

# Commande par PSS pour améliorer la stabilité du système électro-énergétique

Djamel Eddine GHOURAF and Abdellatif NACERI

**Résumé** – Cet article présente une étude de la stabilité d'un système électro-énergétique à l'aide des stabilisateurs de puissance conventionnel PSS (Régulateur classique réalisé en PID) appliqués à la régulation automatique d'excitation des machines synchrones puissants (turboalternateurs) pour l'amélioration des performances dynamiques et de la stabilité d'un système électro-énergétique (simple standard IEEE type SMIB). Les résultats de simulation (étude de la stabilité du SMIB vis-à-vis des variations paramétriques de la machine), montrent une amélioration considérable des performances dynamiques et une grande stabilité de cette dernier. Notre étude à été effectuée pour différents types des machines synchrones puissants (turboalternateurs): TBB-200, TBB-500, BBC-720 et TBB-1000.

**Mots-clés** – Générateurs synchrones puissants, control automatique d'excitation, AVR-PSS, régulateur PID, système électro-énergétique et stabilité, GUI.

## 1. INTRODUCTION

Un système électro-énergétique (système de puissance) est un système hautement non-linéaire qui fonctionne dans un environnement en évolution continue: charges, puissance de génération, topologie du réseau. Le système peut aussi être soumis à des perturbations; la perturbation peut être faible ou importante. De petites perturbations, sous forme de variations de charge, se produisent continuellement. Le système doit être capable de "répondre" de façon satisfaisante aux besoins de la charge. Le système doit également être capable de résister à de nombreuses perturbations d'une nature sévère comme la foudre, la perte d'une unité de génération, un court-circuit sur une ligne de transmission. Suite à une perturbation transitoire, si le système est stable, il atteindra un nouvel état d'équilibre. Si le système est instable, cela se traduira, par exemple, par une augmentation progressive de l'écart entre les angles de rotor des générateurs ou par une diminution progressive des tensions des nœuds du réseau. Un état instable du système pourra conduire à des pannes en cascade et une déconnexion d'une grande partie du réseau électrique.

Pour surmonter le problème des oscillations électromécanique et améliorer l'amortissement du système, des signaux supplémentaires stabilisateurs sont introduits dans le système d'excitation via son régulateur de tension. Ces signaux stabilisateurs vont produire des couples en phase avec la variation de vitesse de générateur pour compenser le retard de phase introduit par le système d'excitation. Les stabilisateurs de puissance (Power System Stabilizers, PSSs) [1], grâce à leurs avantages en terme de coût économique et d'efficacité, sont les moyens habituels, non seulement

pour éliminer les effets négatifs des régulateurs de tension, mais aussi pour amortir les oscillations électromécaniques et assurer la stabilité globale du système [2, 3].

## 2. DESCRIPTION GENERALE DU SYSTEME ELECTRO-ENERGETIQUE ETUDIE :

Le système électro-énergétique 'SEE' étudié comporte à plusieurs systèmes électriques avec un modèle mathématique très compliqué [4]. La figure 1 représente un système standard IEEE type SMIB (Single Machine Infinity Bus System) avec la commande d'excitation du Générateur Synchrone Puissant (GSP).

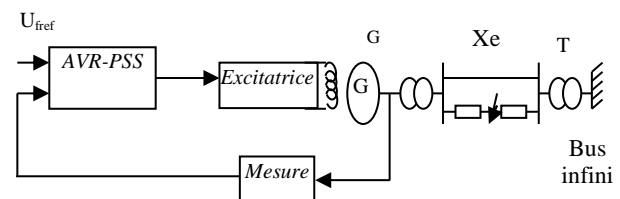


Fig. 1. Système standard IEEE type SMIB avec commande d'excitation du générateur synchrone puissant.

Les puissances d'excitation des alternateurs de forte puissance sont telles (plusieurs mégawatts) qu'il est intéressant d'utiliser la puissance mécanique disponible sur l'arbre pour fournir le courant d'excitation. On utilise alors un système d'excitation monté sur le même arbre que le rotor de l'alternateur. De plus, il est alors possible de supprimer les contacts glissants nécessaires à l'alimentation de l'excitation [5,6].

L'AVR (Automatic Voltage Regulator) est un système de régulation de la tension d'un générateur synchrone puissant. Le système AVR agit pour réguler

cette tension par l'intermédiaire de l'excitatrice. Par ailleurs, Les stabilisateurs des systèmes de puissance PSS, étaient développés pour assister à amortir les oscillations de la tension de sortie d'un alternateur [1]. Le schéma synoptique simplifié de système d'excitation avec régulateur AVR, PSS est donné par les figures 2,3.

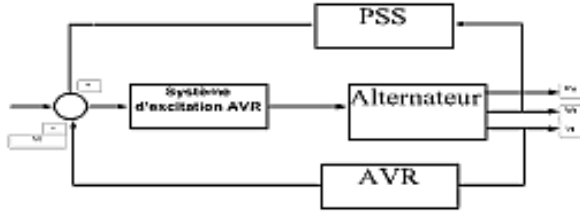


Fig. 2. Système d'excitation avec l'AVR-PSS.

