

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de recherche scientifique
Université Djilali BounaamaKhemis Miliana



Faculté des sciences et de la technologie

Département de la technologie

Mémoire du projet de fin d'études

Pour l'obtention de diplôme

Master

En

«Électrotechnique»

Spécialité :

«Electrotechnique industrielle»

Titre :

Amélioration de la stabilité en petit mouvements des réseaux de transport utilisant Les PSS

Réalise par :

- **Khechouche Nadia.**
- **Hamroune Mustapha Abdelhak.**

Encadre par :

➤ **Pr .M . Matallah.**

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions, en premier lieu, الله ۱ le tout puissant de nous avoir donné la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudees à nos parents pour leur encouragements, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont endurés.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude au Pr .M . Matallah' pour le temps qu'il nous a consacré, l'aide qu'il nous a apportée, sa supervision et les conseils qu'il nous a prodigués afin de mener à bien ce travail.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie Electrique qui ont contribué à notre formation.

Finalement, nous remercions l'ensemble de nos amis et collègues d'étude pour leurs soutiens, encouragements et les bons temps passés ensemble tout .

Dédicaces

Je dédie ce travail à mon père , que dieu ait pitié de lui, grâce à qui j'ai atteint ce que je suis maintenant .

A ma mère , qui m'a encouragé et soutenu dans ce travail.

A mes frères Islem et Ahmed Rayane Et ma chère sœur Zina.

Et tous les membres de ma famille, des plus âgés aux plus jeunes.

Et à tous mes amis et collègues : Fatima, kawther et sara.

Nadia.

Résumé

L'utilisation d'un réseau électrique au plus près de ses limites peut entraîner son instabilité en cas de perturbation. Ce mémoire se concentre sur l'étude de la stabilité des réseaux électriques en petits mouvements. Les instabilités sont généralement introduites par l'action de l'AVR (Régulateur automatique de Tension) et l'amélioration de la stabilité est réalisée par utilisation des stabilisateurs de réseaux connus sous le nom PSS.

ملخص

يمكن أن يؤدي استخدام شبكة كهربائية أقرب إلى حدودها إلى عدم استقرارها في حالة حدوث اضطراب. تركز هذه الرسالة على دراسة استقرار الشبكات الكهربائية في الحركات الصغيرة. يتم تقديم حالات عدم منظم الجهد التلقائي) ويتم تحقيق التحسن في الاستقرار (AVR الاستقرار بشكل عام من خلال عمل PSS باستخدام مثبتات الشبكة المعروفة باسم

Summary

The use of an electrical network closer to its limits can lead to its instability in the event of a disturbance. This thesis focuses on the study of the stability of electrical networks in small movements. Instabilities are generally introduced by the action of the AVR (Automatic Voltage Regulator) and the improvement in stability is achieved by using network stabilizers known as PSS.

Liste des Figures

Chapitre I

figureI.1: schéma d'un réseau électrique	5
FigureI.2:Lignes électrique.....	6
Figure I.3: Transformateur de puissance.....	7
FigureI.4 : Les postes de transformation.....	8
Figure I.5 : structure de réseau électrique.....	9
Figure I .6 : Schéma d'une structure mailée.....	10
Figure I .7 : Schéma d'une structure bouclé.....	10
FigureI.8 : Schéma d'une structure radiale.....	11
FigureI.9:Architecture des réseaux électriques.....	12
FigureI.10: Réseau HTA aérienne	13
Figure I. 11: Câble HTA souterrain.....	14

Chapitre II

Figure II.1 : Système standard IEEE type SMIB avec commande d'excitation du générateur Synchrone puissant.....	16
Figure II.2: Classification des différents types de la stabilité de système de puissance	19
Figure II.3: Cas 1(Instabilité de première oscillation).....	21
Figure II.4: Cas 2(Instabilité de plusieurs oscillations).....	22
FigureII.5 : générateur synchrone connecté à un jeu de barres infini.....	22
Figure II.6 : Représentation des couples mécanique et électrique.....	23
FigureII.7: Relation puissance- angle de rotor. $P = f(\delta)$	24
FigureII.8: Variation d'angle de rotor.....	25

Figure II.9: Courbes (a : puissance-angle) et (b : variation d'angle de rotor) du générateur suite à un défaut de transmission.....	26
---	----

Chapitre III

Figure III.1: Description brève de la régulation d'alternateur.....	31
Figure III.2 : Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice synchrone.....	34
Figure III.3 : Système d'excitation de type DC.....	36
Figure III.4 : Excitation de type AC avec redresseur non commandé.....	37
Figure III.5: Excitation type AC avec redresseur commandé.....	37
Figure III.6: Système d'excitation de circuits de protection.....	39
Figure III.7 : Schéma de stabilisation et régulation de l'excitation	40
Figure III.8: Modèle schématique d'un régulateur de tension AVR.....	41
Figure III.9: Structure générale d'un système d'excitation statique avec son AVR.....	42
Figure III.10 : Modèle simplifié de liaison entre un PSS et le système.....	44
Figure (III.11) :Modèle d'un PSS avance/retard.....	45

Chapitre IV

Figure IV.1 : bloc diagramme du système sans AVR.....	50
figure IV.2 : les valeur propre (sans AVR).....	51
Figure IV.3: la tension d'excitation EFD.....	51
Figure IV.4: courant d'excitation de machine EFD.....	52
Figure IV.5: block diagramme représentation avec exciter et AVR.....	53
Figure IV.6 : les valeurs propres (exciter et AVR).....	54
Figure IV.7 :la tension d'excitation AVR.....	54

Figure IV .8 : courant d'excitation machine AVR	55
figure IV .9 : Bloc diagramme représentation Avec PSS	56
figure IV .10 : les valeurs propres (PSS)	57
Figure IV .11 : la tension d'excitation PSS.....	58
Figure IV .12: courant d'excitation PSS.....	58

Liste des Acronymes

SMIB : (signal machine to Infinite Bus)

PSS : (power System stabilizer).

AVR : (Régulateur automatique de Tension).

Sommaire :

REMERCIEMENTS

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des Acronymes

Introduction générale.....1

Chapitre I: Généralité sur les réseaux électriques

I.1 Introduction.....4

I.2 Fonctionnement du réseau électrique5

I.3 Les éléments constitutifs d'un réseau électrique.....6

I.3.1 La source.....6

I.3.2 Lignes électriques.....6

I.3.3 Le transformateur7

I.3.4 Les postes électriques.....7

I.5 Structures d'un réseau électrique.....8

I.5.1 Structures maillé.....8

I.5.2 Structures bouclé.....9

I.5.3 Structure radiale.....10

I.6 Différents types des réseaux électrique.....10

I.6.1 Réseaux de transport et d'interconnexion.....11

I.6.2 Réseaux de répartition.....11

I.6.3 Réseaux de distribution.....	12
I.7 Lignes aériennes et câbles souterrains.....	12
I .7.1 Les réseaux HTA aériennes.....	13
I .7.2 Les réseaux HTA souterrain.....	13
I .8 CONCLUSION.....	14
Chapitre II: Stabilité de réseau électrique	
II .1 Concepts de base de la stabilité	15
II .2 Définition	15
II .2.1 Notion de la Stabilité.....	15
II.2.2. Système Electro-énergétique.....	15
II.2.3. Réseau infini.....	15
II.2.4. Synchronisme.....	15
II .2.5. Stabilité d'un système électro-énergétique.....	16
II.2.6. Description générale du système électro-énergétique	16
II .3 Définition mathématique de la stabilité	16
II .4 NECESSITE D'ETUDE DE LA STABILITE	17
II .5 Différents types de stabilité du réseau.....	18
II .5 .1 Stabilité de l'angle du rotor	19
II .5.2 Stabilité angulaire aux petites perturbations (stabilité dynamique).....	20
II .5.3 Stabilité angulaire aux grandes perturbations (stabilité transitoire).....	21
II .6 Equation de mouvement.....	22
II .6.1 Relation (P- δ).....	23
II .6 .2 Critère d'égalité des aires	25

II .6.3 Temps critique d'isolement de défaut (TCID).....	26
II .7 Stabilité de tension.....	27
II .8 Stabilité de fréquence	27
II .9 Stabilité transitoire	28
II.11 Causes d'instabilité.....	29
II .12 Conclusion.....	29
Chapitre III : Etude de l'AVR et du PSS	
III.1 Introduction	30
III.2 Description des régulations	30
III.3 Exigences d'un système d'excitation.....	31
III.3.1 Générateur considération.....	32
III.3.2 Considérations relatives au système d'alimentation.....	33
III.3.3 Eléments d'un système d'excitation.....	34
III.4 Différents types de système d'excitation.....	35
III.4.1 Système d'excitation à courant continu.....	35
III.4.2 Système d'excitation a courant alternatif (AC).....	36
III.4.3 Systèmes d'excitation statique.....	37
III.5 Circuits de stabilisation d'un système d'excitation.....	38
III.6 Les régulateurs de tension	40
III.7 Le PSS (Power System Stabilizer)	42
III.8 Principe de fonctionnement d'un (PSS)	42
III.9 Le choix du signal d'entrée de PSS	43
III .10 Les types des PSSs.....	44

III.11 Différents blocs de PSS	45
III.11 .1 L'amplificateur	45
III.11.2 Le filtre passe-haut.....	45
III.11 .3 Le filtre compensation de phase	45
III.12 Réglage des paramètres de PSS	46
III.13 Emplacement optimal des PSSs	47
III.14 Conclusion	47
 Chapitre IV : Simulation et Résultats	
IV .1 Introduction.....	49
IV .2 Système sans AVR	49
IV .3 Système avec AVR et sans PSS	52
IV .4 Système avec AVR et PSS.....	55
IV .5 Conclusion	59
Conclusion Générale	60

Introduction générale

Introduction générale :

Le rôle d'un réseau électrique est de générer et transporter la puissance électrique à la charge, un équilibre entre l'énergie générée et l'énergie consommée doit être maintenue en tout temps d'une manière rapide et flexible dans l'environnement dérégulé, ont conduit à des phénomènes d'instabilité. D'ailleurs, pour un fonctionnement fiable et sécuritaire, le réseau électrique doit être capable de maintenir la stabilité, suite à plusieurs types de perturbations, comme la foudre, la perte d'une unité de génération, un court-circuit sur une ligne de transmission[1].

Les problèmes d'instabilités liés aux oscillations électromécaniques à basses fréquences dus aux réseaux ayant des lignes faiblement interconnectées ou aux réseaux à structure radiale sont devenus des problèmes significatifs . Ces oscillations limitent la capacité de transmission de puissance dans les réseaux électriques, elles entraînent une perte de synchronisme ou même un black-out dans le système entier.

L'utilisation de régulateurs de tensions caractérisés par des réponses rapides et des gains élevés améliore la stabilité transitoire mais augmente la potentialité d'amortissement négatif . Pour surmonter à ce problème et améliorer l'amortissement du système, des signaux supplémentaires stabilisateurs sont introduits dans le système d'excitation via son régulateur de tension. Ces signaux stabilisateurs vont produire des couples en phase avec la variation de vitesse de générateur pour compenser le retard de phase introduit par le système d'excitation [2].

L'utilisation de signaux d'excitation supplémentaires pour l'amélioration de la stabilité dynamique des systèmes électriques reçus beaucoup d'attention. Des recherches approfondies ont été réalisées sur l'effet du PSS sur la stabilité du système, les signaux d'entrée du PSS, les meilleurs emplacements du PSS, et les techniques d'optimisation du PSS. Les stabilisateurs de puissance (Power System Stabilizers, PSSs), grâce à leurs avantages en terme de coût économique et d'efficacité, sont les meilleurs moyens, non seulement pour éliminer les effets négatifs des régulateurs de tension, mais aussi pour amortir les oscillations électromécaniques et assurer la stabilité globale du système . Dans les dernières décades, les PSS ont été introduits dans les réseaux électriques parce qu'ils ont prouvé leurs rentabilités en matière de contrôle de l'amortissement des oscillations électrodynamiques .

Au cours des dernières décennies, les PSS ont été introduits dans des réseaux électriques parce qu'ils ont été éprouvés dans le contrôle de l'amortissement électrodynamique. Pour régler les paramètres du PSS, en utilisant l'équation du modèle non linéaire du système sont linéaires autour du point de travail et des techniques de contrôle linéaire sont appliquées. Les paramètres du PSS sont définis sur les valeurs spécifiques en conséquence à des conditions de fonctionnement données. Les PSS doivent être réglés pour améliorer la stabilité globale. La stabilité est garantie sur une large plage de point de fonctionnement.

A l'origine, les dimensions du PSS étaient basées sur le modèle de la machine à laquelle il était connecté. On utilise le concept de nœud infini (signal machine to infinite bus SIMB), avec l'utilisation de coefficients d'amortissement et de synchronisme. Phillips et Heffron, ont été les premiers à présenter les petites perturbations en termes de k constant d'un système mono-machine SMIB (en anglais, single machine infinite bus), Pour expliquer la stabilité aux petites perturbations et l'effet du système d'excitation.

Larsen et Swann, présentent l'application du PSS en utilisant soit de vitesse, de fréquence ou de puissance comme des signaux d'entrées. Des directives ont été présentées pour le réglage du PSS. Afin de permettre à l'utilisateur d'obtenir des performances dynamiques désirées avec un moindre effort.

Kundur et M. Klein, décrit les détails de conception d'un delta Omega PSS pour l'unité de Génération de l'Ontario Hydro. Deux schémas d'excitation alternative ont été considérés, l'un avec et l'autre sans réduction de gain transitoire (TGR). Cela a été montré qu'avec la sélection adéquate des paramètres du PSS, les deux schémas fournissent une performance satisfaisante. Un choix approprié de la constante du temps T_w , les limites de sortie de PSS et les paramètres de circuit de compensation d'avance de phase ont été démontrés.

Ali M. Yousef et Ahmed M. Kassem, utilisent LQR et LQG pour concevoir le PSS

Dans la littérature, plusieurs recherches sur les techniques heuristiques et l'intelligence artificielle ont été proposées et mises en œuvre avec succès pour améliorer la stabilité dynamique du système de puissance [3].

L'objectif de notre travail est d'assurer un amortissement maximal des oscillations à faibles Fréquence par l'utilisation du PSS. Pour atteindre cet objectif, nous suggérons un réglage optimale des paramètres des PPSS . Cela garantit un amortissement adéquat des oscillations rotoriques et de garantir la stabilité globale du système à différents points de fonctionnement Basé sur l'analyse des valeurs propres du système (partie réelle des valeurs propres et facteur d'amortissement).

Le premier chapitre , décrit un généralité sur les réseaux électriques et les déférents classification du réseau électrique.

Le deuxième chapitre , décrit un rappel sur la stabilité du réseau électrique et leur classification .

Le troisième chapitre , nous avons présenté d'une façon générale les régulateurs de tension AVR, son modèle schématique ainsi que son principe de fonctionnement ,et

On a présenté d'une façon générale le modèle disfonctionnement d'un stabilisateur PSS. En outre, Les différents blocs de réglage des paramètres du PSS et leurs emplacements ont été analysés.

Dans le dernier chapitre, nous montrons la simulation et les résultats pour améliorer la stabilité lorsque nous utilisons les PSS et l'AVR.

Chapitre I :
Généralité sur les réseaux électrique

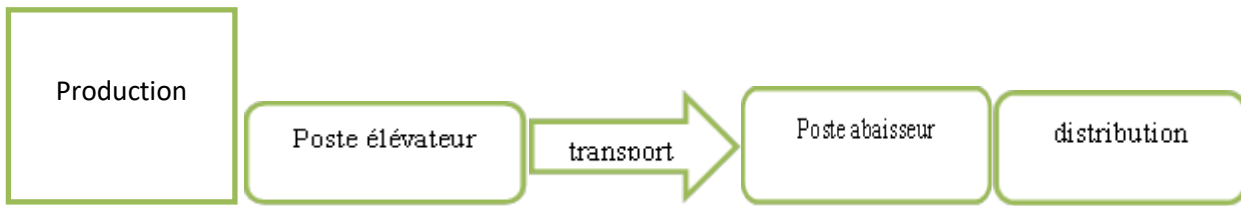
I.1 Introduction :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant le transport de l'énergie électrique des centrales de production aux consommateurs d'électricité. Il se compose de lignes électriques fonctionnant à différents niveaux de tension connectées entre elles dans la poste électrique. Les postes électriques permettent de distribuer et de faire passer d'une tension à une autre. Grâce à transformateur. Le réseau électrique est dissocié en quatre parties principales:

- Production : Elle consiste à produire toute l'électricité consommée d'énergie active et réactive de l'ensemble du réseau.
- Transmission : il consiste à acheminer les puissances produites par les unités de production après les lieux de consommation.
- Distribution : elle permet à chaque utilisateur d'être à proximité d'une liaison au réseau.
- Consommation : Chaque récepteur connecté au réseau consomme une puissance active et puissance réactive.

La société qui produit et délivre de l'énergie électrique dans un site donné doit veiller au respect des règles suivantes:

- Le bon fonctionnement des procédés industriels.
- La sécurité des personnes.
- La stabilité du réseau en régime permanent et en régime troublé.
- Les systèmes de protection destinés pour protéger les lignes ou les machines.
- La distribution des puissances actives et réactives à chaque instant [4].



figureI.1: schéma d'un réseau électrique

- L'organisation entre chacun de ces blocs est décrite dans le schéma ci-dessus:
- Le bloc de production électrique , qui agrège tous les éléments de l'unité de production telle que les Générateurs , les moteurs ,les turbines...,etc.
 - Blocs de station éleveurs et abaisseurs, regroupant les éléments pouvant convertir l'énergie par changement de niveau de tension.
 - Blocs de transport et de distribution qui combinent tous les éléments d'acheminement l'énergie électrique aux consommateurs [5].

I .2 Fonctionnement du réseau électrique:

L'électricité produite dans les centrales électriques est d'abord transportée sur de longues distances Utilisé dans les lignes de transmission à haute tension (HTB) gérées par RTE (Réseau de Transport d'Electricité).Le HTA la convertit ensuite en électricité la transporte à travers le réseau distribution. Cette conversion a lieu au poste source. une fois sur le réseau de distribution approvisionne directement les clients de l'industrie HTA. Pour les autres clients (Particuliers, commerçants ,artisans, etc.) Conversion en basse tension (BT) aux postes Transformation avant livraison .En fin de compte, cela dépend de la qualité de l'alimentation Par conséquent ,les utilisateurs du réseau sont le résultat de la qualité de tout ce parcours [6].

I.3 Les éléments constitutifs d'un réseau d'énergie électrique:

I.3.1 La source (le générateur) :

La source ou générateur est un élément de base d'un réseau électrique. Il forme le cœur de l'ensemble, sa fonction est de transformer l'énergie origine (comme l'hydraulique ou la chaleur) en énergie électrique. Combustion interne ; l'alternateur est maintenu à une vitesse sensiblement constante par son moteur d'entraînement quelle que soit la charge [7].

I.3.2.Lignes électriques :

Les lignes électriques remplissent la fonction de « transport de l'électricité » sur les longues distances. Leur rôle est donc transporter l'énergie électrique en poste de production vers les consommateurs [8].



FigureI.2: Lignes électrique.

I.3.3 Le transformateur de puissance:

Un transformateur est un dispositif de conversion de la puissance. Il change l'amplitude des signaux (courant, tension) et en garde la même fréquence. Il existe deux types de transformateurs de puissance dans les réseaux électriques.

- les autotransformateurs qui n'ont pas d'isolement entre le primaire et le Secondaire. Ils ont un rapport de transformation fixe quand ils sont en service, mais qui peut être changé si l'autotransformateur est mis hors service.

- Les transformateurs avec régleurs en charge sont capables de changer leur rapport de transformation quand ils sont en service. Ils sont utilisés pour maintenir une tension constante au secondaire et jouent un rôle important dans le maintien de la tension.

Les transformateurs sont des équipements particulièrement coûteux et doivent être protégés. Garanti par divers mécanismes de redondance [7].

