



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Présenté par :

Zenir Dyaa El Hak

Kelkouli Amira Soundos

Thème :

Effet du compensateur SVC sur la stabilité du réseau électrique

Soutenu publiquement

Le :05/06/2024

Devant le jury :

Saadaoui Fares	MCA	Président	UKM Ouargla
Bouhadouza Boubekour	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Boukaroura Abdelkader	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2023/2024

À tous ceux qui ont été une source d'inspiration et de soutien tout au long de ce voyage académique, cette dédicace vous est dédiée. À ma famille, mes amis et mes proches, je vous suis infiniment reconnaissant pour votre amour, votre encouragement et votre soutien constant. Votre présence dans ma vie a été une source de force et de motivation.

Remerciements

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude envers toutes les personnes qui nous ont soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous voudrions remercier sincèrement notre encadreur de mémoire **M.***

B. BOUHADOUZA**, pour sa guidance, son expertise et ses précieux conseils. Nous tenons à remercier nos membres de jury **Mr. Président Saadaoui Fares** et **Mr.

***Examineur Boukaroura Abdelkader** Un grand merci également à nos proches, nos familles et nos amis, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants.*

Leur présence et leur soutien ont été essentiels dans la réalisation de notre travail. Enfin, nous souhaitons remercier tous les participants de nos études qui ont généreusement consacré leur temps et leur expertise Leurs contributions ont enrichi notre travail de manière significative.

Merci à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire votre soutien a été inestimable

Introduction générale	8
1 Chapitre 1 : Etude théorique de système de puissance.....	9
1.1 Introduction :	9
1.2 Système électrique	9
1.3 Stabilité des Réseaux Electrique.....	10
1.3.1 Classification de stabilité	10
1.3.1.1 Stabilité statique	11
1.3.1.2 Stabilité transitoire.....	11
1.3.1.3 Stabilité dynamique	12
1.4 Caractéristiques de puissance pour le cas d'un court-circuit.....	13
1.4.1 Types des courts circuits	13
1.4.2 Caractéristiques de puissances	13
1.5 Régulateurs	16
1.5.1 Régulateurs de Tension	16
1.6 Dispositifs FACTS	18
1.6.1 Types de FACTS	18
1.6.1.1 FACTS séries.....	18
1.6.1.2 FACTS de type parallèle	19
1.6.1.2.1 Statique synchrones compensateur (STATCOM).....	19
1.6.1.2.2 Statique Var Compensateur (SVC).....	20
1.6.1.3 FACTS de type hydride.....	21
Transformateur déphaseur à base de Thyristors (TCPAR).....	22
Contrôleur de flux de puissance inter-ligne (IPFC) (IPFC)	22
Contrôleur de flux de puissance unifié (UPFC)	22
1.7 Conclusion	24
2 Chapitre 02, Simulation Et Interprétations Des Résultats Obtenus	26
2.1 Introduction	26
2.2 Réseau étudiées	26
2.2.1 Présentation du Réseau test étudié	26
2.2.2 Modélisation de SVC	27
2.2.3 Écoulement de puissance.....	29
2.3 Simulation et discussions des resultats obtenus	30
2.3.1 1 ^{er} cas : Analyse de réseau sans SVC.....	30
2.3.2 2 ^{eme} cas : Analyse de réseau avec SVC	34
2.4 Conclusion :	41
Conclusion générale	42

Figure 1-1 , Classification des différents types de la stabilité de système de puissance	13
Figure 1-2 , réseau a jeu de barre infini [8]	14
Figure 1-3 , la courbe de l'angle de puissance	15
Figure 1-4 , Présentation succincte de la régulation	16
Figure 1-5 , Modèle schématique d'un régulateur de tension AVR	17
Figure 1-6 , Schéma de principe de TCSC	19
Figure 1-7 , Schéma de principe du STATCOM.....	20
Figure 1-8 , Schéma de principe d'un SVC	20
Figure 1-9 , Caractéristique du SVC	21
Figure 1-10 , Schéma de principe d'un TCPAR	22
Figure 1-11 , Schéma de principe d'un IPFC	22
Figure 1-12 , Schéma de principe d'un variateur de charge universel	23
Figure 1-13 , a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec UPFC / b) Diagramme vectoriel associé.....	23
Figure 2-1 , réseau IEEE 39 jeux de barres.....	27
Figure 2-2 , Model d'un SVC	28
Figure 2-3 , caractéristique tension et courant	28
Figure 2-4 , Écoulement de puissance en absence de SVC	29
Figure 2-5 , amplitudes des tensions en présence de SVC	30
Figure 2-6 , les courbes de tension de jeu de barre 4 dans le 1 ^{er} cas.....	31
Figure 2-7 , tension de jeu de barre 3 dans le 1 ^{er} cas	31
Figure 2-8 , puissance réactive de générateur lie au JB 30	32
Figure 2-9 , puissance réactive de générateur lie au JB 37	32
Figure 2-10 , erreur de vitesse de générateur lie au JB 30	33
Figure 2-11 , erreur de vitesse de générateur lie au JB37	33
Figure 2-12 , l'angle relatif de générateur lie au JB 37	34
Figure 2-13 , les courbes de tension de jeu barre 4 dans le 2 ^{eme} cas.....	35
Figure 2-14 , tension de JB4 avec et sans SVC en présence de défaut triphasé	35
Figure 2-15 , tension de jeu barre 3 dans le 2 ^{eme} cas	36
Figure 2-16 , tension au JB3 avec et sans SVC avec un défaut triphasé	36
Figure 2-17 , tension de JB3 avec ligne 3-4 isole	37
Figure 2-18 , tension au JB3 avec charge isole	37
Figure 2-19 , Puissance réactive de générateur lie au JB 30 avec et sans SVC en défaut triphasé	38
Figure 2-20 , vitesse du générateur lie au JB30 avec SVC	38
Figure 2-21 , vitesse de générateur lie au JB 37 dans le 2 ^{eme} cas	39
Figure 2-22 , l'angle relatif de générateur lie au JB37 dans le 2 ^{eme} cas	39
Figure 2-23 , la réactance de SVC.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 , <i>Classification de la stabilité des systèmes de puissance dans le domaine temporel</i>	11
Tableau 1-2 , <i>Donnée de SVC</i>	29

Liste des abréviations

IEEE	Institute of electrical and electronics engineers
AVR	Automatic Voltage Regulator
FACTS	Flexible alternatif curant transmission systèmes.
TCSC	Thyristor ControlledSeriesCapacitor
TCR	Réactances commandées par thyristor
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SVC	Static var compensator
TSC	Thyristor SwitchedReactor.
VSC	Voltage Source Converter
TCPAR	Régulateur d'angle déphase commandé par thyristor
LTC	Load Tap Changer
IPFC	Interline Power Flow Controller
UPFC	Unified Power Flow Controller
Pe	La puissance electrique
Xd	Réactance transitoire
Pm	Puissance mécanique
δ	L'angle du rotor
C	Condensateur
Vc	La tension du convertisseur
MATLAB	Logiciel de programmation, simulation et de calcul numérique
Xc	Condensateur
JB	Jeu de barre

Introduction générale :

L'énergie électrique est l'une des formes d'énergie importantes utilisées dans divers domaines et est indispensable dans notre vie quotidienne tels que l'éclairage, le chauffage et le fonctionnement des appareils électrique et dans tous les autres domaines tel que l'industrie, les communications et les domaines scientifique.

L'industrie de l'électricité peut être divisée en quatre fonction : la production, le transport, la distribution et l'alimentation. Cette répartition fonctionnelle est particulièrement importante pour comprendre les évolutions réglementaires récentes.

Par conséquent, il y a des problèmes qui surviennent dans le fonctionnement du réseau électrique, comme l'instabilité de la tension, l'augmentation de la puissance réactive, ce qui peut entraîner l'instabilité du système du réseau électrique. Une des solutions qu'on a proposé pour faire face à ces problèmes, on trouve l'utilisation de composant FACTS. C'est un dispositif électronique de puissance d'appoint qui sert à réguler la tension, accroître les capacités de transit ou garantir la stabilité dynamique des réseaux de transmission comme le SVC et STATCOM et UPFC. En général, il fonctionne en apportant ou en utilisant de manière dynamique de la puissance réactive sur le réseau. Cette mémoire a comme objectif l'étude de l'effet de SVC sur la stabilité dynamique de réseaux électriques en structurant notre mémoire en deux étapes la première est de faire analyser notre réseaux électriques IEEE DE 39jb sans SVC et la deuxième étape est de refaire le même travail mais cette fois en appliquant le compensateur SVC et on voit clairement l'effet de ce dernier avec plusieurs défauts.

Le chapitre 1 consiste à une présentation générale sur le système électrique et la stabilité des réseaux électriques puis les dispositifs FACTS ;

Le chapitre 2 représente notre réseau étudié IEEE 39JB, la simulation et l'interprétation des résultats obtenus avant et après l'application du SVC.

À la fin nous avons conclu à une conclusion générale et des perspectives de cette mémoire.

CHAPITRE 01

1 Etude théorique du système de puissance

1.1 Introduction :

Les systèmes de puissance (réseaux électriques) actuels sont généralement de tailles largement importantes et sont très complexes à cause de leurs comportements dynamiques. Ils sont soumis régulièrement à des perturbations et des transitions d'une opération à une autre causant des oscillations aux niveaux des paramètres du système. Cependant, un réseau électrique reste stable si ses oscillations sont atténuées. Les différents défauts imposés sur le système électrique notamment les défauts triphasés sur les lignes de transport et les pertes d'une grande charge ou d'un générateur de forte puissance peuvent déstabiliser le système.

Les analyses de ces contingences sont généralement de type non linéaire et se basent sur la capacité des générateurs du système de rester en synchronisme. En effet, les moyens classiques de commande des réseaux électriques, tels que, les transformateurs à prises réglables en charge, transformateurs déphaseurs, compensateurs séries ou parallèles commutés par disjoncteur, etc...), pourraient s'avérer lents et insuffisants pour répondre aux perturbations du réseau. Donc, l'apparition des nouvelles technologies à base d'électronique de puissance avancée, récemment développées et connues sous le nom FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System), permettent également de répondre efficacement aux exigences des réseaux électriques par action rapide et continue sur les paramètres de réseau (tension, puissance, etc...).

1.2 Système électrique

Le réseau électrique ou système électrique est le nom donné à l'ensemble des infrastructures, équipements et dispositifs qui assurent la production, la transmission, la distribution et la consommation d'électricité. Les centrales électriques, les sous-stations, les lignes de transmission, les transformateurs, les lignes de distribution, les compteurs et les points de consommation sont reliés par un réseau interconnecté et complexe. On peut classer le réseau électrique en plusieurs éléments :

- ✓ **Les centrales électriques** : produisent de l'électricité en utilisant des sources d'énergie renouvelables (comme l'énergie solaire, éolienne, hydraulique) ou non renouvelables (comme le charbon, le gaz naturel, le nucléaire).

- ✓ **La transmission** : son objectif est d'écouler la puissance électrique demandée par différents types de la charge électrique dès les centrales de production, avec des sous stations pour modifier la tension électrique en fonction des besoins du réseau.
- ✓ **La distribution** : se fait par des lignes à moyenne et basse tension qui distribuent l'électricité aux utilisateurs finaux tels que les domiciles, les entreprises et les installations industrielles. Les points de consommation servent à alimenter des appareils électriques, des machines, des éclairages, etc. [1], [2].

1.3 Stabilité des Réseaux Electrique

On définit la stabilité d'un réseau d'énergie électrique comme étant sa capacité à fonctionner dans le voisinage du synchronisme lorsqu'il est soumis à une ou plusieurs perturbations différentes. Le déséquilibre entre la production et la consommation se produit dans le réseau électrique en raison de la perturbation. La variation de l'énergie cinétique est due à ce déséquilibre, ce qui entraîne l'évolution des angles rotoriques, accompagnée d'oscillations dynamiques. [3]

Les dysfonctionnements sont provoqués par des problèmes sur le réseau électrique. Parmi ces problèmes, on peut mentionner les court circuits mono ou polyphasés, qui sont généralement suivis d'ouvertures de lignes ; les changements de charges ; la rupture d'une interconnexion et le déclenchement accidentel d'une machine ou d'un transformateur. Ces défauts peuvent être classés en fonction de leur rapidité et de leur amplitude. [4]

1.3.1 Classification de stabilité

Les études de stabilité sont généralement classées en trois types en fonction de la nature et de l'ordre de grandeur de la perturbation. Ceux sont la stabilité de l'angle du rotor, la stabilité de la fréquence et la stabilité de la tension. La stabilité du système de puissance dépend des phénomènes dynamiques, qui se basent sur les considérations suivantes :

1. La nature physique du mode d'instabilité obtenu ;
2. Le degré de la perturbation, qui influence la méthode de calcul et de prédiction de la stabilité ;
3. Les dispositifs, les processus et la durée à prendre en compte pour évaluer la stabilité ;
4. Une autre classification de la stabilité du réseau électrique peut être effectuée en termes de la durée des phénomènes sur (domaine temporel), et les éléments influencés par la perturbation, comme illustré dans le tableau1-1 [5]

Tableau 1-1, Classification de la stabilité des systèmes de puissance dans le domaine temporel.

Domaine temporel	Phénomène influencé par le générateur		Phénomène influencé par la charge
Court terme	Stabilité de l'angle de rotor		Stabilité de tension a petite perturbation
	Stabilité a petite perturbation	Stabilité transitoire	
Long terme	Stabilité de fréquence		Stabilité de tension a grand perturbation

1.3.1.1 Stabilité statique

En général, à la fin d'un régime transitoire provoqué par une perturbation, le système atteint son régime permanent. Dans ce cas, l'étude de la stabilité du système, porte sur l'évaluation de l'état statique du réseau. Le système n'est pas en état de stabilité statique si les contraintes de fonctionnement ne sont pas respectées. Cet état est appelé : état instable ou état d'urgence. Dans un réseau qui est dans un état d'urgence, les opérateurs du centre de contrôle ont suffisamment de temps pour ramener le système à l'état stable ou au régime normal en apportant des modifications supplémentaires. [6]

Une autre définition peut être donnée soit la stabilité statique qui consiste à dire qu'un réseau électrique soumis à une perturbation lente et de faible amplitude est représentée par elle. L'action des dispositifs de régulation conventionnels maintient le système stable.

1.3.1.2 Stabilité transitoire

La stabilité transitoire se réfère à la stabilité d'un réseau électrique qui est soumis à une perturbation rapide et grave. Il arrive fréquemment que cette perturbation dépasse la capacité des dispositifs de commande. Il est indispensable d'utiliser un modèle non linéaire du réseau électrique afin d'évaluer la stabilité transitoire.

Pour la stabilisation du réseau électrique, il est nécessaire d'utiliser des régulateurs non linéaires ainsi que d'autre disposition particulière. [7]

Afin d'examiner la stabilité transitoire, il est nécessaire de :

- ✓ Construire le modèle non linéaire du système ;
- ✓ Déterminer le débit d'énergie (généralement donné) ;
- ✓ Déterminer la méthode mise en place (le point de fonctionnement) ;
- ✓ Identifier les paramètres requis ;
- ✓ La constante d'inertie H ;
- ✓ Les réactances transitoires ;
- ✓ Les impédances des lignes de transmission avant, pendant et après le défaut ;
- ✓ La matrice réduite $[Y]$ pour chaque situation ;
- ✓ La durée du problème ;
- ✓ Le moment où la ligne s'ouvre pour un court-circuit ;
- ✓ Le moment où la ligne se ferme pour un court-circuit.

