

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



**Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies**



**Mémoire de Fin d'Etude
Présenté pour l'obtention du diplôme de**

LICENCE ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences et de Technologies
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques**

Thème

Amélioration de la stabilité du système
électrique

Rédiger par:

TOUIL SALIMANE

Réaliser par:

**TAMMA MOHAMMED EL HADI
FRIDJAT ZIN EDDIN**

Soutenu le 10 Juin 2012

R E M E R C I E M E N T S

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. TOUJLSALMANE, Professeur à Université d'EL-OUED qui a accepté de nous 'encadrer 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 de l'électrotechnique en particulier :

Monsieur Zegab Abou Baker

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 famille surtout mes mère et nos père ainsi sans oublier tous nos amis.

Sommaire

Introduction générale.....	3
----------------------------	---

Chapitre I Notions de la stabilité

I-1.Introduction :	4
I-2.Notion de la stabilité de machine synchrone:.....	4
I-3. Stabilité statique et dynamique:.....	4
I-4. La stabilité dynamique:.....	5
I-4-1Définition :	5
I-4-2.Principaux concepts de la stabilité dynamique:.....	5
I-4-3. Principales causes des pertes de la stabilité dynamique:.....	10
I-4-4. Lois des surfaces :	11
I-4-4-1. Débranchement brusque des deux lignes parallèles :	11
I-5. Conclusion :	13

Chapitre II

Etude des modèles de système de contrôle de la fréquence

II-1. Introduction :	14
II-2. Etude des modèles :	14
II-2-1. Modèle du générateur :	14
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) :	16
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 :	17
II-3. Contrôle de la boucle (AVR) :	18
II-3-1. Modélisation de l'excitatrice :	18
II-3-2. Représentation schématique :	20
II-4. Conclusion :	20

Chapitre III

Réponse de système régulé pour des petites perturbations

III-1. Introduction :	21
III-2. Réglage de la machine synchrone :	21
III-2-1. Régulateur de tension avec un seul temps de retard :	21
III-2-2. Les causes des variations de la FEM :	23
III-2-3. Régulateur de vitesse avec un seul temps de retard :	26
III-2-4. Modèle complet du système:	27
III-3. Résultats de simulation:	28
III-1. Variation de P_e pour un échelon sur P_m :	29
III-2. Variation de V_t pour un échelon sur P_m :	29
III-3. Variation de δ pour un échelon sur P_m :	30
III-4. Conclusion:	30

Chapitre IV

Stabilisateur du système de puissance PSS

IV-1 Introduction	34
IV-2. Cause et sortes d'oscillations de puissance :	34
IV-3. Définition	34
IV-3-1 Qu'est-ce que signifie PSS ? :	34
IV-3-2. A quoi sert PSS ? :	34
IV-4. Fonctionnement du PSS :	35
IV-5. La fonction transfert du PSS :	35
IV-5-1. Gain de stabilisateur K_p :	36
IV-5-2. Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration :	36
IV-5-3. Circuit de compensation en avance et en retard :	37
IV-6. Représentation simplifiée de PSS :	38
IV-7. Résultats de simulation :	40
IV-7-1. Interprétation des résultats :	41
IV-8 .L'impact du PSS sur le régime transitoire (stabilité dynamique) :	48
IV-8-1. Les résultats de simulation	49
IV-8-1-1. Sans PSS	49
Comparaison avec - sans PSS	52
Conclusion générale	54
Liste des figures	55

Introduction générale

L'objectif général de notre travail de recherche est le contrôle de la production d'un système énergétique (modélisations de ces éléments constitutifs et les représenté 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 le chapitre (I) on a définir la Notion de la stabilité de la machine synchrone et les deux types de stabilité

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 fait la réponse de système régulé pour des petites perturbations et ceci pour un système complet.

Dans 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 ces résultats dont le logiciel MATLAB était l'outil principal.

Chapitre I

Notions de la stabilité

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. Notion de la stabilité de la machine synchrone :

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 aux mauvais contacts des régulateurs...etc.
- ❖ La variation du couple de la turbine qui provoque la variation de vitesse. Chacun des cas précédents présente un type de stabilité, et ce, selon la grandeur électrique qu'on veut contrôler.

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

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 manoeuvres réseau sur des lignes éloignées du groupe étudié. Dans ce cas on considère que la vitesse de l'arbre est constante et que les grandeurs électriques varient de manière linéaire autour de leurs valeurs d'équilibre, c'est-à-dire que leurs variations sont toutes proportionnelles entre elles. On voudrait que la machine s'éloigne peu de son état antérieur et que ses oscillations s'amortissent le plus rapidement possible.

En stabilité dynamique, on considère des perturbations importantes : Court circuit sur le réseau, délestage de charge ou de groupe voisines, flottage de la tranche étudiée. Dans ce cas le problème est, plus particulièrement, de savoir si la machine gardera ou non le synchronisme. Cette notion est précisée dans l'alinéa concernant la stabilité dynamique.

I-4. La stabilité dynamique : [2]

I-4-1. 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.

Dans ce cas il faut étudier toutes les conditions possibles de fonctionnement, pour qu'il soit nécessaire d'analyser toutes les perturbations possibles et leurs influences sur le fonctionnement de la machine. D'autre part il est souvent d'avoir une rupture d'excitation par contre on doit prendre toutes les mesures pour pouvoir éviter la perte de la stabilité dynamique lors des courtscircuits.

I-4-2. 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. (Figure I-1).

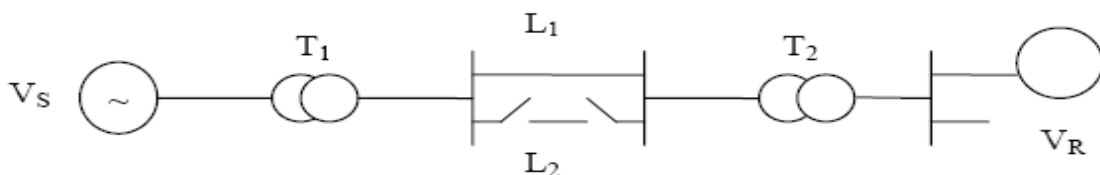


Figure I-1: Schéma de principe de transport d'énergie lors de l'ouverture du circuit

L'étude est comme suit :

Le régime normal : avant le défaut

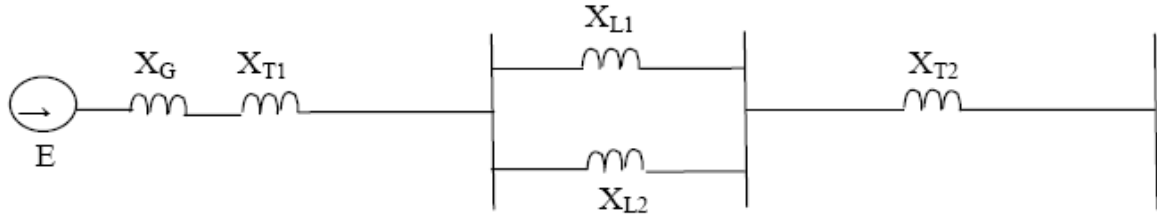


Figure I-1-a : Schéma de substitution de transport d'énergie lors d'un régime normal

La puissance est écrit comme suit :

$$X_{eq1} = X_G + X_{T1} + X_{T2} + \frac{X_{L1} X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} \quad (I-1)$$

$$P_{e1} = \frac{|V_s| \cdot |V_R|}{X_{eq1}} \cdot \sin \delta \quad (I-2)$$

- *Le régime après le défaut* : après l'ouverture d'un disjoncteur.

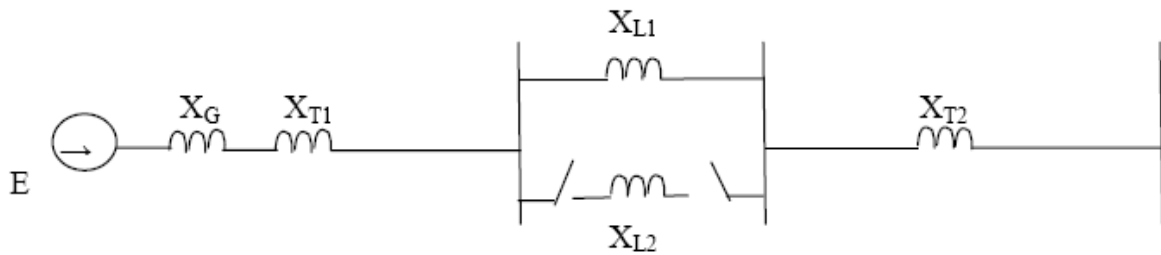


Figure I-1-b : Schéma des substitution de transport d'énergie lors de rupture du circuit

La puissance est écrit comme suit :

$$P_{e3} = \frac{|V_s| \cdot |V_R|}{X_{eq3}} \cdot \sin \delta = P_{max3} \cdot \sin \delta \quad (I-3)$$

Où :

$$X_{eq3} = X_G + X_{T1} + X_{T2} + X_{L1} \quad (I-4)$$

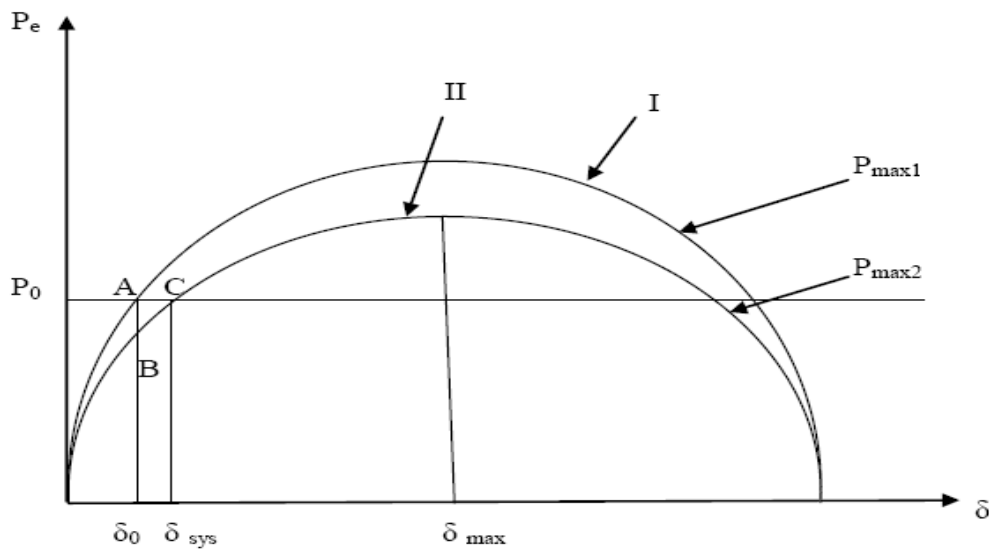


Figure I-1-c : Oscillation de la puissance Fournie

D'après la courbe 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.

Par suite la vitesse de la machine commence à varie mais la puissance fournie par la turbine reste la même par ce que les régulateurs n'ont pas le temps de réagir sur elle donc l'inégalité des puissances donne naissance à un couple supplémentaire qui permet à l'agrégat-alternateur de s'accélérer.

Ainsi le vecteur E commence à tourner plus vite que le vecteur U du jeu de barre récepteur, Tournant lui à vitesse angulaire ω donc l'apparition du glissement entraîne un accroissement de l'angle δ , et sur la caractéristique de puissance lors de la rupture du circuit, le point B se déplacera vers le point C, en ce moment la puissance de l'alternateur commence à s'accroître. Néanmoins jusqu'au point C la puissance de la turbine est encore supérieur à celle de

l'alternateur ainsi la vitesse relative de rotation continue à accroître. Au point C les deux puissances P_m et P_e s'équilibrent de nouveau cependant le glissement aura atteint sa valeur maximale, par ce que le processus ne s'arrête pas en ce moment d'autre par le rotor dépasse le point C par inertie.

Lors de l'accroissement ultérieur de l'angle δ la puissance de l'alternateur devienne plus grande que celle de la turbine. La caractéristique II commence à freiner l'agrégat, E tourne à la même vitesse angulaire que le vecteur U par conséquent, l'angle δ ne s'accroît plus et aurait atteint sa valeur maximale δ_{max} .

Comme la puissance de l'alternateur est supérieure à celle de la turbine, un couple résistant tend à faire freiner la machine, l'angle δ alors décroît et le point de fonctionnement situé sur la caractéristique II se déplacera alors dans le sens contraire vers le point C ce dernier point sera de nouveau dépassé par inertie et aux alentours du point B l'angle atteindra sa nouvelle valeur minimale, après quoi il commencera à augmenter de nouveau.

Après une série d'oscillations amorties, au point C s'obtient un nouveau régime initial ayant pour puissance la puissance nominale P_0 et pour un angle δ_{sys} .

La figure (I-2) 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.

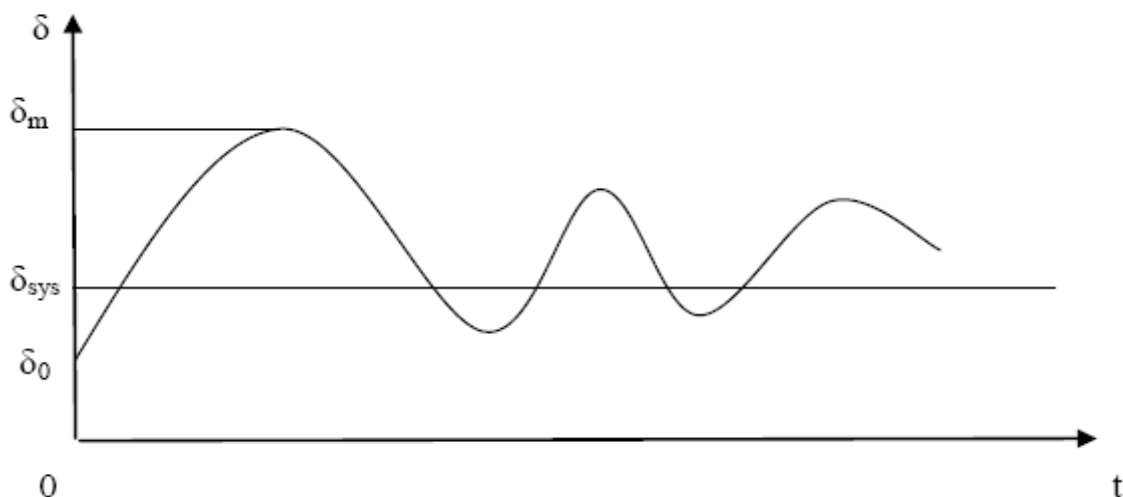


Figure I-2 : Oscillation de l'angle δ lors de l'ouverture d'une des lignes du circuit de transport d'énergie

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

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

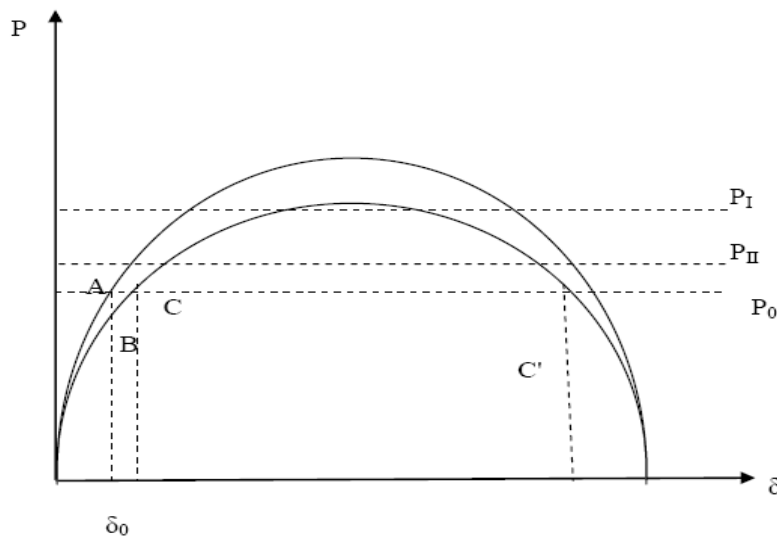


Figure I-3 : Rupture de la stabilité dynamique lors de la rupture d'une ligne de circuit

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_{crit} 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.

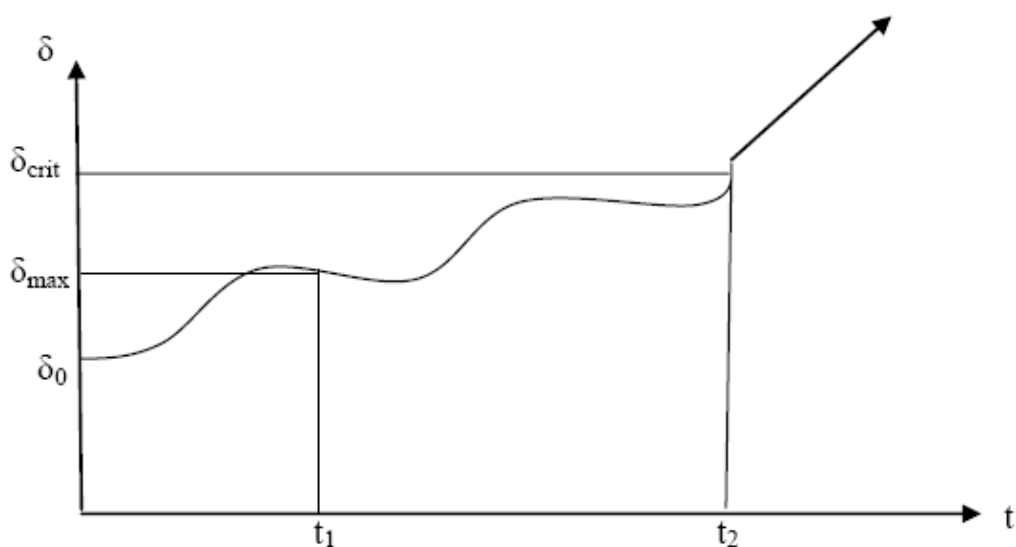


Figure I-4 : Accroissement de l'angle δ lors de la rupture de la stabilité dynamique

Ainsi si dans le processus de pompage on dépasse le point C, il est alors impossible de retrouver le régime stationnaire. Ainsi, on peut constater qu'en dépit de la possibilité théorique d'existence d'un nouveau régime stationnaire (est une stabilité statique) au point C, le processus de pompage lors du passage vers ce régime peut faire sortir la machine de synchronisme, ce type de rupture est appelée stabilité dynamique.

La principale cause de rupture de la stabilité dynamique des systèmes électriques est en général les courts-circuits, qui entraînent une brusque diminution l'amplitude de la caractéristique de puissance.

I-4-3. 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 pompes 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 toutes une station sortent du synchronisme.

La cause de l'apparition des pompes et qu'en général les incidents dans les systèmes de transport s'accompagnent toujours de brusques variations de la puissance fournie au réseau par les stations électriques.

Les régulateurs des moteurs primaires, possèdent une très grande inertie, réagissent avec un certain retard aux variations de puissances, où plus exactement, aux variations de la fréquence de rotation.

