

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et
de la Recherche scientifique



Université d'EL-Oued
Faculté des Sciences et de la Technologie

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de
LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

Amélioration de la stabilité dynamique
Power System Stabilizer (PSS)

Dirigé par:
BEKAKRA YUCEF

Réalisé par:
BEN NADJE HOCINE
BELLOUL ABD ALLAH

Soutenu 03 Juin 2013

REMERCIEMENTS

Nous tenon, en premier lieu à remercier ALLAH pour le courage et la patience qu'il nous a donné afin de mener ce projet à terme.

Nous tenons à remercier M. BEKAKRA YOUSSEF, maître assistant à l'Université d'EL-OUED qui a accepté de nous 'encadrés et nous accordé sa confiance en étant nous promoteur. Nous avons particulièrement apprécié son écoute, sa patience et ses encouragements, mais également sa franchise.

Nous remercions également tous les enseignants del'électrotechnique en particulier :

Monsieur Zegub Boubaker

Nos remerciements vont à tous les enseignants de réseaux électriques.

Alors que ce travail s'achève, il est agréable de remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation et en particulier nos familles surtout nos pères et mes mères ainsi sans oublier tous nos amis.



Liste de figures

Figure I.1: Perturbations de tension dans les réseaux électriques.....	3
Figure I.2: Schéma d'une machine synchrone.....	5
Figure I.3: Diagramme vectoriel correspondant à la machine synchrone.....	5
Figure I.4: Puissance générée par un alternateur en fonction de l'angle interne.....	6
Figure I-5: Schéma de principe de transport d'énergie lors de l'ouverture du circuit.....	7
Figure I-6: Schéma de substitution de transport d'énergie lors d'un régime normal.....	8
Figure I-7: Schéma des substitutions de transport d'énergie lors de rupture du circuit.....	8
Figure I-8: Oscillation de la puissance Fournie.....	9
Figure I-9: Oscillation de l'angle δ lors de l'ouverture d'une des lignes du circuit de transport d'énergie.....	9
Figure I-10: Rupture de la stabilité dynamique lors de la rupture d'une ligne de circuit.....	10
Figure I-11: Accroissement de l'angle δ lors de la rupture du la stabilité dynamique.....	10
Figure I-12: Réseau à double source avec départs prioritaires.....	12
Figure I-13: cas limite de la stabilité dynamique.....	13
Figure II-1 : Modèle du générateur.....	15
Figure II-2 : Modèle du générateur + charge.....	16
Figure II-3 : Modèle du gouverneur de vitesse.....	16
Figure II-4 : Modèle linéaire de la turbine à vapeur.....	17
Figure II-5 : Modèle de turbine-générateur-charge.....	17
Figure II-6 : Modèle du gouverneur + turbine + générateur + charge.....	18
Figure II-7 : Schéma bloc du système d'excitation + générateur.....	19
Figure III-1 : Variation de puissance en fonction de l'angle.....	21
Figure III-2.a : Diagramme vectoriel de tension.....	22
Figure III-2.b : Diagramme vectoriel de courant.....	22
Figure III-3 : Schéma bloc du système avec régulateur de tension.....	25
Figure III-4 : Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur).....	26
Figure III-5 : Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension.....	27
Figure III-6 : La dépendance de la puissance active avec l'angle δ	28
Figure III-7 : Variation de P_e pour un échelon sur P_m	29

Figure III-8: Variation de V_t pour un échelon sur P_m	29
Figure III-9 : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m	30
Figure III -10 : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref}	30
Figure III -11 : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}	31
Figure III-12 : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref}	31
Figure IV-1 : Schéma bloc de PSS.....	34
Figure IV-2 : Fonction de transfert et circuit de signale d'intégratio.....	35
Figure IV-3 : Circuit de compensation en avance et en retard.....	36
Figure IV-4 : Bloc de l'analyse du système avec signale de PSS incorporé.....	38
Figure IV-5 : Schéma bloc du système avec PSS incorporé.....	39
Figure IV-6-a : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	40
Figure IV-6-b : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	40
Figure IV-7-a : Variation de V_t pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	41
Figure IV-7-b : Variation de V_t pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	41
Figure IV-8-a : Variation de l'angle pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	41
Figure IV-8-b : Variation de l'angle pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	41
Figure IV-9-a : Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSS.....	42
Figure IV-9-b : Variation de P_e pour un échelon sur P_m sans PSS.....	42
Figure IV-10-a : Variation de V_t pour un échelon sur P_m avec PSS.....	42
Figure IV-10-b : Variation de V_t pour un échelon sur P_m sans PSS.....	42
Figure IV-11-a : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m avec PSS.....	43
Figure IV-11-b : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m sans PSS.....	43
Figure IV-12 : Installation du PSS.....	44
Figure IV-13 : Variation de la puissance transité sans PSS.....	45
Figure IV-14 : Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS.....	46
Figure IV-15 : Variation de la puissance transité avec PSS.....	46
Figure IV-16 : Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS.....	47

Table de matière

Listes des figures	
Table de matière	
Introduction générale :	1

Chapitre I :

Notions de la stabilité

I-1. Introduction :	2
I-2 . Généralités:	2
I-2-1. Les Réseaux électriques :	2
I-2-2. La qualité de l'énergie électrique :	2
I-2-3. La stabilité des réseaux :	3
I-3. Notion de la stabilité de la machine synchrone :	4
I-3-1. Stabilité statique d'une machine synchrone:	5
I-3-2. Stabilité statique et dynamique :	6
I-3-2-1. La stabilité dynamique :	7
I-3-2-1-1. Définition :	7
I-3-2-1-2. Principaux concepts de la stabilité dynamique:	7
I-3-2-1-3. Principales causes des pertes de la stabilité dynamique :	11
I-4. Etude de stabilité dynamique des réseaux industriels :	11
I-4-1. Objectifs des études:	11
I-4-2. Chaque étude est un cas particulier lié :	11
I-4-3. Causes d'instabilité :	12
I-4-4. Effets de l'instabilité :	12
I-4-5. Lois des surfaces:	13
I-4-5-1. Débranchement brusque des deux lignes parallèles:	13
I-5. Conclusion:	14

Chapitre II :

Etude des modèles de système de contrôle de la fréquence

II-1. Introduction :	15
II-2. Etude des modèles :	15
II-2-1. Modèle du générateur :	15
II-2-2. Modèle de la charge :	15
II-2-3. Modèle de gouverneur de vitesse :	16
II-2-4. Modèle de la turbine (sans réchauffage) :	17
II-2-5. Relation entre turbine-générateur-charge :	17
II-2-5-1. Modèle de turbine-générateur-charge :	17
II-2-6. Représentation schématique du modèle linéaire :	18
II-3. Contrôle de la boucle (AVR) :	18
II-3-1. Représentation schématique :	19
II-4. Conclusion :	19

Chapitre III :

Réponse de système régulé pour des petites perturbations

III-1. Introduction :	20
III-2. Réglage de la machine synchrone :	20
III-2-1. Régulateur de tension avec un seul temps de retard :	20
III-2-2. Les causes des variations de la FEM :	22
III-2-3. Régulateur de vitesse avec un seul temps de retard :	25
III-2-4. Modèle complet du système :	26
III-3. Résultats de simulation :	27
III-3-1. Variation de P_e pour un échelon sur P_m :	28
III-3-2. Variation de V_t pour un échelon sur P_m :	28
III-3-3. Variation de δ pour un échelon sur P_m :	28
III-4. Conclusion :	32

Chapitre IV :

Stabilisateur du système de puissance PSS

IV-1. Introduction :	33
IV-2. Cause et sortes d'oscillations de puissance :	33
IV-3. Définition :	33
IV-3-1. Qu'est-ce que signifie PSS ? :	33
IV-3-2. A quoi sert PSS ? :	34
IV-4. Fonctionnement du PSS :	34
IV-5. La fonction transfert du PSS :	34
IV-5-1. Gain de stabilisateur K_p :	35
IV-5-2. Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration :	35
IV-5-3. Circuit de compensation en avance et en retard :	36
IV-6. Représentation simplifiée de PSS :	38
IV-7. Résultats de simulation :	39
IV-7-1. Interprétation des résultats :	40
IV-8 . L'impact du PSS sur le régime transitoire (stabilité dynamique) :	43
IV-8-1. Les résultats de simulation :	45
IV-8-1-1. Sans PSS :	45
IV-8-1-2. Avec PSS :	46
IV-9. Conclusion :	47
Conclusion Générale :	48
Annexe :	I
Références bibliographiques	

Introduction générale

L'objectif général de notre travail de recherche est le contrôle de la production d'un système énergétique (modélisations de ces éléments constitutants et les représenter en schéma bloc), et la mise en œuvre de nos propres moyens programmes informatiques pour discuter et analyser un tel problème.

L'asservissement de ce système exige plusieurs facteurs à introduire et à asservi qui sont : la vitesse, la tension, l'angle et la puissance électrique, plus la topologie du réseau.

La commande de ces facteurs a pour but d'assurer le bon fonctionnement qui caractérise la stabilité du système.

Dans notre travail, on a représenté des modèles de quelques éléments (la turbine, le générateur, la charge, gouverneur de vitesse, la boucle AVR (*Automatic Voltage Regulator*)) dans le chapitre (II).

Dans le chapitre (III) on a faire la réponse de système régulé pour des petites perturbations et ceci pour un système complet.

Le quatrième chapitre (IV) on a ajouté la boucle PSS (*Power System Stabiliser*) pour améliorer la stabilité du système.

Enfin une conclusion générale décrivant les principaux résultats obtenus et les moyens permettant à aboutir à ces résultats dont le logiciel MATLAB était l'outil principal.

I-1. Introduction :

L'état électrique du réseau est le résultat de toutes les interactions de ses différents composants représentés par l'ensemble de producteurs et consommateurs d'énergie électrique reliés entre eux.

Suite aux perturbations de diverses origines, les modifications de cet état, inhérentes à la vie du réseau, entraînent une évolution naturelle du comportement du réseau vers un nouvel état, stable ou non; tel est l'objet de ce chapitre [1].

I-2. Généralités :**I-2-1. Les Réseaux électriques :[2]**

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée, donc, en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. De ce fait, l'ensemble production, acheminement, utilisation constitue un système complexe appelé réseau électrique qui doit être stable. Un réseau électrique peut être de petite puissance ou très puissant (à l'échelle d'un pays).

I-2-2. La qualité de l'énergie électrique :[2]

Un réseau électrique a en général une stabilité globale qui se manifeste par un équilibre à grande échelle dans le temps et dans l'espace de l'ensemble du système production/transport/consommation.

Mais une analyse plus fine révèle qu'en réalité, il y a en permanence et en tous lieux des événements provoquant des fluctuations qui seront compensées, sauf catastrophes.

Ainsi la notion de qualité de l'électricité apparaît sous l'aspect de (voir figure I.1) :

- La continuité de fourniture : c'est la disponibilité de l'énergie électrique en un endroit donné qui peut être interrompue par des coupures brèves (< 1 min.) ou longues (> 1 min.).
- La forme de l'onde de tension (fréquence, amplitude, durée) ; dans ce cas les perturbations sont généralement classées en fonction de leur plage de fréquence :
- phénomènes à haute fréquence (kHz à MHz) : surtensions à fronts raides dues à la foudre ou à certaines manœuvres (ex. sectionneurs, interrupteurs, certains disjoncteurs),
- phénomènes à basse fréquence (50 Hz à kHz) : surtensions de manœuvre, harmoniques,

- phénomènes autour de la fréquence industrielle (0 à 100 Hz) : fluctuations rapides (20 ms à 1 s) ou lentes (supérieures à la seconde) telles que déséquilibre, creux de tension dus à la mise en service de fortes charges ou à un court-circuit dans la distribution.

La variation de fréquence peut résulter :

- d'un court-circuit proche d'une source,
- d'une très grosse variation de puissance de la source,
- du passage sur une source de remplacement ou de secours.

Dans ce cadre, la stabilité dynamique objet de ce cahier technique étudie l'évolution de la fréquence, de la tension et de la puissance suite à des perturbations importantes.

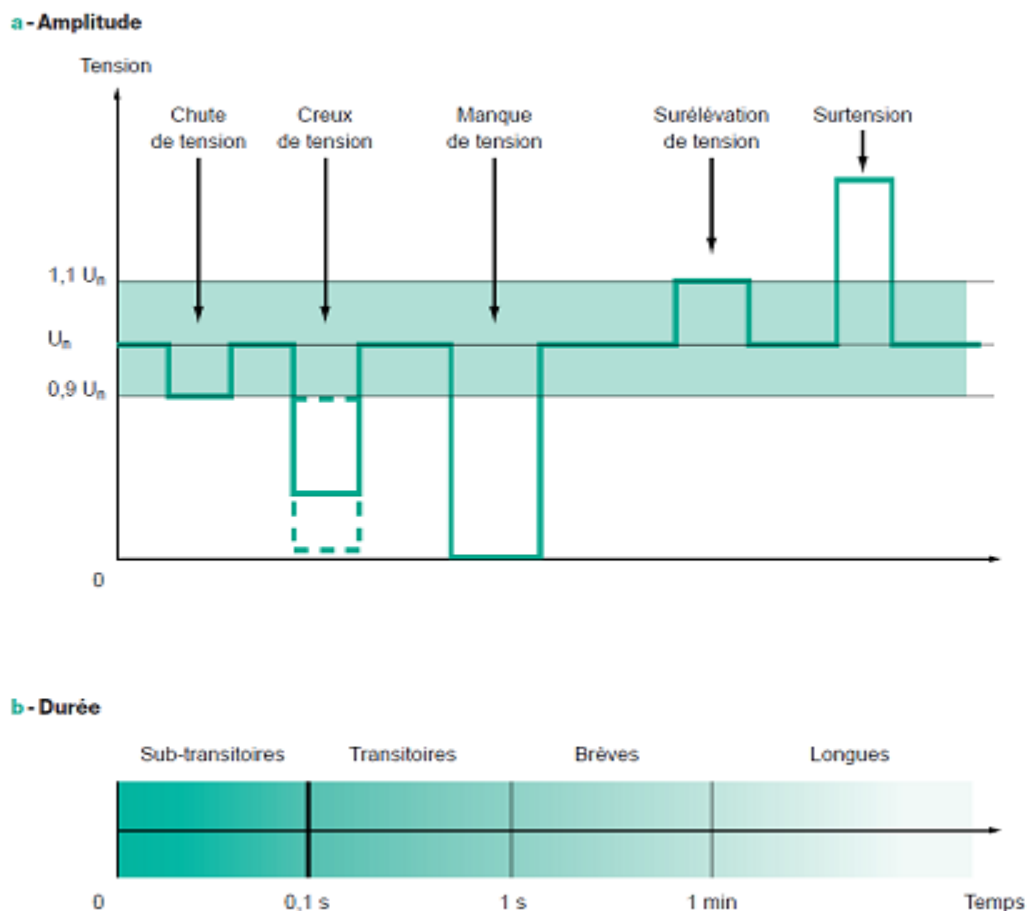


Figure I-1: Perturbations de tension dans les réseaux électriques

I-2-3. La stabilité des réseaux :[2]

Elle est caractérisée par les fluctuations de puissances transitées dans le réseau et se mesure par les variations dans le temps des tensions et fréquences associées.

Il faut distinguer :

- La stabilité en régime statique : le réseau a un comportement stable, c'est-à-dire que, soumis à de petites perturbations, il revient à son point de fonctionnement initial ceci

avec d'éventuelles oscillations amorties jusqu'au retour à l'équilibre.

- La stabilité en régime transitoire : lorsque l'on passe d'un état stable statique à un autre, suite à une perturbation durable voulue ou non.
- L'instabilité en régime transitoire est observée lorsque, suite à une perturbation importante, le régime oscillatoire est divergent. Il induit une perte d'alimentation ou un nouvel état stable inacceptable (ex : moteur qui « rampe »).
- La stabilité en régime dynamique : le réseau est apte à éviter tout régime oscillatoire divergent et à revenir à un état stable acceptable. Ceci inclut l'intervention éventuelle des protections et automatismes divers fonction des perturbations envisagées.

Les études de stabilité dynamique consistent à :

- envisager les principaux scénarios critiques tels que court-circuit, perte d'énergie mécanique, perte de source électrique, variation de charge, contraintes de processus,
- prédire le comportement du réseau face à ces perturbations,
- préconiser les mesures à prendre en exploitation, telles que type de protection, réglage de relais, délestages, configurations... pour éviter les modes de fonctionnement indésirables.

Ces études permettent donc la maîtrise du comportement du réseau considéré, qu'il soit public ou privé, **H.T.** ou **B.T.**

I-3. Notion de la stabilité de la machine synchrone :[2]

Rappelons que la stabilité d'un réseau est la faculté pour celui-ci de reprendre un fonctionnement normal à la suite d'une perturbation. Cette perturbation provoquant l'instabilité du système électrique s'exprime généralement à partir des cas suivants :

- L'instabilité de la tension du système pendant le régime transitoire.
- Les variations du courant d'excitation qui sont dues au mauvais contacts de bagues...etc.
- La variation du couple de la turbine qui provoque la variation de vitesse.

Les machines synchrones sont fréquentes dans les réseaux industriels. Elles peuvent être installées pour les besoins suivants :

- récupération de l'énergie d'un processus exothermique ou cogénération,
- besoin d'une source électrique complémentaire pour :
 - contrat Effacement Jours de Pointe (EJP),
 - secours,
 - pointes,
- compensation d'énergie réactive.

I-3-1. Stabilité statique d'une machine synchrone:

Une machine synchrone peut être représentée par le schéma de la figure I.2 avec :

- R : résistance statorique,
- X : réactance directe statorique,
- E : f.e.m. statorique créée par l'enroulement, d'excitation rotorique,
- U : tension aux bornes du stator en charge.

Le diagramme vectoriel correspondant est celui de la figure I.3 : l'angle interne δ de la machine est défini comme l'angle entre les vecteurs U et E. Cet angle est égal à celui dont le rotor est décalé par rapport à sa position de fonctionnement à vide (si $I = 0$, $\delta = 0$).

En négligeant R, un calcul rapide montre que la puissance électrique active transmise au réseau se calcule par :

$$P = \frac{E.U}{X} \cdot \sin(\delta) \quad (I.1)$$

Il est clair que la puissance électrique transmise au réseau est limitée à la valeur de $\frac{E.U}{X}$ qui est atteinte pour $\delta = 90^\circ$.

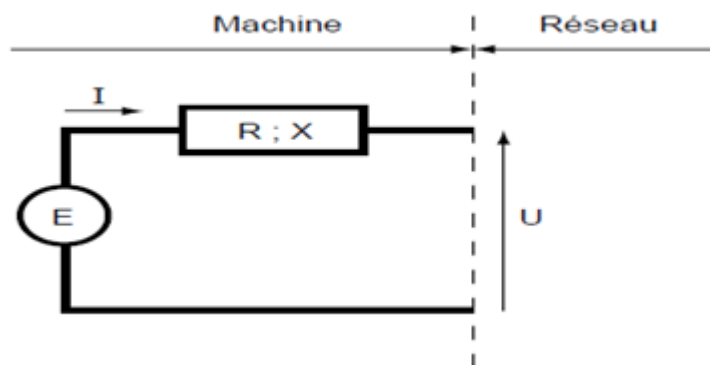


Figure I-2: Schéma d'une machine synchrone

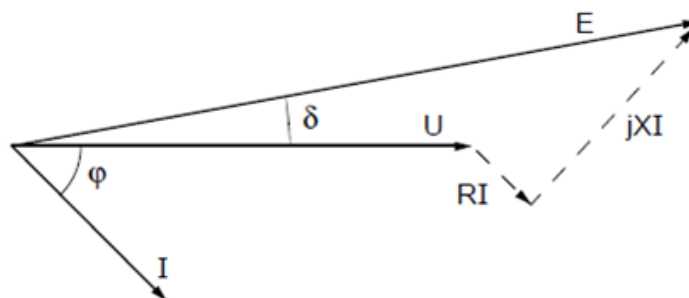


Figure I-3: Diagramme vectoriel correspondant à la machine synchrone

On peut représenter la puissance P en fonction de δ (voir figure I.4). Sur ce schéma la puissance mécanique P_m fournie par la machine entraînant (turbine ou diesel par exemple), est représentée par une droite horizontale. Le point de fonctionnement est donné par l'intersection de cette ligne horizontale avec la sinusoïde. En fait deux points de fonctionnement A et B sont possibles.

