

## Improvement of Electrical Power System Stability by using PSS-PID Based on Model Reference Adaptive Control Technology

Dr. Faesal Shabaan\*  
Dr. Nesmat Abo Tabak\*\*  
Ammar Mihoub\*\*\*

(Received 12 / 5 / 2023. Accepted 6 / 9 / 2023)

### □ ABSTRACT □

signal oscillations are caused by electrical power system disturbances and eventually become dangerous if there is not enough means to dampen these oscillations. The power system stabilizer (PSS) provides additional damping for rotor oscillations by providing an additional control signal to the excitation circuit, but the effect of the vibration damper is due to several factors, the most important of which are How to adjust its parameters to achieve the maximum benefit, which is to return the system to a stable state after a disturbance within a record time, in order to maintain the reliability and stability of the electric power system. In this paper, we applied the model reference adaptive control technique to dampen the vibration of an power system with the aim of improving the stability of the small signal. The method is based on developing an appropriate reference model, based on the desired specifications that can be achieved through the system dynamics. And the use of a PID controller, where its parameters were obtained through the trial and error method along with an adaptive loop that uses the PID controller to track the performance of the reference model regardless of the operating conditions and system parameters. The effectiveness of the proposed control method has been tested on an unstable test system, which shows the effectiveness of this technique to dampen vibrations Power system over a wide range of unstable operating conditions and turbulent system models.

**Keywords:** Model Reference Adaptive control, power system stabilizer.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

---

\*Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\*Associate Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\*\*Postgraduate Student (Ph.D.), Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.  
[ammarmyhoub1@gmail.com](mailto:ammarmyhoub1@gmail.com)

## تحسين استقرار نظام طاقة كهربائي باستخدام PSS-PID يعتمد تقنية التحكم التكيفي نموذج مرجعي

د. فيصل شعبان\*

د. نسمة أبو طيق\*\*

عمار ميهوب\*\*\*

(تاريخ الإيداع 2023 / 5 / 12. قُبِلَ للنشر في 2023 / 9 / 6)

### □ ملخص □

تحدث تذبذبات الإشارة الصغيرة بسبب اضطرابات نظام الطاقة الكهربائي وتصبح في النهاية خطيرة إذا لم تتوفر وسيلة كافية لتخميد هذه التذبذبات يوفر مثبت استقرار نظام الطاقة (PSS) تخميدياً إضافياً لتذبذبات الدوار من خلال تقديم إشارة تحكم اضافية لدارة التهبيج ، إلا أن تأثير مخمد الاهتزاز يتبع لعدة عوامل أهمها كيفية ضبط بارامتراته بما يحقق الفائدة القصوى والمتمثلة بإعادة النظام الى الحالة المستقرة بعد حدوث اضطراب خلال زمن قياسي بم يحافظ على موثوقية واستقرار نظام الطاقة الكهربائي. فمنا في هذا البحث بتطبيق تقنية التحكم التكيفي نموذج مرجعي لتخميد اهتزازات نظام طاقة كهربائي بهدف تحسين استقرار الإشارة الصغيرة تعتمد الطريقة على تطوير نموذج مرجعي مناسب، بناءً على المواصفات المرغوبة التي يمكن تحقيقها من خلال ديناميكيات النظام. واستخدام متحكم PID حيث تم الحصول على بارامتراته من خلال طريقة التجربة والخطأ سوية مع حلقة تكيف تستخدم متحكم PID لتتبع أداء النموذج المرجعي بغض النظر عن شروط التشغيل وبارامترات النظام وقد تم اختبار فعالية طريقة التحكم المقترحة على نظام اختبار غير مستقر والذي يُظهر فعالية هذه التقنية لتخميد اهتزازات نظام الطاقة على نطاق واسع من ظروف التشغيل غير المستقرة ونماذج النظام المضطربة.

الكلمات المفتاحية: التحكم التكيفي نموذج مرجعي، مثبت استقرار نظام الطاقة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ- قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك- جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.  
\*\*أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك- جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.  
\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك- جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.

[ammarmyhoub1@gmail.com](mailto:ammarmyhoub1@gmail.com)

**مقدمة:**

تحدث تذبذبات الإشارة الصغيرة بسبب اضطرابات نظام الطاقة الكهربائي وتصبح في النهاية خطيرة إذا لم تتوفر وسيلة كافية لتخميد هذه التذبذبات تم حل مشكلة التذبذبات منخفضة التردد (LFO) في نطاق 0.1-2.5 هرتز من خلال مثبت استقرار نظام الطاقة (PSS)، تعتبر وحدة التحكم في المشتقات التكاملية المتناسبة (PID) أبسط الحلول وأكثرها فعالية في تطبيقات هندسة التحكم اليوم. بناءً على الميزة، يتم دمج وحدة التحكم PID مع PSS لتعزيز الاستقرار في نظام الطاقة. من الناحية العملية، يتم ضبط معظم وحدات تحكم PSS, PID يدوياً في ظروف تشغيل مؤكدة. بشكل عام، أنظمة الطاقة غير خطية، والطرق التقليدية تفتقر إلى الموثوقية بسبب عدم ثبات الأداء عند تغير شروط التشغيل التي تم تصميم نظام التحكم بناءً عليها. وبالتالي من الضروري الاستفادة من تبسيط المشكلة و ضبط بارامترات المتحكم من خلال استخدام طرق التحسين الأكثر كفاءة. بشكلٍ رئيسي بناءً على سرعة تخميد الاهتزازات الناشئة بعد كل اضطراب والرجوع إلى الحالة المستقرة [3]، ولتحقيق هذا الهدف تم استخدام العديد من تقنيات تحقيق الأمثلة كتقنية التحكم الضبابي والشبكات العصبونية والخوارزمية الوراثة [4]. وبالرغم من وجود العديد من تقنيات تحقيق الأمثلة إلا أنه لازالت تقنيات التحكم التكييفية مطلوبة للحصول على الطبيعة التكييفية الكاملة، التحكم التكييفي 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 التكييفي نموذج مرجعي يكون عموماً التطبيق الأفضل مع الحاسب الرقمي بسبب تعقيد المتحكم [5]، 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 MIT تعد تقنية التحكم التكييفي نموذج مرجعي (MRAC) استراتيجية تكييفية مباشرة مع بعض البارامترات القابلة للتعديل وآلية تعديل لتعديل هذه البارامترات. بالرغم من ان البحث في التحكم التكييفي 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 [5]. في الوقت الحاضر مخططات التحكم التكييفي 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 الوراثة [6]، وللتحكم بالمحركات التحريضية [7] ومحركات التيار المستمر [8] وتعبق نقطة الاستطاعة العظمى [9]، متحكمات PID التقليدية ذات الريح الثابت تكون غير قادرة على مواجهة المشاكل المذكورة اعلاه، هناك العديد من التقنيات المستخدمة لتصميم MRAC مثل نظرية ليونوف ونظرية الخطأ المدمج، وقاعدة MIT في هذا البحث تم التركيز على استخدام حلقة تكييف تعتمد الخطأ بين إشارة خرج النموذج المرجعي وإشارة خرج نظام الطاقة الكهربائي كإشارة دخل لمتحكم PID يتم ضبط بارامتراته بما يتناسب مع ظروف التشغيل الحدية وناتج هذه الحلقة يتم إضافته إلى إشارة التحكم