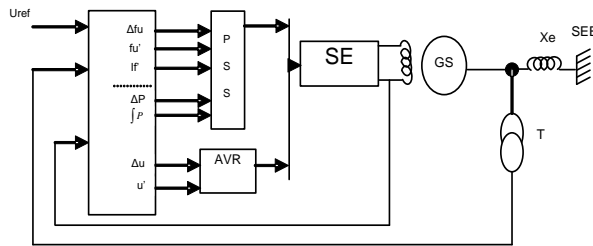


Fig. 3. Schéma fonctionnel du système de commande avec PSS pour GSP.

### 3. LA MODÉLISATION DU SEE

#### 3.1. La modélisation de Park du GSP

La modélisation de Park construite à partir des équations électriques de la machine (Fig. 4).

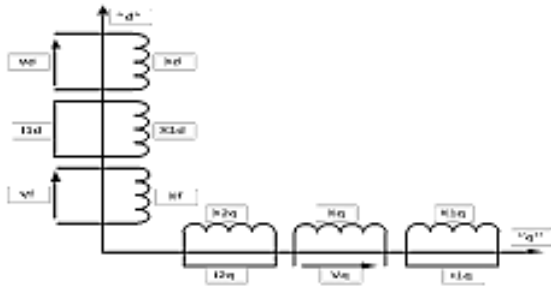


Fig. 4. Transformation de PARK de la machine synchrone [8].

Ce modèle fait un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. L'induction dans l'entrefer est sinusoïdale, la saturation du circuit magnétique, les pertes fer, les harmoniques d'encoches et d'espaces ne sont pas pris en compte dans la modélisation. En raison de la simplicité de la formulation algébrique, ce type d'approche est bien adapté à l'élaboration d'algorithmes de commande [1 ,4].

#### 3.2. La modélisation par réseaux de permeances (PARK-GARIOV)

Dans cet article on a basé sur la modélisation par réseaux de permeances (pour éliminer des hypothèses simplificatrices et tester l'algorithme de commande) de

la machine, dite modèle PARK-GARIOV [4 ,7], qui est définie par les équations et la figure 5 suivante :

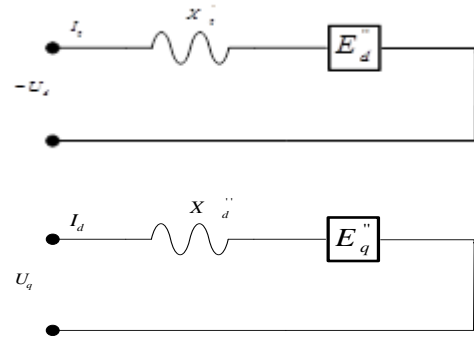


Fig. 5. Schémas équivalents simplifié de la machine synchrone avec circuits amortisseurs (modèle PARK-GARIOV).

#### 3.2.1. Système d'équations des courants et FEM subtransitoire :

$$I_d = \frac{U_q - E_q'}{X_d'} I_d = \frac{-(U_d - E_d')}{X_q'} I_f = \frac{(\Phi_f - \Phi_{ad})}{X_{sr}} I_{1d} = \frac{(\Phi_{1d} - \Phi_{ad})}{X_{srd}} I_{1q} = \frac{(\Phi_{1q} - \Phi_{aq})}{X_{sr1q}} I_{2q} = \frac{(\Phi_{2q} - \Phi_{aq})}{X_{sr2q}} \quad (1)$$

$$E_q' = \frac{1/X_{sf} \cdot X_f E_q' + 1/X_{sfd} \cdot X_{fd} E_{fq}'}{1/X_{ad} + 1/X_{sf} + 1/X_{sfd}} E_d' = \frac{1/X_{sfq} \cdot X_{fq} E_{fd}'}{1/X_{ad} + 1/X_{sfq}} E_d' \quad (2)$$

#### 3.2.2. Système d'équations des flux:

$$\Phi_{ad} = E_q' + (X_d' - X_s) I_d, \quad \Phi_{aq} = E_d' + (X_q' - X_s) I_q$$

$$\Phi_f = \omega_s \int_0^{\Phi_f} (-R_f I_f + U_{f0}) dt, \quad \Phi_{1d} = \omega_s \int_0^{\Phi_{1d}} (-R_{1d} I_{1d}) dt$$

$$\Phi_{1q} = \omega_s \int_0^{\Phi_{1q}} (-R_{1q} I_{1q}) dt, \quad \Phi_{2q} = \omega_s \int_0^{\Phi_{2q}} (-R_{2q} I_{2q}) dt \quad (3)$$

#### 3.2.3. Equation du mouvement du rotor de la machine (mécanique):

$$d\delta = (\omega - \omega_s) dt, \quad s = \frac{\omega - \omega_s}{\omega_s} \quad (4)$$

$$M_T + M_j + M_e = 0$$

avec  $M_j$  : moment d'inertie  $\left( M_j = -j \frac{d\omega}{dt} \right)$

$$j \frac{d\omega}{dt} + \frac{P_e}{\omega_s} = M_T \quad (5)$$

$$T_j \frac{d}{dt} s + (\Phi_{ad} I_q - \Phi_{aq} I_d) = M_T \quad \text{ou} \quad T_j \frac{d}{dt} s = M_T - M_e \quad (6)$$

### 3.3. Modeles des régulateurs AVR ET PSS:

Dans notre étude la machine synchrone est équipée par un régulateur de tension modèle «IEEE» type - 5 [9], est représenté par la figure 6.

