

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Réseaux électriques

Présenté par

CHEKEMBOU Mohammed Soufiane et NAKES Abderraouf

Thème

Contrôle de la puissance active dans un réseau électrique

Soutenu le 28/05/2017. Devant le jury composé de :

Mr. Gacem Abdelmalek

Maitre de conférences Président

Mr. Touil Slimane

Maitre de conférences Rapporteur

Mr. Bougoffa Lazhar

Maitre de conférences Examineur

Année Universitaire 2016/2017

Résumé

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 représenter en schéma bloc), et la mise en œuvre de nos propres moyens programmes informatiques pour discuter et analyser un tel problème.

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*))

On a fait la réponse de système régulé pour des petites perturbations et ceci pour un système complet. on a ajouté la boucle PSS (*Power System Stabiliser*) pour améliorer la stabilité du système. décrivant les principaux résultats obtenus et les moyens permettant à aboutir à ces résultats dont le logiciel MATLAB était l'outil principale.

Mots clés :

Régulateur de tension d'une machine synchrone AVR ; Stabilisateur d'un système de puissance PSS ; La boucle de contrôle de la fréquence LFC.

الملخص

الهدف العام من بحثنا هو السيطرة على إنتاج نظام الطاقة (نماذج من هذه المكونات وتمثيل رسم تخطيطي)، وتنفيذ برامج الكمبيوتر الخاصة بنا يعني لمناقشة وتحليل مثل هذه المشكلة.

في عملنا يظهر نموذج بعض العناصر (التوربينات والمولدات والحمولة، والمتحكم في السرعة، حلقة AVR (منظم تلقائي للجهد)).

وتنظم استجابة النظام لجعل الاضطرابات الصغيرة وهذا لنظام كامل. تمت إضافة PSS حلقة (مثبت نظام الاستطاعة) لتحسين استقرار النظام. تبين النتائج الرئيسية وسيلة لتحقيق هذه النتائج مع برنامج الماتلاب كانت الأداة الرئيسية.

Liste des figures

Figure (I-1) : Couples et puissance du système.....	4
Figure (I-2) : Relation entre puissance électrique-puissance mécanique vitesse.....	6
Figure (I-3) : Schéma bloc du générateur + charge.....	7
Figure (I- 4) : Type de turbine – générateur charge.....	8
Figure (I-5.a) : Représentation du gouverneur de vitesse.....	9
Figure (I-5. b) : Gouverneur avec boucle de retour.....	10
Figure (I-5.c) : Fonction de transfert du gouverneur.....	11
Figure (I-6) : Schéma bloc du gouverneur turbine – générateur – charge	11
Figure (I-7) : Réponse de variation de ω pour step de P_L	14
Figure (I-8) : Réponse de la boucle LFC avec $T_g = T_{ch} = 0$	14
Figure (I-9) : Réponse de variation de ω pour T_g variable.....	15
Figure (I-10) : Réponse de variation de ω pour la boucle de R ouverte.....	15
Figure (I-11) : Réponse de variation de ω pour R variable.....	15
Figure (I-12) : Réponse de variation de ΔP_{valve}	16
Figure (I-13) : Réponse de variation ΔP_{mec}	16
Figure (I-14) : Réponse de variation de ω pour $K = 9$	17
Figure (I- 15) : Réponse de variation de ω pour K variable	18
Figure (I-16) : schéma bloc de variation de ω pour step de P_L	18
Figure (I-17): schéma bloc de la boucle LFC avec ($T_g = T_{ch} = 0$)	19
Figure (I-18): schéma bloc de variation de ω pour T_g variable	19
Figure (I-19): schéma bloc de variation de ω pour la boucle de R ouverte	20
Figure (I-20): schéma bloc de variation de ω pour R variable	20
Figure (I-21): schéma bloc de variation de ΔP_{valve}	21
Figure (I-22) : schéma bloc de variation de ΔP_{mec}	21
Figure (I-23): schéma bloc de variation de ω pour $K = 9$	21
Figure (I-24): schéma bloc de variation de ω pour K variable	22
Figure (II-1): Boucle A.V.R	24
Figure (II-2): Connexion de transformateur et rectificateur (PT et Rect).....	24
Figure (II-3): Représentation électronique de la différence d'amplification ainsi Le comparateur.....	25
Figure (II-4): Schéma bloc de l'amplificateur.....	26
Figure (II-5): Boucle (AVR) sans compensation.....	28
Figure (II-6): Courbe d'estimation de la fonction de saturation S_E	29
Figure (II-7): Représentation contrôle de système d'excitation.....	30
Figure (II- 8): Système d'excitation avec (filtre, limiteur), saturation négligés.....	32

Figure (II-9): Réponse de la variation de V_t sans compensation.....	34
Figure (II-10): Réponse de variation de V_t avec compensation.....	34
Figure (II-11): Influence du gain K_F	35
Figure (II-12): Influence du gain T_F	36
Figure (III-1) : Variation de puissance en fonction de l'angle.....	38
Figure (III-2.a) : Diagramme vectoriel de tension.....	39
Figure (III-2.b): Diagramme vectoriel de courant.....	39
Figure (III-3) : Schéma bloc du système avec régulateur de tension.....	41
Figure (III-4) : Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur).....	42
Figure (III-5) : Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension.....	43
Figure (III-6) : La dépendance de la puissance active avec l'angle δ	44
Figure (III-7) : Variation de P_e pour un échelon sur P_m	44
Figure (III-8): Variation de V_t pour un échelon sur P_m	45
Figure (III-9) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m	45
Figure (III -10) : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref}	45
Figure (III -11) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}	46
Figure (III-12) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref}	46
Figure (IV-1) : Schéma bloc de PSS.....	48
Figure (IV-2) : Fonction de transfert et circuit de signale d'intégration.....	49
Figure (IV-3) : Circuit de compensation en avance et en retard.....	50
Figure (IV-4) : Bloc de l'analyse du système avec signale de PSS incorporé.....	52
Figure (IV-5) : Schéma bloc du système avec PSS incorporé.....	52
Figure (IV-6-a) : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref} avec PSS.....	53
Figure (IV-6-b) : Variation de P_e pour un échelon sur V_{ref} sans PSS.....	53
Figure (IV-7-a) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} avec PSS.....	54
Figure (IV-7-b) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} sans PSS.....	54
Figure (IV-8-a) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} avec PSS.....	54
Figure (IV-8-b) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} sans PSS.....	54
Figure (IV-9-a) : Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSS.....	54
Figure (IV-9-b) : Variation de P_e pour un échelon sur P_m sans PSS.....	54
Figure (IV-10-a) : Variation de V_t pour un échelon sur P_m avec PSS.....	55
Figure (IV-10-b) : Variation de V_t pour un échelon sur P_m sans PSS.....	55
Figure (IV-11-a) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m avec PSS.....	55
Figure (IV-11-b) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m sans PSS.....	55
Figure (IV-12) : Installation du PSS.....	56
Figure (IV-13) : Variation de la puissance transmise sans PSS.....	57
Figure (IV-14) : Variation de la tension de B1, B2 et B3 sans PSS.....	57
Figure (IV-15) : Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS.....	58
Figure (IV-16) : Variation de la puissance transmise avec PSS.....	59

Figure (IV-17) : Variation de la tension de B1, B2 et B3 avec PSS.....	59
Figure (IV-18) : Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS.....	60

Liste des abréviations et des sigles

ω	Vitesse relative de rotation électrique de la machine synchrone	p.u
ω_0	Vitesse nominale de rotation électrique de la machine synchrone	p.u
δ_n	l'angle de charge	rad
P_e	Puissance électrique active	p.u
P_m	Puissance mécanique	p.u
D	Coefficient d'amortissement	p.u
H	Constant d'inertie	s
V_t	Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone	p.u
V_q	La composante quadratique de la tension terminale	p.u
V_d	La composante directe de la tension terminale	p.u
I_q	La composante quadratique du courant du stator	p.u
I_d	La composante directe du courant du stator	p.u
E'_q	Tension transitoire en quadrature de la machine synchrone	p.u
V_{ref}	Tension de référence.	p.u
K_e	Gain d'amplification d'excitation.	p.u
V_R	Tension d'excitation de la machine synchrone	p.u
K_{pss}	Gain du PSS	p.u
T_A	Constante de temps de l'amplificateur	s
T_E	Constante de temps de l'excitatrice	s
T_F	Constante de temps de compensateur	s
T_R	Constante de temps de régulateur	s
K_A	Gain d'amplification	p.u
K_E	Gain de l'excitatrice	p.u
K_F	Gain de compensateur	p.u
K_R	Gain de régulateur	p.u
R	coefficient de régulation.	p.u
T_{ch}	Constante de temps (temps de charge)	s
T_g	constante de temps (temps de gouverneur)	s
T'_{do}	Constante de temps transitoire de l'axe directe en circuit ouvert	s
X'_d	Réactance transitoire directe de la machine synchrone	p.u
X'_q	Réactance synchrone en quadrature du générateur	p.u
X_T	Réactance totale	p.u
AVR	régulateur de tension d'une machine synchrone.	
PSS	Stabilisateur d'un système de puissance.	
LFC	la boucle de contrôle de la fréquence.	
IEEE	Association Internationale des Ingénieurs Électriciens.	

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Liste des figures

Liste des abréviations et des sigles

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Etude de modèle de contrôle des fréquences boucle LFC

I-1- Introduction.....	3
I-2- Nécessité de stabilisation de fréquence.....	3
I-3- Relation entre charge – fréquence.....	3
I-4- Etude d'un système de contrôle de fréquence à réponse fréquentiel.....	4
I-4-1- Type de générateur.....	5
I-4-2- Type de charge.....	7
I-4-3- Type du turbine.....	8
I-4-4 Type gouverneur de vitesse.....	8
I-5- Résultats de simulation.....	13
I-5-1- Etude des paramètres et leurs influences.....	13
I-5-1-1-Influence de paramètre T_g	13
I-5-1-2-Influence des constantes de temps T_g et T_{ch}	13
I-5-1-3-Influence de paramètre R	13
I-6- Boucle LFC secondaire « contrôle supplémentaire ».....	16
I-7-Conclusion.....	22

Chapitre II : Etude d'un système d'excitation contrôle de la tension boucle A.V.R

II.1 Introduction.....	23
II.2.modèle mathématique du système d'excitation.....	24
II.2.1. Bloc de transformateur de potentiel et de rectificateur.....	24
II.2.2. Bloc de comparaison.....	25
II.2.3. bloc de l'amplificateur.....	26
II.2.4. Modélisation de l'excitatrice.....	27
II.2.5. Compensation de générateur.....	29

II.3. Modélisation du générateur.....	30
II.4. Résultats de simulations.....	32
II.5. Interprétation des résultats.....	36
II.6. Conclusion.....	36

Chapitre III : Réponse de système régulé pour des petites perturbations

III-1. Introduction.....	37
III-2. Réglage de la machine synchrone.....	37
III-2-1. Régulateur de tension avec un seul temps de retard.....	37
III-2-2. Les causes des variations de la FEM.....	39
III-2-3. Régulateur de vitesse avec un seul temps de retard.....	41
III-2-4. Modèle complet du système.....	42
III-3. Résultats de simulation.....	43
III-3-1. Variation de P_e pour un échelon sur P_m	43
III-3-2. Variation de V_t pour un échelon sur P_m	44
III-3-3. Variation de δ pour un échelon sur P_m	44
III-4. Conclusion.....	46

Chapitre IV : Stabilisateur du système de puissance PSS

IV-1. Introduction.....	47
IV-2. Cause et sortes d'oscillations de puissance.....	47
IV-3. Définition.....	47
IV-3-1. Qu'est-ce que signifie PSS ?.....	47
IV-3-2. A quoi sert PSS ?.....	48
IV-4. Fonctionnement du PSS.....	48
IV-5. La fonction transfert du PSS.....	48
IV-5-1. Gain de stabilisateur K_p	49
IV-5-2. Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration.....	49
IV-5-3. Circuit de compensation en avance et en retard.....	50
IV-6. Représentation simplifiée de PSS.....	51
IV-7. Résultats de simulation.....	53
IV-7-1. Interprétation des résultats.....	53
IV-8. L'impact du PSS sur le régime transitoire (stabilité dynamique).....	55
IV-8-1. Les résultats de simulation.....	57
IV-8-1-1 Sans PSS.....	57
IV-8-1-2 Avec PSS.....	59
IV-9. Conclusion.....	60

Conclusion Générale.....	61
Annexe	
Références bibliographiques	

Introduction générale

Pendant ces dernières années, les réseaux d'énergie électrique sont devenus de plus en plus étendus et complexes, et ceci revient principalement aux systèmes d'interconnexion.

Ce phénomène, concernant les réseaux électrique, a été accéléré grâce au développement surprenant du domaine informatique. Ce dernier facilite les coordinations du système entier aux niveaux de la gestion et de la régulation, et ceci revient à des raisons économiques de la fiabilité et de la stabilité. Le bon fonctionnement du réseau d'énergie électrique dans son état normal est défini par plusieurs facteurs à savoir :

- La fréquence nominale
- La tension nominale
- La topologie du réseau

Ce bon fonctionnement qui caractérise la stabilité du système, est respecté lorsque la puissance active et la puissance réactive du système ont une relation directe avec la fréquence et la tension respectivement, n'excèdent pas la capacité du groupe producteur qui joue le rôle de chef d'orchestre dans le réseau.

Pour des petites déviations de la fréquence et la tension l'intervention des automatismes de régulateur primaire est importante pour ramener le système en équilibre autour des consignes préalables de fréquence et de tension.

Donc pour améliorer la performance et de maintenir la stabilité, l'unité de production est équipée des systèmes de contrôle qui sont toujours prêts à réagir proportionnellement aux critères d'optimisation prédéterminés. La tension et la fréquence sont les variations du système de contrôle sont associés à l'unité de production qui sont souvent des turbo-alternateurs.

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 représenter en schéma bloc), et la mise en œuvre de nos propres moyens informatiques pour discuter et analyser un tel problème.

L'asservissement de ce système exige plusieurs facteurs à introduire et à asservir 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.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre (I) , on développe la boucle de contrôle de la fréquence " LFC" En étudiant de même la réponse du système devant l'influence des paramètres (temps et gains).

Au deuxième chapitre (II), on a étudié le système d'excitation contrôle de la tension bouclé AVR (Automatic Voltage Regulator)) .

Dans le chapitre (III) ont à 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

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.

I-2- Nécessité de stabilisation de fréquence

Dans le régime nominal de fonctionnement un réseau est caractérisé par le maintien de la fréquence à une valeur stable choisit, ceci est justifié par les raisons énumérés ci -dessous :

- 1) La plupart des machines à AC tournent à des vitesses reliées directement à la fréquence.
- 2) La conception de toutes les turbines est faite pour tourner à une vitesse constante (fréquence constante).
- 3) Facilité de commander le fonctionnement de système si l'erreur de fréquence est comprise dans des limites étroites ± 0.05 HZ.

I-3- Relation entre charge – fréquence

Le fonctionnement de réseau dans son état normal doit satisfaire et vérifier les conditions d'égalité ou bien les contraintes, ces conditions sont représentées par l'équation imaginaire dite « Équation de continuité »

$$\Sigma \text{ productions} = \Sigma \text{ charges} + \Sigma \text{ pertes} \quad (\text{I-1})$$

Pour un réseau, on énonce que la puissance active fournit aux accès des réseaux par l'ensemble des producteurs est égale à chaque instant (vue qu'on ne peut pas emmagasiner l'énergie électrique sous aucune forme électrique et à importante quelle endroit du système) à la somme des puissances active absorbées des utilisateurs et des pertes actives dans le réseau (Lignes, générateurs, transformateurs).

Si cette équation n'est pas satisfaite c'est-à-dire. Apparition d'un déséquilibre, alors l'énergie cinétique entre en jeu, est comme cette énergie dépend de la vitesse du générateur. On conclut enfin que toute déséquilibre de puissance ce n'est qu'une variation de vitesse (fréquence).

Soit le schéma d'un générateur entraîné par une turbine Fig. (I-1).

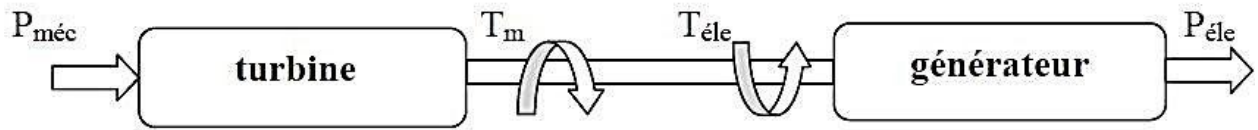


Figure (I-1) : Couples et puissance du système

On peut écrire en régime stationnaire

$$P_{mec} = P_e + P_{pertes} \quad (I-2)$$

En cas de déséquilibre (changement de vitesse), on tient compte alors de changement de l'énergie cinétique.

$$P_{mec} = P_e + P_{pertes} + I\omega \left(\frac{d\omega}{dt} \right) \quad (I-3)$$

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right) = \frac{(P_{mec} - P_e - P_{pertes})}{I\omega} \quad (I-4)$$

Cette équation montre bien que si :

$P_{mec} = P_e$	$\omega = \text{cte}$	$f = \text{cte}$
$P_{mec} > P_e$	$\omega \nearrow$	$f \nearrow$
$P_{mec} < P_e$	$\omega \searrow$	$f \searrow$

On constate que la variation de la puissance active P demandé, provoque une baisse ou augmentation simultanément de la vitesse du groupe générateur, cela est compensée par une variation de la puissance mécanique débutée, et cela ne peut être faite qu'avec un régulateur de la turbine, qui permette d'ouvrir ou fermer l'admission de la turbine. [1]

Enfin on peut conclure que :

La variation de charge nécessite un contrôle de la production d'énergie électrique. Cette méthode de contrôle est souvent appliquée automatiquement.

I-4- Etude d'un système de contrôle de fréquence à réponse fréquentiel

Le modèle de la boucle ALFC représenté par la Figure (I-6) doit agir lors de n'importe quelle perturbation par une réponse fréquentielle.

II-4-1- Type de générateur

Les relations de base, sont données par les relations suivantes :

$$I\alpha = T_{net} \quad (I-5)$$

$$M = \Omega i \quad (I-6)$$

$$P_{net} = \omega T_{net} = (I\alpha)\omega = M\alpha \quad (I-7)$$

Nous prenons: l'indice « 0 » pour les valeurs nominales et « Δ » pour toutes déviations.

Une machine tourne à ω_0 , L'angle de phase δ_0 , les déviations de $\Delta\delta$.

δ est l'angle entre l'axe de référence quand la machine tourne à ω_0 et l'axe quand la machine tourne à une accélération α .

La vitesse de la machine est donnée par :

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (I-8)$$

$$\Delta\delta = \int_0^t (\omega_0 + \alpha t) dt - \int_0^t \omega_0 dt = \omega_0 t + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha t^2 - \omega_0 t = \left(\frac{1}{2}\right) \alpha t^2 \quad (I-9)$$

La variation de la vitesse $\Delta\omega$ de sa valeur nominale, peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\Delta\omega = \alpha t = \frac{d}{dt}(\Delta\delta) \quad (I-10)$$

La relation entre la déviation de l'angle de phase et le couple d'accélération net est

$$T_{net} = I\alpha = I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (I-11)$$

La relation entre les déviations de la puissance mécanique et la puissance électrique.

$$P_{net} = P_{mec} - P_{élé} \quad (I-12)$$

D'où

$$P_{net} = P_{mec0} - \Delta P_{net} \quad (I-13)$$

$$P_{net0} = P_{mec0} - P_{élé0} \quad (I-13.a)$$

$$\Delta P_{net} = \Delta P_{mec} - \Delta P_{élé} \quad (I-13.b)$$

$$P_{net} = (P_{mec0} - P_{élé0}) + (\Delta P_{mec} - \Delta P_{élé}) \quad (I-14)$$

$$T_{net} = (T_{mec0} - T_{élé0}) + (\Delta T_{mec} - \Delta T_{élé}) \quad (I-15)$$

De la même manière pour les couples :

Utilisant l'équation (I-6) :

$$P_{net} = \omega T_{net} = (\omega_0 + \Delta\omega) \cdot (T_{net0} + \Delta T_{net}) \quad (I-16)$$

Substituant les équations (I-13) (I-14) :

$$(P_{mec0} - P_{élé0}) + (\Delta P_{mec} - \Delta P_{élé}) = (\omega_0 + \Delta\omega) [(T_{mec0} - T_{élé0}) + (\Delta T_{mec} - \Delta T_{élé})] \quad (I-17)$$

En régime permanent

$$P_{mec0} = P_{élé0} \quad \text{et} \quad T_{mec0} = T_{élé0}$$

Le deuxième terme

$$\Delta\omega(\Delta T_{mec} - \Delta T_{élé})$$

Peut être négligé

$$\Delta P_{mec} - \Delta P_{élé} = \omega_0(\Delta T_{mec} - \Delta T_{élé}) \quad (I-18)$$

D'après l'équation (I-10) :

$$(T_{mec0} - T_{élé0}) + (\Delta T_{mec} - \Delta T_{élé}) = I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (I-19)$$

$$\text{Ou} \quad T_{mec0} = T_{élé0}$$

On combinant (I-17) (I-18) on aura :

$$(\Delta P_{mec} - \Delta P_{élé}) = \omega_0 I \frac{d(\Delta\omega)}{dt} = M \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad (I-20)$$

Appliquons la transformé de Laplace dans équation (I-19) :

$$(\Delta P_{mec} - \Delta P_{élé}) = MS(\Delta\omega) \quad (I-21)$$

On note que $M = 2H$

H : Constante d'inertie = ω / S_{base}

La relation (I-20) est représentée sous forme d'un schéma bloc dans la Fig.(I-2)

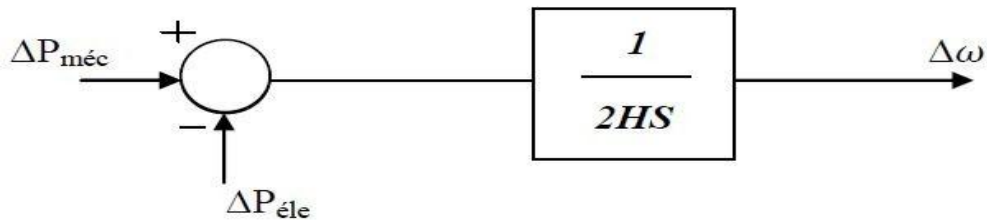


Figure (I-2) : Relation entre puissance électrique-puissance mécanique-vitesse

I-4-2- Type de charge

Les moteurs électriques représentent les charges majoritaires dans les installations électriques, caractérisés par la variation (énergie - fréquence) d'où l'utilité d'un modèle qui répond à ce changement

$$\Delta P_{L(fre)} = D\Delta\omega \quad \text{ou} \quad D = \frac{\Delta P_{L(fre)}}{\Delta\omega} \quad (\text{I-22})$$

Ou

$$D = \frac{\Delta P_{L(fre)}}{\Delta f} \quad (\text{pu ou MW/HZ})$$

$$\text{Donc on a: } \Delta P_{\text{élé}} = D\Delta\omega + \Delta P_L \quad (\text{I-23})$$

En remplace (I-21) dans (I-20)

$$\Delta P_{mec} = 2HS\Delta\omega + D\Delta\omega + \Delta P_L \rightarrow \Delta P_{mec} - \Delta P_L = (2HS + D)\Delta\omega \quad (\text{I-24})$$

Introduisant cette relation dans le bloc passé on obtient le schéma suivant :

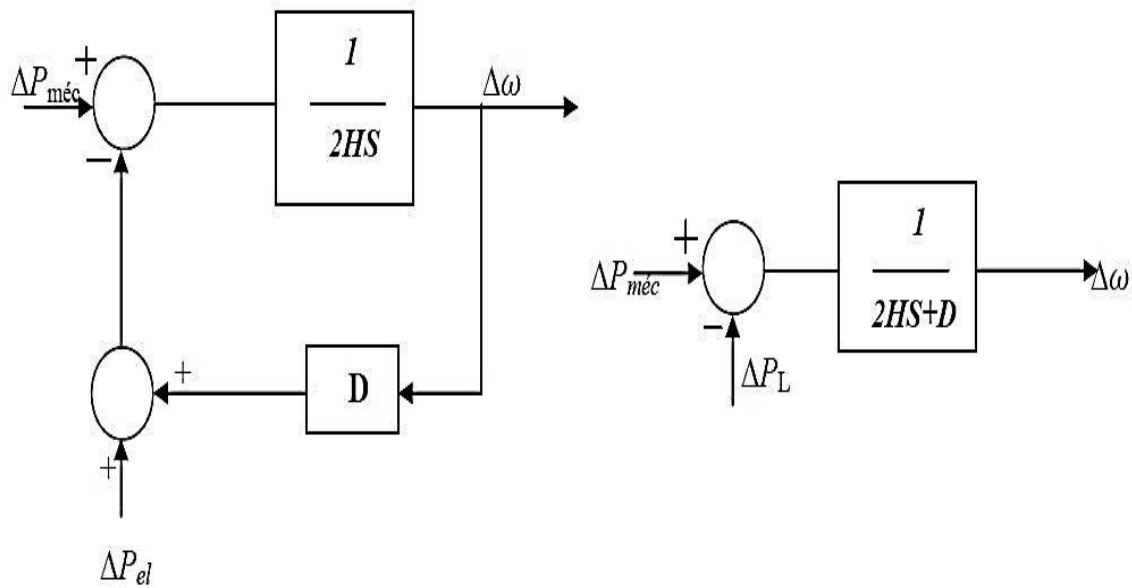


Figure (I-3) : schéma bloc du générateur + charge

Coefficient D :

D s'appelle le taux de variation de la puissance appelée avec la variation de la fréquence du système (Damping factor).

D=0 pour les charges résistives, **D** dépend de la nature des charges mécaniques entraînées.

S'il s'agit d'une charge constituée de moteur **D** est compris entre 0.5 et 2. On note que la valeur de **D** est changeable si la puissance de base du système est différente de la valeur nominale de la puissance de charge. [2]

I-4-3- Type du turbine

Turbine sans réchauffage :

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

$$G_T = \frac{\Delta p_{mec}}{\Delta P_{valve}} = \frac{1}{(1+ST_{ch})} \quad (I-25)$$

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, 0.5s. [1]

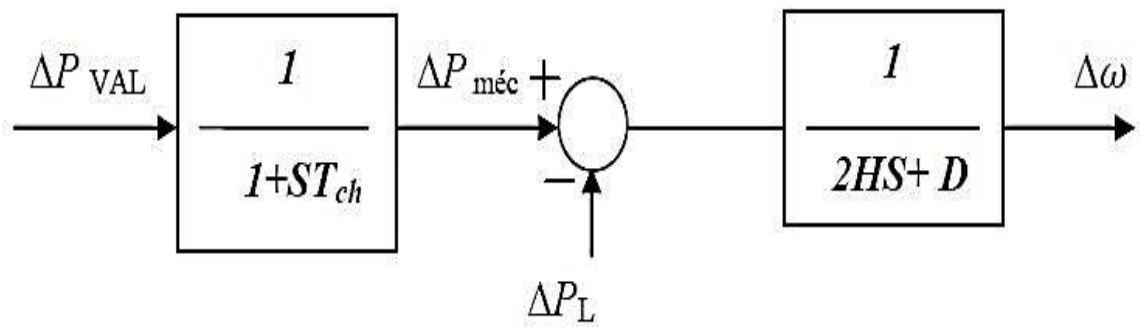


Figure (I- 4) : Type de turbine – générateur charge

I-4-4 Type gouverneur de vitesse

Le gouverneur est un mécanisme responsable de contrôle et ajuster sur les entrées des valves. Il y on a plusieurs types de gouverneur, le plus simple c'est le gouverneur représenté à la

Fig.(I-5.a) . Ce type est composé d'un mécanisme de mesure de vitesse qui va sensé la vitesse de la machine.

