الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Mémoire de Fin d'étude pour obtention du diplôme de Master en génie électrique

Option : réseau électrique

THEME

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE COMME UN PSS ET TCSC

Proposé et dirigé par,

-Dr. SEBAA Karim

-Dr. TLEMÇANI Abdelhalim

Préparé et présenté par,

LARBI Abdlwahab

ABDERRAHMANE Abderrezak

2013/2014

ملخص:

ندرس في هذه الرسالة مشكلة الاستقرار العابر في الأنظمة الكهربائية يرتكز عملنا على تصميم اثنين من المثبتات، المعوض التسلسلي المتحكم بواسطة التر ستور وموازن نظام الطاقة ولك بستخدام المنطق الغامض في التوليف وضبط اعداداته ومعالمه، ان دور هذين المثبتين سالفي الذكر هو توفير ما يلزم من التذبذبات الكهرو ميكانيكية للمولد عندما يخضع النظام الكهربائي لمختلف العيوب.

الكلمات المفتاحية:

الاستقرار العابر، المنطق الغامض، المعوض التسلسلي المتحكم فيه بواسطة التريستور، موازن نظام الطاقة.

Résumé:

Ce mémoire traité du problème concernant l'analyse et l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques, notre travail s'est porté sur dimensionnement de deux stabilisateurs le PSS et le TCSC et l'application du logique floue. Le rôle de ces stabilisateurs est d'apporter l'amortissement nécessaire aux oscillations électromécaniques du générateur lorsque le système électrique est sujet à différents défauts.

Mots-clés :

Stabilité transitoire, logique floue, TCSC (thyristor-Controlled Series capacitor), PSS (power system stabilizer).

Abstract :

This thesis addresses the problem regarding the analysis and improvement of transient stability power systems. Our work focused on the design of two stabilizers PSS and TCSC and application of fuzzy logic, in the synthesis is to provide the necessary damping electromechanical oscillations of the generator when the power system is subject to various defects.

Keywords:

Transient stability, fuzzy logic, (PSS) power system stabilizer, (TCSC) Thyristor- Controlled Series Capacitor.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre encadreurs Dr. A.SEBAA et Dr. A. TLEMCANI pour ses encouragement, ses conseils et leurs disponibilités, qui nous ont été utile au cours de l'élaboration de notre étude.

A nos parents

A nos sœurs

A nos frères

A tous ceux nous ont aidés et encouragés.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents.
Mes frères et sœurs.
A tous les membres de ma famille qui m'ont aidé et m'en courage afin que je réalise ce projet
Également à mon promoteur K.SEBAA qui m'en appris tous les savoirs durant tout mon cursus d'études

à mes amies De promo de réseaux et Surtaux Hamza et H.brahim,

B.Ossama Mh.ola Nacer Azizi sebti A.Mhamdi zohire

Yahiawi Molod B.Frouk teki A.Mohamed Yacine

Abdnoure Soufian B.Youcef djalakh Halim

Sr.Saara , et tout que je connu.

Abdlwahab

LISTE DES SYMBOLES

PSS	Power System Stabilizer (stabilisateur de système de puissance)
TCSC	Condensateur série fixe et commandé par thyristors (Thyristor-Comtrolled Series Capacitor).
FACTS	Flexible alternating current transmission Systems (système de transmission Flexible en courant alternatif)
ACS	Ant colony system
AS	Ant system
AGs	les algorithmes génétiques
PSO	Particule Swarm Optimization
EPRI	Electric Power Research Institue
MVA	Méga volt ampères
AC	courant alternative
SVC	Compensateur statique de puissance réactive (Static Far Compensator).
TCPAR	Régulateur de déphasage par thyristor (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator)
STATCOM	Compensateur synchrone statique (Synchronous Static Compensator),
SSSC	Compensateur série synchrone statique (Synchronous Static Series

Compensator).

UPFC Contrôleur de transit de puissance unifié (Universal Power Flow Controller).

SMIB Single-machine infinite-bus (machine seul connectée à un nœud infini^

Ψ_S Ψ_r Flux magnétique du stator et du rotor

[*L*] Matrice des inductances

[*R*] Motrice des résistances

T_m Le couple mécanique

T_e Le couple électrique

P_e La puissance électrique

D Coefficient d'amortissement

j Moment d'inertie du rotor

[C_P] Matrice de Park

θ L'angle du roto

w La vitesse angulaire rotorique

S_m Glissement du générateur

δ Angle rotorique

I_d Composante du courant sur l'axe d

I_q Composante du courant sur l'axe q

v_d	Composante de tension sur l'axe d
v_q	Composante de tension sur l'axe q
x_d	La réactance synchrone sur l'axe d
x'_d	La réactance transitoire sur l'axe d
x_q	La réactance synchrone sur l'axe q
x'_q	La réactance transitoire sur l'axe q
PU	Fer Unit La grandeur en unité relative grandeur réduite
E'_d	La source de tension équivalente sur l'axe d
E'_q	La source de tension équivalente sur l'axe q
B	Indice pour désigner la base des variables
E_{fd}	La tension du système d'excitation
T'_{d0}	La constant de temps en circuit ouvert sur l'axe d
T'_{q0}	La constant de temps en circuit ouvert sur l'axe q
H	La constante d'inertie
E_b	Tension du nœud infini
R_e	Résistance de la ligne
X_e	Réactance de la ligne
V_t	La tension de sortie du générateur

$\mathbf{T_w}$	La constante de temps du filtre passe haut
$\boldsymbol{Kp}$	Le gain du PSS
$\boldsymbol{T_{ip}}$	Les constantes de temps des blocs de compensation du FSS
$\boldsymbol{K_T}$	Le gain du TCSC
$\mathbf{T_{iT}}$	Les constantes de temps des blocs de compensation du TCSC
$\boldsymbol{\alpha}$	L'angle d'amorçage des thyristors du TCSC
$\boldsymbol{\sigma}$	L'angle de conduction des thyristors du TCSC
NC	Non contrôlé
K	la fourmi
t	Nombre d'itération
i , j	les villes
$\boldsymbol{P_{ij}^K(t)}$	Probabilité déplacement de fourmi
$\boldsymbol{\tau_{ij}^K(t)}$	L'intensité de la piste entre ville i et ville
ηij	la visibilité entre ville i et ville j
$\boldsymbol{\Delta\tau_{ij}^K(t)}$	Une certaine quantité de phéromone
$\boldsymbol{L^K(t)}$	la longueur de la tournée les fourmis
Q	un paramètre fixe
$\mathbf{T^K(t)}$	le trajet effectue par la fourmi

NB	Négative big.
NM	Négative medium.
NS	Négative small.
ZR	Zero.
PS	Positive small.
PM	Positive medium.
PB	Positive big.

TABLE DE MATIERE

TABLE DE MATIERE

Introduction generale 1

chapitre 1 : définitions et concept de base 4

1.1. Introduction 5
1.2. Notion de la stabilite 5
1.3. Type de la stabilite 5
1.3.1. Stabilité statique 6
1.3.2. Stabilité transitoire 6
1.3.3. Stabilité dynamique 6
1.4. Les methodes utilisees 6
1.4.1. Les méthodes classiques 6
1.4.2. Les méthodes intelligentes (méta heuristiques) 8
1.5. Techniques d'amelioration de la stabilite 10
1.5.1. Amélioration de la stabilité par pss 10
1.5.2. Insertion des dispositifs stabilisateurs pss 11
1.5.3. Amélioration de la stabilité par les facts 12
1.6. Conclusion 21

chapitre 2 : modélisation du réseau électrique 22

2.1. Introduction 23
2.2. Modelisation de la machine 23
2.2.1. Les équations de la machine 24
2.2.3. Les variables per unit 27
2.3. Modelisation du systeme monomachine 31
2.4. Structure des pss 33
2.4.1. Procédure de dimensionnement des pss 33
2.4.2. Description du bloc du pss 35
2.5. Structure de tscs 36
2.6. Le systeme etudie 37
2.6.1. Premier cas (court-circuit franc) 38

2.6.2. Deuxième cas (déclenchement d'une ligne) 39
2.7. Conclusion 41

chapitre 3 : logique floue 41

3.1. Introduction 42
3.2. Principe fondamental de la logique floue 42
3.3. Bases generales de la logique floue 43
3.4. Definition d'une variable linguistique par des fonctions d'appartenance 43
3.4.1. Fonction d'appartenance 43
3.5. Reglage par la logique floue 44
3.5.1 structure d'un réglage par logique floue 44
3.6. Structure et configuration interne d'un regulateur par logique floue 45
3.6.1. Interface de fuzzication 46
3.6.2. Base de connaissance 46
3.6.3. Le moteur d'inférence 46
3.6.4. La déffuzzification 48
3.7. Differents type de regulateur flou 49
3.7.1. Régulateur de type mamdani 49
3.7.2. Régulateur de type sugeno 49
3.8. Conclusion 50

chapitre 4 : application de la logique floue comme pss et tcsc 51

4.1. Introduction 52
4.2. Le controleur par la logique floue 52
4.2.1. Définition 52
4.3. Developpement du controleur flou dans le systeme etude 53
4.3.1. Description du contrôleur 54
4.3.2. Loi de commande 56
4.4. Les resultats De réglage 57
4.4.1. Premier cas (court-circuit franc) 57
4.4.2. Deuxième cas (déclenchement d'une ligne) 60
4.4.3. réglage des deux défauts simultanément 62
4.5. Conclusion 64

conclusion generale 65

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 la structure de SVC 14

Figure I.2 le TCSC connecté en série avec une ligne 15

Figure I.3 Schéma de contrôle de l'angle de transport par TCPAR 16

Figure I.4 Structure du STATCOM 17

Figure I.5 Structure de SSSC 18

Figure I.6 structure de l'UPFC 19

Figure I.7 diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux 20

Figure II.1 représentation d'une machine synchrone 24

Figure II.2 une machine synchrone connectée à un nœud infini (SMIB) 31

Figure II.3 structure du contrôleur PSS 35

Figure II.4 structure du contrôleur TSCS 36

Figure II.5 système mono-machine connecté à un nœud infini avec TCSC 38

Figure II.6 réponses temporelles un court-circuit de δ, $\Delta\omega$, p_e, et v_t de la machine synchrone non contrôlés (NC), avec TCSC, avec TCSC et PSS 39

Figure II.7 réponses temporelles à un déclenchement d'une ligne de δ, $\Delta\omega$, p_e, et v_t de la machine synchrone non contrôlés (NC), avec TCSC, avec TCSC et PSS. 40

Figure III.1 classification selon la logique floue classique 44

Figure III.2 classification selon la logique floue 44

Figure III.3 Structure d'un régulateur par logique floue 46

Figure III.4 Structure de base d'un régulateur flou 47

Figure III.5 Méthode d'inférence max-min pour deux variables d'entrée et deux règles 48

Figure IV.1 bloc d'un contrôleur flou dans TCSC 57

Figure IV.2 bloc d'un contrôleur flou dans PSS 57

Figure IV.3 les fonctions d'appartenance des différentes variables linguistique 57

Figure IV.4 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *D*ω,*Pe* et *vt* avec TCSC réglés et non réglés..... 61

Figure IV.5 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *D*ω,*Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés. 62

Figure IV.6 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *D*ω,*Pe* et *vt* avec TCSC réglés et non réglés..... 63

Figure IV.7 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *D*ω,*Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés 64

Figure IV.8 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *D*ω ,*Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés 65

Figure IV.9 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *D*ω, *Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés 66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau 21

Tableau IV.1 table des règles de Matrice d'ingérence 56

Tableau VI.2 Paramètres de réglage du TCSC et du PSS 60

Tableau IV.3 Réglage des deux défauts 65

INTRODUCTION GENERALE

La consommation de l'énergie électrique est en hausse progressive et cette tendance augmente avec l'industrialisation et la croissance de la population. De plus on vie aujourd'hui dans l'ère de l'électronique et de l'informatique où toute les charges sont très sensible aux perturbations qui surviennent sur leurs alimentations: une perte d'alimentation peut causer l'interruption des différents processus de production, et devant des consommateurs qui deviennent de plus en plus exigeants en voulant plus d'énergie à une meilleur qualité, les entreprises de production de l'énergie électrique doivent donc assurer l'approvisionnement régulier de cette demande, et sans interruption, à travers un réseau maillé Cependant ces réseaux deviennent plus grands et plus complexes, ce qui implique que leur étude et analyse deviennent plus difficiles, particulièrement les études de stabilité transitoire.

Les réseaux électriques jusqu'à ces dernières années sont contrôlés mécaniquement : malgré l'utilisation de la microélectronique, des ordinateurs et des moyens rapides de télécommunication dans le contrôle des réseaux, la dernière action dans ces systèmes de Commande est prise avec des dispositifs mécaniques ayant un temps de réponse plus au moins long et avec lesquels l'action d'amorçage et de réamorçage ne peut être répétitivement exécuté à une fréquence élevée par rapport aux dispositifs à base d'interrupteurs statiques (semi-conducteurs).

La solution de ces problèmes passe par l'amélioration du contrôle des systèmes électriques déjà en place. Il est nécessaire de doter ces systèmes d'une certaine flexibilité leur permettant de mieux s'adapter aux nouvelles exigences.

Les éléments proposés qui permettent ce contrôle amélioré des systèmes sont les dis positifs FACTS « *Flexible Alternative Carrent Transmission Systems* ». Les dispositifs FACTS font en général appel à de l'électronique de puissance, des microprocesseurs, de l'automatique, des télécommunications et des logiciels pour parvenir à contrôler les systèmes de puissance. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils 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 [1].

Le contrôle des systèmes électriques peut aussi se régler par l'incorporation des stabilisateurs du système d'alimentation (PSS) *«Power System Stabilizer»* qui ont été employés pendant plusieurs années pour augmenter l'atténuation des oscillations électromécanique.

Les PSS ont été développé pour prolonger les limites de stabilité par la modulation de l'excitation de générateur pour fournir des atténuations additionnelles aux oscillations du rotor de la machine synchrone [2],

Les chercheras ont eu recours à des approches classiques liées à la théorie de la commande. Mais à partir des années I960 des approches dites intelligentes sont apparues afin d'essayer de régler ces problèmes devenus plus complexes. Encouragées par le développement des calculateurs, ces méthodes n'ont vu leur application qu'aux années 1990. Ces approches simulent des phénomènes physiques, le comportement humain, ou l'évolution des êtres vivants et sont appelées méthodes intelligentes [3].

La logique floue est une nouvelle méthode de réglage qui a été introduite à large échelle au Japon. Cependant, plus récemment elle est de plus en plus appliquée en Europe.

Les méthodes de réglage conventionnelles se basent sur une modélisation adéquate du système et un traitement analytique à l'aide de fonction de transfert ou d'équations d'état. Par contre le réglage par logique floue donne une approche plus tôt programmatique, permettant d'inclure les expériences acquises par les opérateurs. [29]

En effet les bases théoriques de la logique floue ont été établies en 1965 par le professeur L. A. Zadeh de l'université de Californie de Berkeley, à cette époque cette nouvelle théorie n'a pas été prise au sérieux, elle permet le traitement des variables non exactes dont la valeur peut varier entre *0* et *1*.

Cette nouvelle théories a été appliquée initialement dans des domaines non techniques, tel que le commerce ou la médecine, dans le but de compléter les systèmes experts.

Les premières applications de la logique floue au niveau des systèmes de réglage ne parurent que dès 1975. Ce sont les Japonais que commencent à l'utiliser dans des produits industriels pour résoudre les problèmes de réglage et de commande, et récemment en Europe, une intense activité de recherche a été introduite afin d'introduire ce principe de réglage.

Ce travail présente une étude de la stabilité transitoire, et les dispositifs de contrôleur de cette dernière, en utilisant La logique floue comme régulateur, Notre mémoire s'articulera autour de quatre grands axes.

Enfin rappel sur la stabilité des réseaux électriques est abordé au premier chapitre. Les différentes méthodes d'amélioration de la stabilité sont présentées ainsi qu'une présentation des PSS. En fin de chapitre les FACTS et leurs différentes structures sont présentés.

Afin d'étudier la stabilité du système, nous avons présenté dans le deuxième chapitre la modélisation des composants du système : La machine synchrone, les lignes de transmissions, le PSS ainsi que le FACTS utilisé (TCSC) « *Thyristor-Controlled Series Capacitor*».

Dans le chapitre troisième nous avons présenté la méthode moderne de contrôle, la logique floue, le réglage par logique floue, et la structure et configuration interne d'un régulateur par logique floue ainsi que les différents types de régulateur.

Dans le chapitre dernier nous représenterons les résultats de simulations après réglage des paramètres des deux stabilisateurs (PSS et TCSC) par la logique floue, dans des graphes qui démontrent l'efficacité des contrôleurs et le meilleur fonctionnement après réglage.

Enfin, nous terminons cette rédaction par une conclusion et des perspectives à même de compléter ce travail.

Chapitre 1

Définitions et concept de base

1.1. INTRODUCTION

Le stockage massif de l'énergie électrique sous une forme immédiatement disponible n'est, actuellement, pas possible. Le problème majeur des exploitants est donc de maintenir en permanence l'équilibre entre l'offre disponible et les demandes potentielles, étant entendu que l'équilibre instantané entre production et consommation est une condition nécessaire de fonctionnement du système production-transport-consommation, appelé souvent système électrique plutôt que réseau.

Pour des raisons économiques et techniques les unités de production sont souvent géographiquement concentrées. Par contre la consommation est beaucoup plus dispersée. Les réseaux de transport et d'interconnexion assurent l'acheminement de l'énergie depuis ces unités vers les lieux de consommation à travers des lignes électrique (aériennes ou souterraines).

Quotidiennement, les réseaux électriques sont soumis à différentes perturbations à des amplitudes plus au moins grandes, ils doivent retrouver un état stable. Mais ce n'est pas toujours le cas surtout lorsqu'il s'agit de perturbations sévères (court-circuit triphasé dans une ligne de transport, perte de charge importante, perte d'un générateur de grande puissance, ouverture d'une ligne fortement chargée, etc.). Il y a des dispositifs qu'on peut insérer pour permette au système de retrouver son état d'équilibre, et parmi ces dispositifs nous avons choisi d'étudier les PSS et les FACTS.

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques définitions concernant la stabilité ses types ainsi que les méthodes de son évaluation, Nous définirons ensuite, la manière par laquelle les deux dispositifs les PSS et les FACTS, permettent au système d'être stable.

1.2. NOTION DE LA STABILITE

La stabilité est définie comme la propriété d'un système à retrouver son point de fonctionnement (ou point d'équilibre) après avoir subi plusieurs perturbations.

La stabilité est également la tenue d'un réseau face à d'éventuelles perturbations de toute nature. Le comportement d'un réseau face aux problèmes de stabilité dépend de lieu, de la nature et de l'intensité de la perturbation.

1.3. TYPE DE LA STABILITE

Le problème de la stabilité est fonction de la nature et de l'amplitude des réponses enregistrées suite à des perturbations. On distingue 3 types de stabilité :

1.3.1. Stabilité statique

Le réseau a un comportement stable, c'est-à-dire soumis à des faibles perturbations, il revient à son point de fonctionnement initial, avec d'éventuelles oscillations amorties jusqu'au retour à l'équilibre. Elle concerne les phénomènes lents engendrés par des baisses ou montées de charges journalières, ainsi que des variations de tension et/ou de fréquence [5-6].

1.3.2. Stabilité transitoire

On la définit suite à des perturbations rapides et de grandes amplitudes. Ces perturbations déplacent l'état du système en dehors du domaine de stabilité, suite à l'ouverture d'une ligne (fortement chargé), court-circuit polyphasé, rupture d'une interconnexion, déclenchement accidentel d'une machine ou d'un transformateur [6,2].

1.3.3. Stabilité dynamique

On la définit suite à des perturbations lentes de faibles amplitudes causées par l'ouverture de ligne (faiblement chargés) créant un système à haute impédance, manque d'excitation, déclenchement d'un générateur à faible puissance, etc.

Elle peut aussi être causée par le système de commande [5].

