Volume 3

IV - SCIENCES, TECHNOLOGIES ET INNOVATION

COMMANDE PID NON LINEAIRE D'UN SYSTEME SMIB : COMPARAISON DE L'ERREUR SUR L'ANGLE DE PUISSANCE ET SUR LA VITESSE DE ROTATION

RAFANOTSIMIVA Liva Falisoa

Institut Supérieur de Technologie D'Antsiranana (IST-D), Groupe de Recherche pour le Développement Durable de Diégo-Suarez (GR3D) liva.rafanotsimiva@ist-antsiranana.mg

032 02 681 71 / 034 43 224 86

Résumé

Les réseaux d'énergie électrique sont constitués des systèmes de production (les centrales), de transport et de distribution (les transformateurs et les lignes) et d'utilisation (les consommateurs) de l'énergie électrique. C'est pour cela qu'on les appelle aussi systèmes PTDU. Une version simplifiée constituée d'une génératrice débitant sur un réseau à puissance de court-circuit par l'intermédiaire d'un transformateur en série avec deux lignes en parallèle est appelée système SMIB (de l'anglais Single Machine Infinite Bus). Le système de transmission (lignes et transformateurs) étant généralement exposé à l'air libre, le réseau n'est pas à l'abri de différentes perturbations atmosphériques et accidentelles (chute de foudre sur une ligne, coupure de conducteur de phase, ...). Les manœuvres lors de l'exploitation peuvent aussi causer des anomalies au bon fonctionnement du réseau (enclenchement/déclenchement de forte charge, augmentation ou diminution brusque de la tension, ...). Ce qui fait que le réseau peut sortir de son point de fonctionnement nominal, et après la perturbation, soit y revenir, soit prendre un autre point de fonctionnement stable, soit perdre totalement le synchronisme. D'où la nécessité de calcul de lois de commande pour piloter le système à revenir sur son état avant défaut après les perturbations. Dans cet article, nous mettons en œuvre la commande Proportionnel-Intégral-Dérivée (PID) sur un modèle un-axe du système SMIB utilisant le modèle (δ, ω,

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Eq). Nous considérons en premier lieu une erreur sur l'angle de puissance du générateur, puis en second lieu sur la vitesse relative de rotation électrique. Ensuite, nous faisons la comparaison entre les deux approches et tirer les conclusions nécessaires. Après simulation, nous constatons qu'en régime sain (sans défaut), les deux approches donnent à peu près les mêmes résultats. Les différences se voient par rapport au régime perturbé considéré (une chute de tension modeste de 15% et une erreur paramétrique sur l'angle de puissance) auquel l'action sur l'angle de puissance présente les meilleurs résultats.

<u>Mots clés</u> : Réseaux électriques, Commande non linéaire, PID, Erreur paramétrique, Chute de tension

Abstract

Electric power systems are made up of systems for the production (power plants), transmission and distribution (transformers and lines) and use (consumers) of electric power. This is why they are also called PTDU systems. A simplified version consisting of a generator discharging on a short-circuit power network by means of a transformer in series with two lines in parallel is called SMIB system (from English Single Machine Infinite Bus). Since the transmission system (lines and transformers) is generally exposed to the open air, the network is not immune to various atmospheric and accidental disturbances (lightning strike on a line, phase conductor cut, etc.). Maneuvers during operation can also cause anomalies in the proper functioning of the network (switching on / off of heavy load, sudden increase or decrease in voltage, etc.). This means that the network can leave its nominal operating point, and after the disturbance, either return to it, or take another stable operating point, or completely lose synchronism. Hence the need to calculate control laws to control the system to return to its pre-fault state after the article, we disturbances. In this implement the Proportional-Integral-Derivative (PID) control on a one-axis model of the SMIB system using the model (δ , ω , Eq). We first consider an error on the power angle of the generator, then second on the relative speed of electrical rotation.

Then we make the comparison between the two approaches and draw the necessary conclusions. After simulation, we find that in a steady state (without defect), the two approaches give roughly the same results. The differences are seen compared to the disturbed regime considered (a modest voltage drop of 15% and a parametric error on the power angle) in which the action on the power angle has the best results.

<u>Keywords</u>: Power systems, Nonlinear control, PID, Parametric error, Voltage drop.