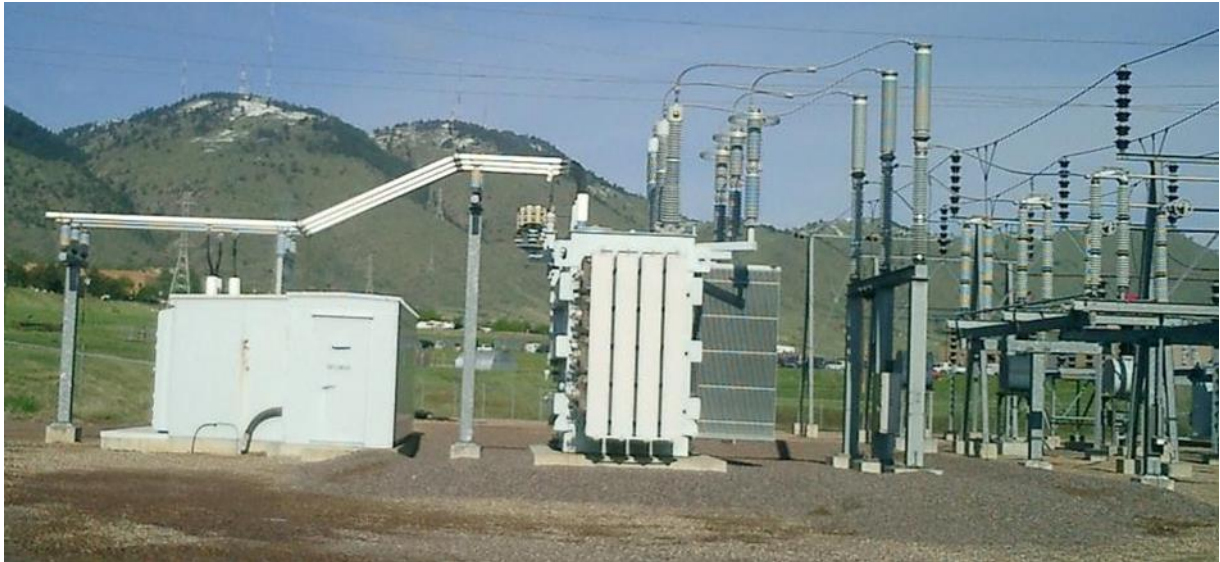


Figure I.3: Transformateur de puissance.

I.3.4 les postes de transformation:

Un poste de transformation est une installation comportant des transformateurs, des appareils de protections (disjoncteurs, sectionneurs, parafoudre, ...etc.), des appareils de mesure et de contrôle...

A la sortie des centrales, les postes de transformation transforment la moyenne tension de production en haute tension ou en très haute tension, nécessaire pour réaliser un transport de l'énergie électrique dans des conditions économiques requises. La tension élevée pour le transport, doit être de nouveau abaissée au niveau d'autres postes de transformations successifs pour alimenter les réseaux de répartition puis les réseaux de distribution en basse tension [8].



Figure I.4 : Les postes de transformation.

I.4 Structures d'un réseau électrique:

Un réseau électrique peut être organisé selon différents types d'ouvrages présentés ci-dessous :

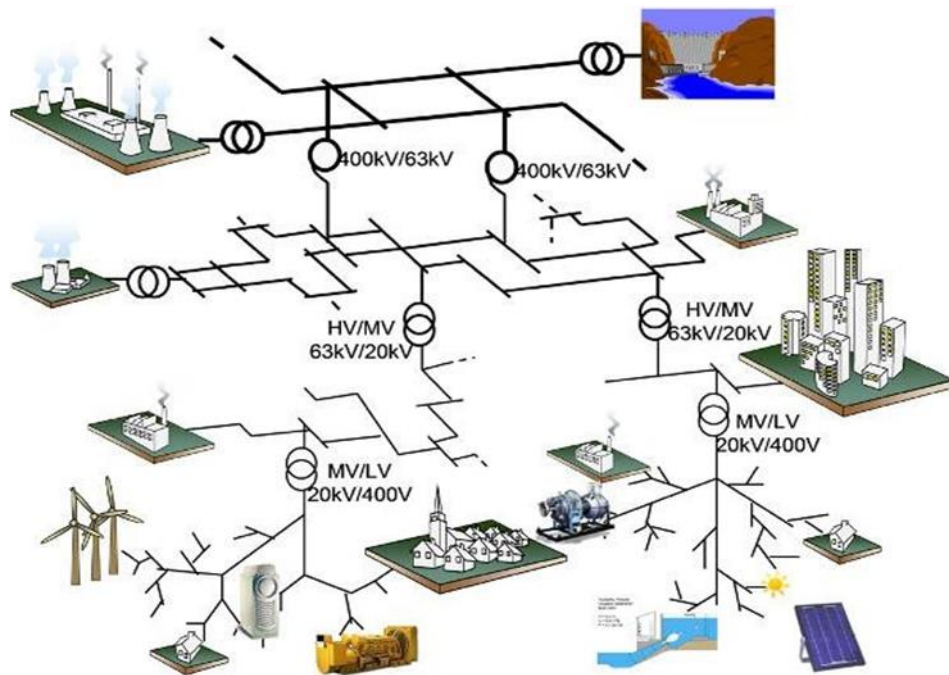


Figure I.5 : structure de réseau électrique.

I.4.1 Structure maillée:

Lors de la jonction de lignes de boucle qui relient des points éloignés D'autres forment un réseau maillé . Ce type de réseau offre une très grande fiabilité .D'approvisionnement,

chaque tronçon de ligne pouvant être alimenté par un itinéraire différent .La défaillance de quelques sections ne cause pas de perturbation majeure[9].

Les réseaux maillés sont généralement construits et exploités là où les approvisionnements sont sécurisés. Un grand nombre de clients peuvent facilement être affectés par des perturbations Ceci s'applique en particulier aux réseaux de transmission et de distribution moyenne tension.

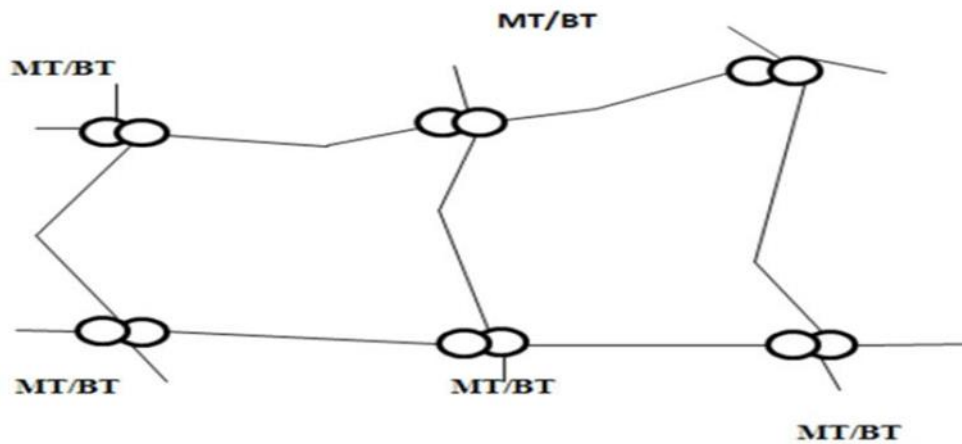


Figure I.6. Schéma d'une structure maillée .

I.4.2: Structure bouclée:

L'assemblage de la boucle de ligne vous permet de désactiver une partie de la ligne. Une ouverture défectueuse. Le courant est interrompu jusqu'à ce que la réparation de la panne, uniquement dans cette partie, le reste du réseau continue à fonctionner.

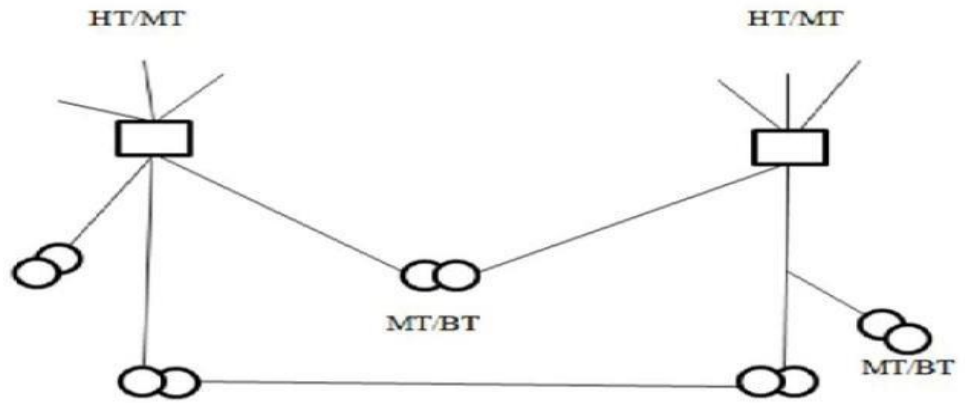


Figure I.7. Schéma d'une structure bouclée.

I.4.3 Structure radiale:

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple. Les lignes commencent au point central. Par exemple : une station de transformation locale, et rayonnent à partir de là. Lorsqu'un tel réseau tombe en panne, tout le monde perd de l'électricité. Les clients de cette division en panne seront mis en attente jusqu'à ce que la panne soit réparée. La panne de station de un quartier.

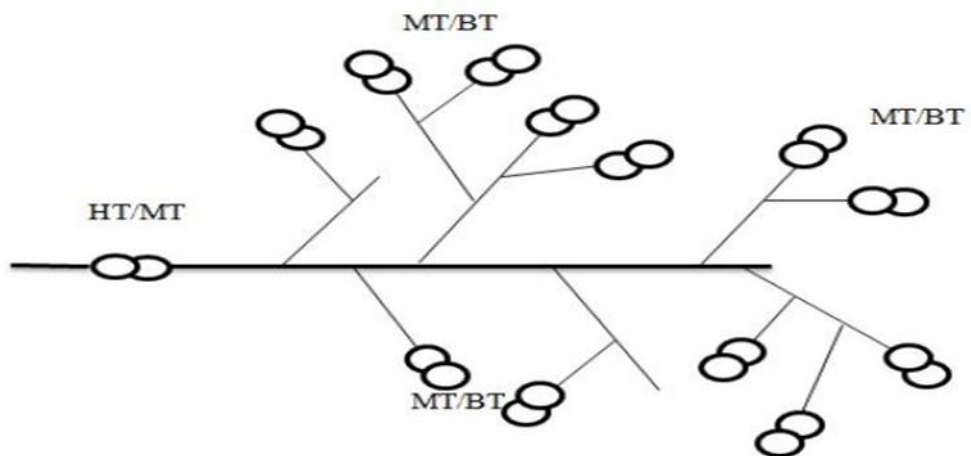
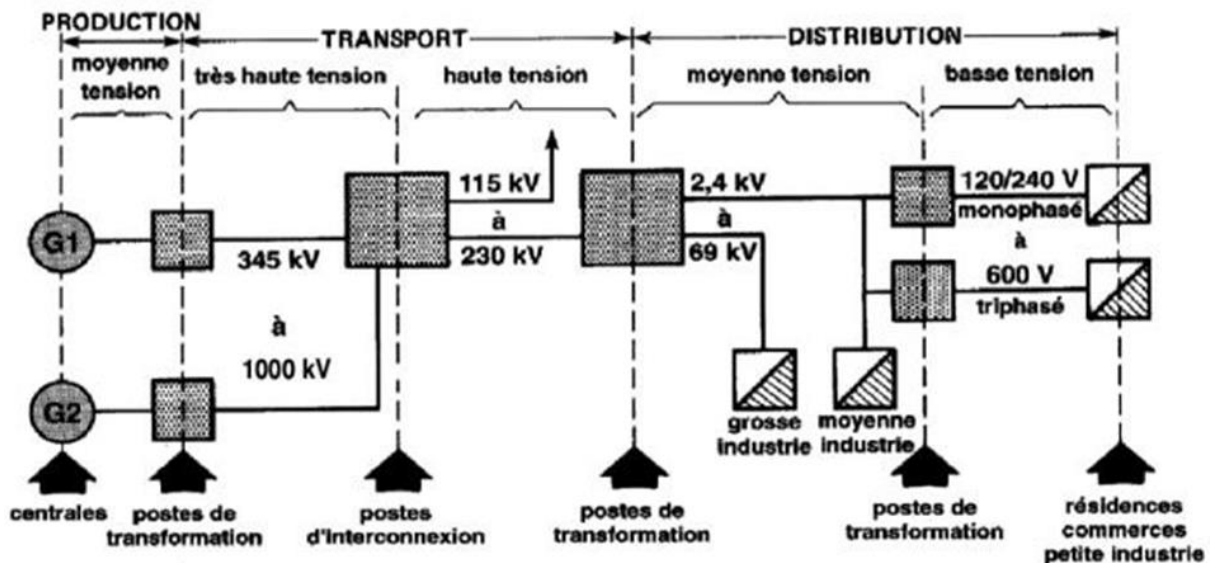


Figure I.8 : Schéma d'une structure radiale.

I.5 Différents types de réseau électrique:

Un grand réseau électrique, également appelé système énergétique, est composé de divers éléments Interconnexions (générateurs, transformateurs, lignes de transmission, lignes de distribution, lignes de charge) Selon la taille du réseau ils seront plus ou moins nombreux, formant un système complexe. Appelé Un système peut générer, transporter et distribuer de l'énergie et a pour tâche Fluxau – de là de la répartition géographique. La complexité de cette structure est Risque accru de problèmes de stabilité et de phénomènes dynamique Dans un réseau interconnecté .Différents niveaux du system. (FigureI.9).



FigureI.9:Architecture des réseaux électriques.

I.5.1 Réseaux de transport et d'interconnexion:

Les principales missions des réseaux de transport et de connectivité sont:

- Collecter et transporter l'électricité produit par les grandes centrales électriques Afflux massif vers les zones de consommation (fonction transport)
- Permettre le fonctionnement économique et sûr des moyens de production Compensation des dangers divers(fonction d'interconnexion).
- La tension est de 150kV, 220kV et récemment 400kV, neutre directement mis à la terre,
- Réseau maillé,

I.5 .2 Réseau de répartition:

Le réseau de distribution ou réseau haute tension a le rôle de distribution d'énergie au niveau Énergie locale du réseau. Leur tension est supérieure à 63 kv selon les régions Ces réseaux sont constitués principalement de lignes aériennes qui peuvent traverser chacun d'eux Plus de 60 MVA à des distances de plusieurs dizaines de kilomètres.

Leur structure est soit Boucles fermées, le plus souvent ouvertes, mais se terminant par fois par Antennes spécifiques aux poste de transformation. Dans les zones urbaines dense ces réseaux ne peuvent pas dépasser la longueur de Quelques kilomètres .D'une part, ces réseaux alimentent le réseau de distribution. vers la poste de transformation HT/MT, et d'autre part, les utilisateurs industriels avec une échelle de plus de 60 MVA , nécessite une raccordement à cette tension.

- La tension est de 90kV ou 63kV
- neutre à la terre par réactance ou un transformateur de point neutre:
- Limitation de courant neutre de 1500 A à 90 kV.
- Limitation de courant neutre de 1000 A à 63 kV.
- Réseau en boucle ouvert ou fermé.

I.5 .3 Réseau de distribution:

Les réseaux de distribution démarrent à des tensions inférieure à 63 kV et des postes de transformation HTB /HTA avec ligne ou câble moyen Tension au poste MT/MT. Poste de transformation MT/BTA Représente le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne ou les usages du courant électrique [10].

I.6 Câbles aériens et souterrains:

L'électricité est transportée et distribuée sur des lignes électriques aériennes Souterrain , haute Tension Choisir une base de production en fonction de l'environnement Naturelles (cours d'eau pour le refroidissement des centrales électriques ou des centrales hydro électriques ,Minéraux , gaz, etc.). L'électricité doit donc être transportée. Pour l'électricité, plus la valeur de la tension est élevée, plus la valeur de l'intensité est faible .Moins nous portons de force, moins nous risquons de la perdre et moins elle l'es .Section d'un

conducteur électrique. La tension porte la force, la force transforme Avec de la chaleur et de l'énergie mécanique. Le système peut sembler simple ,mais de nombreux contraintes sont présentent. La première : le risque d'amorçage(arc électrique dans l'air) à partir de 1000 Volts. Alors que les conducteurs électriques sont « nus » en aérien, ils ont besoin d'un isolant spécifique en souterrain dont l'épaisseur augmente la tension .

I.6 .1 Les réseaux HTA aériennes:

Les lignes électriques aériennes sont des infra structures pour la transmission et la distribution d'énergie à longue distance, et elles consistent d'un ou plusieurs conducteurs suspendus sur des tours ou des pylônes. Elles sont constituées des conducteurs nus en alliage d'aluminium, qui est moins bon conducteur que le cuivre de l'électricité mais qui présente l'avantage d'avoir une masse bien plus faible moins élevées. (contraintes mécaniques). Les câbles à isolants synthétiques constituent la technologie la plus couramment utilisée aujourd'hui. La variation de leur composition (plomb, aluminium, cuivre) conditionne leur poids et leur capacité à supporter de se l'intensités plus ou moins élevées.



FigureI.10:RéseauHTAaérienne.

I.6 .2 Les réseaux HTA souterrains:

Les réseaux souterrains sont limités à des tension au plus de 225 kV, parceque en 400kV,la technique souterraine est difficile à mettre en œuvre(emprise au sol, refroidissement du câble), elle est mal adaptée aux contraintes d'exploitation du réseau interconnecté .Les câbles ou souterrain en lui-même est composé des éléments suivants:

- Une âme en cuivre ou aluminium.
- Une isolation de haute qualité en polyéthylène capable de résister aux contraintes électriques liées à la haute tension.
- Un écran servant à éliminer le champ électrique et les courants en cas de défaut.
- Une gaine extérieure de protection mécanique [11].



Figure I. 11: Câble HTA souterrain.

I.7 Conclusion:

La protection des réseaux électriques est nécessaire et une exigence Essentiel pour assurer la continuité et la meilleure qualité de service. Ce premier chapitre est consacré à l'étude de la généralité du réseau Electrique, et nous avons fait des rappels sur les différentes structures topologies et les différents éléments qui composent un réseau électrique telle que (la poste de transformation ,Lignes aériennes ,câbles souterrains, etc.).

Chapitre II :
Stabilité des réseaux électriques

II .1 Concepts de base de la stabilité :

Les études de stabilité sont l'un des concepts les plus fondamentaux de la recherche en ingénierie. En raison des effets néfastes de l'instabilité sur les systèmes dynamiques, il est souvent une définition de la stabilité a été formulée, identifiant divers aspects de celle-ci. Une manifestation de l'état d'équilibre du système [12].

II .2 Définition :

II .2.1 Notion de la Stabilité :

Pendant des années, des recherches diverses et complexes étaient effectuées pour comprendre les problèmes de stabilité des systèmes de puissance. Ainsi de nombreuses définitions de la stabilité de systèmes de puissance étaient proposées en insistant sur les divers aspects qui reflètent la manifestation de l'état stable de système. La définition la plus récente, que nous adopterons, est le résultat d'un groupe de travail IEEE: La stabilité d'un système de puissance est la capacité d'un système d'énergie électrique, pour une condition de fonctionnement initiale donnée, de retrouver le même état ou un autre état d'équilibre proche après avoir subi une perturbation physique, en gardant la plupart des variables de système dans leurs limites, de sorte que le système entier reste pratiquement intact .

II.2.2. Système Electro-énergétique :

On appelle un système électro-énergétique un ensemble d'installations électriques destinées à produire, transporter et à la fois distribuer l'énergie électrique aux consommateurs .

II.2.3. Réseau infini :

Un réseau est dit infini ou de grande puissance lorsque sa tension et sa fréquence sont fixes et une perturbation sur une machine n'affecte pas le réseau .

