكم في الجهد.

Abstract:

FACTS device systems are used for dynamic control of voltage, impedance and voltage phase angle to improve the dynamic behavior of networks and the distribution and flow of power in networks. According to IEEE, the FACTS are defined as follows:

These are alternating current systems incorporating elements of power electronics and other static controllers for improved controllability and capacity of power flow.

Static Var Compensator (SVC): A static reactive energy generator (or absorber), shunt, whose output is adjusted in capacitive or inductive current in order to control specific parameters of the electrical network, typically the voltage. some knots.

The shunt device model (SVC) used as an efficient regulator of reactive energy, were integrated into the method of NEWTON RAPHSON and GAUSS_SIEDAL, the algorithm converged with a minimum number of iterations.

Keywords: FACTS, Static Compensator (SVC), reactive power, voltage control.

Notations et Symboles

| | |
|---------|---|
| FACTS | Flexible Alternating Current Transmission Systems. |
| SVC | Static Var Compensator; (Compensateur statique d'énergie réactive). |
| UPFC | Unified Power Flow Controller. |
| TCSC | Thyristor controlled series compensator. |
| DVR | Dynamic Voltage Restorer. |
| STATCOM | Compensateur statique synchrone; (Static Synchronous Compensator). |
| TCSC | Condensateur Série Commandé par thyristor; (Thyristor Controlled Série Capacitor) |
| SSSC | Static Synchronous Series Compensator. |
| TCSR | Thyristor Controlled Series Reactor. |
| UPFC | Contrôleur universel de flux de puissance; (Unified Power Flow Controller). |
| TCPAR | Thyristor Controlled Phase Angle Regulator |
| TSC | Thyristor Switched Capacitor, (ou CCT : Condensateurs commandés par thyristor). |
| TCR | Thyristor Controlled Reactor(ou RCT : Réactances commandées par thyristors). |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers. |
| PSDC | Power Swing Damping Control. |
| J.d.B | jeux de barres. |
| HT | haut tension. |
| MT | moyen tension. |
| FP | Le facteur de puissance. |
| S | la puissance apparente. |
| P | la puissance active . |
| Q | la puissance réactive. |
| Z | impédance série. |
| Y | admittance shunt. |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Fig I.1: Cas d'une consommation alimentée par une ligne depuis une centrale..... | 6 |
| Fig I.2: Creux de tension. | 6 |
| Fig I.3: Exemple de variations rapide de la tension. | 7 |
| Fig I.4: déséquilibre de tension. | 8 |
| Fig I.5: Exemple de surtension..... | 8 |
| Fig I.6: Représentations graphiques. | 10 |
| Fig I.7: Circuit équivalent en π d'une ligne électrique. | 11 |
| Fig I.8: Circuit équivalent du réseau électrique. | 12 |
| Fig. II.1: Réglage de la tension par compensateur. | 18 |
| Fig II.2: Schéma simplifié de Classification des dispositifs FACTS. | 20 |
| Fig II.3: Compensateurs Shunt..... | 21 |
| Fig II.4: Compensation série. | 22 |
| Fig III.1: Schéma d'un SVC de type TCR-FC..... | 27 |
| Fig III.2 Structure de base d'un SVC..... | 28 |
| Fig III.3. Structure du SVC. | 29 |
| Fig III.4:Caractéristique en tension d'un SVC. | 30 |
| Fig III.5: Exigences posées à la puissance réactive. | 31 |
| Fig .III.6: Caractéristique d'un SVC | 32 |
| Fig .III.7: Modélisation du SVC. | 33 |
| Fig .III.8: Variation de la puissance réactive par un SVC en fonction de la tension nodale..... | 34 |
| Fig.IV.1: Schéma d'un réseau test de 9 jeux de barres. | 43 |
| Fig.IV.4:VARIATION DE LA TENSION EN FONCTION DE L' INCREMENTATION DE LA CHARGE. | 47 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| tableau (IV-1):Résultats des tensions du réseau électrique –cas norm | 44 |
| tableau (IV-2):Résultats des tensions du réseau électrique –cas rupture de la ligne (1-2):..... | 44 |
| tableau (IV.3.) cas de l'augmentation de la charge avec: 20 % , 100% | 45 |
| tableau (IV.4.) Comparaison des résultats du chute de tension dans les réseaux (9 jeux de barres): | 47 |

Sommaire

| | |
|---|-----|
| Remerciements | |
| Résumé | i |
| Notations et Symboles | ii |
| Liste des figures | iii |
| Liste des tableaux | iv |
| Sommaire | v |
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre I: Généralité sur la puissance réactive et la tension | |
| I.1 Introduction: | 4 |
| I.2 La tension: | 4 |
| I.2.1 La qualité de la tension: | 4 |
| I.2.1.1 Amplitude: | 4 |
| I.2.1.2 Fréquence : | 5 |
| I.2.1.3 Forme d'onde : | 5 |
| I.2.1.4 Symétrie: | 5 |
| I.2.2 Dégradation de la qualité de la tension:..... | 5 |
| I.2.3 Les perturbantes de tension: | 6 |
| I.2.3.1 Chutes de tension : | 6 |
| I.2.3.2 Creux de tension: | 6 |
| I.2.3.3 Variation Lente de Tension:..... | 7 |
| I.2.3.4 Fluctuation ou Variation rapides de Tension (flicker):..... | 7 |
| I.2.3.5 Déséquilibre de tension : | 8 |
| I.2.3.6 Les surtensions : | 8 |
| I.3 La puissance réactive: | 9 |
| I.3.1 Importance de la puissance réactive: | 9 |
| I.3.2 Le facteur de puissance:..... | 9 |
| I.3.3 les Représentations graphiques:..... | 10 |
| I. 3.4. La tangente: | 10 |
| I.3.5 Bilan de la puissance réactive:..... | 10 |
| I.3.6 Transport de la puissance active et réactive: | 11 |
| I 3.7 Les contrôles dans le problème tension / puissance réactive:..... | 11 |
| I.4 Conclusion:..... | 14 |
| Chapitre II: système dispositif FACTS | |
| II.1 Introduction:..... | 16 |
| II .2 La Compensation de la puissance réactive: | 16 |
| II .2.1 Moyens de compensation de la puissance réactive: | 17 |

| | |
|---|----|
| II.2.1.1 Compensateurs synchrones: | 17 |
| II.2.1.2 Condensateurs:..... | 17 |
| II.2.1.3 Inductances: | 18 |
| II.2.1.4 Compensateurs FACTS: | 18 |
| II.3 Systèmes FACTS (Flexible alternative Current Transmission Systems): | 18 |
| II.4 Définition Les dispositifs FACTS: | 18 |
| II.5 Rôles des dispositifs FACTS: | 19 |
| II.6 Classification des dispositifs FACTS : | 19 |
| II.6.1.Classification selon la génération :..... | 19 |
| II.6.1.1. Génération I: | 19 |
| II.6.1.2. Génération II:..... | 19 |
| II.6.1.3.Génération III : | 19 |
| II.6.2. Classification selon la catégorie:..... | 20 |
| II.7 Types des dispositifs FACTS: | 20 |
| II.7.1 Compensateurs Parallèles:..... | 21 |
| II.7.2 Compensateurs série:..... | 22 |
| II.7.3 Compensateurs hybrides (série-série et shunt-série):..... | 23 |
| II.8 Coût des dispositifs FACTS: | 23 |
| II.9 Les avantages et les Inconvénients de la technologie des dispositifs FACTS:..... | 23 |
| II.9.1 Avantage: | 23 |
| II.9.2 Inconvénients: | 23 |
| II.10 Conclusion: | 24 |

Chapitre III: système de compensation shunt (SVC)

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction: | 26 |
| III.2 Compensateur statique de l'énergie réactive (SVC):..... | 26 |
| III.2.1 Définition du SVC: | 26 |
| III.2.2.Principe de fonctionnement du SVC: | 28 |
| III.2.3 Caractéristiques d'un compensateur statique SVC: | 29 |
| III.2.3.1 Caractéristique en tension d'un SVC: | 29 |
| III.2.3.2 Caractéristique de puissance réactive d'un SVC:..... | 30 |
| III.3 Rôle du compensateur statique d'énergie réactive (SVC) : | 31 |
| III.3 Modélisation du dispositif SVC: | 33 |
| III.3.1 Modèle de compensateur statique de puissance réactive SVC: | 33 |
| III.3.2 Valeurs de consigne du dispositif SVC: | 34 |
| III.4Utilisation de SVC:..... | 35 |
| III.4.1 Améliorer les niveaux de tension sur un jeu de barres ou une région: | 35 |
| III.5 Avantages et Inconvénients des SVC:..... | 35 |
| III.5.1Avantage du SVC: | 35 |
| III.5.2 Inconvénients des SVC:..... | 36 |
| III.6 Conclusion: | 37 |

Chapitre IV: Application

IV.1. Description générale:..... 39

IV.2. L'organigramme globale de l'intégration de SVC 40

IV.3. L'organigramme détaillée:..... 41

IV.4. Application:(programmation); compensation shunt avec SVC:..... 43

 IV.4.1. les résultats de programmation :(réseau 9 jeux de barres)..... 44

IV .5:Interprétation: 47

Conclusion Générale 49

Bibliographie 50

Introduction générale

De nos jours, les problèmes liés au fonctionnement des réseaux de transport et de production d'énergie électrique ont pris une importance considérable. Face à une consommation d'électricité qui ne cesse d'augmenter et à des conditions d'environnement très contraignantes, les réseaux d'énergie électrique ont tendance à s'accroître et deviennent de plus en plus maillés et interconnectés. Le transport se fait, en outre, sur de longues distances en utilisant des lignes de grande capacité de transport. Cette complexité de structure a de très nombreuses conséquences. La difficulté de maintenir un profil de tension acceptable a substantiellement augmenté.

La stabilité de tension du réseau est alors caractérisée par sa capacité de maintenir la tension aux bornes de la charge dans les limites spécifiées dans le fonctionnement normale

Les éléments qui permettent le contrôle et l'amélioration des systèmes électrique sont les dispositifs conventionnels et les dispositifs FACTS « *Flexible Alternating Current Transmission System* ». 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 donnent 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'étude de l'écoulement de puissance (load flow) permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent. Elles permettent aussi de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux. Généralement, l'écoulement optimal de puissance réactive vise comme principaux objectifs, la réduction des coûts de production, l'amélioration de la qualité et la fiabilité du système en maintenant les tensions dans leurs limites permises ainsi que

l'augmentation de la marge de sécurité du système. Durant les deux dernières décennies, beaucoup d'efforts ont été consacrés au développement des méthodes mathématiques pour la résolution du problème d'optimisation de la puissance réactive. [1]

L'objectif de ce modeste travail est la contribution du SVC à l'amélioration du comportement du réseau par la compensation de la puissance réactive et du maintien de la tension des lignes de transport électriques.

Ce mémoire est scindé en quatre chapitres:

Dans le premier chapitre on montre la Généralité sur la puissance réactive et la tension.

Dans le deuxième chapitre on montre la système de compensation statique (FACTS).

Dans le troisième chapitre on montre la système de compensation shunt (SVC).

Dans le quatrième chapitre on propose un programme a été fait sur le logiciel MATLAB. puis on a analysé les résultats obtenue par logiciel.

On termine par une conclusion générale où on donnera une synthèse des résultats.

Chapitre I:

Généralité sur la puissance réactive et la tension

Chapitre I:

Généralité sur la puissance réactive et la tension

I.1 Introduction:

La gestion du réseau électrique ne consiste pas seulement à faire en sorte que les transits soient inférieurs aux capacités de transport de chaque ouvrage du réseau. Il faut également surveiller plusieurs paramètres techniques, dont la puissance réactive et 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'il maintient à leurs bornes. Il est évident que la qualité et la continuité de la tension est devenue un sujet stratégique pour plusieurs raisons concernant l'exploitation des réseaux électriques [2].

I.2 La tension:

I.2.1 La qualité de la tension:

La qualité d'énergie ou de la tension est le concept d'efficacité de classer les équipements sensibles d'une manière qui convient à l'opération de l'équipement. Pour rappel, la tension possède quatre caractéristiques principales [3] [4]: amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie .

I.2.1.1 Amplitude:

L'amplitude de la tension est un facteur crucial pour la qualité de l'électricité. Elle constitue en général le premier engagement contractuel du distributeur d'énergie. Habituellement, l'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale.

Dans le cas idéal, les trois tensions ont la même amplitude, qui est une constante. Cependant, plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de l'amplitude on distingue deux grandes familles de perturbations :

- Les creux de tension, coupures et surtensions. Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale origine des courts -circuits, et peuvent avoir des conséquences importantes pour les équipements électriques.

- Les variations de tension. Ces perturbations se caractérisent par des variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. Elles sont généralement dues à des charges fluctuantes ou des modifications de la configuration du réseau.

I.2.1.2 Fréquence :

Dans le cas idéal, les trois tensions sont alternatives et sinusoïdales d'une fréquence constante de 50 ou 60 Hz selon le pays. Des variations de fréquence peuvent être provoquées par des pertes importantes de production, de l'îlotage d'un groupe sur ses auxiliaires ou son passage en réseau séparé, ou d'un défaut dont la chute de tension résultante entraîne une réduction de la charge [5].

I.2.1.3 Forme d'onde :

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde, la tension n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, alors dénommés bruits.

I.2.1.4 Symétrie:

La symétrie d'un système triphasé se caractérise par l'égalité des modules des trois tensions et celle de leurs déphasages relatifs. La dissymétrie de tels systèmes est communément appelé déséquilibre [5].