للمخمد PID-PSS بهدف تتبع أداء النموذج المرجعي وتحسين استجابة النظام للتغيرات في بيئة التشغيل بما يحسن استقرار النظام الكهربائي.

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث كونه يتطرق لصيغة جديدة كلياً لأمثلة إشارة تحكم 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 مأخوذ من المراجع يحتوي مخمد اهتزازات PID بتقنية MRAC ودراسة تأثيرها المحتمل في تقليل مطال اهتزازات السرعة حيث تم استخدام آلية تعديل تعتمد متحكم PID.

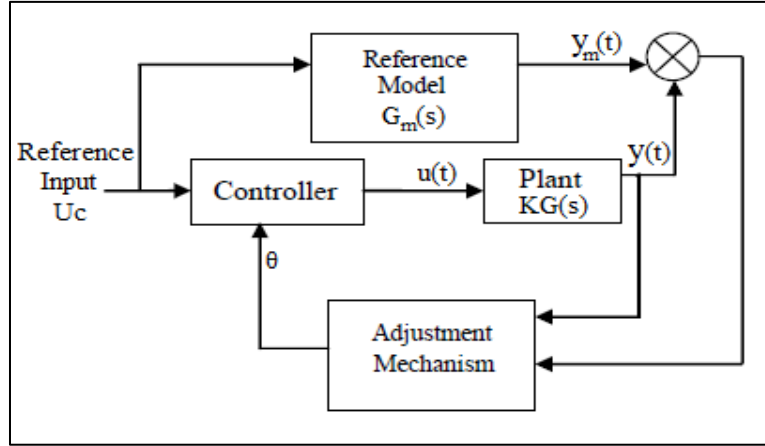
### طرائق البحث ومواده:

يقوم البحث على وضع نموذج حاسوبي لطريقة التحكم التكيفي نموذج مرجعي لمخمد الاهتزازات PID واختبار أدائها على نظام طاقة كهربائي عبارة عن آلة مفردة موصولة الى قضيب تجميع لانهاضي. وبيان تأثيرها في الحصول على تخميد مطال اهتزازات سرعة الدوار والقدرة على تتبع أداء النموذج المرجعي المقترح (تابع نقل من الدرجة الثانية) عند حدوث اضطراب يتمثل بتغير في العزم الميكانيكي ومقارنتها مع الطرق المتبعة لتحقيق ذات الغرض، 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).

**1-1 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 كتابع نقل من الدرجة الثانية يمثل الأداء المرغوب لنظام الطاقة عند حدوث اضطراب في العزم الميكانيكي.



الشكل (1) نظام التحكم التكيفي نموذج مرجعي MRAC

ويمكن ان يتم تحديد النموذج المرجعي أيضا من مواصفات نظام الحلقة المغلقة للنموذج المرجعي والمعتمد في هذا البحث [1] عند زمن القمة المرغوب  $t_s = 0.7327$  و قيمة تجاوز الذروة  $y_p = 8.26 \times 10^{-4}$  rad/s و زمن القمة  $t_p = 0.1658$  S.

**1-2 نموذج العملية:** في هذا البحث استخدمنا تابع نقل من الدرجة الثانية المعبر عن الأداء المرغوب للنظام والذي يتغير بفعل اضطراب خارجي. خرج العملية المتحكم بها الفعلي يكون  $y_p$  لذلك يتوجب على المتحكم أن يغير/ يكيف قيم إشارة التحكم لإنجاز الأداء المرغوب بحيث يكون الخطأ  $e(t) = Y_p - Y_m = 0$  حيث يمثل  $Y_m$  خرج النموذج المرجعي ويمثل  $Y_p$  خرج العملية المتحكم بها.

**1-3 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.

**1-4 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 خرج  $(\theta)$  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  $(\gamma)$ ، مع القيم المرتفعة ل  $(\gamma)$  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 تمثل  $U$  إشارة التحكم بينما تمثل  $(\theta)$  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  $e(t)$ .

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

قما في هذا البحث باقتراح الية تكيف تتمثل بمتحكم PID يعتمد إشارة الخطأ بين خرج النموذج المرجعي وخرج النظام والمتمثل في هذا البحث بإشارة انحراف السرعة كإشارة دخل ويتم جمع إشارة هذا المتحكم مع إشارة المتحكم PSS-PID بعد تضخيمها وذلك بإضافة ربح بمقدار (2) للحصول على إشارة التحكم النهائية والتي تمثل إشارة المتحكم MRAC-PSS-PID، كم ايبين الشكل (5)

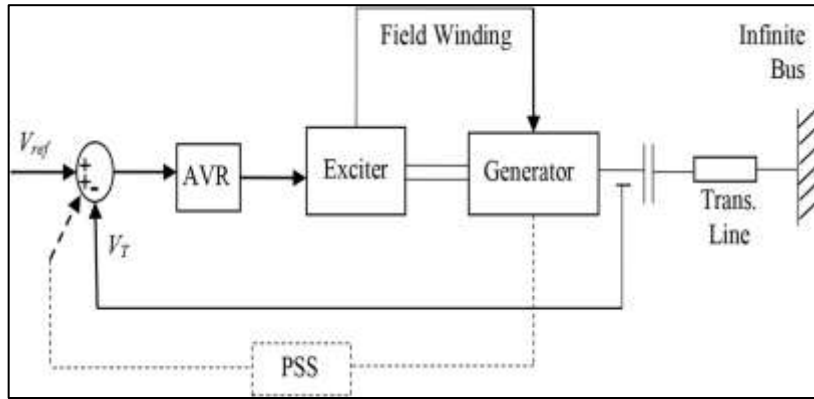
حيث:

e: إشارة الخطأ بين خرج كل من النموذج الفعلي والنموذج المرجعي.

