تحسين الاستقرار الديناميكي لأنظمة الطاقة الكهربائية عبر مخمد اهتزاز يعتمد في عمله على دمج التحكم الأمثل مع مضخم عملياتي متقدم

الدكتور محمد عبد الحميد
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
جامعة تشرين

الملخص

إن الهدف من هذا البحث هو تحسين الاستقرار الديناميكي لأنظمة الطاقة الكهربائية عبر تقديم الإخماد الإضافي إلى دارة التحكم بالتهييج عن طريق مخمد اهتزاز يعتمد في عمله على دمج الإشارة المقدمة من دارة مضخم عملياتي متقدم مع إشارة التغذية العكسية السالبة التي يتم الحصول عليها من حل معادلة Riccati . حيث تمثل إشارة التحكم هذه نسباً مختلفة من متغيرات الحالة للنظام المدروس.

لاختبار فعالية الطريقة المقترحة، تم تطبيق الدراسة على نظام للطاقة الكهربائية مؤلف من آلة متواقتة موصولة إلى قضيب تجميع لانهائي عبر خط نقل للقدرة. لقد تم بناء النموذج الرياضي الخطي لنظام الطاقة من الدرجة الرابعة، و تمت دراسة الاستجابة الزمنية لمتغيرات الحالة لهذا النظام. لقد بينت الدراسة أن الطريقة المقترحة قد أعطت تخامداً سالباً كافياً لتحسين استقرار النظام و تقليل الاهتزازات الناشئة نتيجة الاضطرابات.

الكلمات المفتاحية: استقرار نظام القدرة ، التحكم الأمثل، مضخم عملياتي

1- قائمة بالرموز:

Δ	رمز يشير إلى تغيرات صغيرة حول قيم التشغيل
$\bullet = d/dt$	التفاضل الزمني
δ ، ω	السرعة الزاوية و زاوية القدرة على التوالي
e'_q	القوة المحركة الداخلية العابرة
M, D	ثابت التخامد وعزم العطالة للآلة على التوالي
V_t	الجهد على أطراف الآلة
E_{fd}	جهد حقل التهييج
K_A, T_A	الثابت الزمني و الربح لدارة التهييج على التوالي
V_{ref}	الجهد المرجعي
U	إشارة التحكم
T'_{do}	الثابت الزمني العابر للدارة المفتوحة على المحور المباشر
$K_1, \quad K_2, \ldots\ldots, K_6$	ثوابت محسوبة من أجل النظام
f	التردد 50 هرتزاً
s	عامل تحويل لابلاس
x_d, x_q	المفاعلة المتواقتة على المحور غير المباشر و المباشر على التوالي
x'_d	مركبة المفاعلة العابرة على المحور المباشر
R_l, x_l	مفاعلة خط النقل و مقاومته على التوالي
G_l, B_l	سماحية الخط و قبوليته على التوالي
P_G, Q_G	الاستطاعة الردية و الفعلية للتوليد

2- مقدمة:

مع التطور المتنامي لنظم الطاقة الكهربائية، و مع تطور نقل الطاقة الكهربائية عبر شبكات النقل عالية التوتر، و مع زيادة حجم وحدات التوليد و استخدام أنظمة التهييج عالية السرعة. فقد ازداد الاهتمام بدراسة الاستقرار الديناميكي و العابر لأنظمة الطاقة الكهربائية و خصوصاً في العقود الأربعة الأخيرة.

يمكن تعريف الاستقرار العابر و الاستقرار الديناميكي على النحو التالي: يكون النظام في حالة الاستقرار العابر إذا كان النظام قادراً على الوصول إلى الحالة الساكنة أو إلى حالة قريبة منها عندما يتعرض إلى اضطراب كبير، أما الاستقرار الديناميكي فيقصد به مقدرة النظام على الوصول إلى الحالة الساكنة عند تعرضه إلى تغيرات طفيفة في الحمولة [11,12,13].

كما هو معروف يعد نظام التهييج في الآلات المتواقتة نظام التحكم الرئيسي فيها و الذي يؤثر فيها بشكل مباشر. و تركز كثير من الاهتمام في المقالات العلمية حول تطوير نموذج مناسب لنظام التهييج من أجل دراسات الاستقرار في الأنظمة الكبيرة [1,2,3] .

إن تأثير نظام التهييج في الاستقرار الديناميكي هو عبارة عن إضافة تخامد سالب إلى النظام مسبباً بذلك إخماد الاهتزازات الناشئة عن الأنواع المختلفة للاضطرابات مثل تغير حالات التحميل و الدارات القصيرة في الأنظمة المترابطة و التي سوف تنعكس نتيجة الاستطاعة المتدفقة في خطوط الربط مسببة اهتزاز الآلات الموصولة إلى النظام. إن الاهتزازات منخفضة التردد و التي لوحظ أنها تسبب عدم الاستقرار الديناميكي للنظام يمكن تصنيفها كما يلي [4,5] :

- Inter-tie mode : هذا النوع من الاهتزازات يرافق مجموعة من الآلات في جزء من النظام يتأرجح مقابل مجموعة من الآلات في الجزء الآخر من النظام، يتراوح التردد الطبيعي لهذا النوع من الاهتزازات في المجال بين 0.2-0.5 Hz ،

- Local mode: هذا النوع يرافق مجموعة من وحدات التوليد في محطة التوليد موصولة إلى نظام قدرة كهربائية كبير عبر خطوط نقل ضعيفة، و التردد الطبيعي لهذا النوع من الاهتزازات يتراوح في المجال بين 0.8-1.8 Hz،
- Intra-system mode: و هذا النوع ينشأ بين الوحدات المنفردة ضمن نظام و تميل لتكون مشابهة للنوع الثاني.