1.4. LES METHODES UTILISEES

La nécessité de faire fonctionner les réseaux électriques prés de leurs limites de stabilité a donné une importance capitale à l'évaluation de la stabilité des réseaux d'énergie électrique en temps réel, ils y a deux types de méthodes classiques et les méthodes intelligents.

1.4.1. Les méthodes classiques

1.4.1.1. Intégration numérique

Cette méthode consiste à intégrer les équations différentielles décrivant le réseau. Il y a plusieurs algorithmes d'intégrations les plus connus sont Runge-Kutta et prédicteur-correcteur d'Euler.

L'avantage de cette méthode est que l'on peut prendre en considération tous les modèles complets avec saturation, saillance et oranges de régulation.

En revanche elle implique un temps de calcul important.

1.4.1.2. Méthode directe de Lyapunov

Le deuxième théorème de Lyapunov donne 2 conditions suffisantes de stabilité :

Si la fonction V définie dans un domaine de l'espace d'état incluant l'origine existe donc il est :

- Stable si V est semi-définie négative.
- Asymptotiquement stable si V est définie négative.

Cette méthode est appréciée pour 2 raison :

- Une rapide évaluation de la stabilité.
- Possibilité de définir les indices de stabilité.

Par contre ses inconvénients :

- Les modèles mathématiques très simplifiés, utilisés, ne reflètent pas la réalité de la stabilité
- Les résultats sont conservatifs c'est-à-dire qu'ils concernent uniquement le domaine étudié, rien ne peut être affirmé en dehors de celui-ci [5,7].

1.4.1.3. Méthode des valeurs propres

Cette méthode est surtout utilisée pour les perturbations faibles ou petits mouvements.

Elle consiste à réduire les équations différentielles à une matrice dont on va calculer les valeurs propres et déduire les modes de réponse du système en utilisant la méthode de transformation QR qui sépare clairement tous les modes et donne une relation entre les différents modes et les paramètres du système.

Les avantages de cette méthode sont la facilité de programmation et l'obtention de résultats précis concernent la stabilité.

Ses inconvénients les équations doivent être linéarisées et le temps de calcul sera important [8,5].

1.4.1.4. Méthode probabilistique

Elle consiste à chercher une transformation qui représente la probabilité des perturbations, en supposant une approximation de la probabilité des facteurs égale à la probabilité correspondant à l'état de fonctionnement stable du réseau. Cependant, cette représentation est difficile à obtenir analytiquement.

La méthode de Monte-Carlo au lieu de la détermination analytique a été appliquée. Cependant, une grande quantité de temps de calcul est exigée afin d'obtenir des résultats statiques utiles. On calcule les statistiques d'ouverture moyennant les donné prélevées du système ou, en d'autre termes, la probabilité de chaque événement de défaut [5,7].

1.4.1.5. méthode des couples synchrone et amortisseur

On entend par couple synchrone, le couple qui se développe en phase avec les variations d'angle de charge et par couple amortisseur, celui qui se développe en phase avec les variations de vitesse.

L'avantage de cette méthode est que les couples sont calculés d'une manière analytique sous une forme compacte.

Par contre son inconvénient est que pour des modèles plus complets la détermination de ces couples devient complexe sinon impossible [5].

1.4.1.6. Méthode par reconnaissance de forme

Cette méthode entraine la classification d'un échantillon S_i à l'intérieur d'une classe Ω_i par l'examinassions de certaines caractéristiques de S_i. Des caractéristiques F_k sont utilisées afin de déterminer la classe de l'échantillon relatif à ses caractéristiques. Un classificateur C(f) est synthétisé et utilisé pour s'assurer du choix de la classe.

Pour l'analyse de la stabilité par la méthode de reconnaissance de forme les efforts ont été surtout concentrés dans la sélection de la meilleure description du système initial, l'extraction des caractéristiques, et la synthèse du classificateur.

L'avantage de cette méthode et la rapidité d'évaluation en ligne de la stabilité. Elle ne demande que quelques opérations pour affecter l'état actuel du réseau à l'une des classes.

Par contre des exécutions hors ligne sont nécessaires (phase d'apprentissage) et leurs temps de calcul est très important, en plus lorsque des composantes du vecteur forme sont étroitement liées entre elles, la méthode perd en précision [7].

1.4.2. Les méthodes intelligentes (Méta heuristiques)

Les méta-heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des

algorithmes génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particulaires).

Ces techniques méta-heuristiques peuvent êtres classées en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom de d'algorithme évolutionnaire comme les algorithmes de colonies de fourmis…etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme me recuit simulé.

Les méthodes méta heuristiques ont prouvé leurs efficacités dans le domaine de l'optimisation mono-objectif.

1.4.2.1. Les algorithmes génétiques

D'après la référence [9]

Les AGs sont des techniques de recherche et d'optimisation stochastique dérivées de la génétique et des mécanismes de la sélection naturelle et de l'évolution. Leurs champs d'application sont très vastes : économie, finance, optimisation de fonctions, planification, et bien d'autres domaines. La raison de ce grand nombre d'application est claire, la simplicité et l'efficacité.

D'une manière globale, un AG manipule les solutions potentielles d'un problème donné afin d'atteindre la solution optimale ou une solution jugée satisfaisante. Cet algorithme emploie des termes de base qu'on définira comme suit :

- **Individu** : solution potentielle du problème.
- **Chromosome** : solution potentielle du problème sous une forme codée, c'est-à-dire une forme de chaîne de caractères.
- **Population** : ensemble fini d'individus (de solution).
- **Gène :** partie élémentaire (caractère) non divisible d'un chromosome.
- **Fitness :** terme anglo-saxon qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu.

1.4.2.2. Optimisation par essaims de particules

L'optimisation par essaims de particules PSO (Particule Swarm Optimization) est une technique d'optimisation parallèle développe par Kennedy Eberhart [10]. Elle est inspirée du comportement social des individus qui ont tendance à imiter les comportements réussis qu'ils observent dans leur entourage, tout en y apportant leurs variations personnelles. A la différence des algorithmes génétiques, qui miment les mécanismes génétiques de l'évolution, PSO

s'inspire plutôt de la formation d'une culture. Dans l'ouvrage [11], se trouve les racines sociales de PSO ainsi que les techniques mathématiques mises en œuvre pour la modélisation.

1.4.2.3. Les algorithmes de colonies de fourmis

Les fourmis naturelles ont inspires les « algorithmes a colonies de fourmis » introduits par la thèse de Marco Dorigo [12]. L'idée générale est d'imiter le comportement coopératif d'une colonie de fourmis pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation. Le principe est le suivant : les fourmis cherchent de la nourriture et ce d'enlacent de façon quasi aléatoire. Tout au long de leur d'emplacement, elles laissent derrière elles une substance chimique appelé phéromone. Cette substance à la propriété de s'évaporer au cours du temps et a pour but de guider les fourmis vers leur objectif. Une fois cet objectif attient (dans notre cas, la nourriture trouvée), les fourmis rentrent au nid en empruntant le même chemin qu'à l'aller, grâce à leur trace de phéromone. Celle-ci s'en trouve renforcée. Plus une trace phéromone est concentrée, plus alla va attirer les fourmis. Au fil du temps, on va donc constater l'émergence du plus court chemin vers la nourriture grâce au renforcement de la trace de phéromone. Ce modèle de communication a été utilisé comme base de travail pour la résolution de problème d'optimisation.

1.5. TECHNIQUES D'AMELIORATION DE LA STABILITE

L'augmentation de la demande en énergie électrique a eu pour résultat, un rapide développement des réseaux électriques. Il existe différents domaines d'analyse des réseaux électriques, tel que la stabilité, le contrôle de la tension et de l'écoulement de puissance.

Les méthodes d'amélioration de stabilité sont choisies d'après la nature du système. Dans le cadre de cette étude, le système est non linéaire et le but est l'amélioration de la stabilité transitoire par l'insertion des FACT et des PSS.

1.5.1. Amélioration de la stabilité par PSS

Les PSS sont été utilisé pendant plus de vingt ans dans les systèmes du côté ouest des états unies, on peut dire généralement que le besoin en PSS sera senti dans les situations ou la puissance doit être transmise à travers de longues distances avec nœuds en courant alternative.

L'implémentation de stabilisateur PSS dans la boucle de retour de système d'excitation d'un générateur et du point de vue, des spécialistes, une opération économique et faible pour améliorer la stabilité d'un réseau électrique.

Le PSS joue le rôle d'amortissement des oscillations électromécaniques dans les réseaux électriques, après l'apparition des perturbations de petites amplitudes. L'optimisation des paramètres du PSS peut augmenter l'amortissement de ces oscillations. La commande classique fourni des résultats satisfaisants, mais face à la complexité grandissante des réseaux électrique actuel, l'utilisation de régulateurs PSS et d'autres dispositifs de l'électronique de puissance devient impérative.

1.5.2. Insertion des dispositifs stabilisateurs PSS

La performance des systèmes d'excitation et des régulateurs de tension joue un rôle déterminant dans le maintien de la stabilité et l'amortissement des oscillations électromécaniques observé sur le rotor des générateurs. L'ajout d'un stabilisateur de puissance comme auxiliaire du système d'excitation aide à amortir ces oscillations ainsi qu'à améliorer la stabilité de l'ensemble du système.

La structure du stabilisateur de puissance étudié est une structure classique largement utilisée dans la littérature. Elle consiste en un gain, un filtre passe-haut et un ou plusieurs blocs de compensation de phase.

La sortie du stabilisateur est une tension qui s'additionne à ma tension d'entrée du système d'excitation. Une telle structure utilise souvent la déviation de la vitesse synchrone Δ_ω comme entrée, mais dans certains cas, d'autres signaux comme la puissance ou une combinaison vitesse/puissance sont utilisés [13,14].

Pour apporter l'amortissement nécessaire, le stabilisateur doit produire une composante de couple électrique en phase avec la variation de la vitesse. Par conséquent, sa fonction de transfert doit avoir des caractéristiques d'avance de phase adéquates afin de compenser le retard de phase entre l'entrée de l'excitation et le couple électrique du générateur. En effet, un seul bloc de compensation de phase insuffisant pour garantir la stabilité du système. Généralement, deux à trois blocs sont nécessaires pour que le stabilisateur puisse jouer son rôle [15].

Nous considérons aussi déférentes topologies du système électrique, pour la simple raison que les PSS doivent aussi être capable de stabiliser le système, même si celui-ci change de topologie (perte d'une ligne par exemple).

Le rôle de filtre est d'atténuer les fréquences indésirables du signal d'entrée. Ainsi, le stabilisateur n'affectera que le signal utile correspondant aux oscillations rotoriques. Du point

de vue la stabilité en petit mouvement, la valeur de la constante de temps T_ω du filtre n'est pas critique et est généralement prise entre 1 et 20s [16].

Les PSS ont souvent des effets indésirables sur la stabilité transitoire. Lors de grandes perturbations, le stabilisateur risquerait de saturer le système d'excitation et par conséquent d'affecter la régulation de la tension. Il est alors indispensable de limiter la sortie du PSS afin de réduire son influence durant les phases transitoires [13,17].

1.5.3. Amélioration de la stabilité par les FACTS

Avec le développement technologique et industriel que vie le monde entier la demande en énergie électrique est en augmentation continue et sans cesse. Pour satisfaire ces besoins et acheminer cette énergie aux points de consommation dispersés sur un large espace géographique, les réseaux électrique, ayant des capacités de transit limité à cause des limites thermique des lignes, doivent s'élargir et de nouvelles lignes d'extension seront ajoutées. Face à ce problème et devant les contraintes environnementales, écologiques et économiques de construction de nouvelles lignes, la compagnie américaine EPRI (Electric Power Research Institue) a lancé, en 1988, un projet d'étude des systèmes FACTS afin de mieux maîtriser le transit de puissance dans les lignes électrique et d'augmenter leurs capacités de transfert.

Aussi, ces réseaux électriques de tailles importantes, seront confrontés à divers problèmes de fonctionnement, à cause de contrôle traditionnel, utilisant des systèmes de commande électromécaniques, de temps de réponse lent par rapport à ces nouveaux systèmes FACTS à base d'interrupteurs statiques et d'un temps de réponse court (moins d'une seconde). Aujourd'hui cette technologie FACTS s'impose pour les systèmes énergétiques, elle augmente leurs capacités de transport, améliore le contrôle des paramètres de ces derniers et leur assure une flexibilité du transfert de l'énergie [18].

1.5.3.1. Définition

Un système de transmission flexible en courant alternatif, est un équipement d'électronique de puissance d'appoint utilisé pour contrôler la tension, augmenter les capacités de transit, ou assurer la stabilité des réseaux de transmission d'électricité.

On trouve deux sortes de compensation : la compensation shunt et série. La compensation shunt est utilisée afin de contrôler la tension et la puissance transmise le long des lignes. La compensation série quant à elle, est utilisée dans le but de contrôler la transmise par la réduction

ou l'augmentation de l'impédance de la ligne, cette compensation est employée dans le cas de longues lignes de transmissions [19].

1.5.3.2. Fonctionnement

Un FACTS agit généralement en fournissant ou en consommant dynamiquement de la puissance réactive sur le réseau. Ceci a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude de la tension à son point de connexion. Et par conséquent la puissance active maximale transmissible. Les FACTS sont utilisés aussi pour le filtrage des courants harmoniques.

- Les condensateur shunts fournissent de la puissance réactive, et augmentent localement la tension de réseau (utilisé en période de forte consommation ou dans les zones éloignées des centres de production).
- Les réactances shunts consomment de la puissance réactive, et diminuent la tension de réseau (utilisé en période de faible consommation, la nuit notamment).
- Les condensateurs série permettent de diminuer l'impédance des liaisons électrique et d'augmenter la puissance transmissible par ces liaisons (une liaison électrique haute-tension est en effet essentiellement inductive).
- Les réactances série augmentent l'impédance d'une liaison électrique, afin de mieux répartir les courants sur les différente liaisons. L'ordre de grandeur de la puissance d'un FACTS va de quelques MVA quelques centaines de MVA [15].

1.5.3.3. Types de FACTS

Le terme « FACTS » s'applique à tous les systèmes fondés sur l'électronique de puissance et est utilisée pour le transport d'énergie AC. Les principaux systèmes s'énumèrent comme suit :

- SVC : compensateur statique de puissance réactive (Static Var Compensator).
- TCSC : condensateur série fixe et commandé par thyristors (Thyristor-controlled seriescapasitor).
- TCPAR : régulateur de déphasage par thyristor (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator).
- STATCOM : compensateur synchrone statique (Synchronous Static Compensator).

- SSSC : compensateur série synchrone statique (Synchronous Static Serie Compensator).
- UPFC : contrôleur de transit de puissance unifié (Universal Power Flow Controller).

A-Compensateur statique d'énergie réactive (SVC)

Le SVC est composé des thyristors commandés par la capacité (TSCs) et d'autre par des réactances (TCRs). La génération de la puissance réactive varie constamment entre des valeurs capacitives et inductives mises en jeu dans le circuit. Le SVC est utilisé afin de réguler la tension des systèmes de transport, à la valeur référence. L'installation d'un SVC à un ou plusieurs points appropriés dans le réseau peut augmenter la capacité de transfert et réduire les pertes tout en maintenant le profil de la tension pendant le régime perturbé [20].

Le premier SVC installé sur une ligne de transport d'énergie était en 1979 en Afrique du sud.

La figure I.1 représente la structure d'un SVC.

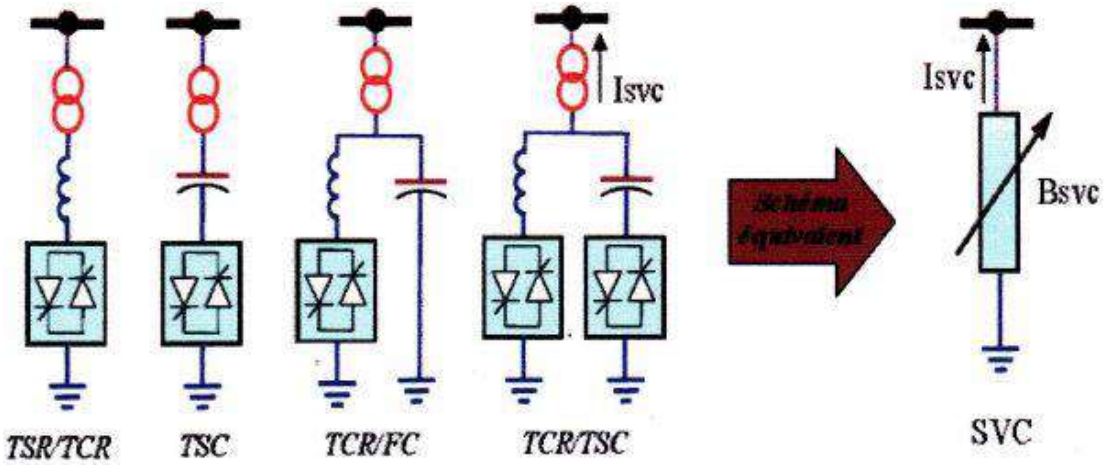


Figure I.1 la structure de SVC.

B-Capacités série commandées par thyristor (TCSC)

Les condensateurs en série commandés par thyristor TSCS fournissent une technologie prouvée qui adresse des problèmes dynamiques spécifiques dans des systèmes de transmission. Le gradin du TCSC est composé de capacités fixes en parallèle avec des thyristors, en série avec une bobine. Chaque gradin est en parallèle avec une varistance (MOV) en métal oxyde, qui protégé le gradin contre les surtensions. Séparés et disposés en série, les gradins forment

ainsi un système complet de compensation. La capacité principale de valeur fixe est disposée en séries avec les gradins.

Il est possible de varier l'impédance totale de compensateur en modifiant l'angle d'amorçage du thyristor. La compensation série de la ligne de transmission, commandé par thyristor permet d'amortir les fluctuations de puissance car le TCSC est essentiellement utilisé afin de contrôler l'écoulement de puissance [21].

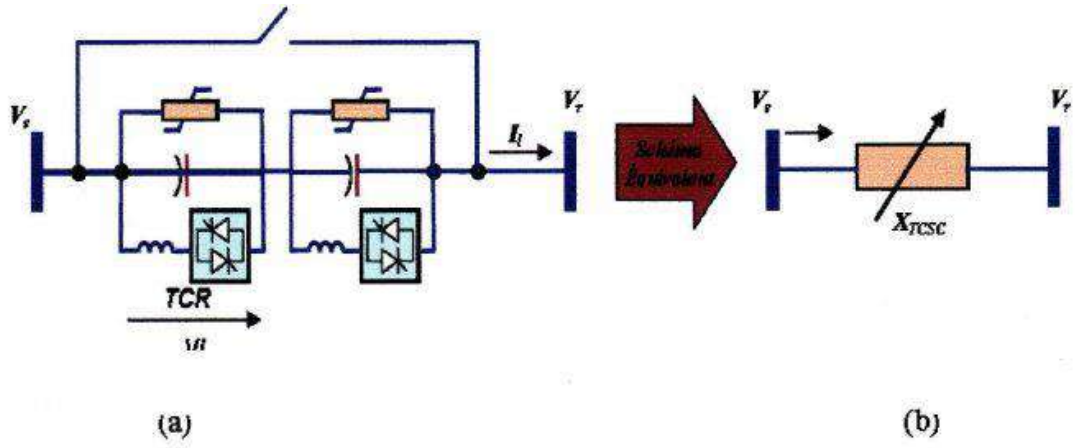


Figure I.2 le TCSC connecté en série avec une ligne.

Le TCSC placé en série dans une ligne de transport permet de contrôler le flux de puissance et d'élever la capacité de transfert des lignes en agissant sur la réactance X_{TCSC} qui varie selon l'angle de retard à l'amorçage des thyristors α donné par la formule :

$$X_{TCSC}(\alpha) = \frac{jl\omega}{\frac{2}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2}\right) - lC\omega}$$

Et la puissance peut s'écrire :

$$P_{sr} = \frac{|V_s||V_r|}{X_{TCSC}} \sin(\theta_s - \theta_r)$$

C-Régulation de déphasage commandé par thyristor (TCPAR)

Dans les lignes de transmission, les puissances actives P et réactive Q sont fonction du déphasage entre les deux tensions de départ et d'arrivée. Placé en série avec la ligne de

transmission, le TCPAR met les tensions en quadrature et modifie le déphasage de la tension à travers la ligne et par conséquent, commande l'écoulement de puissance.