Introduction

La commande PID a été mise sur le marché pour la première fois en 1939 et est restée le contrôleur le plus utilisé dans le contrôle de processus jusqu'à aujourd'hui. Une enquête réalisée en 1989 au Japon a indiqué que plus de 90% des contrôleurs utilisés dans les industries de process sont des contrôleurs PID et des versions avancées du contrôleur PID. Plusieurs littératures traitent ce type de commande (Zhong, 2006 ; AVR221 ; Copeland, 2008 ; Sathish Kumar et al., 2009). Araki propose un guide pour la sélection du mode d'action en utilisant trois méthodes : la méthode de sensibilité ultime de Ziegler-Nichols, la méthode de réponse par étapes de Ziegler-Nichols et la méthode de réglage de Chien-Hrones-Reswick.

De nombreux travaux étaient consacrés à l'étude de commande PID des réseaux d'énergies électriques. Ils partaient de modèle linéarisé d'un système SMIB et comparent les résultats obtenus par la commande PID avec d'autres astuces de commande. Dans Hosseini et al. (2009) par exemple, les auteurs travaillaient sur le modèle du Power System Stabilizer (PSS) conventionnel et ont comparé trois approches de commande : PID-PSS, floue (Fuzzy-PSS) et Linéaire Quadratique (LQR-PSS). Les sorties considérées varient selon l'intérêt de chaque étude. Il s'agit soit de la vitesse angulaire (et la fréquence), de l'angle de charge, du courant triphasé, des tensions, du couple, etc. Pour la commande PID, les auteurs utilisaient généralement soit une erreur sur l'angle de puissance du générateur, soit sur la vitesse angulaire. Tammam et al. (2010) utilisent une approche Genetic-PID comparé à trois autres approches : un PID conventionnel dont les gains sont calculés par la méthode de Ziegler-Nichols (ZN) (Ziegler et al., 1942), une commande PI conventionnel et la commande Particle Swarm Optimization (PSO). Les auteurs s'intéressaient cette fois-ci à la commande de la fréquence de charge (de l'anglais Load Frequency Control ou LFC).

Plusieurs articles traitent la commande utilisant l'Algorithme Génétique (de l'anglais Genetic Algorithm ou GA) à titre de comparaison avec le PID (Hosseini et al., 2009 ; Tammam et al., 2010 ; Hemmati et al., 2011). Hemmati et al. (2011) utilisent une commande PID d'un modèle linéarisé de réseau électrique avec une erreur sur la vitesse angulaire. Les gains sont ajustés par la méthode PSO et les résultats comparés à GA-PID.

Dans Omar et al. (2011), les auteurs utilisent le réglage des gains du PID par la méthode PSO comparé aux méthodes de recherche traditionnelles et aléatoires. Les applications considérées étaient un système hydraulique linéaire, une commande électrique linéaire avec perturbation (moteur à courant continu), un système de commande thermique linéaire avec retard et un moteur synchrone à aimant permanent non linéaire.

Le présent travail consiste à comparer les performances de la commande PID non linéaire utilisant une erreur sur l'angle de puissance avec celle utilisant une erreur sur la vitesse angulaire pour un système SMIB avec un modèle non linéaire à 1axe.

Le papier est organisé comme suit. En premier le système SMIB considéré sera présenté, puis, la commande PID en spécifiant son application par rapport à l'angle de puissance et la vitesse angulaire. Ensuite, les résultats de simulation seront présentés et interpretés. Enfin des conclusions nécessaires seront tirées pour se terminer avec les références.

Système SMIB

Rafanotsimiva et al. (2013) a été pris comme référence pour la stabilisation d'un réseau électrique simplifié, constitué d'une génératrice connectée à un réseau de puissance infinie par l'intermédiaire d'un transformateur et de deux lignes de transmission en parallèle (système SMIB).