Par conséquent l'égalité entre la puissance fournie par l'alternateur et celle du moteur primaire est rompue et ainsi sur l'arbre des machines apparaissent des moments excédentaires, activant ou freinant les rotors des machines sont déterminées en chaque instant par la valeur absolue et la phase de la f.e.m, de toutes les machines du système les f.e.m varient en fonction du temps, c'est-à-dire à l'inertie des masses tournantes donc des propriétés mécaniques du système par contre la variation des valeurs absolues des f.e.m est déterminée par les processus électromagnétiques automatiques d'excitation et aussi d'autres facteurs.

Les pompes des machines synchrones peuvent apparaître aussi dans les cas suivants: lors de brusque variation de la charge , de la rupture de lignes , de débranchement des transformateurs , de l'alternateur ,et lors de courts-circuits , de tous ces incidents , c'est le court-circuit , qui est nécessaire d'être les pires difficultés du point de vue stabilité apparaisse lors du triphasé , celui-ci entraîne une brusque chute de tension , et par conséquent la liaison entre les alternateurs de la station devient si faible que souvent il y a rupture de la stabilité.

Lors de court-circuit monophasé et biphasé, la chute de tension est moindre et les alternateurs se trouvent dans de meilleures conditions de fonctionnement que lors d'un court-circuit triphasé.

Pour des systèmes importants, il est nécessaire d'étudier la sauvegarde de la stabilité lors de court-circuit. Les autres cas de rupture sont de point de vue stabilité dynamique moins dangereux que ces dernières c'est pour cela notre étude du stabilité dynamique se fera surtout pour le cas de rupture du régime stationnaire ayant pour cause un court-circuit.

I-4-4. Lois des surfaces :

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

Cette loi utilisée pour l'évaluation de la stabilité dynamique ou d'une machine synchrone. On considérant le cas simple de fonctionnement quand l'alternateur machine synchrone est équivalent d'une station électriques fonctionnent récepteur a puissance infinie et tension constante.

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:

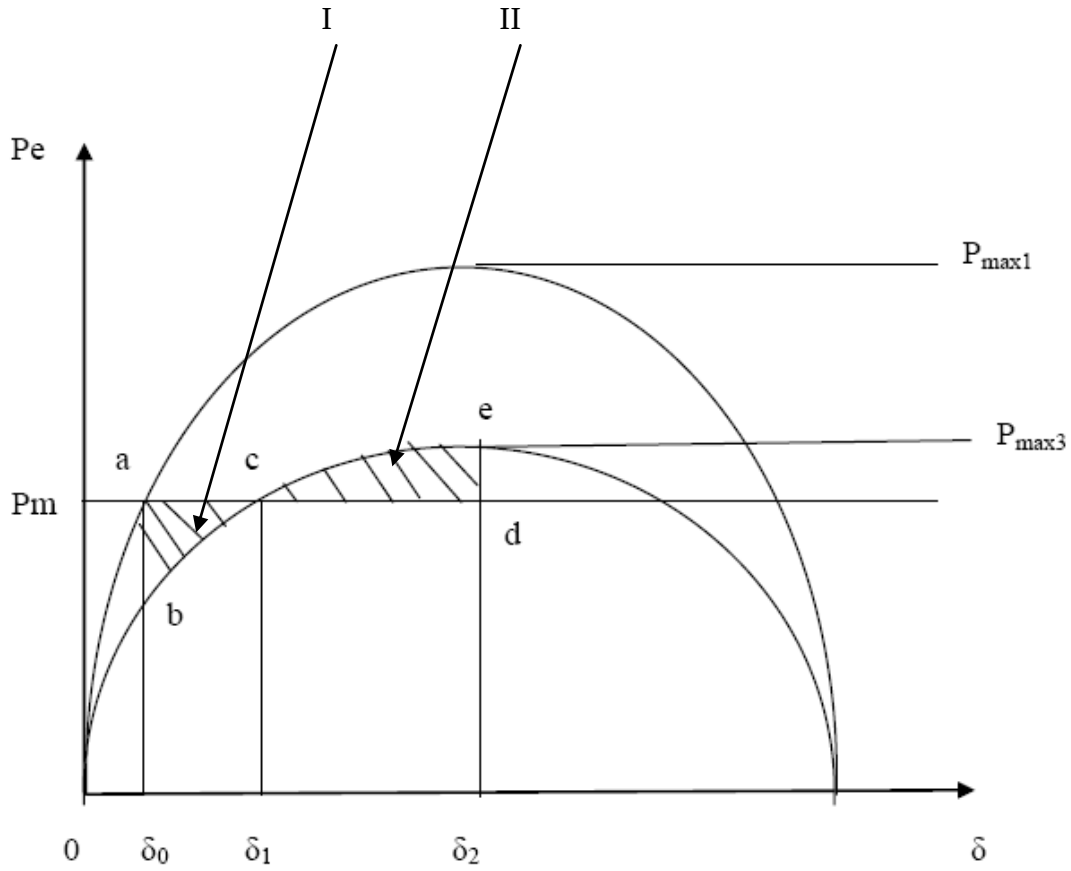


Figure I-5 : cas limite de la stabilité dynamique

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

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_m - P_e) d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_m - P_{max3} \cdot \sin \delta) d\delta \quad (I-5)$$

$$A_1 = P_m (\delta_0 - \delta_1) - P_{max3} (\cos \delta_0 - \cos \delta_1) \quad (I-6)$$

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

$$A_2 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_e - P_m) d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{max1} \cdot \sin \delta - P_m) d\delta \quad (I-7)$$

$$A_2 = P_{max1} (\cos \delta_1 - \cos \delta_2) - P_m (\delta_2 - \delta_1) \quad (I-8)$$

Les lois de surfaces égales $A_1 = A_2$:

$$\cos \delta_1 = [P_m(\delta_1 - \delta_2) + P_{max3} \cdot \cos \delta_0 - P_{max1} \cdot \cos \delta_2] / (P_{max3} - P_{max1}) \quad (I-9)$$

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 donné 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.

Chapitre II

Etude des modèles de système de contrôle de la fréquence

II-1. Introduction : [3]

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 : [3]

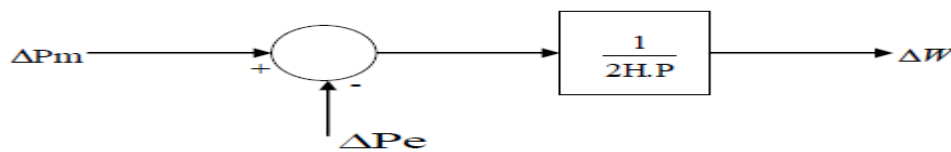


Figure II-1 : Modèle du générateur

On a donc :

$$\Delta P_m - \Delta P_e = 2.H \frac{d(\Delta w)}{dt} \quad (II - 1)$$

A partir de la transformation de Laplace on aura :

$$\Delta P_m - \Delta P_e = 2H.P. \Delta \omega \quad (II - 2)$$

ΔP_m : Variation de puissance mécanique.

ΔP_e : Variation de puissance électrique.

H : Constante de la machine [MW/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 : [3] [4]

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 : $\Delta P_e = D \cdot \Delta \omega$ (II – 3)

ou: $D = \frac{\Delta P_e}{\Delta P_w}$

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

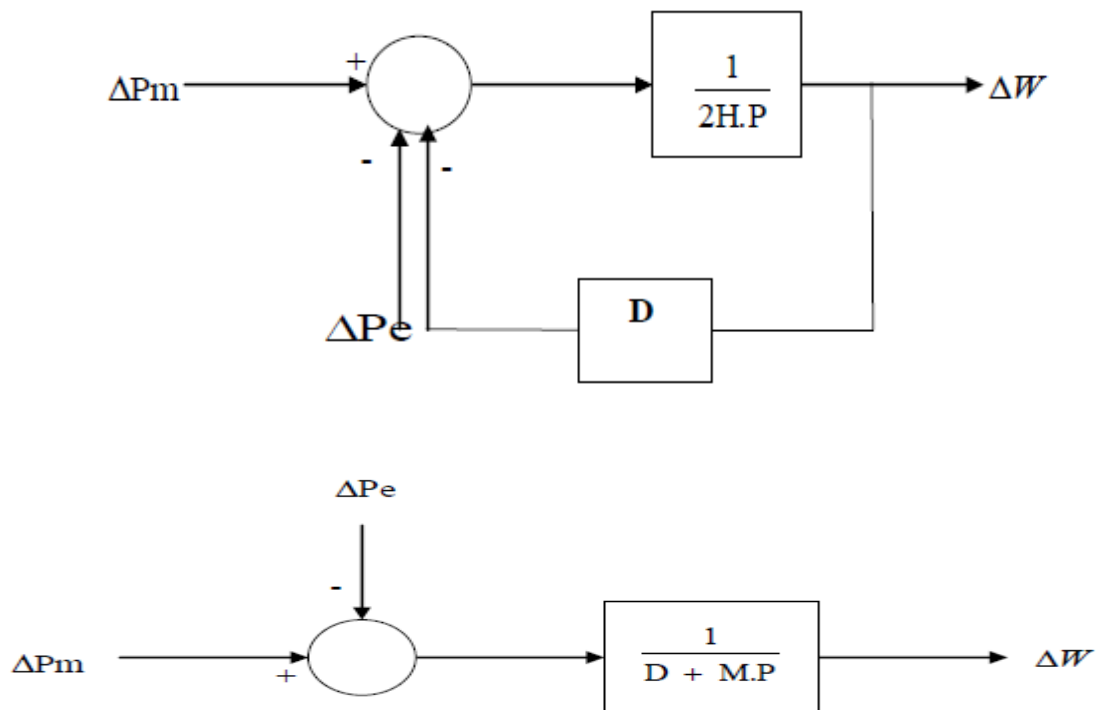


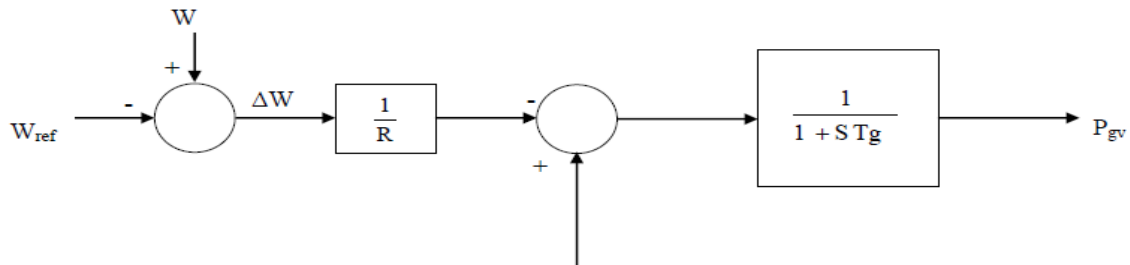
Figure II-2 : Modèle du générateur + charge

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

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

II-2-3. Modèle de gouverneur de vitesse : [4] [5]

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



Charge de référence (ΔP_{ref})

Figure II-3 : Modèle du gouverneur de vitesse

R : coefficient de régulation.

$1/R$: gain de régulation.

Tg : constante de temps du gouverneur.

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

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

$$G_T \frac{\Delta P_{msec}}{\Delta P_V} = \frac{1}{1 + P \cdot T_{ch}} \quad (II - 4)$$

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.

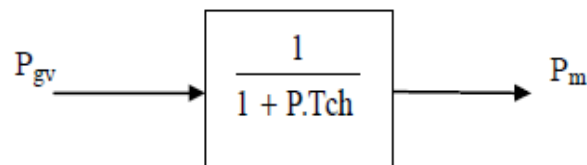


Figure II-4 : Modèle linéaire de la turbine à vapeur

T_{ch} : constante de temps de surchauffeur.

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

II-2-5. Relation entre turbine-générateur-charge : [4]

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 : [4]

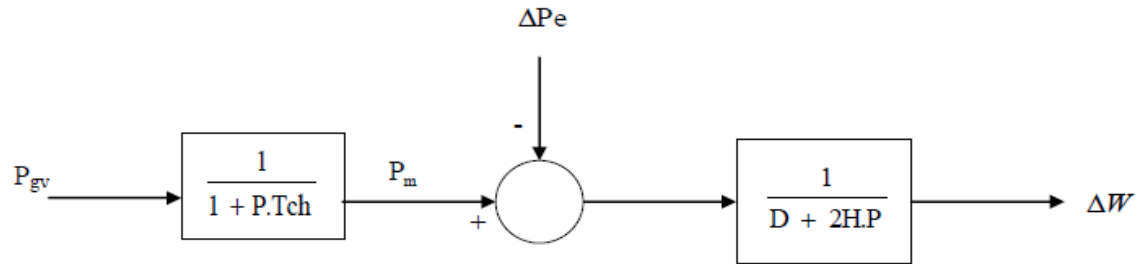


Figure II-5 : Modèle de turbine-générateur-charge.

II-2-6. Représentation schématique du modèle linéaire : [2]

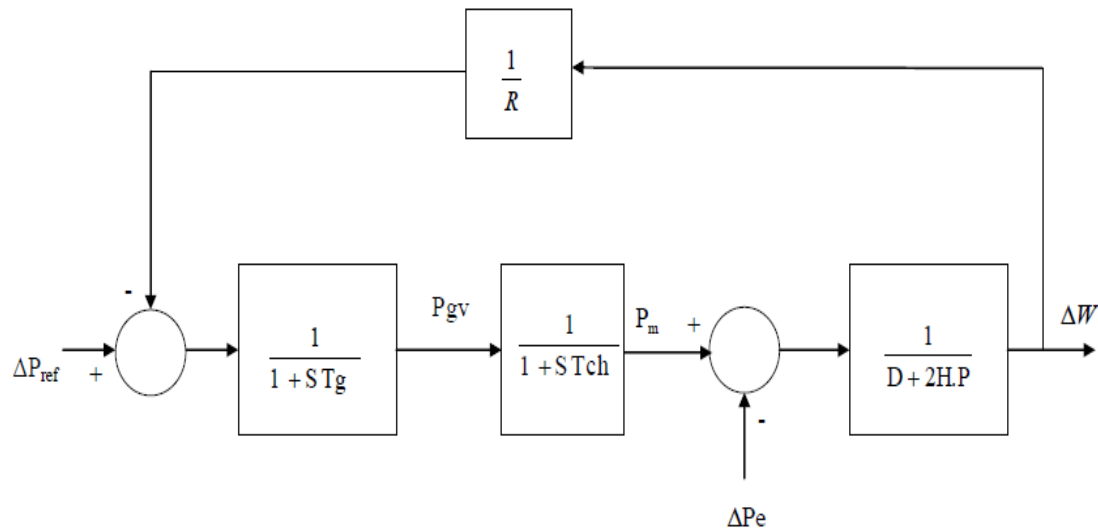


Figure II-6 : Modèle du gouverneur + turbine + générateur + charge

Où :

$\Delta P_{\text{réf}}$: référence de la charge.

Avec :

$T_g = 0.2 \text{ sec}$

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

II-3. Contrôle de la boucle (AVR) : [5]

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. Modélisation de l'excitatrice :

Plusieurs modèles (AVR) sont développés pour représenter les types variables utilisés dans les systèmes de puissances. L'application de tel modèle est difficile est une approximation meilleure.

de développer un seul modèle A.V.R à un similaire modèle de base d'une machine synchrone, voir la figure II-7.

Les équations gouvernantes ce modèle sont :

$$P.V_{fL} = \frac{V_t - V_{fL}}{T_r} \quad (II - 5)$$

$$P.V_a = \frac{k_a(1 + T_b.P) - V_h - V_a}{T_a} \quad (II - 6)$$

ous réserve : $P.V_a \leq D_{\max}$ et $V_{a \min} \leq V_a \leq V_{a \max}$

$$P.E_f = \frac{V_a - V_s - K_s.E_f}{T_s} \quad (II - 7)$$

$$P.V_d = \frac{K_f.P.V_g - V_d}{T_f} \quad (II - 8)$$

$$P.V_{fb} = \frac{V_d - V_f.P}{T_d} \quad (II - 9)$$

$$P.V_f = \frac{k_x.V_{max} - V_x}{T_x} \quad (II - 10)$$

$$P.V_o = \frac{((1 + T_y.P).V_x - V_o)}{T_x} \quad (II - 11)$$

$$V_h - V_s = -V_{fb} - V_L + V_o \quad (II - 12)$$

$$V_e = S_e.V_f \quad (II - 13)$$

$$\text{Ou: } S_e = f(E_f)$$

$$V_p = V_f (\text{Type 2 quand } V_p = V_f)$$

$$V_{aux} = A \text{ Signal prédéfini.}$$

IEEE recommande ce qui est spécifié par le maximum de tension (f.e.m) ($S_{e\max}$) est de 0.75 de f.é.m. $_{\max}$ ($S_{e0.75\max}$).

S_e : est déterminé pour toute de valeur de f.e.m par n'importe quelle interpolation linéaire où par une quadrature convenable lorsque l'interpolation linéaire est utilisée l'équation (9) :

$$V_e = S_e.E_f$$

Peut être transformée en :

$$V_e = (K_1.E_f - K_2).E_f \quad (II-14)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Où : } K_1 = (4.S_{e0.75\max}).(3.E_{f\max}) \\ K_2=0 \end{array} \right\} \quad \text{Si } E_f \leq 0.75 E_{f\max}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Où : } K_1 = 4.(S_e - S_{e0.75\max}).E_{f\max} \\ K_2 = 4.S_{e0.75\max} - 3.S_e \end{array} \right\} \quad \text{Si } E_f > 0.75.E_{f\max}$$

II-3-2. Représentation schématique :

La figure ci-dessous montre le schéma bloc utilisé pour la simulation :

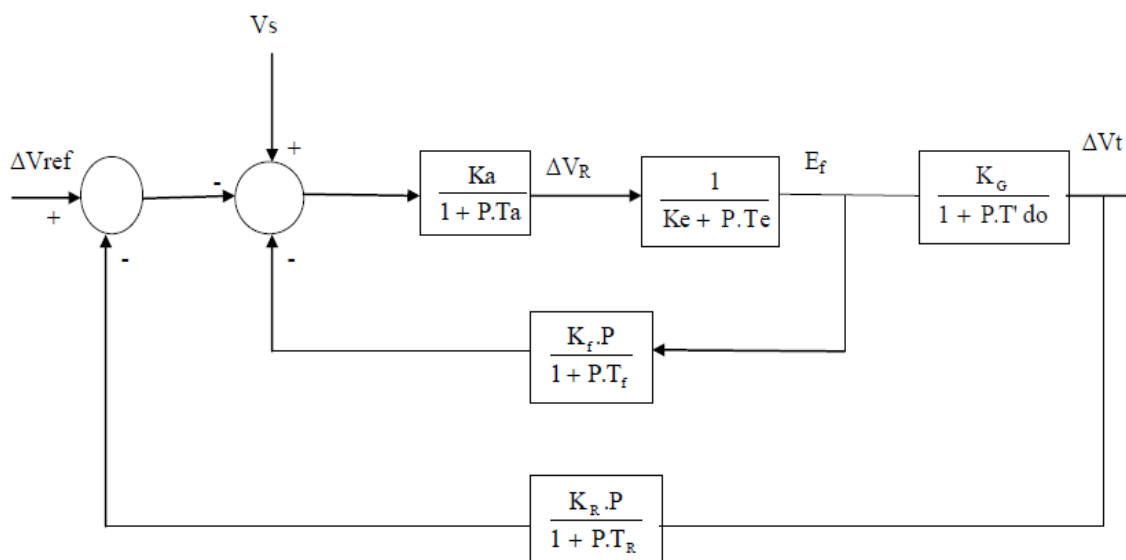


Figure II-7 : Schéma bloc du système d'excitation + générateur
avec saturation, filtre et limiteur négligé

Les paramètres du système d'excitation sont donnés par le tableau ci-dessous :

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 opter à modéliser chaque élément de cette unité et la boucle (AVR).

