

## تصميم محمد اهتزاز عصبوني عائم لتحسين استقرار نظم القدرة الكهربائية

د. عباس صندوق\*

د. غيث ورقوزق\*\*

معتز دبلو\*\*\*

(تاريخ الإيداع 27 / 8 / 2020. قُبل للنشر في 2 / 12 / 2020)

### □ ملخص □

يقدم البحث منهجية جديدة لتصميم محمد اهتزاز لآلة تزامنية يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة، وذلك لخفض زمن تخادم النظام الكهربائي لمعرفة فاعلية المخدم المقترح في استقرار النظام. يعتمد المخدم المقترح على شبكة عصبونية عائمة تعالج اشارة سرعة دوران المولد وذلك للتحكم بتهييج الآلة التزامنية، لقد أظهر المخدم المصمم قدرته على انقاص مطال الاهتزازات (الجهد والسرعة) الناشئة عن الأعطال وبالتالي إنقاص زمن التخادم عن طريق تقديم اشارة جهد إضافية إلى دخل نظام التهييج، تم مقارنته مع مخدم اهتزاز تقليدي وكان أدائه أفضل من مخدم اهتزاز تقليدي.

تتميز التقنية المقترحة بإمكانية زيادة تحسين الاستقرار الديناميكي وبالتالي استقرار النظام الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: نظام القدرة الكهربائية، استقرار نظام القدرة الكهربائية، الشبكات العصبونية المضببة (ANFIS)، الذكاء الصناعي (AI)، نظام التهييج، محمد اهتزاز.

\* استاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\* استاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

## Design of a Neural Fuzzy Damper Vibration to Improve the Stability of Electric Power Systems

Dr. Abbas Sandok \*

Dr. Ghaith Warkozek \*\*

Moataz Dablo \*\*\*

(Received 27 / 8 / 2020. Accepted 2 / 12 / 2020)

### □ ABSTRACT □

In this Paper a New Design Methodology for The Vibration Damper for Synchronous Machine Depends On Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, Is Proposed in Order to Reduce the Oscillation Voltage in Electrical System and Find Out the Effectiveness of Proposed Damper in The Stability of the System, It Was Compared with Traditionally Power System Stabilizer.

The New Damper Is Based On Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Which Process the Signal of Rotation Speed of the Generator Then Control of the Excitation of Synchronous Machine, The Designed Damper Showed Ability to Reduce Amplitude Vibrations Arising from Failures and Thus Reduce the Time of Damping by Providing Additional Effort to Signal Entered to The Excitation System, compared with A Conventional Vibration Damper and Its Performance Is Better Than a Conventional Vibration Damper.

The Proposed Design Offers a Good Possibility of Further Improving the Dynamic Stability and Thus the Stability of the Electrical System.

**Keywords:** Electric power system, the stability of the electric power system, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), artificial intelligence (AI), agitation system, vibration damper.

---

\* Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

\*\* Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

\*\*\* Postgraduate Student (Ph.D.), Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

**مقدمة:**

تهتم دراسات الاستقرار بسلوك الآلات التزامنية بعد تعرضها لإضطراب ما، إذا لم يتضمن هذا الاضطراب أي تغير في الاستطاعة، عندئذ يجب أن تعود الآلات إلى حالتها الطبيعية أو إلى حالة تشغيل جديدة [1]. إذا حدث عدم توازن بين المنبع والحمل بسبب تغير في الحمل، أو في التوليد، أو في شروط الشبكة عندئذ من الضروري نشوء حالة تشغيل جديدة. في حال كان النظام مستقرًا فإن جميع الآلات التزامنية المربوطة فيما بينها على التوازي سوف تبقى في التزامن [2]، هذا يعني، أنها ستبقى جميعها تعمل بالتوازي عند نفس السرعة [3].

يعتبر نظام التهييج من الوسائل المستخدمة لتحسين استقرار نظام القدرة، من خلال تقديم تهيج كاف لملف التهييج في الآلة التزامنية [4]، ويزداد التهييج مع انخفاض الجهد المطبق على ملف التهييج ويتناقص مع ارتفاع الجهد، إضافة إلى أنه يقوم بوظيفة التحكم بجهد خرج المولد التزامني والاستطاعة الردية المقدمة من المولد.

إن إدخال تقنيات الذكاء الصناعي في مجال استقرار نظم الطاقة الكهربائية يزيد من الوثوقية وسرعة المعالجة ويقلل من خطأ العنصر البشري [5]، من أجل ذلك سنصمم محمد اهتزاز يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة (والتي هي جزء من تطبيقات الذكاء الصناعي)، بهدف إلى تحسين استقرار النظم الكهربائية عن طريق التحكم بنظام التهييج، ويتم تدريب المخدم على قيم تعتمد على خبرة النظام الخبير وتؤخذ من أكثر قيم الاضطرابات تداولاً، وكذلك الحال بالنسبة لقيم المعالجة لهذه الاضطرابات.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتمثل أهمية البحث في كونه يتناول أحد أهم مسائل نظم القدرة الكهربائية، مسألة الاستقرار، كما أنه يعتمد على علوم الذكاء الصناعي في تصميم محمد اهتزاز عصبوني عائم (ANFIS) Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System [6,7].

