

## المقارنة بين تأثير مخدم اهتزاز تقليدي ومخدم من نوع PID في الاستقرار الديناميكي لأنظمة الطاقة الكهربائية

الدكتور محمد عبد الحميد\*

(تاريخ الإيداع 30 / 5 / 2007. قُبِلَ للنشر في 5/12/2007)

### □ الملخص □

تركز معظم مواضيع التحكم في نظم الطاقة الكهربائية على الحفاظ على استقرار نظام الطاقة ومنعه من فقدان التوافق بعد تعرضه إلى اضطرابات مختلفة، حيث أنه، عندما يتعرض إلى اضطراب فإن ذلك سيؤدي إلى نشوء اهتزازات تزداد و تتقل مع الاستطاعة المنقولة عبر خطوط النقل حتى تصل إلى المولدات. لذلك يكون تحسين تخامد النظام مطلوباً، و خاصةً عندما يطلب نقل حمولة كبيرة بنظام نقل ضعيف. يُعد الهدف الأساسي من إضافة مخدم اهتزاز هو تحسين التخامد لزيادة حدود نقل الاستطاعة. وقد تم التركيز في هذه المقالة على دراسة تحسين الاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة الكهربائي باستخدام مخدم اهتزاز من نوع PID، ورسمت منحنيات الاستجابة الديناميكية لبعض متحولات النظام، وتمت مقارنتها بأداء النظام باستخدام مخدم اهتزاز تقليدي. بينت نتائج المحاكاة فعالية استخدام مخدم الاهتزاز المقترح من نوع PID في تحسين الاستقرار الديناميكي للنظام من خلال سرعة إخماد الاهتزازات الناشئة في النظام، و إمكانية ضمان استقرار النظام من أجل حالات عمل مختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** نظم الطاقة الكهربائية، الاستقرار الديناميكي، مخدم اهتزاز.

\*أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

# A Comparison between the Effect of Conventional Power System Stabilizer and Pid Power System Stabilizer on the Dynamic Stability of Electrical Power System

Dr. Mohammed Abd El-Hamid \*

(Received 30/ 5 / 2007. Accepted 5/12/2007)

## □ ABSTRACT □

Most of the control issues in power system concentrate on the maintenance of the power system stability and prevention of the loss of synchronism of the system when subjected to different disturbances. When the system is subjected to a disturbance, it causes a rise in oscillations that are transmitted with the transmitted power through the tie lines till they reach the generators. Therefore, the enhancement of the system damped is necessary, especially when needed to transmit a big load through a weak transmission system. The basic intent of adding a power system stabilizer (PSS) is to enhance damping to extend power transfer limits.

This paper presents the results of a comparative study of the application of two types of stabilizers, conventional power system stabilizer and PID power system stabilizer, for the enhancement of dynamic stability of a power system. The dynamic response curves of some variables when using PID stabilizer have been drawn and compared with the system performance with conventional power system stabilizer. Simulation results show the effectiveness of using the proposed PID power system stabilizer in enhancement of power system dynamic stability through quick damping of the oscillations in the system, and its ability to ensure the stability of different operating conditions.

**Keywords:** Electrical power system, Dynamic stability, Power system stabilizer.

---

\* Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**1- قائمة بالرموز:**

رمز يشير إلى تغيرات صغيرة حول قيم التشغيل.	$\Delta$
التفاضل الزمني.	$\bullet = d/dt$
السرعة الزاوية و زاوية القدرة على التوالي.	$\delta, \omega$
القوة المحركة الداخلية العابرة.	$E'_q$
ثابت التخامد وعزم العطالة للآلة على التوالي.	$M, D$
الجهد على أطراف الآلة، جهد حقل التهييج.	$E_{fd}, V_t$
الثابت الزمني و الريج لدارة منظم الجهد الآلي على التوالي.	$K_A, T_A$
الثابت الزمني و الريج لدارة المهييج على التوالي.	$K_E, T_E$
الثابت الزمني و الريج لدارة مخمد الاهتزاز للمهييج على التوالي.	$K_F, T_F$
الثابت الزمني و الريج لدارة المرشح على التوالي.	$K_R, T_R$
الجهد المرجعي.	$V_{ref}$
الثابت الزمني العابر للدارة المفتوحة على المحور المباشر.	$T'_{do}$
التردد 50 هرتز.	$f$
عامل تحويل لابلاس.	$s$
المفاعلة المتواقتة على المحور غير المباشر و المباشر على التوالي.	$X_d, x_q$
مركبة المفاعلة العابرة على المحور المباشر.	$x'_d$
مفاعلة و مقاومة خط النقل على التوالي.	$R, X$
سماحية و قبولية الخط على التوالي.	$G, B$
الاستطاعة الردية و الفعلية للتوليد.	$P, Q$
Automatic Voltage Regulator - منظم الجهد الآلي.	AVR
Power System Stabilizer - مخمد اهتزاز النظام.	PSS