Figure 1 : Réseau électrique simplifié (SMIB)

Un réseau SMIB est constitué d'une machine synchrone qui alimente un réseau infini au travers de lignes et d'un transformateur. La machine synchrone est modélisée par une force électromotrice constante *E* derrière une réactance x'_{d} . Le nœud infini est un point où la tension est constante et fixée en module et en phase (inertie très grande des autres machines). Les équations de conservation de la quantité de mouvement de l'ensemble turbine-machine synchrone sont données par :

$$\delta(t) = \omega(t)$$
(1)

$$\dot{\omega}(t) = -\frac{D}{H}\omega(t) + \frac{\omega_0}{2H} \left(P_m(t) - P_e(t) \right)$$
(2)

Avec δ : angle de puissance du générateur,

 ω : vitesse relative de rotation électrique du générateur.

En régime transitoire, à l'équilibre, on doit avoir $P_m = P_e$ compte tenu des pertes mécaniques. On en déduit la valeur de l'angle interne initial. Suite à une perturbation, X change instantanément mais pas δ . D'où rupture l'équilibre des de couples (accélération,...). Autour du point d'équilibre, il y a un domaine de stabilité limité. Si la perturbation est trop grande, c'est-à-dire qu'elle injecte trop d'énergie dans le système, le point initial après perturbation sort du domaine de stabilité. D'où perte de svnchronisme irrévocable en auelaues millisecondes.

En ce qui concerne les équations électriques de la machine synchrone, les machines étant fortement perturbées, on adopte généralement un modèle E' d'ordre plus élevé que le modèle classique E et qui tient compte de l'effet du système d'excitation sur le réseau. Dans le cadre de ce traail, on va selimiter au modèle avec E. Les dynamiques très rapides sont négligées car elles sont dominées par les dynamiques électromagnétiques et électromécaniques de la machine synchrone.

$$\overset{\sqcup}{E'_{q}}(t) = \frac{1}{T_{d0}} \left(E_{f}(t) - E_{q}(t) \right)$$
(3)

La dynamique électrique du générateur est donnée par les équations qui suivent :

$$E_{q}(t) = \frac{x_{ds}}{x_{ds}} E_{q}'(t) - \frac{(x_{d} - x_{d}')}{x_{ds}} V_{s} \cos \delta(t) ;$$

$$x_{ds} = x_{d} + x_{s} \quad \text{et} \qquad x'_{ds} = x'_{d} + x_{s} \quad (4)$$

$$E_{f}(t) = k_{c}u_{f}(t) \qquad (5)$$

$$P_{e}(t) = \frac{V_{s}E_{q}(t)}{x_{ds}} \sin \delta(t) \qquad (6)$$

$$I_{q}(t) = \frac{V_{s}}{x_{ds}} \sin \delta(t) = \frac{P_{e}(t)}{x_{ad}I_{f}} \qquad (7)$$

$$Q(t) = \frac{V_{s}E_{q}(t)}{x_{ds}} \cos \delta(t) - \frac{V_{s}^{2}}{x_{ds}} \qquad (8)$$

$$E_{q}(t) = x_{ad}I_{f}(t) \qquad (9)$$

$$V_{t}(t) = \frac{1}{x_{ds}} \left\{ x_{s}^{2}E_{q}^{2}(t) + x_{s}^{2}V_{s}^{2} + 2x_{d}x_{s}x_{ds}P_{e}(t) \cot g\delta(t) \right\}^{\frac{1}{2}} (10)$$

Auxquelles on ajoute les équations de la turbine :

$$\dot{P}_{m}(t) = -\frac{1}{T_{T}} P_{m}(t) + \frac{K_{T}}{T_{T}} X_{E}(t)$$

$$\dot{X}_{E}(t) = -\frac{1}{T_{G}} X_{E}(t) + \frac{K_{G}}{T_{G}} \left[P_{c}(t) - \frac{1}{R\omega_{0}} \omega(t) \right]$$
(12)

Les lignes, transformateurs et charges sont régis par les modèles standards IEEE. Pour les lignes de transmission, on utilise la schéma équivalent en π en incluant les éléments shunts. Pour les transformateurs, on utilise le modèle basse fréquence *R*, *L* série.