I.2.2 Dégradation de la qualité de la tension:

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de : [2] [6]

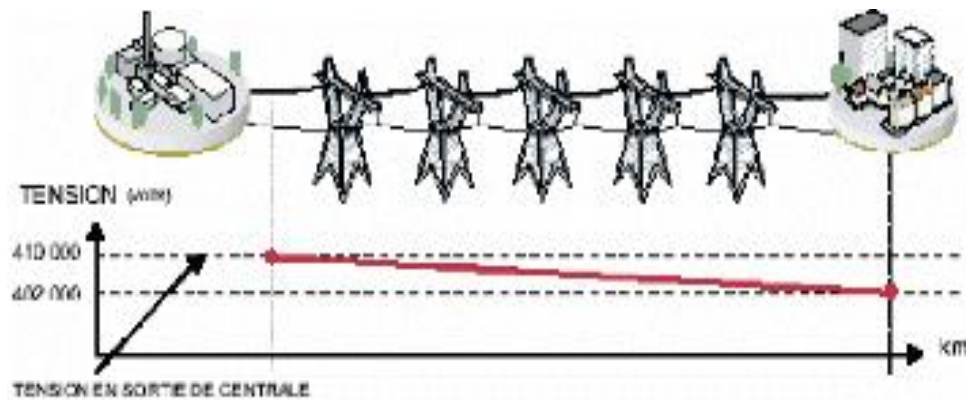
- Défauts dans le réseau électrique ou dans les installations des clients : court-circuit dans un poste, une ligne aérienne, un câble souterrain, etc., ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), matérielles (vieillessement d'isolants...) ou humaines (fausses manoeuvres, travaux de tiers...);
- Installations perturbatrices : fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc....

Les principaux phénomènes pouvant affecter la qualité de la tension - lorsque celle-ci est présente - sont brièvement décrits ci-après.

I.2.3 Les perturbantes de tension:

I.2.3.1 Chutes de tension :

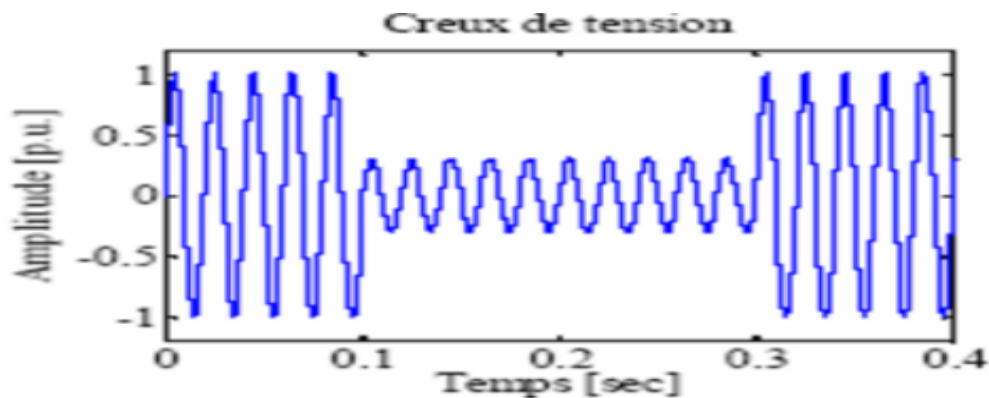
Lorsque le transit dans une ligne électrique est assez important, la circulation du courant dans la ligne provoque une chute de la tension (figure I.1). La tension est alors plus basse en bout de ligne qu'en son origine, et plus la ligne est chargée en transit de puissance, plus la chute de tension sera importante.



FigI.1: Cas d'une consommation alimentée par une ligne depuis une centrale.

I.2.3.2 Creux de tension:

Les creux de tension sont produits par des courts-circuits survenant dans le réseau général ou dans les installations de la clientèle (figure I.4). Seules les chutes de tension supérieures à 10 % sont considérées ici (les amplitudes inférieures rentrent dans la catégorie des “fluctuations de tension”). Leur durée peut aller de 10 ms à plusieurs secondes, en fonction de la localisation du court-circuit et du fonctionnement des organes de protection (les défauts sont normalement éliminés en 0.1-0.2 s en HT, 0.2 s à quelques secondes en MT).



FigI.2: Creux de tension.

Ils sont caractérisés par leurs: amplitude et durée et peuvent être monophasés ou triphasés selon le nombre de phases concerné.

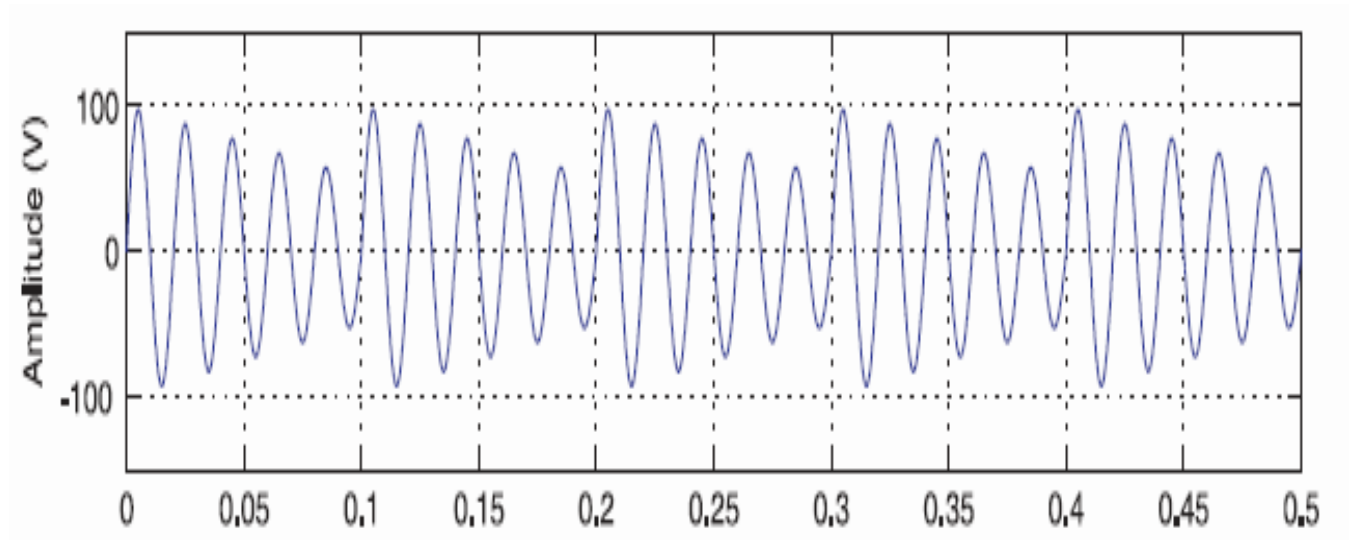
Les creux de tension peuvent provoquer le déclenchement d'équipements, lorsque leur profondeur et leur durée excèdent certaines limites (dépendant de la sensibilité particulière des charges). Les conséquences peuvent être extrêmement coûteuses (temps de redémarrage se chiffrant en heures, voire en jours ; pertes de données informatiques ; dégâts aux produits, voire aux équipements de production...) [4].

I.2.3.3 Variation Lente de Tension:

La valeur efficace de la tension varie continuellement, en raison de modifications des charges alimentées par le réseau. Les appareils usuels peuvent supporter sans inconvénients des variations lentes de tension dans une plage d'au moins de $\pm 10\%$ de la tension nominale[8]

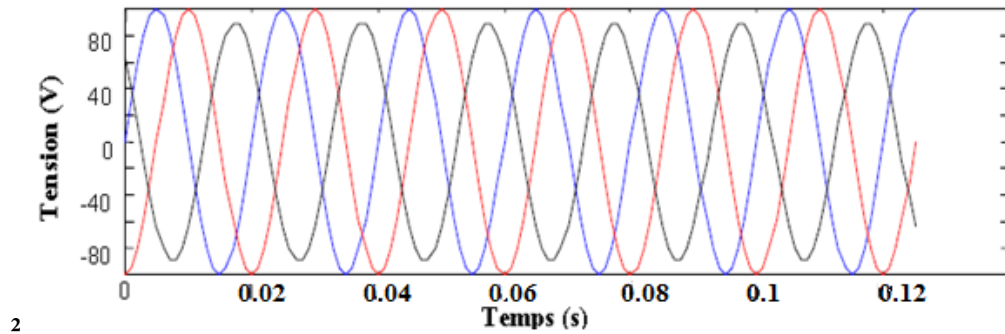
I.2.3.4 Fluctuation ou Variation rapides de Tension (flicker):

Dans les installations où il y a des variations rapides de puissance absorbée ou produite ou des démarrages fréquents (soudeuses, éoliennes, fours à arc pendant la période de fusion, compresseurs, générateurs d'air conditionné, ...), on observe des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires [9].



FigI.3: Exemple de variations rapide de la tension.

I.2.3.5 Déséquilibre de tension :

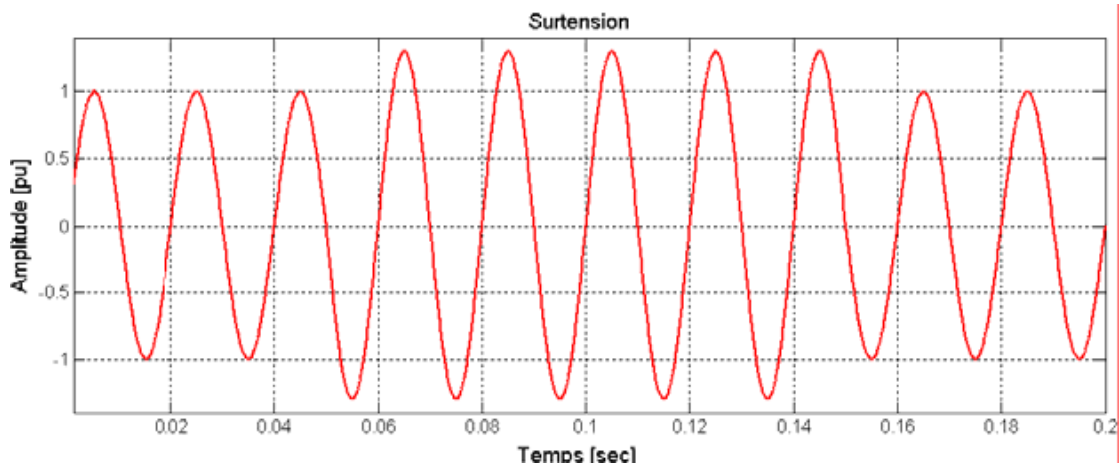


FigI.4: déséquilibre de tension.

L'inégalité en amplitude des tensions des trois phases est due à l'inégalité des puissances appelées sur chaque phase. Ce déséquilibre résulte essentiellement de la présence de fortes charges monophasées raccordées de manière non uniforme au réseau.

I.2.3.6 Les surtensions :

On qualifie de surtension toute tension fonction de temps qui dépasse la tension de crête de régime permanent.



FigI.5: Exemple de surtension.

Elles sont dues aux coups de foudres directs (qui tombent sur une ligne ou une Structure) et indirects (qui tombent sur la terre et augmentent son potentiel) [10].

I.3 La puissance réactive:

Le transport de la puissance réactive à longue distance présente une série d'inconvénients tels-que les chutes de tension considérables, les pertes de ligne par effet joule et moins de capacité pour transporter la puissance active.

A l'exception de ces aspects purement statiques, la puissance réactive peut jouer un grand rôle dans d'autres aspects dynamiques, tels-que les fluctuations de tension produites par les variations soudaines des charges, le phénomène flicker [13], et une meilleure marge pour la stabilité.

Actuellement, avec la complexité des réseaux, la participation des générateurs dans la production de l'énergie réactive est devenue insuffisante. Elle est générée en grande partie par les moyens de compensation existants ou en période creuse, par les lignes de transport.

Afin de garantir une bonne qualité d'énergie il est nécessaire de satisfaire l'équilibre offre-demande de l'énergie réactive, de fournir une tension aussi régulière que possible et de respecter un certain nombre de contraintes techniques [14].

I.3.1 Importance de la puissance réactive:

L'énergie réactive est un facteur très important qui influe sur la stabilité et l'équilibre du réseau électrique, ainsi que son fonctionnement. Les effets secondaires de ce facteur se résume dans les points suivants :

- a) La chute de tension dans les lignes et les postes de transformation.
- b) Les pertes supplémentaires actives dans les lignes, les transformateurs et les générateurs.
- c) Les variations de tension du réseau sont étroitement liées à la fluctuation de la puissance réactive dans le système de production. [15]

I.3.2 Le facteur de puissance:

Par définition le facteur de puissance autrement **FP** dit le **cos ϕ** d'un appareil électrique est égal au rapport de la puissance active **P** (kW) sur la puissance apparente **S** (kVA) et peut varier de **0** à **1**.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{I-1})$$

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

Un facteur de puissance égal à **1** ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (**résistance**).

Un facteur de puissance inférieur à **1** conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de **0 (inductance)**. [16]

I.3.3 les Représentations graphiques:

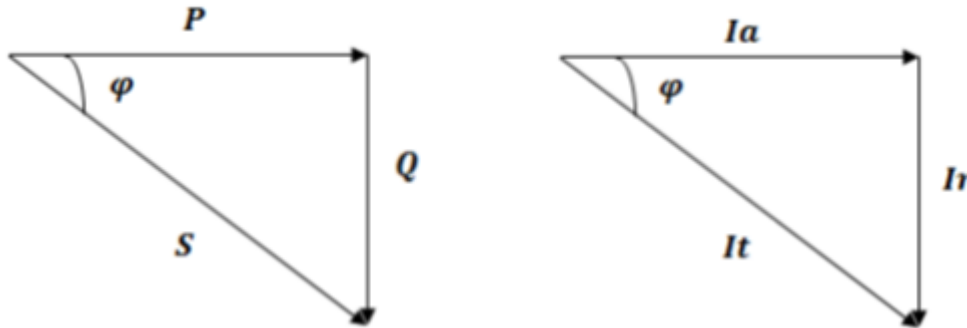


Fig I.6: Représentations graphiques.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (\text{I-2})$$

I. 3.4. La tangente

Certains facteurs d'électricité (abonnés tarif vert) indiquent la valeur de $\tan \varphi$ qui correspond à l'énergie réactive que le distributeur doit fournir une puissance active donnée [14].

$$\tan \varphi = \frac{\text{puissance réactive}}{\text{puissance active}} = \frac{Q(\text{VAR})}{P(\text{W})} \quad (\text{I.3})$$

I.3.5 Bilan de la puissance réactive:

Le bilan de puissance réactive du réseau s'écrit :

$$\sum Q_{GL} = \sum Q_{CO} + \text{générations ou consommations réactive du réseau} \quad (\text{I.4})$$

Q_{GL} : Puissance réactive absorbée.

Q_{CO} : Puissance réactive consommée.

La somme des puissances réactives injectées ou absorbées par les générateurs est égale à la somme des puissances réactives consommées/produites par les charges augmentées de la somme des consommations/productions réactives du réseau (réactance des lignes, des câbles, transformateurs, banc de condensateurs etc.).