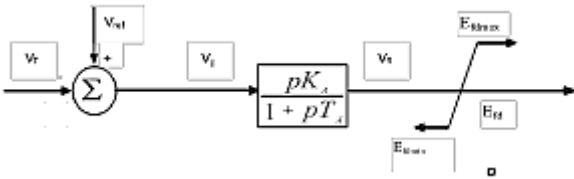


Fig. 6. Schéma du circuit d'excitation (AVR) «IEEE» type-5 simplifié.

$$\text{Avec : } V_R = \frac{K_A V_E - V_R}{T_A} \quad \text{et} \quad V_E = V_{ref} - V_F \quad (7)$$

Concernant le stabilisateur PSS des efforts considérables ont été déployés pour le développement de ce système. La fonction de base d'un système stabilisateur de puissance PSS est de moduler l'excitation du générateur synchrone puissant pour fournir un amortissement aux oscillations [1,2,4].

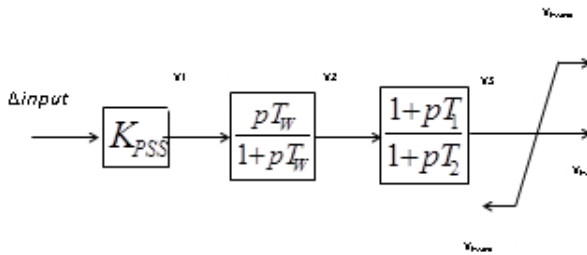


Fig. 7. Schéma fonctionnelle du PSS utilisé [8].

Le signal du PSS est donné par [8] :

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \frac{V_2 - V_1}{T_1} + \frac{T_2}{T_1} \dot{V}_2; \\ \dot{V}_2 = \frac{V_3 - V_2}{T_2} + \frac{T_3}{T_2} \dot{V}_2; \\ \dot{V}_3 = \frac{V_3}{T_w} \dot{V}_1; \\ \dot{V}_1 = K_{PSS} \Delta input \end{cases} \quad \Delta input = \begin{cases} \Delta P, \int p \\ \text{ou} \\ \Delta \omega = \omega_{mach} - \omega_0 \\ \text{et} \\ \Delta I_f = I_f - I_{f0} \\ \text{et} \\ \Delta U_f = U_f - U_{f0} \end{cases} \quad (8)$$

### 3.4. Modele simplifié du système SMIB étudié

Considérons le système de la figure 8. Ou la machine synchrone est connectée par une ligne de transmission à un réseau de puissance infini type SMIB. La ligne ayant une résistance  $R_e$ , et une inductance  $L_e$

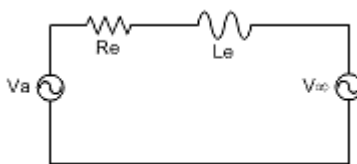


Fig. 8. Machine synchrone connectée à un réseau bus infini

[4].

On définit l'équation suivante du système SMIB :

$$V_{\infty odq} = P V_{\infty abc} = \sqrt{2} V_{\infty} \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin(\delta - \alpha) \\ \cos(\delta - \alpha) \end{bmatrix} + L_e I'_{odq} + X_e \begin{bmatrix} 0 \\ -i_q \\ i_d \end{bmatrix} \quad (10)$$

## 4. SIMULATION DU SYSTEME SMIB SOUS MATLAB

### 4.1. Réalisation d'un code de calcul sous MATLAB/SIMULINK

La simulation de modèles mathématiques du système électro-énergétique utilisé (Modèle par réseaux de perméances de Park-Garivov de la MS avec les régulateurs AVR et AVR-PSS relié aux Réseau de Puissance Infinie), est représentée sur la figure 9 [8].

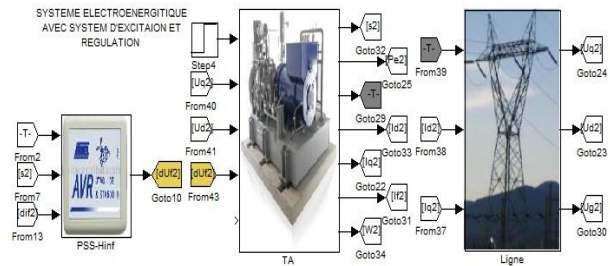


Fig. 9. Structure de la machine synchrone (modèle PARK- GARIOV) avec le contrôleur d'excitation sous MATLAB SIMULINK.

### 4.2. Réalisation d'un GUI pour l'étude Sous MATLAB

Pour analyser et visualiser les différents comportements dynamiques du système électro-énergétique on a créé et élaboré un GUI (Graphical User Interfaces) sous logiciel MATLAB. Cette technique avec le Gui Matlab réalisé nous ont permet:

- D'Effectuer le contrôle du système à partir des régulateurs (AVR et PSS) ;
- De visualiser les résultats de la régulation et la simulation de notre système ;
- De calculer les paramètres dynamiques du système ;
- D'étudier les différents régimes de fonctionnement du générateur synchrone puissant (sous excité, nominale et sur excité).