Ainsi, le modèle mathématique que nous allons étudier est décrit comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\delta}(t) = \omega(t) \\ \dot{\omega}(t) = -\frac{D}{H}\omega(t) - \frac{\omega_0}{2H}\frac{1}{x_{ds}}V_s \sin\delta(t)E_q(t) + \frac{\omega_0}{2H}P_{m0} \\ \dot{E}_q(t) = \frac{x_d - x_{ld}}{x_{lds}}V_s \sin\delta(t)\omega(t) - \frac{1}{T_{ld_0}}\frac{x_{ds}}{x_{lds}}E_q(t) + \frac{x_{ds}}{x_{lds}}\frac{k_c}{T_{ld_0}}u_f(t) \end{cases}$$
(13)

Commande PID

La commande PID n'est pas la plus performante des commandes mais c'est la plus répandue. P, I et D sont les initiales de Proportionnel, Intégral, Dérivé. P dépend de l'erreur présente à annuler e(t), I de l'accumulation des erreurs du passé et D est une prédiction des erreurs à l'avenir, fondée sur le taux actuel de changement.

$$P = \frac{100}{gain} = \frac{100}{K_p};$$

$$u(t) = K_p e(t) = \frac{100}{P} e(t) \quad (14)$$

$$I = \frac{1}{reset} = \frac{1}{K_i} = \frac{repeats}{time};$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau = \frac{1}{I} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (15)$$

$$D = rate = K_d; \quad u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (16)$$

En général, une large valeur du gain proportionnel K_p génère une réponse rapide mais aussi un risque d'instabilité et d'oscillation du système. Une large valeur de K_i entraine une élimination rapide de l'erreur. Tandis qu'une large valeur de K_d diminue le dépassement mais présente un risque d'instabilité et la réponse transitoire va tomber.

On peut considérer deux approches selon qu'on travaille avec l'angle de puissance δ_t ou la vitesse relative de rotation électrique ω_t du générateur :

$$e(t) = \delta(t) - \delta_m(t)$$
 ou

 $e(t) = \omega(t) - \omega_0(t).$ (17)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}.$$
 (18)

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right).$$
(19)

Avec :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$
, T_i : temps d'intégration, (20)

 $K_d = K_p T_d$, T_d : temps de dérivation. (21)

Première approche : Loi de commande PID relative à l'angle de puissance

$$\frac{du(t)}{dt} = K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i e(t) + K_d \frac{d^2 e(t)}{dt^2},$$
 (22)

$$\frac{du(t)}{dt} = K_p \frac{d\delta(t)}{dt} + K_i(\delta(t) - \delta_0) + K_d \frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta(t)}{dt}\right), (23)$$
$$\frac{du(t)}{dt} = K_p \omega(t) + K_i(\delta(t) - \delta_0) + K_d \frac{d\omega(t)}{dt}. (24)$$

Nous avons procédé à un réglage manuel comme suit :

Si le système doit rester en ligne, une méthode de réglage est d'abord de définir des valeurs de K_i et K_d à zéro. Augmenter K_p jusqu'à ce que la sortie de la boucle oscille, puis K_p devrait être réglé à environ la moitié de cette valeur pour un quart de la décroissance d'amplitude du type de la réponse.

Puis augmentez *K*_i jusqu'à ce que tout décalage soit correct en temps utile pour le processus. Cependant, une valeur de *K*_i trop élevée sera source d'instabilité.

Enfin, l'augmentation de K_d , si nécessaire, jusqu'à ce que la boucle soit suffisamment rapide pour atteindre sa référence après une perturbation

de charge. Cependant, une valeur de K_d trop élevée va provoquer une réaction excessive et dépassement.

Une mise au point de la boucle rapide PID crée en général un léger dépassement pour atteindre le point de consigne plus rapidement, mais certains systèmes ne peuvent pas accepter le dépassement, dans ce cas, un sur-amortissement du système en boucle fermée est nécessaire, ce qui nécessitera un K_d mis au-dessous de la moitié de la valeur de K_p qui a causé l'oscillation.