Yp: إشارة التغذية العكسية لمخمد الاهتزاز PSS-PID

**2- مخمد اهتزاز نظام الطاقة (PSS)**

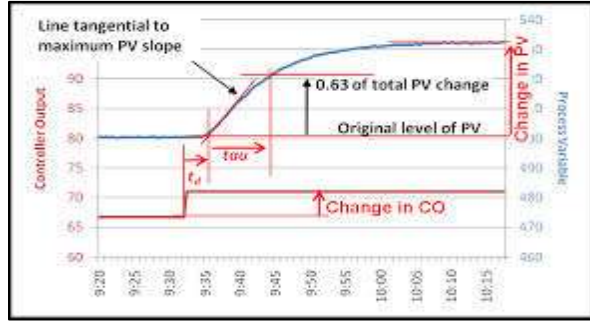
مثبت الاهتزاز (PSS) هو عبارة عن جهاز يعطي حلقة تحكم إضافية الى دارة منظم الجهد (AVR) و/ أو نظام العنفة ومنظم السرعة لوحدة التوليد. يعد استخدام مخمد الاهتزاز واحدا من أهم الطرق الأكثر فعالية في تحسين استقرار نظام الطاقة. الفكرة الأساسية من إخماد الإهتزازات في نظام الطاقة هي أنه في الحالة المستقرة يجب أن ينتهي تغير السرعة الى الصفر أو قريبا منه، ومنظم الجهد يجب ان يقاد بخطأ الجهد  $\Delta V$  فقط. سرعة المولد، في حالة الاستقرار العابر ليست ثابتة، ويكون الجزء الدوار متأرجحاً، ويتعرض  $\Delta V$  لاهتزازات نتيجة التغير في زاوية الدوار. ان المهمة المطلوبة من مخمد الاهتزاز هي تقديم إشارة إضافية تعوض عن اهتزازات  $\Delta V$ ، وتعطي مركبة عزم متوافقة بالطور مع انحراف السرعة  $\Delta W$ ، يتألف المخمد من صندوق التصريف  $\frac{T_w.S}{T_w.S+1}$  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 (3) المخطط الصندوقي لتابع نقل مخمد الاهتزاز PSS موصول الى نظام الطاقة الكهربائي.



الشكل (3) المخطط الصندوقي لتابع نقل مخمد الاهتزاز PSS

**2-1 مخمد الاهتزاز PID-PSS**

حاليا يعد المتحكم PID شائع الاستخدام في أكثر من 95% من أنظمة التحكم العنصر الأهم في تصميم نظام التحكم يتمثل في دقة ضبط بارامترات المتحكم الثلاث : الربح التناسبي (KP) والتكاملي (KI) التفاضلي (KD) في عام 1942 طور زيجلر و نيكولز طريقة لضبط ربح المتحكمات P و PI و PID هي طريقة الحلقة المفتوحة وطريقة الحلقة المغلقة ، وشرح الإجراءات الرياضية البسيطة لضبط المتحكم وهي طريقة منحني تفاعل العملية، غالباً ما يطلق عليه ضبط الحلقة المفتوحة Zeigler-Nichols ، طريقة منحني تفاعل العملية هي طريقة للربط بين بارامترات العملية مثل زمن التأخير، ربح العملية وثوابت المتحكم PID يتم حساب ثوابت المتحكم PID من خلال قياسات الاستجابة في الزمن الحقيقي للحصول على الأداء المرغوب لعملية التحكم عند حدوث اضطراب عبارة عن تغيير خطوة في بارامتر التحكم، هذه الإجراءات مقبولة الآن كمعيار في ممارسة أنظمة التحكم الشكل (4).

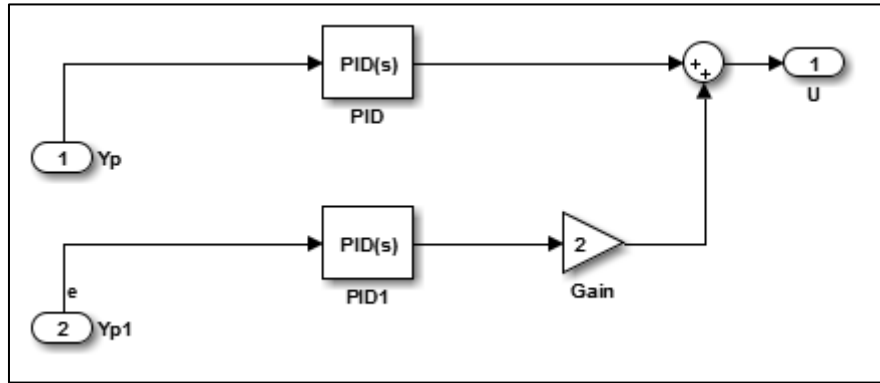


الشكل (4) طريقة منحنى تفاعل العملية

استخدام المتحكم PID كمخمد اهتزازات التردد المنخفض لنظام الطاقة الكهربائي يتمثل في تقديم إشارة تحكم إضافية لنظام التهيج عبارة عن ناتج وحدة تحكم التغذية العكسية التي تتخذ من انحراف سرعة المولد كإشارة دخل وخرج المتحكم كإشارة خرج بحيث تشكل عزم إخماد إضافي متوافق مع انحراف السرعة  $\Delta W$ .

## 2-2 مخمد الاهتزاز PSS-PID-MRAC

تم اعتماد المتحكم PID كمخمد اهتزاز الترددات المنخفضة مع إشارة تحكم إضافية عبارة عن خرج حلقة التكييف كما هو موضح بالشكل (5) واستخدام طريقة منحنى تفاعل العملية في ضبط ثوابت المتحكم PID-PSS للحصول على أداء عملية التحكم المرغوب والذي هو عبارة عن تابع نقل من الدرجة الثانية بتطبيق تغير في العزم الميكانيكي قيمته 0.05 pu.