Les différentes opérations sont effectuées à partir du GUI réalisé (représenté à la fig. 10).

### 4.3. Résultats de simulation et discussion

L'étude du système s'est faite pour les trois cas suivants:

- 1 - Système en Boucle Ouverte (sans régulation) ;

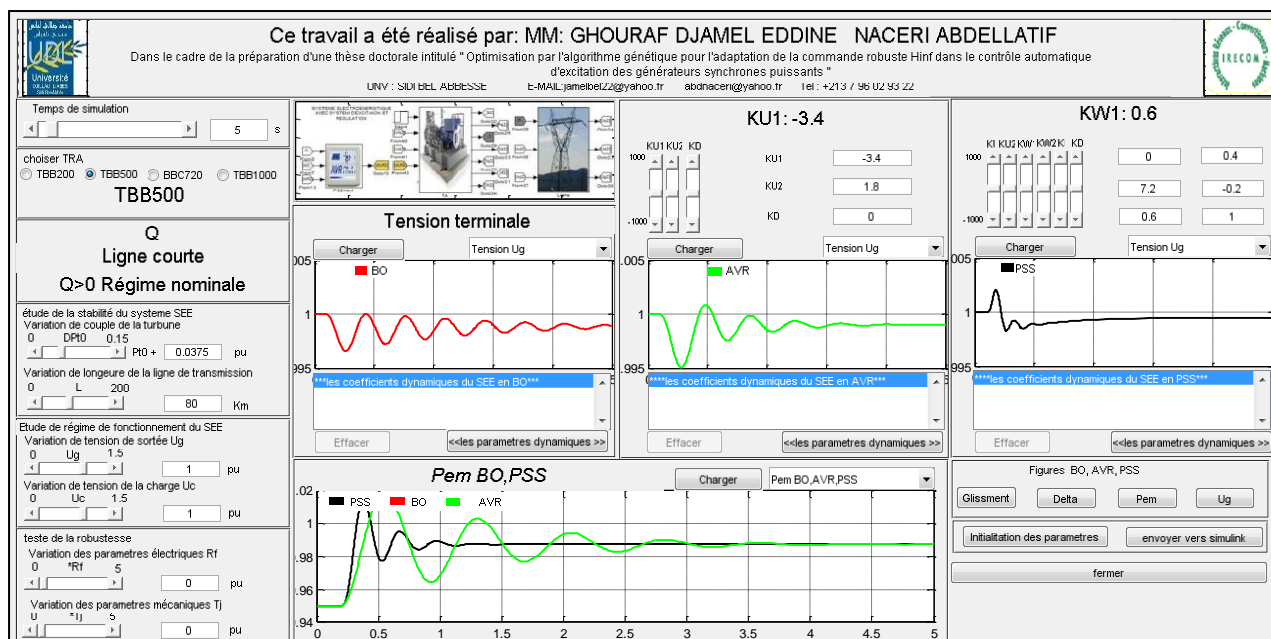


Fig. 10. Les applications du système sous GUI réalisé sous MATLAB.

- 2 - Système en Boucle Fermée avec le régulateur conventionnel PSS (AVR-FA);
  - 3 - Système en Boucle Fermée avec le régulateur AVR
- On a effectué des perturbations par variation brusque du couple de la turbine à 15% de  $\Delta T_m$  à l'instant  $t=0.2s$ , avec variations des paramètres du réseau extérieur (variation de  $X_L$ ):
    - pour une ligne longue avec  $L > 120$  km ( $X_L = 0.5$  pu);
    - pour une ligne moyenne de longueur 80 km  $L < 120$  km ( $X_L = 0.4$  pu et  $X_L = 0.3$  pu);
    - pour une ligne courte de longueur  $L < 80$  km ( $X_L = 0.2$  pu et  $X_L = 0.1$  pu).
  - On a simulé les régimes de fonctionnements suivants (avec différentes configurations du réseau extérieur cités en haut):
    - Régime nominale
    - Renvoi de la puissance réactive du réseau vers la machine ( $Q < 0$ ) en régime sous excité pendant les heures de repos (la nuit par exemple) ;
    - la sur - production de l'énergie réactive ( $Q$  très grande  $\gg$ ) en régime sur - excité pendant les heures de pointes.
  - Notre étude à été effectuée pour différents types des GSP: TBB-200, TBB-500, BBC-720 et TBB-1000, dont les paramètres de ces machines sont donnés en annexes A.

On présente sur le tableau 1 un exemple des résultats analytiques du comportement dynamique de SMIB par les calculs des paramètres suivants :

$\alpha$  : coefficients d'amortissements (Pour l'étude de la stabilité du système commandé).

$\varepsilon$  %: erreurs statiques en % (Pour l'étude des performances du système commandé).

$d$  %: dépassements en % (Pour l'étude de l'état critique de système commandé) ;

$t_s$  : temps d'établissement ou temps de réponse (étude de la réponse du système à commandé).

Pour les détails du calculer les différents paramètres voir GUI-MATLAB qui représenté dans l'annexe A.