II.2.4. Synchronisme :

On dit qu'une machine fonctionne en synchronisme, si sa fréquence est égale à la fréquence du réseau. On dit qu'un système fonctionne en synchronisme, si toutes les machines reliées à ce réseau ont la même fréquence du réseau.

II .2.5. Stabilité d'un système électro-énergétique :

« La stabilité d'un système de puissance est la capacité d'un système d'énergie électrique, pour une condition de fonctionnement initiale donnée, de retrouver le même état ou un autre état d'équilibre après avoir subi une perturbation physique, en gardant la plupart des variables de système dans leurs limites, de sorte que le système entier reste pratiquement intact ».

II.2.6. Description générale du système électro-énergétique :

Un réseau SMIB (Single Machine Infinity Bus System) est constitué d'une machine synchrone qui alimente un réseau électrique de puissance infinie (c'est à-dire dont la puissance est largement supérieure à celle de la génératrice synchrone) à travers des lignes et d'un transformateur. La machine synchrone est modélisée par une force électromotrice constante E derrière une réactance X_s . Le nœud infini est un point où la tension est constante et fixée en module et en phase (inertie très grande par rapport à des autres machines). La figure (II.1) représente un système standard IEEE type SMIB avec la commande d'excitation du Générateur Synchrone Puissant (GSP).[13].

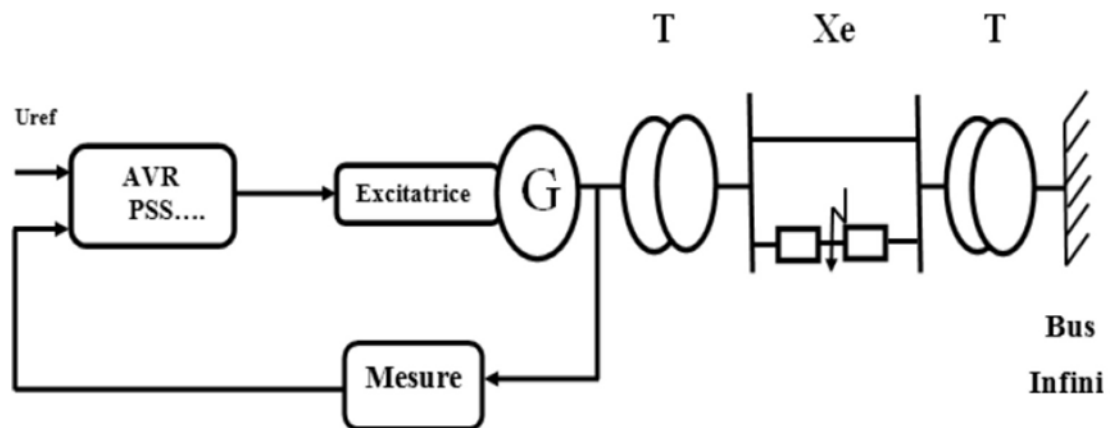


Figure II.1 : Système standard IEEE type SMIB avec commande d'excitation du générateur synchrone puissant.

II .3 Définition mathématique de la stabilité :

Pour un système dynamique défini par l'ensemble des équations différentielles de premier Ordre

$$x' = f(x)$$

Avec :

• $X = [X_1, X_2, \dots]$ est le vecteur d'état du système

• f est un opérateur non linéaire défini par l'ensemble $f = [f_1, f_2, \dots]$ On a les définitions suivantes :

Si $X(t_0) = x' \Rightarrow X(t) = x' \forall t \geq t_0$ donc l'état du système x' est le point d'équilibre. Pour que le système soit en état d'équilibre si une fois $X(t) = x'$ il reste $X(t) = x'$ pour tout le temps subséquent. De cette condition, on peut écrire :

x' Est le point d'équilibre $\leftrightarrow (x') = 0$

•Stabilité :

Le point d'équilibre $X = 0$ est dit stable si :

$\forall \varepsilon > 0, \forall t_0 > 0, \exists(t_0, \varepsilon):$

" X_0 " $< (t_0, \varepsilon) \Rightarrow "X_0(t)" < \varepsilon \forall t \geq t_0$

•Instabilité :

On dit que le point d'équilibre $X = 0$ est instable s'il n'est pas stable .Par conséquent, dans le cas de stabilité asymptotique, les trajectoires des systèmes qui Commencent suffisamment près du point de l'équilibre convergeront finalement à ce point [14] .

II .4 NECESSITE D'ETUDE DE LA STABILITE :

En pratique, pour faire face aux incidents graves et limiter leurs conséquences, il est nécessaire d'adopter des mesures curatives et installer des automates spécifiques qui constituent le plan de défense du système électrique, en limitant la propagation de ces incidents et en facilitant la reconnexion rapide des consommateurs des zones hors tension. Tout défaut doit être identifié immédiatement afin d'isoler le plus rapidement possible du réseau sain l'ouvrage siège du défaut. Les études de la stabilité consistent à :

- Prévoir le fonctionnement synchrone ;
- Envisager les principaux scénarios critiques tels que le déclenchement des lignes, le déclenchement des transformateurs, le court-circuit, la perte des groupes de production, la perte de l'alimentation du distributeur, la variation de charge importante, etc. ;

- Prédire le comportement du réseau face à ces perturbations ;
- Prévoir les schémas d'exploitation ;
- Préconiser les moyens à mettre en œuvre tels que les types de protection et de réglage, plans de délestage, etc.
- Prévoir et planification de l'ensemble production-consommation. Ces études permettent donc de comprendre le comportement du réseau et de déterminer les moyens de minimiser les risques de perte d'alimentation. [15]

II .5 Différents types de stabilité du réseau :

L'instabilité du réseau électrique peut facilement être causée par de nombreux facteurs. Analyser et résoudre les problèmes d'instabilité du système précédemment spécifiés. Il est important de combiner différents groupes de stabilité. Ce classement de la stabilité est basé sur les considérations suivantes :

- Propriétés physiques de l'instabilité résultante.
- Amplitude de perturbation.
- La plage de temps nécessaire pour assurer la stabilité.
- Équipements et processus nécessaires pour assurer la stabilité.
- La stabilité est généralement divisée en trois groupes , à savoir
- Stabilité angulaire du rotor.
- Stabilité de tension.
- Stabilité de fréquence.

La figure (II .2) montre les principales catégories de stabilité du système de puissance [16].

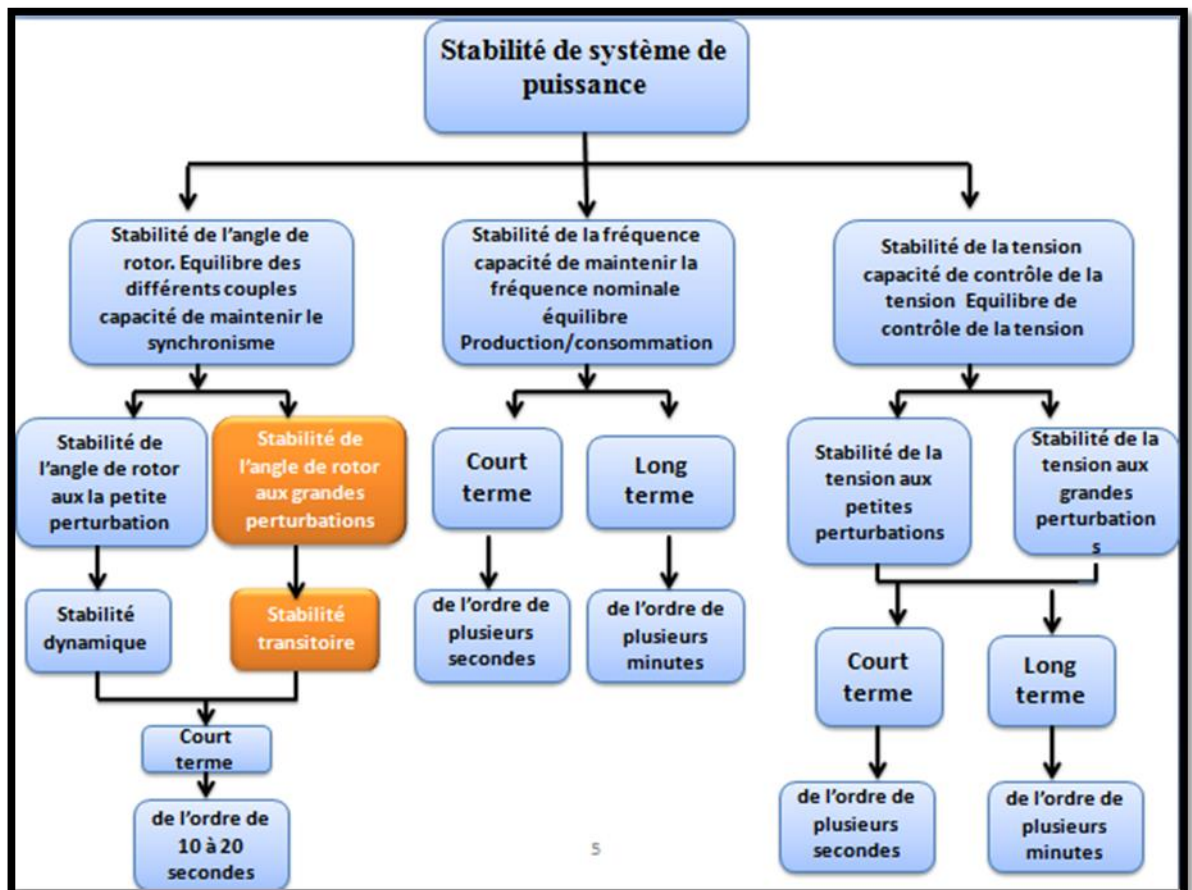


Figure II.2: Classification des différents types de la stabilité de système de puissance.

II .5 .1 Stabilité de l'angle de rotor :

Lorsque le système est perturbé, les performances électriques de la machine changent rapidement, L'évolution de la puissance mécanique fournie à la machine est relativement lente. Parce que Cette différence de vitesse de réponse provoque une déviation temporaire de l'équilibre de puissance Ce déséquilibre de puissance se traduit par des fluctuations du couple agissant sur le rotor. Cela accélère ou ralentit le rotor, selon le sens du balourd.Faire perdre la synchronisation du générateur avec le reste du système , Si l'équilibre actuel n'est pas rétabli, la machine sera mise hors service par la protection Survitesse ou perte de synchronisation, et où la stabilité du système est en danger , Suite à une perturbation, le facteur principal qui détermine l'évolution de l'état du système est l'écart entre Les angles de rotor, Nous pouvons dire que les angles de rotor d'un système de puissance peuvent Evaluer selon deux scénarios :

- Soit, les angles de rotor s'accroissent ensemble et oscillent à l'unisson, Ils peuvent éventuellement atteindre de nouvelles valeurs stables, Tant que les écarts entre les angles de rotor restent constants, le système reste stable et il demeure au synchronisme.
- Soit, un ou plusieurs angles du rotor s'accroissent plus rapidement que les autres,

Alors, les écarts entre les angles de rotor divergent dans le temps, Le système devient par conséquent instable et il perd le synchronisme.

La stabilité angulaire, ou stabilité d'angle rotor que, se rapporte aux capacités des machines synchrones d'un réseau électrique interconnecté à rester dans le synchronisme après avoir été soumis à une perturbation . Elle dépend de la capacité de maintenir ou restaurer l'équilibre entre le couple mécanique et le couple électromagnétique de chaque machine synchrone, L'instabilité, qui peut résulter, se produit sous forme d'augmentation d'oscillation angulaire de quelques générateurs menant à leur perte du synchronisme avec d'autres générateurs. Selon l'amplitude de la perturbation, on parle de la stabilité angulaire à la petite perturbation (stabilité dynamique) ou la grande perturbation (stabilité transitoire) [17].

II.5 .2 Stabilité angulaire aux petites perturbations (stabilité dynamique) :

La stabilité angulaire aux petites perturbations (stabilité dynamique) concerne capacité du Système à maintenir le synchronisme en présence de petites perturbations comme, une petite Variation de la charge ou de génération, manœuvre d'équipement, etc. L'instabilité résultante se Manifeste sous forme d'un écart croissant, oscillatoire ou non oscillatoire, entre les angles de Rotor. La stabilité aux petites perturbations dépend du point de fonctionnement d'équilibre initial du Système ainsi que des caractéristiques dynamiques du système. Contrairement à la stabilité Transitoire, elle ne dépend pas de niveaux de perturbations, car celles-ci sont arbitraires et Infiniment petites . Pour des petites perturbations, la variation de puissance reste approximativement Proportionnelle à la variation de l'angle Des exemples typiques des petites perturbations Peuvent être donnés par des variations de niveau de 10 % de la puissance mécanique appliquée à Une machine du système ou sur sa charge . L'analyse d'un tel système peut être accomplie par la linéarisation du système d'équations Différentielles non linéaires, La stabilité du système peut être évaluée par l'analyse des valeurs Propres de la matrice d'état du système .

II .5 .3 Stabilité angulaire aux grandes perturbations (stabilité transitoire) :

La stabilité transitoire d'un réseau de transport d'énergie électrique est son aptitude à Retrouver une position d'équilibre stable après une perturbation brusque et de forte amplitude. Cette perturbation peut écarter notablement le réseau de sa position initiale. L'instabilité Transitoire se manifeste par les grandes variations apériodiques des angles du rotor et dépend de La relation non linéaire couples angles. Si l'instabilité se manifeste directement suite à la perturbation, elle est appelée instabilité de Première oscillation (First Swing Instabilité), (cas 1, figure II .3), et elle s'étend sur 3 à 5 Secondes, comme elle peut résulter de la superposition des effets de plusieurs modes .D'oscillation lents excités par la perturbation, provoquant ainsi une variation importante de L'angle de rotor au-delà de la première oscillation (instabilité de multi-oscillations), (cas 2, II.4).

- **Instabilité de première oscillation :**

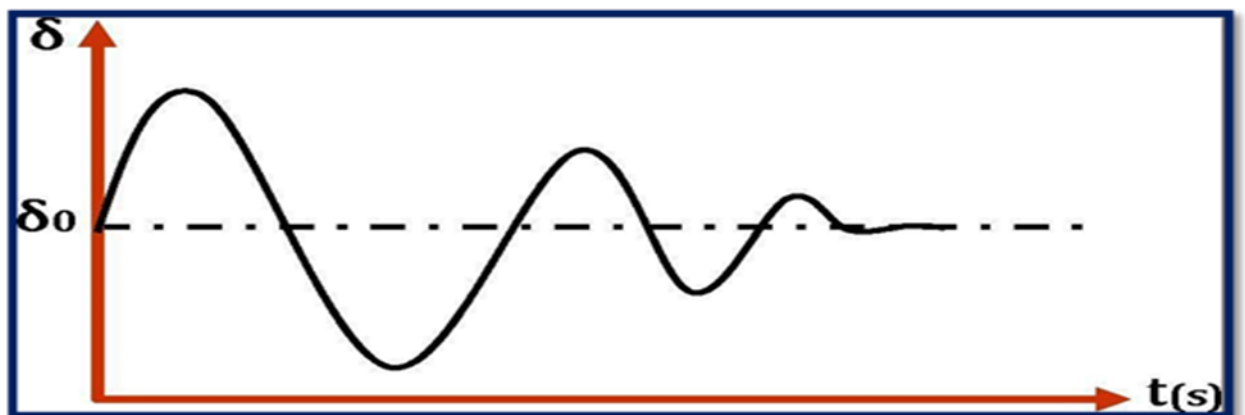


Figure II.3: Cas 1(Instabilité de première oscillation).

• **Instabilité de plusieurs oscillations :**

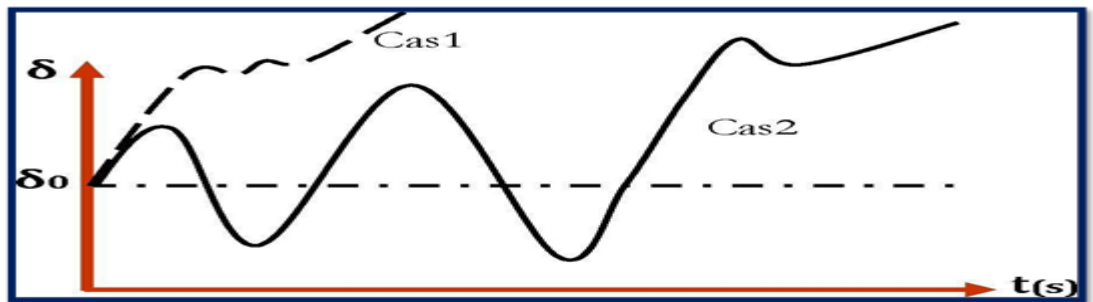


Figure II.4: Cas 2(Instabilité de plusieurs oscillations).

Le concept de stabilité transitoire peut être expliqué par une approche graphique simple, à savoir le Critère d'égalité des aires. Cette approche regroupe l'équation du mouvement et la courbe (P- δ) traditionnelle représentant la Relation entre la puissance produite par le générateur et l'angle de δ . Pour expliquer Cette approche, nous prenons un système de puissance simple constitué d'un générateur synchrone Connecté à un jeu de barre infini via une ligne de transmission, figure 4 . Le générateur est Modélisé par une source de tension idéale E_g en série avec une réactance X_g (modèle classique). La ligne et le transformateur sont représentés par la réactance X_E .

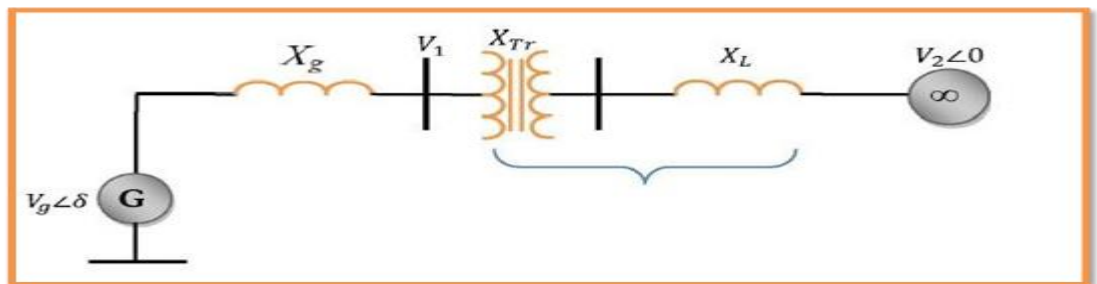


Figure II.5: générateur synchrone connecté à un jeu de barres infini.

II .6 Equation de mouvement :

Dans le problème de la stabilité et notamment la stabilité transitoire, on s'intéresse Généralement aux propriétés mécaniques des générateurs .Dans le fonctionnement à l'état

d'équilibre, toutes les machines synchrones du système tournent à la même vitesse angulaire électrique. Le couple mécanique C_m est de même sens que le sens de la rotation de l'axe du générateur. Le couple électrique est de sens opposé à la rotation et ce couple équilibre le couple Mécanique. Lors d'une perturbation, un ou plusieurs générateurs peuvent être accélérés ou ralentis et il y a donc un risque de perdre le synchronisme. Ceci peut avoir un impact important sur la stabilité du système et les générateurs perdant le synchronisme doivent être débranchés, sinon ils pourraient être sévèrement endommagés. Pour un système multi-machines, s'il y a un déséquilibre des couples agissant sur le rotor de la i -ème machine, cette dernière va accélérer ou ralentir selon l'équation du mouvement suivante :

$$\Delta \omega_i = \frac{1}{2H_i} (T_{mi} - T_e)$$

L'équation de l'angle du rotor de la i -ème machine est donnée par :

$$\delta_i = \omega_s (\Delta \omega_i - 1)$$

$\Delta \omega_i$: Déviation de la vitesse angulaire du rotor de la i -ème machine (pu).

ω_s : vitesse de synchronisme (rad/s).