**2- مقدمة:**

من المعروف أن التردد و الجهد هما المتحولان الأساسيان لجودة الطاقة الكهربائية. يتم التحكم بهذين المتحولين من خلال التعديل المناسب لثوابت منظم الجهد الآلي AVR و منظم السرعة Governor لتقديم استجابة مقبولة عندما يتعرض النظام إلى اضطرابات عشوائية أو تعديل في ضبط الثوابت. يستخدم AVR أساساً من أجل التحكم بالجهد على أطراف المولد و الاستطاعة الردية المتدفقة من المولد عندما يعمل ضمن مجموعة نظام القدرة. تكون حلقة التحكم هذه ذات استجابة زمنية أسرع من حلقة منظم السرعة الآلي، و تستطيع أن تؤثر في إخماد اهتزازات الدوار ضمن مجال الترددات من نوع local أي بين 0.8-1.8 Hz، ونوع interarea في المجال بين 0.2-0.5 Hz.

تعطي حلقة التحكم بالجهد (بما فيها مفاعلات المولد) عادة تأخير طوري كبير في ترددات النظام في مجال التردد الطبيعي لمولد النظام. وغالباً ما يكون صحيحاً بأن منظم الجهد هو منبع للإخماد السالب إذا كان إخماد الاستطاعة الكهربائية العابرة و السرعة العابرة ضعيفاً. للتعويض عن هذا التأثير، و تحسين تخامد النظام، تستخدم مخدمات اهتزاز للنظام (PSS) التي بدورها تقدم تخامداً لاهتزازات الدوار بحيث ينتج مركبة من العزم الكهربائي على الدوار و التي يجب أن تكون متوافقة بالطور مع تغيرات السرعة. يغذى المخدم بالإشارة المناسبة من المولد. لقد تم التحقق من أن كلاً من السرعة على المحور، و الاستطاعة الكهربائية [1,2,3] يمكن استخدامها كإشارات إضافية إلى الـ PSS لزيادة تخامد النظام. يُعد استخدام تسارع الاستطاعة  $P_{\alpha}$  كإشارة إضافية إلى الـ PSS أكثر فائدة من استخدام الاستطاعة الكهربائية  $P_{\beta}$  [4]. في المقالات السابقة لم يكن تسارع الاستطاعة قابلاً للقياس مباشرة، وتم بناؤه باستخدام طريقة غير مباشرة [4, 5]. تم تطوير مخدم اهتزاز يعتمد على قياس تسارع الاستطاعة للمولد، حيث تم اشتقاق مركبة الاستطاعة الميكانيكية من إشارتي السرعة و الاستطاعة الكهربائية، و تمت مناقشة طرق تطبيق هذا المخدم وكيفية التقليل من القيود المرافقة لتصميم مخدم الاهتزاز [6]. تمت دراسة مقارنة ثلاثة أنواع من مخدمات الاهتزاز وهي التردد، والاستطاعة الكهربائية، و تسارع الاستطاعة في [7]. تم اقتراح تحسين عمل مخدم الاهتزاز التقليدي بإضافة تعديل في إشارة التغذية العكسية القادمة من الجهد على أطراف المولد إلى نظام التهيج كتابع لتسارع الاستطاعة للمولد. بينت الدراسة أن هذا الفعل اللاخطي يزيد من استقرار نظم الطاقة الكهربائية بصورة جيدة [8].

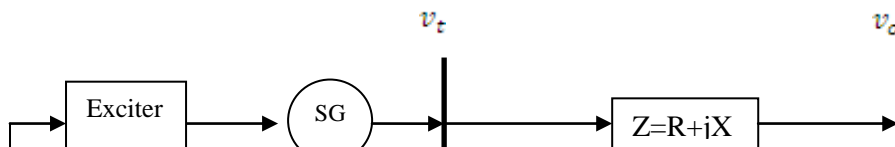
### 3- أهمية البحث و أهدافه:

تُعد تغذية المستهلكين بالطاقة الكهربائية على نحو موثوق وجيد من أهم المواضيع التي تعني المصممين و القائمين على تشغيل نظام الطاقة الكهربائية. ويُعد استقرار نظام الطاقة الكهربائية من أهم العوامل التي تحافظ على التغذية الموثوقة، نظراً لأن تغيرات حمولة المستهلكين عشوائية، وهذا يشكل اضطرابات في النظام تؤدي إلى نشوء اهتزازات فيه تنتقل عبر الاستطاعة المنقولة إلى دوار الآلات المتوافقة مؤدية إلى تأرجح متحولات الآلة ومسببة خروج الآلات عن التوافق، و انقطاع التغذية الكهربائية عن المستهلكين.

يهدف هذا البحث إلى تطوير طريقة لتحسين استقرار نظام الطاقة الكهربائية من خلال إخماد الاهتزازات الناشئة في النظام عبر مخدم اهتزاز من نوع PID يقدم عزم تخامد متوافقاً بالطور مع السرعة إلى دوار الآلة المتوافقة. يسمح هذا المخدم بزيادة حدود الاستطاعة المنقولة ومن ثمة زيادة حدود استقرار النظام.