و هناك أنواع أخرى مرافقة لجهد الحقل يتراوح ترددها بين 3-6 Hz و يشار إليها بالنوع exciter mode [6].

إن التهييج المقدم من نظام التهييج لا يعطي التخامد الكافي لإخماد الاهتزازات الناشئة في النظام، لذلك نقوم بتأمين التخامد الإضافي اللازم من خلال التحكم الإضافي بالتهييج، و الذي يعرف بمخمد الاهتزاز (stabilizer). إن الهدف من مخمد الاهتزاز الذي يستخدم التحكم الإضافي بالتهييج هو إضافة تخامد بحيث ينتج مركبة من العزم الكهربائي على الدوار و التي يجب أن تكون متوافقة بالطور مع تغيرات السرعة. هناك أنواع مختلفة من مخمد الاهتزاز تختلف فيما بينها من حيث نظرية التحكم المصممة عليها هذه المخمدات. و تبقى المسألة المرافقة لكل نوع من مخمد الاهتزازات هي: (1) توليف مخمد الاهتزاز ضمن مجال واسع من حالات التشغيل، (2) أداء مخمد الاهتزاز عند حالات العطل.

في هذا البحث تم تطوير مخمد اهتزاز يعتمد في عمله على دمج الإشارة المقدمة من دارة مضخم عملياتي متقدم مع إشارة التحكم الأمثل العكسية الناتجة من حل معادلة (Riccati) . لقد تم اختبار هذه الطريقة على نظام للقدرة الكهربائية مؤلف من آلة متواقتة موصلة إلى قضيب تجميع لانهائي عبر خط نقل للقدرة الكهربائية.

3- النموذج الرياضي:

لدراسة الاستقرار الديناميكي لنظام القدرة الكهربائية لا بد أولاً من تحويل نموذج نظام القدرة إلى نظام خطي حول نقاط تشغيله. ومن ثم كتابة النموذج الخطي للنظام على شكل الحالة الفراغية الممثلة بالمعادلة التالية:

$$\dot{X} = AX + BU \qquad (1)$$

حيث A، B، مصفوفتا النظام، X و U هما شعاع متغيرات الحالة و شعاع إشارة التحكم، على التوالي.

من المخطط الصندوقي المبين في الشكل (1) و الذي يمثل نظام قدرة كهربائية مؤلفاً من آلة متواقتة موصولة إلى قضيب تجميع لا نهائي، يمكننا كتابة المعادلات التفاضلية التالية [7] :

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

$$\Delta\dot{\omega} = -\frac{K_1}{M}\Delta\delta - \frac{D}{M}\Delta\omega - \frac{K_2}{M}\Delta e'_q \qquad (3)$$

$$\Delta\dot{e}'_q = -\frac{K_4}{T'_{do}}\Delta\delta - \frac{1}{K_3 T'_{do}}\Delta e'_q + \frac{1}{T'_{do}}\Delta E_{fd} \qquad (4)$$

$$\Delta V_t = K_5\Delta\delta + K_6\Delta e'_q \qquad (5)$$

$$\Delta\dot{E}_{fd} = -\frac{K_A K_5}{T_A}\Delta\delta - \frac{K_A K_6}{T_A}\Delta e'_q - \frac{1}{T_A}\Delta E_{fd} + \frac{K_A}{T_A}U + \frac{1}{T_A}\Delta V_{ref} \qquad (6)$$

وبترتيب المعادلات السابقة في صيغة متغيرات الحالة الفراغية نحصل على المعادلة المصفوفية التالية:

$$\begin{bmatrix} \dot{\Delta\delta} \\ \dot{\Delta\omega} \\ \dot{\Delta e'_q} \\ \dot{\Delta E_{fd}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2\pi f & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ -\frac{K_4}{T'_{do}} & 0 & -\frac{1}{K_3 T'_{do}} & \frac{1}{T'_{do}} \\ 0 & 0 & -\frac{K_4 K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\omega \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} \Delta V_{ref} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} U$$

(7)

و من ثم يكون شعاع متغيرات الحالة من الدرجة الرابعة و هو ممثل بـ $X = [\Delta\delta \quad \Delta\omega \quad \Delta e'_q \quad \Delta E_{fd}]^T$. و في حال عدم وجود التحكم الإضافي تكون إشارة التحكم U=0.