يهدف البحث إلى مايلي:

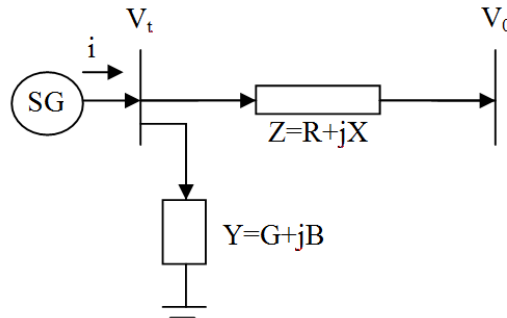
1. دراسة امكانية تحسين استقرار نظم القدرة باستخدام محمد اهتزاز عصبوني.
2. إجراء مقارنة بين المخدم التقليدي والمخدم الذي يعتمد على الشبكات العصبونية العائمة لاختيار الطريقة الأفضل لهذا المخدم.
3. تطبيق الطريقة الأفضل (النااتجة من عملية المقارنة) على أداء النظام في حالات عمل مختلفة.

**طرائق البحث ومواده:**

لقد اعتمدنا في البحث طريقة النمذجة والمحاكاة لدارة الخط الواحد لنظام مؤلف من آلة تزامنية موصولة إلى قضيب لجميع لانتهائي باستخدام بيئة Simulink في برنامج MATLAB [8، 9]، وتم الاعتماد على الشبكة العصبونية العائمة لتقوم بعملية التعامل مع اشارة السرعة الزاوية ومعالجتها من أجل عملية الاستقرار، وقد تمت عملية تدريب الشبكة العصبونية العائمة المقترحة باستخدام MATLAB-code.

### نموذج النظام المدروس:

يظهر الشكل (1) مخطط الخط الواحد لنظام مؤلف من آلة تزامنية موصولة إلى قضيب تجميع لانهائي [11,10]:



الشكل(1): مخطط الخط الواحد لنظام مؤلف من آلة تزامنية موصولة إلى قضيب تجميع لانهائي

حيث :

- SG - مولد تزامني.
- I - تيار المتحرض.
- Vt - الجهد على أطراف المولد.
- V0 - جهد قضيب التجميع.
- Z - ممانعة النقل التسلسلية.
- Y - سماحية الحمولة التفرعية.

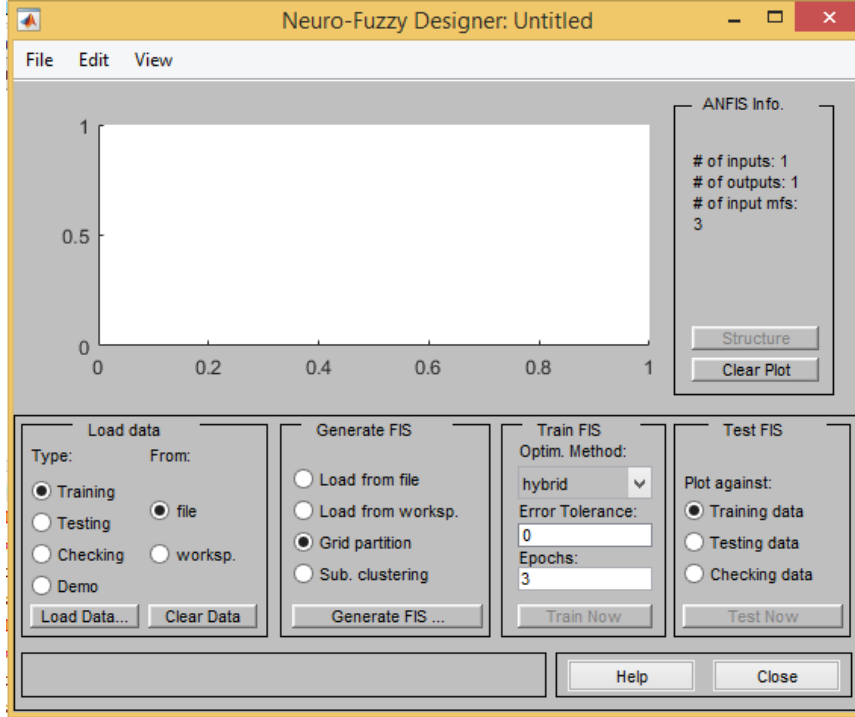
### بنية الشبكات العصبونية العائمة (ANFIS) المستخدمة:

هي مزيج من الشبكات العصبية الاصطناعية والأنظمة الضبابية بحيث يتم استخدام خوارزميات الشبكات العصبية الصناعية لتحديد بارامترات النظام الضبابي [6].

يعتمد النموذج المقترح على شبكة عصبونية عائمة تتولد من عملية تدريب على معطيات اعتماداً على معرفة الخبراء للنظام المدروس.

يكون دخل الشبكة التي لدينا عبارة عن  $W$  و  $W'$  حيث  $W$  هي سرعة دوران المولد (سرعة التزامن) و  $W'$  هي مشتق سرعة دوران المولد بالنسبة للزمن، وخرج الشبكة  $V_s$  إشار خرج مخمد الاهتزاز، حيث تم جمع المعطيات من حالات مختلفة للإضطراب والمعالجة من قبل مخمد اهتزاز تقليدي.