Chapitre III

Réponse de système régulé pour des petites perturbations

III-1. Introduction : [5]

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 : [5]

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 $\Delta V_{ref}, \Delta V_t$.

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.

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

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 :

$$P_e = P_e(\delta_n) \quad (III - 2)$$

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

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

Donc:

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

D'où

$$\Delta P_e = k_1 \cdot \Delta \delta_n \text{ pu} \quad (III - 5)$$

$$\text{Avec; } k_1 = \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) \Delta E' = 0 \quad / \quad \Delta E' = 0$$

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

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

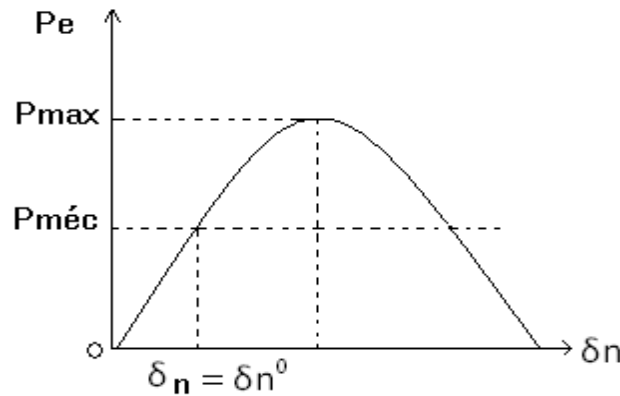


Figure III-1 : Variation de puissance en fonction de l'angle.

Pour des petites variations de la puissance transitoire :

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

Tel que:

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

D'où:

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

III-2-2. Les causes des variations de la FEM : [5]

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

L'augmentation de la tension VF 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).

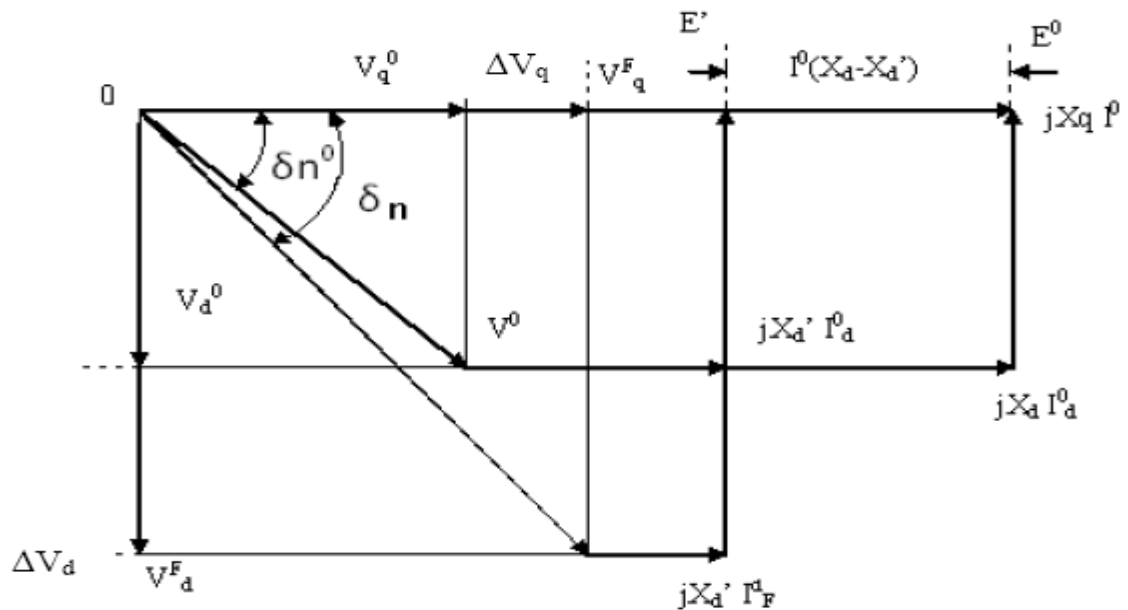


Figure III-2.a : Diagramme vectoriel de tension

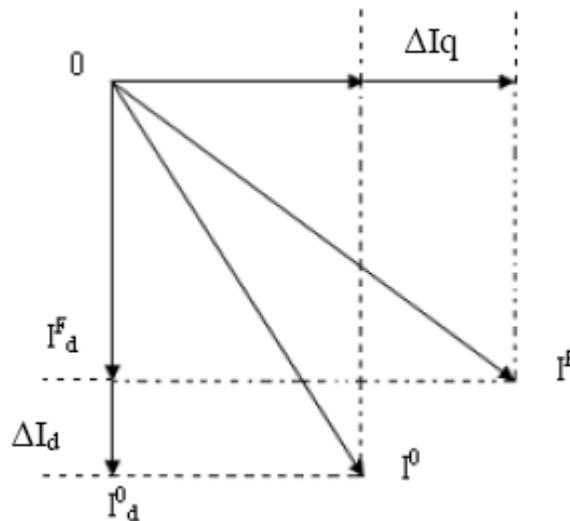


Figure III-2.b : Diagramme vectoriel de courant

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:

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

$$K'_3 = \frac{K_3 \cdot K_4}{1+K_3 \cdot T'_{do} \cdot P} \text{ avec } k'_4 = (-1/k_3) \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta E'(t) / \Delta\delta_n = U(t) / \Delta V_f = 0$$

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

$$\Delta P_e = K_1 \cdot \Delta\delta_n + (K'_2 \cdot \frac{K_3}{1+K_3 \cdot T'_{do} \cdot P} \cdot \Delta V_F - \frac{k_3 \cdot k_4}{1+K_3 \cdot T'_{do} \cdot P} \cdot \Delta\delta_n) \quad (\text{III} - 10)$$

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 :

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

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 :

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

$$\Delta E' = K'_2 \cdot \left(-\frac{K_R \cdot k_5}{1 + S \cdot T_R} \cdot \Delta E' - \frac{K_R \cdot K_6}{1 + S \cdot T_R} \cdot \Delta \delta_n \right) - K'_3 \cdot \Delta \delta_n \quad (III - 13)$$

$$\Delta E' = \left(\frac{\frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_6}{1 + S \cdot T_R} + K'_3}{1 + \frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_6}{1 + S \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n$$

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

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

$$\Delta E' = \left(-\frac{K_4}{T'_{do}} \frac{S + \left(\frac{1}{T'_{do}} \right) + \left(\frac{k_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot K_R} \right)}{S^2 + S \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{do}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{do} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n$$

$$\Delta E' = \left(-\frac{K_4}{T'_{do}} \frac{P + \left(\frac{1}{T'_{do}} \right) + \left(\frac{k_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot K_R} \right)}{P^2 + P \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{do}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{do} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n \quad (III - 15)$$

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

$$\Delta E' = \left(k_1 - \frac{K_2 \cdot K_4}{T'_{do}} \frac{P + \left(\frac{1}{T_R} \right) + \left(\frac{k_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot K_R} \right)}{P^2 + P \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{do}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{do} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n$$

$$\Delta E' = \left(k_1 - \frac{K_2 \cdot K_4}{T'_{do}} \frac{S + \left(\frac{1}{T_R} \right) + \left(\frac{k_5 \cdot K_R}{K_4 \cdot K_R} \right)}{S^2 + S \cdot \left(\frac{1}{T_R} + \frac{1}{K_3 \cdot T'_{do}} \right) + \frac{1 + K_3 \cdot K_6 \cdot K_R}{K_3 \cdot T'_{do} \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta \delta_n \quad (III - 16)$$

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

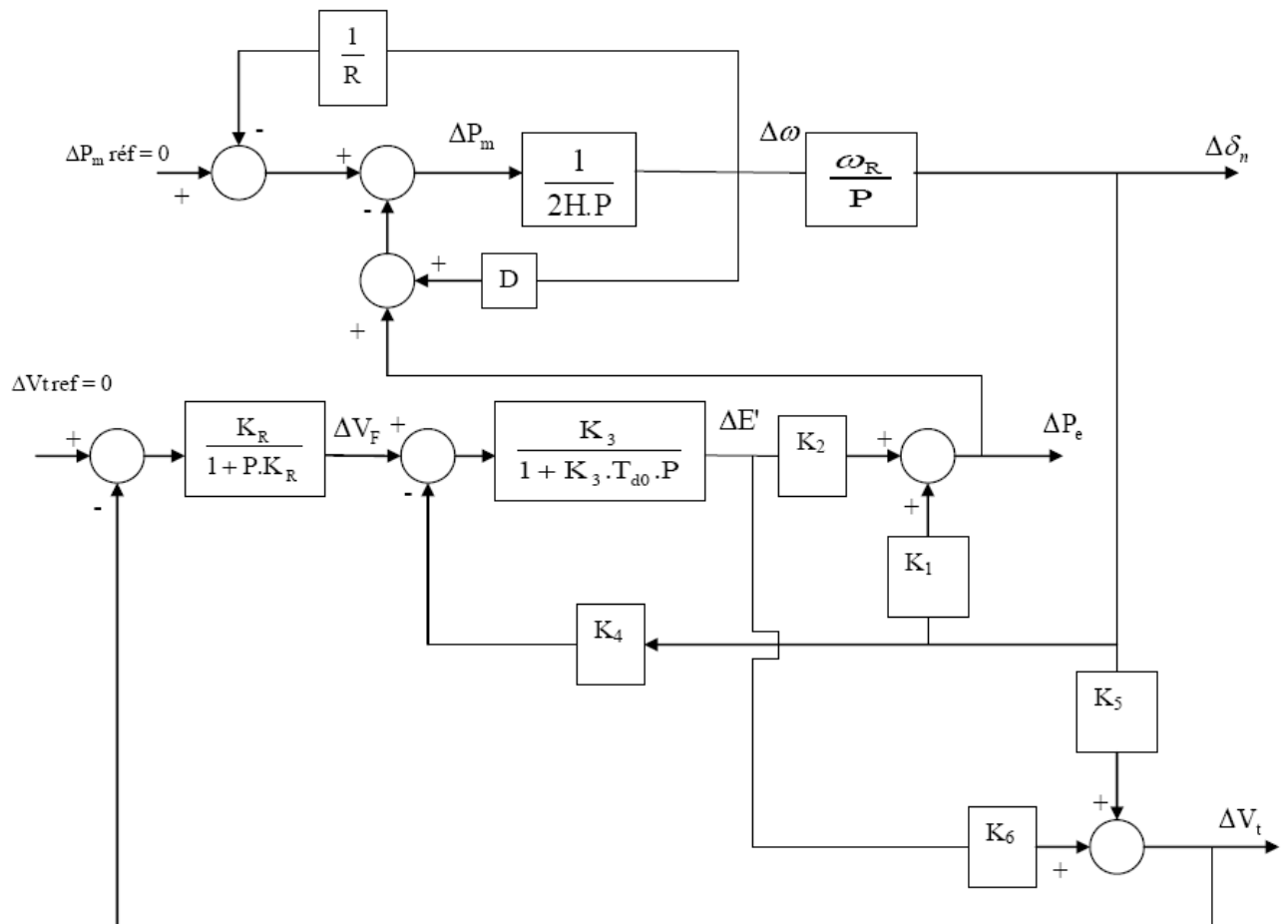


Figure III-3 : Schéma bloc du système avec régulateur de tension

III-2-3. Régulateur de vitesse avec un seul temps de retard : [5]

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 :

$$\Delta P_m = \left(\frac{k_g}{1 + P \cdot T_g} \right) \cdot \Delta w$$

$$\Delta P_m = \left(\frac{k_g}{1 + S \cdot T_g} \right) \cdot \Delta w \quad (III - 17)$$

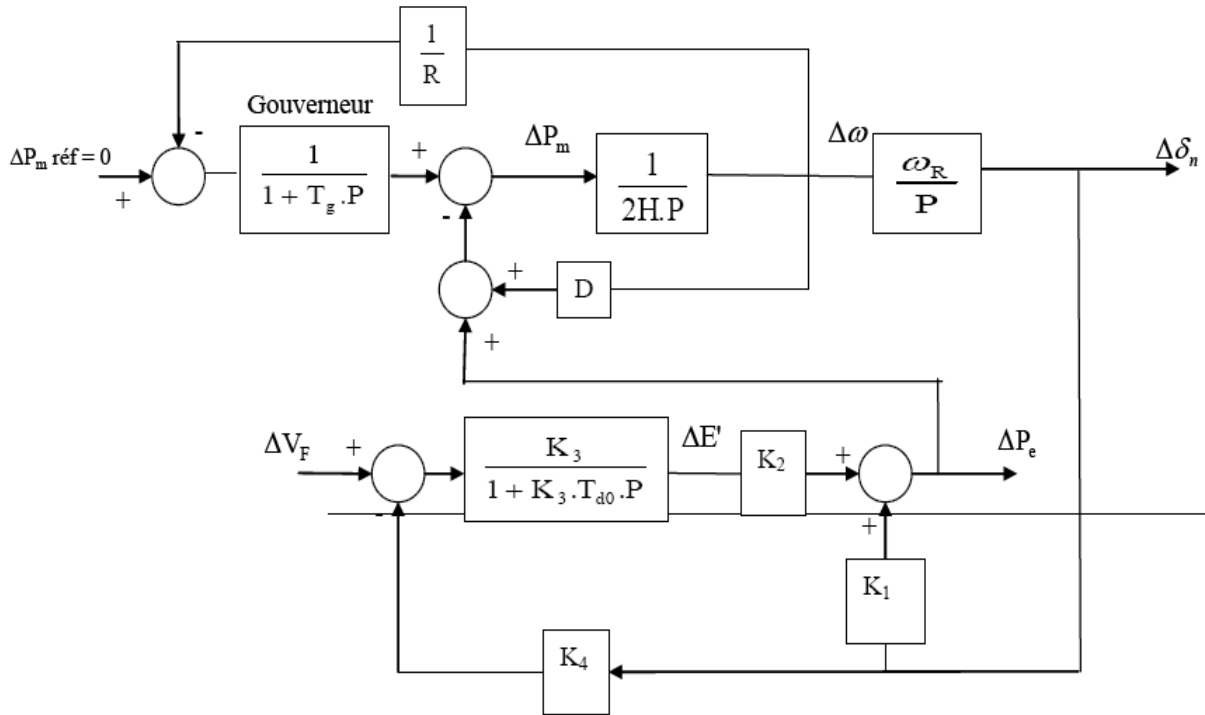


Figure III-4 : Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur)

III-2-4. Modèle complet du système: [5]

Si ces deux types de réglages sont additionnés, on obtient un modèle complet de la machine Synchronisée 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 .

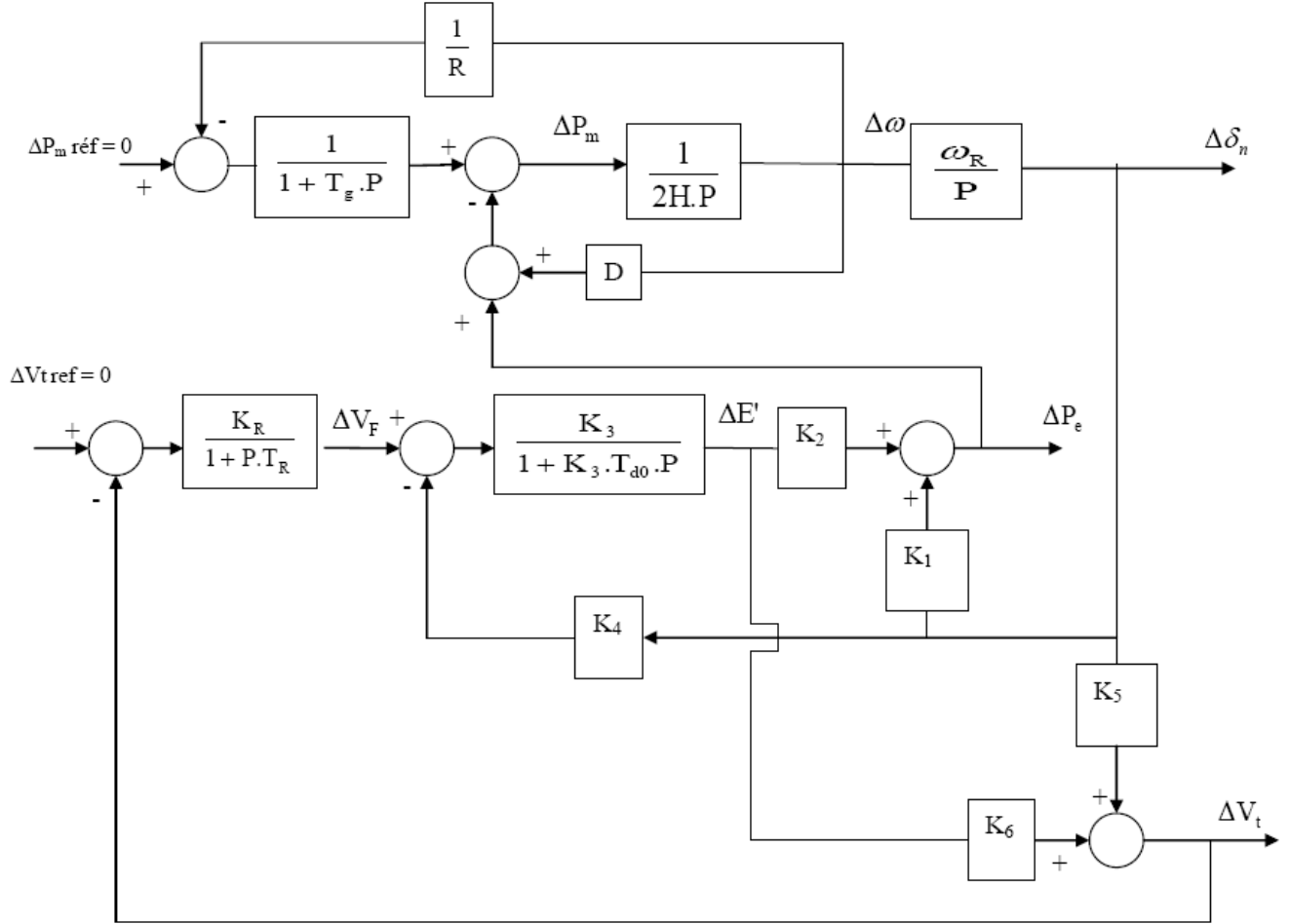


Figure (III-5) : Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension

III-3. Résultats de simulation:

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

Les valeurs suivant:

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

$K_3 = 0.26$

$K_4 = 3.3$, $K_5 = 0.1$, $K_6 = 0.5$, $T'd0 = 5s$.