L'ordre de grandeur des consommations/productions réactives du réseau est très variable et peut être relativement élevé.

Le problème qui survient à ce niveau est qu'il n'est pas possible de prédire les termes qui viennent du réseau de manière directe. En effet, ceux-ci dépendent des niveaux réels de tension et de

la répartition du transit de puissance dans les lignes et les transformateurs. Or, c'est précisément ce transit que nous cherchons à déterminer [17].

I.3.6 Transport de la puissance active et réactive:

Quand un régime permanent de circulation d'énergie est établi dans un réseau électrique. On peut écrire les équations reliant les puissances actives P_i et réactives Q_i injectées ou soutirées en chaque sommet i et les tensions en modules $|V|$ et phases θ .

La détermination des tensions et courants sur une ligne électrique peut être effectuée en utilisant la notation complexe [15]. En schématisant chaque liaison (du sommet i au sommet k) par un π symétrique tel que ($i=1, k=2$).

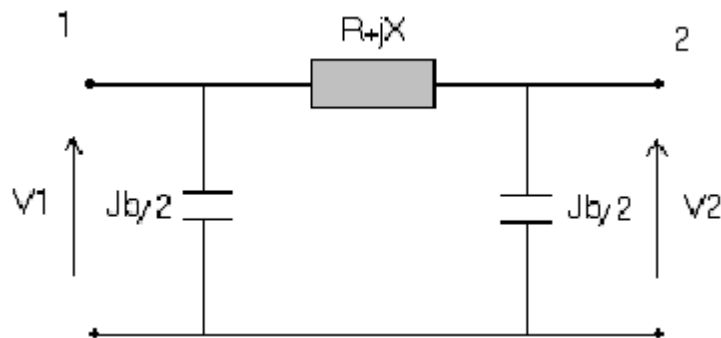


Fig I.7: Circuit équivalent en π d'une ligne électrique.

Les lignes sont normalement spécifiées par :

- Une impédance série : $Z=R + jX$ (I-5)
- Une admittance shunt : $Y=G + jB$ (I-6)

En pratique G est extrêmement petit ($G=0$) et par conséquent $jB=jC\omega$ ou B représente la susceptance shunt. [15]

I 3.7 Les contrôles dans le problème tension / puissance réactive:

Un système est dit bien conçu s'il peut délivrer une énergie d'alimentation fiable et de bonne qualité par bonne qualité on entend un niveau de tension dans des limites acceptables.

Chaque fois que le niveau de tension en un point du système est soumis à des variations cela est dû à un déséquilibre entre la puissance fournie et consommée.

En effet quand une charge est alimentée à travers une ligne de transmission dont la tension de départ est constante, la tension de la charge dépend de l'amplitude de la charge et du facteur de puissance de la charge. La variation de tension en un nœud est un indicateur de déséquilibre entre la

puissance réactive délivrée et celle consommée cependant une importation de la puissance réactive donne une augmentation des pertes de puissances et de la chute de tension à travers l'impédance d'alimentation.[4]

a- Chute de tension sur une ligne:

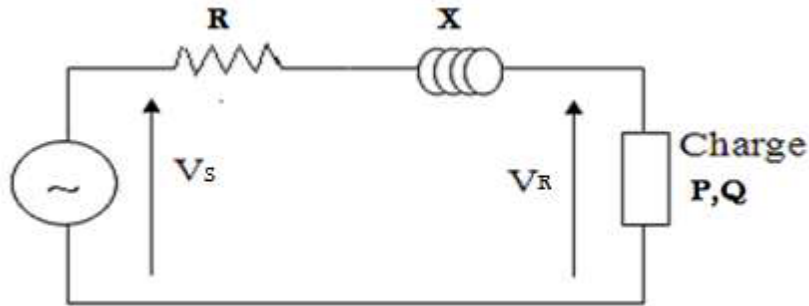
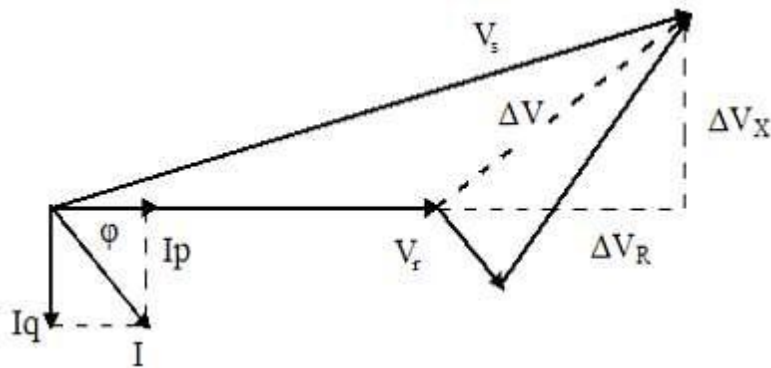


Fig I.8: Circuit équivalent du réseau électrique.

Afin d'illustrer les relations entre la puissance réactive et la chute de tension, considérons le circuit équivalent ci-dessous. La chute de tension due au courant I dans l'impédance.

$$Z=R+jX \text{ est } \Delta V=ZI=V_s-V_r \quad (I-7)$$

Si nous traçons le diagramme vectoriel de ce circuit.



$$S=V_r * I^* = P+jQ \quad (I-8)$$

$$I=(P-jQ)/V_r \quad (I-9)$$

$$\Delta V=ZI=(R+jX)(P-jQ)/V_r \quad (I-10)$$

$$\Delta V=(RP+QX)/V_r+j(XP-QR)/V_r \quad (I-11)$$

$$\Delta V=\Delta VR+j\Delta VX \quad (I-12)$$

C'est-à-dire que la chute de tension a une composante ΔVR en phase avec V_r et une composante ΔVX en quadrature avec V_r .

Il est clair que la chute de tension dépend simultanément de la puissance active et réactive de la charge.

Comme $\Delta V = V_1 - V_2$ donc $V_1 = V_2 + \Delta V$ et en considérant de 1 .

$$|V|^2 = (V_2 + \Delta V R)^2 + (\Delta V X)^2 \quad (I-13)$$

$$|V_1|^2 = \left(\frac{R P_D + Q_D X}{V_2} V_2 \right)^2 + \left(\frac{X P_D + Q_D R}{V_2} \right)^2 \quad (I-14)$$

Comme $\Delta V X < (V_2 + \Delta V R)$ on peut approximer :

$$|V_1|^2 = \left(\frac{R P_D + Q_D X}{V_2} V_2 \right)^2 \quad (I-15)$$

$$V_1 - V_2 = \left(\frac{R P_D + Q_D X}{V_2} V_2 \right) \quad (I-16)$$

Puisque la réactance X est le paramètre prédominant dans l'impédance du réseau c'est-à-dire $R X$, on peut écrire que :

$$\Delta V = V_1 - V_2 \approx \frac{X Q_D}{V_2} \quad (I-17)$$

Donc la cause de la chute de tension à travers une impédance est due principalement au courant réactif passant dans cette impédance, ou en d'autres termes elle est due à la variation de la puissance réactive.

Pour maintenir V_2 constante si la courant I change, il faut varier la puissance réactive au point de raccordement de la charge.

b) Contrôle de la tension:

La chute de tension sur un élément de réseau s'exprime par :

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{X P_D + Q_D R}{V_2} \approx \frac{X Q_D}{V_2} \quad (I-18)$$

L'examen de cette équation montre que pour maintenir V_2 constante au niveau du consommateur. On dispose de plusieurs solutions à savoir :

- Augmentation de la tension de départ V_1 .
- Diminution de la réactance de la ligne par insertion de réactance capacitive.
- Fourniture de la puissance réactive au niveau des usagers (compensation de la puissance réactive). Cette compensation peut être obtenue soit par :
 - ✚ la connexion de capacité shunts
 - ✚ la connexion de compensateur synchrone
 - ✚ a connexion de réactance shunt (pour les faibles charges, ou charges capacitatives) [18]

I.4 Conclusion:

Ce chapitre a traité les différents phénomènes perturbateurs qui influents sur la qualité de tension, ainsi les différents moyens de compensation conventionnelle de la puissance réactive.

Cela nous persuade que le contrôle de tension et la puissance réactive est un objectif important pour maintenir un profil adéquat dans les réseaux électriques.

Actuellement il existe une méthode moderne et sophistiqué pour le contrôle de tension et pour la puissance réactive dans les réseaux électriques. Cette méthode utilise les dispositifs FACTS (basées sur l'électronique de puissance) qu'ils seront traités en détail dans le prochain chapitre.

Chapitre II:

systeme dispositif FACTS

Chapitre II:

système dispositif FACTS

II.1 Introduction:

Les moyens classiques de compensation de l'énergie réactive comme les bancs de condensateurs, le moteur synchrone surexcité présentent plusieurs inconvénients, où la valeur de la puissance réactive injectée au réseau reste indifférente aux changements de l'appel de puissance du réseau ce qui provoquera des conséquences néfastes (échauffement, surtension, chute de tension,...). Ainsi le recours à un système flexible avec les demandes de puissance instantanées est devenu inévitable [22]. Les dispositifs FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) sont des moyens utilisés pour augmenter la puissance transmissible [23]. Ils permettent de repousser les limites de stabilité et de transit de puissance en modifiant artificiellement la longueur électrique apparente de la ligne [24]. L'UPFC (Unified Power Flow Controller), est l'un des plus performants des systèmes FACTS. Il est capable de contrôler simultanément et indépendamment la puissance active et la puissance réactive de la ligne. Il peut améliorer la stabilité transitoire des générateurs connectés aux réseaux et garantir une bonne fiabilité de fonctionnements des générateurs de production [25]

II .2 La Compensation de la puissance réactive:

Le bilan global de la puissance réactive produite et consommée dans l'ensemble du système électrique doit être équilibré. Toutefois, l'équilibre local n'est pas naturel. Il en résulte des transits de la puissance réactive. Or, ces transits provoquent des chutes de tension et des pertes. Il faut, donc, éviter ces transits par la production de la puissance réactive, autant que possible, à l'endroit où elle est consommée.

Les variations de tension du réseau sont étroitement liées aux fluctuations de la puissance réactive dans le système de production et de transport. Ceci tient au fait que la puissance réactive intervient de manière importante dans l'expression de la chute de tension.

L'analyse des variations de la demande de la puissance réactive montre que le problème de l'adaptation offre-demande présente deux aspects qui nécessitent l'emploi de dispositifs aux caractéristiques très différentes [4]:

✚ le premier consiste à suivre les fluctuations périodiques. Celles-ci sont connues, tout au moins pour les charges dans une large mesure prévisible. Une grande part de l'ajustement peut donc être

réalisée à l'aide de moyen dont l'action est discontinue et le temps de réponse relativement long. Cette catégorie comprend les batteries de condensateurs et les inductances installées sur les réseaux .

✚ le second consiste à faire face aux variations brusques et aléatoires. Ceci nécessite la mise en œuvre de moyens dont le temps de réponse est très court. Cette catégorie comprend les groupes de production ainsi que les compensateurs synchrones et les compensateurs statiques.

II .2.1 Moyens de compensation de la puissance réactive:

II .2.1.1 Compensateurs synchrones:

Il s'agit d'un moteur synchrone tournant à vide, sans aucune charge utile. Il fournit ou consomme alors de la puissance réactive vis-à-vis du réseau; il se comporte comme une charge capacitive (inductive), sans que les effets secondaires des bancs de condensateurs pour courant alternatif entrent en jeu.

En effet, il faut savoir que la plupart des moteurs dans une installation industrielle classique sont des moteurs asynchrones, eux-mêmes consommateurs de puissance réactive. Pour ne pas dégrader le facteur de puissance ($\cos \phi$) de l'installation électrique, on place alors le compensateur synchrone, qui comme dit précédemment, n'est rien d'autre qu'un moteur synchrone qu'on surexcite (capacitif) ou qu'on sous excite (inductif). L'avantage de ces compensateurs synchrones sur les bancs de condensateurs est que l'on peut faire varier la puissance réactive produite en jouant sur l'excitation du moteur. La régulation peut se faire sur une consigne de tension de l'installation ou de facteur de puissance.

Cette technologie est de moins en moins utilisée, actuellement, et est remplacée par celle des compensateurs statiques.

II.2.1.2 Condensateurs:

Le condensateur est le moyen le plus conventionnel pour la compensation de la puissance réactive. La puissance réactive fournie par le condensateur est directement proportionnelle au carré de la tension à ces bornes. S'il est connecté en parallèle (shunt), (**Fig. II.1.a**), la tension à ces bornes augmente ce qui permet d'augmenter la puissance où il est connecté. Lorsqu'il est mis en série (**Fig. II.1.b**), il permet aussi de compenser une partie de la puissance réactive absorbée par la réactance de la ligne, tout en diminuant la réactance sommaire de ligne. En pratique, on utilise des batteries de condensateurs pour pouvoir varier la puissance réactive en cas de besoin. Le condensateur est un moyen simple mais il n'est pas bien adapté aux variations de charge [20].

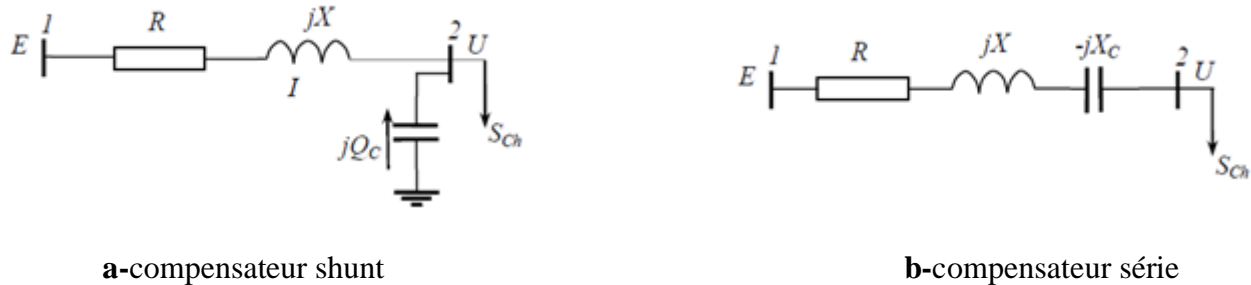


Fig. II.1: Réglage de la tension par compensateur.

