

Modeling and Simulation of an Adaptive Control Technique with Reference Model for a Power Oscillation Damping POD Using MATLAB

Dr. Faisal Shaaban*
Dr. Nesmet Abu Tabak**
Ammar Mayhoub***

(Received 7 / 12 / 2021. Accepted 20 / 7 / 2022)

□ ABSTRACT □

Conventional feedback controllers are considering commonly used techniques to achieve most control processes .in which the gain is calculated in consistent manner with mathematical model of controlled plant (normal operation conditions), but this controllers don't give the same performance to all operations conditions because of the variation in process dynamics due to nonlinear actuators, changes in environmental conditions and variation in the character of the disturbances. This requires a reset (adaptive) a gain of this controllers in consistent with new operation conditions, by use optimization techniques. In this research have been modeling and simulation model reference adaptive control MRAC to achieve control process by use MIT rule adjustment mechanism, to power oscillation damping POD in SMIB system and study its effect on ensuring the desired response of the damper when changing its parameters due to an external disturbance using Simulink the results showed that the use of MRAC technique maintains the desired response of the damper when changing the transfer function due to external disturbance.

Keywords: Model Reference Adaptive control, MIT rule, Power Oscillation Damping.

*Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. faisalshaban62@yahoo.com

** Associate Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. nesmat975@gmail.com

***Postgraduate Student ((Ph.D.)), Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ammarmayhoub1@gmail.com

نمذجة ومحاكاة تقنية تحكم تكيفي بنموذج مرجعي لمحمد اهتزازات الاستطاعة POD باستخدام MATLAB

د. فيصل شعبان*

د. نسمة أبو طبق**

عمار ميهوب***

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2021. قُبِلَ للنشر في 7 / 20 / 2022)

□ ملخص □

تعد متحكمات التغذية العكسية، من التقنيات الشائعة الاستخدام لإنجاز أغلب عمليات التحكم. والتي يتم حساب قيمة الربح فيها بما يتوافق مع النموذج الرياضي للمنشأة المتحكم بها (ظروف التشغيل الطبيعية)، لكن هذه المتحكمات لا تعطي نفس الأداء في كافة شروط التشغيل بسبب التغير في ديناميكية عملية التحكم، والتي تحدث بسبب المشغلات اللاخطية وتغير شروط التشغيل والاختلاف في خصائص الاضطرابات. مما يحتم إعادة ضبط (تكيف) ربح هذه المتحكمات بما يتوافق مع ظروف التشغيل الجديدة باستخدام تقنيات تحقيق الأمثلية. تم في هذا البحث تصميم ونمذجة ومحاكاة تقنية التحكم التكيفي بنموذج مرجعي (MRAC) لإنجاز عملية التحكم باستخدام قاعدة ميت (MIT) للاستقرار كآلية تعديل لمحمد اهتزازات (POD) في نظام توليد آلة مفردة موصولة إلى قضيب تجميع لا نهائي (SMIB) ودراسة تأثيرها على ضمان الأداء المرغوب للمخمد عند تغير بارامتراتة بفعل اضطراب خارجي باستخدام Simulink. أظهرت النتائج أن استخدام تقنية (MRAC) تحافظ على الاستجابة المرغوبة للمخمد عند تغير تابع النقل بسبب اضطراب خارجي.

الكلمات المفتاحية: التحكم التكيفي بنموذج مرجعي، قاعدة ميت، مخمد اهتزاز الطاقة.

* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. faisalshaban62@yahoo.com
** أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. nesmat975@gmail.com
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ammarmyhou1@gmail.com

مقدمة:

يعرف نظام التحكم بأنه الجهاز الذي ينظم أو يتحكم ديناميكيا بأي منشأة أو عملية. ويعد المتحكم (controller) العنصر الأهم في هذا النظام والذي يعتمد أداءه بشكل رئيسي على ضبط قيمة الريح بما يتوافق مع النموذج الرياضي للنظام المتحكم به، والمصمم بناءً على شروط تشغيل محددة (ظروف العمل الطبيعية)، لكن هذا النموذج يتغير بفعل الاضطرابات المختلفة وتغير بيئة التشغيل وهذا يحتم إعادة ضبط ربح المتحكم لكي يتوافق مع شروط التشغيل الجديدة أو الطارئة، بحيث يحافظ هذا المتحكم على الأداء المرغوب والذي يعبر عن الهدف الرئيسي لعملية التحكم [1]، ولتحقيق هذا الهدف تم استخدام العديد من تقنيات تحقيق الأمثلة كتقنية التحكم الضبابي والشبكات العصبونية والخوارزمية الوراثية [2]. وبالرغم من وجود العديد من تقنيات تحقيق الأمثلة إلا أنه لازالت تقنيات التحكم التكيفية مطلوبة للحصول على الطبيعة التكيفية الكاملة، التحكم التكيفي يغير معاملات خوارزمية التحكم في الزمن الحقيقي لتعويض التغيرات في البيئة أو النظام نفسه، كما أنه يغير تابع النقل للنظام حسب الحالة. في الحالات الخاصة نظام التحكم التكيفي نموذج مرجعي يكون عموماً التطبيق الأفضل مع الحاسب الرقمي بسبب تعقيد المتحكم [3]، بهذه الطريقة استجابة النظام تكون مجبرة لتعقب استجابة النموذج المرجعي بصرف النظر عن تغيرات بارامترات المنشأة، بارامترات المتحكم تكون معدلة لتحقيق أداء الحلقة المغلقة المرغوب بهذه الطريقة بارامترات المتحكم تكون مقيمة لتسبب التغير المطلوب في تابع نقل المنشأة لكي يصبح اداءها مماثل للنموذج المرجعي، بالإضافة الى قاعدة ميت تعد تقنية التحكم التكيفي نموذج مرجعي (MRAC) استراتيجية تكيفية مباشرة مع بعض البارمترات القابلة للتعديل وآلية تعديل لتعديل هذه البارامترات. بالرغم من ان البحث في التحكم التكيفي تم من خلال فترة طويلة حيث في عام 1960 تم استخدامه لتصميم الطيار الآلي لتشغيل الطائرات على مجال واسع من الارتفاعات والسرعة وبالتالي فان جدولة الريح المعتمد على بعض المقاييس المساعدة لسرعة الرياح كانت مكيفة [3]. في الوقت الحاضر مخططات التحكم التكيفي تحل مكان انظمة التحكم التقليدية التي لا تكون قادرة على مواجهة حالات مثل:

a. الأحمال والقصور الذاتي.

b. إمكانية حدوث الأعطال المفاجئة وغير المتوقعة.

c. إمكانية حدوث الاضطرابات المتكررة وغير متوقعة.

حيث تم استخدامها حديثاً لتعديل ربح المتحكم PI في أجهزة التحكم بأنظمة FACTS لضمان تحقيق قيود ربط العنقات الريحية الى الشبكة الكهربائية عند حدوث اضطرابات مختلفة ومقارنة طريقة MRAC مع الخوارزمية الوراثية [4]، وللتحكم بالمحركات التحريضية [5] ومحركات التيار المستمر [6] وتعقب نقطة الاستطاعة العظمى [7]، متحكمات PID التقليدية ذات الريح الثابت تكون غير قادرة على مواجهة المشاكل المذكورة اعلاه، هناك العديد من التقنيات المستخدمة لتصميم MRAC مثل نظرية ليبونوف ونظرية الخطأ المدمج، في هذا البحث تم التركيز على قاعدة MIT فقط.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمّن أهمية البحث كونه ينطرق الى أحد أهم الطرق المتبعة حديثاً لأتمتة الريح في المنظمات التقليدية، اعتماداً على تتبع أداء النموذج المرجعي المقترح. والذي يتوجب على خرج المنشأة تتبع هذا الأداء بإدخال ناتج حلقة التكيف كإشارة تحكم إضافية مهمتها إجبار خرج المنشأة المتحكم بها على تتبع خرج النموذج المرجعي في كافة ظروف التشغيل وهذا

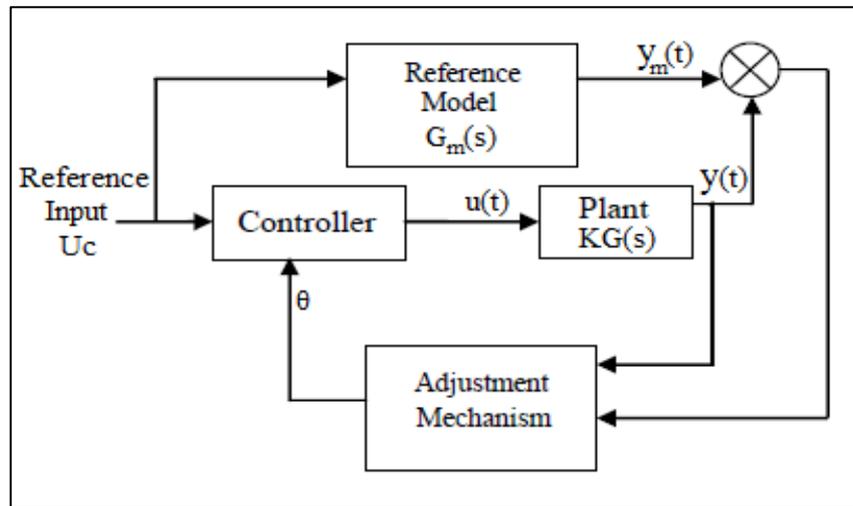
يحقق هدف نظام التحكم في الحصول على الاستجابة المرغوبة وخاصة في الأنظمة التي تحوي العديد من البارامترات ذات الطبيعة الاحتمالية كما هو الحال في أنظمة الطاقة الكهربائية. تم التركيز في هذا البحث على وضع نموذج حاسوبي باستخدام MATLAB-SIMULINK لنظام طاقة كهربائي عبارة عن آلة مفردة موصولة الى قضيب تجميع لا نهائي يحتوي مخدم اهتزازات POD بتقنية MRAC ودراسة تأثيرها المحتمل في تقليل مطال اهتزازات السرعة حيث تم استخدام آلية تعديل تعتمد قاعدة MIT.