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:

Si $P_m \nearrow \Rightarrow P_e \nearrow$

Si $P_m \searrow \Rightarrow P_e \searrow$

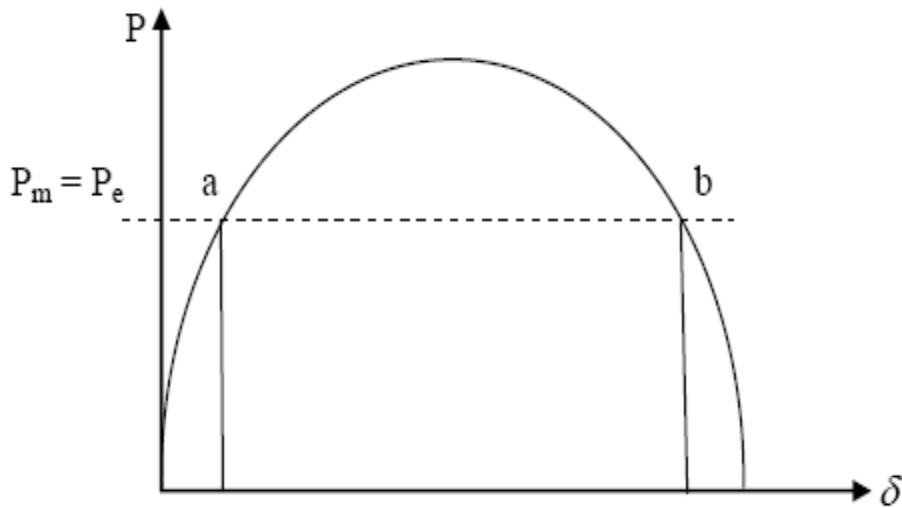


figure (III-6) : La dépendance de la puissance active avec l'angle δ

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 latension du générateur augmente aussi d'après l'équation

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

Si $P_e \nearrow \Rightarrow V_t \nearrow$

3. Variation δ de 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).

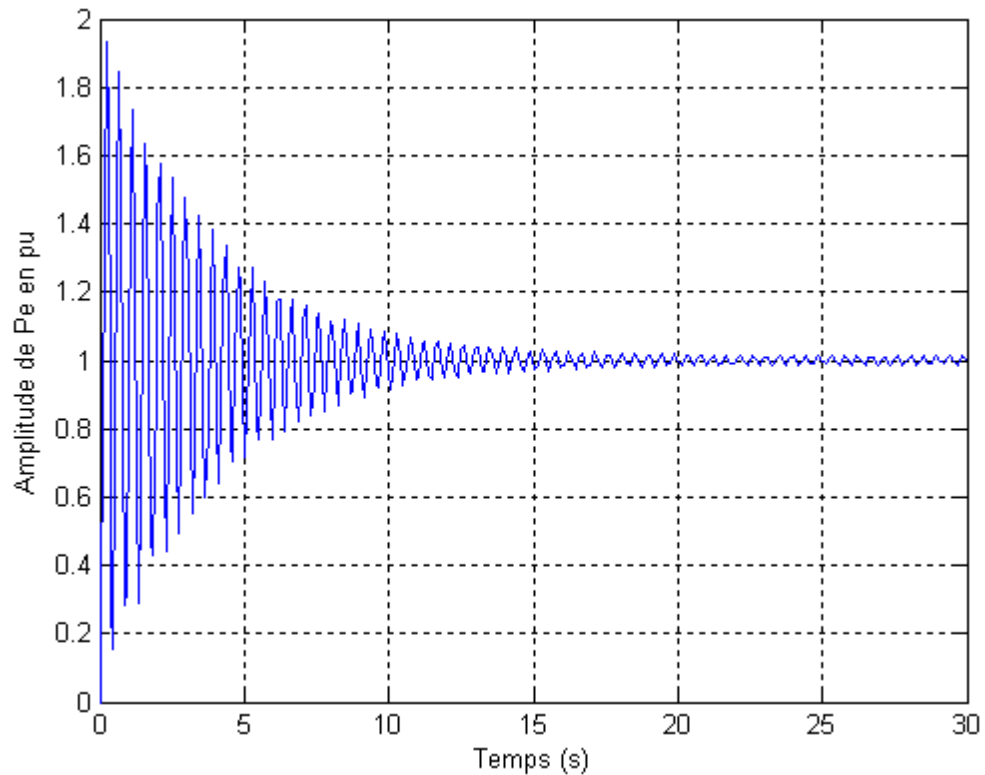
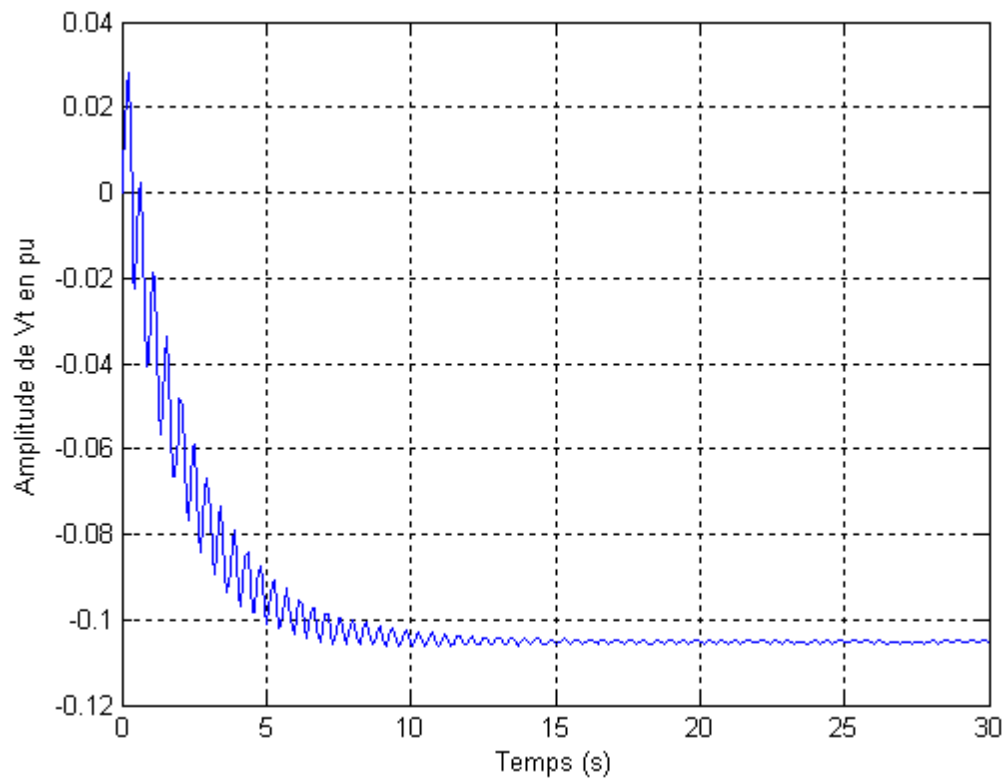
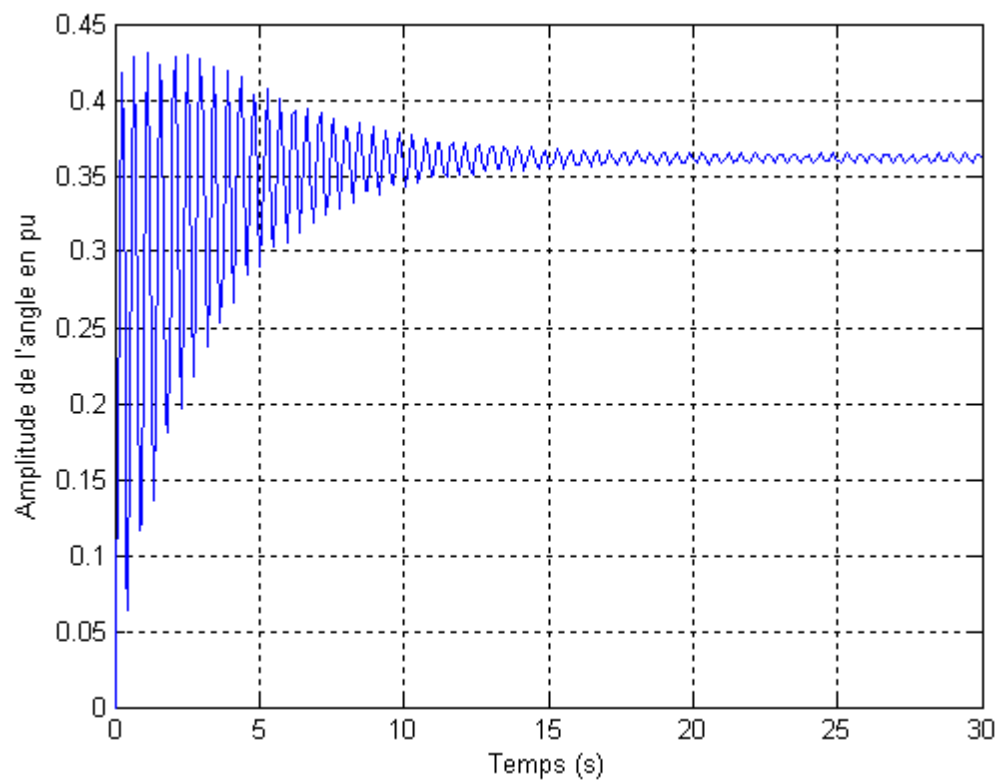
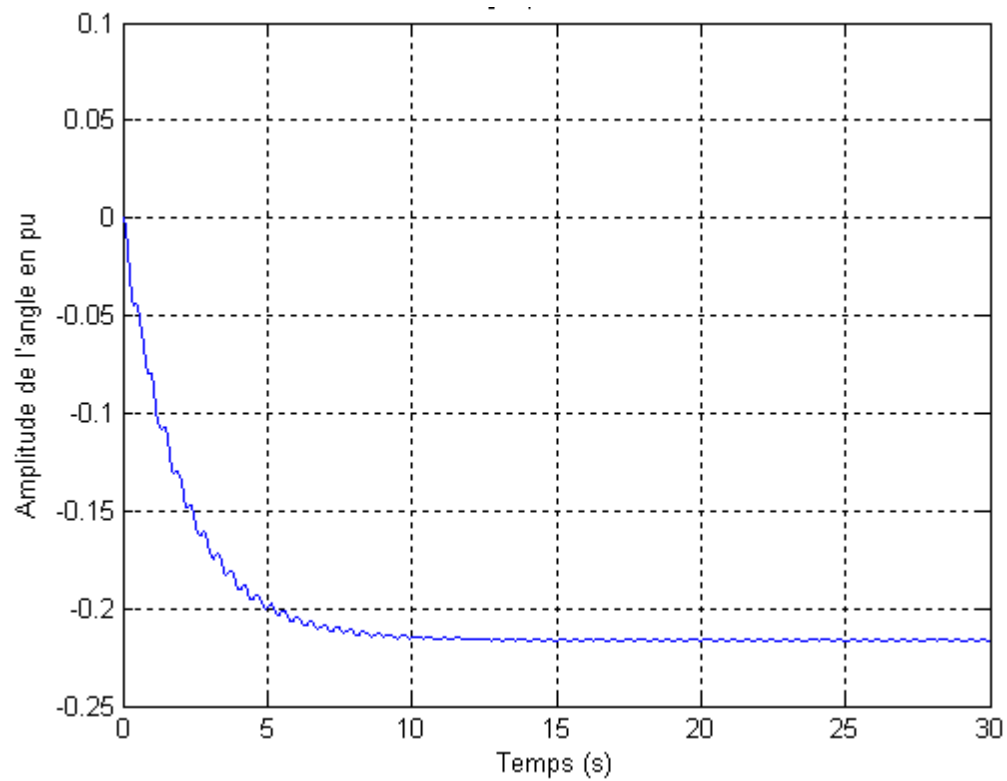
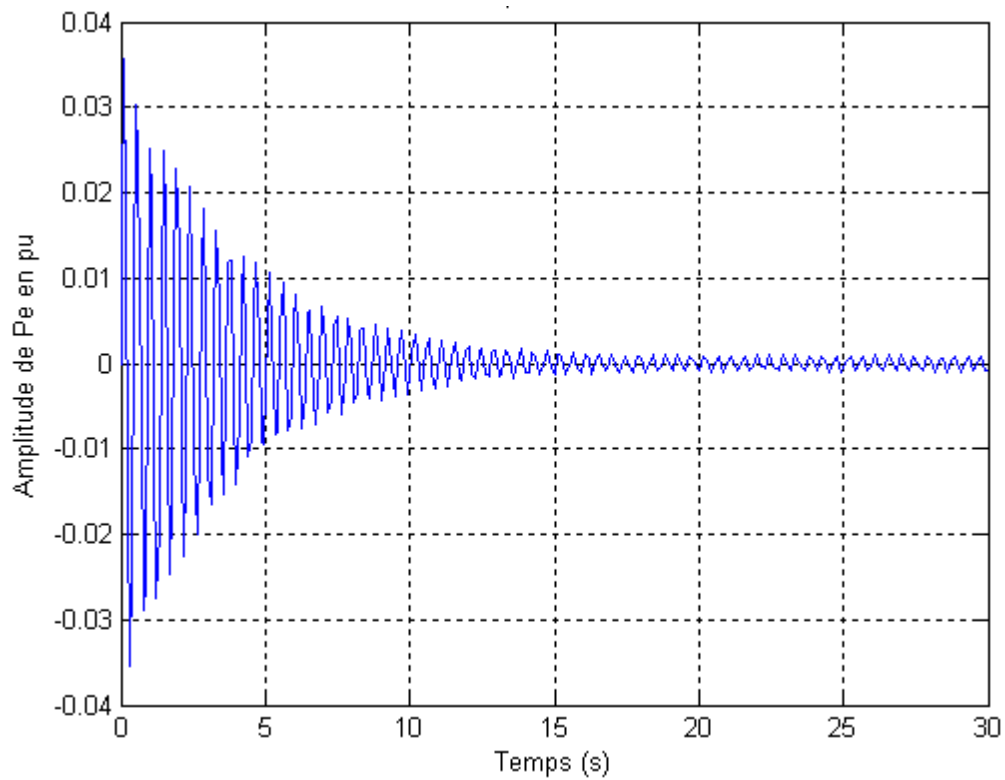


Figure III-6 : Variation de P_e pour un échelon sur P_m

Figure III-7 : Variation de V_t pour un échelon sur P_m Figure III-8 : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m

Figure III-9 : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} Figure III -10 : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref}

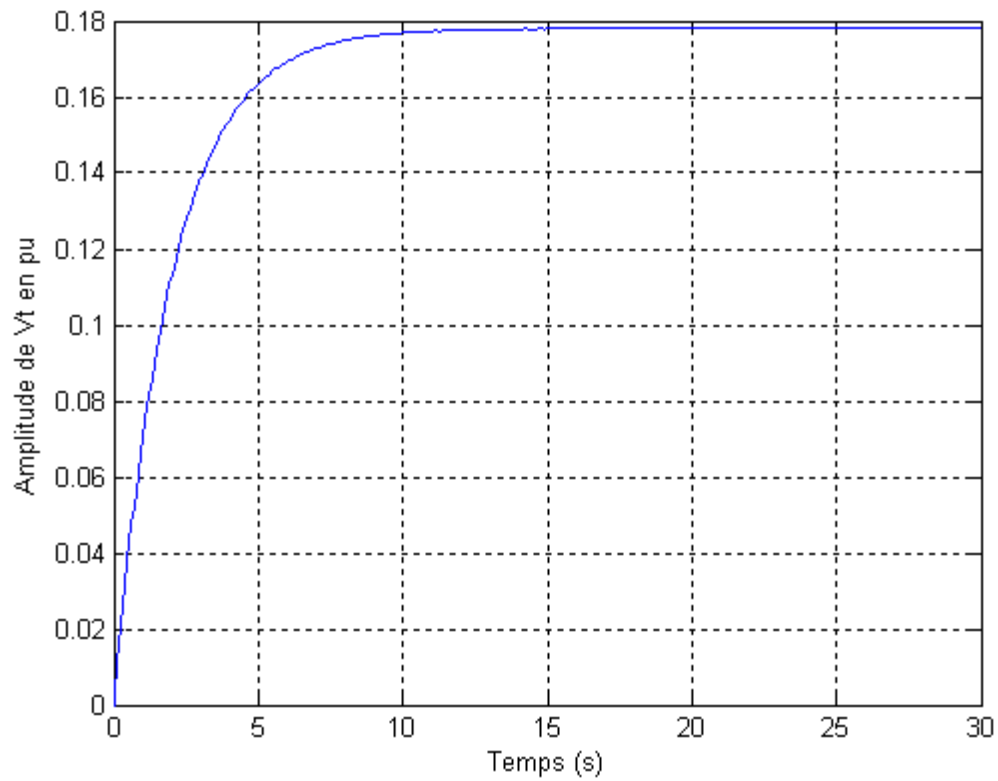


Figure III -11 : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}

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 ($\Delta P_m \propto \Delta P_e$, $\Delta P_m \propto \Delta V_t$, $\Delta P_m \propto \Delta \delta$).