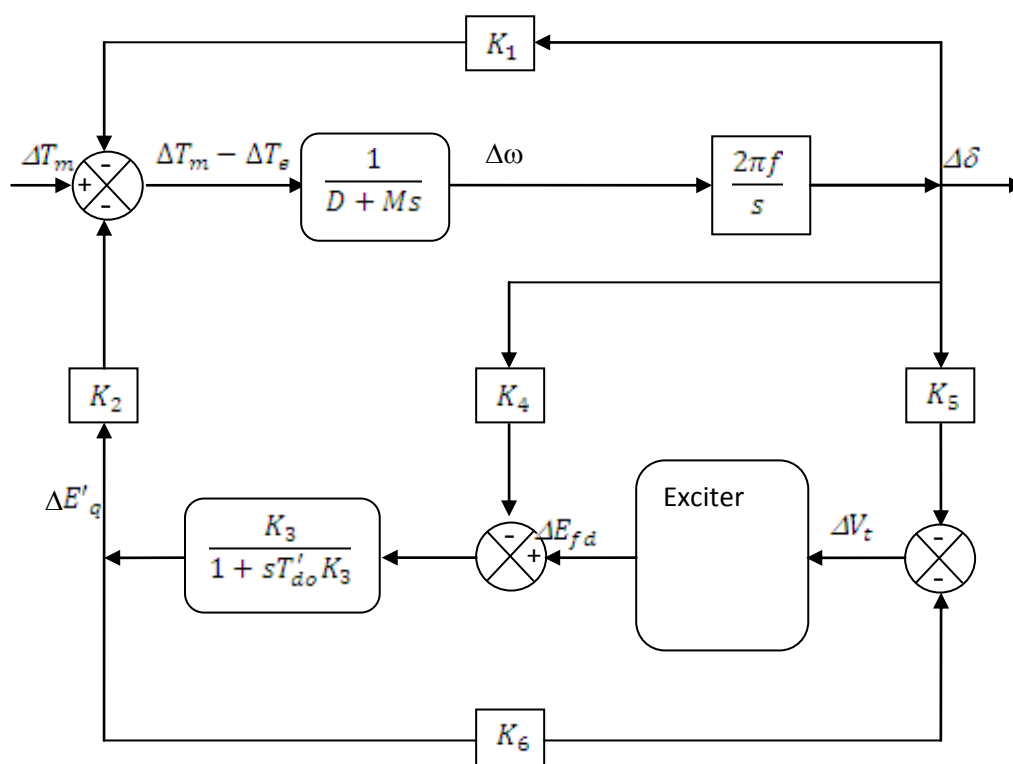
### 4- النموذج الرياضي:

يمثل الشكل (1) مخطط الخط الواحد للنظام المدروس، و الذي يمثل نموذج نظام قدرة ممثلاً بمولد متوافق SG، موصول إلى قضيب تجميع لانهائي  $v_o$  عبر خط نقل ذي ممانعة تسلسلية Z، وسماحية حمولة تفرعية Y و



الجهد على أطرافه  $V_t$ . يمثل الشكل (2) المخطط الصندوقي لنظام القدرة ممثلاً بتتابع النقل لمكونات النظام [11,10,9].

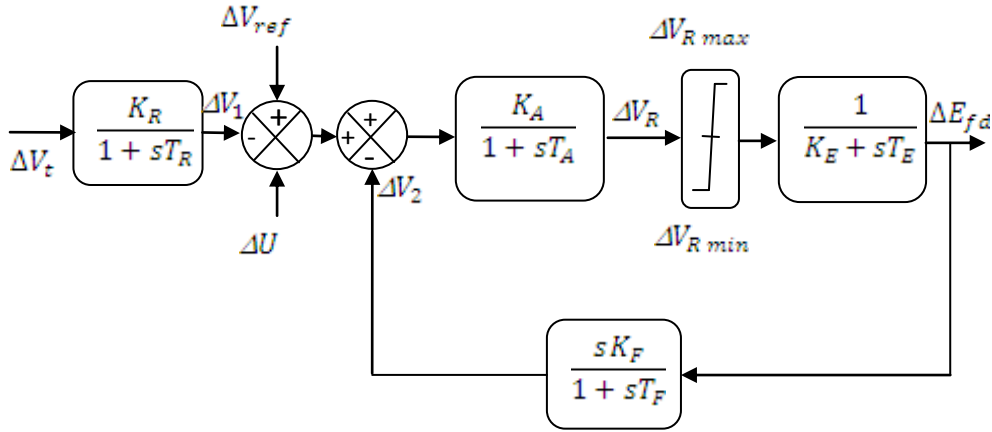
الشكل (1) نظام قدرة مؤلف من آلة مفردة - قضيب تجميع لانهاني



