

استخدام طريقة الحل الأمثل لتوليف ثوابت محمد الاهتزاز وأثره على تحسين استقرار نظم الطاقة الكهربائية

الدكتور محمد عبد الحميد *

(تاريخ الإيداع 6 / 7 / 2008. قُبِلَ للنشر في 2009/4/23)

□ الملخص □

يعتبر استخدام محمد اهتزاز إلى منظم الجهد الآلي في نظام التهييج لمولد ضمن نظام للطاقة الكهربائية واحداً من الحلول الحديثة لتحسين استقرار نظم الطاقة الكهربائية. إن محمد الاهتزاز يقدم عزوم تخامد متوافقة بالطور مع سرعة الدوار مؤدية إلى تقليل التأثيرات السلبية للاهتزازات. يلعب توليف ثوابت محمد الاهتزاز دوراً أساسياً في تحسين أداء النظام. يهدف هذا البحث إلى اعتماد طريقة الحل الأمثل في توليف ثوابت المخدم. تم نمذجة نظام طاقة متعدد الآلات يحوي على أربع محطات حرارية. زودت كل محطة بمحمد اهتزاز، ورسمت الاستجابات الزمنية لبعض من متحولات النظام عند الثوابت المختارة بطريقة الحل الأمثل و الثوابت الاسمية. أعطى النظام تخامداً جيداً عند توليف الثوابت على أساس الحل الأمثل.

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

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

Power System Stabilizer Tuning by Optimal Solution Method and Its Effects on the Power System Stability

Dr. Mohammed Abd El-hamid *

(Received 6 / 7 / 2008. Accepted 23 / 4 / 2009)

□ ABSTRACT □

The application of power system stabilizers (PSS) to the automatic voltage regulators on the generators in the power system is considered as a contemporary solution of improving power system stability. The torque-damping in line with rotor speed provided by the power system stabilizer provides the means to reduce the inhibiting effects of the oscillations. The tuning of power system stabilizer parameters mainly contributes to the enhancement of stability. In this research, an optimal solution for tuning PSS parameters has been considered. A multi-machine power system including four power generators has been devised. Each generator is fitted with a PSS then the time response of some variables has been drawn with optimal PSS parameters and nominal parameters. The adopted system has provided good damping with maintained optimal parameters.

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

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

مقدمة:

يستخدم مخمد الاهتزاز Power System Stabilizer (PSS) على نطاق واسع لتحسين مجمل استقرار الأنظمة الكبيرة. يعتبر مخمد الاهتزاز واحداً من أهم المواضيع التي يتم فهمها بشكل خاطئ ويمكن أن تستخدم في معدات التحكم بالمولد بشكل لا تؤدي الكفاءة الجيدة على الرغم من بساطتها النسبية. لقد تم التمكن من التحكم بالاستقرار الزاوي للآلة المتواقتة عبر نظام التهييج مع ظهور أنظمة التهييج عالية السرعة وذات التنظيم المستمر للجهد. تمكن عددٌ من الباحثين، في أواسط الستينات من الوصول إلى نتائج عملية في تحسين تخامد الاهتزازات الناشئة في دوار الآلة المتواقتة عبر إضافة تغذية عكسية إضافية [15,1].

تعتمد وظيفة الـ PSS على إضافة تخامد إلى الاهتزازات الكهروميكانيكية لوحدة التوليد. يتم إنجاز ذلك بنمذجة نظام التهييج للمولد بحيث ينتج مركبات للعزم الكهربائي متوافقة بالطور مع تغيرات سرعة الدوار. بذلك يساهم الـ PSS بتحسين مجمل استقرار النظام. تم التطرق إلى اختيار مجموعة الـ PSS مع استخدام إشارة التغذية من السرعة كإشارة دخل لها في الكثير من المراجع [2,3].

بُذلت جهود كثيرة باستخدام طرق التحكم الحديث لتطوير أنواع مختلفة من مخمدات الاهتزاز، ولكن مازال الكثير من الباحثين يفضلون استخدام مخمد الاهتزاز من النوع التقليدي [2,4]. ربما يعود سبب التفضيل هذا إلى أن استخدام مخمد الاهتزاز التقليدي يعتبر تحكماً لامركزياً، بالإضافة إلى سهولة توليف بارامتراته أثناء العمل. تم تقديم تحليل شامل حول تأثير بارامترات مخمد الاهتزاز التقليدي على الأداء الديناميكي لنظام الطاقة [2]. بينت الدراسة أن الاختيار المناسب لبارامترات المخمد تعطي بالنتيجة أداء جيد للنظام خلال تعرضه لاضطرابات.

في بدايات استخدام الـ PSS، تم الاعتماد على طرق متنوعة لتحديد إشارة الدخل المتناسبة مع خصائص التغيرات الصغيرة للسرعة للاهتزازات الكهروميكانيكية [5,6,1]. بعد سنوات من التجارب تم تطوير PSS يعتمد في عمله على تكامل الاستطاعة المتسارعة [7,8]. يستخدم هذا النوع حالياً في كثير من مناطق أمريكا الشمالية وتم نمذجته كنموذج قياسي معتمد لدى IEEE ويعرف بـ PSS2A و PSS2B [9].