Cette dernière est comparée avec une vitesse de référence, cette comparaison donne naissance à une erreur $\Delta\omega$ qui va être amplifiée par un gain K_g après avoir changé de signe. Enfin on l'intègre pour produire un signal de contrôle ΔP_{valve} .

Si $\Delta\omega < 0$ $\Delta P_{valve} > 0$ ouverture de valve

Si $\Delta\omega > 0$ $\Delta P_{valve} < 0$ Fermeture de valve

Donc notre gouverneur est un régulateur PI.

Pour des raisons de stabilité et pour tendre $\Delta\omega$ vers 0 le système doit avoir une boucle autour de l'intégrateur comme il est montré dans la Fig.(I-5.b). Le schéma bloc pour ce gouverneur a un net gain de $1/R$ et une constante de temps T_g Fig.(I-5.c) .

Ou $R = \Delta\omega / \Delta P$ (pu) ou HZ/MW coefficient de régulation $\frac{1}{R}$:gain de régulation

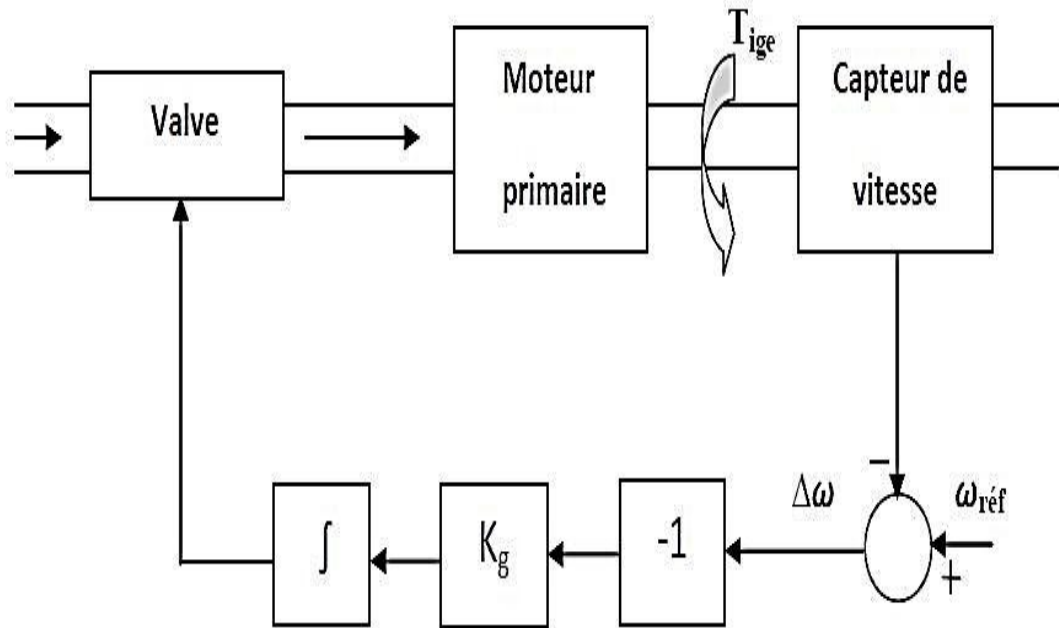


Figure (I.5-a) : Représentation du gouverneur de vitesse

R : coefficient de régulation.

C'est une caractéristique de régulation de vitesse qui détermine le changement de la puissance générée pour un changement de fréquence qui égale en pu de la fréquence divisé par le changement en pu de la puissance générée.

La valeur de R est généralement égale à 0.06 pour les grands systèmes.

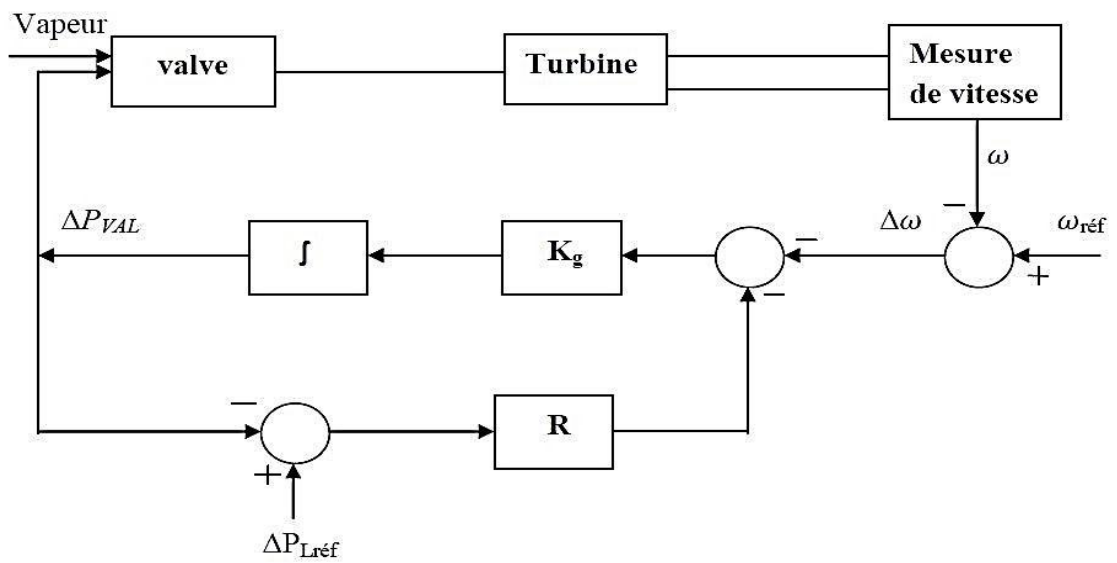
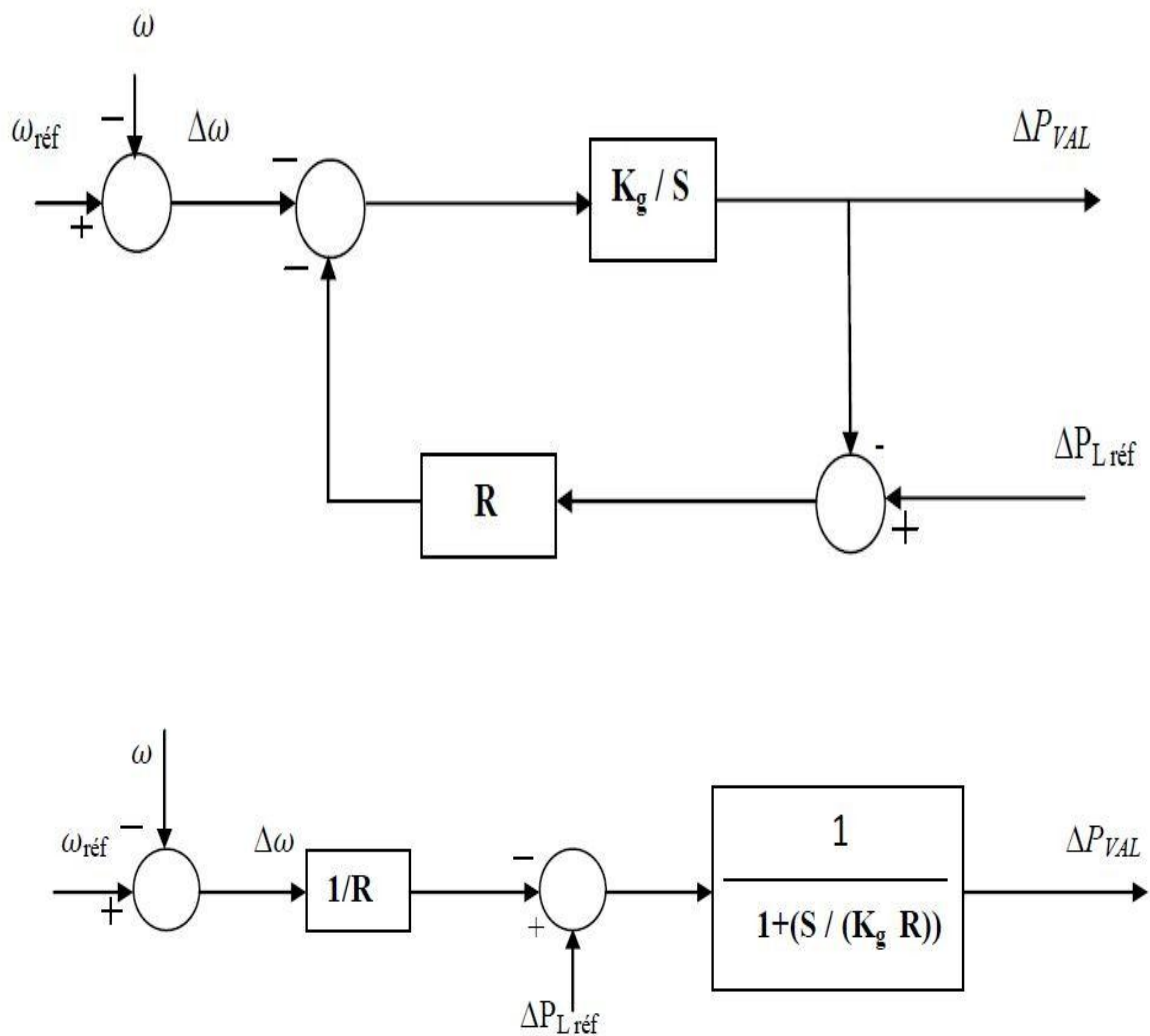


Figure (I-5. b): gouverneur avec boucle de retour



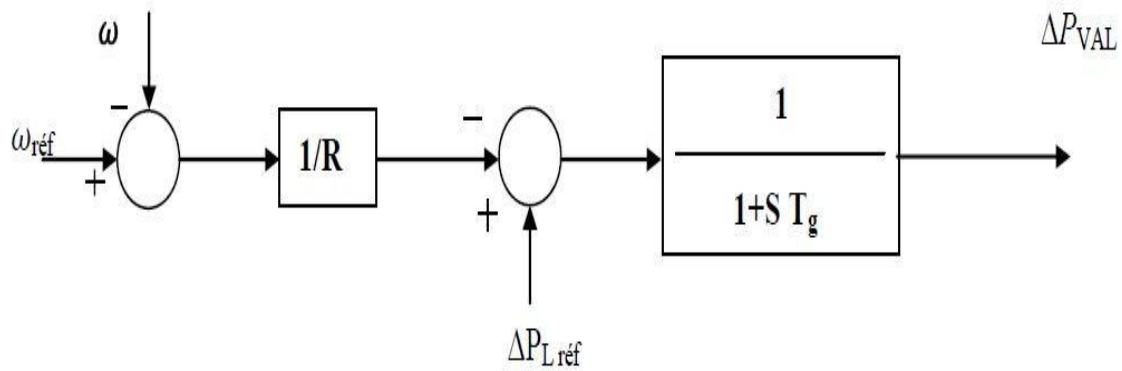


Figure (I-5-c) : fonction de transfert du gouverneur

N.B : les générateurs alimentés en parallèle ont le même coefficient de régulation pour qu'ils puissent se subdiviser les variations de charge chacun suivant sa capacité.

Introduisant le gouverneur dans le schéma précédent on obtient donc le schéma globale comme il est montré dans la Fig.(I-6)

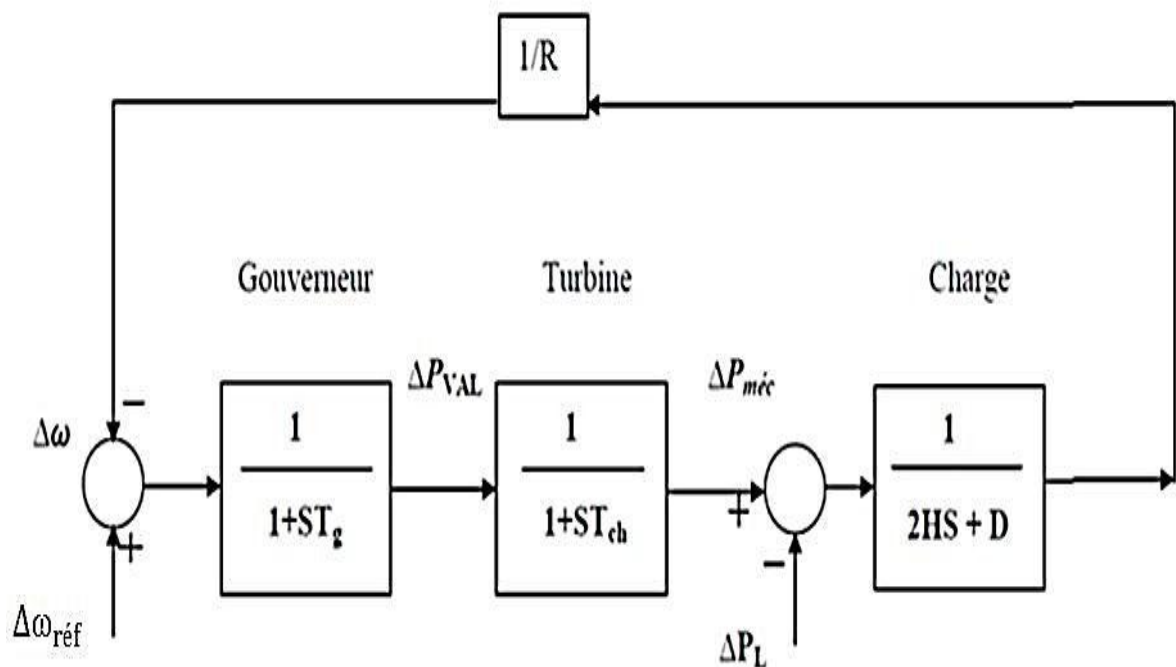


Figure (I-6) : Schéma bloc du gouverneur turbine – générateur – charge

Supposant qu'on a un changement de charge sous forme d'échelon : **[1][3]**

$$\Delta P_L(s) = \frac{\Delta P_L}{s} \quad (\text{I-26})$$

$$\left[\Delta P_{ref} - \left(\frac{1}{R} \right) \Delta \omega \right] (G_g \cdot G_T - \Delta P_L) \cdot \frac{1}{(MS+D)} = \Delta \omega \quad (\text{I-27})$$

pour

$$G_g = \frac{1}{1+ST_g} \quad ; \quad G_T = \frac{1}{1+ST_{ch}} \quad (\text{I-28})$$

$$\Delta P_{ref} = 0$$

$$\left(\frac{1}{MS+D} \right) \left(- \left(\frac{1}{R} \right) \Delta \omega G_g G_T \right) - \Delta P_L \left(\frac{1}{MS+D} \right) = \Delta \omega \quad (\text{I-28.a})$$

$$\Delta \omega(s) = -\Delta P_L(s) \left[\left(\frac{1}{MS+D} \right) / \left(1 + \left(\frac{1}{R} \right) G_g G_T \left(\frac{1}{MS+D} \right) \right) \right] \quad (\text{I-28.b})$$

$$= -\Delta P_L(s) \left[\left(\frac{1}{MS+D} \right) / \left(1 + \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{1}{1+ST_g} \right) \left(\frac{1}{1+ST_{ch}} \right) \left(\frac{1}{MS+D} \right) \right) \right] \quad (\text{I-28-c})$$

Appliquons le théorème de la valeur finale

$$\Delta \omega_0(s) = \lim_{s \rightarrow 0} [s \Delta \omega(s)] \quad (\text{I-29})$$

$$\Delta \omega_0(s) = \left(-\frac{\Delta P_L}{D} \right) / \left(1 + \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{1}{D} \right) \right) = -\frac{\Delta P_L}{n \left(\frac{1}{R} \right) + D} \quad (\text{I-29-a})$$

$$\text{Pour } D \rightarrow 0 \quad \Delta \omega = -R \Delta P_L \quad (\text{I-30})$$

$$\text{Pour } R \rightarrow \infty \quad \Delta \omega = -\frac{\Delta P_L}{D} \quad (\text{I-31})$$

Si on plusieurs générateurs et chacun a son propre gouverneur l'erreur de la variation $\Delta \omega$ devient :

$$\Delta \omega = \Delta P_L / \left(\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + \dots \left(\frac{1}{R_n} \right) \right) + D \quad (\text{I-32})$$

I-5- Résultats de simulation

Réponse fréquentielle du système à la suite d'une telle perturbation on a considéré que la variation de ΔP_L est sous forme de fonction échelon P_{step} . On choisit les paramètres suivants :

$$H = 3.5, D = 1, T_g = 0.3s, T_{ch} = 0.1s, R = 0.06.$$

La Fig. (I-7) montre la variation de la vitesse en fonction du temps une sinusoïde amortie, qui diminue en fonction du temps jusqu'à un minimum puis augmente à un niveau de vitesse qui se stabilise dans la limite de 4.5(s) ou $\Delta\omega = -0.057(\text{rad/s})$

La Fig.(I-12) et Fig.(I-13) montre la variation de valve et puissance mécanique ΔP_{valve} , ΔP_{mec} .

I-5-1- Etude des paramètres et leurs influences

I-5-1-1- Influence de paramètre T_g :

La Fig (I-9) montre que l'influence du paramètre T_g est relativement faible sur la variation $\Delta\omega$. Plus T_g est petit le système va se stabiliser rapidement et le dépassement devient faible aussi. Pour les différentes valeurs de T_g ($T_g = 0.15 ; 0.35 ; 0.55s$) On voit que pour $T_g = 0.15$ Le système se stabilise à la limite d'une seconde et dépassement est faible.

I-5-1-2-Influence des constantes de temps T_g et T_{ch} :

D'après l'équation (I-23), si on néglige T_{ch} , on obtient :

$$\Delta\omega(s) = R / (1 + R(MS + D)) \cdot \Delta P_L(s) \quad (I-33)$$

Pour un échelon de $\Delta P_L(s)$ la Fig. (I-8) montre que la réponse est purement exponentielle. On comparant la réponse de cette figure avec celle de la Fig. (I-7), on constate que la réponse avec les constantes T_{ch} et T_g sont indispensables et importants pour que le système oscille et soit amortie.

I-5-1-3-Influence de paramètre R

L'ouverture de la boucle de gain de régulation est équivalente à $R = \infty$

La Fig. (I-10) montre que la réponse de vitesse de système est purement exponentielle, la variation $\Delta\omega = -1 \text{ rad/s}$ le système va se stabiliser vers 37 s.

La Fig. (I-11) montre pour les différentes valeurs de R ($R = 0.02 ; 0.04 ; 0.06$) que

1- plus R est petite plus $\Delta\omega$ est petite ($R = 0.02 ; \Delta\omega = 0.02$).

2- la vitesse de système augmente pour R petite c.à.d. pour un gain de régulation élevé :

D'après ces deux figures on montre que la présence de gain de régulation $1/R$ est la minimisation de R sons conseillés.

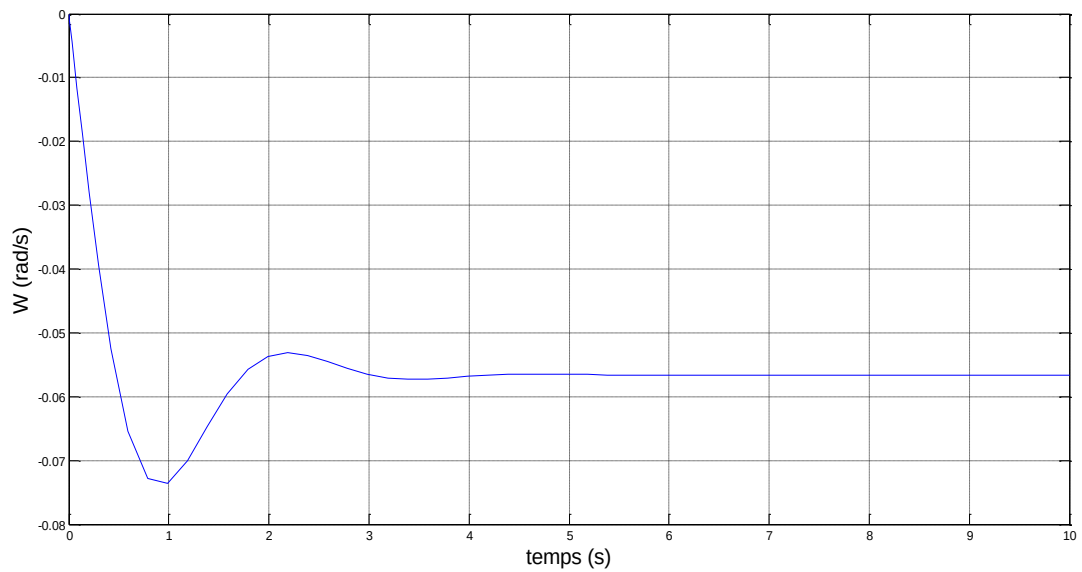


Figure (I-7) : Réponse de variation de ω pour step de P_L

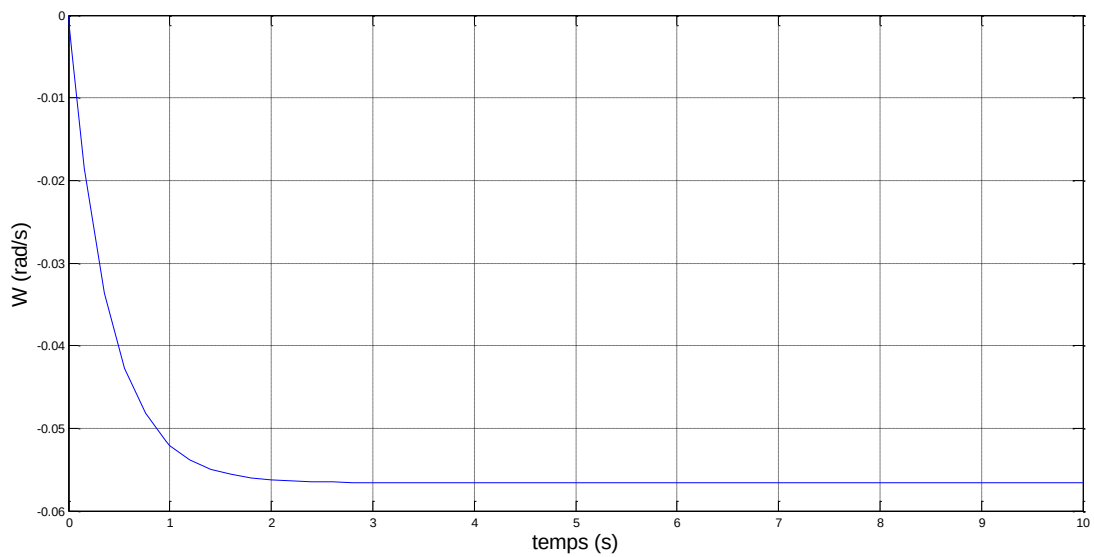


Figure (I-8) : Réponse de la boucle LFC avec ($T_g = T_{ch} = 0$)

