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



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en électrotechnique

Option : réseaux électrique

THEME

RESEAUX DE NEURONES POUR L'AMELIORATION DE LA STABILITE DES RESEAUX ELECTRIQUES

Proposé et dirigé par :

Dr.K.SEBAA

Préparé et présenté par,

M. Adel Bachir

M. Brida Mohamed

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma mère

A mes frère est toute la famille adel et yahoni

A tous mes amis

Et toute la promotion réseaux électriques

….2016/2017.

Adel Bachir

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma mère

A mon frère, mes sœur est toute la famille

A tous mes amis

Et toute la promotion réseaux électriques

….2016/2017.

Brida Mohamed

ملخص

ندرس في هذه الرسالة مشكلة الاستقرار العابر في الانظمة الكهربائية و يرتكز عملنا على اثنين من المثبتات .موازن نظام الطاقة و الشبكات العصبية .ان دور هذين المثبتين سالفين الذكر هو توفير ما يلزم من التذبذبات الكهروميكانكية للمولد عندما يخضع النظام الكهربائي لمختلف العيوب.

الكلمات المفتاحية

الاستقرار العابر .موازن نظام الطاقة. الشبكات العصبية.

Résumé :

Ce mémoire traite 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 RNA, dans la synthèse et l'optimisation de leurs paramètres (gains et constantes de temps). 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, , PSS(Power System Stabilizer), RNA(Réseau de Neurone Artificiel).

Abstract

This thesis addresses the problem regarding the analysis and improvement of transient stability of power systems. Our work is focused on the design of two stabilizers PSS and RNA, in the synthesis and optimization of their parameters (gains and time constants). The role of these stabilizers is to provide the necessary damping electromechanical oscillations of the generator when the power system is subject to various defects.

Keywords:

transient stability, (PSS)Power System Stabilizer,RNA(Artificial neural networks).

Remerciement

Au terme de ce travail, nous voudrons exprimer nos sincères remerciements à Monsieur le docteur SEBAA KARIM. D’avoir accepté d'être le promoteur de ce mémoire, pour ces précieux conseils et son encouragement tout au long de ce travail.

Nous adressons nos remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant un intérêt tout particulier

Nous remercions également tous les enseignants de Département Génie Electrique de l’Université Dr. YAHIA FARES DE MEDEA qui ont participé à notre formation pendant tout le cycle universitaire.

A tous nous espérons qu'ils trouvent ici le témoignage de notre gratitude.

Table des matières

Introduction générale……..1

CHAPITRE I : DEFINITION ET CONCEPTS DE BASE

I.1 : Introduction……..2

I.2 : Notion de la stabilité……2

I.3:Typesdestabilité……...3

I.3.1 : Stabilité statiques……3

I.3.2 : Stabilité transitoire……..3

I.3.3 : Stabilité dynamique……3

I.4 : Les méthodes utilisées……..3

I.4.1 : Les méthodes classique……4

I.4.1.1: Intégration numérique……4

I.4.1.2: Méthode directe de Lyapunov……4

I.4.1.3: Méthode des valeurs propres……...4

I.4.1.4 : Méthode probabilistiques……5

I.4.1.5 : Méthode des couples synchrone et amortisseur……5

I.4.1.6 : Méthode part reconnaissance de forme……5

I.4.2 : Les méthodes intelligentes……...6

I.4.2.1 : Algorithme génique……..……6

I.4.2.2: optimisation par essaims de particules……..……..7

I.4.2.3: les algorithmes de colonie de fourmis……..……7

I.5: Techniques d'amélioration de la stabilité……....8

I.5.1: Amélioration de la stabilité par les PSS……..8

I.5.2: Insertion des Dispositifs Stabilisateurs PSS……....8

I.5.3 : Amélioration de la stabilité parles FACTS……9

I.5.3.1:Introduction……9

I5.3.2 : Définition……...10

I.5.3.3: Fonctionnement……10

I.5.3.4: Types de FACTS……..11

I.5.3.5: Application des FACTS……....17

I.6 : Conclusion……...19

Chapitre II: Les réseaux de neurones artificiels

II.1. Introduction…….……..20

II.2. L'intelligence artificielle…….....20

II.2.1. Définition……....20

II.2.2 Domaines de l'intelligence Artificielle…….21

II.2.3 Les modèles de l'intelligence artificielle……...22

II.3 Réseaux de neurones…….…...22

II.3.1 Introduction aux réseaux de neurones……22

II.3.2 Définition……....22

II.3.3 Historique……....23

II.3.4 Applications des réseaux de neurones……..…23

II.3.5 Notions fondamentales sur les réseaux de neurones artificiels……..…24

II.3.5.1 Analogie entre neurone biologique et neurone artificiel……..…24

II.3.6 Le modèle mathématique d'un neurone artificiel……..27

II.3.7 Fonction d'activation……..29

II.3.8 Architecture des réseaux……...31

II.3.9 Apprentissage…….34

II.3.9.1 comment apprendre au réseau……...…….34

II.3.9.2 Surapprentissage……..……35

II.3.9.3 Rétropropagation…….……..……36

II.3.9.4 Élagage……....36

II.3.9.5 Précision……..…36

II.4 :Conclusion……...……36

Chapitre III: modélisation des réseaux électriques

III.1 INTRODUCTION…….……37

III.2 MODELISATION DE LA MACHINE SYNCHRONE…….……37

III.2.1 les équations de la machine……38

III.2.1.1 Les équations du flux ……..38

III.2.1.2 Les équations de tension …….38

III.2.1.3 Les équations du couple ……..39

III.2.2 La transformation de PARK ……...39

III.2.2.1 Transformation du flux……...40

III.2.2.2 Transformation de l'équation de tension du stator …….40

III.2.2.3 Transformation de l'équation du couple

III.2.3 Les variables Per unit ……41

III.2.3.1 Les équations de tensions en PU…….41

III.2.3.2 Les équations de flux en PU……42

III.2.3.3 Les équations du stator ……...44

III.2.3.4 Les Equations du couple en PU……..44

III.3 MODELISATION DU SYSTEME MONOMACHINE……45

III.4 STRUCTURE DES PSS ……...47

III.4.1 Procédure de dimensionnement des PSS ……47

III.4 STRUCTURE DES PSS…….....49

III.4.1 Procédure de dimensionnement des PSS ……....50

III.4.2 Description du bloc du PSS ……..49

III.5 LE SYSTEME ETUDIE……...49

III.6.Conclusion……..…….52

Conclusion générale……53

Liste des figures

I.1 ***la structure de SVC*****……*12***

I.2 le TCSC connecté en série avec une ligne……...12

I.3 Schéma de contrôle de l'angle de transport par TCPAR…….13

I.4 structure du STATCOM……..14

I.5 structure du SSSC……15

I.6 structure de l'UPFC……..17

I.7 Diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux…….17

II.1. Schéma complet d'un neurone biologie…….25

II.2 : Représentation d'un neurone formel……...26

II.3. Schéma de comparaison entre un neurone biologique et un neurone artificiel……27

II.4. Modèle mathématique du neurone artificiel……28

I.5. Schéma plus formel d'un perceptron…….29

II.6. Architecture générale d'un RNA……..31

II.7. Réseau Monocouche……...32

II.8. Réseau Multicouche……33

II.9. Réseau à connexions complètes……33

II.10. Réseau à connexions locales……34

II.11 : Schéma représentatif d'un apprentissage supervisé……...35

II.12. Schéma représentatif d'un apprentissage non supervisé……34

II.13 apprentissage du réseau……...35

III.1 représentation d'une machine synchrone……...45

III.2 une machine synchrone connectée à un nœud infini (SMIB)……..…..38

III.3 structure du contrôleur PSS……...49

III.4 système mono-machine connecté à un nœud infini……....50

III.5 réponses temporelles à un cout circuit de delta,Sm,Eq',Ed',Efd,upss de la machine synchrone sans(PSS), AVEC (PSS)…… ….……...51

Liste des Tableaux

I.1 Application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau……..18

II.1. Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel……..26

II.2. Les fonctions de transfert les plus courantes ……30

III.1. les défèrent scénario……52

Liste des Symboles et Abréviations

FACTS Flexible alternatif courant transmission Systèmes (système de transmission flexible en courant alternatif)

PSS Power Système Stabilizer (stabilisateur de système de puissance)

ACS Antcolony system

AS Ant system

AGs les algorithmes génétiques

PSO Particule Swarm optimization

EPRI Electric Power Research Institue

MVA Méga volt amperes

AC courant alternative

SVC Compensateur statique de puissance réactive (Static Var Compensator).

TCSC Condensateur série fixe et commandé parthyristom (Thyristor-Controlled)

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 inductatices

[R] Matrice des resistances

Tm **Le couple mécanique**

Te **Le couple électrique**

Pe **La puissance électrique**

D **Cœfficient d'amortissement**

j **Moment d'inertie du rotor**

[Cp] **Matrice de Park**

θ **L'angle du rotor**

ω **La vitesse angulaire rotorique**

Sm **Glissement du générateur**

δ **Angle rotorique**

I_d **Composante du couraiit sur l'axe d**

I_q **Composante du courant sur l'axe q**

V_d **Composante de tension sur l'axe d**

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 **Per 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 **Tension du nœud infini**

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**

Z **Réactance de la ligne**

V_t **La tension de sortie du générateur**

T_ω **La constante de temps du filtre passe haut**

K_p **Le gain du PSS**

T ip **Les constantes de temps des blocs de compensation du PSS**

[IA] **Intelligence Artificielle**

[RNA] **Réseau de Neurone Artificiel**

[OBD] **Optimal Brain Damage**

[OBS] **Optimal Brain Surgeon**

[ECG] **Electrocardiography**

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 en vie aujourd'hui dans l'ère de l'électronique et de l'informatique et 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 et de 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.

Un 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. **[1]**

Afin d'étudier la stabilité du système, nous avons présenté dans le deuxième chapitre expose les aspects généraux sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) : définition, historique, les neurones biologiques,Neurone formel, Architecture et les différents modèles de réseaux de neurones. **[2]**

Pour ce qui concerne le dernier chapitre Nous représenterons les résultats de simulations après optimisations des paramètres des deux stabilisateurs (PSS et RNA), dans des graphes qui démontrent l'efficacité des contrôleurs et le meilleur fonctionnement après optimisation.

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

I.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 demande 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 électriques (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 permettre 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.

I.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 du lieu, de la nature et de l'intensité de la perturbation.

I.3 TYPE DE 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 :

I.3.1 Stabilité statique

Le réseau a un comportement stable, c'est-à-dire que soumis à de 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 [3 ,4].

I.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 chargée), court-circuit polyphasé, rupture d'une interconnexion, déclenchement accidentel d'une machine ou d'un transformateur [4].

I.3.3 Stabilité dynamique

On la définit suite à des perturbations lentes de faibles amplitudes causées par l'ouverture de lignes (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 [3].

I.4 LES METHODES UTILISEES

La nécessité de faire fonctionner les réseaux électriques près 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 type de méthodes utilisé les méthodes classiques et les méthodes intelligent.

I.4.1 les méthodes classiques

I.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 organes de régulation.

En revanche elle implique un temps de calcul important.

I.4.1.2 Méthodes 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 raisons :

- 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 [3,5].

I.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 [4, 6].

I.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 statistique utiles. On calcule les statistiques d'ouverture moyennant les données prélevées du système ou, en d'autres termes, la probabilité de chaque événement de défaut [3,5].

I.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 [3].

I.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 est 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 [5].

I.4.2 les méthodes intelligentes (Méta heuristiques)

Les métas 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 être classées en deux groupes : les méthodes à Population de solutions connues sous le nom d'algorithme évolutionnaires comme les algorithmes de colonies de fourmis …etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé.

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

I.4.2.1 algorithme génétique

D'après la référence [7]

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.

I.4.2.2 Optimisation par Essaims de Particules

L'optimisation par essaim de particules PSO (*Particule Swarm Optimization*) est une technique d'optimisation parallèle développée par Kennedy et Eberhart [8]. 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 [9], se trouve les racines sociales de PSO ainsi que les techniques mathématiques mises en œuvre pour la modélisation.