في العادة تستخدم المضخمات العملياتية من أجل تضخيم الإشارات في دارات التحسس، كما تستخدم في المرشحات بغرض التعويض [8]. و في دراستنا هنا سوف نطبق المضخم العملياتي من النوع المتقدم و المبين في الشكل (2) لتحسين استقرار النظام. من الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (2) يمكننا استنتاج تابع النقل الذي يمثل دارة المضخم العملياتي فنحصل على:

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = K_c \left(\frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\alpha T}} \right) \qquad (8)$$

حيث: $T = R_1 C_1$ ، $\alpha = \frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}$ ، $\alpha T = R_2 C_2$ ، $K_c = \frac{R_4 C_1}{R_3 C_2}$، و حتى يكون المضخم العملياتي من نوع متقدم يجب أن تكون $\alpha < 1$ أي $R_1 C_1 > R_2 C_2$، و عند تطبيق دارة المضخم هذه على نظام القدرة المبين في الشكل(1) نحصل على الشكل(4)

من الشكل (4) لدينا:

$$\Delta\dot{X} = -K_5\Delta\delta - K_6\Delta e'_q - \frac{1}{\alpha T}\Delta x_5 + \Delta V_{ref} + U \quad (9)$$

و من ثم تتغير المعادلة (6) لتصبح بوجود المضخم العملياتي:

$$\Delta\dot{E}_{fd} = -\frac{K_c K_5 K_A}{T_A}\Delta\alpha - \frac{K_c K_6 K_A}{T_A}\Delta e'_q + \frac{K_c K_A}{T_A}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{\alpha T}\right)\Delta X_5 - \frac{1}{T_A}\Delta E_{fd} + \frac{K_c K_A}{T_A}\Delta V_{ref} + \frac{K_c K_A}{T_A}U$$

(10)

و بكتابة المعادلات 2، 3، 4، 9، 10، بالصيغة المصفوفية للحالة الفراغية نحصل على:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\delta} \\ \Delta\dot{\omega} \\ \Delta\dot{e}'_q \\ \Delta\dot{X}_5 \\ \Delta\dot{E}_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2\pi f & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 & 0 \\ -\frac{K_4}{T'_{do}} & 0 & -\frac{1}{K_3 T'_{do}} & 0 & \frac{1}{T'_{do}} \\ -K_5 & 0 & -K_6 & -\frac{1}{\alpha T} & 0 \\ -\frac{K_c K_5 K_A}{T_A} & 0 & -\frac{K_c K_6 K_A}{T_A} & \frac{K_c K_A}{T_A}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{\alpha T}\right) & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\omega \\ \Delta e'_q \\ \Delta X_5 \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{K_c K_A}{T_A} \end{bmatrix}\Delta V_{ref} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{K_c K_A}{T_A} \end{bmatrix} U \quad (11)$$

تمثل المعادلة (11) النظام بوجود دارة المضخم العملياتي، و يكون شعاع متغيرات الحالة للنظام ممثلاً بـ $X = \begin{bmatrix} \Delta\delta & \Delta\omega & \Delta e'_q & \Delta X_5 & \Delta E_{fd} \end{bmatrix}^T$ ، و من ثم نحصل على نموذج رياضي من الدرجة الخامسة. وفي حال عدم وجود إشارة التحكم الإضافي تكون U=0.

إشارة التحكم الإضافي الأمثل U التي تقلل دالة الأداء [9,10]:

$$J = \frac{1}{2}\int_0^{\infty}(X^T Q X + U^T R U).dt$$
(12)

هي التابع الخطي بدلالة متغيرات الحالة للنظام X كما يلي:

$$U = -kX = -R^{-1}B^T P X \quad (13)$$

حيث Q و R هما مصفوفات الموازنة و k تمثل مصفوفة الربح للتغذية العكسية و P هي حل معادلة Riccati المصفوفية الخطية و نحصل على قيمتها من حل المعادلة التالية [7,9,14]:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (14)$$

ومن ثم يصبح النظام مع التحكم الأمثل حسب المعادلة التالية:

$$\dot{X} = (A - BR^{-1}B^T P)X + BU \quad (15)$$

4- التطبيق العددي و المحاكاة بالحاسب:

تم اختبار الطريقة المقترحة للتحكم، على نظام قدرة مؤلف من آلة متواقتة موصولة إلى قضيب تجميع لانهائي، حيث تم تزويد الآلة بنظام تهييج من النموذج [IEEE TYPE-1] . الثوابت المرافقة للنظام و القيم الابتدائية للنظام هي كما يلي:

ثوابت الآلة المتواقتة [p.u.] [7]:

$x_d = 1.6$ $x'_d = 0.17$ $x_q = 1.53$

$M = 4.74$ $D = 0.0$ $T'_{do} = 7.76$

نظام التهييج:

$K_A = 200$ $T_A = 0.05$

خط النقل:

$R_l = -0.02$ $x_l = 0.40$

$G_l = 0.249$ $B_l = 0.262$

حالة التشغيل:

$P_G = 1.0$	$Q_G = 0.62$
$V_t = 1.0$	$f = 50$ [Hz]

الثوابت $K_1, K_2, ..., K_6$ [7,11]