Le schéma type TCPAR démontré sur la figure ci-dessous comporte un transformateur d'excitation relié par shunt, un transformateur d'insertion de série et un arrangement de commutateur de thyristor reliant une combinaison choisie de tension. La capacité du TCPAR à maintenir l'angle interne pendant les premières oscillations peut également être utilisée efficacement pour augmenter la marge de stabilité du système [22,23].

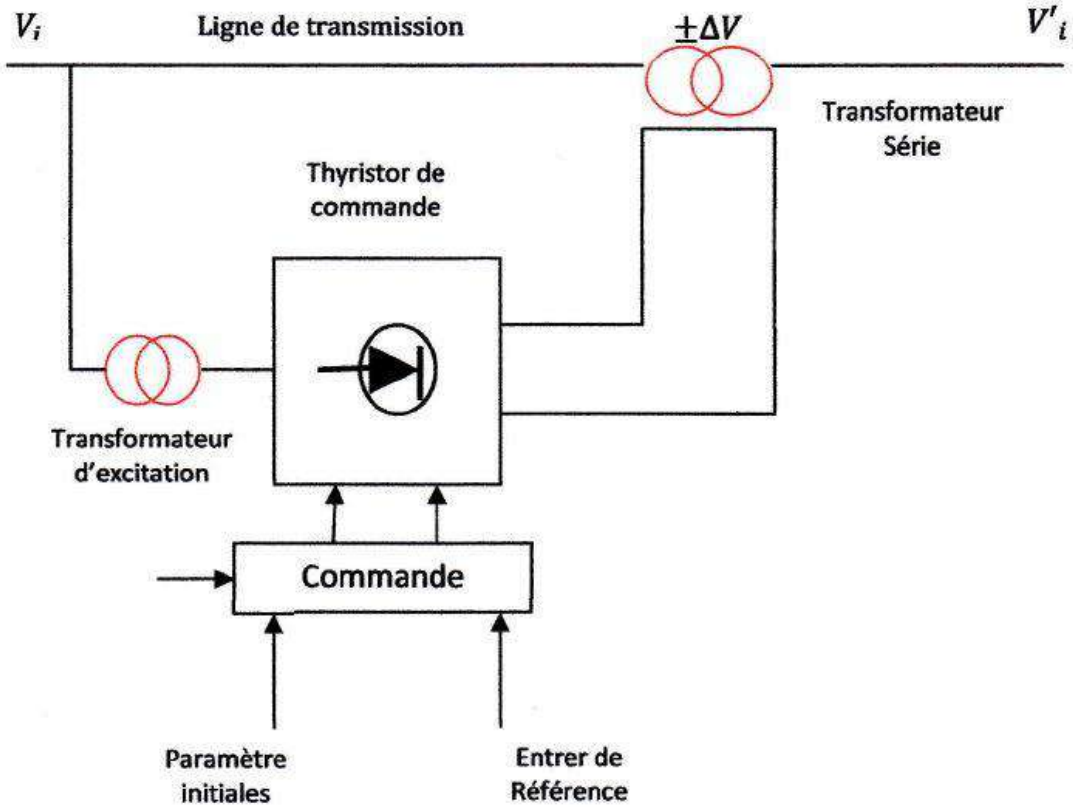


Figure I.3 Schéma de contrôle de l'angle de transport par TCPAR.

D-Compensateur statique (STATCOM)

Le dispositif STATCOM (compensateur statique) a une caractéristique semblable au compensateur synchrone, mais comme dispositif électroniques, il n'a aucune inertie et est supérieure au compensateur synchrone : une meilleure dynamique, une charge de placement inférieur et des coûts de fonctionnement et d'entretien inférieurs…

Il peut être représenté comme suit :

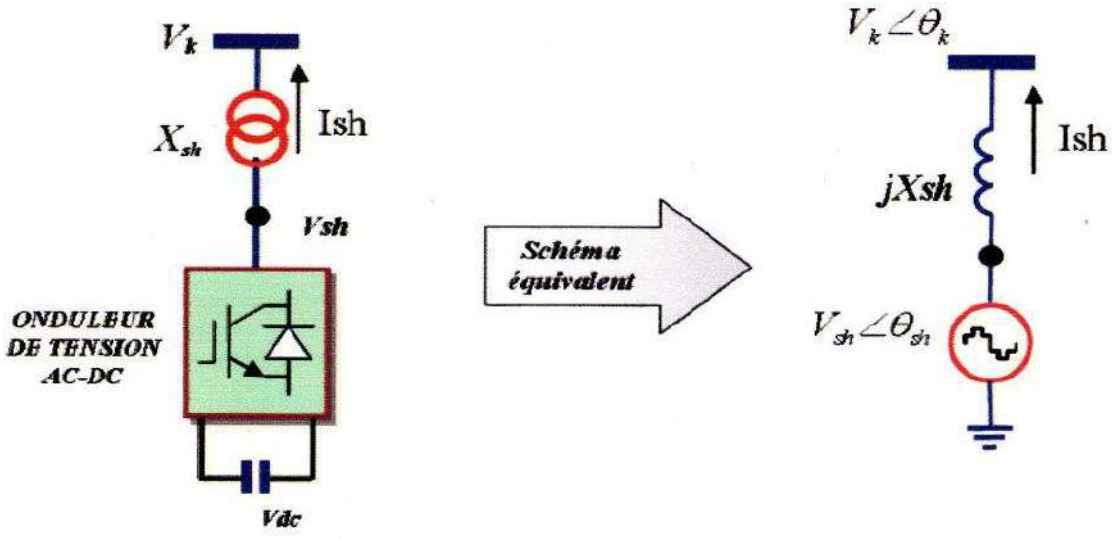


Figure I.4 Structure du STATCOM.

Le STATCOM est aussi utilisé comme un compensateur statique d'énergie réactive, SVC, pour la commande de la tension de transmission par la compensation shunt réactive.

Le STATCOM fournit une puissance réactive capacitive maximale, pour n'importe quelle tension même si elle est inférieur à zéro. Cette possibilité donnée par le STATCOM, prouve qu'il est plus efficace que le SVC, dans l'amélioration de la stabilité transitoire.

L'amplitude variable de la tension triphasée V contrôle l'échange de puissance réactive entre le STATCOM et le système AC. Dans ce cas, l'amplitude de la tension augmente au-dessus de celle de la tension du système AC. Le STATCOM agit comme une capacité et génère une puissance réactive. Lorsque l'amplitude de la tension produite décroit au-dessous de celle du système AC, le STATCOM agit comme une inductance et absorbe la puissance réactive [22,24].

E-Compensateur série statique synchrone (SSSC)

Le SSSC est utilisé pour injecter une tension en série dans la ligne de transport. La figure suivante représente un dispositif dans lequel des tensions en série, sont injectées dans la ligne de transport afin d'accroitre ou de décroitre la tension à travers l'impédance inductive de la ligne et par la suite, augmenter le courant fondamental de la ligne et la puissance transmise. Par conséquent, si le déphasage de la tension injectée ΔV est choisie à 90° en arrière par rapport au déphasage du courant de la ligne, nous obtenons une compensation série équivalente à celle fournie par un condensateur série à la fréquence fondamental. Par contre, si le déphasage de de ΔV est de 90° en avance sur le courant de la ligne, la compensation série a le même effet que lorsque l'impédance réactive de la ligne augmente.

Contrairement à la compensation série conventionnelle, la tension injecté ΔV fournie par le SSSC est l'indépendante du courant de la ligne. Le SSSC permet de fournir une tension de compensation constante en présence d'un courant de ligne variable.

L'aptitude de la tension injectée ΔVpeut être commandée indépendamment de l'amplitude du courant de la ligne. Le pouvoir que possède le SSSC pour la compensation de la ligne de transport. Dans les deux modes capacitif et inductif, peut être utilisé dans l'amortissement des oscillations du réseau [22,25].

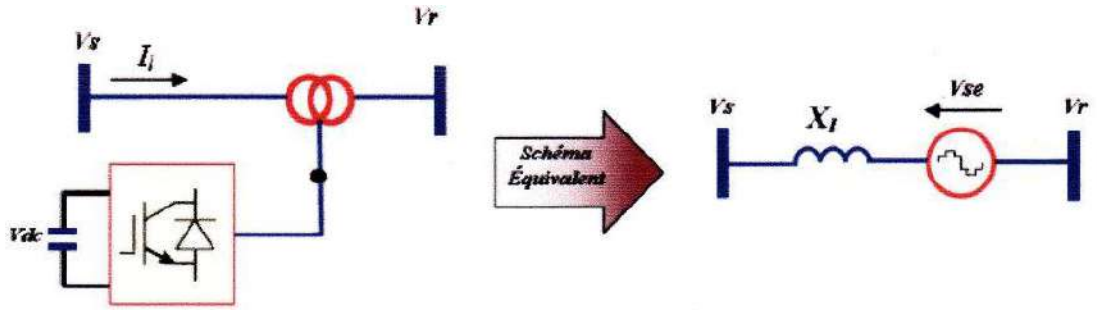


Figure I.5 Structure de SSSC.

F-Contrôleur de transit de puissance unifié (UPFC)

Si on remplace la capacité C dans la figure I.6 par un accumulateur d'énergie (DC) ayant une capacité infinie, le déphasage de la tension série ΔV peut être choisi indépendamment du courant de la ligne entre 0 et 2 π Ceci est possible lorsque la source de tension synchrone, SVC, génère et absorbe la puissance active et réactive. Dans un cas idéal, la puissance réactive est généralement produite ou absorbée, mais en pratique la puissance est générée et absorbée par l'accumulateur d'énergie (DC). Si la source DC est disponible, elle peut être considérée comme le système de puissance AC.

L'implantation pratique d'un tel dispositif, dans lequel la source d'énergie DC est alimentée par le système de puissance AC est décrite dans la figure I.6. Le convertisseur à connexion shunt fournit la puissance active que l'onduleur à connexion série échange avec la ligne. Cette figure montre que les deux convertisseurs AC-DC peuvent fournir la compensation nécessaire tout en assurant un échange de puissance active et réactive à travers la liaison capacitive DC. L'un du convertisseur est placé en série et l'autre en parallèle avec la ligne de transmission.

Le convertisseur (2) est utilisé pour injecter une tension série ΔV à la tension terminale du réseau AC, avec une amplitude et un déphasage variable. Cette tension injectée, agit comme une source de tension AC dans laquelle le courant qui circule est celui de la ligne. La génération

de l'énergie active demandée par le convertisseur (2) est assurée par la connexion en shunt du convertisseur (1) avec le système de puissance AC.

La génération de la puissance réactive dans le convertisseur shunt est indépendante de la puissance de la puissance active échangé avec la source terminale DC. Par conséquent, le convertisseur shunt peut aussi accomplir la fonction d'un STATCOM indépendant. Grâce à ce dispositif, il est possible de fournir une tension série ΔV avec une amplitude et un déphasage φ appropriés. L'UPFC peut réaliser une multitude de fonctions qui permettent le contrôle de l'écoulement de puissance. Les différentes fonctions du contrôle de l'écoulement de puissance de l'UPFC, sont les suivantes :

- Commande de la tension d'arrivée et réglage de la tension de départ.
- Commande de la compensation série de la ligne.
- Contrôle par réglage de déphasage.
- Combinaison de toutes les commandes de la tension terminale, de la compensation série de ligne ainsi qui le réglage du déphasage.

L'UPFC est extrêmement puissant grâce à son pouvoir d'agir sur différents paramètres, ce qui permet d'avoir une commande adéquate de l'écoulement de puissance [22,26].

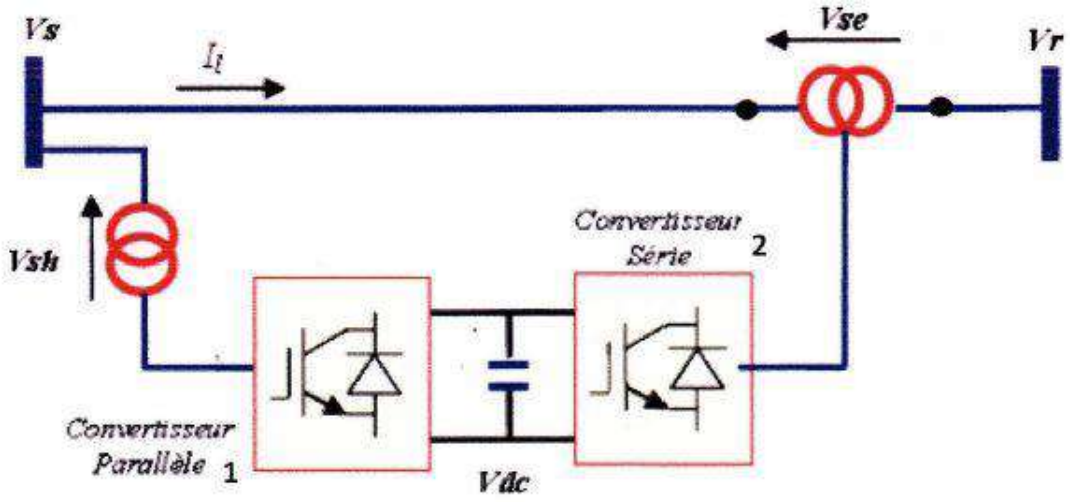


Figure I.6structure de l'UPFC.

1.5.3.4. Application des FACTS :

L'idée principale des FACTS peut être expliquée par l'équation de base de la puissance transitée à travers une ligne de transport à courant alternatif.

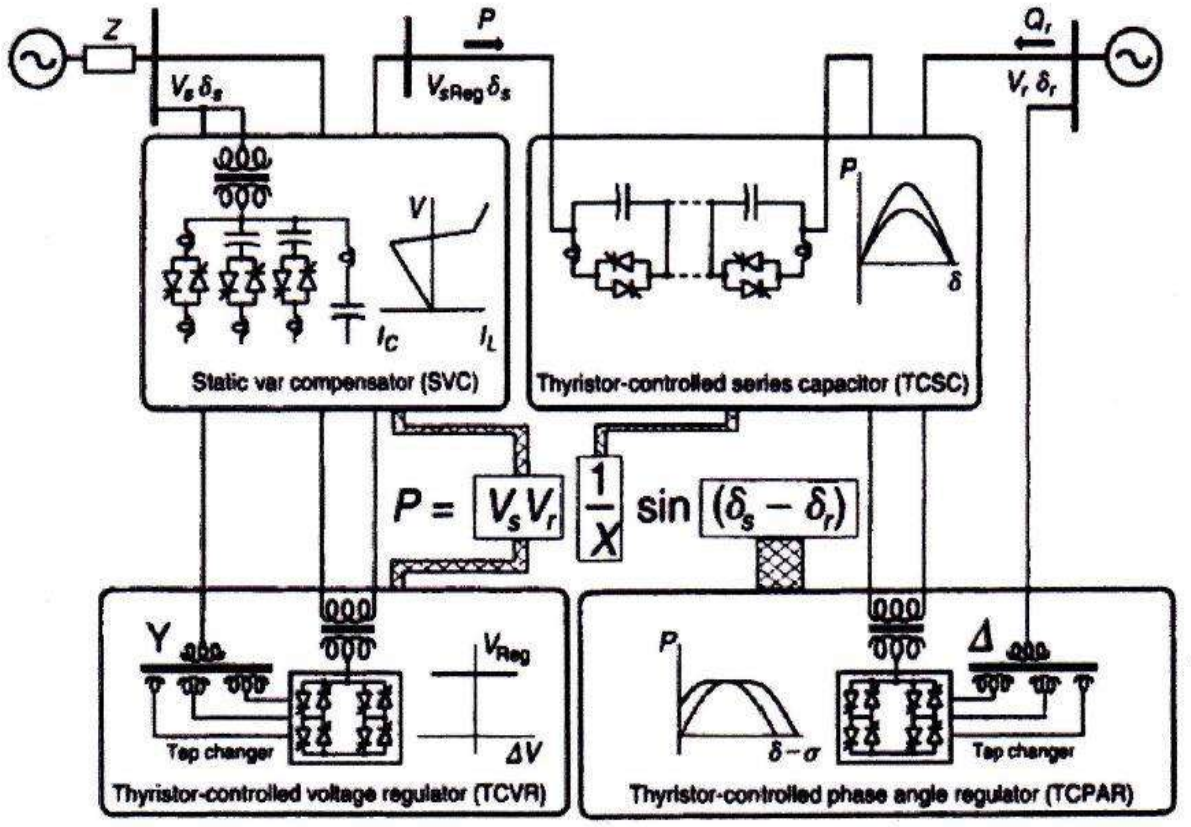


Figure I.7 diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux.

La figure I.7 représente la puissance transmise entre deux nœuds du système. Elle dépend des tensions aux deux extrémités de l'interconnexion, de l'impédance de la ligne et de et de la différence d'angle de phase entre les deux systèmes. Les différents dispositifs de FACTS peuvent activement influencer un ou plusieurs de ces paramètres pour la commande de flux de puissance et pour l'amélioration de la stabilité de tension aux nœuds de l'interconnexion.

Selon la configuration du système, les taches des FACTS peuvent être récapitulées comme suit :

- Systèmes maillés : commande de transit de puissance.
- Systèmes radiaux et lignes parallèles : commande l'impédance.
- Systèmes faiblement connectés : commande de la tension.

Le tableau I.1 résume d'une manière simple l'impact de l'utilisation de chaque FACTS, à la résolution des différents problèmes qui entravent le bon fonctionnement du réseau électrique.

Tableau I.1 application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau.

	Contrôle de charge	Contrôle de tension	Stabilité transitoire	Amplitude des Oscillations
SVC STATCOM	★	★★★	★	★★
TCSC	★★	★	★★★	★★
SSSC	★★★	★	★★★	★★
TCPAR	★★★	★★	★	★★
UPFC	★★★	★★★	★★★	★★★

Influence :

Petite ★ Moyenne ★★ Forte ★★★

Les lignes de transport constituent une composante importante du réseau. Elles sont constituées d'impédances série et shunt. L'impédance série peut affecter le maximum de puissance transmise à travers la ligne et l'impédance shunt est à prédominance capacitives.

L'impédance série de la ligne, les tensions de départ d'arrivée ainsi que le déphasage entre les tensions, déterminent la puissance transitée. Les FACTS sont utilisés afin de changer les paramètres série et shunt que le déphasage des tensions d'arrivées des lignes de transport dans le but de contrôler l'écoulement de puissance.

1.6. CONCLUSION

Nous allons présenter dans ce chapitre un aperçu sur la notion de stabilité, ses méthodes d'évaluation et les différents procédés d'amélioration et de commande. Parmi ces dernières, les stabilisateurs PSS, dont nous avons donné un petit aperçu et démontré leur fonctionnement dans le réseau. Les dispositifs FACTS sont introduits d'une manière simple avec une précision apportée à chacun d'entre eux sur leur définition, leur schéma représentatif ainsi que leurs domaines d'application.

Dans le cadre de ce travail, l'intérêt sera porté sur la stabilité transitoire

Chapitre 2

Modélisation du réseau électrique

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, la dynamique du générateur synchrone est illustrée en prenant l'exemple d'une machine simple reliée à un nœud (SMIB). Bien que ce soit l'exemple le plus simple d'un système qui peut être considéré, il n'est pas entièrement réaliste. Par exemple, une centrale électrique reliée à distance à un centre de charge par une longue ligne de transmission peut être approximé par le système de SMIB bien qu'une centrale électrique se compose de plus d'un générateur, il est acceptable de supposer que, pour des perturbations externes à la centrale électrique, les générateurs peuvent être représentés par une machine équivalente. Également, dans un système multi-machine, il est possible d'ignorer la dynamique des autre machines que celle que l'on va étudier, comme une première approximation. Ceci est fait généralement en représentant le système externe par un générateur équivalent de Thevenin. Tandis que l'exactitude de l'approximation dépend des valeurs du système du type de l'étude considérée, etc..., la simplification d'un système de SMIB permet une clairvoyance dans le comportement dynamique d'un générateur synchrone.