I.4.2.3 algorithmes de colonies de fourmis

Le comportement des insectes sociaux est caractérise par l'auto-organisation. Les individus communiquent en changeant les propriétés locales de leur environnement, et, par le biais de ce moyen de communication limite, une sorte d'intelligence collective émerge

Les fourmis naturelles ont inspire les "algorithmes `a colonies de fourmis" introduits par la thèse de Marco Dorigo[10] . 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 appelée 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 atteint (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 de phéromone est concentrée, plus elle 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 problèmes d'optimisation.

I.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 FACTS et des PSS.

I.5.1 Amélioration de la Stabilité par PSS

Les PSS ont 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 du système d'excitation d'un générateur est du point de vue, des spécialistes, une opération économique et fiable 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 électriques actuels, l'utilisation de régulateurs PSS et d'autres dispositifs de l'électronique de puissance devient impérative.

I.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 observés 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 la tension d'entrée du système d'excitation. Une telle structure utilise souvent la déviation de la vitesse synchrone $\Delta\omega$ comme entrée, mais dans certains cas, d'autres signaux comme la puissance ou une combinaison vitesse/puissance sont utilisés [11,12].

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 est insuffisant pour garantir la stabilité du système. Généralement, deux à trois blocs sont nécessaires pour que le stabilisateur puisse jouer son rôle [13].

Nous considérerons aussi différentes 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 du 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 de 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 [14].

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 [11, 15].

I.5.3 Amélioration de la stabilité par les FACTS

I.5.3 .1 Introduction

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 électriques, 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 environnementale, écologique et économique de constructions 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 électriques et d'augmenter leurs capacités de transfert.

Aussi, ces réseaux électriques de tailles importantes, seront confrontés à divers problèmes de fonctionnement, à cause du 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 [16].

I.5.3.2 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 [17].

I.5.3.3 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 condensateurs shunts fournissent de la puissance réactive, et augmentent localement la tension du 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 du réseau (utilisé en période de faible consommation, la nuit notamment).

- Les condensateurs série permettent de diminuer l'impédance des liaisons électriques 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 différentes liaisons.

L'ordre de grandeur de la puissance d'un FACTS va de quelques MVA à quelques centaines de MVA [13].

I.5.3.4 Types de FACTS

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

- SVC : Compensateur statique de puissance réactive (*S*tatic *V*ar *C*ompensator).
- TCSC : Condensateur série fixe et commandé par thyristors (*T*hyristor-*C*ontrolled *S*eries *C*apacitor).
- TCPAR : Régulateur de déphasage par thyristor (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator).
- STATCOM : Compensateur synchrone statique (*S*ynchronous *S*tatic *C*ompensator).
- SSSC : Compensateur série synchrone statique (*S*ynchronous *S*tatic *S*eries *C*ompensator).
- UPFC : Contrôleur de transit de puissance unifié (*U*niversal *P*ower *F*low *C*ontroller).

A-Compensateur statique d'énergie réactive (SVC)

Le SVC est composé des thyristors commandés par des capacités (TSCs) et d'autres 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 de 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 [18].

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.

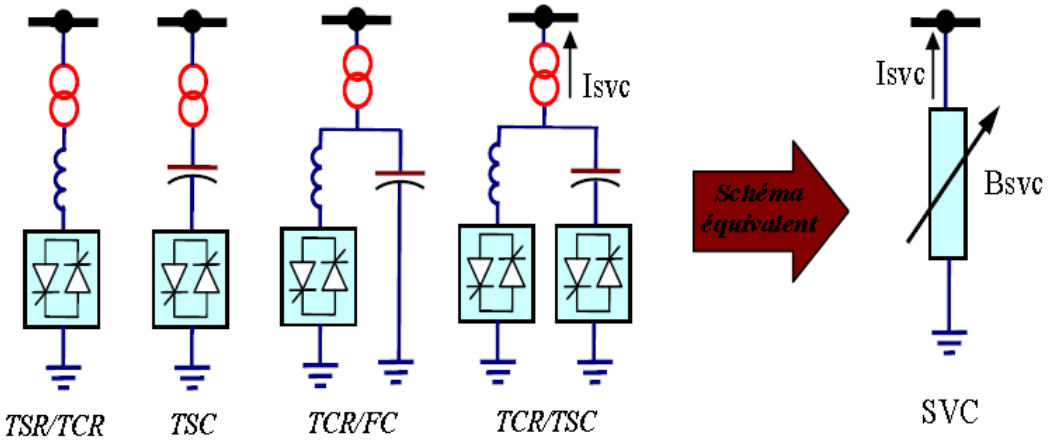


Figure I.1 *la structure de SVC.*

B-Capacités série commandées par thyristor (TCSC)

Les condensateurs en série commandés par thyristor TCSC 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 protège 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 [19].

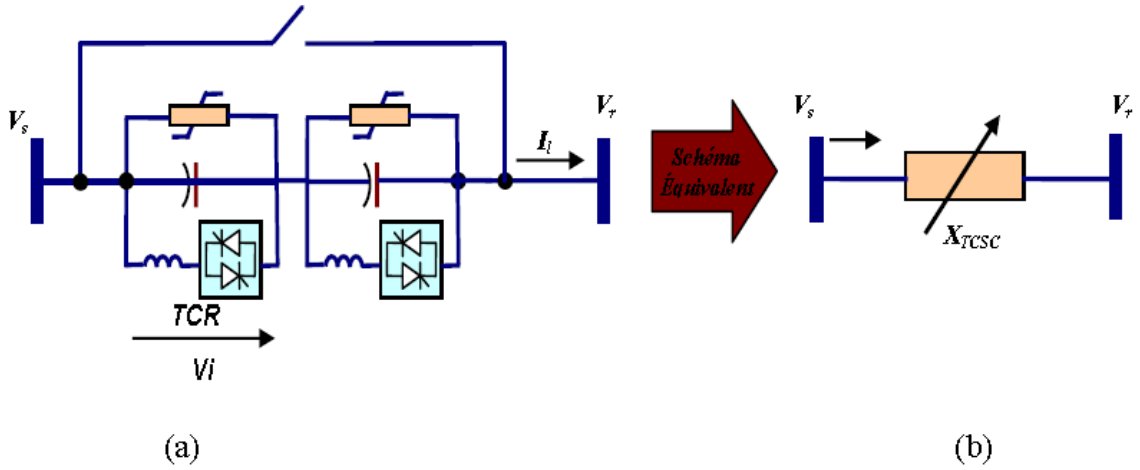


Figure I.2 *le TCSC connecté en série avec une ligne.*

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-Régulateur 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 [20,21].

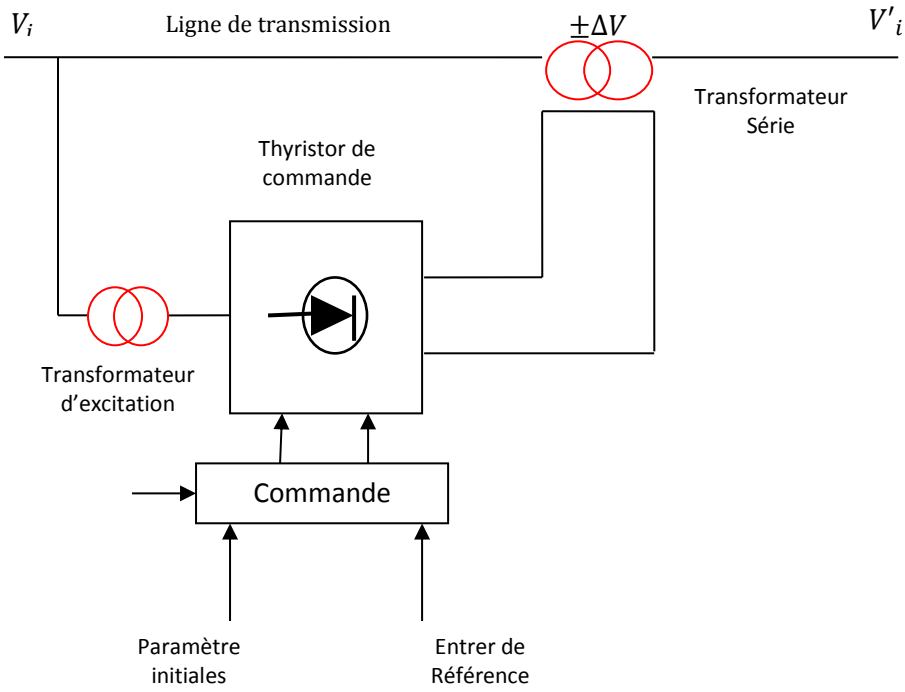


Figure I.3 *Schéma de contrôle de l'angle de transport par TCPAR*

D-Compensateur statique (STATCOM)

Le dispositif STATCOM (Compensateur statique) a une caractéristique semblable au compensateur synchrone, mais comme dispositif électronique, il n'a aucune inertie et est supérieur au compensateur synchrone : une meilleur dynamique, une charge de placement inférieure et des coûts de fonctionnement et d'entretien inférieurs…

Il peut être représenté comme suit :

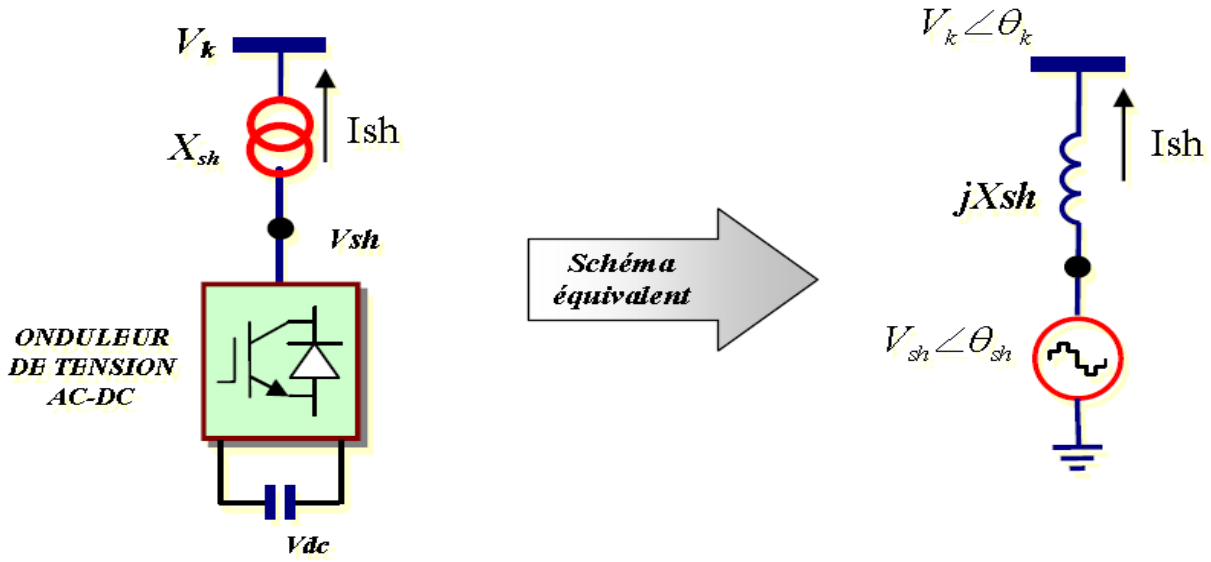


Figure I.4 *structure du STATCOM.*

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 décroît 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 9O° 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 fondamentale. Par contre, si le déphasage de ΔV est de 9O° en avance sur le courant de la ligne, la compensation série au même effet que lorsque l'impédance réactive de la ligne augmente.

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

L'aptitude de la tension injectée ΔV peut 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 [20, 23].