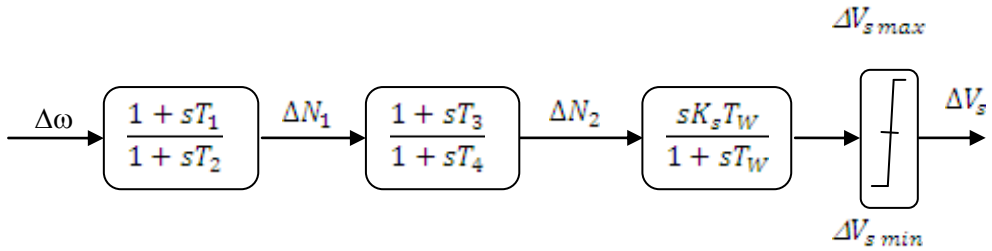
الشكل (2) المخطط الصندوقي

مكونات صندوق نظام التهبيج و التي تتألف من المهبيج و المنظم الآلي للجهد مبينة في الشكل (3). كما يحتوي هذا المخطط على صندوق يمثل مخمد الاهتزاز التقليدي و الذي سوف نرسم له ب (CON\_PSS) وهو يتألف من صندوقي تعويض من نوع متقدم-متأخر بالإضافة إلى صندوق تصريف يضمن عدم استجابته إلى المجموعة المستمرة DC أو إلى الترددات الصغيرة جداً. يعمل مخمد الاهتزاز عند وصله إلى نظام التهبيج للآلة المتواقتة لتعديل

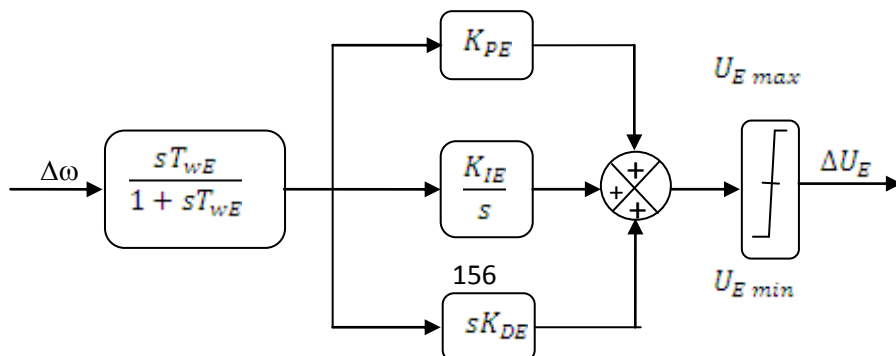
زاوية العزم لمحور الدوران لزيادة التخامد. يغذى دخل المخدم بإشارة تغير السرعة لمحور الدوران. يعطي هذا المخدم إشارة موجبة إلى دخل المنظم الآلي للجهد، ويبين الشكل (4) مكونات هذا المخطط الصندوقي. أما عند استخدام مخدم الاهتزاز المقترح و هو عبارة عن مخدم اهتزاز مكون من دائرة تناسبية تفاضلية تكاملية مضافاً إليها دائرة تصريف، سوف نرمز لهذا النوع بـ PID\_PSS [12] كما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (3) نموذج نظام التهبيج (Exciter) من نوع IEEE Type-1 معدل



الشكل (4) مخدم الاهتزاز التقليدي CON\_PSS.



الشكل (5) مخمد الاهتزاز من نوع PID\_PSS

معادلات نموذج النظام:

يمكننا من الشكل (2) استنتاج معادلات النظام و الممثلة بتغير السرعة  $\Delta\omega$  ، تغير زاوية القدرة  $\Delta\delta$  وتغير القوة المحركة الداخلية العابرة  $\Delta E'_q$ .

$$\Delta\dot{\omega} = -\frac{D}{M}\Delta\omega - \frac{K_1}{M}\Delta\delta - \frac{K_2}{M}\Delta\dot{E}'_q + \frac{1}{M}\Delta T_m \quad (1)$$

$$\Delta\dot{\delta} = 2\pi f\Delta\omega \quad (2)$$

$$\Delta\dot{E}'_q = -\frac{K_4}{T'_{do}}\Delta\delta - \frac{1}{K_s T'_{do}}\Delta E'_q - \frac{1}{T'_{do}}\Delta E_{fd} \quad (3)$$

معادلات نظام التهييج [11-10-9]:

يمكننا من الشكل (3) استنتاج معادلات نموذج نظام التهييج كما يلي:

$$\Delta\dot{E}_{fd} = -\frac{K_E}{T_E}\Delta E_{fd} + \frac{1}{T_E}\Delta V_R \quad (4)$$

$$\Delta\dot{V}_R = -\frac{1}{T_A}\Delta V_R - \frac{K_A}{T_A}\Delta V_2 - \frac{K_A}{T_A}\Delta V_1 + \frac{K_A}{T_A}\Delta U + \frac{K_A}{T_A}\Delta V_{ref} \quad (5)$$

$$\Delta\dot{V}_2 = -\frac{K_F K_E}{T_E T_F}\Delta E_{fd} + \frac{K_F}{T_E T_F}\Delta V_R - \frac{1}{T_F}\Delta V_2 \quad (6)$$

$$\Delta\dot{V}_1 = -\frac{K_s K_R}{T_R}\Delta\delta - \frac{K_s K_R}{T_R}\Delta E'_q - \frac{1}{T_R}\Delta V_1 \quad (7)$$

مخمد الاهتزاز التقليدي [11,10,9]:

يمكننا من الشكل (4) كتابة تابع النقل لمخمد الاهتزاز التقليدي على النحو التالي:

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta\omega} = \left(\frac{sK_s T_{W'}}{1+sT_{W'}}\right) \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2}\right) \left(\frac{1+sT_3}{1+sT_4}\right) \quad (8)$$

عند استخدام مخمد الاهتزاز فإنه يقدم إشارة تحكم  $\Delta V_s$  تغذى إلى دخل نظام التهييج عند  $\Delta U$ .