Chapitre IV

Stabilisateur du système de puissance PSS

IV-1. Introduction : [3]

Avec la venue de l'interconnexion entre les systèmes de puissance, des oscillations électromécaniques entre les générateurs connectés sont générés 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 : [5]

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 : [3]

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 : [3] [5]

La fonction du “power system stabiliser” “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 :

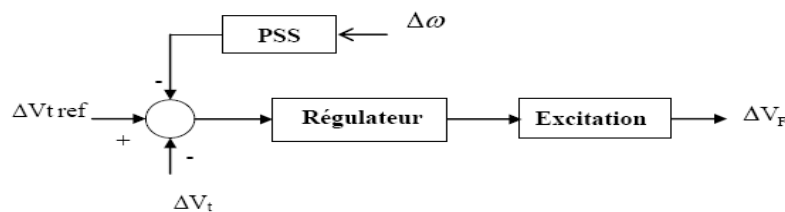


Figure IV-1 : Schéma bloc de PSS

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

La fonction transfert du PSS est donnée sous forme suivant :

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

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 serrant 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 : [5]

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 système d'excitation qui emploient des excitatrice 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 :

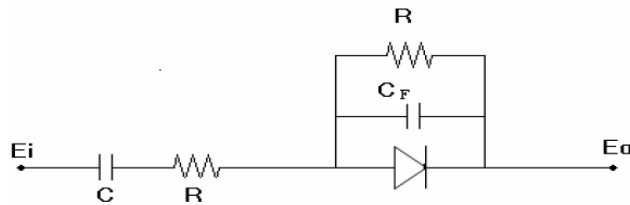


Figure IV-2 : Fonction de transfert et circuit de signale d'intégration

$$E_i = \left[\frac{1}{R+1/P.C} \right] = -E_0 \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{1/P.C_F} \right] \quad (IV-2)$$

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

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

Par substitution des valeurs :

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

$T = RC$, 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 :

$$\frac{E_0}{E_i} = - \left[\frac{P.T}{(1+P.T)} \right] \quad (IV-3)$$

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

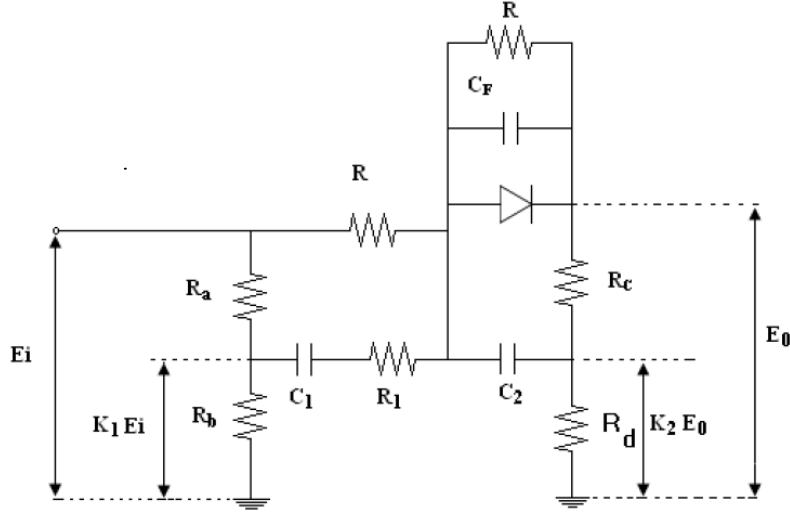


Figure IV-3 : Circuit de compensation en avance et en retard

$$K_1 = \frac{R_B}{R_A + R_B} ,$$

$$K_2 = \frac{R_D}{R_C + R_D}$$

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

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

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

(IV-4)

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

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

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

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

Par substitution des valeurs des paramètres :

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

K_1 : est ajustable de 0.09 à 1.

K_2 : est ajustable de 0.115 à 1.

On obtient :

$T_A = 0.182$ à 2 secondes.

$T_B = 0.0095$ secondes.

$T_C = 0.017$ à 0.147 secondes.

$T_D = 0.001$ secondes.

Remarque :

$T_D \ll T_C$ approximativement on obtient :

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{1+P.T_A}{1+P.T_C} \quad (IV-5)$$

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 :

$$G_P(P) = K_P \cdot \frac{1+P.T_1}{1+P.T_2} \quad (IV-6)$$

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

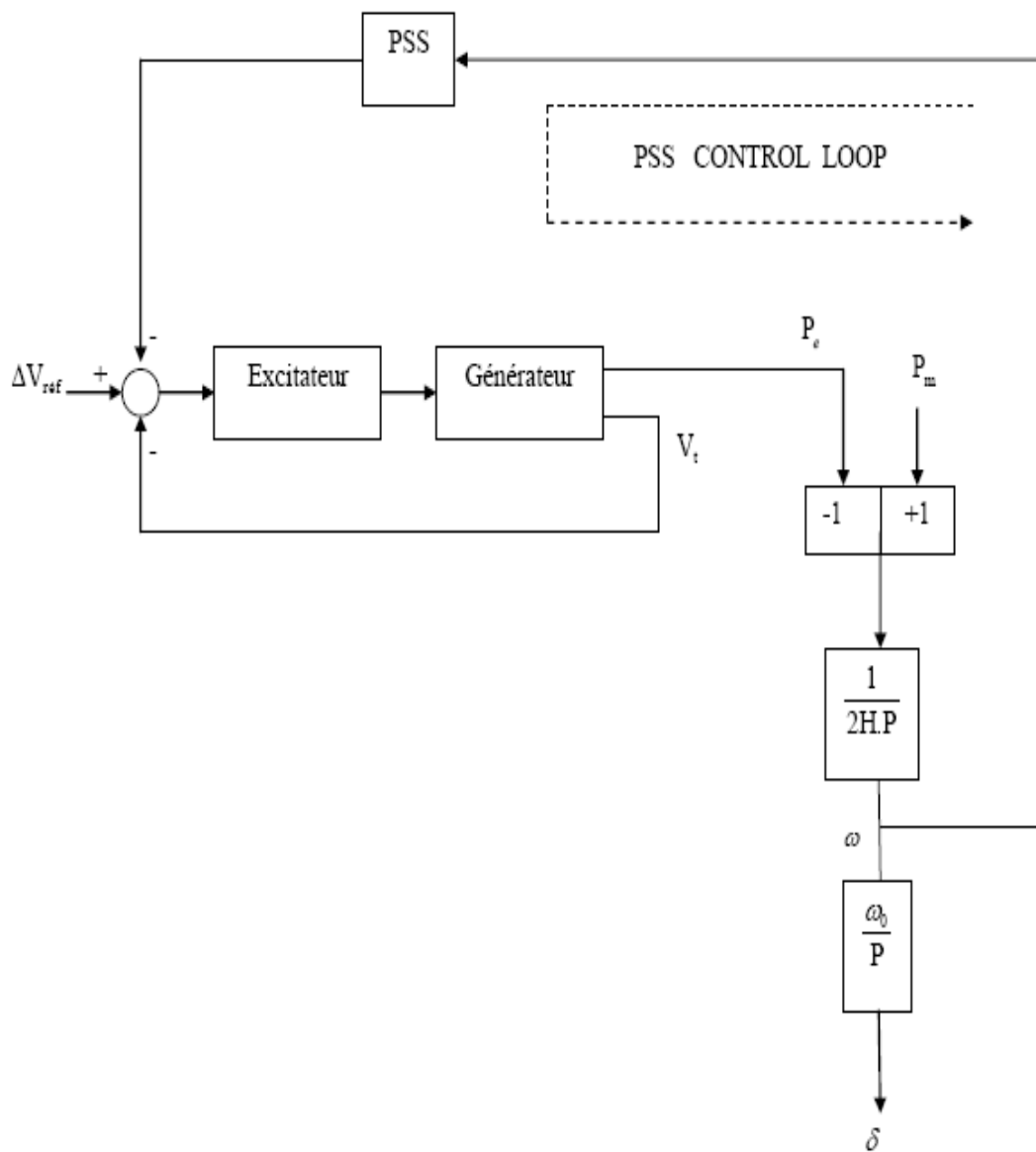


Figure IV-4 : Bloc de l'analyse du système avec signale de PSS incorporé

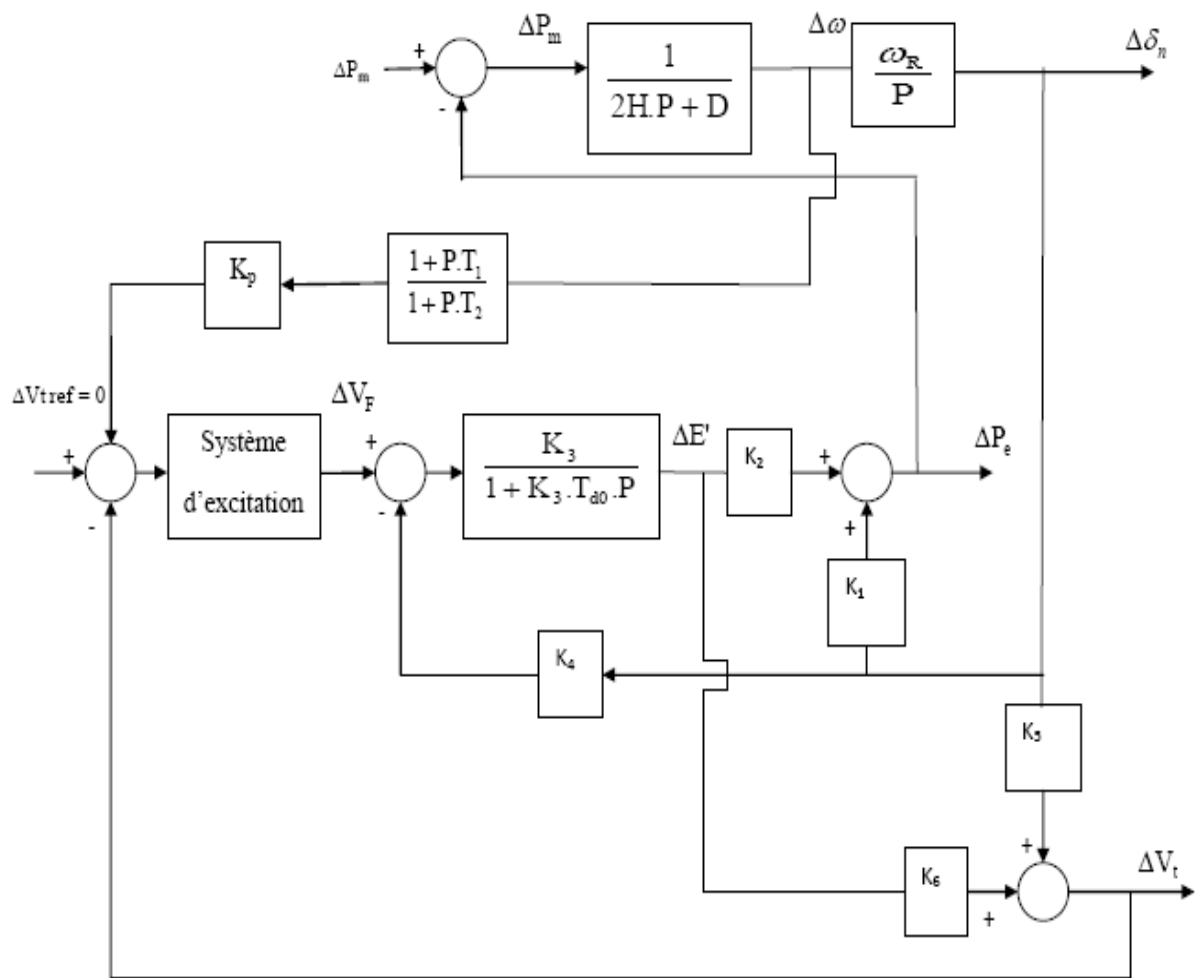


Figure IV-5 : Schéma bloc du système avec PSS incorporé

IV-7. Résultats de simulation :

Pour voir l'effet du P.S.S sur la réponse du système. On pris la machine représenter sur la figure IV-5, pour un régime de fonctionnement spécifie par la valeurs suivant :

$2H = 8$, $D = 1$, $\omega_R = 314 \text{ rad/s}$, $T_R = 0 \text{ s}$ $K_R = 1$, $K_1 = 4.8$, $K_2 = 2.6$, $K_3 = 0.26$ $K_4 = 3.3$,
 $K_5 = 0.1$, $K_6 = 0.5$, $T'_{d0} = 5 \text{ s}$, $K_a = 400$, $T_a = 0.025 \text{ s}$, $K_e = 1$, $T_e = 0.015 \text{ s}$, $K_G = 1$, $K_f = 0.03$,
 $T_f = 0.3 \text{ s}$, $K_R = 1$, $T_R = 0 \text{ s}$.

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 :

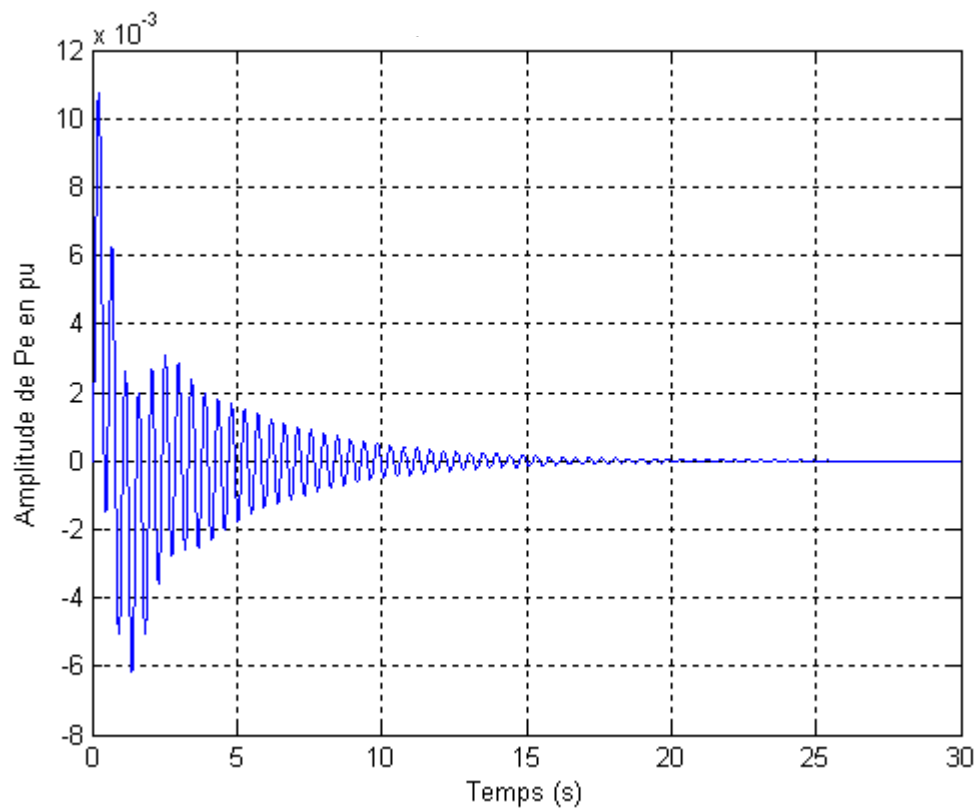
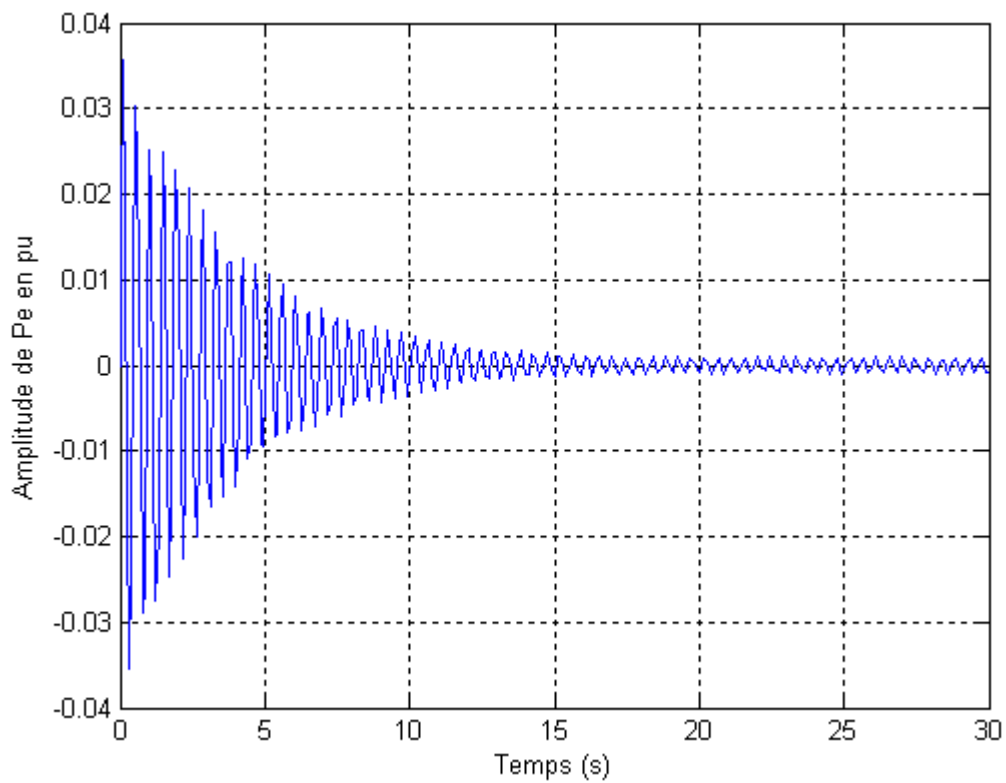
- La diminution de l'amplitude des oscillations.
- Le temps de réponse devient court.