$K_1 = 1.075$	$K_2 = 1.344$	$K_3 = 0.3014$
$K_4 = 1.777$	$K_5 = - 0.0162$	$K_6 = 0.5891$

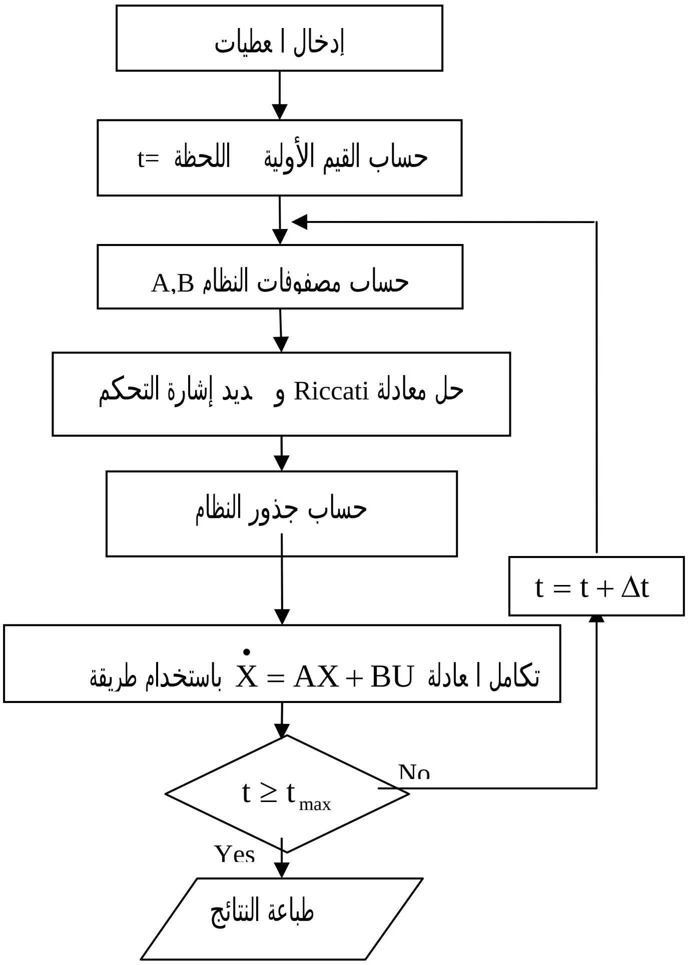
لقد تم بناء النموذج الرياضي للنظام مع مكوناته من مجموعة من المعادلات التفاضلية التي تصف سلوك النظام، و لإيجاد الأداء الديناميكي للنظام بالنسبة للزمن تم إيجاد تكامل هذه المعادلات باستخدام طريقة رونغا-كوتا، حيث تم بناء برنامج رياضي على الحاسب الآلي باستخدام لغة الفورتران، حيث يقوم هذا البرنامج بحساب القيم الأولية للنظام و من ثم حساب قيم مصفوفات النظام، و من ثم حل معادلة Riccati و حساب إشارة التحكم U و من ثم حساب جذور النظام لتحديد استقرار النظام، بعد ذلك يقوم البرنامج بإجراء التكامل لمجموعة المعادلات التفاضلية و تحديد قيم متحولات النظام بالنسبة للزمن و بعد ذلك طباعة قيم متغيرات النظام و من ثم تم رسم المنحنيات باستخدام برنامج الـ Excel، و فيما يلي نبين المخطط الانسيابي الذي يبين المنهج الذي تم وفقه الحل.

لاختبار فعالية أداء نظام التحكم المقترح، تم تعريض النظام إلى اضطراب في قيمة الجهد المرجعي قيمته 0.1 p.u. لمدة 1 ثانية، و تم رسم الاستجابة الزمنية للحالات الثلاث الآتية:

1. استجابة النظام بوجود نظام التهييج فقط.
2. استجابة النظام بوجود نظام التهييج مع دارة المضخم العملياتي.
3. استجابة النظام بوجود نظام التهييج مع دارة المضخم العملياتي مدمجة مع إشارة التحكم للتغذية العكسية.

يمثل الجدول (1) قيم الجذور لحلقة التحكم المغلقة من أجل الحالات الثلاث السابقة. نلاحظ من قيم الجذور أن النظام بوجود نظام التهييج فقط أصبح غير مستقر عند

تعرضه للاضطراب، كما هو واضح من جذور المعادلة المميزة حيث إن أحد الأجزاء الحقيقية للجذور ذو قيمة موجبة، وهذا يعني وجوده في الجزء اليميني من المحور الحقيقي لمخطط s،



المخطط الانسيابي

كما يمكن ملاحظة عدم استقرار النظام من خلال الأشكال (5)، (6) و (7)و التي تمثل الاستجابة الزمنية لمتغيرات النظام $\Delta\delta$ ، $\Delta\omega$ و ΔV_t على التوالي.

عند إضافة دارة المضخم العملياتي إلى النظام، نلاحظ من قيم الجذور المبينة في الجدول (1) أن الأجزاء الحقيقية لجميع الجذور أصبحت سالبة و هذا يعني أن النظام أصبح مستقراً. و لكن ما زال هناك تأرجح لقيم متغيرات الحالة للنظام كما هو مبين من الأشكال (8)، (9) و (10) و التي تمثل الاستجابة الزمنية لمتحولات النظام $\Delta\delta$ ، $\Delta\omega$ و ΔV_t على التوالي و ذلك عند إضافة المضخم العملياتي، و قيم الثوابت المتعلقة به كانت على النحو التالي: $K_c = 1.0, \quad \alpha = 0.054, \quad T = 0.245$.