Partant de A et si, pour une raison quelconque, l'angle δ augmente, la puissance transmise au réseau va augmenter, et donc la machine va ralentir, ce qui fait diminuer le point de départ est retrouvé le fonctionnement est stable. Un raisonnement identique montre que le point B est instable, comme tout point sur la partie rectiligne de la courbe.

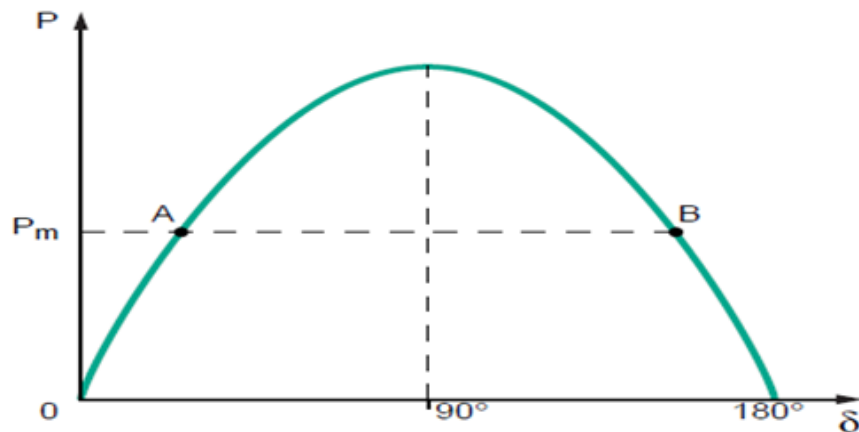


Figure I-4: Puissance générée par un alternateur en fonction de l'angle interne

En ne supposant plus que $R = 0$, la limite pour δ est un angle ψ tel que :

$$\operatorname{tg}(\psi) = -\frac{X}{R} \quad (\text{I.2})$$

La stabilité statique d'un alternateur (c'est-à-dire son aptitude à répondre à une variation lente de la charge) peut être énoncée selon deux considérations pratiques complémentaires :

- le fonctionnement n'est stable que si l'angle interne δ reste inférieur à un angle limite proche de 90° ,
- la puissance active transmise au réseau est limitée. Elle est maximale lorsque la limite de stabilité est atteinte.

I-3-2. Stabilité statique et dynamique : [3]

Les deux aspects de la "stabilité" qui à prendre en considération sont :

Stabilité statique, stabilité dynamique (ou transitoire).

En stabilité statique, les perturbations considérées sont toujours de faible amplitude que se soient des variations de consigne des régulateurs, des variations de régime pour les machines ou des manœuvres réseau sur des lignes éloignées du groupe étudié.

En stabilité dynamique, on considère des perturbations importantes : Court circuit sur le réseau, délestage de charge ou de groupe voisin, îlotage de la tranche étudiée.

I-3-2-1. La stabilité dynamique : [3]

I-3-2-1-1. Définition :

La stabilité dynamique d'une machine synchrone c'est la capacité, le pouvoir de conserver son régime de fonctionnement en parallèle lors des grandes et brusques perturbations, on peut dire aussi qu'une machine synchrone est stable dynamiquement si lors d'une perturbation (choc) quelconque, elle peut passer d'un régime stationnaire initiale à un autre sans aucun problème.

Cette perturbation peut être soit :

- Un changement brusque de la charge de la machine.
- Une rupture brusque de la charge de la machine.
- Un débranchement des lignes et des transformateurs.
- Les courts-circuits.

Ainsi du fait de ces perturbations, l'égalité entre couple moteur et résistant n'existe plus ($C_m \neq C_r$) et la vitesse de rotation commence alors à varier par suite la fréquence de la machine synchrone change et devient différente à celle du réseau. La machine donc passe à un régime asynchrone. Mais on peut avoir le cas où la vitesse de rotation devient une fonction décroissante, et sa valeur finale redeviendra égale à la valeur de la vitesse de rotation synchrone, dans ce cas on dit qu'il y a une stabilité dynamique.

I-3-2-1-2. Principaux concepts de la stabilité dynamique:

Nous allons étudier le phénomène qui se produisant lors de la coupure de l'une des deux lignes parallèles de transport de l'énergie électrique relie une lointaine station à un jeu de barre sous tension constante. (Voir figure I-5).

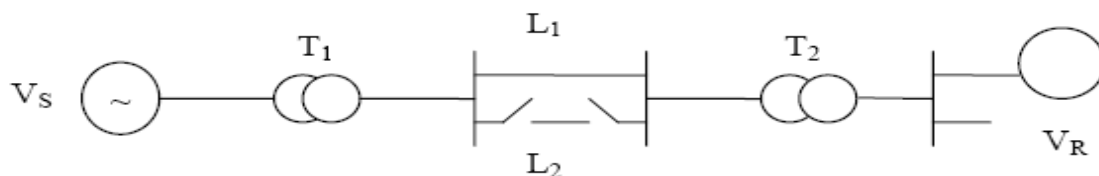


Figure I-5: Schéma de principe de transport d'énergie lors de l'ouverture du circuit

L'étude est comme suit :

Le régime normal : avant le défaut

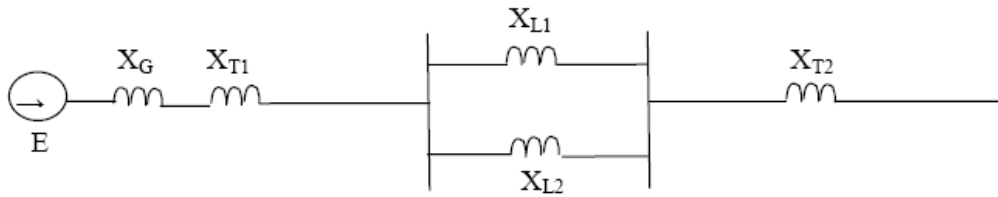


Figure I-6: Schéma de substitution de transport d'énergie lors d'un régime normal

La puissance est écrite comme suit :

$$P_{e1} = \frac{|V_s| |V_R|}{X_{eq1}} \cdot \sin \delta \quad (I.3)$$

Où :

$$X_{eq1} = X_G + X_{T1} + X_{T2} + \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} \quad (I.4)$$

- *Le régime après le défaut* : après l'ouverture d'un disjoncteur (Voir figure I-9).

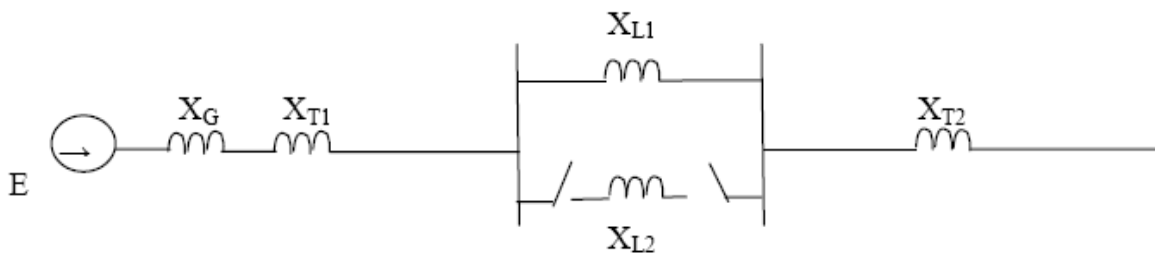


Figure I-7: Schéma des substitutions de transport d'énergie lors de rupture du circuit

La puissance est écrite comme suit :

$$P_{e2} = \frac{|V_s| |V_R|}{X_{eq3}} \cdot \sin \delta = P_{\max 2} \cdot \sin \delta \quad (I.5)$$

Où :

$$X_{eq2} = X_G + X_{T1} + X_{T2} + X_{L1} \quad (I.6)$$

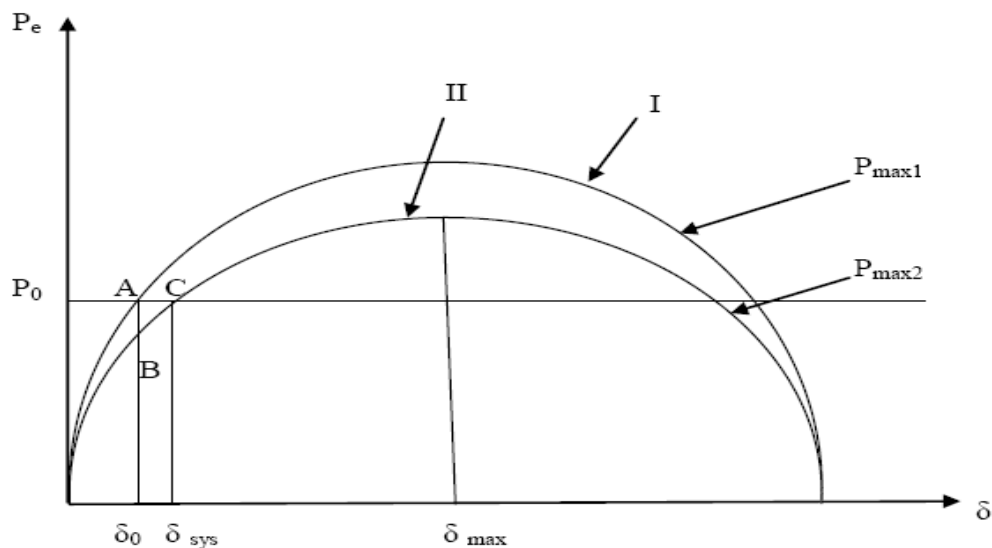


Figure I-8: Oscillation de la puissance Fournie

D'après la courbe de la figure I-8, on remarque :

La caractéristique I représente le régime normal (initiale) du circuit, par contre après la rupture, cette dernière doit correspondre à la nouvelle caractéristique II.

Pour une puissance donnée P_0 et l'angle δ_0 on détermine le point A sur la caractéristique I qui représente la rupture du circuit et à l'instant du rupture du circuit le régime de fonctionnement varie est sera concrétiser par le point B sur la caractéristique II ce qui conditionne la brusque diminution de la puissance de l'alternateur et la puissance de la turbine ne varie pas , dans ce cas reste égale à P_0 par contre l'angle δ garde sa valeur δ_0 nominale, car le vecteur de la f.e.m E de l'alternateur ne peut se déplacer par rapport au vecteur de tension U du système récepteur que lors de la variation de la vitesse de rotation au rotor.

La figure I-9 montre le critère pulsatoire de l'angle δ en fonction du temps. Le décroissement par palier de l'amplitude est déterminé par les pertes d'énergie lors d'oscillation de la fréquence de rotation de l'alternateur.

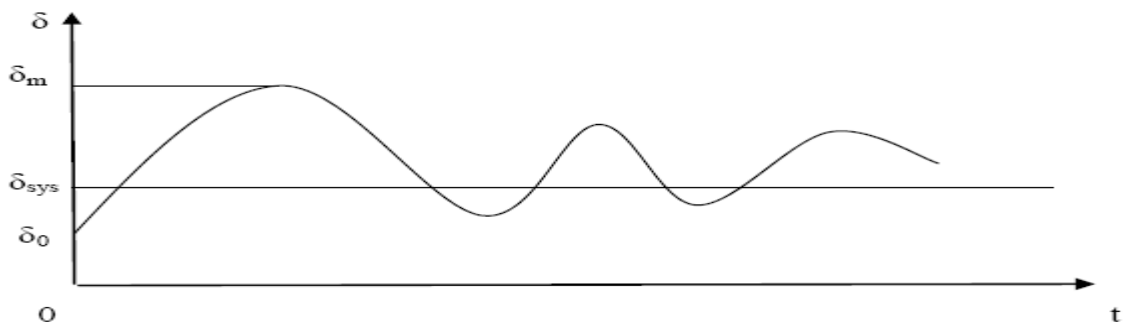


Figure I-9: Oscillation de l'angle δ lors de l'ouverture d'une des lignes du circuit de transport d'énergie

Ce passage du nouveau régime stationnaire s'est produit sans aucune complication. En tout cas il n'y a pas de la rupture de la stabilité il faut simplement dire que lors du processus transitoire électromécanique. L'angle δ aurait atteint une valeur maximale, supérieur à la valeur δ est de nouveau régime stationnaire.

Mais il est possible d'avoir une autre fin pour ce même processus.

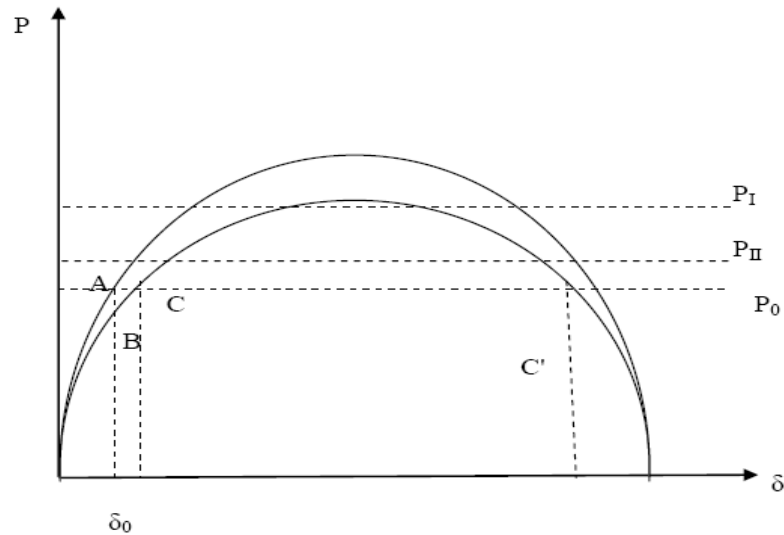


Figure I-10: Rupture de la stabilité dynamique lors de la rupture d'une ligne de circuit

Le freinage du rotor à partir du point C diminue le glissement, cependant l'angle, en cette phase du processus continue à s'accroître et s'il réussit à atteindre sa valeur critique δ au point C' sur l'intersection de la branche tombante de la sinusoïde de la puissance de l'alternateur avec la droite représentative de la puissance nominale de la turbine P_0 avant que le glissement commence à augmenter très rapidement et l'alternateur sort du synchronisme.

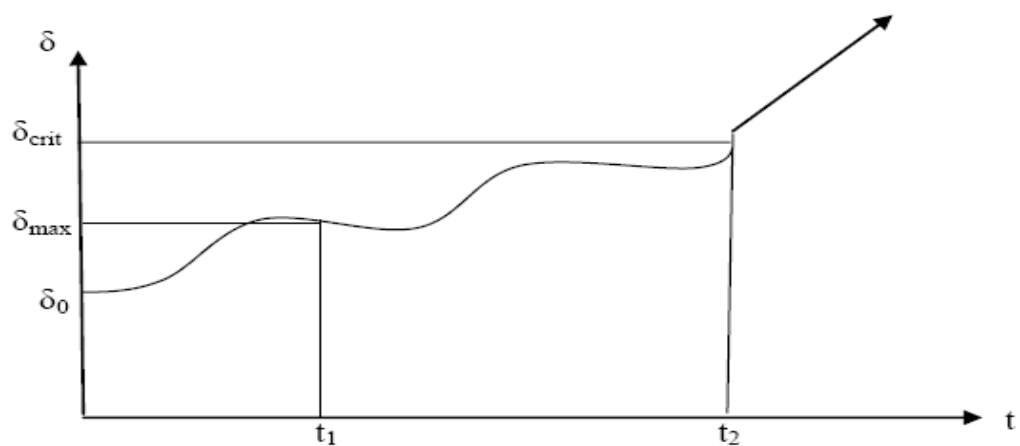


Figure I-11: Accroissement de l'angle δ lors de la rupture de la stabilité dynamique

I-3-2-1-3. Principales causes des pertes de la stabilité dynamique:

Toutes brusques perturbations du régime de fonctionnement d'un système électrique composé de station, des lignes de transport de l'énergie, et de charge, produit des pompages des machines synchrones (alternateur, moteur, et compensateur).

Lors de mauvaises conditions de fonctionnement l'amplitude des oscillations peut être tellement importante que certaines machines ou toute station sortent du synchronisme.

I-4. Etude de stabilité dynamique des réseaux industriels :

Ce chapitre a pour but de fournir des indications générales sur les objectifs assignés aux études, sur leur contenu et surtout de donner des informations sur les causes, effets et remèdes des instabilités dynamiques.

Pour terminer, une étude réalisée par le « Service Electrotechnique et Réseaux » sera présentée à titre d'exemple.

I-4-1. Objectifs des études :

Les études de stabilité dynamique consistent à analyser et connaître à l'avance les variations dans le temps des grandeurs électriques en différents points d'un réseau et les évolutions des paramètres mécaniques des machines tournantes, suite à des perturbations brutales.

Ces études ont pour but de rechercher :

- Les conditions de fonctionnement du réseau pour assurer une bonne continuité d'alimentation des récepteurs,
- La puissance maximale que l'on peut secourir lors d'une perturbation,
- Les valeurs optimales de réglage des éléments du système de protection,
- Le plan de délestage pour assurer l'alimentation des récepteurs vitaux,
- Les meilleurs réglages des régulations des machines.

I-4-2. Chaque étude est un cas particulier lié :[2]

- aux types de sources,
- aux types de récepteurs,
- à l'architecture du réseau,
- au mode d'exploitation du réseau,
- aux causes d'instabilités prises en compte.

Il existe divers motifs d'études de stabilité dynamique :

- Étude préventive à la conception du réseau,
- Rajout de générateurs et/ou récepteurs de grosse puissance sur un réseau existant,
- étude curative sur incident.

Lorsque l'étude est faite avant la réalisation de l'installation, pour la plupart, ces facteurs peuvent être modifiés. Ainsi a-t-on la certitude que lors des régimes transitoires, le comportement du réseau et des machines sera conforme à ce qui est souhaité

Les études peuvent être globales ou limitées à un problème précis, par exemple dans le cas de marche couplée entre un réseau EDF et un alternateur : détermination de la limite d'énergie échangée pour qu'en cas de découplage un point de fonctionnement instable du réseau prioritaire ne soit pas atteint (voir figure I-12).

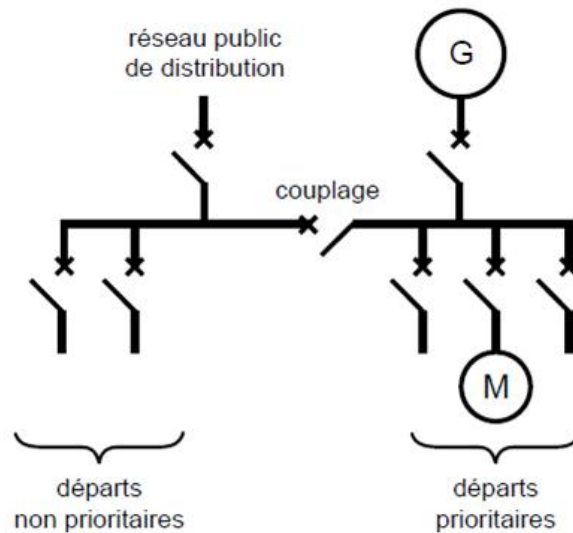


Figure I-12: Réseau à double source avec départs prioritaires

I-4-3. Causes d'instabilité :

- Les phénomènes électriques :

Les phénomènes perturbateurs qui affectent la stabilité d'un réseau sont ceux qui provoquent des variations de la puissance active/réactive :

- variation des caractéristiques des sources :
 - puissance de court-circuit,
 - creux et chutes de tension,
 - coupures brèves ou longues,
 - variation de fréquence.

