

دراسة أداء مخدم الاهتزاز من نوع PID في نظام قدرة متعدد الآلات وأثره في استقرار النظام

الدكتور محمد عبد الحميد*

(تاريخ الإيداع 31 / 7 / 2007. قُبل للنشر في 2007/11/11)

□ الملخص □

إن إضافة إشارة تحكم إضافية عبر مخدم الاهتزاز إلى نظام التهبيج تعد واحدة من أهم الطرق المستخدمة في تحسين استقرار نظم الطاقة الكهربائية. تم في هذا البحث دراسة أداء مخدم اهتزاز من نوع PID في نظام متعدد الآلات وذلك عند تعرض النظام إلى اضطرابات خفيفة (استقرار ديناميكي) واضطرابات كبيرة مثل تيارات القصر (استقرار عابر). رسمت منحنيات الاستجابة الزمنية لمتغيرات النظام (زاوية دوار الآلة المتواقنة، السرعة، والجهد الطرفي والاستطاعة الكهربائية) عند استخدام المخدم من نوع PID وتمت مقارنتها مع منحنيات الاستجابة الزمنية لأداء النظام عند استخدام مخدم اهتزاز من النوع التقليدي. بينت النتائج أن استخدام المخدم من نوع PID يعطي تخامداً جيداً للنظام عند تغيرات الحمولة المختلفة إضافة إلى الأعطال التي يمكن أن تحدث في النظام. وهذا يسمح بزيادة حدود الاستطاعة المنقولة ومن ثمة زيادة حدود استقرار النظام.

الكلمات المفتاحية: نظم الطاقة الكهربائية، استقرار نظم الطاقة الكهربائية، مخدم اهتزاز.

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

Studying the Performance of The Pid Power System Stabilizer in Multi-Machine Power System and its Effect on the Stability of the System

Dr. Mohammed Abd El-hamid*

(Received 31 / 7 / 2007. Accepted 11/11/2007)

□ ABSTRACT □

Adding a supplementary control signal through power system stabilizer to the excitation system is considered one of the most important methods used in the improvement of the stability of the electrical power system. This research studies the performance of PID power system stabilizer in multi-machine power system when the system is subjected to small disturbances (Dynamic stability) and large disturbances such as short-circuit (Transient stability).

The time response curves of the system variables (rotor angle, speed, and terminal voltage) have been drawn when a PID power system stabilizer applied; and these curves are compared with the time response curves of the system performance when the conventional power system stabilizer is applied. Results showed that the use of PID power system stabilizer gives good damping to the system when subjected to small and large disturbances. This would allow increase of the limit of the transferred power and consequently the power system stability limits.

Key words: Electrical power system, Dynamic stability, Power system stabilizer

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

1- مقدمة :

نتيجة لزيادة حجم وتعقيد أنظمة الطاقة الكهربائية، غالباً ما تعمل أنظمة الطاقة الكهربائية عند حدود استقرار منخفضة. لذلك، يعد تحسين استقرار النظام واحداً من أهم المواضيع التي تضمن التشغيل الموثوق لأنظمة الطاقة الكهربائية. يمكن أن يحدث في الأنظمة الحديثة القائمة العديد من الاهتزازات، يدعى أحدها بالنمط المحلي من الاهتزازات (Local mod of oscillation) ويتراوح مجال تردد هذا النمط ضمن المجال من 0.7 إلى 2.2 Hz. وهذا يحدث عندما يهتز مولدٌ أو مجموعة مولدات في محطة توليد محددة مؤثراً في النظام. النمط الآخر يدعى بالنمط المتداخل بين المناطق (inter area mode) ويشار إلى هذا النوع من الاهتزازات المرافقة لعدة مولدات في منطقة ما من النظام تهتز بالنسبة إلى بقية النظام، ويتراوح مجال تردد هذه الاهتزازات من 0.1 إلى 0.8 Hz [1]. لقد تم ملاحظة هذه الاهتزازات في الخطوط الواصلة بين الجنوب الغربي من المحيط الهادي والشمال الغربي من المحيط الهادي في الولايات المتحدة الأمريكية. كما تم ملاحظتها في خطوط الربط بين القسم الشمالي والوسط الغربي في كندا. تم ملاحظة الاهتزازات ذات الترددات المنخفضة عند 0.4 Hz على نظام الطاقة في اليابان الشرقية، كما تم ملاحظة الاهتزازات من نوع inter-area نتيجة خروج 1400MW في شبكة فرنسا في 4 نيسان 2001 [2].

يعد التحكم عن طريق التهيج واحداً من الوسائل الفعالة لتحسين مجمل استقرار نظم الطاقة الكهربائية والذي يؤثر مباشرة في الآلة المتواقتة حيث أنه يتحكم بال E.M.F. المولدة ومطال التيار [3,1]. يظهر تأثير نظام التهيج بوضوح في تقليل خطورة تأرجح الآلة عندما تتعرض إلى اضطراب كبير عبر تقليل مطال التأرجح الأول للآلة. تم التحقق في كثير من المقالات من أن التغيير المتدرج لبارامترات النظام مثل تغييرات الحمل، إضافة إلى الحالات الطارئة التي تصيب النظام، يمكن أن تقود إلى عدم استقراره. بذلت جهود كبيرة لاستخدام مخمد الاهتزاز (PSS) لإخماد الاهتزازات ذات الترددات الصغيرة وتحسين استقرار النظام [3,1]. حتى الآن أثبت أن استخدام الـ PSS يعد وسيلة اقتصادية وفعالة في تحسين استقرار النظام، حيث أنه يقدم تخامداً إضافياً عبر نظام التهيج، لذلك نلاحظ استخدامه على نطاق واسع في أنظمة الطاقة الكهربائية. لقد تم تطوير العديد من أنظمة الـ PSS والتي تعتمد في عملها على أنظمة تحكم مختلفة. مع الاستخدام الواسع لنظام الـ PSS، وجد أنه يمكن أن يعطي علاقة عكسية، وخاصة في أنظمة الطاقة متعددة الآلات. لذلك لقي تنسيق عمل الـ PSS وضبط بارامتراته لتحسين الأداء الديناميكي للأنظمة متعددة الآلات اهتماماً كبيراً [4,5,6,7]. تتم عادة دراسة تحليل استقرار النظام من خلال المحاكاة في المجال الزمني. يتم ذلك عن طريق بناء نموذج رياضي للنظام مؤلف من مجموعة من المعادلات الرياضية التي تصف النظام [10,11,12,13].