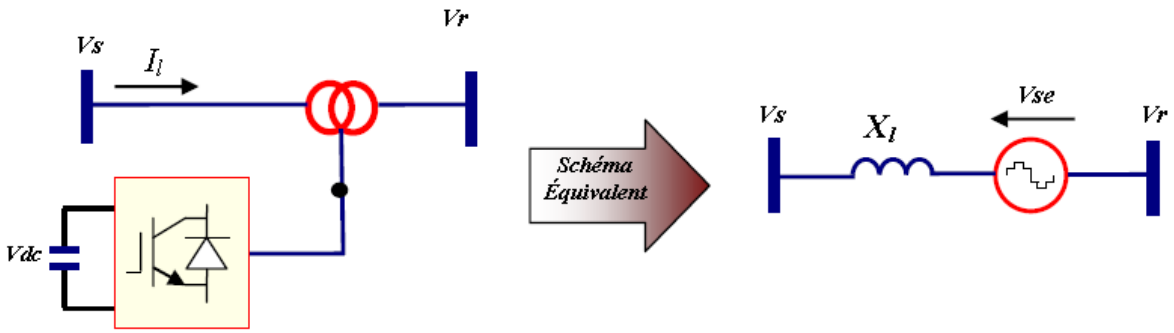


Figure I.5 *structure du SSSC.*

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 active 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 échangée 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 la ligne ainsi que 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 [20, 24].

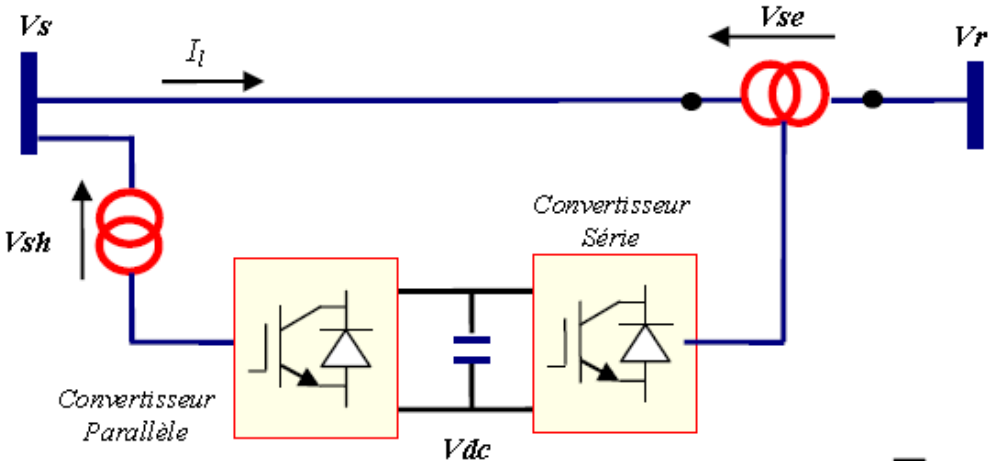


Figure I.6 *structure de l'UPFC.*

I.5.3.5 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.

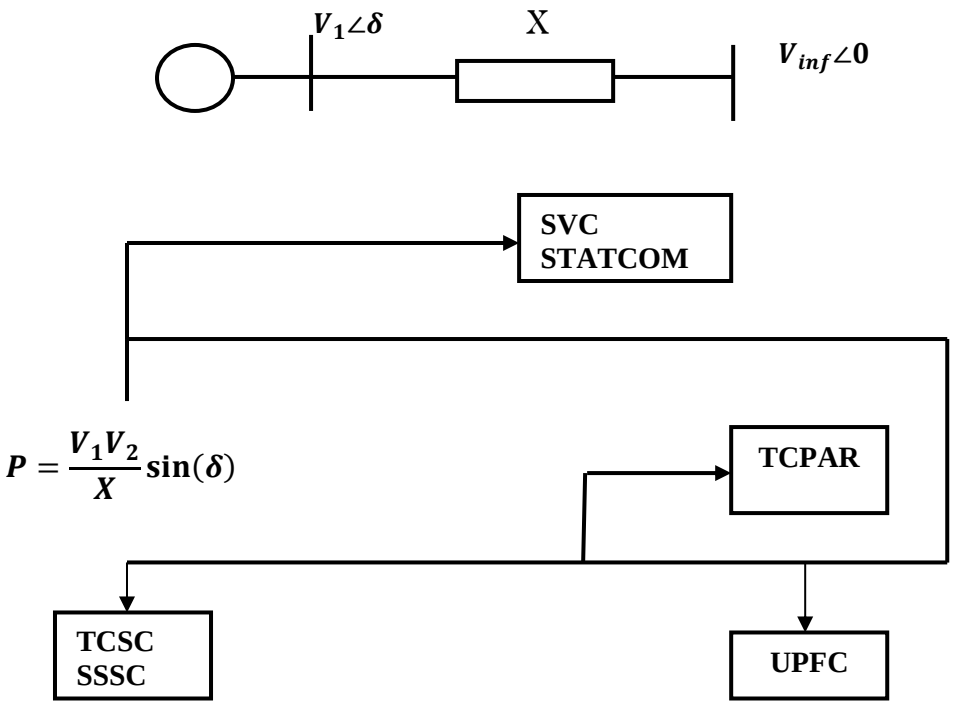


Figure I.7 *Diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux.*

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 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 du flux de puissance et pour l'amélioration de la stabilité de tension aux nœuds de l'interconnexion.

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

- Systèmes maillés : commande du 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 capacitive.

L'impédance série de la ligne, les tensions de départ et 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 ainsi que le déphasage des tensions d'arrivées des lignes de transport dans le but de contrôler l'écoulement de puissance.

I.6 CONCLUSION

Nous avons présenté 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 derniers, 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: Les réseaux de neurones artificiels

II.1. Introduction

L'intelligence humaine est une faculté remarquable qui nous permet d'exercer de multiples activités dites cognitives, Comme apprendre, comprendre, évaluer, critiquer, juger, connaître, planifier, analyser, choisir, mémoriser et communiquer. Il est passionnant d'essayer de décrire ces mécanismes, de les comprendre et éventuellement de les simuler. L'intelligence artificielle (IA) s'intéresse à la fois aux descriptions abstraites de 1'intelligence humaine et à la possibilité de réaliser des systèmes artificiels dont le comportement correspondent à ces descriptions.

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont l'un de ces systèmes, malgré qu'il soit loin de pratiquer les fonctions d'un cerveau humain, mais il arrive à achever d'une manière non complète certaine de ces fonctions. L'utilisation des réseaux de neurones artificiels s'est développée dans de nombreuses disciplines (mécanique, Sciences économiques, environnement, biologie et médecine…).

Les réseaux de neurones artificiels sont notamment appliqués pour résoudre des problèmes de classification, de prédiction, de catégorisation, d'optimisation et de reconnaissance des formes. Les réseaux de neurones constituent en fait un courant bien précis de l'intelligence artificielle, dont le modèle de développement est basé sur l'idée de calquer des algorithmes d'apprentissage sur un modèle simplifié du cerveau.

Dans ce chapitre, on va présenter la description abstraite et le fonctionnement d'un neurone artificiel.

II.2. L'intelligence artificielle

II.2.1. Définition

Un système d'intelligence artificielle a pour but la modélisation du comportement d'un expert humain, accomplissant une tâche de résolution des problèmes pour laquelle on ne dispose d'aucun algorithme et ce dans un domaine bien précis

Il existe un certain nombre de définitions différentes de l'IA. On cite entre autres :

- ✓ Système qui pense comme les hommes.
- ✓ Système qui agit comme les hommes.
- ✓ Système qui pense rationnellement.
- ✓ Système qui agit rationnellement**.**

II.2.2 Domaines de l'intelligence Artificielle

- **Tâches routinières**

  - ✓ Perception : – Vision
    – Parole

- **Langage naturel :** – Compréhension
  – Génération
  – Traduction
  - ✓ Sens commun
  - ✓ Robotique

. **Tâches formelles :**

  - ✓ Jeux : – Échecs
    – Backgammon
    – Dames
  - ✓ Mathématiques : – Géométrie
    – Logique
    – Calcul intégral
    – Preuves de théorèmes

- **Systèmes experts**

  - ✓ Ingénierie : – Conception
    – Réparation, déverminage
    – Planification industrielle

  - ✓ Analyse scientifique
  - ✓ Diagnostic médical
  - ✓ Analyse financière

- **Réseaux de neurones artificiels**

  - ✓ Classification
  - ✓ Apprentissage supervisé et non-supervisé : – Perceptron multicouche
    – Réseaux auto-organisés
    – Simulations biologiques
  - ✓ Imagerie et reconnaissance de formes **[27].**

II.2.3 Les modèles de l'intelligence artificielle

Il existe plusieurs modèles utilisables, parmi eux on cite :

- Les réseaux neuronaux artificiels
- Calcul évolutionnistes
- Intelligence D'Essaim
- Systèmes immunitaires Artificiels
- Systèmes Brouillés

Le modèle le plus utilisé dans les années précédentes est le réseau de neurone **[28].**

II.3 Réseaux de neurones

II.3.1 Introduction aux réseaux de neurones

Les réseaux de neurones ont d'abord été développés pour résoudre des problèmes de contrôle, de reconnaissance de formes ou de mots, de décision, de mémorisation comme une alternative à l'intelligence artificielle, et en relation plus ou moins étroite avec la modélisation de processus cognitifs (capable de connaître ou faire connaître) réels et des réseaux de neurones biologiques **[29].**

II.3.2 Définition

Les réseaux de neurones sont composés d'éléments simples (ou neurones) fonctionnant en parallèle. Ces éléments ont été fortement inspirés par le système nerveux biologique. Comme dans la nature, le fonctionnement du réseau (de neurone) est fortement influencé par la connections des éléments entre eux. On peut entraîner un réseau de neurone pour une tâche spécifique (reconnaissance de caractères par exemple) en ajustant les valeurs des connections (ou poids) entre les éléments (neurone) **[30].**

II.3.3 Historique

À l'ère de la cybernétique, l'objectif des chercheurs était de construire une machine capable de reproduire certains aspects de l'intelligence humaine. Mac Culloch et Pitts ont proposé dès 1943 les premiers neurones formels calqués sur les neurones biologiques. Les réseaux de neurones artificiels réalisés à partir du modèle biologique ne sont rien qu'une tentative de modélisation mathématique du cerveau humain. Ils sont donc conçus pour reproduire certaines de leurs caractéristiques comme :

- la capacité d'apprentissage
- la capacité de mémoriser l'information
- la capacité de traiter des informations incomplètes

Les réseaux de neurones ont donc une histoire relativement jeune (60 ans) mais les applications intéressantes des réseaux de neurones n'ont vu le jour qu'il y a une trentaine d'années avec le développement de l'informatique. En effet, ce n'est que depuis le début des années 1990 que les réseaux de neurone artificiels, généralement utilisés en physique, font leur entrée en management en tant que méthode quantitative de prévisions à côté des méthodes statistiques classiques. Les réseaux de neurones artificiels sont particulièrement utilisés en finance mais également dans d'autres domaines de gestion.

Il existe deux raisons principales pour lesquelles les chercheurs en sciences de gestion se sont intéressé aux réseaux de neurones artificiels :

- À l'inverse des méthodes statistiques classiques, les réseaux de neurones artificiels ne nécessitent aucune hypothèse sur les variables.
- Les réseaux de neurones artificiels sont parfaitement adaptés pour traiter des problèmes complexes non structurés (problèmes sur lesquels il est impossible de définir la relation entre les variables utilisées). **[31]**

II.3.4 Applications des réseaux de neurones

L'étude des réseaux de neurones est une voie prometteuse de l'Intelligence Artificielle, qui a des applications dans de nombreux domaines :

• Aérospatial : pilotage automatique, simulation du vol…

• Automobile : système de guidage automatique,…

• Défense : guidage de missile, suivi de cible, reconnaissance du visage, radar, sonar, lidar, traitement du signal, compression de données, suppression du bruit…

• Electronique : prédiction de la séquence d'un code, vision machine, synthétiseur vocal, modèle
non linéaire,…
• Finance : Prévision du coût de la vie
• Secteur médical : Analyse EEC et ECG
• Télécommunications : Compression de données … **[30].**

II.3.5 Notions fondamentales sur les réseaux de neurones artificiels

II.3.5.1 Analogie entre neurone biologique et neurone artificiel

L'idée de réseau de neurones artificiels a été inspirée de la manière par laquelle les neurones biologiques traitent les informations. Ce concept est utilisé pour mettre en œuvre des logiciels de simulations des processus massivement parallèles qui impliquent des éléments de traitement connectés dans une architecture de réseau. L'apprentissage dans le cerveau humain se fait à travers un réseau des neurones qui sont connectés par l'axone, les synapses et des dendrites **[32].**

❖ **Neurone biologique**

En biologie, un neurone est une cellule nerveuse dont la fonction est de transmettre un signal électrique dans certaines conditions. Il agit comme un relai entre une couche de neurones et celle qui la suit.