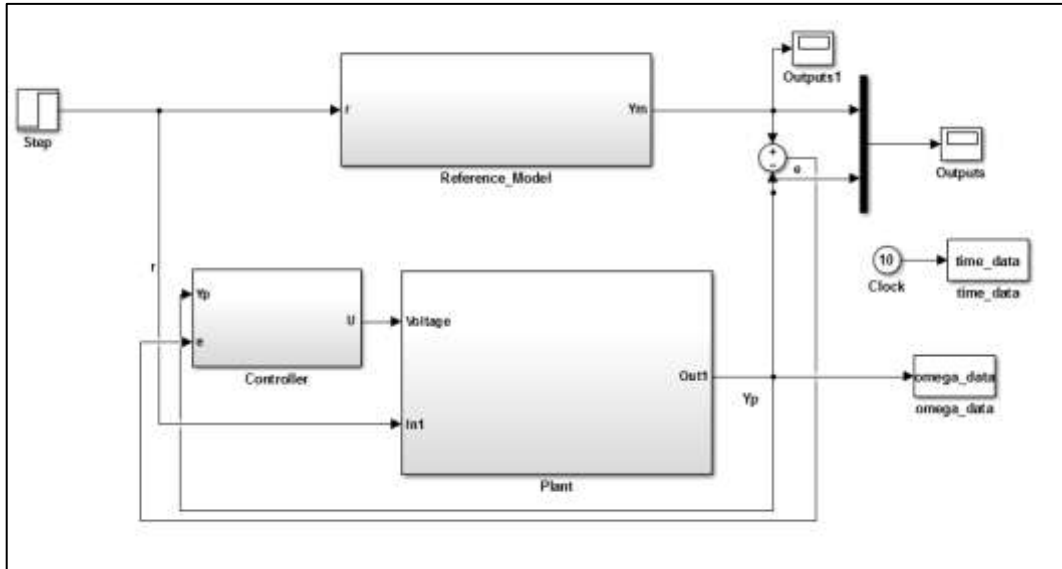


الشكل (5) المخطط الصندوقي للمتكم PSS- PID بتقنية MRAC

## 3- معايير اختيار النموذج المرجعي:

يعد تصميم النموذج المرجعي أمرًا بالغ الأهمية، في طريقة التصميم هذه. بسبب تذبذب الإشارة الصغيرة في نظام الطاقة الكهربائي، فقد تبين أن أنظمة الحلقة المفتوحة الاسمية تُظهر استجابات خطوة متذبذبة للغاية والتي قد تكون غير مستقرة أيضًا. النموذج المرجعي مع اختيار استجابة خطوة سلسة للغاية دون أي تذبذب وتجاوز قد لا يكون قابلاً للتنبؤ بشكل مناسب بواسطة الديناميكية التذبذبية للنظام. في مثل هذه الحالة، يجب السماح بتجاوز الذروة في استجابة النموذج المرجعي مع وجود صفر في أصل المستوى (S) للحصول على حالة ثابتة صفرية. في هذا البحث تم اختيار تابع نقل من الدرجة الثانية [1]، والذي يمثل الأداء المرغوب للنظام والذي يعطى بالعلاقة:

$$M_P(s) = \frac{0.006}{0.0244S^2 + 0.2439S + 1}$$



الشكل (6) نموذج محاكاة لاختبار محمد اهتزازات الطاقة PID-PSS بتقنية MRAC.

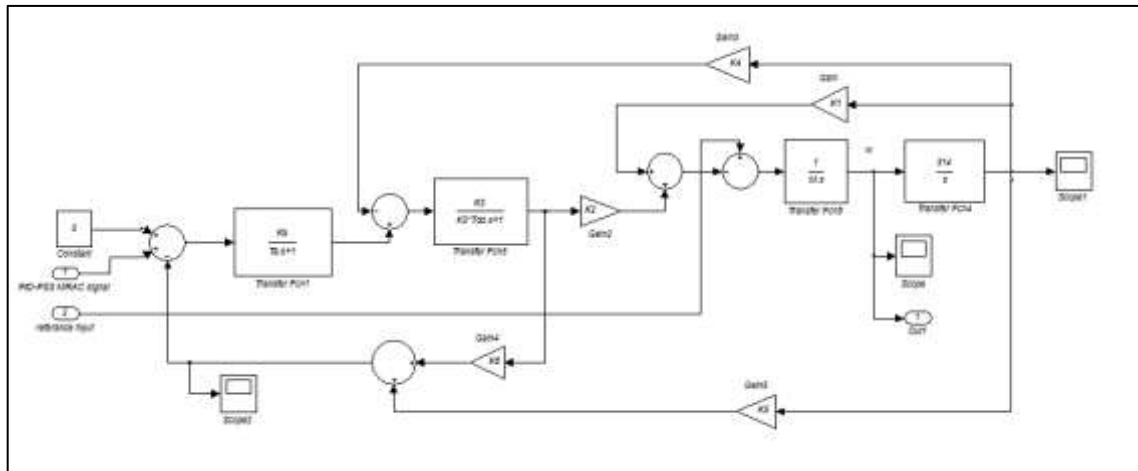
### النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (7) نموذج محاكاة النظام المختبر المعبر عنه بنظام Philip-Heffron القياسي لاختبار اهتزازات التردد المنخفض، عبارة عن نظام طاقة كهربائي آلة مفردة موصولة الى قضيب تجميع لا نهائي (SMIB). حيث ثابته النظام مبينة بالجدول (1)

الجدول (1): بارامترات النظام

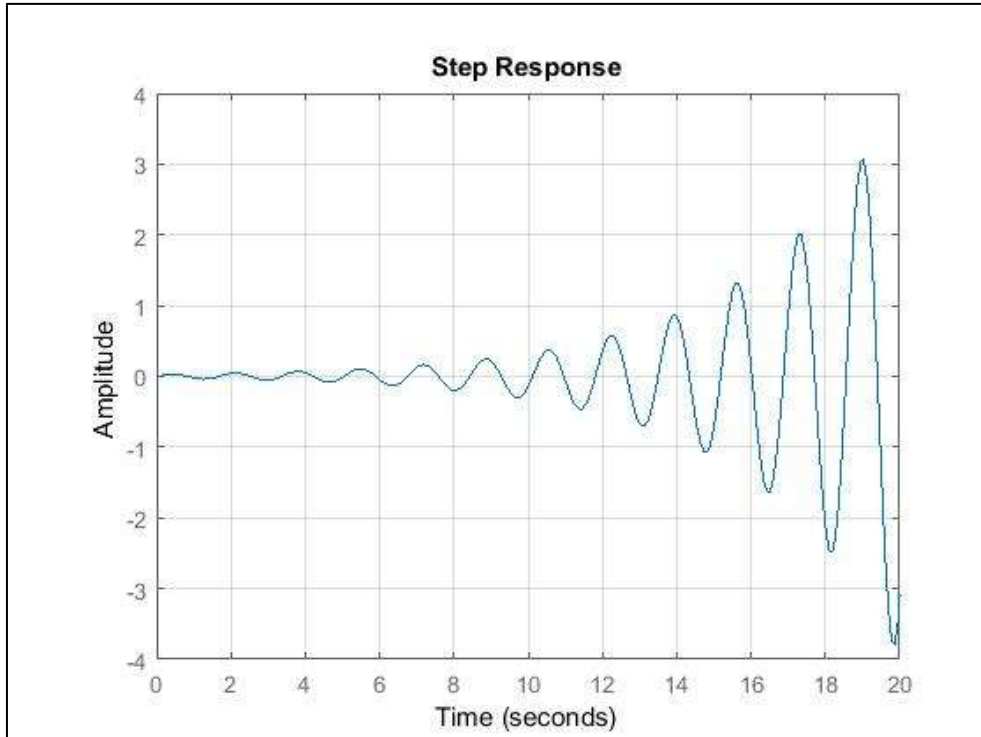
$K1=1.4479$	$K2=1.3174$	$K3=0.3072$	$K4=1.805$	$K5=0.0294$	$K6=0.5257$
$Ka=50$	$Ta=0.05$	$xq=0.55$	$xd=0.973$	$xdd=0.19$	$M=4.74$