مخمد الاهتزاز من نوع PID:

يمكن إيجاد تابع النقل لمخمد الاهتزاز من نوع PID\_PSS من الشكل (5)

$$\frac{\Delta U_E}{\Delta\omega} = \frac{sT_{WE}}{1+sT_{WE}} \left(K_{PE} + \frac{K_{IE}}{s} + K_{DES}\right) \quad (9)$$

يعطي هذا المخمد إشارة تحكم  $\Delta U_E$  تستخدم كإشارة دخل لنظام التهييج تطبق مكان الإشارة  $\Delta U$ .

المعادلات التفاضلية من (1) حتى (7) تمثل نموذج نظام الطاقة مع نظام التهييج. حل المعادلات التفاضلية من (1) حتى (8) يعطي أداء النظام بوجود المخمد من CON\_PSS. حل المعادلات التفاضلية من (1) إلى (9)، بدون (8) يعطي الاستجابة الديناميكية للنظام بوجود المخمد من PID\_PSS.

## 5- المحاكاة و الاستجابة الديناميكية:

أجريت الدراسة على نظام قدرة مكون من مولد متواقت موصول إلى قضيب تجميع لانهائي عبر خط نقل، زود المولد المتواقت بنظام تهبيج من النوع IEEE TYPE\_1. تم اختيار النموذج المبين في الشكل (2) لدراسة الاستقرار الديناميكي لنظام القدرة المبين في الشكل (1). يمثل المخطط المبين في الشكل (2) و المعادلات المشتقة منه نموذجاً خطياً يعطي تغير متحولات النظام حول نقطة التشغيل. لدراسة أداء النظام تم نمذجته باستخدام برنامج Simulink في برنامج الـ MATLAB، و اختيرت طريقة رونغا-كوتا لحل جملة المعادلات التفاضلية. تم اختيار ثوابت نظام القدرة المبين في الشكل (1) على النحو التالي:

ثوابت الآلة المتواقت مع نظام التهبيج (p.u.) [11]:

$$\begin{array}{lll} x'_d = 1.18 & x'_d = 0.22 & x_q = 1.052 \\ T'_{do} = 5.9 & M=9.26 & D = 0 \\ K_A = 25 & T_A = 0.2 & K_E = -0.0582 \\ T_E = 0.6544 & K_F = 0.105 & T_F = 0.35 \\ K_R = 1.0 & T_R = 0.06 & \end{array}$$

ثوابت خط النقل:

$$\begin{array}{ll} R=0.034 & X=0.6 \\ G=0.249 & B=0.262 \end{array}$$

حالة التشغيل للنظام:

$$\begin{array}{llll} P = 0.8 & Q = 0.6 & V_t = 1.05 & f = 50 \text{ Hz} \\ K_1 = 0.66609 & K_2 = 1.0276 & K_3 = 0.48661 & K_4 = 0.6156 \\ K_5 = -0.01839 & K_6 = 0.73045 & & \end{array}$$

لاختبار أداء النظام، تم تعريضه إلى مجموعة من الاضطرابات و رسمت الاستجابة الزمنية لكل من تغير زاوية القدرة  $\delta$  و تغير السرعة  $\Delta\omega$  و تغير الجهد الطرفي  $\Delta V_t$  و تغير الاستطاعة الكهربائية  $\Delta P_e$  وذلك من أجل:

✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج فقط.  
✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج مع محمد الاهتزاز CON\_PSS، حيث تم ضبط ثوابت المخدم على القيم التالية:

$$\begin{array}{llll} K_s = 50 & T_w = 10 & V_{s,min} = -0.05 & V_{s,min} = 0.05 \\ T_1 = 0.5 & T_2 = 0.05 & T_3 = 0.5 & T_4 = 0.05 \end{array}$$

✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج مع محمد الاهتزاز من نوع PID\_PSS، حيث استخدمنا نظرية التحكم الحديث في تحديد ثوابت المخدم وهي:



$$T_{WE} = 0.212$$

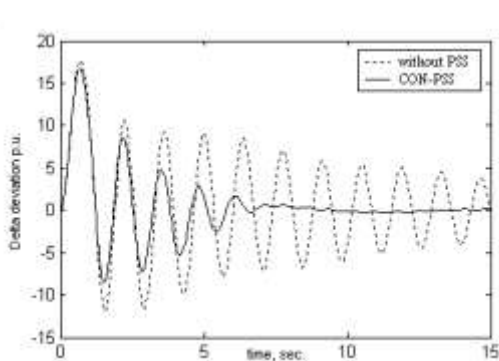
$$T_{IE} = 200.64$$

$$T_{PE} = 75$$

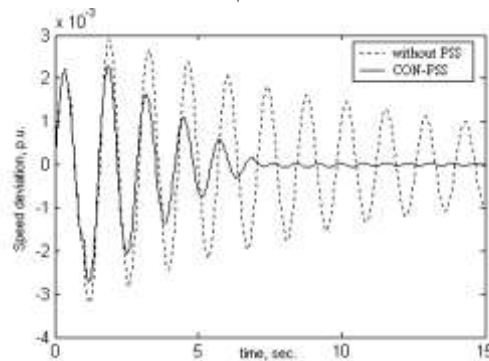
$$T_{DE} = 57.69$$

1-5 أداء النظام عند تغير في العزم الميكانيكي بمقدار 10% لمدة 1 ثانية:

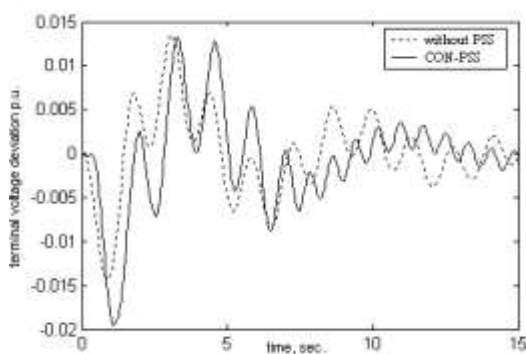
يوضح الشكل (6) تغير زاوية القدرة  $\Delta\delta$  للنظام المدروس بدون وجود إشارة التحكم و عند وجود إشارة التحكم المقدّمة من CON\_PSS، عند تطبيق اضطراب بمعدل تغير 10% لمدة 1 ثانية في العزم الميكانيكي. نلاحظ من المنحنيات المبينة في الشكل (6) أن النظام بوجود نظام التهييج فقط كان مستقرّاً و لكن بمطالات كبيرة للاهتزازات. أما عند استخدام التحكم المقدم من الـ CON\_PSS أصبح النظام متخامداً حيث وصل التجاوز الأعظمي لمنحني الاستجابة إلى 16.76، كما وصل إلى الحالة الثابتة له عند 10 ثانية. كما توضح الأشكال (7)، (8)، و (9) المقارنة بين الاستجابة الزمنية لكل من  $\Delta\omega$ ،  $\Delta v_t$ ، و  $\Delta P_e$  بدون مخمد الاهتزاز CON\_PSS و بوجوده. تبين المقارنة بين المنحنيات أن النظام الأكثر تخامداً هو بوجود CON\_PSS.



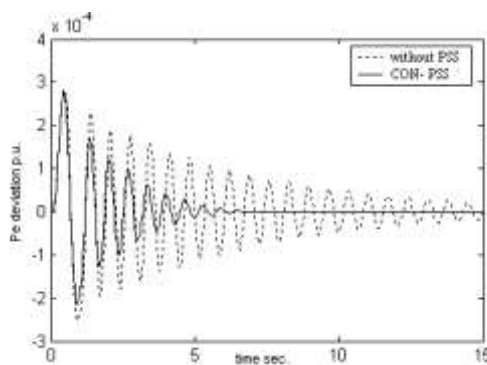
الشكل (7) الاستجابة الديناميكية لتغير السرعة



الشكل (6) الاستجابة الديناميكية لتغير زاوية القدرة



الشكل (9) الاستجابة الديناميكية لتغير الاستطاعة الكهربائية



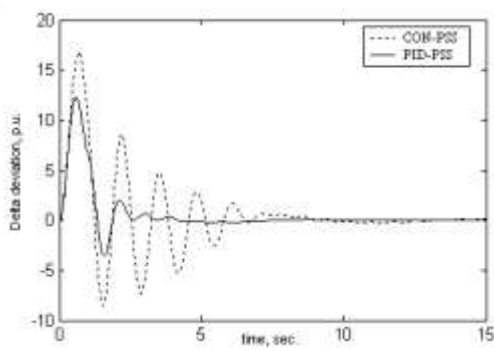
الشكل (8) الاستجابة الديناميكية لتغير الجهد الطرفي

توضح الأشكال (10)، (11)، (12)، و (13) الاستجابة الزمنية لكل من  $\Delta\delta$ ،  $\Delta\omega$ ،  $\Delta v_t$ ، و  $\Delta P_e$  على التوالي، وذلك عند تطبيق التحكم الإضافي المقدم من الـ CON\_PSS و PID\_PSS. نلاحظ من الشكل (10) التأثير الفعال للمخمد PID\_PSS، حيث بلغ منحنى الاستجابة الحالة الثابتة له عند 4 ثانية، بينما استغرق عند استخدام CON\_PSS حتى 10 ثانية. إضافة إلى انخفاض قيمة التجاوز الأعظمي. يلخص الجدول (1) مقارنة بين منحنيات الاستجابة من حيث التجاوز الأعظمي و زمن التخماد و ذلك عند استخدام CON\_PSS و PID\_PSS.