De l'analyse des résultats trouvés dans le tableau 1 on peut constater ce qui suit:

Le régime le plus critique qui influe sur le système est le régime sous excité (cas plus défavorable) pour les différentes configurations.

Concernant les régulateurs AVR, PSS nous remarquons que le système est plus stable dans tous les régimes et avec tous types des lignes de transmission, on a des améliorations considérables des performances dynamiques (augmentation de la précision) du système avec régulation en comparaison avec celui en boucle ouverte.

On remarque ainsi que le contrôleur PSS (l'AVR-FA) apportent beaucoup plus d'améliorations de ces performances, par rapport l'utilisation du régulateur AVR seul d'après ces tableaux on a vérifié les conditions de stabilité et d'amélioration des performances dynamiques du système commandé avec les contrôleurs conventionnels PSS.

#### 4.4. Etude de la stabilité

La stabilité est considérée comme la condition nécessaire pour le fonctionnement normal d'un réseau électrique. L'identification des défauts (causes d'instabilité) est une condition nécessaire pour améliorer l'exploitation du réseau. Le comportement de la machine est lié au déséquilibre entre les puissances mécaniques ( $p_m$ ) et les puissances électriques ( $p_e$ ).

-  $p_m$ : dépend des caractéristiques de la centrale de production (turbine et régulation de vitesse).

Tableau 1. Les performances statiques et dynamiques du système SMIB.

TBB-200												
coefficients d'amortissement $\alpha$				Erreur statique %			Temps de réponse pour 5%			Dépassement %		
Q(pu)	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS
-0.1801	instable	-0.709	-1.761	instable	-2.640	-1.620	instable	4,231	1,704	9,572	9,053	7,892
-0.2016	instable	-0.708	-1.751	instable	-2.673	-1.629	instable	4,237	1,713	9,487	9,036	7,847
0.1896	-0.2442	-0.791	-1.855	-5.038	-2.269	-1.487	-	3,793	1,617	10,959	9,447	8,314
0.2847	-0.2354	-0.634	-1.759	-5.202	-1.807	-1.235	-	4,732	1,706	10,564	8,778	7,883
0.6896	-0.2095	-0.403	-1.470	-3.777	-0.933	-0.687	14,320	7,444	2,041	9,402	6,851	6,588
0.7173	-0.2080	-0.396	-1.442	-3.597	-0.900	-0.656	14,423	7,576	2,080	9,335	6,732	6,463
TBB-500												
coefficients d'amortissement $\alpha$				Erreur statique %			Temps de réponse pour 5%			Dépassement %		
Q(pu)	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS
-0.1801	instable	-0.765	-1.956	instable	-4.197	-1.459	instable	3,922	1,534	9,458	9,405	8,766
-0.2016	instable	-0.758	-1.926	instable	-4.230	-1.461	instable	3,958	1,558	9,254	9,137	8,632
0.1896	-0.2061	-0.761	-1.966	-5.933	-3.460	-1.386	-	3,942	1,526	9,249	9,635	8,811
0.2847	-0.2245	-0.691	-1.850	-5.802	-2.525	-1.170	-	4,342	1,621	9,075	9,500	8,292
0.6896	-0.3577	-0.492	-1.412	-4.903	-1.205	-0.659	8,387	6,098	2,125	8,053	7,380	6,328
0.7173	-0.3660	-0.484	-1.401	-4.597	-1.157	-0.683	8,197	6,198	2,141	7,426	7,260	6,279
BBC-720												
coefficients d'amortissement $\alpha$				Erreur statique %			Temps de réponse pour 5%			Dépassement %		
Q(pu)	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS
-0.2202	instable	-0.736	-1.858	instable	-2.640	-1.577	instable	4,076	1,349	9,956	9,776	8,955
-0.2464	instable	-0.728	-1.818	instable	-2.673	-1.579	instable	4,121	1,323	9,935	9,648	8,762
0.1489	-0.2810	-0.790	-2.049	-6.350	-2.269	-1.496	-	3,797	1,408	10,717	9,964	9,876
0.2726	-0.2651	-0.714	-2.017	-6.260	-1.807	-1.262	-	4,202	1,630	10,110	9,424	8,721
0.6552	-0.2377	-0.428	-1.704	-5.058	-0.933	-0.783	14,118	7,009	1,877	9,065	7,848	7,213
0.6892	-0.2365	-0.421	-1.398	-4.617	-0.900	-0.758	14,218	7,126	1,801	9,020	7,736	6,738
TBB-1000												
coefficients d'amortissement $\alpha$				Erreur statique %			Temps de réponse pour 5%			Dépassement %		
Q(pu)	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS	BO	AVR	PSS
-0.160	instable	-0.766	-1.761	instable	-2.302	-1.530	instable	3,916	1,704	9,456	8,490	7,892
-0.222	instable	-0.762	-1.731	instable	-3.787	-1.517	instable	3,937	1,713	9,412	8,430	7,847
0.2139	-0.2442	-0.785	-1.855	-5.214	-3.195	-1.432	-	3,822	1,617	10,127	8,775	8,314
0.1634	-0.2354	-0.677	-1.759	-5.111	-2.565	-1.222	-	4,431	1,706	10,342	8,155	7,883
0.5746	-0.2095	-0.444	-1.470	-3.711	-1.312	-0.701	14,000	6,757	2,041	9,127	6,660	6,588
0.5663	-0.2080	-0.433	-1.442	-3.432	-1.266	-0.665	14,675	6,928	2,080	9,428	6,495	6,463

- $p_e$ : dépend des caractéristiques du réseau et de ces charges (la régulation des tensions).