2- أهمية البحث وأهدافه:

يعد الحفاظ على قيم اسمية ثابتة للتردد والجهد من أهم مقومات الأداء الجيد لنظم الطاقة الكهربائية، وهذا يأتي من الحفاظ الدقيق على توازن الاستطاعة الفعلية والرديية بين التوليد والاستهلاك. ولكن نتيجة لتغيرات الحمل والأعطال الكبيرة التي يمكن أن تصيب النظام، يحدث اختلاف بين الاستطاعة المولدة والمستهلكة مما قد يسبب تسارعاً أو تباطؤاً دوار الآلات المتواقتة مؤدياً إلى تأرجح متحولات النظام مثل زاوية دوار المولد، والسرعة، والجهد على أطراف المولد والاستطاعة الكهربائية. هذه التأرجحات تزداد مع الزمن إذا لم يتوفر الإخماد الكافي لها مسببة عدم

ω	السرعة الزاوية وزاوية القدرة على التوالي.	δ	تفاضل المتحول $.=d/dt$
H, D	ثابت التخامد وثابت العطالة للآلة على التوالي.		
P_e, P_m	الاستطاعة الميكانيكية والكهربائية على التوالي.		
ω_o	السرعة الزاوية الاسمية لدوار المولد.		

المعادلات الكهربائية للمولد المتواقت [14,9] :

لقد تم استخدام نموذج منسوب إلى المحورين q, d (المحور المباشر والمحور المتعامد أو غير المباشر) مع استخدام المميزات العابرة للآلة.

$$\left. \begin{aligned} v_q &= r_s i_q + \dot{\lambda}_q + \omega \lambda_d \\ v_d &= r_s i_d + \dot{\lambda}_d - \omega \lambda_q \\ v'_{fd} &= r'_{fd} i'_{fd} + \dot{\lambda}'_{fd} \\ v'_{kd} &= r'_{kd} i'_{kd} + \dot{\lambda}'_{kd} \\ v'_{kq1} &= r'_{kq1} i'_{kq1} + \dot{\lambda}'_{kq1} \\ v'_{kq2} &= r'_{kq2} i'_{kq2} + \dot{\lambda}'_{kq2} \end{aligned} \right\} \quad [V] \quad (3)$$

تعطى الفيوض المترابطة بالعلاقات التالية:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_q &= L_q i_q + L_{mq} i'_{kq} \\ \lambda_d &= L_d i_d + L_{md} i'_{fd} + L_{md} i'_{kd} \\ \lambda'_{fd} &= L_{md} i_d + L_{md} i'_{kd} + L'_{fd} i'_{fd} \\ \lambda'_{kd} &= L_{md} i_d + L_{md} i'_{fd} + L'_{kd} i'_{kd} \\ \lambda'_{kq1} &= L_{mq} i_q + L'_{kq1} i'_{kq1} \\ \lambda'_{kq2} &= L_{mq} i_q + L'_{kq2} i'_{kq2} \end{aligned} \right\} \quad [Wb.turn] \quad (4)$$

q, d	الكميات على المحورين d و q .
s, r	كميات تشير إلى الدوار والثابت.
l, m	تحريرية التمغنط والتسربية .
k, f	كميات تشير إلى ملفات الحقل والإخماد.

معادلات نموذج نظام التهيج:

يمكن كتابة معادلات نظام التهيج من الشكل (2) كما يلي:

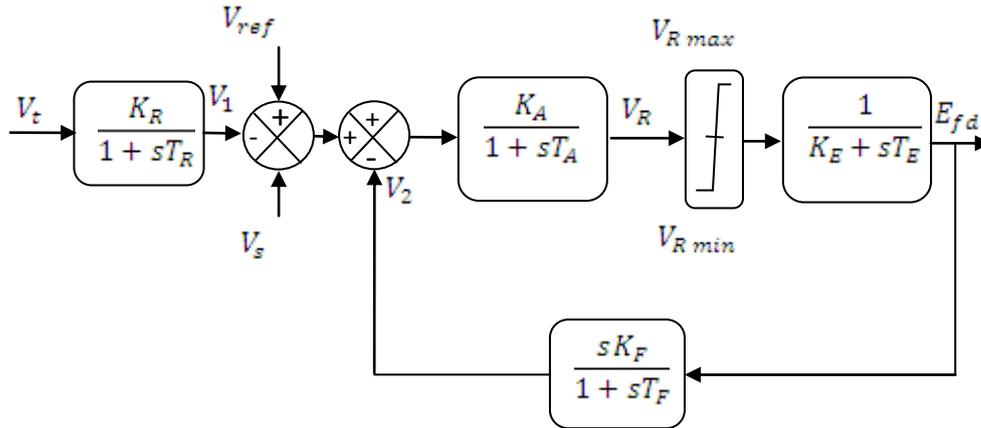
$$\dot{E}_{fd} = -\frac{K_E}{T_E} E_{fd} + \frac{1}{T_E} V_R \quad (5)$$

$$\dot{V}_R = -\frac{1}{T_A} V_R - \frac{K_A}{T_A} V_2 - \frac{K_A}{T_A} V_1 + \frac{K_A}{T_A} V_s + \frac{K_A}{T_A} V_{ref} \quad (6)$$

$$\dot{V}_2 = -\frac{K_F K_E}{T_E T_F} E_{fd} + \frac{K_F}{T_E T_F} V_R - \frac{1}{T_F} V_2 \quad (7)$$

$$\dot{V}_1 = \frac{K_R}{T_R} V_t - \frac{1}{T_R} V_1 \quad (8)$$

E_{fd} , V_t الجهد على أطراف الآلة، جهد حقل التهييج.
 K_A , T_A الثابت الزمني والريح لدارة منظم الجهد الآلي على التوالي.
 K_E , T_E الثابت الزمني والريح لدارة المهيج على التوالي.
 K_F , T_F الثابت الزمني والريح لدارة مخمد الاهتزاز للمهيج على التوالي.
 K_R , T_R الثابت الزمني والريح لدارة المرشح على التوالي.



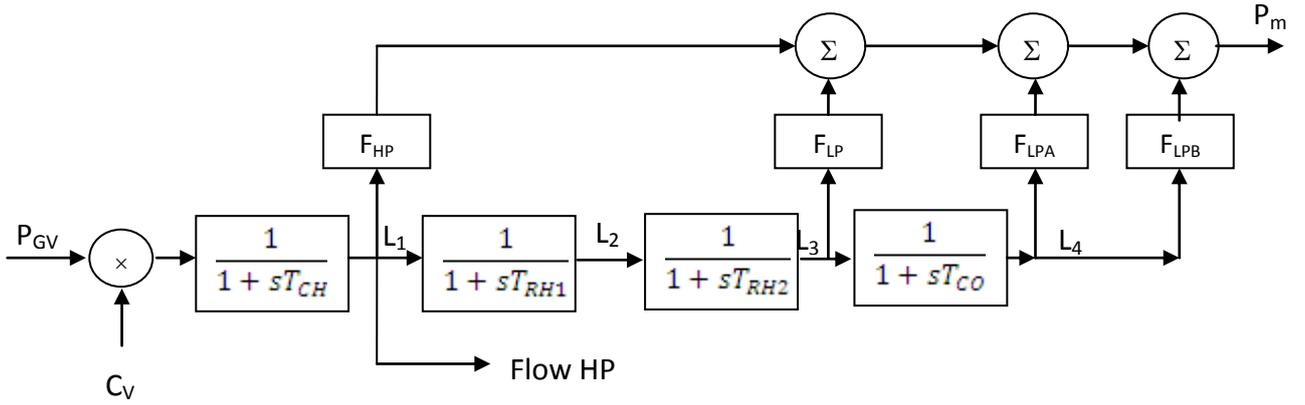
الشكل (2) نموذج نظام التهييج (Exciter) من نوع IEEE Type-1 معدل

