

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



UNIVERSITE DE M'SILA MOHAMED BOUDIAF
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR
D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE
OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

ANALYSE DE LA STABILITE DES SYSTEMES D'ENERGIE
ELECTRIQUES PAR LES RESEAUX DE NEURONES

Proposé et dirigé par :
MONSIEUR: S. Messalti

Présentés par :
BERKA Amine
CHINOUNE A. Hakime
BAARA A.Ghani

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2006/2007

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, Dieu le tout puissant, de nous ouvrir les portes du savoir, de nous avoir aidé dans les moments difficiles, et de nous avoir permis d'être ce que nous sommes devenus.

Nous tenons à remercier Monsieur : Messalti Sabir pour nous avoir confié ce travail.

Nos vifs remerciements vont à monsieur le président, pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury et aux membres de jury pour avoir accepté de jury et d'évaluer ce travail.

Enfin nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail, et tous les enseignants de département d'électrotechniques, à qui nous devons beaucoup pour nous avoir formé.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE I

PRESENTATION DU PROBLEME DE LA STABILITE

I.1 INTRODUCTION.....	2
I.2 DEFINITION DE LA STABILITE.....	2
I.3 TYPE DE STABILITE.....	2
I.3.1 STABILITE STATIQUE.....	2
I.3.2 STABILITE DYNAMIQUE.....	3
I.3.3 STABILITE TRANSITOIRE.....	3
I.4 LE SYNCHRONISME.....	3
I.5 ETUDE SIMPLIFIEE DE LA STABILITE.....	4
I.6 METHODES D'ANALYSE DE LA STABILITE.....	6
I.6.1 LES METHODES DIRECTS (OU ENERGETIQUES).....	6
I.6.1.1 METHODE DE LYAPUNOV.....	6
LES AVANTAGES DE LA METHODE DE LYAPUNOV.....	7
LES INCONVENIENTS DE LA METHODE DE LYAPUNOV.....	7
I.6.1.2 ANALYSE DE LA STABILITE PAR LE CRITERE DES AIRES EGALES.....	7
LES AVANTAGES DE CRITERE DES AIRES EGALES	10
LES INCONVENIENTS DE CRITERE DES AIRS EGALES.....	10
I.6.2 METHODE D'INTEGRATION NUMERIQUE (TEMPORELLE)	10
I.6.2.1 METHODE D'EULER.....	11
I.6.2.2 METHODE DE RUNGE-KUTTA.....	12
LES AVANTAGES DE LA METHODE DE RUNGE-KUTTA.....	12
LES INCONVENIENTS DE LA METHODE DE RUNGE KUTTA.....	13
I.6.3 METHODES DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS.....	13
I.6.4 METHODE HYBRIDE.....	14
I.7 PRINCIPE DE REGULATION DE TENSION ET DE LA VITESSE.....	14
I.7.1 REGULATION DE LA TENSION AU BORNE DE L'ALTERNATEUR.....	15
I.7.2 REGULATION DE LA VITESSE.....	15
I.8 CONCLUSION.....	15

CHAPITRE II

LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

II.1 INTRODUCTION.....	16
II.2. LE NEURONE BIOLOGIQUE.....	16
II.2.1. SYSTÈME NERVEUX.....	16

SOMMAIRE

II.2.1.1. LE CORPS CELLULAIRE.....	17
II.2.1.2. LES DENDRITES.....	17
II.2.1.3. L'AXONE.....	17
II.3 FONCTIONNEMENT DES NEURONES BIOLOGIQUES.....	18
II. 4 LE NEURONE FORMEL (ARTIFICIEL).....	19
II. 4.1 DÉFINITION.....	19
II.4.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	20
II.5 FONCTIONS D'ACTIVATION.....	20
II.6 PROPRIÉTÉS DES RÉSEAUX DE NEURONE.....	21
II.7 CLASSIFICATION DES RESEAUX DE NEURONES.....	22
II.7.1 SELON L'ARCHITECTURES.....	22
II.7.1.1 LES RÉSEAUX DE NEURONES STATIQUES (NON RECURRENT).....	22
II.7.1.2 LES RÉSEAUX DE NEURONES DYNAMIQUES (RECURRENT).....	22
II.7.1.3 RESEAUX DE NEURONES A ARCHITECTURE EVOLUTIVE.....	23
II.7.2 CLASSIFICATION DES RNA SELON L'APPRENTISSAGE.....	23
II.7.2.1 APPRENTISSAGE SUPERVISÉ.....	24
II.7.2.2 APPRENTISSAGE NON SUPERVISÉ.....	24
II.7.2.3 APPRENTISSAGE HYBRIDE.....	24
II.8 MÉTHODE DE RÉTROPROPAGATION.....	24
II.9 LE PERCEPTRON.....	25
II.9.1 STRUCTURE DU PERCEPTRON.....	25
II.9.2 RÉTINE.....	25
II.9.3 COUCHE D'ASSOCIATION.....	25
II.9.4 COUCHE DE CELLULE DE DECISION.....	25
II.10 LE PERCEPTRON MULTI COUCHES.....	26
II.11 DOMAINES D'APPLICATION DES RESEUX DE NEURONES.....	26
II.11.1 CLASSIFICATION DES SIGNAUX.....	27
II.11.2 IDENTIFICATION DES PROCESSUS.....	27
II.11.3 CONTRÔLE DE SYSTÈME.....	27
II.11.4 MÉMOIRE ASSOCIATIVE.....	27
II.12 CONCLUSION.....	27

SOMMAIRE

IV.4.1.1 CRITERE DES ANGLES ROTORIQUES.....	50
IV.4.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DE SIMULATION DE LA MS EN REGIME STABLE....	54
IV.5 ANALYSE DE LA STABILITE PAR LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS	54
IV.6 COMPARAISANT DES RÉSULTATS.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	56

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Malgré l'évaluation rapide des dispositifs de protection et de régulation, les systèmes électro-énergétiques (SEE) sont souvent sujets à des perturbations de diverses origines pouvant entraîner des déclenchements intempestifs de ses constituants. Ces perturbations affectent la perte de la stabilité du système et provoquent un déséquilibre important entre la production et la consommation de l'énergie électrique. cet état entraîne souvent un écroulement de tout le réseau tel que le « black out » survenu sur le réseau algérien le 03 février 2003 et celui de New York le 14 Aout 2003.

La stabilité est la propriété d'un système à maintenir son état d'équilibre de fonctionnement, ou à atteindre un autre état d'équilibre acceptable après une perturbation quelconque, et elle traite des effets de perturbation brutale de forte amplitude et de courte durée, tel que les défauts de court circuit, les déconnexions des lignes ... etc. L'intervention des dispositifs de protection et de régulation est indispensable, pour gardée le maintien de la stabilité pendant la perturbation.

Notre objectif dans le présent travail est l'analyse de la stabilité du système électrique par les réseaux de neurones, ce mémoire est composé de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons les différentes méthodes d'analyse de la stabilité (Runge-Kutta, critère Aires égales, Réseau de neurones).

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur les Réseaux de neurones et l'apprentissage ainsi que les fonctions d'activation.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la modélisation du réseau électrique (machine synchrone, charges, transformateurs, les lignes de transmissions...).

Dans le quatrième chapitre, nous présentons la simulation et l'interprétation des résultats obtenues de notre travail, et on termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I
PRESENTATION DU
PROBLEME DE LA
STABILITE

I.1 INTRODUCTION :

Le réseau électrique est un ensemble des systèmes de production, transport et la consommation d'énergie électrique d'une façon stable, il y a toujours des incidents aléatoires, qui rendent difficile le maintien d'un équilibre garantissant une fréquence et une tension relativement constante. Normalement, face à une variation de puissance, le système électrique après une oscillation, retrouve un état stable. Dans certain cas, le régime oscillatoire peut diverger.

I.2 DEFFINITION DE LA STABILITE:

Elle peut être défini comme la propriété du système électrique de revenir à son état d'équilibre initiale ou un autre état proche acceptable après l'apparition d'une perturbation, [1].

I.3 TYPE DE STABILITE:

La stabilité du système peut être influencée par plusieurs facteurs à s'avoir :[2].

- La nature physique de l'instabilité
- L'intensité de perturbation considérée
- Le processus et le temps maximal de la perturbation.

Les problèmes de stabilité se divisent en trois catégories [stabilité de fréquence stabilité de tension et stabilité angulaire [2].

I.3.1 STABILITE STATIQUE :

On dit qu'un réseau est stable en régime statique sil revient au point de fonctionnement initiale après avoir été soumis à une petite perturbation, la stabilité consiste à étudier l'aptitude d'un système à regagné le synchronisme après une faible et lente perturbation (telle que une variation graduelle du charge).

L'étude de la stabilité statique peut aussi améliorer les conditions d'amortissement des oscillations induites par les petites perturbations, et concerne à l'étude des effets des petites perturbations sur le fonctionnement du système électrique. Les équations non linéaires peuvent être linéaires autour de point de fonctionnement, à modélisation des turbines, les systèmes électrique de contrôle n'est pas introduite dans l'étude de la stabilité statique.

L'importance de l'étude de l'analyse de la stabilité statique consiste en [2] :

- Obtenir un fonctionnement sur.
- l'identification des modes d'amortissement des oscillations.

- réglage des contrôleurs (stabilisateur du système, excitateurs...)

I.3.2 STABILITE DYNAMIQUE:

Elle constitue une extension de la stabilité statique, on tenant compte des dispositifs de régulation. Ces derniers ont le rôle de rendre le système fonctionnel autour des valeurs pré-déterminées. Le modèle peut être décrit par des équations différentielles [3].

I.3.3 STABILITE TRANSITOIRE:

La stabilité transitoire peut être définie comme étant la capacité du système électrique de maintenir le synchronisme lorsqu'il est influencé par des perturbations particulières (courtes, sévères et larges), telle qu'un court-circuit, déclenchement d'une ligne, ouverture d'un disjoncteur après élimination d'un défaut, et il peut revenir à son état initial ou un état proche. Le système est modélisé par un ensemble d'équations différentielles non linéaires pendant le régime transitoire.

Dans l'analyse de la stabilité transitoire, on s'intéresse généralement:

- Type de perturbation.
- Localisation des défauts.
- Durées d'apparition du défaut.
- Point de fonctionnement normal du système.

Dans l'étude de la stabilité d'un système, les étapes suivantes sont nécessaires [4]:

1. la détermination de l'état initial du système avant la perturbation.
2. le développement d'un système mathématique.
3. l'obtention de la réponse transitoire.
4. l'analyse de la solution temporelle.

I.4 LE SYNCHRONISME :

On dit une machine fonctionne en synchronisme, si la fréquence de cette machine égale à la fréquence du réseau.

On dit un système fonctionne en synchronisme, si toutes les machines reliées à ce réseau ont la même fréquence du réseau.

On dit une machine fonctionne en asynchronisme, si elle n'a pas la même fréquence du réseau en elle est connectée.

On dit un système électroénergétique est asynchrone, s'il a au moins une machine qu'elle n'a pas la même fréquence du réseau.

I.5 ETUDE SIMPLIFIEE DE LA STABILITE:

L'équation de mouvement du rotor des machines synchrones est basée sur l'évolution du couple d'accélération lié au moment d'inertie de la machine par la relation (I.1) ci-dessous:

$$J \frac{d\delta_m^2}{dt^2} = T_\alpha = T_m - T_\theta \quad (\text{I.1})$$

Avec:

J: moment d'inertie des masses tournantes en [kg.m²].

δ_m : déplacement angulaire du rotor.

T_m : couple mécanique d'entraînement fourni par la turbine en [N.m].

T_θ : couple électromagnétique fourni par la machine en [N.m].

T_α : couple d'accélération en [N.m].

En régime stable T_m est égal à T_θ donc T_α est nul et la machine fonctionne au synchronisme. Elle persiste dans cet état tant que cette relation reste vérifiée. Il n'y aura donc ni accélération ni décélération des masses tournantes. Si un déséquilibre se produit entre les couples mécanique et électrique alors le synchronisme est perdu provoquant ainsi une instabilité du système. [2]

Le réseau d'énergie électrique comporte en général un grand nombre de générateurs synchrones interconnectés (réseau multi machines).

Une perturbation survenant en un point quelconque du réseau affecte l'ensemble des machines.

L'étude rigoureuse du processus nécessite en principe la prise en compte des régimes transitoires de toutes les machines,.

Avant d'aborder le cas multi machines, nous nous intéressons pour la clarté de ce dernier, ce cas est représenté par le schéma de la figure (I.1): [5]

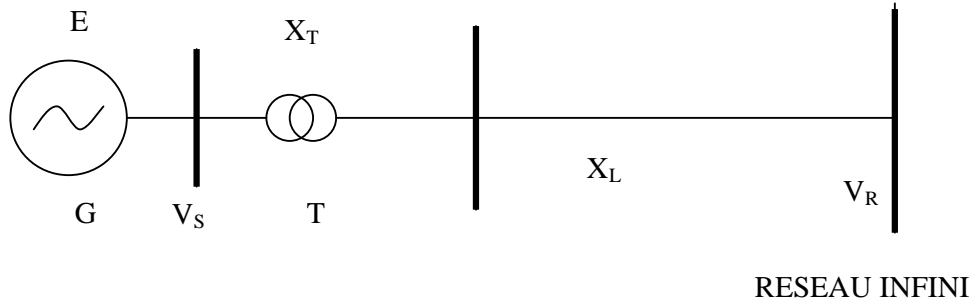


Figure (I.1) Schéma unifilaire de raccordement d'une machine à un réseau infini.

Soit $X_0 = X_T + X_L$

Pour un fonctionnement à excitation constante, l'expression de la puissance électrique active fournie par la machine s'écrit (pour les machines à pôles lisses):

$$P = 3 \frac{E_r V}{X_e + X_d} \sin \delta \tag{I.2}$$

$$P = P_{\max} \sin \delta \tag{I.3}$$

La puissance électrique est une fonction sinusoïdale de l'angle δ .
 V_r et E_r étant constantes.[6]

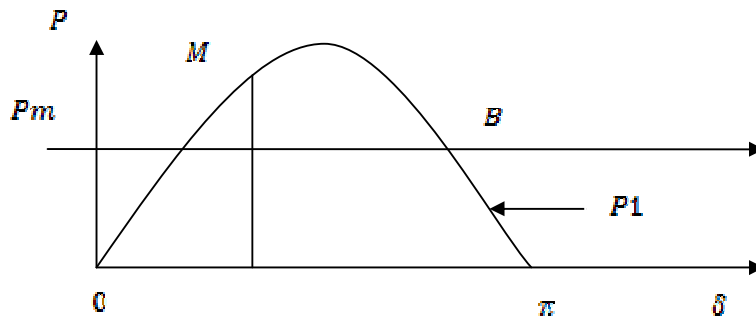


Figure (I.2) Evolution de la puissance en fonction de δ

I.6 METHODES D'ANALYSE DE LA STABILITE:

Dans les années 20 le problème de la stabilité transitoire occupe plusieurs chercheurs. Les Black out qui ont eu lieu dans plusieurs pays de monde, tels en Algérie 2003. Italie et USA en 2004 c'est pour ça ils donnent une importance particulière de stabilité transitoire pour l'exploitation et la planification des réseaux électrique afin d'assurer la protection et la continuité de service

Il y a plusieurs méthodes existante pour analyser de la stabilité transitoire des SEE on distingue :

- Les méthodes directes ou énergétiques (LYAPUNOV-critère des aires égales,...etc.).
- Les méthodes d'intégration numérique (ou temporelle).
- Les méthodes de reconnaissance de forme (réseaux de neurones).
- Les méthodes hybrides.

I.6.1 LES METHODES DIRECTS (OU ENERGETIQUES):

Les méthodes directes permettent la détermination des limites de la stabilité transitoire sans avoir recours à la résolution des équations d'état différentielles du système.

I.6.1.1 METHODE DE LYAPUNOV:

L'application du critère de Lyapunov à la stabilité transitoire des réseaux électriques consiste a :

- Construire une fonction de Lyapunov du système, $V(x)$ ou x est vecteur d'état telle que l'angle rotorique et vitesse angulaire.
- Calculer sa valeur limite V_{lim} c'est-à-dire la valeur que la fonction de Lyapunov prend sur la frontière du domaine de stabilité.
- Calculer la marge $\eta = V_{lim} - V(x_e)$ Ou x_e est la valeur du vecteur d'état du Système entourant dans sa configuration après défaut.