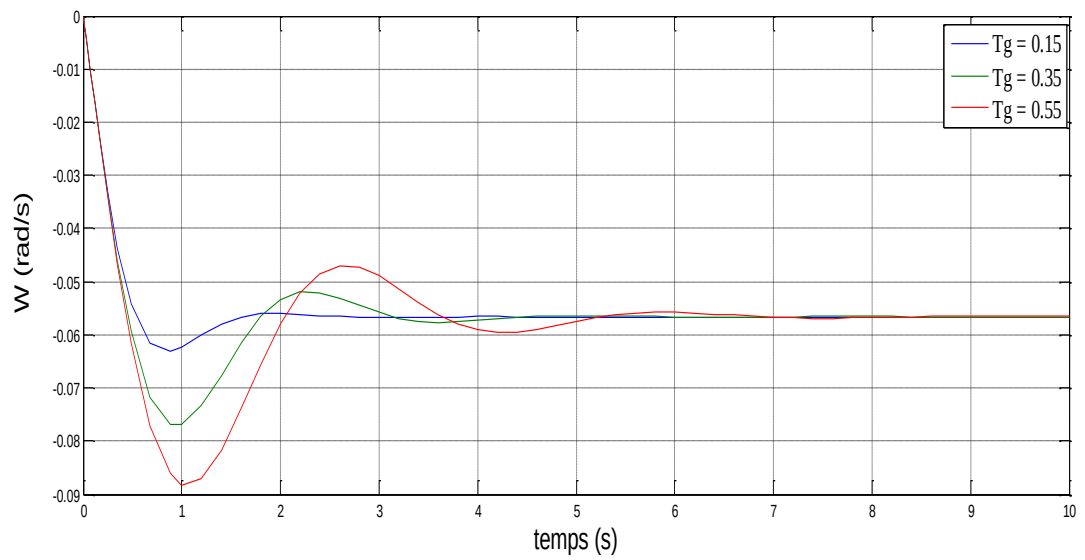


Figure (I-9) : Réponse de variation de ω pour T_g variable

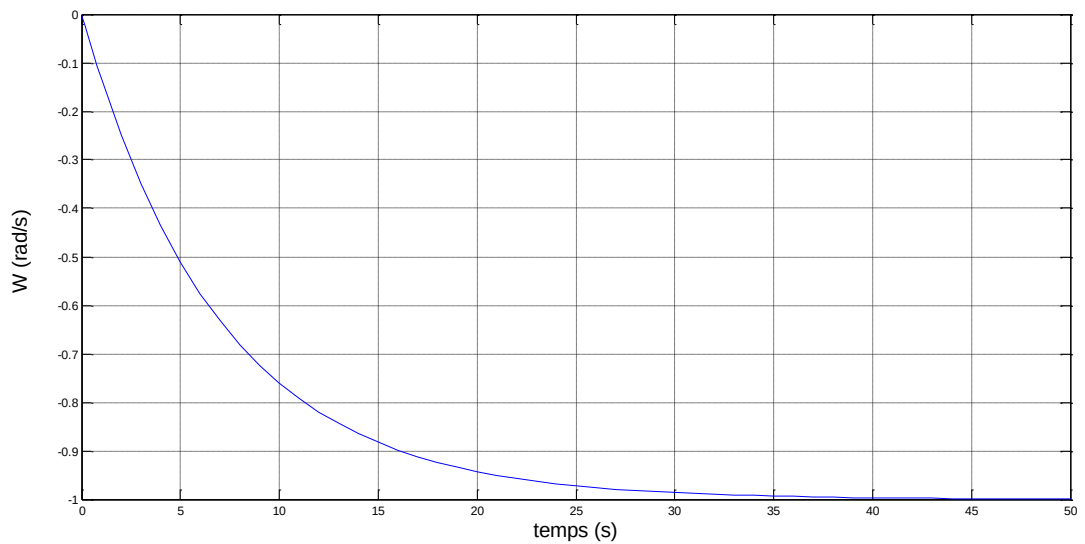


Figure (I-10) : Réponse de variation de ω pour la boucle de R ouverte

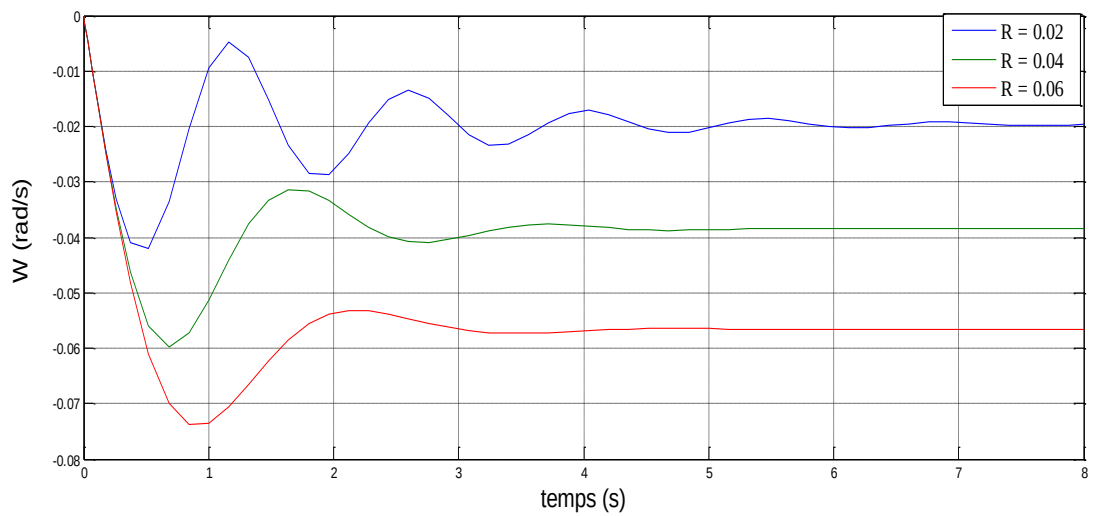


Figure (I-11) : Réponse de variation de ω pour R variable

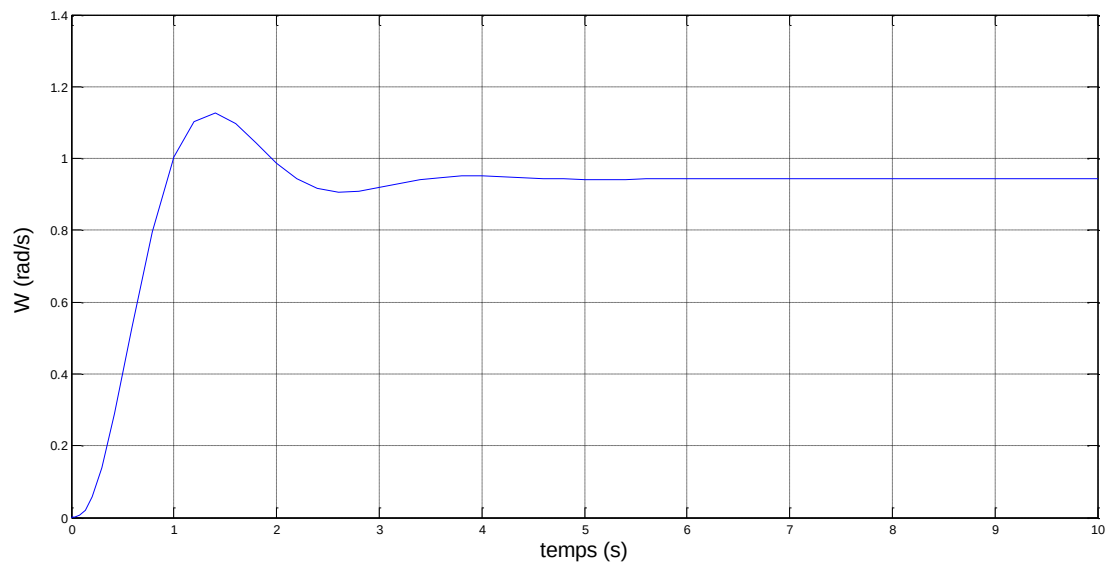


Figure (I-12) : Réponse de variation de ΔP_{valve}

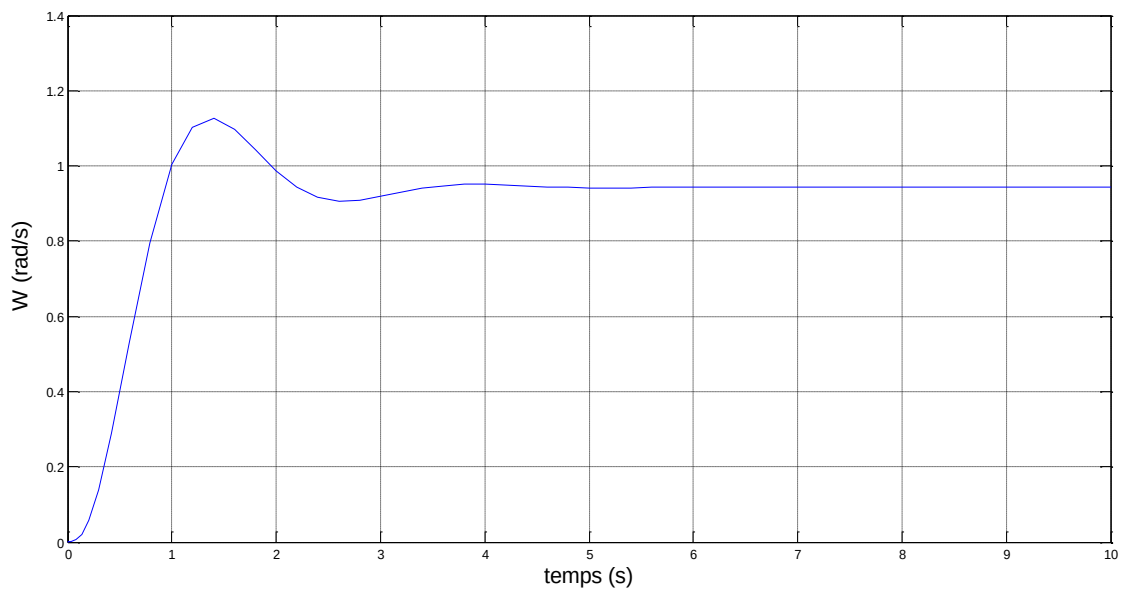


Figure (I-13) : Réponse de variation de ΔP_{mec}

I-6- Boucle LFC secondaire « contrôle supplémentaire »

Le type de contrôle étudié doit satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- Il faut que la boucle de contrôle soit stable.
- Après un changement de charge sous forme P_{ch} (step) il faut que l'erreur de fréquence ou vitesse soit égale à 0.

Pour satisfaire à ces besoins. Un contrôle supplémentaire est additionné à la boucle primaire. On appelle contrôle « le contrôle intégrale » « reste contrôle ».

Ce type de contrôle est additionné au gouverneur, voir Fig. (I-23).

La stratégie de ce contrôle se résume que le signal donné par le gouverneur est obtenue après l'amplification et l'intégration de l'erreur de fréquence ou vitesse c'est-à-dire :

$$\Delta P_{\text{ref}} = -K\Delta\omega dt \quad (\text{I-34})$$

L'unité de **K** est (MW/HZ) ou (pu)

La constante d'amplification **K** contrôle la moyenne de l'intégration et par suit la vitesse de réponse de la boucle.

La polarité négative de l'intégrateur doit être choisit pour donner un signal négative si l'erreur de la fréquence ou vitesse est positive. On appelle le signal qui alimente l'intégrateur par ACE « Area contrôle erreur ».

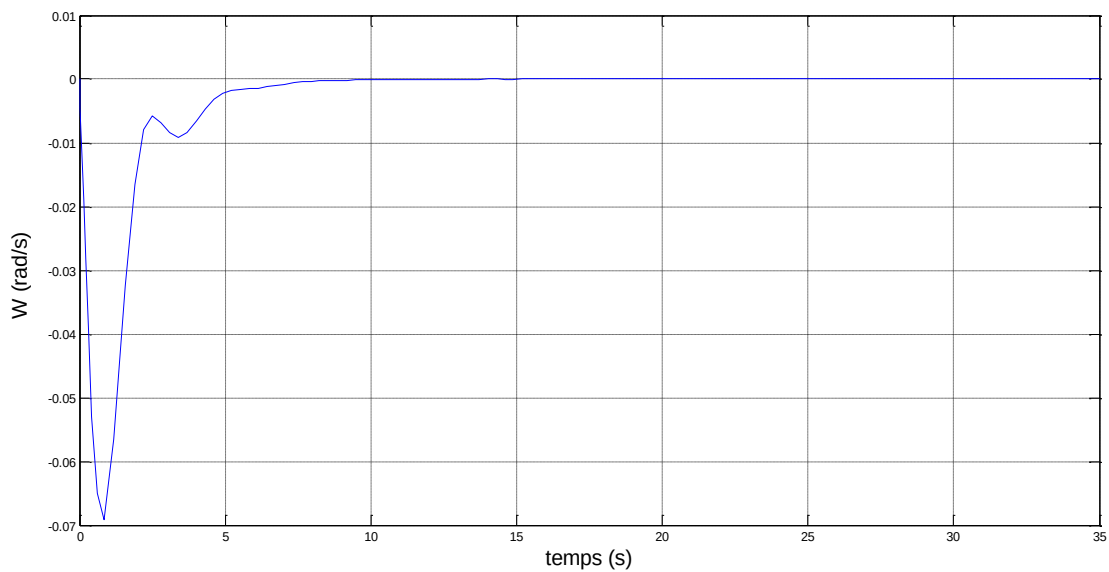


Figure (I-14) : Réponse de variation de ω pour $K = 9$

L'intégrateur va donner une erreur statique égale à zéro pour la raison suivante:

Comme l'erreur est encore apparue, l'intégrateur va continuer à donner des signaux qui causent le fonctionnement du gouverneur, le signal de sortie de l'intégrateur et du gouverneur atteint une valeur constante seulement après que l'erreur de fréquence ou vitesse soit égale à zéro.

La Fig. (I-15) montre les résultats de simulation pour différentes valeurs de cas. Une étude sur les courbes de réponse montre que l'erreur $\Delta\omega$ va diminuer on augmentant la valeur de **K** jusqu'à elle atteindre l'axe de zéro ($\Delta\omega = 0$ rad/s pour $K=9$) va diminuer par le même exponentielle montré dans la Fig. (I-7) cette exponentielle va diminuer lui aussi en augmentant la valeur de **K**.

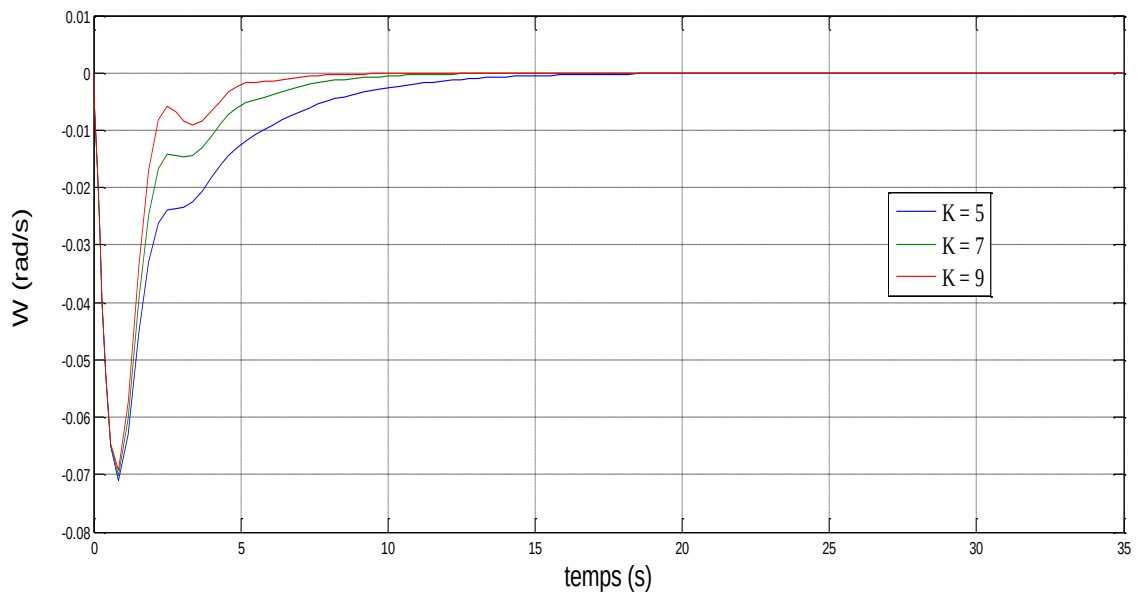


Figure (I- 15) : Réponse de variation de ω pour K variable

Paramètres	Valeurs
R : coefficient de régulation.	0.06
D : coefficient de la charge.	1
H : constant d'inertie.	0.3
T_{ch} : Constant de temps de la charge.	0.1
T_g : Constant de temps du gouverneur.	3.5

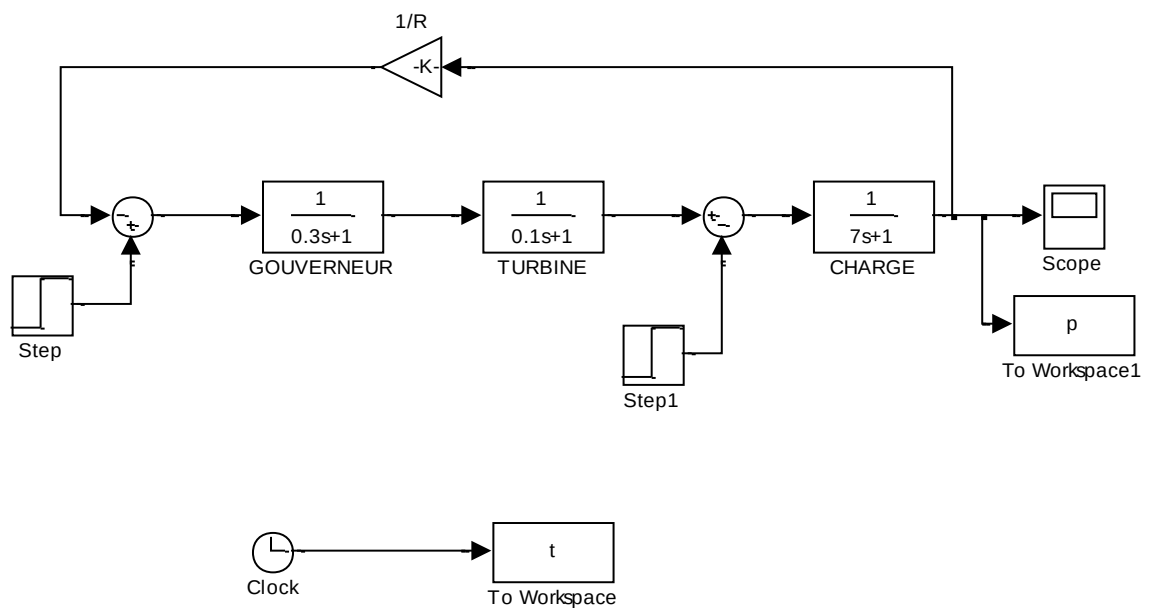


Figure (I-16) : schéma bloc de variation de ω pour step de P_L

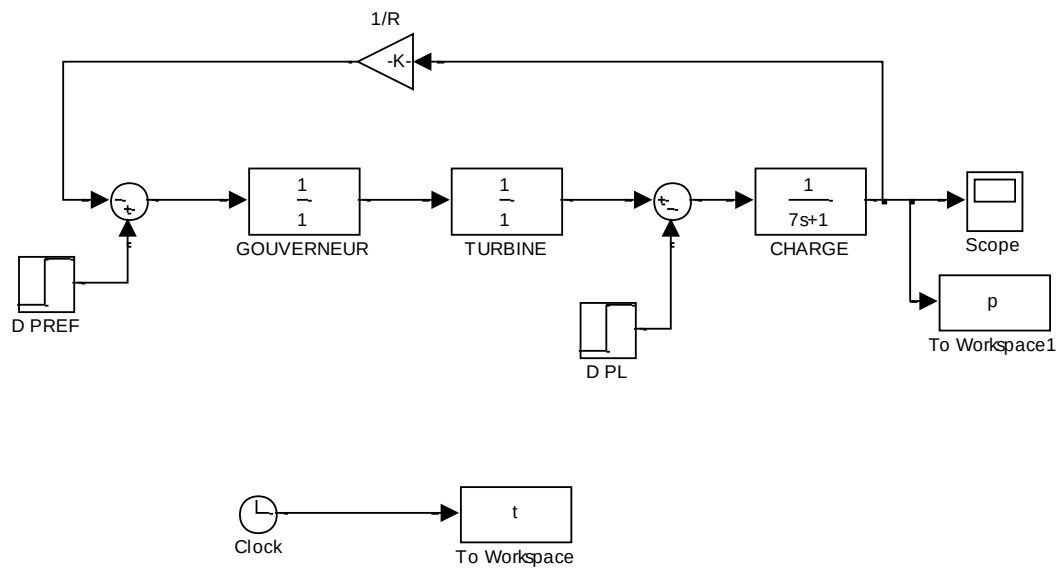


Figure (I-17): schéma bloc de la boucle LFC avec ($T_g = T_{ch} = 0$)