- Constitution et mode d'exploitation du réseau
- Le fonctionnement du processus.

I-4-4. Effets de l'instabilité :

- Sur les machines tournantes :

Pendant les transitoires, les échanges de puissance entre machines et entre machines et réseau donnent des à-coups de couple : les contraintes mécaniques résultantes peuvent provoquer des défaillances mécaniques (rupture d'arbres).

Les alternateurs sollicités au delà de leurs capacités baissent en fréquence et en tension.

Leurs régulations de tension et vitesse peut entrer en résonance avec une perturbation et amplifier les effets d'instabilité.

Les moteurs subissant des oscillations de fréquence et des chutes de tension ralentissent.

- Sur le réseau.

Les oscillations de puissance à l'origine de courants très élevés dans les liaisons et les transformateurs entraînent des échauffements néfastes à la tenue des matériels.

Les chutes de tension, conséquences des courants importants, occasionnent des dysfonctionnements de certains appareils sensibles (exemple : contacteurs, électronique...)

La mise hors circuit du ou des générateurs détruit l'équilibre consommation/production et peut provoquer l'écroulement total du réseau.

I-4-5. Lois des surfaces :

I-4-5-1. Débranchement brusque des deux lignes parallèles :

Ces lois utilisées pour l'évaluation de la stabilité dynamique d'une machine synchrone.

On considérant le cas simple de fonctionnement quand l'alternateur machine synchrone est équivalent d'une station électrique fonctionnent récepteur a puissance infinie et tension constante (voir figure I.13).

L'hypothèse de la constante de la tension, aux bornes du réseau, par sa valeur absolue et sa phase éliminée la possibilité de pompage de la machine synchrone et nous simplifié grandement l'analyse du phénomène.

Pour dire le réseau est stable, il faut que les deux surfaces hachurées sont égaux, c'est-à dire:

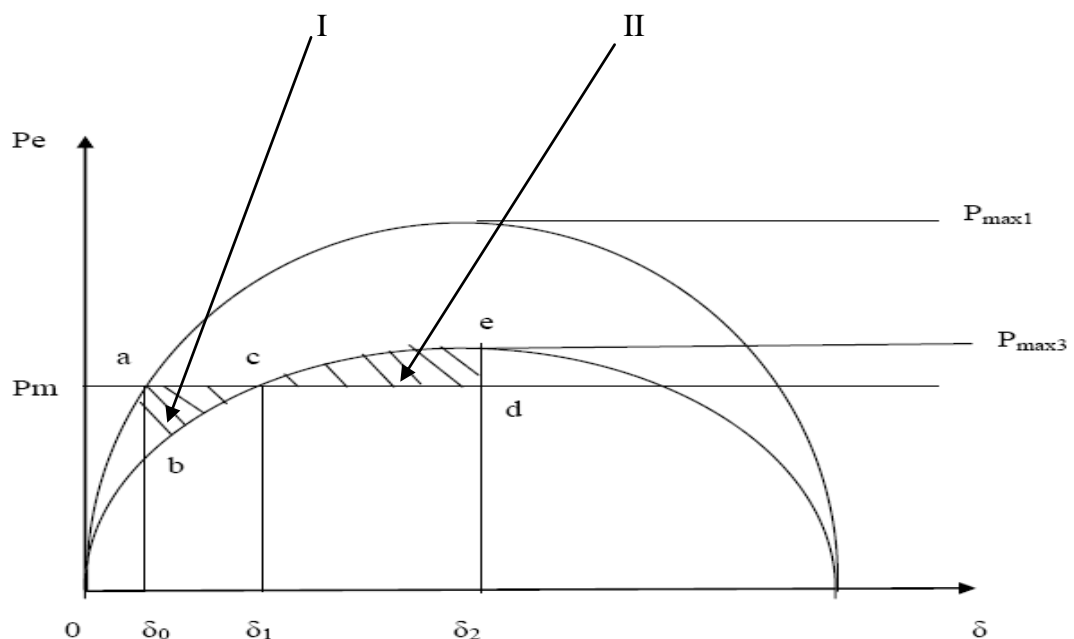


Figure I-13: cas limite de la stabilité dynamique

La surface I, on la note par A_1 sachant que:

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_m - P_e) d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_m - P_{\max 3} \cdot \sin \delta) d\delta \quad (\text{I.7})$$

$$A_1 = P_m (\delta_0 - \delta_1) - P_{\max 3} \cdot (\cos \delta_0 - \cos \delta_1) \quad (\text{I.8})$$

La surface II, on la note par A_2 sachant que:

$$A_2 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_e - P_m) d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{\max 1} \cdot \sin \delta - P_m) d\delta \quad (\text{I.9})$$

$$A_2 = P_{\max 1} \cdot (\cos \delta_1 - \cos \delta_2) - P_m (\delta_2 - \delta_1) \quad (\text{I.10})$$

Les lois de surfaces égales $A_1 = A_2$:

$$\cos \delta_1 = [P_m (\delta_1 - \delta_2) + P_{\max 3} \cos \delta_0 - P_{\max 1} \cos \delta_2] / (P_{\max 3} - P_{\max 1}) \quad (\text{I.11})$$

Où:

δ_0 : le point de fonctionnement de l'alternateur en régime normal.

δ_1 : l'angle critique.

δ_2 : le point de fonctionnement de l'alternateur en régime après le défaut.

P_m : la puissance mécanique de la turbine.

I-5. Conclusion:

Ce chapitre donne une idée générale sur la stabilité du réseau électrique particulièrement sur la stabilité dynamique qui est l'étude de notre travail et le comportement du réseau électrique lors d'une perturbation quelconque.

II-1. Introduction : [4]

Notre modèle représente tout le système ou l'îlot (groupe des éléments de l'unité) sous forme d'un bloc équivalent, il permet de voir la réponse fréquentielle du système à la suite de n'importe quel déséquilibre entre la charge et la production.

Notre étude se base sur des petits réseaux d'énergie électriques.

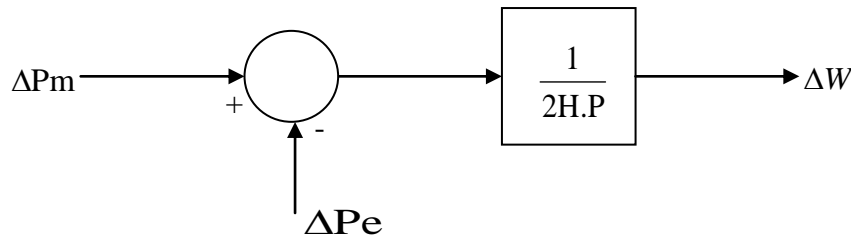
II-2. Etude des modèles :**II-2-1. Modèle du générateur :** [4]

Figure II-1: Modèle du générateur

On a donc :

$$\Delta P_m - \Delta P_e = 2.H \frac{d(\Delta \omega)}{dt}$$

A partir de la transformation de Laplace on aura :

$$\Delta P_m - \Delta P_e = 2H.P. \Delta \omega$$

ΔP_m : Variation de puissance mécanique.

ΔP_e : Variation de puissance électrique.

H : Constante de la machine [MWS/MVA], ou [sec]

$2H = M$: représente l'inertie de l'unité alternateur "temps de lancé de l'alternateur".

II-2-2. Modèle de la charge : [4] [5]

Les charges électriques dont les moteurs sont dominants, ont des caractéristiques de variations (énergie fréquence), donc on doit fait un modèle qui répond à ce changement.

On a :

$$\Delta P_e = D. \Delta \omega \quad \text{où } D = \frac{\Delta P_e}{\Delta \omega}$$

D : taux de variation de la puissance appelée avec la variation de la fréquence du système.

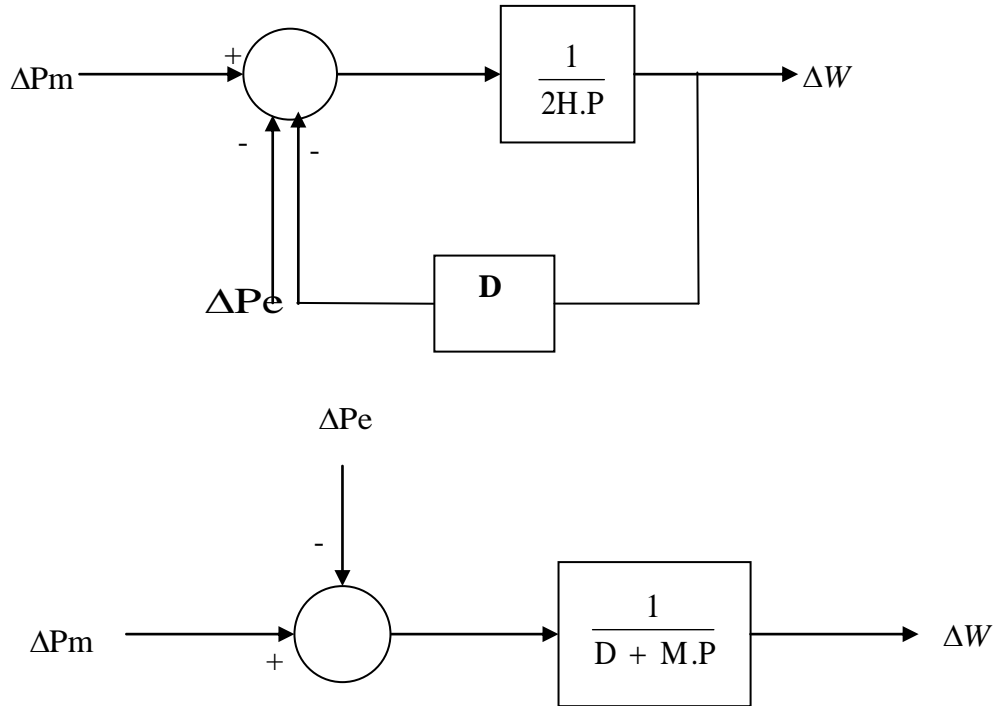


Figure II-2: Modèle de générateur + charge

$M = 2H = 6 \text{ u.r}$

$D = 1 \text{ u.r.}$

II-2-3. Modèle de gouverneur de vitesse : [5] [6]

Le gouverneur est un mécanisme responsable de contrôler et ajuster sur les entrées des valves.

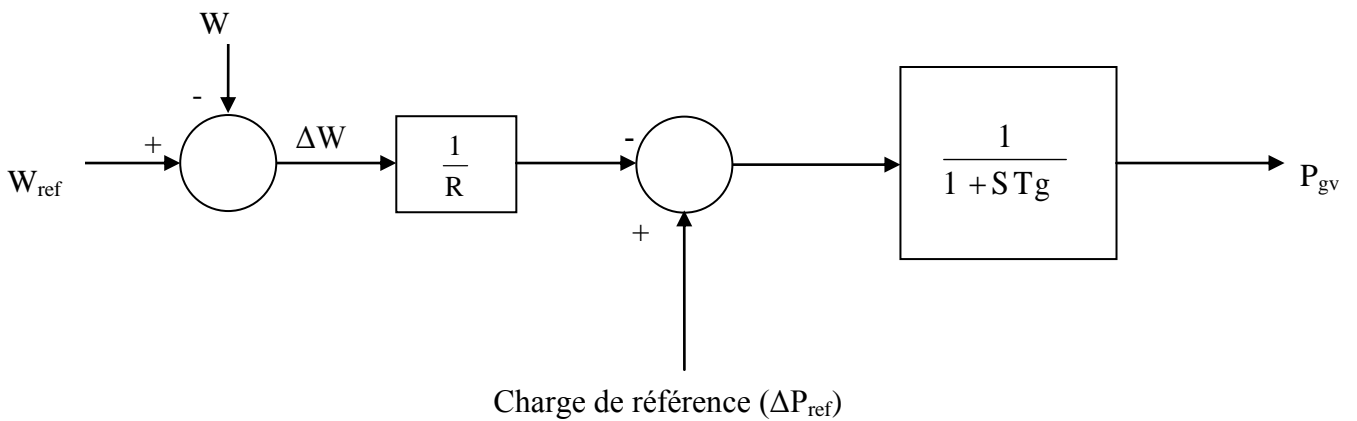


Figure II-3: Modèle de gouverneur de vitesse

Or :

R : coefficient de régulation.

$\frac{1}{R}$: gain de régulation.

Tg : constante de temps de gouverneur.

II-2-4. Modèle de la turbine (sans réchauffage) : [5]

Pour une turbine à vapeur simple (sans réchauffage) a une fonction de transfert :

$$G_T = \frac{\Delta P_{mec}}{\Delta P_v} = \frac{1}{1 + P.T_{ch}}$$

Avec T_{ch} : constante de temps (temps de charge) si le temps suffisant pour que la vapeur arrive du valve au cylindre de la turbine.

T_{ch} est compris entre 0.1, 0.5 s.

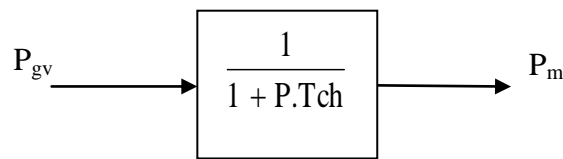


Figure II-4: Modèle linéaire de la turbine à vapeur.

T_{ch} : constante de temps de surchauffeur.

$T_{ch} \in [0.1 : 0.5]$ sec.

II-2-5. Relation entre turbine-générateur-charge : [5]

La puissance mécanique délivrée par la turbine est transformée à l'aide de générateur en puissance électrique absorbée par la charge, qui suite à ces variations la fréquence varie aussi. Donc on est amené à régler la fréquence en variant la puissance mécanique de la turbine pour chaque variation de charge.

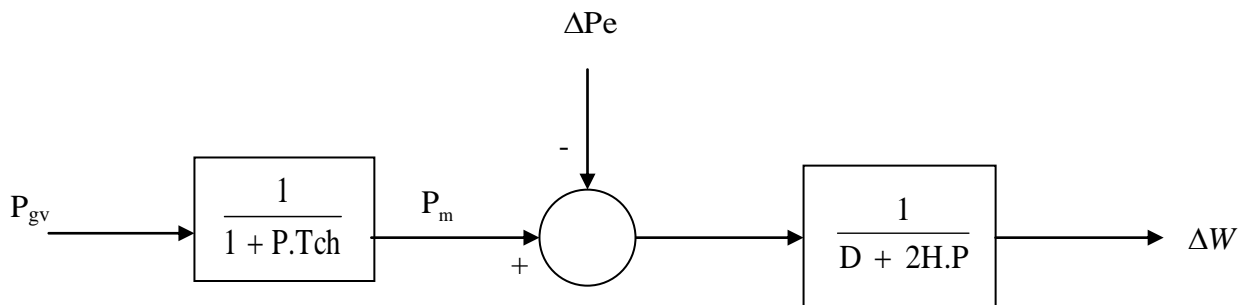
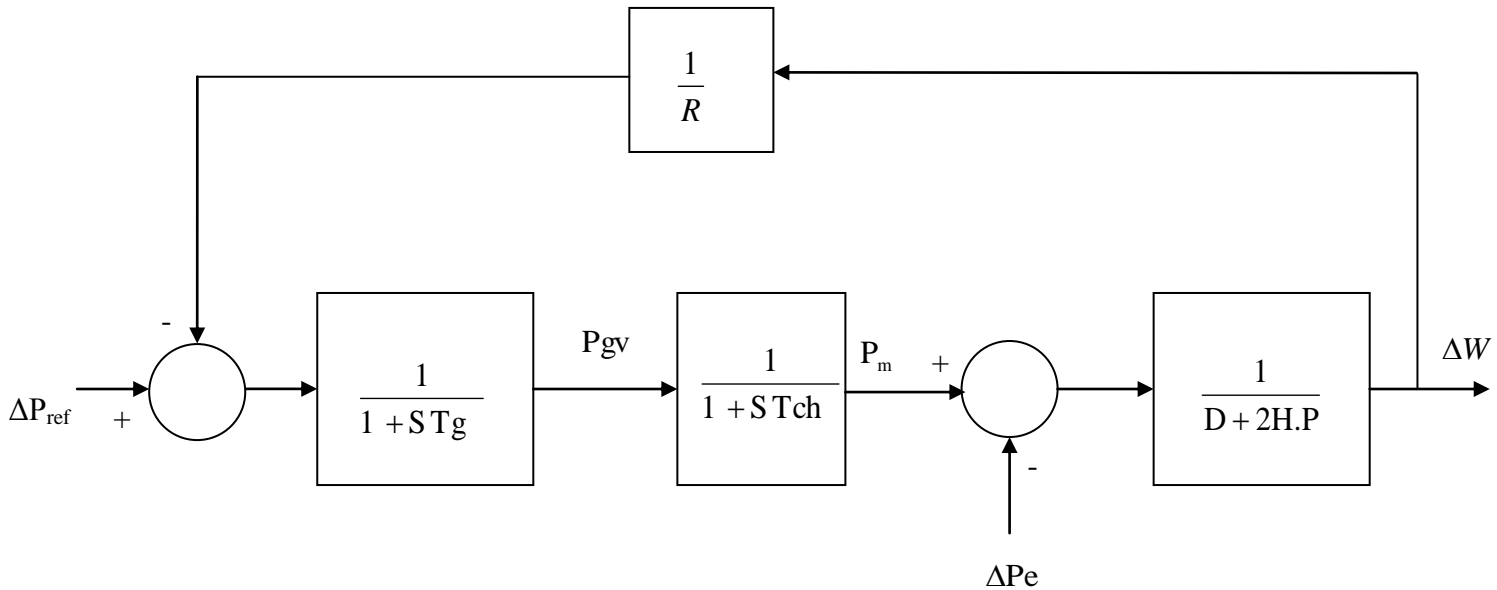
II-2-5-1. Modèle de turbine-générateur-charge : [5]

Figure II-5: Modèle de turbine-générateur-charge.

II-2-6. Représentation schématique du modèle linéaire : [3]**Figure II-6:** Modèle de gouverneur + turbine + générateur + charge

Où :

ΔP_{ref} : référence de la charge.

Avec :

$T_g = 0.2 \text{ sec}$

$R = 0.05 \text{ u.r.}$

II-3. Contrôle de la boucle (AVR) : [6]

Le contrôle de la tension de sortie aux bornes du générateur ne peut s'effectuer qu'après avoir mis en place une régulation au niveau du système d'excitation dont la f.e.m joue effectivement un rôle très important dans la stabilité du système.

Pour cela on dispose d'un régulateur agissant sur le courant d'excitation de la machine synchrone, à l'aide d'un dispositif spécial, il s'agit d'une boucle nommée (AVR) 'Régulateur automatique de tension' qui joue un rôle, soit de maintenir la tension du générateur constante ou de la ramener à une valeur de consigne fixe.