Pour étudier le comportement dynamique de notre système en régime perturbé (amortissement d'oscillations électromécaniques des paramètres de la machine synchrone), Les différents modèles (avec et sans réglage d'excitation) ont été réalisés sous MATLAB/SIMULINK.

Les courbes obtenues (11 et 14) nous donnent respectivement : la variation de vitesse en terme de glissement ( $\Delta\omega$ ); L'angle interne 'delta' du GSP entre la tension et la FEM ; La puissance électromagnétique ( $P_e$ ); La tension terminal du GSP ( $U_g$ ).

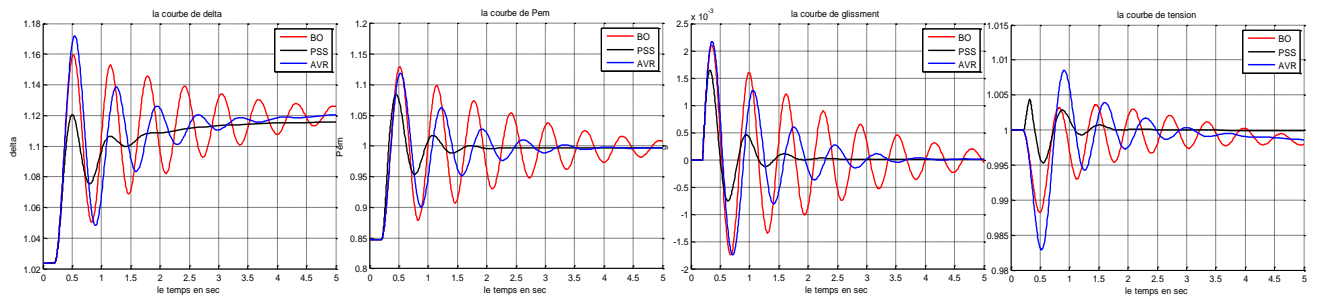
- Le système avec le régulateur AVR est stable, mais avec un temps d'établissement plus grand, l'amortissement est moins performant que celui du système sans introduction du stabilisateur PSS (AVR-FA). Le dépassement maximal diffère pour chaque sortie et avec des performances relativement acceptables et raisonnables ( $\epsilon_{AVR-FA} < 5\%$  de la tension nominale), qui dépend ainsi des conditions de fonctionnements (régime – configuration) et d'une situation à une autre.

- Avec l'utilisation du contrôleur d'excitation (l'AVR-FA), Le système est nettement plus stable et plus performant par rapport au système sans régulation ou avec AVR seul, on admet des coefficients d'amortissements élevés, les temps de réponse sont plus court (rapidité du système), des erreurs statiques faibles (précision). Généralement on a obtenue de très bonnes qualités des régimes transitoires avec l'amortissement des oscillations électromécanique meilleurs avec ce contrôleur d'excitation.

## 5. CONCLUSION

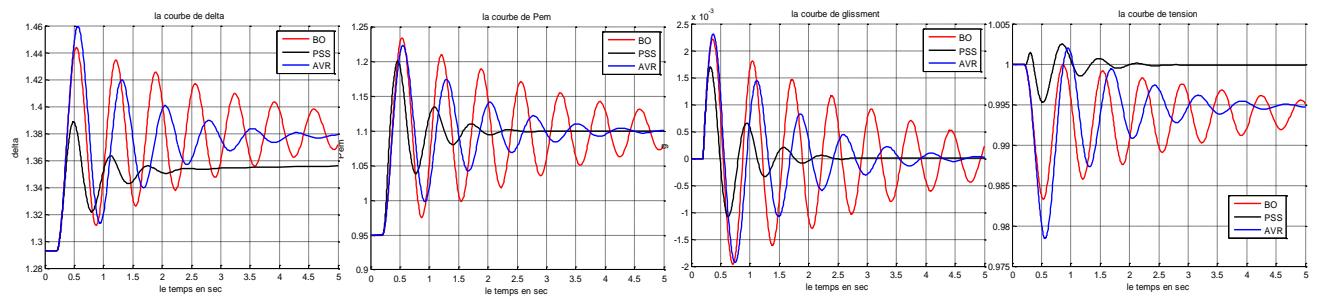
Dans ce travail, on s'est intéressé à l'étude des systèmes de régulation d'excitation des groupes Turbo – Alternateurs, pour l'amélioration des performances et la stabilité d'un système électro – énergétique. Ces régulateurs d'excitation sont capables de maintenir des meilleures performances dynamiques et de garantir la stabilité du système étudié face à des perturbations y compris incertains (incertitudes sur le système), sous différents régimes de fonctionnements et configurations des réseaux.