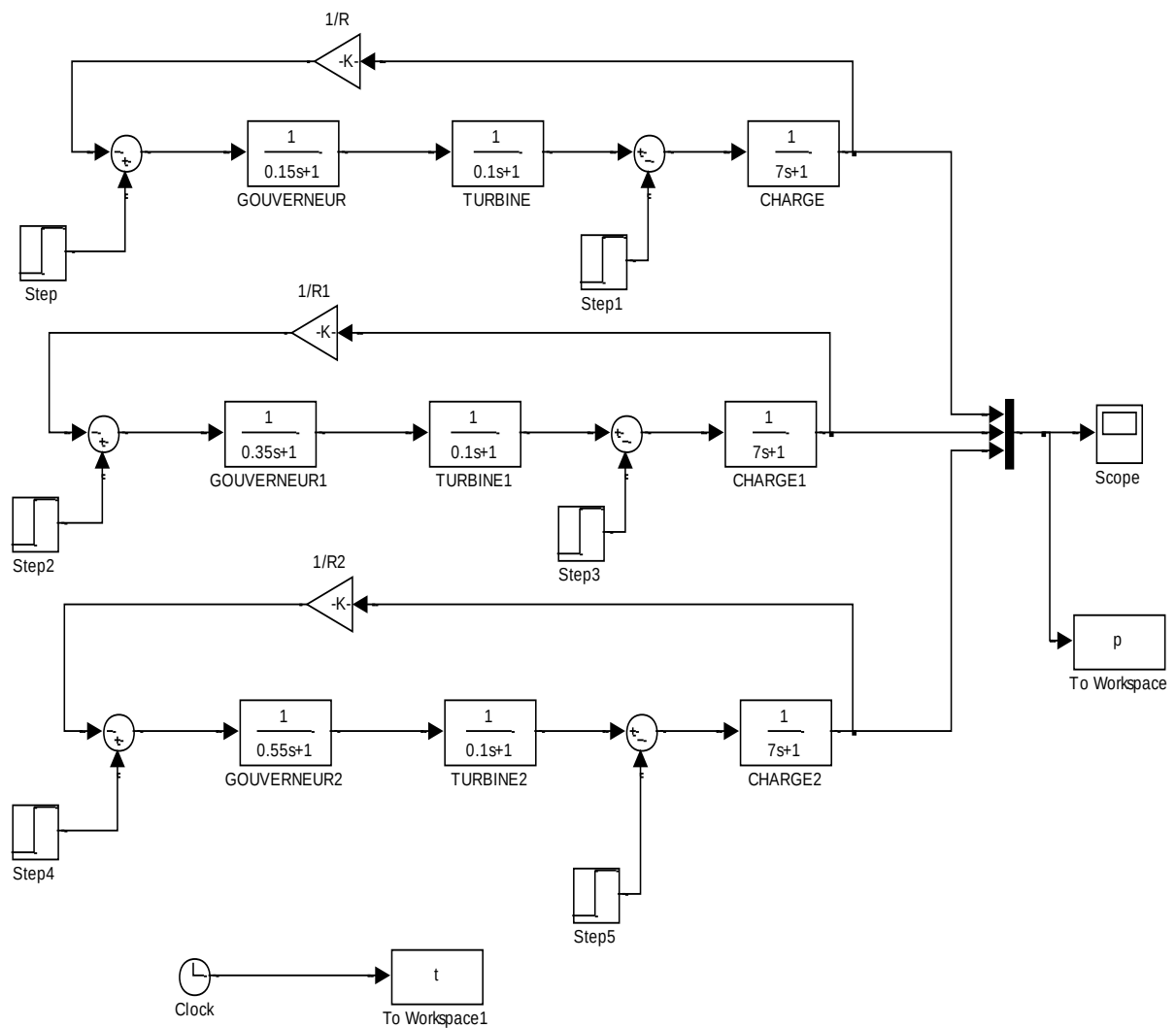


Figure (I-18): schéma bloc de variation de ω pour T_g variable

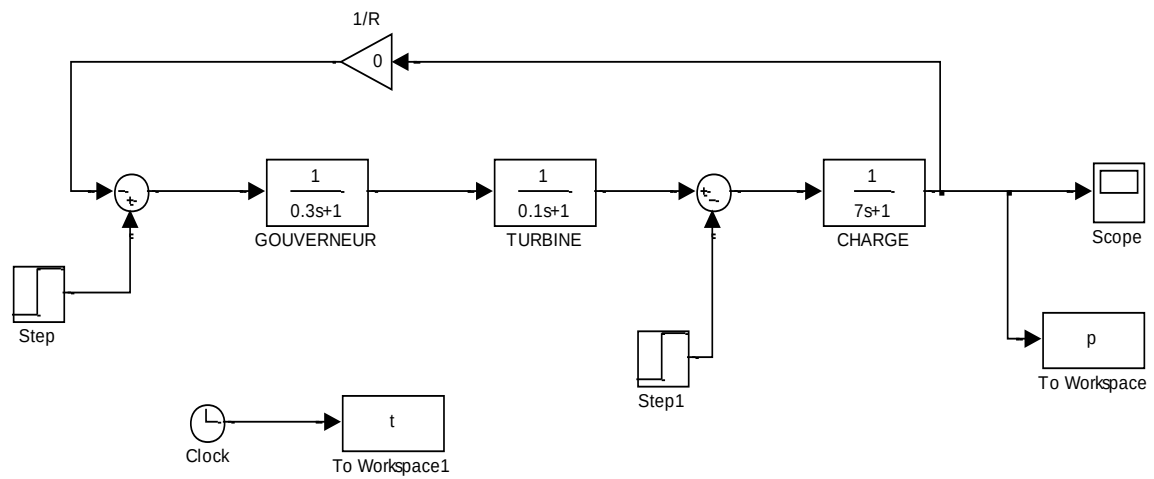


Figure (I-19): schéma bloc de variation de ω pour la boucle de R ouverte

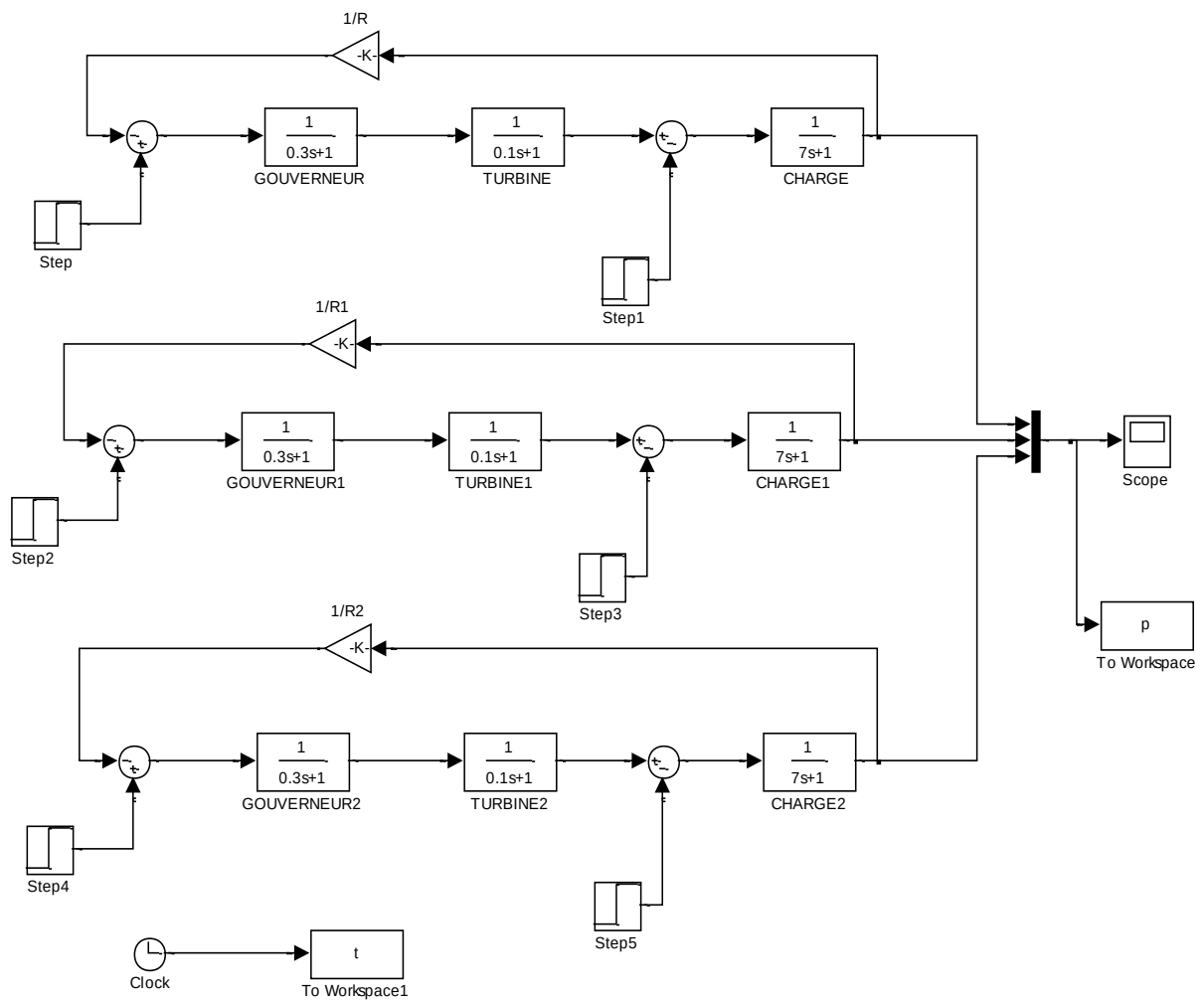


Figure (I-20): schéma bloc de variation de ω pour R variable

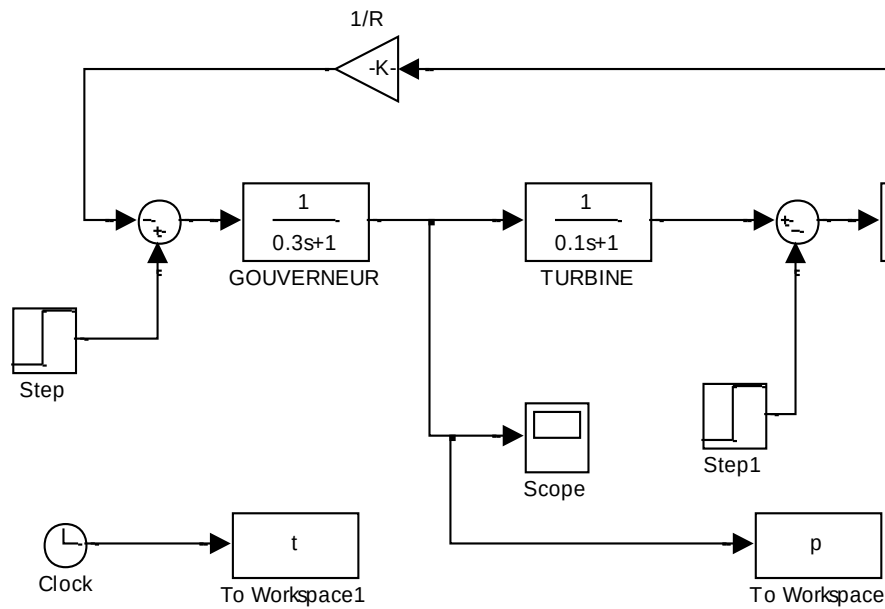


Figure (I-21): schéma bloc de variation de ΔP_{valve}

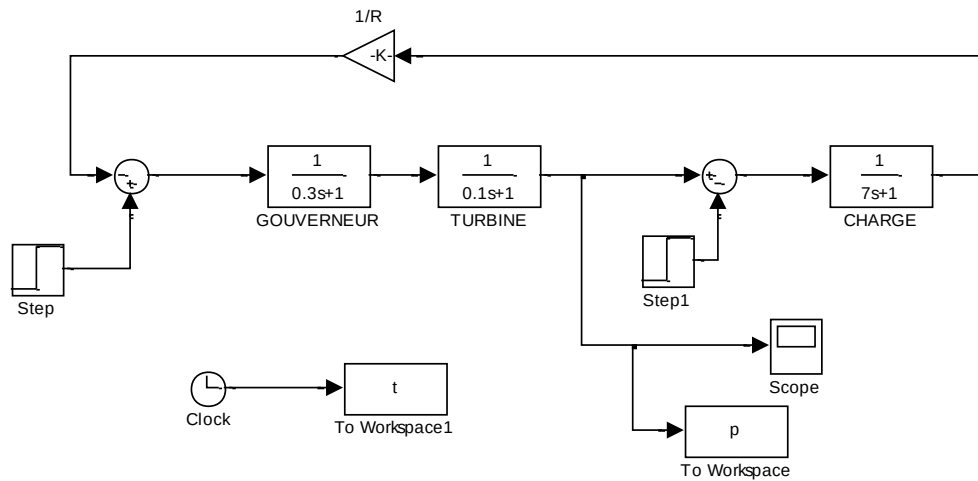


Figure (I-22) : schéma bloc de variation de ΔP_{mec}

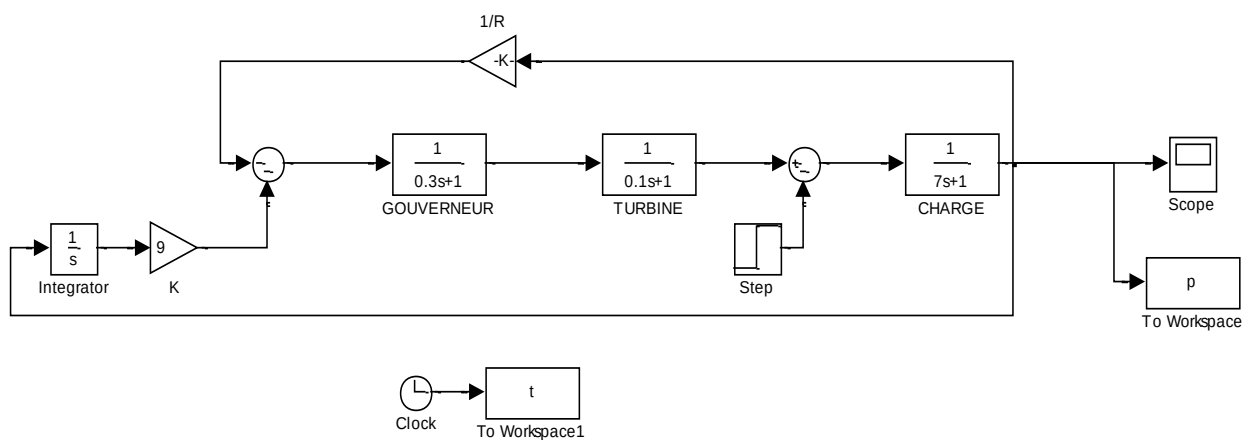


Figure (I-23): schéma bloc de variation de ω pour $K = 9$

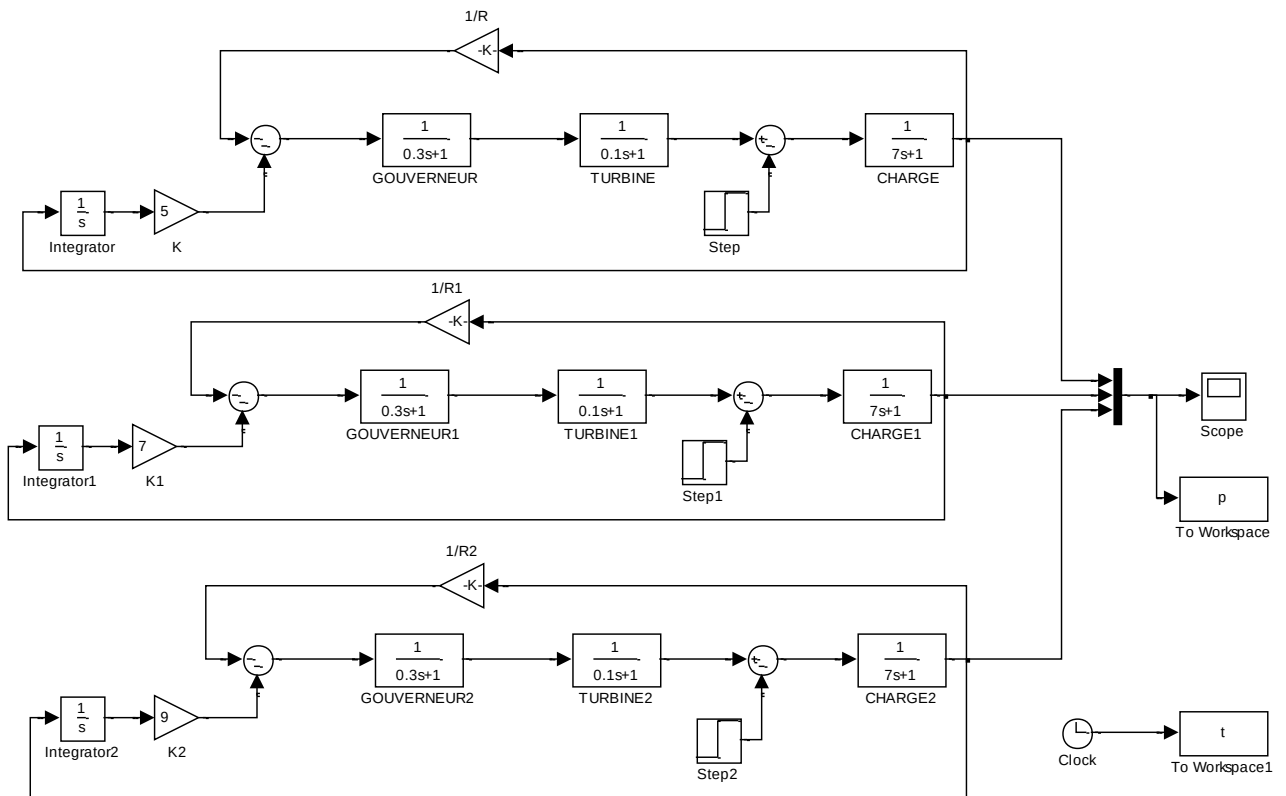


Figure (I-24): schéma bloc de variation de ω pour K variable

I-7-Conclusion :

Dans présent la modéliser la boucle (LFC) en détail (équation, transformation de Laplace, modélisation, schéma bloc, simulation).

Dans ce travail, nous avons étudié le système de contrôle de fréquence bouclé (LFC).

La variation des paramètres du système donnent la bonne réponse et pour obtenir un résultat précis et comparer aussi entre les différents résultats.

En fin, on dit que es paramètres de la boucle de contrôle de la fréquence jouent un rôle très important pour maintenir la fréquence constante.

II.1 Introduction :

Le système de contrôle de l'excitation contrôle la production de la F.E.M du générateur et la tension final transmise, ainsi que le facteur de puissance et l'écoulement du courant de la source aussi.

Nous évoquerons principalement dans ce chapitre la régulation de la tension dont le rôle n'est pas limité à la borne constante mais aussi joue également un rôle très important dans la stabilité de système.

Pour cela on dispose d'un régulateur qui ne peut agir que sur le courant d'excitation du rotor de la machine (en régime quasi- stationnaire),son rôle est de maintenir ou de ramener la tension efficace U à une valeur de consigne fixe, soit de maintenir la puissance réactive Q dans certaines limites .

Ce réglage de la tension à la borne de la machine conduit à une surexcitation de la machine au moment d'une petite perturbation.

La surexcitation doit se manifester très proprement pour être efficace.

Ceci, ne peut être obtenu qu'à la prise d'un dispositif spécial sous forme d'une boucle appelé <<Régulateur automatique de tension (AVR) >> qui a pour rôle de pouvoir une tension finale du générateur constante pendant les changements naturels et petits de la charge.

Il y a plusieurs types de système d'excitation et de régulation de tension.

Nous prenons le modèle "type 1" développé par l'IEEE [3].

Ce modèle représente la majorité des systèmes qui se trouvent actuellement en service.

II.2.modèle mathématique du système d'excitation :

Premièrement décrivant en détail la boucle (AVR) entièrement en bloc Fig. (II-1)

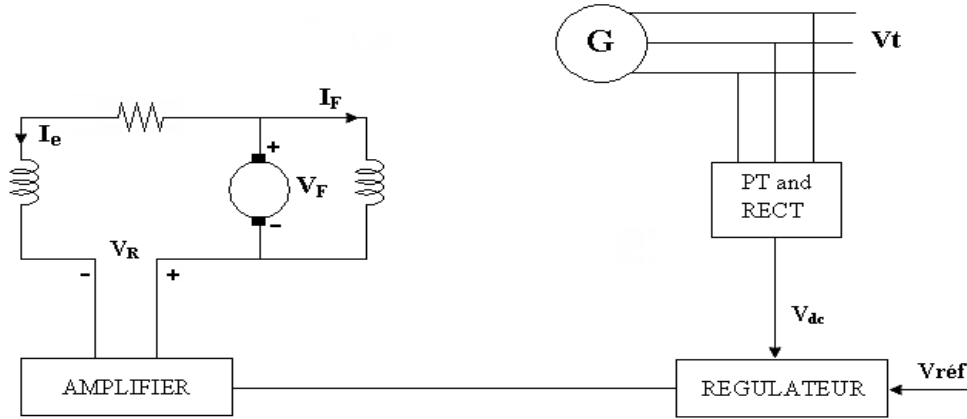


Figure (II-1): boucle A.V.R

II.2.1. Bloc de transformateur de potentiel et de rectificateur :

La seule possibilité de la connexion pour ce bloc est représentée sur Fig (II-2) où les potentiels des secondaires des transformateurs sont liés en série avec les rectificateurs couplés en point, pour délivrer une tension continue V_{dc} , ainsi que cette dernière est proportionnelle à la valeur moyenne des tensions de trois phases (a,b,c) qui sont aussi représentées par le symbole V_t . [5]

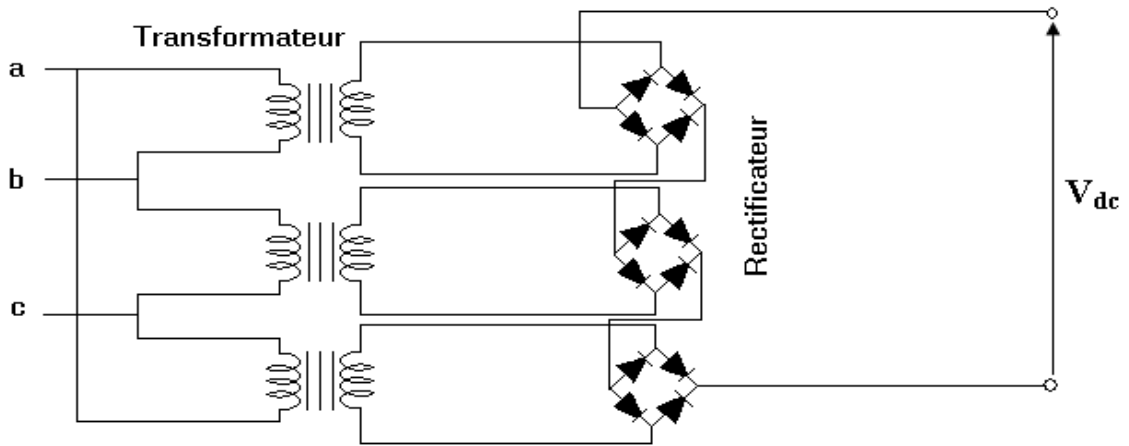


Figure (II-2): connexion de transformateur et rectificateur (PT et Rect)

D'où on peut écrire :

$$\Delta V_{dc} = \frac{K_r}{1+ST_r} V_t \quad (II-1)$$

La fonction de transfert de filtre sera donc :

$$G_r = \frac{\Delta V_{dc}(s)}{\Delta V_t(s)} = \frac{K_r}{1+ST_r} \quad (\text{II-2})$$

Avec $K_r = 1$

Le temps T_r est très petit d'où on le négligée souvent.

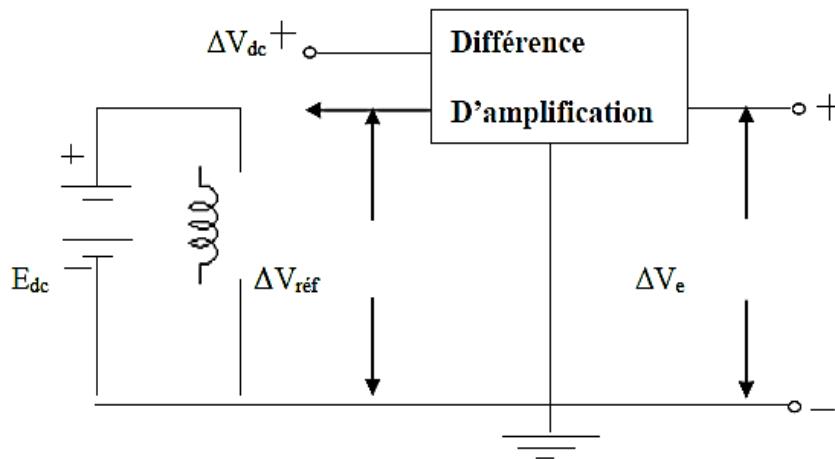
Sa valeur est comprise entre $0 < T_r < 0.06$ seconde [2] [3] [4]

II.2.2. Bloc de comparaison :

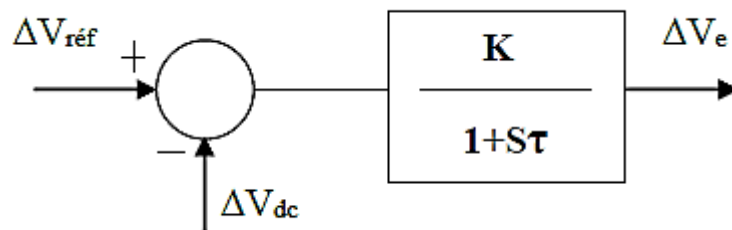
Le second bloc compare de plus la tension ΔV_{dc} et la référence pour fournir la tension de sortie ΔV_e appelle aussi erreur de tension Δe qui est proportionnelle à la différence.

Dans le domaine électronique, il y a plusieurs possibilités de représenter cette différence, l'une de ces cas est représentée dans la Fig. (II-3).

a)- circuit de connexion



b)- schéma bloc



Avec : $\tau = 0$ pour des circuits passif

Figure (II-3): représentation électronique de la différence d'amplification ainsi le comparateur
D'où l'équation

$$\Delta V_e = \Delta e = (\Delta V_{ref} - \Delta V_{dc}) \quad (\text{II-3})$$

II.2.3. bloc de l'amplificateur :

On établit les équations suivantes :

$$\Delta V_{ref} - \Delta V_t = \Delta e \quad (II-4)$$

Et

$$\Delta V_R = K_A \cdot \Delta e \quad (II-5)$$

Par la transformée de Laplace des équations (II-4) (II-5).

$$\Delta V_{ref}(s) - \Delta V_t(s) = \Delta e(s) \quad (II-6)$$

$$G_A = \frac{\Delta V_R(s)}{\Delta e(s)} = K_A \quad (II-7)$$

Ou G_A : la fonction de transfert de l'amplificateur.

En réalité l'amplificateur aura un retard qui peut être représenté par une constante de temps T_A et sa fonction de transfert serait alors de la forme.

$$G_A = \frac{\Delta V_R(s)}{\Delta e} = \frac{K_A}{1+ST_A} \quad (II-8)$$

Tel que $K_A = 400$ [1] [2] [3] $T_A = [0.01 - 0.05]$ s [1] [2] [3]

Pour assurer la linéarité de la tension amplifiée en prenant en considération la valeur maximum et minimum de la tension amplifiée pour empêcher la saturation en utilisant un limiteur voir Fig. (II-4)

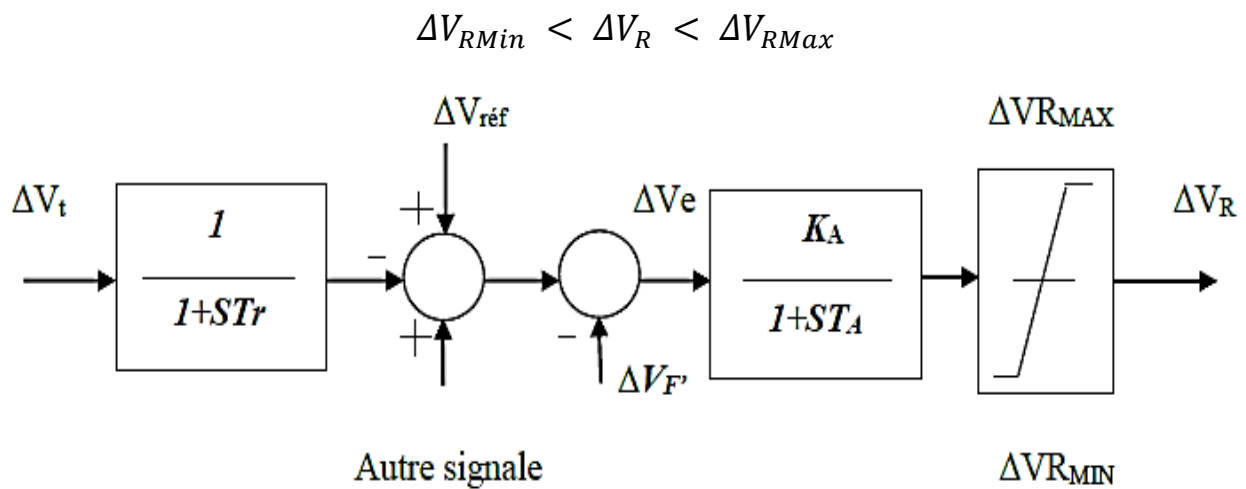


Figure (II-4): Schéma bloc de l'amplificateur

II.2.4. Modélisation de l'excitatrice :

L'excitatrice est l'élément principale dans la boucle (AVR) elle délivre l'énergie de courant continue à l'enroulement du générateur.

Elle doit avoir une capacité d'énergie adéquate et une vitesse de réponse satisfaisante.

Si R_e , L_e : résistance et l'inductance de l'excitatrice nous avons :

$$\Delta V_R = R_e \cdot \Delta I_e + L_e \frac{d\Delta I_e}{dt} \quad (\text{II-9})$$

L'excitatrice produit K_1 volts à l'induit pour chaque ampère du courant d'excitation le c'est-à-dire nous avons la proportionnalité suivant :

$$\Delta V_F = K_1 \cdot \Delta I_e \quad (\text{II-10})$$

La transformation de Laplace des deux équations (II-9), et (II-10) et élimination de ΔI_e , nous aurons la fonction de transfert suivant :

$$G_e = \frac{\Delta V_F(s)}{\Delta V_R(s)} = \frac{K_e}{1 + ST_e} \quad (\text{II-11})$$

Ou :

$$K_e = \frac{K_1}{R_e} \quad \text{et} \quad T_e = \frac{L_e}{R_e}$$

NB: souvent le bloc de fonction de transfert de l'excitatrice est représenté par:

$$G_E = \frac{\Delta V_F(s)}{\Delta V_R(s)} = \frac{1}{K_E + ST_E} \quad (\text{II-12})$$

$$K_E = [-0.17 - 1] [2]$$

$$T_E = [0.015 - 1] \text{ s}[2]$$

De ces équations nous présentons les fonctions de transfert cités au paravent et de l'excitatrice Fig. (II-5).

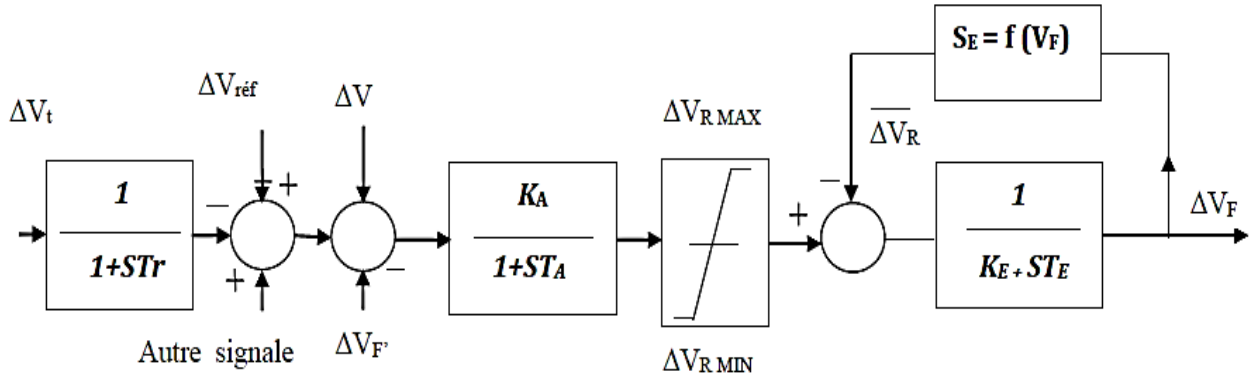


Figure (II-5): Boucle (AVR) sans compensation

L'augmentation du flux d'excitation dans les enroulements de l'excitatrice cause la non-linéarité de système d'excitation. Ce problème se manifeste par la saturation.

La saturation est représenté par la fonction $S_E = f(\Delta V_F)$. La tension de sortie ΔV_F est multipliée par la fonction non-linéaire de la saturation, le produit est retranché du signal de sortie de générateur. Le résultat est appliqué à la fonction transfert $\left[\frac{1}{K_E + S_E} \right]$ Fig. (II-5).

Donc on peut écrire :

$$\Delta \bar{V}_R = \Delta V_R - S_E \cdot \Delta V_F \quad (\text{II-13})$$

On note que lorsque la tension ΔV_F est suffisamment petite, le système est presque linéaire et dans ce cas la saturation est nulle ($S_E = 0$).

On souligne aussi qu'il y a une relation entre la tension ΔV_{FMax} de l'excitatrice et ΔV_{RMax} de générateur, la fonction de transfert de saturation S_E et K_E . Cette relation doit être satisfaire aux conditions de régime stable :

$$\Delta V_R - (K_E + S_E) \Delta V_F = 0 \quad (\text{II-14})$$

Tel que

$$\Delta V_{FMin} \leq \Delta V_F \leq \Delta V_{FMax} \quad (\text{II-15})$$

$$\text{A la limite maximum } \Delta V_F = \Delta V_{Fmax} \quad (\text{II-16})$$

$$\Delta V_{RMax} - (K_E + S_{EMax}) \Delta V_{FMax} = 0 \quad (\text{II-17})$$

La fonction de saturation :

Le calcul particulier de la valeur de S_E est expliqué la Fig. (II-6) S_E est défini par

la relation suivante :

$$S_E = \frac{(A-B)}{B} \quad (\text{II-18})$$

Où A, B sont des quantités définies de produire la tension de sortie ΔV_F

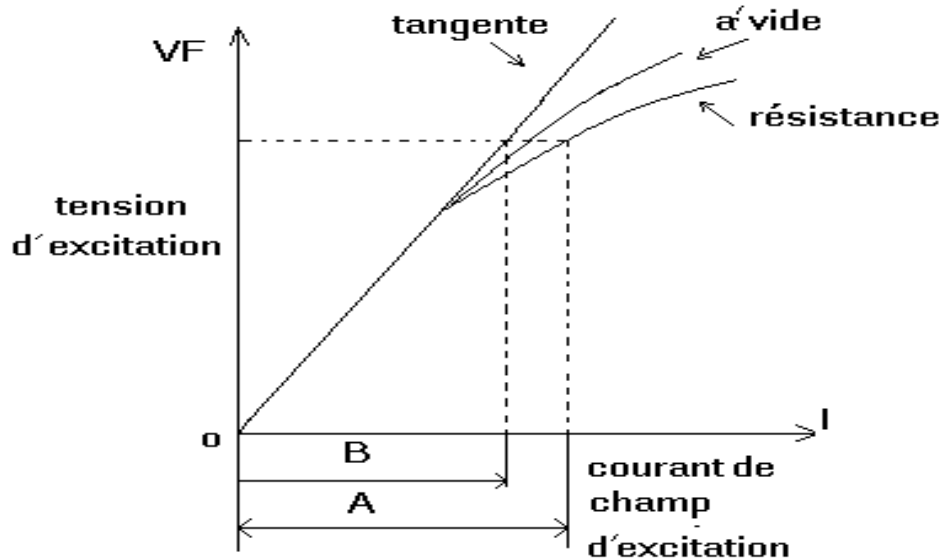


Figure (II-6): courbe d'estimation de la fonction de saturation S_E

II.2.5. Compensation de générateur :

La boucle de contrôle de l'excitatrice ne doit être prise qu'avec la compensation qui permette la performance stable et satisfaisante pour toutes les conditions de fonctionnement du système.

Le gain élevé de la boucle représenté sur la Fig. (II-5) à besoin d'une précision statique mais ceci cause une réponse dynamique indésirable et la possibilité d'instabilité. Par l'addition d'un compensateur de stabilité (stabilisateur) en série ou avec contre réaction (feedback), on peut résoudre cette situation indésirable, et la fonction de transfert sera :

$$G_F = \frac{\Delta V'_F(S)}{\Delta V_F(S)} = \frac{SK_F}{1+ST_F} \quad (\text{II-19})$$

$$K_F = [0.01- 0.08] \quad [2] [3]. \quad T_F = [0.5-2] \text{ second } [1] [2] [3]$$

Le réseau ajouté n'effectue pas le gain statique de la boucle et ainsi la précision statique, les caractéristiques de la réponse dynamique deviendraient plus meilleur Fig. (II-7).

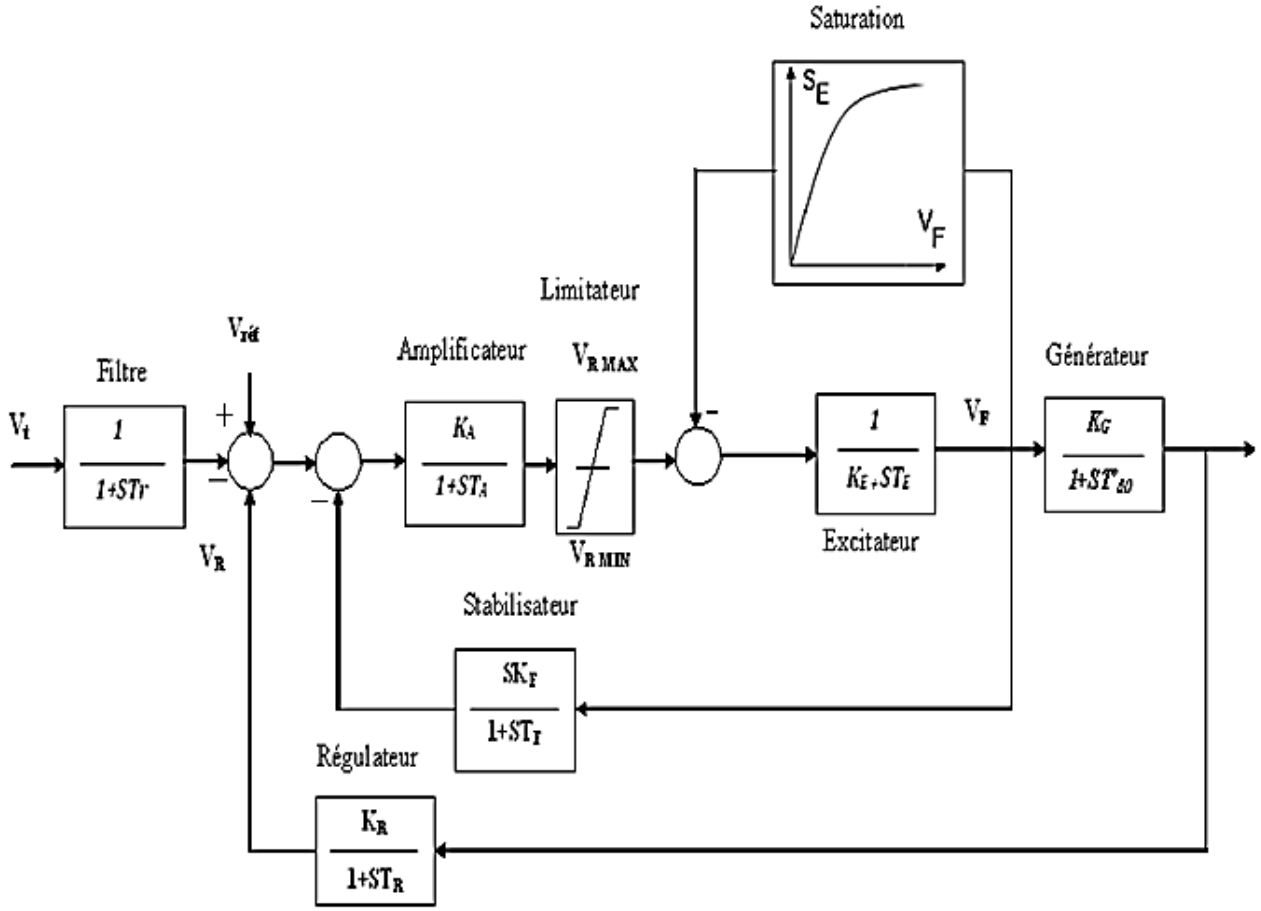


Figure (II-7): représentation contrôle de système d'excitation

II.3. Modélisation du générateur :

Le modèle du générateur fonctionne en coordination avec le modèle du système, il détermine le domaine de la tension et de courant nécessaire du système d'excitation pour maintenir la tension finale V_t réglée (constante).