أهمية البحث وأهدافه:

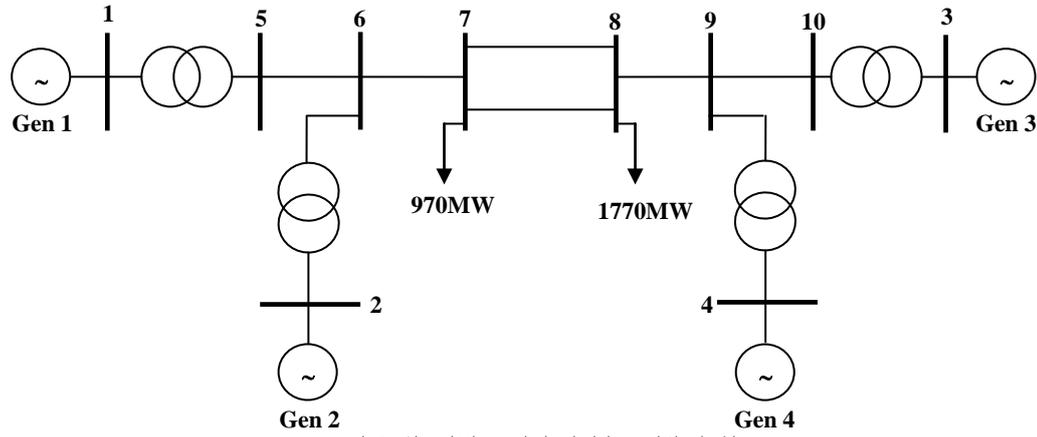
تعتبر مسألة تحسين استقرار نظم الطاقة الكهربائية منذ أكثر من ثلاثة عقود إحدى تحديات مهندسي نظم الطاقة. إن الارتباط الكهروميكانيكي بين الدوار وبقية أجزاء النظام تتصرف بشكل مشابه لنظام تخامد كتلة نابض يتعرض لسلوك متأرجح حول حالة توازن تتبع أي اضطراب، مثل تغير مفاجئ في الحمولة، تغير في ثوابت خط النقل، التآرجحات في خرج العنفة و الأعطال الخ... إن استخدام أنظمة التهييج ذات الريح العالي والتأثير السريع إضافة إلى التطور الكبير لأنظمة الطاقة المترابطة، مع نقل طاقة كبيرة عبر خطوط نقل ضعيفة زادت من خطورة المسألة، وأدت إلى نشوء اهتزازات في نظام الطاقة. هذه الاهتزازات تحد من مقدرة الشبكة على نقل الطاقة الكهربائية ويمكن أن تؤدي إلى فقدان التوافق وتعطل النظام بشكل كامل.

إن استخدام مخمد الاهتزاز يمكن أن يساعد في إخماد هذه الاهتزازات وتحسين استقرار النظام. الحل التقليدي والأكثر شيوعاً حتى هذا الوقت هو استخدام مخمد الاهتزاز التقليدي ولكن تبقى المسألة الأكثر أهمية هي توليف ثوابت مخمد الاهتزاز. يهدف بحثنا هذا إلى زيادة استقرار النظام عبر استخدام طريقة الحل الأمثل في توليف ثوابت مخمد الاهتزاز بحيث يقدم عزم تخامد جيد للنظام بدوره يساهم في تحسين استقرار النظام. تم إظهار هذا التحسين من خلال

تطبيق هذه الثوابت في نظام للطاقة الكهربائية و دراسة الأداء الديناميكي لهذا النظام ومقارنتها مع الأداء الديناميكي لهذا النظام عند استخدام القيم الاسمية لهذا المخدم.

طرائق البحث ومواده:

سوف نجري الدراسة على نظام طاقة كهربائي متعدد الآلات. يمثل الشكل (1) مخطط الخط الواحد للنظام المدروس [10,5]. يتألف هذا النظام من 10 قضبان تجميع و أربع محطات توليد حرارية كلاً منها باستطاعة اسمية قيمتها /900MVA/ تغذي الطاقة عند القضبان /4،1،2،3/، تحمل كل وحدة توليد حوالي 700 MW ، تغذي المولدات الطاقة إلى الشبكة عبر أربع محولات رافعة للجهد 20kV/230kV. زودت كلاً من وحدات التوليد بنظام تهبيج سريع من نوع (IEEE-Type-1) كما هو موضح في الشكل (2). يبين الشكل (3) توربين بخاري نموذج (Type-B) ترادفي مركب، أحادي التجميع مع منظم تدفق البخار إلى التوربين من نوع كهربائي-هيدروليكي. لقد تم تمثيل جميع وحدات التوليد بالنموذج الديناميكي التفصيلي. عزم العطالة للمولدين 3 و 4 أكبر من المولدين 1 و 2. تم تزويد كل وحدة توليد بمخدم اهتزاز من النوع التقليدي.