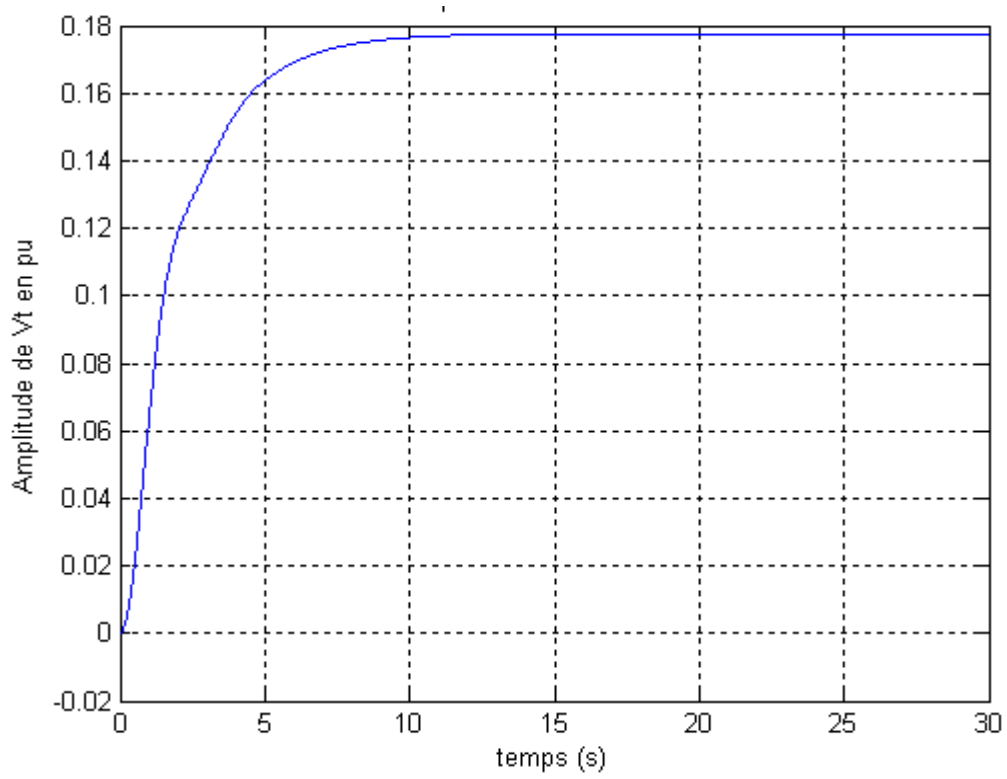
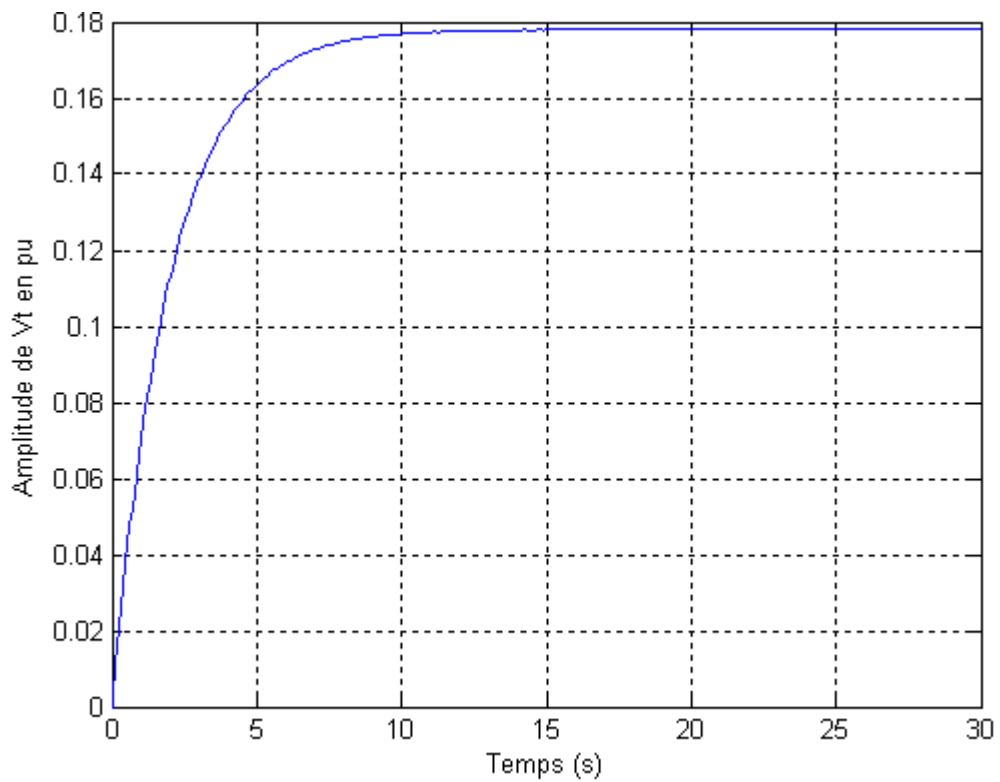
Donc on déduit l'amélioration de facteur de puissance, ainsi que la stabilité qui devient plus rapide (figure IV-6-a).

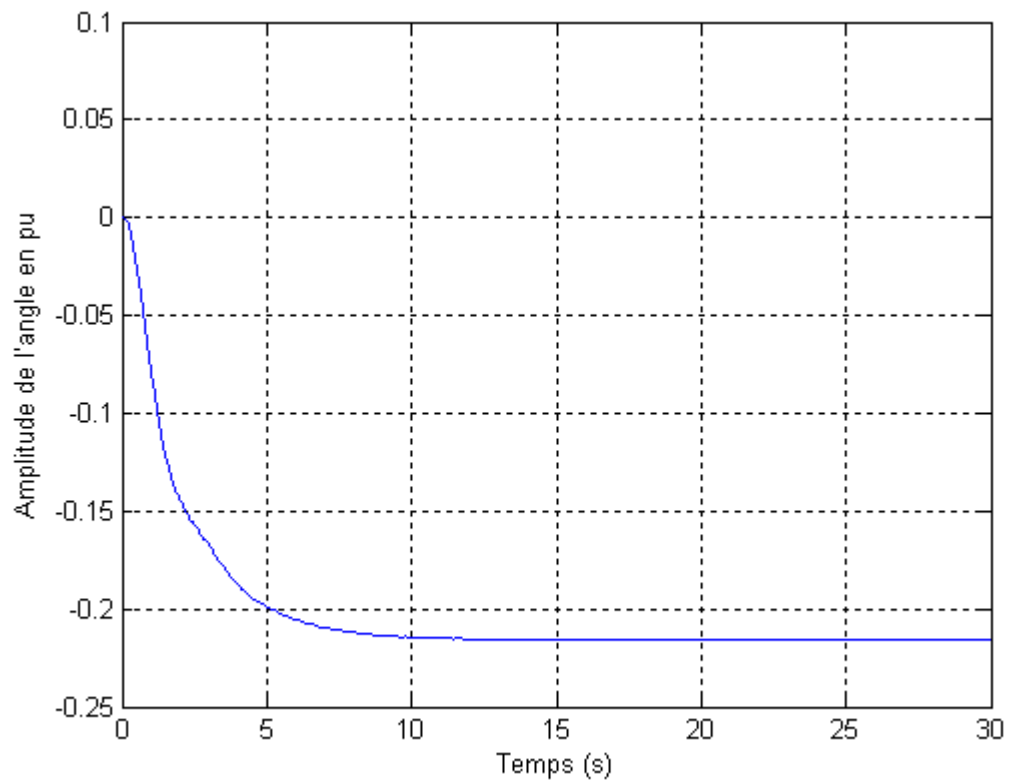
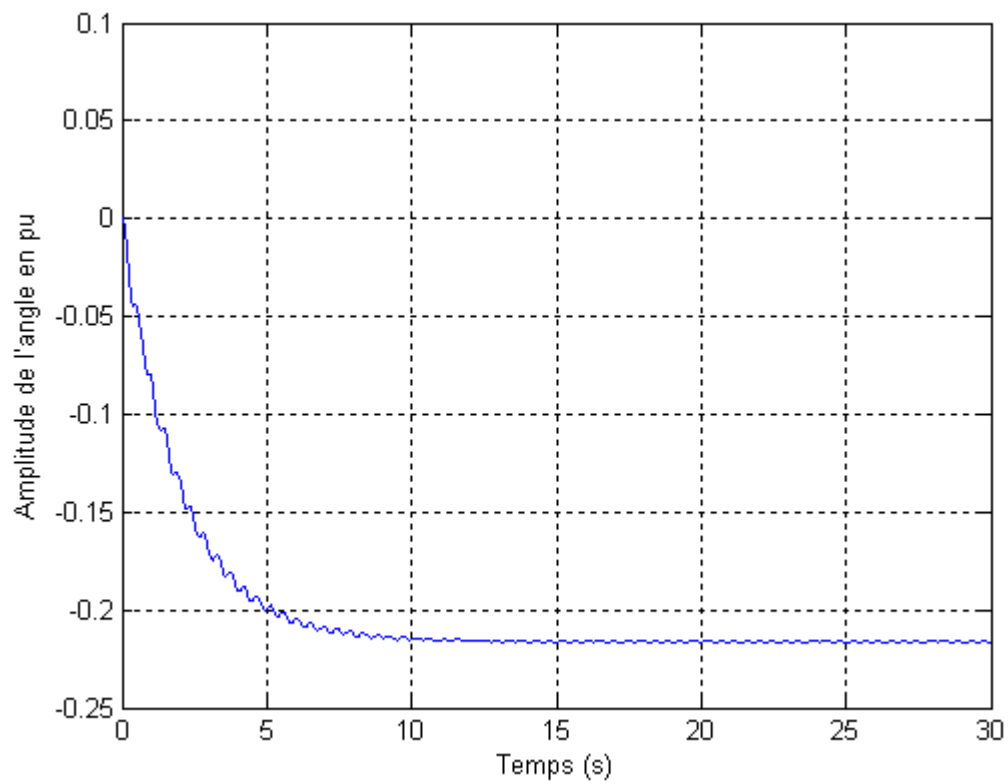
Pour la figure IV-7-a comparer à la figure VI-7-b presque aucune influence sur la tension V_t en cas d'un échelon sur $V_{réf}$.

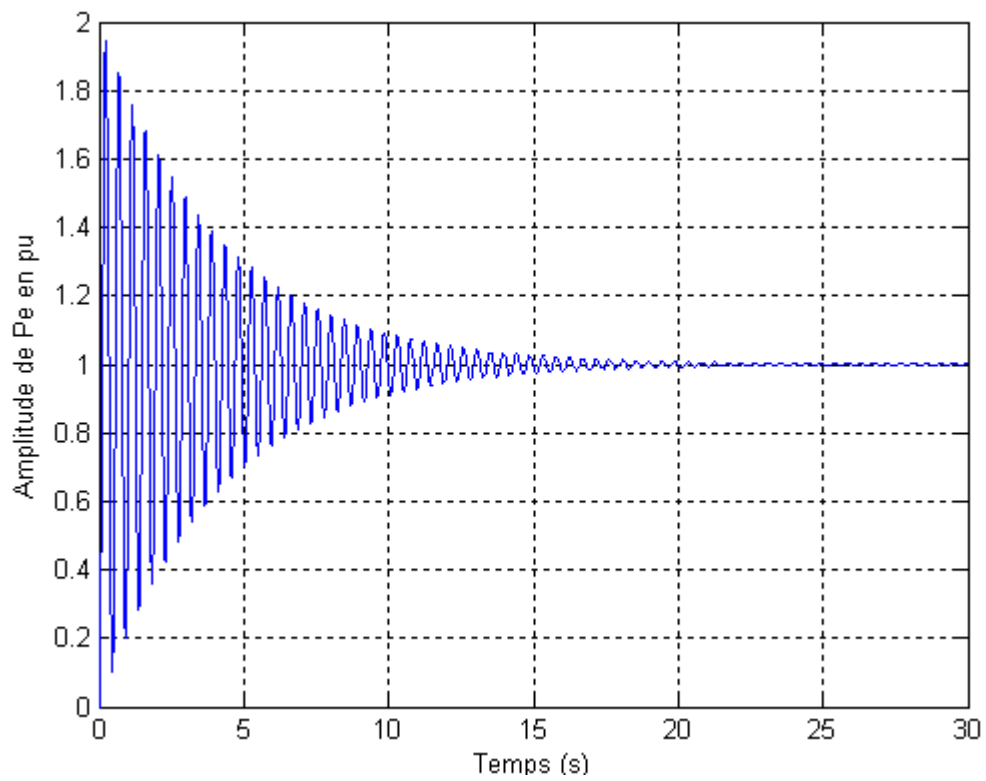
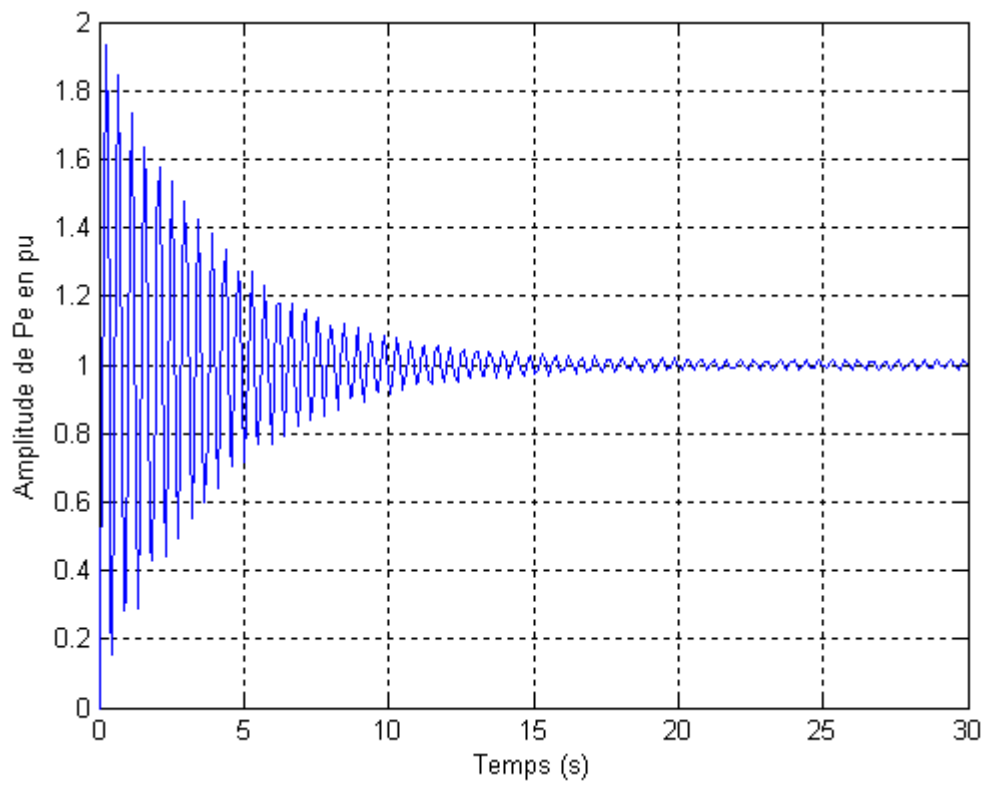
La figure IV-8-a est plus stable par rapport la figure IV-8-b alors l'effet de la boucle PSS est apparaît clairement et ça par la diminution des oscillations.

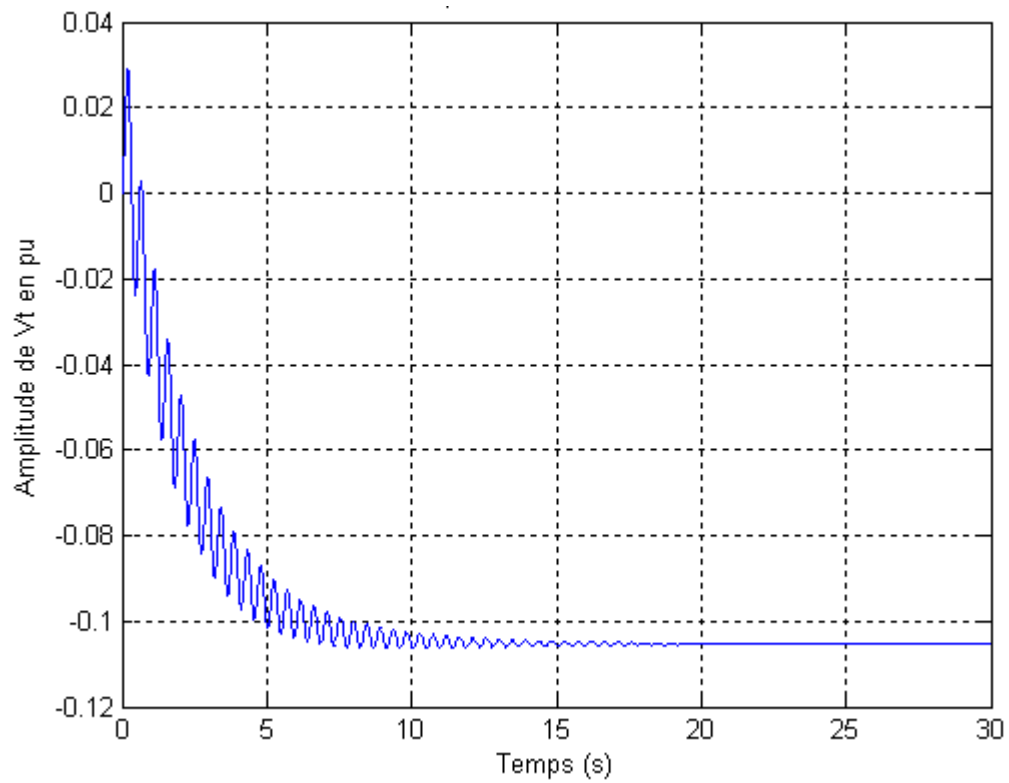
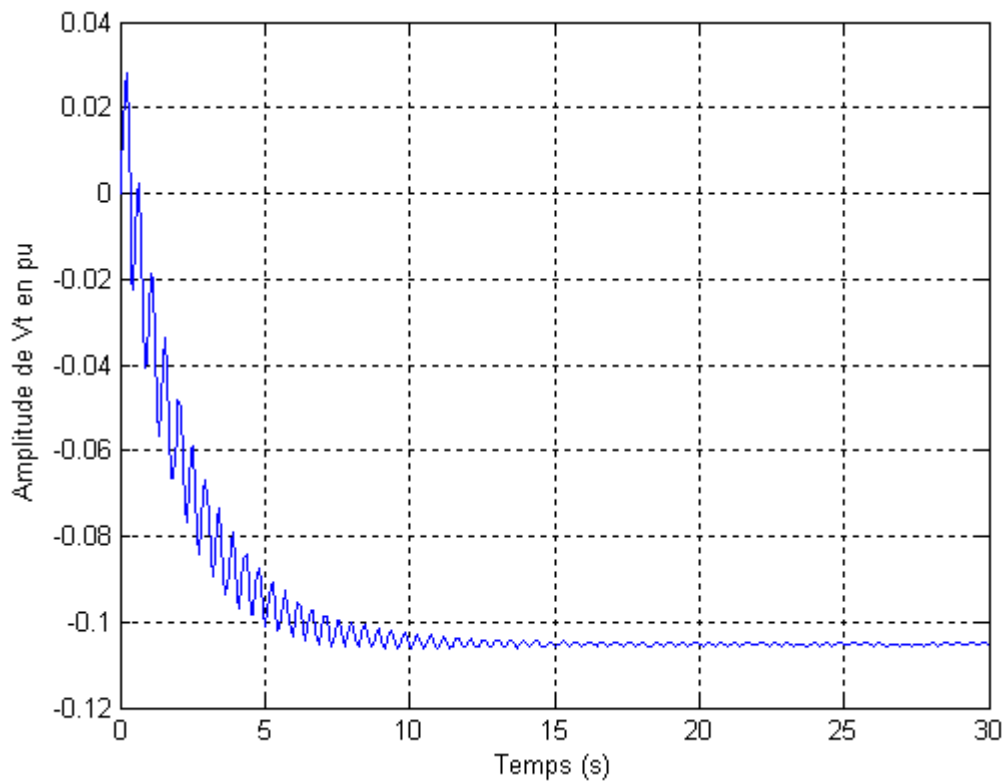
Même chose pour la figure IV-9-a par rapport la figure-9-b, la figure IV-10-a par rapport la figure IV-10-b et la figure IV-11-a par rapport la figure IV-11-b,