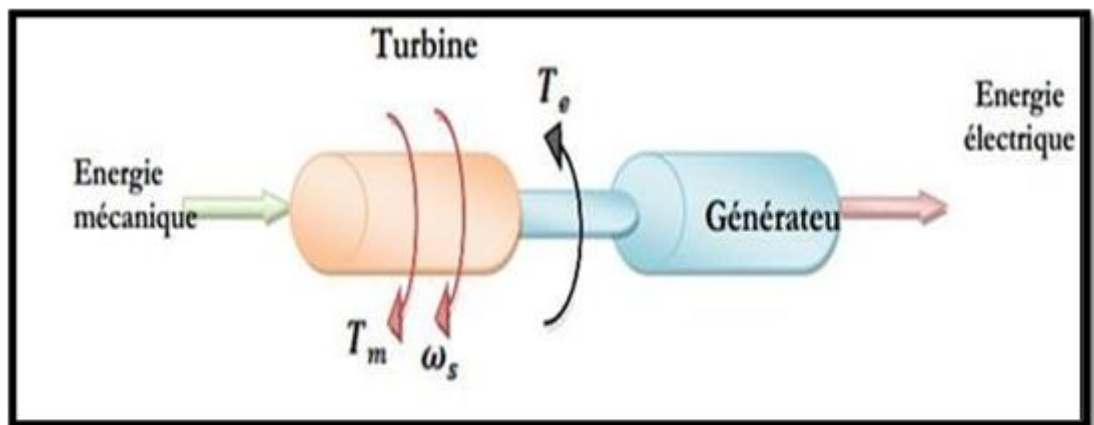


Figure II.6 : Représentation des couples mécanique et électrique.

II .6 .1 Relation (P- δ) :

Dans l'état équilibré, la puissance produite par le générateur P_e est donnée par l'équation suivante $P_e = (E_g \cdot E_0) / (x_g \cdot X_E) \cdot \sin \delta$

Où, δ , l'angle de rotor (dit ici, l'angle de puissance), est le déphasage entre la tension interne du générateur (E_g) et la tension du jeu de barre infini (E_0). L'équation (1.1) est représentée graphiquement par la figure (II.6).

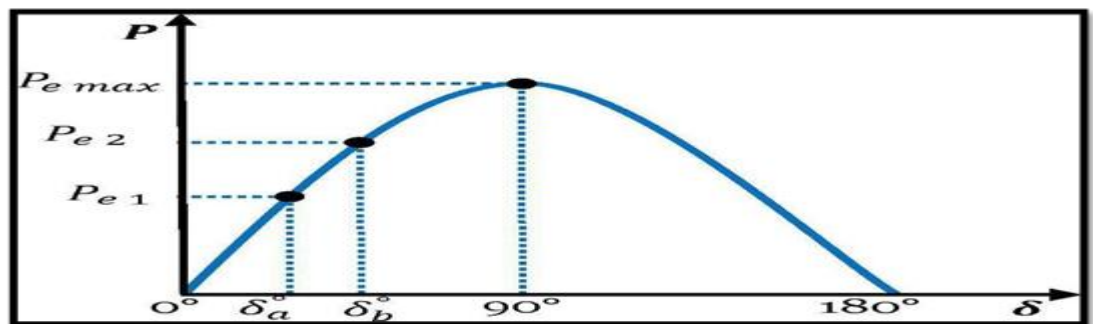


Figure II.7: Relation puissance- angle de rotor. $P = f(\delta)$.

Lors de l'équilibre, la puissance électrique P_{e1} est égale à la puissance mécanique appliquée pour l'angle correspondant δ_a . Un brusque changement sur la charge du générateur entraîne une variation de la puissance mécanique, et par conséquent de la puissance électrique, par exemple de P_{e1} à P_{e2} , figure (II.7). Le rotor va donc accélérer de sorte que l'angle de puissance augmente, de δ_a à δ_b , pour pouvoir fournir une puissance supplémentaire à la charge. Cependant, l'accélération du rotor ne peut pas s'arrêter instantanément. Ainsi, bien que la puissance développée pour l'angle δ_b soit suffisante pour la charge, le rotor va dépasser l'angle δ_b jusqu'à ce qu'un couple opposé suffisant soit développé pour arrêter cette accélération. L'énergie supplémentaire va entraîner le ralentissement du rotor et la diminution de l'angle de puissance. Suivant l'inertie et l'amortissement du système, les oscillations de l'angle de rotor résultant vont ou s'amortir, et la machine restera stable (cas 1, figure II. 7), ou diverger, et la machine deviendra instable en perdant le synchronisme avec le système (cas 2, figure 7).

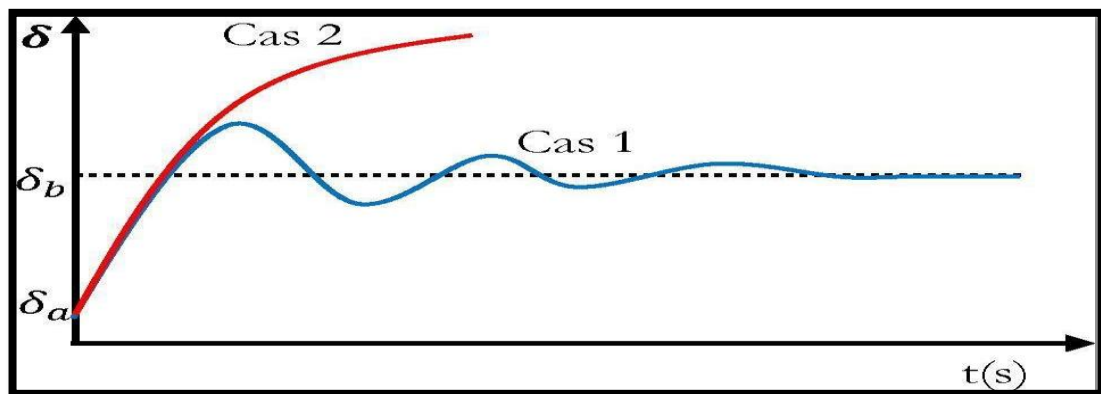


Figure II.8: Variation d'angle de rotor.

II .6 .2 Critère d'égalité des aires :

Considérons un défaut, tel un défaut sur la ligne de transmission, appliqué au système précédent disparaissant après quelques périodes du système. Ceci va modifier l'écoulement de Puissance et, par conséquent, l'angle de rotor δ . Re-traçons la courbe (P- δ) en tenant compte de ce Défaut, figure (8). En dessous de cette courbe, nous pouvons considérer deux zones La première zone (zone A1, zone d'accélération) se situe au-dessous de la droite Horizontale correspondante au point de fonctionnement initial (la droite de charge). Elle est Limitée par les deux angles de rotor (δ_0 et δ_1) correspondants à l'apparition et à la Disparition de défaut. Cette zone est caractérisée par l'énergie cinétique stockée par le rotor Du fait de son accélération : $P_m < P_e$. La deuxième zone (zone A2, zone de décélération), qui commence après L'élimination du défaut, se situe en dessus de la droite de charge : elle est caractérisée par la Décélération du rotor : $P_m < P_e$. Si le rotor peut rendre dans la zone A2 toute l'énergie cinétique acquise durant la Première phase, le générateur va retrouver sa stabilité. Mais si la zone A2 ne permet pas de restituer toute l'énergie cinétique, la décélération du rotor va continuer jusqu'à la perte de Synchronisme .

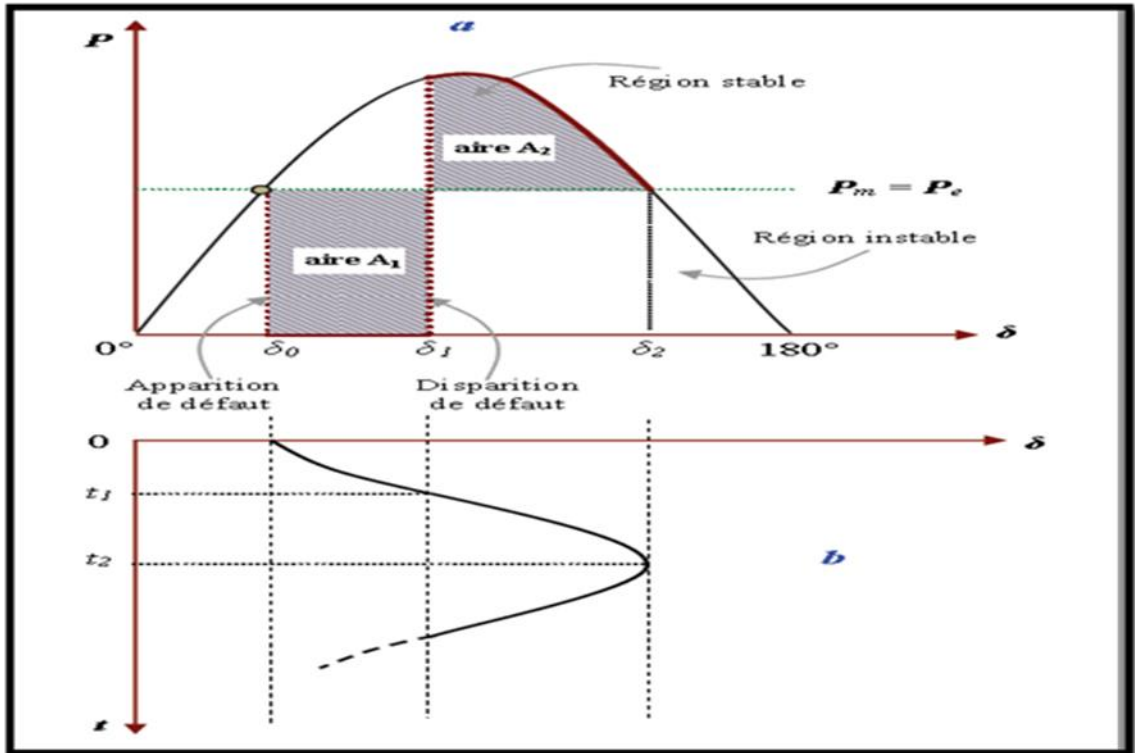


Figure II.9: Courbes (a : puissance-angle) et (b : variation d'angle de rotor) du générateur suite à un défaut de transmission.

II .6 .3 Temps critique d'isolement de défaut (TCID) :

C'est le paramètre le plus décisif dans l'analyse de la stabilité transitoire d'un réseau électrique, mathématiquement c'est la solution de l'équation différentielle de second ordre non linéaire connue sous le nom de Swing équation ou équation de mouvement. Physiquement, il représente le temps maximal durant lequel notre réseau peut supporter un défaut (court-circuit, surcharge, surtension surintensité,...) sans perdre sa stabilité. Bien que le temps critique d'isolement de défaut ait une valeur très petite (quelques centaines de millisecondes), il est d'une grande importance car il peut nous éviter un déchirement de réseau et par suite un redémarrage de turbine qui peut durer 48 heures dont les conséquences sont la non alimentation de plusieurs abonnés et l'atteinte de la crédibilité de l'entreprise de fourniture d'électricité outre les dégâts économiques et sociaux. La méthode dichotomique (parts égales) recherche le TCID en réalisant plusieurs simulations numériques successives dans un intervalle de temps de recherche choisi en le divisant en deux à chaque itération. Cette procédure itérative donne sans aucun doute la valeur la plus précise du TCID. Mais le nombre de simulation et le temps de calcul sont très importants.

II .7 Stabilité de tension :

La stabilité de tension est la capacité d'un réseau électrique de maintenir la tension en fonctionnement normal dans les limites admissibles à tous les jeux de barres, après avoir été soumis à une perturbation, pour une condition de fonctionnement initiale donnée .Le facteur Principal qui cause l'instabilité est l'inaptitude du système électrique de satisfaire la demande de La puissance réactive , L'instabilité résultante peut se produire sous forme de chute progressive Ou élévation de la tension de quelques jeux de barres , Les résultats possibles de l'instabilité de Tension sont la perte de la charge dans un secteur, ou déclenchement des lignes De transmission et même d'autres éléments, par leurs systèmes de protection à des pannes En cascades. Il est démontré que la majorité des blackouts sont causés par l'instabilité de tension Plusieurs changements dans le système de puissance peuvent contribuer à l'instabilité de Tension, ce sont par exemple :

- une augmentation de charge : des générateurs, des condensateurs synchrones, ou des SVCS (Statice Var Compensatoire systèmes) qui atteignent les limites de puissance réactive.
- une panne de générateur, une perte d'une charge importante ou un déclenchement de ligne :
- une perte d'une source de puissance réactive (condensateurs, machines synchrones,...).

Il est important de noter que l'instabilité de tension ne se produit pas toujours toute seule. Souvent, l'instabilité de tension et l'instabilité de l'angle de rotor se produisent ensemble, l'une pouvant entraîner l'autre, Selon l'amplitude de la perturbation, on distingue la stabilité de tension De petites perturbations et celle de grandes perturbations.

II .7 .1 Stabilité de tension vis-à-vis des petites perturbations :

La stabilité de tension de petites perturbations concerne la capacité du réseau électrique à Maintenir la tension dans les limites permises en présence de perturbations telles que : une Variation faible de la charge, de la production, .etc.

II .7.2 Stabilité de tension vis-à-vis des grandes perturbations :

Elle est définie comme étant la capacité du réseau électrique à maintenir les tensions des Nœuds dans les limites de fonctionnement permises en présence des grandes perturbations à Savoir la perte d'équipement de transport ou de production, le court-circuit,... .etc.

II .8 Stabilité de fréquence :

La stabilité de la fréquence d'un système de puissance se définit par la capacité du système de Maintenir sa fréquence proche de la valeur nominale suite à une perturbation sévère menant par Conséquent à un important déséquilibre, entre les puissances produite et consommée. Le maintien de la fréquence à une valeur nominale dans un système de puissance est lié à L'équilibre global entre les puissances actives produites et consommées (y compris les pertes).Autrement dit, suite à certaines perturbations, l'équilibre global des puissances produites Consommée peut être déséquilibré : ce déséquilibre entraîne alors une variation de fréquence. L'énergie cinétique stockée dans les pièces tournantes des machines synchrones et autres Machines électriques tournantes peut éventuellement compenser ce déséquilibre. Si ce dernier N'est pas trop grand, les générateurs participant à la commande de fréquence régleront la Puissance active fournie à travers leurs réglages secondaires fréquence-puissance et ramèneront Ainsi l'écart de fréquence à des valeurs acceptables. Par ailleurs, si le déséquilibre est trop grand, L'écart de fréquence sera significatif avec des graves conséquences (effondrement complet du Système), les variations de la fréquence, Le temps qui caractérise les processus et les Dispositifs actifs, s'étend de la fraction de secondes à plusieurs minutes, Par conséquent, la Stabilité de la fréquence peut être un phénomène à court ou à long terme.

II .9 Stabilité transitoire :

Lorsqu'il y a une perturbation majeure sur le réseau et que le réseau retrouve son mode de fonctionnement normal après la perturbation, alors le réseau est dit transitoirement stable. Les perturbations majeures sont les courts- circuits, les pertes de lignes, les bris D'équipements ajours comme les transformateurs de puissance et les alternateurs .

Si on prend en compte ces diverses définitions et les différentes perturbations sur le réseau, On comprend que la stabilité dynamique et la stabilité transitoire sont intimement reliées au Niveau de stabilité en régime permanent. En effet, le niveau de stabilité en régime permanent doit Etre le plus élevée possible ; lors d'une perturbation sur le réseau, un court -circuit de quelques Cycles par exemple, l'appel de puissance durant la perturbation et lors des instants qui suivent L'élimination du défaut ne doit pas atteindre la limite de stabilité en régime permanent sinon le Synchronisme risque d'être perdu. Dans ce cas, le réseau sera transitoirement instable. Plus la Limite de stabilité en régime permanent n'est élevée, plus la stabilité dynamique et la stabilité Transitoire est accrue. Une limite de stabilité en régime

permanent la plus élevée possible permet Egalement de continuer à alimenter la charge lorsqu'un équipement majeur, comme alternateur , devient hors service.

II .10 Causes d'instabilité :

Les phénomènes électriques qui influencent la stabilité d'un réseau sont généralement liés à Des variations de puissance. Naturellement, toutes les perturbations liées à l'exploitation d'un Réseau peuvent devenir source d'instabilité du fait des impacts de tension ou de courant qu'ils Produisent Néanmoins, d'autres causes plus « structurelles » peuvent augmenter les risques de départs D'instabilités. Ainsi, les charges à puissance constante sont susceptibles de donner naissance à Une instabilité, tout comme les convertisseurs ayant un filtre d'entrée LCL. Enfin, l'interconnexion de plusieurs charges sur un même bus peut aussi générer des instabilités [15].

II .11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons définir la stabilité et leur type de classification.

Chapitre III
Etude de l'AVR et PSS

III.1 Introduction :

La complexité des réseaux électriques et leur soumission à plusieurs contraintes économiques ,écologiques et techniques ont amené les fournisseurs d'énergie électrique à faire fonctionner les réseaux à pleine capacité pour avoir un équilibre entre l'augmentation de la consommation et la production, et ce dans des conditions de plus en plus proche des limites de stabilité. Dans ces conditions sévères et limites d'opération, l'occurrence de n'importe quelle contingences ou perturbations telles que les courts -circuits, les variations brusques des charges, les pertes dans les lignes et les pertes d'ouvrage (lignes, générateurs, transformateurs, etc.) peuvent mener à une situation critique commençant par des oscillations électromécaniques souvent mal amorties suivies de la perte de synchronisme et d'instabilité de système.

III.2 Description des régulations :

Les paramètres principaux pour la sûreté du système de puissance sont : La tension, La vitesse de la turbine, La fréquence et Le courant d'excitation. La régulation pendant des perturbations est faite selon ces paramètres [18] .

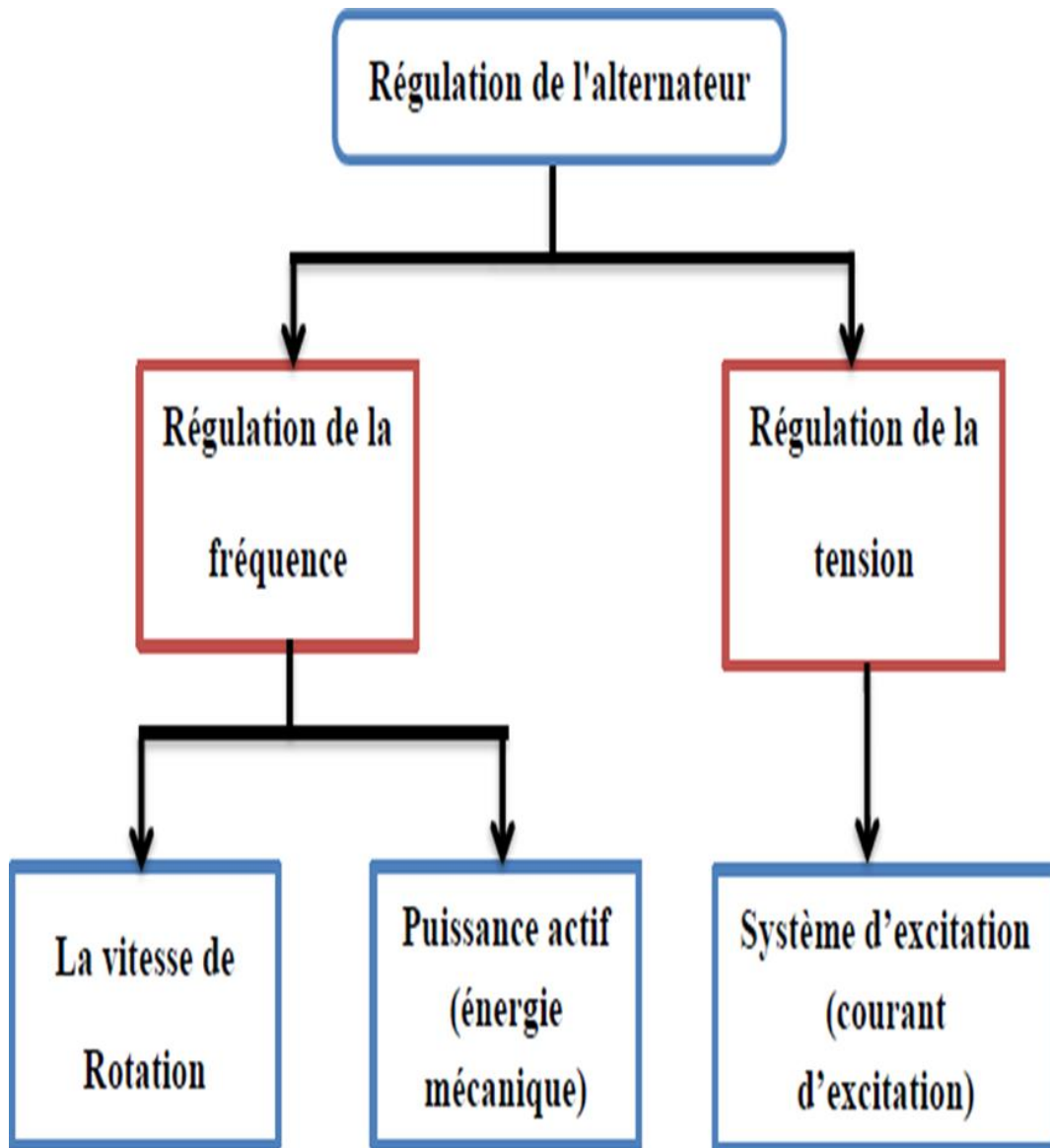


Figure (III.1) : Description breve de la régulation d'alternateur.