بتشغيل النموذج بالقيم الأصلية للمنشأة نلاحظ أن النظام غير مستقر الشكل (8) مع وجود شق في استجابة النظام الترددية الشكل (10) مما يصعب عملية التحكم فيه.



الشكل (7) المخطط الصندوقي لنظام Philip-Heffron القياسي لاختبار اهتزازات التردد المنخفض





الشكل (8) الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة للنظام بدون تخميد

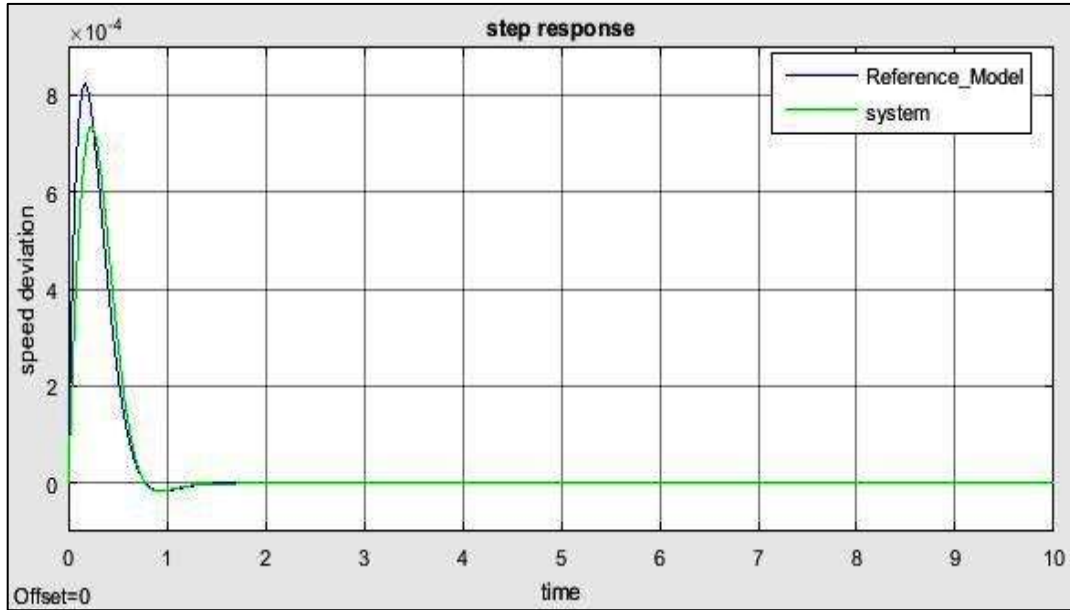
### 3-1 تصميم مخمد الاهتزاز PSS-PID-MRAC

تم تصميم مخمد الاهتزاز المقترح في ها البحث باتباع الخطوات التالية:

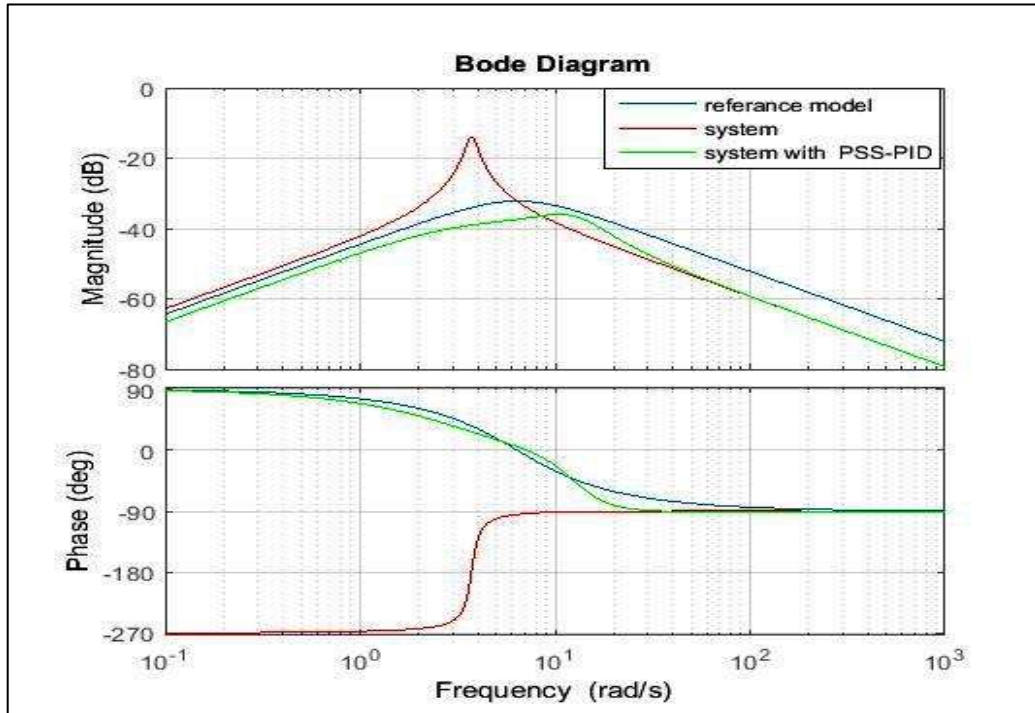
1- اختيار قيم الربح التناسبي والتكاملي والتفاضلي للمتحكم PSS-PID باعتبارها القيم الملائمة لحالة التشغيل الاسمية حيث  $P=1$  pu و  $Q=0.015$ . ومن خلال المحاكاة حصلنا على النتائج المبينة في الشكل (9) حيث يبين الاستجابة الزمنية للنظام الكهربائي المدروس عند ظروف التشغيل الاسمية والشكل (10) الذي يبين الاستجابة الترددية للنظام عند ظروف التشغيل الاسمية (النظام بدون تخميد، النظام مع مخمد PSS-PID).