أما عند إضافة دارة المضخم العملياتي المتقدم مع إشارة التحكم العكسية السالبة إلى النظام نلاحظ تحسن استقرار النظام و زيادة تخامده. من الجدول (1)، ومن الحقل المخصص للجذور للنظام في الحالة 3 نلاحظ إزاحة قيم الأجزاء الحقيقية إلى يسار المحور الحقيقي. و أيضاً يبدو واضحاً تخامد النظام من الأشكال (11)، (12)، (13) و (14) و التي تمثل الاستجابة الزمنية لمتغيرات الحالة للنظام U، $\Delta\delta$ ، $\Delta\omega$ و ΔV_t على التوالي. والشكل (11) يمثل إشارة التحكم للتغذية العكسية الناتجة من حل معادلة Riccati و التي تساوي إلى:

$$U = 0.125\Delta\delta - 5.383\Delta\omega + 0.299\Delta e'_q + 5.163\Delta X_5 + 0.004\Delta E_{fd}$$

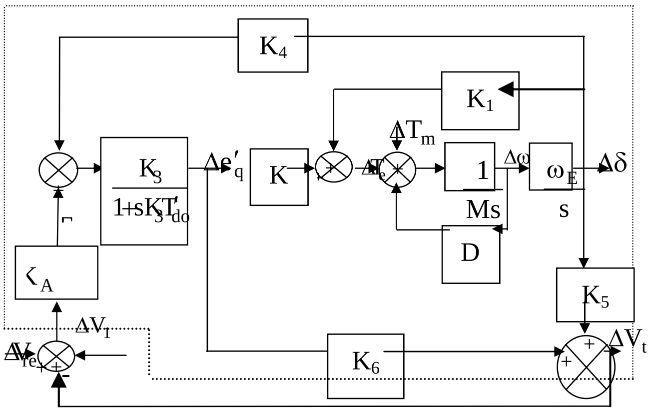
يمكن تغيير قيمة إشارة التحكم هذه حسب القيم المختارة لمصفوفات الموازنة Q و R و التي تم اختيارها هنا بحيث يكون R=[1] و مصفوفة الموازنة القطرية $Q = [0.051 \quad 0.001 \quad 0.001 \quad 20.001 \quad 0.0001]^T$.

الجدول رقم (1) جذور النظام

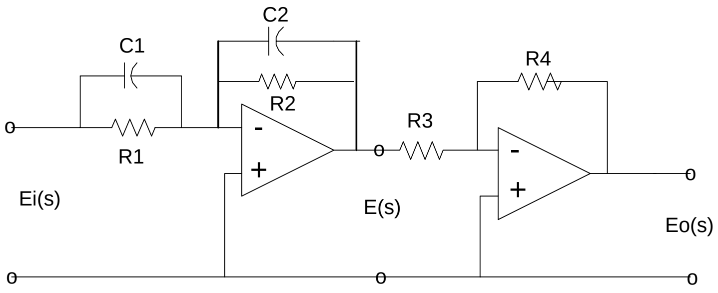
بوجود نظام التهييج فقط	مع إضافة المضخم العملياتي-متقدم	المضخم العملياتي مع التحكم الأمثل
-10.28±j14.446 0.067±j8.477	-69.808 -25.141 -0.106±j8.439 -0.853	-92.017 -21.631 -0.372±j8.453 -0.915

الخلاصة:

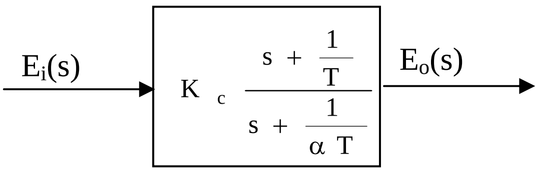
يمثل هذا البحث طريقة لتحسين الاستقرار الديناميكي لنظام القدرة الكهربائية. تعتمد هذه الطريقة في عملها على إضافة تخامد سالب من مخمد اهتزاز يعتمد مبدأ عمله على الإشارة المقدمة من مضخم عملياتي متقدم مضافاً إليها إشارة التغذية العكسية السالبة الناتجة من التحكم الأمثل. لقد تمت دراسة الاستجابة الزمنية لمتغيرات الحالة للنظام و ذلك بوجود التهييج فقط و عند إضافة المضخم العملياتي و من ثم بوجود المضخم العملياتي مع إشارة التغذية العكسية، و قد تم التوصل إلى أنه بوجود هذا النوع من المخمدات نحصل على إخماد جيد للاهتزاز و من ثم تحسين الأداء الديناميكي لمجمل النظام.