Donc

$\eta)0; (V_{lim})V(x_2)) \Rightarrow$ on dit que le système stable plus précisément la méthode de Lyapunov stipule qu'un système se trouve à l'intérieur du domaine de stabilité est stable , mais son instabilité n'est pas garantie s'il est en dehors de ce domaine .

- **LES AVANTAGES DE LA METHODE DE LYAPUNOV :**

Parmi ces avantages on distingue:

- La possibilité de définir des marges de la stabilité.
- Le gain en temps de calcul que les méthodes procurent en éliminant la phase de simulation après défaut qui est la plus laborieuse.

La qualité de rapidité et d'économie

- **LES INCONVENIENTS DE LA METHODE DE LYAPUNOV:**

Nous citons :

La difficulté de construction de la fonction de Lyapunov pour des modélisations détaillées du système électrique. Il n'existe pas de procédure générale de construction.

- La difficulté de calcul de la limite du domaine de stabilité de façon efficace et programmatique.
- Dans la construction de la fonction de Lyapunov on utilise le modèle simplifié de la machine généralement la force électromotrice et la puissance mécanique sont supposées constantes.
- Dans la construction de la fonction de Lyapunov a besoin d'obtenir la condition initiale et le temps critique (CCT).

I.6.1.2 ANALYSE DE LA STABILITE PAR LE CRITERE DES AIRES

EGALES :

Cette méthode est basée sur l'interprétation graphique d'énergie emmagasinée dans les masses tournantes, [7].

Pour bien illustrer le problème de stabilité transitoire des systèmes électroénergétiques, on considère le système constitué par une machine connectée au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur et deux lignes en parallèle comme le montre la figure (I.3)

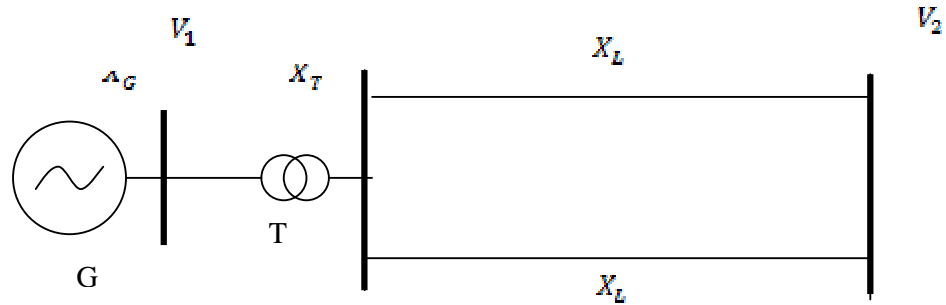


Figure (I.3) système mono machine

Les puissances électriques avant et durant le défaut sont données par :

$$P_{e1}(\delta) = \frac{V_1 V_2}{X_1} \sin(\delta) \quad (\text{I.4})$$

Avec :

$$X_1 = X_G + X_T + X_L/2 \quad (\text{I.5})$$

$$P_{e2}(\delta) = \frac{V_1 V_2}{X_2} \sin(\delta) \quad (\text{I.6})$$

Avec :

$$X_2 = X_G + X_T + X_L \quad (\text{I.7})$$

Avec :

$P_{e1}(\delta)$: Puissance électrique avant défaut.

$P_{e2}(\delta)$: Puissance électrique durant défaut.

δ : angle rotorique.

V_1 : La tension au borne de la machine.

V_2 : La tension au jeu de barres de puissance infinie.

X_1 : correspond à l'ensemble des réactances du générateurs, transformateurs, les deux lignes en parallèles ($X_1 = X_G + X_T + X_L/2$)

X_2 : correspond à l'ensemble des réactances du générateurs, transformateurs, une seule ligne ($X_2 = X_G + X_T + X_L$).

X_G, X_T, X_L : Désignent la réactance du générateurs, transformateurs et la ligne.

Alors :

$$X_1 < X_2 \Rightarrow P_{e1}(\delta) > P_{e2}(\delta)$$

La figure (I.4) illustre le critère des aires égales :

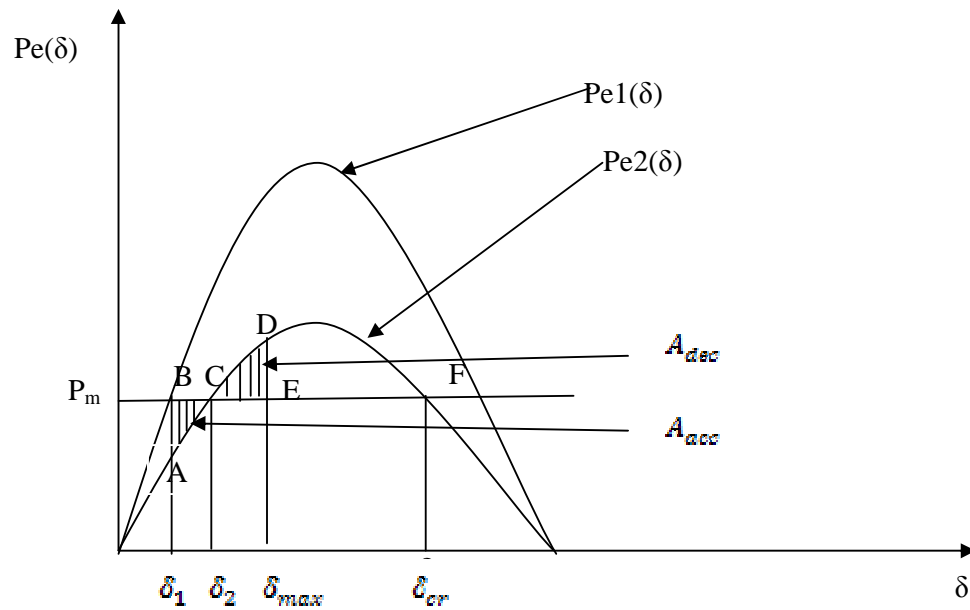


Figure (I. 4) Evolution de la puissance électrique en cas de déclenchement d'une ligne

Pour le cas d'une machine synchrone connecté à un réseau infini, l'équation du mouvement du système est donnée par :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\omega}{2H} (P_m - P_e) \quad (I.8)$$

Où :

P_m : puissance mécanique fournie par la turbine

P_e : puissance électrique fournie par la machine.

δ : déplacement angulaire du rotor.

H : constante d'inertie de la machine.

A l'état initial, le système est en équilibre. L'angle de fonctionnement δ_1 est définie ; l'intersection P_m avec $P_{e1}(\delta)$ ($P_m = P_{e1}(\delta)$). Si l'une des deux lignes déclenche, la puissance électrique diminue et devient $P_{e2}(\delta)$, donc il y a un excès de couple moteur sur le couple résistant, la machine tend à accélérer, l'angle δ augmente et l'écart ($P_m - P_e$) décroît et tend à s'annuler au point C. En ce point C les deux couples sont égaux, et l'accélération est nulle, mais à cause de l'inertie des masses tournantes, la machine continue à tourner avec une vitesse décroissante (accélération négative), l'angle continue à croître jusqu'au point D, qui correspond au point δ_{max} . L'accélération est toujours négative et l'angle commence à décroître. Le mouvement est pendulaire et ne s'amortit qu'après l'intervention des dispositifs de régulation. Si le point D dépasse le point C l'accélération est positive, la vitesse continue à croître, la stabilité est perdue, la déconnexion de la machine du réseau est indispensable [7].

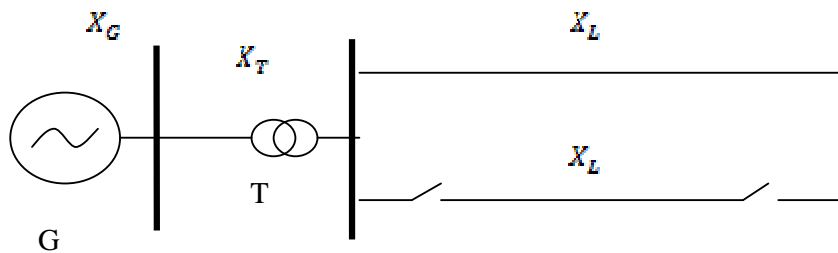


Figure (I.5) système mono machine

RESEAU INFINI.

LES AVANTAGES DE CRITERE DES AIRES EGALES :

Parmi ces avantages on distingue

- L'analyse simple et directe de la stabilité transitoire sans avoir recours à la résolution des équations d'oscillations du système.
- Montre l'effet de certains facteurs sur la stabilité transitoire du (SEE).

I.6.2 METHODE D'INTEGRATION NUMERIQUE (TEMPORELLE) :

La solution des équations différentielles est une phase importante dans l'analyse de la stabilité transitoire pour trouver la solution sous la forme analytique et de nombreux systèmes physiques complexes sont décrits par des équations différentielles, cependant les techniques permettent d'utiliser des méthodes d'intégration numérique pour la résolution des équations différentielles et algébriques décrivant le comportement dynamique de SEE. Il comporte à la fois

des équations différentielles de premier ordre (modélisation des machines synchrones et leurs système d'excitation), et des équations algébriques (modélisation de réseau électrique et les enroulements statoriques des machines)

La méthode d'intégration numérique basée sur les équations est en fonction du temps t s'écrivent sous la forme générale suivante:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, y) \\ 0 &= g(x, y) \end{aligned} \quad (\text{I.9})$$

x : le vecteur des variables d'état telle que : angle rotorique (δ), la tension (v)...etc.

Y : le vecteur de variable de sortie.

f et g : sont respectivement la fonction dynamique de la fonction contrain.

Ces équations sont résolues dans le domaine temporel en utilisant des algorithmes d'intégration numérique dont le plus utilisée sont : la méthode d'Euler et la méthode de Runge Kutta,

I.6.2.1 METHODE D'EULER:

La méthode d'Euler permet de transformer les systèmes d'équations en un système d'ordre n en employant des variables auxiliaire.

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y) \quad (\text{I.10})$$

Où :

y : représente un ensemble de n variables.

f : un vecteur de fonction.

Il permet le calcul de y au point 1

$$\begin{aligned} y_1 &= y_0 + y \\ y &= \frac{dy}{dt} \Delta t \end{aligned} \quad (\text{I.11})$$

Si on pose $\Delta t = h$ on a:

$$y_1 = y_0 + \frac{dy}{dt} h \quad (\text{I.12})$$

Où h : est l'ensemble de temps de simulation (t_1, t_0)

Le nouveau point peut être employé pour calculer le point suivant est:

$$y_2 = y_1 + \frac{dy}{dt} |_h \quad (\text{I.13})$$

$$y_3 = y_2 + \frac{dy}{dt} |_h \quad (\text{I.14})$$

$$y_n = y_{n-1} + \frac{dy}{dt} |_h \quad (\text{I.15})$$

I.6.2.2 METHODE DE RUNGE-KUTTA:

Dans la méthode de R-K le changement dans les valeurs des variables dépendantes est calculées à partir d'un groupe de formules données ces formules sont exprimées en termes des dérivées évaluées aux points prédéterminées la méthode de R-K l'ordre 4 est plus utilisé à cause de sa précision élevée, elle est donnée par la relation suivante :

$$y_{n+1} = y_n + \frac{K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4}{6} \quad (\text{I.16})$$

$$k_1 = f(t_0, y_0) \quad (\text{I.17})$$

$$k_2 = f\left(t_0 + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right)h \quad (\text{I.18})$$

$$k_3 = f\left(t_0 + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right)h \quad (\text{I.19})$$

$$k_4 = f\left(t_0 + \frac{h}{2}, y_n + k_3\right)h \quad (\text{I.20})$$

- LES AVANTAGES DE LA METHODE DE RUNGE-KUTTA

- L'excellente précision que l'on peut atteindre
- elle fournit une réponse exacte sur la stabilité
- Elle produit les variations temporelles de toutes les quantités dont certaines sont nécessaires pour l'étude de phénomène de stabilité ou pour établir le plan de protection du réseau électrique.

- **LES INCONVENIENTS DE LA METHODE DE RUNGE KUTTA:**
- Chaque défaut doit traiter séparément.
- La limite de stabilité (le temps critique d'élimination de défaut) est obtenu par des essais successifs.
- Cette méthode est très lente et ne permet pas de calculer la marge de stabilité.
- Les plus petits intervalles du temps sont besoin d'assurer la précision de stabilité.
- Le temps de calcul est assez élevé et croît avec la complexité du système.
- Un modèle approprié de chacune des éléments du réseau est spécifié pour les trois régimes de fonction (permanent durent et après le défaut).

I.6.3 METHODES DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS :

Durant les dernières années, plusieurs approches introduisant les réseaux de neurones artificiels, pour le traitement du problème de la stabilité transitoire des réseaux d'énergie électrique ont été publiées.

Ces méthodes sont basées sur des mesures directes des paramètres du système [8] (Écoulement des puissances dans les lignes de transport, puissances des générateurs et des charges, angles interne des générateurs,.....etc.).

Le principe de base de ces méthodes, est d'extraire l'information désirée des données d'entrée en la traitant à travers plusieurs couches constituées de nœuds ou « neurones ». dans chaque couche, une représentation interne de l'entrée est générée puis utilisée comme sortie vers la couche suivante. Il a été montré qu'une machine du type perceptron avec une ou plusieurs couches internes alimentées en avant, peut s'auto-entraîner de manière indépendante, pourvu que des fonctions analytiques soient utilisées afin d'activer les neurones. La rétropropagation de l'erreur est utilisée pour changer les poids d'interconnexion et les seuils de fonction d'activation, jusqu'à ce qu'une capacité propre de reconnaissance de formes est atteinte. L'avantage de ces méthodes est l'évaluation on-line de la stabilité transitoire. Elles ont donné des résultats assez bien pour les petits systèmes.

Cependant, il reste très difficile de généraliser l'application de ces approches, pour une évaluation précise de la stabilité transitoire des grands réseaux d'énergie électrique. Elles restent très efficaces surtout, pour la classification des perturbations selon leur degré de sévérité [8].

Les auteurs dans [8] ont proposé des approches, pour appliquer les réseaux de neurones, pour l'évaluation de la stabilité transitoire des grands réseaux d'énergie électrique. des techniques d'extraction des vecteurs d'état du système sont proposées, afin de réduire la dimension du point

de fonctionnement. La génération de l'ensemble des données ainsi effectuée, permet de considérer des réseaux de neurones moins complexes. Toute fois, ces méthodes nécessitent des exécutions off-line (phase d'apprentissage) ayant un temps de calcul très important.

I.6.4 METHODE HYBRIDE :

Pour faire face aux difficultés rencontrées lors de la construction de la fonction Lyapunov (méthode direct) pour des modèles détaillés d'un réseau d'énergie électrique.

Les chercheurs ont proposé des méthodes hybrides qui essaient de combiner entre elles en utilisant les avantages de chacune [8].

L'alternative proposée, la plus simple, est d'utilisait dans un premier lieu les méthodes directes (énergétiques ou les réseaux de neurones), avec des modèles simplifié du réseau d'énergie électrique pour la classification des différentes perturbations. En suite, en utilise la méthode d'intégration numérique avec des modèles détaillés pour une étude plus précise des perturbations jugées critiques [8].

Des chercheurs ont incorporés la méthode de la fonction d'énergie dans la méthode d'intégration numérique pour trouver les indices de stabilité. La méthode consiste à évaluer l'énergie du système le long de trajectoire donné par la simulation numérique et propose un critère d'arrêt permettent de minimisé le temps de calcule.

D'autres chercheurs proposent d'utiliser la fonction d'énergie de la machine critique seule pour déterminer un indice de stabilité.

I.7 PRINCIPE DE REGULATION DE TENSION ET DE LA VITESSE :

La fonction fondamentale de la régulation est d'adapter la production d'énergie électrique et la consommation. L'énergie doit être délivrée avec une certaine qualité définie par la tension et fréquence. La tension est réglée au moyen de la régulation de tension de l'alternateur. La fréquence est réglée par les régulateurs de vitesse qui est compris dans la régulation turbine [9].

I.7.1 REGULATION DE LA TENSION AU BORNE DE L'ALTERNATEUR :

Pour arriver une tension donnée, en agit sur le courant rotorique (courant d'excitation).