الجدول (2): القيمة التصميمية لبارامترات المخمد PSS-PID.

البارامتر	القيمة التصميمية
Kp	47.5
Ki	29
Kd	4.8



الشكل(9): الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة باستخدام مخدم الاهتزاز PSS-PID



الشكل (10) الاستجابة الترددية باستخدام مخدم الاهتزاز PSS-PID

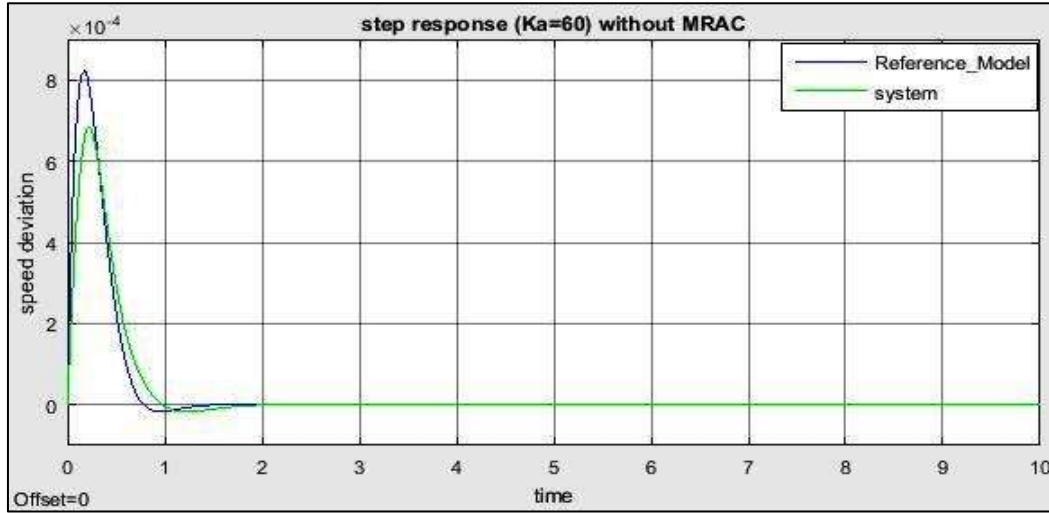
2- اختيار ربح المتحكم PID لحلقة التكييف بما يضمن تحقيق التتبع المرغوب للنموذج المرجعي المقترح وفق الجدول (3)

الجدول (3): القيمة التصميمية لبارامترات المخدم PID.

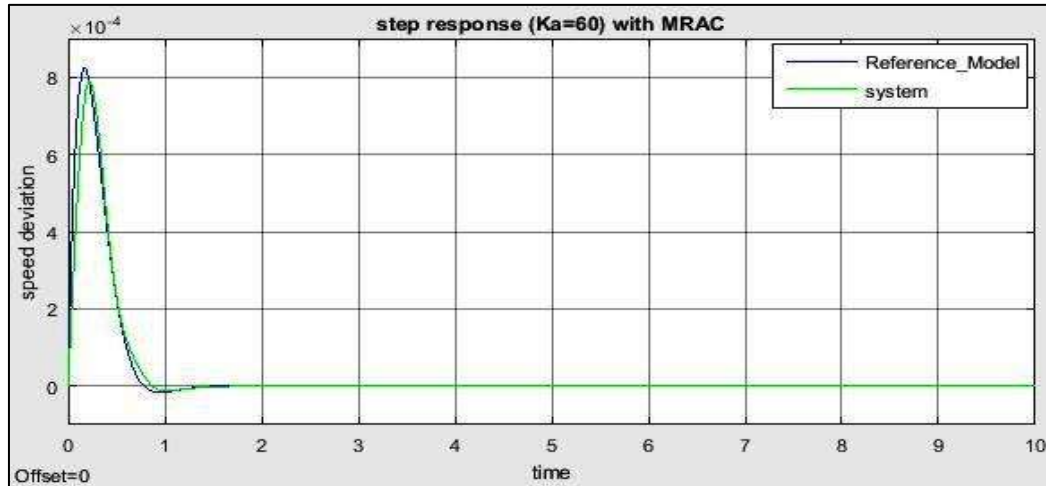
البارامتر	القيمة التصميمية
Kp	-15
Ki	-15
Kd	-2

في حال حدوث تغير مفاجئ في بنية النظام والمتمثلة بتغير قيمة ربح المهيج ليصبح ( $K_a=60$ ) نلاحظ تغير في خصائص الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة عند استخدام مخمد الاهتزاز PSS-PID كما يبين الشكل (11) وبتطبيق تقنية MRAC نلاحظ أن خرج النظام يتتبع خرج النموذج المرجعي عند اللحظة (1S) كما هو مبين في الشكل (12)

يبين الجدول (4) قيمة زمن الاستقرار وقيمة التجاوز الأعظمي وزمن الذروة للنظام المختبر بالنسبة لزمن محاكاة (10 S) مع وبدون تطبيق تقنية التحكم التكيفي نموذج مرجعي MRAC:



الشكل(11): الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة باستخدام مخمد الاهتزاز PSS-PID ( $K_a=60$ )



الشكل: (12) الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة باستخدام مخمد الاهتزاز PSS-PID-MRAC ( $K_a=60$ )

الجدول (4) مقارنة خصائص الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة مع وبدون تطبيق تقنية MRAC