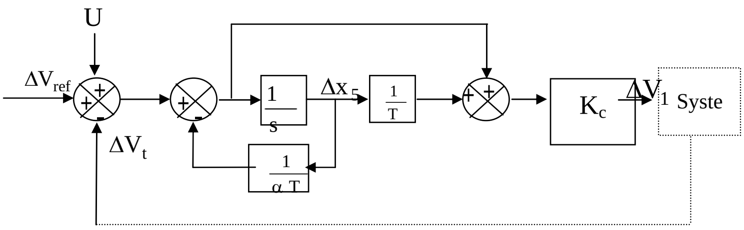
الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام قدرة مؤلف من آلة مفردة –قضيب تجميع لانهائي



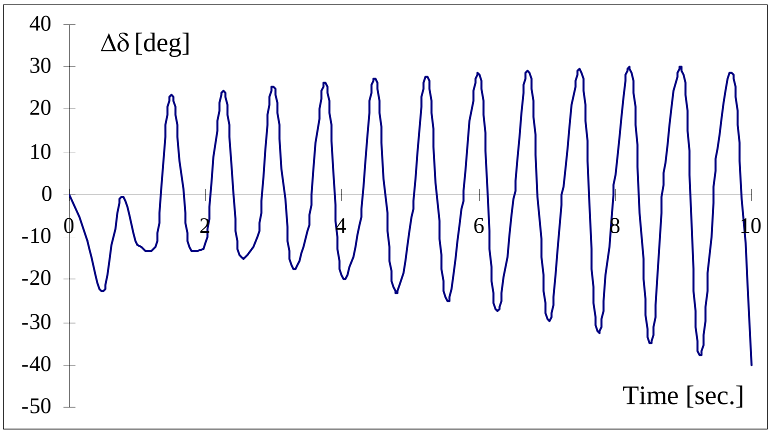
الشكل (2) الدارة الكهربائية للمضخم العملياتي-متقدم



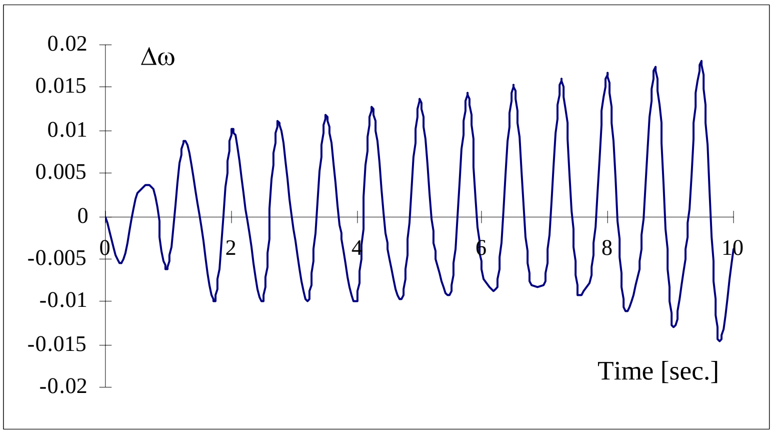
الشكل (3) تابع النقل لدارة المضخم العملياتي



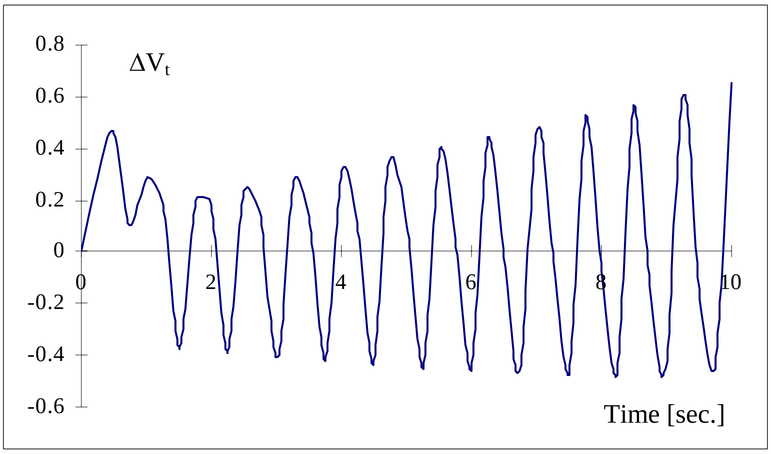
الشكل (4) تمثيل النظام مع دارة المضخم العملياتي



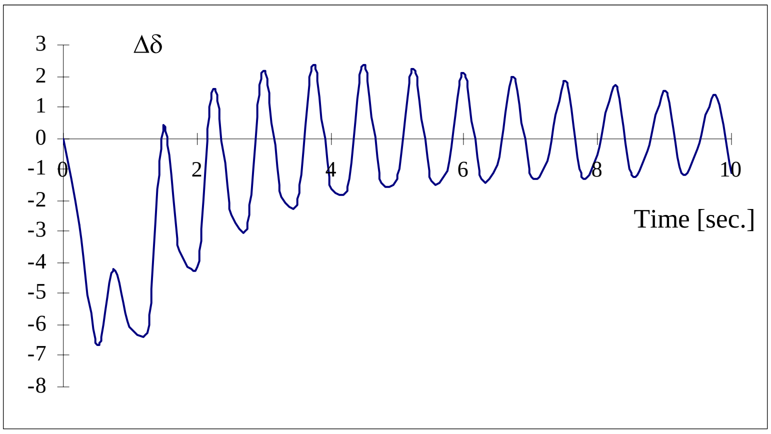
الشكل (5) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية القدرة بوجود نظام التهييج فقط