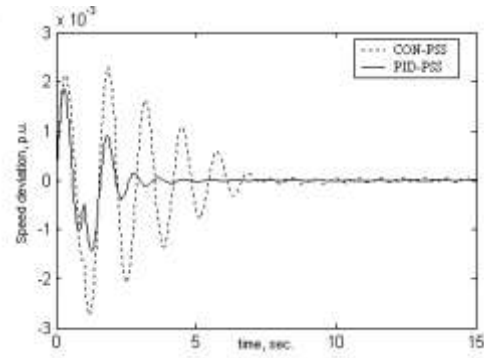
نلاحظ من الأشكال السابقة فعالية نظام التحكم الإضافي بالتهيج المقترح مقارنة بمحمد الاهتزاز التقليدي و ذلك من حيث تقليل التجاوز الأعظمي و سرعة إخماد الاهتزازات الناشئة.

### 2-5 زيادة تحميل الاستطاعة الفعلية بمقدار 50% أي $P=1.2$ [p.u].

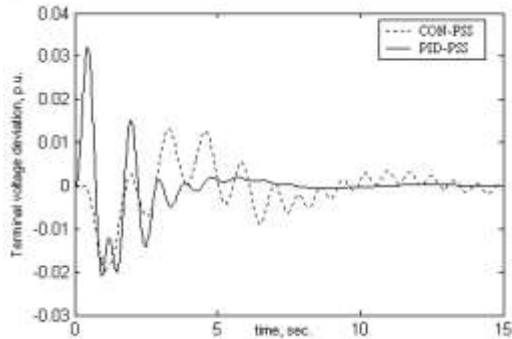
- تم اختبار فعالية النظام المقترح عند تغيير حالات التحميل، فعند زيادة الحمولة الفعلية للنظام بمقدار 50%، يكون النظام فعالاً في إخماد الاهتزازات الناشئة كما هو مبين في الشكل (14)، و الذي يوضح تغير زاوية القدرة.



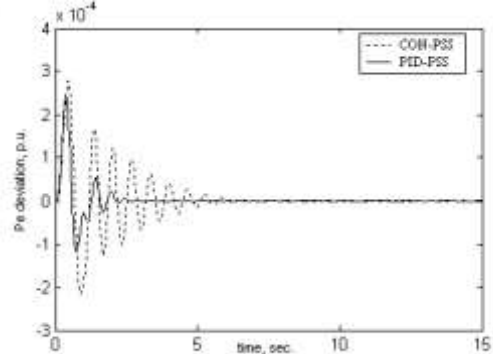
الشكل (11) الاستجابة الديناميكية لتغير السرعة



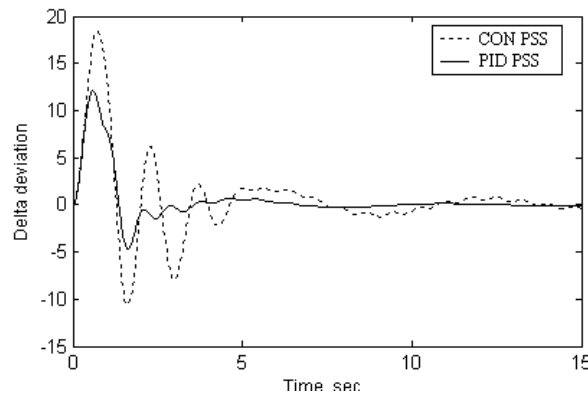
الشكل (10) الاستجابة الديناميكية لتغير زاوية القدرة



الشكل(13) الاستجابة الديناميكية لتغير الاستطاعة الكهربائية



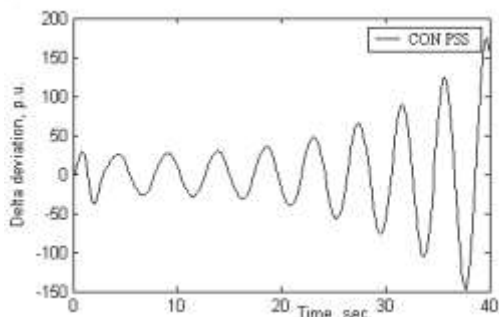
الشكل (12) الاستجابة الديناميكية لتغير الجهد الطرقي



الشكل (14) الاستجابة الديناميكية لتغير زاوية القدرة عندما  $P=1.2$  [p.u.]

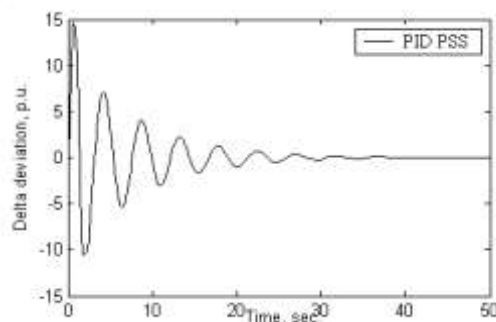
3-5 زيادة تحميل الاستطاعة الفعلية بمقدار 100% أي  $P=1.6$  [p.u.]