طرائق البحث ومواده:

يقوم البحث على وضع نموذج حاسوبي لطريقة التحكم التكيفي نموذج مرجعي وفق قاعدة MIT لمخدم الاهتزازات POD واختبار أدائها على نظام طاقة كهربائي عبارة عن آلة مفردة موصولة الى قضيب تجميع لانها. وبيان تأثيرها في الحصول على تخميد مطال اهتزازات سرعة الدوار بالمقارنة مع مخدم الاهتزازات POD التقليدي عند حدوث اضطراب يتمثل بتغير تابع النقل للمخدم، باستخدام MATLAB-SIMULINK.

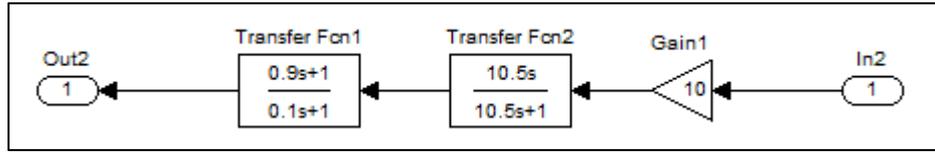
1- نظام التحكم التكيفي نموذج مرجعي (Model Reference Adaptive Control)

يغطي التحكم التكيفي مجموعة التقنيات التي تزود طريقة منظمة للتعديل الأوتوماتيكي للمتحكمات في الزمن الحقيقي. في عملية لتحقيق أو للإبقاء على المستوى المرغوب لأداء نظام التحكم، عندما تكون بارامترات النموذج الديناميكي للمنشأة المتحكم بها مجهولة أو متغيرة مع الزمن. يوجد ثلاث عناصر رئيسية لهذا النظام وهي كمايلي: النموذج المرجعي، ونموذج المنشأة، وآلية التكيف كما هو مبين في الشكل (1).



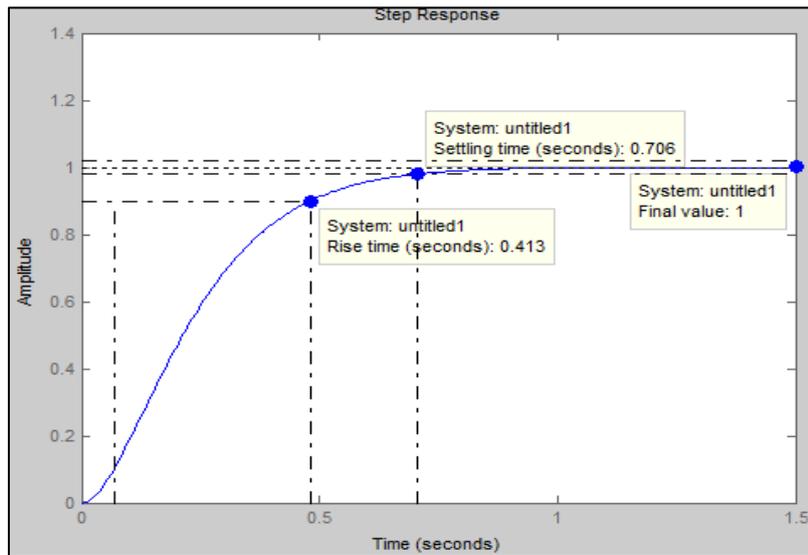
الشكل (1) نظام التحكم التكيفي نموذج مرجعي MRAC

1- النموذج المرجعي: هذا الجزء من نظام التحكم يمثل الأداء المرغوب لنظام الحلقة المغلقة، أي يعبر عن أداء المنشأة (plant) بناء على الدخل المرجعي المعطى. في هذا البحث السلوك المرجعي منمذج كتاب نقل مخدم الاهتزاز في الحالة المستقرة.



الشكل (2) النموذج المرجعي

ويمكن ان يتم تحديد النموذج المرجعي ايضا من مواصفات نظام الحلقة المغلقة كما هو مبين في الشكل (3)، عند زمن القمة المرغوب 0.413S وزمن الاستقرار مقداره 0.706S، وخطأ الحالة المستقرة 0.



الشكل (3) تحديد النموذج المرجعي من مواصفات الحلقة المغلقة

2- نموذج المنشأة: في هذا البحث استخدمنا تابع نقل من الدرجة الثانية المعبر عن الأداء المرغوب للمخمد والذي يتغير بفعل اضطراب خارجي. خرج العملية المتحكم بها الفعلي يكون Y_p لذلك يتوجب على المتحكم أن يغير/ يكيف قيم بارامتراته لإنجاز الأداء المرغوب بحيث يكون الخطأ $e = Y_p - Y_m = 0$ حيث يمثل Y_m خرج النموذج المرجعي ويمثل Y_p خرج العملية المتحكم بها.

3- المتحكم: يوصف عادة بمجموعة من البارامترات القابلة للتعديل في هذا البحث تم دمج تابع النقل للمتحكم بتابع نقل النظام للحصول على تابع نقل يمثل النظام المتحكم به والمتحكم.