لتصميم هذا النظام في بيئة الماتلاب نقوم بفتح واجهة ANFIS من برنامج الماتلاب، كما في الشكل (2) :



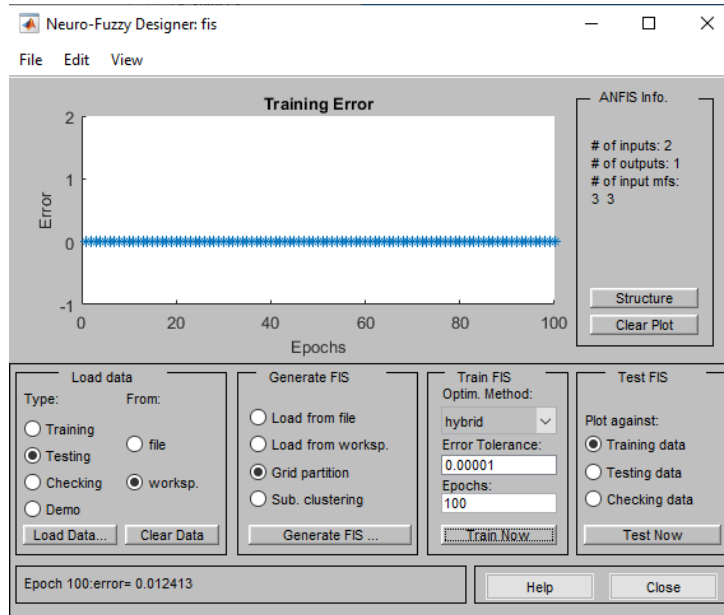
الشكل (2): الواجهة التصميمية لشبكة /ANFIS/ في بيئة النمذجة /MATLAB/

## التدريب:

من خلال خيار /Load Data/ يتم ادخال عينات الدخل والخرج، ونستطيع أن نحدد عدد مرات التدريب ومقدار الخطأ المراد الوصول اليه ونوع خوارزمية التدريب، هنا وضعنا /100/ تكرار للتدريب ووضعنا قيمة الخطأ /0.00001/، أما بالنسبة لخوارزمية التدريب فقد اخترنا نوع الهجين التي تستخدم خوارزمية الانتشار الخلفي [8] وطريقة المربعات الصغرى [9].

وبعد ادخال المعطيات اعلاه يمكن البدء بالتدريب حيث تظهر لدينا عملية التدريب

/من خلال ظهور النقاط ذات اللون الأزرق/، والموضحة بالشكل (3) :



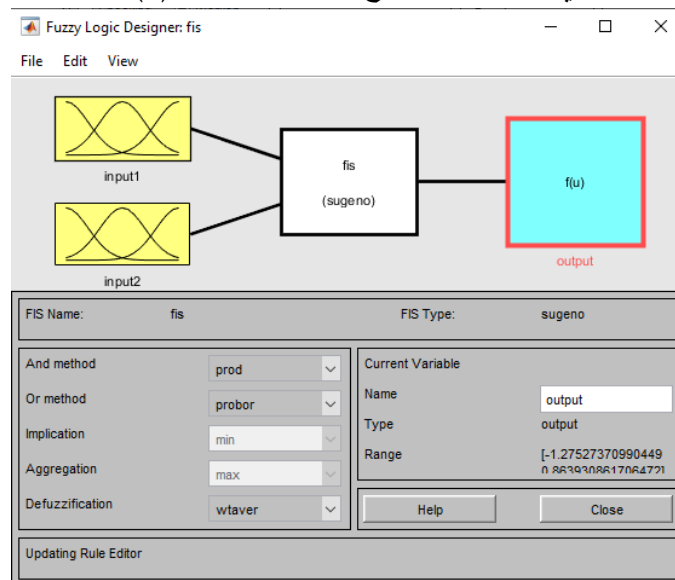
الشكل (3): واجهة تدريب شبكة ANFIS

بعد الانتهاء من التدريب، تم إجراء اختبار للشبكة المدربة وظهر لدينا منحنيان /الأحمر \* والأزرق /O يمثلان بالترتيب خرج المتحكم بعد التدريب والقيم المدرب عليها المتحكم، يكون المنحنيان تقريباً شبه منطبقين والقيم متقاربة مع بعضها والموضحة بالشكل (4):



الشكل(4): الأداء بعد التدريب

ويظهر لدينا الشكل العام للشبكة والذي وُِد من قبل برنامج الماتلاب ، الشكل (5):



الشكل(5): الشكل العام

في الشبكات العصبونية التقليدية نستطيع معرفة الشكل العام بناءً على بياناتنا ، ولذلك يجب أن يتم ذلك في البداية قبل التدريب، لكن مايميز بهذه الطريقة بالتدريب لشبكات (ANFIS) أن بنية هذه الشبكة تتكون بشكل ديناميكي وفقاً لقواعد الخبرة (العائمة) التي تقدم لها خلال التدريب، وهذا يعطي قوة إضافية مقارنة مع الشبكات العصبونية التقليدية (ANN)

بعد الانتهاء من عملية التدريب نستطيع أن نظهر بنية شبكة /ANFIS/ والتي ولدها برنامج الماتلاب ذاتياً بما يليبي المعطيات المدخلة من دخل وخرج، والمؤلفة من عدة طبقات:

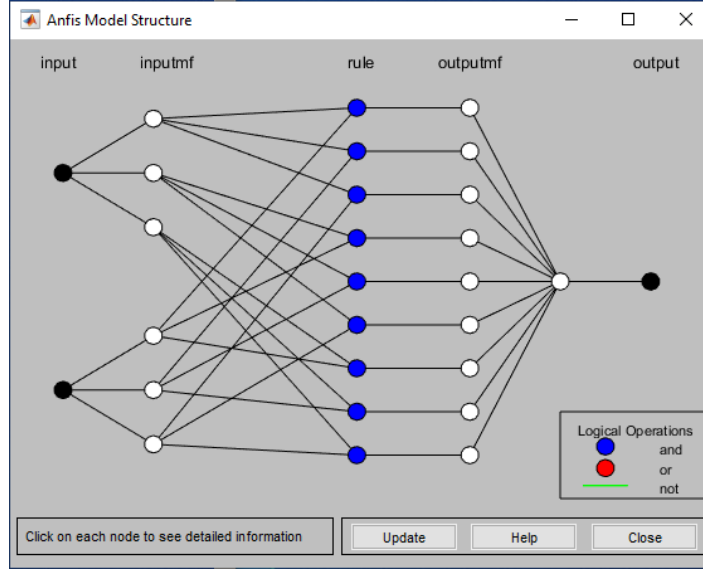
الطبقة الأولى : تتكون من مدخلين وتتعامل مباشرة معهما حيث تقوم هذه الطبقة بحساب نسبة المشاركة لكل مدخل.

الطبقة الثانية : تقوم بحساب قوة القواعد الموضوعية والتي في هذه الحالة ولدت ذاتياً من قبل البرنامج.

الطبقة الثالثة : طبقة القواعد حيث تقوم بحساب نسبة قوة قاعدة معينة إلى القواعد الأخرى. وعلاقتها مع بعضها.

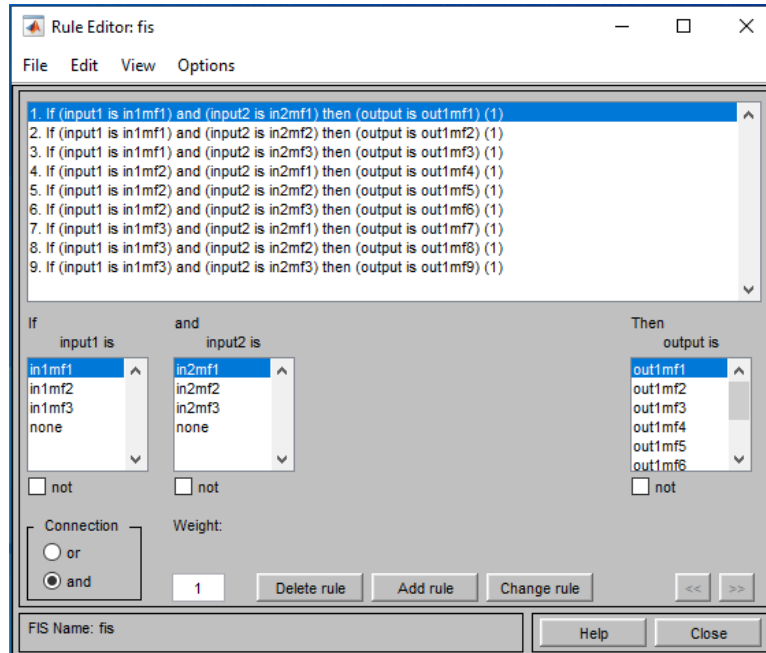
الطبقة الرابعة : تقوم في هذه الطبقة بإضافة بعض المتغيرات التي تسلسل البيانات.

الطبقة الخامسة : هي الطبقة التي من خلالها ينتج الجواب النهائي. والطبقات موضحة بالشكل (6):



الشكل(6): بنية شبكة /ANFIS/

نستطيع أيضاً اظهار القواعد التي تم وضعها من قبل البرنامج بناءً على معطيات التدريب والموضحة بالشكل (7):

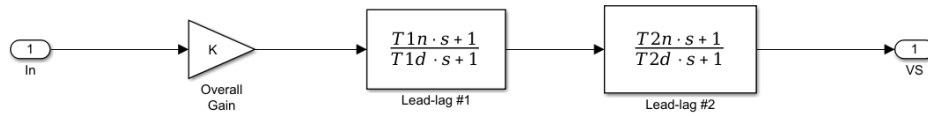


الشكل(7): القواعد في شبكة /ANFIS/

### نموذج مخمد الاهتزاز التقليدي:

يعمل مخمد الاهتزاز على زيادة حدود الاستقرار الزاوي لنظام القدرة من خلال تقديم الإخماد للاهتزازات دوار الآلة التزامنية عبر نظام تهيج المولد.

Power System Stabilizer (PSS)  
(generic model)



الشكل(8): بنية مخمد الاهتزاز التقليدي.