II.2.1.3 Inductances:

La réactance est très utilisée pour le réglage de la tension dans les lignes de transport sur des grandes distances, en régime de minimum de charge ou en régime à vide. En effet, pour ces régimes, la ligne est soumise à l'injection « excessive » de sa propre puissance réactive ; laquelle est d'autant plus importante que la longueur est plus longue. En l'absence d'installation de son absorption (par une réactance régulatrice), la ligne peut être le siège de surtension considérable.

II.2.1.4 Compensateurs FACTS:

Les compensateurs FACTS sont des compensateurs modernes qui offrent la possibilité d'un réglage automatique de la tension. Parmi les compensateurs FACTS, on trouve des compensateurs shunts comme le SVC (Static Var Compensator), le STATCOM (Static Compensator), et des compensateurs séries comme le TCSC (Thyristor controlled series compensator), ou le DVR (Dynamic Voltage Restorer). Néanmoins, la fonction de ce dernier est un peu différente, puisque il sert à corriger les creux de tension et à rétablir la tension suite à une coupure brève [20].

II.3 Systèmes FACTS (Flexible alternative Current Transmission Systems):

Les systèmes FACTS (ou D-FACTS en réseau de distribution : Distribution FACTS) ont été développés pour maintenir la tension dans les limites admissibles et limiter les transits de puissance réactive. Ces systèmes à base d'électronique de puissance utilisent les performances de contrôle offertes par l'utilisation de cette technologie. Une liste non exhaustive des moyens de réglages par compensation d'énergie réactive va être donnée. [2]

II.4 Définition Les dispositifs FACTS:

Les dispositifs FACTS sont des dispositifs basés sur l'électronique de puissance et d'autres dispositifs statiques utilisés pour accroître la contrôlabilité et augmenter la capacité de transfert de puissance du réseau.

Avec leurs aptitudes à modifier les caractéristiques apparentes des lignes, les FACTS sont capables d'accroître la capacité du réseau dans son ensemble en contrôlant le transit de puissance. [24]

II.5 Rôles des dispositifs FACTS:

Les FACTS sont utilisés dans les réseaux dans les deux contextes suivants :

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

II.6 Classification des dispositifs FACTS :

II.6.1. Classification selon la génération :

Depuis les premiers compensateurs, trois générations de dispositifs FACTS ont vu le jour. Elles se distinguent par la technologie des semi-conducteurs et des éléments de puissance utilisés.

II.6.1.1. Génération I:

Basée sur les thyristors classiques. Ceux-ci sont généralement utilisés pour enclencher ou déclencher les composants afin de fournir ou absorber de la puissance réactive dans les transformateurs de réglage.

II.6.1.2. Génération II:

Dite avancée, est née avec l'avènement des semi-conducteurs de puissance commander à la fermeture et à l'ouverture, comme le thyristor GTO. Ces éléments sont assemblés pour former les convertisseurs de tension ou de courant afin d'absorber ou d'injecter des courants (tensions) contrôlables dans le réseau.

II.6.1.3. Génération III :

FACTS utilisant des composants hybrides et qui sont adaptée à chaque cas. Contrairement aux deux premières générations, celle-ci n'utilisent pas des dispositifs auxiliaires encombrants tels que des transformateurs pour le couplage avec le réseau[28].

II.6.2. Classification selon la catégorie:

Les dispositifs FACTS se divisent en trois importantes catégories des dispositifs shunt, série, et dispositifs combinés (shunts et séries avec le système) selon leur façon de se connecter au réseau comme représenté sur la Figure (II -1).

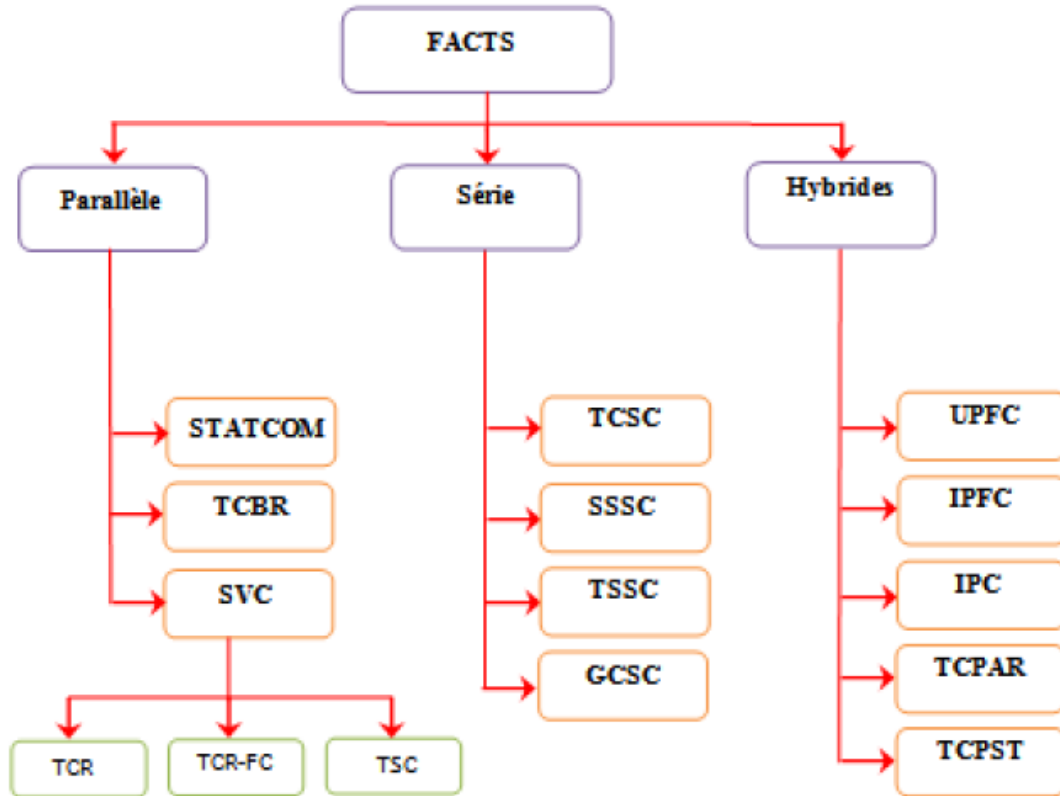


Fig II.2: Schéma simplifié de Classification des dispositifs FACTS.

Ces catégories peuvent aussi être décomposées en deux générations selon la technologie utilisée. La première génération est à base de thyristors et la deuxième génération à base de GTO thyristors [5].

II.7 Types des dispositifs FACTS:

Typiquement les systèmes FACTS sont divisés en trois catégories:

- Les compensateurs parallèles.
- Les compensateurs séries.
- Les compensateurs hybrides (série - parallèle).

II.7.1 Compensateurs Parallèles [15]:

Les compensateurs parallèles sont utilisés depuis longtemps dans les réseaux électriques, leurs objectifs principaux sont le contrôle des tensions aux niveaux désirés lorsqu'il y a un changement sur les conditions du système et l'accroissement de la puissance transmissible dans les lignes.

Le principe de compensation consiste à fournir ou à absorber de la puissance réactive de façon à modifier les caractéristiques naturelles des lignes pour les rendre plus compatibles avec la charge, de façon que le temps de réponse soit très court, Actuellement, le compensateur parallèle le plus utilisé dans les réseaux électriques est le:

SVC Compensateur statique d'énergie réactive (Static Var Compensator);

STATCOM Compensateur statique synchrone (Static Synchronous Compensator).

Ils consistent en une impédance variable, source variable ou une combinaison des deux.

Ils injectent un courant dans le réseau à travers le point de connexion. Ils sont principalement pour contrôler les tensions des nœuds [16].

Le courant réactif est injecté dans la ligne pour maintenir la magnitude du voltage. La puissance active transmissible est augmentée mais la puissance réactive sera plus fournie **figure II.5** [17]

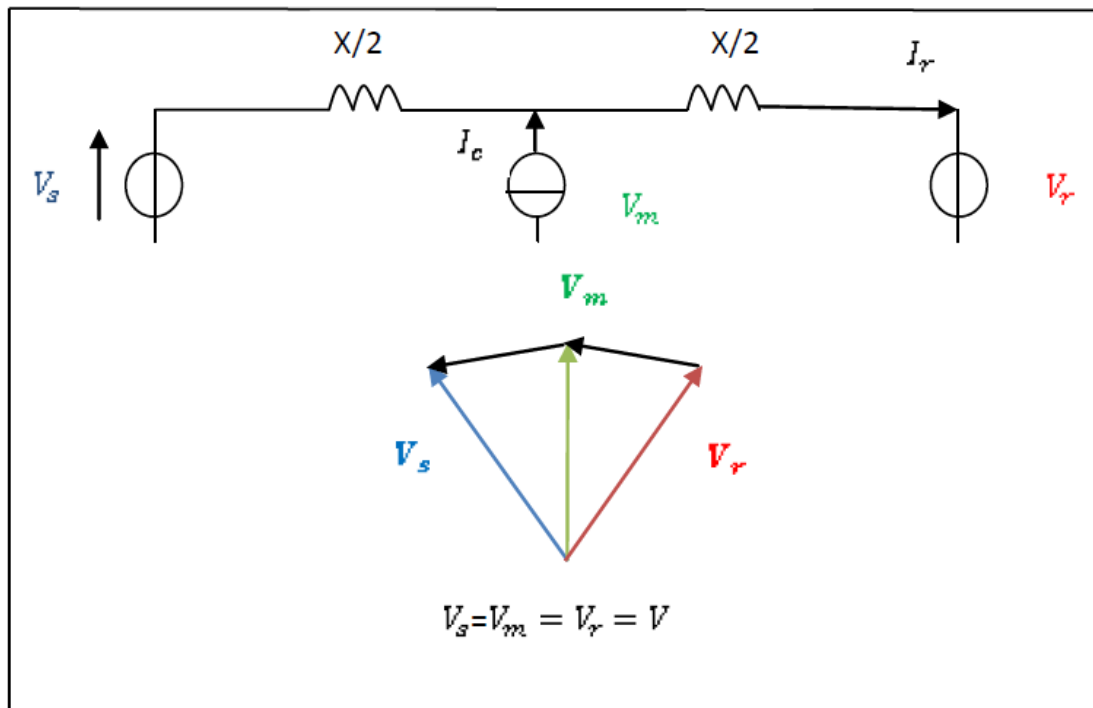


Fig II.3: Compensateurs Shunt.

II.7.2 Compensateurs série [15]:

Les dispositifs FACTS de compensation série sont des impédances variables (inductives, capacitatives) ou des sources de tensions variables employées afin de réduire la partie réactive de l'impédance de la ligne, Ils agissent généralement en insérant une tension capacitive sur la ligne de transport qui permet de compenser la chute de tension inductive (**Figure II.4**).

Leurs applications principales sont:

- La commande statique et dynamique des flux de puissances ;
- Amélioration de la stabilité angulaire;
- L'amortissement des oscillations de puissance;
- L'équilibrage des flux de charge dans les réseaux de transport ;
- Réduction des problèmes dus aux phénomènes de résonance sub synchrone ;
- Prévention des risques de rupture des arbres mécaniques,

Les compensateurs séries les plus connus sont les :

TCSC : Condensateur Série Commandé par thyristor, (Thyristor Controlled Série Capacitor) SSSC (Static Synchronous Series Compensator)

TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor)

Les FACTS dans la compensation série modifient l'impédance de la ligne : la réactance (X) de la ligne est diminuée, donc augmenter la puissance active transmissible. Cependant la puissance réactive doit être plus fournie (**Figure II.4**) [17].

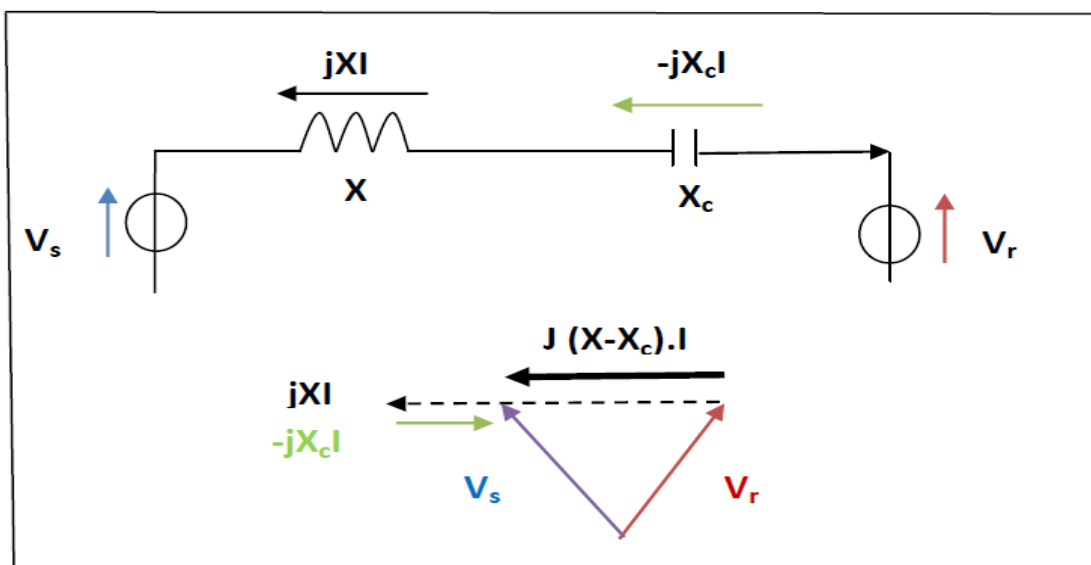


Fig II.4: Compensation série.

II.7.3 Compensateurs hybrides (série-série et shunt-série) [17]:

C'est une combinaison des dispositifs séries et shunts commandée d'une manière coordonnée afin d'accomplir un contrôle prédéfini. Ils sont donc capables d'agir sur les trois paramètres (tension, impédance et angle de déphasage) qui permettent de contrôler le transit de puissance sur une ligne de transport.

Un des compensateurs hybrides les plus connus sont les :

- UPFC : Contrôleur universel de flux de puissance, (Unified Power Flow Controller).
- TCPAR (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator).