II-3-1. Représentation schématique :

La figure II.7 montre le schéma bloc utilisé pour la simulation :

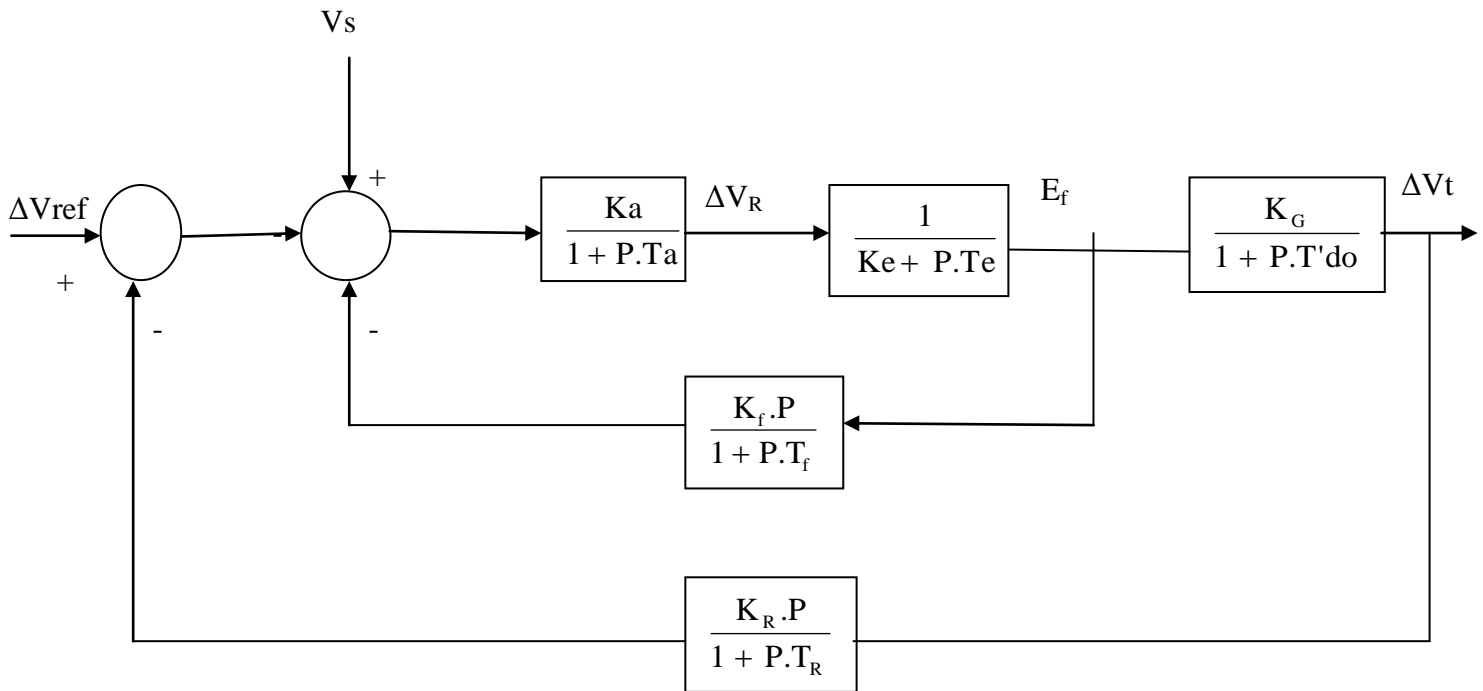


Figure II-7: Schéma bloc du système d'excitation + générateur
avec saturation, filtre et limiteur négligé

Les paramètres du système d'excitation sont donnés par le tableau II.1:

Tableau II.1 Paramètres du système d'excitation

Valeur des gains	Valeurs de constante de temps
$K_a = [100 - 400]$	$T_a = 0.025$
$K_G = 1$	$T_e = 0.015$
$K_e = 1$	$T_f = [0.3 - 0.5, 0.6]$
$K_f = [0.02 - 0.06]$	$T_{do} = [5 - 10]$

II-4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelque éléments d'une unité de production (turbine, gouverneur de vitesse, générateur et charge) ainsi le système de contrôle de la boucle (AVR) qui a pour rôle de pouvoir une tension final du générateur constante pendant les changements naturelles et petites de la charge, après avoir opté à modéliser chaque élément de cette unité et la boucle (AVR).

III-1. Introduction : [6]

Dans ce chapitre, nous allons avoir :

1. L'effet du régulateur de vitesse sur les performances dynamiques de la machine synchrone.
2. La réponse libre du système basant sur deux blocs simples de régulateur, à savoir, un régulateur de tension avec un seul temps de retard, et un gouverneur de vitesse de même caractéristique, c'est-à-dire avec un seul temps de retard .

III-2. Réglage de la machine synchrone : [6]**III-2-1. Régulateur de tension avec un seul temps de retard :**

On note que le changement de la tension ΔV_f est produit par le changement dans chaque une des tensions ΔV_{ref} , ΔV_t .

Si on prend $\Delta V_{ref} = 0$, ΔV_f dépend seulement de ΔV_t qui est modifié par la fonction de transfert du système d'excitation.

L'analyse de tel système est représentée dans le deuxième chapitre. Pour simplifier cette analyse, on prend plutôt un modèle simple de régulateur de tension et de système d'excitation.

Suivant le domaine complexe, on donne la relation entre le changement de la tension de l'excitatrice ΔV_t de le changement de la tension finale ΔV_f de la machine synchrone.

$$\Delta V_f = \frac{K_R}{1 + P.T_R} \Delta V_t \quad (\text{III-1})$$

Pour examiner l'effet de régulateur de tension sur la réponse du système, il faut établir les équation de la machine connectée à un réseau infini.

L'équation de puissance en fonction de l'angle de charge est :

$$P_e = P_e(\delta_n) \quad (\text{III-2})$$

En cas de petite déviation $\delta_n = \delta_{n0}$ (voir Fig. (III-1)) :

$$P_e = P^0 + \Delta P_e = P_e^0 + \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) \Delta \delta_n \quad (\text{III-3})$$

Donc :

$$\Delta P_e = \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) \Delta \delta_n \quad \text{pu} \quad (\text{III-4})$$

D'où :

$$\Delta P_e = K_1 \cdot \Delta \delta_n \quad \text{pu} \quad (\text{III-5})$$

$$K_1 = \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right)$$

Avec :

$$/ \quad \Delta E' = 0$$

En réalité la FEM (E') varie chaque fois, pour cela la puissance est en fonction de δ et E' tel que

$$P_e = P_e(\delta_n, E') \quad (\text{III-6})$$

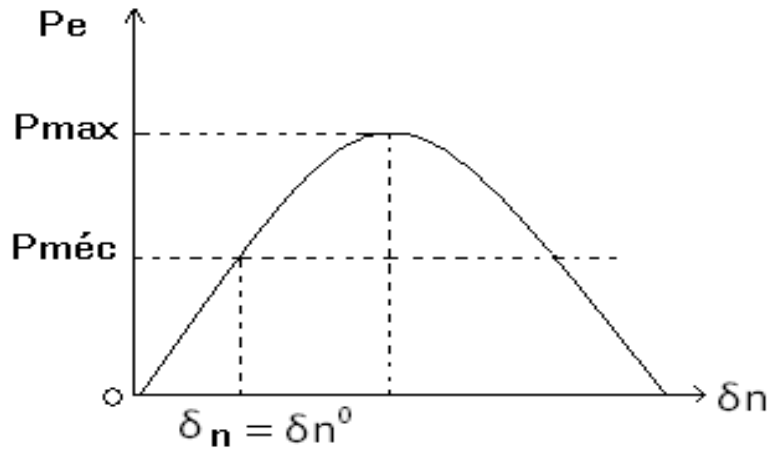


Figure III-1: Variation de puissance en fonction de l'angle.

Pour des petites variations de la puissance transitoire :

$$\Delta P_e = \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) \Delta \delta_n + \left(\frac{dP_e}{dE'} \right) \Delta E' \quad (\text{III-7})$$

Tel que :

$$K_2 = \frac{dP_e}{dE'} \quad / \quad \Delta \delta_n = 0$$

D'où :

$$\Delta P_e = K_1 \cdot \Delta \delta_n + K_2 \cdot \Delta E' \quad (\text{III-8})$$

III-2-2. Les causes des variations de la FEM : [6]

- 1 La correction de la tension VF.
- 2 La variation de position de l'angle de rotor.

L'augmentation de la tension V_F de l'excitatrice tend à augmenter la FEM (E') du générateur et ainsi l'augmentation de rotor δn tend à diminuer E' cette hypothèse est justifier comme suite lorsque δn augmente, la tension $X'_d I_d$ augmente voir Fig. (III-2-a) ainsi que l'augmentation de I_d mais comme I_d est démagnétisant voir Fig. (III-2-b).

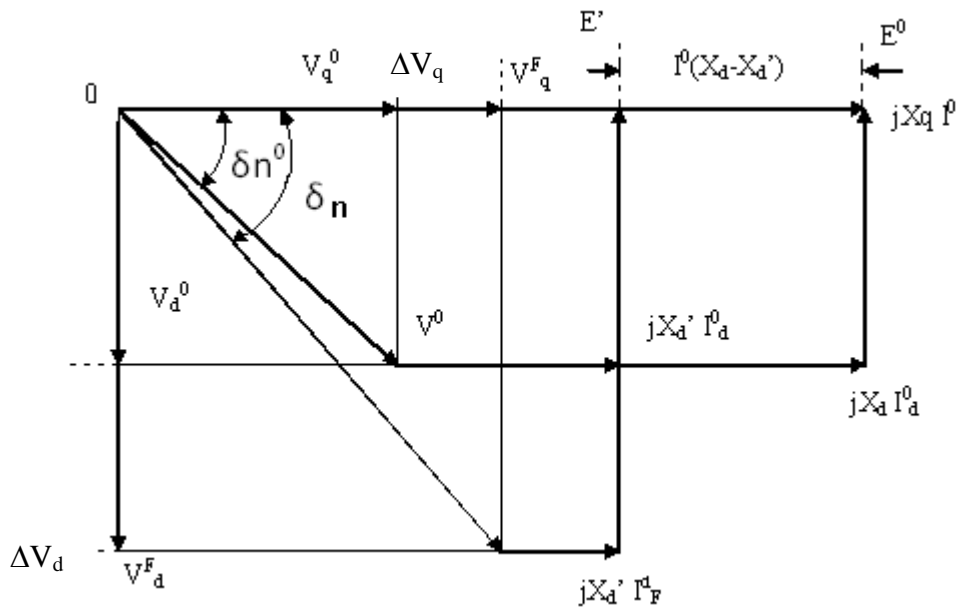


Figure III-2.a: Diagramme vectoriel de tension

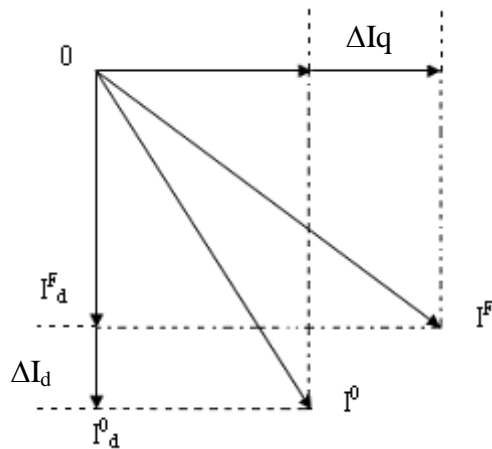


Figure III-2.b: Diagramme vectoriel de courant

Le résultat final est de diminuer la FEM de cela on établit la relation pendant des petites variations entre $\Delta\delta_n$, ΔV_F et $\Delta E'$.

$$\Delta E' = K'_2 \cdot \Delta V_F - K'_3 \cdot \Delta\delta_n \quad (\text{III-9})$$

On définit les constantes K'_2 et K'_3 par :

$$K'_2 = \frac{K_3}{1 + K_3 \cdot T'_{d0} \cdot P} \quad \text{avec} \quad T'_{d0} = \frac{L_f}{R_f} \quad \text{et} \quad K'_3 = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta E'(t) /_{\Delta\delta_n=0}$$

$$K'_3 = \frac{K_3 \cdot K_4}{1 + K_3 \cdot T'_{d0} \cdot P} \quad \text{avec} \quad K'_4 = (-1/K_3) \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta E'(t) /_{\substack{\Delta\delta_n=U(t) \\ \Delta V_F=0}}$$

On tire de l'expression (III-8) et (III-9) l'équation suivante :

$$\Delta P_e = K_1 \cdot \Delta\delta_n + K_2 \cdot \left(\frac{K_3}{1 + K_3 \cdot T'_{d0} \cdot P} \cdot \Delta V_F - \frac{K_3 \cdot K_4}{1 + K_3 \cdot T'_{d0} \cdot P} \cdot \Delta\delta_n \right) \quad (\text{III-10})$$

La Fig. (III-2.a) nous montre aussi que ΔV_t varie et qui se compose de deux composantes ΔV_q et ΔV_d . Si E' l'augmente, ΔV_q augmente aussi, ainsi si $\Delta\delta_n$ diminue, ΔV_d augmente.

Pour cette raison, on établit la relation :

$$\Delta V_t = K_5 \cdot \delta + K_6 \cdot \Delta E' \quad (\text{III-11})$$

Avec :

$$K_5 = \frac{\Delta V_t}{\Delta\delta_n} / \Delta E' = \text{cte} \quad \text{et} \quad K_6 = \frac{\Delta V_t}{\Delta E'} / \Delta\delta_n = \text{cte}$$

Avec l'équation (III-1) et (III-11) on a :

$$\Delta V_F = \frac{K_R}{1 + P \cdot T_R} \cdot (K_5 \cdot \Delta\delta_n + K_6 \cdot \Delta E') \quad (\text{III-12})$$

On remplace l'équation (III-12) dans (III-9) On obtient :

$$\Delta E' = K'_2 \cdot \left(-\frac{K_R \cdot K_5}{1 + P \cdot T_R} \Delta E' - \frac{K_R \cdot K_6}{1 + P \cdot T_R} \Delta\delta_n - K'_3 \cdot \Delta\delta_n \right) \quad (\text{III-13})$$

D'où

$$\Delta E' = \left(\frac{\frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_6}{1 + P \cdot T_R} + K'_3}{1 + \frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_6}{1 + P \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n \quad (\text{III-14})$$

Si on remplace K'_2 , K'_3 par leurs valeurs, on aura finalement :

$$\Delta E' = \left(-\frac{K_4}{T'_{d0}} \cdot \frac{P + \left(\frac{1}{T'_{d0}} \right) + \left(\frac{K_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot T_R} \right)}{P^2 + P \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{d0}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{d0} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n \quad (\text{III-15})$$

De même chose on tire de l'équation (III-8) et (III-15) :

$$\Delta P_e = \left(K_1 - \frac{K_2 \cdot K_4}{T'_{d0}} \cdot \frac{P + \left(\frac{1}{T_R} \right) + \left(\frac{K_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot T_R} \right)}{P^2 + P \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{d0}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{d0} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n \quad (\text{III-16})$$

Le schéma bloc de système avec l'addition de régulation de tension est représenté sur la figure III-3.

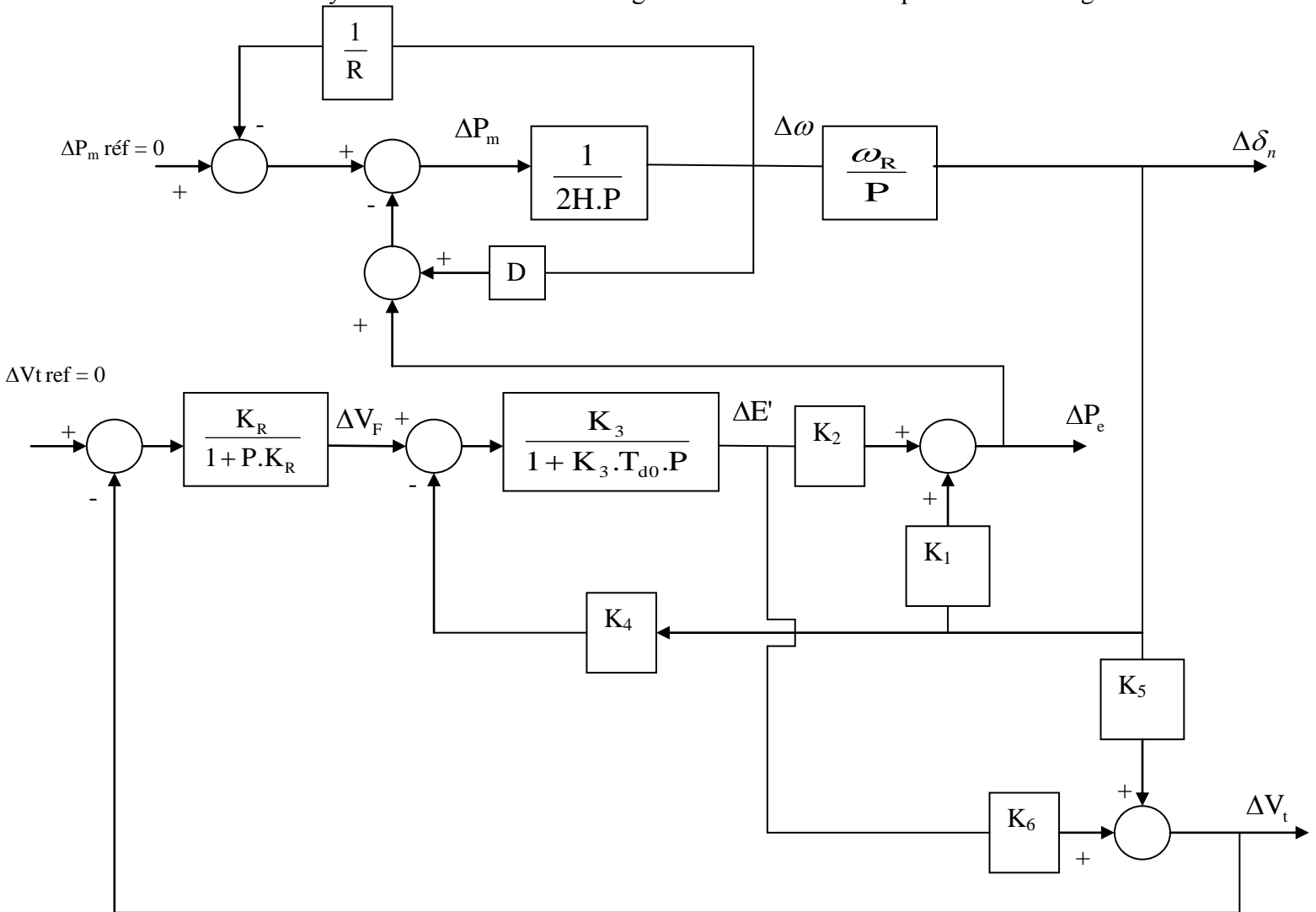


Figure III-3: Schéma bloc du système avec régulateur de tension

III-2-3. Régulateur de vitesse avec un seul temps de retard : [6]

On note que le changement de vitesse ou de la charge ou de la vitesse de référence (changement de vitesse du gouverneur GSC) provoque un changement de couple mécanique T_m le changement de dernier dépend de la baisse de la vitesse et de la fonction de transfert du gouverneur et de l'énergie de la source pour le modèle pris en considération voir Fig. (III-4), on assume que $GSC = 0$.