1.3.1.3 Stabilité dynamique

Elle concerne la capacité du système de puissance à maintenir le synchronisme sous des petites perturbations. Les perturbations sont considérées comme oscillations faibles. Une autre définition peut être donnée à la stabilité à petite perturbation qui consiste à dire qu'un réseau d'énergie électrique est dit stable si suite à une perturbation quelconque infiniment petite, il retrouve un état de fonctionnement synchrone, identique ou infiniment proche de l'état d'origine.

1. La stabilité à petites perturbations dépend de l'état de fonctionnement d'équilibre initial du système et ses caractéristiques dynamiques. L'instabilité résultante peut prendre deux formes :

1.1. Augmentation de l'angle du rotor via un mode non-oscillatoire en raison d'un manque de couple de synchronisation ;

1.2. Croissance d'oscillations rotoriques en raison du manque du couple d'amortissement.

2. Dans les systèmes de puissance, les problèmes de stabilité d'angle rotorique à petites perturbations sont associés aux manques d'atténuation des oscillations. Le problème d'instabilité non oscillatoire a été éliminé par l'utilisation de régulateurs de tension. Ce problème peut encore se produire lorsque les générateurs fonctionnent avec une excitation constante lorsqu'ils sont soumis aux actions de limiteurs d'excitation (limiteurs de courant).

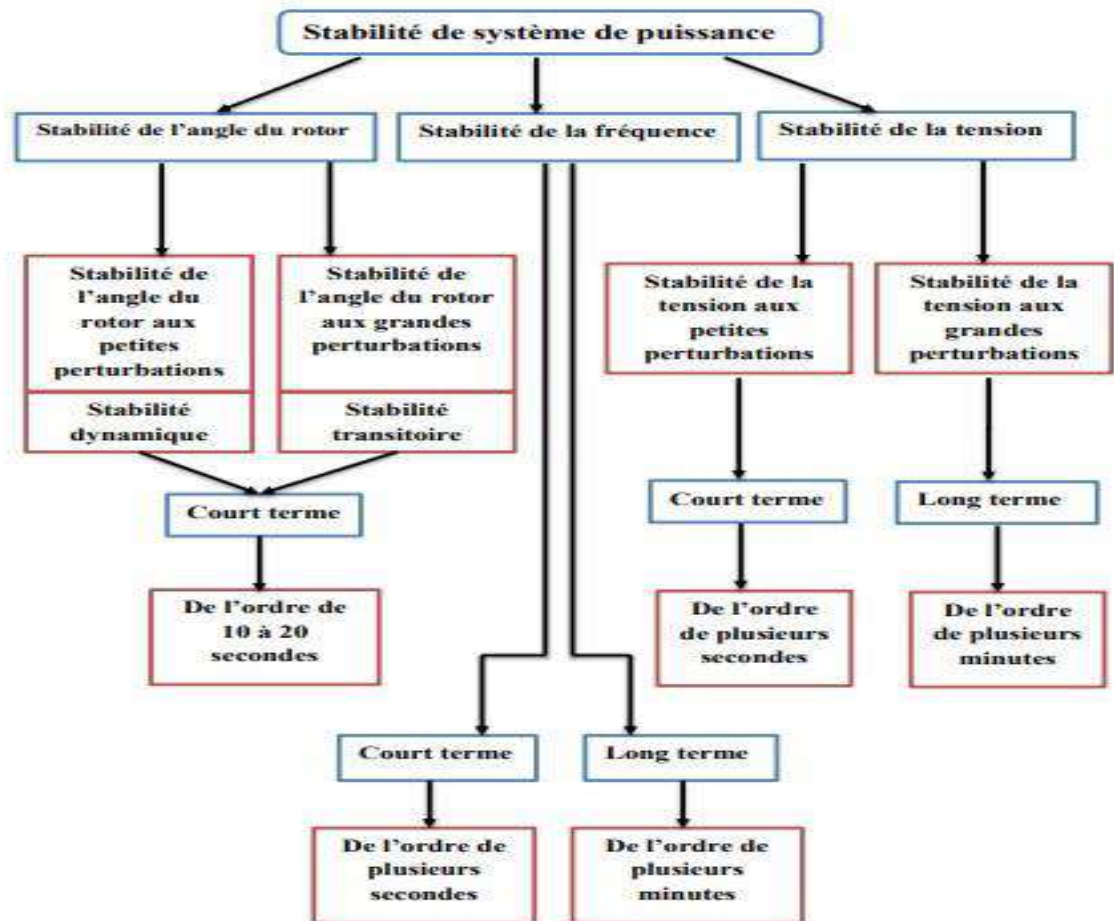


Figure 1-1, Classification des différents types de la stabilité de système de puissance

1.4 Caractéristiques de puissance pour le cas d'un court-circuit

1.4.1 Types des courts circuits

On distingue trois types de court-circuit :

- Court-circuit monophasé ;
- Court-circuit biphasé non et à la terre ;
- Court-circuit triphasé non et à la terre ;

Les courts circuits triphasés sont peu fréquents et engendrent des dégâts graves sur le système de puissance notamment les alternateurs, les deux premiers types sont plus fréquents et peuvent donner lieu à des courants de court-circuit plus élevés dans certains cas.

1.4.2 Caractéristiques de puissances

Pour analyser la stabilité angulaire d'un système d'alimentation en fonction des perturbations majeurs, nous étudions un système simple représenté dans la Figure 1-2 constitué d'un GS

fournissant de la puissance au jeu de barre infini U à travers un transformateur d'une réactance X_t et une ligne d'une réactance X_l . En considérant que :

- ✓ La machine peut être représentée par une source de tension constante E en série avec une réactance transitoire X_d .
- ✓ La puissance mécanique P_m constante pendant le régime transitoire étudié.
- ✓ Les charges sont représentées par des impédances constantes.

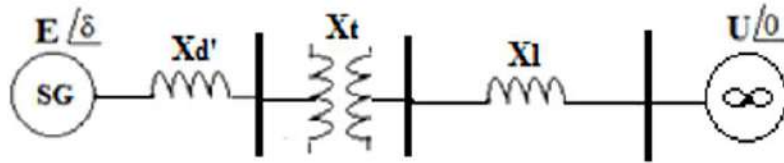


Figure 1-2, réseau a jeu de barre infini [8]

Point d'équilibre et la relation $P-\delta$:

$$X_s = X_d + X_t + X_l \dots\dots\dots(1.1)$$

$$E = U + jX_s I \Rightarrow I = \frac{E - U}{jX_s} \dots\dots\dots(1.2)$$

La puissance électrique du générateur est donnée par l'équation suivante :

$$P_e = \text{Re}(\overline{E}I) = \text{Re}\left(\overline{E} \frac{E - U}{jX_s}\right) = \text{Re}\left(E \angle -\delta \frac{E \angle \delta - U \angle 0}{X_s \angle 90^\circ}\right) \dots\dots\dots(1.3)$$

$$P_e = -\frac{EU}{X_s} \cos(-90^\circ - \delta) = \frac{EU}{X_s} \sin(\delta) \dots\dots\dots(1.4)$$

$$P_e = P_{e,\max} \sin \delta \dots\dots\dots(1.5)$$

L'équation qui régit le mouvement du rotor d'une machine synchrone est basée sur le principe élémentaire dans la dynamique indique que le couple d'accélération est le produit du moment d'inertie du rotor multiplié par son accélération angulaire qui est donné dans l'équation suivante :

$$\frac{2H}{w_s} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e = P_m - P_{e,\max} \sin \delta \dots\dots\dots(1.6)$$

Cette équation montre que toute modification affectant cette puissance électrique provoquera une variation de l'angle du rotor δ . La courbe $P=f(\delta)$ est connue sous le nom de courbe d'angle de puissance (the power angle curve) est tracée sur la Figure 1-3. Elle montre comment P_e et P_m varient avec l'angle du rotor δ .

Pour la génératrice

$$P_e = P_m - P_a \dots\dots\dots(1.7)$$

En régime permanent, la puissance électrique est égale à la puissance mécanique, il n'y a pas d'accélération.

Si l'angle δ soumet un changement positif $\Delta\delta > 0$ ($\delta > \delta_a$), la puissance sera également soumise à un changement ΔP et comme P_m ne dépend pas de δ , le nouveau régime serait $P_e > P_m$. C'est-à-dire le rotor sera soumis à un couple de freinage. Ce régime continue jusqu'à ce que la restauration du point d'équilibre initial "a" corresponde à δ_a . Dans le même raisonnement, si l'angle δ soumet une variation négative $\Delta\delta < \delta_a$, le rotor soumis à un couple d'accélération de sorte que δ soit ramené à δ_0 comme le montre la figure 1-3.

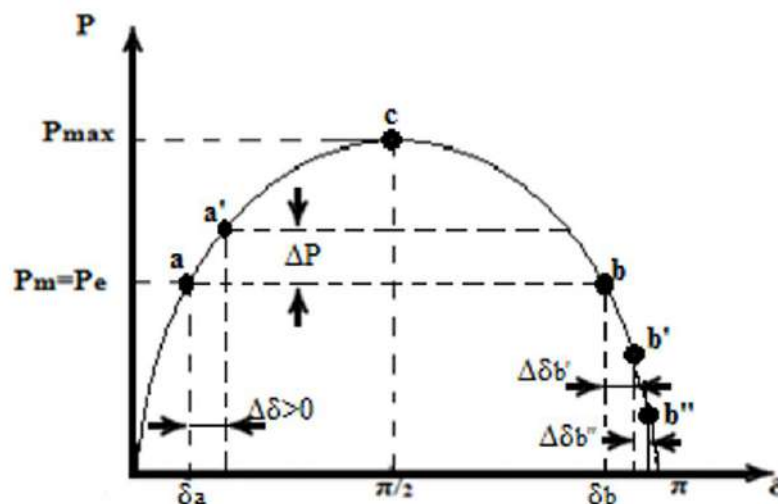


Figure 1-3, la courbe de l'angle de puissance

Pour le point de fonctionnement "b", nous avons pour un écart positif $\Delta\delta_b'$: $P_b' < P_m$ et le rotor sera soumis à un couple d'accélération. Sous l'action de ce couple, l'angle δ continue à augmenter de (b' à b'') provoquant une diminution progressive de la puissance rendant la machine hors synchronisme alors le système ne retournera jamais à δ_0 .

Pour le point "c" et pour une variation $\Delta\delta > 0$, la machine tombe vers l'instabilité et pour une variation $\Delta\delta < 0$, la machine revient à l'état initial (point "c"). On peut donc dire que sur la branche δ (0° à 90°) de la caractéristique $P=f(\delta)$ les régimes établis sont stables et pour les régimes correspondants δ (90° à 180°) les régimes établis sont instables.

L'angle δ_0 est donnée par :

$$\delta_0 = \arcsin\left(\frac{P_e}{P_{e.\max}}\right) \dots\dots\dots(1.8)$$

1.5 Régulateurs

La stabilité du système de puissance repose principalement sur quatre paramètres : la tension, la vitesse de la turbine, la fréquence et le courant d'excitation. La régulation est effectuée en fonction de ces paramètres lors de perturbations.

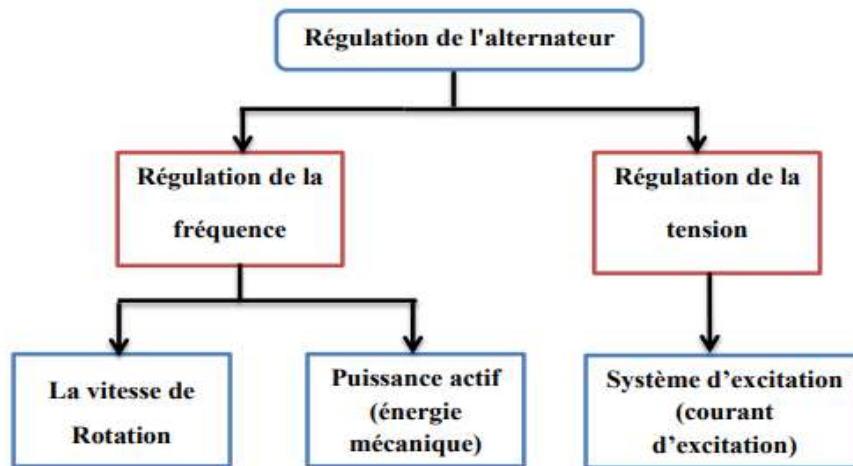


Figure 1-4, *Présentation succincte de la régulation*

1.5.1 Régulateurs de Tension

La puissance d'un régulateur de tension est liée aux appareils qui vont lui être connectés. De plus, en cas de coupure de courant, sa puissance permet de déterminer la durée pendant laquelle l'appareil peut être alimenté par la batterie. On mesure cette puissance en volts ampères (VA) ou kilos volts ampères (kVA) : elle correspond à la puissance consommée par l'appareil relié que l'on multiplie par 1,6.

L'installation d'un régulateur de tension pourra être utile aux particuliers pour protéger leurs équipements électriques comme aux professionnels qui ont recours à un matériel spécifique qui nécessite une tension stable pour un fonctionnement optimal. [9]

Le courant d'excitation de l'alternateur est réglé par le régulateur de tension, ce qui permet de contrôler le flux magnétique dans la machine et de "ramener" la tension de sortie de la machine aux valeurs désirées. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation.

La figure suivante montre le modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension.

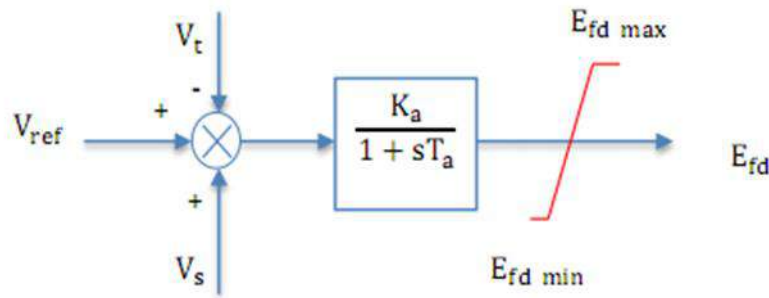


Figure 1-5, Modèle schématique d'un régulateur de tension AVR

Tel que :

V_t : Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone

V_s : Tension du nœud infini.

E_{fd} : Tension d'excitation de la machine synchrone

V_{FD-MAX} : Limite supérieure de la sortie de

V_{fd-MIN} : Limite inférieure de la sortie de

$V_{réf}$: Tension de référence.

T_a : Constante de temps de l'AVR

K_a : Gain de l'AVR

La grandeur ($V_{réf}$), est la consigne de tension déterminée pour satisfaire les conditions de l'état équilibré. Le régulateur de tension compare le signal V_t à la tension de consigne $V_{réf}$.

Un signal complémentaire peut-être ajouté au nœud de sommation : il s'agit d'un signal issu de certains dispositifs spécifiques de commande comme les stabilisateurs de puissance. Ensuite, le signal d'erreur est amplifié pour donner la tension d'excitation demandée. La constante de temps et le gain de l'amplificateur sont respectivement T_a et K_a .

Les valeurs extrémales de la tension d'excitation (E_{fdmax} , E_{fdmin}) sont fixées par un système de limitation.

La relation suivante décrit le fonctionnement dynamique du modèle :

$$\dot{E}_{fd}(t) = \frac{1}{T_a} (K_a (V_{réf} - V_t(t) + V_s(t)) - E_{fd}(t)) \dots \dots \dots (1.9)$$

Le régulateur de tension est connecté à un système de stabilisation de la charge. Il s'agit d'un appareil électronique qui transmet des signaux supplémentaires au régulateur de tension pour qu'il prenne en compte les fluctuations de puissance active causées par les fluctuations de tension d'excitation. Le mode de réglage de tension U utilisant un régulateur de tension est la configuration standard du service.