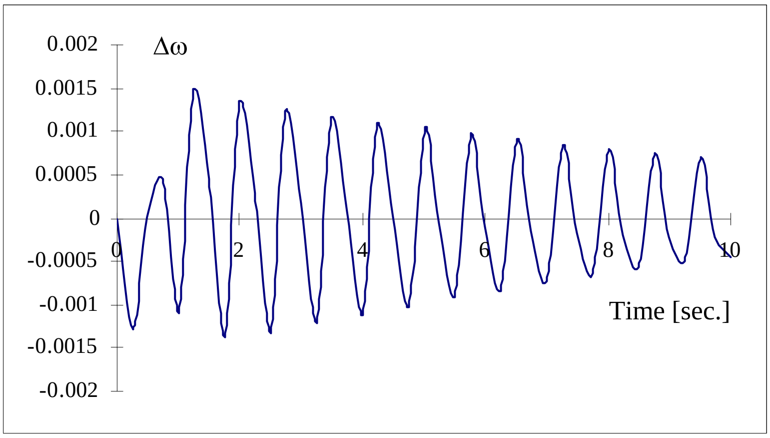
الشكل (6) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة بوجود نظام التهييج فقط



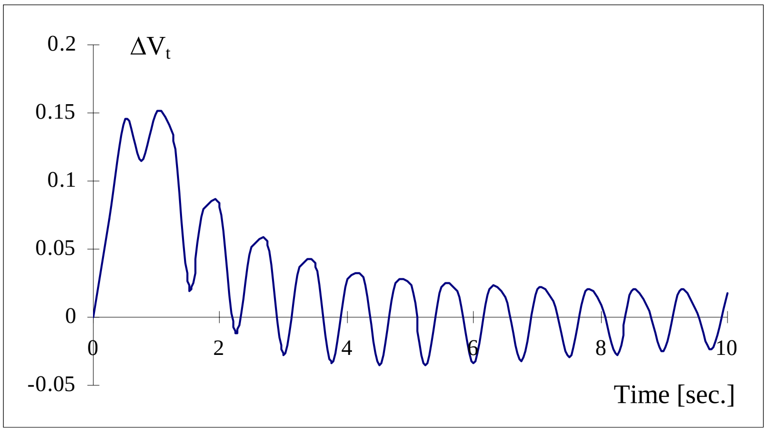
الشكل (7) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي بوجود نظام التهييج فقط



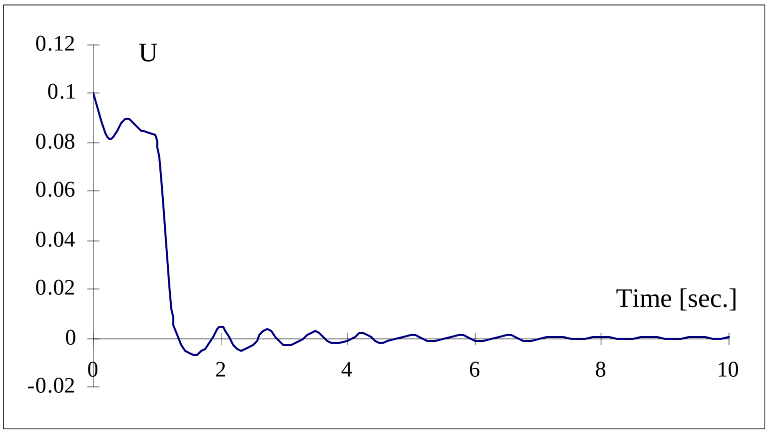
الشكل (8) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية القدرة بوجود المضخم العملياتي



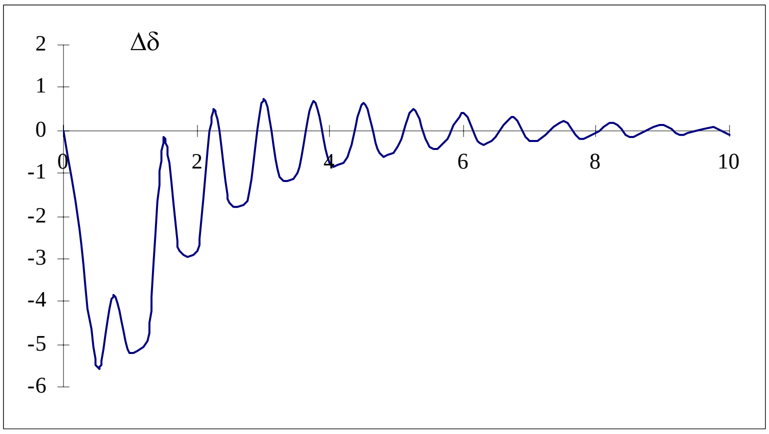
الشكل (9) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة بوجود المضخم العملياتي