Et l'effet de la combinaison de la turbine et la vitesse de gouverneur sont les mêmes pour qu'on a un changement de la puissance mécanique dont la forme est :

$$\Delta P_m = - \left(\frac{K_g}{1 + P.T_g} \right) . \Delta \omega \tag{III-17}$$

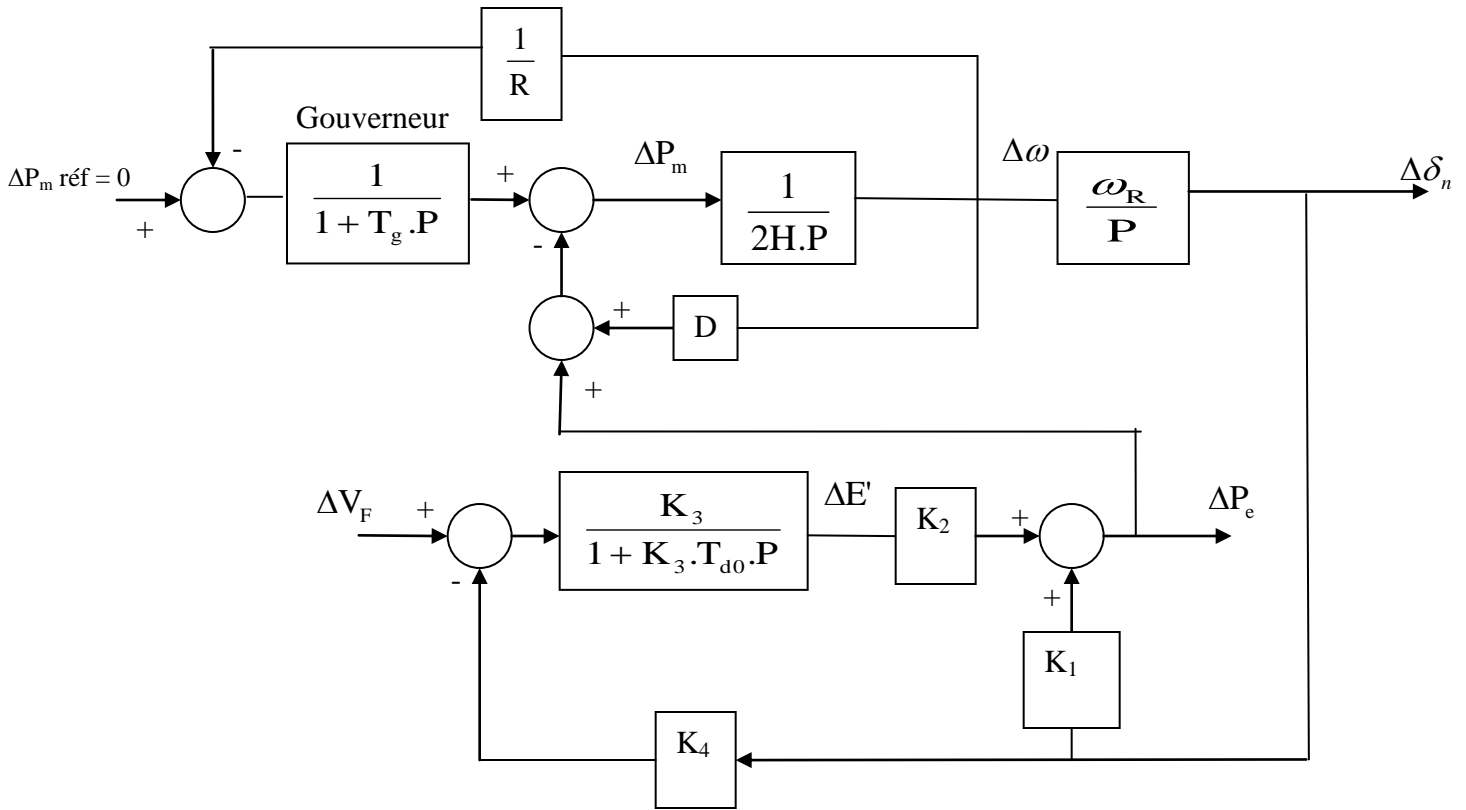


Figure III-4: Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur)

III-2-4. Modèle complet du système : [6]

Si ces deux types de régulations sont additionnés, on obtient un modèle complet de la machine synchrone régulé comme il est représenté à la figure (III-5), On simule la réponse de l'angle de charge, et puissance électrique et la tension finale, pour échelon de ΔP_m ou ΔV_F .

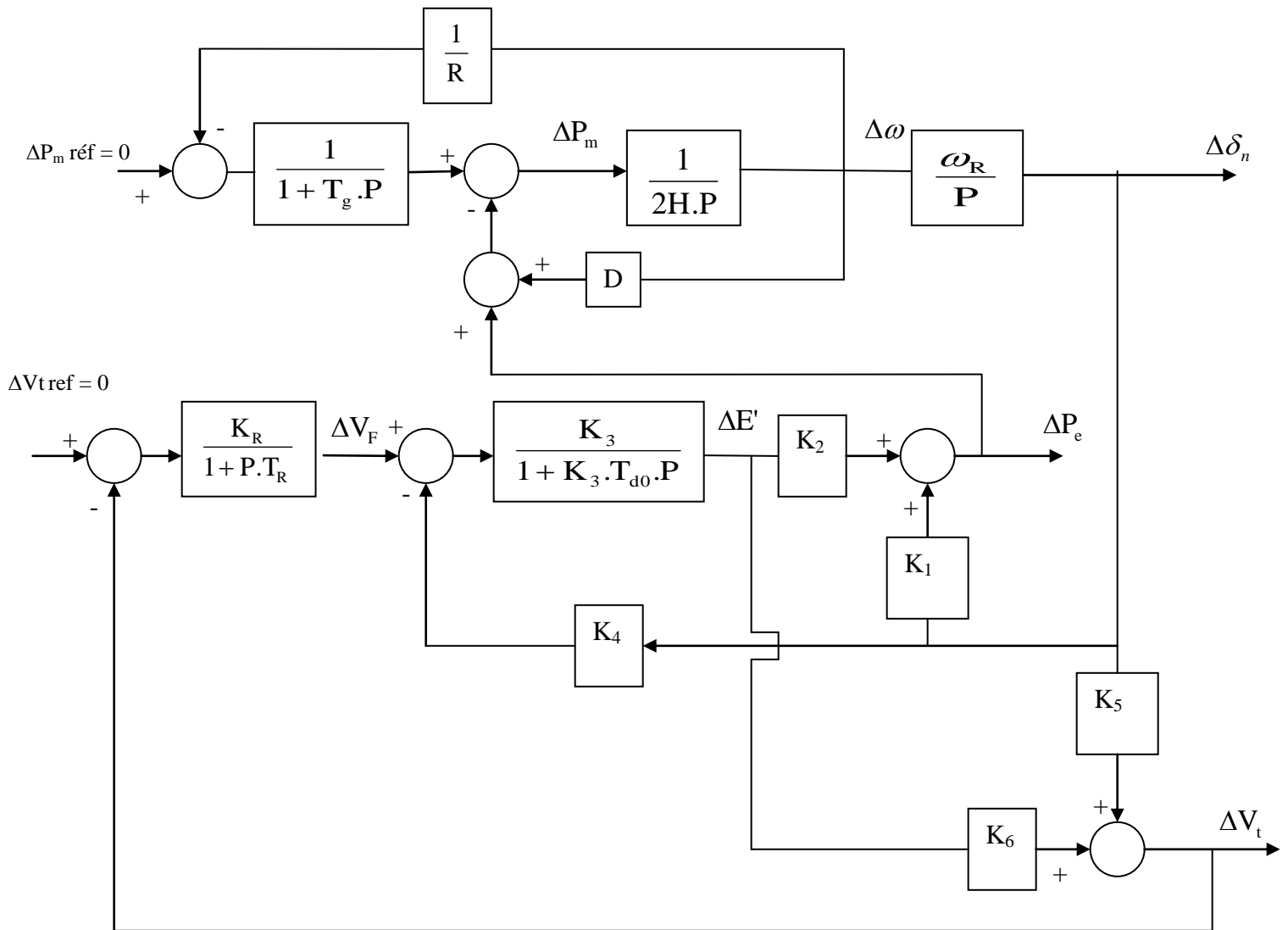


Figure III-5: Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension

III-3. Résultats de simulation :

Pour examiner les réponses du système à un régime de fonctionnement de la machine spécifié par les valeurs suivant :

$R = 0.06$, $2H=8$, $D=1$, $\omega_r=314 \text{ rad/s}$, $T_g = 0.3s$, $T_R = 0s$, $K_R = 1$, $K_1 = 4.8$, $K_2 = 2.6$,

$K_3 = 0.26$, $K_4 = 3.3$, $K_5 = 0.1$, $K_6 = 0.5$, $T'_{d0} = 5s$.

III-3-1. Variation de P_e pour un échelon sur P_m :

Lorsqu'on excite le système par un échelon sur P_m , la puissance électrique oscille autour de a puis se stabilise à la valeur finale P_m .

Justification : Le point de fonctionnement stable est le point 'a', lorsque $P_e = P_m$, donc la puissance électrique est liée proportionnellement à P_m .

La figure (III-6) montre que :

$$\text{Si } P_m \nearrow \Rightarrow P_e \nearrow$$

$$\text{Si } P_m \searrow \Rightarrow P_e \searrow$$

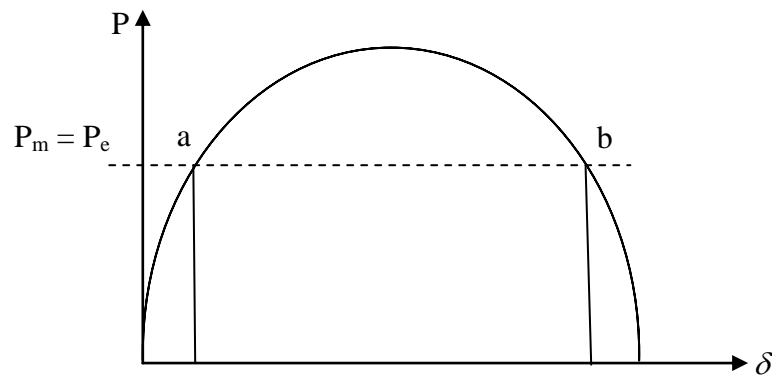


Figure III-6: La dépendance de la puissance active avec l'angle δ

III-3-2. Variation de V_t pour un échelon sur P_m :

Si $\Delta P_m = 1$ pu : La variation de puissance électrique augmente et par conséquent la variation de la tension du générateur augmente aussi d'après l'équation $P_e = \frac{V.E}{X} \sin \delta$.

Donc la tension V_t est proportionnelle à P_e , (la figure III-7) c'est-à-dire :

$$\text{Si } P_e \nearrow \Rightarrow V_t \nearrow$$

III-3-3. Variation de δ pour un échelon sur P_m :

Même chose que (2), car si $P_m \nearrow \Rightarrow$ Si $P_e \nearrow \Rightarrow \delta \nearrow$.

L'augmentation de la puissance mécanique influe directement sur l'angle de charge proportionnellement (figure III-8).