Il est possible de mettre en place le potentiomètre de consigne manuellement, sur le pupitre, en utilisant une commande à moteur.

La plage de réglages s'étend de 10% : 14 KV ... 15.5 KV... 17 KV. [10]

1.6 Dispositifs FACTS

Un FACTS (Système de transmission d'électricité flexible à alternance de tension) est employé pour le contrôle dynamique de tension, impédance et angle de phase de tension afin d'améliorer le comportement dynamique des réseaux ainsi que la répartition et l'écoulement des puissances 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. [11]

La technologie FACTS n'est pas limitée par un seul dispositif mais elle regroupe une collection de dispositifs à base de l'électronique de puissance implantés dans les réseaux électriques afin de mieux contrôler le flux de puissance et augmenter la capacité de transit de leurs lignes. Par action de contrôle rapide de ces systèmes sur l'ensemble de paramètres du réseau: tension, impédance, déphasage ...etc. ils permettent d'améliorer les marges de stabilité et assurer une meilleure flexibilité du transfert d'énergie. [12]

1.6.1 Types de FACTS

On peut classer les contrôleurs FACTS de la manière suivante :

1.6.1.1 FACTS séries

Le réseau est relié en série à ces compensateurs, qu'ils soient une impédance variable (inductive ou capacitive) ou une source de tension variable. Ils sont employés afin de compenser la puissance réactive en série et grâce à leur impact sur l'impédance effective des lignes. Ils jouent un rôle essentiel dans la gestion du flux de puissance et la stabilité de celui-ci. Généralement, ces appareils en série fournissent une tension en série à la ligne de transmission [13]

Un module de TCSC (Thyristor-Controller Séries Capacitaire) la figure1-6 est constitué d'un condensateur mis en parallèle avec des thyristors et une bobine en série. Grâce à leur contrôle, on

peut ajuster la longueur électrique de la ligne. Avec les thyristors en série, la bobine se comporte comme un TCR, mais étant donné que l'impédance de la capacité est inférieure à celle de la ligne, les harmoniques ne se propagent que très peu dans le réseau. [14].

Ce système offre la possibilité de :

- a. Agrandir la longueur électrique d'une ligne de transmission à courant alternatif.
- b. La résolution des fluctuations de puissance.
- c. L'équilibre de la tension.
- d. La gestion des flux de charge dans les réseaux de distribution.
- e. La variabilité de l'impédance équivalente capacitive et inductive est très étendue.
- f . La diminution des difficultés causées par les phénomènes de résonance sub-synchrone. [15]

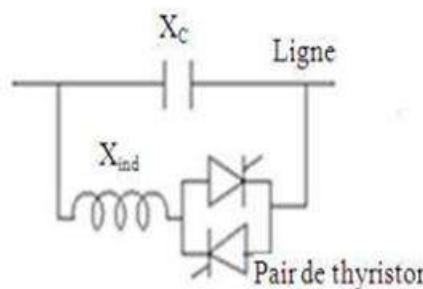


Figure 1-6, Schéma de principe de TCSC

1.6.1.2 FACTS de type parallèle

La compensation shunt implique la connexion du système de puissance en shunt avec le FACTS. Il opère en tant que source de courant réglable. La ligne est alimentée par un courant réactif afin de maintenir l'amplitude de la tension. On augmente la puissance active transmissible.

1.6.1.2.1 Statique synchrones compensateur (STATCOM)

STATCOM est un compensateur statique synchrone composé d'un convertisseur de source de tension, d'un transformateur d'accouplement et d'un circuit de contrôle. Dans cette utilisation, il est possible de remplacer la source d'énergie V_{dc} par un condensateur C , ce qui permet un échange d'énergie en régime permanent entre le compensateur statique et le réseau. Cela est illustré dans la figure 1-7 où I_C est le courant de sortie du convertisseur, orienté perpendiculairement à la tension du convertisseur V_C . On peut ajuster l'amplitude de la tension du convertisseur ainsi que la puissance réactive à sa sortie. Le compensateur statique fournit la puissance réactive au système lorsque V_C dépasse la tension V_L du réseau, tandis que si V_C est inférieure à V_L , le compensateur

statique absorbe la puissance réactive. Selon le modèle simplifié du STATCOM, ce dernier est perçu comme une source de tension variable qui est automatiquement ajustée pour atteindre la tension souhaitée. Le jeu de barres où il est connecté est considéré comme un jeu de barres où l'amplitude de la tension et la puissance active et réactive sont précisées. [16]

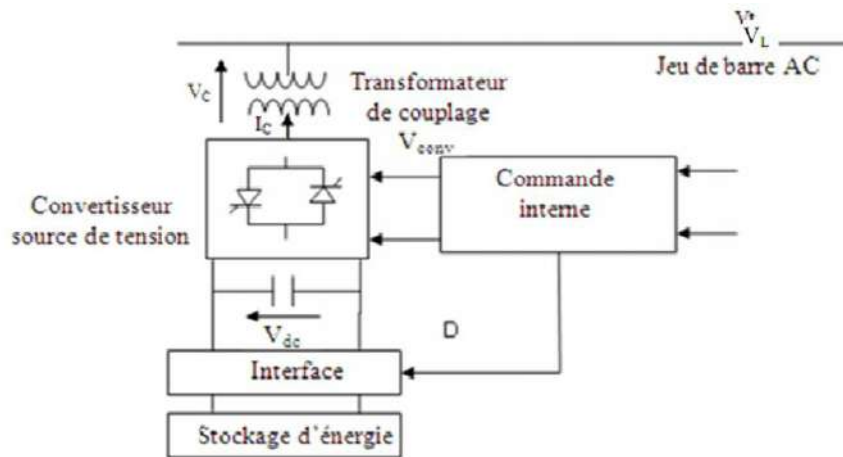


Figure 1-7, Schéma de principe du STATCOM

1.6.1.2.2 Statique Var Compensateur (SVC)

Il existe différents modèles de SVC dans la pratique. Le modèle défini est un générateur synchrone qui ne génère aucune puissance active, similaire à un condensateur synchrone en parallèle avec une réactance inductive. Le point de raccordement est similaire à un jeu de barres PV bus, qui devient PQ bus lorsque le SVC atteint sa limite de fonctionnement. Le compensateur statique de puissance réactive SVC permet un contrôle rapide de la tension. [17]

Ci-dessous, la figure 1-8 présente le schéma d'un SVC.

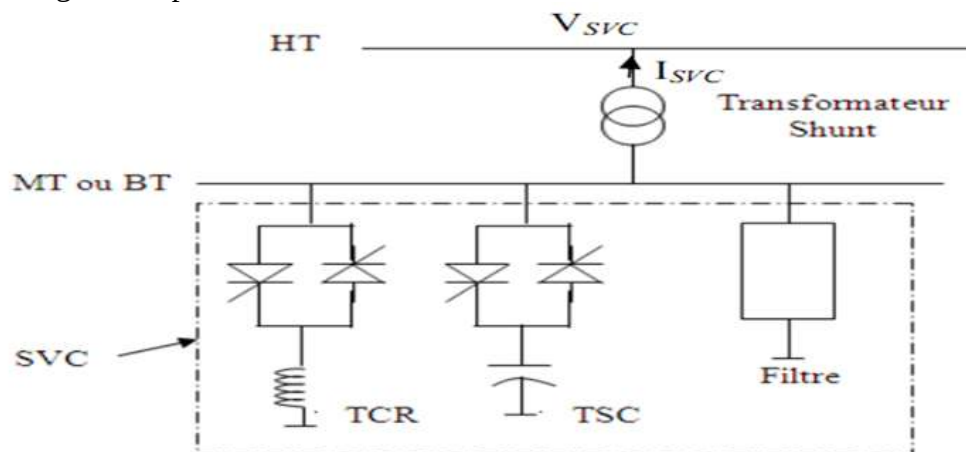


Figure 1-8, Schéma de principe d'un SVC

Le SVC consiste à combiner une inductance commandée par thyristor (Thyristor Controller-Réacteur : TCR), un condensateur commuté par thyristor (Thyristor Switcher Capacitor : TSC) et

un filtre d'harmoniques. La figure ci-dessous présente la caractéristique statique de ce type de FACTS :

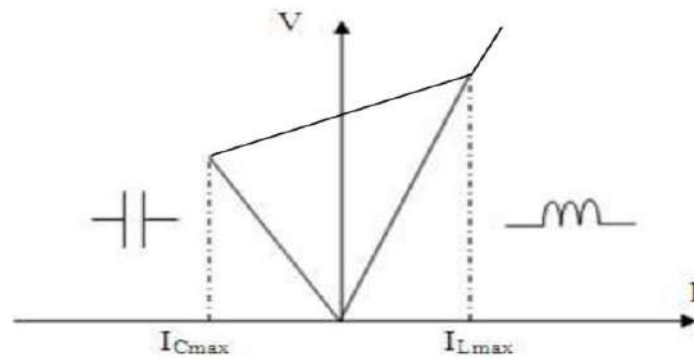


Figure 1-9, Caractéristique du SVC

I_{Cmax} et I_{Lmax} sont les courants limites que peuvent supporter respectivement le TCR et le TSC.

Les thyristors montés en tête-bêche sont utilisés dans le SVC, tandis qu'un "Statique Var Compensateur" est un dispositif shunt, généralement connecté à un transformateur HT/MT ou BT. L'utilisation du SVC en régime permanent permet de :

- Réguler le profil de tension, notamment sur les systèmes faibles, en absorbant ou en fournissant de la puissance réactive.
- Permet d'augmenter la capacité de transport du système.
- Diminue ou supprime les conditions pour de nouvelles lignes.
- Réduit les pertes (en évitant de transporter du réactif) et donc optimise les investissements.

Le SVC en mode dynamique :

- Contribue à la réparation d'un système suite à un problème ;
- Stoppe les fluctuations de puissance ;
- Augmente la stabilité des marges ;
- Réduit les fluctuations de (flicker) ;
- Équilibre les effets causés par les charges déséquilibrées. [18]

1.6.1.3 FACTS de type hybride

Les contrôleurs FACTS peuvent être divisés en deux catégories en fonction des topologies et des dispositifs électroniques de puissance utilisés :

- Type d'impédance variable.
- Type convertisseur source de tension (VSC).

Transformateur déphaseur à base de Thyristors (TCPAR)

Il s'agit d'un déphaseur transformateur à thyristors. Ce système a été conçu afin de substituer les déphaseurs à transformateurs à régleur en charge (LTC; Load Tap Changer) qui sont automatiquement commandés. Il est composé de deux convertisseurs, l'un connecté en série à la ligne et l'autre en parallèle. Il existe divers rapports de transformation pour ce dernier (n_1, n_2, n_3).

Le schéma ci-dessous présente le schéma d'un TCPAR.

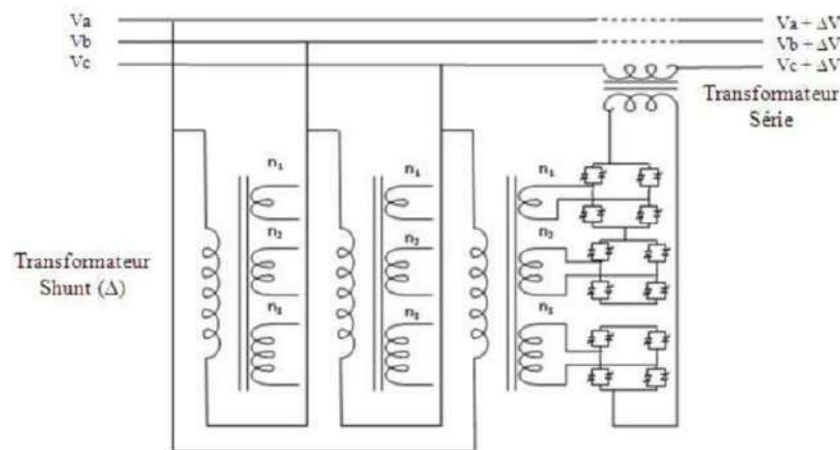


Figure 1-10, Schéma de principe d'un TCPAR

Contrôleur de flux de puissance inter-ligne (IPFC)

On a suggéré l'IPFC pour compenser plusieurs lignes de transmission d'une sous-station. En général, l'IPFC se base sur l'utilisation de convertisseurs DC-DC en série avec la ligne à compenser. Autrement dit, l'IPFC comprend plusieurs SSSC et peut inclure le STATCOM.

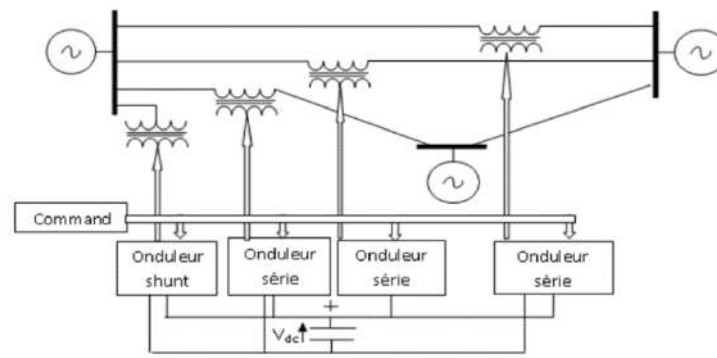


Figure 1-11, Schéma de principe d'un IPFC

Contrôleur de flux de puissance unifié (UPFC)

En principe, le variateur de charge universel l'UPFC possède à la fois la fonctionnalité des autres compensateurs FACTS (parallèle, série et hybride), à savoir le réglage de la tension, le flux de puissances, l'atténuation des oscillations de puissance et l'amélioration de la stabilité. [19]

Les paramètres de transmission, la tension, l'impédance de ligne et l'angle de phase peuvent être contrôlés de manière dynamique avec l'UPFC. Cet article offre un outil pratique pour les ingénieurs des services publics d'électricité afin d'évaluer l'utilisation de l'UPFC, son influence sur leur système électrique et les caractéristiques nominales du shunt et de la série correspondantes.

L'UPFC est équipé d'un compensateur shunt STATCOM et d'un compensateur série SSSC dans sa configuration. Comme illustré dans la figure ci-dessous, les deux compensateurs sont reliés entre eux par un jeu de barres de tension continue V_{dc} .

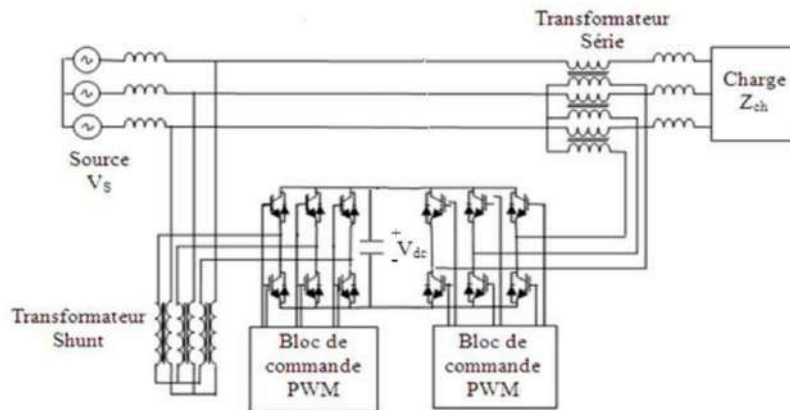


Figure 1-12, Schéma de principe d'un variateur de charge universel

La figure 1-13(a) montre le circuit équivalent d'une ligne de transmission de réactance jX_L avec deux générateurs de tension V_S et V_R et un UPFC ;

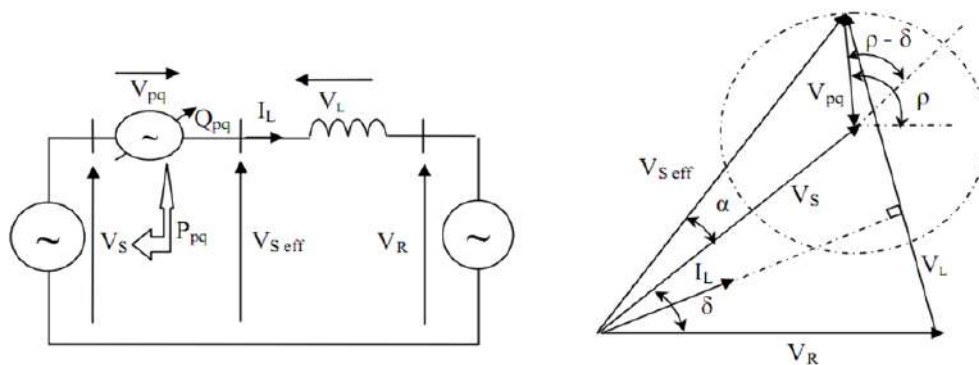


Figure 1-13, a) Circuit équivalent d'un réseau électrique avec UPFC / b) Diagramme vectoriel associé

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le fonctionnement des réseaux d'énergie électrique et les différents types de la stabilité des réseaux électrique comme la stabilité statique, dynamique, et la stabilité transitoire. On a parlé aussi sur la puissance et les régulateurs.