عند زيادة الحمولة الفعلية بمعدل 100%، يصبح النظام غير مستقر بوجود التحكم من CON\_PSS كما هو مبين في الشكل (15)، بينما يحافظ النظام على استقراره بوجود التحكم من PID\_PSS، غير أن مطال الاهتزازات الناشئة يزداد قليلاً، مع زيادة في زمن تخامد هذه الاهتزازات.



الشكل (16) الاستجابة الديناميكية لتغير زاوية القدرة بوجود

.PID\_PSS



الشكل (15) الاستجابة الديناميكية لتغير زاوية القدرة بوجود

.CON\_PSS

تمت مقارنة جميع منحنيات الاستجابة الزمنية، و استخلصت منها قيم التجاوز الأعظمي للمنحنيات و زمن التخماد كما هو موضح في الجدول (1).

جدول (1) قيم التجاوز الأعظمي و زمن التخماد لمنحنيات الاستجابة الديناميكية

	التجاوز الأعظمي		زمن التخماد	
	CON_PSS	PID_PSS	CON_PSS	PID_PSS
$\Delta\delta$	16.76	12.3	10	4
$\Delta\omega$	$2.15 \times 10^{-3}$	$1.86 \times 10^{-3}$	8	4
$\Delta V_t$	-0.02	0.03	15	10
$\Delta P_e$	$2.8 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-4}$	7.1	3.5

## 6- الاستنتاجات:

تم بناء النموذج الخطي لدراسة الاستقرار الديناميكي لنظام قدرة مؤلف من مولد متواقت مزود بنظام تهيج موصول إلى قضيب تجميع لانهائي عبر خط نقل. تمت المقارنة بين نوعين من مخدمات الاهتزاز لتحسين تخامد الاهتزازات الناشئة في الآلة، و رسمت الاستجابات الزمنية لكل من تغير زاوية القدرة، وتغير السرعة، وتغير الجهد على أطراف المولد، و تغير الاستطاعة الكهربائية للحالات المختلفة المدروسة. من الدراسة السابقة يمكن استنتاج ما يلي:

- ✓ فعالية مخدم الاهتزاز المقترح من نوع PID\_PSS في إخماد الاهتزازات.
- ✓ يمكن ضمان استقرار نظام القدرة من أجل حالات عمل مختلفة.

- ✓ محمد الاهتزاز من نوع PID، هو سهل جداً من حيث التطبيق العملي و هو مطبق على نطاق واسع في العمليات الصناعية.
- ✓ في التجهيزات الحديثة، يمكن أن يكون الـ PSS عبارة عن برنامج يدمج مع منظم الجهد الآلي الرقمي (AVR).

## 7- المراجع:

- [1] BOLLINGER, K.E. ; FLEMING, R.J., *Design of Speed Stabilizing Transformer Function For a Synchronous Generator*, Conference paper presented at the IEEE Winter Power Meeting, New York, N.Y., January 1969.
- [2] BOLLINGER, K. E.; MISTER, A. F., JR. *PSS Tuning at the Virginia Electric and Power Co. Bath County Pumped Storage Plant*, IEEE Trans. On Power System, Vol.4, No.2, May 1989, 566-574.

- [3] GU, W. Y.; BOLLINGER, K. E., *A self Tuning Power System Stabilizer for Wide Rang Synchronous Generation*, IEEE Trans. On Power System, Vol.4, No.3, Aug. 1989, 1191-1199.
- [4] DE MELLO, F.P.; HANNETT, L.N.; UNDRILL, J.M., *Practical Approaches to Supplementary Stabilizing from Accelerating Power*, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol., PAS-97, No.5, Sept/Oct 1978, 1515-1522.
- [5] BAYNE, J.P.; LEE, D.C.; WATSON, W., *A power System Stabilizer For Thermal Units Based on Derivation of Accelerating Power*, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol., PAS-96, No.6, Nov/Dec 1977, 1777-1783.
- [6] LEE, D.C. ; BEAULIEU, R.E. ; SERVICE, J.R.R., *A Power System Stabilizer Using Speed and Electrical Power Inputs-Design and Field Experience*, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol., PAS-100, No.9, September 1981, 4151-4157.
- [7] HOA VU ; AGEE J.C., *Comparison of Power System Stabilizers for Damping Local Mode Oscillations*, IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 8, No. 3, September, 1993 533-538.
- [8] FLEMING, R.J.; GUPTA, M.M.; JUN, SUN, *Improved Power System Stabilizer* IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 5, No. 1, March, 1990, 23-27.
- [9] YAO-NAN, YU, *Electric Power System Dynamics* , Academic Press, INC. New York, 1983, 255.
- [10] PETER, W. S.; PAI, M. A., *Power System Dynamics and Stability*, Prentic Hall, New Jersey, 1998, 357.
- [11] ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A., *Power System Control and Stability*, Iowa State University Press, 1977, 464.
- [12] KATSUHIKO, OGATA, *Modern Control Engineering* , Prentic Hall, New Jersey, 2002, 964.