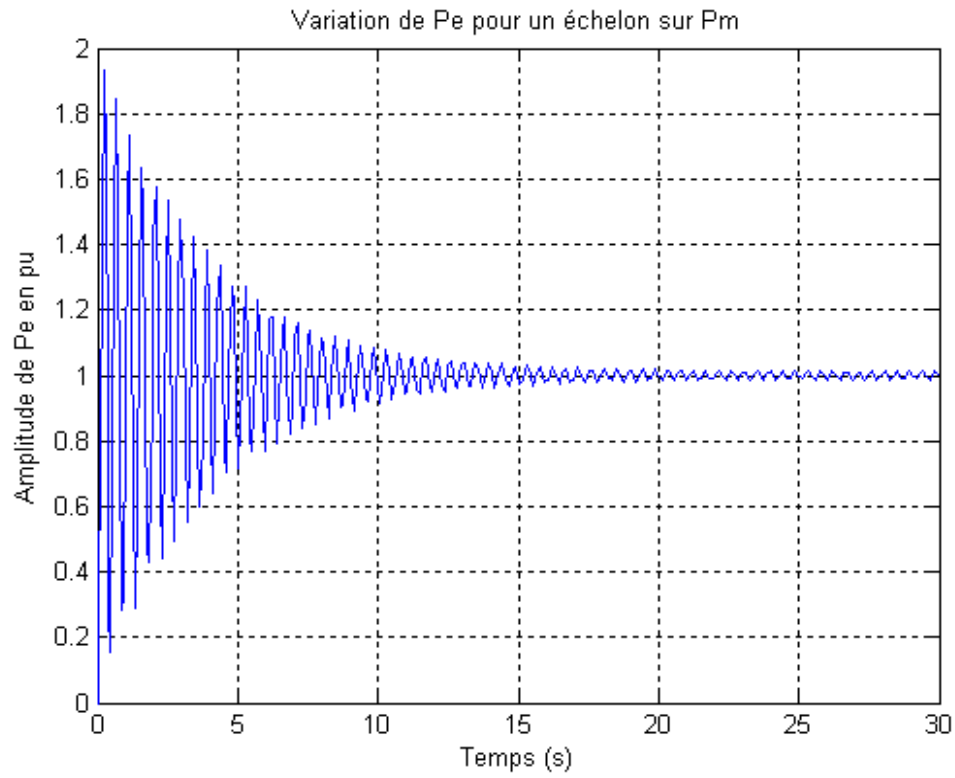


Figure III-7: Variation de P_e pour un échelon sur P_m

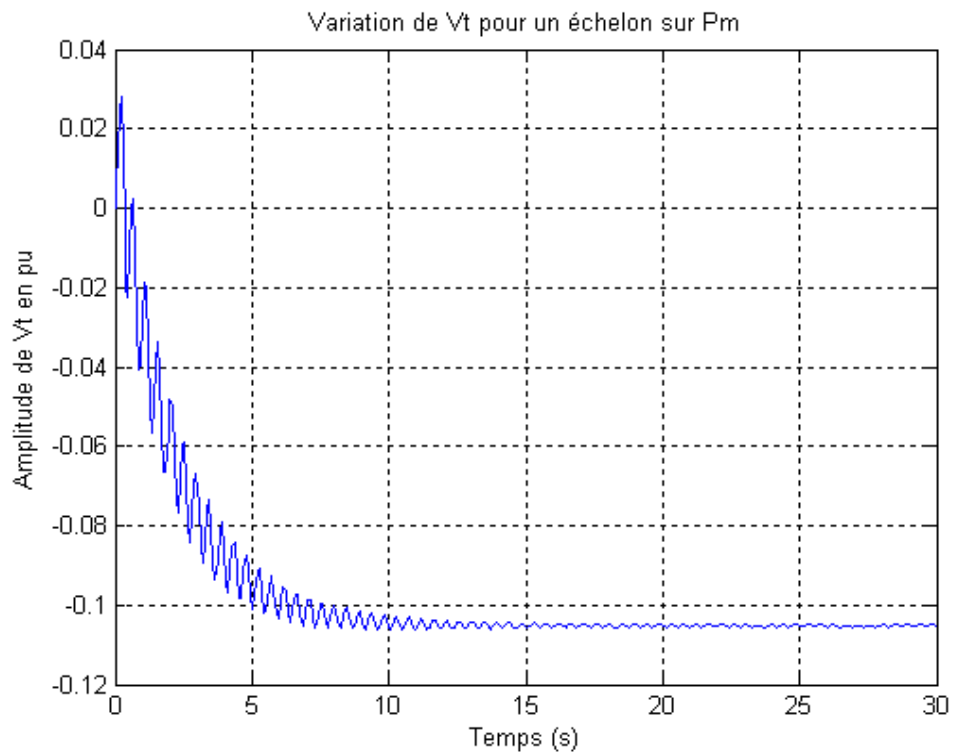


Figure III-8: Variation de V_t pour un échelon sur P_m

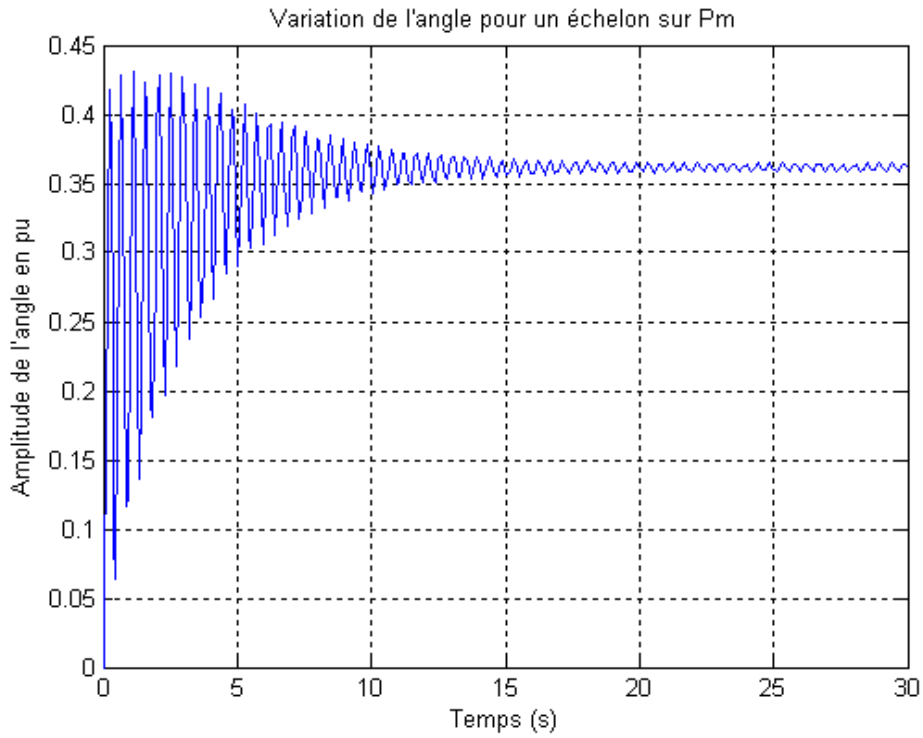


Figure III-9: Variation de l'angle pour un échelon sur P_m

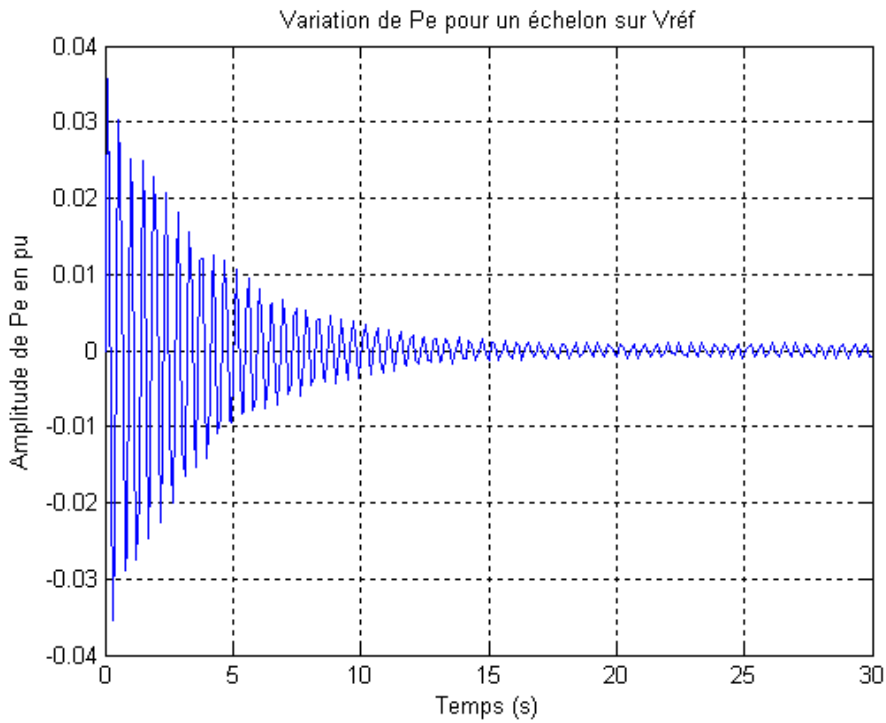


Figure III -10: Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref}

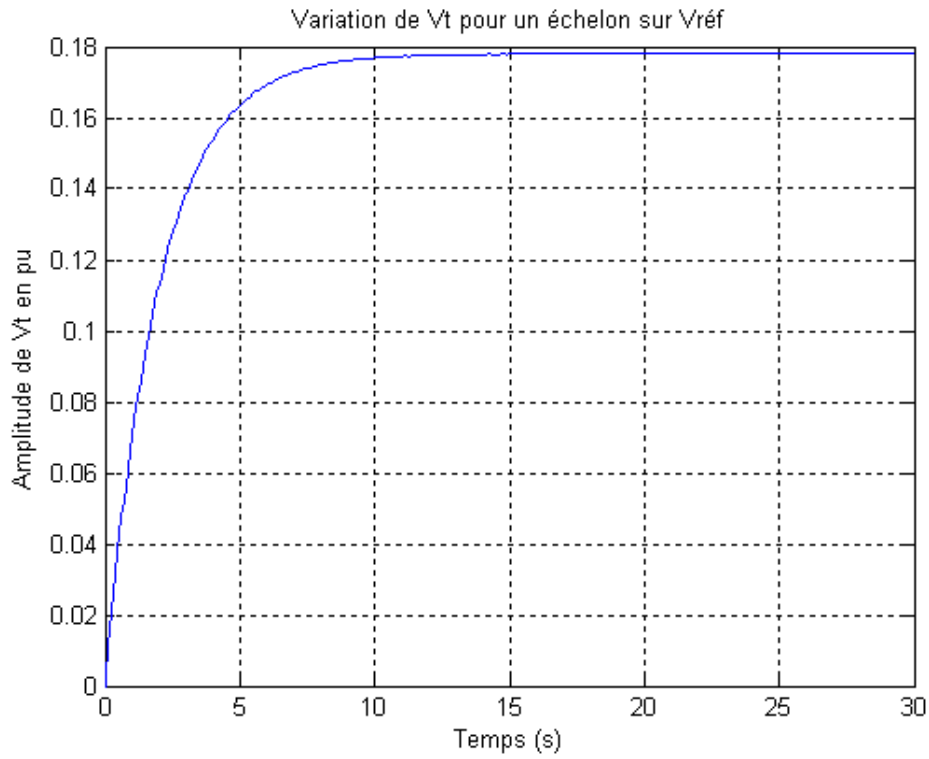


Figure III -11: Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}

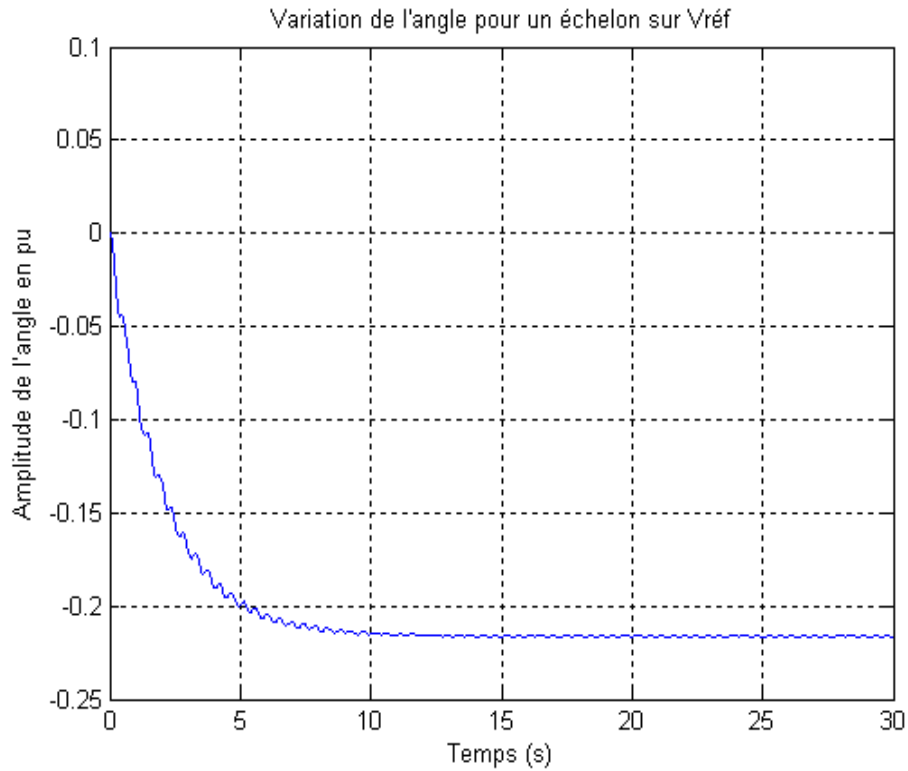


Figure III-12: Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref}

III-4. Conclusion :

La variation de la puissance mécanique influe directement sur la puissance électrique, la tension du générateur et l'angle de charge proportionnellement ($\Delta P_m \propto \Delta P_e$, $\Delta P_m \propto \Delta V_t$, $\Delta P_m \propto \Delta \delta$).

Dans le chapitre suivant on va voir l'application de la boucle PSS (*Power System Stabiliser*) pour améliorer la stabilité du système.

IV-1. Introduction : [4]

Avec la venue de l'interconnexion entre les systèmes de puissance, des oscillations électromécaniques entre les générateurs connectés sont générées et provoquent un phénomène indésirable.

La réduction de ces oscillations est indispensable pour l'amélioration de ces limites de transfert de la puissance, et d'ici obtenir un fonctionnement du système stable, économique et sûr.

Des efforts considérables ont été placés pour le développement d'un contrôle supplémentaire d'excitation.

IV-2. Cause et sortes d'oscillations de puissance : [6]

Les oscillations de puissance actives sont provoquées par des dérangements du réseau ou par une exploitation proche de la limite de stabilité du réseau et stimulent un échange réciproque entre les alternateurs et le réseau. Ces oscillations électromécaniques du rotor se laissent amortir par une influence adéquate sur le courant d'excitation. Il faut différencier les oscillations de puissance entre :

- **Les oscillations locales :** entre un alternateur et les autres machines de la même centrale
fréquence d'oscillation typique : 0.8.....2.0 HZ
- **Oscillations entre des centrales voisines :** fréquence d'oscillation typique : 1.0...2.0 HZ
- **Oscillations entre des réseaux régionaux :** comprenant chacun plusieurs machines.
fréquence d'oscillation typique : 0.2.....0.8 HZ
- **Oscillations globales :** caractérisées par balancement en phase de toutes les machines des réseaux interconnectés. fréquence d'oscillation typique : inférieur à 0.2 HZ

Le but de la stabilisation (*Power System Stabilizer* - PSS) est de détecter les oscillations de puissance et d'élaborer un signal qui permet d'influencer la consigne du régulateur de tension.

IV-3. Définition : [4]**IV-3-1. Qu'est ce que signifie PSS ? :**

Ce sont des signaux de contrôle supplémentaires de stabilisations, reconnus sous le nom « *Power System Stabilizer* » générés par des réseaux spéciaux.

IV-3-2. A quoi sert PSS ? :

Les signaux de PSS ont pour objet l'élimination des oscillations électromécaniques et l'amélioration de facteur d'amortissement du système.

IV-4. Fonctionnement du PSS : [4] [6]

La fonction du PSS produit un signal de contrôle supplémentaire à l'entre du régulateur de tension de la machine synchrone pour améliorer la performance dynamique du système de puissance.

Différentes quantités comme la puissance électrique, la vitesse de la machine, la dérivation de la fréquence sont utilisés comme des signaux d'entrer pour le PSS.

Le signal de stabilisation est introduit dans le système d'excitation par le comparateur qui réunit le signal de la tension de référence et le signal produit par la final de la machine synchrone.

L'addition de ces trois signaux donne naissance à un signal erreur à l'entrer du système régulateur-excitation.

La figure ci-dessous montre la position de signal PSS dans le système de puissance :

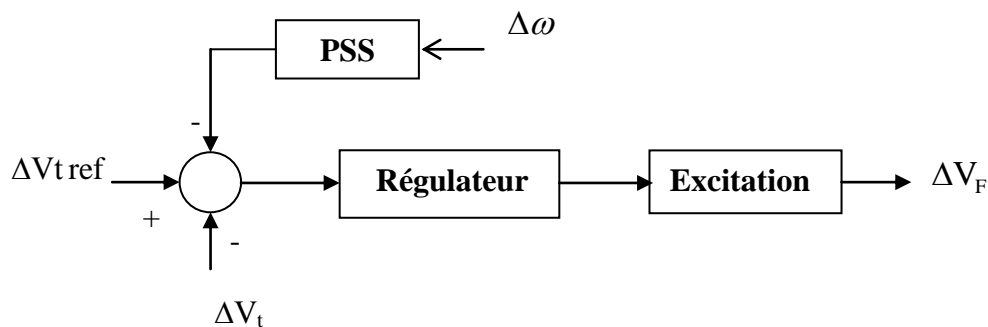


Figure IV-1: Schéma bloc de PSS

IV-5. La fonction de transfert du PSS : [6]

La fonction transfert du PSS est donnée sous forme suivant :

$$G_p(P) = \frac{K_p P.T}{1 + P.T} \cdot \frac{(1 + P.T_1)(1 + P.T_2)}{(1 + P.T_3)(1 + P.T_4)} \quad (\text{VI-1})$$

Où :

Le premier terme : $P.T/(1+T.P)$ représente le terme d'intégration.

Le deuxième terme de la fonction $G_p(P)$ représente la compensation en avance de phase :

T_1 - T_2 temps en avance de phase, ils sont ajustables entre 0.18 - 2 secondes.

T_3 - T_4 temps en retard de phase, ils ajustables entre 0.02 – 0.15 secondes.

Les constantes de temps en avance de phase servent à composer les temps de système de contrôle de l'excitation.

Les constantes de temps en retard de phase, sont nécessaires pour des considérations de présence de bruit.

En générale ces constantes de temps ne doivent être pas inférieures à 1/10 des constantes de temps T_1 , T_2 .

IV-5-1. Gain de stabilisateur K_p : [6]

Le gain de stabilisateur est incorporé dans un circuit d'amplification séparé. Le gain de l'amplification est ajustable dans trois rangs (0.1 - 1) et (1.0 - 10) et (10 - 100).

Pour les systèmes d'excitation qui emploient des excitatrices avec des constantes des temps égale à 0.1 secondes ou moins, des grandes valeurs de gain sont choisie.

IV-5-2. Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration : [3] [5]

Soit le circuit représente ci-dessous :

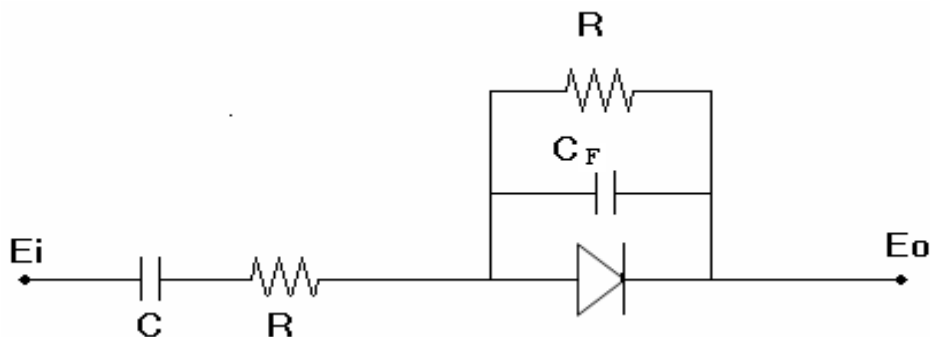


Figure IV-2: Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration

$$E_i \left[\frac{1}{R + 1/P.C} \right] = -E_0 \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{1/P.C_F} \right]$$

$$\frac{E_0}{E_i} = - \left[\frac{P.R.C}{1 + P.R.C} \right] \left[\frac{1}{1 + P.R.C_F} \right]$$

$$\frac{E_0}{E_i} = - \left[\frac{P.T}{(1 + P.T)(1 + P.T_F)} \right]$$

Par substitution des valeurs :

$C = 0.5$ à 50 MF, $C_F = 0.01$ MF et $R = 0.11$ à 1.11 MΩ

$T = RC$, T : est ajustable entre $[0.055 - 55.5]$ secondes

$T_F = RC_F$, T_F : varie entre $[0.0011 - 0.011]$ secondes

T_F : est très petite, cela implique que la fonction de transfert est :

$$\frac{E_0}{E_i} = - \left[\frac{P.T}{(1 + P.T)} \right]$$

IV-5-3. Circuit de compensation en avance et en retard : [4] [6]

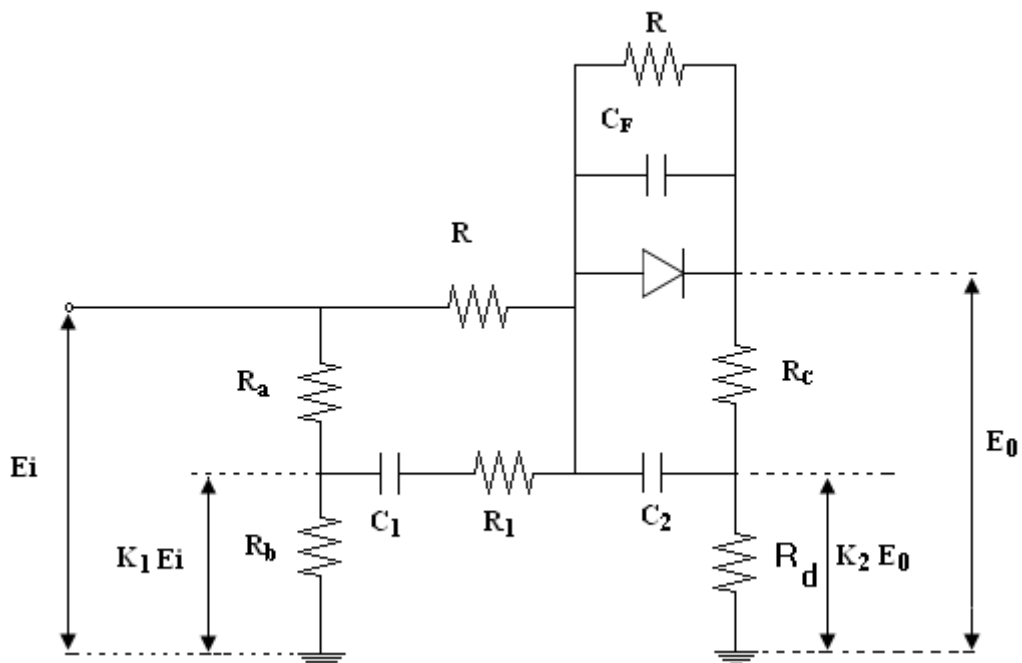


Figure IV-3: Circuit de compensation en avance et en retard

$$K_1 = \frac{R_B}{R_A + R_B} \quad , \quad K_2 = \frac{R_D}{R_C + R_D}$$

$$E_i \left[\frac{1}{R} + \frac{K_1}{R_1 + 1/P.C_1} \right] = -E_0 \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{1/P.C_F} + \frac{K_2}{1/P.C_2} \right]$$

$$E_i \left[\frac{1 + P.R_1.C_1 + P.K_1.R.C_1}{R(1 + P.R_1.C_1)} \right] = -E_0 \left[\frac{1 + P(K_2.R.C_2 + R.C_F)}{R} \right]$$

$$\frac{E_0}{E_i} = \left[\frac{1 + P(K_1.R.C_1 + R_1.C_1)}{(1 + P.R_1.C_1)(1 + P(K_2.R.C_2 + R.C_F))} \right]$$

$T_A = K_1.R.C_1$: Constante de temps en avance.

$T_B = R_1.C_1$: Constante du temps du bruit du filtre.

$T_C = K_2.R.C_2$: Constante du temps en retard.

$T_D = R.C_F$: Constante du temps du circuit du stabilisateur.

Par substitution des valeurs des paramètres :

$$R = 1 \text{ M}\Omega, R_1 = 4.75 \text{ K}\Omega, C_1 = 2 \text{ }\mu\text{F}, C_2 = 0.147 \text{ }\mu\text{F}, C_F = 1 \text{ nF}.$$

K_1 : est ajustable de 0.09 à 1.

K_2 : est ajustable de 0.115 à 1.

On obtient :

$$T_A = 0.182 \text{ à } 2 \text{ secondes.}$$

$$T_B = 0.0095 \text{ secondes.}$$

$$T_C = 0.017 \text{ à } 0.147 \text{ secondes.}$$

$$T_D = 0.001 \text{ secondes.}$$

Remarque :

$T_D \ll T_C$ approximativement on obtient :

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{1 + P.T_A}{1 + P.T_C}$$

En posant : $T_C = T = K_2.R.C_2$ avec $T_A = K_1.R.C_1$

Et $a = \frac{K_1.C_1}{K_2.C_2} > 1$

On obtient : $\frac{E_0}{E_i} = \frac{1 + P.a.T}{1 + P.T}$

IV-6. Représentation simplifiée de PSS :

La fonction de transfert simplifier de PSS est donnée par :

$G_p(P) = K_p \cdot \frac{1 + P.T_1}{1 + P.T_2}$

Ou $G_p(P)$: est la compensation en avance par laquelle on peut composé d'avance beaucoup de retard de phase de la fréquence d'oscillation de système de puissance.