Le corps d'un neurone (figure II.1) est relié d'une part à un ensemble de dendrites (entrées du neurone) et d'autre part à un axone, partie étirée de la cellule, qui représentera pour nous sa sortie. Le neurone étudié est connecté aux neurones environnants : il reçoit au niveau de ses dendrites les signaux électriques des neurones "en amont", propagés par les axones de ces derniers. Les charges électriques s'accumulent dans le neurone jusqu'à dépasser un certain seuil : à ce moment la transmission du signal électrique se déclenche via son axone vers d'autres neurones "en aval".

On remarque que les liaisons axone/dendrite entre deux neurones (connexions synaptiques) ne sont pas toutes de la même efficacité. Ainsi l'entrée associée à une certaine dendrite du neurone pourra avoir plus d'influence qu'une autre sur la valeur de sortie. On peut représenter la qualité de la liaison par un poids, sorte de coefficient s'appliquant au

Le poids sera d'autant plus grand que la liaison est bonne. Un poids négatif aura tendance à inhiber une entrée, tandis qu'un poids positif viendra l'accentuer.

La structure d'un neurone se compose de trois parties :

- ***La somma*** : ou cellule d'activité nerveuse, au centre du neurone.
- ***L'axone*** : attaché au somma qui est électriquement actif, ce dernier conduit l'impulsion conduite par le neurone.
- ***Dendrites*** : électriquement passives, elles reçoivent les impulsions d'autres neurones **[19].**

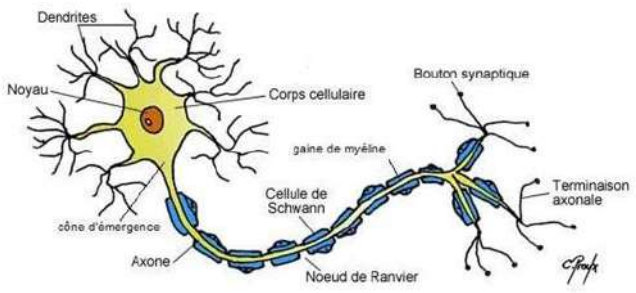


Figure II.1. Schéma complet d'un neurone biologie **[33].**

❖ **Le neurone formel (artificiel)**

Un neurone formel est une représentation mathématique et informatique d'un neurone biologique. Le neurone formel possède généralement plusieurs entrées et une sortie qui correspondent respectivement aux dendrites et au cône d'émergence du neurone biologique (point de départ de l'axone). Les actions excitatrices et inhibitrices des synapses sont représentées, la plupart du temps, par des coefficients numériques (les poids synaptiques) associés aux entrées. Les valeurs numériques de ces coefficients sont ajustées dans une phase d'apprentissage. Dans sa version la plus simple, un neurone formel calcule la somme pondérée des entrées reçues, puis applique à cette valeur une fonction d'activation, généralement non linéaire. La valeur finale obtenue est la sortie du neurone

Le neurone formel (figure II.2) est l'unité élémentaire des réseaux de neurones artificiels dans lesquels il est associé à ses semblables pour calculer des fonctions arbitrairement complexes, utilisées pour diverses applications en intelligence artificielle. **[34].**

Mathématiquement, le neurone formel est une fonction à plusieurs variables et à valeurs réelles.

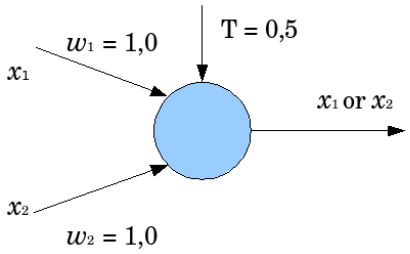


Figure II.2 : Représentation d'un neurone formel **[34].**

❖ **Modélisation d'un neurone formel**

Les réseaux de neurones formels sont à l'origine d'une tentative de modélisation mathématique du cerveau humain. Les premiers travaux datent de 1943 et sont l'œuvre de MM. Mac Culloch et Pitts. Ils présentent un modèle assez simple pour les neurones et explorent les possibilités de ce modèle.

La modélisation consiste à mettre en œuvre un système de réseaux neuronaux sous un aspect non pas biologique mais artificiel, cela suppose que d'après le principe biologique, on aura une correspondance pour chaque élément composant le neurone biologique, donc une modélisation pour chacun d'entre eux.
On pourra résumer cette modélisation sur le tableau II.1, qui nous permettra de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel **[29].**

Tableau II.1. Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel **[29].**

Neurone biologique	**Neurone artificiel**
Synapses	Poids de connexions
Axones	Signal de sortie
Dendrite	Signal d'entrée
Somma	Fonction d'activation

Nous avons vu, que les neurones sont des cellules organisées en « couche » : c'est à dire que lorsque un neurone reçoit un signal électrique par ses synapses, cela déclenche ou non

un autre signal sur la couche suivante, etc. Ce fonctionnement est reproduit dans les réseaux de neurones artificiels **[33].**

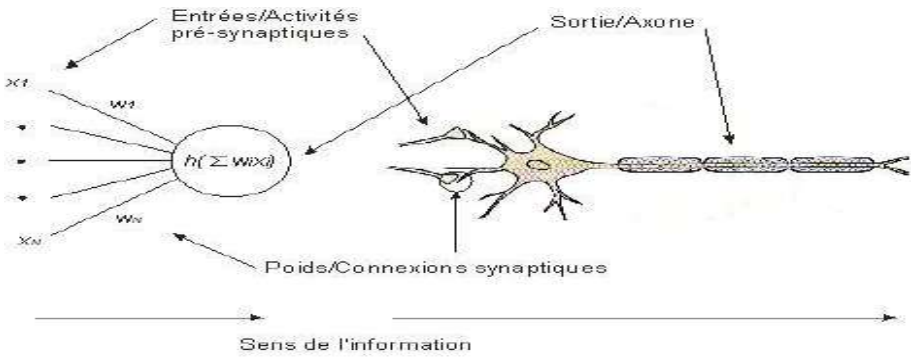


Figure II.3. Schéma de comparaison entre un neurone biologique et un neurone artificiel **[33].**

II.3.6 Le modèle mathématique d'un neurone artificiel

Le modèle mathématique d'un neurone artificiel (ou "perceptron") est illustré à la figure ci-dessous. Un neurone est essentiellement constitué d'un intégrateur qui effectue la somme pondérée de ses entrées (comme l'espérance statistique!). Le résultat n de cette somme ensuite transformée par une fonction de transfert *f* qui produit la sortie *a* du neurone.

Les *R* entrées du neurone correspondent au vecteur noté traditionnellement en ligne (mais en fait on prend la transposée d'où le *T* en suffixe)

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_R \end{pmatrix}$$

Alors que :

$$\vec{w} = \begin{pmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,2} \\ \vdots \\ w_{1,R} \end{pmatrix}$$

Représente le vecteur des poids du neurone (nous les distinguons pour préparer le terrain à des neurones un peu plus complexes).

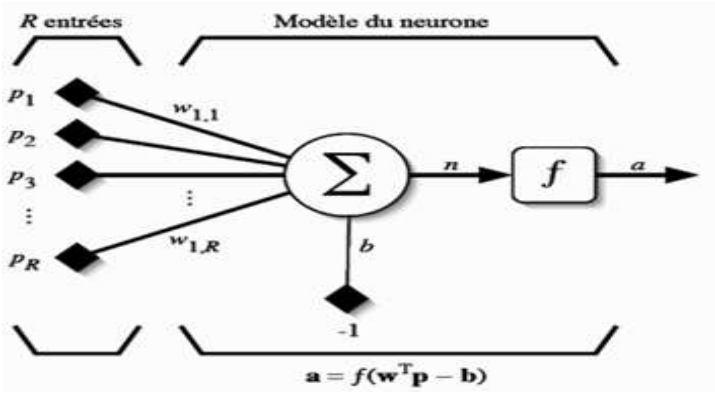


Figure II.4. Modèle mathématique du neurone artificiel **[35].**

La sortie *n* de l'intégrateur est définie par l'équation suivante :

$$n = \sum_{j=1}^{R} w_{1,j}\, p_j - b = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \ldots + w_{1,R}p_R - b \qquad \text{(II.1)}$$

Que nous pouvons aussi écrire sous forme matricielle :

$$n = \overline{w^T}\bar{p} - b \qquad \text{(II.2)}$$

Cette sortie correspond à une somme pondérée des poids et des entrées moins ce que nous nommons "le biais *b* du neurone" (facteur correctif décidé par tâtonnement). Le résultat *n* de la somme pondérée s'appelle le "niveau d'activation du neurone". Le biais *b* s'appelle aussi le "seuil d'activation du neurone". Lorsque le niveau d'activation atteint ou dépasse le seuil *b*, alors l'argument de *f* devient évidemment positif (ou nul). Sinon, il est négatif.

En ajoutant la fonction d'activation *f* pour obtenir la sortie du neurone :

$$a = f(n) = f(\overline{w^T}\bar{p} - b) \qquad \text{(II.3)}$$

Il est temps maintenant de remplacer (pour alléger la notation) $\vec{w}^T$ par une matrice d'une seule ligne que nous noterons $W = \vec{w}^T$. Nous obtenons alors une forme générale que nous adopterons tout au long de notre étude :

$$a = f(n) = f(w\bar{p} - b) \qquad \text{(II.4)}$$

Cette équation nous amène à introduire un nouveau schéma plus formel de notre perception des choses :

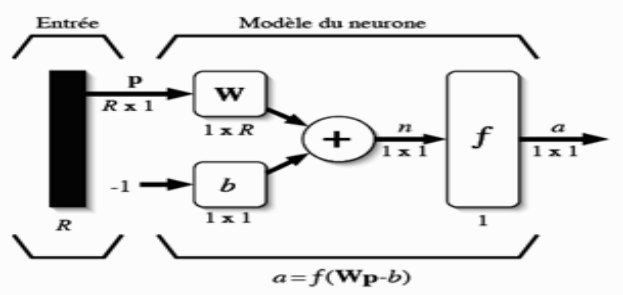


Figure I.5. Schéma plus formel d'un perceptron **[35].**

Nous y représentons les *R* entrées comme un rectangle noir (le nombre d'entrées est indiqué sous le rectangle). De ce rectangle sort le vecteur $\vec{p}$ dont la dimension matricielle est $R \times 1$. Ce vecteur est multiplié par une matrice *W* qui contient les poids (synaptiques) du neurone. Dans le cas d'un neurone simple, cette matrice possède la dimension $1 \times R$.

Le résultat de la multiplication correspond au niveau d'activation qui est ensuite comparé au seuil *b* (un scalaire) par soustraction. Finalement, la sortie du neurone est calculée par la fonction *f*. La sortie d'un neurone simple est alors toujours un scalaire **[35].**

II.3.7Fonction d'activation

La fonction d'activation, ou fonction de transfert, est une fonction qui doit renvoyer un réel proche de 1 quand les "bonnes" informations d'entrée sont données et un réel proche de 0 quand elles sont "mauvaises". On utilise généralement des fonctions à valeurs dans l'intervalle réel [0,1]. Quand le réel est proche de 1, on dit que l'unité (le neurone) est **active** alors que quand le réel est proche de 0, on dit que l'unité est **inactive.** Le réel en question est appelé la **sortie** du neurone et sera noté *a.* Si la fonction d'activation est linéaire, le réseau de neurones se réduirait à une simple fonction linéaire.