I.7.2 REGULATION DE LA VITESSE :

Le réglage de la vitesse est obtenu par l'action sur le débit de la turbine d'entraînement de l'alternateur. Le système de régulation et de vitesse est donné par la figure (I.6)

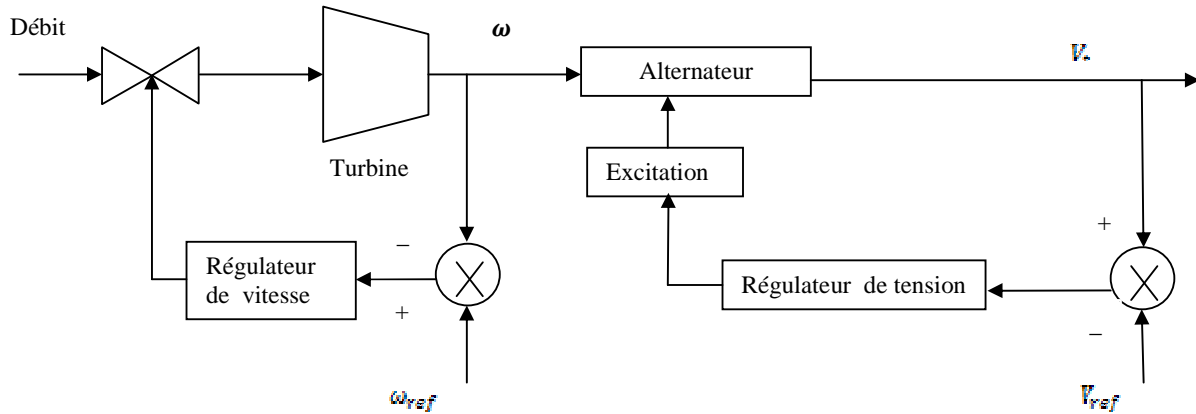


Figure (I.6) Schéma de principe de régulation de vitesse

I.8 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'analyse de la stabilité des systèmes d'énergie électrique et nous avons donné un aperçu sur les différents types de la stabilité, ainsi que des différentes méthodes utilisées (les méthodes d'intégrations numérique, méthodes directes, les méthodes des réseaux de neurones artificiels...etc.) avec leurs avantages et leurs inconvénients dans le chapitre qui suit en va traiter les réseaux de neurones artificiels.

CHAPITRE II
LES RESEAUX DE
NEURONES
ARTIFICIELS

II.1 INTRODUCTION:

Les premiers travaux sur les réseaux de neurones artificiels ont débuté durant les années 1940 par le physiologiste J. MC CULLOCH et le mathématicien W. PITTS. En 1943 J. MC.CULLOCH et W. PITTS laissent leurs noms à une modélisation des neurones biologiques (un neurone à comportement binaire). Ceux sont les premiers qu'ils ont montré que les réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes. En 1949, HEBB propose un modèle simple des phénomènes d'apprentissage dans le cerveau, basé sur le renforcement des efficacités synaptiques. En 1962. ROSEMBLAT propose le premier modèle de réseau intégrant le neurone de MC CULLOCH et W.PITTS et la règle d'apprentissage de HEBB. Il faudra attendre en 1982 avec HOPFIELD , 1984 avec KOHENEN , puis en 1986 avec REMELHERT pour voire apparaître de nouveaux types de réseaux ainsi qu'une nouvelle version du perceptron doté d'un algorithme d'apprentissage permettant de dépasser les limitations de l'ancienne versions. La recherche sur les réseaux est relancée.

II.2.LE NEURONE BIOLOGIQUE:

II.2.1.SYSTEME NERVEUX:

Le cerveau humain, est le meilleur modèle de la machine, polyvalente très rapide et surtout douée d'une incomparable capacité d'auto organisation. Son comportement est beaucoup plus complexe que le comportement de ses cellules de base. Il est constitué d'un grand nombre d'unités biologiques élémentaires (1000 à 10000 synapse par neurone). Les cellules nerveuses appelées "neurones ", sont les éléments de base du système nerveux central. Elles sont constituées de trois parties essentielles: le corps cellulaire, les dendrites et l'axone figure (II.1) [9][10].

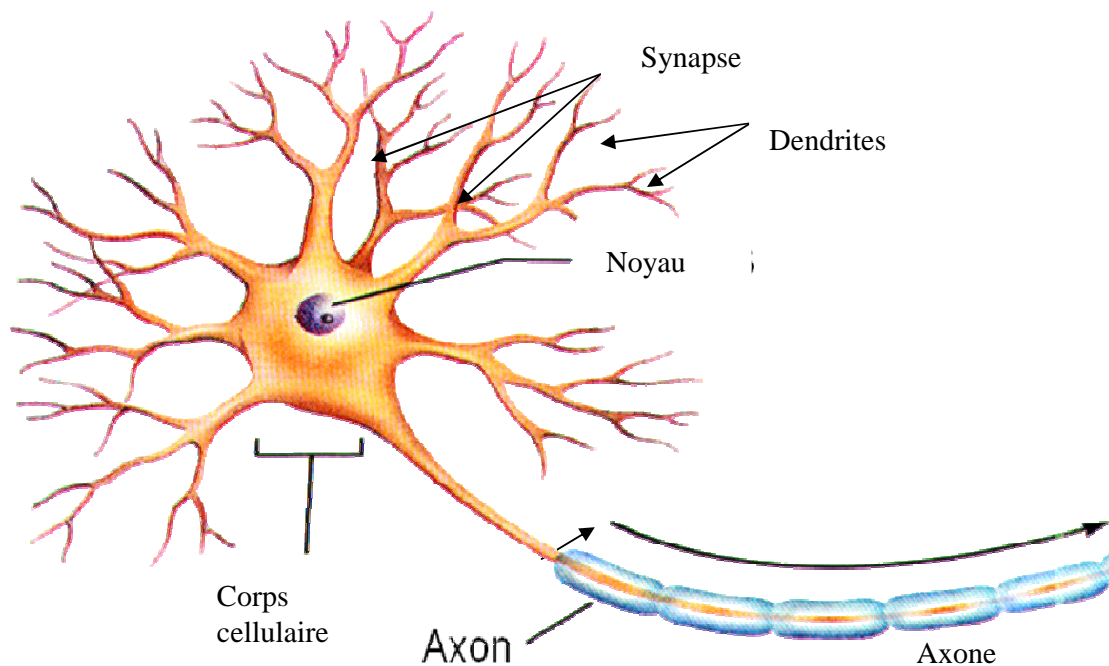


Figure (II.1) Le Neurone biologique

II.2.1.1. LE CORPS CELLULAIRE:

Il contient le noyau du neurone et effectue les transformations biochimiques nécessaires à la synthèse des enzymes et des autres molécules qui assurent la vie de neurone. Sa forme est pyramidale ou sphérique dans la plupart des cas, elle dépend souvent de sa position dans le cerveau. Ce corps cellulaire fait quelques microns de diamètre [11].

II.2.1.2. LES DENDRITES:

Chaque neurone possède une chevelure de dendrites. Celles-ci sont de fines extensions tubulaires, de quelques dixièmes de microns de diamètre et d'une longueur de quelques dizaines de microns. Elles sont les récepteurs principaux du neurone qui servent à capter les signaux qui lui parviennent [11].

II.2.1.3. L'AXONE:

L'axone, sert de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone. IL se distingue des dendrites par sa forme et par les propriétés de sa membrane externe. En effet, il est généralement plus longue que les dendrites.

Pour former le système nerveux, les neurones sont connectés les uns aux autres suivant des répartitions spatiales complexes. La transmission entre deux neurones n'est pas directe. En fait, il existe un espace intercellulaire de quelques dizaines d'Angstrom (10^{-9} m) entre l'axone du neurone et les dendrites d'un autre neurone. La jonction entre deux neurones est appelée synapse

II.3 FONCTIONNEMENT DES NEURONES BIOLOGIQUES:

Les fonctions spécifiques réalisées par un neurone dépendent essentiellement des propriétés de sa membrane externe. En effet le corps cellulaire du neurone traite les courants électriques qui lui proviennent de ces dendrites puis transmet le courant électrique résultant de ce traitement aux neurones aux quels il est connecté par l'intermédiaire de son axone. De cette façon le corps cellulaire ressemble à une sommation à seuil effectuant une sommation des influx nerveux transmis par ces dendrites.

Si la sommation dépasse un seuil, le neurone répond par un influx nerveux ou potentiel d'action qui se propage le long de son axone, si la sommation est inférieure à ce seuil, le neurone reste inactif voir fig. (II.2).

L'influx nerveux qui se propage entre différents neurones est au niveau de ces neurones, un phénomène électrique de cette propagation est assurée par un mécanisme de pompes et de canaux présente la membrane axénique (pompes à ion de sodium et potassium).

L'arrivée du potentiel d'action (flux nerveux) à l'une des extrémités de l'arborisation d'une substance chimique appelé "neurotransmetteur" cette substance diffuse dans l'espace synaptique et vient de fixer sur des récepteurs spécifiques appelés «neurorécepteurs" situés sur la terminaison du neurone cible.

Cette fixation provoque l'ouverture de canaux ioniques ce qui peut donner naissance à un nouveau signal électrique [14].

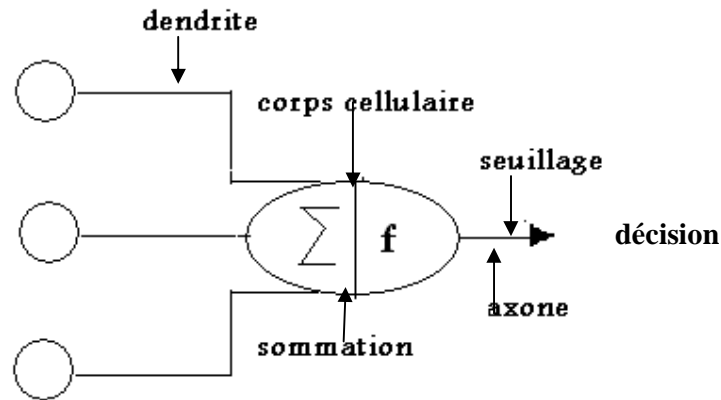


Figure. (II.2) Fonctionnement de modèle de neurone biologique

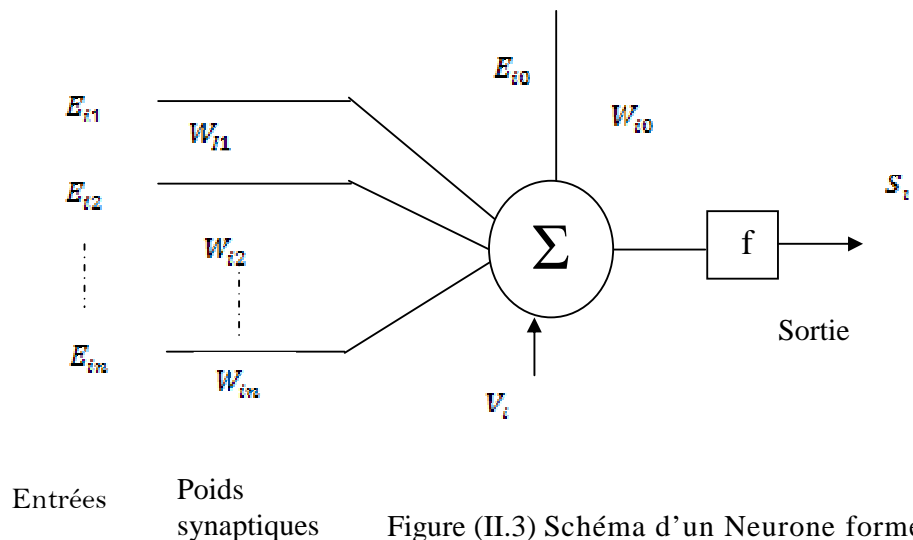
II. 4 LE NEURONE FORMEL (ARTIFICIEL)

II.4.1 DEFINITION:

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnent en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Les RNA sont des modèles mathématiques et informatiques basés sur l'implémentation artificielle des mécanismes de base observés dans le cerveau entre neurones, dendrites et synapses.

Le neurone formel est un aspect mathématique observé à partir du cerveau humain. Il fait la somme pondérée de ses entrées, suivi d'une non linéarité (élément de décision pour les classer) appelée fonction d'activation ou fonction de seuil.

Le schéma d'un neurone formel est donné par la figure (II.3).



II.4.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT:

L'équation de sortie. (S_i) du neurone i est donnée par :

$$S_i = f(V_i) \quad (\text{II.1})$$

Où

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} E_j - W_i E_0 \quad (\text{II.2})$$

W_{ij} : sont les coefficients de pondération appelés aussi coefficients synaptiques, (ou poids); de la j ème entrée (E_j) du neurone i , dans la couche k .

La somme pondérée est appelée potentiel somatique. L'entrée E_0 pondérée par le poids W_{i0} est considérée comme la valeur du seuil interne du neurone i .

II.5 FONCTIONS D'ACTIVATION:

C'est une fonction non linéaire appelée aussi fonction de seuil qui définit l'état interne du neurone en fonction de son entrée total, elle présente la relation qui lie la fréquence moyenne des potentiels d'action (S_i) limité en amplitude, ou potentiel somatique (V_i).

La transformation non linéaire appliquée au potentiel somatique, traduit deux caractéristiques importantes du neurone:

-La saturation de la réponse au delà d'une certaine valeur du potentiel somatique la fig. (II.4) donne les modèles des fonctions d'activations utilisées.

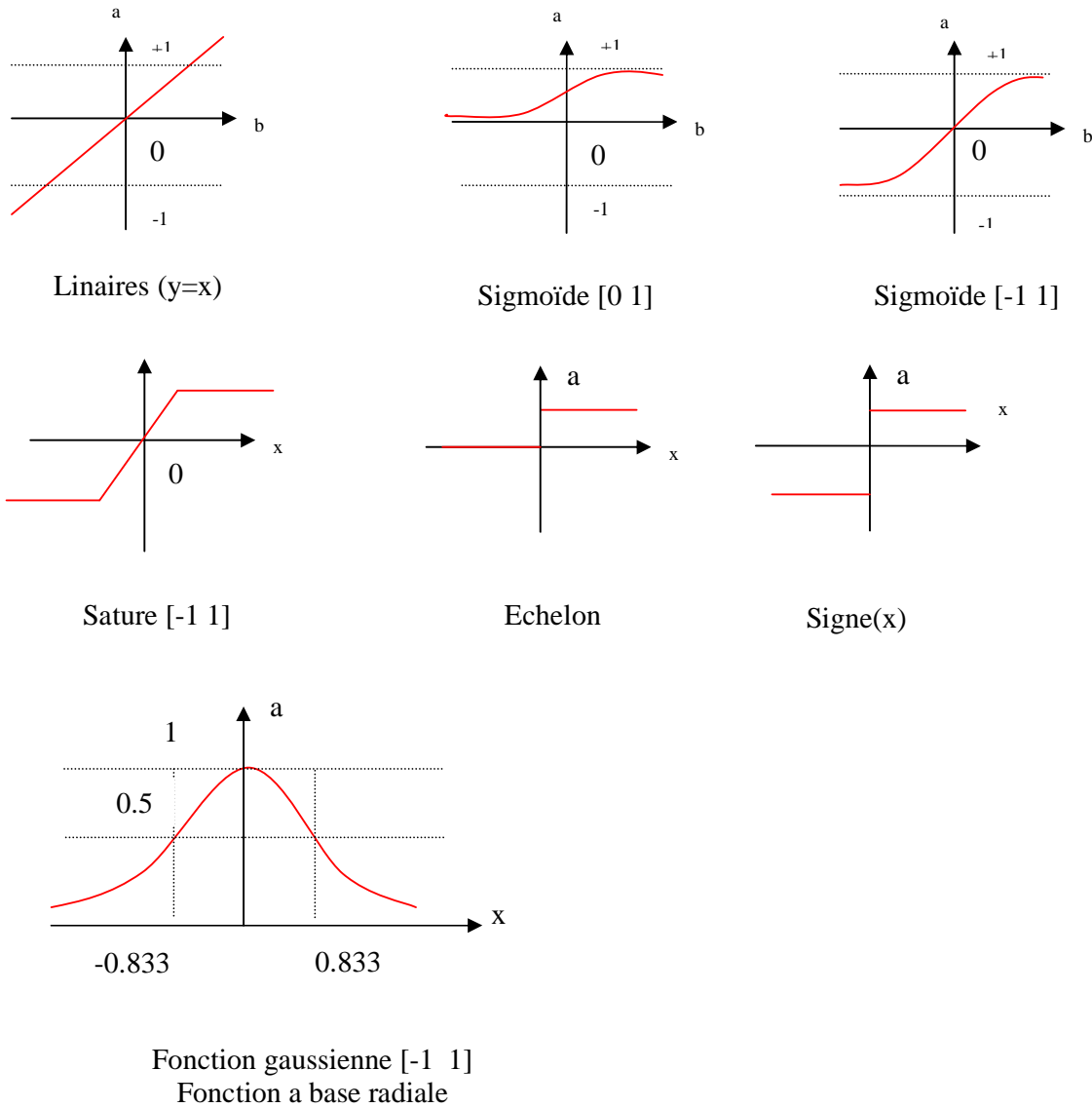


Figure (II .4) Quelque fonction d'activation

II.6 PROPRIETES DES RESEAUX DE NEURONES:

L'intérêt porté aujourd'hui aux réseaux de neurones tient sa justification dans quelques propriétés intéressantes qu'ils possèdent et qui devraient permettre de dépasser les limitations de l'informatique traditionnelle, tant au niveau programmation qu'au niveau machine [12].