الشكل (1) مخطط الخط الواحد لنظام القدرة المدروس

المعادلات الميكانيكية للمولد المتواقت [13,12,16,17,19]:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H} (P_m - P_e - D\omega) \quad (1)$$

$$\dot{\delta} = \omega\omega_o \quad (2)$$

$\omega_o = d/dt$ تفاضل المتحول

δ, ω السرعة الزاوية و زاوية القدرة على التوالي.

H, D ثابت التخامد وثابت العطالة للمولد على التوالي.

P_e, P_m الاستطاعة الميكانيكية و الكهربائية على التوالي.

ω_o السرعة الزاوية الاسمية لدوار المولد.

المعادلات الكهربائية للمولد المتواقت [11,13,17,19]:

لقد تم استخدام نموذج منسوب إلى المحورين q, d (المحور المباشر و المحور 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:

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

الكميات على المحورين d و q .	q, d
الفوض المترابطة	λ
كميات تشير إلى الدوار و الثابت.	s, r
تحريضية التمغنط و التسريعية .	l, m
كميات تشير إلى ملفات الحقل و الإخماد.	k, f

معادلات نموذج نظام التهيج [12,10,9]

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

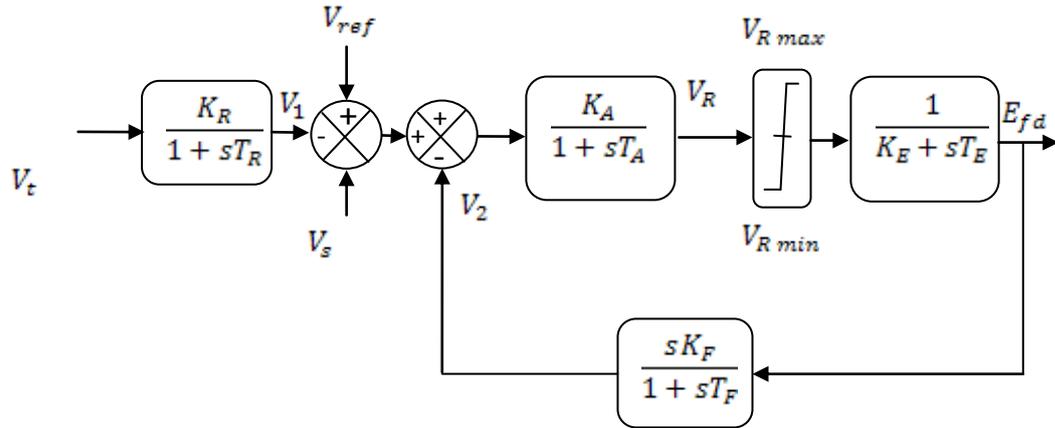
$$\dot{E}_{fd} = -\frac{K_E}{T_E} E_{fd} + \frac{1}{T_E} V_R \quad (5)$$

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

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

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

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



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

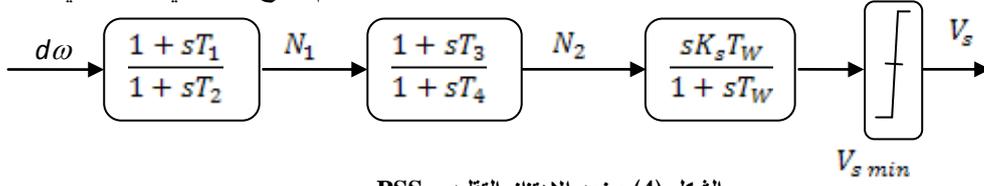
نموذج العنفة و منظم السرعة:

لتقديم العزم والاستطاعة الميكانيكية المتغيرة خلال المحاكاة الديناميكية، تم استخدام نموذج عنفة/منظم السرعة [14, 11]. يبين الشكل (3) توابع النقل للعنفة البخارية من نوع B. يشار إلى استطاعة الدخل المقدمة من المرجل P_{GV} ، كما يشار إلى الاستطاعة الميكانيكية الخارجة من العنفة بـ P_m . تمثل الثوابت T_{CO} , T_{RH} , T_{CH} الثوابت الزمنية لكلاً من وصلة تحويل البخار، المحمص وصندوق البخار على التوالي. أجزاء العزوم المقدمة من العنفات الأربعة الممثلة للنوع B هي F_{HP} منسوبة إلى التوربين ذي الضغط العالي، F_{IP} منسوبة إلى العنفة ذات الضغط المتوسط، F_{LPA} , F_{LPB} منسوبة إلى عنفة 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 و الذي يتحكم باستطاعة البخار. كما يحتوي الشكل (3) على النموذج الرياضي اللاخطي لمنظم سرعة كهربي-هيدروليكي والمستخدم في العنفة البخارية. يمثل الدخل SR السرعة المرجعية و التي يمكن أن تضبط مسبقاً أو يمكن أن تعدل آلياً وفقاً لمتطلبات التحكم في التردد أو استطاعة المنطقة.