En effet, si les fonctions d'activations sont linéaires, alors le réseau est l'équivalent d'une régression multilinéaire (méthode utilisée en statistiques). L'utilisation du réseau de neurone est toutefois bien plus intéressante lorsque l'on utilise des fonctions d'activations non linéaires **[36].**

En notant *g* la fonction d'activation, on obtient donc la formule donnant la sortie d'un neurone:

$$a = g(in) = g(\sum_{i=0}^{k} w_i x_i) \quad \text{(II.5)}$$

Remarquez que le coefficient de biais est inclus dans la somme, d'où la formule plus explicite :

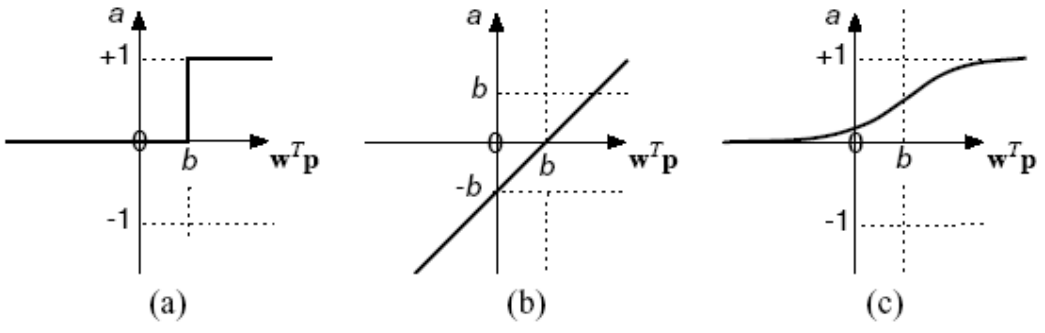
$$a = g(in) = g(\left(\sum_{i=1}^{k} w_i \,.\, x_i\right) - w_{0)} \qquad \text{(II.6)}$$

Jusqu'à présent, nous n'avons pas spécifié la nature de la fonction d'activation $a = f(n)$ de notre modèle. Il se trouve que plusieurs possibilités existent et celles-ci sont quasiment empiriques et à adapter en fonction des situations. Les plus courantes et les plus citées dans la littérature sont énumérées dans le tableau III.2 ci-dessous :

Tableau. II.2. Les fonctions de transfert les plus courantes **[35].**

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
linéaire	$a = n$	
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$	
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$	
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$a = 1$ si n maximum $a = 0$ autrement	C

Les trois fonctions les plus utilisées dans le domaine de l'ingénierie sont les fonctions "seuil" (a) (en anglais "hard limite"), "linéaire" (b) et "sigmoïde" (c) comme représentées ci-dessous :



Comme son nom l'indique, la fonction seuil applique un seuil sur son entrée.

Plus précisément, une entrée négative ne passe pas le seuil, la fonction retourne la valeur 0 (faux), alors qu'une entrée positive ou nulle dépasse le seuil, et la fonction retourne 1 (vrai). Il est évident que ce genre de fonction permet de prendre des décisions binaires (cette fonction peut aussi être assimilée à la fonction de Heaviside).

La fonction linéaire est quant à elle très simple, elle affecte directement son entrée à sa sortie selon la relation $a = f(n) = n$. Il est évident que la sortie du neurone correspond alors à son niveau d'activation dont le passage à zéro (l'ordonnée à l'origine) se produit lorsque $W \cdot \vec{p} = b$.

La fonction de transfert sigmoïde est quant à elle définie par la relation mathématique :

$$a = \frac{1}{1 + e^{-n}} \qquad \text{(II.7)}$$

Elle ressemble soit à la fonction seuil, soit à la fonction linéaire, selon que nous sommes respectivement loin ou près de *b*. La fonction seuil est très non linéaire car il y a une discontinuité lorsque $W \cdot \vec{p} = b$. De son côté, la fonction linéaire est tout à fait linéaire. Elle ne comporte aucun changement de pente. La sigmoïde est un compromis intéressant entre les deux précédentes. Notons finalement que la fonction tangente hyperbolique est
une version symétrique de la sigmoïde **[35].**

II.3.8 Architecture des réseaux

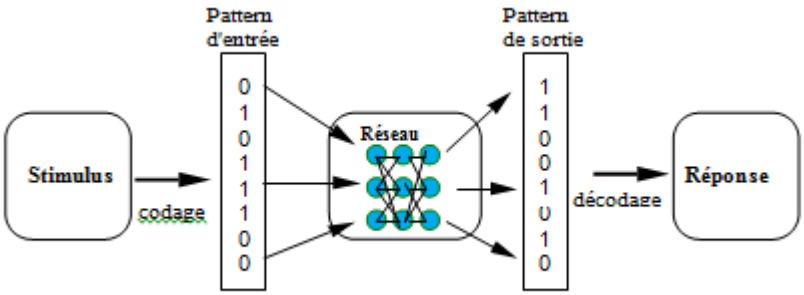


Figure II.6. Architecture générale d'un RNA [37].

Les connexions entre les neurones qui composent le réseau décrivent la topologie du modèle. Elle peut être quelconque, mais le plus souvent il est possible de distinguer une certaine régularité (réseau à connexion complète) [ROS 97] **[29].**

- **Réseau monocouche**

La structure d'un réseau monocouche est telle que des neurones organisés en entrée soient entièrement connectés à d'autres neurones organisés en sortie par une couche modifiable de poids [YOU 99] (Figure II.7) **[29].**

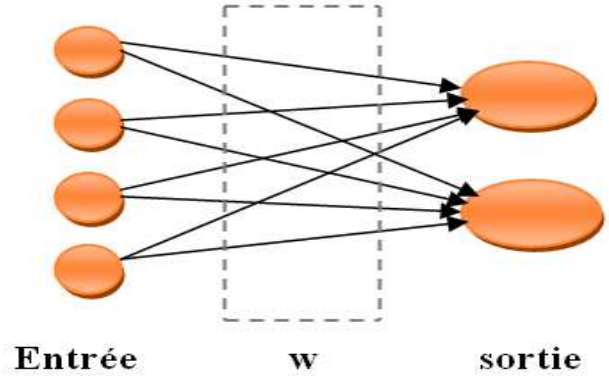


Figure II.7. Réseau Monocouche [38]

- **Réseau multicouche [ROS 97]**

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche, et les connexions ne se font qu'avec les neurones de couches avales. Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées (figure. II.8) **[29].**

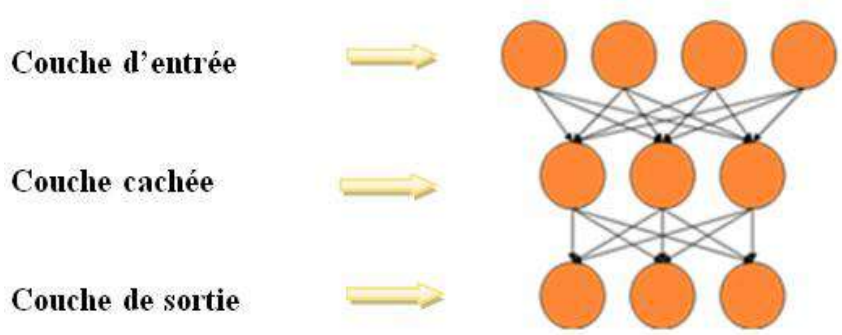


Figure II.8. Réseau Multicouche **[37].**

- **Réseau à connexion complète**

C'est la structure d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même) (Figure. II.9) **[29].**

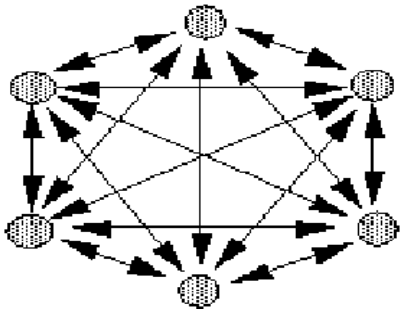


Figure II.9. Réseau à connexions complètes [37].

- **Réseau à connexions locales**

Il s'agit d'une structure multicouche, mais qui à l'image de la rétine conserve une certaine topologie. Chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale. Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique (figure II.10) **[29].**

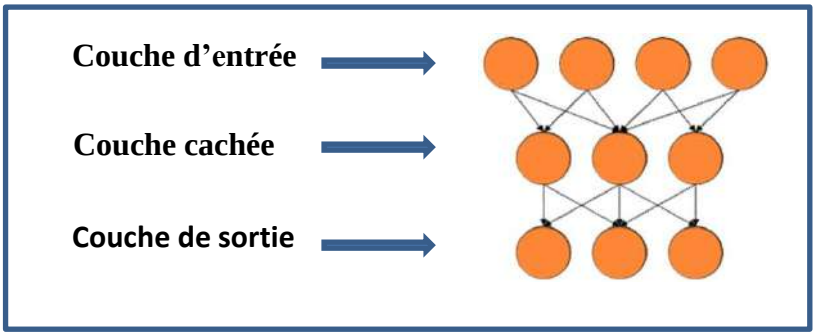


Figure II.10. Réseau à connexions locales **[37].**

II.3.9 Apprentissage

L'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. On distingue deux grandes classes d'algorithmes d'apprentissage (figure II.11 et II.12) **[37].**

- L'apprentissage supervisé

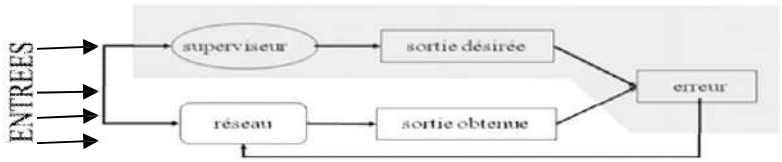


Figure II.11 : Schéma représentatif d'un apprentissage supervisé **[37].**

- L'apprentissage non supervisé

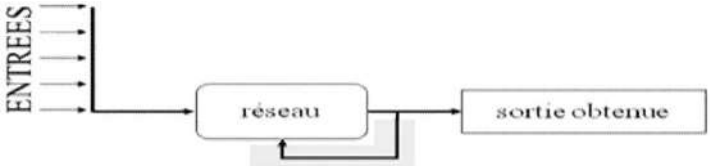


Figure II.12. Schéma représentatif d'un apprentissage non supervisé **[37].**

II.3.9.1comment apprendre au réseau

Maintenant que l'on a créé un réseau, il faut lui faire apprendre quelque chose. Pour mieux comprendre cela, nous prendrons l'exemple de la reconnaissance de caractères : on présente des caractères au réseau et il a pour objectif de reconnaitre ce

caractère. Par exemple, si on lui montre la lettre "a" dessinée, il doit nous répondre que cela est un "a".

Comment réaliser cela ? la méthode est en quelque sorte une imitation du cerveau :si la réponse est correcte ,c'est bien, mais s'il y a une erreur, il faut modifier le réseau afin de ne pas réitérer l'erreur.