2.2. MODELISATION DE LA MACHINE

Dans notre modélisation nous appliquerons les hypothèses suivantes :

1- La puissance mécanique doit être constante pendant la période transitoire.
2- L'amortissement est négligeable.
3- La machine synchrone peut être représentée (électriquement) par source de tension constante avant la réactance transitoire.
4- L'angle mécanique du rotor de la machine synchrone peut coïncider avec l'angle électrique de phase de la tension avant la réactance.

La figure II.1 représente une machine synchrone avec trois enroulements au stator (a, b et c) et quatre enroulements au rotor un enroulement rotorique f et trois amortissement (h sur l'axe d et g, k sur l'axe q). Le nombre d'amortissement peut varier de zéro le modèle le plus simple) à 5 enroulements (model de Jakson-Winchester). Cependant le modèle le plus utilisé et le plus détaillé est celui à trois enroulements d'amortissements.

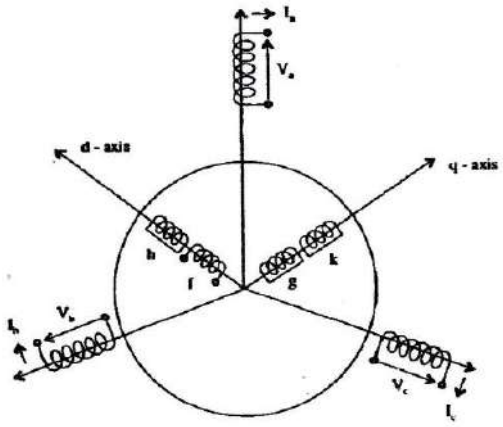


Figure II.1 représentation d'une machine synchrone.

2.2.1. Les équations de la machine

Notre étude sur la modélisation de la machine synchrone a été basée sur la référence Padiyar [23].

2.2.1.1. Les équations du flux

$$\Psi_s = [L_{ss}] i_s + [L_{sr}] i_r \qquad (II.1)$$

$$\Psi_r = [L_{sr}] i_s + [L_{rr}] i_r \qquad (II.2)$$

Ou :

$$i_r^t = [i_a \; i_b \; i_c] \; \Psi_s^t = [\Psi_a \Psi_b \Psi_c]$$

$$i_r^t = [i_f \;\; i_h \, i_g \; i_k] \; \Psi_r^t = [\Psi_f \Psi_h \Psi_g \Psi_g]$$

On note que [L_{sr}] est on fonction deΘet varie avec le temps si le rotor tourne avec une vitesse constante.

2.2.1.2. Les équations de tension

Les équations de tension du stator son données comme suite :

$$-\frac{d\Psi_s}{dt}-[R_S]i_S=v_S \qquad (II.3)$$

$$-\frac{d\Psi_r}{dt}-[R_r]i_r=v_r \qquad (II.4)$$

Ou :

$$v_s^t=\begin{bmatrix} v_a & v_b & v_a \end{bmatrix}, v_s^t=\begin{bmatrix} -v_f & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.1.1.3. Les équations du couple

$$j\frac{d^2\theta_m}{dt^2}+D\frac{d\theta_m}{dt}=T_m-T_e \qquad (II.5)$$

L'équation du couple mécanique peut s'écrire sous la forme suivante :

$$T_e=-\frac{1}{2}\left[i_s\left[\frac{\partial L_{SS}}{\partial\theta}\right]i_s+2i_s\left[\frac{\partial L_{SR}}{\partial\theta}\right]i_r\right] \qquad (II.6)$$

2.2.2. La transformation de Park

La combinaison de l'équation de la tension (pour le stator et le rotor) peut s'exprimer comme suite :

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\Psi}{dt}&=-[R][L]^{-1}\Psi-v\\ i&=[L]^{-1}\Psi\end{aligned}\right\} \qquad (II.7)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{di}{dt}&=[L]^{-1}\left[-[R]i-\frac{d\theta}{dt}\left[\frac{\partial L}{\partial\theta}\right]i-v\right]\\ \Psi&=[L]i\end{aligned}\right\} \qquad (II.8)$$

Bien qu'il soit possible de résoudre les équations(II.7) ou (II.8) numériquement, il est presque impossible d'obtenir une solution analytique même quand Θ=$\frac{d\Theta}{dt}$ est constant.

Ceci est dû à la matrice de l'inductance [L] qui est fonction du temps et l'inverse de cette matrice et requis. Ce serait avantageux si les équations de la machine qui varie selon le temps peuvent être transformées en des équations indépendantes du temps. C'est le résultat dans la simplification mathématique des valeurs d'état et des conditions transitoires. PARK a introduit en 1929 la transformation suivante :

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_o \end{bmatrix}$$

$$Avec \quad c_p = \begin{bmatrix} k_d \cos\theta & k_d \cos\theta & k_0 \\ k_d \cos(\theta - 2\pi/3) & k_d \cos(\theta - 2\pi/3) = & k_0 \\ k_d \cos(\theta + 2\pi/3) & k_d \sin(\theta - 2\pi/3) & k_0 \end{bmatrix}$$

2.2.2.1. Transformation du flux

$$\begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_p & 0 \\ 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{dp0} \\ \Psi_r \end{bmatrix} \qquad (II.9)$$

Ou U_4 est la matrice unitaire d'ordre 4, et

$$\Psi^t_{dp0} = \begin{bmatrix} \Psi_d & \Psi_q & \Psi_0 \end{bmatrix}$$

La première partie de l'équation (II.9) peut être exprimée comme suite :

$$\begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{sr} & L_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_p & 0 \\ 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dp0} \\ i_r \end{bmatrix} \qquad (II.10)$$

$$Ou \quad i^t_{dq0} = \begin{bmatrix} i_d & i_q & i_0 \end{bmatrix}$$

La substitution de l'équation (II.9) dans (II.10) donne :

$$\begin{bmatrix} \Psi_{dq0} \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L'_{ss} & L'_{sr} \\ L'_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_p & 0 \\ 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dp0} \\ i_r \end{bmatrix} \qquad (II.11)$$

2.2.2.2. Transformation de l'équation de tension du stator

On appliquant la transformation de PARK, l'équation (II.3) peut être exprimée :

$$-\frac{d}{dt}\left[c_p \quad \Psi_{dp0}\right]-\left[R_s\right]\left[C_p\right]idp0=\left[C_p\right]Vdp0 \qquad (II.12)$$

La première partie de l'équation (II.12) peut être exprimé comme suite :

$$-\frac{d}{dt}\left[c_p \quad \Psi_{dp0}\right]=-\dot{\theta}\frac{d[C]_P}{dt}\Psi_{dq0}-[C]\frac{d}{dt}\Psi_{dq0} \qquad (II.13)$$

Après calcul, les tensions transformées s'écrivent comme suite :

$$v_{d=-}\frac{d\Psi_d}{dt}-\frac{K_q}{K_d}\Psi_q-R_a i_d \qquad (II.14)$$

$$v_{q=-}\frac{d\Psi_q}{dt}+\frac{K_d}{K_q}\Psi_d-R_a i_d \qquad (II.15)$$

$$v_{0=-}\frac{d\Psi_0}{dt}+\frac{K_d}{K_q}-R_a i_d \qquad (II.16)$$

2.2.2.3. Transformateur de l'équation du couple

$$T_e=-\frac{1}{2}\left[i^t_{dp0}\left[C_p\right].^t\left[\frac{\partial L_{ss}}{\partial\theta}\right]\left[C_P\right]i_{dp0}+2i^t_{dp0}\left[C_p\right].^t\left[\frac{\partial L_{sr}}{\partial\theta}\right]i_r\right] \qquad (II.17)$$

$$T_e=\frac{3}{2}K_dK_q\left[i_q\Psi_d-i_d\Psi_q\right] \qquad (II.18)$$

On prend les constantes de la matrice de PARK : $K_d=\sqrt{\frac{2}{3}}=K_q,\ k_0=\sqrt{1/3}$

2.2.3. Les variables per unit

En raison de la grande différence entre les valeurs numérique du rotor et du stator, et pour minimiser le nombre de paramètres requis nous utilisons les per unit (PU).

Pour les introduire nous avons choisi les bases suivantes :

$$\Psi_b = \frac{v_B}{\omega_B}; \mathrm{L}_B = \frac{\Psi_B}{i_B} = \frac{Z_B}{\omega_B}; i_d = \frac{i_B}{I_B}; v_d = \frac{v_B}{v_B}; \Psi_d = \frac{\Psi_d}{\Psi_B}; x_d = L_d$$

2.2.3.1. Les équations de tension en PU

$$\begin{cases} v_{d=-} \dfrac{1}{\omega_B} \dfrac{d\Psi_d}{dt} - \dfrac{\omega}{\omega_B} \Psi_q - R_a i_d & (II.19) \\ v_{q=-} \dfrac{1}{\omega_B} \dfrac{d\Psi_q}{dt} - \dfrac{\omega}{\omega_B} \Psi_d - R_a i_d & (II.20) \end{cases}$$

En négligeant la variation de la vitesse du rotor les deux équations ci-dessus peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$v_{d=-} \left(1 + S_{m0}\right) \Psi_q - R_a i_d \quad (II.21)$$

$$v_{q=} \left(1 + S_{m0}\right) \Psi_d - R_a i_d \quad (II.22)$$

Avec :

$S_{m0} = \dfrac{\omega_0 - \omega_B}{\omega_B}, S_{m0}$ *est le facteur* de glissement *initial*.

- Dans cette partie de modélisation nous prenons en compte seulement l'enroulement d'amortissement dans l'axe q.

2.2.3.2. Les équations de flux en PU

En insérant les bases suivantes :

$x_D = L_D; x_{df} = M_{df} = x_{ad} = L_{ad}$

Les équations du flux deviennent :

$$\Psi_d = x_a i_d + x_{ad} i_f \quad (II.23)$$

$$\Psi_f = x_{ad} i_d + x_f i_f \quad (II.24)$$

$$\Psi_q = x_q i_q + x_{aq} i_g \quad (II.25)$$

$$\Psi_g = x_{aq} i_q + x_g i_g \quad (II.26)$$

En résolvant les équations (II.24) et (II.26) nous obtenant i_f et i_g :

$$i_f = \frac{\Psi_f}{x_f} - \frac{x_{ad}}{x_f} id \qquad (II.27)$$

$$i_g = \frac{\Psi_g}{x_g} - \frac{x_{aq}}{x_g} iq \qquad (II.28)$$

La substitution des équations (II.27) et (II.28) dans (II.23) et (II.24) nous donne respectivement :

$$\Psi_d = x'_d\, i_d + E'_q \qquad (II.29)$$

$$\Psi_q = x'_q\, i_q + E'_d \qquad (II.30)$$

Ou :

$$x'_d = x_d - \frac{x^2_{ad}}{x_f} \qquad (II.31)$$

$$\mathrm{x}'_q = x_q - \frac{x^2_{aq}}{x_g}\,\mathrm{x}'_q \qquad (II.32)$$

$$E'_q = \frac{x_{ad}\,\Psi}{x_f} \qquad (II.33)$$

$$E'_d = -\frac{x_{ad}\,\Psi_f}{x_g} \qquad (II.34)$$

Les équations de tension des enroulements de rotor sont :

$$\frac{1}{\omega_B}\frac{d\Psi_f}{dt} = -R_f i_f + v_f \qquad (II.35)$$

$$\frac{1}{\omega_B}\frac{d\Psi_g}{dt} = -R_g i_g \qquad (II.36)$$

En remplaçant les équations (II.33) et (II.27) dans l'équation (II.35) on aura :

$$\frac{1}{\omega_B}\frac{x_f}{x_{ad}}\frac{dE'}{dt} = -\frac{R_f E'_q}{x_{ad}} + \frac{R_f x_{ad}}{x_f} i_d + v_f \qquad (II.37)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{d0}}\left[-E'_q + (x_d - x'_d) i_d + E_{fd}\right] \qquad (II.38)$$

$$Ou : E_{fd} = \frac{x_{ad}}{R_f} v_f ; T'_{d0} = \frac{x_f}{\omega_B R_f}$$

En remplaçant les équations (II.28) et (II.34) dans (II.36) il est possible d'obtenir l'équation suivante après quelques manipulations :

$$\frac{dE'_d}{dt} = \frac{1}{T'_{q0}}\left[-E'_d - (x_q - x'_q) i_q\right] \qquad (II.39)$$

$$Ou : T'_{q0} = \frac{x_g}{\omega_B R_g}$$

2.2.3.3. Les équations du stator

En remplaçant les équations (II.29) et (II.30) dans les équations (II.17) et (II.18) et en prenons S_{m0}=0, nous avons :

$$v_q = E'_q + x'_d i_d - R_a i_q \qquad (II.40)$$

$$v_d = E'_d + x'_q i_q - R_a i_d \qquad (II.41)$$

2.2.3.4. Les équations du couple en PU

Les équations mécaniques du rotor en PU peuvent être exprimées comme suit :

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} + D'\frac{d\delta}{dt} = T_m - T_e \qquad (II.42)$$

$Ou : \mathrm{M} = \frac{2H}{\omega_B}, T_e$ *est le couple électrique donne par* :

$$T_e = \Psi_d i_q - \Psi_q i_q \qquad (II.43)$$

D'et le coefficient d'amortissement et T_m et le couple mécanique de rotor.

En remplaçant les équations (II.29) et (II.30) dans l'équation (II.43) nous aboutissons :

$$T_e = E'_d\, i_d + E'_q\, i_q + (x'_d - x'_q) i_d i_q \qquad (II.44)$$

L'équation (II.42) peut être exprimée comme deux équations de premier ordre :

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_B (s_m - s_{m0}) \qquad (II.45)$$

$$2H \frac{dS_m}{dt} = -D(s_m - s_{m0}) + T_m - T_e \qquad (II.46)$$

2.3. MODELISATION DU SYSTEME MONOMACHINE

A présent nous relions cette machine synchrone dont nous allons négliger la résistance statorique et rotorique à un nœud infinie (E_b) via une ligne de transport de réactance x_e, représente dans la figure II.2 :

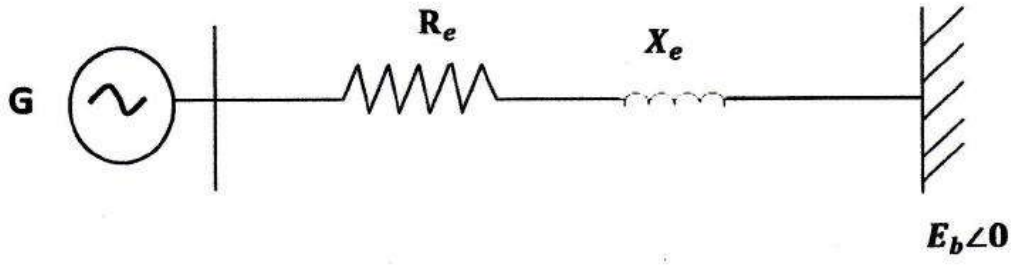


Figure II.2 une machine synchrone connectée à un nœud infini (SMIB).

Dans la figure II.2 la tension complexe de sortie peut être exprimée comme suit :

$$(v_q + jv_d)e^{j\delta} = (i_q + ji_d)(jx_e)e^{j\delta} + E_b e^{j0} \qquad (II.47)$$

$$(v_q + jv_d) = (i_q + ji_d)(jx_e) + E_b e^{-j\delta} \qquad (II.48)$$

En séparant la partie réelle et imaginaire de l'équation ci-dessus on obtient :

$$v_q = -x_e i_d + E_b \cos\delta \qquad (II.49)$$

$$v_d = x_e i_q - E_b \sin\delta \qquad (II.50)$$

En remplaçant les 2 équations (II.49) et (II.50) dans les expressions (II.40) et (II.41) on obtient :

$$\begin{bmatrix} x'_d + x_e & 0 \\ 0 & -(x_q + x_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_b \cos\delta - E'_q \\ -E_b \cos\delta + E'_d \end{bmatrix} \qquad (II.51)$$

La résolution de l'équation (II.51) donne les expressions de i_d et i_q :

$$i_d = \frac{E_b \cos\delta - E'_q}{x'_d + x_e} \qquad (II.52)$$

$$i_q = \frac{E_b \sin\delta + E'_q}{x_q + x_e} \qquad (II.53)$$

Pour la prochaine simulation nous utiliserons essentiellement les équations suivantes :

L'équation de l'angle interne qu'on notera delta (II.45) :

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_B (s_m - s_{m0})$$

L'équation de la vitesse qu'on notera ΔS_m(II.46) :

$$\frac{dS_m}{dt} = \frac{1}{2H}\left[-D(S_m - S_{m0}) + T_m - T_e\right]$$

L'équation de la tension suivant l'axe **q** qu'on notera E'_q (II.38) :

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{d0}}\left[-E'_q + (x_d - x'_d) i_d + E_{fd}\right]$$

L'équation de tension suivant l'axe d qu'on notera E'_d (II.39) :

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{q0}}\left[-E'_d + (x_q - x'_q) i_q\right]$$

Ces quatre équations représentent les quatre variables d'états de la machine synchrone.

Les équations des tensions suivant les deux axes d et q sont respectivement (II.49) (II.50) :

$$v_q = -x_e i_d + E_b \cos\delta$$

$$v_d = x_e i_q - E_b \sin\delta$$

Les équations des courants suivant les deux axes d et q sont respectivement (II.52) (II.53) :

$$i_d = \frac{E_b \cos\delta - E'_q}{x'_d + x_e}$$

$$i_q = \frac{E_b \sin\delta - E'_q}{x_q + x_e}$$

L'équation du couple électrique (II.44) :

$$T_e = E'_d i_d + E'_q i_q - (x'_q - x'_d) i_d i_q$$

Et enfin la tension de sortie du générateur synchrone :

$$V_t = \sqrt{(V_d)^2 + (V_q)^2}$$

$$V_t = \sqrt{(-x_e i_d + E_b \cos(\delta)) + (x_e i_q - E_b \sin(\delta))^2}$$

2.4. STRUCTURE DES PSS

La fonction de base d'un stabilisateur du réseau est d'ajouter un amortisseur aux oscillations des générateurs du réseau, et ce par le contrôle de l'excitation avec l'utilisation d'un signal auxiliaire stabilisateur. Pour avoir l'amortissement, on doit ajouter la composante du couple électrique qui en phase avec la déviation de la vitesse angulaire.

2.4.1. Procédure de dimensionnement des PSS

- **Fonction de transfert**

La représentation fonctionnelle du système d'excitation est donnée par la figure (II.3), d'où l'on déduit la fonction de transfère $G_x(s)$ dont le dénominateur du second ordre est :

$$d(s) = s^2 + 2\xi_x w_x s + w_x^2 \qquad (II.54)$$

La procédure à suivre se résumera alors à :

- Fréquence naturelle et taux d'amortissement du système d'excitation (ω_x et ξ_x) :

$$\omega_x = \sqrt{\frac{K_6 K_A}{T'_{d0} T_A}} \qquad (II.55)$$

$$\xi_x = \frac{T_A + K_3 T_{d0}}{2\omega_x K_3 T'_{d0} T_A} \qquad (II.56)$$

- Fréquence dominante d'oscillation en spécifiant le taux d'amortissement (ξ_{n1}=0.1-0.4) :

$$\omega_{d1} = \omega_n \sqrt{1-\xi_{n1}^2} \qquad (II.57)$$

$$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{|K_1 \omega_n|}{M}} \qquad (II.58)$$

- Déphasage induit par le système d'excitation :

$$G_E = \frac{2\xi_x \omega_{d1} / \omega_x}{1-\left(\frac{\omega_{d1}}{\omega_x}\right)^2} \qquad (II.60)$$

- Constante de temps T_1 et T_2 :

$$a = \frac{1+\sin(G_E)}{1-\sin(G_E)} \qquad (II.60)$$

$$T_1 = \frac{1}{\sqrt{a}\omega_{d1}} \qquad (II.61)$$

$$T_2 = T_1 a \qquad (II.62)$$

- Gain de du stabilisateur : en spécifiant le temps T_R =3s (rest time), on a :

On déduit :

$$D_E = 2\xi_{n1}\omega_{n1} M \qquad (II.63)$$

$$D_E = k_p k_2 \left|G_C\right\| s = j\omega_n \left|G_E\right\| s = j\omega_n \qquad (II.64)$$

La fonction de transfert du dispositif stabilisateur schématisée par la figure 3 est défini par :

$$G(s) = k_p \frac{sT_\omega}{1+sT_\omega}\left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2}\right)\left(\frac{1+sT_3}{1+sT_4}\right) \qquad (II.65)$$

Le diagramme de bloc des PSS utilisé en industrie et représente dans la figure II.3.