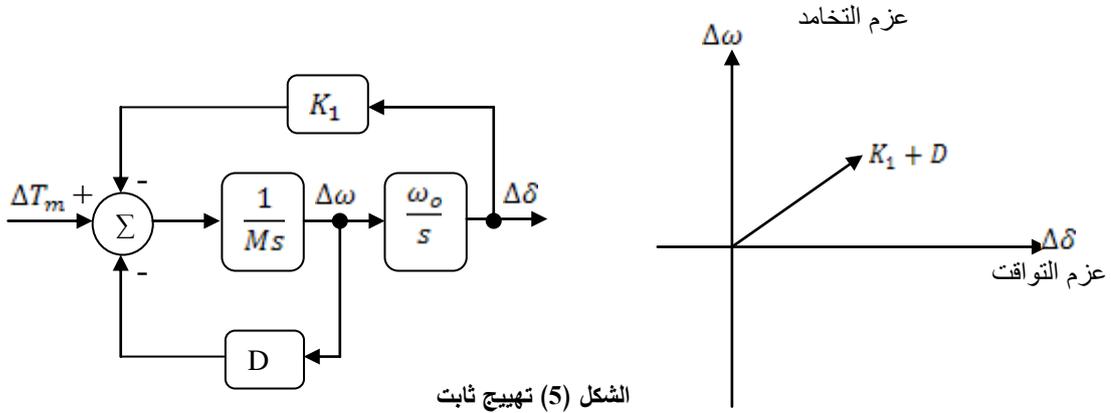
زيادة التخماد. يغذى دخل المخمد بإشارة تغير السرعة لمحور الدوران $d\omega$. يعطي هذا المخمد إشارة موجبة إلى دخل المنظم الآلي للجهد. يمكن أن نحقق الوظيفة المطلوبة من مخمد الاهتزاز باستخدام النوع التشابهي أو الرقمي.



الشكل (4) مخمد الاهتزاز التقليدي PSS

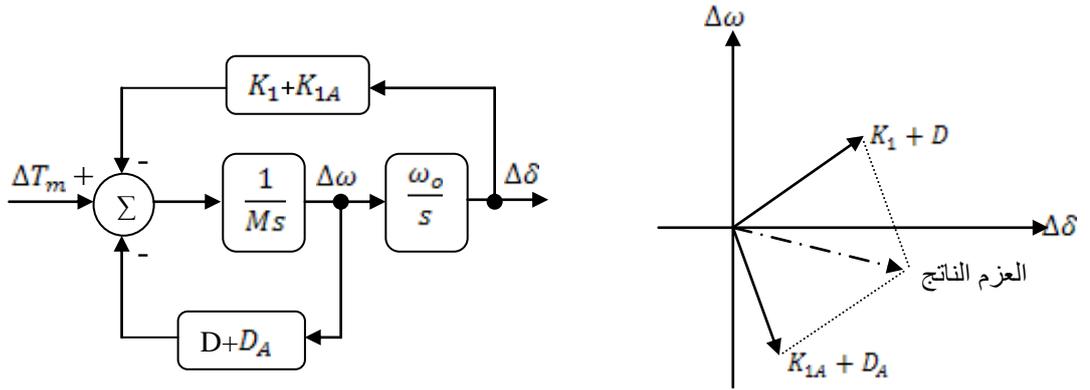
1 نظرية مخمد الاهتزاز:

يتم تحديد استطاعة الخرج للمولد من العزم الميكانيكي للتوربين، كما يمكن تغييرها بتغيير قيمة التهييج. يكتشف الـ PSS التغير في استطاعة الخرج للمولد، ويتحكم بقيمة التهييج للمولد، بالتالي يخفف تأرجحات الاستطاعة بشكل سريع. ويمكن توضيح آلية شعاع العزم على النحو التالي:



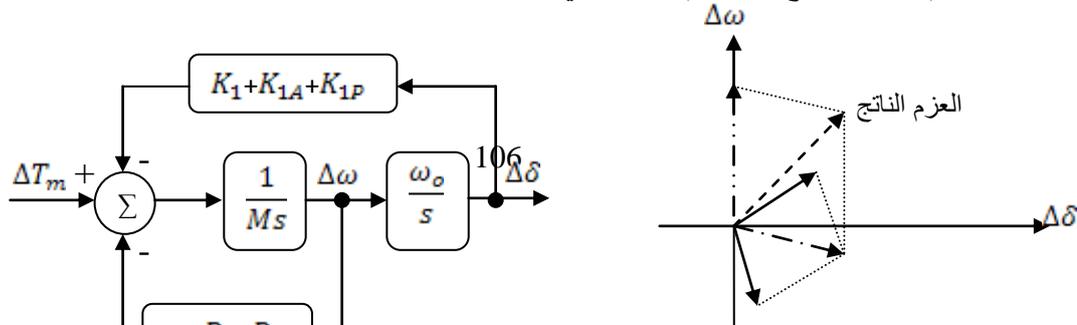
الشكل (5) تهييج ثابت

- K_1 - عزم التوافق.
- D - عزم التخماد.
- M - عزم العطالة.



الشكل (6) عند عمل منظم الجهد الآلي AVR.

يكون النظام غير مستقر عندما يكون $D + D_A < 0$
 K_{1A} - عزم التوافق المقدم من منظم الجهد الآلي.
 D_A - عزم التخماد الناتج من منظم الجهد الآلي.