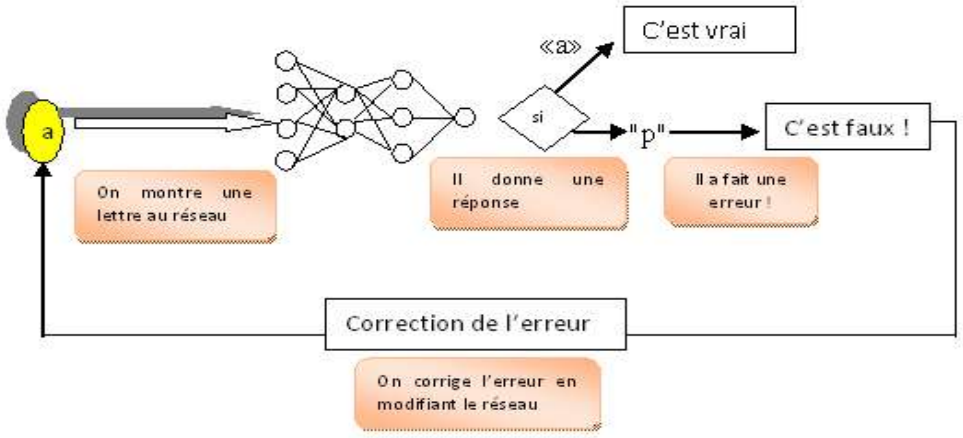


Figure II.13 apprentissage du réseau

On recommence plusieurs centaines de fois l'opération, jusqu'à ce que le réseau ait bien appris sa leçon ! Le principe est donc relativement simple. On fait l'éduction du réseau comme on éduquerait un enfant : il faut lui répéter plusieurs fois qu'il a fait une erreur, et à la fin, il a appris **[28].**

II.3.9.2 Surapprentissage

Il arrive souvent que les exemples de la base d'apprentissage comportent des valeurs approximatives ou bruitées. Si on oblige le réseau à répondre de façon quasi parfaite relativement à ces exemples, on peut obtenir un réseau qui est biaisé par des valeurs erronées. Par exemple, imaginons qu'on présente au réseau des couples (xi, f (xi)) situés sur une droite d'équation y=ax+b, mais bruités de sorte que les points ne soient pas exactement sur la droite. S'il y a un bon apprentissage, le réseau répond ax+b pour toute valeur de x présentée. S'il y a surapprentissage, le réseau répond un peu plus que ax+b ou un peu moins, car chaque couple (xi, f (xi) positionné en dehors de la droite va influencer la décision. Pour éviter le surapprentissage, il existe une méthode simple : il suffit de partager la base d'exemples en 2 sous-ensembles. Le premier sert à l'apprentissage et le 2èmesert à l'évaluation de l'apprentissage. Tant que l'erreur obtenue sur le 2ème ensemble

diminue, on peut continuer l'apprentissage, sinon on arrête **[28].**

II.3.9.3 Rétropropagation

La rétropropagation consiste à rétropropager l'erreur commise par un neurone à ses synapses et aux neurones qui y sont reliés. Pour les réseaux de neurones, on utilise habituellement la rétro propagation du gradient de l'erreur, qui consiste à corriger les erreurs selon l'importance des éléments qui ont justement participé à la réalisation de ces erreurs : les poids synaptiques qui contribuent à engendrer une erreur importante se verront modifiés de manière plus significative que les poids qui ont engendré une erreur marginale **[28].**

II.3.9.4 Élagage

L'élagage ("pruning", en anglais) est une méthode qui permet d'éviter le surapprentissage tout en limitant la complexité du modèle. Elle consiste à supprimer des connexions (ou synapses), des entrées ou des neurones du réseau une fois l'apprentissage terminé.

II.3.9.5 Précision

En pratique, les éléments qui ont la plus petite influence sur l'erreur de sortie du réseau sont supprimés. Les deux algorithmes d'élagage les plus utilisés sont :

- Optimal Brain Damage (OBD) d'Y. LeCun et al.
- Optimal Brain Surgeon (OBS) de B. Hassibi et D.G. Stor **[39].**

II.4 : Conclusion

Un réseau de neurones est un outil d'analyse statistique permettant de construire un modèle de comportement à partir de données qui sont des exemples de ce comportement. Essentiellement utilisés pour faire de la classification.

Grace à leur grande capacité d'apprentissage automatique à partir de données modélisant le problème à résoudre, les réseaux de neurones permettent de remplacer efficacement des modèles mathématiques pouvant être extrêmement complexes. Dans ce chapitre nous avons donné un rappel sur les réseaux de neurones (les grands types, leurs applications…etc.) de façon générale.

Chapitre 3 : modélisation des réseaux électriques

III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, la dynamique du générateur synchrone est illustrée en prenant l'exemple d'une machine simple reliée à un nœud infini (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 autres 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.

III.2 MODELISATION DE LA MACHINE SYNCHRONE

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 III.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 amortissements (h sur l'axe d et g, k sur l'axe q). Le nombre d'amortissements peut varier de zéro

le modèle plus simple) à 5 enroulements (model de Jackson-Winchester). Cependant le model le plus utilisé et le plus détaillé est celui à trois enroulements d'amortissements.

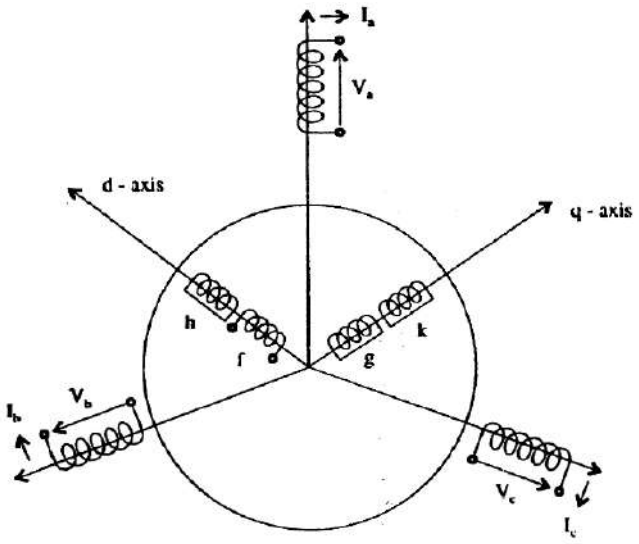


Figure III.1 *représentation d'une machine synchrone.*

III.2.1 les équations de la machine

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

III.2.1.1 Les équations du flux

$$\Psi_s = [L_{ss}]i_s + [L_{sr}]i_r \quad \text{(III.1)}$$

$$\Psi_r = [L_{sr}]i_s + [L_{rr}]i_r \quad \text{(III.2)}$$

Ou :

$$i_s^t = [i_a\ i_b\ i_c]\ ,\quad \Psi_s^t = [\Psi_a\ \Psi_b\ \Psi_c]$$

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

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

III.2.1.2 Les équations de tension

Les équations de tension du stator et du rotor son données comme suite :

$$-\frac{d\Psi_s}{dt} - [R_s]i_s = v_s \quad \text{(III. 3)}$$

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

Ou : $v_s^t = [v_a\ v_b\ v_c]$, $v_r^t = [-v_f\ 0\ 0\ 0]$

III.2.1.3 Les équations du couple

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

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

$$T_e = -\frac{1}{2}\left[i_s\left[\frac{\partial L_{ss}}{\partial\theta}\right]i_s + 2i_s\left[\frac{\partial L_{sr}}{\partial\theta}\right]i_r\right] \qquad \text{(III. 6)}$$

III.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 :

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

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

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

Ceci est du à la matrice de l'inductance $[L]$ qui est fonction du temps et l'inverse de cette matrice est 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 :

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = [C_p] \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix}$$

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

III.2.2.1 Transformation du flux

$$\begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_p & 0 \\ 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{dq0} \\ \Psi_r \end{bmatrix} \quad \text{(III.9)}$$

Ou U_4est la matrice unitaire d'ordre 4, et $\Psi_{dq0}^t = [\Psi_d \ \Psi_q \ \Psi_0 \ ]$.

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

$$\begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{rs} & L_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_p & 0 \\ 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dq0} \\ i_r \end{bmatrix} \quad \text{(III.10)}$$

Ou : $i_{dq0}^t = [i_d \ i_q \ i_0]$

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

$$\begin{bmatrix} \Psi_{dq0} \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L'_{ss} & L'_{sr} \\ L'_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dq0} \\ i_r \end{bmatrix} \quad \text{(III.11)}$$

III.2.2.2 Transformation de l'équation de tension du stator

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

$$-\frac{d}{dt}[C_p \quad \Psi_{dq0}] - [R_s][C_p] i_{dq0} = [C_p] v_{dq0} \quad \text{(III. 12)}$$

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

$$-\frac{d}{dt}[C_p \quad \Psi_{dq0}] = -\dot{\theta} \frac{d[C_p]}{dt} \Psi_{dq0} - [C_p] \frac{d}{dt} \Psi_{dq0} \quad \text{(III. 13)}$$

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

$$v_d = -\frac{d\Psi_{\mathrm{d}}}{dt} - \dot{\theta}\frac{k_q}{k_d}\Psi_q - R_a i_d \quad \text{(III. 14)}$$

$$v_q = -\frac{d\Psi_q}{dt} + \dot{\theta}\frac{k_d}{k_q}\Psi_d - R_a i_q \quad \text{(III. 15)}$$

$$v_0 = -\frac{d\Psi_0}{dt} - R_a i_0 \quad \text{(III. 16)}$$

III.2.2.3 Transformation de l'équation du couple

$$T_e = -\frac{1}{2}\left[i_{dq0}^t[c_p].^t\left[\frac{\partial L_{ss}}{\partial\theta}\right][c_p]i_{dq0} + 2i_{dq0}^t[c_p].^t\left[\frac{\partial L_{sr}}{\partial\theta}\right]i_r\right] \quad \text{(III. 17)}$$

$$T_e = \frac{3}{2}k_d k_q\left[i_q\Psi_d - i_d\Psi_q\right] \quad \text{(III. 18)}$$

.

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

III.2.3 Les variables Per unit

En raison de la grande différence entre les valeurs numériques 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 :

$\mathrm{B} = \frac{\mathrm{v_B}}{\omega_\mathrm{B}}$; $\mathrm{L_B} = \frac{\Psi_\mathrm{B}}{\mathrm{I_B}} = \frac{\mathrm{Z_B}}{\omega_\mathrm{B}}$; $i_d = \frac{i_d}{I_B}$; $\mathrm{v_d} = \frac{\mathrm{v_d}}{\mathrm{V_B}}$; $\Psi_\mathrm{d} = \frac{\Psi_\mathrm{d}}{\Psi_\mathrm{B}}$; $\mathrm{x_d} = \mathrm{L_d}$

III.2.3.1 Les équations de tensions en PU

$$\begin{cases} v_d = -\frac{1}{\omega_B}\frac{d\Psi_d}{dt} - \frac{\omega}{\omega_B}\Psi_q - R_a\, i_d & \text{(III. 19)} \\ v_d = -\frac{1}{\omega_B}\frac{d\Psi_q}{dt} - \frac{\omega}{\omega_B}\Psi_d - R_a\, i_q & \text{(III. 20)} \end{cases}$$

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

$$v_d = -(1 + \mathrm{S_{m0}})\Psi_{\boldsymbol{q}} - R_{\boldsymbol{a}} i_d \quad \text{(III.21)}$$

$$v_q = (1 + S_{m0})\Psi_d - R_a i_q \quad \text{(III.22)}$$

Avec :

$S_{m0} = \frac{\omega_0 - \omega_B}{\omega_B}$, 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.

III.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 :

$$\Psi_d = x_d i_d + x_{ad} i_f \quad \text{(III.23)}$$

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

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

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

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

$$i_f = \frac{\Psi_f}{x_f} - \frac{x_{ad}}{x_f} \quad \text{(III. 27)}$$

$$i_g = \frac{\Psi_g}{x_g} - \frac{x_{aq}}{x_g} i_q \quad \text{(III. 28)}$$

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

$$\Psi_d = x'_d i_d + E'_q \quad \text{(III.29)}$$

$$\Psi_q = x'_q i_q + E'_d \quad \text{(III.30)}$$

Où :

$$x'_d = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_f} \quad \text{(III.31)}$$

$$x'_q = x_q - \frac{x_{aq}^2}{x_g} \quad \text{(III.32)}$$

$$E'_q = \frac{x_{ad}\Psi_f}{x_f} \quad \text{(III.33)}$$

$$E'_d = -\frac{x_{ad}\Psi_g}{x_g} \quad \text{(III.34)}$$

Les équations de tension des enroulements de rotor sont :

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

$$\frac{1}{\omega_B}\frac{d\Psi_g}{dt} = -R_g i_g \quad \text{(III. 36)}$$

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

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

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

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 :

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

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

III.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 :

$$v_q = E'_q + x'_d i_d - R_a i_q \quad \text{(III.40)}$$

$$v_d = E'_d + x'_q i_q - R_a i_d \quad \text{(III.41)}$$

III.2.3.4 Les Equations du couple en PU

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

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

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

$$T_e = \Psi_d i_q - \Psi_q i_q \quad \text{(III. 43)}$$

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

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

$$T_e = E'_d i_d + E'_q i_q + \left(x'_d - x'_q\right)i_d i_q \quad \text{(III. 44)}$$

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

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_B(S_m - S_{m0}) \quad \text{(III. 45)}$$

$$2H\frac{dS_m}{dt} = -D(S_m - S_{m0}) + T_m - T_e \quad \text{(III. 46)}$$

III.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, représentée dans la figure II.2 :

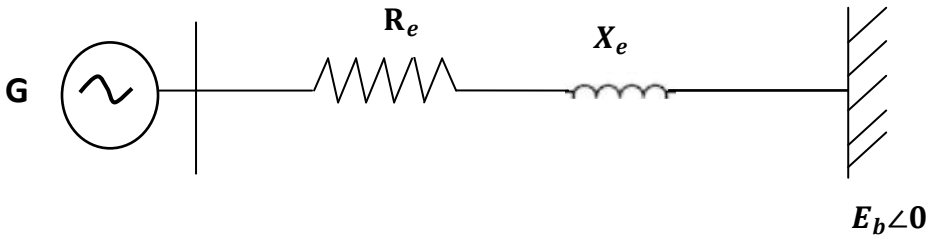


Figure III.2 *une machine synchrone connectée à un nœud infini (SMIB).*

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

$$(v_q + jv_d)\, e^{j\delta} = (i_q + j\, i_d)\,(j\, x_e) e^{j\delta} + E_b\, e^{j0} \tag{III.47}$$

$$(v_q + jv_d) = (i_q + j\, i_d)\,(j\, x_e) + E_b\, e^{-j\delta} \tag{III.48}$$

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

$$v_q = -x_e\, i_d + E_b \cos\delta \tag{III.49}$$

$$v_d = x_e\, i_q - E_b \sin\delta \tag{III.50}$$

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

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

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

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

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

Pour la prochaine simulation nous utiliserons essentiellement les équations suivantes :

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

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_B(S_m - S_{m0})$$

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

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

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

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

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

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

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

Les équations des tensions suivant les deux axes **d** et **q** sont respectivement (III.49) (III.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 (III.52) (III.53) :

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

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

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

$$T_e = E'_d\, i_d + E'_q\, i_q - \left(x'_q - x'_d\right) i_d\, i_q$$

Et enfin la tension de sortie du générateur synchrone :

$$V_t = \sqrt{(v_d)^2 + (v_q)^2}$$

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

III.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 est en phase avec la déviation de la vitesse angulaire.