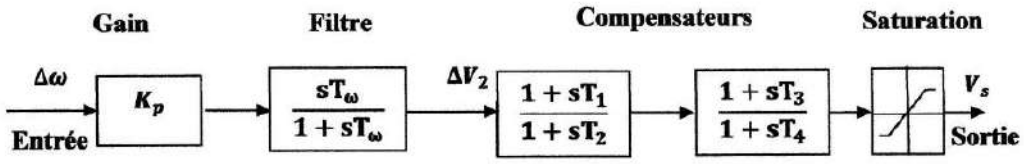


Figure II.3 structure du contrôleur PSS.

2.4.2. Description du bloc du PSS

Le PSS utilise comme entrée la déviation de la vitesse synchrone Δw, ensuite on trouve un gain, un filtre passe-haut et deux blocs de compensation de phase. La sortie du stabilisateur est une tension qui s'additionne à la tension d'entrée du système d'excitation.

L'entrée du PSS a une valeur très petite, et c'est là que le premier bloc (gain k_p) intervient afin d'amplifier cette valeur pour être utilisé par la suite.

Le rôle du filtre est d'atténuer les fréquences indésirables (inférieures à 0.1 Hz) du signal d'entrée. Ainsi, le stabilisateur n'affectera que le signal utile correspondant aux oscillations rotoriques, la valeur de la constante de temps T_w du filtre est prise entre 10 et 20s.

Pour apporter l'amortissement nécessaire, le stabilisateur doit produire une composante de couple électrique en phase avec la variation de la vitesse. Par conséquent, les fonctions de transferts des deux blocs de compensation doivent avoir des caractéristiques d'avance de phase adéquates afin de compenser le retard de phase entre l'entrée de l'excitation et le couple électrique du générateur, et ils sont représentés par les constantes de temps T_{1P} , T_{2P}, T_{3P} et T_{4P} .

Les PSS ont souvent des effets indésirables sur la stabilité transitoire. Lors de grandes perturbations, le stabilisateur risquerait de saturer le système d'excitation et par conséquent d'affecter la régulation de la tension. Il est alors indispensable de limiter (d'introduire une saturation) la sortie du PSS afin de réduire son influence durant les phases transitoires [9,13].

2.5. STRUCTURE DE TCSC

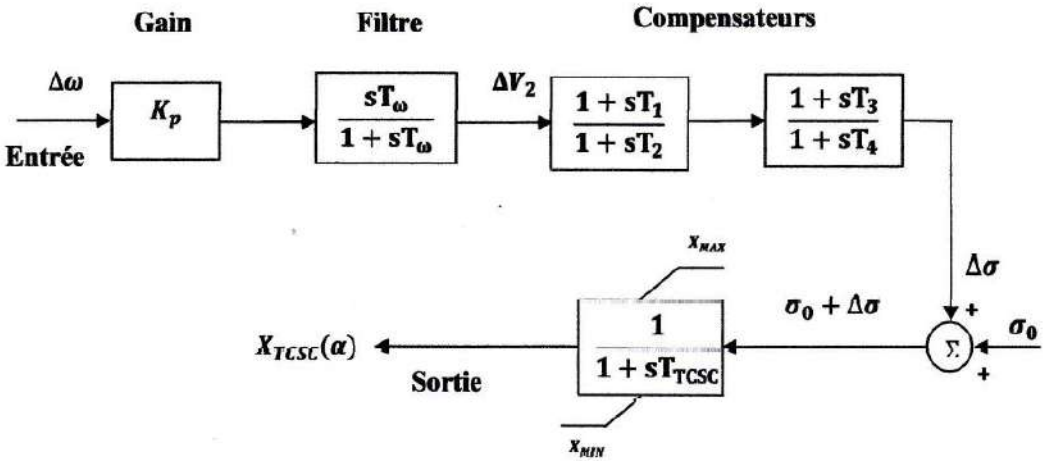


Figure II.4 structure du contrôleur TSCS.

De la figure II.4 nous remarquons que la première partie du bloc du TSCS ressemble étroitement au bloc du PSS avec comme entrée la variation de vitesse (Δω), un bloc de gain d'une constante K_T, d'un bloc de filtre de signal et deux étage de blocs de compensation de phase. Le filtre sert de filtre passe haut avec une constante de temps Tω de valeur importante pour ne laisser passer que le signal désiré elle peut être dans la gamme de l à 20 second.

Les blocs des compensations de phase (constantes de temps T_{1T}, T_{2T}, T_{3T} et T_{4T}.) fournissent une avance de phase pour compenser le retard de phase entre l'entrée et les signaux de sortie.

La sortie de cette première partie et une variation d'angle (Δσ) qui s'additionne à l'angle initiale (σ) qui est l'angle de conduction des thyristors, ce processus peut être modelé comme un commutateur rapide entre la réactance correspondante offerte au système d'alimentation. La sortie est une réactance X_{TSCS} qui influe sur la réactance totale de la ligne, cette dernière à une relation directe avec l'angle d'amorçage (α) ou l'angle de conduction (σ) qui peut être décrit par l'équation (II.66) :

$$X_{TCSC}(\alpha) = X_c - \frac{X_c^2(\sigma + \sin\sigma)}{(X_c - X_p)\pi} + \frac{4X_c^2 \cos^2(\sigma/2)\left[K\tan(k\sigma/2) - \tan(\sigma/2)\right]}{(X_c - X_p)(k^2 - 1)\pi}$$

Ou : X_C est la réactance capacitive.

X_P est la réactance inductive.

$$K = \sqrt{X_c / X_p}$$

Cette fonction peut être modelée par la fonction de transfert donné dans le dernier bloc avec une constante de temps T_{XTCSC}. Et pour que la sortie ait une valeur fonctionnelle (X_{max}< X_{TCSC}<X_{min}), on rajoute une saturation [28].

Après modélisation des différents composants du système à étudier, nous allons nous intéresser à présent à la simulation sur la stabilité du système d'énergie électrique. Nous nous pencherons sur l'amélioration de la stabilité du réseau en associant le contrôleur TCSC et le stabilisateur PSS sans réglage précis de leurs paramètres.

2.6. LE SYSTEME ETUDIE

Le système considéré dans cette étude est montré dans la figure II.5, il représente une machine synchrone connecté à un nœud infini avec le contrôleur TCSC [24].

Le générateur synchrone fourni la puissance au nœud infini à travers une ligne de transport à double circuit et un TCSC. Dans la figure II.5, V_t et E_b sont les tensions aux bornes du générateur et du nœud infini respectivement. X_T X_L et X_{TH} représentent les réactances du transformateur, de la ligne pour chaque circuit et l'impédance de Thévenin de l'extrémité du système respectivement.

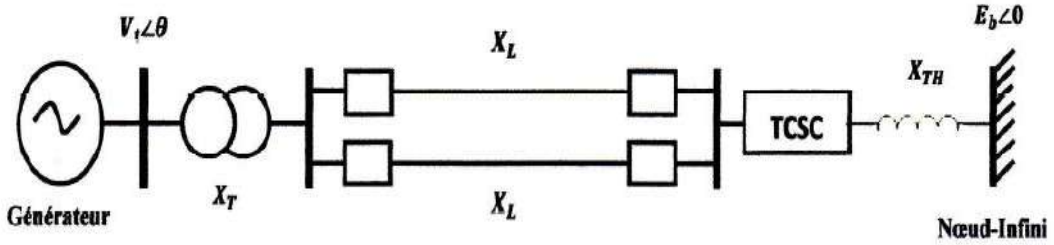


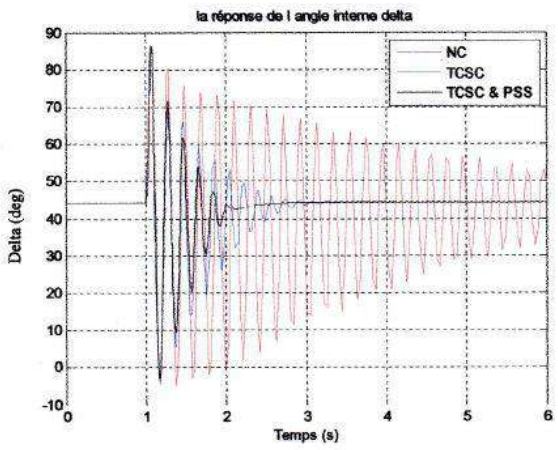
Figure II.5 système mono-machine connecté à un nœud infini avec TCSC.

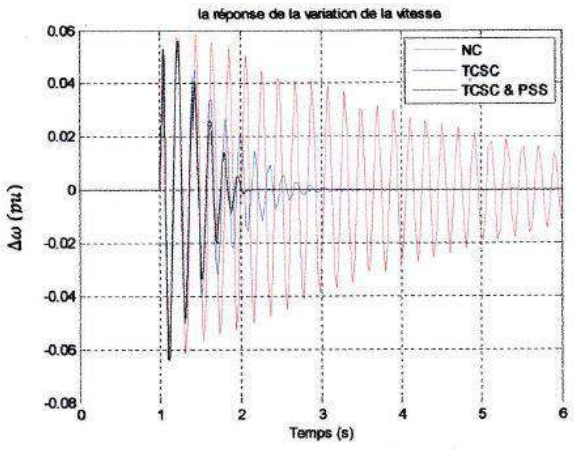
- Nous avons choisi de soumettre ce système à deux différents défauts, le premier est un court-circuit franc or le second est un défaut permanent (élimination d'une ligne de transport).

2.6.1. Premier cas (court-circuit franc)

Un défaut triphasé est appliqué à l'extrémité du générateur à t=1sec qui s'atténue après 3 cycles. Nous allons observer le système lorsqu'il est livré à lui-même c'est-à-dire sans aucun contrôleur, lorsque le contrôleur TCSC intervient seul et lorsqu'on applique les deux contrôleurs simultanément (PSS et le TCSC).

Les résultats de simulation sont représentés dans la figure II.6, nous allons nous intéresser essentiellement aux valeurs de la vitesse, de l'angle interne, les courants suivants les deux axes q et d, la puissance électrique et de la tension terminal.





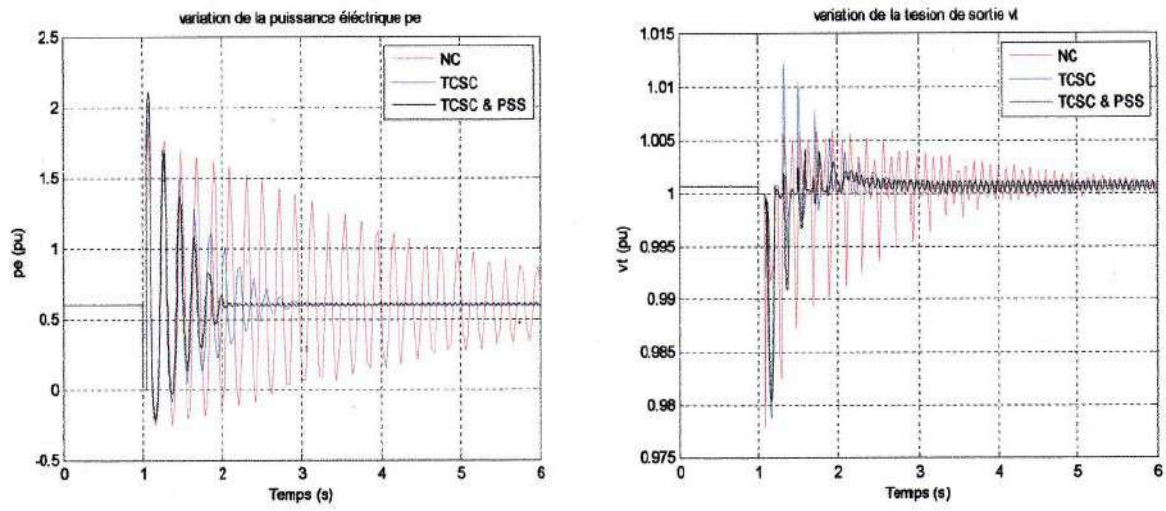


Figure II.6 réponses temporelles un court-circuit de δ, Δω, p_e, et v_t de la machine synchrone non contrôlés (NC), avec TCSC, avec TCSC et PSS.

Il est clair de la figure II.6 que même si le système se stabilise, sans contrôleur, les oscillations sont mal atténuées. Le contrôleur TCSC supprime de manière significative les oscillations et fournit une bonne atténuation des caractéristiques aux oscillations de basse fréquence en stabilisant le système rapidement. Il est également clair lors de l'application des deux contrôleurs PSS et TCSC simultanément donne la meilleure réponse en termes de dépassement et de temps de stabilisation, on observe également que lors de l'approche simultanée le premier pic et supprimé et le temps de stabilisation est considérablement réduit.

2.6.2. Deuxième cas (déclenchement d'une ligne)

Dans ce cas une perturbation permanente est considérée. À t=1sec, une ligne de transport est déclenchée. La même procédure que le premier cas suivie c'est-à-dire, nous observons le système lorsqu'il est non contrôlé (NC), en appliquant le TCSC seul et les deux contrôleurs ensembles.

Les caractéristiques de la vitesse, de l'angle interne, la puissance électrique et de la tension terminal sont représentées dans la figure II.7.

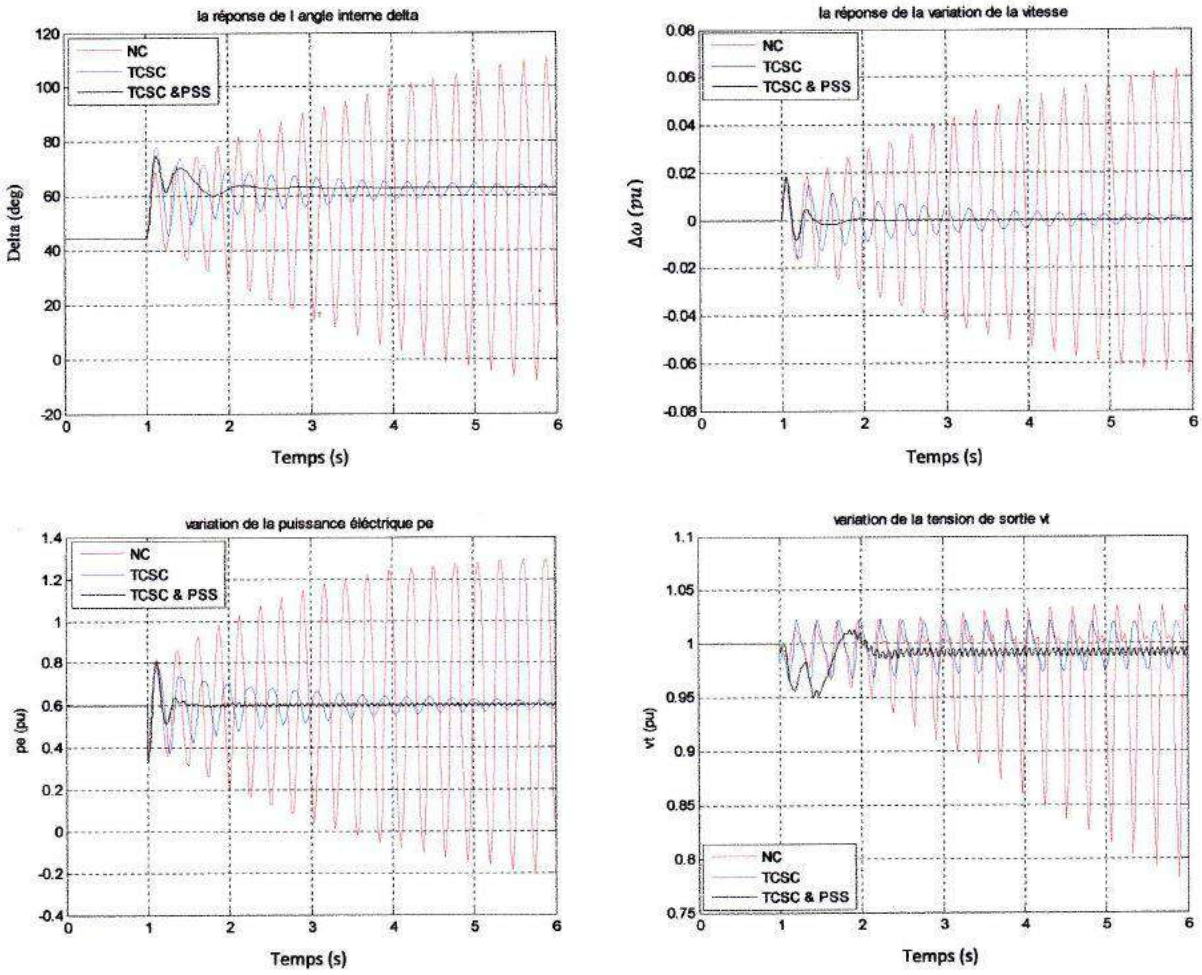


Figure II.7 réponses temporelles à un déclenchement d'une ligne de δ, Δω, p_e, et v_t de la machine synchrone non contrôlés (NC), avec TCSC, avec TCSC et PSS.

La remarque évidente qui ressort de la figure II.7 est que les oscillations sont très importantes lorsque le système travaille son aucun contrôleur. Ceci est dû à la nature du défaut qui rend impossible la stabilité de ces oscillations sans intervention de contrôleurs.

Avec l'apport du TCSC, les oscillations sont moindres mais il reste néanmoins des variations dans les valeurs des différents paramètres du système.

En associant les deux stabilisateurs TCSC et PSS, on amortit considérablement les oscillations.

Concernent le graphe de l'angle interne, s'agissant d'un défaut permanent, on remarque que la valeur de l'angle interne ne revient pas à sa valeur initiale. Les deux contrôleurs réunis PSS et TCSC n'arrivent qu'a à la ramener à une valeur proche de sa valeur avant le défaut.

2.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous allons établi un modèle non linéaire de la machine synchrone, ainsi que le modèle de cette dernière connectée à un nœud infini à travers une ligne de transport.

Puis nous avons présenté la structure des deux stabilisateurs TCSC et PSS qui serviront à stabiliser le système en cas de défaut.

Chapitre 3

La logique Floue

3.1. INTRODUCTION

La logique floue est une nouvelle méthode de réglage qui a été introduite à large échelle au Japon. Cependant, plus récemment elle est de plus en plus appliquée en Europe.

Les méthodes de réglage conventionnelles se basent sur une modélisation adéquate du système et un traitement analytique à l'aide de fonction de transfert ou d'équations d'état. Par contre le réglage par logique floue donne une approche plus tôt programmatique, permettant d'inclure les expériences acquises par les opérateurs [29].

En effet les bases théoriques de la logique floue ont été établies en 1965 par le professeur L.A. Zadeh de l'université de Californie de Berkeley, à cette époque cette nouvelle théorie n'a pas été prise au sérieux, elle permet le traitement des variables non exactes dont la valeur peut varier entre *0* et *1*.

Cette nouvelle théorie a été appliquée initialement dans des domaines non techniques, tel que le commerce ou la médecine, dans le but de compléter les systèmes experts.