4- آلية التكيف: هذا المكون مستخدم لتعديل بارامترات المتحكم لكي يتمكن خرج المنشأة الفعلية من تعقب خرج النموذج المرجعي. هدف هذا الجزء من المتحكم يتمثل بتغيير خرجة (θ) بالاعتماد على الخطأ (e) بين خرج النموذج المرجعي (Y_m) وخرج المنشأة (Y_p) ، مدى سرعة التكيف يعتمد على البارامتر المسمى معدل التعلم أو ربح التكيف (γ) ، مع القيم المرتفعة ل (γ) عملية تكيف المتحكم تكون أسرع لأي تغيير في المنشأة لكن هناك أيضا بعض الآثار الجانبية حيث خرج المتحكم يحسب بالعلاقة $U = U_c * \theta$ حيث تمثل U_c الدخل المرجعي و U إشارة التحكم بينما تمثل (θ) خرج حلقة التكيف.

المخطط الصندوقي الاساسي لنظام التحكم التكيفي نموذج مرجعي (MRAC) يظهر في الشكل (1) كما يظهر خرج النموذج المرجعي $y_m(t)$ و خرج المنشأة الفعلي $y(t)$ والاختلاف بينهما يدعى الخطأ $e(t)$.

$$e(t) = y(t) - y_m(t) \quad (1)$$

4-1 قاعدة MIT:

قاعدة MIT طورت لأول مرة عام 1960 بواسطة باحثين من معهد MIT واستخدمت لتصميم نظام الطيران الآلي للطائرات كما أنها تستخدم لتصميم المتحكمات التكيفية مع مخطط (MRAC) لأي نظام تحكم وفقاً لهذه القاعدة يعرف تابع الكلفة كمايلي:

$$J(\theta) = e^2/2 \quad (2)$$

حيث:

e: إشارة الخطأ بين خرج كل من النموذج الفعلي والنموذج المرجعي.
 θ : البارامتر القابل للتعديل والذي يعدل بحيث تكون قيمة تابع الكلفة أقل مايمكن.
 لهذا السبب يكون التغير في قيمة البارامتر θ باتجاه الميل السالب ل (J) وفق الاتي:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} \quad (3)$$

حيث:

$J(\theta)$: يمثل تابع الكلفة.

$\frac{d\theta}{dt}$: تغير خرج حلقة التكيف بالنسبة للزمن.

$\frac{dJ}{d\theta}$: تغير تابع الكلفة بالنسبة لتغير خرج آلية التكيف.

γ : ربح التكيف للمتحكم.

من المعادلة (2)

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \quad (4)$$

حيث:

الاشتقاق الجزئي $\frac{de}{d\theta}$: يدعى عامل اشتقاق الحساسية للنظام، هذا التعبير يشير الى مدى تغير الخطأ بالنسبة الى البارامتر θ .

المعادلة (3) تصف تغير البارامتر θ بالنسبة للزمن لكي تخفض قيمة تابع الكلفة $J(\theta)$ الى الصفر هنا يكون المقدار (γ) كمية موجبة والذي يمثل ربح التكيف للمتحكم.

لنفترض أن عملية التحكم هي عملية خطية ولها تابع النقل $KG(s)$ ، حيث K بارامتر مجهول و $G(s)$ تابع النقل المعروف من الدرجة الثانية، الهدف يكون تصميم متحكم يمكن عملية التحكم من تعقب النموذج المرجعي ذو تابع النقل $G_m(s) = K_o G(s)$ ، كما هو مبين في الشكل (1).

من المعادلة (1):

$$E(s) = KG(s)U(s) - K_o G(s)U_c(s) \quad (5)$$

حيث:

K_o : القيمة الأولية للبارامتر المتأثر بفعل الاضطراب.

K : القيمة الجديدة للبارامتر المتأثر بعد حدوث الاضطراب.

U : إشارة التحكم.

U_c : الدخل المرجعي.

تعريف قانون التحكم:

$$U(t) = \theta * U_c \quad (6)$$

من المعادلة (5) و(6) وبإجراء اشتقاق جزئي:

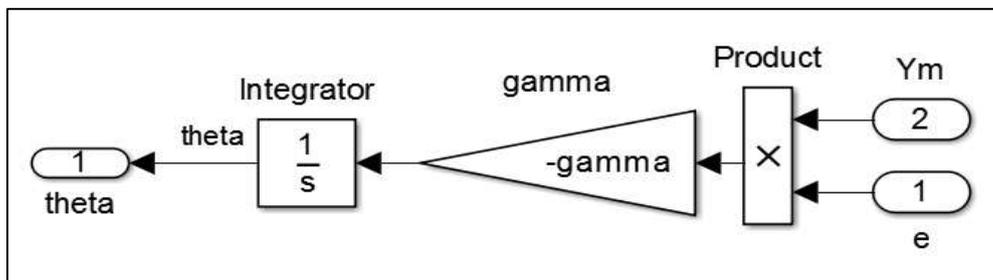
$$\frac{dE(s)}{d\theta} = KG(s)U_c(s) = \frac{K}{K_o}y_m(s) \quad (7)$$

من المعادلة (4) والمعادلة (7) يمكن ان نكتب:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{K}{K_o} y_m = -\gamma' e y_m \quad (8)$$

حيث: γ' يمثل ربح التكيف.