Pour accomplir configuration, on a besoin d'établir la liaison dynamique manquante entre la tension d'excitation V_F et la tension finale V_t , tel que la tension égale à la FEM interne moins la chute de tension à travers l'impédance interne, il est claire la relation entre V_F , et V_t dépend du chargement du générateur. Aux chargements faibles et nuls, il existe la relation la plus simple possible ou la tension V_t est égale approximativement à la FEM interne E .

Dans ce cas la loi de KIRCHOFF de la tension, appliquée pour les enroulements d'excitation donne :

$$\Delta V_F = R_f \Delta I_f + L_f \left(\frac{d}{dt} \right) (\Delta I_f) \quad (\text{II-20})$$

$$\Delta V_F = \frac{\sqrt{2}}{\omega L_f \alpha} \left(R_f \Delta E + L_f \left(\frac{d}{dt} \right) (\Delta E) \right) \quad (\text{II-21})$$

$$\text{Ou la FEM : } E = \frac{\omega \phi_f \alpha}{\sqrt{2}} = \frac{\omega L_f \alpha}{\sqrt{2}} \quad (\text{II-22})$$

Le rapport de transfert du générateur

$$\frac{\Delta E(S)}{\Delta V_F(S)} = \frac{\Delta V_e(S)}{\Delta V_F(S)} = \frac{K_G}{1 + ST'_{d0}} \quad (\text{II-23})$$

$$\text{Ou } K_e = (L\omega) = \frac{f\alpha}{(\sqrt{2}R_f)} \quad (\text{II-24})$$

$$K_G = 1. \quad [1] \quad [2]$$

$$\text{Et } T'_{d0} = \frac{L_f}{R_f} \quad (\text{II-25})$$

$$T'_{d0} = [5-10] \text{ second } [1], [2]$$

Donc on complète la boucle (AVR) Fig. (II-7)

La tension finale de l'alternateur est contrôlée par un régulateur dont la fonction de transfert est :

$$G_R = \frac{\Delta V'_R(S)}{\Delta V_t(S)} = \frac{K_R}{1 + ST_R} \quad (\text{II-26})$$

$$K_R = 1. \quad [1] \quad [2] \quad [3]$$

$$T_R = [0 - 1] \text{ second } [2], [3]$$

NB: Pour faciliter l'analyse de la Fig. (II-7) de contrôle du système d'excitation, on simplifié la saturation par limitation de V_F et on élimine la constante de temps T_r car elle est relativement très faible devant les constantes du système et parfois considère comme nulle, le modèle devient voir Fig. (II-8) [1][2][3].

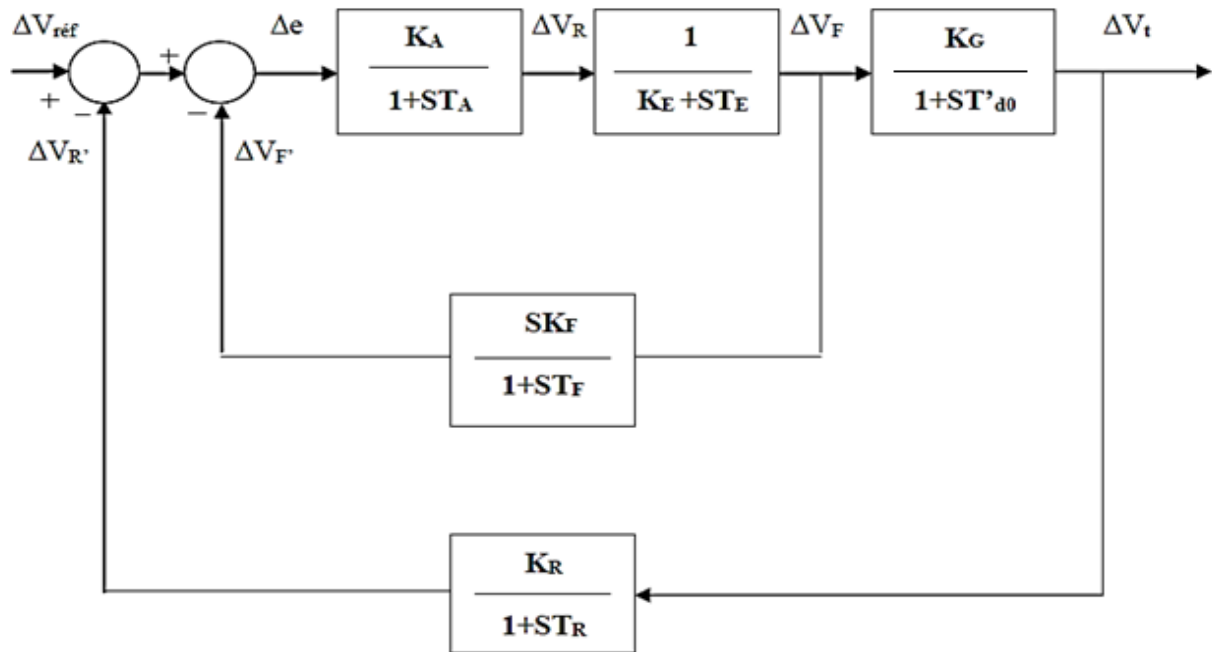


Figure (II- 8): Système d'excitation avec (filtre, limiteur), saturation négligés.

II.4. Résultats de simulations :

La machine synchrone se trouve à un régime de fonctionnement spécifié par les valeurs:

$$K_A = 400, T_A = 0.02, K_e = 0.015, T'_{do} = 6s, T_R = 0s, K_R = 1.$$

La fonction de transfert de système en boucle fermé :

$$\frac{\Delta V_t(s)}{\Delta V_{ref}(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (II-27)$$

Tel que

$$G(s) = \frac{400}{(1 + 0.02s)(1 + 0.015s)(1 + 6s)} \quad (II-28)$$

$$\text{Et} \quad H(s) = 1 \quad (II-29)$$

Examinant la réponse du système des gains statique pour un échelon d'entrée ΔV_{ref} égale (1pu), la Fig. (II-9) montre que la réponse de la tension finale oscille avant de se stabiliser sur sa valeur finale de régime permanent, cette réponse est caractérisée par :

- ✓ Un dépassement D très élevé $D\% = 59\%$
- ✓ Un amortissement $\xi = 0.16$
- ✓ Une pulsation $\omega_N = 0.145 \text{ rad/s}$

- ✓ Un temps de pic $t_{pic} = 21.87s$
- ✓ Un temps de montée $t_m = 14s$
- ✓ Un temps de réponse $t_{rép} = 5\% = 130s$

On remarque que le système boucle a répondu à la variation de sa consigne.

La réponse du système donne un dépassement très grand suivi par des oscillations en régime permanent la solution pratique pour ce phénomène est d'ajouter une boucle de compensation Voir Fig. (II-8).

En tenant compte de la forme normalisée de la boucle de compensation, la fonction transfert du système dévient :

$$\frac{V_t(S)}{V_{ref}(S)} = \frac{G(S)}{1+G(s)H(S)} \quad (II-30)$$

Tel que

$$G(S) = \frac{K_A}{T_A T_E T_G \left(s + \frac{1}{T_A}\right) \left(s + \frac{K_E}{T_E}\right) \left(s + \frac{1}{T'_{d0}}\right)} \quad (II-31)$$

$$\text{Et} \quad H(s) = 1 \quad (II-32)$$

Pour $K_A = 400$, $T_A = 0.02s$, $K_E = 1$, $T_E = 0.015s$, $T'_{d0} = 6s$, $K_R = 1$, $T_R = 0s$, $K_F = 0.04$, $T_F = 0.5s$.

La réponse de système représentée sur la Fig. (II-10), devient plus meilleur et l'allure de la tension finale présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ un dépassement D acceptable $D\% = 25\%$
- ✓ un amortissement $\xi = 0.4$
- ✓ une pulsation naturel $\omega_N = 0.17 \text{ rad/s}$
- ✓ un temps de pic $t_{pic} = 13s$
- ✓ un temps monte $t_m = 0.8s$
- ✓ un temps de réponse $t_{rép} = 5\% = 44s$

L'utilisation de la boucle de stabilité a introduit deux paramètres représentés Par un gain K_F et une constant de temps T_F .

Pour déterminer une valeur optimal du gain K_F et la constant de temps T_F , nous présentons

les résultats de simulation, la Fig. (II-11) nous montre l'effet de variation de K_F égal (0.02, 0.04, 0.06, 0.08) en tenant T_F égal à constante ($T_F = 0.5s$).

La Fig. (II-12) nous montre la variation de T_F égal (0.3, 0.5, 0.6, 0.8)(s) en tenant K_F égal à une constante ($K_F = 0.02$).

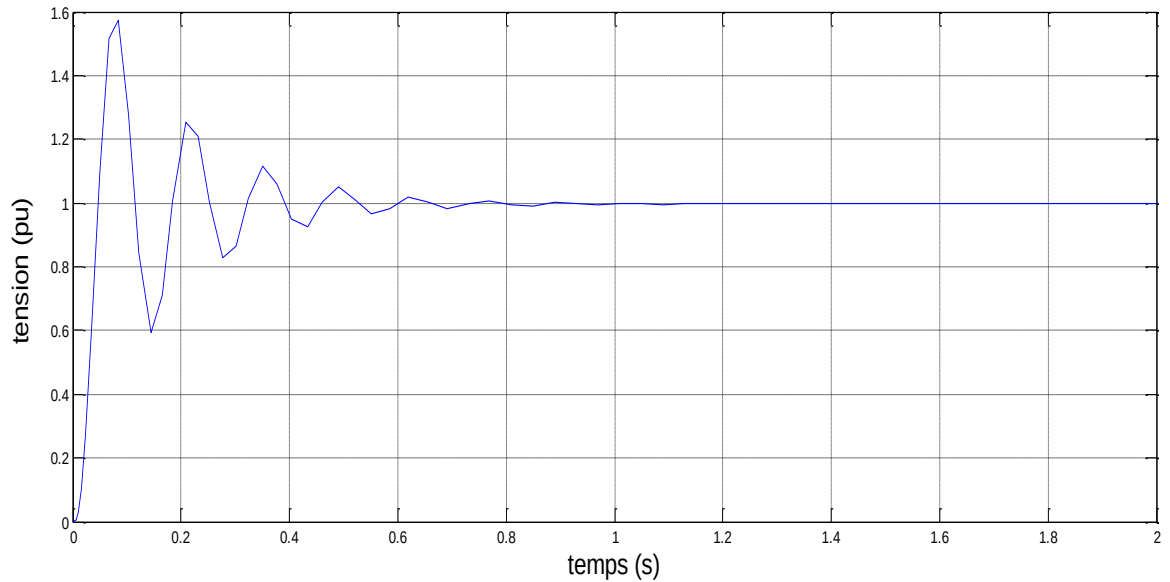


Figure (II-9): Réponse de la variation de V_t sans compensation

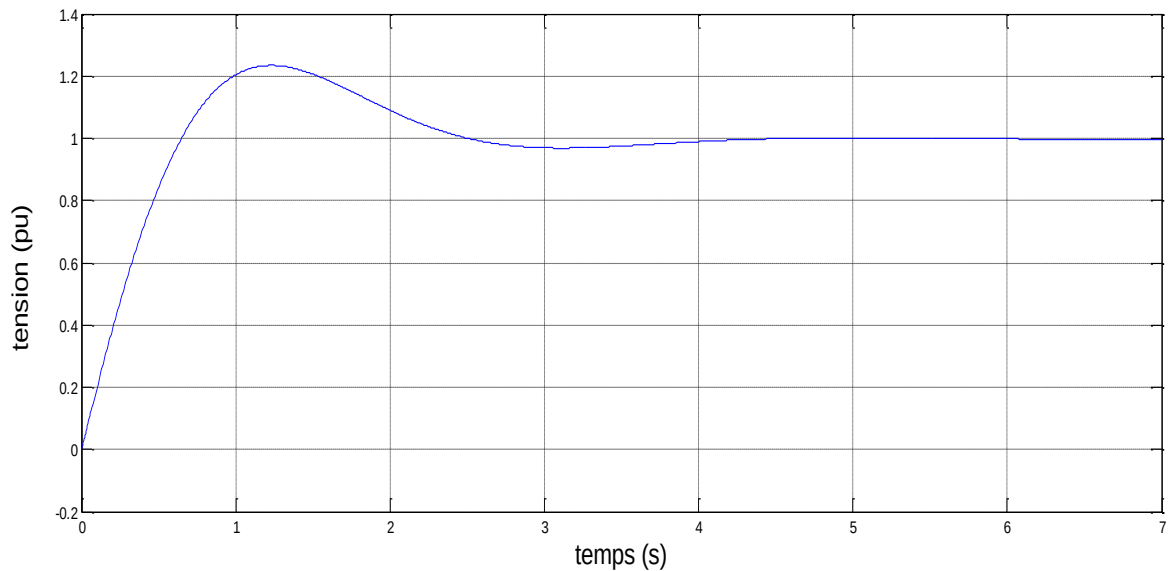


Figure (II-10): Réponse de variation de V_t avec compensation

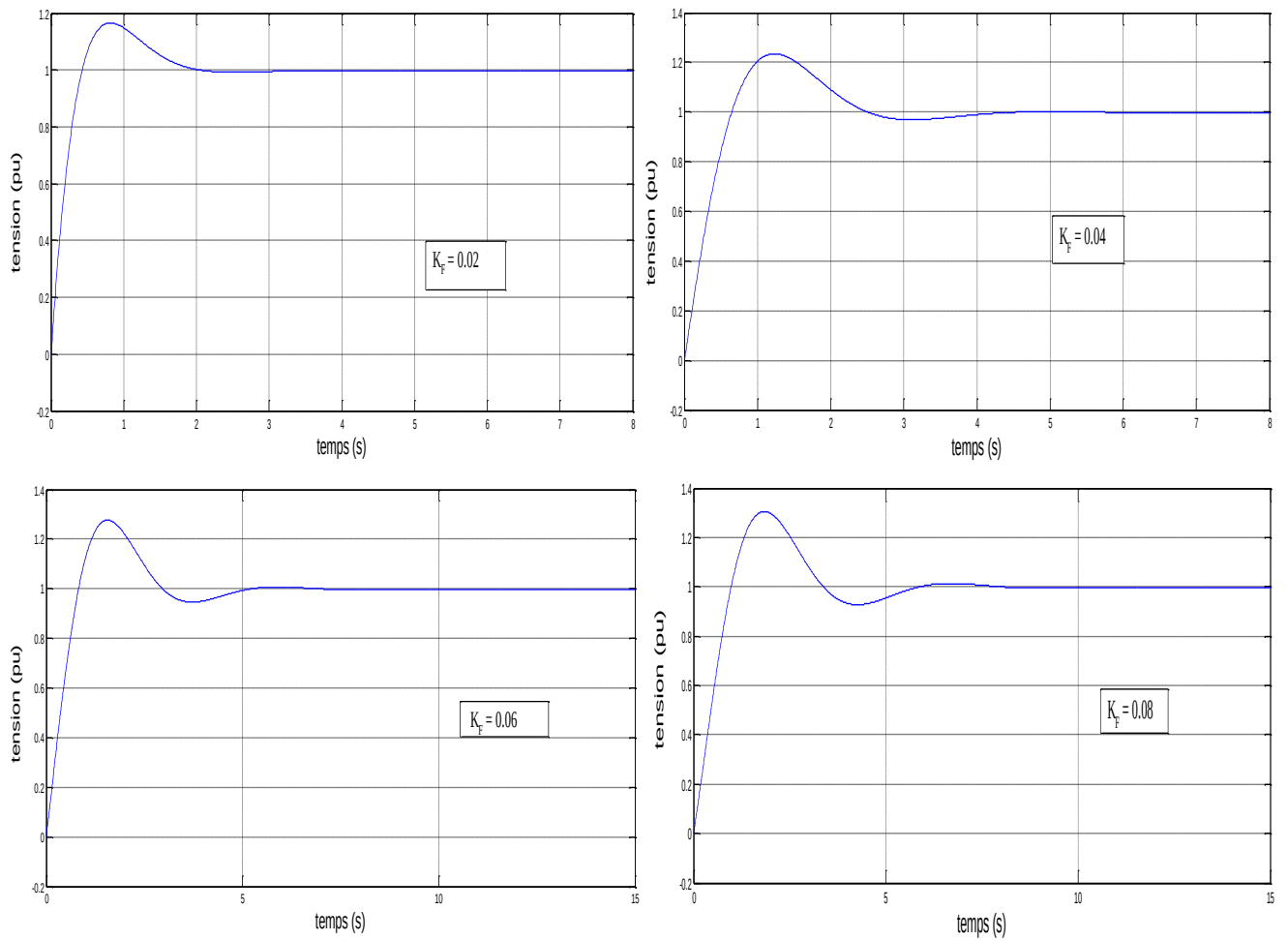
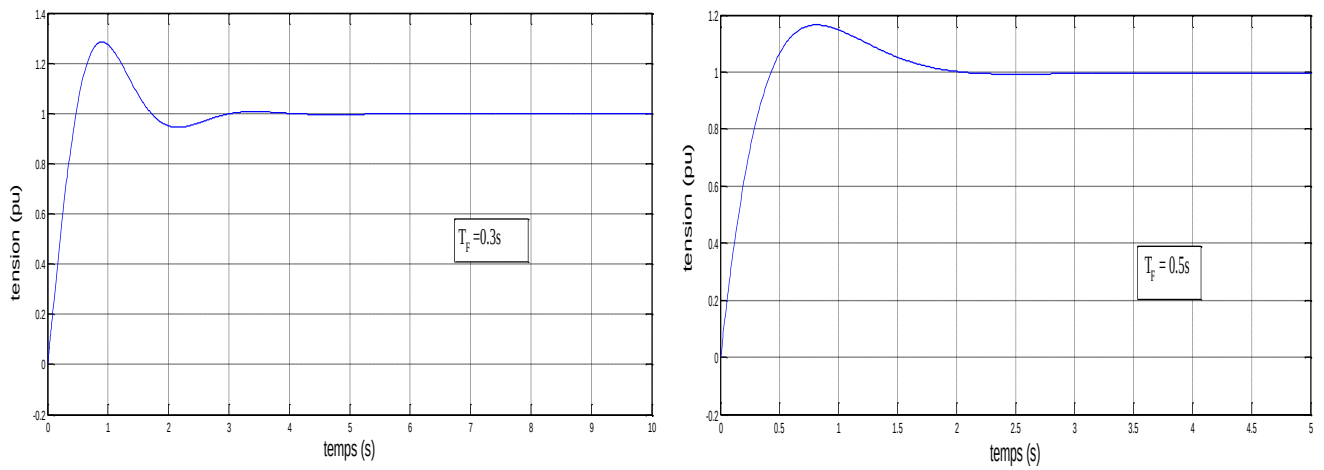


Figure (II-11): Influence du gain K_F



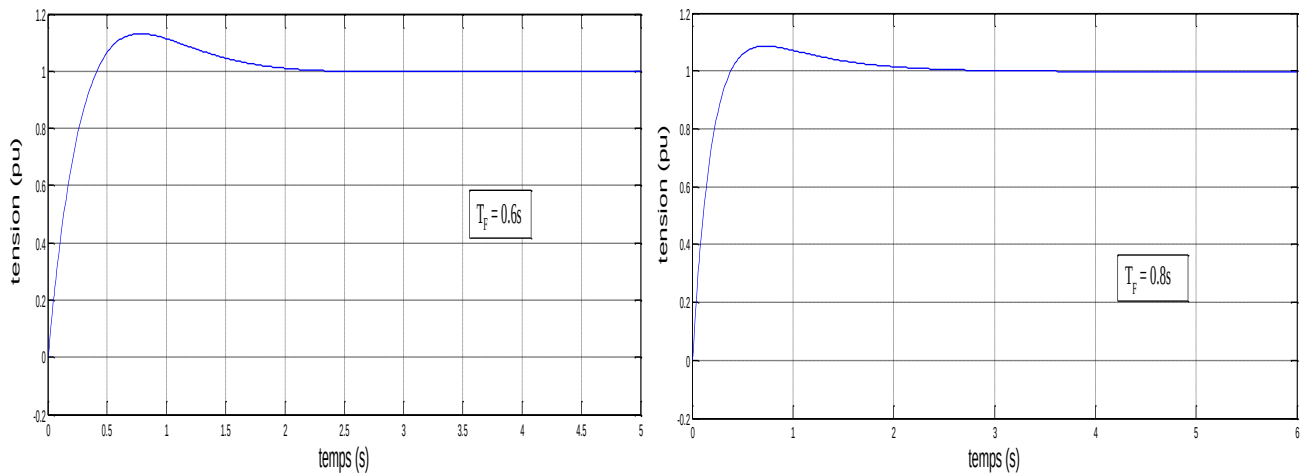


Figure (II-12): Influence du gain T_F

II.5. Interprétation des résultats :

Les résultats de simulation du système montrent qu'en comparant la réponse sans boucle de stabilité Fig. (II-9) avec celle obtenue avec boucle de stabilité les performances de système sont améliorées.

Donc la boucle supplémentaire a bien rempli son rôle, l'objectif de stabilité et un meilleur amortissement des oscillations atteints.

Les résultats des Fig. (II-11) et Fig. (II-12) montrent l'effet de variation de T_F et K_F sur la performance dynamique du système. Pour notre système les valeurs optimales de T_F et K_F sont données par K_F égal à 0.02 et T_F égale à 0.8s.

II.6. Conclusion :

Dans présente modéliser la boucle (AVR) en détail, (déterminer la fonction transfert, présenté le schéma bloc).

Pour contrôle la tension finale le circuit de compensation a un effet important sur la réponse du système grâce au gain K_F et constant de temps T_F .

III-1. Introduction :

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 . [2]

III-2. Réglage de la machine synchrone [2]

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_F du changement de la tension finale ΔV_t 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 l'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)) :

$$P_e = P_{e0} + \Delta P_e = P_{e0} + \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) \Delta \delta_n \quad (\text{III-3})$$

Donc :

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

D'où :

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

Avec :

$$K_1 = \left(\frac{dP_e}{d\delta_n} \right) / \Delta E' = 0$$

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

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

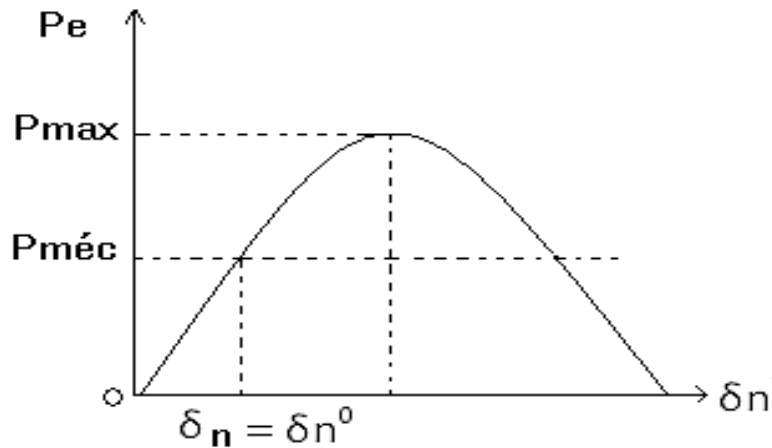


Figure (III-1) : Variation de puissance en fonction de l'angle.

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 :

$$K_2 = \left(\frac{dP_e}{dE'} \right) / \Delta \delta_n = 0$$

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 : [2]

- 1 La correction de la tension V_F .
- 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 δ_n tend à diminuer E' cette hypothèse est justifier comme suite lorsque δ_n 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).