Les premières applications de la logique floue au niveau des systèmes de réglage ne parurent que dès 1975. Ce sont les Japonais que commencent à l'utiliser dans des produits industriels pour résoudre les problèmes de réglage et de commande, et récemment en Europe, une intense activité de recherche a été introduite afin d'introduire ce principe de réglage [29].

3.2. PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA LOGIQUE FLOUE

Afin de mettre en évidence le principe fondamental de la logique floue, on présente un exemple simple qui consiste à la classification des personnes en trois ensembles *« jeunes », « entre deux âges », « âgé ».* [29].

Selon la logique classique *(Boole), qui* n'admet pour variables que les valeurs *0* et *1*, une telle classification pourrait se faire comme le montre la figure (III.1). Toutes les personnes âgées de moins de *30* ans sont alors considérées comme appartenant à l'ensemble *« jeune »* et toutes les personnes âgées de plus de *50* ans comme appartenant à l'ensemble *« âgé »*.

La logique floue, dont les variables peuvent prendre n'importe quelle valeur entre *0* et *1*, on parle alors de fonction d'appartenance, la figure (III.2) montre une classification possible pour l'exemple précédant :

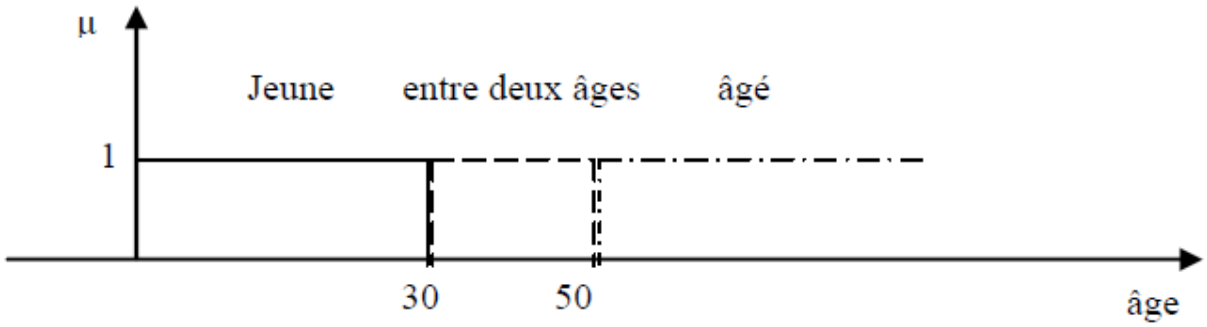


Figure III.1 classification selon la logique floue classique.

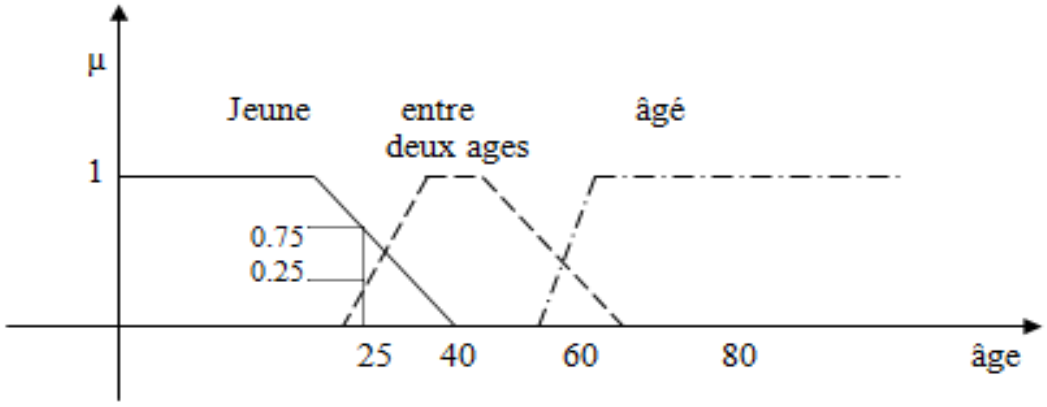


Figure III.2 : classification selon la logique floue.

3.3. BASES GENERALES DE LA LOGIQUE FLOUE

La description d'un phénomène contient en général des expressions floues comme :

Chaud, froid, rapide, lent.

Grand, petit, moyen…etc.

Les expressions de ce genre forment les valeurs des variables linguistiques de la logique floue.

3.4. DEFINITION D'UNE VARIABLE LINGUISTIQUE PAR DES FONCTIONS D'APPARTENANCE

3.4.1. Fonction d'appartenance

Comme exemple pour les fonctions d'appartenance, on présente l'application de l'air ambiant d'un local à la température. Dans le cas le plus simple on peut distinguer deux valeurs : *froid* et *chaud* de la variable linguistique *température*. Elles forment deux ensembles flous. Ainsi une température de *16°*, par exemple, appartient avec un facteur d'appartenance μ=0.7 à l'ensemble froid et avec μ=0.3 a l'ensemble chaud. Explicitement on écrit [29] :

$\mu froid\ (\theta = 16°) = 0.7$ et $\mu chaud\ (\theta = 16°) = 0.3$

Souvent il s'avère nécessaire d'introduire une subdiviser plus fine, par exemple avec quatre valeurs froid, tiède, chaud et très chaud.

A. Différentes formes de fonctions d'appartenance

Les plus souvent, on utilise des formes trapézoïdales ou triangulaires. Il s'agit des formes les plus simples imposées par les morceaux de droites. [29].

Cependant, il existe d'autre forme, dont quelques-unes sont représentées par la suite. On fait appel à des formes de cloche.

- Une première possibilité peut être exprimée par :

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - x_0}{a}\right)^2}; \quad x \in R. \qquad (III.1)$$

x_0 déterminer la position du sommet $\mu = 1$, tandis le paramètre a Impose la largeur du domaine. A noter que cette fonction d'appartenance s'annule seulement pour x tend vers l'infini.

- Une autre possibilité s'obtient à l'aide des fonctions trigonométriques, comme par exemple :

$$\mu(x) = \frac{1}{2}\left[1 + \cos\frac{\pi(x - x_0)}{2a}\right] \quad ; x_0 - 2a \subseteq x \subseteq x_0 + 2a \qquad (III.2)$$

Dans ce cas aussi, x_0 détermine la position de sommet $\mu = 1$, tandis que le paramètre a imposé la largeur du domaine. La fonction d'appartenance est nulle en dehors du domaine défini.

- Parfois, il s'avère nécessaire d'élargir le sommet $\mu = 1$ selon la relation :

$$\begin{cases} \mu(x) = \frac{1}{2}\left[1 + \cos\frac{\pi(x - x_0)}{2a_1}\right]; x_1 - 2a_1 \subseteq x \subseteq x_1 \\ \mu(x) = 1 \quad ; x_1 \subseteq x \subseteq x_2 \\ \mu(x) = 1\left[1 + \cos\frac{\pi(x - x_0)}{2a}\right] \quad x_2 \subseteq x \subseteq x_2 + 2a_1 \end{cases} \qquad (III.3)$$

3.5. REGLAGE PAR LA LOGIQUE FLOUE

3.5.1 Structure d'un réglage par logique floue

Un réglage par logique floue comporte : le système à régler, l'orange de commande ainsi que le régulateur par logique flous. Il est représenté par figure suivante : [29].

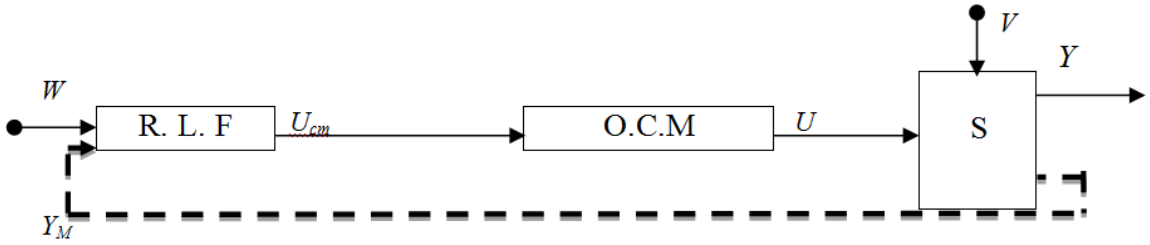


Figure III.3 Structure d'un régulateur par logique floue.

Avec :

- S : Système à régler
- OCM : Orange de commande
- RLF : régulation par logique floue
- W : Grandeur de consigne
- u_{cm} : Signal de commande fourni par le RLF
- u : grandeur de commande fournie par l'OCM
- v : perturbation
- Y : Grandeur à régler (ou sortie)
- Y_M : Vecteur contenant les grandeurs *mesurées*

On constate une certaine affinité avec le réglage par contre réaction d'état, en général, le nombre de grandeur réunis dans le vecteur Y_M est inférieur au nombre de grandeurs d'état.

3.6. STRUCTURE ET CONFIGURATION INTERNE D'UN REGULATEUR PAR LOGIQUE FLOUE

Par opposition avec un régulateur standard ou un régulateur par contre réaction d'état, le régulateur par logique floue ne traite pas une relation mathématique bien définie, mais utilise des inférences avec plusieurs règles se basant sur des variables linguistiques.

Le régulateur par logique floue est composé de quatre éléments de base suivants :

- Interface de Fuzzication.
- Bases de règle.
- Moteur d'inférence foue.
- Interface de défuzzication.

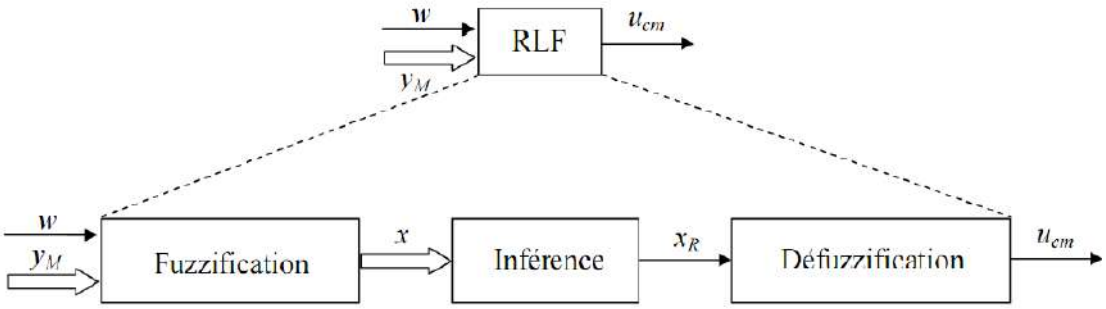


Figure III.4 Structure de base d'un régulateur flou

3.6.1. Interface de Fuzzication

Les opérateurs utilisés dans la commande floue agissent sur les sous-ensembles flous. Ainsi, il est nécessaire de transformer les variables non floues provenant du monde extérieur en sous-ensembles flous [30].

Pour fuzzifier, il faut donner :

- L'univers du discours.
- Une partition en classe floue de cet univers.
- Les fonctions d'appartenances de chacune de ces classes.

3.6.2. Base de connaissance

Elle comprend la base de données et la base des règles floues.

A. La base de données

Elle Contient la définition des ensembles flous, les facteurs d'échelle pour la normalisation des ensembles de référence et la partition de l'espace flou d'entrée et de sortie.

B. Base de règle

Les systèmes à logique floue utilisent une expertise exprimée sous forme d'une base de règles du type : Si….Alors…

Si (X est A) Alors (Y est B)

3.6.3. Le moteur d'inférence

Le moteur d'inférence floue permet, à partir d'une entrée floue et en exploitant les informations inscrites dans la base de règles, de déduire une conséquence floue en appliquant une procédure d'inférence floue [29].

A. Structure générale de l'inférence

« SI l'entrée **x** appartient au **sous-ensemble A ET** que l'entrée **y** appartient au **sous-ensemble B ALORS** la sortie appartient au **sous-ensemble C**. »

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la valeur représentative d'un ensemble de sortie, dont les principales sont [29] :

- Méthode d'inférence MIN / MAX
- Méthode d'inférence MAX / PROD
- Méthode d'inférence SOMME / PROD

B. Méthode d'inférence MIN/MAX [27]-[28]

- Au niveau de la condition : **ET** est représenté par la fonction **Min**, **OU** est représenté par la fonction **Max**

- Au niveau de la conclusion : **OU** est représenté par la fonction **Max, ALORS** est représenté par la fonction **Min** (d'où la désignation) par la fonction **Min** (d'où la désignation).

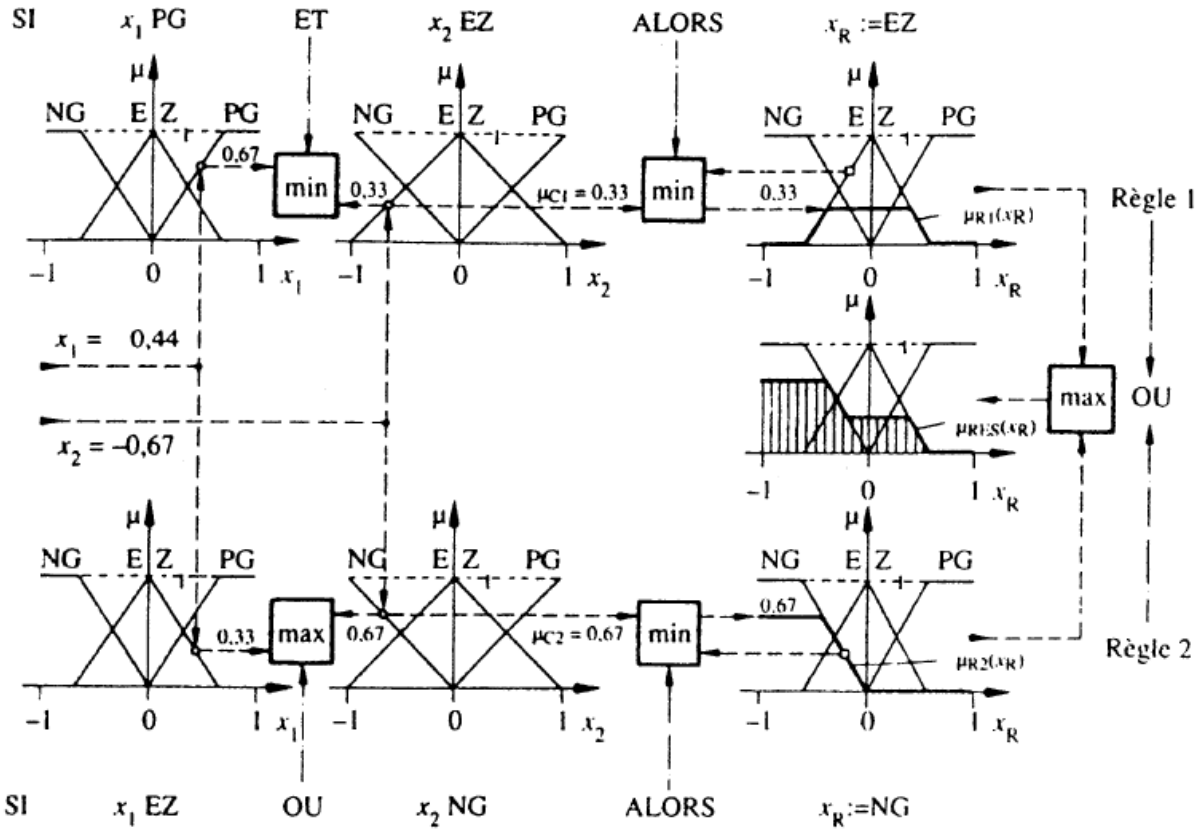


Figure III.5 Méthode d'inférence max-min pour deux variables d'entrée et deux règles.

1.6.4. La déffuzzification

La défuzzification est l'opération qui consiste à extraire d'un ensemble flou une valeur numérique considérée comme valeur significative. Dans le domaine de la commande en temps réel, un critère de choix de la méthode de défuzzification est la simplicité de calcul. [29].

A. **Méthode du Maximum**

La méthode du maximum fournit en sortie comme valeur significative u, celle correspondant au maximum de la fonction d'appartenance $\mu_{C'}(u)$. Cependant, cette méthode présente un certain inconvénient lorsqu'il existe plusieurs valeurs pour lesquelles $\mu_{C'}(u)$ est maximale [26].

B. **Méthode de la moyenne du maximum**

Elle donne comme valeur la moyenne des valeurs dont le degré d'appartenance est maximal [29].

C. **Méthode du plus grand maximum**

Cette méthode donne comme résultat la plus grande valeur dont la grandeur a le plus grand degré d'appartenance [32].

D. **Méthode du plus petit maximum**

Elle donne comme résultat la plus petite valeur dont la grandeur a le plus grand degré d'appartenance. Les deux premières méthodes sont les plus utilisées [32].

E. **Méthode du centre de gravité**

La plus fréquente est le centre de gravité de la surface de l'ensemble flou $\mu_{C'}(u)$ qui est défini par [32] :

$$u = \frac{\int_U \mu_{C'}(u)\,u\,du}{\int_U \mu_{C'}(u)\,u\,du} \qquad (III.6)$$

Où $\mu_{C'}(u)$ est la fonction d'appartenance de l'ensemble flou C' représentant la sortie globale du système flou. Souvent on utilise une version discrète de l'intégrale :

$$u = \frac{\sum_i u_i \mu_{C'}(u_i)}{\sum_i \mu_{C'}(u_i)} \qquad (III.7)$$

F. **Méthode des Hauteurs Pondérées**

Cette méthode effectue une moyenne pondérée entre les centres de gravité des conséquences des règles [26] :

$$u = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i c_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} \qquad (III.8)$$

Où *ci* est le centre de gravité de l'ensemble *Ci* conséquence de la $i^{éme}$ règle et *w*i le degré d'activation de cette même règle.

1.7. DIFFERENTS TYPE DE REGULATEUR FLOU

3.7.1. Régulateur de type Mamdani

En 1974, E.H Mamdani avait présenté, pour la première fois, la technique de réglage par logique floue. Celle-ci consiste à déterminer un ensemble de règles qui maîtrise le comportement dynamique du système à commander. L'obtention de ces règles est facile auprès des experts qui connaissent bien le système. Il avait utilisé des règles à prémisses et conclusions symboliques, l'inférence (max, min), et la défuzzification par centre de gravité [29].

3.7.2. Régulateur de type Sugeno

Dans les régulateurs de ce type, les conclusions des règles ne sont pas Symboliques (i.e. représentées par des sous-ensembles flous) mais une fonction (numérique) des entrées [33] : $b^i = f(x_{i, Kxn})$ les prémisses étant symboliques

Où : *f(x)* est généralement fonction polynomiale.

3.8. CONCLUSION

Nous allons présenter dans ce chapitre une méthode moderne de contrôle, la logique floue, le réglage par la logique floue, et la Structure et configuration interne d'un régulateur par logique floue ainsi que le différent type de régulateur floue. Dans le chapitre suivant, on étudiera les résultats que nous montre ce qu'on a dit avec l'outil de simulation Matlab/Simulink.

Chapitre 4

Application de la logique floue comme PSS et TCSC

4.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre présent les résultats de réglage des paramètres des PSS et des TCSC qui régler Par la logique floue on place la méthode classique on a appliqués à l'amortissement des oscillations électromécaniques et donc la stabilité du système.

L'objectif consiste à changer les paramètres des deux régulateurs et trouver le point qui assurer un amortissement suffisant des oscillations, tout en garantissant la stabilité globale du système.

Nous représenterons tous les résultats de ces simulations dans des graphes pour mieux visualiser et comparer ces résultats avec les résultats obtenus lors du chapitre (II) les méthode classique de les deux régulateur(PSS-TCSC).

4.2. LE CONTROLEUR PAR LA LOGIQUE FLOUE

4.2.1. Définition

Un contrôleur flou peut être vu comme un système expert fonctionnant à partir d'une représentation d'une connaissance divisée en un fichier de règles en plus d'un moteur d'inférence qui permet de consulter ces fichiers et produire des conclusions.