المعادلة (8) ستعطينا قانون تعديل البارامتر (θ) ونموذج المحاكاة يظهر في الشكل (4)، كما يظهر من نتائج المحاكاة ان استجابة المنشأة تعتمد على ربح التكيف (γ')، في بعض المنشآت الصناعية القيم الكبيرة لربح التكيف (γ') تسبب عدم استقرار النظام واختيار هذه القيمة يكون هام جدا.



الشكل (4) نموذج محاكاة قاعدة MIT

5- مخمدات اهتزازات الطاقة (POD):

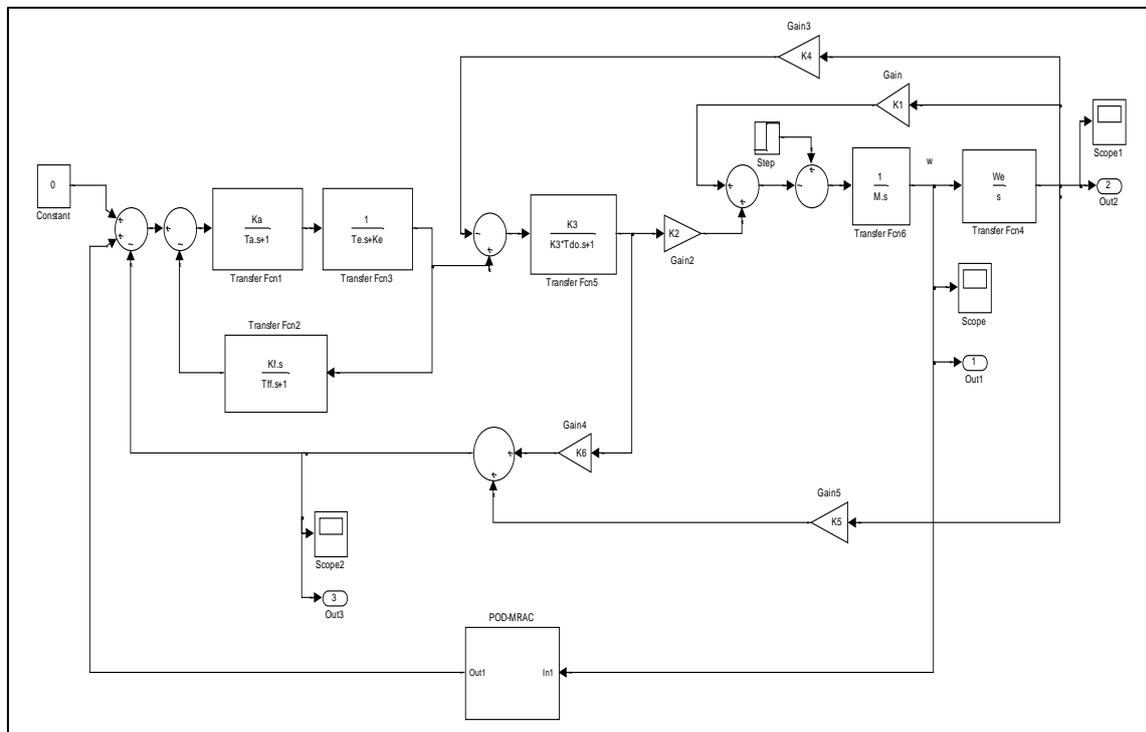
مخمد الاهتزاز (POD) هو عبارة عن جهاز يعطي حلقة تحكم إضافية الى دائرة منظم الجهد (AVR) و/ أو نظام العنفة ومنظم السرعة لوحدة التوليد. بعد استخدام مخمد الاهتزاز واحدا من أهم الطرق الأكثر فعالية في تحسين استقرار نظام الطاقة. الفكرة الأساسية من إخماد الاهتزازات في نظام الطاقة هي أنه في الحالة المستقرة يجب أن ينتهي تغير السرعة الى الصفر أو قريبا منه، ومنظم الجهد يجب ان يقاد بخطأ الجهد ΔV فقط. سرعة المولد، في حالة الاستقرار العابر ليست ثابتة، ويكون الجزء الدوار متأرجحاً، ويتعرض ΔV لاهتزازات نتيجة التغير في زاوية الدوار. ان المهمة المطلوبة من مخمد الاهتزاز هي تقديم إشارة إضافية تعوض عن اهتزازات ΔV ، وتعطي مركبة عزم متوافقة بالطور مع انحراف السرعة ΔW ، يتألف المخمد من صندوق التصريف $\frac{Tw.S}{Tw.S+1}$ والذي يعمل على تقليل الاستجابة الديناميكية للإخماد عند حدوث أعطال كبيرة بثابت زمني مقداره (Tw) وصندوق تقديم الطور $\frac{T1+S}{T2+S}$ الذي يستخدم لتعويض التأخر الحاصل بين خرج المخمد وتطبيق العزم الكهربائي بالإضافة الى ربح المخمد Kdd والذي يحدد كمية الإخماد، بين الشكل (5) المخطط الصندوقي لتابع نقل مخمد الاهتزاز POD موصول الى نظام الطاقة الكهربائي.