Après, nous avons présenté un aperçu global sur les nouveaux dispositifs de contrôle et de commande des réseaux électriques appelés FACTS comme le SVC, STATCOM, TCPAR, IPFC, UPFC. Une 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 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.

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 sera consacrée à leur application sur un réseau électrique IEEE 39JB et sera détaillée dans le deuxième chapitre.

Chapitre 02

2 Chapitre 02, Simulation Et Interprétations des Résultats Obtenus

2.1 Introduction

L'augmentation de la demande en énergie, l'intégration des énergies renouvelables intermittentes et la nécessité de maintenir un approvisionnement électrique fiable sont des défis complexes auxquels les réseaux électriques modernes font face. Pour assurer la stabilité et la fiabilité du réseau, il est devenu essentiel d'utiliser de dispositif de contrôle de la puissance réactive, tels que le Compensateur Statique de Puissance Réactive (SVC).

Cette étude examine comment l'SVC influence du la stabilité dynamique des réseaux électriques. Le but principal est de saisir l'impact de ces systèmes de contrôle de la puissance sur la réponse dynamique du système électrique face à des perturbations comme des fluctuations de charge, des court-circuit ou encore des pertes de production.

Nous étudierons brièvement le rôle essentiel de la stabilité dynamique dans les réseaux électriques, ainsi que les principes de fonctionnement de l'SVC dans cette introduction. Nous aborderons aussi les recherches précédentes dans ce domaine et les éventuelles lacunes qui suscitent cette étude.

2.2 Réseau étudiés

2.2.1 Présentation du Réseau test étudié

Le système étudié est basé sur le comportement d'un réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres ce dernier se compose de 39 jeux de barres, 10 générateurs, 29 charges, et 46 lignes. Le schéma ci-après illustre ce réseau.

Cette étude est simulée en utilisant les programmes de Power System Toolbox MATLAB pour voir le comportement de réseau en présence de différents types de défaut, tels que, la déconnexion de la ligne, l'isolation de la charge, et un défaut triphasé au jeu de barre 3 mis la ligne 3-4 hors service. Après avoir appliqué ces défauts, un compensateur SVC est inséré sur le jeu de barre 3 pour améliorer la stabilité de ce système de puissance.

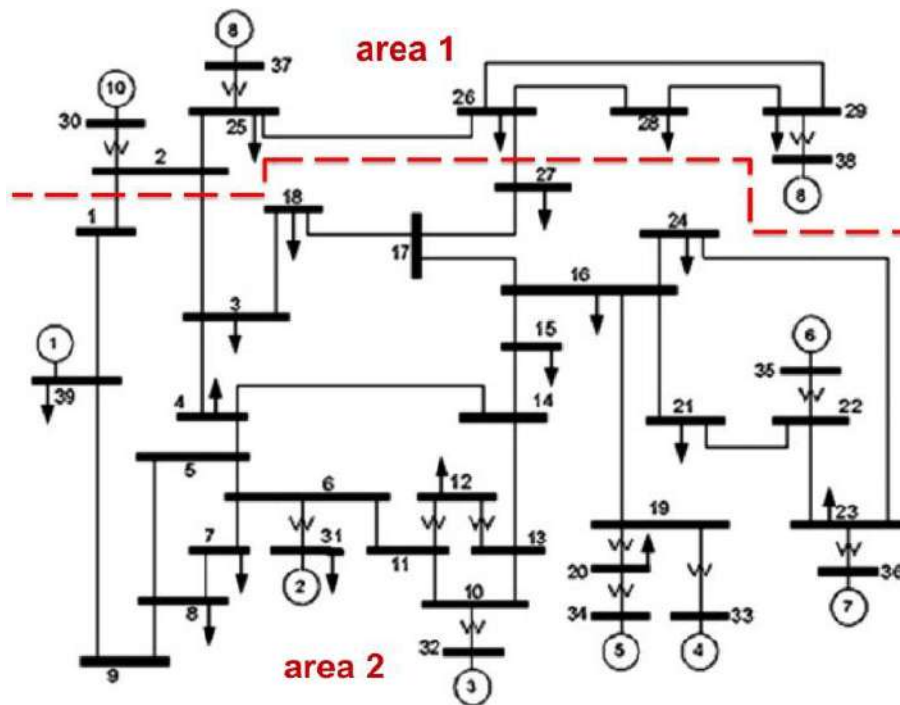


Figure 2-1, Réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres

2.2.2 Modélisation de SVC

Le compensateur SVC est utilisé dans les applications de transmission à plusieurs objectifs. Le rôle principal est de contrôler rapidement la tension aux points où il est installé dans les réseaux électriques. Le compensateur statique de puissance réactive SVC est essentiellement un élément shunt surveille et ajuste le niveau de tension pour échanger un courant capacitif ou inductif avec le système afin de contrôler la puissance réactive et la tension des systèmes de puissance. L'une des configurations les plus utilisées du SVC est le type FC-TCR dans lequel un condensateur fixe (FC) est connecté en parallèle avec un réacteur contrôlé par thyristor (TCR). Dans sa forme simple, SVC est connecté à la configuration FC-TCR, comme illustré à la Figure1-15. Le SVC est connecté à un transformateur de couplage qui est connecté, à son tour , directement au jeu de barre alternatif dont la tension doit être régulée.

$$X_v = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$X_e = X_C \frac{\pi / r_x}{\pi(2 - \frac{1}{r_x}) - 2\alpha + \sin 2\alpha} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$r_x = X_C / X_L \dots\dots\dots(2.3)$$

Sachant que

α est l'angle de déviation entre (90^0 à 180^0) ;

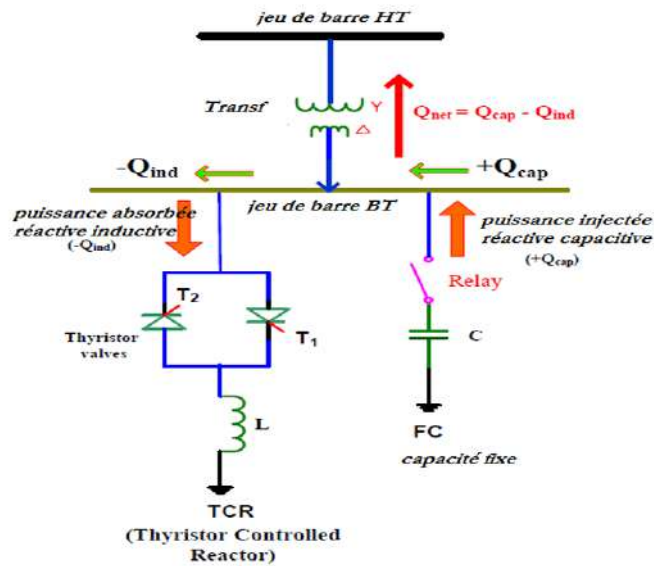


Figure 2-2, Model d'un SVC

L'équation suivante démontre l'amplitude de la tension de la tension de jeu de barres auquel l'SVC est raccorde.

$$V = V_{ref} + X_{SL} I \dots\dots\dots(2.4)$$

X_{SL} est la réactance équivalente de l'SVC.

La figure 1-16, montre la caractéristique de tension – courant de l'SVC. [20]

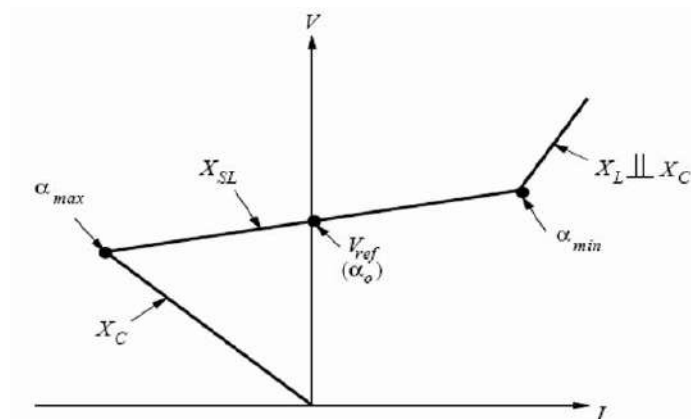


Figure 2-3, caractéristique tension et courant

Le tableau suivant montre les données de SVC utilisées dans le système de puissance étudié.

Tableau 1-2, donnée de SVC

JB_{SVC}	$S_{B\ SVC}$ MVA	Réactance Max (pu)	Réactance Min (pu)	Gain du régulateur	durée du régulateur (s)	constante de temps du numérateur du filtre	constante de temps du dénominateur du filtre
3	100	15	-15	33,3	0,05	0,2	0,2

2.2.3 Écoulement de puissance

Les figures suivantes, montrent les niveaux de tension de réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres en utilisant l'écoulement de puissance en présence et en absence de l'SVC.

D'après la figure 1-17 qui représente les amplitudes des tensions des jeux de barres en absence de SVC, on voit que la majorité des tensions atteint 1.0pu à cause de caractère capacitive des lignes ainsi les faibles charges inductives.

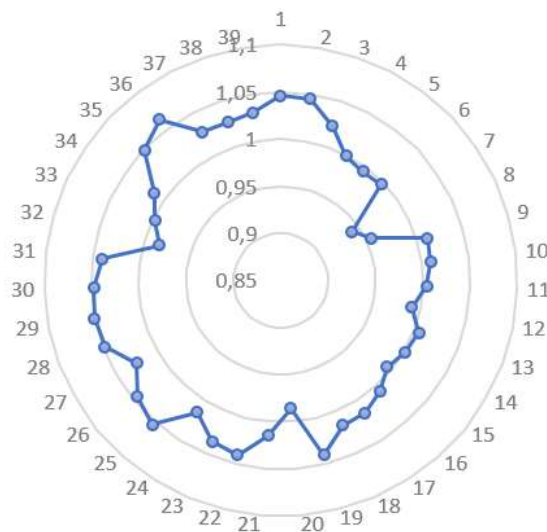


Figure 2-4, Écoulement de puissance en absence de SVC

Maintenant, pour abaisser le(s) niveau(x) de tension sur un des jeux de barres, l'insertion de SVC est suffisante pour atteindre le but. D'après la figure représentée ci-dessous montre que l'emplacement de SVC au jeu de barre 3 peut abaisser le niveau de ce JB et diminuer aussi les amplitudes des tensions aux jeux de barres adjacents.

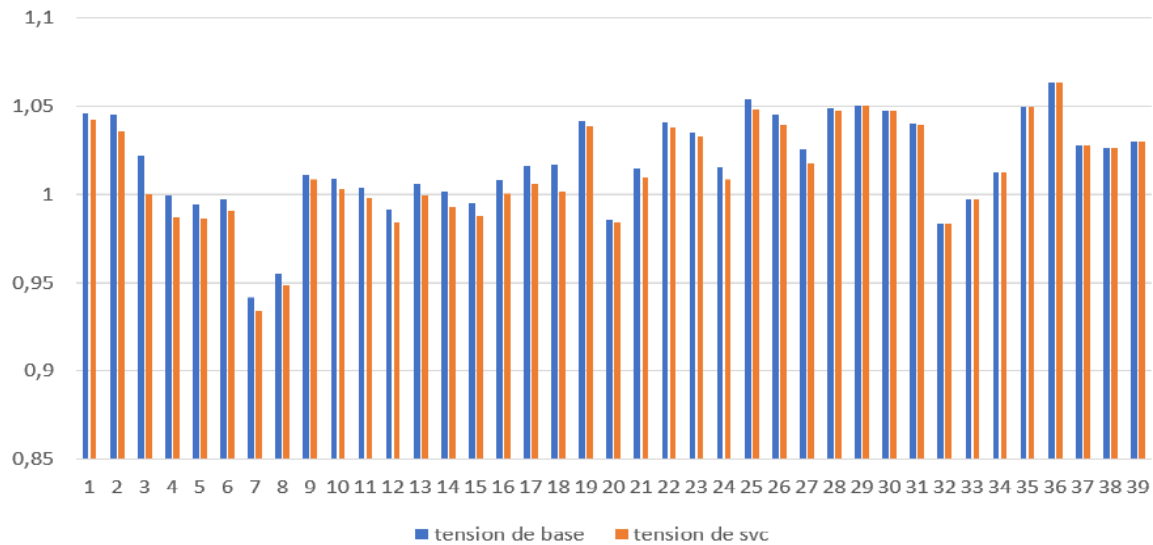


Figure 2-5, profile des tensions en présence de SVC

2.3 Simulation et discussions des résultats obtenus

2.3.1 1^{er} cas : analyse de réseau sans SVC

Dans cette partie nous présentons les résultats obtenus par le programme (PST) MATLAB. Une contingence doit être divisée en trois catégories appliqué au jeu de barre 3 apparu à l'instant 0.1sec, et de durée 50ms.

- Type de défaut 1 ; le défaut triphasé met la ligne 3-4 hors service ;
- Type de défaut 2, la ligne 3-4 déconnectée arbitrairement ;
- Type de défaut 3, la charge au jeu de barre 3 hors service.

La figure 2-6 représente l'évolution de tension de JB 4 relié au JB en défaut (JB3) pour une contingence apparue à l'instant 0.1 sec et de la durée de 05 s.

On remarque que l'effet de défaut triphasé au JB3 qui affecte le JB4 (adjacent) et conclure une chute de tension agressive au cours de défaut atteinte 60% de sa tension initiale puis une oscillation apparue aussi une fois cet aléa est éliminée par l'ouverture de la ligne 4-3. Par contre, les autres types de défaut se manifestent comme une simple chute de tension si la ligne est ouverte et une surtension si la charge est hors service à cause de l'absence de la puissance réactive de cette dernière.