II.8 Coût des dispositifs FACTS:

Mis à part les avantages techniques apportés par les FACTS, d'autres critères liés au coût doivent être pris en considération dans la décision d'installer un dispositif. Sur le plan économique, le critère généralement adopté dans l'évaluation des bénéfices obtenus par un FACTS est que l'accroissement des revenus doit excéder les coûts d'exploitations, de maintenance et d'amortissement de l'installation.

Le coût d'une installation FACTS dépend principalement des facteurs tels que les performances requises, la puissance de l'installation, le niveau de tension du système ou encore la technologie du semi-conducteur utilisé.

II.9 Les avantages et les Inconvénients de la technologie des dispositifs FACTS:

II.9.1 Avantage:

- Contrôle de la boucle de l'écoulement de puissance.
- Augmente la sécurité des systèmes énergétiques (augmentation de la limite de la stabilité transitoire, amortissement des oscillations ...).
- Réduction de l'écoulement de la puissance réactive, ce qui permettra ainsi à la ligne de transporter plus de puissance active.
- Optimise les puissances générées, donc réduire le coût de production de l'énergie.

II.9.2 Inconvénients:

L'introduction des harmoniques du réseau électrique ce qui le rend pollué, c'est-à-dire le signal sera tendu et non sinusoïdale. Il rend le réseau vulnérable au sur tension dues aux commutations répétitives[18].

II.10 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'importance de la puissance réactive ainsi que les dispositifs conventionnels et les dispositifs FACTS qui peuvent assurer la compensation de l'énergie réactive et les avantages de la technologie des dispositifs FACTS. C'est pour cette raison, qu'une optimisation des puissances réactives a été établie tout en introduisant les dispositifs de compensation et en respectant les limites permises de la tension.

Enfin Les dispositifs FACTS en générale permettent donc un contrôle amélioré des systèmes électriques déjà en place. Ces dispositifs font en général appel à de l'électronique de puissance. Ces dispositifs joue un rôle important dans le contrôle des transits de puissance et dans le maintien de conditions d'exploitation sûres du réseau de transport.

Chapitre III:

systeme de compensation shunt (SVC)

Chapitre III:

système de compensation shunt (SVC)

III .1 Introduction:

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 la barre où il est branché de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge, le SVC tire le courant capacitif ou inductif du réseau. Le contrôle approprié de cette réactance équivalente permet le règlement de grandeur de tension au point de SVC de raccordement [6].

Un SVC est généralement constitué D'un ou plusieurs bancs de condensateurs fixes ou commutables soit par disjoncteur soit par thyristors TSC (Thyristor Switched Capacitor) et d'une réactance réglable TCR (Thyristor Controlled Reactor) le courant traversant la réactance est contrôlé par des valves à thyristors. Il peut donc varier entre zéro et sa valeur maximale grâce au réglage de l'angle d'amorçage des thyristors. Le système de contrôle qui génère les impulsions de gâchette des thyristors mesure soit la tension au point de connexion soit la puissance réactive dans la charge associée et calcule l'instant auquel il faut amorcer les valves[19].

III.2 Compensateur statique de l'énergie réactive (SVC):

III. 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 [20] .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. [21]

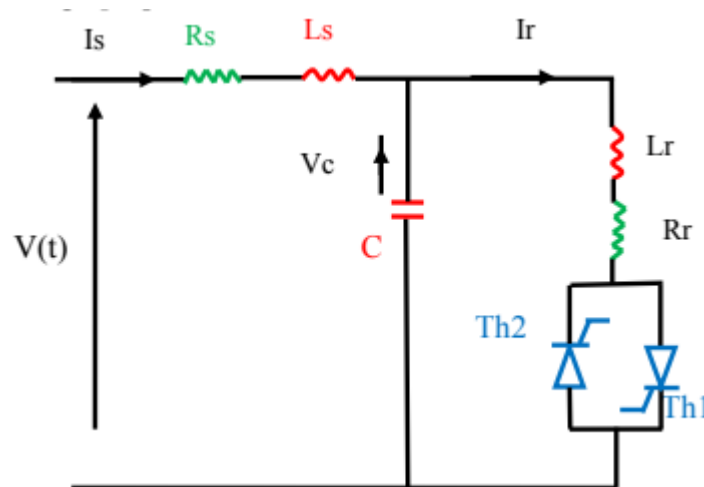


Fig III.1: Schéma d'un SVC de type TCR-FC.

Le SVC (statice var compensateur) est la première génération FACTS qui a été déposé sur le marché il y a presque plus de vingt ans [21]. En général il est constitué d'un **TCR (Thyristor Controlled Reactor)**

Dans le TCR (ou RCT : Réactances commandées par thyristors), la valeur de l'inductance est continuellement changée par l'amorçage des thyristors, qui fait varier le courant à travers l'inductance et cela en variant l'angle d'amorçage des thyristors compris entre 90° et 180° .

Le TCR est caractérisé par sa commande continue et par sa génération d'harmoniques sur le réseau, permet de générer ou d'absorber de l'énergie réactive [22].

TSC (Thyristor Switched Capacitor)

Dans le TSC (ou CCT : Condensateurs commandés par thyristor), les thyristors fonctionnent en pleine conduction. Le TSC fournit une solution plus rapide et plus fiable à la commutation de condensateurs que les dispositifs mécaniques conventionnels de commutation [22].

Le rôle d'un filtre à courant alternatif est de réduire les harmoniques introduites par l'utilisation du TCR. Pour cela le filtre fournit une puissance réactive au réseau.

Le schéma de structure de base de ce dispositif représenté sur la figure (III.2).

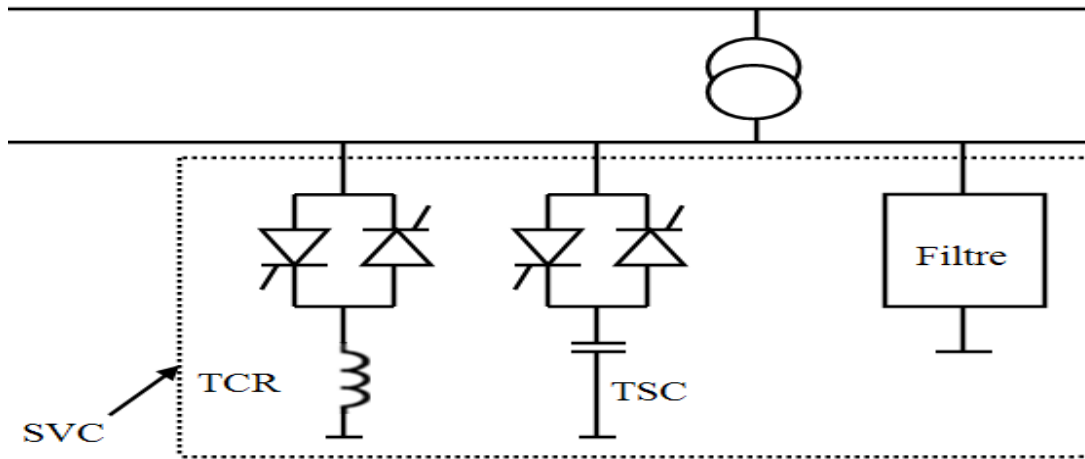


Fig III.2 Structure de base d'un SVC.

III .2.2 Principe de fonctionnement du SVC:

La figure III.3 donne une représentation schématique monophasée d'un compensateur statique shunt. Il est composé d'un condensateur de réactance X_C et d'une bobine de réactance inductive de X_L dont la puissance réactive fournie (le condensateur) ou absorbée (l'inductance) est commandée entre zéro et sa valeur maximale par des thyristors montés en tête-bêche pour assurer des inversions très rapides du courant [23,4].

Pour fixer le signe de puissance réactive Q_{SVC} le compensateur est considéré comme un commutateur. La puissance réactive Q_{SVC} est positive lorsqu'elle est absorbée par le compensateur (comportement inductif). Le courant d'entrée I est un courant réactif. Il est supposé positif lorsqu'il est retardé de 90° par rapport à la tension V_{SVC} . Si par contre, le compensateur fournit de la puissance réactive (comportement capacitif), cette dernière est considérée comme étant négative.

La puissance réactive Q_{SVC} varie entre une valeur inductive Q_{ind} et une valeur capacitive Q_{cap} avec :

$$Q_{cap} = \frac{\bar{V}^2}{X_C} \quad (\text{III-1})$$

On obtient alors la réactance capacitive X_C nécessaire pour le condensateur. D'autre part on peut déterminer la réactance X_L de la bobine :

$$Q_{ind} = \frac{\bar{V}^2}{X_L} \quad (\text{III-2})$$

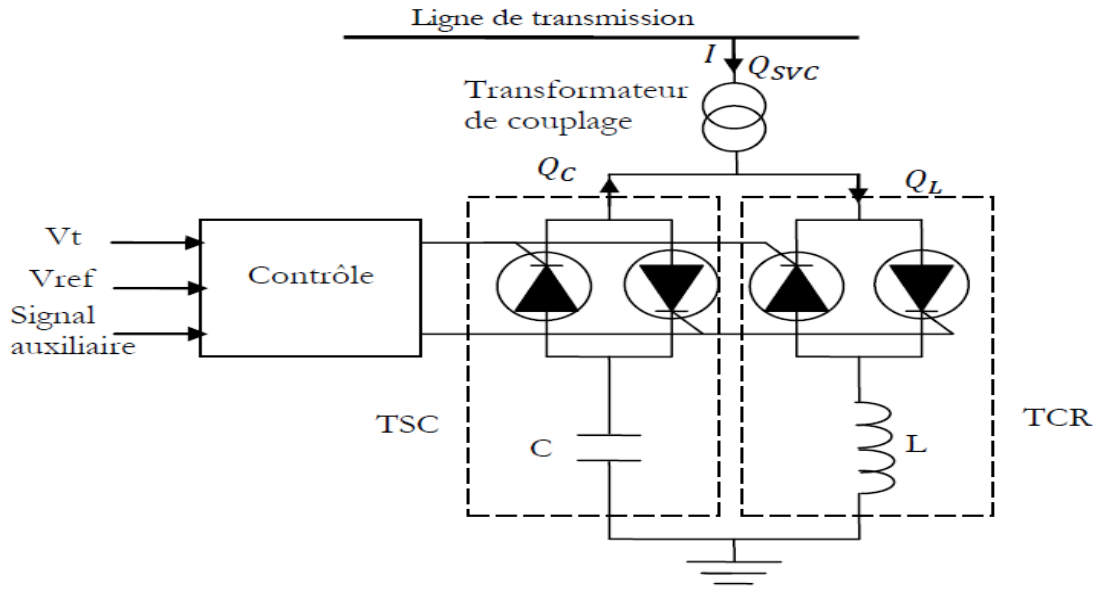


Fig III.3. Structure du SVC.

III.2.3 Caractéristiques d'un compensateur statique SVC:

III.2.3.1 Caractéristique en tension d'un SVC:

A. Zone de fonctionnement:

Ajustons l'angle α des thyristors commandant la branche inductive à 90° , de façon à obtenir la pleine conduction. Le courant est alors à sa valeur maximal, la droite ($L//C$) de la figure (III.4) montre la relation entre la tension U et le courant I_{SVC} . [14]

$$V_{SVC} = \frac{I_{SVC}}{X_L \parallel X_C} \quad (\text{III-3})$$

Lorsque l'inductance est débranchée alors l'angle des thyristors est 180° et le condensateur est en service seule, le courant total par phase sous une tension V est égale :

$$I_{SVC} = \frac{V_{SVC}}{X_C} \quad (\text{III-4})$$

La coutume est d'apposer un signe (-) à ce courant capacitif pour le distinguer du courant inductif. La relation entre le courant et la tension est alors une nouvelle droite, désignée par (C), figure (III.4).

Les droites ($L//C$) et (C) forment ensemble une « courbe en V » qui correspond aux limites inductive et capacitive du compensateur statique. [14]

$$* \text{Cette figure pour } X_C = 2 * X_L \quad (\text{III-5})$$

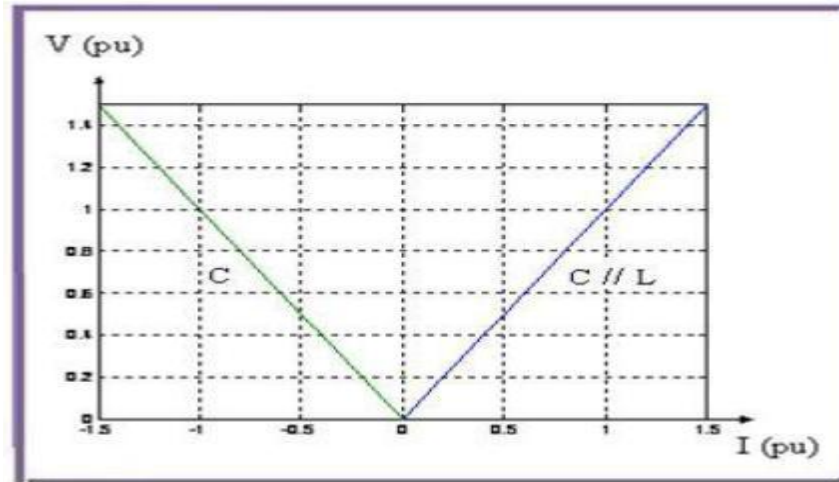


Fig III.4:Caractéristique en tension d'un SVC.