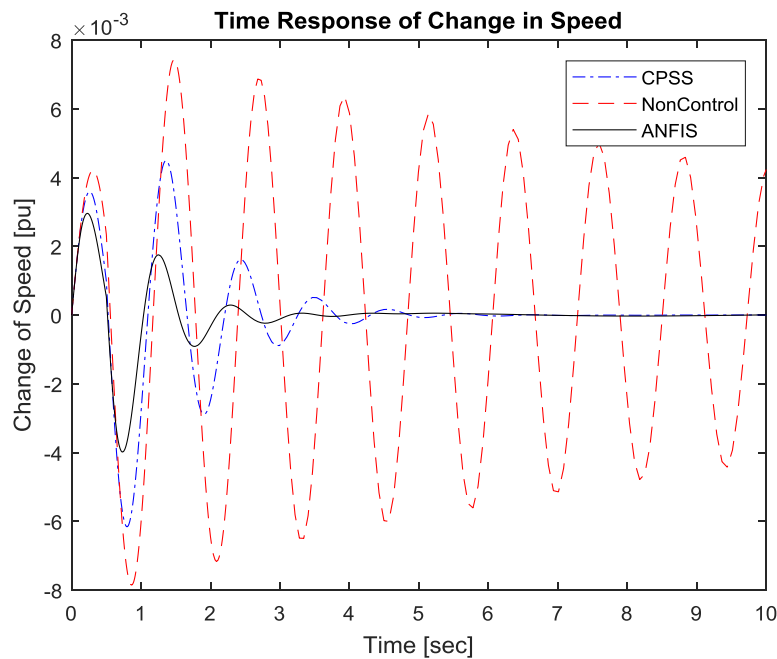
حيث: K : ربح المخمد.

T1n, T1d, T2n, T2d : الثوابت الزمنية لمخمد الاهتزاز.

### النتائج والمناقشة:

من المعروف أن النظام الكهربائي يحدث فيه كثير من الاضطرابات (فصل أو وصل حمولات - العمل الخاطئ للمتحكمات - أعطال - وغيرها)، هنا أخذنا حالة زيادة حمولة .

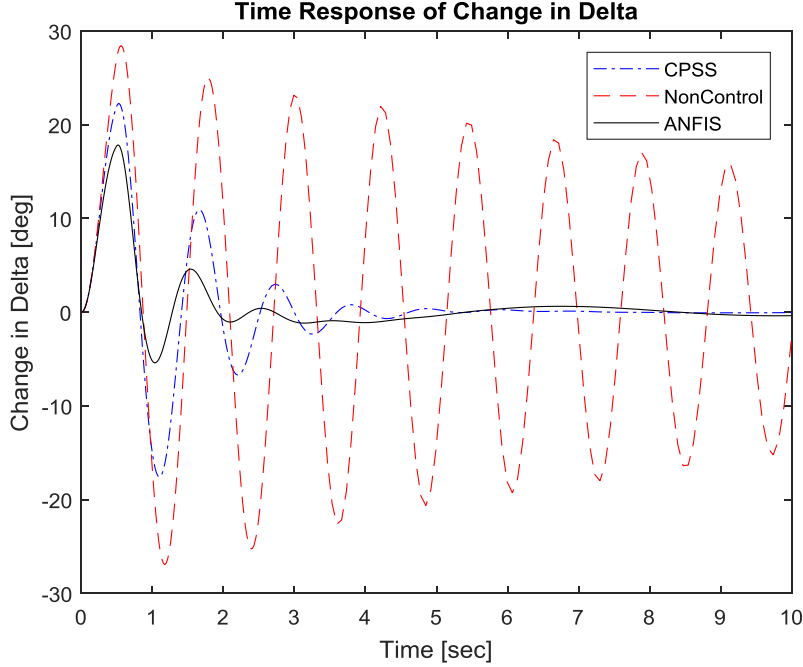
تم تطبيق الشبكة العصبونية العائمة الناتجة على النموذج ومقارنة الاشارة الناتجة مع اشارة النموذج بدون تحكم /أي بعدم وجود مخمد اهتزاز/ ومقارنتها أيضاً بإشارة النموذج وذلك بوجود مخمد اهتزاز تقليدي، فكانت الاستجابة كما هو واضح في الأشكال التالية [8-9-10]:



الشكل(9): الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد.

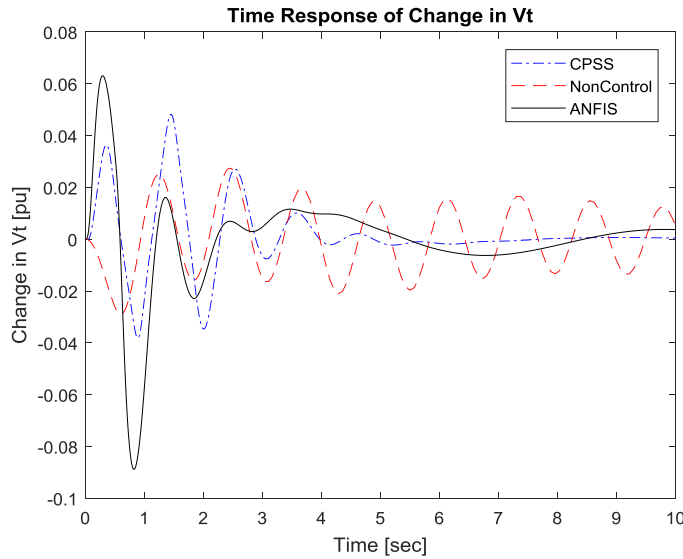


في مخطط الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد /والموضح بالشكل (9) نجد أن إشارة النموذج الذي يحتوي المخدم المقترح /ANFIS/ أفضل من غيرها، لأنه عمل على إنقاص زمن تخادم الإشارة /وهو باللون الأسود/ وهو أفضل من إشارة النموذج الذي يحتوي على محمد الاهتزاز التقليدي /cpss/.