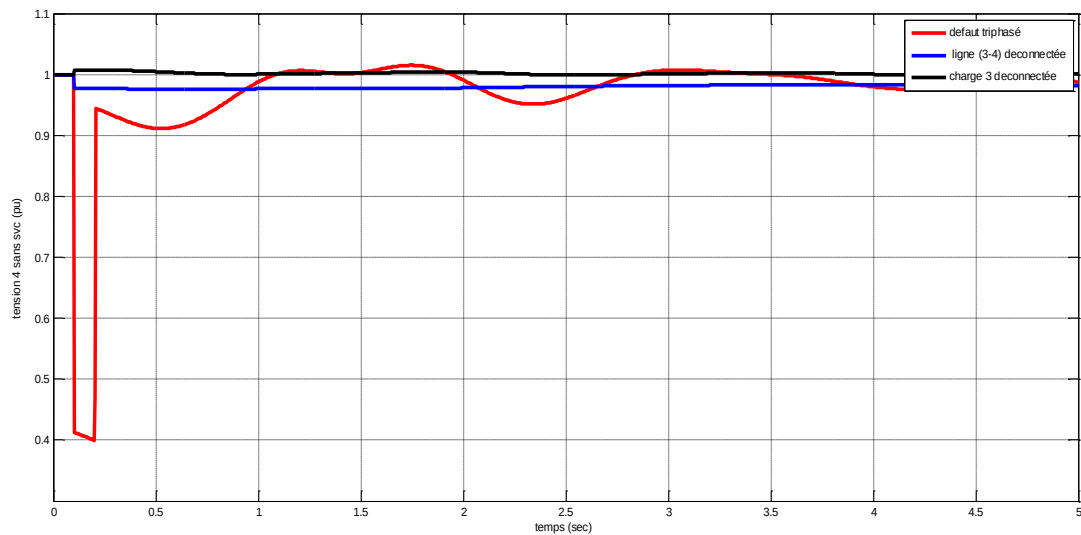


Figure 2-6, tension de jeu de barre 4 dans le 1^{er} cas

La figure 2-7, représente les courbes de tension de jeu barre 3 (JB en défaut) pendant 05 sec. Au cours du défaut triphasé et à cause de ce dernier, nous avons remarqué que la tension du jeu de barre 3 a eu une déconnexion totale et que le système revient à un état de stabilité après la 4^{ème} seconde. La tension du jeu de barre en présence du défaut triphasé est plus grave que le défaut en côté de charge isolée et ligne déconnectée (c'est-à-dire à cause de la perturbation du degré du défaut). Nous avons remarqué aussi qu'il y a une petite perturbation (oscillation) après l'annulation de défaut triphasé qui tend vers un état de stabilité. Une chute de tension apparue après le défaut pour les cas où la ligne soit hors service à cause de changement de topologie de réseau, c'est-à-dire la répartition de puissance réactive va influencer sur les niveaux de tension de système.

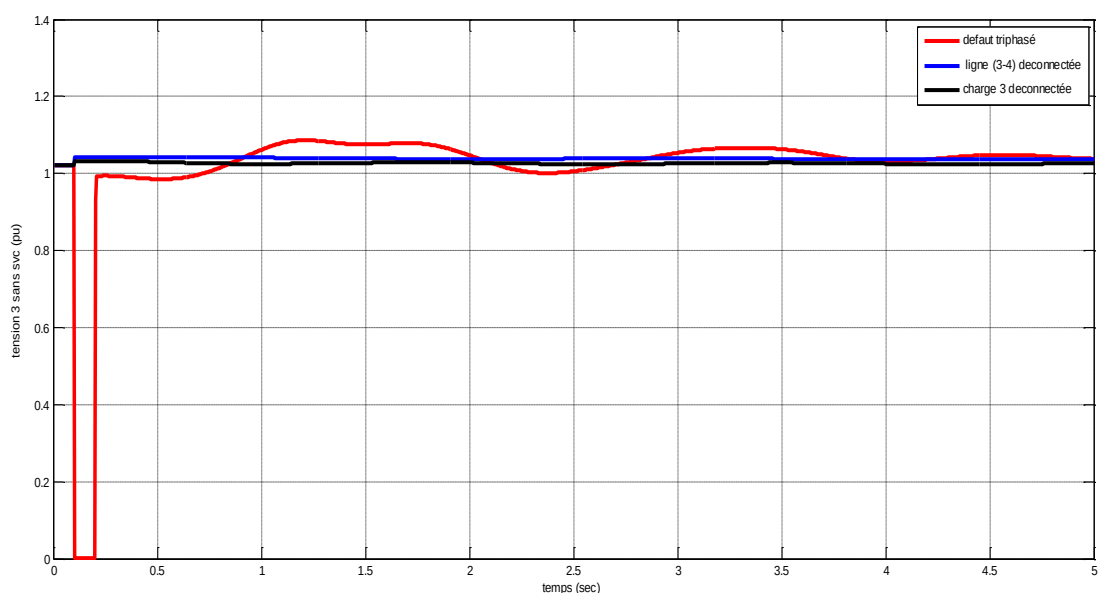


Figure 2-7, tension de jeu de barre 3 dans le 1^{er} cas

Les figures 2-8 et 2-9 représentent les courbes de puissance réactive des générateurs la plus proche de contingence telles que les générateurs liés aux JB 30 et 37.

Après les simulations, nous avons constaté que la puissance réactive des deux générateurs (30 et 37) a eu une augmentation de 9 (pu) et 4.5 (pu) respectivement durant le défaut et revient à un état de stabilité de niveau différent par rapport à la valeur initiale de la puissance réactive une fois le défaut est éliminé par l'ouverture de la ligne 3-4. Par contre les autres cas, nous avons remarqué que la production de cette puissance ait diminuée une fois l'aléa est apparue.

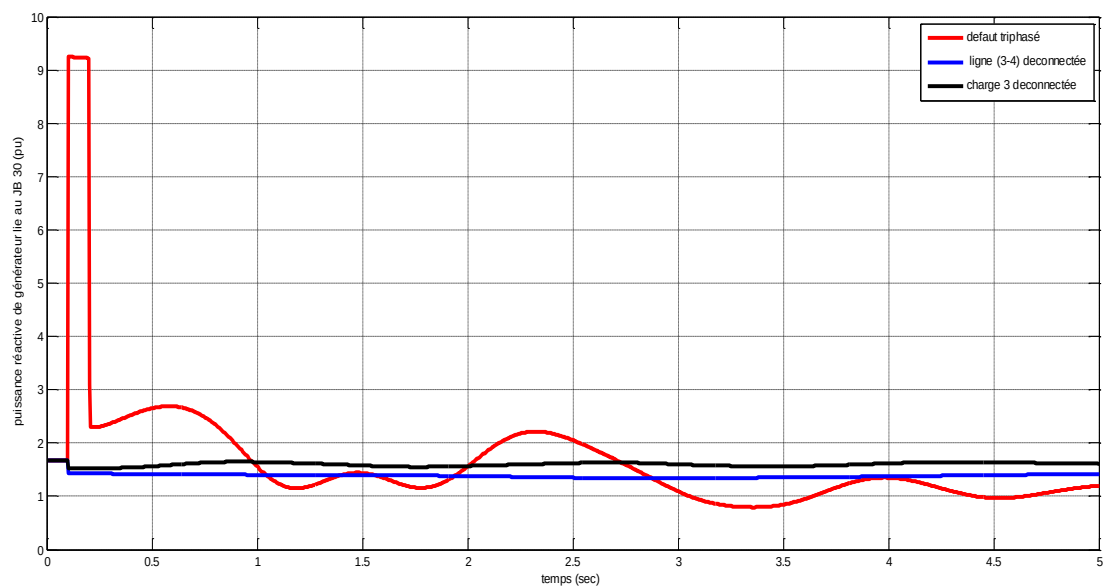


Figure 2-8, *puissance réactive de générateur lie au JB 30*

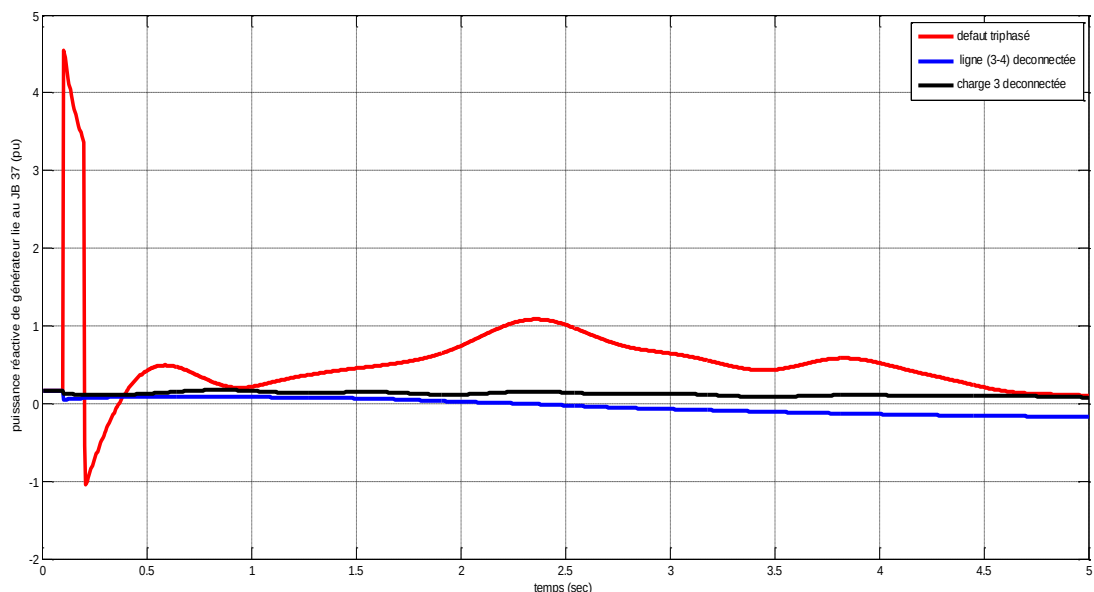


Figure 2-9, *puissance réactive de générateur lie au JB 37*

Les figures 2-10 et 2-11 représentent l'erreur de la vitesse et les angles des générateurs 30 et 37 respectivement. Au cours du défaut triphasé, nous avons remarqué que la vitesse du jeu de barre 30 a eu une évolution atteint 0.033 pu, et on a remarqué que la vitesse 30 a fait une certaine oscillation une fois le défaut est éliminé et prend son état de stabilité après 4^{ème} seconde. Ainsi que pour le générateur 37 nous avons remarqué que sa vitesse a eu une augmentation totale qui a dépassé 0.06 (pu) puis elle revient à son état de stabilité avec quelques oscillations. Par contre les cas de l'absence de la charge et l'élimination de la ligne, leur évolution se voit faible en comparant avec le cas de défaut triphasé.

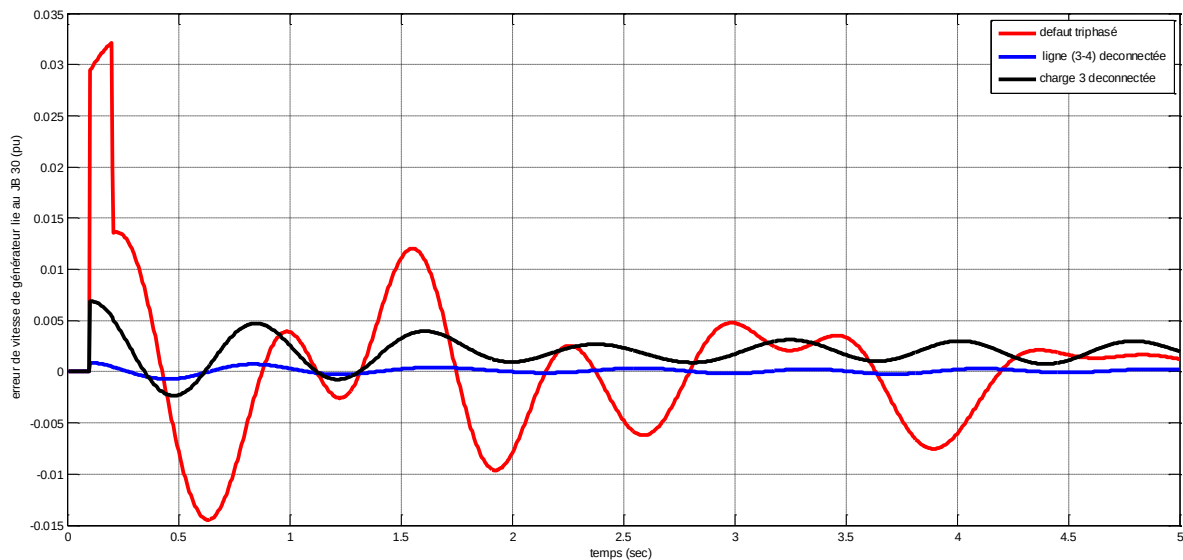


Figure 2-10, erreur de vitesse de générateur lie au JB 30

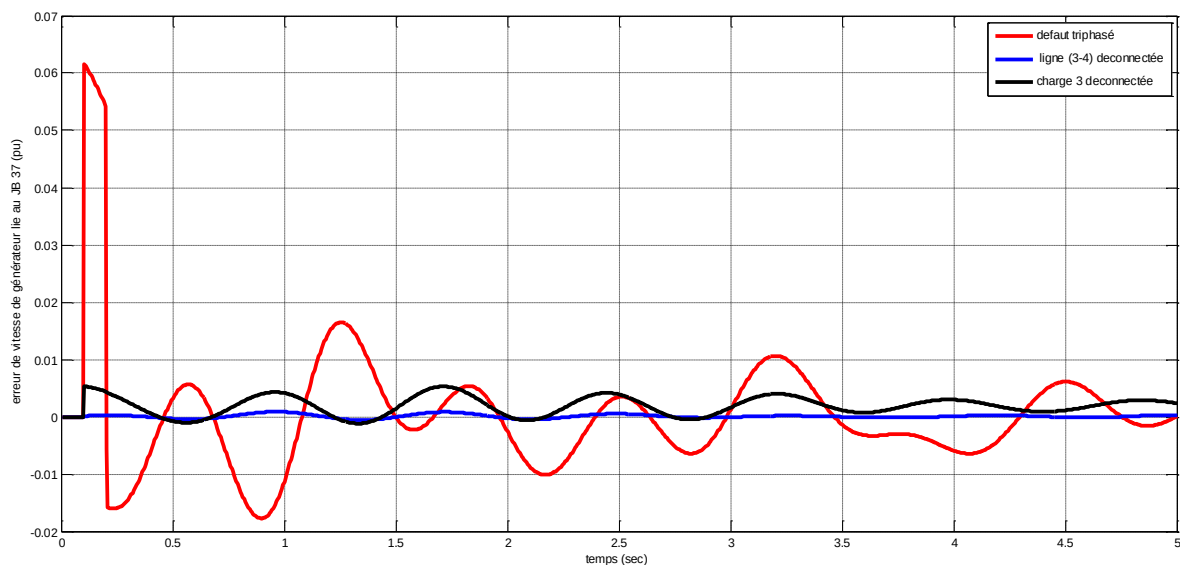


Figure 2-11, erreur de vitesse de générateur lie au JB37

La figure 2-12 représente la courbe de l'angle relatif de générateur lie au JB37. On voit que l'évolution de l'angle relatif de ce générateur porte une oscillation importante pour le cas de défaut triphasé qui engendre la déconnexion de la ligne 2-4 en comparant avec ceux du cas où l'aléa est de type perde de charge et ligne déconnectée.