**Simulation du Turbo-alternateur TBB-200 avec:  $P_g=0.85(pu), X_e=0.5(pu), Q_1=-0.1801(pu)$**



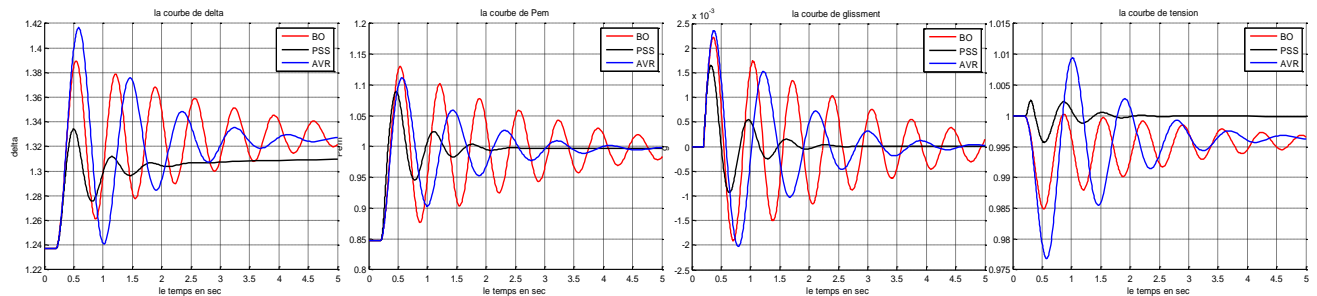
**Fig. 11.** Fonctionnement en régime sous excité du TBB-200 raccordé à une ligne longue en BO, AVR et PSS.

**Simulation du Turbo-alternateur TBB-500 avec:  $P_g=0.85(pu), X_e=0.5(pu), Q_1=-0.2016(pu)$**



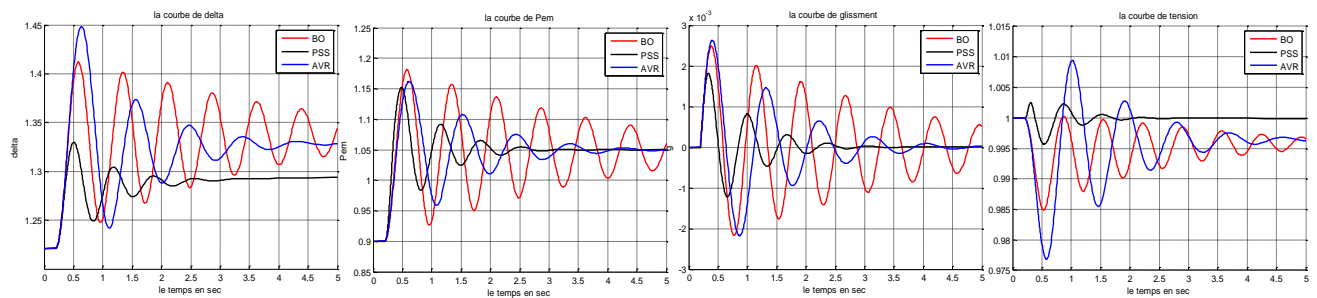
**Fig. 12.** Fonctionnement en régime sous excité du TBB-500 raccordé à une ligne longue en BO, AVR et PSS.

**Simulation du Turbo-alternateur BBC-720 avec:  $P_g=0.85(pu), X_e=0.5(pu), Q_1=-0.2202(pu)$**



**Fig. 13.** Fonctionnement en régime sous excité du BBC-720 raccordé à une ligne longue en BO, AVR et PSS.

**Simulation du Turbo-alternateur BBC-1000 avec:  $P_g=0.95(pu), X_e=0.5(pu), Q_1=-0.160(pu)$**



**Fig. 14.** Fonctionnement en régime sous excité du TBB-1000 raccordé à une ligne longue en BO, AVR et PSS.

REFERENCES

1. L.A. GROUZDEV, A.A. STARODEBSEV, S.M. OUSTINOV, "Conditions d'application des meilleurs amortissements des processus transitoires dans les systèmes énergétiques avec optimisation numérique des paramètres du régulateur AVR-FA" *Energie* -1990-N°11-pp.21-25 (traduit du russe).
2. DeMello F.P., Flannett L.N. and Undrill J.M., «Practical approach to supplementary stabilizing from accelerating power», *IEEE Trans.*, vol. PAS-97, pp, 1515-1522, 1978.
3. DeMello F.P. and Concordia C., «Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control», *IEEE Trans. on PAS*, vol. PAS-88, pp. 316–329, 1969.
4. S.V. SMOLOVIK "Méthodes de modélisation mathématique des processus transitoires des générateurs synchrones plus usuels et non traditionnels dans les systèmes électro -énergétiques" Thèse doctorat d'état, Institut polytechnique de Leningrad, 1988 (traduit du Russe).
5. P. KUNDUR, "Definition and Classification of power System Stability", Draft 2, 14 January,2002
6. P.M. ANDERSON, A.A. FOUAD "Power System control and Stability", IEE Press, 1991.
7. Zhou K., Doyle J.C., Glover K. "Robust and optimal control. Englewood Cliffs", NJ: Prentice Hall, 1996
8. GHOURAF.D.E. "Exploitation des techniques fréquentielles avancées dans le contrôle automatique d'excitation des machines synchrones" mémoire Magister ETT, op. convertisseur électromécanique, Dept. ETT, université SBA, 2009-20110 (Encadré par . Mr. NACERI).
9. R. Asgharian "Asymptomatic approach to performance weights selection in design of robust  $H_{\infty}$ PSS using genetic algorithms", *IEEE trans. on EC*, vol 11, No 21, September 1996, pp.111-11