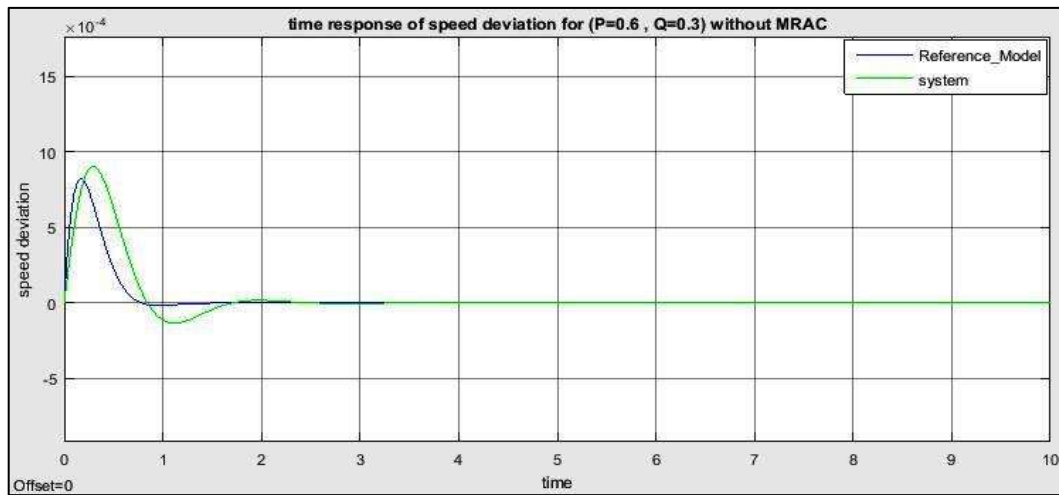
	زمن الاستقرار (ثانية)	التجاوز الأعظمي	زمن الذروة (ثانية)
PID-PSS	1.3967	$6.8511 \times 10^{-4}$	0.270
PSS-PID-MRAC	0.8173	$7.7199 \times 10^{-4}$	0.2193

### 2-3 اختبار تقنية التحكم المقترحة عند تغير نقط التشغيل

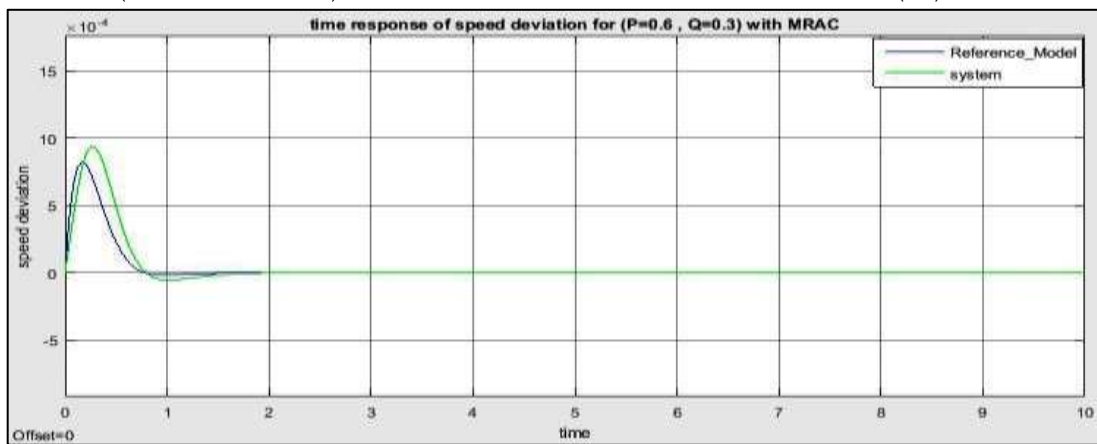
يبين كل من الأشكال (13-14-15-16) الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة مع وبدون تطبيق تقنية MRAC للمتحكم PSS-PID كما يبين الجدول (5) خصائص الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة عند تغير شروط التحميل.

الجدول (5) خصائص الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة عند تغير شروط التحميل

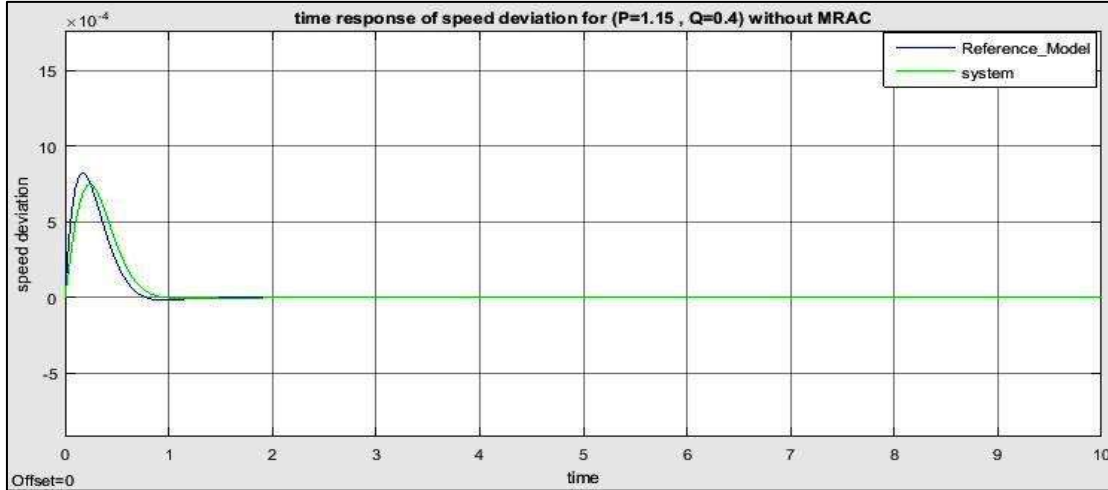
	زمن الاستقرار (S)	التجاوز الأعظمي (rad/s)	زمن الذروة (S)
P=0.6 , Q=0.3 (light loading)			
PID-PSS	2.0057	$9.0404 \times 10^{-4}$	0.3064
PID-PSS-MRAC	1.4335	$7.1161 \times 10^{-4}$	0.2585
P=1.15 , Q=0.4 (heavy loading)			
PID-PSS	0.8717	$7.4872 \times 10^{-4}$	0.2447
PID-PSS-MRAC	0.8643	$8.3132 \times 10^{-4}$	0.2230