II.7 CLASSIFICATION DES RESEAUX DE NEURONES:

II.7.1 SELON L'ARCHITECTURES:

Il existe trois grands types d'architectures de réseaux de neurones: Les réseaux statiques non récurrents et les réseaux dynamiques récurrents et les réseaux évolutifs.

II.7.1.1 LES RÉSEAUX DE NEURONES STATIQUES (NON RECURRENT):

L'information dans ces réseaux circule directement de l'entrée vers la sortie sans bouclage, on utilise une structure à couche telle que les neurones qui appartiennent à une même couche ne soient pas connectés entre eux ... chacune des couches recevant des signaux de la couche précédente et transmettant le résultat de ces traitements à la couche suivante. La première couche reçoit les entrées, la dernière couche fournit le résultat des traitements et les couches intermédiaires sont appelées couches cachées, leur nombre est variable voire fig. (I.4) [11]

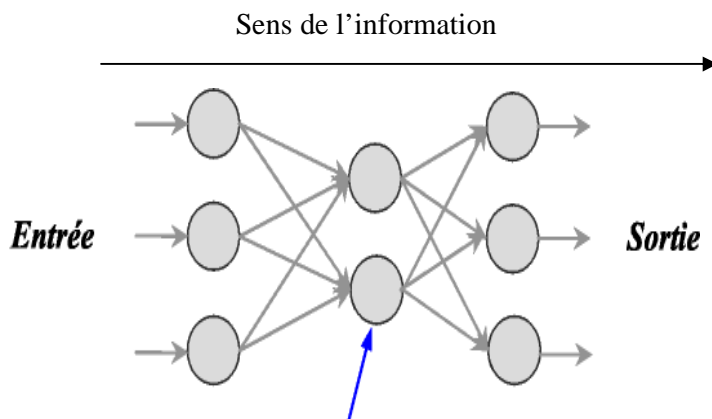


Figure (II.5) Forme d'un réseau de neurones statique

II.7.1.2 LES RESEAUX DE NEURONES DYNAMIQUES (RECURRENT):

Ces réseaux, appelés aussi réseaux récurrents, sont organisés de telle sorte que chaque neurone reçoit sur ses entrées une partie ou la totalité de l'état du réseau (sortie des autres neurones) en plus des informations externes. Pour les réseaux récurrents l'influence entre les

neurones s'exerce dans les deux sens. L'état global du réseau dépend aussi de ses états précédents. L'équation du neurone, dans ce cas, est décrite par des équations différentielles ou aux différences. Un exemple de réseaux dynamiques est donné par la figure (I.5) [13].

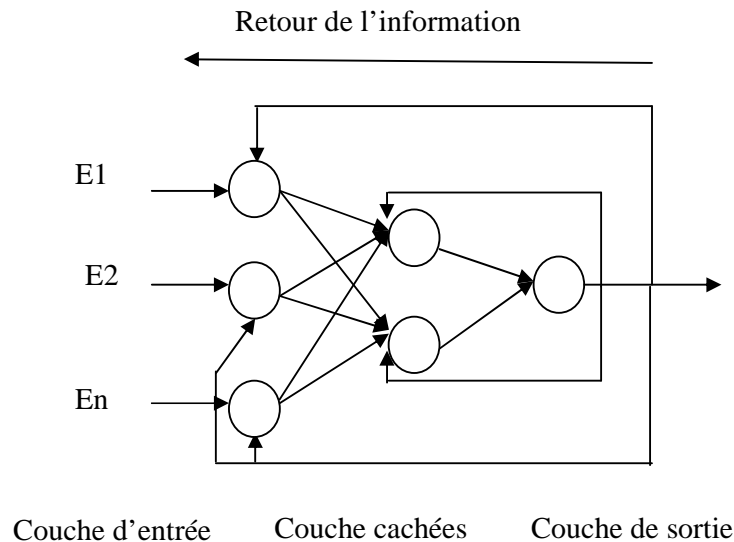


Figure (II.6) Forme d'un réseau recurrent (dynamique)

II.7.1.3 RESEAUX DE NEURONES A ARCHITECTURE EVOLUTIVE:

Ces réseaux de neurones changent leurs structures interne pendant l'utilisation (augmentation ou diminution du nombre de neurone.[1])

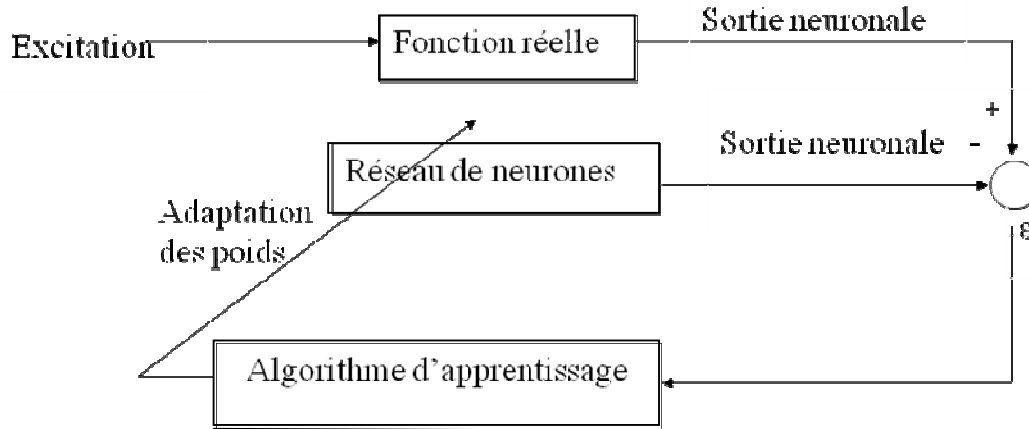
II.7.2 CLASSIFICATION DES RNA SELON L'APPRENTISSAGE :

L'apprentissage pour les réseaux de neurones est tout changement des coefficients synaptiques, ce changement se fait de telle manière que le réseau remplit une tâche définie par un ensemble d'exemples dit. ensemble d'entraînements ou ensemble d'apprentissages.

L'objectif essentiel d'un tel apprentissage est d'adapter les paramètres du réseau(coefficients synaptiques) pour qu'ils soient capables de reconnaître des exemples n'appartiennent pas à l'ensemble d'entraînements.

En effet il existe trois types d'apprentissage:

- Apprentissage à supervisé
- Apprentissage non supervisé.
- Apprentissage hybride.



Figure(II.7) Principe d'apprentissage

II.7.2.1 APPRENTISSAGE SUPERVISE :

Dans ce type d'apprentissage, on présente au réseau des entrées et au même temps des sorties désirée correspondante, des coefficients synaptiques sans alors ajuster dans le but de diminuer un critère de coûts, une fois l'apprentissage est effectué, le réseau est apte à accomplir la tache prévue.

La méthode la plus utilisée pour ce type d'apprentissage, pour entraînements des réseaux statiques est la retro-propagation.

II.7.2.2 APPRENTISSAGE NON SUPERVISE :

Dans ce type d'apprentissage, on présente des entrées au réseau et on le laisse analysé tous seule jusqu'au point de la stabilité.

II.7.2.3 APPRENTISSAGE HYBRIDE:

Dans ce type d'apprentissage il y a deux approches supervisé et non supervisé une partie des poids va être déterminée par l'apprentissage supervisé et l'autre partie par apprentissage non supervisé [1].

II.8 METHODE DE RETROPROPAGATION:

La retropropagation est actuellement l'outil le plus utilisé dans le domaine des réseaux de neurones. C'est une technique de calcul des dérivées qui peut être appliquée à n'importe quelle structure des fonctions dérivables [13].

L'année **1986** a vu l'apparition de l'algorithme de Retropropagation de l'erreur publié par Rumelhart, Hinton et Williams qui permet d'optimiser les paramètres d'un réseau de neurones à plusieurs couches [9].

II.9 LE PERCEPTRON:

C'est un neurone individuel. Le Perceptron a été développé par Rosenblatt en 1950 pour résoudre, à l'aide des neurones de Mc Culloch et Pitts, les problèmes de la vision humaine

II.9.1 STRUCTURE DU PERCEPTRON:

L'architecture générale d'un Perceptron comme décrit en figure (II.10) comprend l'éléments principaux:

II.9.2 RETINE:

La première couche, composée de la rétine, comprend plusieurs cellules qui jouent le rôle de capteurs. Elle reçoit les exemples ou formes à classer. Chaque élément de la rétine peut être considéré comme un pixel prenant des valeurs binaires 1 et 0

II.9.3 COUCHE D'ASSOCIATION:

La deuxième couche d'association est composée de cellules associatives qui sont connectées de façon aléatoire aux cellules de la rétine, Ces cellules d'associations A_j sont dotées de fonctions d'association h qui peuvent par exemple réaliser des fonctions booléennes ou

bien utiliser des fonctions linéaires. Dans le perceptron, les fonctions h_i , $i=1, 2, \dots, N$ sont déterminées à l'avance et elles restent fixes pendant la phase d'apprentissage. La sortie X_j de la cellule d'association A_j est transmise à la cellule de décision de P_i après avoir été pondérée par le coefficient ajustable W_{ij} ,

II.9.4 COUCHE DE CELLULE DE DECISION:

La cellule de décision est un automate à seuil de fonction de transfert f_i qui délivre la sortie binaire S_i . La combinatoire de toutes les configurations possibles est presque infinie si l'on influe sur les connexions et la nature des fonctions f et h [15][16].

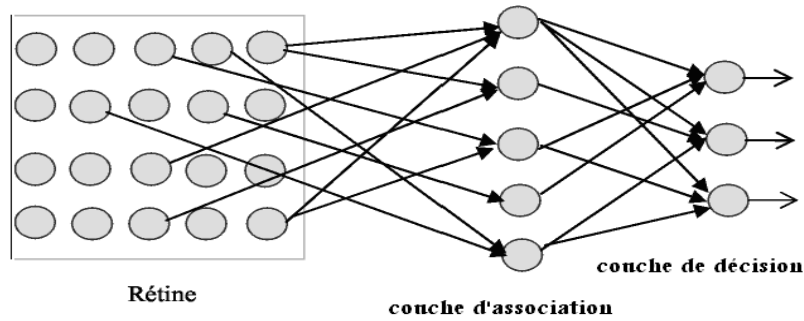
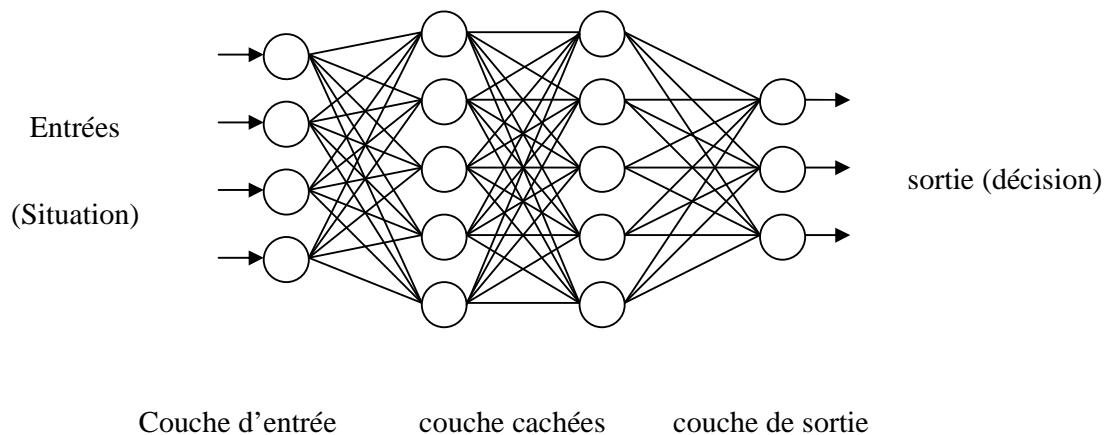


Figure (II.8) Schéma d'un perceptron

II.10 LE PERCEPTRON MULTI COUCHES:

L'idée principale est de grouper des neurones dans une couche. En plaçant ensuite bout à bout plusieurs couches et en connectant complètement les neurones de deux couches adjacentes. Les entrées des neurones de la deuxième couche sont donc en fait les sorties des neurones de la première couche [9][17].



Figure(II.9) Architecture du réseau multicouche

II.11 DOMAINES D'APPLICATION DES RESEUX DE NEURONES:

Les propriétés d'apprentissage et d'approximation des réseaux de neurones, ont permis une importante application de ces derniers dans les différents domaines pratiques, notamment les domaines suivants:

II.11.1 CLASSIFICATION DES SIGNAUX:

Le classement des signaux dans des catégories différentes en fonction des caractéristiques de forme. (Amplitude, fréquences, phase) etc. peut être réalisé aisément par l'utilisation d'un réseau de neurone.

II.11.2 IDENTIFICATION DES PROCESSUS:

Identifier un processus, c'est d'essayer de donner un modèle plus proche ou processus réelle qui permet de reproduire avec la précision voulue, la sortie en fonction des entrées du processus, c'est typiquement un problème d'approximation qui peut être résolu un réseau de neurone.

II.11.3 CONTROLE DE SYSTEME:

Controler un système, c'est donné un ensemble d'entrées adéquates qui permettant d'avoir la sortie désiré (position, vitesse, etc..) et comme étant la fonction liant la sortie du système avec l'ensemble de commande est non linéaire, cette fonction peut être approché avantageusement par réseau de neurone.

II.11.4 MEMOIRE ASSOCIATIVE:

Dans se type de mémoire, l'acier à une donnée se fait par l'association d'une autre donné (mémoire adressable par contenu) cette mémoire peut être réalisée par un modèle de J.Hopflied, dans lequel chaque neurone reçoit et communiqué les informations de et à tous les neurones, la sortie correspondante sera utilisée comme une donné suivante pour le réseau et ainsi de suite.

Le fonctionnement de se type de mémoire est complètement déférent de celui des mémoires classique (RAM et ROM etc...) [9]

II.12 CONCLUSION:

Le présent chapitre à été consacré a la présentation générale dans les réseaux de neurones artificiels, à partir d'un modèle de neurone biologique nous avons fait un modèle celui de RNA (Neurone Formel).

Ces réseaux de neurones permettent de résoudre plusieurs problèmes, les résultats de cette méthode sont meilleurs contrairement aux autres méthodes qui sont limités, parmi les problèmes à résoudre c'est l'évaluation de la stabilité du système électrique, c'est pour cette raison que nous avons utilisé cette méthode, dans le prochain chapitre nous représentons la modélisation du réseau électrique.

CHAPITRE III
MODELISATION DU
RESEAU ELECTRIQUE

III.1 INTRODUCTION:

Le but de ce chapitre, est de modélisé le système d'énergie électrique afin d'évaluer la stabilité transitoire, pour cela on a choisi le modèle de transformation de Parck qui permet le passage du système triphasé vers le système biphasé.

III.2 DEFINITION DE LA MODELISATION:

La modélisation c'est la description mathématique des éléments par des modèles mathématiques (exemple représenté un système par des équations différentielles et algébriques)

III.3 DESCRIPTION ET CONSTITUTION DE LA MACHINE SYNCHRONE:

L'alternateur est une machine synchrone à courant alternatif il transforme de l'énergie mécanique fournie par la turbine en énergie électrique reçue par le réseau. La pulsation " ω " du courant et de la tension induite est proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine.

La machine synchrone se compose d'un induit au stator et d'un inducteur au rotor.