النتائج والمناقشة:

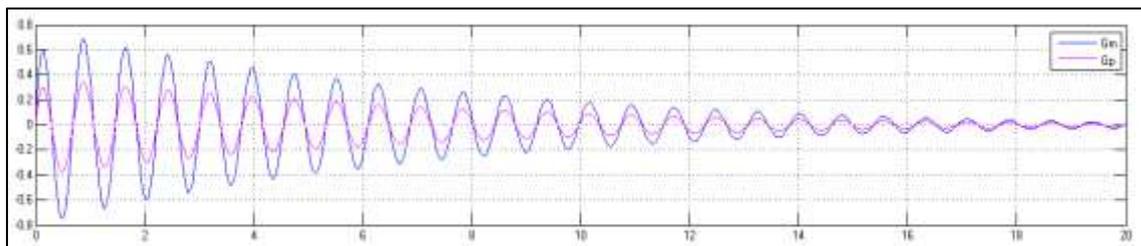
يبين الشكل (7) نموذج محاكاة النظام المختبر المعبر عنه بنظام طاقة كهربائي آلة مفردة موصولة الى قضيب تجميع لا نهائي (SMIB) ثوابت النظام تم الحصول عليها من خلال البرنامج الحاسوبي الموجود في الملحق. بتشغيل النموذج بالقيم الأصلية للمنشأة بدون تطبيق MRAC نجد أن المخمد لا يعطي الأداء المرغوب بعد حصول تغير في قيمة بارامترات المخمد من القيمة التصميمية الى القيمة الفعلية كما هو موضح بالجدول (1)، من نتائج المحاكاة المبينة في الشكل (8) يتبين نقصان قيمة مطال الاهتزازات عند اللحظة 4s من القيمة [0.223-0.447] بانخفاض مقداره 0.223 pu بنسبة قدرها 50%.

الجدول (1) القيمة التصميمية والقيمة الفعلية لبارامترات المخمد POD.

البارامتر	القيمة التصميمية	القيمة الفعلية
K	10	5
Tw	10.5	10

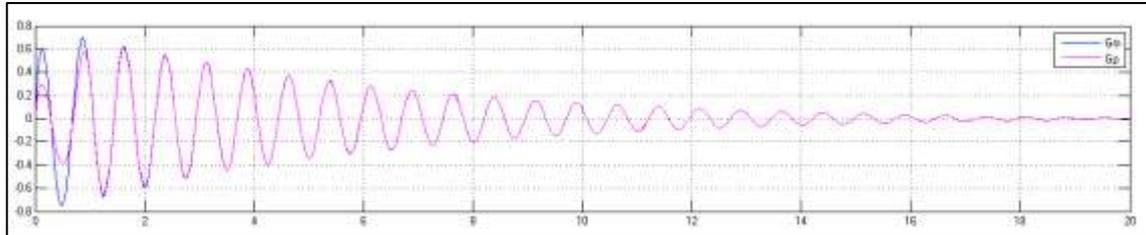


الشكل (7) المخطط الصندوقي لنموذج نظام SMIB مع مخمد الاهتزاز POD بتقنية MRAC



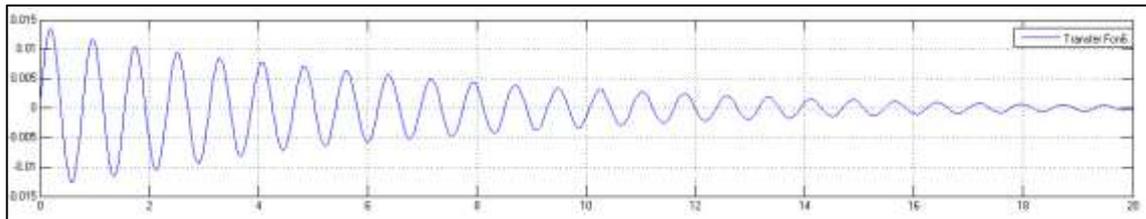
الشكل (8) خرج النموذج المرجعي وخرج المنشأة بعد حدوث اضطراب في بارامترات المخمد POD

بتطبيق تقنية MRAC لمخمد الاهتزازات POD الشكل (9) نجد ان خرج المنشأة يتتبع خرج النموذج المرجعي في اللحظة 1S وقيمة مطال الاهتزازات بعد تطبيق تقنية MRAC في اللحظة 4S أصبحت تساوي قيمة مطال النموذج المرجعي 0.447pu.