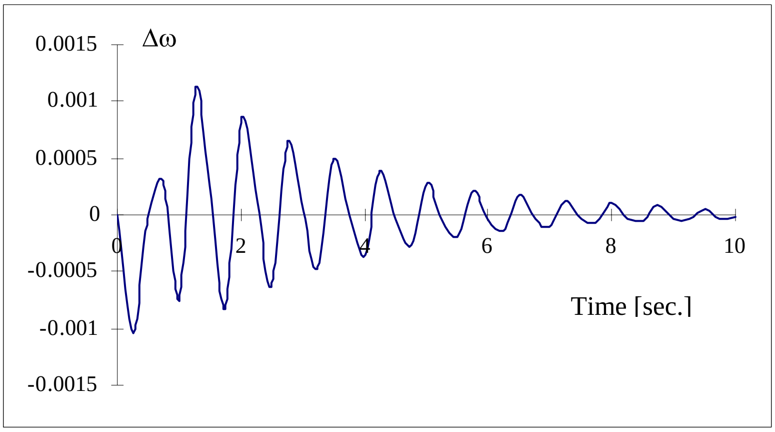
الشكل (10) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي بوجود المضخم العملياتي



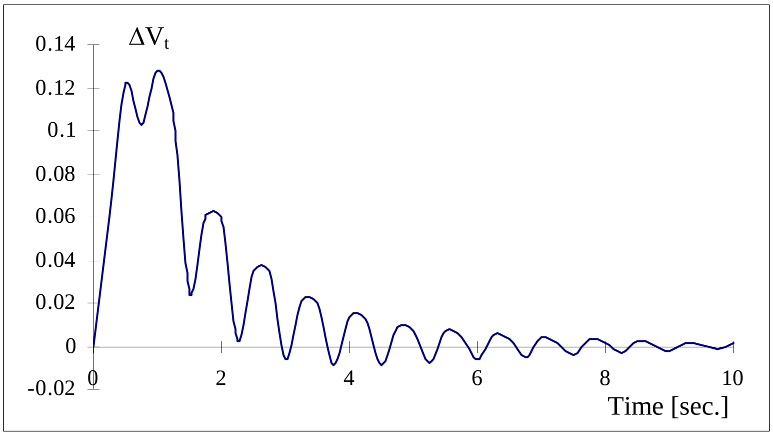
الشكل (11) الاستجابة الزمنية لتغير إشارة التحكم



الشكل (12) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية القدرة بوجود المضخم العملياتي مع التحكم الأمثل



الشكل
(13) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة بوجود المضخم العملياتي مع التحكم الأمثل



الشكل (14) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي بوجود المضخم العملياتي مع التحكم الأمثل

المراجع

[1]-de Mello, F. P. and T.F. Laskowski, ''Concepts of Power System Dynamic Stability'', IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, 1979, pp.827-833.

[2]–Dandeno, P. L. , A. N. Kars, K. R. Mcclymont and W. Waston, '' Effect of High-Speed rectifier excitation System on Generator Stability Limits'', IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, 1968, pp. 190-200

[3]– Hoa Vu., J. C. Agee, '' Comparision of Power System Stabilizers for Damping Local Mode Oscillations'' IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 8, No. 3, September 1993, pp 533-538.

[4]- E .V . Laresen and D . A . Swan ' Applying power system stabilizers ' part I , II, III, IEEE Trans . vol . PAS -100 , No. 6 June 1981 pp 3017 – 3046

[5]- P . Kundur , M . Klein , G . J . R ogers and M . S . Zywo ' Application of power system stabilizers for enhancment of overall system stability ' , ibid , vol . 4 , No. 2 , May 1989 , pp 614 -621 .

[6]- P . Kundur , D . C . Lee H . M . Zein El - Din , '' Power system stabilizers for thermal units : Analytical techniques and on - site validation '' , IEEE Trans. , vol. PAS -100 , No. 1 , January 1981 , pp 81 - 95 .

[7]- Yu . , Y. N . , ‘ Elecric power system dynamics ‘ , Academic Pres , INC . U . S . A , 1983 .

[8]- K . Ogata, ‘Modern control engineering ‘ Prentice-Hall, INC, 1990.

[9]- G . P. Chen. , O. P. Malik, Y . H . Qin and G. Y. Xu. , ‘ Optimization technique for the desgin of a linear optimal power system stabilizer‘ IEEE Trans. on energy conversion, vol. 7, No. 3, september 1992, pp 453 -459.

[10]– Yuan-chyuan Lee, Chi-Jui Wu, ‘’Damping of Power System Oscillations with output feedback and Strip Eigenvalues Assignment’’, IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 10, No. 3 august 1995.

[11]- Peter w. Saver, M. a. PAI, " Power System Dynamics and stability " Prentice Hall, Inc. 1998.

[12]- J. Machowski, J. Bialek, J. R. Bumby, " Power System Dynamics and Stability ", John Wiley & sons Ltd. , 1997.

[13]- M. Pavella, P. G. Murthy, " Transient stability of Power System ", John Wiley & Sons Ltd. 1994.

[14]- Jeffery B. Burl, " Linear Optimal Control ", Addison- Wesley, Inc 1999.*

*تاريخ ورود البحث إ جامعة دمشق :2002/3/28