III.3 Exigences d'un système d'excitation :

Les exigences de performances d'un système d'excitation sont principalement déterminées par la génératrice synchrone et aussi le circuit d'alimentation. La condition de base est que le système d'excitation doit ajuster le courant de champ afin d'exciter la génératrice synchrone et maintenir la tension de sortie selon la consigne. La fonction de base de l'excitation est alors de fournir le courant continu aux bobines créant un champ au rotor de la machine synchrone ; de plus, l'excitation assure le contrôle de la tension et de la puissance réactive, ainsi que certaines fonctions protectrices du réseau (respect des limites des machines), le tout par le biais de la tension d'excitation. D'un point de vue d'installation électrique, le système d'excitation devrait contribuer au contrôle efficace de la tension et à l'amélioration de la

stabilité du système . Cela implique aussi le maintien de la stabilité transitoire en cas de perturbations et de faibles signaux. Historiquement, Le rôle du système d'excitation dans l'amélioration des performances du système d'alimentation. Auparavant, les systèmes d'excitation intervenaient manuellement dans la régulation et le maintien constant de pour maintenir la tension aux bornes du générateur souhaitée et réactive Quand le contrôle de la tension génératrice a été automatisé la première fois, il était lent. Au début des années 1920s, l'intégration des régulateurs continus dans les systèmes d' excitations a contribué dans le développement de ceux-ci, permis d' obtenir de meilleurs résultats, et suscité l'intérêt d'un grand nombre d'industriels. Depuis ce moment, le système d'excitation a connu une évolution continue. À partir des années 1960, l'importance et le rôle du système d'excitation ont été élargis en utilisant des signaux de stabilisation auxiliaires. En plus de la régulation de tension de sortie, l'excitation permettait d'amortir les oscillations de puissance du système à l'aide de stabilisateur de puissance (power system stabiliser). Les systèmes d'excitation modernes sont actuellement capables de fournir une réponse pratiquement instantanée même avec des tensions élevées (HT) . Le système d'excitation doit répondre aux exigences suivantes :

- Respecter les critères souhaités du cahier de charge.
- Fournir les limitations nécessaires afin d'assurer la protection de l'excitatrice elle-même, de la génératrice, et des autres équipements (turbine, réseau,...etc.).
- Respecter les exigences tout en assurant une flexibilité d'opération (régulation, stabilisation, ...etc.).
- Assurer la fiabilité et la validité des équipements.

III.3.1 Générateur considération :

L'exigence de base est que le système d'excitation fournisse et ajuste automatiquement le courant de champ du générateur synchrone pour maintenir la tension aux bornes lorsque la sortie varie dans les limites de la capacité continue du générateur. Cette exigence peut être visualisée à partir des courbes en V du générateur, Les marges pour les variations de température, les pannes de composants, la surchauffe d'urgence, etc., doivent être prises en compte lorsque la puissance nominale en régime permanent est déterminée. Normalement, la puissance nominale de l'excitatrice varie de 2,0 à 3,5 kW/MVA. De plus, le système d'excitation doit être capable de répondre aux perturbations transitoires avec un forçage de champ compatible avec les capacités instantanées et à court terme du générateur. Le capacités du générateur à cet égard sont limitées par plusieurs facteurs: défaillance d'isolation du rotor

due à une tension de champ élevée, échauffement du rotor dû à un courant de champ élevé, échauffement du stator dû à une charge de courant d'induit élevée, échauffement de l'extrémité du noyau pendant un fonctionnement sous-excité et échauffement dû à un excès flux (volts / Hz). Les limites thermiques ont des caractéristiques dépendant du temps, et la capacité de surcharge à court terme des générateurs peut s'étendre de 15 à 60 secondes. Pour assurer la meilleure utilisation du système d'excitation, il doit être capable de répondre aux besoins du système en tirant pleinement parti des capacités à court terme du générateur sans dépasser leurs limites.

III.3.2 Considérations relatives au système d'alimentation :

Du point de vue du système électrique, le système d'excitation devrait contribuer à un contrôle efficace de la tension et à l'amélioration de la stabilité du système. Il doit être capable de répondre rapidement à une perturbation afin d'améliorer la stabilité transitoire, et de moduler le champ du générateur de manière à améliorer la stabilité des petits signaux. Historiquement, le rôle du système d'excitation dans l'amélioration des performances du système de production n'a pas cessé de se développer. Auparavant, les systèmes d'excitation intervenaient manuellement dans la régulation et le maintien constant de la tension et la puissance réactive en sortie des génératrices. Quand le contrôle de la tension génératrice a été automatisé la première fois, il était lent. Au début des années 1920, l'intégration des régulateurs continus dans les systèmes d'excitations a contribué dans le développement de ceux-ci, permis d'obtenir de meilleurs résultats, et suscité l'intérêt d'un grand nombre d'industriels. Depuis ce moment, le système d'excitation a connu une évolution continue. À partir des années 1960, l'importance et le rôle du système d'excitation ont été élargis en utilisant des signaux de stabilisation auxiliaires. En plus de la régulation de tension de sortie, l'excitation permettait d'amortir les oscillations de puissance du système à l'aide de stabilisateur de puissance (power system stabiliser) . Les systèmes d'excitation modernes sont actuellement capables de fournir une réponse pratiquement instantanée même avec des tensions élevées (HT) . Cette partie de la commande d'excitation est appelée stabilisateur du système d'alimentation. Les systèmes d'excitation modernes sont capables de fournir une réponse pratiquement instantanée avec des tensions de plafond élevées. La combinaison d'une capacité de forçage de champ élevée et de l'utilisation de signaux de stabilisation auxiliaires contribue à améliorer considérablement les performances dynamiques globales du système. Le système d'excitation doit répondre aux exigences suivantes :

- Respecter les critères souhaités du cahier de charge.
- Fournir les limitations nécessaires afin d'assurer la protection de l'excitatrice elle-même, de la génératrice, et des autres équipements (turbine, réseau,...etc.).
- Respecter les exigences tout en assurant une flexibilité d'opération (régulation, stabilisation, ...etc.).
- Assurer la fiabilité et la validité des équipements.
- Les machines synchrones bobinées sont préférées pour applications à haute puissance, en raison de :
 - Moins de refroidissement et un rendement élevé (généralement $\eta \geq 98\%$) ;
 - Haute fiabilité et robustesse ;
 - Régulation flexible du flux et capacité d'affaiblissement ;
 - Capacité à produire et à consommer du pouvoir réactif.

III.3.3 Eléments d'un système d'excitation :

Le schéma ci-dessous (Figure (III.1)) représente les différentes parties et les éléments d'un système d'excitation appliqué pour les génératrices synchrones.

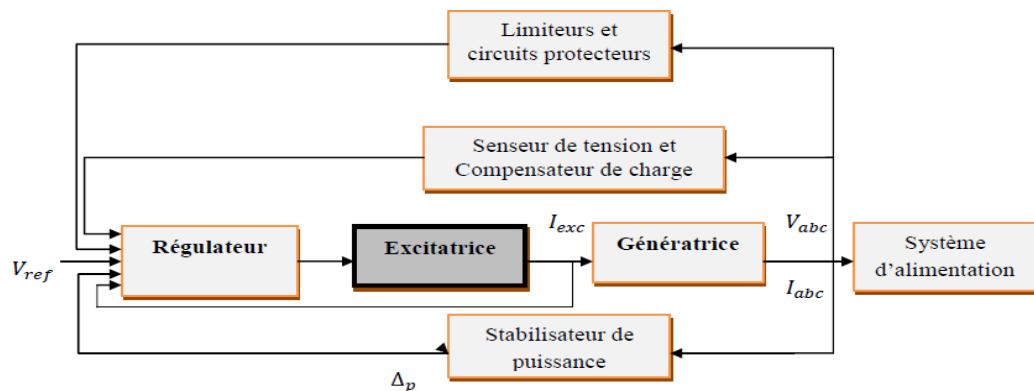


Figure (III.2) : Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice synchrone.

L'excitatrice : fournit la puissance aux bobines qui créent le champ au rotor. Typiquement, un générateur d'une puissance de 600MW nécessite une excitatrice d'environ 1MW. Le régulateur : permet de contrôler et stabiliser le signal d'entrée de l'excitatrice. Le senseur de tension : mesure la tension aux bornes de la machine, le filtre et la redresse en une valeur continue. Ensuite, cette mesure est comparée à la référence (tension voulue aux bornes de la

machine). Le compensateur de charge : est un élément additionnel et facultatif qui permet de conserver une tension constante en un point particulier distant des bornes de la machine. Le stabilisateur de puissance (PSS) : il fournit un signal d'entrée additionnel au régulateur du système d'excitation afin d'amortir les oscillations de puissance à basse fréquence du réseau électrique. Les limiteurs et les circuits protecteurs : sont toute une gamme de moyens qui s'assurent que les limites du circuit d'excitation et du générateur ne sont pas outrepassées. Par exemple, limitation du courant d'excitation, limiteur de surexcitation, limiteur de tension et limiteur de sous-excitation.

III.4 Différents types de système d'excitation :

Dépendamment de la source d'alimentation, les systèmes d'excitations pour les génératrices synchrones se distinguent selon trois types essentiels :

- Systèmes d'excitation à courant continu (DC).
- Systèmes d'excitation à courant alternatif (AC).
- Systèmes d'excitation statiques.

Ces différents types d'excitation seront décrits suivant la forme et la structure générale.

III.4.1 Système d'excitation à courant continu :

Cette catégorie d'excitation utilise une machine à courant continu comme source d'excitation, fournissant le courant au niveau du rotor de la génératrice synchrone à travers des bagues collectrices. La machine à courant continue est entraînée par un moteur de l'arbre de la génératrice, et peut être soit auto-excitée, soit excitée séparément.

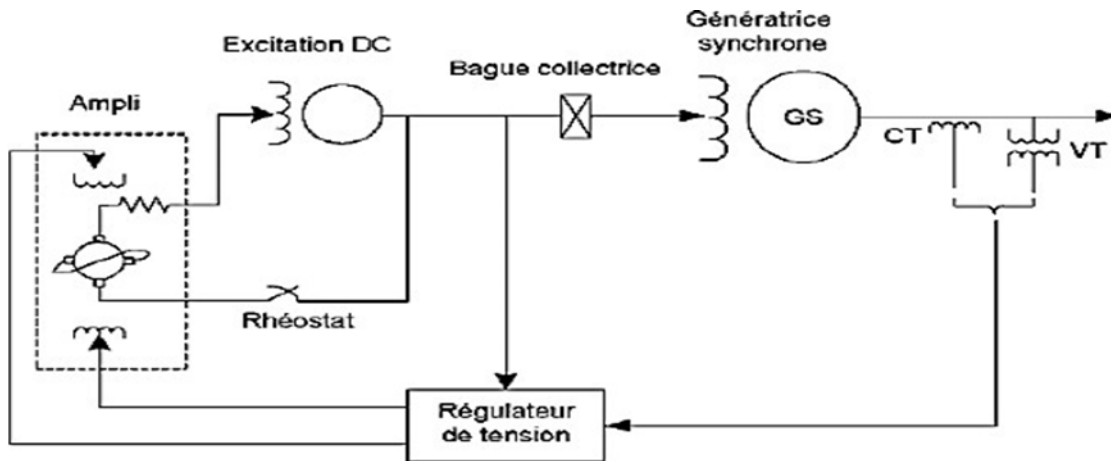


Figure (III.3) : Système d'excitation de type DC.

III.4.2 Système d'excitation a courant alternatif (AC) :

Ces systèmes d'excitation utilisent les alternateurs comme source de puissance d'excitation du générateur. Habituellement, l'excitatrice est maintenue sur le même arbre que le générateur à turbine. La sortie (AC) de l'excitateur est corrigée soit par contrôle, soit par redresseurs à diodes pour produire le courant continu nécessaire pour le champ générateur. Les redresseurs peuvent être fixes ou tournant. Les systèmes d'excitation (AC) peuvent prendre plusieurs formes selon le redresseur, la méthode de contrôle de la sortie de l'excitateur, et source d'excitation pour l'excitateur. Actuellement, les redresseurs stationnaires alternatifs et rotatifs sont largement utilisés dans les systèmes d'excitation (AC). Dans les redresseurs fixes, la sortie (DC) est alimentée vers le site d'enroulement du générateur à travers les bagues collectrices. D'autre part, dans les redresseurs en rotation, il n'est pas nécessaire de bagues et pinces (bushes). L'alimentation en courant continu alimente directement le champ générateur en tant qu'armature de l'excitatrice et des redresseurs pivotent avec le champ générateur. Ces systèmes sont connus sous le nom des systèmes sans brosse et ont été développés pour éviter les problèmes avec des brosses lorsque des courants de champ extrêmement élevés sont appliqués aux grands générateurs. Les figures (III.3) et (III.4) montrent l'excitatrice de type (AC) muni d'un redresseur stationnaire non commandé et commandé respectivement.

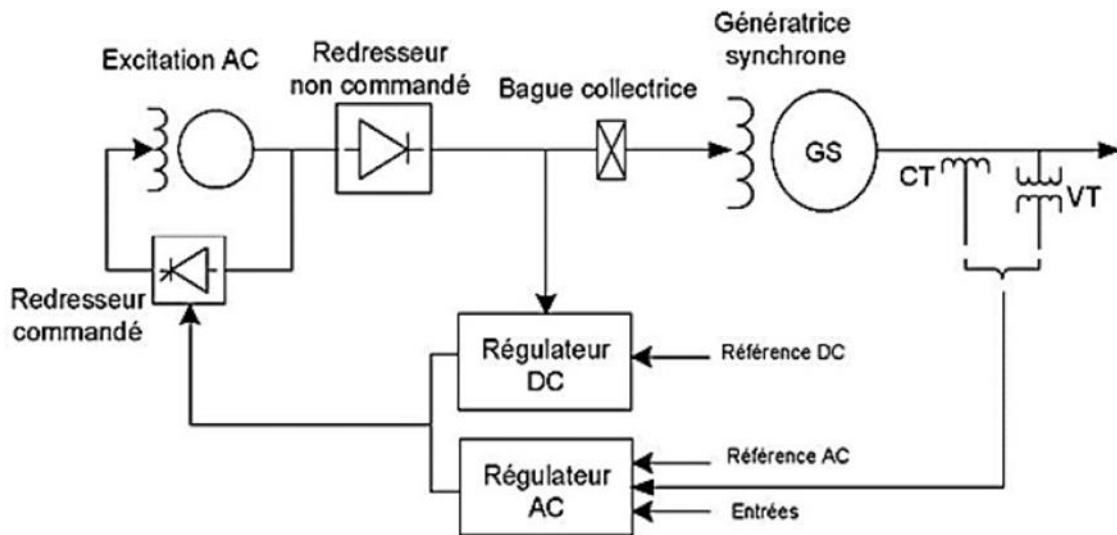


Figure (III.4) : Excitation de type AC avec redresseur non commandé.

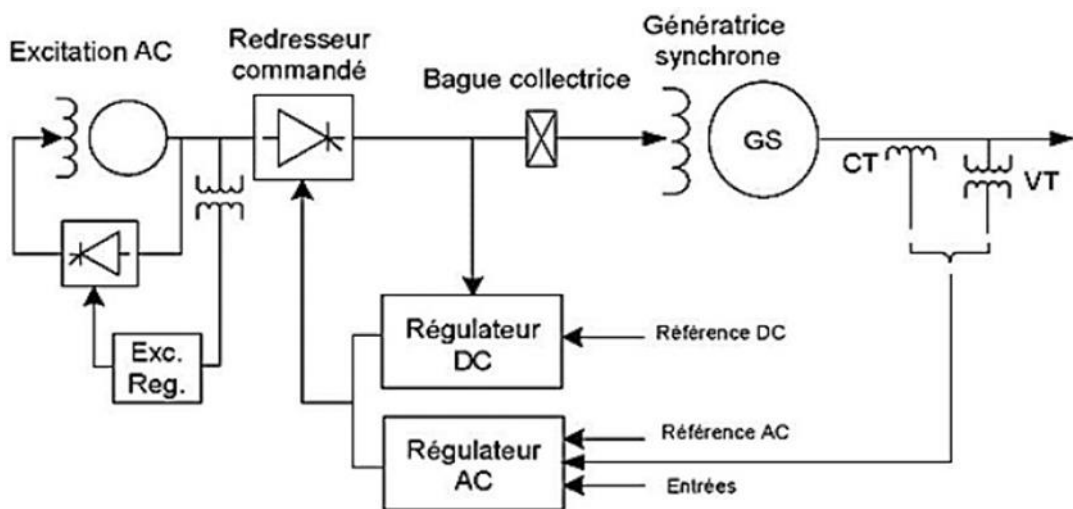


Figure (III.5) : Excitation type AC avec redresseur commandé.

III.4.3 Systèmes d'excitation statique :

Dans ce type d'excitation tous les composants sont statique ou stationnaires. Le redresseur statique fournit le courant d'excitation de la génératrice synchrone à travers des bagues collectrices, et celui-ci alimenté par génératrice synchrone à travers un transformateur

d'excitation. L'excitateur indépendant n'est pas connecté à la grille. Ainsi, ses paramètres d'excitation n'ont pas d'effet direct avec les paramètres de la grille. L'excitateur dépendant utilise soit une partie de la puissance du générateur, soit elle est connectée à la grille. Ses paramètres d'excitation dépendent de l'adhérence des paramètres. Cependant il existe trois types d'excitation statique :

- Avec redresseur commandé a source de tension
- Avec redresseur non commandé a source combinée
- Avec redresseur commandé a source combinée.

III.5 Circuits de stabilisation d'un système d'excitation :

Les systèmes d'excitation comprennent des circuits de stabilisation, qui interviennent souvent en cas d'instabilité du système causée par un temps de réponse long, et évaluent des modèles mathématiques pour atteindre les exigences de performance requises pour la conception et la coordination de la commande supplémentaire des circuits de protection, Et les études des systèmes d'alimentation en fonctionnement et de la stabilité des systèmes liés à la planification. Les spécificités du formulaire requis dépendent de l'objectif de l'étude. En se référant à la figure (III.5), les caractéristiques de contrôle et de protection qui influencent les études de stabilité transitoire sont le régulateur de tension, le stabilisateur du système d'alimentation et la stabilisation du contrôle de l'excitation.