نموذج التوربين ومنظم السرعة:

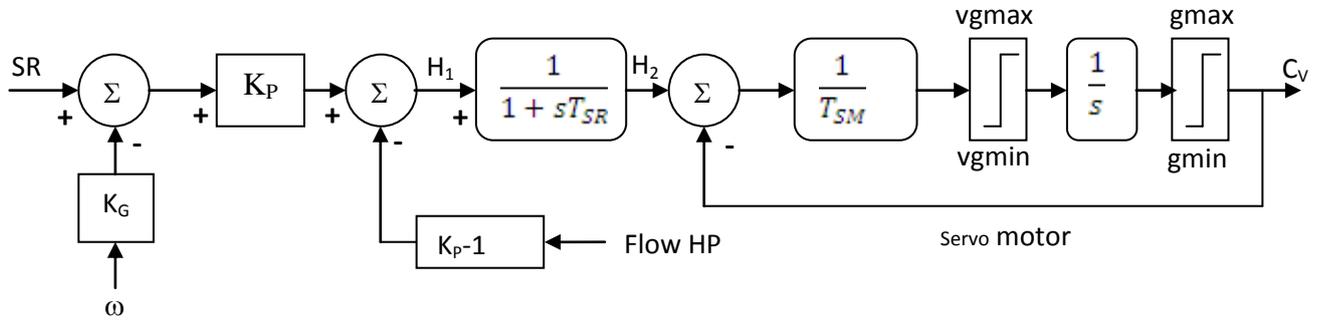
لتقديم العزم والاستطاعة الميكانيكية المتغيرة خلال المحاكاة الديناميكية، تم استخدام نموذج توربين/منظم السرعة المبينين في الشكلين (3) و (4) [9, 15]. يبين الشكل (3) توابع النقل للتوربين البخاري من نوع B. يشار إلى استطاعة الدخل المقدمة من المرجل P_{GV} ، كما يشار إلى الاستطاعة الميكانيكية الخارجة من التوربين بـ P_m . تمثل الثوابت T_{CO} , T_{RH} , T_{CH} الثوابت الزمنية لكل من وصلة تحويل البخار، المحمص وصندوق البخار على التوالي. أجزاء العزوم المقدمة من التوربينات الأربعة الممثلة للنوع B هي F_{HP} منسوبة إلى التوربين ذي الضغط العالي، F_{IP} منسوبة إلى التوربين ذي الضغط المتوسط، F_{LPA} , F_{LPB} منسوبة إلى توربين الضغط المنخفض. مع مراعاة أن تحقق هذه العزوم العلاقة التالية:

$$F_{HP} + F_{IP} + F_{LPA} + F_{LPB} = 1 \quad (9)$$

يمثل الدخل C_V خرج منظم السرعة والذي يتحكم باستطاعة البخار. يمثل الشكل (4) النموذج الرياضي اللاخطي لمنظم سرعة كهربائي-هيدروليكي المستخدم في التوربين البخاري. يمثل الدخل SR السرعة المرجعية التي يمكن أن تضبط مسبقاً أو يمكن أن تعدل آلياً وفقاً لمتطلبات التحكم في التردد أو استطاعة المنطقة.



الشكل (3) المخطط الصندوقي للتوربين البخاري من نوع ترادفي مركب، أحادي التخميص



الشكل (4) منظم السرعة (speed governors) كهربائي-هيدروليكي

$-K_G$ يمثل الريح وقيمته عادةً تساوي إلى $20 \cdot K_p$. تأخذ القيمة 3 من أجل منظم السرعة بتغذية عكسية للتوربين البخاري ذي الضغط العالي، وتساوي 1 بدون التغذية العكسية.
 $-T_{SM}$ الثابت الزمني لريليه السرعة. $-T_{SR}$ الثابت الزمني لمحرك السيرفو.
 من الشكلين (3) و(4) يمكن كتابة معادلات النظام على النحو التالي:

$$\dot{H}_2 = -\frac{K_p K_G}{T_{SR}} \omega - \frac{1}{T_{SR}} H_2 + \frac{K_p}{T_{SR}} SR - \frac{K_p - 1}{T_{SR}} L_1 \quad (10)$$

$$\dot{C}_V = \frac{1}{T_{SM}} H_2 - \frac{1}{T_{SM}} C_V \quad (11)$$

$$\dot{L}_1 = -\frac{1}{T_{CH}} L_1 + \frac{P_{GV}}{T_{CH}} C_V \quad (12)$$

$$\dot{L}_2 = -\frac{1}{T_{RH1}} L_2 + \frac{1}{T_{RH1}} L_1 \quad (13)$$

$$\dot{L}_3 = -\frac{1}{T_{RH2}} L_3 + \frac{1}{T_{RH2}} L_2 \quad (14)$$

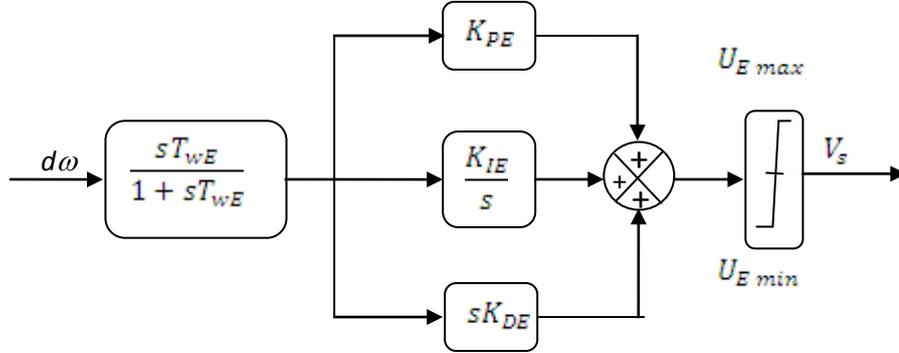
$$\dot{L}_4 = -\frac{1}{T_{CO}} L_4 + \frac{1}{T_{CO}} L_3 \quad (15)$$

$$P_m = F_{HP} L_1 + F_{LP} L_3 + F_{LPA} L_4 + F_{LPB} L_4 \quad (16)$$

معادلات نظام مخمد الاهتزاز من نوع PID_PSS:

يقدم مخمد الاهتزاز هذا إشارة جهد V_s تضاف كإشارة دخل إلى المهيج عبر منظم الجهد الآلي. من الشكل (5) يمكن كتابة إشارة الدخل المقدمة من المخمد على النحو التالي:

$$V_s = \frac{sT_{WE}}{1+sT_{WE}} \left(K_{PE} + \frac{K_{IE}}{s} + K_{DE}s \right) d\omega \quad (9)$$



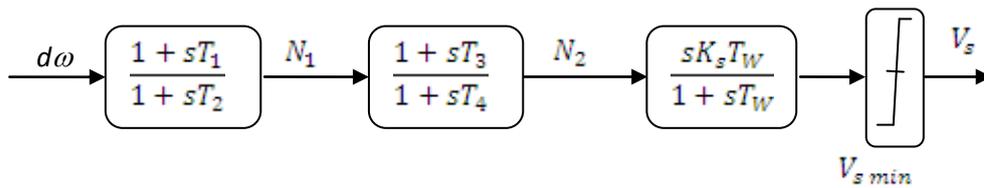
الشكل (5) مخمد الاهتزاز من نوع PID_PSS

$-K_{PE}$ - الربح التناسبي للمخمد. $-T_W$ - الثابت الزمني للمرشح.
 $-K_{DE}$ - الربح التفاضلي للمخمد. $-K_{IE}$ - الربح التكاملي للمخمد.