الشكل (7) عند عمل منظم الجهد الآلي مع مخدم الاهتزاز PSS.

$$D + D_A + D_P > 0 \text{ يكون النظام مستقرًا عندما يكون}$$

$-K_{1P}$ -عزم التواقت المقدم من ال PSS.

$-D_P$ -عزم التخامد الناتج من ال PSS.

من المخطط الصندوقي لمخدم الاهتزاز التقليدي المبين في الشكل (4) يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$V_s = \left(\frac{sK_s T_W}{1 + sT_W} \right) \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right) \left(\frac{1 + sT_3}{1 + sT_4} \right) d\omega \quad (17)$$

K_s - الربح للمخدم التقليدي. T_w, T_4, T_3, T_2, T_1 ثوابت زمنية.

النتائج والمناقشة:

1 معطيات النظام المدروس:

يبين الجدول (1) معطيات خطوط النقل بالقيم الواحدية منسوبة لأساس 230 kV و 100MVA ، كما يبين الجدول (2) معطيات المولدات، بينما يبين الجدولان (4) و (5) قيم ثوابت نظام التهيج و التوربين 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 المتواقتة المستخدمة

Parameter		Gen 1,2	Gen 3,4`
المفاعلة المتواقتة على المحور d.	x_d	1.8	1.8
المفاعلة العابرة على المحور d.	x'_d	0.3	0.3
المفاعلة دون العابرة على المحور d.	x''_d	0.25	0.25
المفاعلة المتواقتة على المحور q.	x_q	1.7	1.7
المفاعلة العابرة على المحور q.	x'_q	0.55	0.55
المفاعلة دون العابرة على المحور q.	x''_q	0.25	0.25

مقاومة الثابت.	r_s	0.0025	0.0025
التحريضية التسريعية للثابت.	XI	0.2	0.2
الثابت الزمني العابر للدائرة المفتوحة على المحور d.	T'_{do}	8.0	8.0
الثابت الزمني دون العابر للدائرة المفتوحة على المحور d.	T''_{do}	0.03	0.03
الثابت الزمني العابر للدائرة المفتوحة على المحور q.	T'_{qo}	0.4	0.4
الثابت الزمني دون العابر للدائرة المفتوحة على المحور q.	T''_{qo}	0.05	0.05
ثابت العطالة.	H	6.5	6.175

الجدول (3) قيم ثوابت نظام التهيج

Parameter	Value
K_A	200
T_A	0.001
K_E	1.0
T_E	0.0
K_F	0.0
T_F	0.0
K_r	1.0
T_r	0.02

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

2 طريقة توليف بارامترات مخمد الاهتزاز:

تم في هذا البحث اعتماد طريقة الحل الأمثل لتوليف ثوابت مخمد الاهتزاز التقليدي ومقارنتها مع القيم الاسمية للمخمد. وفيما يلي نعرض الخطوات المتبعة لإنجاز عملية التوليف:

بالنسبة للقيم الاسمية لثوابت مخمد الاهتزاز تم اعتماد القيم التالية لجميع الآلات وفقاً للمرجع [10,5] وهي على

النحو التالي:

	nominal
T_w	10
K_s	20
T_1	0.05
T_2	0.02
T_3	3

T4	5.4
----	-----

تم تحديد ثوابت مخدم الاهتزاز حسب طريقة الحل الأمثل على النحو التالي:
تشكل مجموعة التفاضلية التي تصف النظام الصيغة التالية:

$$\dot{x} = f(t, x, u) \quad (18)$$

$$y = g(t, x, u) \quad (19)$$

نحول نموذج نظام الطاقة في المعادلات (18) و (19) إلى نموذج خطي بالتالي يصبح نظام الطاقة بالصيغة التالية:

$$\Delta \dot{x} = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial u} \Delta u = A \Delta x + B \Delta u \quad (20)$$

$$\Delta y = \frac{\partial g}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial g}{\partial u} \Delta u = C \Delta x + D \Delta u \quad (21)$$

نحسب بعد ذلك جذور المصفوفة A، وبعد ذلك نوجد نسبة التخماد و الترددات لأنماط الاهتزازات المرتبطة بأزواج الجذور العقدية $(\alpha_i = \alpha_i \pm j\beta_i)$ ، حيث إن الجذور العقدية تشير إلى الأنماط المتأرجحة وذلك كما يلي:

$$z_i = -\cos\left(\arctan\left(\frac{\beta_i}{\alpha_i}\right)\right) \quad (22)$$

من ثم نحدد مجموعة الثوابت المثلى، ويقصد بذلك تكبير التخماد لنمط الاهتزاز الأقل تخامداً وذلك بالاعتماد على القاعدة التالية:

$$\begin{aligned} & \text{maximize } \min(z_i) \\ & \text{subject to } i \in 1, \dots, N \end{aligned} \quad (23)$$

حيث N عدد أزواج الجذور العقدية.