Habituellement, il est nécessaire de considérer les circuits d'installation des systèmes d'excitation. Les systèmes d'excitation comprennent des circuits de stabilisation, qui interviennent souvent lorsque le système est instable en raison d'un temps de réponse long (la condition est présente dans le système d'excitation de type DC ou AC), ou lorsque le gain du régulateur de tension du stator est très faible. Le circuit de stabilisation comprend une compensation supplémentaire de la bague de régulation pour améliorer les performances dynamiques du système. La figure (III.6) montre la compensation la plus courante, qui est déterminée par la fonction de transfert dans le modèle. Les circuits de protection représentés sur la figure sont uniquement destinés aux études de stabilité de tension à moyen et long terme. Certains systèmes d'excitation sont fournis avec des limiteurs de tension aux bornes à action rapide conjointement avec les stabilisateurs du système d'alimentation ; Cela devrait être modélisé en simulant la stabilité transitoire. Dans cette section, la modélisation des

La Figure (III.5) présente toutes les différentes fonctions et circuits de protection d'un système d'excitation. Cependant l'utilisation de ces fonctions n'est pas requise par les différents types de système d'excitation, mais elles sont distinctes d'un système à l'autre.

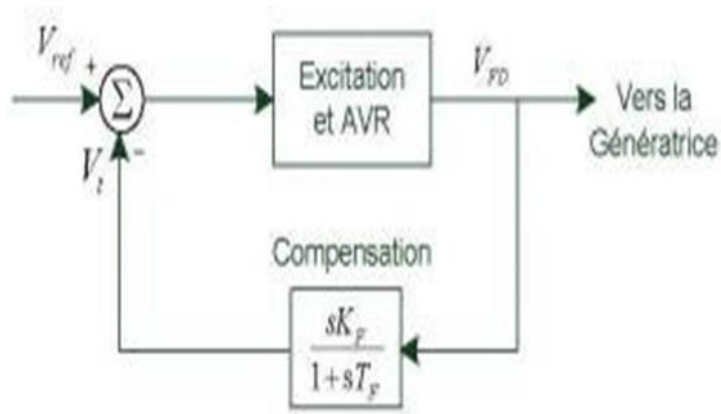


Figure (III.7) : Schéma de stabilisation et régulation de l'excitation .

III.6 Les régulateurs de tension :

Le système d'excitation est un système auxiliaire qui alimente les enroulements d'excitation de la machine synchrone afin que cette dernière puisse fournir le niveau de puissance demandé. En régime permanent, ce système fournit une tension et un courant continu mais il doit être capable également de faire varier rapidement la tension d'excitation en cas de perturbation sur le réseau .Les systèmes d'excitation sont équipés de contrôleurs, appelés habituellement régulateurs de tension (AVR : Automatic Voltage Regulator) .Ces derniers sont très importants pour l'équilibre de la puissance réactive qui sera fournie où absorbée selon les besoins des charges. En outre ces contrôleurs représentent un moyen très important pour assurer la stabilité transitoire du système de puissance.

Le régulateur de tension agit sur le courant d'excitation de l'alternateur pour régler le flux magnétique dans la machine et "ramener" la tension de sortie de la machine aux valeurs souhaitées. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation .La figure suivante montre le modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension.

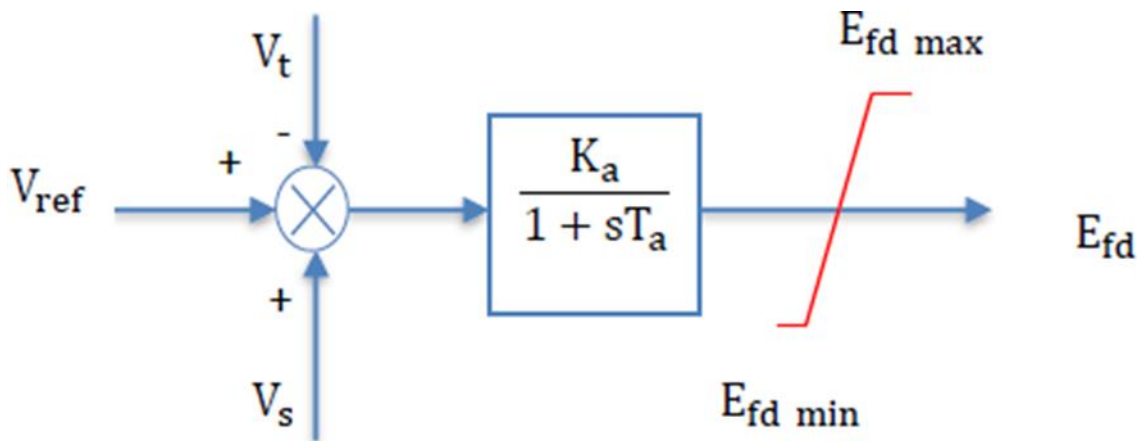


Figure (III.8) : Modèle schématique d'un régulateur de tension AVR.

Tel que :

V_t : Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone.

V_s : Tension du nœud infini.

E_{fd} : Tension d'excitation de la machine synchrone. E_{fd_max} : Limite supérieure de la sortie de l'AVR. E_{fd_min} : Limite inférieure de la sortie de l'AVR. $V_{réf}$: Tension de référence. T_a : Constante de temps de l'AVR. K_a : Gain de l'AVR.

La grandeur $V_{réf}$, est la consigne de tension déterminée pour satisfaire les conditions de l'état équilibré, Le régulateur de tension compare le signal V_t à la tension de consigne $V_{réf}$. Un signal complémentaire U_s peut-être ajouté au nœud de sommation : il s'agit d'un signal issu de certains dispositifs spécifiques de commande comme les stabilisateurs de puissance. Ensuite, le signal d'erreur est amplifié pour donner la tension d'excitation demandée E_{fd} .

La constante de temps et le gain de l'amplificateur sont respectivement T_a et K_a . Les valeurs extrémales de la tension d'excitation (E_{fd_max} , E_{fd_min}) sont fixées par un système de limitation. La relation suivante décrit le fonctionnement dynamique du modèle [20] :

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

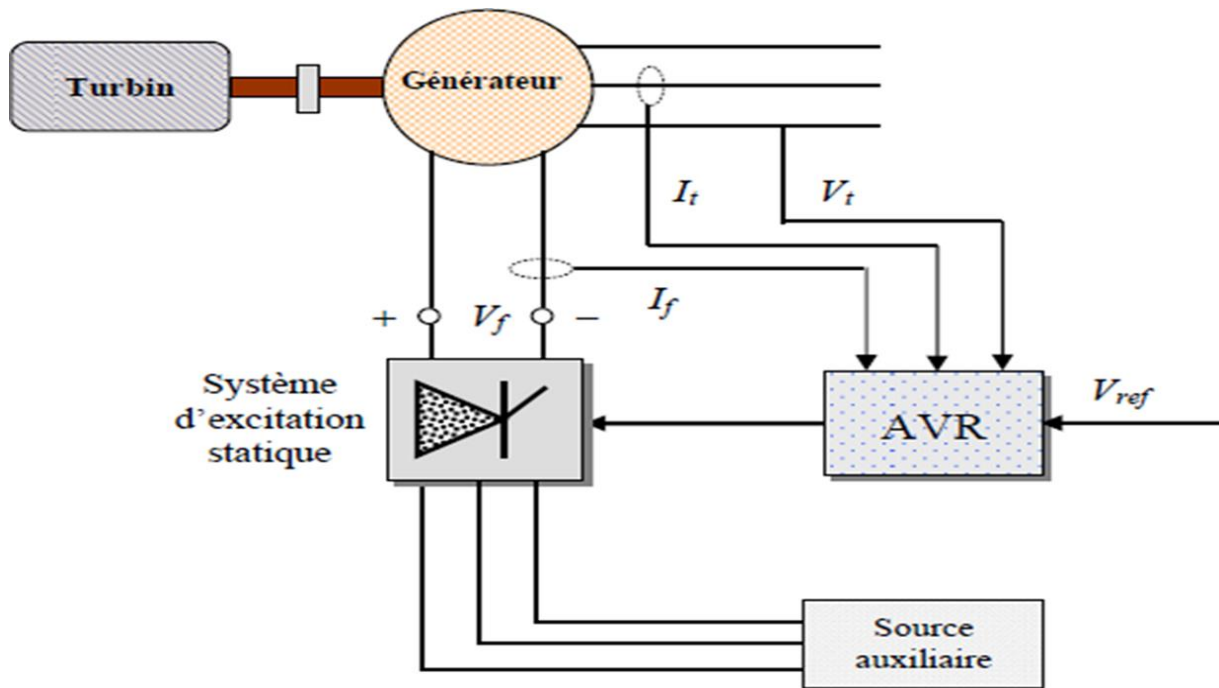


Figure (III .9) :Structure générale d'un système d'excitation statique avec son AVR.

III.7 Le PSS (Power System Stabilizer) :

Pour surmonter le problème des oscillations électromécaniques et améliorer l'amortissement du système, des signaux supplémentaires stabilisateurs sont ajoutés dans le système d'excitation via le régulateur de tension. L'ajout d'un stabilisateur de puissance (Power System Stabilizer PSS), le moyen le plus efficace et le plus couramment utilisé pour amortir les oscillations électromécaniques et assurer la stabilité de système, a suscité une attention permanente de la communauté scientifique, fournisseurs et chercheurs, concernée par l'énergie électrique.

III.8 Principe de fonctionnement d'un (PSS) :

Un PSS permet d'ajouter un signal de tension proportionnel à la variation de vitesse de rotor dans l'entrée du régulateur de tension (AVR) du générateur, figure (III .8). Un couplectrique en phase avec la variation de vitesse de rotor est ainsi produit dans le générateur.

Par conséquent, avec un système d'excitation rapide et fort, l'avantage présenté par un couple synchronisant important est toujours assuré et le problème de la décroissance du couple

d'amortissement est corrigé. Le PSS va s'opposer à toutes les faibles oscillations en forçant le système d'excitation à varier au plus juste et au bon moment.

Par conséquent, l'ensemble du système de contrôle d'excitation (AVR et PSS) doit assurer les points suivants :

Supporter les premières oscillations faisant suite à une grande perturbation; c.-à-d. assurer la stabilité transitoire du système.

- Maximiser l'amortissement des oscillations électromécaniques associées aux modes locaux ainsi qu'aux modes interrégionaux sans effets négatifs sur les autres modes.
- Minimiser la probabilité d'effets défavorables, à savoir : Les interactions avec les phénomènes de hautes fréquences dans le système de puissance telle la résonance dans le réseau de transport.
- Les instabilités locales dans la bande de l'action désirée du système de contrôle.
- être suffisamment robuste pour permettre au système de contrôle d'assurer ses objectifs
- pour divers points de fonctionnement probables du système de puissance.

III.9 Le choix du signal d'entrée de PSS :

Le choix du signal d'entrée de PSS représente une étape critique dans la conception du PSS. Plusieurs considérations interviennent dans ce choix, telles :

la sensibilité du signal d'entrée aux oscillations électromécaniques (autrement dit, les modes oscillatoires doivent être "observables" dans le signal choisi).

l'insensibilité du signal d'entrée du PSS à son propre signal de sortie. D'une façon similaire, la sensibilité doit être très la plus faible possible pour les signaux de sortie d'autres PSSs.

Un bon résultat peut être obtenu si l'entrée du PSS est la variation de la vitesse de rotor ($\Delta\omega$), la variation de puissance produite du générateur (ΔP_e) ou la fréquence du jeu de barre (Δf). Etant donné que le PSS est utilisé pour produire un couple électrique proportionnel à la variation de vitesse, il apparaît donc plus convenable d'utiliser la variation de vitesse ($\Delta\omega$) comme entrée du PSS. Cependant, quel que soit le signal d'entrée, la fonction de transfert du PSS doit compenser les caractéristiques de phase du système d'excitation, des parties électriques du générateur et des autres parties électriques du système. L'ensemble de ces dernières déterminent la fonction de transfert entre l'entrée du système d'excitation (ΔV_{er}) et

le couple électrique du générateur (ΔT_e), Cette fonction de transfert est dénotée $GEP(s)$, le figure (III .9).

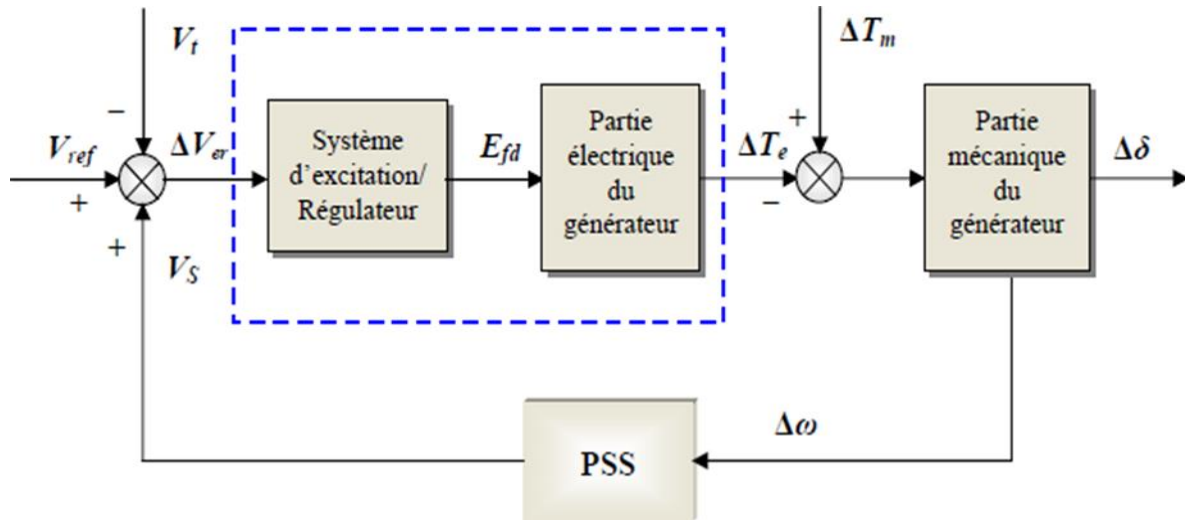


Figure (III .10) Modèle simplifié de liaison entre un PSS et le système.

III .10 Les types des PSSs :

Le type de PSS le plus utilisé est connu sous le nom de PSS conventionnel (ou PSS avance/retard). Ce type a montré sa grande efficacité dans le maintien de la stabilité aux petites perturbations.

Ce PSS utilise la variation de vitesse de rotor comme entrée. Il se compose généralement de quatre blocs , figure (III .10) :

- Un bloc d'amplificateur.
- Un bloc de filtre passe-haut "filtre washout".
- Un bloc de compensation de phase.
- Un limiteur [21].

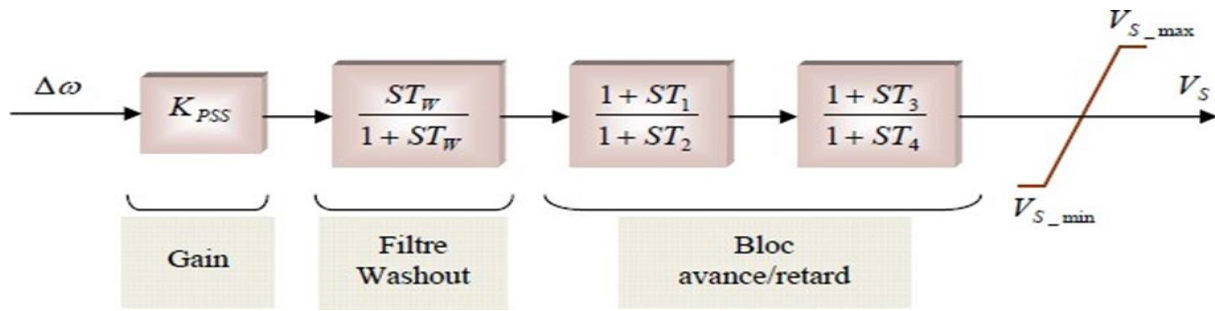


Figure (III .11) Modèle d'un PSS avance/retard.

III.11 Différents blocs de PSS :

III.11 .1 L'amplificateur :

Il détermine la valeur de l'amortissement introduit par le PSS. Théoriquement, sa valeur (K_{PSS}) doit correspondre à l'amortissement maximal. Toutefois, la valeur du gain doit satisfaire l'amortissement des modes dominants du système sans risquer de dégrader la stabilité des autres modes ou la stabilité transitoire [22]. Généralement, K_{PSS} varie généralement de 0.01 à 50 [21].

III.11 .2 Le filtre passe-haut "filtre washout" :

Il élimine les oscillations à très basse fréquence (inférieure à 0.2 Hz) présentées dans le signal d'entrée. Il supprime également la composante continue de la vitesse (la composante "DC" correspondant au régime statique) : le PSS ne réagit donc que lorsqu'il y a des variations de vitesse. La constante de temps de ce filtre (T_w) doit être suffisamment grande pour permettre aux signaux, dont la fréquence est située dans la bande utile, d'être transmis sans atténuation. Mais, elle ne doit pas être trop grande pour éviter de mener à des variations indésirables de tension de générateur pendant les conditions d'îlotage. Généralement, T_w varie de 1 à 20 secondes. Une amélioration remarquable sur la stabilité de la première oscillation est obtenue avec une valeur T_w fixée à 10 secondes [23].

III.11 .3 Le filtre compensation de phase :

L'origine de l'amortissement négatif est, comme nous l'avons vu, associée au retard de phase introduit entre le couple électrique du générateur (ΔT_e) et l'entrée du système d'excitation (ΔV_{er}). Par conséquent, le PSS fournit l'avance de phase nécessaire pour

compenser le retard de phase de la fonction de transfert GEP. Pratiquement, un bloc de phase d'avance pure ne suffit pas pour réaliser la compensation de phase nécessaire ainsi, un bloc d'avance/retard de phase est souvent utilisé. Pour mieux garantir la stabilité du système, deux étages (au moins) de compensations de phase sont nécessaires. La fonction de transfert de chaque étage est une simple combinaison de pole-zéro, les constantes de temps d'avance et de retard étant réglables. La gamme de chaque constante de temps s'étend généralement de 0.01 à 6 secondes. Mais pour des considérations de réalisation physique, les constantes de temps de retard sont considérées fixes et généralement autour de la valeur de 0.05 secondes [24].

III.11.4 Le limiteur :

Le PSS est conçu pour améliorer l'amortissement du système en cas de petites variations autour d'un point d'équilibre. Son objectif n'est pas de restaurer la stabilité du système aux perturbations sévères (la stabilité transitoire). Le PSS a parfois tendance à perturber le bon fonctionnement du régulateur de tension en le saturant lorsque ce dernier essaye de maintenir la tension lors des conditions transitoires.

Ainsi, le PSS doit être équipé d'un limiteur afin de réduire son influence indésirable durant les phases transitoires [25]. Les valeurs minimales et maximales du limiteur s'étendent de ± 0.02 à 0.1 per-unit [26] .

III.12 Réglage des paramètres de PSS :

Le problème de la conception d'un PSS est de déterminer les valeurs de ses paramètres pour :

- Augmenter l'amortissement des modes du système.
- Assurer une stabilisation robuste.

La minimisation des risques probables des interactions défavorables et des effets négatifs sur les autres modes oscillatoires du système représente aussi un point critique important qui influence le réglage de PSS. En outre, les valeurs des paramètres du PSS doivent être réglées sans entraîner d'effet négatif dans la restauration de la stabilité transitoire. De nombreuses méthodes sont proposées dans la littérature pour le réglage des paramètres de PSS. Généralement, la plupart de ces méthodes sont basées sur l'analyse des valeurs propres du système.

III.13 Emplacement optimal des PSSs :

Tous les générateurs du système ne participent pas aux modes dominants : tous les générateurs n'ont donc pas besoin d'être équipés des PSSs. En outre, il faut tenir compte des interactions négatives entre les PSSs qui augmentent avec le nombre de ces derniers. Enfin, il faut tenir compte des critères économiques.

Ainsi, la première étape de la mise en oeuvre des PSSs, est de trouver les emplacements optimaux des PSSs nécessaires et de déterminer leur nombre. Ce problème a fait l'objet, depuis une dizaine d'années, d'un grand nombre de recherche .