معادلات مخمد الاهتزاز التقليدي CPSS:

من المخطط الصندوقي لمخمد الاهتزاز التقليدي المبين في الشكل (6) يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$V_s = \left(\frac{sK_s T_W}{1+sT_W} \right) \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2} \right) \left(\frac{1+sT_3}{1+sT_4} \right) d\omega \quad (10)$$



الشكل (6) مخمد الاهتزاز التقليدي CPSS.

$-K_s$ - الربح للمخمد التقليدي. T_1, T_2, T_3, T_4, T_W ثوابت زمنية.

4- المحاكاة والاستجابة الديناميكية:

لدراسة أداء مخمد الاهتزاز من نوع PID_PSS في الأنظمة المتعددة الآلات تم استخدام نموذج القدرة المبين في الشكل (1). معطيات خطوط النقل مبينة في الجدول (1) بالقيم الواحدية منسوبة لأساس 230 kV و 100MVA، يبين الجدول (2) معطيات المولدات، بينما الجدولان (4) و(5) يبينان قيم ثوابت نظام التهيج والتوربين مع منظم السرعة على التوالي.

الجدول (1) معطيات ممانعات الخطوط في النظام المدروس

From	To	R(pu)	X(pu)	B/2(pu)
5	6	0.0025	0.025	0.021875
6	7	0.001	0.01	0.00875
7	8 each line	0.022	0.22	0.1925
8	9	0.001	0.01	0.00875
9	10	0.0025	0.025	0.021875

الجدول (2) ثوابت المولدات المتوافقة المستخدمة

Parameter		Gen 1,2	Gen 11,12
d.المفاعلة المتوافقة على المحور	x_d	1.8	1.8
d.المفاعلة العابرة على المحور	x'_d	0.3	0.3
d.المفاعلة دون العابرة على المحور	x''_d	0.25	0.25
q.المفاعلة المتوافقة على المحور	x_q	1.7	1.7
q.المفاعلة العابرة على المحور	x'_q	0.55	0.55
q.المفاعلة دون العابرة على المحور	x''_q	0.25	0.25
مقاومة الثابت.	r_s	0.0025	0.0025
التحريضية التسريعية للثابت.	XI	0.2	0.2
d.الثابت الزمني العابر للدائرة المفتوحة على المحور	T'_{do}	8.0	8.0
d.الثابت الزمني دون العابر للدائرة المفتوحة على المحور	T''_{do}	0.03	0.03
q.الثابت الزمني العابر للدائرة المفتوحة على المحور	T'_{qo}	0.4	0.4
q.الثابت الزمني دون العابر للدائرة المفتوحة على المحور	T''_{qo}	0.05	0.05
ثابت العطالة.	H	6.5	6.175

الجدول (3) قيم ثوابت نظام التهييج

Parameter	Value
K_A	200
T_A	0.001
K_E	1.0
T_E	0.0

الجدول (4) قيم ثوابت التوربين مع منظم السرعة

Parameter	Value	Parameter	Value
K_p	1		
T_{CH}	0.5 s	T_{CO}	1 s
T_{RH1}	3.3 s	T_{RH2}	10 s
F_{LPB}	0 pu	F_{LPA}	0.36 pu
F_{LP}	0.36 pu	F_{HP}	0.28 pu
T_{SR}	0.001 s	T_{SM}	0.15 s
vgmin	-0.1 pu/s	vgmax	0.1 pu/s
gmin	0 pu	gmax	4.496 pu

لدراسة أداء النظام تم نمذجته باستخدام برنامج Simulink في برنامج الـ MATLAB. واختيرت طريقة رونغا-كوتا لحل جملة المعادلات التفاضلية. وتم دراسة الأداء الديناميكي للنظام عند الحالات التالية:

دراسة الاستقرار الديناميكي:

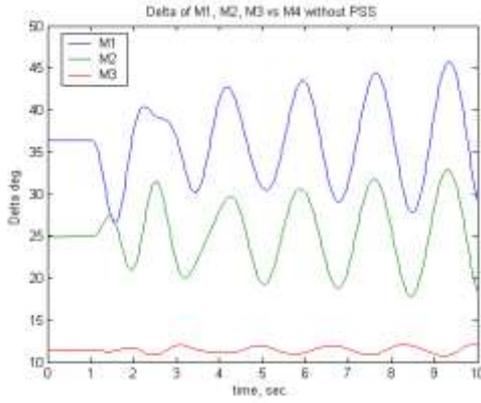
تم تعريض النظام إلى اضطراب خفيف (تغير طفيف في الحمولة) ممثلاً بتغير الجهد المرجعي للمولد Gen1 بمقدار 5% لمدة 0.2s. ورسمت منحنيات الاستجابة الزمنية لكل من V_b , ω , δ من أجل الحالات التالية:

- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهييج.
- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهييج مع مخمد الاهتزاز التقليدي CPSS. حيث تم ضبط ثوابت المخمد على القيم التالية:

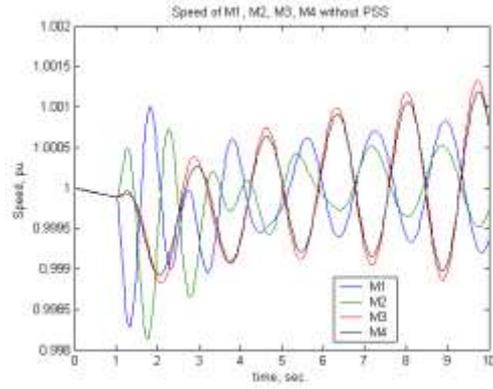
$$\begin{array}{llll} K_s = 30 & T_w = 10 & V_{s,min} = -0.15 & V_{s,min} = 0.15 \\ T_1 = 0.05 & T_2 = 0.02 & T_3 = 3 & T_4 = 5.4 \end{array}$$

- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهييج مع مخمد الاهتزاز من نوع PID_PSS. حيث استخدمنا نظرية التحكم الحديث في تحديد ثوابت المخمد وهي:

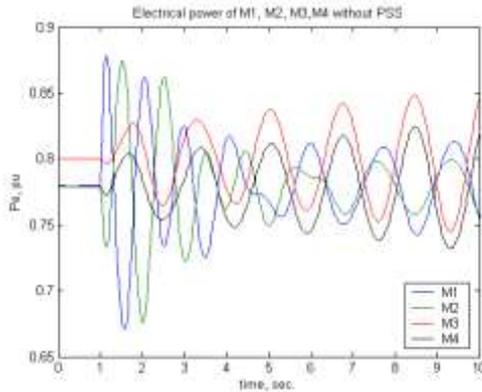
$$\begin{array}{ll} T_{WE} = 1.425 & T_{PE} = 40 \\ T_{IE} = 35 & T_{DE} = 5 \end{array}$$



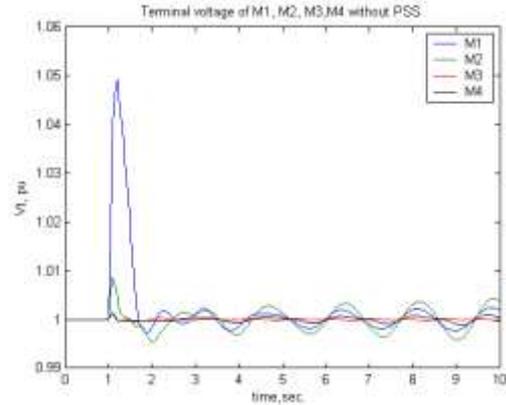
الشكل (8) السرعة للآلات الأربع بدون PSS



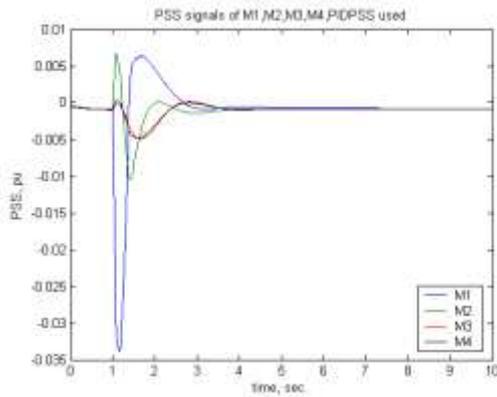
الشكل (7) زاوية الدوار للآلات الثلاث مقابل الرابعة بدون PSS



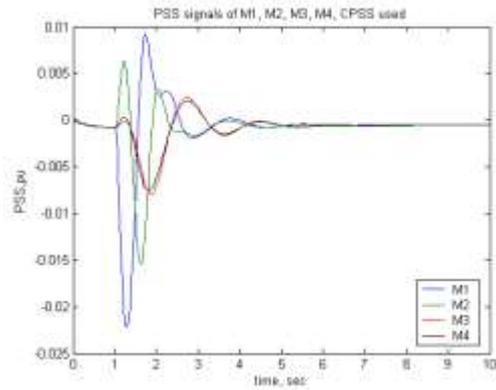
الشكل (10) الاستطاعة الكهربائية للآلات الأربع بدون PSS



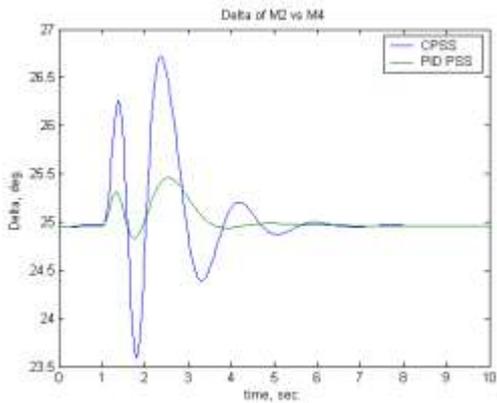
الشكل (9) الجهد الطرفي للآلات الأربع بدون PSS



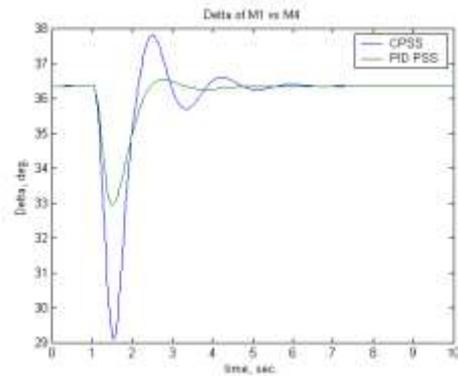
الشكل (12) إشارات الـ PID_PSS المقدمة للآلات الأربع



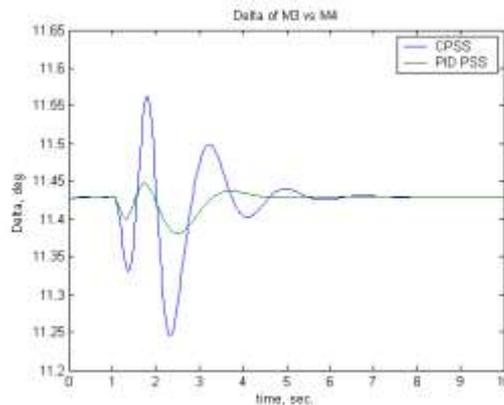
الشكل (11) إشارات الـ CPSS المقدمة للآلات الأربع



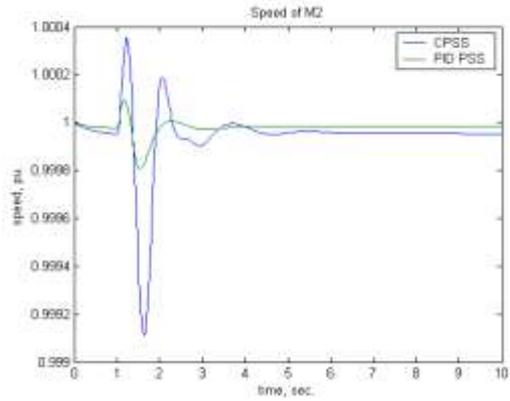
الشكل (14) زاوية الدوار للآلة 2 مقابل 4 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



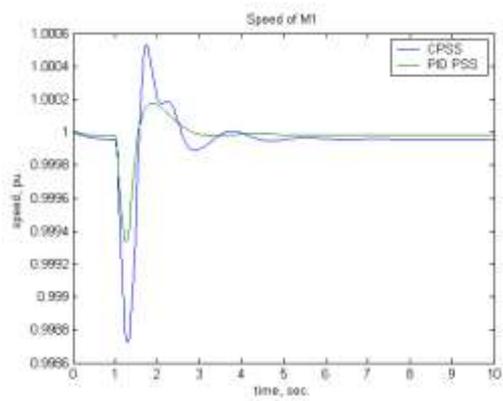
الشكل (13) زاوية الدوار للآلة 1 مقابل 4 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