L'espace des entrées d'un contrôleur flou constitue par rapport à un certain univers de discours la prémisse de la règle dont la forme générique SI-ALORS L'espace des sorties constitue la conséquence de la règle .Le contrôle flou par logique floue possède les avantages et inconvénient majeurs suivants [33] :

✓ **Avantages :**

- ☞ Pas besoin de modèle mathématique.
- ☞ Implémentation de connaissances linguistiques.
- ☞ Maîtrise de systèmes à comportement complexe (non-linéaire, …).
- ☞ Solution logicielle (microprocesseur ou PC) et matérielle (fuzzy processors) disponibles.

✓ **Inconvénients :**

- ☞ Manque de directives précises pour la conception.
- ☞ Possibilité d'apparition de règles d'inférence contradictoires.

4.3. DEVELOPPEMENT DU CONTROLEUR FLOU DANS LE SYSTEME ETUDE

Notre but est utiliser la contrôler logique flou comme PSS et TCSC Dans le cas du PSS, le signal stabilisateur Vs est zéro pendant les conditions initiales. Après le défaut le signal Vs change suivant le changement de la variation de la vitesse $\Delta\omega$ pendant les conditions dynamique. Pour le TCSC, la variation de l'angle de conduction $\Delta\sigma$ et l'angle initial σ_0 sont constant pendant les conditions initiales. Pendant les conditions dynamiques l'angle σ et par conséquent la réactance x_{TCSC} sont modulés pour améliorer la stabilité du système énergétique. La valeur de compensation souhaitée est obtenue en changeant l'angle σ suivant la variation $\Delta\omega$ [23].

Il ressort de ce qui précède que la fonction objectif doit être fonction de la variation de vitesse ($\Delta\omega$), en minimisant la somme du produit élément par élément du vecteur d'état, cette fonction peut s'écrire comme suit :

$\Delta\omega$: dérivation de la vitesse.

$$F = \min\left(\sum_{i=0}^{n}\left(\Delta\omega_i^2\right)\right) \qquad (IV.1)$$

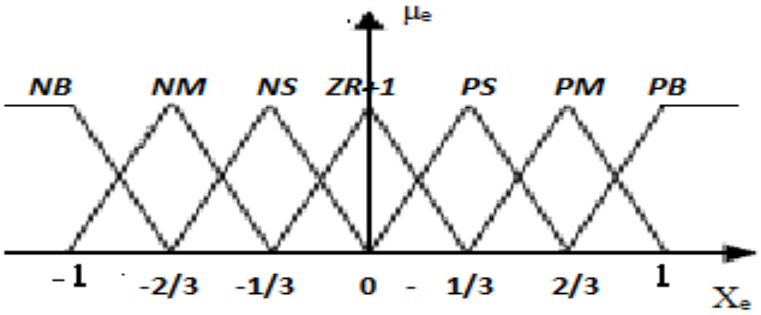
En se basant sur la méthode de super division dans le plan de phase, on déduit les lois de commandes suivantes :

Tableau IV.1 table des règles de Matrice d'ingérence.

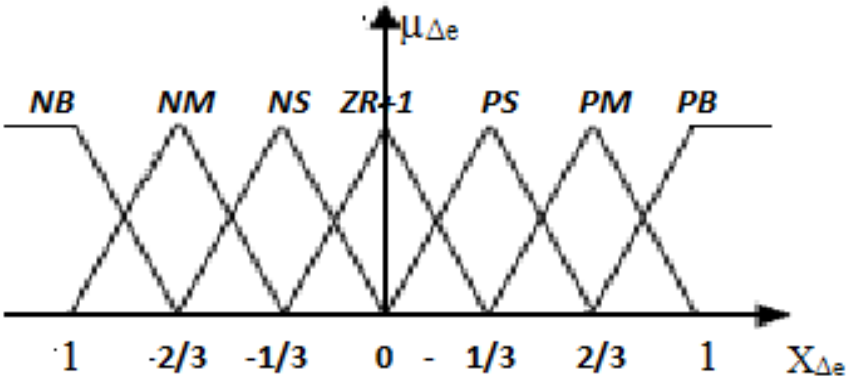
e / Δe	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	NB
NB	**NB**	**NB**	**NB**	**NB**	**NM**	**NS**	ZR
NM	**NB**	**NB**	**NM**	**NM**	**NS**	**ZR**	PS
NS	**NB**	**NB**	**NM**	**NS**	**ZR**	**PS**	PM
ZR	**NB**	**NM**	**NS**	**ZR**	**PS**	**PM**	PB
PS	**NM**	**NS**	**ZR**	**PS**	**PM**	**PB**	PB
PM	**NS**	**ZR**	**PS**	**PM**	**PB**	**PB**	PB
NB	**ZR**	**PS**	**PM**	**PB**	**PB**	**PB**	PB

4.3.1. Description du contrôleur

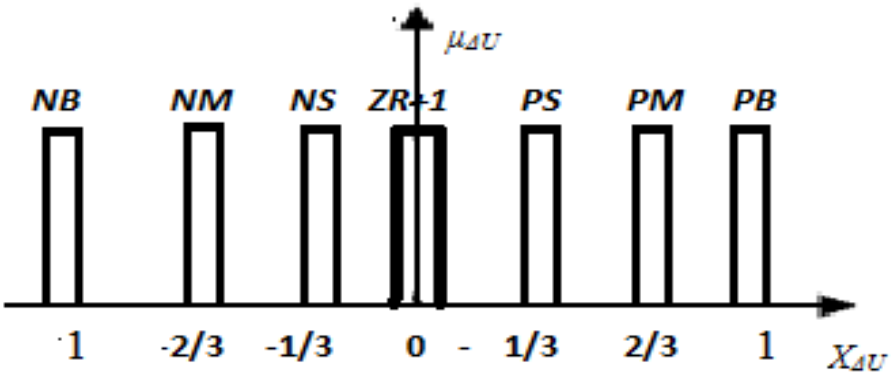
- Des facteurs de normalisation associent à l'erreur e, a sa variation Δe et la variation de la commande (Δu).
- D'un bloc de fluzzification de l'erreur et sa variation.
- Des règles de contrôle flou.
- La stratégie de commande est présentée par une matrice d'inférence du même type que celle présentée dans le tableau (IV.1).
- D'un bloc Défluzzification utilisé pour convertir la variation de commande floue en valeur numérique.
- D'une intégration.



-A-



-B-



-C-

Figure IV.3 les fonctions d'appartenance des différentes variables linguistique.

- A-pour l'erreur.
- B-pour la variation de l'erreur.
- C-pour la variation de la commande

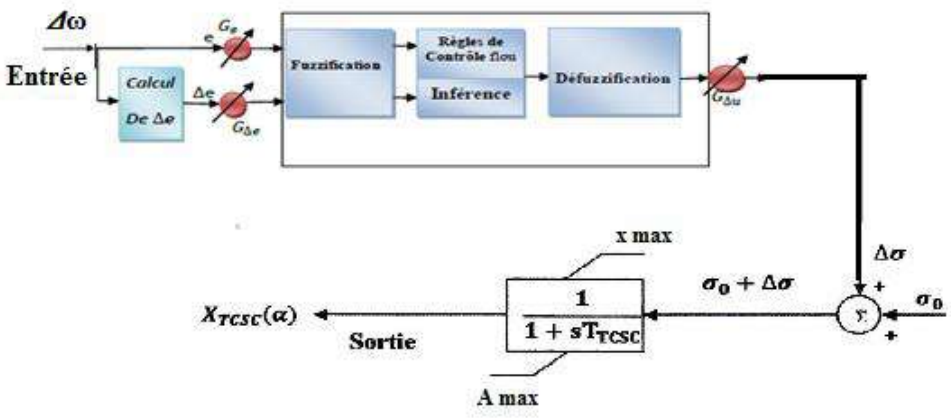


Figure IV.1 bloc d'un contrôleur flou dans TCSC.

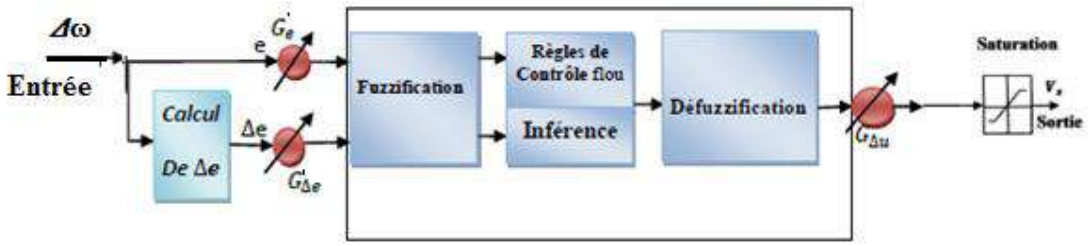


Figure IV.2 bloc d'un contrôleur flou dans PSS.

Le contrôleur flou considéré :

- Les fonctions d'appartenances triangulaires et trapézoïdales, ce choix est dû à la simplicité de mise en œuvre.
- Un univers de discours est découpé en sept (réglage fin) pour le variable d'entrées et de sortie ; une subdivision très fine de l'univers de discours sur plus de sept ensembles flous n'apporte en général aucune amélioration du comportement dynamique du système à réguler, [34].
- L'implication de Mandani pour l'inférence.
- La méthode du centre de gravité pour la Défuzzification.

4.3.2. Loi de commande

cette loi est fonction de l'erreur et sa variation (μ=f(e,Δu)) . Elle est donnée par :

$$U_{K+1} = U_K + G_{\Delta\mu}.\Delta\mu_{K+1} \qquad (IV.2)$$

Avec :

$G_{\Delta\mu}$ le gain associé à la commande.

$\Delta\ \mu_{K+1}$: la variation de la commande.

L'erreur e et la variation de l'erreur suit :

$$\begin{cases} x_{e} = G_e.e \\ x_{\Delta e} = G_{\Delta e}.\Delta e \end{cases} \qquad (IV.3)$$

G_e et $G_{\Delta e}$ sont le facteur d'échelle (normalisation). Nous faisons varie ces facteur jusque 'à ce qu'on Puisse avoir un phénomène transitoire de réglage convenable. En effet, ce sont ce dernier qui fixe les performances de la commande.

Pour régler les paramètres des deux stabilisateurs nous avons choisi d'utiliser stabilisateur sous **''MATLAB /SIMULINK''.**

4.4. LES RESULTATS DE REGLAGE

Dans cette section, deux procédures de réglage sont décrites. La perrière est réglage des paramètres du TCSC seul, la seconde concerne les stabilisateurs (TCSC et PSS) simultanément. Les paramètres de réglage par la logique floue de fourmi ainsi que la définition de l'espace de recherches, sont donnés dans le **tableau IV.1.**

Le tableau IV.2 présente les paramètres de deux régulateurs obtenus après réglage, Pour les différents défauts.

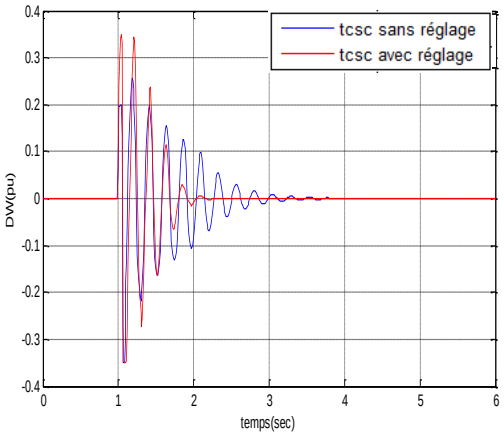
Tableau VI.2 Paramètres de réglage du TCSC et du PSS.

	Procédures	$(G_e)_1$	$(G_{\Delta e})_1$	$(G_e)_2$	$(G_{\Delta e})_2$	Obj
1er défaut Court-circuit	TCSC Seul	5	0.2	x	x	0.0457
	TCSC & PSS	2.3	2	1.7	0.2	0.0488
2eme défaut Déclenchement	TCSC Seul	29	1	x	x	0.4538
	TCSC & PSS	9.5	1	9.5	1.2	0.5321

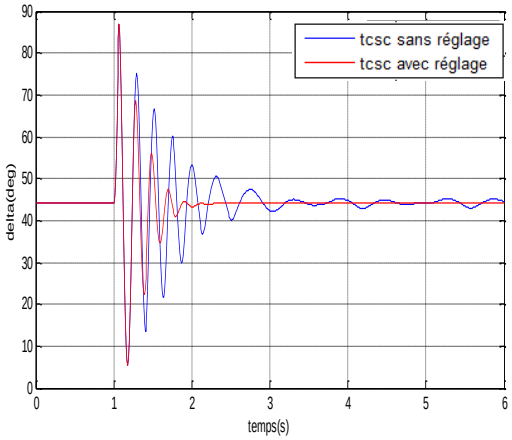
4.4.1. premier cas (court-circuit franc)

4.4.1.1.Réglage de TCSC seul

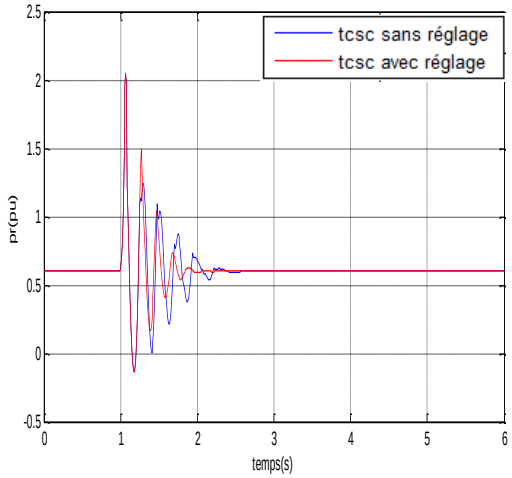
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de puissance électrique Pe



La réponse de tension Vt

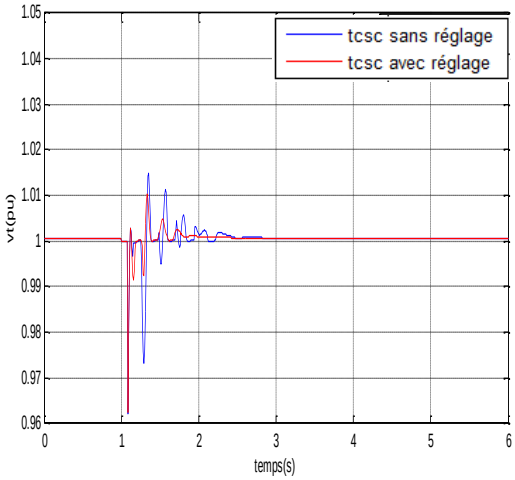
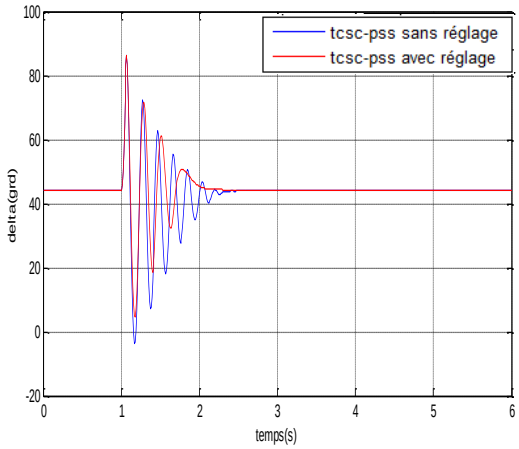


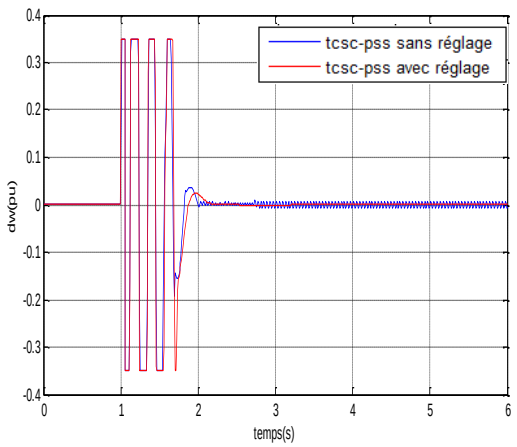
Figure IV.4 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *D***ω**, *Pe* et *vt* avec TCSC réglés et non réglés.

4.4.1.2.Réglage du TCSC et PSS défaut 1

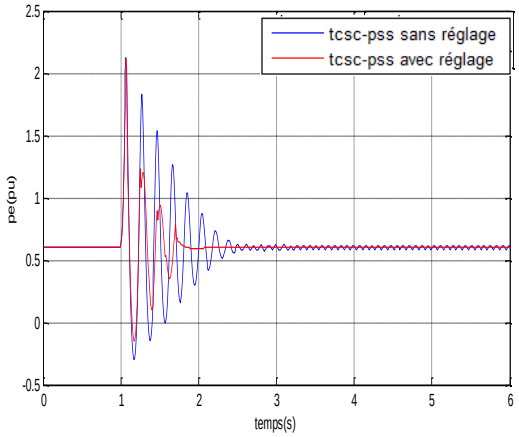
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de puissance électrique Pe



La réponse de tension Vt

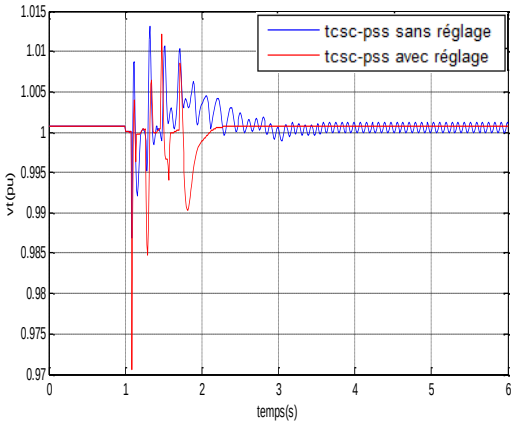
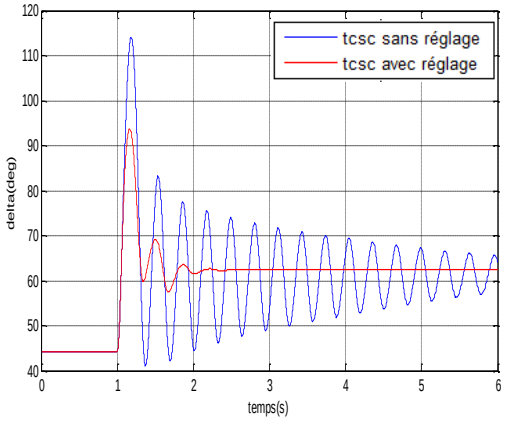


Figure IV.5 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *D*ω, *Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés.