III.4.1 Procédure de dimensionnement des PSS

- **Fonction de transfert**

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

$$d(s) = s^2 + 2\xi_x w_x s + w_x^2 \qquad \text{(III. 54)}$$

La procédure à suivre se résumera alors à :

- Fréquence naturelle et taux d'amortissement du système d'excitation $(w_x\ et\ \xi_x)$:

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

$$\xi_X = \frac{T_A + K_3 T'_{d0}}{2\omega_x K_3 T'_{d0} T_A} \qquad \text{(III. 56)}$$

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

$$\omega_{d1} = \omega_n\sqrt{1 - \xi_{n1}^2} \quad \text{(III. 57)}$$

$$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{|K_1\omega_n|}{M}} \quad \text{(III. 58)}$$

- Déphasage induit par le système d'excitation :

$$G_E = \frac{2\xi_x\omega_{d1}/\omega_x}{1 - (\frac{\omega_{d1}}{\omega_x})^2} \quad \text{(III. 59)}$$

- Constante de temps $T_1 et\ T_2$:

$$a = \frac{1 + \sin(G_E)}{1 - \sin(G_E)} \quad \text{(III. 60)}$$

$$T_1 = \frac{1}{\sqrt{a}\omega_{d1}} \quad \text{(III. 61)}$$

$$T_2 = T_1 a \quad \text{(III. 62)}$$

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

On déduit :

$$D_E = 2\xi_{n1}\omega_{n1}M \quad \text{(III. 63)}$$

$$D_E = K_p K_2 |G_c||s = j\omega_n|G_E||s = j\omega_n \quad \text{(III. 64)}$$

La fonction de transfert du dispositif stabilisateur schématisée par la figure 2 est défini par :

$$G(s) = K_p \frac{sT_\omega}{1 + sT_\omega}\left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2}\right)\left(\frac{1 + sT_3}{1 + sT_4}\right) \quad \text{(III. 65)}$$

Le diagramme de bloc des PSS utilisé en industrie et représenté dans la figure III.3.

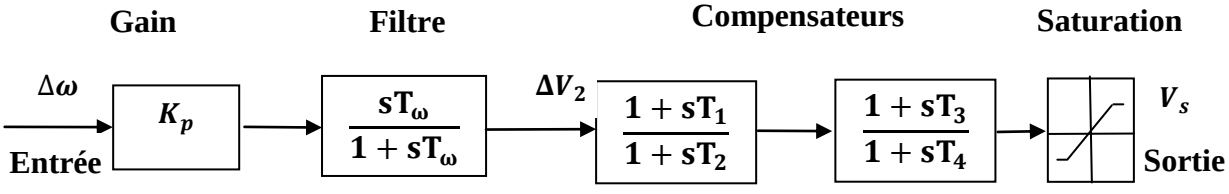


Figure III.3 *structure du contrôleur PSS.*

III.4.2 Description du bloc du PSS

Le PSS utilise comme entrée la déviation de la vitesse synchrone$\Delta\omega$, 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 la que le premier bloc (gainK_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_ω 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]

III.5 LE SYSTEME ETUDIE

Le système considéré dans cette étude est montré dans la figure III.5, il représente une machine synchrone connecté à un nœud infini.

Le générateur synchrone fourni la puissance au nœud infini à travers une ligne de transport à double circuits 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

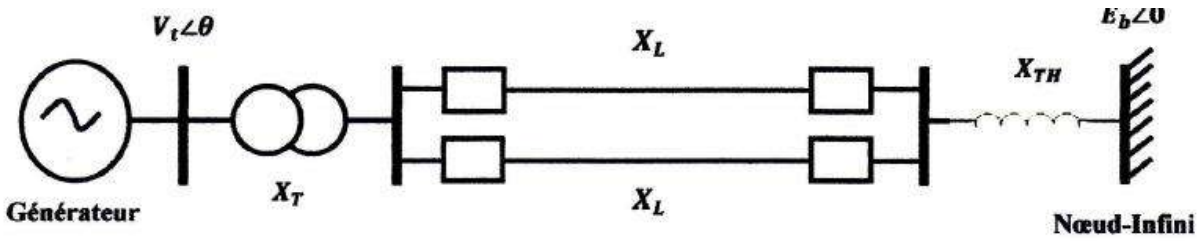
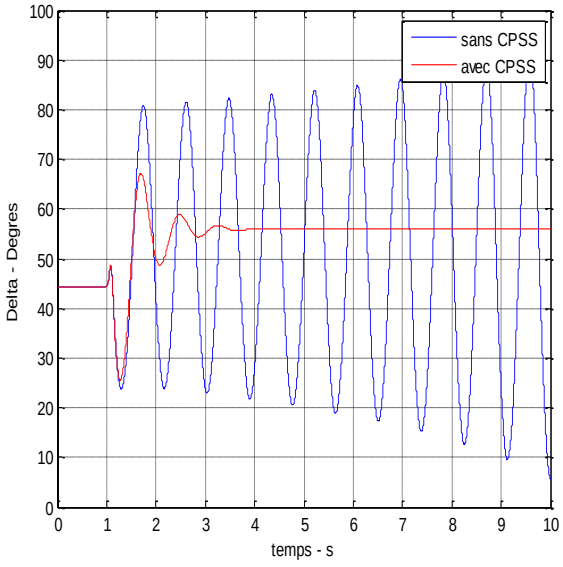
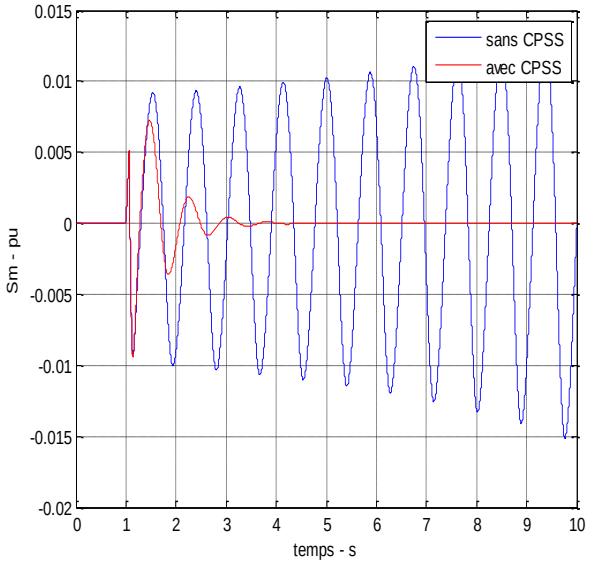


Figure III.4 *système mono-machine connecté à un nœud infini.*

Nous avons choisi de soumettre ce système à un défaut de court-circuit franc





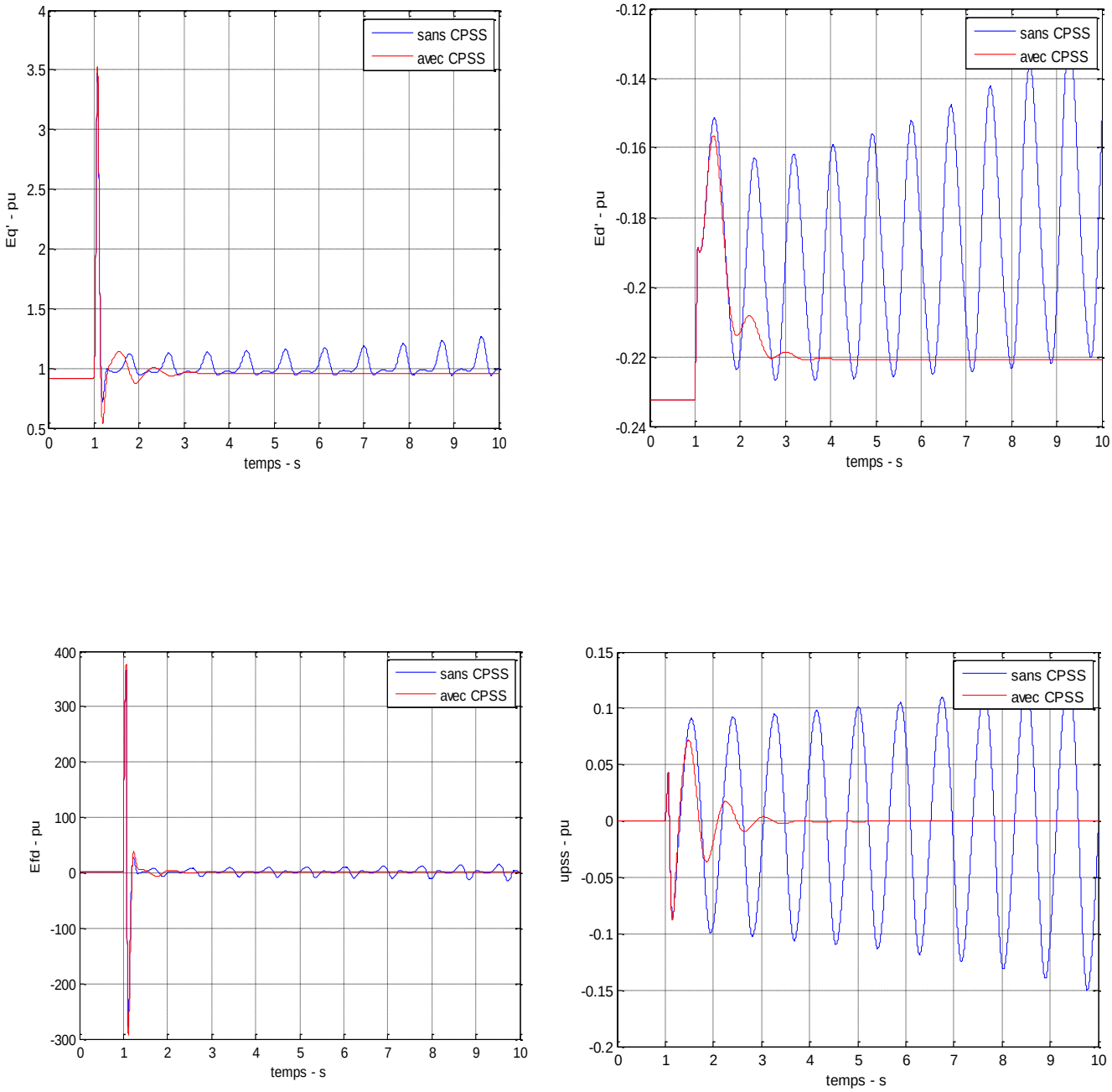


Figure III.5 *réponses temporelles à un cout circuit de* $delta, Sm, Eq', Ed', Efd, upss$ *de la machine synchrone sans(PSS), avec (PSS).*

Il est clair de la figure III.5 que même si le système se stabilise, sans (PSS), les oscillations sont mal atténuées. Le contrôleur (PSS) supprime de manière significative les oscillations et fournit une bonne atténuation des caractéristiques aux oscillations de basse fréquence en stabilisant le système rapidement.