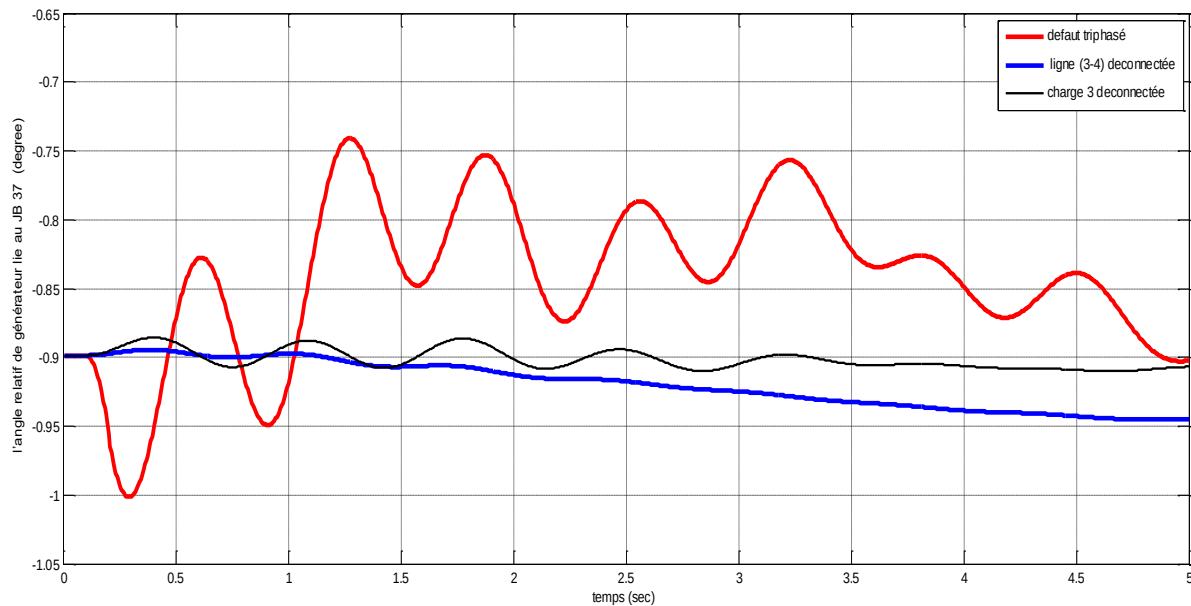


Figure 2-12, l'angle relatif de générateur lie au JB 37

2.3.2 2^{ème} cas : analyse de réseau avec SVC

Dans ce cas nous allons mettre un SVC sur le jeu de barre auquel le défaut est injecté. L'objectif est de voir son intervention dynamique sur l'amélioration des paramètres de système notamment sur le niveau de tension, réduction de la puissance réactive fournir par les sources d'énergie.

Après les simulations appliquées pour différents types de défaut. La figure 2-13 montre l'évolution de la tension de jeu de barres adjacent de défaut. En effet, il est clair que la tension du jeu de barre 4 en présence du défaut triphasé influe négativement sur le système plus que les défauts de charge isolée ou encore le défaut de ligne déconnectée (c'est-à-dire la perturbation dépend du degré du défaut). Par ailleurs nous avons aussi remarqué qu'elle a eu une petite perturbation dès l'apparition du défaut triphasé, mais le système a aussitôt retrouvé sa stabilité.

La figure 2-14, représente l'évolution de la tension au jeu de barre adjacent de défaut en présence et en absence de SVC injecte au jeu de barre 3. On voit que il y'a eu une amélioration légère de niveau de cette tension une fois le défaut a été éliminé.

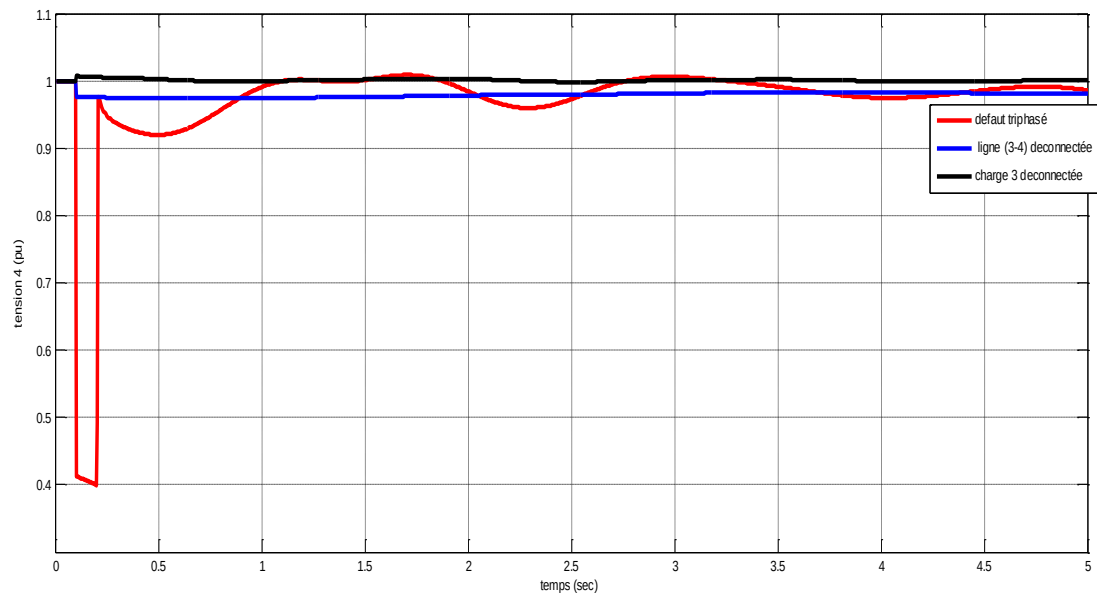


Figure 2-13, les courbes de tension de jeu barre 4 dans le 2^{eme} cas

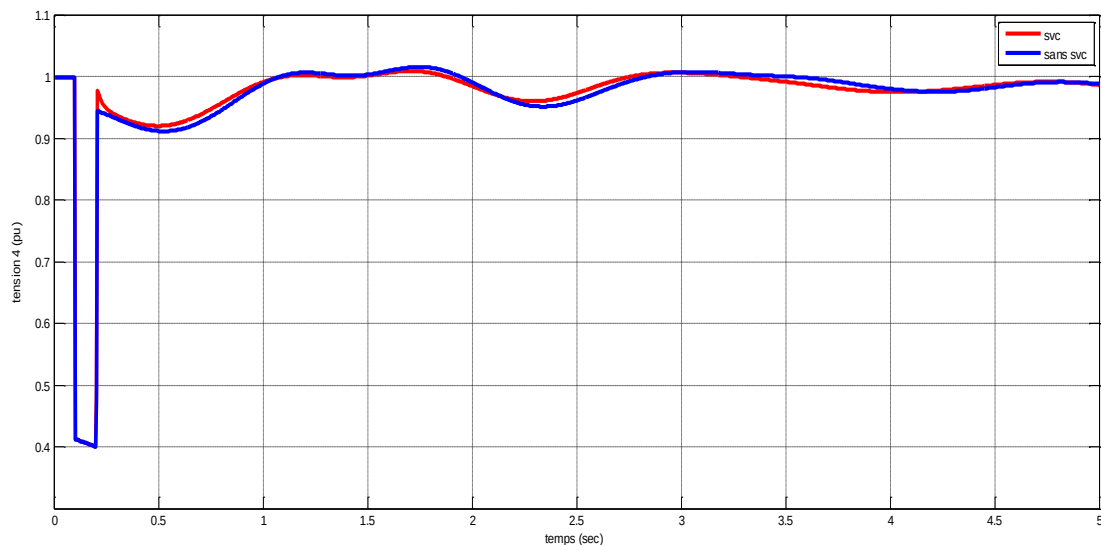


Figure 2-14, tension de JB4 avec et sans SVC en présence de défaut triphasé

La figure 2-15 représente les courbes de tension de jeu barres 3 (JB de en défaut) en présence de le effet SVC et de dure de 05 sec .Au cours du défaut triphasé, nous avons remarqué une chute brutale de la tension du jeu de barre 3 qui provoque une déconnexion de la ligne 3-4 au cours de défaut, mais la situation est revenue à son état initial avec une certaine oscillation. La tension du jeu de barre en présence du défaut triphasée est plus grave que le défaut en côté de charge isolée et ligne déconnectée (c'est-à-dire à cause de la perturbation selon le type du défaut). En outre nous avons aussi constaté une petite perturbation dès l'apparition du défaut triphasé, mais le système a aussitôt retrouvé sa stabilité et revient a une valeur de 1.0 pu après l'aléa.

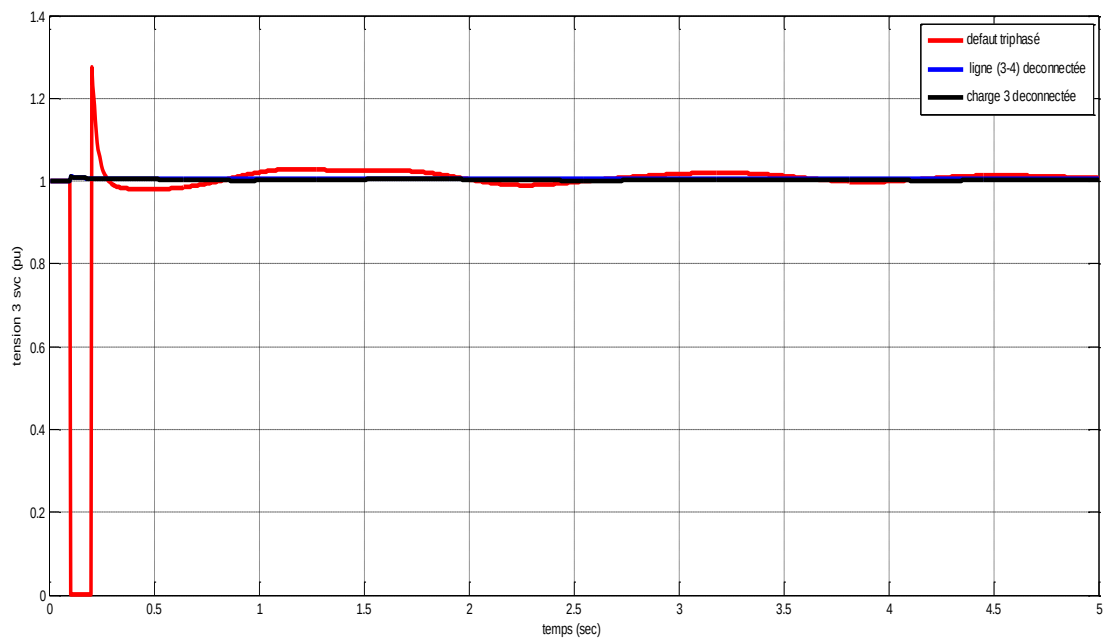


Figure 2-15, tension de jeu barre 3 dans le 2^{ème} cas

La figure 2-16, montre l'effet de l'SVC sur l'évolution de la stabilité dynamique et transitoire du système de puissance pour différents types de défaut.

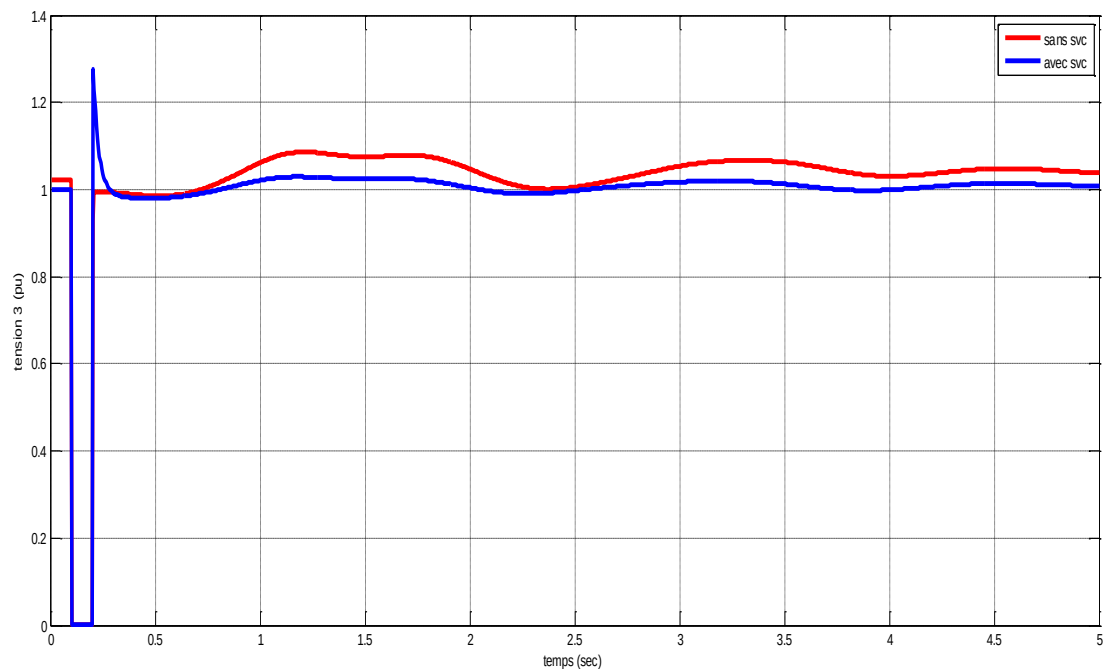


Figure 2-16, tension au JB3 avec et sans SVC avec un défaut triphasé

Les figures 2-17, et 2-18 montrent l'évolution de la tension de jeu de barre appartient l'aléa avec et sans SVC. On remarque l'importance de ce dernier pour réduire le niveau de cette tension après la déconnexion de la ligne.

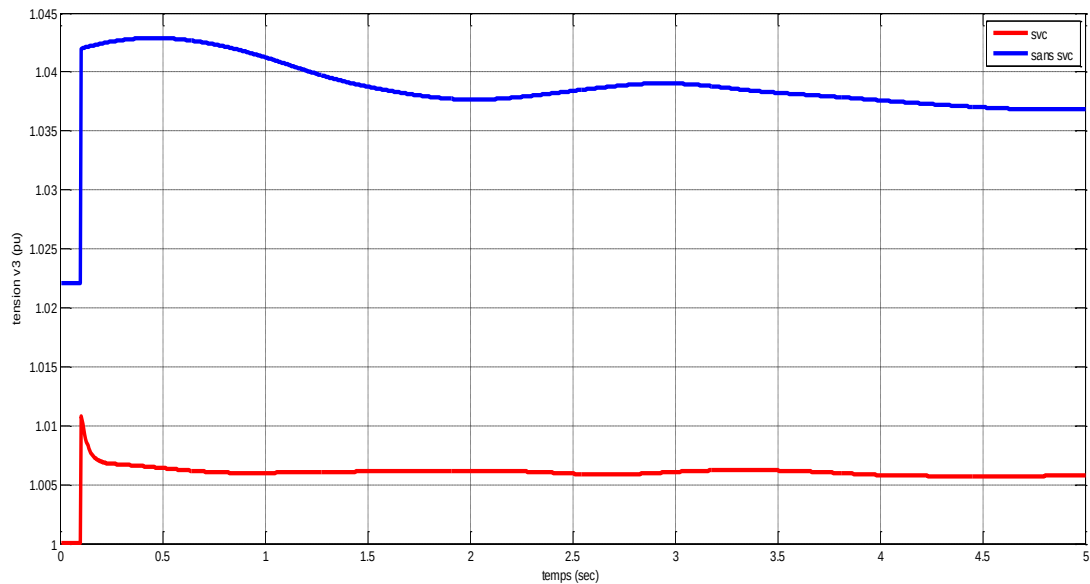


Figure 2-17, tension de JB3 avec ligne 3-4 isolée

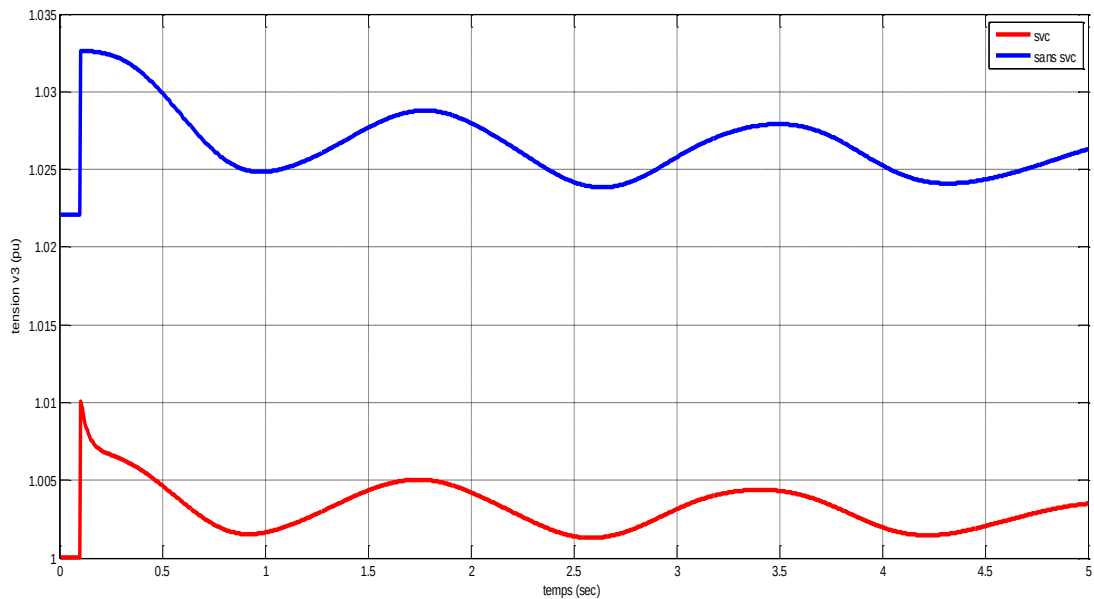


Figure 2-18, tension au JB3 avec charge isolée

La figure 2-19, représente les courbes de puissance réactive du jeu de barres 30 (JB de génération) en présence de l'effet SVC pendant 05 sec .Au cours du défaut triphasé, nous avons démontré que la puissance réactive fournie par le générateur lié au JB 30 a eu une augmentation durant le défaut et revient à son état de stabilité avec quelques oscillations et de valeur inférieure à celle avant l'apparition de défaut. Cette puissance réactive devient plus grave en présence du défaut triphasé que le défaut en côté de charge isolée et ligne déconnectée (c'est-à-dire à cause de la perturbation du degré du défaut). Nous avons remarqué aussi qu'il y a eu une petite perturbation dès l'apparition du défaut triphasé mais après le système, elle reprend sa stabilité.