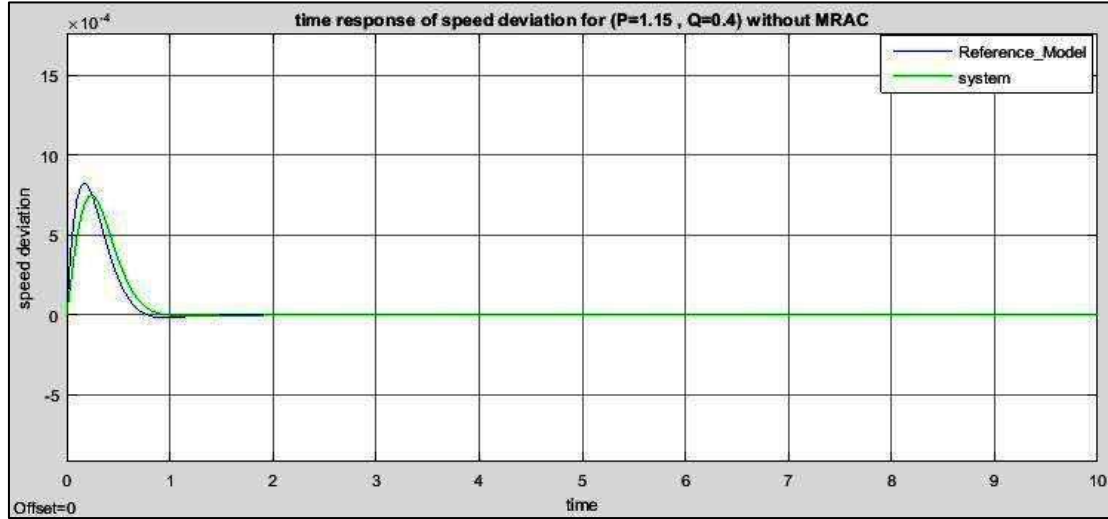
الشكل (13): الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة بدون تطبيق تقنية MRAC (P=0.6 , Q=0.3 pu)



الشكل (14): الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة مع تطبيق تقنية MRAC (P=0.6 , Q=0.3 pu)



الشكل (15) : الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة بدون تقنية MRAC (P=1.15 , Q=0.4 pu)



الشكل (16) : الاستجابة الزمنية لانحراف السرعة مع تطبيق تقنية MRAC (P=1.15 , Q=0.4 pu).

يبين الجدول (6) مقارنة الطريقة المقترحة في هذا البحث مع الطرق المقترحة في المراجع وذلك عند نقطة التشغيل الإسمية (P=1 , Q=0.015 pu) عند حدوث تغير في العزم الميكانيكي بمقدار 5%.

الجدول (6): مقارنة طريقة التصميم المقترحة مع الطرق السائدة في المراجع

Method	PSS Structure	Dominant Mode and $\zeta$	$t_s$ (S)	$Y_p (\times 10^{-4} \text{ rad/S})$	$ISE (\times 10^{-7})$
2018 <sup>[1]</sup>	$23.13 \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+0.344s}{1+0.1s} \right)$	$-2.13 \pm j3.36$ (0.634)	1.496	7.807	1.568
2000 <sup>[2]</sup>	$22.523 \left( \frac{5s}{1+5s} \right) \left( \frac{1+0.1212s}{1+0.1s} \right) \left( \frac{1+0.2156s}{1+0.1s} \right)$	$-3 \pm j6.74$ (0.407)	1.534	8.378	2.064
2004 <sup>[3]</sup>	$17.849 \left( \frac{5s}{1+5s} \right) \left( \frac{1+0.4334s}{1+0.1s} \right)$	$-3.24 \pm j8.99$ (0.338)	2.141	7.936	2.383
2010 <sup>[4]</sup>	$17.849 \left( \frac{10s}{1+10s} \right) \left( \frac{1+0.1754s}{1+0.1s} \right) \left( \frac{1+0.433s}{1+0.1s} \right)$	$-1.79 \pm j3.52$ (0.361)	2.441	7.105	3.175
1983 <sup>[5]</sup>	$7.09 \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+0.685s}{1+0.1s} \right)$	$-1.12 \pm j4.33$ (0.252)	2.768	7.066	1.378
2010 <sup>[6]</sup>	$30.818 \left( \frac{5}{1+5s} \right) \left( \frac{1+0.1612s}{1+0.1s} \right) \left( \frac{1+0.1567s}{1+0.1s} \right)$	$-3.01 \pm j8.70$ (0.322)	1.462	7.841	1.570
Proposed	PSS-PID-MRAC	$-4.03 \pm j0.48$ (0.993)	0.7295	8.1742	1.45

## الاستنتاجات والتوصيات:

وجدنا من نتائج المحاكاة المنفذة في الخطوات السابقة أن:

- نموذج المنشأة يتعقب خرج النموذج المرجعي المقترح بدون الاعتماد على تابع نقل المنشأة المتحكم بها والمتمثلة في بحثنا هذا بنظام طاقة من نوع SMIB.
- فعالية تقنية التحكم المقترحة في الحفاظ على استقرار النظام عند تغيير بنية النظام وتغيير ظروف التشغيل.
- فعالية وبساطة تقنية التحكم المطبقة في هذا البحث والتي حققت تقدم على الأبحاث السابقة ذات الصلة.
- 

## References:

- [1]- SALGOTRA, A, PAN, S. *A frequency domain model-based design of PSS and TCSC controller for damping the small signal oscillations in the power system*. Indian Journal of Science and Technology ,India, 2018,e2742.
- [2]- ABIDO, M. A. *Pole placement technique for PSS and TCSC-based stabilizer design using simulated annealing*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Saudi Arabia,2000, Vol. 22, N°.8, 543-554.
- [3]- ABIDO, MA, ABDEL-MAGID, YL. *Analysis of power system stability enhancement via excitation and FACTS-based stabilizers*. Electric Power Components and Systems, USA, Vol. 32, N°.1,2004, 75-91.
- [4]- BARATI, J, MORTAZAVI, SS, SAIDIAN, A. *Analysis and assessment of FACTS-based stabilizers for damping power system oscillations using genetic algorithm*. [International Review of Electrical Engineering](#), Vol. 5, N°.6, 2010, 2819-2829.
- [5]- YU, YN. *Electric Power System Dynamics*, New York, 1983, Academic Press.
- [6]- KASHKI, M, ABIDO, MA, ABDEL-MAGID, YL. *Pole placement approach for robust optimum design of PSS and TCSC-based stabilizers using reinforcement learning automata*, Electrical Engineering,Iran, Vol. 19, N°.7, 2010, 383-394.
- [7]- KASILINGAM, K, PASUPULETI, J . *Coordination of PSS and PID Controller for Power System Stability Enhancement – Overview*. Indian Journal of Science and Technology India, Vol.8,N°.2, 2015,142-151.
- [8]- GAIN,P. *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, 2013, 477-484.
- [9]- MOSAAD, M, SALEM, F. *LFC based adaptive PID controller using ANN and ANFIS techniques*. JESIT, Egypt, Vol.1,N°.3, 2014, 212–222.
- [10]- SWARNKAR, P. *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, 2010, 1547–1552.
- [11]- MOHAMED, I. *Model reference adaptive control of STATCOM for grid integration of wind energy systems*. IET ,UK, Vol.12,N°.5, 2017, 605–613.
- [12]- KUMAR, R, DAS, S. *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, 2016,141-154.