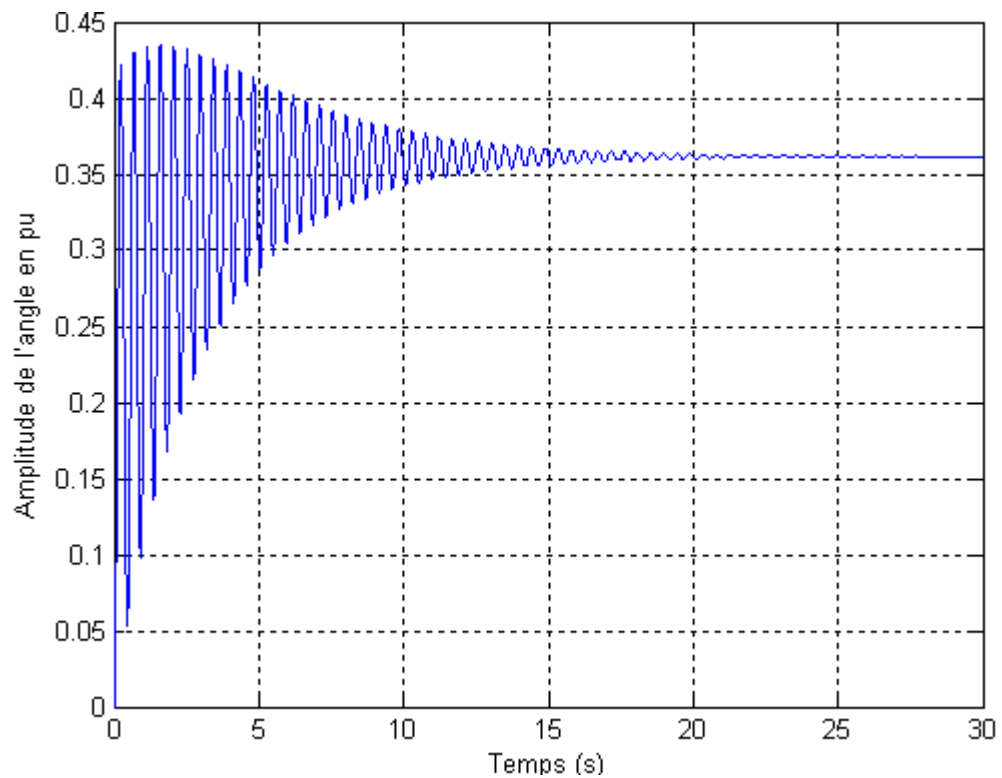
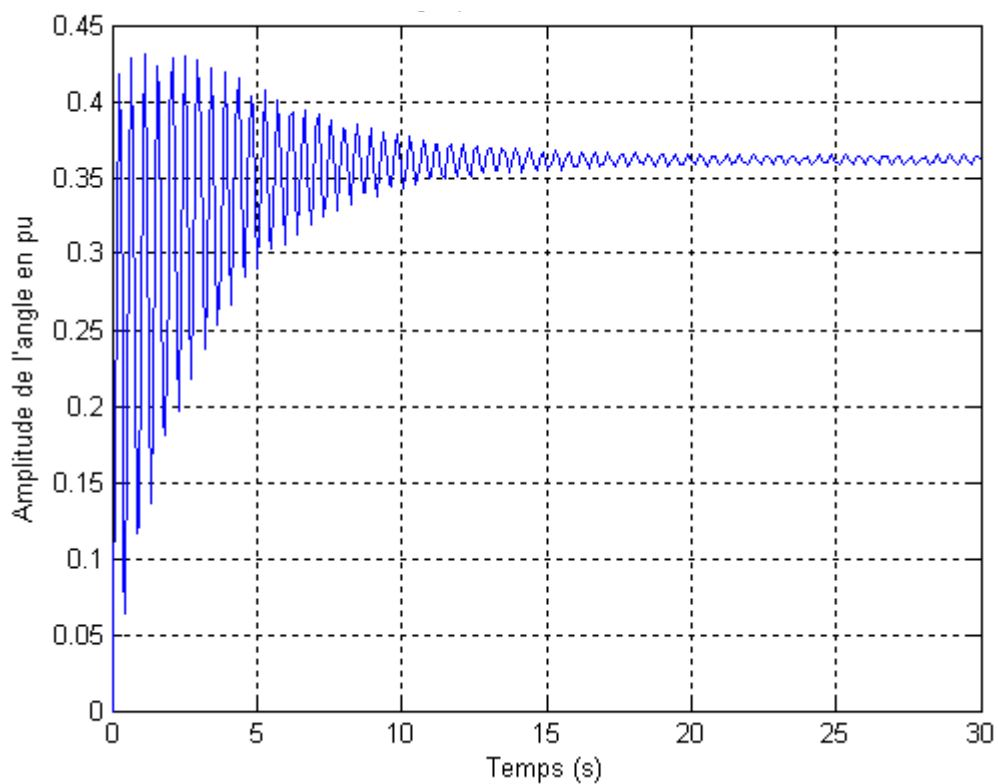
Figure IV-6-a : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref} avec PSSFigure IV-6-b : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref} sans PSS

Figure IV-7-a : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} avec PSSFigure 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 $V_{réf}$ avec PSSFigure IV-8-b : Variation de l'angle pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS

Figure IV-9-a : Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSSFigure 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 PSSFigure 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 PSSFigure 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).

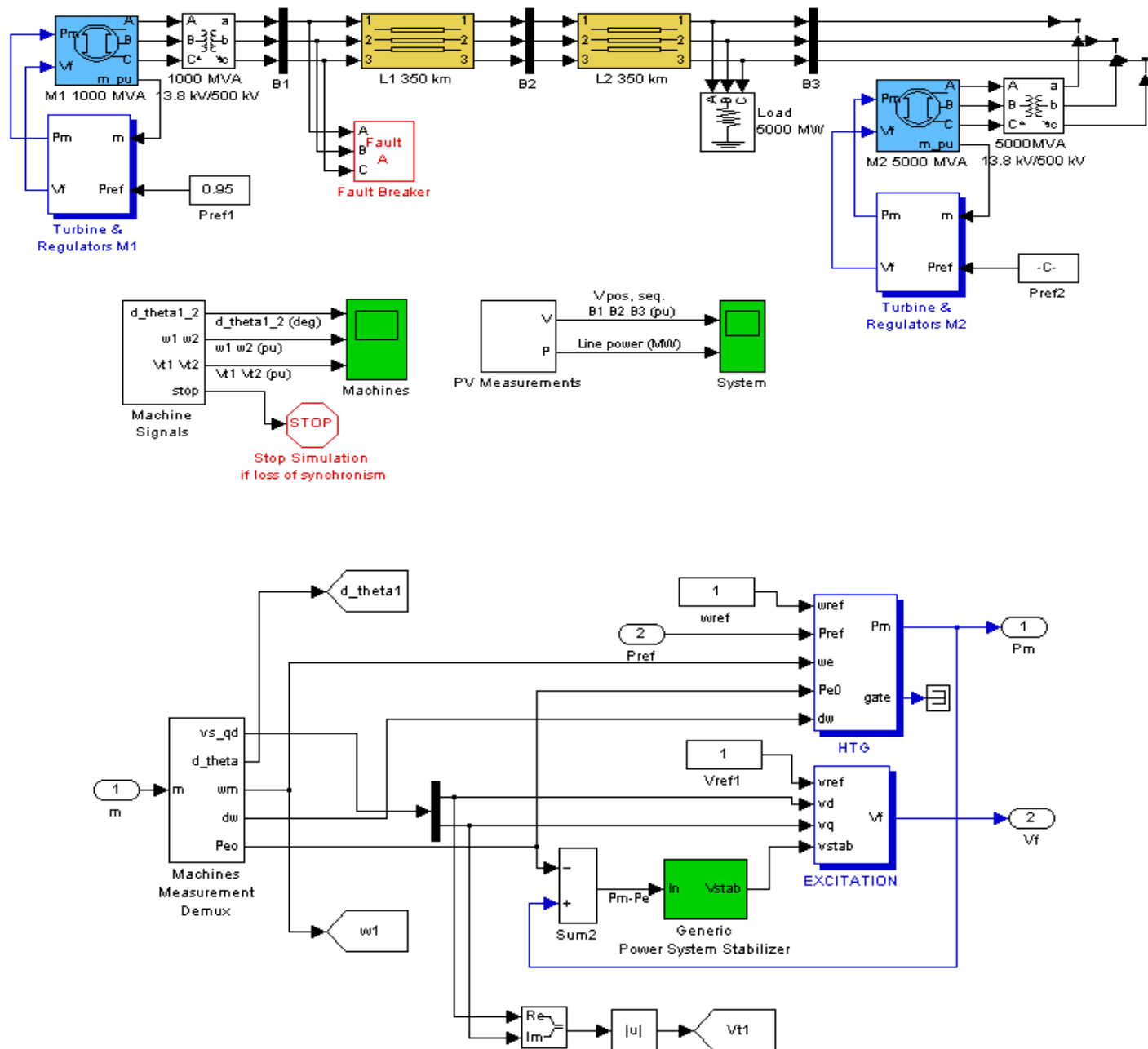


Figure IV-12 : Installation du PSS

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 tension V_{t1} , V_{t2} ,
- La puissance transité.