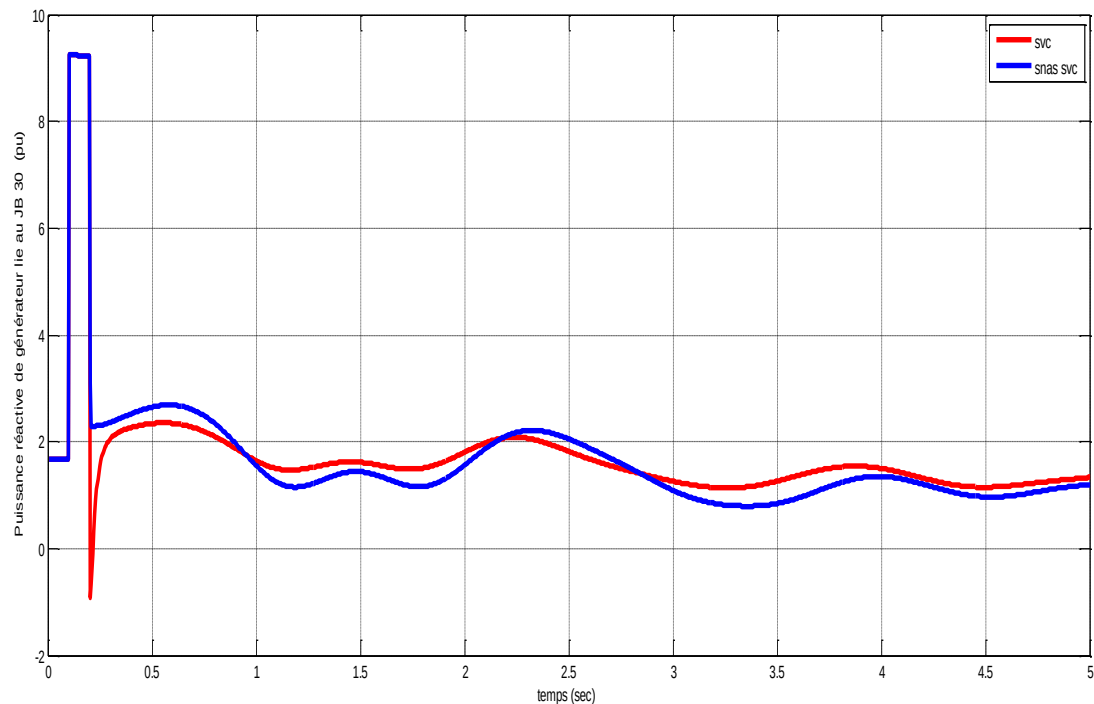


Figure 2-19, Puissance réactive de générateur lie au JB 30 avec et sans SVC en défaut triphasé

la figure 2-20 représente les courbes de vitesse de machine lie au JB30 (machine proche de JB en défaut) en présence de l'effet SVC d'une dure de 05 sec .Au cours du défaut triphasé, nous avons remarqué que la vitesse a eu une augmentation totale qui a dépassé 0.03 pu et avec quelques oscillations après la contingence. La vitesse de générateur proche de défaut est plus oscille en la comparant avec d'autres type de défaut.

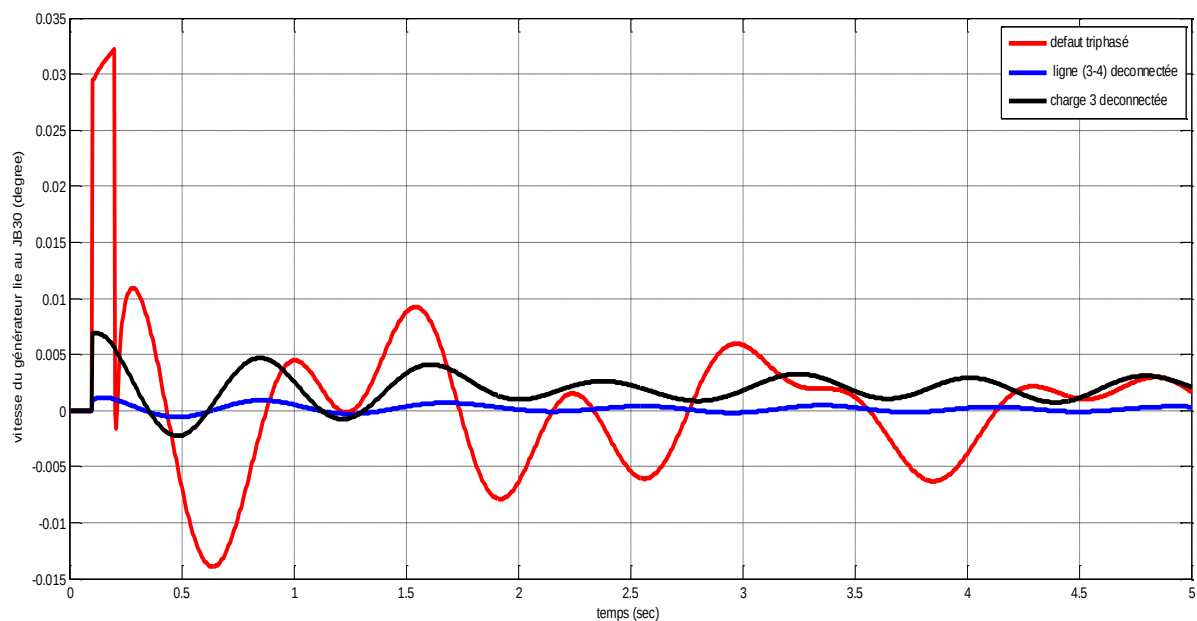


Figure 2-20, vitesse du générateur lie au JB30 avec SVC

La figure 2-21, représente les courbes de vitesse de générateur lie au JB en présence de l'effet SVC d'une durée de 05 sec .Au cours du défaut triphasé, nous avons remarqué que cette vitesse a eu une augmentation total qui a dépassé 0.06 pu et porte quelques oscillation une fois l'aléa est éliminé et est tend vers un état de stabilité.

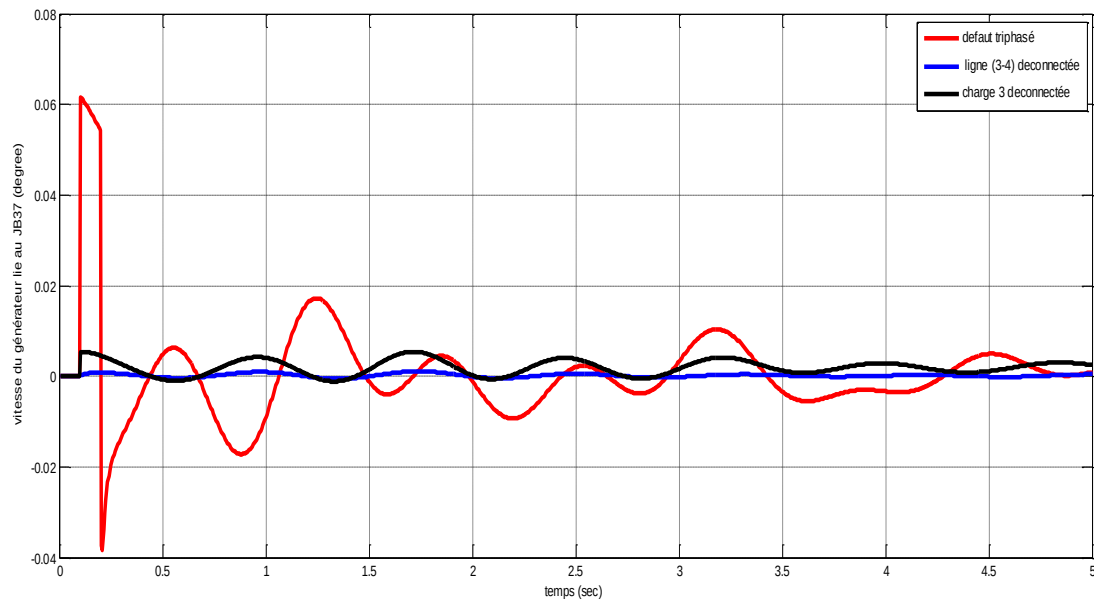


Figure 2-21, vitesse de générateur lie au JB 37 dans le 2^{eme} cas

La figure 2-22 montre l'évolution de l'angle rotorique de générateur lie au JB 37 en présence de l'effet SVC et de durée de 05 sec. On remarque aussi que les perturbations du défaut triphasé sont plus importantes que celles de ligne déconnectée encore plus que défaut de charge isolée, d'où on résulte que l'erreur de l'angle du défaut triphasé est la plus importante que de charge isolée et ligne déconnectée.

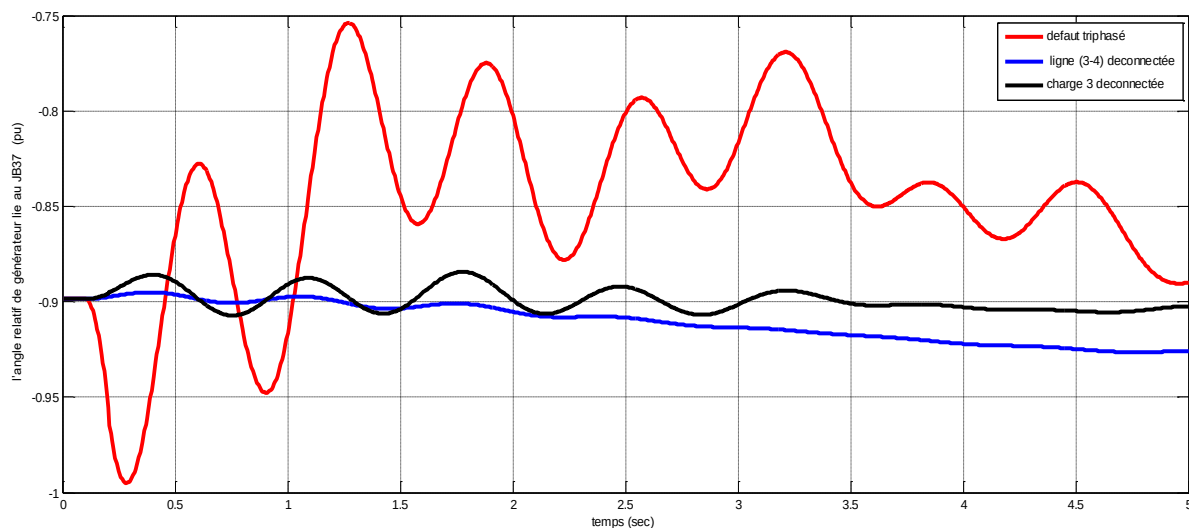


Figure 2-22, l'angle relatif de générateur lie au JB37 dans le 2^{eme} cas

La figure 2-23 représente l'évolution de la réactance de l'SVC sur la variation de la tension de jeu de barres où il est raccordé. Nous avons remarqué que pour abaisser le niveau de cette tension à 1.0pu , il est nécessaire d'absorber une puissance réactive de sa réactance inductive de 1.88pu, une fois le défaut est apparu, le SVC va changer la manière de consommation précédente et va commencer de fournir la puissance réactive pour recuperer le manque de tension et atteindre une valeur maximale designée par les données de ce SVC (15.0 pu), puis il revient une fois le défaut est éliminés et reste stable en assurant une réactance adéquate à celle de premier pas avec quelques oscillation de type faible par rapport aux cas où un défaut est supposé faible tels que, la deconnexion de la charge, ou l'ouverture de la ligne.

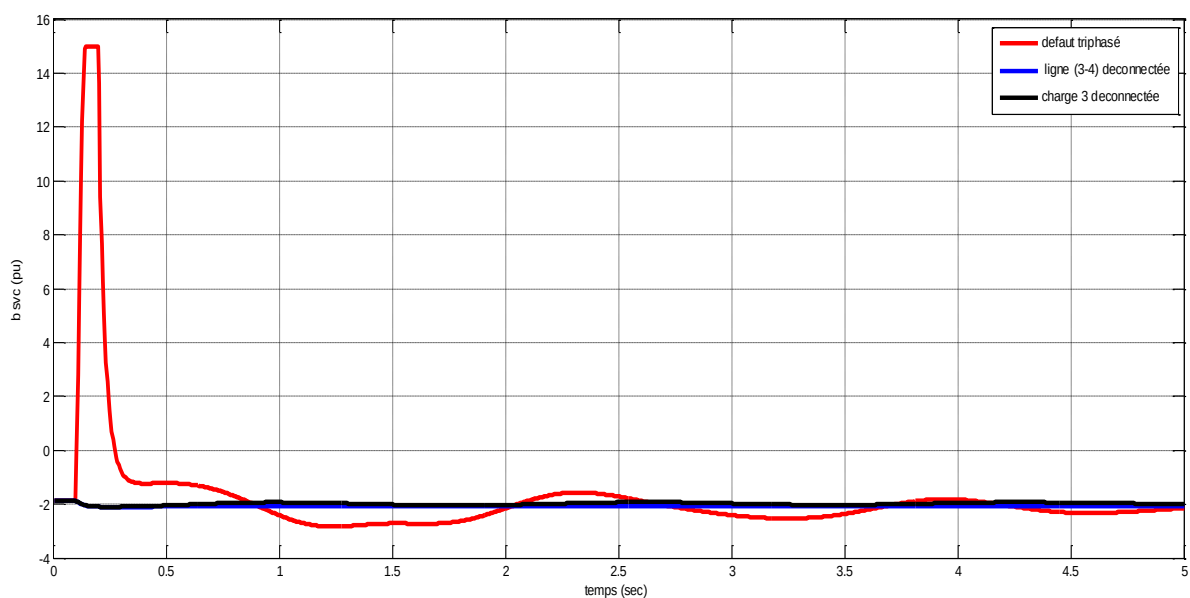


Figure 2-23, la réactance de SVC

2.4 Conclusion :

En résumé, cette mémoire a apporté des éclairages précieux sur l'influence de l'SVC sur la stabilité dynamique des réseaux électriques. Nous avons vu, à travers une série de simulations et d'analyses approfondies, comment ces dispositifs de contrôle de la puissance ont un impact sur la réaction du système électrique face aux différentes perturbations.