D'après cette courbe, on a un courant capacitif lorsque le condensateur est en service et l'inductance est débranchée donc le montage génère une puissance réactive et cette puissance est en fonction de la capacité du condensateur et de la tension. Lorsque les deux sont en service le montage génère ou consomme une puissance réactive. [24]

III.2.3.2 Caractéristique de puissance réactive d'un SVC:

Pour fixer le signe de puissance réactive Q_{SVC} , le compensateur est considéré comme un commutateur. La puissance réactive Q_{SVC} est positive lorsqu'elle est absorbée par le compensateur (comportement inductif), le courant d'entrée I est un courant réactif, il est supposé positif lorsqu'il est retardé de 90° par rapport à la tension V_{SVC} . Si par contre, le compensateur fournit de la puissance réactive (comportement capacitif), cette dernière est considérée comme étant négative, ainsi que le courant I . Ces relations sont prises en compte sur la figure (III.5). Par conséquent, la puissance réactive Q_L est positive alors que la puissance réactive Q_C est négative. [14]

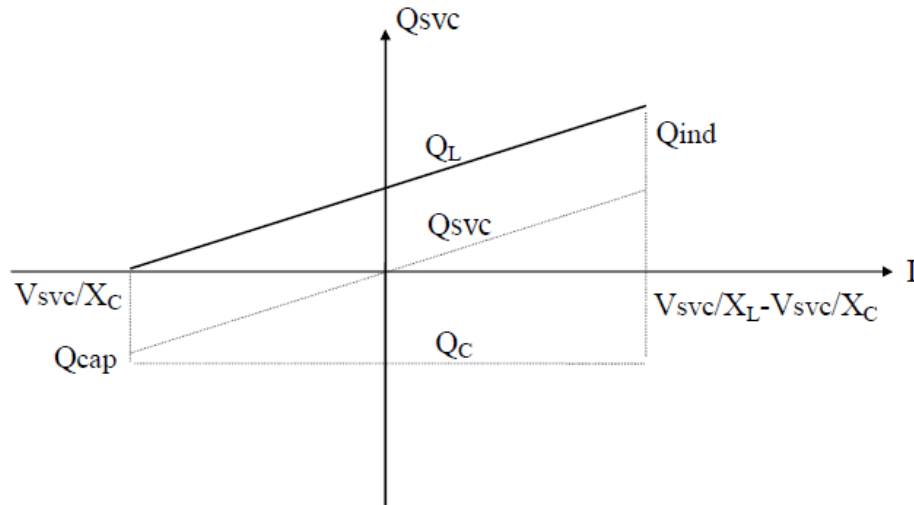


Fig III.5: Exigences posées à la puissance réactive.

La puissance réactive Q_{SVC} varie entre une valeur inductive " Q_{ind} " et une valeur capacitive " Q_{cap} ", Avec :

$$Q_{cap} = \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (III-6)$$

On obtient alors la réactance capacitive X_C nécessaire pour le condensateur. De la relation suivante, on peut déterminer la réactance X_L de la bobine d'inductance :

$$Q_{ind} = \frac{V_{SVC}^2}{X_L} \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (III-7)$$

Les relations (III-6) et (III-7) se rapportent à une phase du compensateur

III.3 Rôle du compensateur statique d'énergie réactive (SVC) :

Le rôle principal du compensateur statique d'énergie réactive (SVC) est le réglage de la tension du réseau électrique lorsque ce dernier est exposé à des variations de la charge ou de changements de point de fonctionnement.

Le SVC peut être fonctionné en deux modes différents:

- En mode de régulation de la tension (la tension est régulée dans des limites, comme expliqué ci-dessous).
- En mode de contrôle de la puissance réactive (la susceptance de SVC est maintenue constante)[25].

En mode régulation de tension le SVC n'a aucun effet sur l'amortissement des oscillations de puissance, mais en lui ajoutant une boucle d'amortissement supplémentaire (auxiliaire) en anglais

PSDC (Power Swing Damping Control) il contribue efficacement à l'amortissement des oscillations de puissance basse fréquence [25].

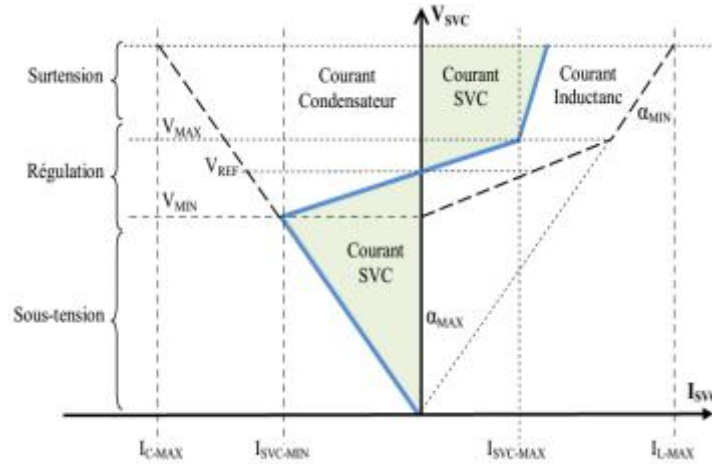


Fig .III.6: Caractéristique d'un SVC [26].

La compensation statique d'un SVC est obtenue selon le comportement de ce dernier. Les caractéristiques statiques de la commande à l'état d'équilibre du SVC sont montrées sur la figure III.6. La pente sous-tension qui est la susceptance de condensateur, indique que la puissance réactive est fournie par le SVC (comportement capacitif ' Q_{cap} ') où cette puissance et le courant prennent un signe négatif. La pente surtension qui est la susceptance de l'inductance B_L , indique que le SVC absorbe de la puissance réactive (comportement inductif ' Q_{ind} ').

$V_{réf}$ est la tension de référence à laquelle le SVC n'échange pas de la puissance réactive avec le réseau électrique. Dans la pratique cette tension varie suivant une marge typique de $\pm 10\%$. La pente de la caractéristique reflète une variation de la tension avec le courant du compensateur et par conséquent elle peut être considérée comme une réactance X_S de l'inclinaison. Ainsi, le SVC est chargé de réguler la tension au jeu de barres et de maintenir le profil de la chute tension-courant de l'intervalle linéaire avec une pente égale à zéro [26,27].

Notons que le courant du SVC est considéré positif quand la susceptance du SVC est inductive, négative quand elle est capacitive, donc on a:

$$I_{SVC} = -B_{SVC} V_{SVC} \quad (III-8)$$

$$V_{SVC} = \frac{I_{SVC}}{B_{SVC}} = -I_{SVC} \cdot X_{SVC} \quad (III-9)$$

On a encore la relation suivante:

$$V_{SVC} = V_{réf} - X_S \cdot I_{SVC} \quad (III-10)$$

La réactance est donnée par :

$$X_S = \frac{\Delta V_{Cmax}}{I_{Cmax}} = \frac{\Delta V_{Lmax}}{I_{Lmax}} \quad (\text{III-11})$$

III.3 Modélisation du dispositif SVC:

Les dispositifs FACTS shunt modélisés sont des compensateurs statiques de puissances réactives tels que le SVC et autres dérivés (TCR, TSC). Bien qu'ils présentent des performances moins bonnes que le compensateur statiques synchrone, elles ne sont guère importantes en régime permanent. De plus, les simulations sont réalisées pour des cas où les tensions sont proches de la valeur nominale. Dans cette situation, le SVC présente des caractéristiques semblables [24] [28].

III.3.1 Modèle de compensateur statique de puissance réactive SVC:

Le dispositif SVC est modélisé par une admittance shunt Y_{SVC} variable (figure III.7.a).

Le SVC étant supposé sans pertes, l'admittance est donc purement imaginaire:

$$Y_{SVC} = j b_{SVC} \quad (\text{III-12})$$

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

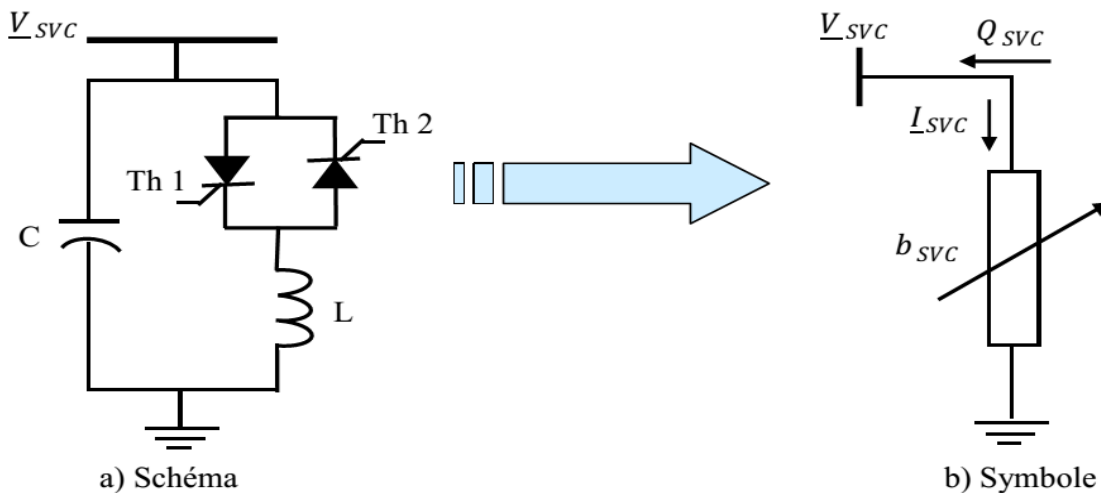


Fig .III.7: Modélisation du SVC.

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 :

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

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

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

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 est représentée à la figure (Figure .III.8) pour plusieurs valeurs de compensation [28].

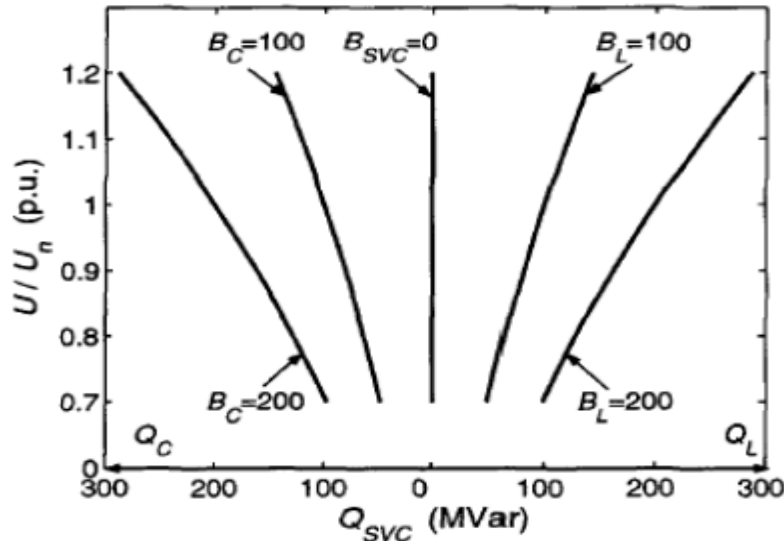


Fig .III.8: Variation de la puissance réactive par un SVC en fonction de la tension nodale.

III.3.2 Valeurs de consigne du dispositif SVC:

Les valeurs du compensateur statique de puissance réactive sont exprimées sous forme de puissances réactive injectées à une tension de 1p.u. Une valeur positive indique que le dispositif fournit de la puissance réactive au système alors qu'il en absorbe, lorsque Q_{SVC} est négative. Un SVC peut prendre n valeurs discrètes compris dans l'intervalle:

$$-Q_{Lmax} \leq Q_{SVC} \leq Q_{Cmax}$$

Si le compensateur statique est de type condensateur commuté par thyristor (TSC), seule une injection de puissance réactive est possible et $Q_{Lmax} = 0$. La puissance réactive au réseau est limitée par :

$$0 \leq Q_{TSC} \leq Q_{Cmax}$$

Dans le cas d'une inductance contrôlé par thyristor (TCR ou TSR), la puissance réactive peut uniquement être absorbée et $Q_{Cmax} = 0$. Exprimée sous forme d'injection, la puissance réactive du TCR peut être prendre des valeurs entre :

$$0 \geq Q_{TSC} \geq Q_{Lmax}$$

À l'heure actuelle, il existe des dispositifs shunt dont la puissance réactive maximale peut atteindre 500 MVar. Pour l'optimisation, les valeurs limites des SVC ne sont pas fixées, mais sont adaptées en fonction du réseau dans lequel les FACTS sont à placer.

III.4 Utilisation de SVC:

Les compensateurs statiques de puissance réactive ont été utilisés dans les réseaux électriques pour résoudre une variété de problèmes, à savoir:

III.4.1 Améliorer les niveaux de tension sur un jeu de barres ou une région:

La commande de tension est la principale fonction d'un SVC. Comme cela a été décrit déjà, le SVC contrôle la tension d'un nœud par l'absorption ou par la fourniture de la puissance réactive que le SVC effectue sur le réseau.

Dans les systèmes à faible puissance de court-circuit, comportant des lignes de transport longues, la tension est affectée de manière significative par la variation de la charge et par la déconnexion d'éléments du réseau. Pour des charges importantes, la tension peut chuter considérablement et peut pallier à conduire à l'instabilité du réseau en tension. Les SVC ont été utilisés principalement pour corriger ce problème.

III.5 Avantages et Inconvénients des SVC:

III.5.1 Avantage du SVC:

- Améliorer les niveaux de tension sur un jeu de barres ou une région:

La commande de tension est la principale fonction d'un SVC. le SVC contrôle la tension d'un nœud par l'absorption ou par la fourniture de la puissance réactive que le SVC effectue sur le réseau.

Dans les systèmes à faible puissance de court-circuit, comportant des lignes de transport longues, la tension est affectée de manière significative par la variation de la charge et par la déconnexion d'éléments du réseau. Pour des charges importantes, la tension peut chuter considérablement et peut pallier à conduire à l'instabilité du réseau en tension. Les SVC ont été utilisés principalement pour corriger ce problème.

- Augmenter la capacité de transport de puissance active du réseau.
- Augmenter la marge de la stabilité transitoire:

L'augmentation de la capacité de transport du réseau grâce au SVC apporte également une augmentation de la marge de la stabilité transitoire quand le système est perturbé.

- Augmenter l'amortissement des oscillations électromécaniques:

Des grandes perturbations du réseau électrique provoquent des oscillations électromécaniques qui sont généralement amorties par les circuits amortisseurs des rotors des générateurs et des stabilisateurs de puissance (PSS) associées aux commandes d'excitation du générateur. Néanmoins, des oscillations non amorties peuvent résulter d'oscillations de tension qui peuvent être générées continuellement par une compensation de puissance réactive rapide, telle que la commande de SVC.

- Réduire les surtensions temporelles:

Les surtensions temporelles sont produites pour la connexion et déconnexion d'éléments de réseau. Un SVC permet une absorption de la puissance réactive ce qui contribue à diminuer la surtension. En plus des applications mentionnées antérieurement, le SVC offre un avantage important qui est sa rapidité de réponse. Comme le SVC n'a pas d'élément tournant, c'est à dire d'inertie, son temps de réponse est plus rapide que le temps de réponse des machines électriques.