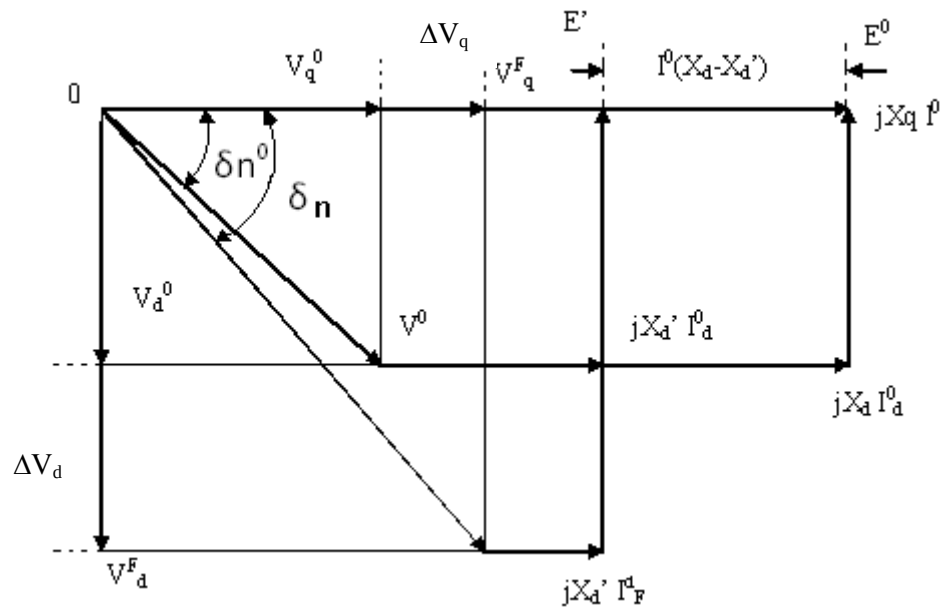


Figure (III-2.a) : Diagramme vectoriel de tension

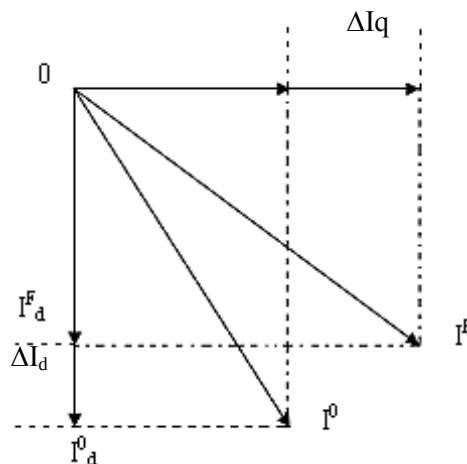


Figure (III-2.b) : Diagramme vectoriel de courant

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 :

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

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

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

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

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 :

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

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 :

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

D'où

$$\Delta E' = - \left(\frac{\frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_5}{1+P \cdot T_R} + K'_3}{1 + \frac{K'_2 \cdot K_R \cdot K_6}{1+P \cdot T_R}} \right) \cdot \Delta\delta_n \quad (\text{III-14})$$

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

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

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

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

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

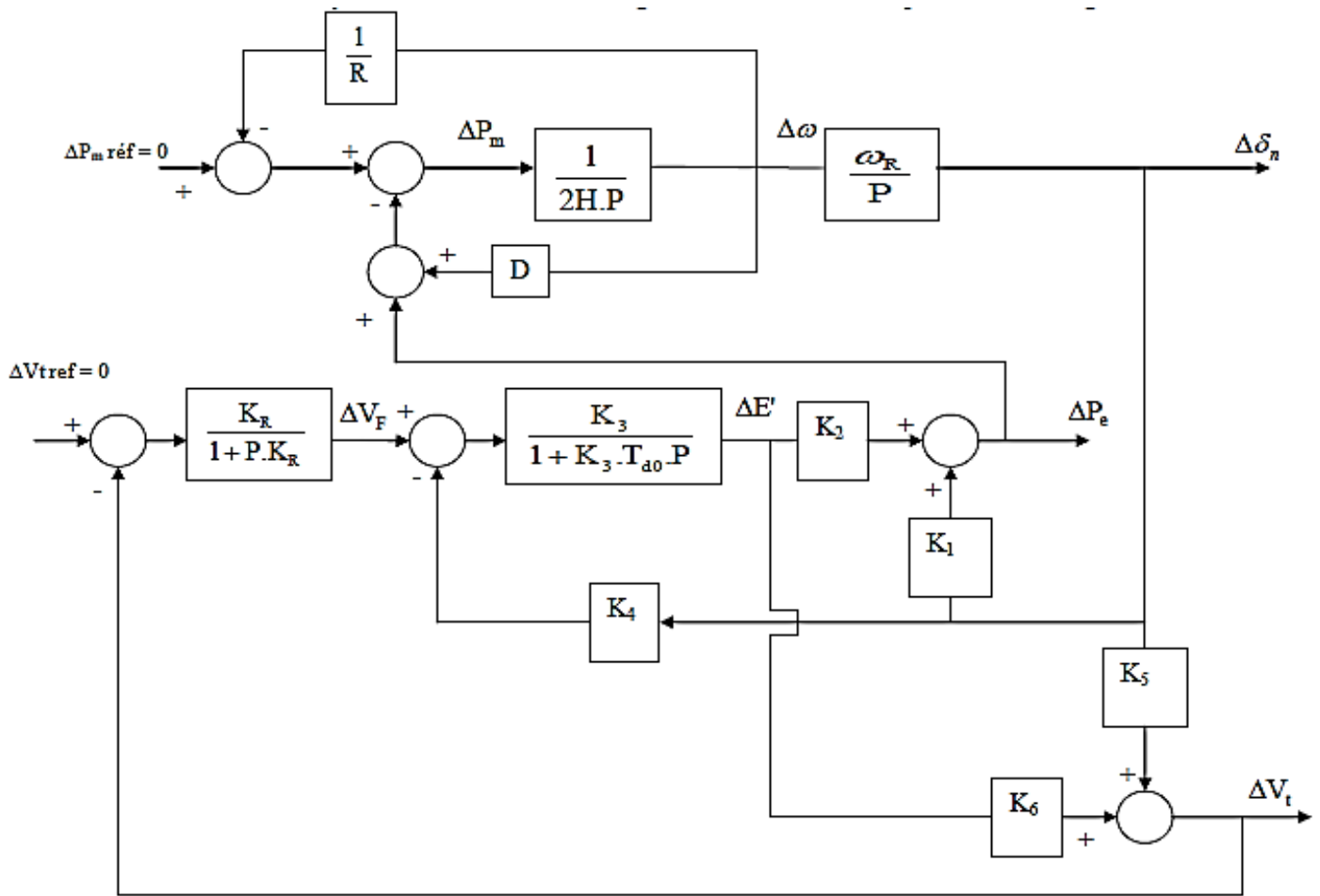


Figure (III-3) : Schéma bloc du système avec régulateur de tension

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

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 :

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

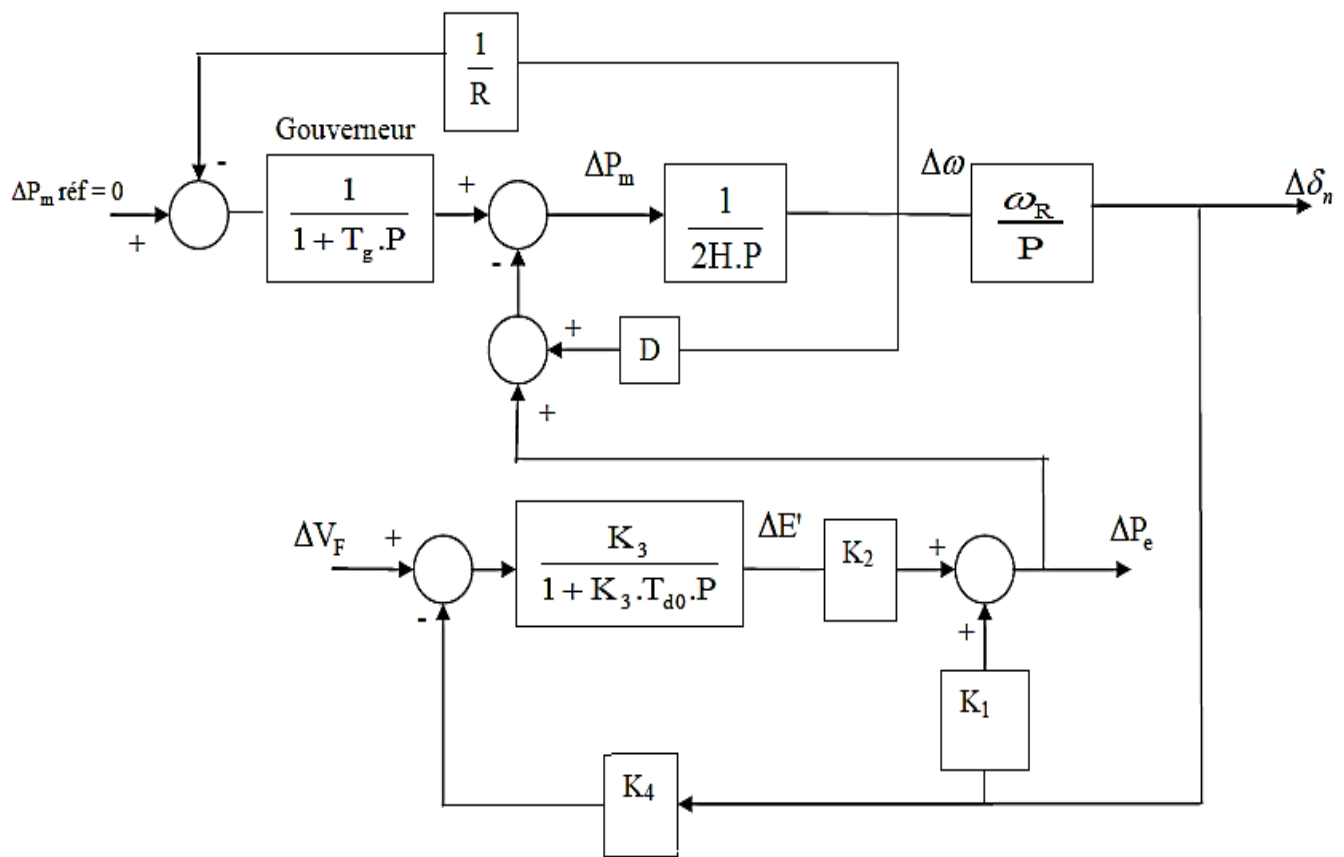


Figure (III-4) : Schéma bloc du système avec régulateur de vitesse (Gouverneur)

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

Si ces deux types de réglages 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 ΔP_F .

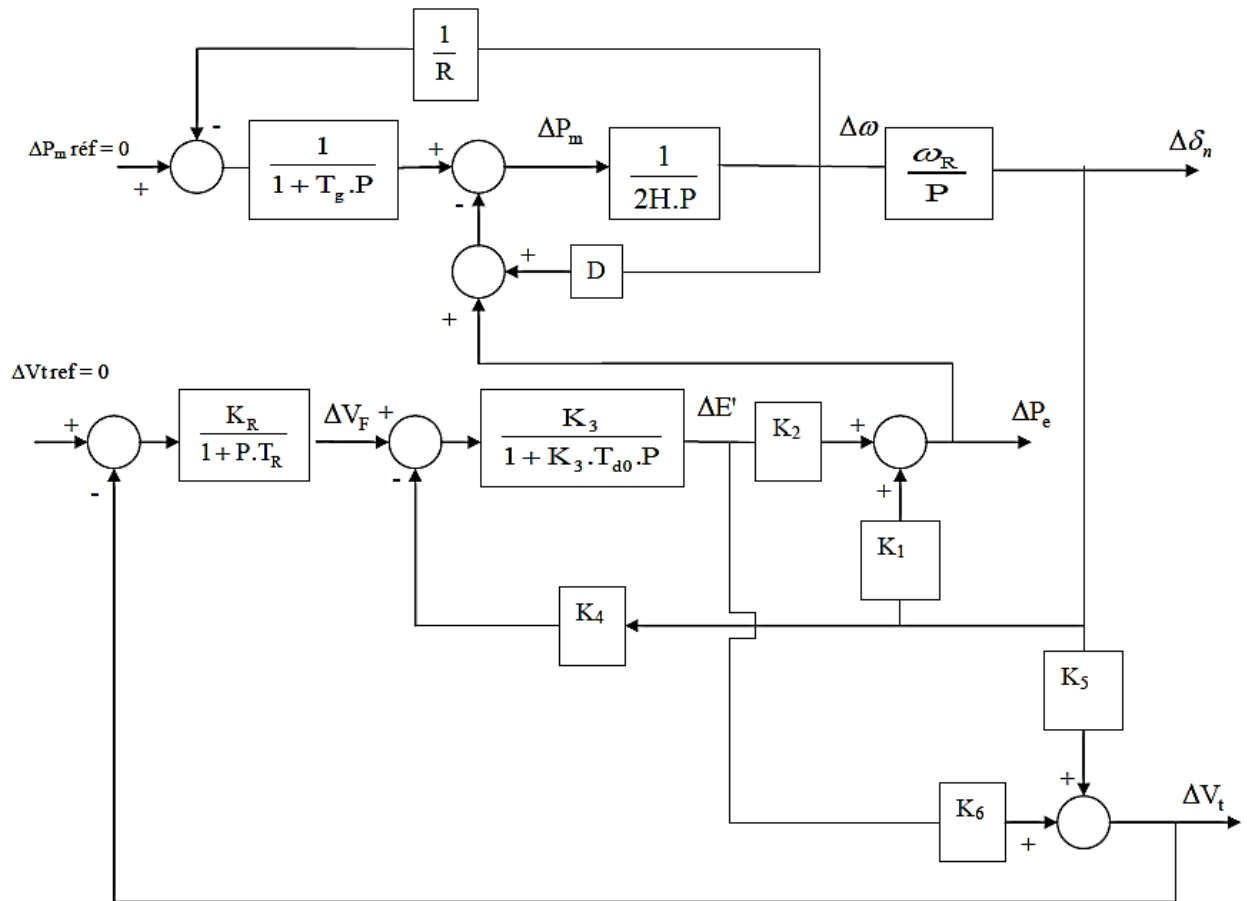


Figure (III-5) : Schéma bloc du système avec gouverneur et régulateur de tension

III-3. Résultats de simulation :

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

$R = 0.06$, $2H=8$, $D=1$, $\omega_R=314$ 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 :

Si $P_m \nearrow \Rightarrow P_e \nearrow$

Si $P_m \searrow \Rightarrow P_e \searrow$

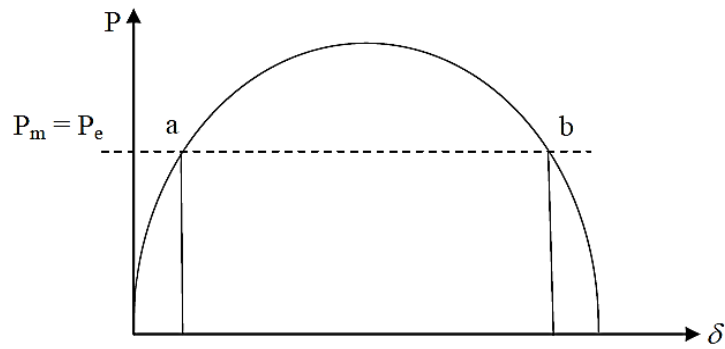


Figure (III-6) : La dépendance de la puissance active avec l'angle δ

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 $P_e = \frac{V_t E}{X} \sin \delta$.

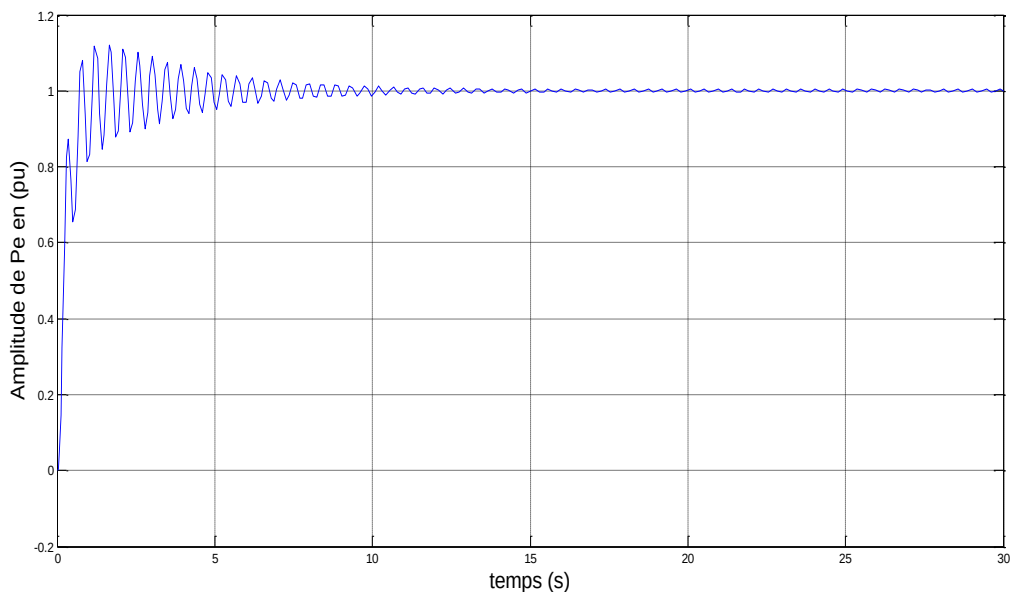
Donc la tension V_t est proportionnelle à P_e , (la figure III-8) c'est-à-dire :

Si $P_e \uparrow \Rightarrow V_t \uparrow$

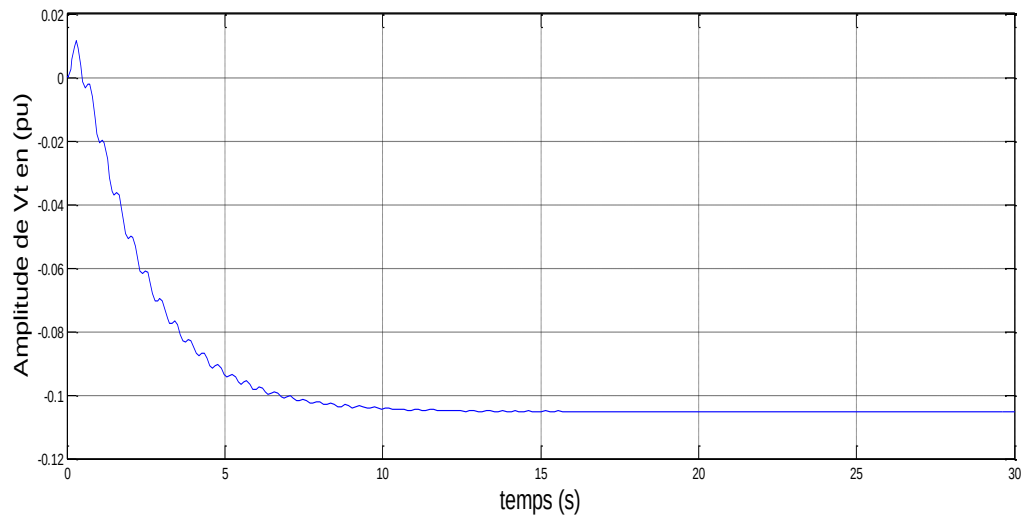
III-3-3. Variation de δ pour un échelon sur P_m :

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

L'augmentation de la puissance mécanique influe directement sur l'angle de charge proportionnellement (figure III-9).



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

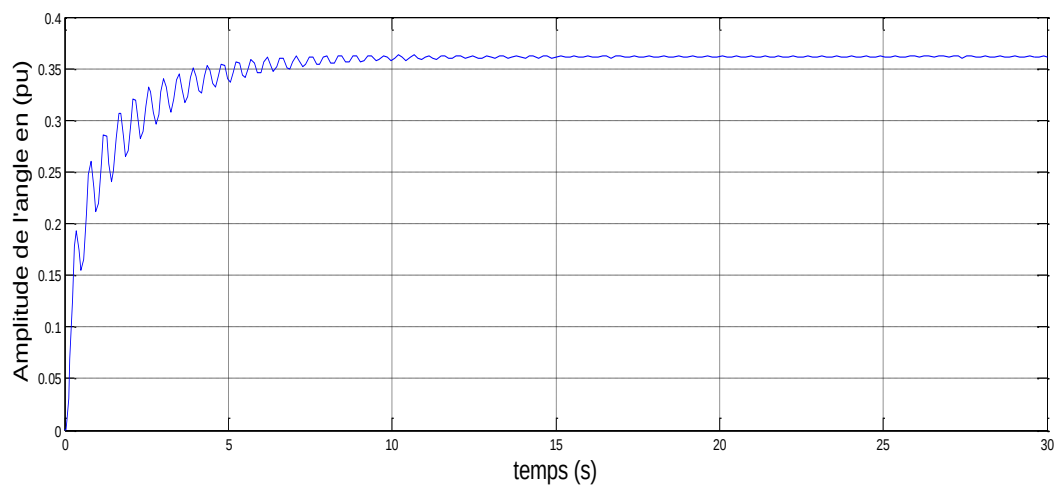
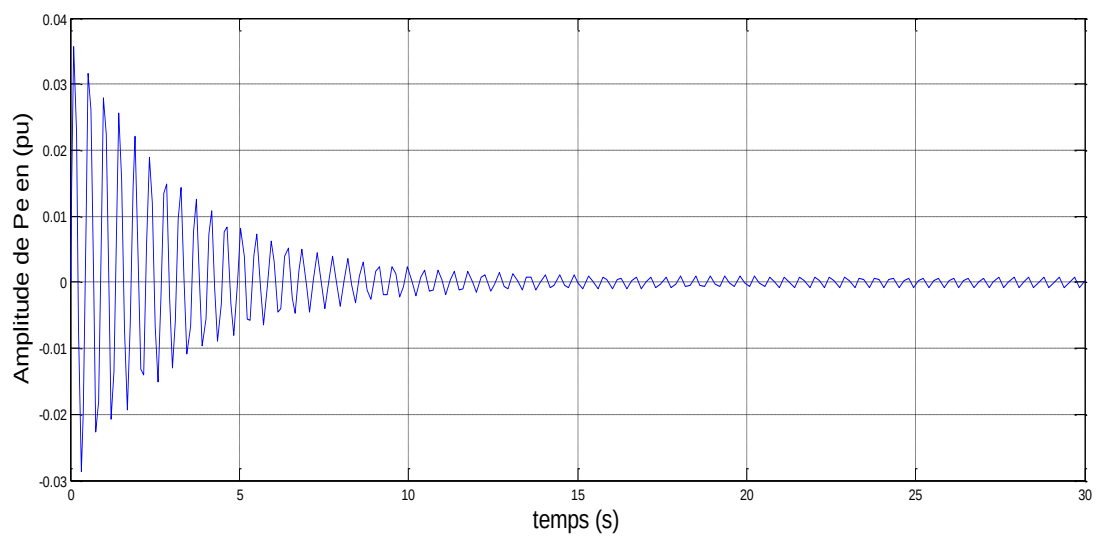


Figure (III-9) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m



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

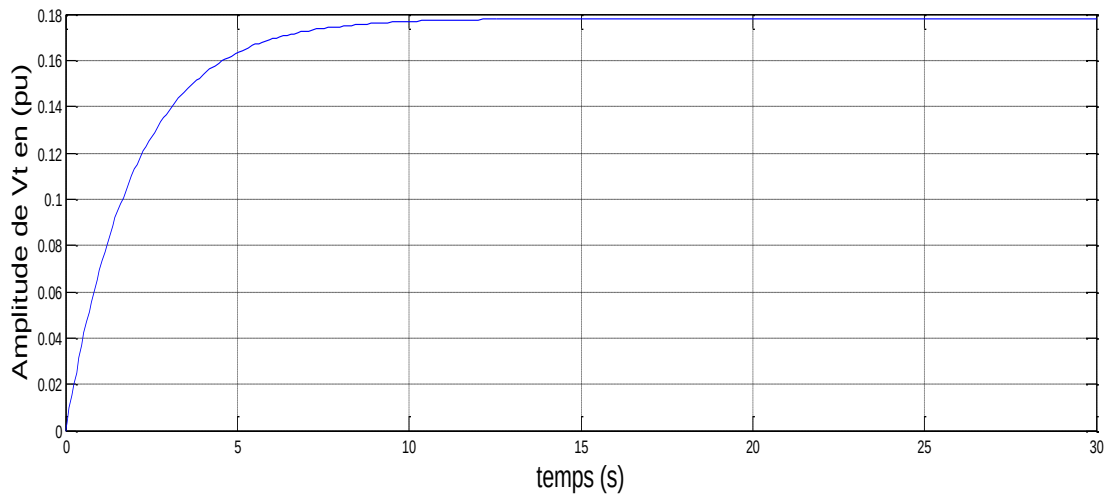


Figure (III-11) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref}

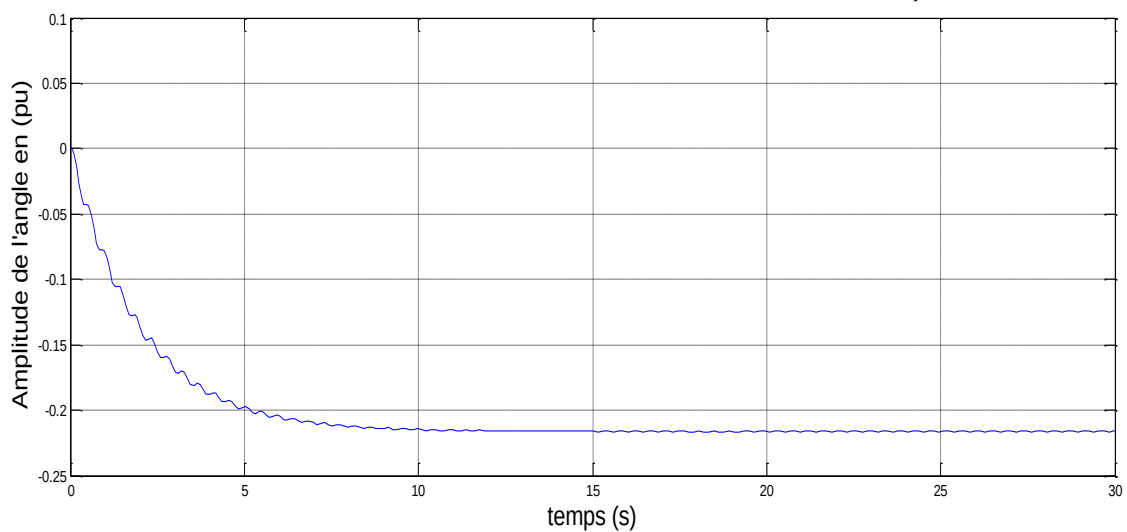


Figure (III-12) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref}

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 :

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. [6]

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

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

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 : [6]

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 : [6] [2]

La fonction du PSS produit un signal de contrôle supplémentaire à l'entrée 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'entrées 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 fin de la machine synchrone.