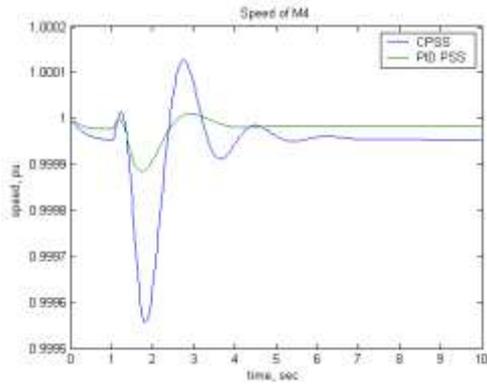
الشكل (15) زاوية الدوار للآلة 3 مقابل 4 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



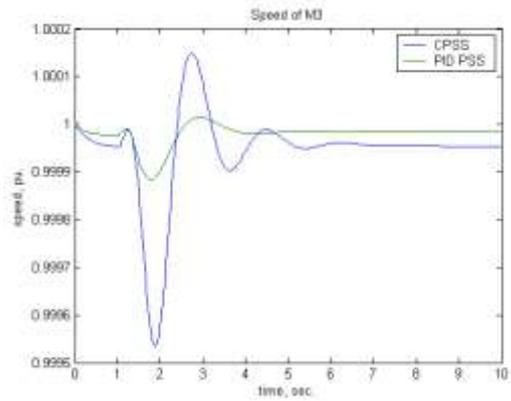
الشكل (17) سرعة الآلة 2 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



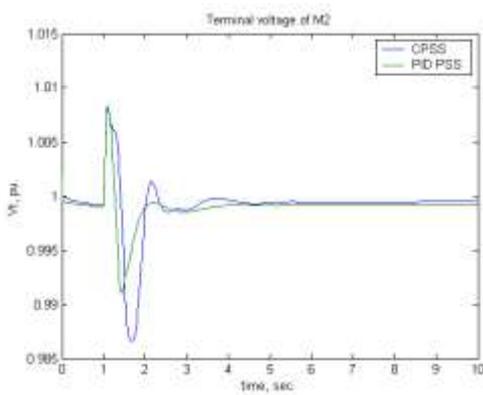
الشكل (16) سرعة الآلة 1 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



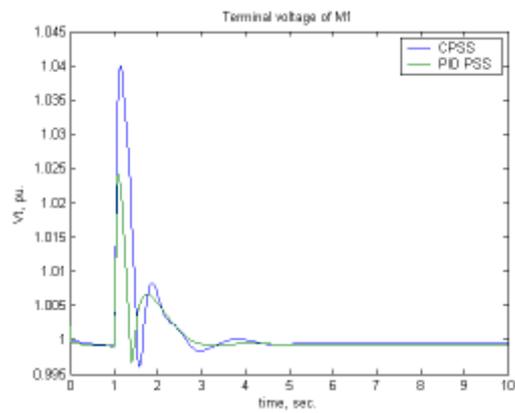
الشكل (19) سرعة الآلة 4 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



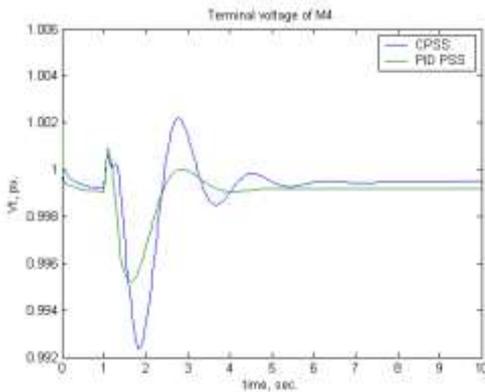
الشكل (18) سرعة الآلة 3 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



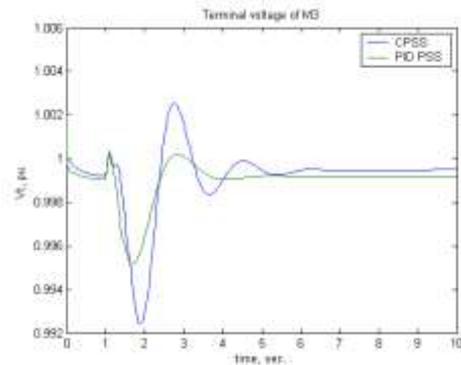
الشكل (21) الجهد على أطراف الآلة 2 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



الشكل (20) الجهد على أطراف الآلة 1 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



الشكل (23) الجهد على أطراف الآلة 4 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



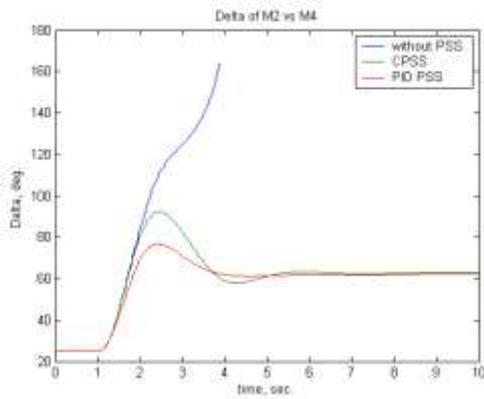
الشكل (22) الجهد على أطراف الآلة 3 عند استخدام الـ CPSS و PIDPSS

يمثل الشكل (7) الاستجابة الزمنية لزاوية الدوران للمولدات 1، 2، 3 و 4 وذلك بدون استخدام الـ PSS، كما يمثل الشكل (8)، (9) و (10) الاستجابة الزمنية لكل من السرعة ω والجهد الطرفي V_t والاستطاعة الكهربائية P_e على التوالي للمولدات الأربعة بدون استخدام الـ PSS. تبين الأشكال السابقة أن النظام لا يملك التخماد الكافي لإخماد الاهتزازات الناشئة نتيجة تغير حالات التشغيل حيث نلاحظ أن مطالات الاهتزازات تزداد مع الزمن مسببةً بالنتيجة عدم استقرار النظام. هذا يعود لأن نظام التهبيج لوحده فقط غير كاف لتقديم التخماد الكافي في النظام متعدد الآلات، غير أنه يمكن أن يقدم التخماد الكافي للحفاظ على استقرار النظام عند استخدام آلة مفردة. يمثل الشكل (11) إشارات التخماد المقدمة من المخدم التقليدي لكل من الآلات الأربعة، بينما يمثل الشكل (12) إشارات التخماد المقدمة من الـ PID_PSS لكل من المولدات الأربعة. نلاحظ هذه الإشارات ذات تخامد أسرع من المبينة في الشكل (11) مما قد تساعد في سرعة إخماد الاهتزازات. تمثل الأشكال (13)، (14) و (15) الاستجابة الزمنية لزاوية الدوران لكل من الآلات 1، 2، 3 و 4 وذلك عند استخدام الـ CPSS والـ PID_PSS. من تحليل المنحنيات السابقة نلاحظ أن الـ PID_PSS يقدم تخامداً أكبر للنظام من الـ CPSS، ونلاحظ ذلك أيضاً من منحنيات الاستجابة الزمنية للسرعة للآلات الأربعة المبينة في الأشكال (16)، (17)، (18) و (19) وأيضاً من منحنيات الاستجابة الزمنية للجهد على أطراف المولدات الأربعة المبينة في الأشكال (20)، (21)، (22) و (23).