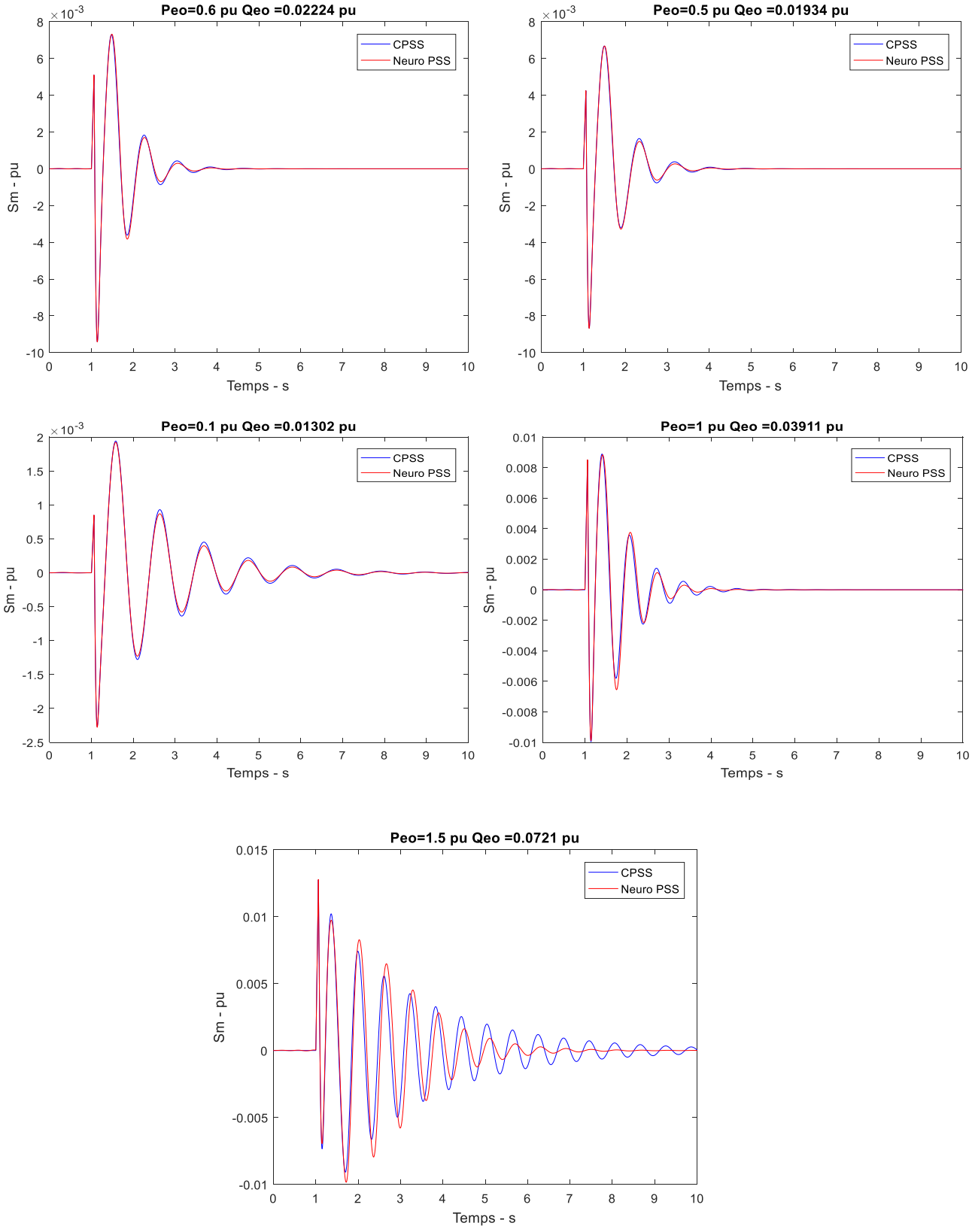


Figure III.5 *réponses temporelles à un cout circuit de Sme la machine synchrone avec (PSS). NEURO(RNA)*

La remarque évidente qui ressort de la figure II.7 est que Avec I ‘apport du CPSS, les oscillations sont moindres mais il reste néanmoins des Variations dans les valeurs des différents paramètres du système.
En associant les deux stabilisateurs NEURO et CPSS. on amortit considérablement les oscillations
Les résultats obtenus démontrent clairement I ‘efficacité du modèle proposé. Il ressort également des graphes obtenus que le CPSS et le NEURO fonctionnent d'une façon coordonnée et améliorent la performance de la stabilité du système.

	Scénario 1	**Scénario 2**	**Scénario 3**	**Scénario 4**	**Scénario 5**
Peo	0.6	0.5	0.1	1	1.5
Qeo	0.02224	0.01934	0.01302	0.03911	0.07210

Tableau III.1 : les défèrent scénario

* toutes les quantités sont en pu

III.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons 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 RNA et PSS qui serviront à stabiliser le système en cas de défaut.

Enfin nous avons simulé notre système lorsqu’il est soumis à un défauts en adoptant deux cas sans PSS, avec PSS et les deux en même temps PSS et RNA, les réponses montrées dans les graphes illustre que le RNA et PSS augmente l’amortissement des oscillations électromécaniques.

Cet amortissement pourra être considérablement amélioré si une approche adéquate était établie pour un réglage optimal des paramètres du PSS et du RNA.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'analyse et l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques. Notre travail s'est porté sur l'implantation de deux stabilisateurs le PSS et le RNA. Le rôle de ces stabilisateurs est d'apporter l'amortissement nécessaire aux oscillations électromécaniques du générateur, lorsque le système électrique est sujet à un défaut.

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

Dans le premier chapitre 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.

Notre deuxième chapitre a porté sur l'utilisation des(RNA) réseaux de neurones artificiels (de types perceptron multicouches) pour exprimer l'assimilation des défauts par un modèle mathématique qui y incorpore toutes les entrées.

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 présenté 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.

En fin nous avons montré les équations de la machine synchrone l'action du PSS et RNA, Ce dernier constitue un exemple typique de problèmes qui peuvent survenir dans une machine synchrone. 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.

Enfin nous avons simulé notre système lorsqu'il est soumis à un défaut en adoptant deux cas sans PSS, avec PSS, et les deux en même temps PSS et RNA, les réponses montrées dans les graphes illustre que le RNA et PSS augmente l'amortissement des oscillations électromécaniques.

Cet amortissement pourra être considérablement amélioré si une approche adéquate était établie pour un réglage optimal des paramètres du PSS et du RNA.

Références bibliographiques

[1] ILHaimour, *Contrôle des Puissances Réactiver et des Tensions par les Dispositifs FACTS Dans un Réseau Electrique,* Thèse de Magister, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran, 2008.

[2] Introduction l'intelligence artificielle :Support de Cours IA-2001 Jean-Daniel Zucker

LIP6

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

[4] II.Benkaci, Evolution de la stabilité statique en temps réel, thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1998.

[5] Y.N. YU, Electrique power system dynamics, New York academic Press, 1983.

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

[7J J.M. Renders, Algorithmes génétiques et réseaux de neurones, Hermès Science Publications, Paris, France, 1995.

[8] IL Eberhart, and J. Kennedy, "Particle Swami Optimization," Proc. ofIEEE International Conf. on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942—1948, 1995.

[9] IL Eberhart, and J. Kennedy, "Swarm Intelligence", Morgan Kabnann Publisers, 2001.

[10] Dorigo, 1996 M., Maniezzo V., Colorni A. : The ant system : Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Traiisactions on Systems, Mans, and Cybemetics, p. 29-41 (1996).

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

[l2]J.H.Chow, J.J. Sanchez-Gasca, H Ren, S. Wang, "Power System Damping Controller design using multiple input signal", IEE Control System Magazine, August 2000, pp 82-90.

[13] 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.

[14] 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.

[15] I.A. thickens, "Systematic Tuning of Nonlinear power System Controller", IEEE International Conference on Control Applications, Glasgow, Scotland, UK, September 2002.

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

[17] ILGrñnbaum, JYLNoroozian, B.Thorvaldsson. "FACTS : les systèmes performants pour le transport flexible de l'énergie électrique", ABB Power Systems.Revue ABB 5 / 1999.

[18] D.P.E Lerch, L. Xu, "Advanced SVC control for damping power system oscillations",IEE transactions on power systems, Vol.6, pp. 524-535, 1991.

[19] IL Urbanek et al. "Thyristor-controlled series Compensation-Prototype Installation at the slat 500 kVsubstation", IEE transaction on power delivery, Vol 8, 1993.

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

[21] E. F.Wang, F.I.Swift and M.Li, "Analysis ofthyristor-controlled phase shifter applied in damping power system oscillations", International Journal of Electrical Power & Energy Systems. IASTED Press, vol. 19, 9, Jan 1997.

[22] E.F.Wang, "Effect of STATCOM on power system oscillation stability, 34 " Universities-Power-engineeering-Conference", Univ. Leicester, UK. Vo1 1, pp. 34-37, 1999.

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

[24] L. Gyugu("A Unifield Power Control Concept for fiexible AC Transmission System",

IEEE Proceedings-C, Vol. 139, 1992.

[25] Warren Sturgis McCulloch and Walter Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5:115-133, 1943.

[26] Frank Rosenblatt. The Perceptron : probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review, 65:386-408, 1958.

[27] Marvin Lee Minsky and Seymour Papert. Perceptrons : an introduction to computational geometry. MIT Press, expanded edition, 1988.

[28] Hichem marmouz'' mémoire sur la modélisation neuronale de l'activité antibactériennedes molécules en utilisant les descripteurs QSAR. 2009-2010

[29] John Joseph Hopfield. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Sciences, 79:2554-2558, 1982.
[30] Introduction aux réseaux de neurones cours_RN_2006.pdf

[31] Vincent Lemaire Les réseaux de neurones..pdf.17.05.2012

[32] ''Sarah rezazi'' modélisation de la préduction de l'effet thérepeutique a partir de lastructure moléculaire. 2010-2011

[33] Yann LeCun. Une procédure d'apprentissage pour réseau à seuil asymétrique. COGNITIVA 85, Paris, 4-7 juin 1985. [34] http://fr.wikipedia.org/wiki/Neurone_formel

[35] (en) D. E. Rumelhart and J. L. Mc Clelland. Parallel Distributed Processing: Exploration in the MicroStructure of Cognition. MIT Press, Cambridge, 1986.

[36] en) J. A. Anderson and E. Rosenfeld. Neuro Computing Foundations of Research. MIT Press, Cambridge, 1988.

[37] (en) Tom M. Mitchell, Machine Learning, 1997 [détail des éditions]

[38] Yassine Mahdi et Kamel Daoud, « Microdroplet Size Prediction in Microfluidic Systems via Artificial Neural Network Modelling for Water-In-oil Emulsion Formulation », Journal of Dispersion Science and Technology, vol. 0, no ja, 11 novembre 2016, null (ISSN 0193-2691, DOI 10.1080/01932691.2016.1257391, lire en ligne [archive])

[39] Jean-Paul Haton, Modèles connexionnistes pour l'intelligence artificielle, 1989.

Annexe

Les **parameters de generator on (pu):**

H = 3.542, D = 0, f=60, VT = 1.000672, Xd=1.7572
Xq=1.5845 X'd =0.4245,X'q =l.04, T'do = 6.66,
xd = 1.7572,xq = 1.5845,
xdd= 0.4245,xqd= 1.04, tdo = 6.66, tqo =0.44, eb= 1,Ra=0

Pe=0.6,Qe=0.02224, $\delta 0=44.37^{o}$,TW = 10 s

Les paramètres de ligne:

R=0, XL = 0.8125, XT=0.1364, G=0, B=0