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

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

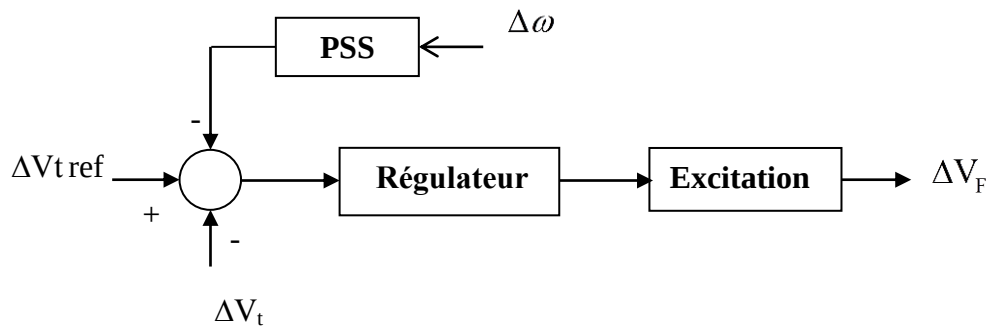


Figure (IV-1) : Schéma bloc de PSS

IV-5. La fonction de transfert du PSS : [2]

La fonction transfert du PSS est donnée sous forme suivante :

$$G_P(p) = \frac{K_P P.T}{1+P.T} \cdot \frac{(1+PT_1)(1+P.T_2)}{(1+P.T_3)(1+P.T_4)} \quad (IV-1)$$

Où :

Le premier terme : $\frac{P.T}{(1+P.T)}$ 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 servant 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 : [2]

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 : [7] [8]

Soit le circuit représente ci-dessous :

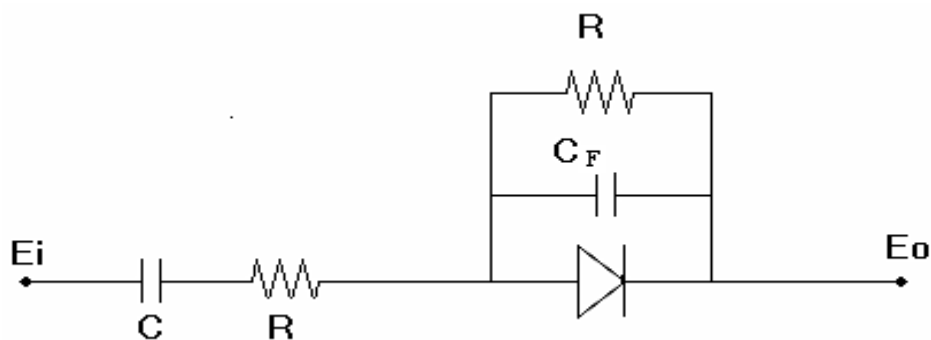


Figure (IV-2) : Fonction de transfert et circuit de signal d'intégration

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

$$\frac{E_o}{E_i} = - \left[\frac{P.R.C}{1 + P.R.C} \right] \cdot \left[\frac{1}{1 + P.R.C.F} \right] \quad (IV-3)$$

$$\frac{E_o}{E_i} = - \left[\frac{P.T}{(1 + P.T)(1 + P.T.F)} \right] \quad (IV-4)$$

Par substitution des valeurs :

$$C = 0.5 \text{ à } 50 \text{ MF}, C_F = 0.01 \text{ MF} \text{ et } R = 0.11 \text{ à } 1.11 \text{ M}\Omega$$

$$T = RC, \quad T : \text{ est ajustable entre } [0.055 - 55.5] \text{ secondes}$$

$$T_F = RC_F, \quad T_F : \text{ varie entre } [0.0011 - 0.011] \text{ secondes}$$

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

$$\frac{E_0}{E_i} = - \left[\frac{P.T}{(1+P.T)} \right] \quad (\text{IV-5})$$

IV-5-3. Circuit de compensation en avance et en retard : [6] [2]

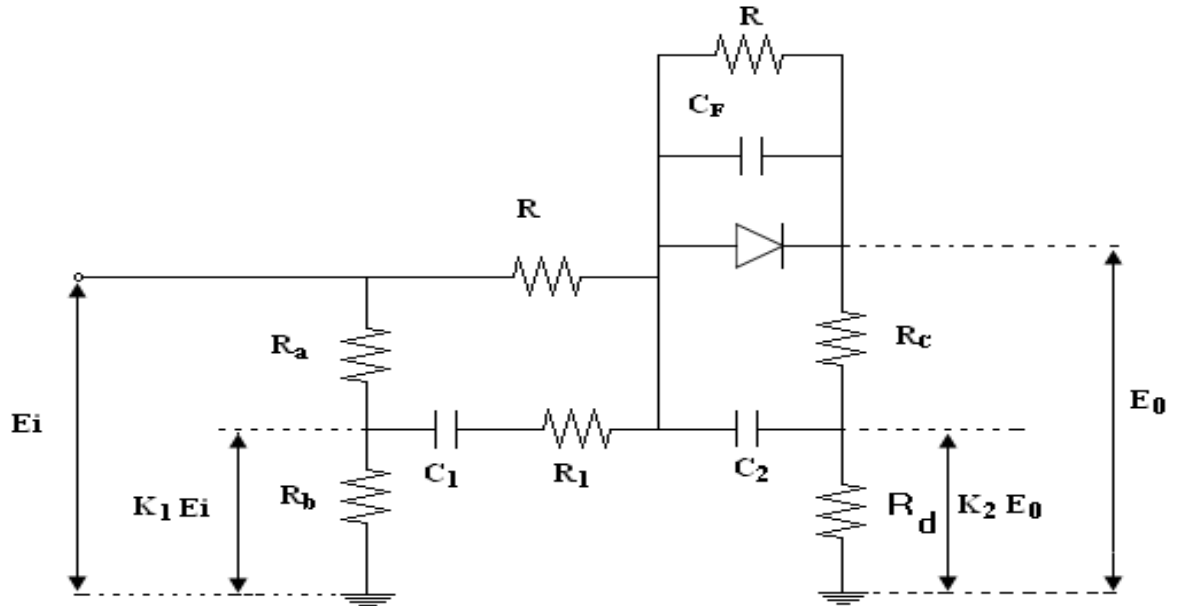


Figure (IV-3) : Circuit de compensation en avance et en retard

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

$$E_i \left[\frac{1}{R} + \frac{K_1}{R_1 + \frac{1}{P.C_1}} \right] = -E_0 \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{1}{P.C_F}} + \frac{K_2}{\frac{1}{P.C_2}} \right] \quad (\text{IV-6})$$

$$E_i \left[\frac{1+P.R_1.C_1+P.K_1.R.C_1}{R(1+P.R_1.C_1)} \right] = -E_0 \left[\frac{1+P(R.C_F+K_2.R.C_2)}{R} \right] \quad (\text{IV-7})$$

$$\frac{E_0}{E_i} = \left[\frac{1+P(R_1.C_1+K_1.R.C_1)}{(1+P.R_1.C_1)(1+P(R.C_F+K_2.R.C_2))} \right] \quad (\text{IV-8})$$

$T_A = K_1 \cdot R \cdot C_1$: 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 :

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

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 :

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{1+P.T_A}{1+P.T_C} \quad (\text{IV-9})$$

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

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

On obtient :

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{1+P.a.T}{1+P.T} \quad (\text{IV-10})$$

IV-6. Représentation simplifiée de PSS :

La fonction de transfert simplifier de PSS est donnée par :

$$G_P(P) = K_P \cdot \frac{1+P.T_1}{1+P.T_2} \quad (\text{IV-11})$$

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

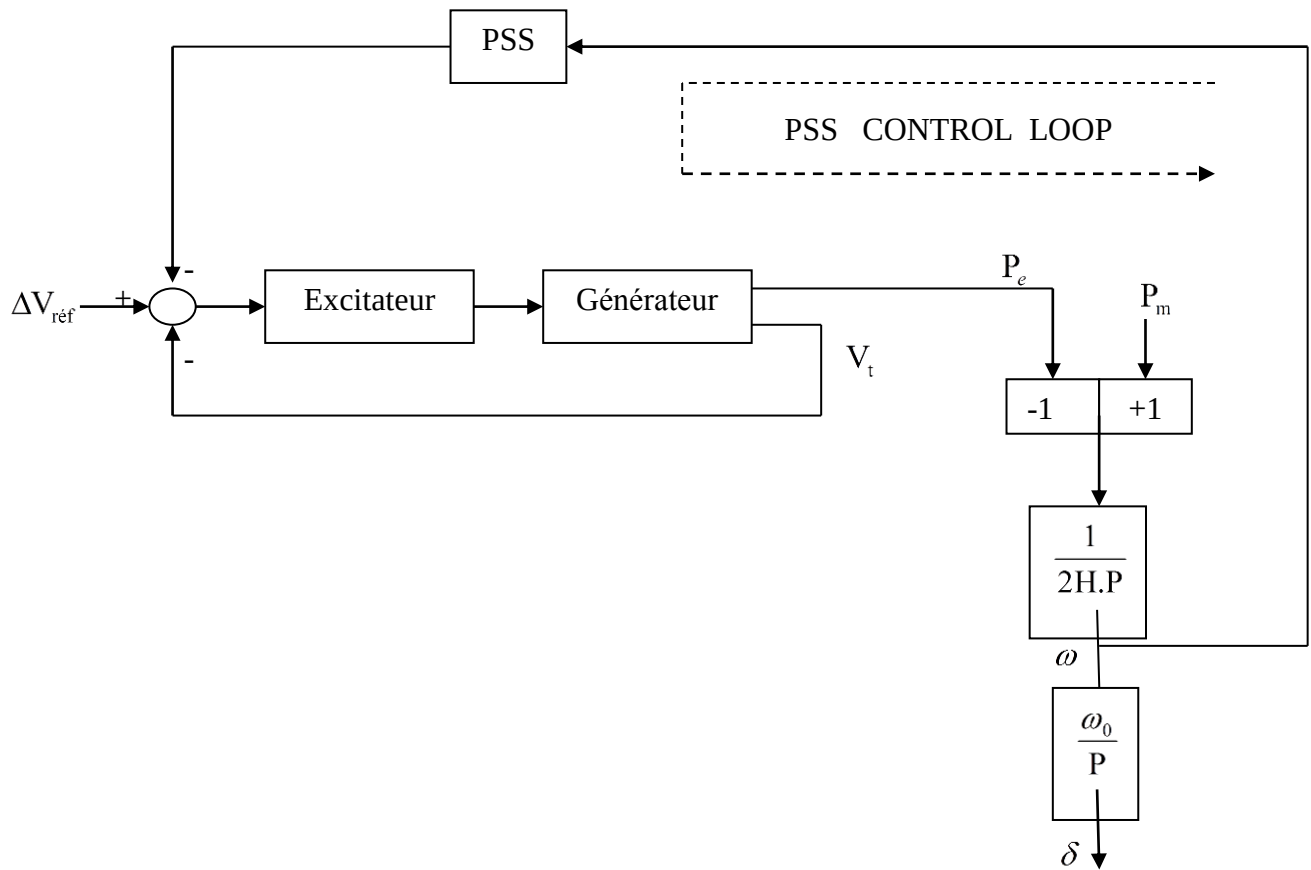


Figure (IV-4) : Bloc de l'analyse du système avec signal de PSS incorporé

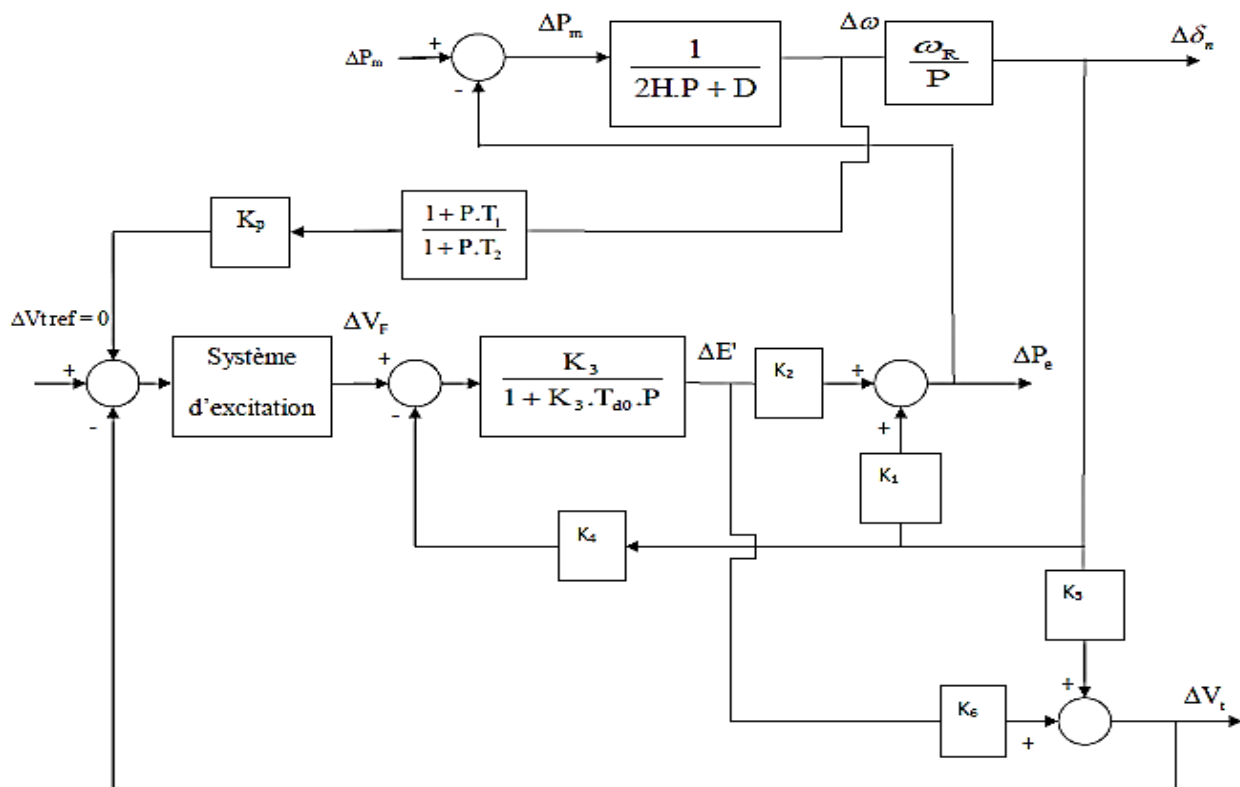


Figure (IV-5) : Schéma bloc du système avec PSS incorporé

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 :

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

Donc on déduit l'amélioration de facteur de puissance, ainsi que la stabilité que 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 (IV-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),

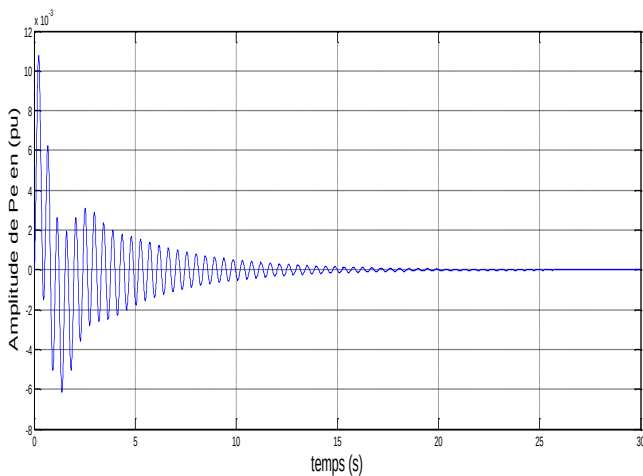


Figure (IV-6-a) : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ avec PSS

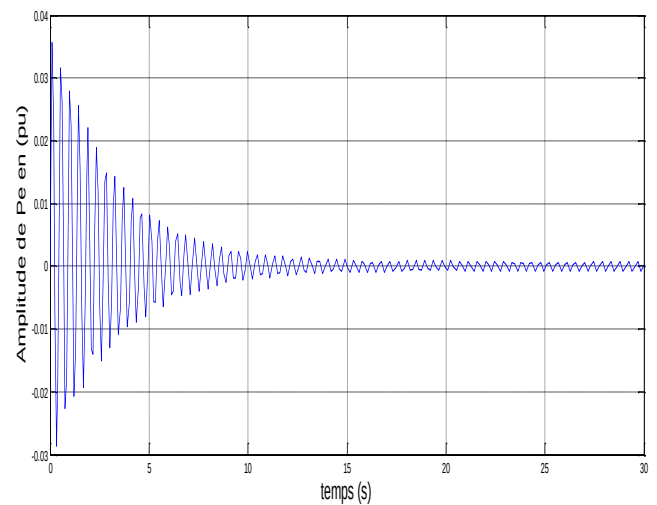


Figure (IV-6-b) : Variation de P_e pour un échelon sur $V_{réf}$ sans PSS

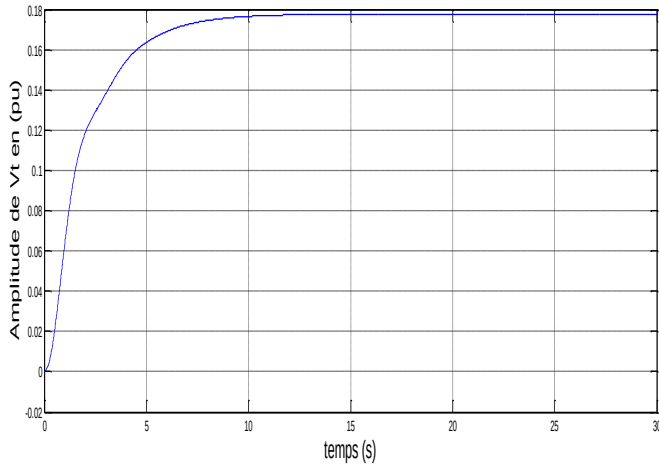


Figure (IV-7-a) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} avec PSS

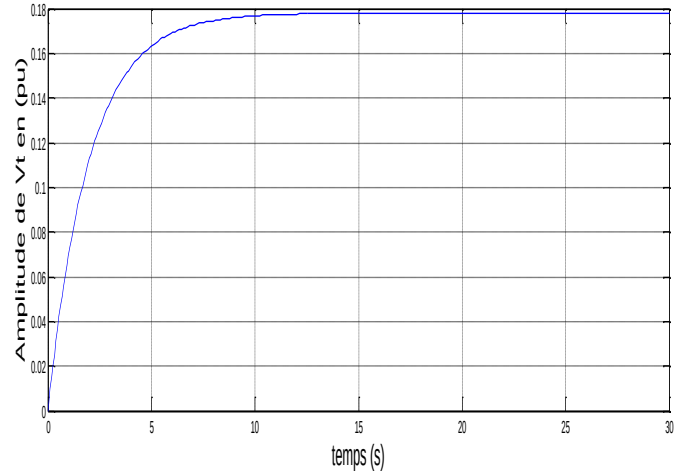


Figure (IV-7-b) : Variation de V_t pour un échelon sur V_{ref} sans PSS

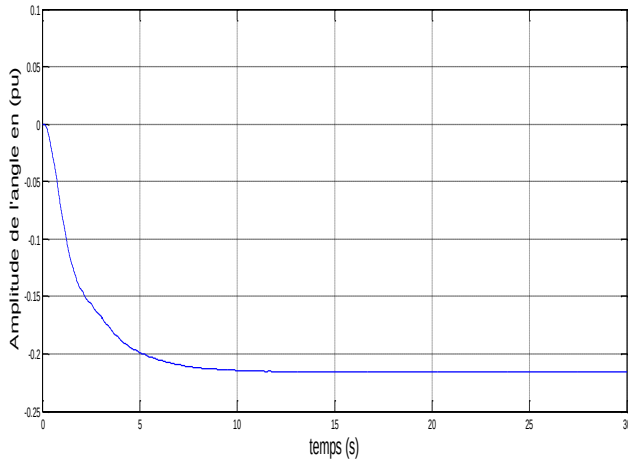


Figure (IV-8-a) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} avec PSS

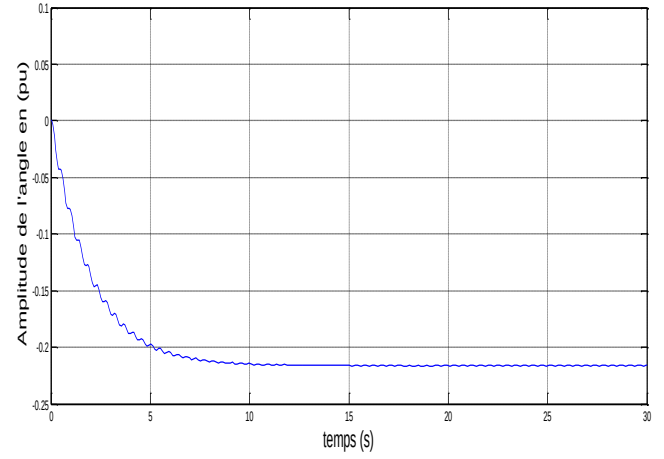


Figure (IV-8-b) : Variation de l'angle pour un échelon sur V_{ref} sans PSS

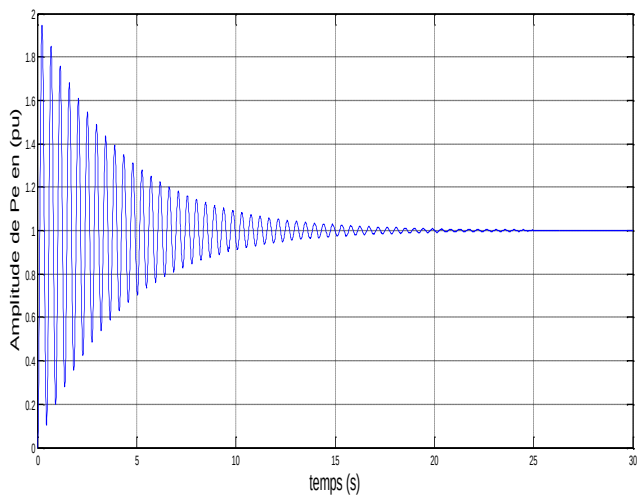


Figure (IV-9-a) : Variation de P_e pour un échelon sur P_m avec PSS

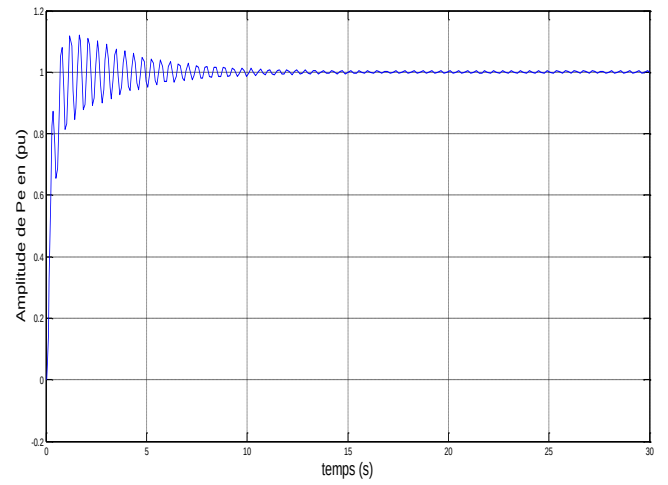


Figure (IV-9-b) : Variation de P_e pour un échelon sur P_m sans PSS

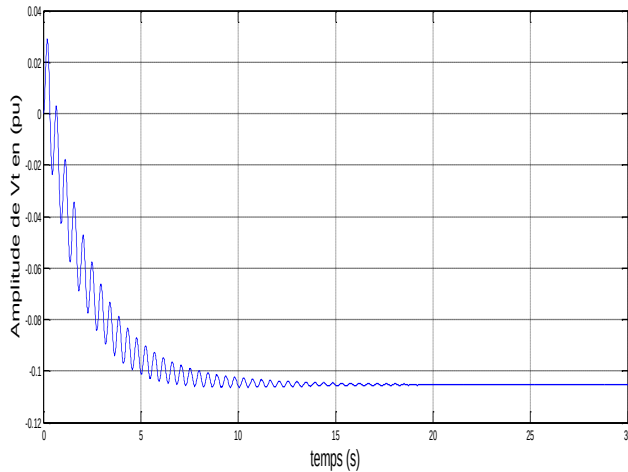


Figure (IV-10-a) : Variation de V_t pour un échelon sur P_m avec PSS

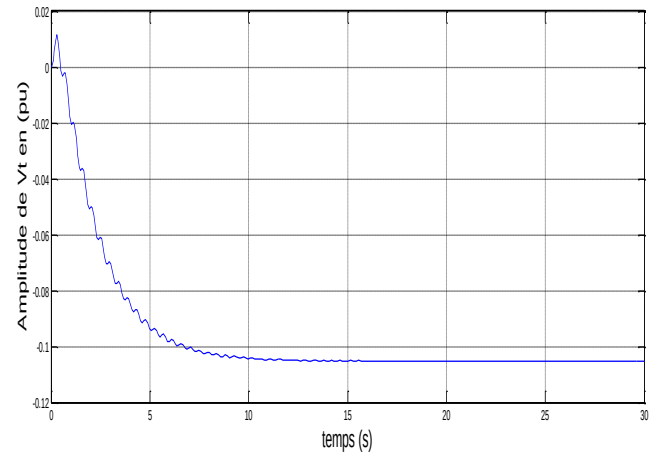


Figure (IV-10-b) : Variation de V_t pour un échelon sur P_m sans PSS

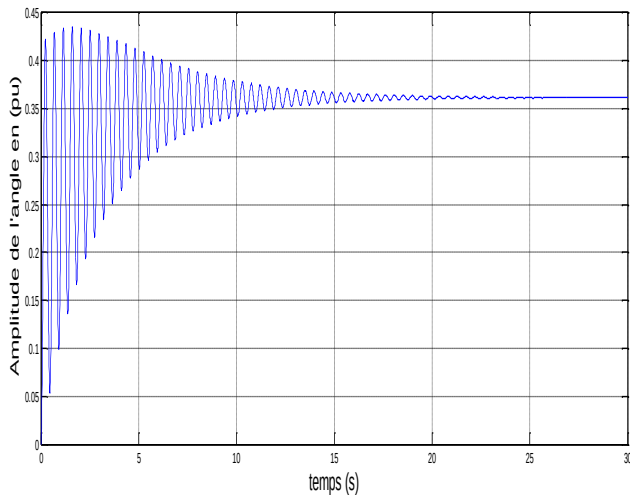


Figure (IV-11-a) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m avec PSS

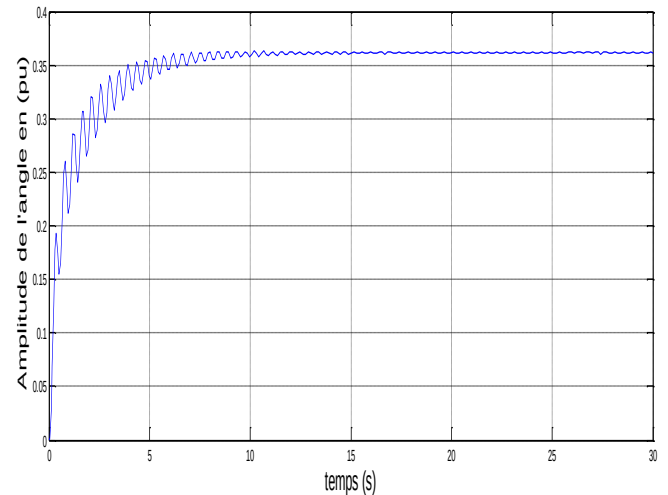


Figure (IV-11-b) : Variation de l'angle pour un échelon sur P_m sans PSS

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).

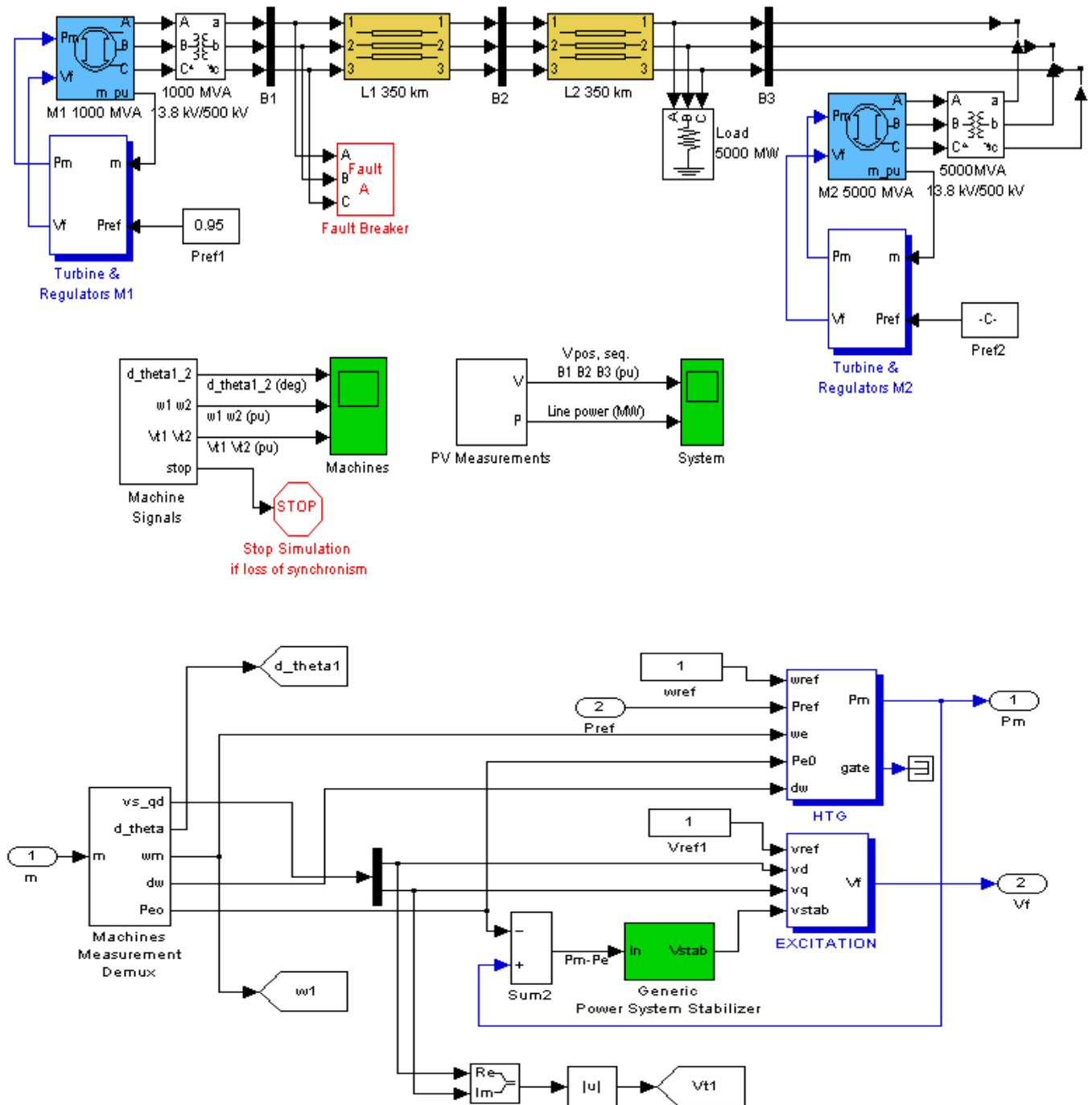


Figure (IV-12) : Installation du PSS

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 transmise.