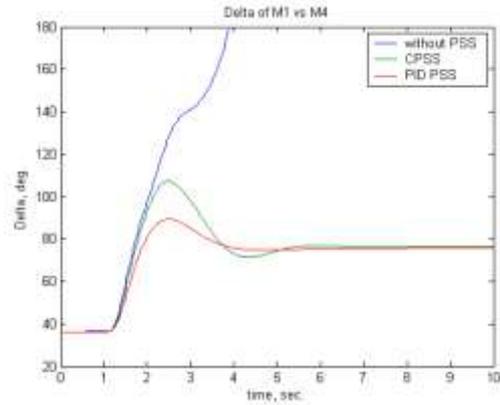
دراسة الاستقرار العابر:

تم تعريض النظام إلى اضطراب كبير، قصر ثلاثي الأطوار في منتصف الخط الواصل بين القضبان 7 و 8 لمدة 0.2 s. ورسمت منحنيات الاستجابة الزمنية لكل من δ ، ω ، V_t من أجل الحالات التالية:

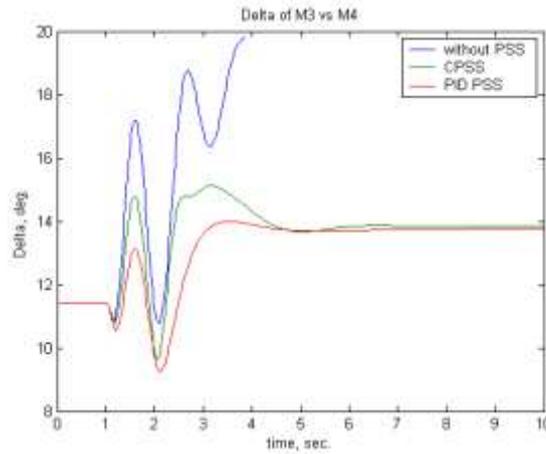
- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج فقط.
- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج مع مخدم الاهتزاز التقليدي CPSS. حيث تم ضبط ثوابت المخدم على الحالة السابقة نفسها.
- ✓ عمل النظام بوجود نظام التهبيج مع مخدم الاهتزاز من نوع PID_PSS. حيث تم ضبط ثوابت المخدم على قيم الحالة السابقة نفسها.



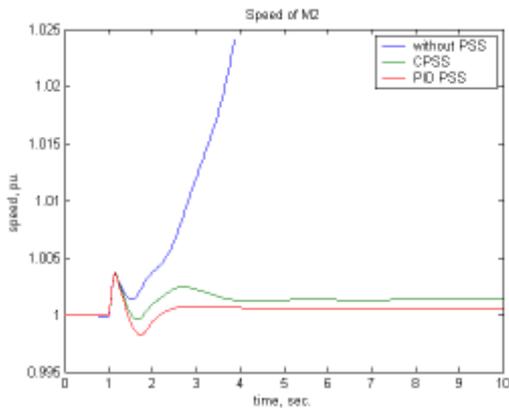
الشكل (25) زاوية الدوار للآلة 1 بدون PSS وعند استخدام الـ PIDPSS و CPSS



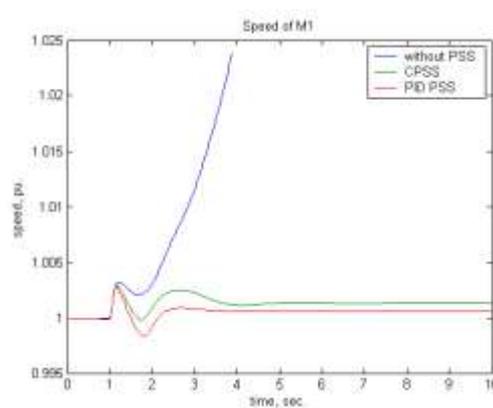
الشكل (24) زاوية الدوار للآلة 1 بدون PSS وعند استخدام الـ PIDPSS و CPSS



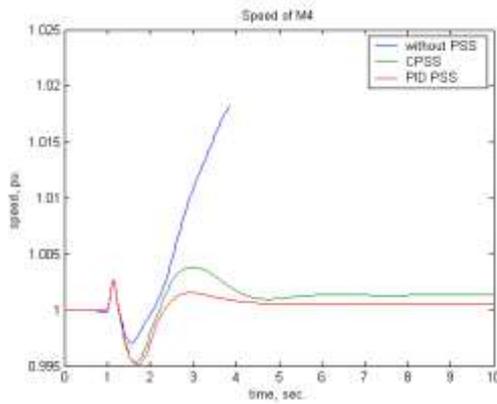
الشكل (26) زاوية الدوار للآلة بدون PSS وعند استخدام الـ PIDPSS و CPSS



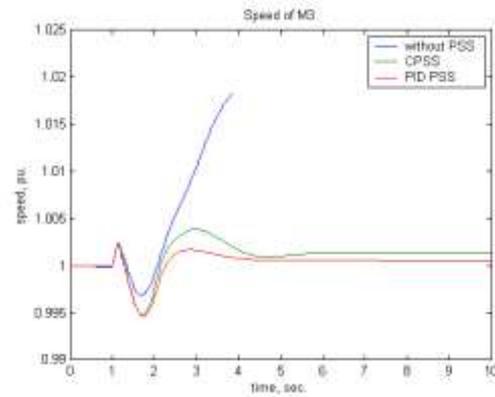
الشكل (28) السرعة للآلة 2 بدون PSS وعند استخدام الـ CPSS و PIDPSS



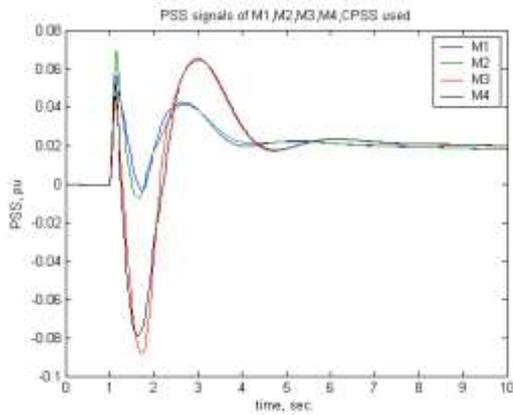
الشكل (27) السرعة للآلة 1 بدون PSS وعند استخدام الـ PIDPSS و CPSS



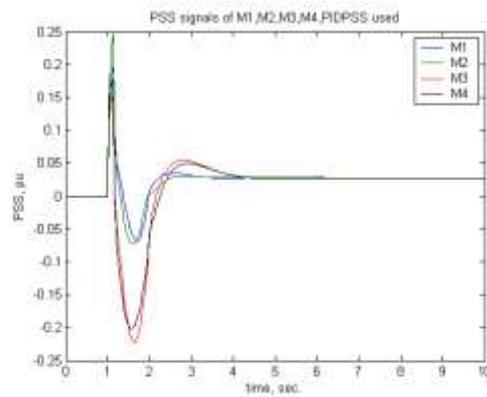
الشكل (29) السرعة للآلة 4 بدون PSS وعند استخدام الـ CPSS و PID PSS