الشكل(10): الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد.

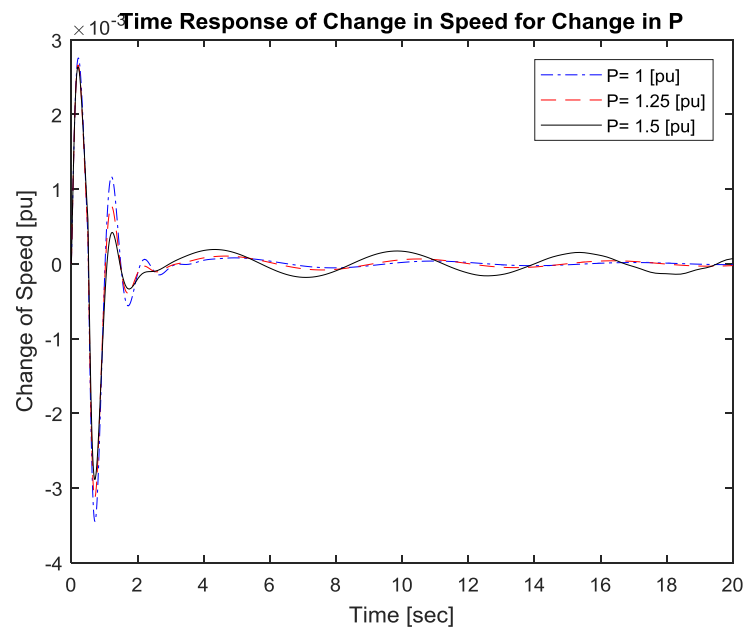
وكما يبين الشكل(10) وهو مخطط الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد، نرى أن إشارة النموذج الذي يحتوي على المخدم /ANFIS/ أصبحت أكثر انسيابية حيث انخفض مطال التآرجح فيها، على عكس إشارة النموذج بوجود محمد الاهتزاز التقليدي /CPSS/ والتي تحتوي على تغيرات مختلفة فيها.



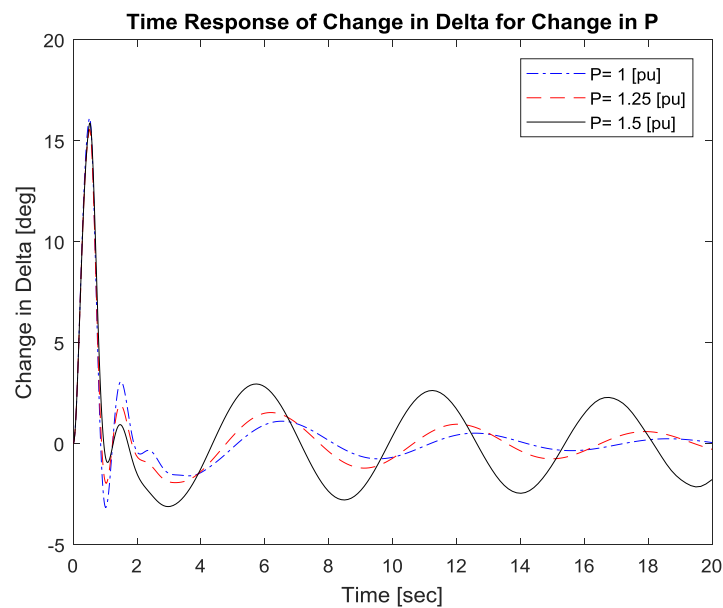
الشكل(11): الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد.

يبين الشكل (11) مخطط الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد، ونرى أن إشارة النموذج الذي يحتوي على المخدم /ANFIS/ تجاوزها الأعظمي كبير بالمقارنة مع بقية الاشارات ويفسر ذلك بكون نظام (ANFIS) للتحكم بالتهيج يسمح بارتفاع بسيط للتوتر الطرفي للمولد من اجل استيعاب وتخمد القدرة الكهرومغناطيسية التي تعبر الثغرة وتخمد الاهتزازات في سرعة الدوران وزاوية الدائر كما وجدنا في الأشكال السابقة ومن ثم تصبح الإشارة انسيابية أكثر وتقل فيها التغيرات.