Une action rapide sur la commande de tension évite l'augmentation de la génération de puissance réactive pour les générateurs en évitant l'arrivée en butée de fourniture d'absorption de puissance réactive de ces derniers. Pour la charge, une réponse rapide du SVC, évite que les charges dynamiques (moteurs à induction) augmentent la charge totale du système. Cela permet également à certain charge de ne pas cesser sur des valeurs minimum de tension (par exemple, l'éclairage fluorescent).

III.5.2 Inconvénients des SVC:

Un système qui fonctionne à ses limites d'exploitation et fortement dépendant de la compensation par SVC peut souffrir facilement d'un effondrement de tension. Ceci est dû au fait que la génération de puissance réactive hors de la zone de régulation est dépendante du carré de la tension et que le SVC ne peut plus maintenir le niveau requis par le réseau. Le SVC, hors de la zone de contrôle, fonctionne comme une susceptance connectée en parallèle sur le noeud.

D'autre part, le SVC permet de contrôler uniquement un des trois paramètres importants, la tension. Pour les deux autres paramètres, l'impédance et l'angle, d'autres systèmes sont nécessaires pour en assurer le contrôle.

III.6 Conclusion:

Le Compensateur statique est devenu un équipement de grande importance grâce aux avantages résultants de son utilisation dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité ainsi que dans les réseaux industriels. Le compensateur statique de puissance réactive à thyristors est aujourd'hui un équipement largement employé dans les systèmes de transport d'électricité pour la régulation de la tension et de la puissance réactive.

Dans ce chapitre nous avons d'abord montré la structure de base ,principe de fonctionnement et Caractéristique d'un SVC. Nous avons cité la modélisation , Avantage et Inconvénients du SVC dans l'étude de la répartition des charges.

Chapitre IV :

APPLICATION

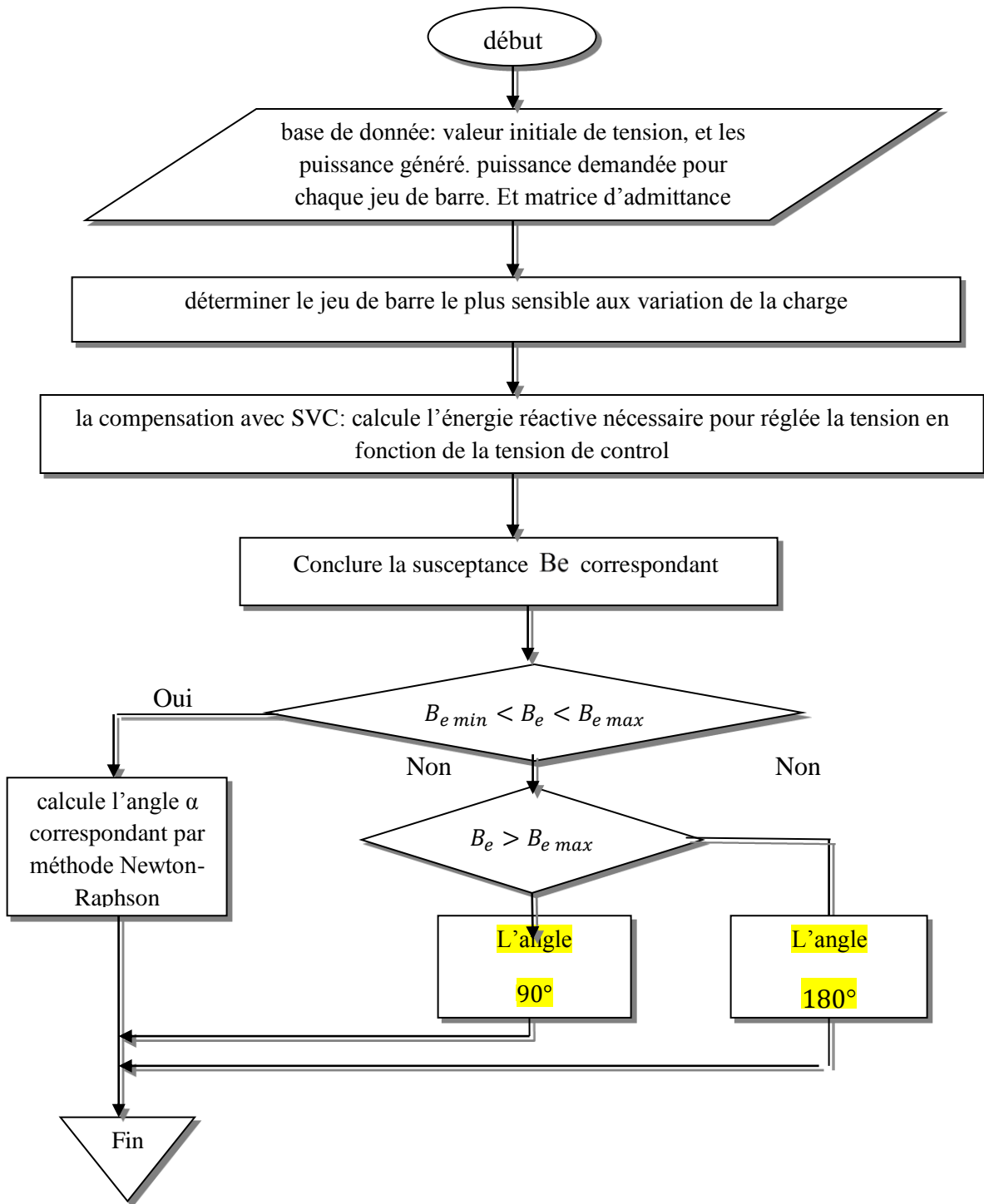
Chapitre IV:

Application

IV.1. Introduction:

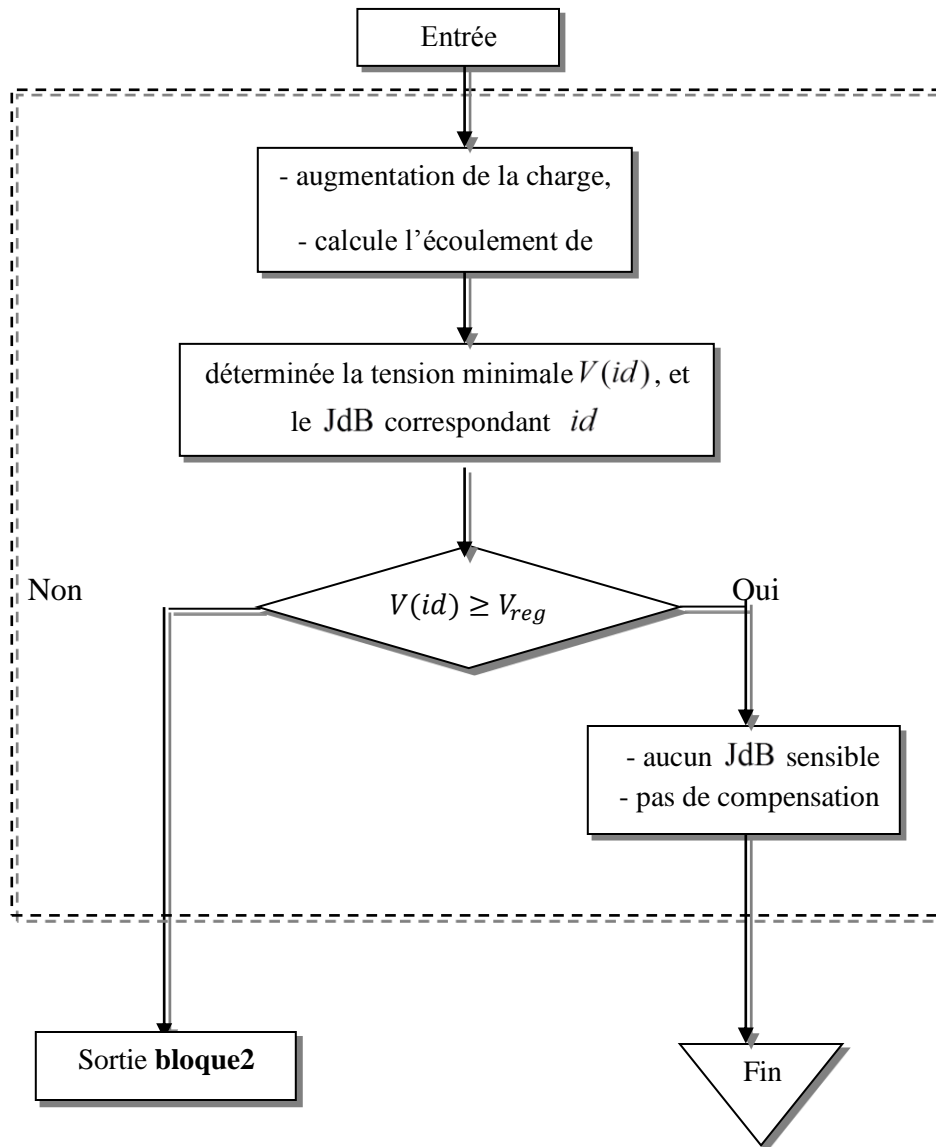
Dans tous les réseaux de transport, il est nécessaire de maintenir la tension aux différents jeux de barres dans des limites acceptables. Les systèmes de transmission flexibles en courant alternatif (FACTS) sont des moyens de contrôle rapides et flexibles capables de faciliter le transit des puissances 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 les oscillations dues à des perturbations dans les réseaux électriques.

IV.2. L'organigramme globale de l'intégration de SVC [27. 30]:

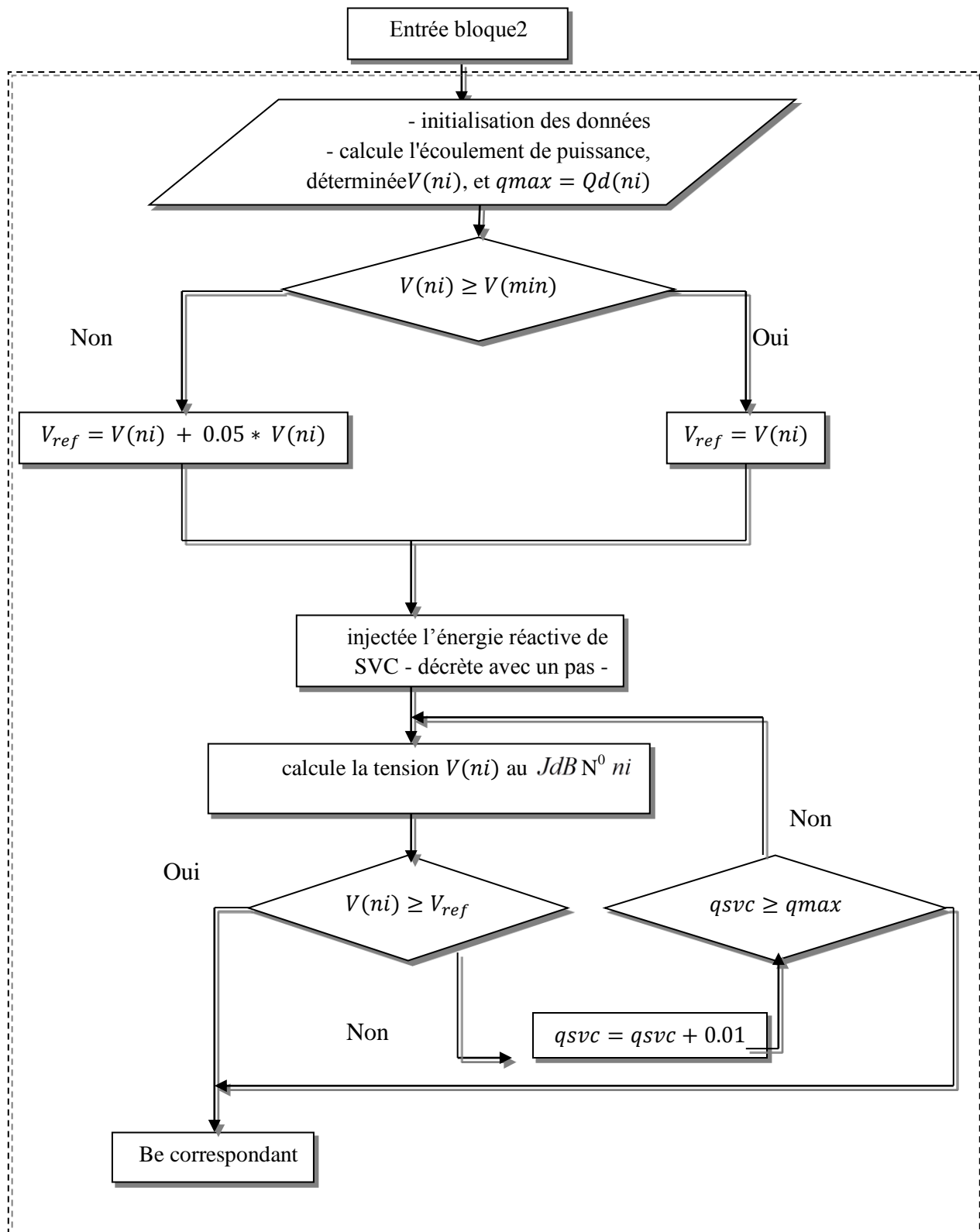


IV.3. L'organigramme détaillée:

Bloque 1: déterminer le jeu de barre le plus sensible aux variation de la charge.



Bloque 2: la compensation avec SVC: calcul nécessaire l'énergie réactive pour réglée la tension en fonction de la tension de control.



IV.4. Application:(programmation); compensation shunt avec SVC:

Au départ, un simple réseau électrique de 9 jeux de barres est utilisé juste pour illustrer l'effet du dispositif de Compensation (FACT) .Ce réseau test est constitué de 6 lignes électriques, 3 générateur, 3 transformateur et 3 charges.