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 :

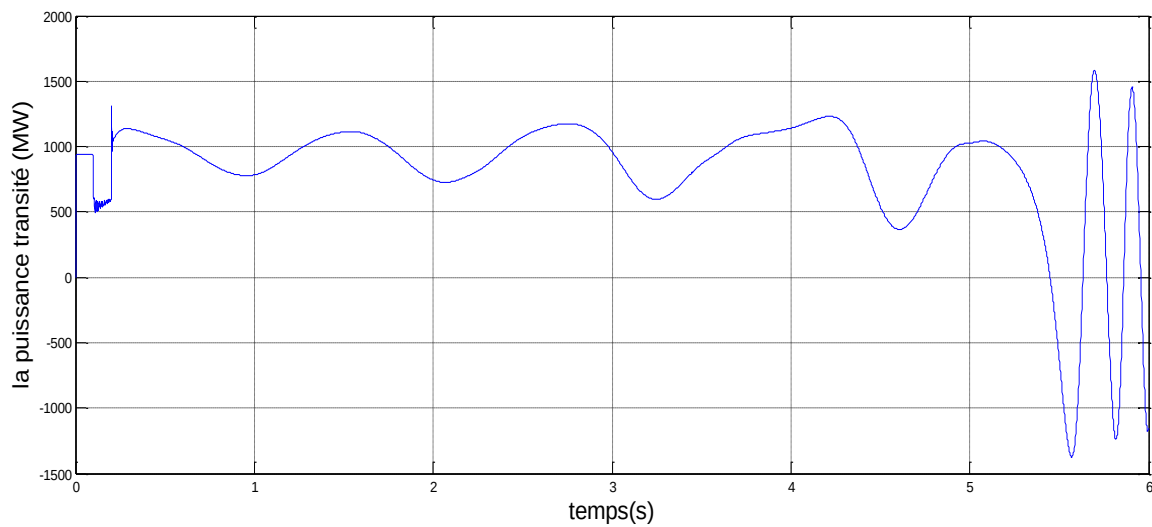


Figure (IV-13) : Variation de la puissance transmise sans PSS

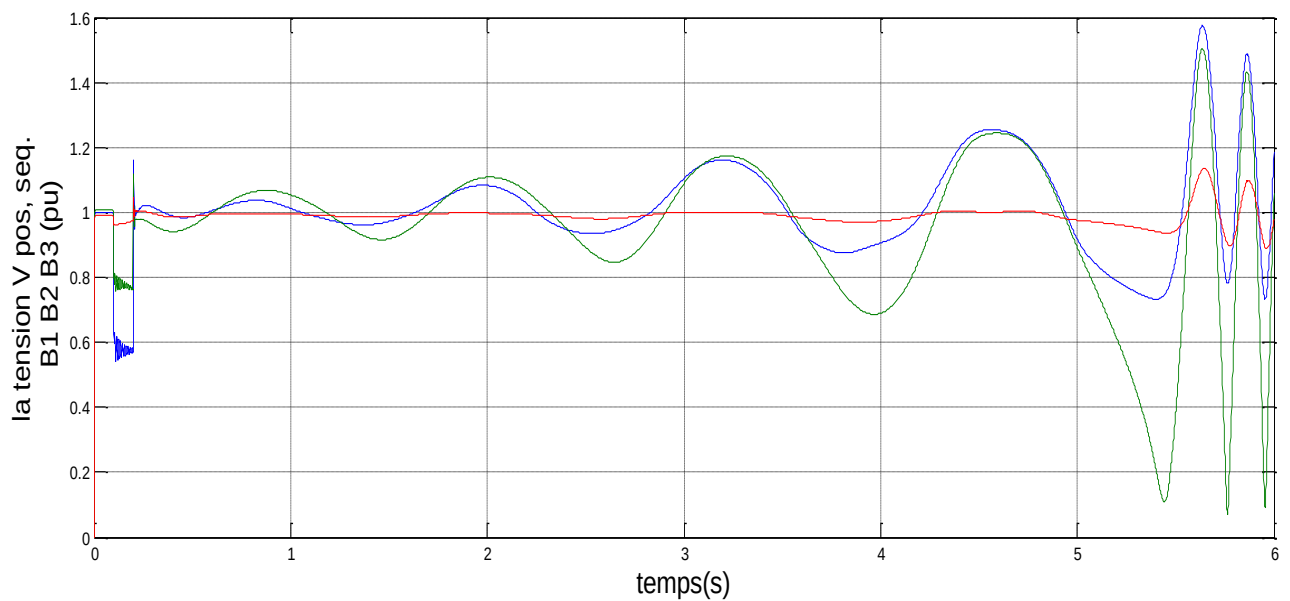


Figure (IV-14) : Variation de la tension de B1, B2 et B3 sans PSS

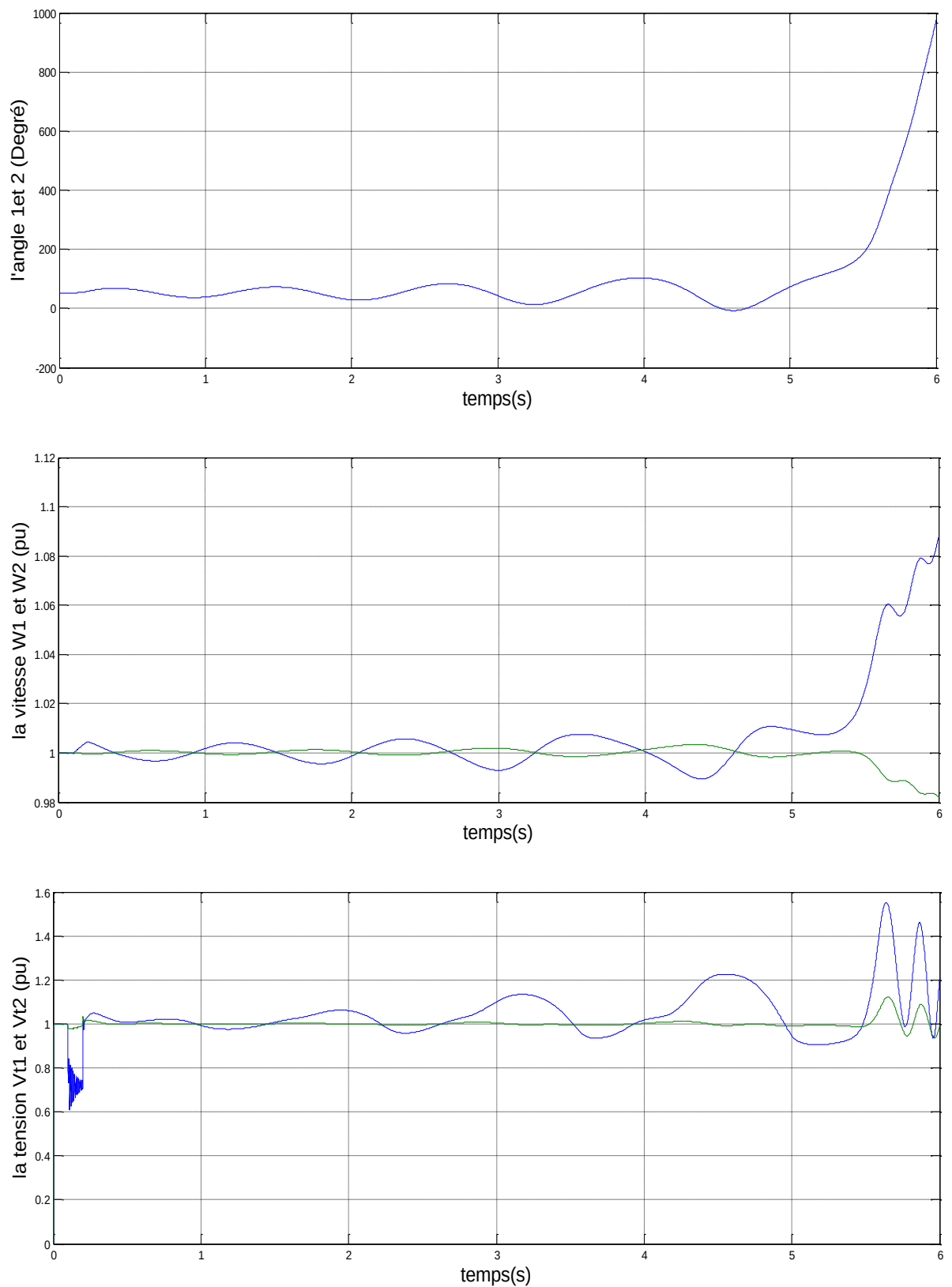
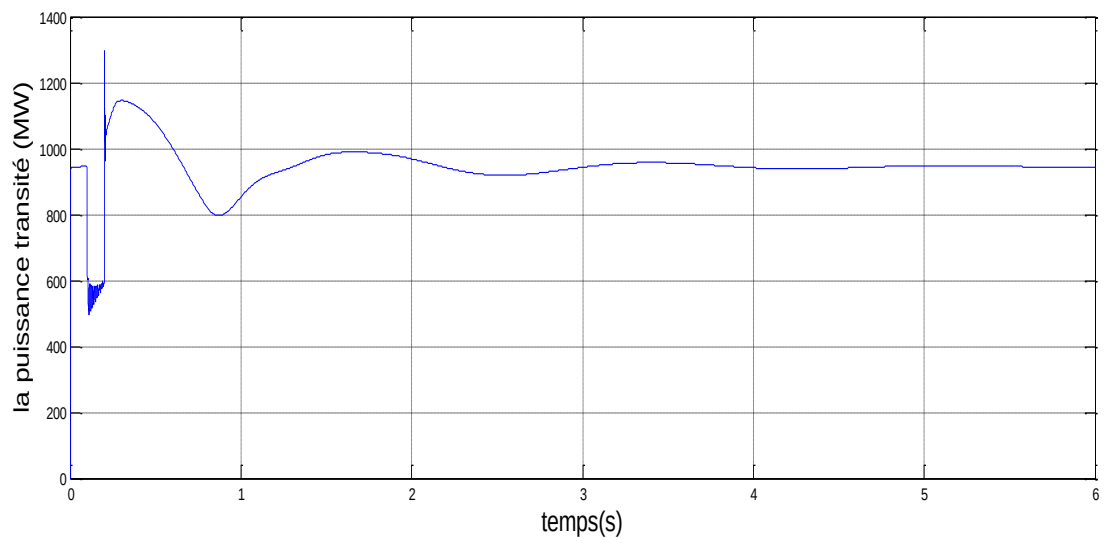


Figure (IV-15) : Variation d'angle, vitesse et tension sans PSS

IV-8-1-2. Avec PSS :



Figure(IV-16) : Variation de la puissance transmise avec PSS

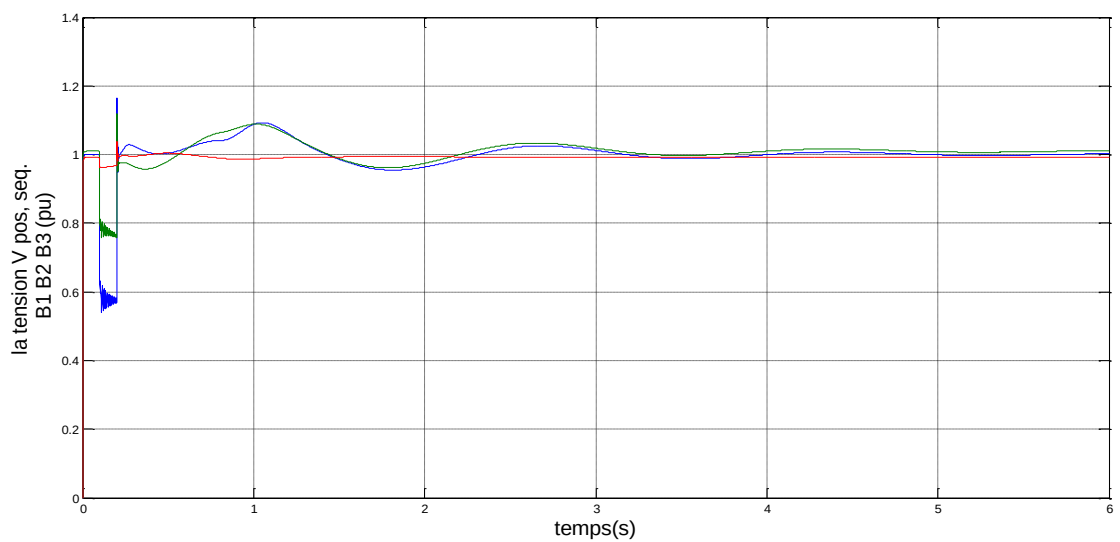
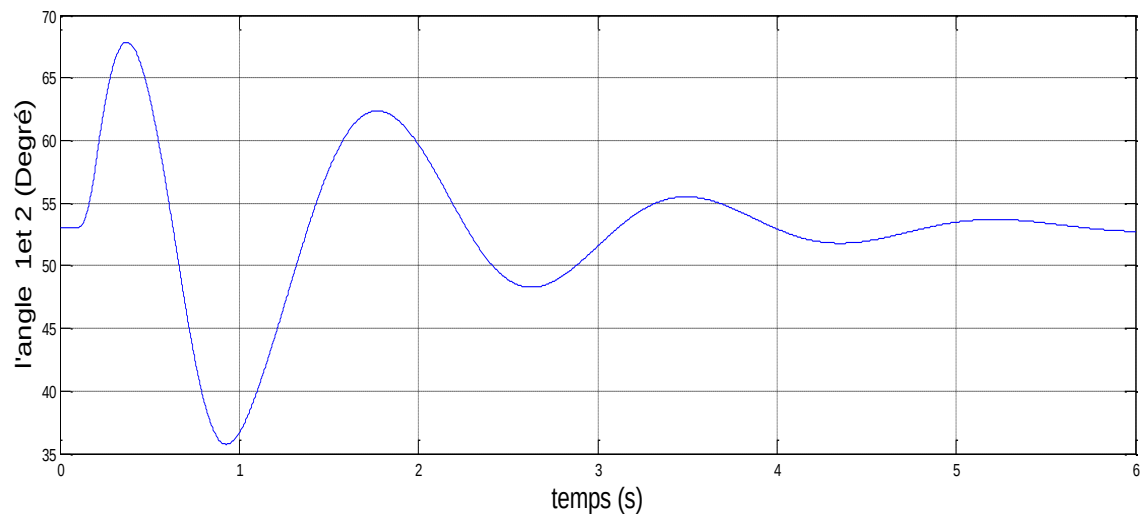


Figure (IV-17) : Variation de la tension de B1, B2 et B3 avec PSS



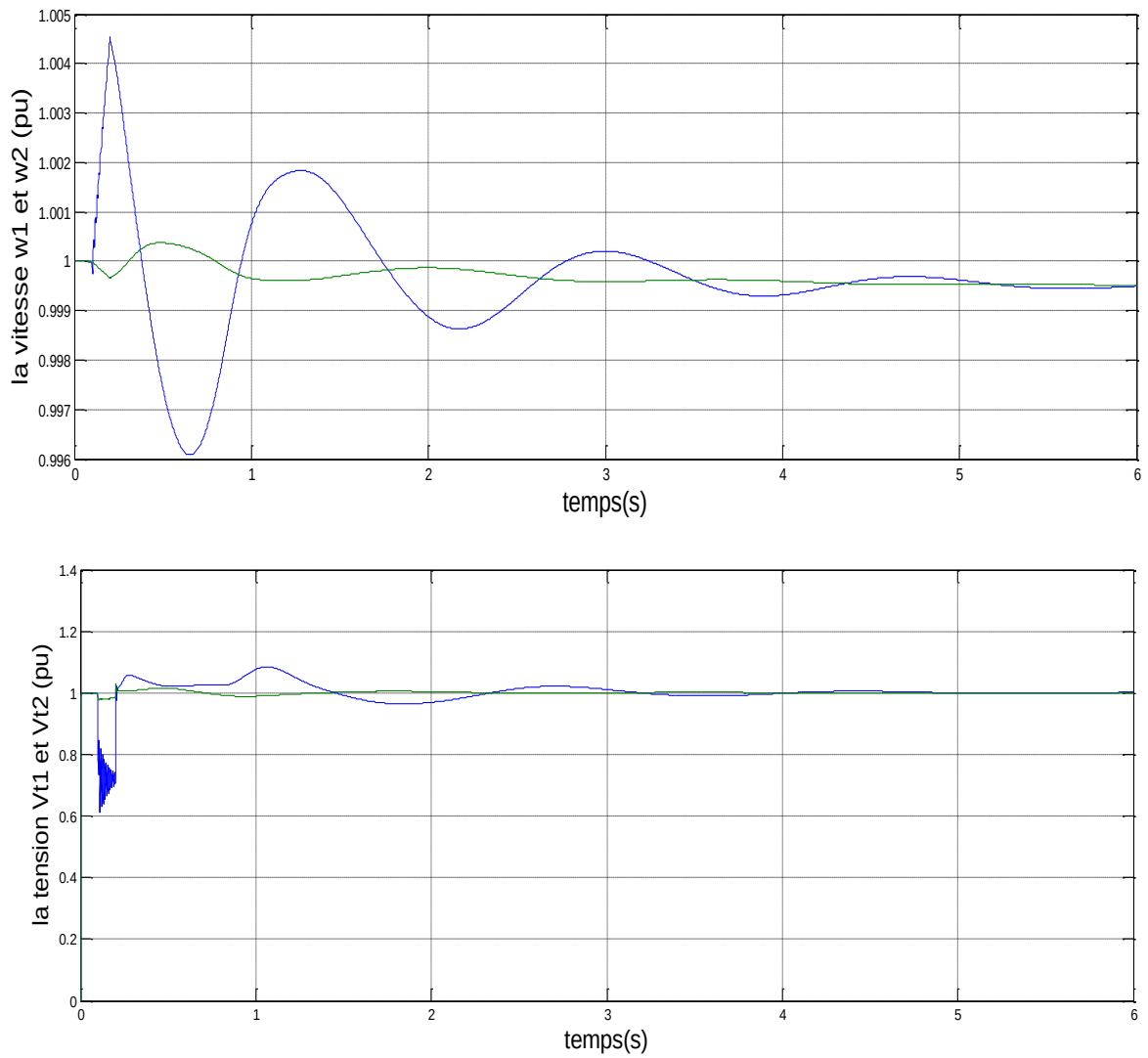


Figure (IV-18) : Variation d'angle, vitesse et tension avec PSS

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

Dans le présent travail, on a peu développer un modèle de l'unité production la puissance électrique Pour se faire nous avons eu a faire :

- Modéliser la boucle (ALFC) et (AVR) en détail.
- Présenter les schémas blocs après avoir déterminer la fonction de Transfer de chaque partie.
- Voir la performance dynamique du système grâce a sa réponse.

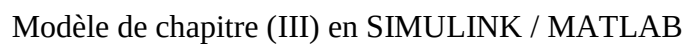
On à déduit que les paramètres de la boucle de contrôle de la fréquence jouent un rôle très important pour maintenir la fréquence constante.

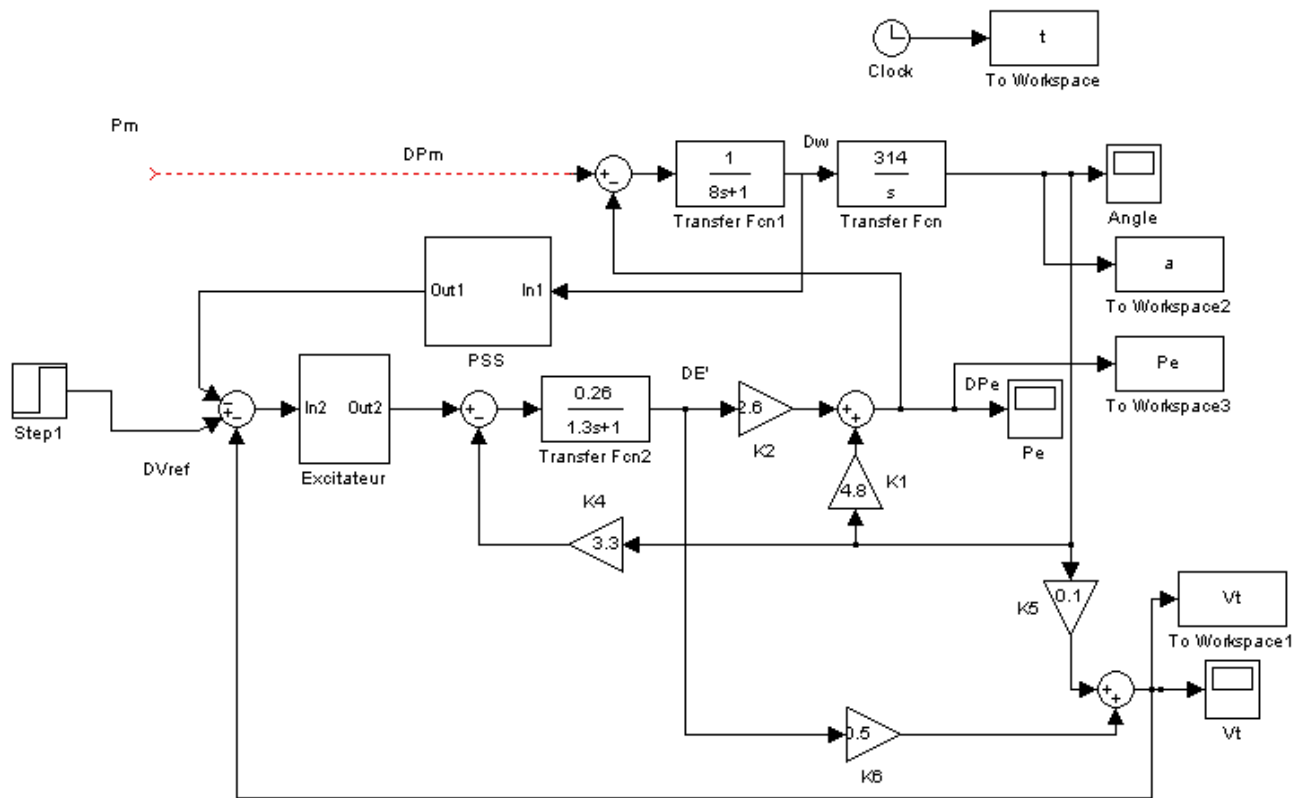
Pour le contrôle de la tension finale, le circuit de compensation a un effet important sur la réponse du système grâce au gain K_f et constant de temps T_f .

L'effet de PSS sur le système et sa capacité sert à éliminer l'oscillation indésirable pour rendre le système plus stable.

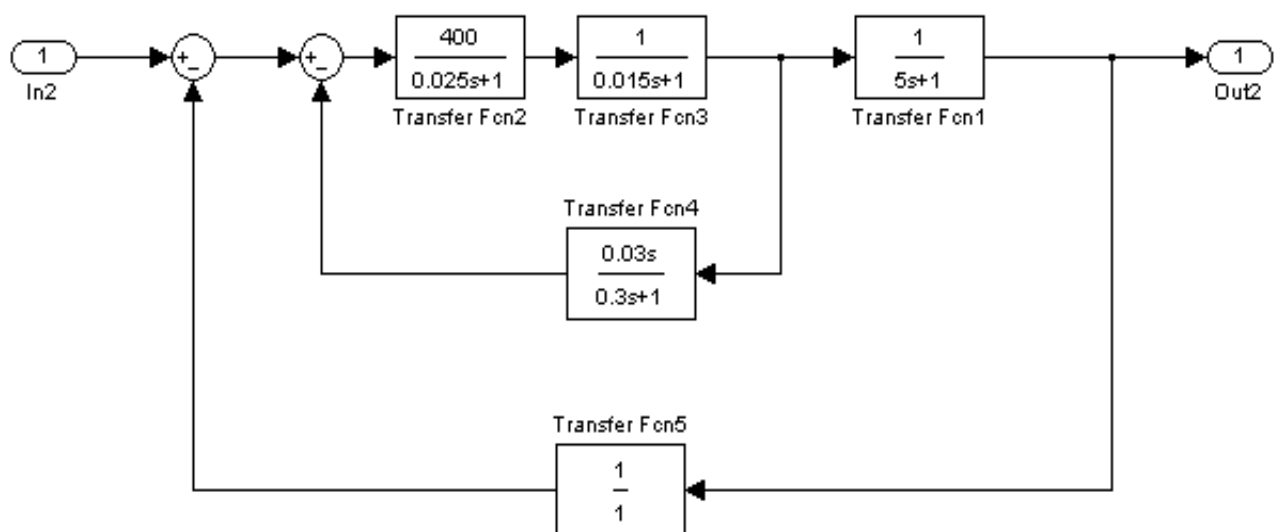
Pour l'obtention de caractéristiques des systèmes et l'étude de leurs régulations, nous avons eu adresser des programmes sur (simulink- MATLAB), nous a rendus de grands services du point de vue, programmation bien que nous ayons recentrer des problèmes qui nous ont empêchés l'exécution de quelques programmes à cause de caractéristique du logiciel.

Enfin, ce projet nous a permis d'améliorer encore mieux nos connaissances quand aux principes de l'unité de production la puissance électrique la modélisation, la régulation et la programmation.

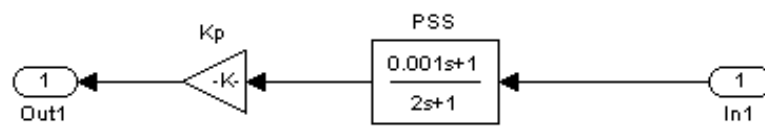




Modèle de chapitre (IV) en SIMULINK / MATLAB



Système d'excitation en SIMULINK / MATLAB



Système PSS en SIMULINK / MATLAB

Bibliographies

- [1] -ABBASSI, Taha ‘Stabilité d’un système de puissance (PSS) étude et simulation’’, Université de BISKRA 1996
- [2]- Houos abd eloiahed & Zeghoud Med alaeddine & Ouabri Ahmed “Contrôle de la puissance active du réseau électrique’’, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [3]-IEEE COMITE REPORTE: "computer représentation of excitation système " IEE trans , vol pas 87,n6, 1406-1464 june 1968
- [4]-IEEE COMITE REPORTE : " Dynamique models for steam and hydro turbines in power system studies " Vol pas 92,n6, Nov/Dec/1973"
- [5]-BENATTOUS DJILLANI "A Génération simulation modél for réal time digital control studies " thèse de magister UK, 1987
- [6]-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.
- [7]- Mémoire de fin d’étude “ Modélisation de la centrale thermique (à vapeur) ’’, Centre universitaire d’EL-OUED 2007.
- [8]. Belkhir Yacine & Zegueb Abdel kader & Doudi 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.
- [9]. Gherbi taha & Azzi el Habib & Ouada Miloud “ETUDE ET ANALYSE DE LA STABILITE TRANSITOIRE DU SYSTEME ENERGITIQUE’’, Centre universitaire d’EL-OUED 2008.
- [10] B.De Metz-Noblat, G. Jeanjean« Stabilité dynamiques des réseaux électriques industriels» Cahier Technique n° 185, édition Janvier 1997.
- [11]-IEEE COMITE REPORTE " understanding automatic Generation control " 91wm229-5PWRS 1991 IEE
- [12]-ENDERSON, P.M and FOUAD , A.A : " power system control and stability " vol1 , Iowa state university press 1977
- [13] –LPSINGH "Advanced power system analysis and dynamics " second edition 1986
- [14] –STANGG and EL-ABIAD " computer method in power system analysis" MACGRAW – HILL 1981 USA
- [15]-ALLEN JWOOD BRUCEF WOLLENBERG "Power generation operation control" Copy right 1984

[16]-IEEE TRANS "Design of a PSS sensing frequency deviation " vol , pas 90,n2,March /April 1971

[17]-M.AGUET ET JJ MORPH "Energie électrique " édition dunod

[18]-MARTIN ROEKMAN "Modélisation et commande de la machine synchrone pour la générateur électrique d'un AERONEF " thèse de doctorat ,INP de GRENOBLE 1993

[19]-D.KORICHI " Analyse et technique des phases de lestage sur les systèmes de puissance " projet de fin d'étude ,ENP, juin 1993

[20]-MORICE RIVOIRE JEON –LUISE FERRIER " Cours d'automatique asservissement-régulateur –commande analogique " édition chihab- eyrolles

[21]-ELGERD , " Théorie d'énergie du système électrique : Introduction , " edition arabe 1982 "

[22]-Hasan ALKHATIB "Etude de la stabilité aux petites perturbations dans les grands réseaux électriques" Doctorat de l'université paul-Cézanne D'aix Marseille tel-00408160, version 1 - 29 Jul 2009