ANNEXES A

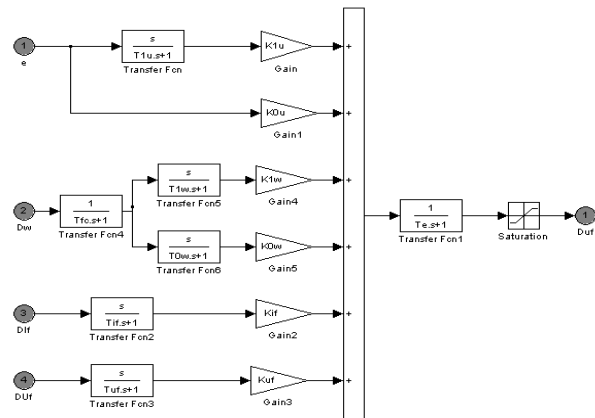
1. Paramètre des turbo-alternateurs étude

Paramètres	TBB-200	TBB-500	BBC-720	TBB1000	Unités de mesures
Puissance nominale	200	500	720	1000	MW
Facteur de puissance nom.	0.85	0.85	0.85	0.9	p.u.
$X_d$	2.56	1.869	2.67	2.35	p.u.
$X_q$	2.56	1.5	2.535	2.24	p.u.
$X_s$	0.222	0.194	0.22	0.32	p.u.
$X_f$	2.458	1.79	2.587	2.173	p.u.
$X_{sf}$	0.12	.115	0.137	0.143	p.u.
$X_{sfd}$	0.0996	0.063	0.1114	0.148	p.u.
$X_{sf1q}$	0.131	0.0407	0.944	0.263	p.u.
$X_{sf2q}$	0.9415	0.0407	0.104	0.104	p.u.
$R_a$	0.0055	0.0055	0.0055	0.005	p.u.
$R_f$	0.000844	0.000844	0.00176	0.00132	p.u.
$R_{1d}$	0.0481	0.0481	0.003688	0.002	p.u.
$R_{1q}$	0.061	0.061	0.00277	0.023	p.u.
$R_{2q}$	0.115	0.115	0.00277	0.023	p.u.

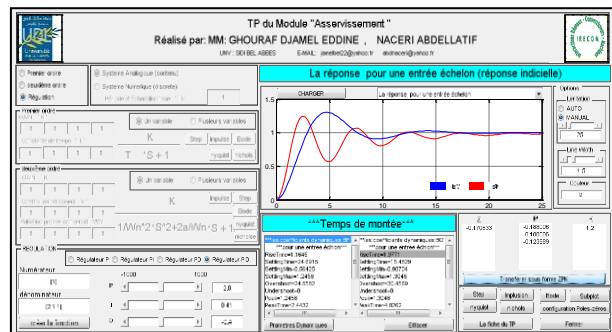
NOMENCLATURES:

- $E_{fd}$  : Tension de sortie de l'excitation.
- $V_F$  : Tension de sortie du filtre (stabilisation).
- $T_e$  : Couple électrique.
- $T_m$  : Couple mécanique

2 .Le modèle du PSS -FA



3.GUI –MATLAB pour calculer les paramètres dynamiques



- $V_d/V_q$  : Composantes selon l'axe directe / l'axe en quadrature de la tension
- $I_d/I_q$  : Composantes du courant selon l'axe direct et en quadrature
- $X_e/L_e$  : Réactance/ inductance de la ligne de transmission
- $X_d/L_d$  : Réactance/ inductance synchrone longitudinale
- $X_q/L_q$  : Réactance/ inductance synchrone transversale
- $X_q''$  : Réactance sub-transitoire transversale
- $X_s$  : Réactance inductive shunt statorique
- $X_f$  : Réactance inductive du circuit d'excitation
- $X_{sf}$  : Réactance inductive shunt du circuit d'excitation
- $X_{sfd}$  : Réactance inductive shunt du circuit d'amortissement sur l'axe directe
- $X_{sf1q}/X_{sf2q}$  : Réactance inductive shunt du premier/ seconde amortisseur sur l'axe en quadrature
- $R_a/R_f$  : Résistance active statorique/ circuit d'excitation (rotor)
- $R_{1d}$  : Résistance active du circuit d'amortissement selon l'axe direct
- $R_{1q}/R_{2q}$  : Résistance active du premier/seconde circuit d'amortissement selon l'axe en Quadrature

**Djamel Eddine GHOURAF**

Université UDL de Sidi Bel Abbas  
Département d'électrotechnique  
Laboratoire IRECOM  
BP 98, SBA, ALGERIE  
*E-mail:* [jamelbel22@yahoo.fr](mailto:jamelbel22@yahoo.fr)

**Djamel Eddine GHOURAF** : né le 16.01.1985, Magister en électrotechnique, option convertisseurs électromécaniques.