بنتيجة الحل الأمثل نحدد قيم ثوابت مخدم الاهتزاز على النحو التالي:

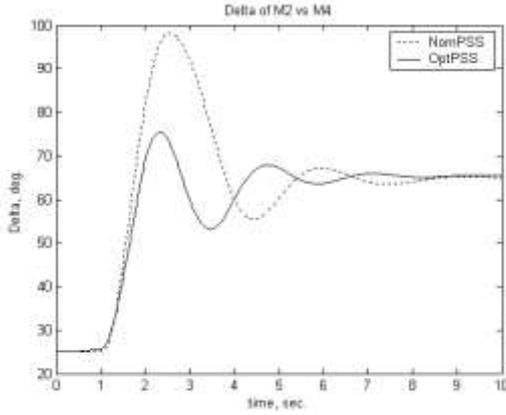
	G1	G2	G3	G4
Tw	10	10	10	10
Ks	19.98	20.00	19.98	19.98
T1	0.74	0.54	0.53	0.02
T2	0.75	0.13	0.94	0.28
T3	3.61	3.50	3.65	3.60
T4	5.08	5.12	5.02	5.10

3 دراسة الأداء الديناميكي لنظام الطاقة:

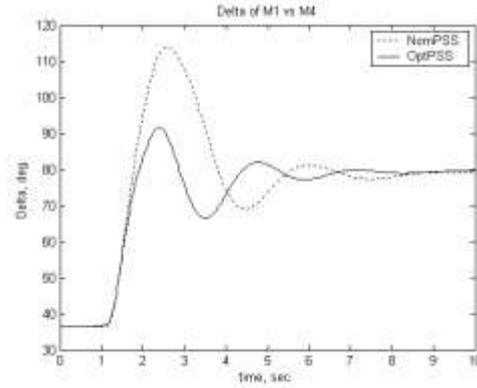
لدراسة الأداء الديناميكي لنظام الطاقة الكهربائية باستخدام مخدم الاهتزاز تم نمذجته باستخدام برنامج Simulink في برنامج الـ MATLAB. و تم اختيار طريقة رونغا-كوتا لحل جملة المعادلات التفاضلية. كما تم دراسة أداء النظام عند تعريض النظام إلى اضطراب كبير، ممثلاً بداراة قصر ثلاثية الطوار إلى الأرض في منتصف الخط الواصل بين القضبان 7 و 8 لمدة 0.2 s. و رسمت منحنيات الاستجابة الزمنية لكل من ω, δ و V_T من أجل الحالات التالية:

✓ عمل النظام بوجود مخدم الاهتزاز PSS . حيث تم ضبط ثوابت المخدم على القيم الاسمية. وسوف نرمز له بـ NomPSS .

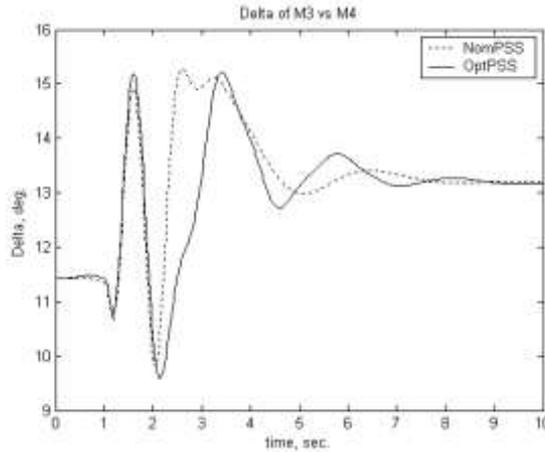
✓ عمل النظام بوجود مخدم الاهتزاز PSS . حيث تم ضبط ثوابت المخدم حسب القيم الناتجة باستخدام طريقة الحل الأمثل و سوف نرمز له بـ OptPSS.



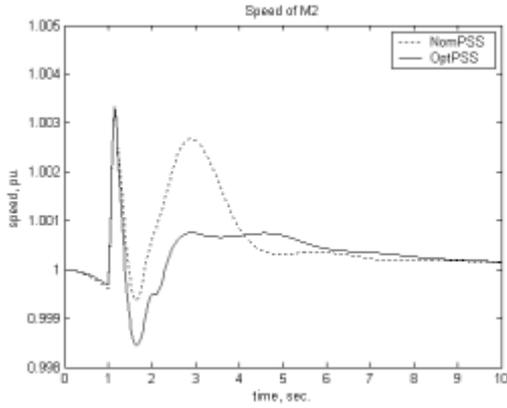
الشكل (9) زاوية الدوار للآلة 2 مقابل 4 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



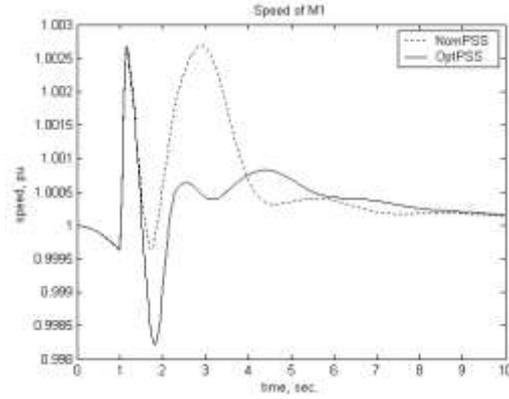
الشكل (8) زاوية الدوار للآلة 1 مقابل 4 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