Les approches les plus efficaces proposées sont basées sur l'analyse modale du système linéarisé :

- Le mode Shape.
- Les facteurs de participations.
- Les résidus [27] .

Comme nous l'avons vu, les amplitudes des résidus associés aux modes dominants de la fonction de transfert du système en boucle ouverte peuvent être utilisées pour déterminer les placements les plus efficaces pour installer les PSS s. Les amplitudes des facteurs de participation ou du mode Shape permettent de déterminer l'influence de chaque variable d'état dans les modes oscillatoires associés. Ces méthodes peuvent donc nous fournir des indications importantes sur l'emplacement optimal des PSSs dans le système pour réaliser un meilleur amortissement par rapport à des critères donnés.

Sachant que des emplacements différents des PSSs entraînent des oscillations totalement différentes, des PSSs "mal placés" peuvent donc ne pas répondre aux objectifs. Pour cela, il faut bien choisir la méthode qu'il faut appliquer pour déterminer les bons emplacements des PSSs [28].

III.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le rôle et le fonctionnement du système d'excitation, et les différents types d'une façon générale les régulateurs de tension AVR, son modèle schématique ainsi que son principe de fonctionnement.

On a présenté d'une façon générale le modèle de fonctionnement d'un stabilisateur PSS. En outre, Les différents blocs de réglage des paramètres du PSS et leurs emplacements ont été analysés.

Chapitre IV : Simulation et Résultats

IV .1 : Introduction :

On va étudier le cas d'une machine puissante connectée à un réseau infini (SMIB), la machine est l'équivalent de 4 générateurs dans la même station connectés parallèle.

La puissance est de 4 x 500 MVA, et les données de la machine, de son système d'excitation et de l'AVR et du PSS sont prises de la littérature. La machine est supposée modélisée par un modèle qui prends en compte la dynamique du système d'excitation.

On va prendre les 3 cas suivants :

1. La machine marche avec une tension d'excitation E_{fd} constante, c.a.d. sans AVR.
2. La tension d'excitation de la machine est régulée par un AVR.
3. Un PSS est introduite pour stabilise la machine.

Dans les 3 cas :

On suppose une petite perturbation dans l'angle de charge de quelque degrés avec une perturbation nulle de fréquence, et on registre la réponse de la machine aux oscillations produites.

IV .2 Système sans AVR:

Le diagramme bloc est se le montre sur la figure IV.1

Le Tableau IV.1 donne les paramètres et les valeurs propres de la matrice d'état sont calculées par MATLAB. SIMULINK donne les réponses de la tension d'excitation ainsi que le courant d'excitation.

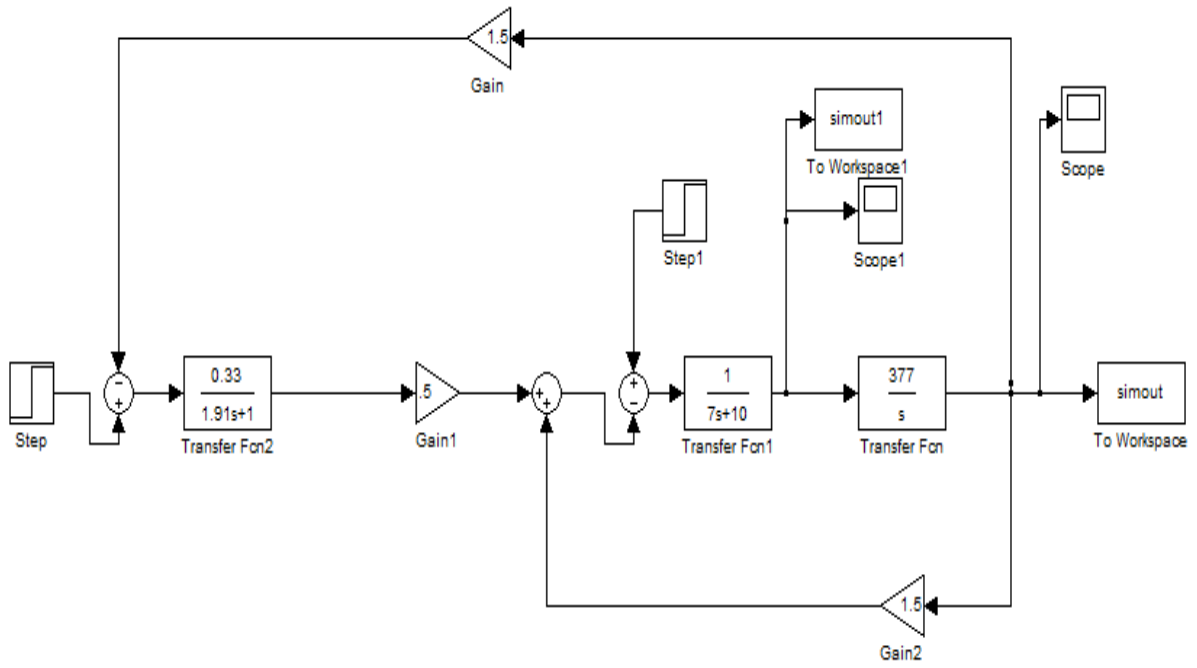


Figure IV .1 : bloc diagramme du système sans AVR.

Les constantes	K1	K2	K3	K4	T3	H	KD
Les valeurs	0.6862	0.9956	0.422	1.633	2.365	3.5	10

Tableau IV .1 : les paramètres de réglage du système .

```
>> A=[-1.43 -0.108;377.0 0]
A =
    -1.4300    -0.1080
   377.0000         0
>> eig(A)
ans =
    -0.7150 + 6.3407i
    -0.7150 - 6.3407i
```

figure IV .2 : les valeur propre (sans AVR).

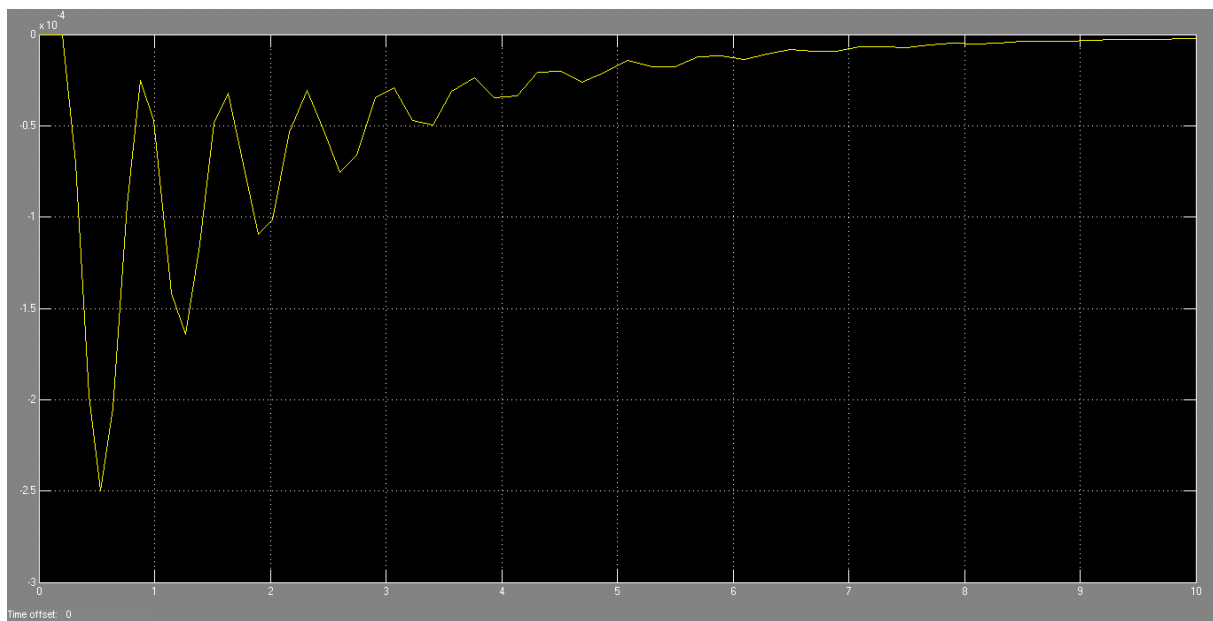


Figure IV .3: la tension d'excitation EFD.

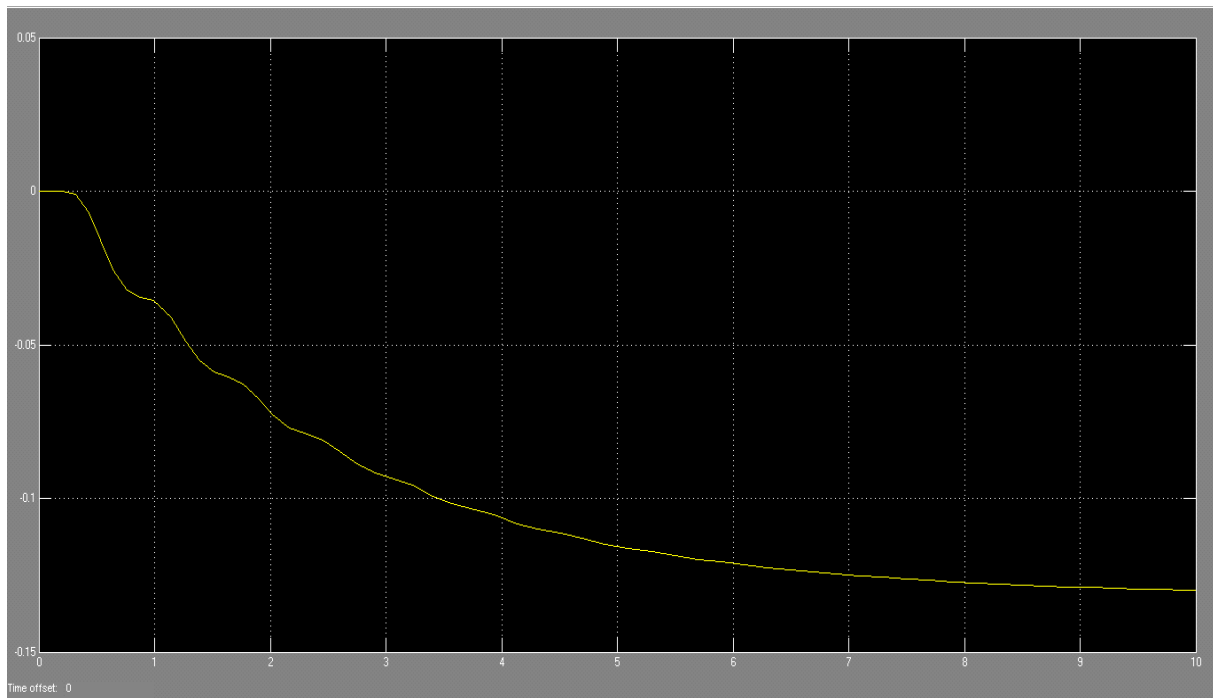


Figure IV.4: courant d'excitation de machine EFD.

Résultat : On voit que les valeurs propres de la matrice sont négatives ce qui implique que les oscillations du système sont amorties et la machine est stable.

IV .3 la tension d'excitation régulée par un AVR :

On voit que la machine non régulée est stable, mais la tension de sortie n'est généralement pas régulée ,ce qui nuit à la marche normale du système. Pour cela on installe un AVR pour réguler la tension d'excitation. Le diagramme bloc est montre dans la Fig. IV.5 :

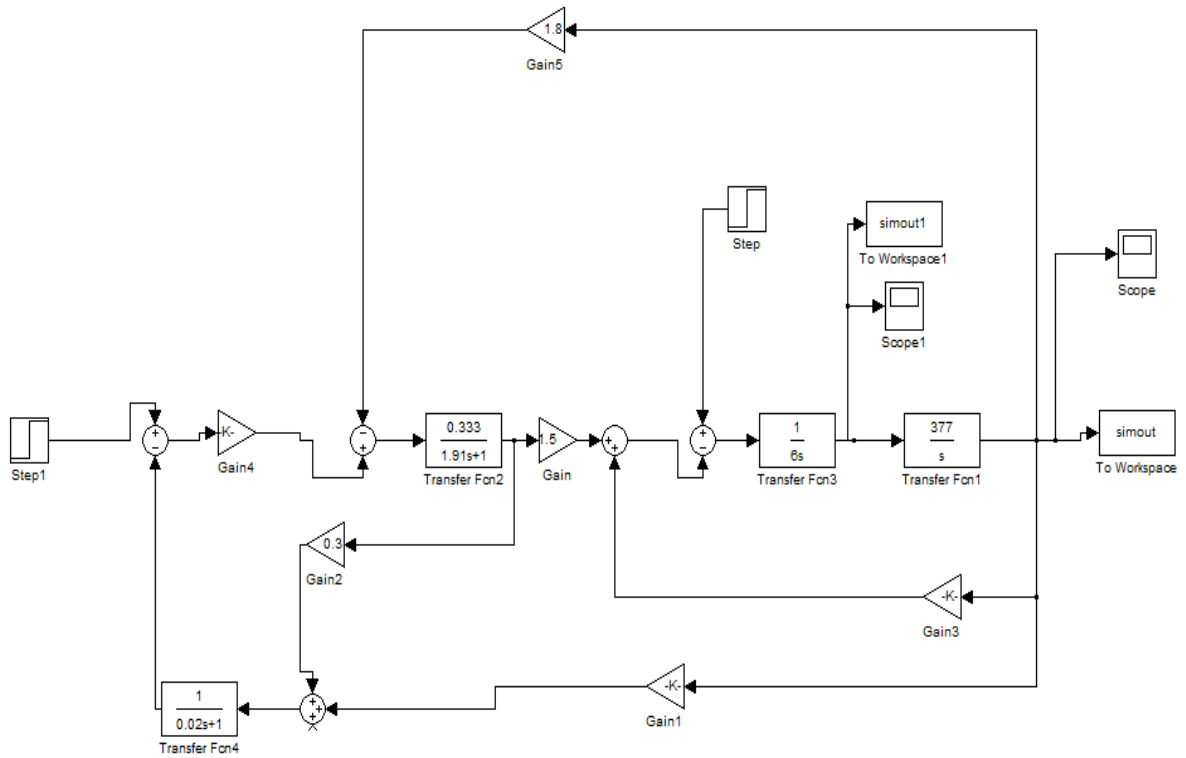


Figure IV .5: block diagramme représentation avec exciter and AVR.

Les constants	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Gex	KD	TR	T3	H
Les valeurs	1.591	1.5	0.333	1.8	-0.12	0.3	200	10	0.02	1.91	3

Tableau IV .2: les paramètres de réglage du system.

```

>> A=[0 -0.1092 -0.1236 0;376.99 0 0 0;0 -0.1938 -0.4229 -27.3172;0 -7.3125 20.8391 -50.0]

A =

    0    -0.1092   -0.1236     0
 376.9900     0         0     0
    0    -0.1938   -0.4229  -27.3172
    0    -7.3125   20.8391  -50.0000

>> eig(A)

ans =

    0.5045 + 7.2324i
    0.5045 - 7.2324i
   -31.2294
   -20.2025

```

Figure IV .6 : les valeurs propres (exciter et AVR).

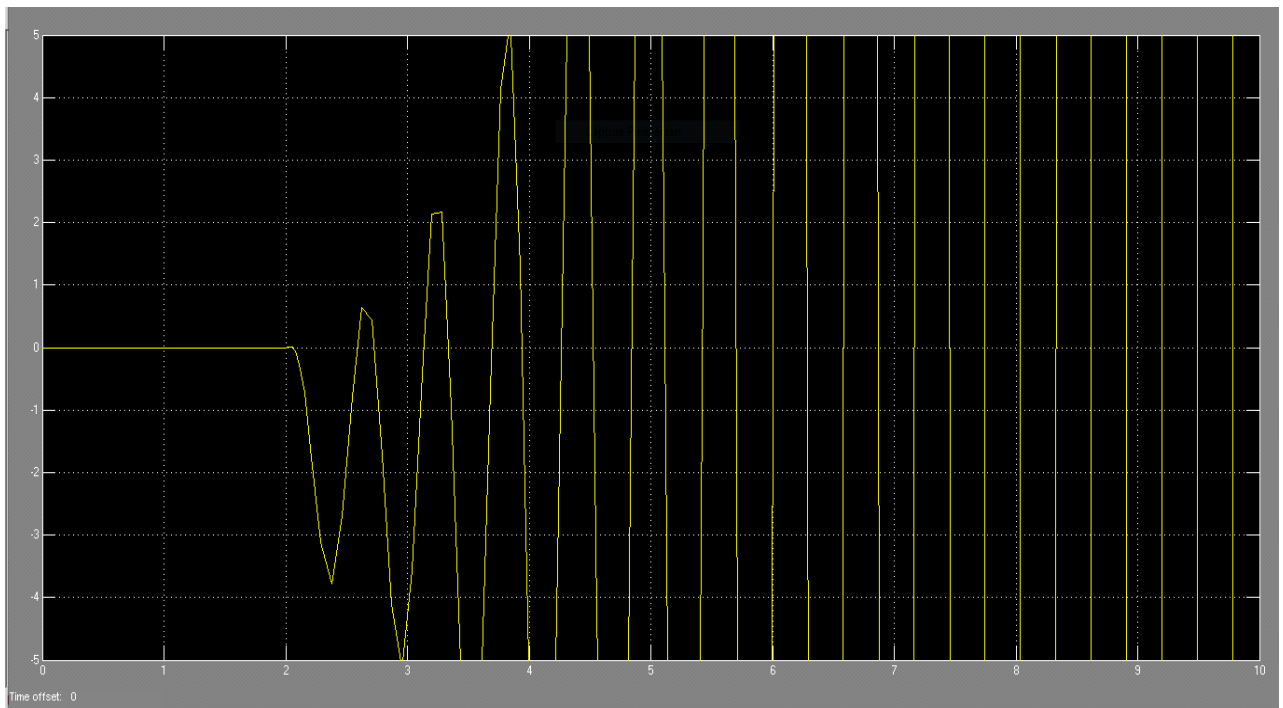


Figure IV .7 : la tension d'excitation AVR.

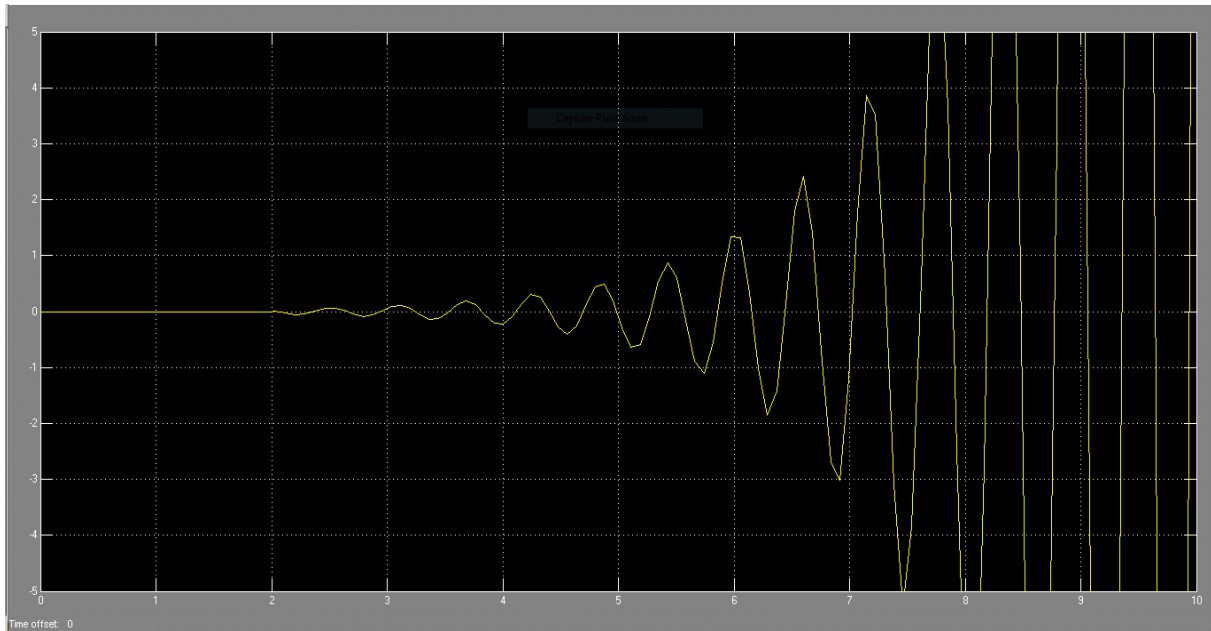


Figure IV .8 : courant d'excitation machine AVR.