Tableau 1 : Réglage des paramètres du régulateur PID par la méthode de Ziegler- Nichols en boucle ouverte (Zhong, 2006 ; Ziegler et al., 1942 ; Mudry, 2006).

| Type c commande | le | Kp | K _i | K _d |
|--------------------|----|-----------------------|----------------|-----------------|
| P | | 0,5 <mark>K</mark> u | | |
| PI | | 0,45 <mark>K</mark> u | $1,2K_p/P_u$ | |
| PID | | 0,6 <mark>K</mark> u | $2K_p/P_u$ | K_p . $P_u/8$ |

Seconde approche : loi de commande PID relative à la vitesse de rotation

$$u(t) = K_{p}(\omega(t) - \omega_{0}) + K_{i} \int_{0}^{t} (\omega(\tau) - \omega_{0}) d\tau + K_{d} \frac{d(\omega(t) - \omega_{0})}{dt}.$$
 (25)

$$u(t) = K_{p}(\omega(t) - \omega_{0}) + K_{i} \int_{0}^{t} (\omega(\tau) - \omega_{0}) d\tau + K_{d} \frac{d(\omega(t))}{dt} - K_{d} \frac{d(\omega_{0})}{dt},$$
 (26)

$$u(t) = K_{p}(\omega(t) - \omega_{0}) + K_{i} \delta(t) + K_{d} \frac{\delta(\omega(t))}{dt},$$
 (27)

$$u(t) = K_{p}(\omega(t) - \omega_{0}) + K_{i} \delta(t) + K_{d} \left(-\frac{b}{H} \omega(t) - \frac{\omega_{0}}{2H} \frac{1}{x_{ds}} V_{s} sin\delta(t) E_{q}(t) + \frac{\omega_{0}}{2H} P_{m0} \right),$$
 (28)

$$u(t) = K_t \delta(t) + \left(K_p - \frac{DK_d}{H}\right)\omega(t) - \frac{\omega_0}{2H}\frac{K_d}{x_{ds}}V_s sin\delta(t)E_q(t) + \left(\frac{\omega_0K_d}{2H}P_{m0} - K_p\omega_0\right).$$
 (29)

Résultats de simulation

Les simulations ont été faites avec les données suivantes :

$$\begin{split} &\omega_0 = 314.159 rad/s; \ D = 5pu; \ H = 4pusec; \\ &T'_{d0} = 8sec; \qquad k_c = 200pu; \qquad x_d = 1.81pu; \\ &x'_d = 0.3pu; \ x_T = 0.15pu; \ x_{L1} = 0.5pu \qquad ; \\ &x_{L2} = 0.93pu; \\ &f_0 = 50Hz; \end{split}$$

$$x_{ds} = x_T + x_d + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1} + x_{L2}} = 2.28518;$$

$$x'_{ds} = x_T + x'_d + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1} + x_{L2}} = 0.77518;$$

$$x_{ds} = x_T + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1} + x_{L2}} = 0.47518;$$

$$max |k_c U_f(t)| = 7pu$$

$$(max \left| U_f(t) \right| = 0.035 pu)$$

 $x_{L1} + x_{L2}$

Point de fonctionnement : $\delta_0 = 67.5^{\circ}$ $(\delta_0 = 1.18 rad); P_{m0} = 0.9 pu; V_{t0} = 1.0 pu.$

En procédant à la comparaison des comportements du système SMIB par rapport aux deux approches, on constate que :

les deux lois de commandes donnent à peu près les mêmes résultats sur les comportements de chacune des grandeurs d'entrée, d'état et de mesures (angle de puissance $\delta(t)$, vitesse relative de rotation électrique $\omega(t)$, tension interne en quadrature $E_q(t)$, loi de commande u(t), tension de sortie $V_t(t)$ et puissance de sortie $P_e(t)$) au cas du régime sain (sans défaut) et du régime perturbé (avec une chute de tension modeste de 15%). Nous n'avons pas présenté ces résultats par faute de place ;

les deux lois de commande donnent à peu près les mêmes allures mais des résultats assez différents surtout concernant les grandeurs angle de puissance $\delta(t)$, tension interne en quadrature $E_q(t)$ et tension de sortie $V_t(t)$ au cas du régime perturbé causé par une erreur initiale de 1,64% sur l'angle de puissance $\delta(t)$. Ce que montrent les figures 2, 3 et 4 suivantes.



Figure 2 : Variation de l'angle de puissance δ sous les deux approches PID avec l'angle de puissance et la vitesse relative



Figure 3 : Variation de la tension interne en quadrature E_q sous les deux approches PID avec l'angle de puissance et la vitesse relative



Figure 4 : Variation de la tension de sortie V_t sous les deux approches PID avec l'angle de puissance et la vitesse relative.