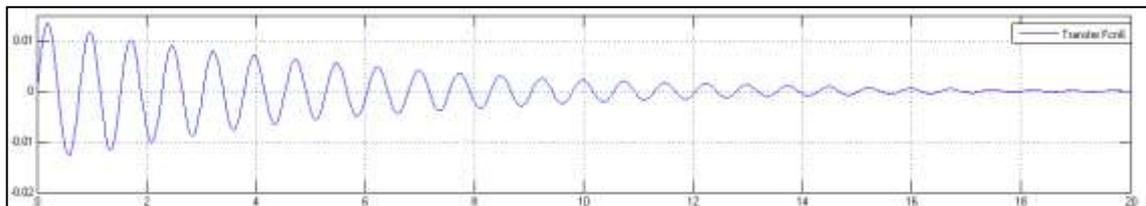


الشكل (9) خرج النموذج المرجعي وخرج المنشأة بعد تطبيق تقنية MRAC للمخمد POD

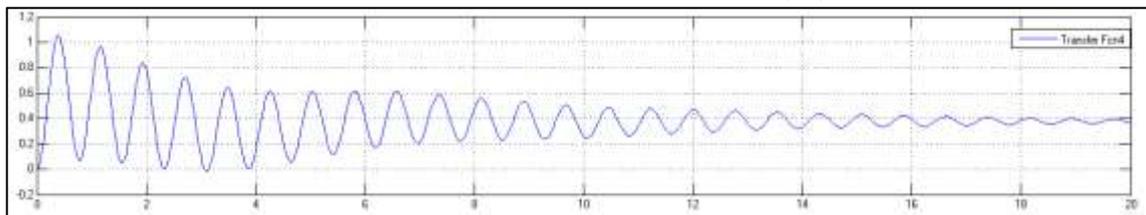
بتطبيق اضطراب في العزم الكهربائي Te عبارة عن خطوة بمقدار 0.1pu من اللحظة 0.5S وحتى اللحظة 1S نجد تأثير استخدام تقنية MRAC على المخمد وبالتالي على النظام في تقليل زمن الوصول للحالة المستقرة كما تبين الأشكال (10-11-12-13) والتي توضح تغير كل من السرعة والزاوية بالنسبة للزمن عند حدوث اضطراب في العزم الكهربائي مع وبدون تطبيق تقنية MRAC لمخمد الاهتزاز POD.



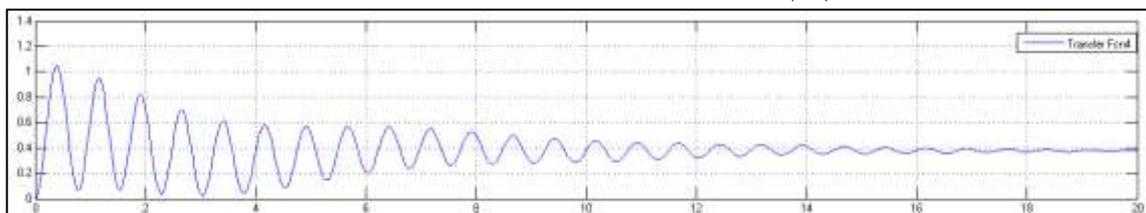
الشكل (10) انحراف السرعة بدون تطبيق تقنية MRAC للمخمد POD



الشكل (11) انحراف السرعة بعد تطبيق تقنية MRAC للمخمد POD



الشكل (12) انحراف الزاوية بدون تطبيق تقنية MRAC للمخمد POD



الشكل (13) انحراف الزاوية بعد تطبيق تقنية MRAC للمخمد POD

الاستنتاجات والتوصيات:

وجدنا من نتائج المحاكاة المنفذة في الخطوات السابقة أن:

- نموذج المنشأة يتعقب خرج النموذج المرجعي بالرغم من تغير تابع النقل (النموذج الرياضي للعملية المتحكم بها) نتيجة حدوث عطل في العملية المتحكم بها عند اللحظة 1s.
- دراسة تطبيق هذه التقنية على انحراف كل من السرعة والزاوية لنظام SMIB عند حدوث اضطراب في العزم الكهربائي والتي أثبتت فعالية هذه التقنية في تقليل زمن الوصول للحالة المستقرة مما يميز هذه الطريقة عن غيرها من طرق التحكم التقليدية والتي تعتمد تعقب الدخل المرجعي 1pu، ويعتمد خرج العملية المتحكم بها على تابع النقل (النموذج الرياضي للعملية المتحكم بها) والذي يمكن أن يتغير بسبب عدة عوامل تتعلق بالاضطرابات وتغير بيئة التشغيل.
- فعالية تقنية التحكم المطبقة في هذا البحث والتي تنسجم مع نتائج محققة في الأبحاث السابقة ذات الصلة.
- تحسين استجابة الأنظمة ذات البارامترات المجهولة والمتغيرة مع الزمن وضمان الإبقاء على الأداء المرغوب عند تغير ظروف التشغيل.

قائمة بالاختصارات المستخدمة:

- Model reference adaptive control- MRAC.
- Power Oscillation Damper- POD.
- Single Machine Infinity Bus- SMIB.
- Flexible Alternating Current Transmission System -FACTS.
- Theta: البارامتر القابل للتعديل والذي يعدل بحيث تكون قيمة تابع الكلفة أقل مايمكن.
- Gamma: ربح التكيف للمنحكم.