LE STATOR : est un cylindre creux comportons sur sa face intérieure des encoches parallèles a l'axe dans les quelles sont logés les conducteurs des 3 phases (enroulements identiques a, b et c) décalés de 120° ($2\pi/3$ radian). Ces enroulements sont le siège d'une force électromotrice (F.E.M).Crée par la variation de flux dû à la présence d'un champ tournant dans l'entrefer de la machine [18].

LE ROTOR : le rotor comporte un enroulement alimenté en courant continue. Il existe deux types de rotors.

A) ROTOR A PÔLE SAILLANTS:

C'est un électroaimant dont les pôles sont alternativement nord et sud . les enroulements sont alimentés en continu par l'intermédiaire de balais flottants sur deux bagues (visibles en avant du rotor. la partie tournante étant traversée par un flux constant il n'est pas nécessaire (sauf en monophasé) de la feuilletter. pour des raisons économique elle est constituée de tôles épaisses (1,5 à 2,5 mm) découpées puis assemblées.

Les enroulements sont placés autour des noyaux polaires. le nombre de pôles est toujours pair, il varie suivant la machine et son utilisation

B) ROTOR A PÔLES LISSE :

Le rotor est lisse, c'est un cylindre plein dans lequel on a usiné des encoches. Il possède le plus souvent deux pôles et rarement quatre. sa fréquence de rotation est donc ,

3000 Tr/min ou 1500 Tr/min

L'inertie centrifuge devra être compensée par un solide frettage .calculons à titre documentaire la force (centrifuge) qui s'exerce sur un kilogramme de cuivre placé sur le rotor .soient $N=3000$ Tr/min et $R=0,5$ m (1m de diamètre).

La relation reliant la vitesse de rotation " Ω " à la pulsation " ω " de la F.E.M est donnée par :

$$\Omega = \frac{\omega}{P} \quad (\text{III.1})$$

Avec

P : le nombre de pair de pôle.

$f = N.P/60$ (fréquence en Hz).

N : nombre de tours par minutes (tr/min).

III.4 HYPOTHESES DE LA MODELISATION:

Les hypothèses de la modélisation utilisées pour notre système sont citées comme suit:

- l'entrefer est uniforme
- la saturation du circuit magnétique, l'hystérésis, courants de Foucault sont négligeables
- les résistances des enroulements ne varient pas avec température
- l'effet de peau est négligeable
- le bobinage est reparti de manière à donner un F.E.M sinusoïdale s'il est alimenté par des courants sinusoïdaux.

III.5 REPRESENTATION DES MACHINES SYNCHRONE:

La description mathématique de la stabilité des machines spécialement le régime transitoire est très complexe pour cette raison il faut faire appelle à des méthodes simplifier, plusieurs transformations peuvent être appelées afin de représenter la machine synchrone, ces transformations concernent généralement les tensions les courants et les flux.

Les différentes transformations qui peuvent être utilisées sont :

1. Système de Concordia (α, β, o) représente la transformation d'un système de courant triphasé (i_a, i_b, i_c) porté par trois bobines identiques de N spires, par un système diphasé (i_α, i_β, i_o) porté par deux bobines d'axes perpendiculaires ayant " N " spires [19]

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_o \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

$$N'/N'' = \sqrt{2/3} \quad \text{et} \quad i_o = K(i_a + i_b + i_c)$$

avec $K = 1/\sqrt{3}$

Système de $K_U(K_1, K_2, o)$ ce système est adopté pour les machines synchrones la transformation est données par: [19]

$$\begin{bmatrix} i_{K_1} \\ i_{K_2} \\ i_o \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} e^{r\theta} & a^2 e^{r\theta} & a e^{r\theta} \\ e^{-r\theta} & a e^{r\theta} & a^2 e^{r\theta} \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.3})$$

avec $a = e^{-2\lambda/3} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$ [20]. (III.4)

2- Système de Park (d, q, o) le passage du système de Concordia a celui de Park correspond à une rotation θ qui permet de rendre solidaire du rotor le bobinage diphasée équivalent à l'enroulement statorique [20].

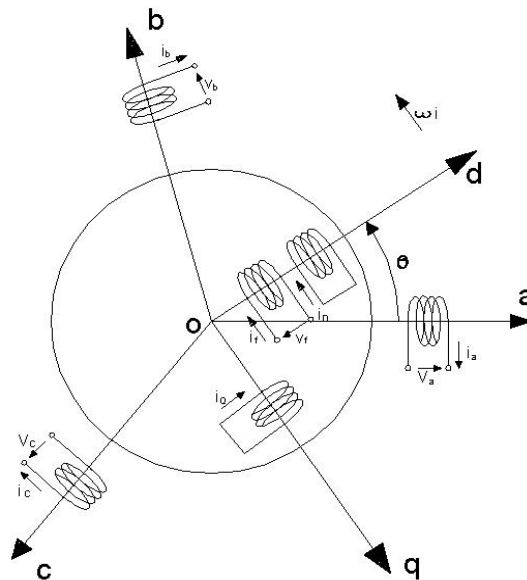
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta-2\pi/3) & \cos(\theta+2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta-2\pi/3) & \sin(\theta+2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.5})$$

C'est le système qu'on l'utilise pour le développement des équations (flux, tension et courant).

III.6 PRINCIPE DE LA TRANSFORMATION DE PARK.:

La machine synchrone triphasé comporte d'une part, au stator trois enroulements de phase notés (a, b et c), d'autre part au rotor un enroulement d'excitation noté f dont l'axe magnétique est l'axe direct noté d. Elle comporte d'amortisseurs forment des circuits symétriques par rapport au deux axes.

Ces derniers peuvent être représentés avec une bonne approximation par deux circuits équivalents notés D et Q suivant les axes direct et quadratique. La figure (III.1) donne une représentation schématique de la machine [21] [22] [23].



Figure(III.1) Représentation schématique de la machine synchrone.

Pour chaque enroulement de la machine, la tension instantanée est donné par :

$$V_i = \pm \sum_{n=1}^n R_i I_i \pm \sum_{i=1}^n \Phi_i \quad (\text{III.6})$$

R_i : Résistance de l'enroulement.

I_i : Le courant dans l'enroulement.

Φ : Le flux de l'enroulement.

V : Tension aux bornes de l'enroulement.

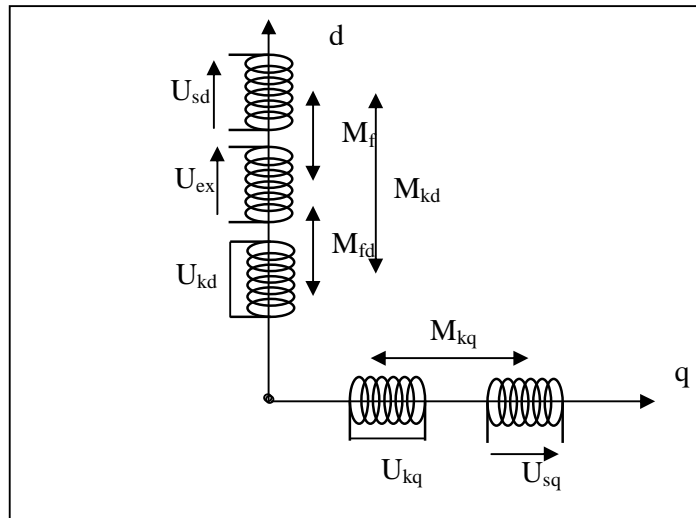
Σ : indique la somme on respecte les signes.

La figure (III.1) représente les 3 phases avec leurs courants I_a , I_b , I_c et leurs tensions V_a , V_b et V_c . I_f , V_f : Représentent le courant et la tension continue d'excitation.

La transformation à deux axes ou transformation de Park, pour une machine non saturée permet de représenter chaque machine, aussi bien à pôles lisses qu'à pôles saillants, par une machine équivalente bipolaire.

Les trois enroulements de phases du stator, immobiles dans l'espace sont remplacés par:

- 1- Deux enroulements fictifs tournants à la même vitesse, que le rotor bipolaire de la machine équivalente et ayant pour les axes magnétique l'axe direct (d) polaire et l'axe en quadrature (q) inter polaire de celui-ci.
- 2- Un troisième enroulement de nature homo polaire notée O, qui n'interviendra pas dans l'équation de notre modèle (cas du système équilibré) la figure(III.2) montre le modèle biphasé générale de la machine synchrone.



Figure(III.2) Modèle biphasé générale de la machine synchrone.

La transformation est donné par :

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.7})$$

Les projections Ia, Ib, Ic sur les axes d et q donne:

$$I_q = \sqrt{2}/3 [I_a \sin(\theta) + I_b \sin(\theta - 2\pi/3) + I_c \sin(\theta + 2\pi/3)] \quad (\text{III.8})$$

$$I_d = \sqrt{2}/3 [I_a \cos(\theta) + I_b \cos(\theta - 2\pi/3) + I_c \cos(\theta + 2\pi/3)] \quad (\text{III.9})$$

Supposons l'axe (a) comme référence, $\theta = (\text{a}^\wedge \text{d})$ l'axe q est en arrière de 90° par rapport à l'axe d. Nous définissons I_{odq} comme suit:

$$I_{odq} = P \cdot I_{abc} \quad (\text{III.10})$$

I_{odq} : le vecteur de courant dans le référentiel (o,d,q).

O : axe stationnaire (homo polaire).

D : axe direct (polaire).

Q : axe quadrature (interpolaire).

L'équation de la tension et celle du flux sont similaires à celle du courant :

$$V_{odq} = P V_{abc} \quad (\text{III.11})$$

$$\Phi_{odq} = P \Phi_{abc} \quad (\text{III.12})$$

Où les différents vecteurs sont a trois démentions, correspondre a un système triphasé

$$I_{abc} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} ; V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} ; \Phi_{abc} = \begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.13})$$

et

$$I_{odq} = \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix} ; V_{odq} = \begin{bmatrix} V_o \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix} ; \Phi_{odq} = \begin{bmatrix} \Phi_o \\ \Phi_d \\ \Phi_q \end{bmatrix} \quad (\text{III.14})$$

Avec P la transformation de Park, définie par l'équation (III.6)

$$P = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (\text{III.15})$$

III.7- EQUATIONS MAGNETIQUES ET ELECTRIQUES:

III.7.1 EQUATIONS DES FLUX:

Dans le système triphasé, le flux est proportionnel au courant, le vecteur de proportionnalités est appelé inductance.

$$[\phi] = [L][I] \quad (\text{III.16})$$

La figure (III.1) consiste l'étude de six bobines couplées mutuellement, c'est-à-dire les trois phases a, b et c l'enroulement d'excitation F et les deux enroulements amortisseurs D et Q.

Nous écrivons l'équation des six flux par rapport au référentiel (abc) les lettres minuscule correspondent au rotor, et les majuscules au stator.

$$\begin{pmatrix} \phi_a \\ \phi_b \\ \phi_c \\ \phi_F \\ \phi_D \\ \phi_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} & L_{aF} & L_{aD} & L_{aQ} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} & L_{bF} & L_{bD} & L_{bQ} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} & L_{cF} & L_{cD} & L_{cQ} \\ L_{Fa} & L_{Fb} & L_{Fc} & L_{FF} & L_{FD} & L_{FQ} \\ L_{Da} & L_{Db} & L_{Dc} & L_{DF} & L_{DD} & L_{DQ} \\ L_{Qa} & L_{Qb} & L_{Qc} & L_{QF} & L_{QD} & L_{QQ} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_F \\ I_D \\ I_Q \end{pmatrix} \quad (\text{III.17})$$

Avec les éléments diagonaux représentent les inductances propres, les autres représentent, les inductances mutuelles [4]

III.7.2 TRANSFORMATION DES INDUCTANCES:

On constate que les expressions des inductances sont en fonction de θ , c'est-à-dire en fonction du temps, ce qui donne une complication dans l'analyse mathématique des équations, pour cela en fait appel à la transformée de Park. Afin d'éliminer le terme θ .

$$\begin{pmatrix} \phi_0 \\ \phi_d \\ \phi_q \\ \phi_F \\ \phi_D \\ \phi_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_d & 0 & KM_F & KM_D & 0 \\ 0 & 0 & L_Q & 0 & 0 & KM_Q \\ 0 & KM_F & 0 & L_F & M_R & 0 \\ 0 & KM_D & 0 & M_R & L_D & 0 \\ 0 & 0 & KM_Q & 0 & 0 & L_Q \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_q \\ I_F \\ I_D \\ I_Q \end{pmatrix} \quad (\text{III.18})$$

Nous rappelons que $K = \sqrt{2/3}$

$$L_d = L_s + M_s + \left(\frac{3}{2}\right)L_m \quad (\text{III.19})$$

$$L_q = L_s + M_s - \left(\frac{3}{2}\right)L_m \quad (\text{III.20})$$

$$L_0 = L_s + 2M_s \quad (\text{III.21})$$

D'où les différents éléments de la matrice L sont constants, indépendants de θ , ce qui simplifie notablement le traitement des équations électromécanique de la matrice.

III.7.3 EQUATIONS ELECTRIQUES:

- EQUATIONS DES TENSIONS :

On peut écrire:

$$V = -R_i I - \frac{d\phi}{dt} + V_n \quad (\text{III.22})$$

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_F \\ V_D \\ V_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_F & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_Q \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_F \\ I_D \\ I_Q \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \phi_a \\ \phi_b \\ \phi_c \\ \phi_F \\ \phi_D \\ \phi_Q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_m \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\text{III.23})$$

On a trois enroulements de phase identiques: $R_a = R_b = R_c = R$

On peut formuler les équations des différentes tensions en supposant que $(R_n = 0)$ et $(L_n = 0)$

Pour le stator:

$$V_a = -Ri_a - \frac{d\phi_a}{dt} \tag{III.24}$$

$$V_b = -Ri_b - \frac{d\phi_b}{dt} \tag{III.25}$$

$$V_c = -Ri_c - \frac{d\phi_c}{dt} \tag{III.26}$$

Pour le rotor:

$$V_F = R_F i_F - \frac{d\phi_F}{dt} \tag{III.27}$$

$$0 = R_d i_d - \frac{d\phi_d}{dt} \tag{IV.28}$$

$$0 = R_c i_q - \frac{d\phi_q}{dt} \tag{III.29}$$

Où:

R_a, R_b, R_c : Résistances des phases a, b, c respectivement.

R_f, R_d, R_q : Résistance de l'inducteur, de l'amortissement d'axe d, de l'amortissement d'axe q.

$\phi_i (i = a, b, c, f, d, q)$: Flux d'enroulement traversant l'enroulement i.

La nouvelle équation des tensions par rapport au référentiel (o,d,q) est la suivante:

$$\begin{bmatrix} V_c \\ V_d \\ V_f \\ V_D \\ V_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + R_{\sigma a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 & 0 & \omega L_q & \omega KM_F \\ 0 & 0 & R_F & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_D & 0 & 0 \\ 0 & -\omega L_n & -\omega KM_F & -\omega LM_n & R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_f \\ I_D \\ I_n \\ I_Q \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} I_o + I_{\sigma a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_\sigma & KM_F & KM_D & 0 & 0 \\ 0 & KM_F & L_F & M_R & 0 & 0 \\ 0 & KM_D & M_R & L_D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & KM_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & KM_D & L_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_f \\ I_D \\ I_q \\ I_Q \end{bmatrix} \tag{III.30}$$

Avec:

$$K = \sqrt{\frac{3}{2}} \quad (\text{III.31})$$

Sur l'axe d:

$$V_d = R i_d - \frac{d\phi_d}{dt} - \omega \phi_q \quad (\text{III.32})$$

$$V_f = -R_f i_f - \frac{d\phi_f}{dt} \quad (\text{III.33})$$

$$0 = R_D i_D - \frac{d\phi_D}{dt} \quad (\text{III.34})$$

Sur l'axe q:

$$V_q = R i_q - \frac{d\phi_q}{dt} + \omega \phi_d \quad (\text{III.35})$$

$$0 = -R i_Q - \frac{d\phi_Q}{dt} \quad (\text{III.36})$$

Dans l'étude des machines synchrones dans un modèle de réseau d'énergie électrique, il est préférable de travailler avec des grandeurs normalisées par rapport aux grandeurs nominales. Ces grandeurs sont exprimées en p.u (par unité)

Puisque le système est équilibré, l'équation devient:

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_d \\ V_q \\ V_f \\ V_D \\ V_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 & \omega L_q & \omega K M_f \\ 0 & R_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R & 0 \\ -\omega L_n & -\omega K M_f & -\omega K M_n & R_D & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ K M_f & L_f & M_R & 0 & 0 \\ K M_D & M_R & L_D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & K M_g \\ 0 & 0 & 0 & K M_g & L_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_a \\ i_q \\ i_Q \end{bmatrix} \quad (\text{III.37})$$

III.7.4 COUPLE ELECTROMAGNETIQUE:

Le couple électromagnétique est donnée par:

$$T_e = \frac{3}{2} P_e (L_d \cdot i_d \cdot i_q + M_f \cdot i_f \cdot i_q + M_{kd} \cdot i_{kd} \cdot i_q - L_q \cdot i_q \cdot i_d - M_{kq} \cdot i_{kq} \cdot i_d) \quad (\text{III.38})$$

III.7.5 EQUATIONS MECANIQUES:

Le comportement mécanique de la machine synchrone est d'écrit par les deux équations:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (\text{III.39})$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_b \quad (\text{III.40})$$

III.8 DIFFERENTS MODELES SIMPLIFIES DE LA MACHINE SYNCHRONE:

Plusieurs modèles ont été développés à partir du modèle de Park pour l'étude du comportement dynamique des (SEE) [2].