Remarque: on voit le régulateur AVR introduit des oscillation non amorties, c'est-à-dire que, malgré son rôle supposé bénéfique dans la régulation de tension de sortie, il introduit un amortissement négatif. Ceci se voit aussi dans la présence d'une valeur propre à partie réelle positive.

IV .4 Introduction de PSS :

Pour pallier à l'inconvénient, on introduit un PSS, comme montre la figure IV .9. D'après les l'analyse modale, on voit la non-existence de valeurs propres à partie réelle positive ce qui implique la stabilité du système.

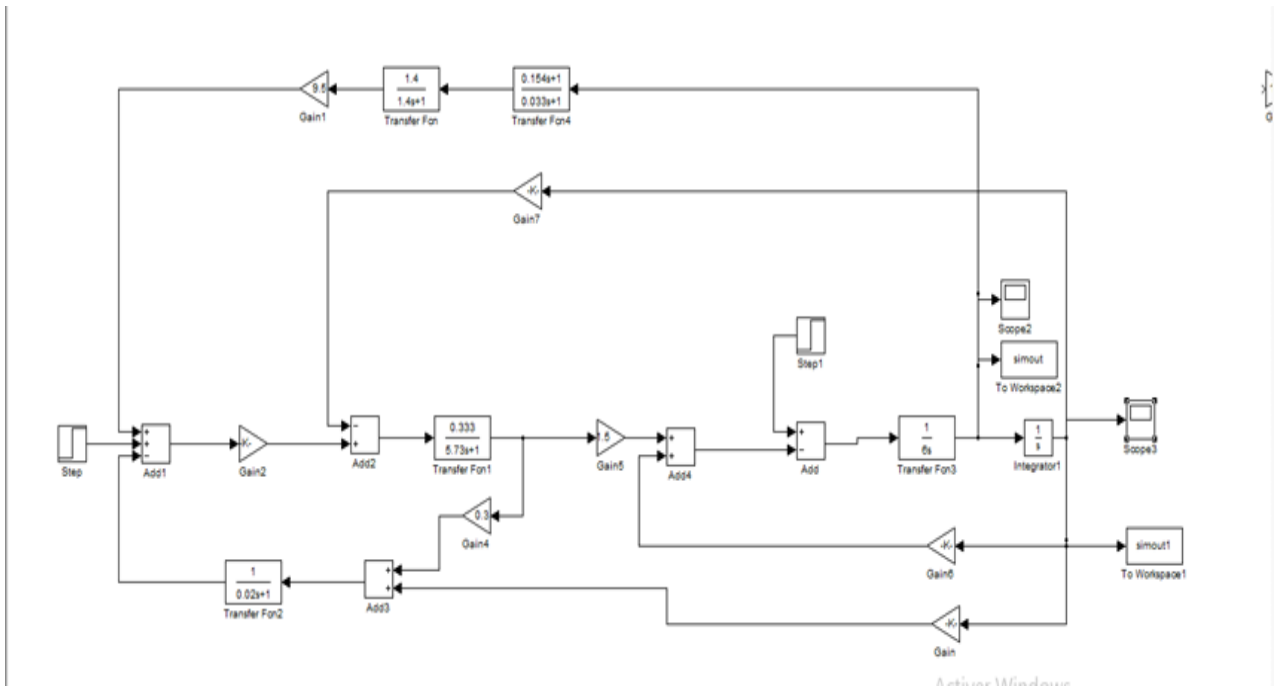


figure IV .9 :Bloc diagramme représentation Avec PSS.

Les constantes	K1	K2	K3	K4	K5	K6	G	T	H	K	W	T	K	T	T	T
Les valeurs	1.591	1.5	0.333	1.8	-0.12	0.3	200	1.91	3	10	377	0.02	9.5	1.4	0.154	0.0333

Tableau IV .3: les paramètres de réglage du system .

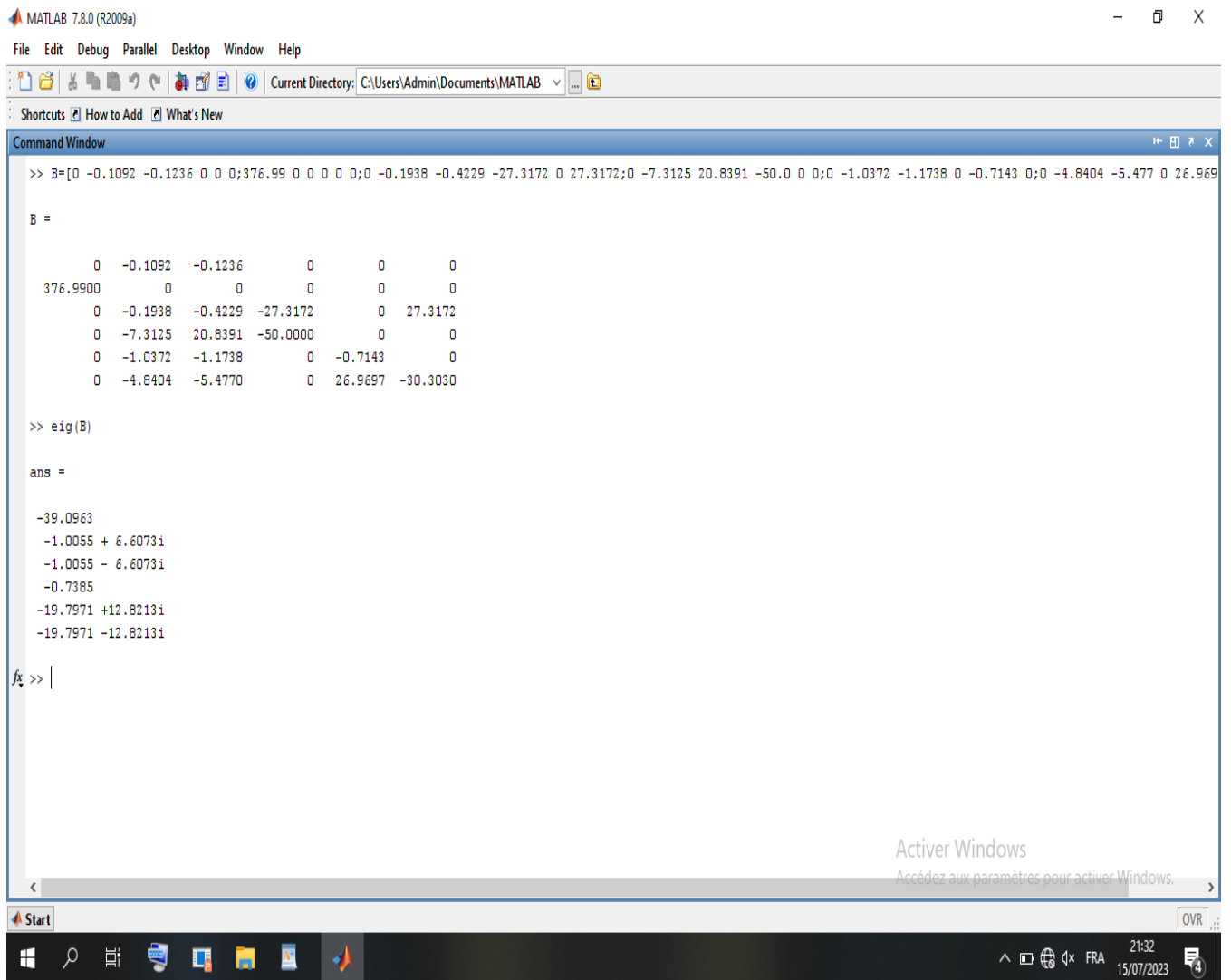


figure IV .10 :les valeurs propres (PSS).

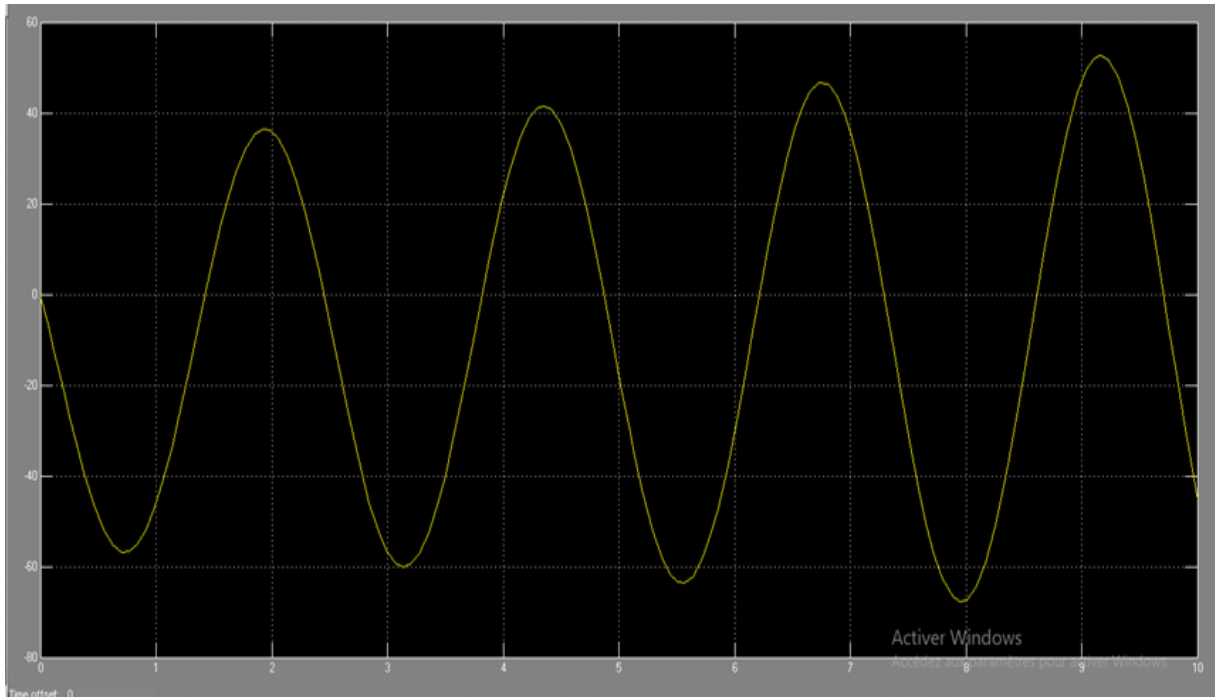


Figure IV .11 : la tension d'excitation PSS.

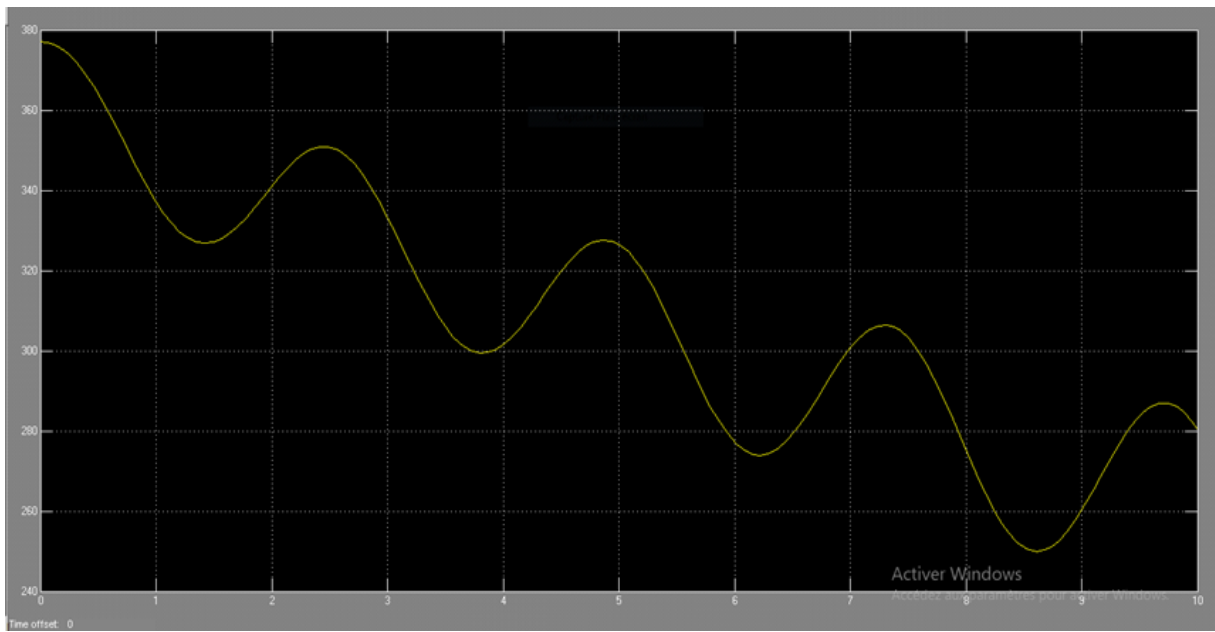


Figure IV .12: courant d'excitation PSS.

IV.5 Conclusion :

De l'étude présente, on conclut que si le régulateur automatique de tension (AVR) est nécessaire pour fixer la tension de sortie de la machine dans le cas de marche normale, lors d'une petite perturbation, toujours présente dans les réseaux, cet AVR introduit un amortissement négatif qui amplifie les oscillations induites par la perturbation. Une fois l'amplitude des oscillations devient importante, l'étude modale linéaire n'est plus valable et on doit faire recours à des calculs numériques. Le PSS est introduit et ses paramètres ajustés pour amortir les oscillations

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans ce travail on a présenté d'abord une généralité sur les réseaux électriques et les différents classification du réseau électrique.

Le deuxième chapitre , décrit un rappel sur la stabilité du réseau électrique et leur classification et les méthodes d'amélioration de la stabilité .

Le troisième chapitre , nous avons présenté d'une façon générale les régulateurs de tension AVR, son modèle schématique ainsi que son principe de fonctionnement ,et

On a présenté d'une façon générale le modèle disfonctionnement d'un stabilisateur PSS. Enoutre, Les différents blocs de réglage des paramètres du PSS et leurs emplacements ont été analysés.

Dans le dernier chapitre, on étudie un cas concret et on conclut que si l'AVR est requis pour fixer la tension de sortie de la machine, lors d'une petite perturbation, cet AVR amplifie les oscillations induites par la perturbation. Le PSS est introduit et ses paramètres ajustés pour amortir les oscillation

Référence Bibliographique

- [1] **M. FERGANE**, { Les Méthodes D'amélioration De La Stabilité Dynamique Dans Les Réseaux Electriques },Mémoire de Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF , 2014.
- [2] **Z. Bouchama**, { Stabilisateurs Synergétiques des Systèmes de Puissance }, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas– Sétif , 2013.
- [3] **M. FERGANE**, { Les Méthodes D'amélioration De La Stabilité Dynamique Dans Les Réseaux Electriques },Mémoire de Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF , 2014.
- [4] **L. Sari - Ch .Diabi** , { Etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 KV }, Mémoire Master , Université Badji Mokhtar – Annaba , 2017.
- [5] **A. Bahloul -M. Mekhenane**,{ Etude de la stabilité de la tension }, Mémoire Master, Université 8Mai 1945 – Guelma, 2022.
- [6] **T. BENBOUDJEMA- O. AGRI**, { Etude des capacités et perspectives de production d'énergie électrique en Algérie }, Mémoire Master, Université A. MIRA – Bejaia ,2015.
- [7] **L. Sari - Ch .Diabi** , { Etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 KV }, Mémoire Master , Université Badji Mokhtar – Annaba , 2017.
- [8] **S.DJEBAIRIA – R.HOUAMRIA** ,{ Amélioration de la qualité de l'énergie électrique }, Mémoire Master, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2021.
- [9] **M.MALEK – M. S. BALI** ,{ Etude comparative sur les méthodes d'analyse de la stabilité des réseaux électriques }, Mémoire Master, Université A. MIRA – Bejaia, 2016.
- [10] **F. Benmeziane – Z .Nadji** ,{ Etude des différents type de protection des lignes de transport de l'électricité haute tension } , Mémoire Master , Univ Blida1, 2020.

- [11] **T. BRAHMIA – F.KOUADRIA**, { Modélisation des paramètres des lignes électriques }, Mémoire Master, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2020.
- [12] **N. BENDECHECHE**, { Influence combinée des UPFC et des PSS sur la stabilité transitoire des réseaux électriques }, Mémoire Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF, 2011.
- [13] **Y. BOUKHEDIR - B. ADJEL** , { Etude de la stabilité transitoire d'un réseau THT en utilisant l'AVR et le PSS avec intégration d'une source renouvelable éolienne }, Mémoire Master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [14] **A. rTerfa-A. r .Tafzi**, { Effet des systèmes d'excitation des alternateurs sur la stabilité des réseaux }, Mémoire Master, Université Djilali Bounaamakhemis Miliana, 2020.
- [15] **D. BENZIANE – A. BOUDJELLA** , { Analyse de la stabilité transitoire dans les réseaux électriques }, Mémoire Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2022.
- [16] **F. LAGRAF** , { Optimisation des paramètres de PSS par voie des méthodes méta heuristiques }, Mémoire Master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
- [17] **Laslo Z. Racz et Bela Bokay**, Power System Stability, Ed Elsevier, Amsterdam, 1988, (Vol.30).
- [18] **Y. BOUKHEDIR - B. ADJEL** , { Etude de la stabilité transitoire d'un réseau THT en utilisant l'AVR et le PSS avec intégration d'une source renouvelable éolienne }, Mémoire Master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [19] **A. Terfa-A. Tafzi**, { Effet des systèmes d'excitation des alternateurs sur la stabilité des réseaux }, Mémoire Master, Université Djilali Bounaamakhemis Miliana, 2020.
- [20] **Y. Charef , - B. Chelouti** , { Optimisation de la stabilité dynamique d'un alternateur de puissance liée à un réseau infini }, Mémoire Master, UMBB , 2016.
- [21] **D. GHOURAF – A. NACERI**, 3103), { Commande par PSS pour améliorer la stabilité du système électro-énergétique }, Acta electrotechnica , Volume 54, Number 1, 2013.
- [22] **Kundur P., Klein M., Rogers G.J. and Zywno M.S.**, { Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability }, IEEE Transaction on Power System, vol. 4, n°.2, pp. 614-626. May 1989.

- [23] **Pal B. - Chaudhuri B.**,{**Robust** Control in Power Systems, Springer Science + Business Media}, Inc, 2005.
- [24] **Fleming R.J., Mohan M.A. and Parvatisam K.**,{ Selection of parameters of stabilizers in multimachine power systems }, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, pp. 2329-2333, 1981.
- [25] **Larsen E.V. and Swann D.A.**, { Applying power system stabilizerspart-I: General concepts } IEEE Trans. Power App. Sys., vol.100, n°. 6, pp. 30173024, Jun. 1981.
- [26] **Yu Yao-Nan**, Electric Power System Dynamics, AcademicPress 1983.
- [27] **Feliachi A.**, {Optimal Siting of Power System Stabilizers}, IEE Proceedings, Pt. C, vol. 137, n°.2, pp. 101-106, March 1990.
- [28] **Y. BOUKHEDIR - B. ADJEL** ,{ Etude de la stabilité transitoire d'un réseau THT en utilisant l'AVR et le PSS avec intégration d'une source renouvelable éolienne }, Mémoire Master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019