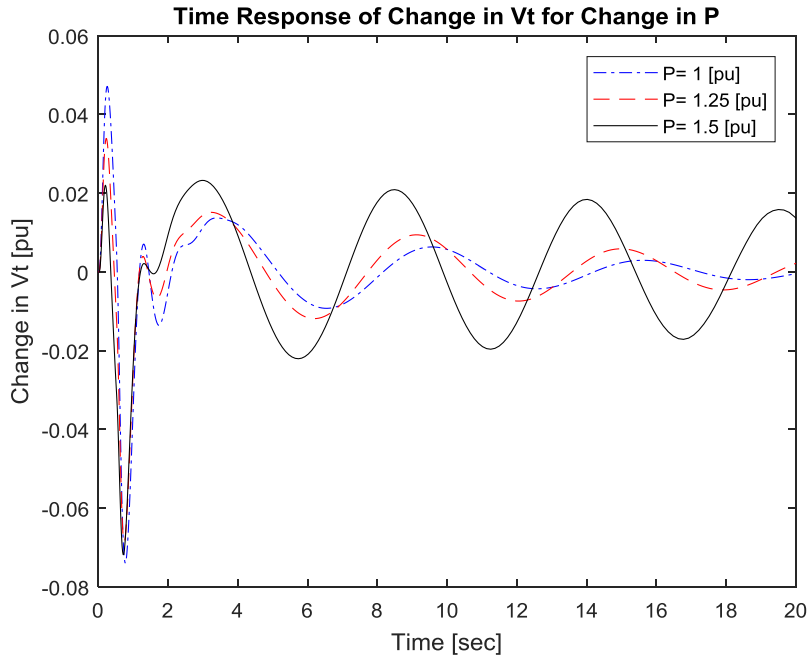
• سندررس أداء /ANFIS/ في حال زيادة التحميل وسيتم رسم الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد ( $\delta$ ) و الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد ( $\omega$ ) و الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد ( $V_t$ ) وذلك من أجل تغير قيم الاستطاعة الفعلية (P)  $:P=1[pu], P=1.25[pu], P=1.5[pu]/$



الشكل (12): الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد.



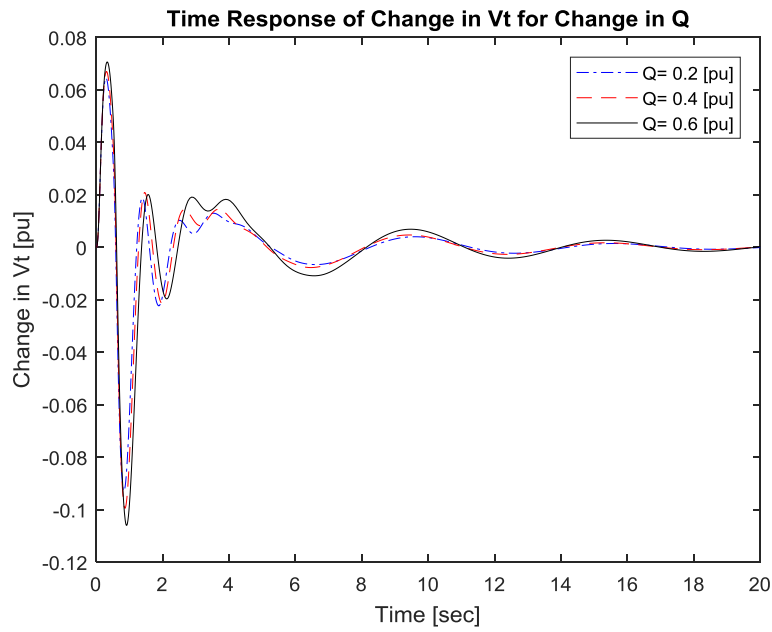
الشكل (13): الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد.



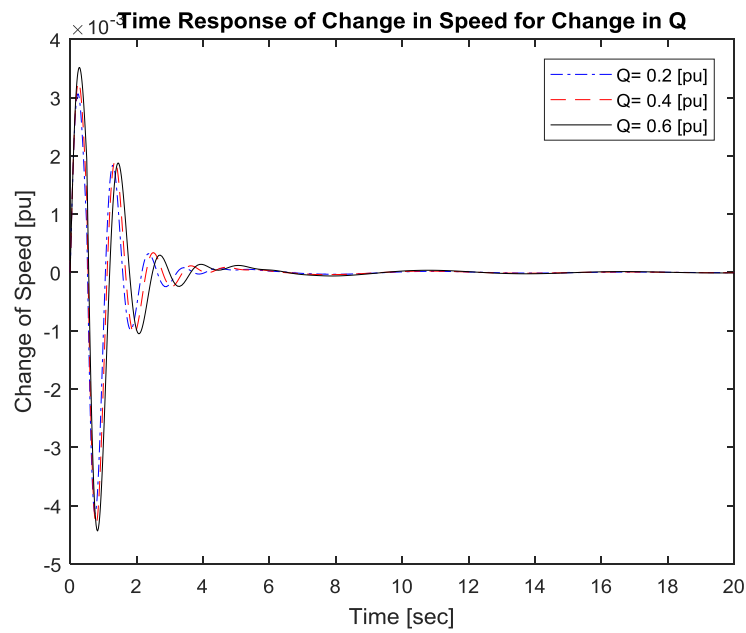
الشكل(14): الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد.

يظهر الشكل (12) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد حيث نلاحظ مع زيادة التحميل فعالية أداء المخدم ANFIS وذلك بانقاص زمن تخادم الاشارة بينما يبقى مطال التجاوز الاعظمي تقريباً نفسه من أجل حالات التحميل المختلفة، ونرى هناك أيضاً تغير بالاشارة عند زيادة التحميل، و يظهر الشكل (13) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد حيث نلاحظ ازدياد التغير بالاشارة حول زمن 5.5 ثانية بازدياد التحميل، ويبين الشكل (14) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد حيث نلاحظ تناقص زمن التجاوز الأعظمي مع ازدياد التحميل.