Modèle 1:

Modèle classique, où la F.E.M est constant et le système est considère sans régulation.

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi f_0 \quad (\text{III.41})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{h} (P_m - P_e) \quad (\text{III.42})$$

Tel que f_0 fréquence en régime permanent.

Modèle 2:

Modèle avec présence de la composante quadrature de la F.E.M transitoire \hat{E} :

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi f_0 \quad (\text{III.43})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (\text{III.44})$$

$$\frac{dE_q}{dt} - \dot{E}_q = \frac{1}{T_{d0}} [E_{FD} - \dot{E}_q + (x_d - \dot{x}_d) i_d] \quad (\text{III.45})$$

Modèle 3:

Modèle avec présence des composantes directes et quadrature de la F.E.M transitoire E'' :

Ce modèle est souvent le plus utilisé, appelé modèle de 4ème ordre.

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi f_0 \quad (\text{III.46})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (\text{III.47})$$

$$\frac{dE_q}{dt} = \dot{E}_q = \frac{1}{T_{d0}} [E_{FD} - \dot{E}_q + (x_d - \dot{x}_d) i_d] \quad (\text{III.48})$$

$$\frac{dE_d}{dt} = \dot{E}_d = \frac{1}{T_{q0}} [-\dot{E}_d - (x_q - \dot{x}_q) i_q] \quad (\text{III.49})$$

Modèle 4:

Modèle avec présence de la composante quadrature de la F.E.M subtransitoire E

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi f_0 \quad (\text{III.50})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (\text{III.51})$$

$$\frac{dE_q}{dt} = \dot{E}_q = \frac{1}{T_{d0}} [E_{FD} - \dot{E}_q + (x_d - \dot{x}_d) i_d] \quad (\text{III.52})$$

$$\frac{dE_d}{dt} = \dot{E}_d = \frac{1}{T_{q0}} [-\dot{E}_d - (x_q - \dot{x}_q) i_q] \quad (\text{III.53})$$

$$\frac{dE''_q}{dt} = \frac{1}{T'_{d0}} [E'_q - E''_q + (x'_d - x''_d)i_d] \tag{III.54}$$

T'_{q0}, T'_{d0} : Constantes du temps de l'amortisseur selon l'axe q et d .

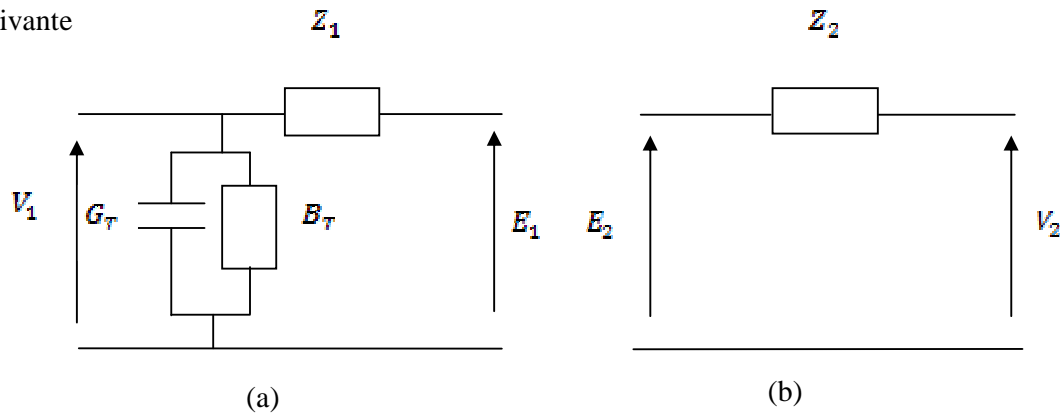
E'_d, E'_q : Force électromotrices transitoires suivant les axes q et d.

E_{ex} : Tension d'excitation.

III.9 MODELISATION DES TRANSFORMATEURS:

Les transformateurs sont des machines électromagnétiques, Dans le rôle et la modification de la tension est la conservation de la puissance électrique aux différentes parties du réseau [1].

Le schéma équivalent monophasé d'un transformateur triphasé est montré dans la figure suivante



Figure(III.3) Le schéma équivalent monophasé d'un transformateur triphasé.

Ou:

$Z_1 = R_1 + jX_1$: est l'impédance de l'enroulement primaire.

$Z_2 = R_2 + jX_2$: est l'impédance de l'enroulement secondaire.

$Y_T = G_T + jB_T$: est l'admittance du transformateur (représentant les pertes fer).

I_{\varnothing} : courant à vide.

En ramenant l'impédance Z_1 au secondaire, on aura le schéma équivalent de la figure (III.3) b

Ou:

Z_{im} : est l'impédance du transformateur ramenée au secondaire..

$$Z_{im} = Z_2 + Z_1 / a^2 \tag{III.55}$$

a: le rapport de transformation.

$$a = -\frac{E_1}{E_2} = \tag{III.56}$$

E_1 et I_1 : tension et courant au jeu de barres i dans l'enroulement secondaire du transformateur.

E_1 et E_2 : la f.e.m induite au primaire et au secondaire du transformateur.

III.10 MODELISATION DES LIGNES DE TRANSPORT:

Les lignes de transport ont pour rôle d'acheminer l'énergie électrique des centrales de production vers les charges. Les lignes sont représentées par un quadripôle symétrique représenté par la figure suivante :

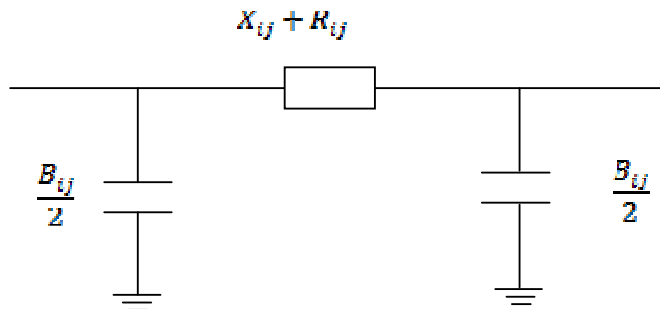


Figure (III.4) Representation unifilaire des lignes de transport

R_{ij} : La résistance de la ligne i-j

X_{ij} : La réactance de la ligne i-j.

B_{ij} : la susceptance latérale..

$$Y_{ij} = 1 / (R_{ij} + jX_{ij})$$

Y_{ij} : L'admittance série de la ligne (i-j)

On définit $Y(n, n)$, la matrice d'admittance nodale du réseau (sans tenir compte des générateurs, ni des charges)

$$Y_{ij} = -Y_{ij} \text{ Si } i \neq j \tag{III.57}$$

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^n (y_{ik} + b_{ik}) \tag{III.58}$$

n: nombre du nœuds.

III.11 MODELISATION DES CHARGES:

On représente les charges par des admittances constantes du type:

$$Y_i = \frac{(P_i + jQ_i)}{v_i^2} \quad (\text{III.59})$$

Ou:

$I=1, 2, 3 \dots nch.$

V_i : module de la tension aux nœuds de charge i .

P_i : puissance active consommé par la charge i .

Q_i : puissance réactive consommé par la charge i

Z : impédance.

nch : nombre de charge P, Q, V

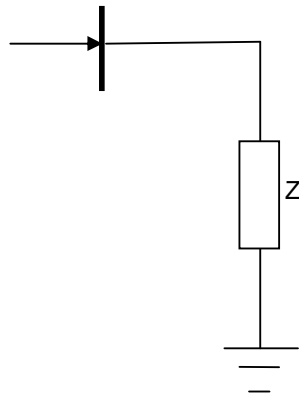


Fig. (III.5) Représentation d'une charge électrique [1].

III.12 CONCLUSION:

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation du réseau électrique et nous avons donné le comportement des systèmes d'énergie électrique à partir d'ensemble d'équations différentielles et algébriques selon l'hypothèse adopté, et dans le prochain chapitre nous présenterons les résultats de simulation.

CHAPITRE IV
SIMULATION ET
INTERPRETATION DES
RESULTATS

IV.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de la simulation en utilisant le logiciel MATLAB version 6.5 l'étude concerne :

- Machine synchrone a vide.
 - Machine synchrone en charge.
 - Analyse de la stabilité.
 - Analyse de la stabilité par les réseaux de neurones.
- Pour cela nous avons développé un programme sous simulink,

IV.2 SIMULATION DE LA MACHINE SYNCHRONE A VIDE :

Le schéma bloc modélisant la machine synchrone à vide est donné par la figure(IV.1) :

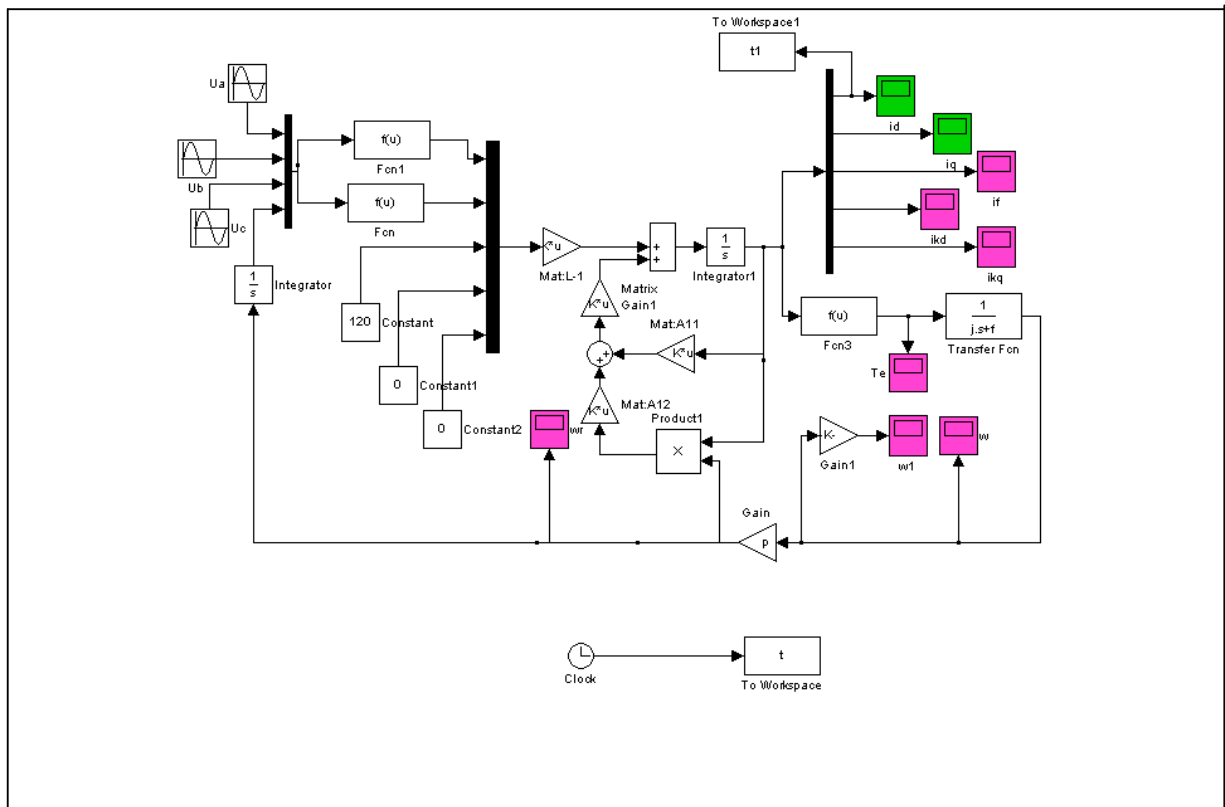
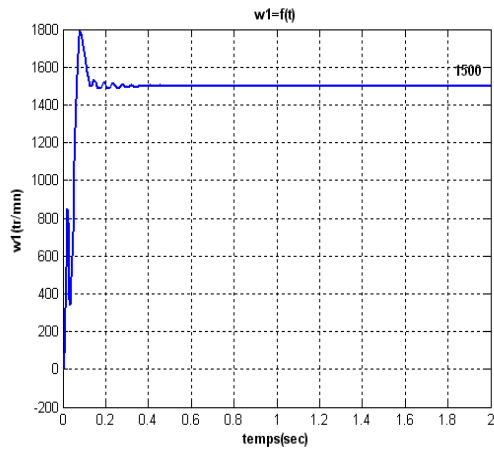
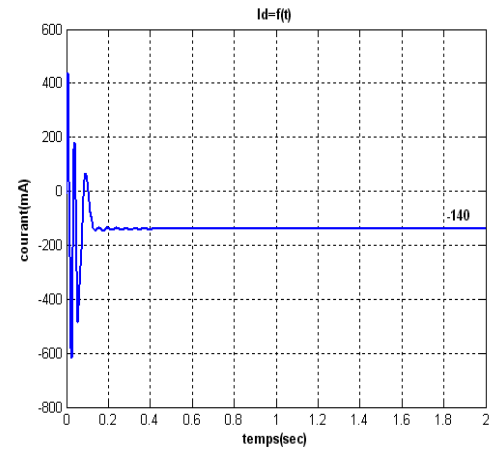


Figure (IV.1) schéma bloc de la machine synchrone a vide

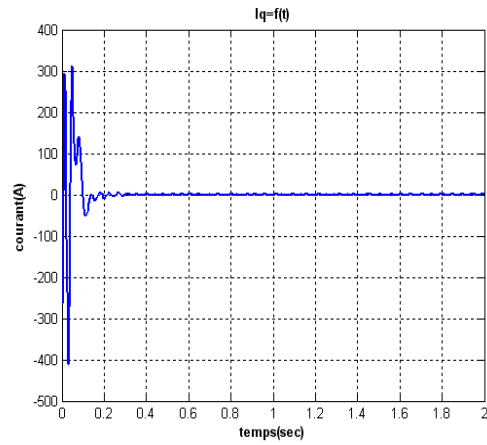
Les résultats obtenues sont montrés sur les figures suivantes :



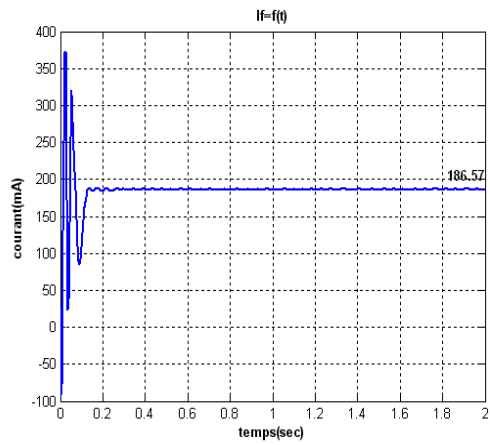
-1-



-2-



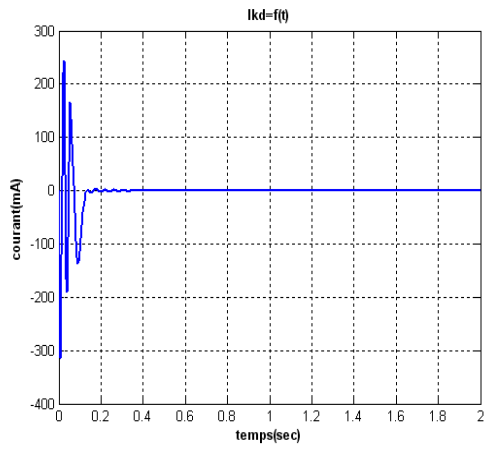
-3-



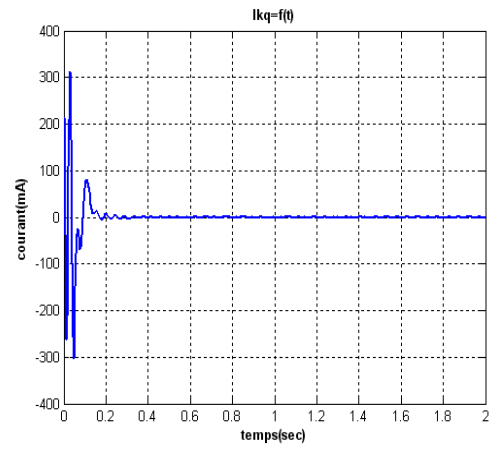
-4-

Figure(IV.2) simulation de la machine synchrone a vide

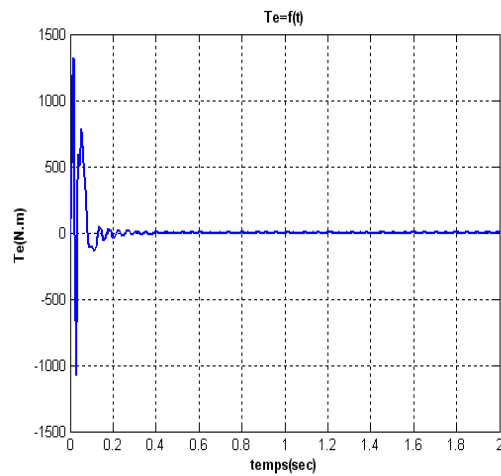
- 1- vitesse de rotation $\omega_1(t)$.
- 2- courant direct $I_d(t)$.
- 3- courant en quadrature $I_q(t)$.
- 4- courant d'excitation $I_f(t)$.