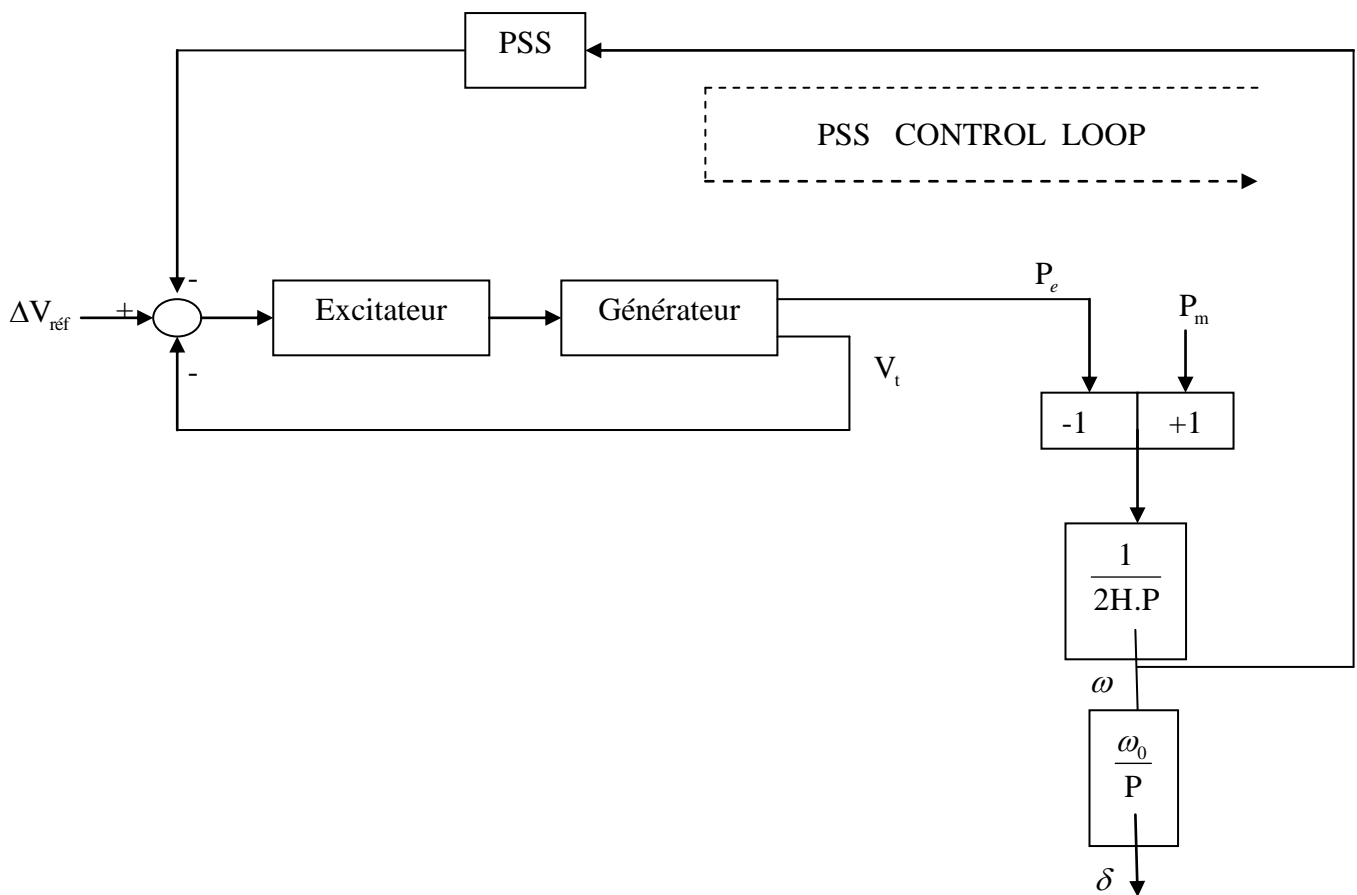


Figure IV-4 : Bloc de l'analyse du système avec signale de PSS incorporé

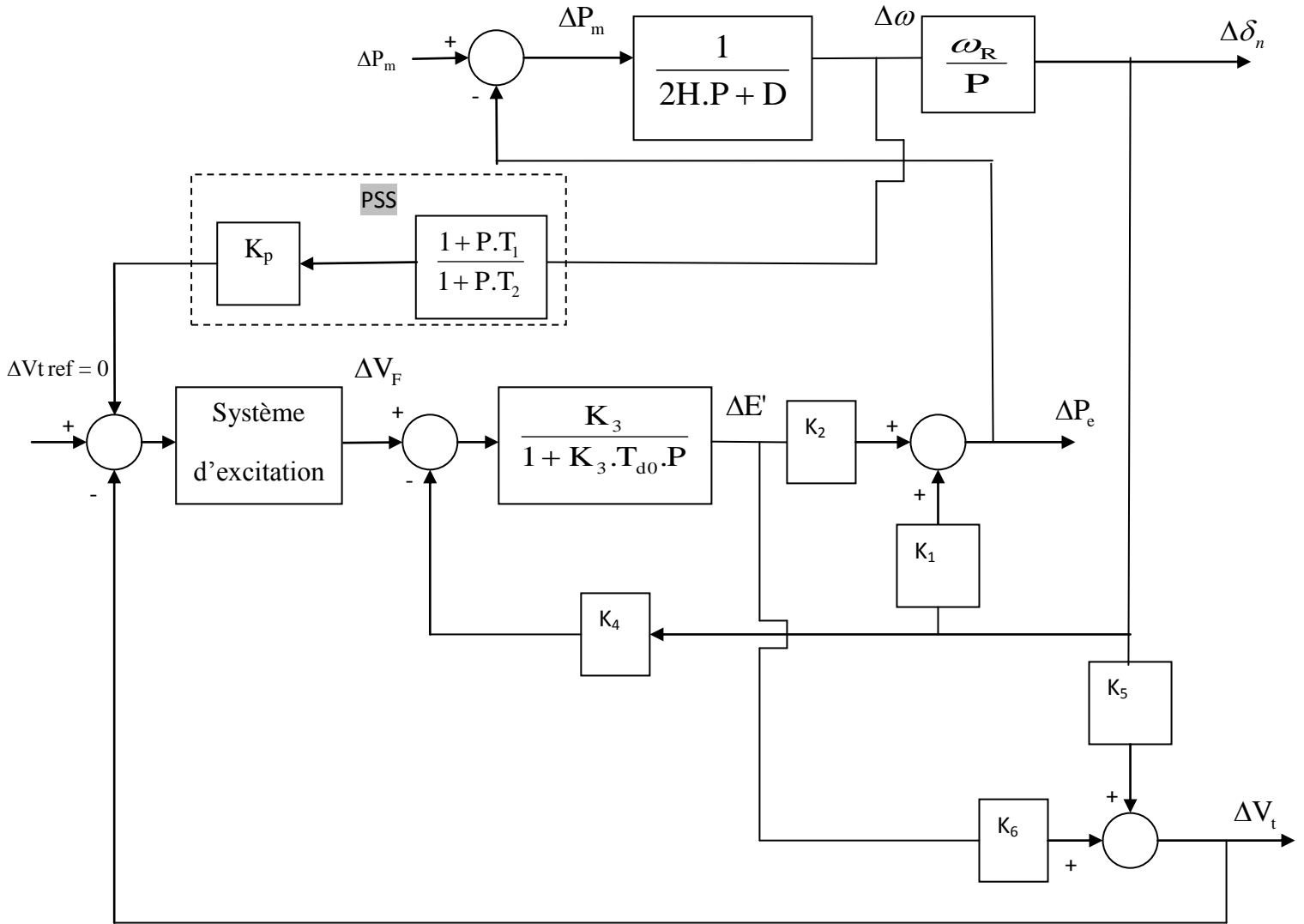


Figure IV-5: Schéma bloc du système avec PSS incorporé

IV-7. Résultats de simulation :

Pour voir l'effet du PSS sur la réponse du système. On prit la machine représenter sur la figure IV-5, pour un régime de fonctionnement spécifiée par les valeurs suivantes :

$$2H = 8, D = 1, \omega_R = 314 \text{ rad/s}, T_R = 0 \text{ s}, K_R = 1, K_1 = 4.8, K_2 = 2.6, K_3 = 0.26, K_4 = 3.3,$$

$$K_5 = 0.1, K_6 = 0.5, T'_{d0} = 5 \text{ s}, K_a = 400, T_a = 0.025 \text{ s}, K_e = 1, T_e = 0.015 \text{ s}, K_G = 1, K_f = 0.03, T_f = 0.3 \text{ s}, K_R = 1, T_R = 0 \text{ s}.$$

IV-7-1. Interprétation des résultats :

En comparant le système précédent de chapitre (III) (sans la boucle PSS), avec celui du chapitre (IV), l'effet de la boucle supplémentaire PSS apparaît clairement où on constate le suivant :

- La diminution de l'amplitude des oscillations.
- Le temps de réponse dévient court.

Donc on déduit l'amélioration de facteur de puissance, ainsi que la stabilité que dévient plus rapide (figure IV-6-a).

Pour la figure IV-7-a comparer à la figure VI-7-b presque aucune influence sur la tension V_t en cas d'un échelon sur $V_{réf}$.

La figure IV-8-a est plus stable par rapport la figure IV-8-b alors l'effet de la boucle PSS est apparaît clairement et ça par la diminution des oscillations.

Même chose pour la figure IV-9-a par rapport la figure-9-b, la figure IV-10-a par rapport la figure IV-10-b et la figure IV-11-a par rapport la figure IV-11-b,

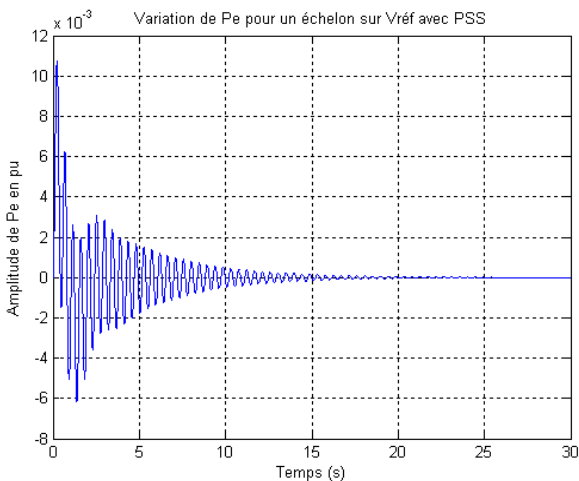


Figure IV-6-a: Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS

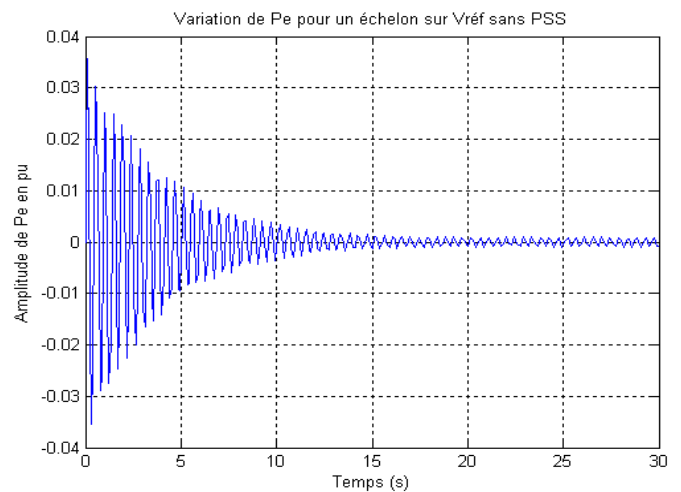


Figure IV-6-b: Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS

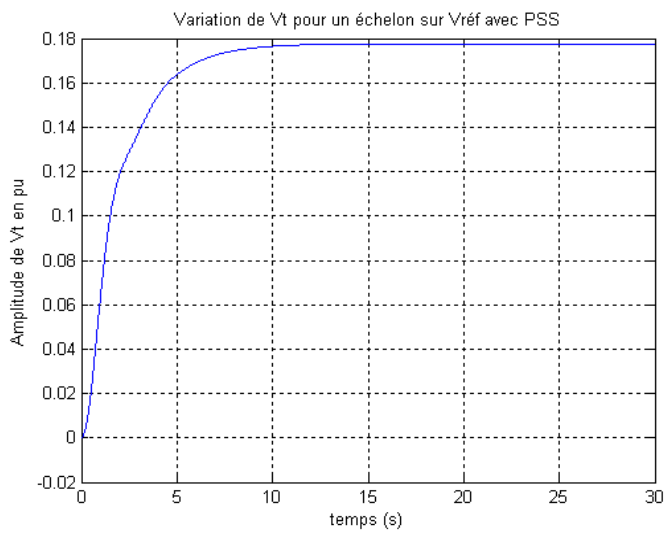


Figure IV-7-a: Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} avec PSS

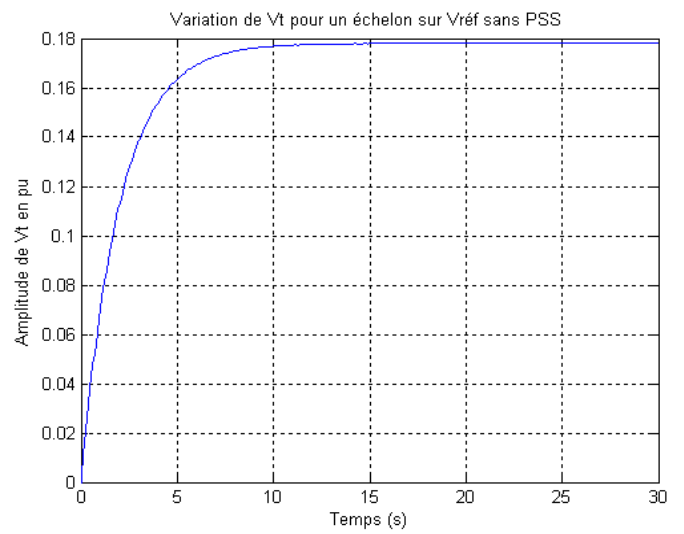


Figure IV-7-b: Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} sans PSS

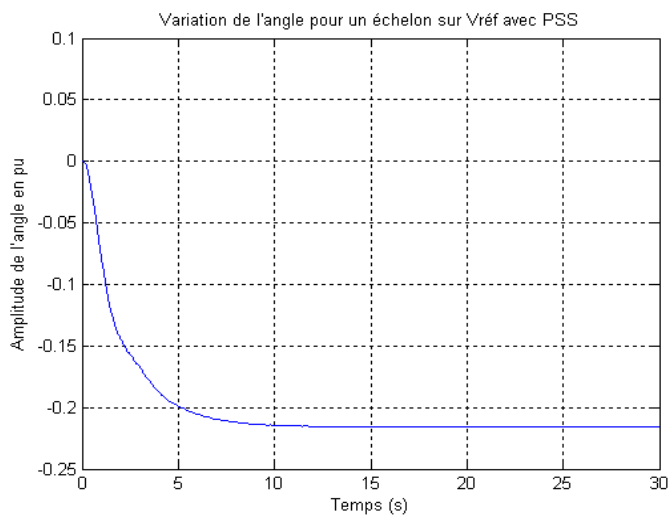


Figure IV-8-a: Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} avec PSS

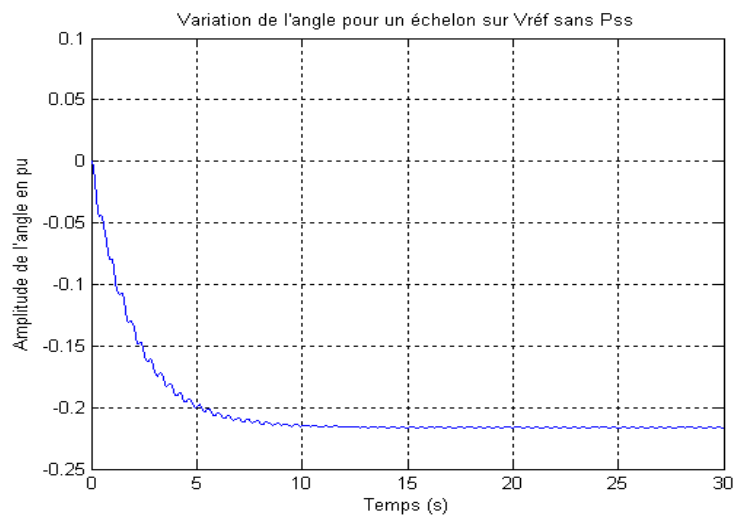


Figure IV-8-b: Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} sans PSS

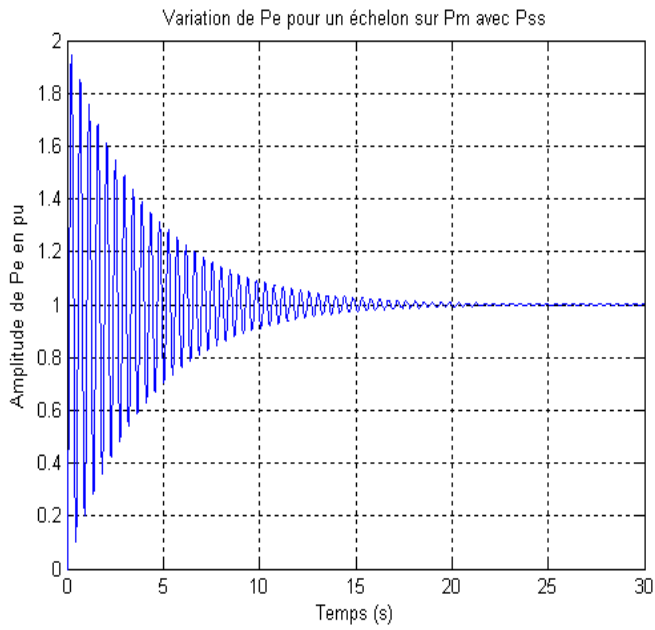


Figure IV-9-a: Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSS

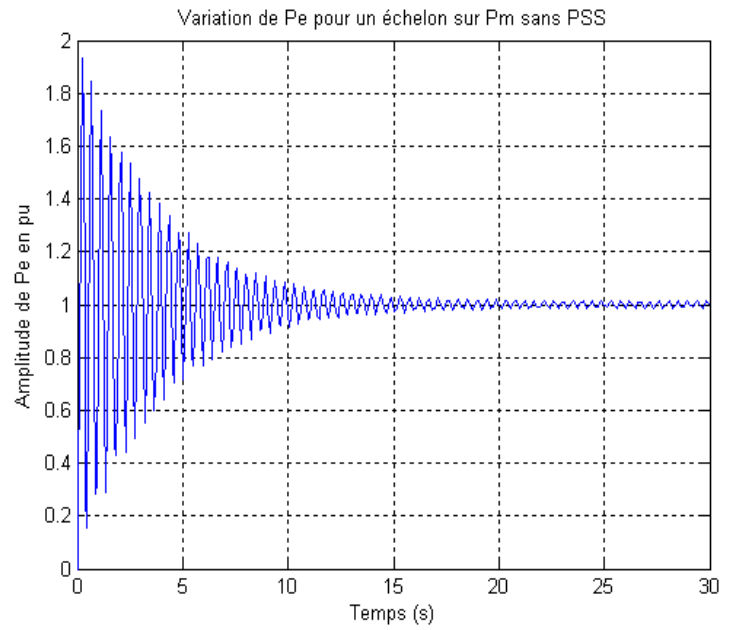


Figure IV-9-b: Variation de P_e pour un échelon sur P_m sans PSS

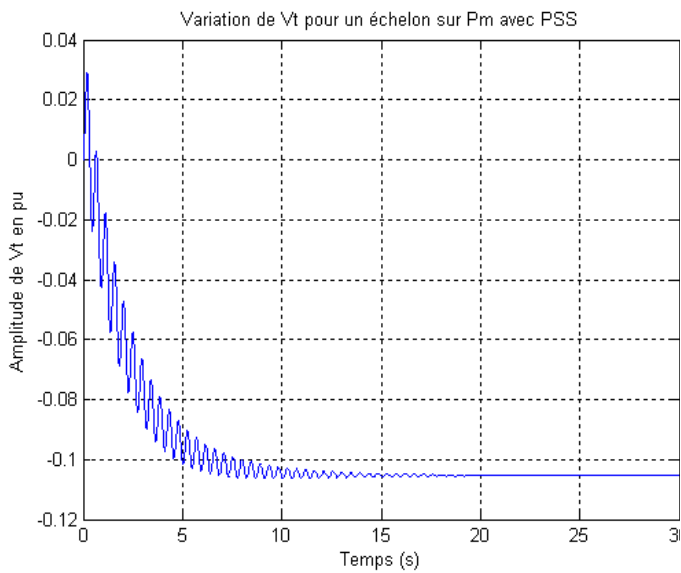


Figure IV-10-a: Variation de V_t pour un échelon sur P_m avec PSS

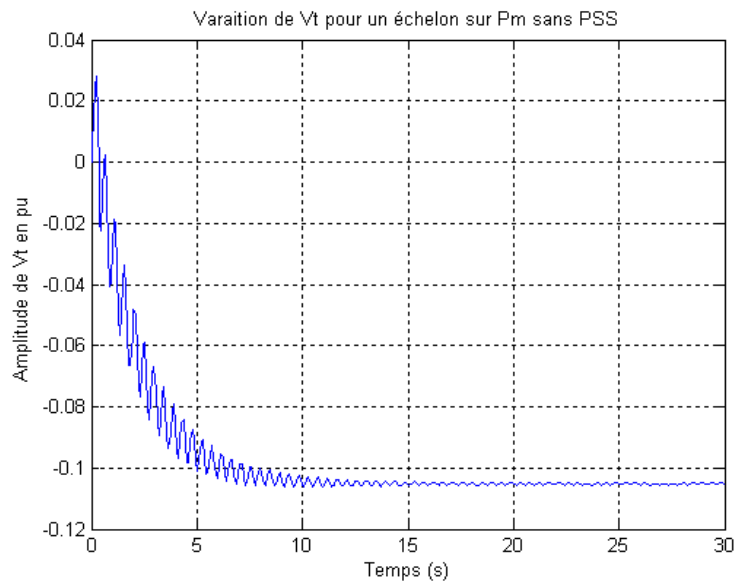


Figure IV-10-b: Variation de V_t pour un échelon sur P_m sans PSS

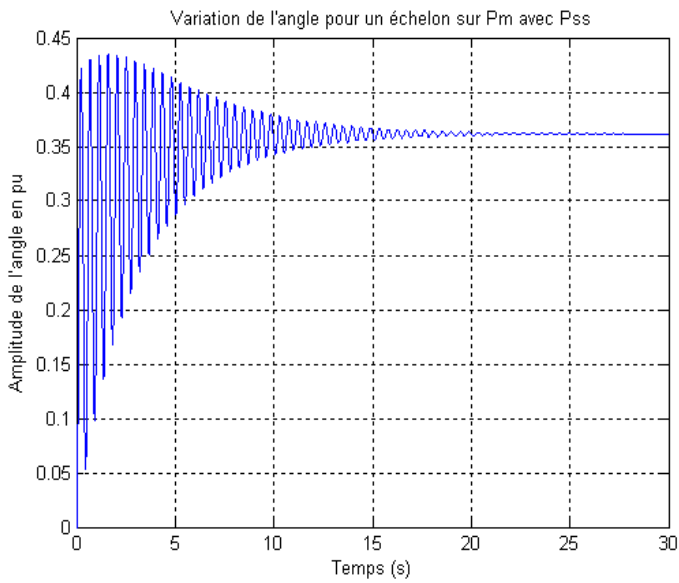


Figure IV-11-a: Variation de l'angle pour un échelon sur P_m avec PSS

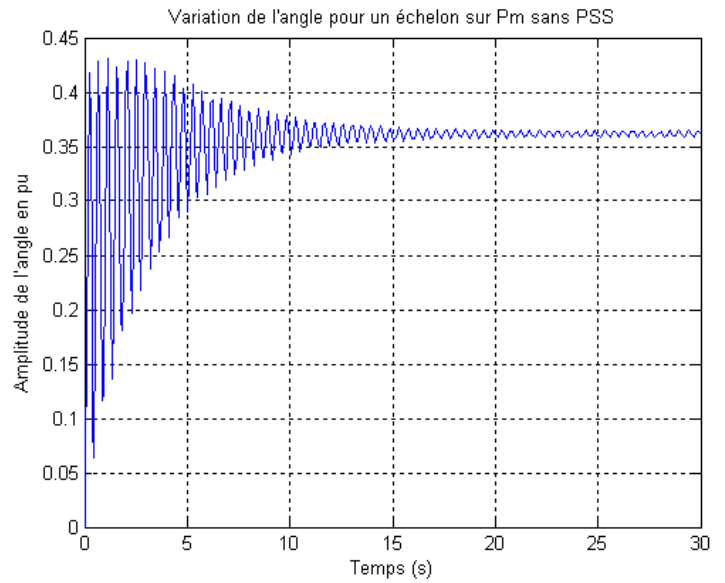


Figure IV-11-b: Variation de l'angle pour un échelon sur P_m sans PSS

IV-8. L'impact du PSS sur le régime transitoire (stabilité dynamique) :