Conclusion

Nous avons présenté dans cet article la comparaison des commandes PID non linéaire l'une par rapport à une erreur sur l'angle de puissance du générateur SMIB et l'autre sur la vitesse de rotation du même générateur. Nous avons considéré deux types de défaut : une chute de tension et une erreur paramétrique sur l'un des valeurs du point de fonctionnement. Les simulations ont montré une performance quasi-égale des deux approches en régime permanent et un avantage de l'application de l'approche sur l'angle de puissance en régime de défaut. Une extension de ce travail peut être la prise en compte de plusieurs types de défaut (enclenchement/déclenchement de forte charge, aléas climatique, etc.), la considération d'un modèle plus exact du système SMIB (modèle 2-axes) (Anene et al., 2007), l'extension à un réseau électrique multimachines (Jeevanandham et al., 2009) mais aussi la prise en compte des dispositifs de l'électronique de puissance (de l'anglais Flexible

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Alternating Current for Transmission System ou FACTS) (Manjarekar et al., 2008).

Références

AVR221 : Discrete PID controller, Application note

- Anene, E. C., U. O. Aliyu, J. Lévine and G. K. Venayagamoorthy, (2007). Flatness-Based Feedback Linearization of A Synchronous Machine Model With Static Excitation And Fast Turbine Valving, IEEE. Power Engineering Society General Meeting.
- Araki M., PID control. Control systems, robotics and automation, Vol. II, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). http://www.eolss.net/samplechapters/c18/e6-43-03-03.pdf.
- Copeland, B.R., (2008). The Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning, March 2008
- Hemmati R., S.M. S. Boroujeni, H. Delafkar, and A. S. Boroujeni, (2011). PID Controller Adjustment using PSO for Multi Area Load Frequency Control, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(3): 295-302, ISSN 1991-8178, 2011
- Hosseini, S.H., R. Rahnavard, H. Kharrati, (2009). Application of genetic algorithm to design PID controller for power system stabilization. http://citeseerx.ist.psu.edu/, 2009.
- Jeevanandham A., K. Gowder Thanushkodi, (2009). Robust Design of Decentralized Power System Stabilizers using Meta-heuristic Optimization Techniques for Multimachine Systems, Serbian *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 6(1) : May 2009, pp.89-103
- Manjarekar, N.S., R.N. Banavar, R. Ortega, (2008). Nonlinear Control Synthesis for Asymptotic Stabilization of the Swing Equation using a Controllable Series Capacitor via Immersion and Invariance. Proceedings of the 47th IEEE. Conference on Decision and Control, Cancun, Mexico, Dec. 9-11, 2008.

- Mudry F., (2006). Ajustage des paramètres d'un régulateur PID, Departement d'Electricité et d'Informatique, EICV, Suisse.
- Omar, M.H.T., W.M. Ali, M.Z. Mostafa , (2011). Auto Tuning of PID Controller Using Swarm Intelligence, International Review of Automatic Control (I.RE.A.CO.), Vol. 4 (3) : 319-327.
- Rafanotsimiva, L.F., G. Besancon, D. Georges, E.J.R. Sambatra et J.M., Razafimahenina, (2013). Modélisation multimodèle et commande par Compensation Parallèle Distribuée d'un système SMIB, Mada-ENELSA, Vol.1, pp. 18–26.
- Sathish Kumar, K., S. Naveen, R. Rajaram, V. Tamilselvan, V. Shanmugasundaram, I.G. Mohamed Nowfal Hariharan, T. Jayabarathi, (2009). Power system restoration with constant voltage profile using PID control, Short Paper, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol 2 (7), November 2009
- Tammam, M.A., M.A. Moustafa, M.A.E S. Abo Ela, A.E.A., Seif, (2010). Load Frequency Control Using Genetic Algorithm Based PID Controller for Single Area
 Power System. *International 12 5 Conference on Renewable Energies and Power Quality* (ICREPQ 11). Las Palmas de Gran Canaria (Spain).
- Zhong, J., (2006). PID Controller Tuning : A Short Tutorial, Mechanical Engineering, Purdue University, Spring 2006.
- Ziegler, J.G., N.B. Nichols, and N.Y. Rochester, (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, **vol. 64**(8): 759–768.