-5-



-6-



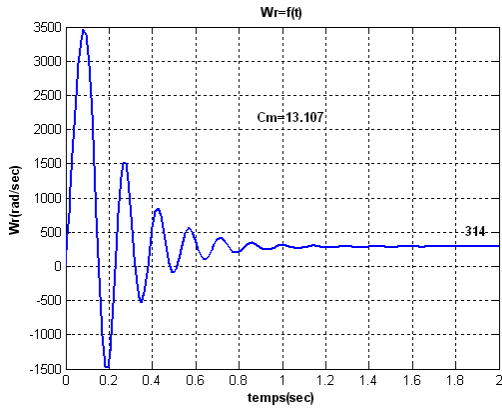
-7-

Figure (IV.3) simulation de machine synchrone à vide

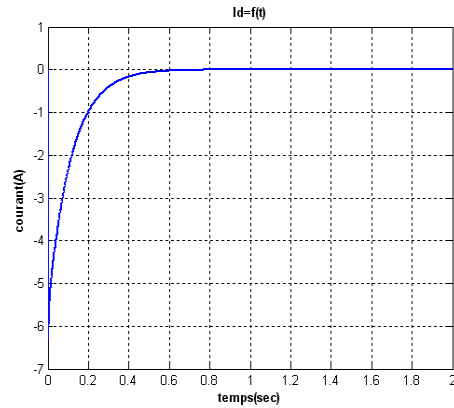
- 5- courant d'amortissement direct $I_{kd}(t)$.
- 6- courant d'amortissement en quadrature $I_{kq}(t)$.
- 7- couple électrique T_e .

IV.3.1 RESULTATS DE SIMULATION :

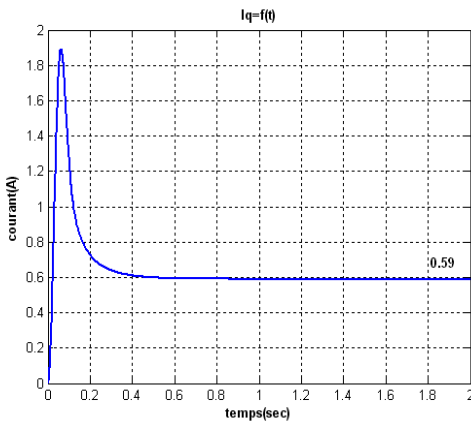
les résultats de la simulation de la machine synchrone en charge sont donnés par les figures suivantes :



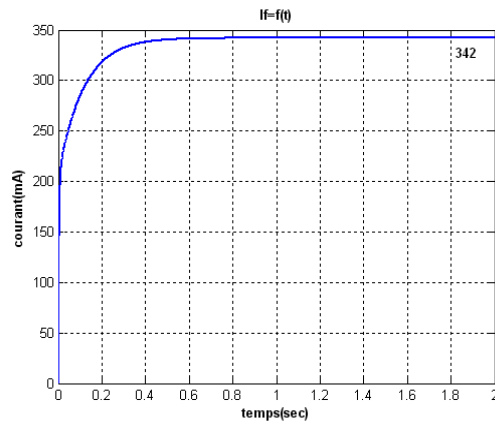
-8-



-9-



-10-



-11-

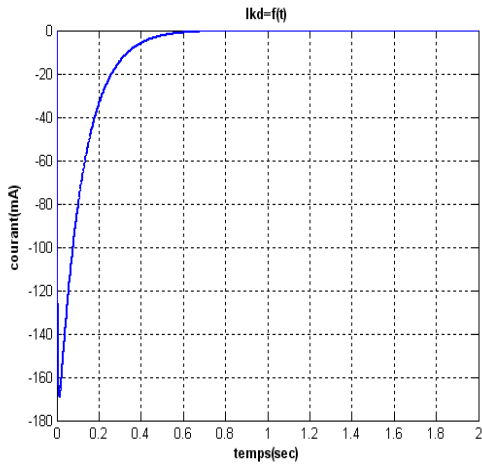
-8- vitesse de rotation $\omega_1(t)$.

-9- courant direct $I_d(t)$.

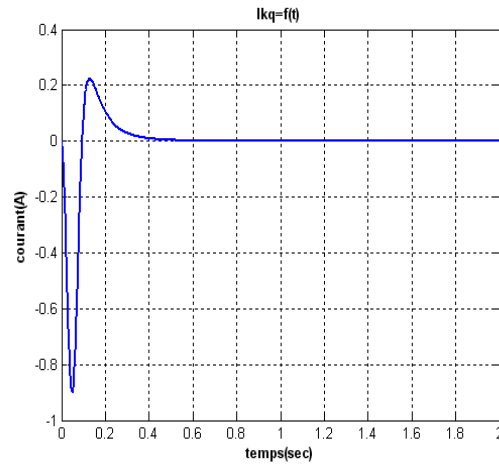
-10- courant en quadrature $I_q(t)$.

-11- courant d'excitation $I_f(t)$.

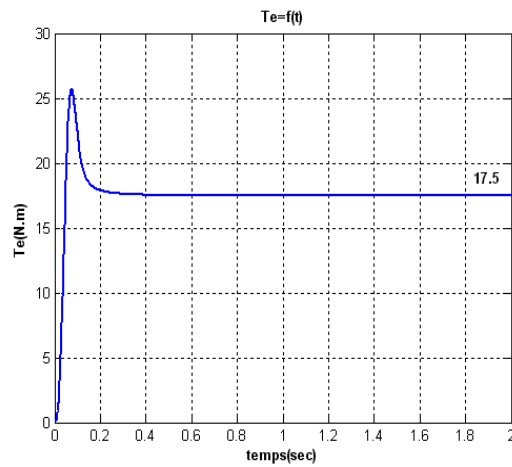
Figure (IV.5) simulation de machine synchrone en charge



-12-



-13-



-14-

-12- courant d'amortissement direct $I_{kd}(t)$

-13- courant d'amortissement en quadrature $I_{kq}(t)$.

-14- couple électrique T_e .

Figure (IV.6) simulation de machine synchrone en charge

IV.3.2 ANALYSE ET NTERPRETATION DES RESULTATS DE SIMULATION DE LA MACHINE SYNCHRONNE EN CHARGE :

Les résultats de la simulation de la machine synchrone en charge ont montrés que les courants statoriques et le courant d'excitation prend des valeurs constants et la variation de la vitesse de rotation varie avec la variation du couple mécanique.

IV.4 LE SCHEMA BLOC D'ANALYSE DE LA STABILITE :

Le schéma bloc permettant l'analyse de la stabilité est donné par la figure (IV.7) suivante :

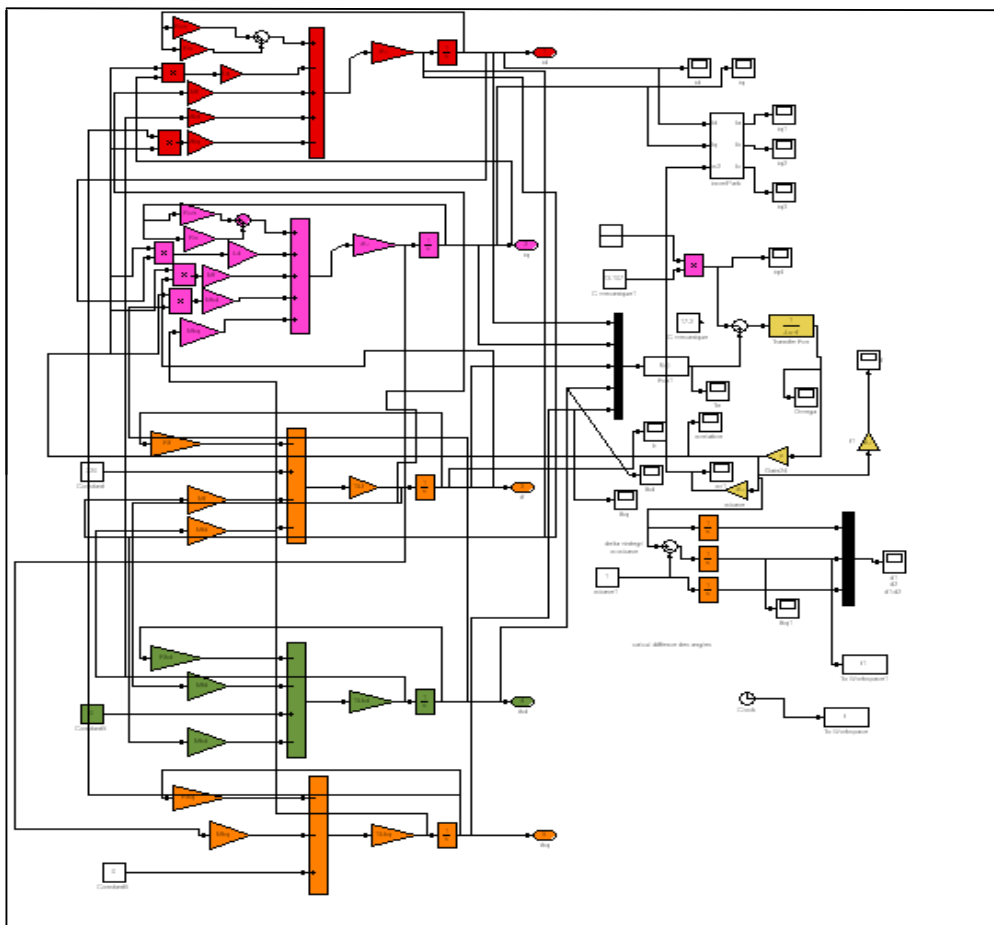


Figure (IV.7) schéma block de la machine synchrone

IV.4.1 ANALYSE DE LA STABILITE PAR LE CRITERE DES ANGLE ROTORIQUES:

En va procéder l'analyse de la stabilité par la méthode des angles rotorique.

En fait varie le couple mécanique dédite par la turbine et mesure la vitesse ou la fréquence du réseau les résultats de simulation sont données par le tableau suivant et constate que le système est stable ($f=50$ si $C_m=13,107$)

La fréquence augmente si le couple augmente.

La fréquence diminuée si le couple diminué.

Cm(N.m)	11	11.5	12	12.5	13	13.107	13.25	14.5	15
ω(rad/sec)	263.745	275.73	287.5	300	311.7	314	317.9	350	360
F(Hz)	42	43.88	45.8	47.7	49.6	50	50.56	55.33	57.25

Tableau(IV.1) Les valeurs de C_m, ω et f

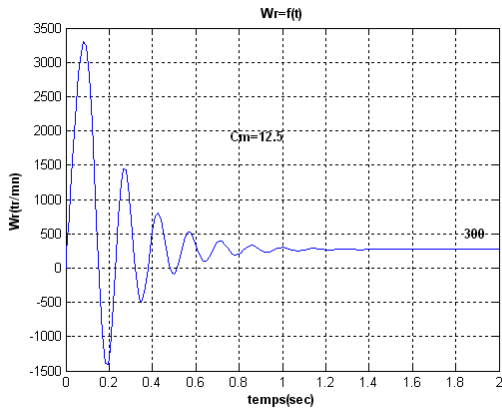
IV.4.1.1 CRITERE DES ANGLES ROTORIQUES :

Le système est considère stable si la différence $\delta_1 - \delta_2$ est oscillatoire amortie autour d'un point d'équilibre si non le système est instable.

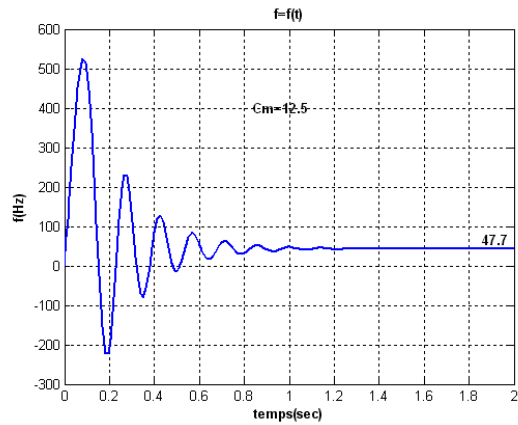
Pour cela on trace $\delta_1 - \delta_2$ et on remarque quand est ce elle est oscillatoire pour différentes valeur de couple.

Dans notre cas en a pris le générateur de référence G_1 fonctionne avec une fréquence constant $f=50$ Hz, et on compare $\delta_2 - \delta_1$ où δ_2 C'est l'angle rotorique de la machine à étudier.

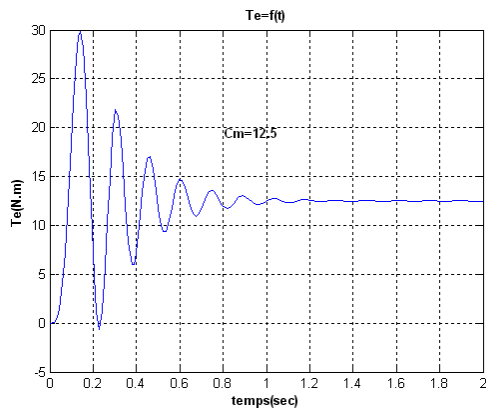
Les figures suivantes montres clairement que l'allure $\delta_1 - \delta_2$ oscillatoire amortie est présenté par la figure 22 dont le couple =13.107 N.m et la fréquence = 50 Hz



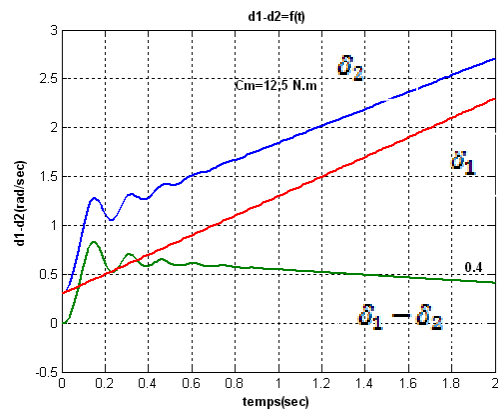
-15-



-16-



-17-



-18-

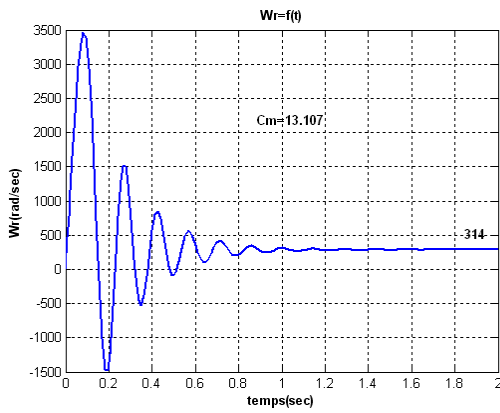
Figure(IV.8) Simulation de la machine synchrone

-15- vitesse de rotation $\omega r(t)$.