الملحق

- برنامج حساب ثوابت نظام طاقة مؤلف من مولد متوافق بنظام تهييج من النوع IEEE Type-1 موصول إلى قضيب تجميع لا نهائي عبر خط نقل.
- نص البرنامج:

```

%% Generator
H=4.63;
Tdo=7.76;
D=0;
xd=0.973;
xdd=0.19;
xq=0.55;
f=50;
%% Excitation
Ta=0.05;
Te=0.314;
Tff=0.35;
Tr=0.2;
Ke=1;
Ka=50;

```

```

Kf=0.063;
Kr=1;
%%%Line%%%
R=-0.034;
X=0.397;
G=0.249;
B=0.262;
%%%Intial States%%%
Pe0=1.0;
Qe0=0.115;
vt0=1.15;
%%%State Space Equations%%%
We=2*pi*f;
M=2*H;
C1=1+(R*G)-(X*B);
C2=(X*G)+(R*B);
R1=R-(C2*xdd);
R2=R-(C2*xq);
X1=X+(C1*xq);
X2=X+(C1*xdd);
Ze=(R1*R2)+(X1*X2);
Yd=((C1*X1)-(C2*R2))/Ze^2;
Yq=((C1*R1)+(C2*X2))/Ze^2;
vd=Pe0*vt0/(Pe0^2+(Qe0^2+(vt0^2/xq))^2)^0.5;
vq=((vt0^2)-vd^2)^0.5;
iq=vd/xq;
id=(Pe0-iq*vq)/vd;
eqq=vq+(xdd*id);
vod=(C1*vd)-(C2*vq)-(R*id)+(X*iq);
voq=(C2*vd)+(C1*vq)-(X*id)-(R*iq);
vo=((vod^2)+(voq^2))^0.5;
angel= atan2(vod,voq);
angel_degree=angel*180/pi;
Fd=(vo/Ze^2)*((-R2*cos(angel))+(X1*sin(angel)));
Fq=(vo/Ze^2)*(X*cos(angel))+(R1*sin(angel));
K1=(Fd*(xq-xdd)*iq)+(Fq*(eqq+(xq-xdd)*id));
K2=iq+((Yd*(xq-xdd)*iq)+(Yq*(eqq+(xq-xdd)*id)));
K3=1/(1+(xq-xdd)*Yd);
K4=(xd-xdd)*Fd;
K5=(-Fd*(xdd*vq/vt0))+(Fq*(xq*vd/vt0));
K6=(vq/vt0)+(-Yd*(xdd*vq/vt0))+(Yq*(xq*vd/vt0));
disp('K1=')
disp(K1)
disp('K2=')
disp(K2)
disp('K3=')
disp(K3)

```

```
disp('K4=')  
disp(K4)  
disp('K5=')  
disp(K5)  
disp('K6=')  
disp(K6)
```

References:

- [1]- Gain, P. 2013, *Design of a Model Reference Adaptive Controller Using Modified MIT Rule for a Second Order System. Advance in Electronic and Electric Engineering India*, Vol.3, N°.4, 477-484.
- [2]- Mosaad, M; Salem, F. 2014, *LFC based adaptive PID controller using ANN and ANFIS techniques. JESIT Egypt*, Vol.1, N°.3, 212–222.
- [3]- Swarnkar, P. 2010, *Effect of Adaptation Gain on system Performance for Model Reference Adaptive Control Scheme using MIT Rule. International Journal of Electrical and Computer Engineering India*, Vol.4, N°.10, 1547–1552.
- [4]- Mohamed, I. 2017, *Model reference adaptive control of STATCOM for grid integration of wind energy systems. IET UK*, Vol.12, N°.5, 605–613.
- [5]- Kumar, R. Das, S. 2016, *Comparative assessment of two different model reference adaptive system schemes for speed-sensor less control of induction motor drives. IET.UK*, Vol.10, N°.2, 141-154.
- [5]- Khanna, R. 2014, *Maximum power point tracking using model reference adaptive control. IEEE USA*, Vol.29, N°.3, 1490–1499.
- [7]- Raja, T. 2018, *Design of PI Controller Using MRAC Technique for the Control of DC Electromotor Drive. IJIREICE India*, Vol.6, N°.1, 36-44.
- [8]- Oltean, S; Dula, M; Duka, A. 2016, *Model Reference Adaptive Control for Slow Processes. A Case Study on Level Process Control. Procedia Technology Romania*, Vol.22, N°.1, 629-636.
- [9]- Barabanov, B; Ortega, R; Astolfi, A. 2005, *Is Normalization Necessary for Stable Model Reference Adaptive Control. IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL*, Vol.50, N°.9, 1384-1390.
- [10]- Kanojia, A; Chandrakar, V. 2009, *Damping of Power System Oscillations by using coordinated tuning of POD and PSS with STATCOM. World Academy of Science, Engineering and Technology* 50, 1067-1072.