D'après nos résultats, l'association de l'SVC peut entraîner une amélioration considérable de la stabilité dynamique du réseau électrique en diminuant les oscillations indésirables, en réduisant les temps de rétablissement après des perturbations et en augmentant la capacité de transfert de poids.

Toutefois, il convient de souligner que l'efficacité de l'SVC est grandement influencée par leur localisation, leurs paramètres de réglage et les conditions particulières du réseau. Il est crucial d'effectuer des ajustements précis et d'adopter une stratégie de contrôle adéquate afin de maximiser les bénéfices de ces dispositifs tout en évitant les effets indésirables tels que les instabilités de commutation où encore les oscillations sub-synchrones.

Finalement, l'SVC joue un rôle crucial dans le renforcement de la stabilité dynamique des réseaux électriques et dans leur capacité à s'adapter aux défis à venir. Grâce à une planification stratégique et une gestion proactive du réseau, il sera possible d'assurer un approvisionnement énergétique fiable, durable et résistant pour les générations futures.

Conclusion générale :

En résumé, l'analyse de l'impact de l'SVC sur la stabilité dynamique des réseaux électriques met en évidence l'importance essentielle de ce dispositif pour préserver la fiabilité et la solidité du système éclairé. La fonction de SVC, en tant que Compensateur Statique de Puissance Réactive, est cruciale pour contrôler la tension et le flux de puissance réactive, ce qui a un effet important sur la stabilité du réseau face à différentes perturbations.

Les résultats de cette étude démontrent de façon persuasive que l'incorporation de l'SVC peut réduire les oscillations indésirables, améliorer la réponse transitoire du système et renforcer sa capacité à maintenir un fonctionnement stable face à des perturbations externes. Cela marque un progrès significatif dans la gestion des réseaux électriques, particulièrement dans un environnement où la demande d'énergie est en perpétuelle évolution et où les sources d'énergie renouvelable intermittentes prévalent de plus en plus.

Toutefois, afin d'exploiter pleinement les bénéfices offerts par l'SVC, il est essentiel de considérer plusieurs éléments tels que son localisation idéale, ses paramètres de réglage et sa coordination avec d'autres systèmes de contrôle du réseau. Il est essentiel d'avoir une planification approfondie et une mise en œuvre réfléchie afin d'optimiser son efficacité tout en réduisant les risques potentiels.

De plus, cette recherche met en évidence l'importance croissante de la recherche et du développement dans ce domaine. Il est indispensable d'investir davantage dans l'exploration de nouvelles techniques de contrôle avancées, dans l'évaluation de l'impact de l'SVC dans des scénarios de réseau plus complexes et dans l'étude de son interaction avec d'autres technologies émergentes comme les systèmes de batterie.

De plus, cette recherche souligne certains domaines de recherche qui revêtent une attention particulière à l'avenir. Par exemple, l'étude de méthodes de contrôle avancées afin d'améliorer la coordination l'SVC et d'autres dispositifs de stabilisation pourrait contribuer à renforcer davantage la résistance et la résilience des réseaux électriques face aux défis qui se présentent. En fin de compte, cette recherche contribue à une meilleure compréhension de la manière dont les technologies de contrôle de la puissance telles que l'SVC peuvent être utilisées pour renforcer la stabilité dynamique des réseaux électriques.

- [1] J.B.Gupta, “A cours in power systems”, Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I en Génie Electrique- juillet 2005.
- [2] Daniel Perrier – Henri Chorel – Production – transport – distribution publique de L'électricité en France Edit 1994.
- [3] P.A. Lof et al. “Voltage Stability Indices for Stressed Power System.” IEEE Trans.PS, Vol.8No.1,pp.326-335, February1993.
- [4] N. Kandil, “ Algorithmes pour accélérer la simulation en stabilité transitoire”, Th doctorat, université de MONTREAL, 1999.
- [5] M. S. M.Eremia, “Handbook of electrical power system dynamics”, in John Wiley & Sons Ins, 2013.
- [6] Eskandar Gholipour Shahraki, “ Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques”, th doctorat Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2003
- [7] j.Machowski, J.W.BialekJ.R .Bunly , “Power system dynamic and stability”, New York: London: John Wiley, 1997.
- [8] Fetissi. Selwa, “ Impacts de l'insertion des énergies renouvelables sur le réseau de transport HTB”, thèse doctorat, univ. constatine 2018
- [9] Boutaba Samia, ” Amélioration de la stabilité d'un réseau électrique par l'utilisation d'un ASVC”, thèse de Magister, université de chlef, 09 juin 2009.
- [10] Ziyad Bouchama “ Stabilisateurs Synergétiques des Systèmes de Puissance ” UFAS, Thèse de Doctorat, 2013.
- [11] K. R. Padiyar . “FACTS controllers in power transmission and distribution “, New age international Publishers, 2007
- [12] Abdelaàli ALIBI, “Contrôle des Réseaux Electriques par les Systèmes FACTS: (Flexible AC Transmission Systems)”, thèse de Magister, l'Université de Batna 2009.
- [13] ZHANG Xiao-Ping, CHRISTIAN Rehtanz, BIKASH Pal, “Flexible AC Transmission Systems, Modelling And Control ”, Springer 2005

- [14]** Rabah.Benabid, “Optimisation Multi-Objectif de la synthèse des FACTS par les particules en Essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques ”, thèse de magister, Université de jijel, 04/09/2007.
- [15]** Saseghzaden, S.M. “ Amélioration de la stabilité transitoire et de l’amortissement des Oscillations d’un réseau électrique à l’aide d’un SSSC”. Thèse de doctorat, INPG, MARS 1998.
- [16]** M. Hamadou Zakaria, “Optimisation des paramètres d’un FACTS shunt pour l’amélioration de la stabilité transitoire d’un système électrique ”, Mémoire de magister, Université de Sétif 20 Juin 2012.
- [17]** A. Kazemi, and B. Badrzadeh, “ Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study their Limités on Maximum Loadability Point”, Electrical Power and Energy Systems, Vol. 26, pp. 619-626, Apr. 2004.
- [18]** CIGRE Working Group 38-01. “Static Var Compensator”, CIGRE, Paris, 1986.
- [19]** E.GH. sahraki, “Apport de l’UPFC à l’amélioration de la stabilité transitoire des R-E, thèse de Doctorat”, université de Henri poincaré, Nancy, 13 octobre 2003.
- [20]** M. A. Kamarposhti, M. Alinehad, “Comparison of SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement”, international journal of electrical and electronics engineering, 2010.

Résultats de l'écoulement de puissance de réseau New England

Tableau 1, Niveau De Tension Et Puissance

N JBs	Tension	angle	Generation		Charge	
			P Active(pu)	P Reactive(pu)	P Active(pu)	P Reactive(pu)
1	1,0426	-9,4126	0	0	0	0
2	1,0361	-6,7858	0	0	0	0
3	1	-9,6888	0	-1,8804	3,22	0,024
4	0,9873	-10,5697	0	0	5	1,84
5	0,9867	-9,3301	0	0	0	0
6	0,9903	-8,5993	0	0	0	0
7	0,9344	-10,7703	0	0	2,338	8,4
8	0,9483	-11,3888	0	0	5,22	1,76
9	1,0085	-11,1862	0	0	0	0
10	1,0033	-6,1627	0	0	0	0
11	0,9976	-6,9917	0	0	0	0
12	0,9846	-7,0094	0	0	0,085	0,88
13	0,999	-6,8929	0	0	0	0
14	0,9934	-8,6078	0	0	0	0
15	0,9877	-9,0119	0	0	3,2	1,53
16	1,0005	-7,506	0	0	3,294	3,23
17	1,0055	-8,5771	0	0	0	0
18	1,002	-9,4533	0	0	1,58	0,3
19	1,0383	-2,778	0	0	0	0
20	0,9846	-4,2293	0	0	6,8	1,03
21	1,0097	-5,0038	0	0	2,74	1,15
22	1,038	-0,4396	0	0	0	0
23	1,0326	-0,6418	0	0	2,475	0,846
24	1,0088	-7,3872	0	0	3,086	-0,922
25	1,0476	-5,5073	0	0	2,24	0,472
26	1,0393	-6,7505	0	0	1,39	0,17
27	1,0177	-8,7772	0	0	2,81	0,755
28	1,0474	-3,2306	0	0	2,06	0,276
29	1,0505	-0,4803	0	1,4837	2,835	1,269
30	1,0475	-4,3366	2,5	2,1733	0	0
31	1,0395	-1,5216	5,7293	8	0,092	0,046
32	0,9831	1,9448	6,5	2,6959	0	0
33	0,9972	2,4661	6,32	1,8552	0	0
34	1,0123	0,976	5,08	2,0248	0	0
35	1,0493	4,5786	6,5	2,9712	0	0
36	1,0635	7,2918	5,6	1,4922	0	0
37	1,0278	1,3278	5,4	0,4374	0	0
38	1,0265	6,5809	8,3	0,1926	0	0
39	1,03	-10,96	10,0609	1,8847	11,04	2,5

Tableau 2, puissance dans les lignes

Ligne	De JB	Jusqu'à JB	P Active (pu)	P Reactive (pu)
1	1	2	-1,1798	-0,0873
2	1	39	1,1798	0,0873
3	2	3	3,6691	2,1142
4	2	25	-2,3536	0,4897
5	2	30	-2,5	-1,9922
6	3	4	0,7464	0,444
7	3	18	-0,3197	-0,2282
8	4	5	-1,6359	0,1025
9	4	14	-2,6187	-0,3235
10	5	8	3,2302	3,1343
11	6	5	4,8734	1,0128
12	6	7	4,1899	5,7664
13	6	11	-3,426	-0,6065
14	7	8	1,8204	-3,0114
15	8	9	-0,192	-1,7322
16	9	39	-0,1984	-1,4676
17	10	11	3,4626	0,9855
18	10	13	3,0374	0,6858
19	10	32	-6,5	-1,6712
20	12	11	-0,0225	-0,4247
21	12	13	-0,0625	-0,4553
22	13	14	2,9707	0,2523
23	14	15	0,3383	0,0532
24	15	16	-2,862	-1,1214
25	16	17	2,0581	-0,7647
26	16	19	-4,5053	-1,5416
27	16	21	-3,2919	-0,5452
28	16	24	-0,4254	-1,4202
29	17	18	1,9024	0,2126
30	17	27	0,1523	-0,8843
31	19	33	-6,2895	-1,2357
32	19	20	1,7486	-0,4229
33	20	34	-5,0537	-1,4995
34	21	22	-6,0407	-1,5863
35	22	23	0,429	0,4604
36	22	35	-6,5	-2,3078
37	23	24	3,5389	0,4923
38	23	36	-5,5852	-0,6844
39	25	26	0,7515	-0,0779
40	25	37	-5,3833	0,2072
41	26	27	2,6699	1,1867

Annexe

42	26	28	-1,4107	-0,4291
43	26	29	-1,8995	-0,4648
44	28	29	-3,4786	0,0569
45	29	38	-8,2477	0,8279
46	31	6	5,6373	7,954
1	2	1	1,1845	-0,6117
2	39	1	-1,1782	-0,8551
3	3	2	-3,6467	-2,1202
4	25	2	2,3919	-0,6013
5	30	2	2,5	2,1733
6	4	3	-0,7453	-0,6442
7	18	3	0,3199	0,0155
8	5	4	1,6382	-0,1977
9	14	4	2,6244	0,2796
10	8	5	-3,2131	-3,0342
11	5	6	-4,8683	-0,9894
12	7	6	-4,1584	-5,3886
13	11	6	3,4345	0,5699
14	8	7	-1,8148	3,0065
15	9	8	0,1984	1,4676
16	39	9	0,1991	0,2398
17	11	10	-3,4574	-1,0027
18	13	10	-3,0336	-0,7172
19	32	10	6,5	2,6959
20	11	12	0,0228	0,4329
21	13	12	0,0628	0,4649
22	14	13	-2,9627	-0,3328
23	15	14	-0,338	-0,4086
24	16	15	2,8706	1,0417
25	17	16	-2,0548	0,6717
26	19	16	4,5408	1,6586
27	21	16	3,3007	0,4363
28	24	16	0,4261	1,3639
29	18	17	-1,8999	-0,3155
30	27	17	-0,1516	0,5646
31	33	19	6,32	1,8552
32	20	19	-1,7463	0,4695
33	34	20	5,08	2,0248
34	22	21	6,071	1,8475
35	23	22	-0,4287	-0,6538
36	35	22	6,5	2,9712
37	24	23	-3,5121	-0,4419
38	36	23	5,6	1,4922
39	26	25	-0,7497	-0,4627
40	37	25	5,4	0,4374
41	27	26	-2,6584	-1,3196

Annexe

42	28	26	1,4186	-0,3329
43	29	26	1,9186	-0,4494
44	29	28	3,4941	-0,1638
45	38	29	8,3	0,1926
46	6	31	-5,6373	-6,1727

Résumé

Selon l'idée que la stabilité dynamique est l'indicateur parfait de l'état du réseau électrique, cette étude vise à analyser l'impact de SVC après plusieurs défauts. Cette analyse vise à détecter des anomalies concernant le profil de tension au niveau de jeu de barre de défaut et des jeux de barres adjacents, les pertes de puissance réactive à travers les lignes et la stabilité dynamique du réseau. Les anomalies ont été éliminées en utilisant les dispositifs FACTS, même en l'absence et en présence de SVC (Statique Var Compensateur).

Cette étude a été appliquée sur le Réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres, en utilisant un logiciel MATLAB ou plusieurs comparaisons ont été établis montrant ainsi l'efficacité cette étude.

Mots clés : stabilité dynamique, Réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres, SVC.

ملخص

استنادا إلى فكرة أن الاستقرار الديناميكي هو المؤشر الأمثل لحالة شبكة الطاقة، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير SVC بعد عدة أخطاء. يهدف هذا التحليل إلى اكتشاف الحالات الشاذة فيما يتعلق بملف تعريف الجهد عند مستوى شريط التوصيل الخاطئ وأشرطة التوصيل المجاورة، وفقدان الطاقة التفاعلية عبر الخطوط والاستقرار الديناميكي للشبكة. تم القضاء على الحالات الشاذة باستخدام أجهزة FACTS، حتى في حالة غياب وجود SVC (معوض Var الثابت).

تم تطبيق هذه الدراسة على Réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres باستخدام برنامج MATLAB حيث تم إجراء عدة مقارنات مما يوضح مدى فعالية هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الاستقرار الديناميكي، Réseau de la Nouvelle-England 39 jeux de barres ، SVC.

Abstract

Based on the idea that dynamic stability is the optimal indicator of the state of the power network, this study aims to analyze the effect of SVC after several faults. This analysis aims to detect anomalies concerning the voltage profile at the faulty busbar and adjacent busbars, the loss of reactive power at the line terminals and the dynamic stability of the network. Anomalies are eliminated using FACTS devices, even in the absence and presence of SVC (statique Var Compensator).

This study was applied to the New England network 39 bus using MATLAB, where several comparisons were made, demonstrating the effectiveness of this study.

Keywords: dynamic stability, New England network 39 bus, SVC.