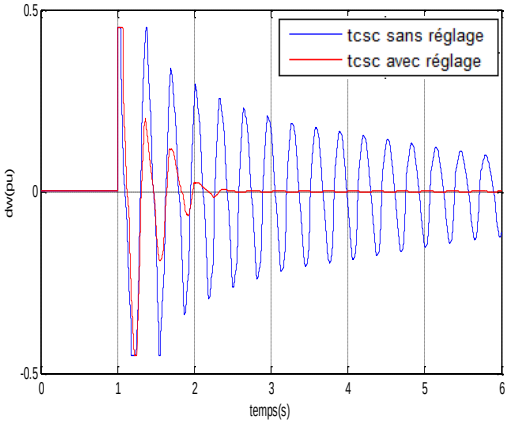
4.4.2. Deuxième cas (déclenchement d'une ligne)

4.4.2.1. Réglage du TCSC seul de défaut 2

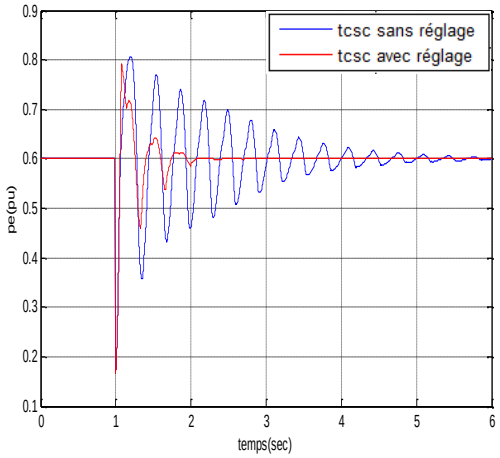
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de puissance électrique Pe



La réponse de tension Vt

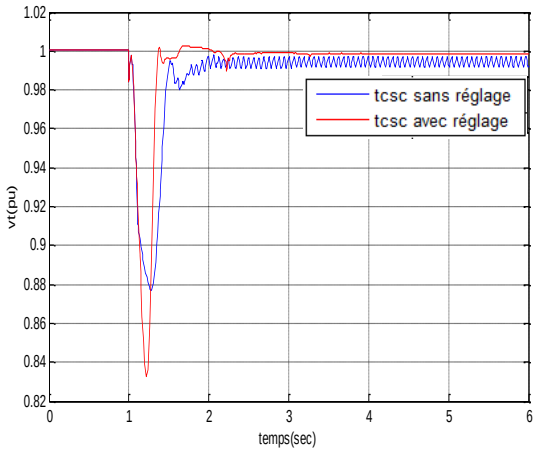
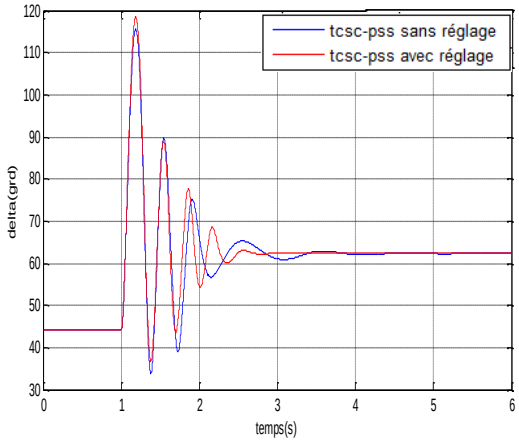


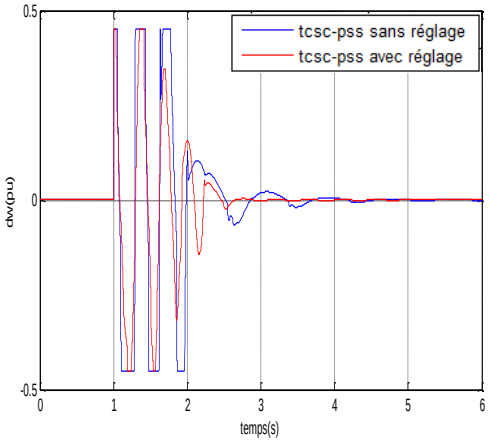
Figure IV.6 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *D*ω, *Pe* et *vt* avec TCSC réglés et non réglés.

4.4.2.2. Réglage du TCSC et du PSS simultanément de défaut 2

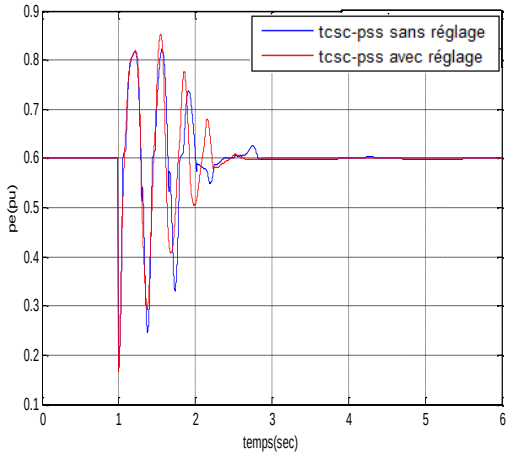
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de puissance électrique Pe



La réponse de tension Vt

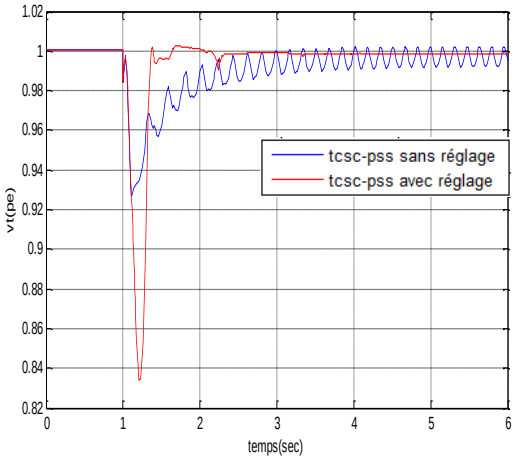


Figure IV.7 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *D*ω, *Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés.

4.4.3. Réglage des deux défauts simultanément

Pour obtenir des résultats pratiques coordonnant les deux défauts, nous avons régler les paramètres des deux contrôleurs, faisant appel simultanément aux deux défauts,

Les résultats sont représentés dans le tableau (IV.3).

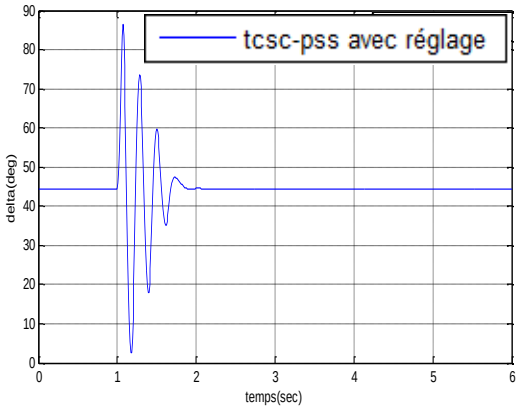
Tableau IV.3 Réglage des deux défauts.

Procédures	$(G_e)_1$	$(G_{\Delta e})_1$	$(G_e)_2$	$(G_{\Delta e})_2$	Obj
TCSC & PSS	9.5	1	1.7	0.2	0.2637

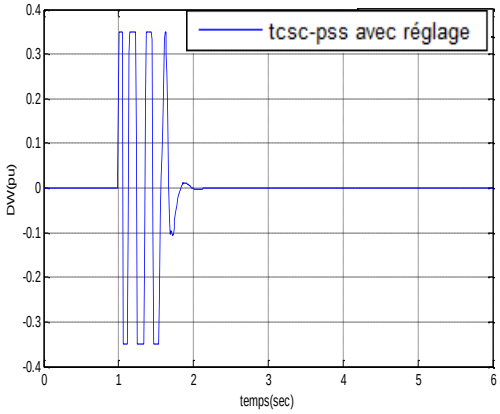
Ces résultats obtenus peuvent être appliques au premier comme au deuxième cas et on peut les visualiser dans les figures : IV.8 et IV.9.

1er cas (court-circuit)

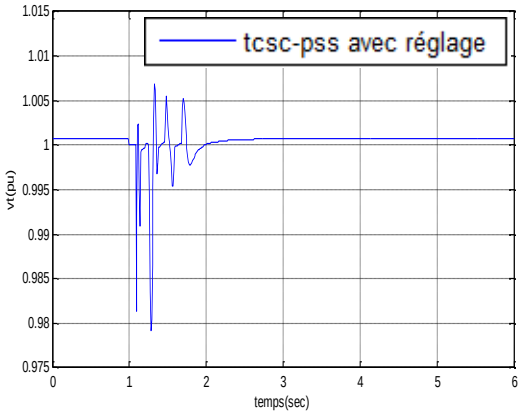
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de tension Vt



La réponse de puissance électrique Pe

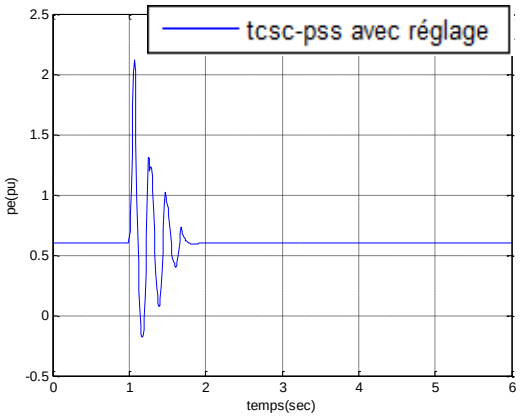
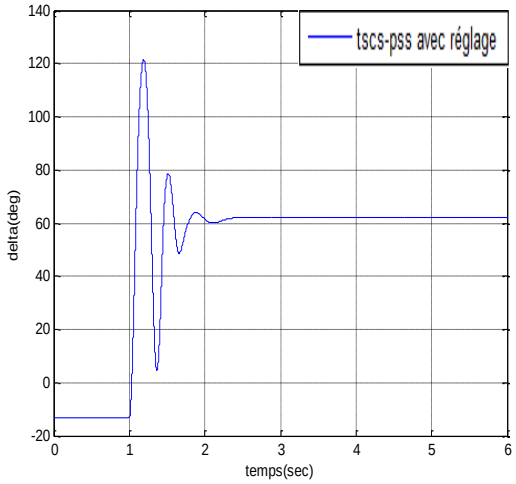


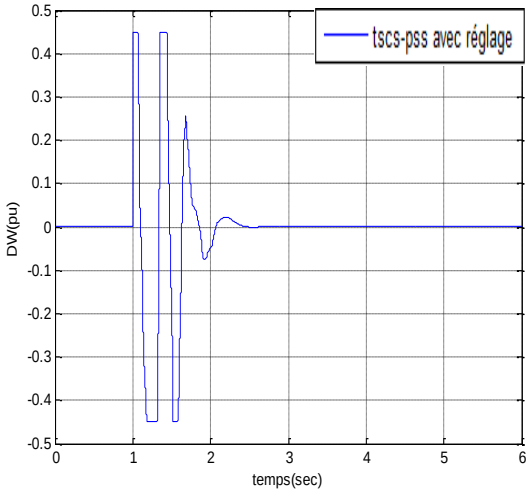
Figure IV.8 réponses temporelles un court-circuit franc de delta, *Dω*, *Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés et non réglés.

2éme cas (déclenchement d'une ligne)

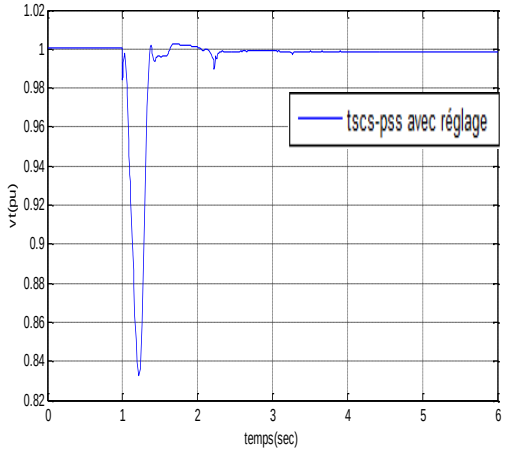
La variation de l'angle interne delta



La variation de vitesse



La réponse de tension Vt



La réponse de puissance électrique Pe

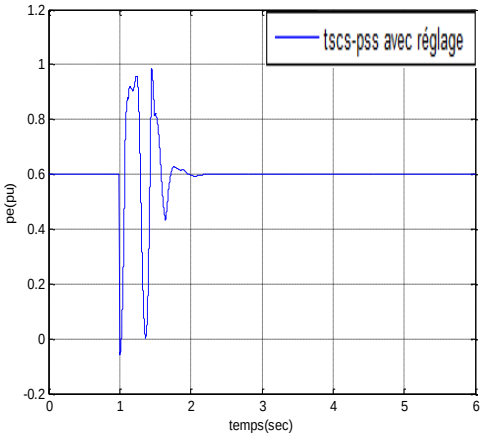


Figure IV.9 réponses temporelles un (déclenchement d'une ligne) de delta, *Dω*, *Pe* et *vt* avec TCSC et PSS réglés.

4.5. CONCLUSION

Après l'utilisation de la méthode de commande logique floue comme PSS et TCSC nous avons procédé plusieurs scénarios et présenter les résultats de simulation.

Les paramètres TCSC et PSS sont régler de manière à augmenter l'amortissement du système.

Les résultats de simulation montrent clairement que par cette technique, la stabilité transitoire du réseau d'énergie électrique est considérablement améliorée.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présente dans ce mémoire concerne l'analyse et l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques, Notre travail s'est porte sur l'implantation de deux stabilisateurs le PSS et le TCSC et l'application de la logique floue dans la synthèse et l'optimisation de leurs paramètres. Le rôle de ces stabilisateurs est d'apporter l'amortissement nécessaire aux oscillations électromécaniques du générateur, lorsque le système électrique est sujet à diffèrent défauts.

Afin d'atteindre cet objectif, nous sommes passés par plusieurs étapes :

Nous avons entamé notre travail par des définitions de la stabilité et ses différents types ainsi que des notions sur les PSS et les différents types des dispositifs FACTS.

Il fallait, comme dans toute étude de systèmes énergétiques réels, procéder à la modélisation des systèmes électriques en vue d'étudier la stabilité transitoire, ce qui s'est fait dans le deuxième chapitre. Pour cela, nous avons présente la modélisation du système d'une manière détaillée afin de pouvoir l'utiliser pour valider la méthode proposée en ayant pour objectif l'amélioration de la stabilité.

Puis, nous avons montré l'action du PSS et du TCSC, dont les paramètres étaient non optimises, sur un système mono-machine. Ce dernier constitue un exemple typique de problèmes qui peuvent survenir dans une machine synchrone connectée à un large réseau. Nous avons constaté, que les résultats présentent une amélioration certaine de la stabilité transitoire par rapport au cas du système non contrôlé, qui demeure toutefois mal amorti.

Ensuite, nous avons donné des définitions sur la méthode de la logique floue dans le quatrième chapitre qui représentent un outil à la fois simple, puissant efficace dans la résolution de problème de stabilité.

A la fin, nous avons abordé la synthèse des paramètres du deux régulateur par la logique floue. L'objectif principal et de remplacer contrôleur classique par cette méthode de régulation. La logique floue proposée, permet d'avoir des solutions satisfaisantes pour différents défauts avec un meilleur amortissement.

Même avec le changement de la configuration du réseau, (c'est-à-dire le point de fonctionnement) le contrôleur flou donne des bonnes résultats et ce parce que ce type de contrôleur prend en considération la non linéarité du système et aussi l'incertitude du modèle.

En revanche, le contrôleur classique est dimensionné pour un seul point de fonctionnement, donc changer la structure ou la charge affect la qualité de ce type de contrôle.

Références bibliographiques

[1] R.Haimour, *Contrôle des Puissances Réactives et des Tensionspar les dispositifs FACTS Dans un Réseau Electrique,* Thèse de Magister, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran, 2008.

[2] P. M. Anderson, A. A. Fouad, *Power system control and stability,* the IOWA state university Press, 3éme edition, 1982.

[3] *k. Nara*, *"State ofthe art ofthe modern Heuristic Application to Power Systems", IEEE. PES* Winter *Meeting* **-**Tannary *2000, Vol 2, pp 1279-1283.*

[4] JL. Deneubourg, JM. Pasteels, and Verhaeghe JC. Probabilistic behaviour in ants: a strategy of errors? *Journal of Theoretical Biology,* 105 :259.271, 1983.

[5] M.Boudour, *Evolution de la stabilité dynamique par les couples synchronisant et amortisseurs, Thèse de Magister, Ecole* **Nationale** *Polytechnique, 1994.*

[6] H.Benkaci, *Evolution de la stabilité statique en temps réel,* thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1998.

[7] Y. N. YU, *Electrique power system dynamics,* Ne^ York academic Press, 1983.

[8] J.P. Barret, p. Bournard, B. Meyer, *Simulation des réseaux électriques*, Edition Eyrolles, 1997.

[9] J.M. Renders, *Algorithmes génétiques et réseaux de neurones,* Hermes Scienee Publications, Paris, France, 1995.

[10] R. Eberhart, and j. Kennedy, "Partiele Swarm Optimization," *Proc. oflEEE International Conf. on Neural Networks,* Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

[11] K Eberhart, and Kennedy, "Swarm Intelligence", Morgan Kafinann Publisers, 2001.

[12] Dorigo, 1996 M., Maniezzo V., Colomi A.: The *ant* system: Optimization by a eolony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Mans, and Cybernetics, p. 29-41 (1996).

[13] E.V. Larsen, D.A. Swann, "*Applying power system Stabilizers,* part **1, II and III,** IEEE transactions". Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No 6, June 1981, pp. 3017-3046.

[14] J.H. Chnw, J.J. Sanchez-Gasca, H. Ren, S. Wang, "*Power System Damping Controller design using multiple input* signal", 1EE Control System Magazine, August 2000, pp 82-90.

[15] A.L.B do Bomfim, G.N taranto et D.M Falcao, **"***Simultaneous Tuning of Power System Damping Controllers using Genetic Algorithm",* IEEE transactions on power systems, Vol 15, No 1, February 2000, pp. 163-169.

[16] ***J P. Kundur, M. Klein, G.J. Rogers*** et ***M.S. Zywno,*** *"Application of Power System Stabilisers for Enhancement of Overall System Stability", IEEE transactions on power systems. Vol 4, No 2, May 1989.*

[17] LA. Hiskens, ¤*Systematic Tuning of Nonlinear power System Controller*", IEEE International Conference on Control Applications^ Glasgow, Scotland, UK, September 2002.

[18] A. ALIBI, *Contrôle des Réseaux Electriques par les Systèmes FACTS :* (Flexible AC Transmission Systems), Thèse de Magister, Université de Batna, 2009.

[19] R.Grnnbaum, M.Noroozian, B.Thorvaldsson. "FACTS : les systèmes performants pour le transport flexible de l'énergie électrique", **ABB** Power **systems. Revue ABB 5 / 1999.**

[20] B.P.E Lerch, L. Xu, *"Advanced SVC controlfor dampingpower system oscillations***",** **1EE** *transaetions on power systems, Vol.6, pp.* **524-535, 1991.**

[21] R. Urbanek *et al.* **"***Thyristor-controlled series Compensation-Prototype Installation at the slat 500 kv substation", 1EE transaction on power delivery. Vol 8, 1993.*

[22] M. O. Sadegh, *control of power electronic devices (FACTS) to enhance power system stabilit. PHD Thesis, Glasgow, March 2003.*

[23] H. F.Wang, F.J.Swift and M.Li, *"Analysis of thyristor-controlled phase shifter applied in damping power system oscillations*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 1ASTED Press, vol. 19, 9, Jan 1997.

[24] H. F. Wang, *''Effect of STATCOM « power system oscillation stability,* 34th' Universities-Power-engineeering-Conference", Univ. Leicester, UK. Vol 1, pp. 34-37, 1999.

[25] L.Gyugui et al. *"Static Synchronous Series Compensator: A Solid-state approach to the Series Compensation / transmission line", IEEE trans. On Power delivery, vol.12, January 1997.*

[26] L.Gyugui *A Unifield Power Control Concept for flexible AC Transmission System", IEEE* Proceedings-C**,** *139. 1992.*

[27] K.R.Padiyar. Power system Dynamics Stability and Control, *B.S. publications,* Second Edn., 2002.

[28] S.Panda and N.P. Padhy, *"Power System with PSS and FACTS Controller: Modelling, Simulation and Simultaneous Tuning Employing Genetic Algorithm", International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering ; winter 2007.*

[29] **Ait chika Mohamed Saleh**, « logique floue »,cours de PG.

[30] **Masjid Boudjedaimi, Patrice Wira, Djaffar Ould Abdeslam, Said Djennoune, Jean-Philippe Urban**, « Commande d'un onduleur avec des approches neuromimétiques pour la compensation des courants harmoniques dans les réseaux électriques », conférence internationale sidi Bel-abbas Alegria, Nov 22-24, 20011

[31] **Taleb Mustapha Ould Abdou** « Commande par Mode de Glissement Floue avec Observateur : Application à Différents Pendules Inversés », Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2006.

[32] **Hansruedi BUHLER,** « Réglage par logique floue » (première édition), presses polytechniques et universitaires romandes, 1994**.**

[33] **Morère**., Y. Mise en oeuvre de lois de commande pour les modèles flous de type Takagi-Sugeno. *Thèse de doctorat*, LAMIH-SF, de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2001.

[34] Madani E**.** H '' Application of fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic lant '', Proc of IEE, Vol ;121, No,1974**.**