Cette partie présente une analyse générale de la stabilité transitoire en présence d'une boucle PSS. Cette étude a été testée sur un réseau standard de 'Hydro Quebec Canada', constitué de 3 jeux de barres et de 2 générateurs (turbine hydraulique). Afin de comprendre l'impact de PSS sur la marge de stabilité transitoire un modèle simplifié a été employé. Les résultats de calculs ont été obtenus par une simulation sous l'environnement MATLAB (SIMULINK).

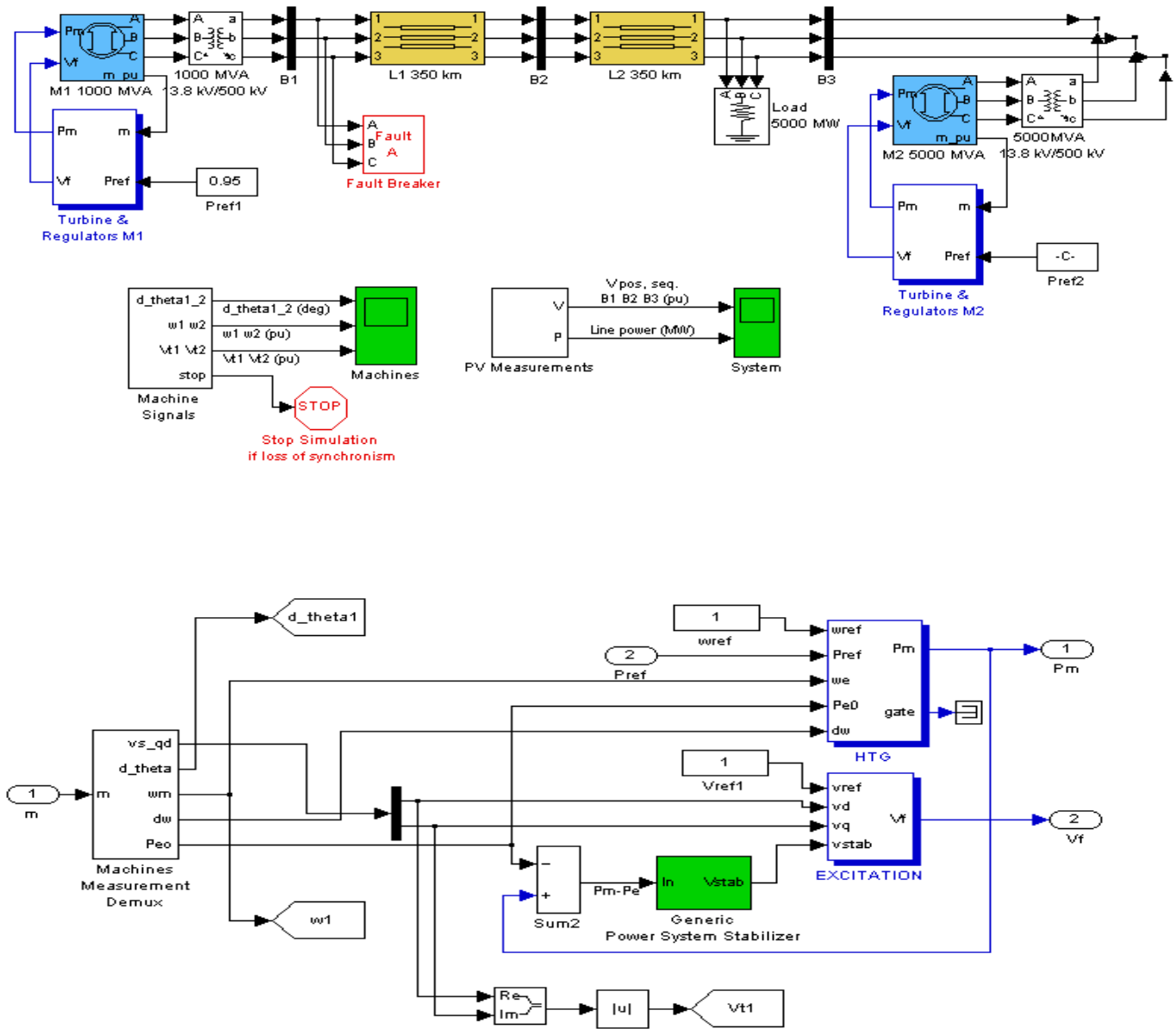


Figure IV-12: Installation du PSS

Les courbes qui ont été exposé dans cette partie correspond à :

- La tension,
- L'angle de charge δ_1 et δ_2 .
- La vitesse ω_1 et ω_2 .
- Les tensions V_{t1} , V_{t2} ,
- La puissance transiée.

Dans les deux cas :

- Sans PSS,
- Avec PSS.

Et avec le court-circuit :

- Monophasé

IV-8-1. Les résultats de simulation :

IV-8-1-1. Sans PSS :

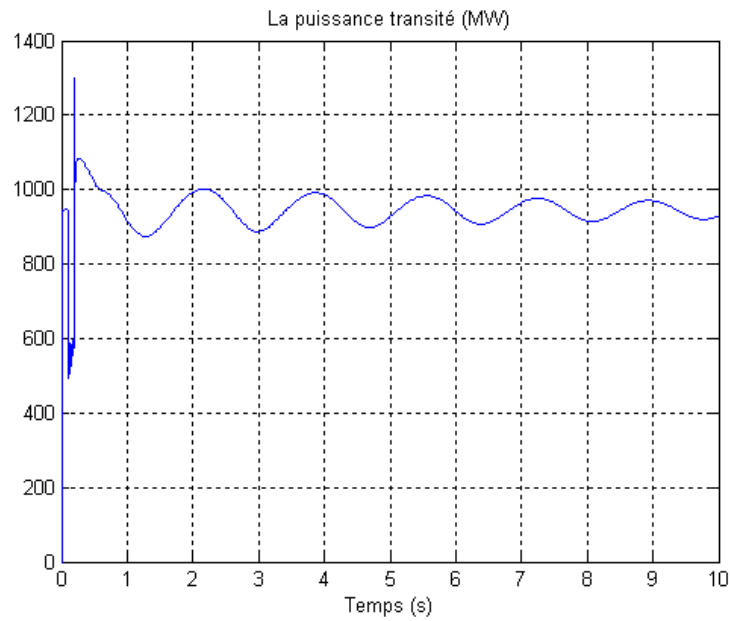


Figure IV-13: Variation de la puissance transmise sans PSS

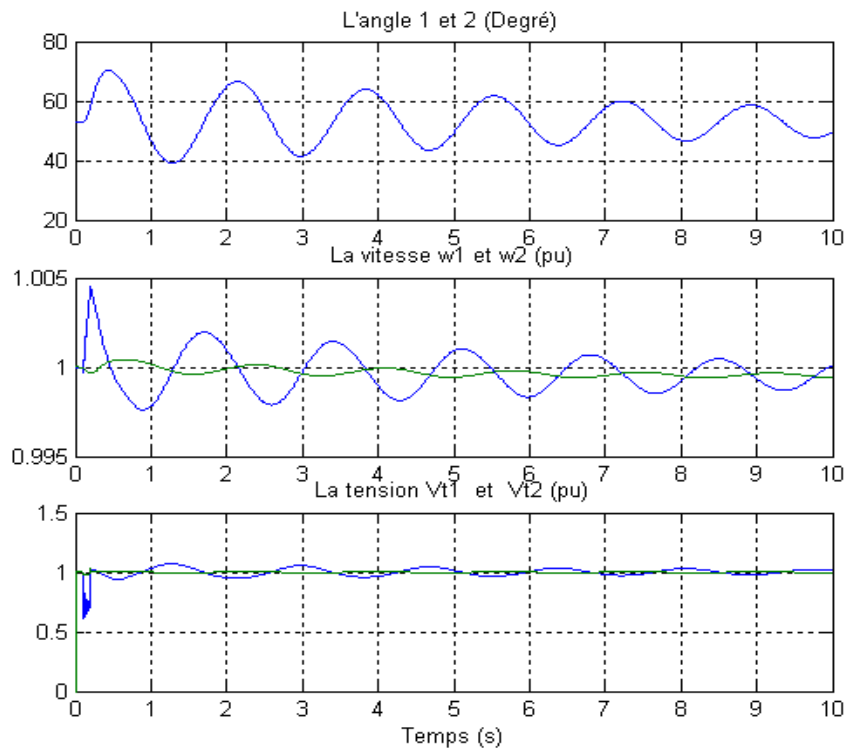


Figure IV-14: Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS

IV-8-1-2. Avec PSS :

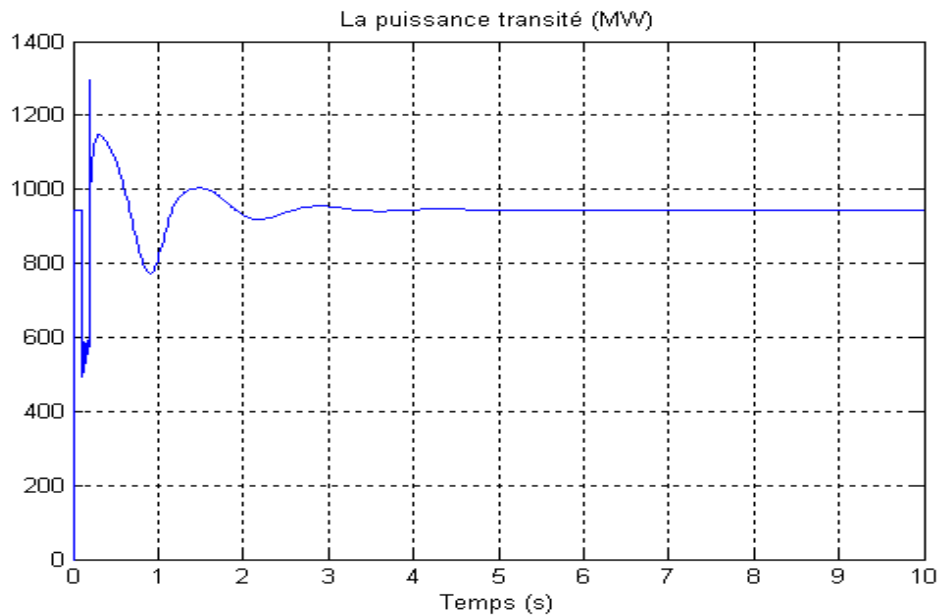


Figure IV-15: Variation de la puissance transitée avec PSS

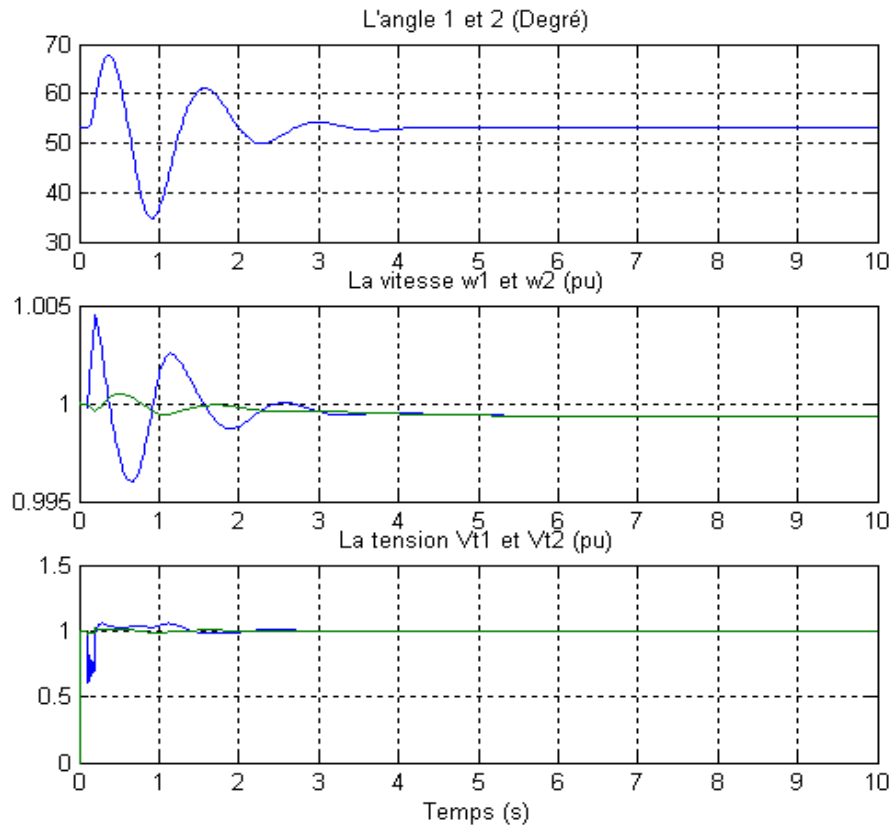


Figure IV-16: Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS

IV-9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition et le principe de fonctionnement du PSS. D'après les résultats de simulation on constate que l'application de ce dernier dans un système de production énergétique améliore la stabilité de ce système.

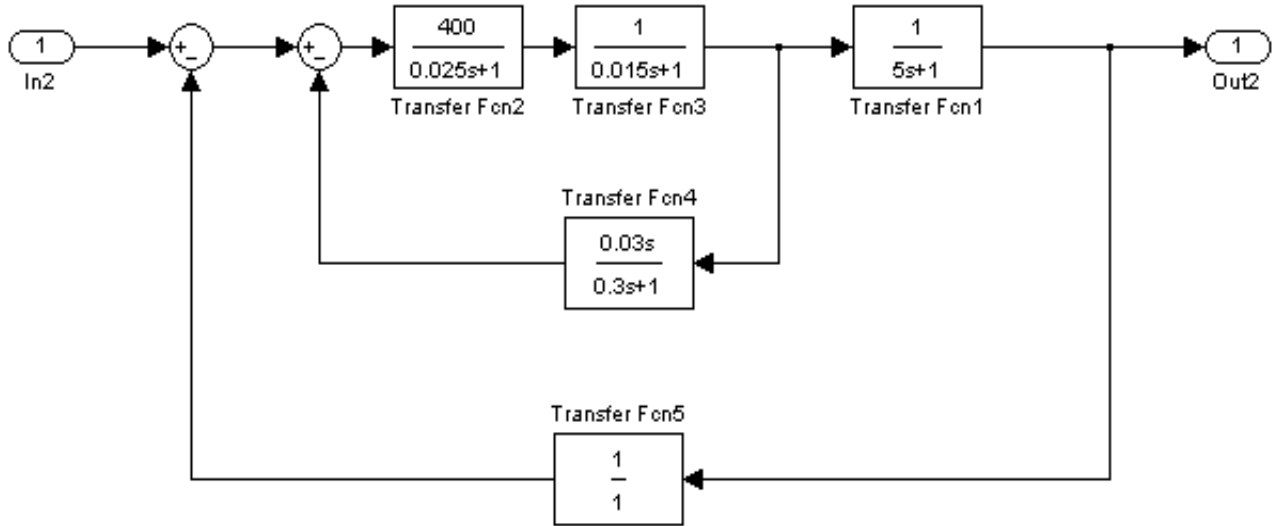
Conclusion générale

L'objet de notre travail, consiste à l'amélioration de la stabilité dynamique d'une unité de production de l'énergie électrique par la boucle supplémentaire PSS (Power System Stabilizer). Pour se faire nous avons eu à faire :

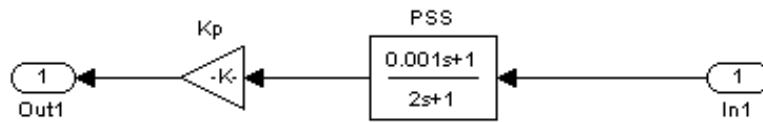
- Modéliser la boucle AVR (*Automatic Voltage Regulator*) en détail.
- Présenter les schémas blocs après avoir déterminé la fonction de Transfert de chaque partie.
- Voir la performance dynamique du système grâce à sa réponse.
- Faire le compromis entre les systèmes étudiés.

L'effet de PSS sur le système et sa capacité sert à éliminer les oscillations indésirables pour rendre le système plus stable.

ANNEXE



Système d'excitation en SIMULINK / MATLAB



Système PSS en SIMULINK / MATLAB

Références bibliographique

- [1]. Gherbi taha & Azzi el Habib & Ouada Miloud “ETUDE ET ANALYSE DE LA STABILITE TRANSITOIRE DU SYSTEME ENERGITIQUE”, Centre universitaire d’EL-OUED 2008.
- [2] B.De Metz-Noblat, G. Jeanjean« Stabilité dynamiques des réseaux électriques industriels» Cahier Technique n° 185, édition Janvier 1997.
- [3]. Belkhir Yacine & Zegueb Abdel kader & Douidi Ahmed “Les effets du FACTS sur le transit de la puissance active et la stabilité transitoire dans le réseau électrique ”, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [4]. Youcef Bekakra & Gacem abd Elmalek Mini projet de magister d’étude “Amélioration de la stabilité dynamique Power System Stabilizer (PSS)”, Centre universitaire d’EL-OUED 2008.
- [5]. Mémoire de fin d’étude “ Modélisation de la centrale thermique (à vapeur) ”, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [6]. Houos abd eloiathed & Zeghoud M^{ed} alaeddine & Ouabri Ahmed “Contrôle de la puissance active du réseau électrique”, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.