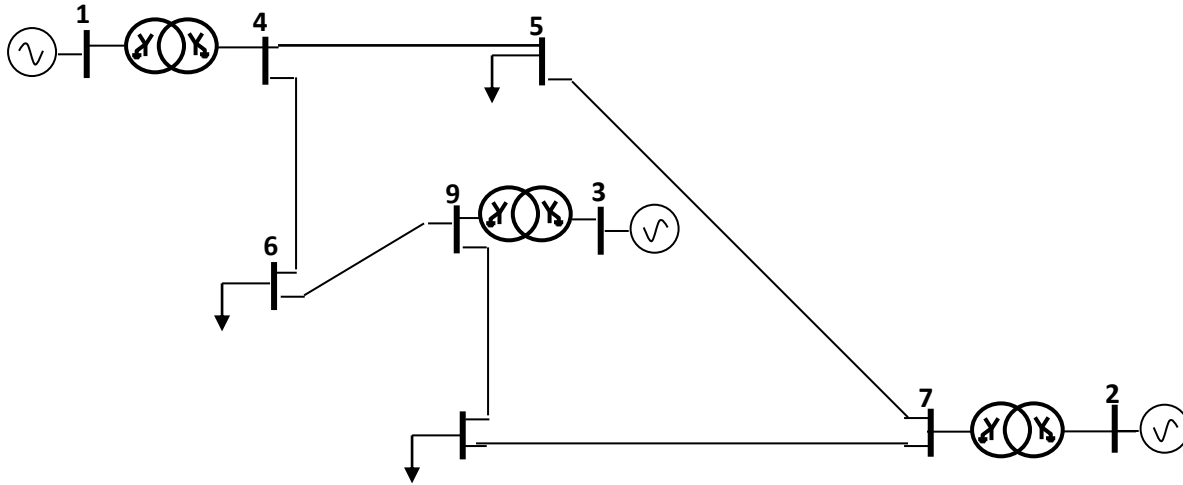


Fig IV.1. Schéma d'un réseau test de 9 jeux de barres.

Le tableau (IV .1) , la Figure(4.2) montrent les tensions au niveau des jeux de barres du réseau test trouvées sans et par l' intégration du dispositif shunt avec SCV .dans la méthode de calcul de l' écoulement de puissance (méthode de GAUSS-SEIDEL).On remarque une amélioration des tensions au niveau des jeux de barres due à la présence de ce dispositif shunt.

Alors que le tableau (IV.2.2.a,b) visualise les résultats du réseau 9 bus obtenu avec et sans l' SVC,(les résultats de programmation).

IV.4.1. les résultats de programmation :(réseau 9 jeux de barres)

a.-tableau (IV-1):Résultats des tensions du réseau électrique –cas norm

- Méthode de GAUSS-SEIDEL-

| Bus | Sans compensation | Avec compensation |
|-----|-------------------|-------------------|
| | V(p.u) | V(p.u) |
| 1 | 1.06 | 1.0600 |
| 2 | 1.025 | 1.0251 |
| 3 | 1.009 | 1.0129 |
| 4 | 0.998 | 1.0019 |
| 5 | 0.987 | 0.9871 |
| 6 | 0.982 | 0.9877 |
| 7 | 0.967 | 0.9819 |
| 8 | 0.970 | 0.9703 |
| 9 | 0.960 | 0.9874 |

b- tableau (IV-2):Résultats des tensions du réseau électrique –cas rupture de la ligne (1-2):

| Bus | Sans compensation | Avec compensation |
|-----|-------------------|-------------------|
| | V(p.u) | V(p.u) |
| 1 | 1.06 | 1.0600 |
| 2 | 0.890 | 0.8920 |
| 3 | 0.908 | 0.9130 |
| 4 | 0.885 | 0.8913 |
| 5 | 0.867 | 0.8686 |
| 6 | 0.872 | 0.8798 |
| 7 | 0.854 | 0.8732 |
| 8 | 0.872 | 0.8730 |
| 9 | 0.847 | 0.8795 |

c-(tableau IV.3.) cas de l'augmentation de la charge avec: 20 % , 100%

❖ Sans Compensation

KK=1

| | Tension | Puissance active généré (<i>MW</i>) | Puissance réactive généré (<i>MVAR</i>) | Pertes active (<i>MW</i>) | Pertes réactive <i>MVAR</i> | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (<i>MVAR</i>) |
|------------------|--------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---|
| Résultats | 0.960 | 212.452 | 101.046 | 9.939 | 10.770 | ////////// | ////////// | 00 |

KK=1.2

| | Tension | Puissance active généré (<i>MW</i>) | Puissance réactive généré (<i>MVAR</i>) | Pertes active (<i>MW</i>) | Pertes réactive <i>MVAR</i> | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (<i>MVAR</i>) |
|------------------|--------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---|
| Résultats | 0.946 | 259.3 | 137.394 | 14.860 | 14.860 | ////////// | ////////// | 00 |

KK=2

| | Tension | Puissance active généré (<i>MW</i>) | Puissance réactive généré (<i>MVAR</i>) | Pertes active (<i>MW</i>) | Pertes réactive <i>MVAR</i> | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (<i>MVAR</i>) |
|------------------|--------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---|
| Résultats | 0.884 | 455.154 | 335.045 | 48.70 | 154.562 | ////////// | ////////// | 00 |

❖ Avec Compensation

KK=1

| | Tension | Puissance active généré (MW) | Puissance réactive généré (MVAR) | Pertes active (MW) | Pertes réactive MVAR | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (MVAR) |
|------------------|--------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|--|
| Résultats | 9.846 | 213.540 | 89.545 | 9.846 | 10.147 | 0.1032 | 110.90 | 11 |

KK=1.2

| | Tension | Puissance active généré (MW) | Puissance réactive généré (MVAR) | Pertes active (MW) | Pertes réactive MVAR | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (MVAR) |
|-----------------|---------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|--|
| Résultas | 0.9793 | 259.122 | 123.359 | 14.682 | 28.079 | 0.1261 | 110.83 | 13.2 |

KK=2

| | Tension | Puissance active généré (MW) | Puissance réactive généré (MVAR) | Pertes active (MW) | Pertes réactive MVAR | Susceptible Be J.d.B | α J.d.B | Puissance réactive injectée (SVC) (MVAR) |
|-----------------|---------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|--|
| Résultas | 0.9353 | 455.39 | 309.566 | 47.990 | 150.666 | 0.1891 | 110.65 | 21.9 |

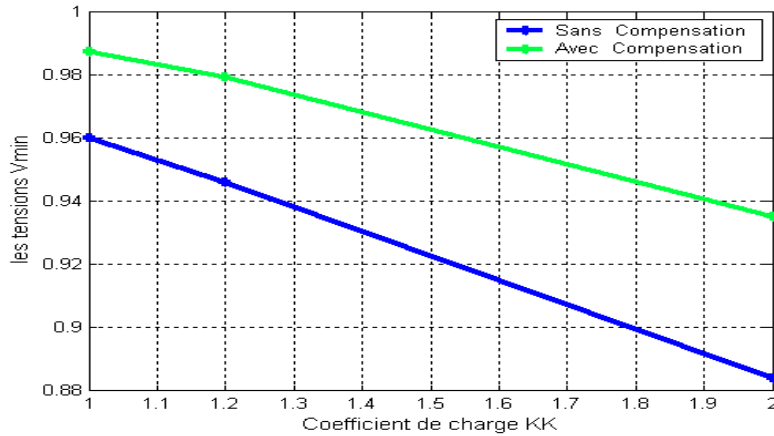


Fig.IV.4. Variation de la tension en fonction de l'incrémentation de la charge

(tableau IV.4.) Comparaison des résultats du chute de tension dans les réseaux (9 jeux de barres):

| | Réseau 9 jeux de barres | |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | Cas normale | rupture ligne 1,2 |
| Sans compensation | JdB9: $\Delta V = 5.71 \%$ | JdB9 : $\Delta V = 16.81 \%$ |
| Avec compensation | JdB9: $\Delta V = 3.02 \%$ | JdB9: $\Delta V = 12.62 \%$ |

IV .5:Interprétation:

-D’après les résultats de programmation, le J.d.B le plus sensible si les jeux de barres 9 et 7 dans le réseau test 9 jeux de barres.

Donc on remarque que:

- Pour cet situation, nous avons montré la possibilité d’améliorée la niveau de tension en utilisant le dispositif SVC .
- le compensateur dynamique shunt SVC qui a été injecté dans le réseau, a influé positivement sur le réseau qu' 'on a étudié.

-Donc il y a une amélioration sur les indices de qualité de l’énergie, en particulier la tension.

Le jeu de barre le plus sensible est le jeu de barre ‘9’ dans le réseau test 9 jeux de barres .

Donc on remarque que:

- la tension est améliorée.
- Réduction faible des pertes de l'énergie active.
- amélioration de cout de production.
- 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.

Conclusion Générale

Les usines et les populations peuvent être de grandes consommatrices de puissance réactive à cause des besoins énergétiques demandés en grande partie par des usines équipées de convertisseurs contrôlés à base de composants l'électronique de puissance. Cela entraîne la facturation de l'énergie réactive par le fournisseur d'énergie électrique et une baisse de la tension dans les jeux de barres provoquant un mauvais fonctionnement de toutes les charges connectées au réseau. Pour cela:

L'étude de la stabilité de tension dans les systèmes électriques constitue un sujet important pour la planification et l'exploitation des réseaux électriques. Dans notre modeste travail, nous avons essayé d'illustrer l'utilité, l'efficacité et la rapidité de contrôle des tensions par l'insertion du contrôleur SVC. Le manque de puissance réactive contribue favorablement à une instabilité de tension, notamment lorsque les générateurs arrivent à leurs limites de production d'énergie réactive.

De ce fait, une compensation appropriée permet d'améliorer et de contrôler la stabilité de tension .

Bibliographie

[1] **J. Barras** " Répartition des Puissances et Analyse de Sécurité des Réseaux Electriques par les Méthodes de Flot dans les Graphes" Thèse de doctorat, soutenu en 1988 à l'EPF de Lausanne.

[2] **Michel Crappe** « Commande et régulation des réseaux électriques» Traité EGEM série génie électrique, LAVOISIER 2003

[3] **Hanene Kouara** "Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension " mémoire de magister, université de Batna 28/02/2006.

[4] **Haimour Rachida** "Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les dispositifs FACTS dans un Réseau Electrique" mémoire de magister, université d'Oran 2008-2009.

[5] **Site d'internet** : http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/qualite-de-l-electricite#section2_1

[6] **Boudjella Houari** « contrôle des puissances et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) »mémoire de magister ,université de Sidi Bel-Abbes23 Janvier 2008.

[7] **H.Akagi, Y.Kanazawa and A.Nabae:** « Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components », IEEE transaction on Industry Application, vol.Ia-20, N°3, May/Jaune 1984.

[8] **HADDAD Salim,** « Compensation d'énergie réactive par convertisseur statique», Mémoire de magister département d'électromécanique, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2006.

[9] **ATT 00254** « Qualité de la tension, Qualité de l'électricité», ATT 00254, UNIVERSITE DE LIEGE Novembre 2008.

[10] **Naima LARDJANI,** " ETUDE DE LA COMPENSATION DE LA PUISSANCE REACTIVE LORS D'UNE CHARGE NON LINEAIRE", Mémoire de MASTER

ACADEMIQUE, option: RESEAUX ELECTRIQUES, UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU.

[11] **C. Collombet, J. M. Lupin et J. Schonek**, « Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement », Merlin Guérin N°152, 1999.

[12] **P. Meynaud**, « Qualité de la tension dans les réseaux électriques—creux de tension, flicker et harmoniques », Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique, D 4 260, 1990.

[13] : **Jacques .C, Guillaume de Preville, Jean-Louis Sanhet** “ Fluctuations de tension et flicker - Évaluation et atténuation (partie I et II) ”, Techniques de l'ingénieur D 4 315.

[14] : **Maameri Oussama** « DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA PUISSANCE REACTIVE DANS UNE NOEUD A CHARGE NON LINEAIRE EN PRESENCE D'UN SYSTEME DE COMPENSATION DE L'ENERGIE » Mémoire de Magister ; Option : Réseaux électriques, Université de Batna, 2011/2012.

[15] **Sekhane Hocine** "L'optimisation de la puissance réactive et le contrôle de tension à travers l'incorporation des dispositifs FACTS" mémoire de magister, université de constantine1, 2013.

[16] **Legrand Catalogue**, « Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques», P0910ALPESFR- EX210027 - MARS 2010.

[17] **MOSTEFAOUI Abdelkader**, « Étude de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par la Programmation non linéaire», Mémoire de Magister Option : Réseaux électriques, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie, 14/10/2008.

[18] **IDRI SAID; KHALDI FAOUZI**«Amélioration des performances de la tension et la stabilité d'un réseau électrique par la compensation de la puissance réactive». Mémoire Master- UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJAIA - année: 2017/2018

- [19] **BOUAKAZ Hacène, SEGGA Salim** « Calcul de la répartition de charge avec compensation dans le réseau électrique » mémoire de fin d'étude; université de Biskra (promotion 1998).
- [20] **ABDELALI Alibi**, « Contrôle des réseaux électrique par les systèmes FACTS : Flexible AC Transmission Systems », Mémoire magister, Université de Batna 2009.
- [21] **A. Edris et al** Proposed « Proposed Terms and Definition of FACTS » IEEE trans. On power delivery, 12(4):1884-1853, October 1997.
- [22] **E. Acha, V. G. Angelidis, O. Anaya-Lara, T. J. E. Miller**, « Power electronic control in electrical systems », Newnes Power engineering series, 2002.
- [23] **O.L.BEKRI, M.K.FELLAH** « steady state and dynamic performance of an SVC device with MATLAB. SimPowerSystem » 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering 21- 23 April 2008
- [24] **DeVre R, Jacquet B** « Perturbations dans les installations électriques et électroniques Problèmes et solutions» Note d'information.
- [25] **H. Boudjella, F.Z. Gherbi, S. Hadjeri, F. Ghezal, M. Flitti** (Contrôle De Transite Des Puissances Réactives Dans Un Réseau Electrique Par L'intégration Du Dispositif FACTS) Laboratoire ICEPS (Intelligent Control And Electrical Power System) Université Djillali Liabes, Sidi-Bel-Abbès, 2010.
- [26] **Mr. Khefiani Guellil Smail** (Etude, Modelisation Et Calcul Des Regimes De Fonctionnement Des Longues Lignes De Transport Et Leurs Compensations Par Facts), Mémoire De Magister Université Des Sciences Et De Technologie D'oran Mohamed Boudiaf, Soutenu 29/06/2011.
- [27] **Hafsi.O, Ghanmi.D** (Impact Du Compensateur Statique De La Puissance Réactive SVC Sur Le Réseau Electrique). Mémoire Master-Université Tahri Mohamed-Bechar – année: 2014 /2015.

[28]. **T. Gönen** « Electric Power System Engineering: Analysis and Design » John Wiley & Sons, 1988.