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

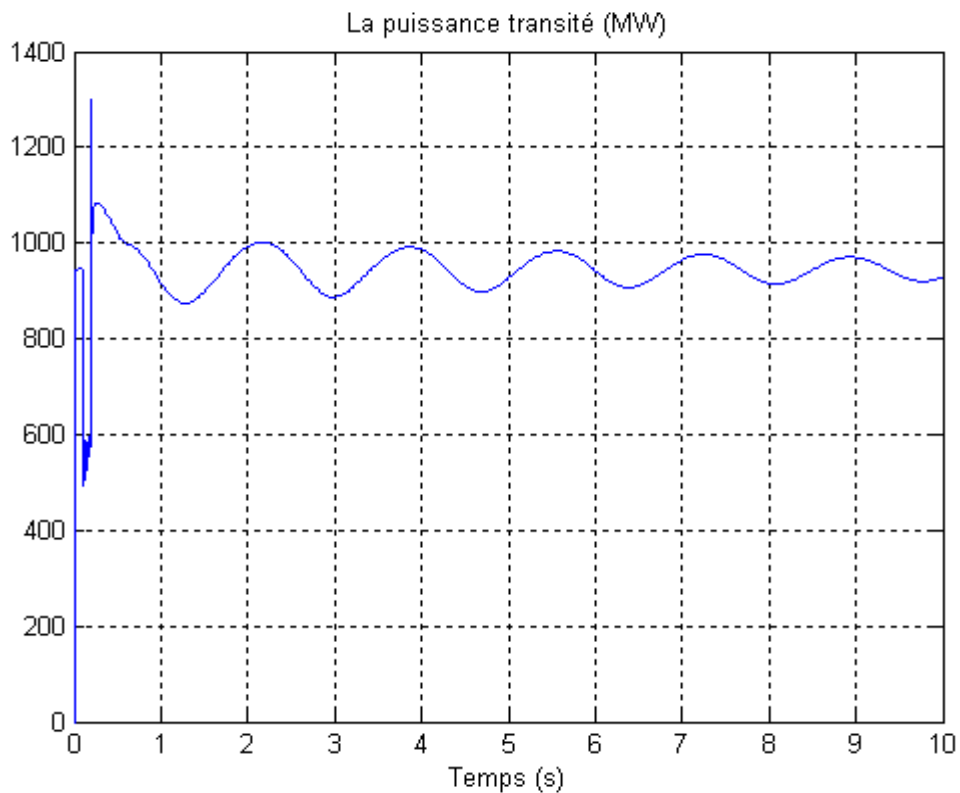


Figure IV-13 : Variation de la puissance transité sans PSS

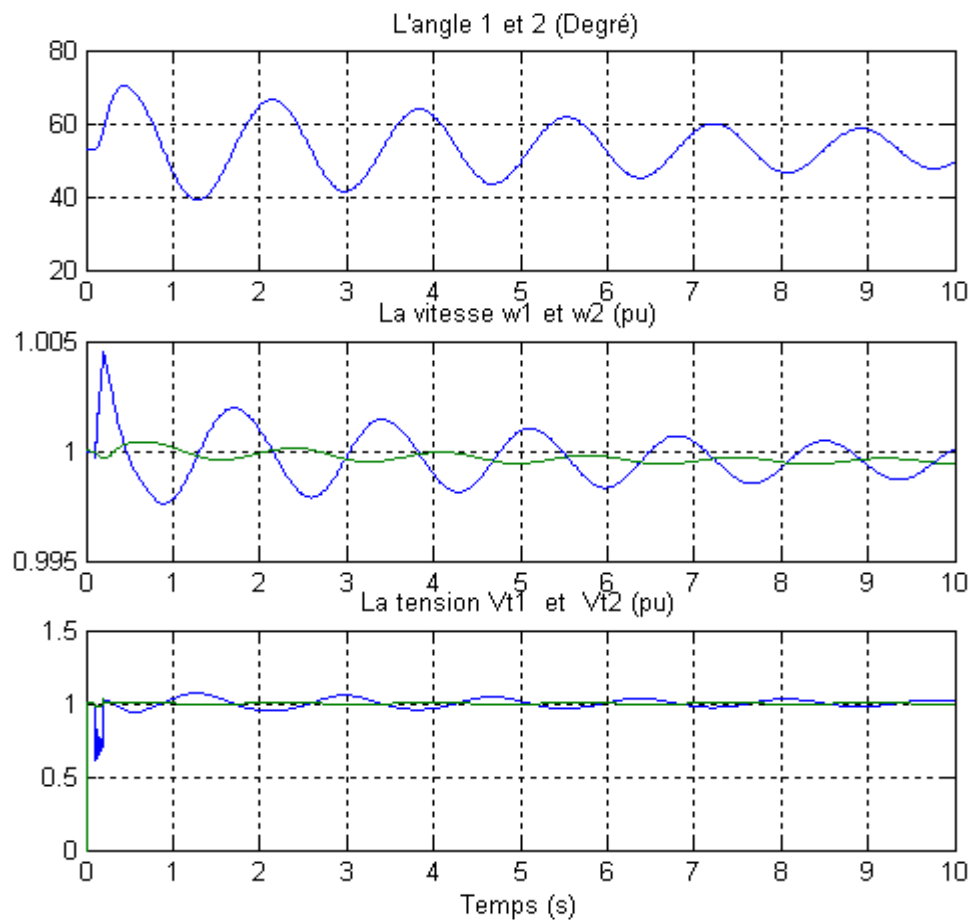


Figure IV-14 : Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS

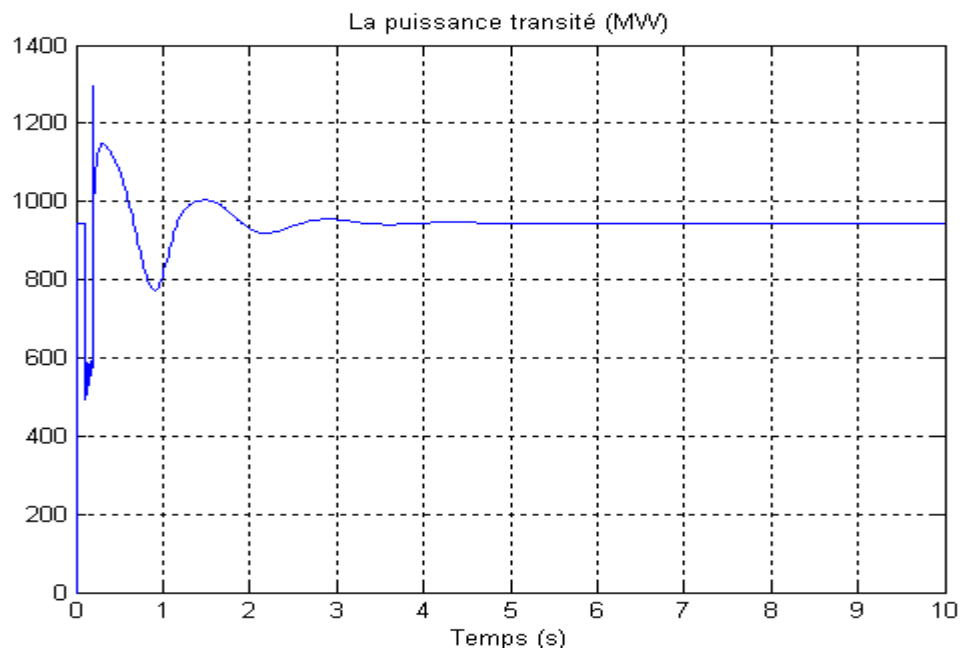


Figure IV-15 : Variation de la puissance transité avec PSS

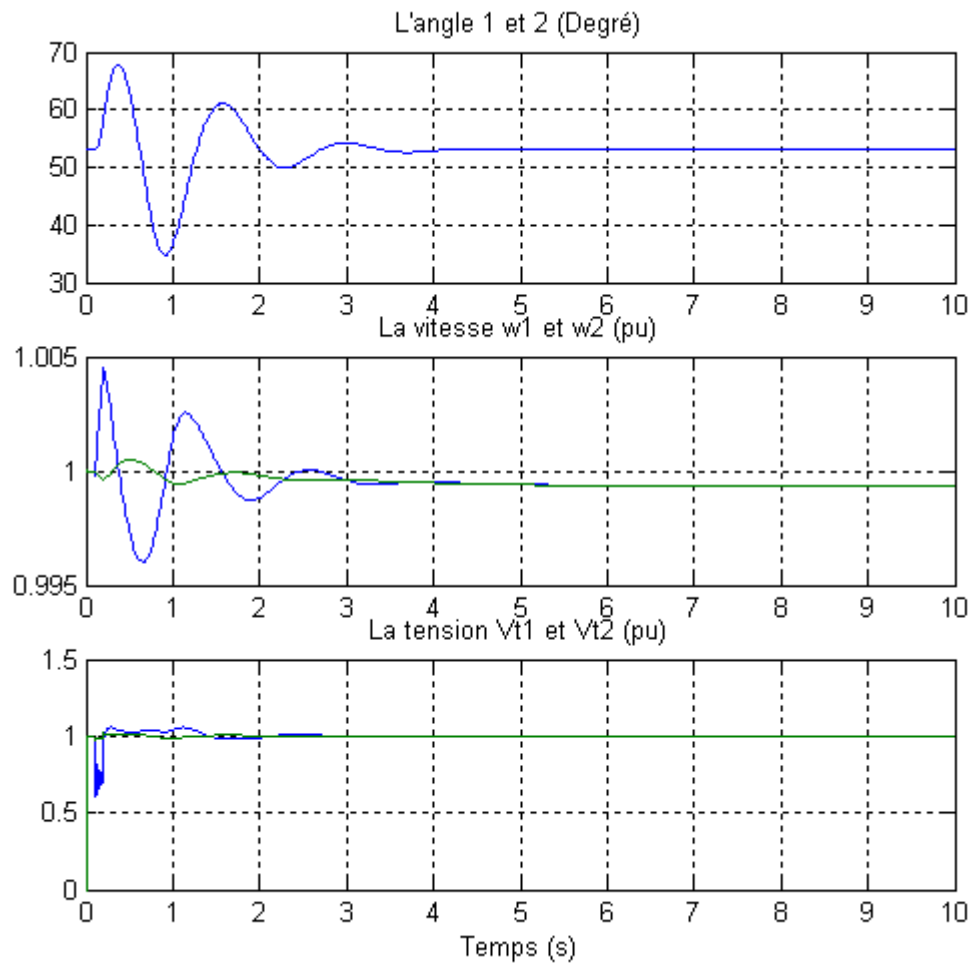
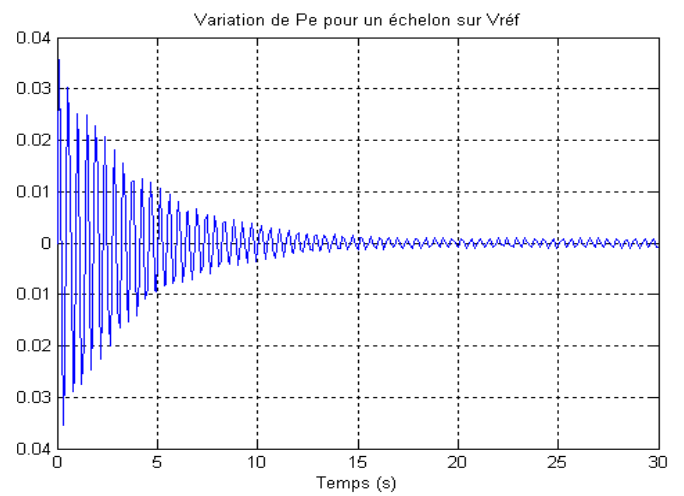
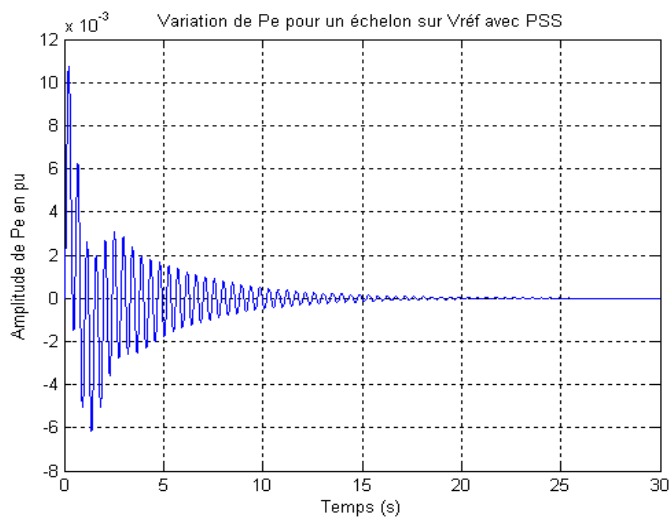
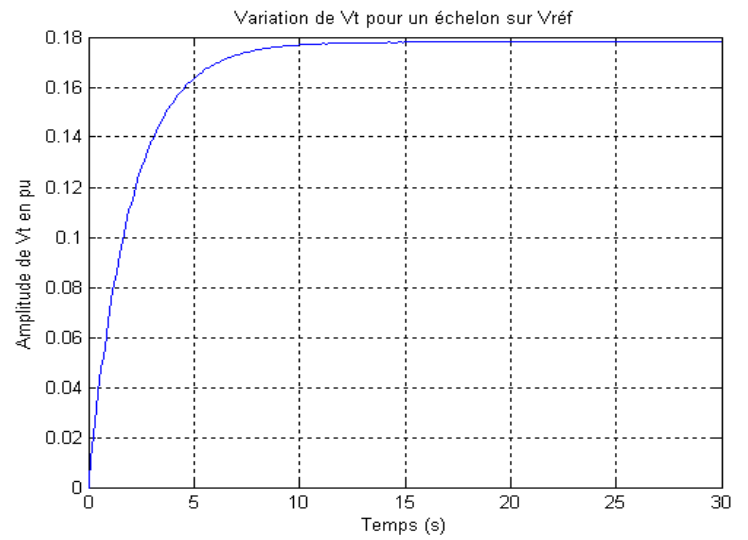
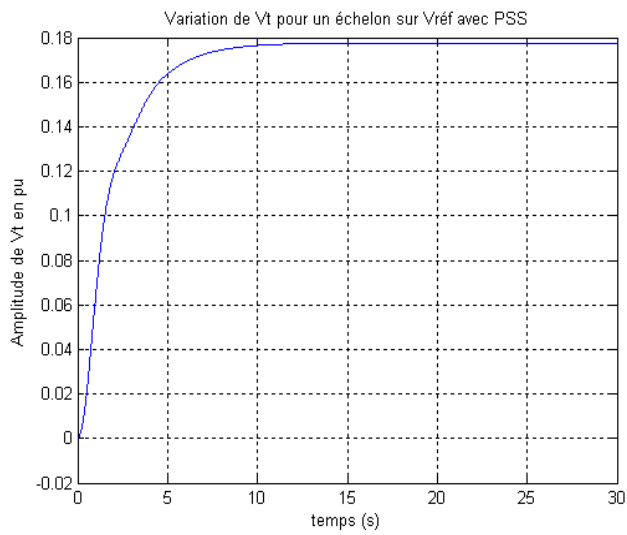
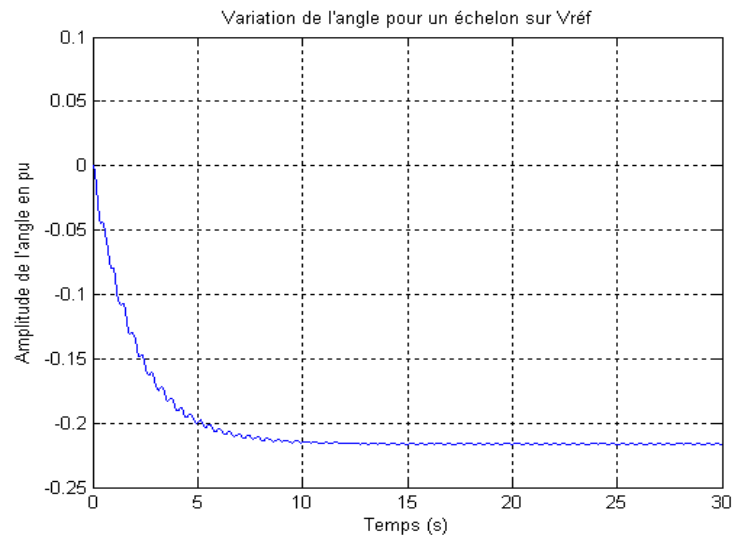
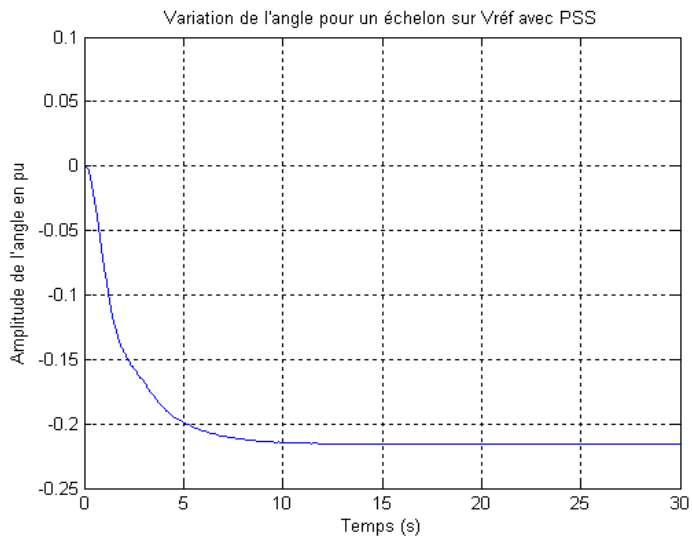
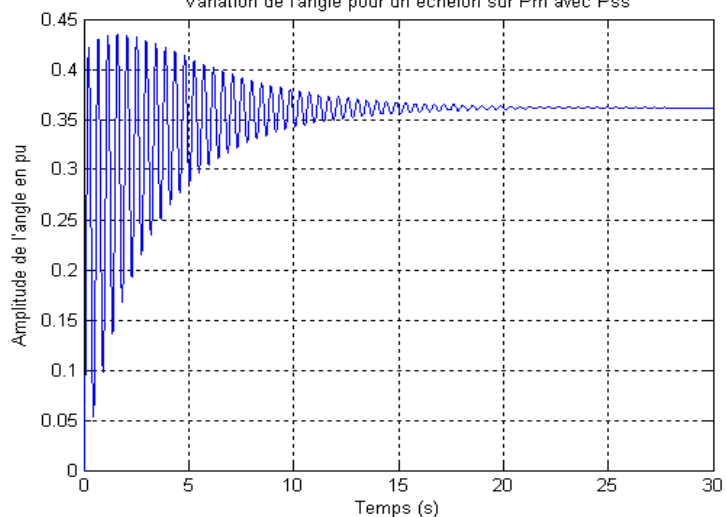


Figure IV-16 : Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS

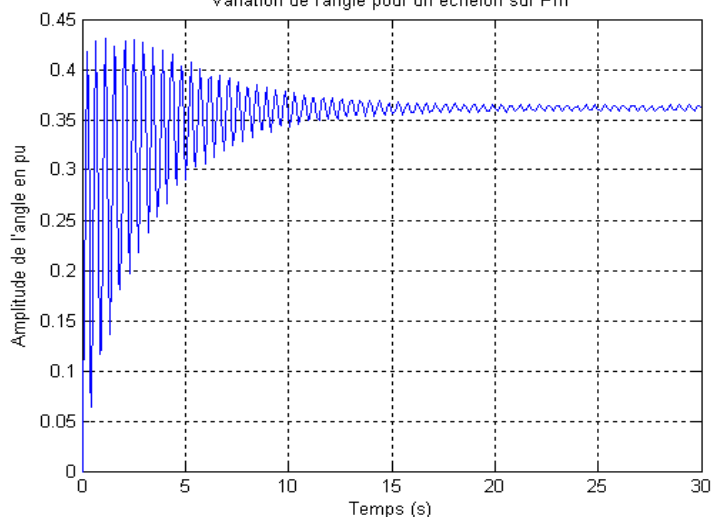
Comparaison avec _ sans PSS



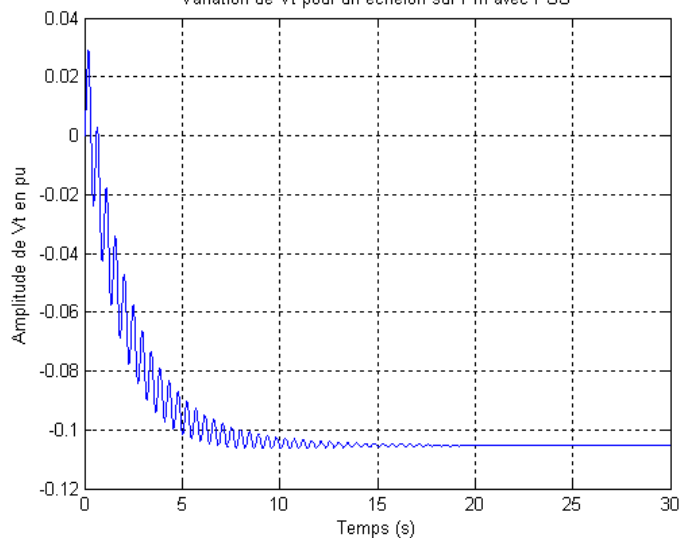
Variation de l'angle pour un échelon sur Pm avec Pss



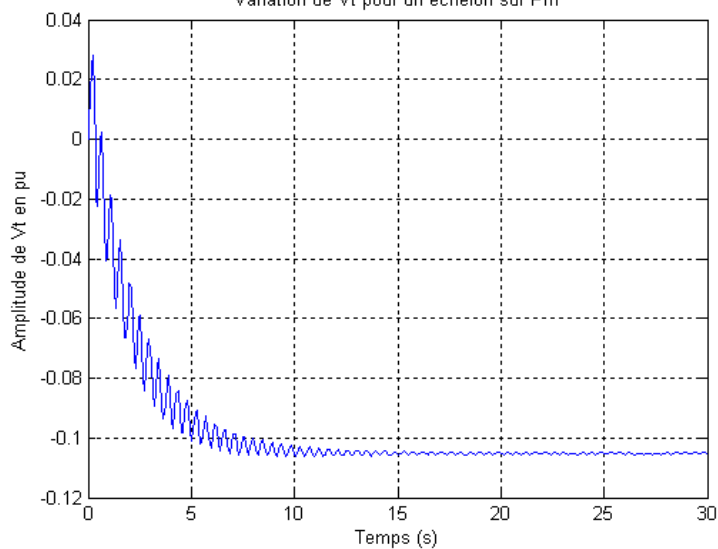
Variation de l'angle pour un échelon sur Pm



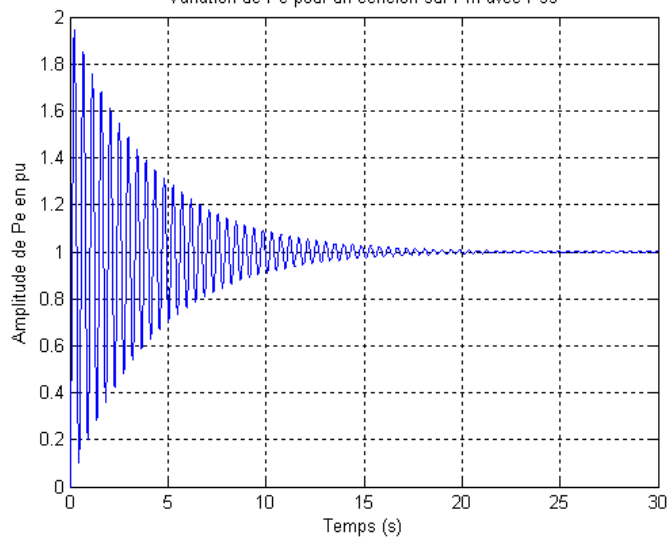
Variation de V_t pour un échelon sur Pm avec PSS



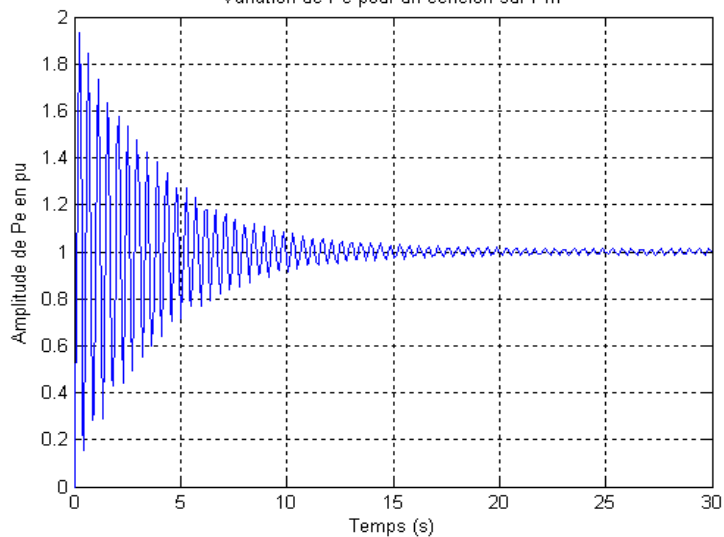
Variation de V_t pour un échelon sur Pm



Variation de P_e pour un échelon sur Pm avec Pss



Variation de P_e pour un échelon sur Pm



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 déterminer 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.

Liste de figures

Figure I-1: Schéma de principe de transport d'énergie lors de l'ouverture du circuit	5
Figure I-1-a; Schéma de substitution de transport d'énergie lors d'un régime normal.....	6
Figure I-1-b : Schéma des substitution de transport d'énergie lors de rupture du circuit.....	6
Figure I-1-c : Oscillation de la puissance Fournie.....	7
Figure I-2 : Oscillation de l'angle δ lors de l'ouverture d'une des lignes du circuit de transport d'énergie.....	8
Figure I-3 : Rupture de la stabilité dynamique lors de la rupture d'une ligne de circuit.....	9
Figure I-4 : Accroissement de l'angle δ lors de la rupture du la stabilité dynamique.....	9
Figure I-5 : Cas limite de la stabilité dynamique.....	12
Figure II-1 : Modèle du générateur.....	14
Figure II-2 : Modèle du générateur + charge.....	15
Figure II-3 : Modèle du gouverneur de vitesse.....	16
Figure II-4 : Modèle linéaire de la turbine à vapeur.....	16
Figure II-5 : Modèle de turbine-générateur-charge.....	17
Figure II-6 : Modèle du gouverneur + turbine + générateur + charge.....	17
Figure II-7 : Schéma bloc du système d'excitation + générateur.....	20
Figure III-1 : Variation de puissance en fonction de l'angle.....	22
Figure III-2.a : Diagramme vectoriel de tension.....	23
Figure III-2.b : Diagramme vectoriel de courant.....	23
Figure III-3 : Schéma bloc du système avec régulateur de tension.....	26
Figure III-4 : Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur).....	27
Figure III-5-a : Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension.....	28
Figure III-5-b : La dépendance de la puissance active avec l'angle δ	29
Figure III-6 : Variation de P_e pour un échelon sur P_m	30
Figure III-7 : Variation de V_t pour un échelon sur P_m	31
Figure III-8 : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m	31
Figure III-9 : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref}	32
Figure III -10 : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref}	32
Figure III -11 : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}	33

Figure IV-1 : Schéma bloc de PSS.....	35
Figure IV-2 : Fonction de transfert et circuit de signale d'intégratio.....	36
Figure IV-3 : Circuit de compensation en avance et en retard.....	37
Figure IV-4 : Bloc de l'analyse du système avec signale de PSS incorporé.....	39
Figure IV-5 : Schéma bloc du système avec PSS incorporé.....	40
Figure IV-6-a : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	42
Figure IV-6-b : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	42
Figure IV-7-a : Variation de V_t pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	43
Figure IV-7-b : Variation de V_t pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	43
Figure IV-8-b : Variation de l'angle pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS.....	44
Figure IV-8-b : Variation de l'angle pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS.....	44
Figure IV-9-a : Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSS.....	45
Figure IV-9-b : Variation de P_e pour un échelon sur P_m sans PSS.....	45
Figure IV-10-a : Variation de V_t pour un échelon sur P_m avec PSS.....	46
Figure IV-10-b : Variation de V_t pour un échelon sur P_m sans PSS.....	46
Figure IV-11-a : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m avec PSS.....	47
Figure IV-11-b : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m sans PSS.....	47
Figure IV-12 : Installation du PSS.....	48
Figure IV-13 : Variation de la puissance transité sans PSS.....	49
Figure IV-14 : Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS.....	50
Figure IV-15 : Variation de la puissance transité avec PSS.....	50
Figure IV-16 : Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS.....	51

Bibliographie

- [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]. 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.
- [3]. Mémoire de fin d’étude “Stabilité d’un système de puissance (PSS) étude et simulation”, Université de BISKRA 1996.
- [4]. Mémoire de fin d’étude “ Modélisation de la centrale thermique (à vapeur) ”, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [5]. Houos abd eloiahed & Zeghoud M^{ed} alaeddine & Ouabri Ahmed “Contrôle de la puissance active du réseau électrique”, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [6] Amélioration de la stabilité dynamique PSS (Power System Stabilizer 2007/2008
Mini projet de magister