الشكل (30) السرعة للآلة 3 بدون PSS وعند استخدام الـ CPSS و PID PSS



الشكل (31) الإشارات المقدمة من الـ PID_PSS إلى الآلات الأربع



الشكل (32) الإشارات المقدمة من الـ CPSS إلى الآلات الأربع

نلاحظ أنه عند تعريض النظام إلى اضطرابات كبيرة بوجود نظام التهييج فقط، تزداد مطالات الاهتزاز للمتحولات بوتيرة متسارعة ويخرج النظام عن التوافق خلال فترة أقل من 3 ثانية كما هو مبين في الأشكال من (24) إلى (30)، بينما عند تعريضه إلى اضطرابات خفيفة يستمر بالعمل لفترة زمنية أطول ومن ثم يفقد استقراره كما رأينا سابقاً. من مقارنة الأشكال (24) و (25) و (26) والتي تمثل منحنيات الاستجابة الزمنية لزاوية الدوران للآلات 1، 2 و 3 مقابل 4 بدون PSS وعند استخدام الـ CPSS والـ PID_PSS، نلاحظ أن استخدام الـ CPSS يعطي تخامداً جيداً يحافظ على استقرار النظام، بينما عند استخدام الـ PID_PSS يعطي تخامداً أكبر للنظام حيث تنخفض مطالات الاهتزاز للمتحولات وتصل المتحولات إلى قيمها في الحالة الثابتة خلال فترة زمنية أقصر، حوالي 3.5 s. كما تؤكد منحنيات الاستجابة الزمنية للسرعة للآلات الأربع المبينة في الأشكال (27) إلى (30) على فعالية أداء المخدم من نوع PID عند استخدامه في الأنظمة المتعددة الآلات عند تعرضه إلى اضطرابات كبيرة. تبين الأشكال (31) و (32) إشارات التحكم المقدمة من الـ CPSS والـ PID_PSS إلى دخل نظام التهييج في كل آلة عند تعرض النظام إلى دارة قصر ثلاثية الأطوار.

5- الاستنتاجات:

تم في هذا البحث اختبار الاستقرار الديناميكي والعاير عند تطبيق مخمد الاهتزاز التقليدي CPSS ومخمد الاهتزاز المقترح من نوع PID_PSS، على نظام متعدد الآلات مؤلف من 10 قضبان تجميع وأربع محطات توليد بخارية موصلة ببعضها بعضاً عبر خطوط نقل الطاقة وتصل الطاقة إلى الشبكة عبر محولات رافعة للجهد 20/230 kV. تم نمذجة النظام باستخدام برنامج Simulink في برنامج MATLAB ورسمت الاستجابة الزمنية لزاوية دوار المولد والسرعة والجهد الطرفي وذلك عند تعرض النظام إلى تغيرات خفيفة للحمولة ودارة قصر ثلاثية الأطوار. من تحليل منحنيات الاستجابة الزمنية تبين لدينا ما يلي:

- ✓ عند تعرض النظام إلى اضطرابات خفيفة بوجود نظام التهييج فقط، كان النظام ضعيف التخامد، مما أدى إلى زيادة مطالات التآرجح تدريجياً مع الزمن ومن ثمة خروج النظام عن التوافق بعد فترة من الزمن. أما عند استخدام مخمد الاهتزاز المقترح فقد أعطى تخامداً جيداً للنظام مقارنةً مع استخدام مخمد الاهتزاز التقليدي، مما أدى إلى الحفاظ على استقرار النظام وعودة متحولات النظام إلى قيمها في الحالة الثابتة بعد فترة زمنية قصيرة.
- ✓ عند تعريض النظام إلى اضطرابات كبيرة خرج النظام عن التوافق خلال فترة زمنية قصيرة بوجود نظام التهييج فقط. أما عند استخدام مخمد من نوع PID_PSS أعطى تخامداً جيداً للنظام مقارنةً بالمخمد التقليدي.
- ✓ يلعب اختيار ثوابت مخمد الاهتزاز دوراً مهماً في تقديم التخامد الإضافي للنظام في الأنظمة المتعددة الآلات، وإلا يمكن أن يؤثر عكسياً مؤدياً إلى عدم استقرار النظام.
- ✓ بالنتيجة نلاحظ فعالية أداء مخمد الاهتزاز من نوع PID_PSS في الأنظمة متعددة الآلات.

6- المراجع:

- [1] LARSEN, E. V.; SWANN, D. A. *Applying Power System Stabilizer Part I, II, III*. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 6, 1981, 3017-3045.
- [2] VESEL, Y. V.; HARSANYI, L. *PSS Design Via Disturbance Attenuation Method*. Journal of electrical Engineering, Vol. 56, No.3-4, 2005, 110-112.
- [3] KUNDUR, P.; KLEIN, M.; ROGERS, G. J. ; ZYWNO, M. S. *Application Of Power System Stabilizers For Enhancement Of Overall System Stability*. IEEE Trans. Power Systems, Vol.4, No. 2,1989, 614-625.
- [4] ALDEEN, M. ; CRUSCA, F. *Multimachine Power System Stabilizer Design Based On New LQR Approach*. IEE Proc-Gener. Transm. Distrib. Vol. 142, No. 5, September 1995, 494-502.
- [5] RAY, P. S. ; DUTTAGUPTA, P. B.; BHAKTA P. *Co-Ordinated Multimachine PSS Design Using Both Speed And Electric Power*. IEE Proc-Gener. Transm. Distrib. Vol. 142, No. 5, September 1995, 503-510.
- [6] GIBBARD, M. J. *Co-Ordination Of Multimachine Stabilizer Gain Settings For A Specified Level Of System Damping Performance*. IEE Proc. Vol. 129Pt. C., No. 2, March, 1982, 4548.
- [7] LEFEBVRE, S. *Tuning Of Stabilizers In Multimachine Power Systems*. IEEE Transaction on power Apparatus and systems, Vol. PAS-102, No. 2, February 1983, 290-299.

- [8] KLEIN, M.; ROGERS, G.J.; MOORTY, S.; KUNDUR, P. *Analytical Investigation Of Factors Influencing Power System Stabilizers Performance*. IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, September 1992, 382-390.
- [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] ARRILLAGA, J. and AMOLD, C. P. *Computer modeling of electrical power systems*. John Wiley & Sons, 1983.
- [13] KUNDUR, P. *Power System Stability And Control*. Mc Graw-Hill, 1994.
- [14] KATSUHIKO, OGATA. *Modern Control Engineering* , Prentic Hall, New Jersey, 2002,,964.
- [14] CHEE-MUN, ONG. *Dynamic Simulation of Electric Machinery*. Prentic Hall New Jersey, 1998, 626.
- [15] IEEE committee report. *Dynamic models for steam and hydro turbines in power system studies*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-92, No. 6, 1973, 1904-1915.