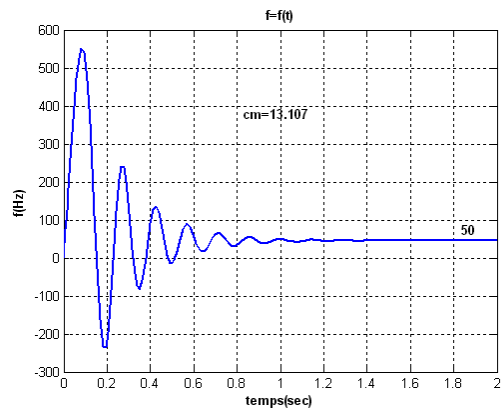
-16- la frequence $f(t)$.

-17- couple électrique $Te(t)$.

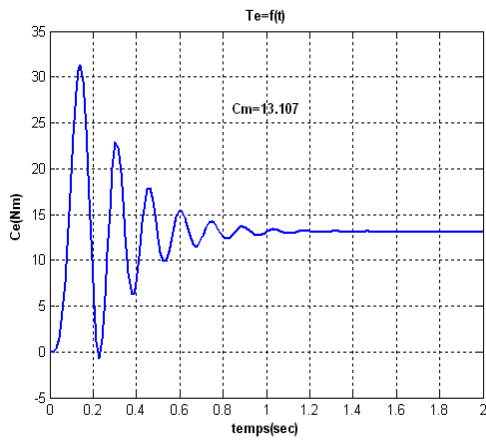
-18- Angles rotoriques relatifs $(\delta_1 - \delta_2)$



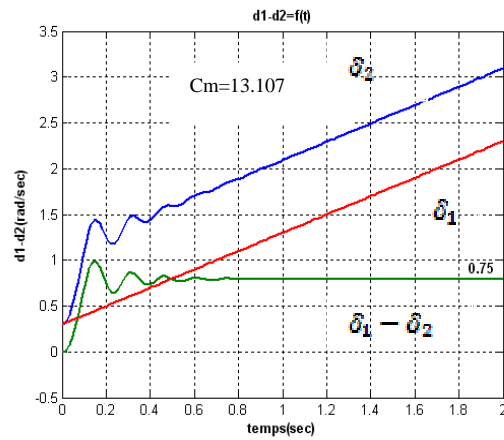
-19-



-20-



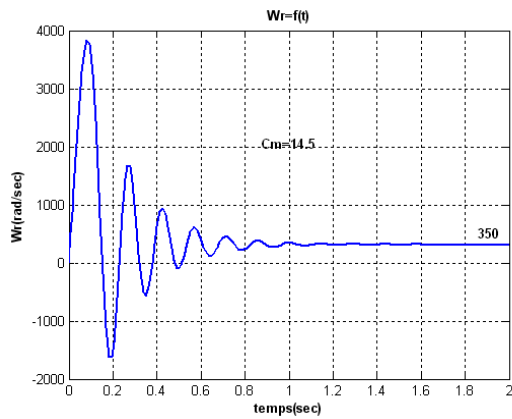
-21-



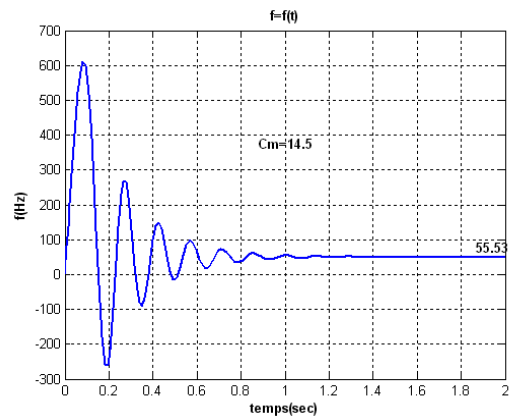
-22-

Figure(IV.9) Simulation de la machine synchrone

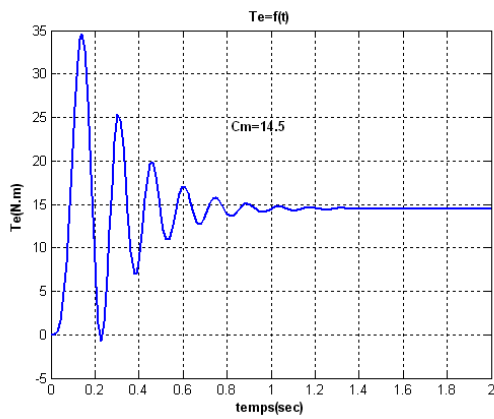
- 19- vitesse de rotation $\omega_r(t)$.
- 20- la fréquence $f(t)$.
- 21- couple électrique $T_e(t)$. $(\delta_1 - \delta_2)$
- 22- angles rotoriques relatifs



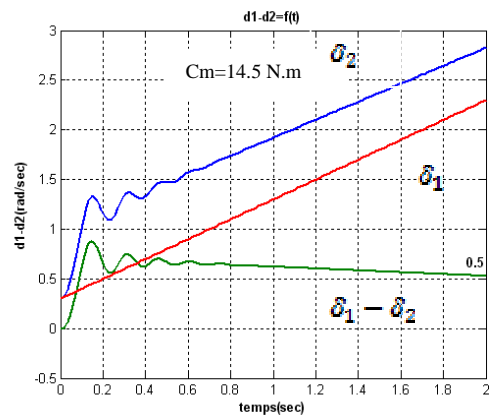
-23-



-24-



-25-



-26-

Figure(IV.10) simulation d'analyse de la stabilité de la machine synchrone.

-23- vitesse de rotation $\omega r(t)$.

-24-la frequence $f(t)$.

-25-couple électrique $T_e(t)$.

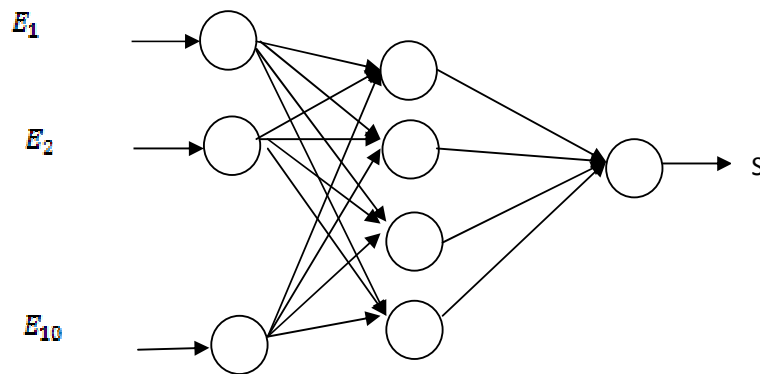
-26-angles rotoriques relatifs $(\delta_1 - \delta_2)$

IV.4.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DE SIMULATION DE LA MS EN REGIME STABLE :

Les résultats de la simulation de la machine synchrone en régime stable ont montré que : l'augmentation de la fréquence est proportionnelle au couple mécanique. La fréquence atteint sa valeur nominale si le couple mécanique = 13.107 N.m le système est stable au-dessus ou au-dessous de cette valeur le système devient instable.

IV.5 ANALYSE DE LA STABILITE PAR LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS :

Nous avons utilisé un réseau de neurone statique, dont les entrées sont le couple et la sortie est la fréquence montrée par la figure (IV.11) suivante :



Figure(IV.11) Réseau de neurones statique

Il y a quinze neurones avec une seule couche d'entrée contient dix neurones et une couche cachée contient quatre neurones et une seule à la sortie.

Les fonctions d'activation utilisées sont : ('tansig', 'purelin', 'purelin') et l'algorithme utilisé : algorithme d'apprentissage supervisé.

Dans ce type de réseau, on présente des entrées et au même temps des sorties désirées correspondantes, calculées par le programme de simulation.

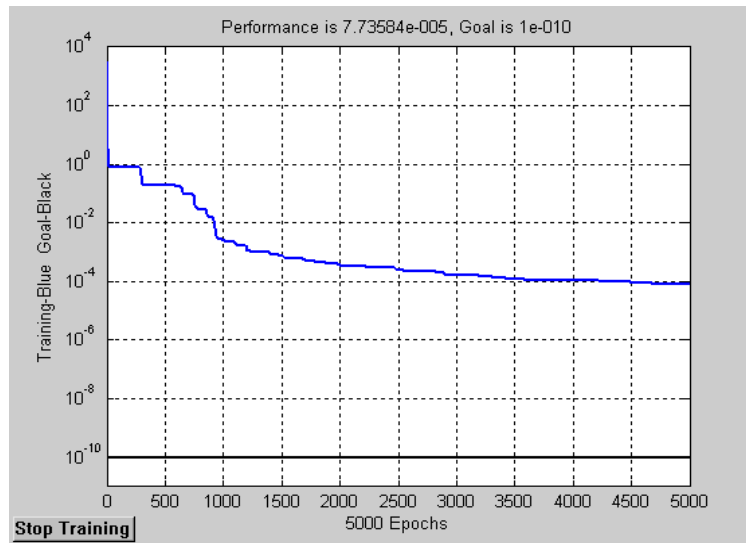
Pour cela nous avons utilisé l'instruction neuronale

Cette méthode est utilisée pour améliorer la stabilité de système électrique et l’algorithme d’apprentissages est les suivants :

Couple (entrée)	13	13.107	13.25	13.50	14	14.5	15	15.5	16
S1 (f) désiré	49.6000	50.0000	50.6000	51.5000	53.4000	55.3300	57.2500	59.1500	61.0000
S1 (f) neuronale	49.6001	50.0000	50.6000	51.5000	53.3999	55.3360	57.2323	59.1677	60.9940

Tableau(IV.2) Les Données de RNA utilisé

Le graphe d’apprentissage est donne par la figure suivante :



Figure(IV.12)

IV.6 COMPARAISANT DES RESULTATS :

On observe a partir des résultats du tableau (IV.2) que les sorties neuronale sont plus proche que les sorties réelles.

IV.7 CONCLUSION :

Au moment d'entamé ce chapitre, Nous avons exposé une méthode d'analyse de la stabilité transitoire par les réseaux de neurones artificiels elle consiste à combiner des données calculées par d'autre méthodes dans des algorithmes d'apprentissage.

Les résultats obtenus par les RNA ont montré leurs efficacités pour l'analyse de la stabilité.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'énergie électrique joue un rôle très important dans le développement et la civilisation d'un pays, elle est produite dans les centrales électriques et transmise au consommateur via des systèmes de transport et de distribution. L'équilibre entre la production et la consommation de l'électricité doit être toujours préservé.

Cependant, le système électrique n'est pas à l'abri des perturbations pouvant entraîner de graves dégâts sur ces constituants, autrement dit les alternateurs et les lignes de transport. Les perturbations les plus dangereuses sont les défauts court-circuit ces perturbations affectent les fonctionnements normaux du système électroénergétique. L'équilibre production consommation l'énergie électrique, est par conséquent, la continuité de service ne sont alors plus assurés.

La stabilité transitoire traite des effets de perturbation brutale de forte amplitude et de courte durée, va influencer directement sur la fiabilité et la continuité de service, le problème de la stabilité transitoire des systèmes électriques a fait l'objet de nombreuses études plusieurs méthodes d'analyse sont utilisées.

Notre travail a montré :

- La méthode des réseaux de neurones permet d'obtenir de bons résultats.
- Malgré les difficultés rencontrées et notamment dans l'apprentissage, on peut dire que la méthode des réseaux de neurones est efficace et puissante pour l'analyse de la stabilité transitoire SEE, néanmoins les vecteurs d'apprentissage doivent être déterminés par d'autres méthodes.

Nous souhaitons que le travail présenté dans ce mémoire se complète en tenant compte :

- L'hypothèse adoptée
- Etude des cas de court-circuit.
- Etude d'un système multimachines.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Messalti « évaluation de la stabilité transitoire des SEE par des réseaux de neurone » mémoire de magistère, département d'électrotechnique, UFAS, 2004.
- [2]. H.Boumezber et S.Bbabesse « localisation des défaut pour le maintien de la stabilité transitoire des systèmes électrique par réseaux de neurones » Projet de fin d'étude, département , d'électrotechnique, UFAS 2003.
- [3] Messaoud Boubir « Analyse itérative et graphique de la stabilité transitoire » mémoire de magistère Département Electrotecnique UFAS 1998
- [4] A.Bbourzemi et A Ghoul « application des réseaux de neurone pour l'analyse de la stabilité transitoire des SEE » Projet de fin d'étude, département d'électrotechnique, UFAS2003.
- [5]P-Barret « régimes transitoires des machines tournantes électriques » Editions E'olles-1982.
- [6].Jean-Paul Banet Pierre Bornard brumo Mayer N°96 « Simulation des réaux électrique »
- [7] Boret.P «régime transitoire des machines tournantes» l'école superieur de l'électricité, E d eyrolle Paris 1987.
- [8].Ahmed Gherbi, Bruno François et Mohamed Belkacemi « méthodes pour l'analyse de la stabilité transitoire des SEE » état de l'art accepted paper . Canadian »
- [9] C. Touzet «Les RNA , introduction au connexionnisme » courts et exercise et TP Paris 1992.
- [10] Dave Andeson et George Mc Neill «Artificial Neurons Networks Technology».Adacs State of the art Report (Data analysis centre of softwer).Kamen science Corporation, 1992
- [11] E. Davalo et Naim « des réseaux de neurones édition 1989».
- [12] Davalo et Naim «des réseaux de neurones 2eme édition eyrolle 1990».
- [13] B. Mohamed «Identification et controle avec RN». Thèse de magister institue d'électronique Sétif 1993.
- [14] M. Boubir «Dispatching Economique par des Réseaux de Neurones» magister fin d'étude serif 1996.
- [15] Gilles Zwingelstein, Diagnostic des défaillances, théories et pratique pour les systèmes industriels.
- [16] K. Benharira et N. Hadj Brahim, étude comparative des méthodes d'identification des systèmes non linaire logique floue & réseaux de neurones. Thèse d'ingénieur. Université Mohamed Boudiaf M'Sila .2004.
-

- [17] Chapitre3, Les réseaux de neurones artificiels, [www.up.univmrs.fr/Local/umr_6149/umr/page_perso/Les réseaux de neurones artificiels. PDF](http://www.up.univmrs.fr/Local/umr_6149/umr/page_perso/Les_reseaux_de_neurones_artificiels.PDF).
- [18] Lesing j.f régime transitoire sur de réseau électrique E.D.F, centre national les mouvements d'énergie, Avril 1991 ,
- [19] Brunet, foggia et Tixador formation électrotechnique sur les machines synchrones et asynchrones ENSIE de Grenoble 1991 .
- [20] Anderson P.M et Fouad A.A, «power système contol and stability » the iowa state univercity priess, Ames iowa USA 1997.
- [21] Monsef Berbiche « stabilté transitoire des réseaux d'énergie. Approche par reconnaissace des formes statistiques » maitre es-science. Soutenue le 05/07/1990 Toulouse.
- [22] P.Baret « régime transitoire des machines tournante électrique ». Éditions eyrolle 1982.
- [23] Anderson P.M et Fouad A.A, «power système control and stability » the Iowa state univercity priess, Ames iowa USA 1997.
-

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECNIQUE

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

Proposé et dirigé par : Monsieur : S. MESSALTI

Présenté par : -A.BARKA
 -A.CHINOUNE
 -A.BAARA

Thème :

**ANALYSE DE LA STABILITE DES SYSTEMES
D'ENERGIE ELECTRIQUE PAR LES
RESEAUX DE NEURONES**

Résumé :

L'étude de la stabilité du système électrique est un grand objet pour assurer l'équilibre entre la consommation et la production de l'énergie électrique. Pour cela on a présenté dans ce mémoire l'analyse du problème de la stabilité par les méthodes des réseaux de neurones

Les réseaux électriques sont souvent soumis à des perturbations capables de les mettre hors service à tout moment, plusieurs méthodes d'analyse de la stabilité transitoire, tel que les techniques numériques et énergétiques, ont été mis en œuvre durant les dernières années mais les résultats obtenus sont loin de ceux escomptés. Ceci était dû à la difficulté d'appliquer ces méthodes en temps réel. Dans ce cadre, les réseaux de neurones artificiels ont été mis à profit.

Mots Clés :

Stabilité, Réseaux de neurones, Modélisation, Rétro propagation, Apprentissage.