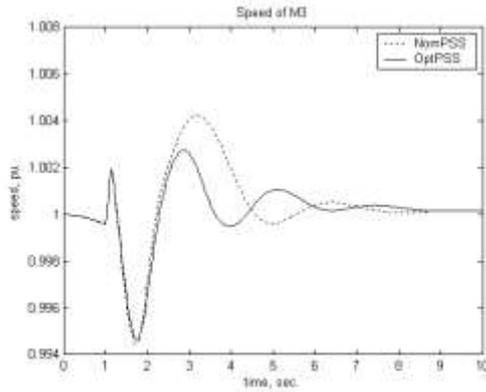
الشكل (10) زاوية الدوار للآلة 3 مقابل 4 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



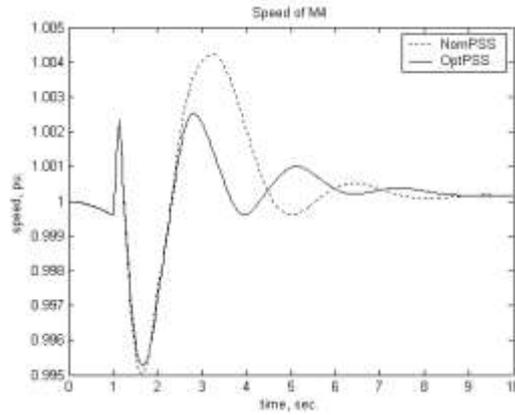
الشكل (12) سرعة الآلة 2 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



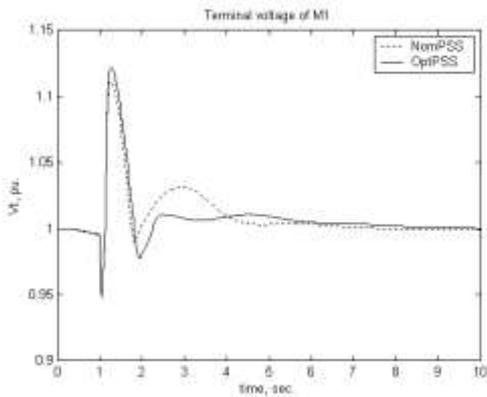
الشكل (11) سرعة الآلة 1 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



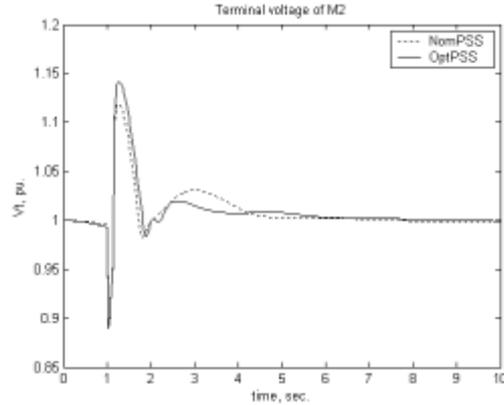
الشكل (14) سرعة الآلة 4 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



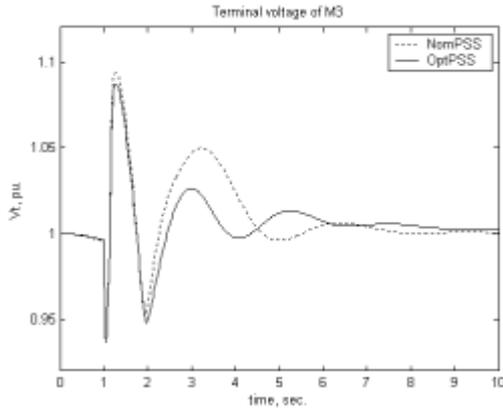
الشكل (13) سرعة الآلة 3 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



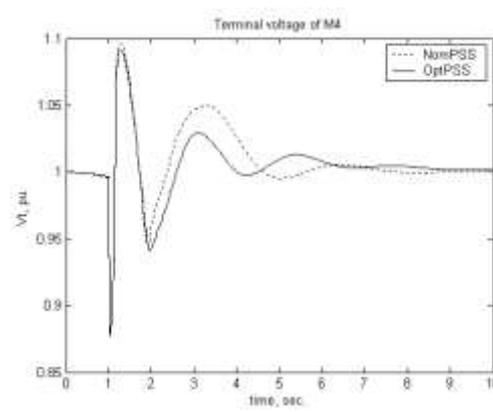
الشكل (16) الجهد على أطراف الآلة 2 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



الشكل (15) الجهد على أطراف الآلة 1 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



الشكل (18) الجهد على أطراف الآلة 4 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل



الشكل (17) الجهد على أطراف الآلة 3 عند استخدام الـ PSS بالقيم الاسمية والحل الأمثل

من تحليل نتائج المنحنيات المبينة في الشكل (8) إلى (18) نلاحظ ما يلي:

انخفاض قيمة مطال تأرجح منحنى زاوية القدرة للمولد الأول من القيمة 113.88 عند استخدام NomPSS إلى 91.6 عند استخدام OptPSS كما هو مبين في الشكل (8). بالنسبة للمولد الثاني وصل ارتفاع زاوية القدرة عند استخدام NomPSS إلى 98.3 بينما عند استخدام OptPSS انخفض إلى القيمة 75.34 كما في الشكل (9). عند مقارنة منحنيات السرعة باستخدام النوعين من مخمد الاهتزاز نلاحظ أنه بالنسبة للألات الأربعة لم يتغير مطال التأرجح الأول بشكل ملحوظ ولكن انخفض مطال التأرجح الثاني بشكل كبير كما أن زمن التخميد عند استخدام OptPSS كان أقل بمقدار 3 ثانية مقارنةً مع NomPSS كما هو مبين في الأشكال من (11) إلى (14) ونلاحظ نفس النتيجة بالنسبة لمنحنيات الجهد على أطراف المولدات الأربعة و المبينة في الأشكال من (15) إلى (18).

الاستنتاجات و التوصيات:

خلال دراسة هذا البحث تم تحقيق ودراسة النقاط التالية:

- ✓ دراسة تحسين استقرار نظام طاقة متعدد الآلات باستخدام مخمد الاهتزاز من النوع التقليدي، حيث تم توليف ثوابت هذا المخمد باستخدام طريقة الحل الأمثل.
 - ✓ دراسة أداء النظام باستخدام الطريقة المقترحة مع قيم الثوابت الاسمية لهذا المخمد.
 - ✓ التحقق من فعالية الطريقة المقترحة لتوليف ثوابت مخمد الاهتزاز في تحسين استقرار النظام، وذلك من خلال تحليل الاستجابات الزمنية لمجموعة من المتحولات وذلك عند تعريض النظام إلى قصر ثلاثي الطور إلى الأرض.
- بالنتيجة أعطى النظام تخامداً جيداً عند توليف ثوابت مخمد الاهتزاز على أساس الحل الأمثل.

المراجع:

- [1] DANDENO P.L.; KARAS A.N.; McCLYMONT K.R.; WATSON W. *Effect of High-Speed Rectifier Excitation Systems on Generator Stability Limits*, IEEE Trans., PAS-87, January 1968,190-201.
- [2] 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, 4, 2, May 1989, 614-626.
- [3] KUNDER, P.; LEE, D.C.; ZEIN EL-DIN, H.M. *Power system Stabilizers for Thermal Units: Analytical Techniques and On-site Validation*. IEEE Trans., PAS-100, January 1981, 81-95.
- [4] GIBARD, M. J., *Robust Design of Fixed- Parameter Power System Stabilizers over a Wide Range of Operating Conditions*. IEEE Trans. 6, 2, 1991, 794-800.
- [5] KLEIN, M.; ROGERS, G.J.; MOORTY, S.; KUNDUR, P. *Analytical Investigation Of Factors Influencing Power System Stabilizers Performance*. IEEE Transaction on Energy Conversion, 7, 3, September 1992, 382-390.
- [6] WATSON, W. and MANCHUR, *Experience with Supplementary Damping Signal for Generator Static Excitation Systems*. IEEE Trans., PAS-92, January/ February 1973, 199-203.
- [7] DEMELLO, F. P.; HANNETT, L. N.; UNDRILL, J. M., *Practical Approaches to Supplementary Stabilizing from Accelerating Power*. IEEE Trans., PAS-97, September/October 1978,1515-1522.
- [8] LEE, D. C.; BEAULIEU, and SERVICE J.R.R.; *A power System Stabilizer Using Speed and electrical Power Inputs-Design and Field Experience*. IEEE Trans., PAS-100, September 1981, 4151-4167.
- [9] *IEEE recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies*, IEEE Standard 421, April 2006, 5-2005.
- [10] KUNDUR, P. *Power System Stability And Control* . Mc Graw-Hill, 1994,1176.
- [11] YAO-NAN YU. *Electric Power System Dynamics* . Academic Press, INC. New York, 1983, 255.
- [12] ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A. *Power System Control and Stability* . Iowa State University Press, 1977, 464.
- [13] CHE-MUN ONG, *Dynamic Simulation of Electric Machinery*. Printic Hall Inc., New Jersey, 1998,626.
- [14] IEEE committee report. *Dynamic models for steam and hydro turbines in power system studies*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-92, 6, 1973, 1904-1915.
- [15] LARSEN, E. V.; SWANN D. A. *Applying Power System Stabilizer Part I, II, III*. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, PAS-100, 6, 1981, 3017-3045.
- [16] ARRILLAGA, J. and AMOLD, C. P. *Computer modeling of electrical power systems*. John Wiley & Sons, 1983,382.
- [17] PADIYAR,K.R. ; *Power System Dynamics, Stability and Control*, Second Edition, Hy-derabad, B.S. Publication, 2002,571.
- [18] IEEE Task Force, \Current Usage and Suggested Practices in Power System Stability