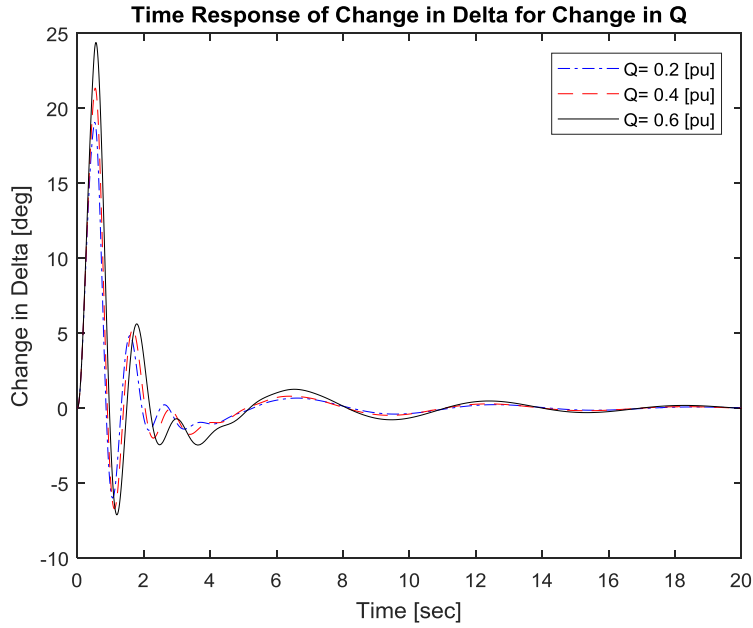
• سندرسي أداء / ANFIS / في حال تغير الاستطاعة الردية المولدة من قبل المولد (Q) والمحقونة بالشبكة وسيتم رسم الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد ( $\delta$ ) والاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد ( $\omega$ ) والاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد (Vt) وذلك من أجل تغير قيم الاستطاعة الردية للمولد (Q) / Q=0.2[pu], Q=0.4[pu], Q=0.6[pu]



الشكل(15): الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد.



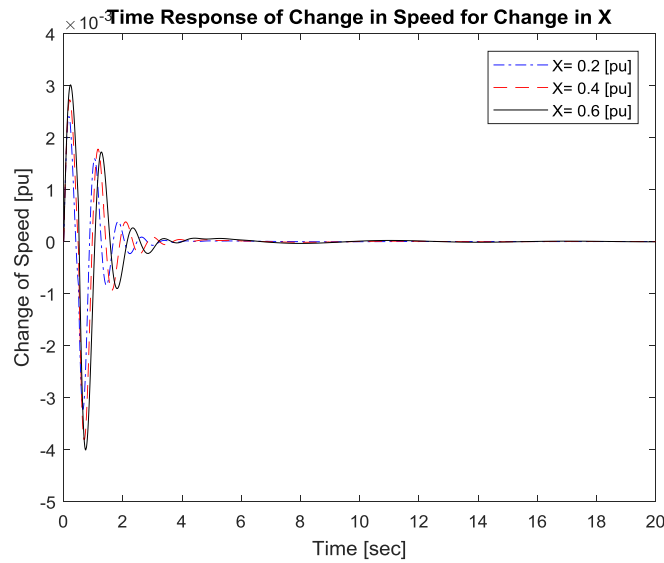
الشكل(16): الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد.



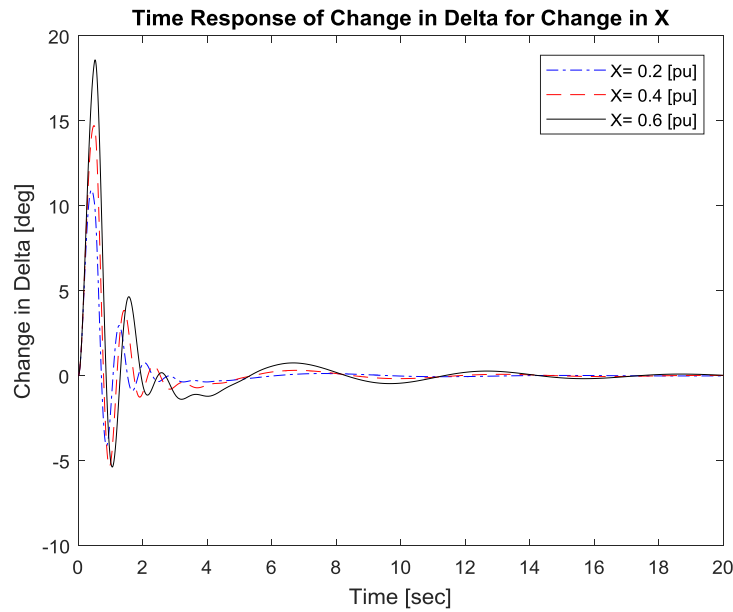
الشكل (17): الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد.

يظهر الشكل (15) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد حيث نلاحظ مع زيادة التحميل ازدياد زمن التجاوز الأعظمي للإشارة، بينما يظهر الشكل (16) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد حيث نلاحظ ازدياد زمن التجاوز الأعظمي للإشارة، ويبين الشكل (17) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد حيث نلاحظ ازدياد التغير بالإشارة بازدياد التحميل.

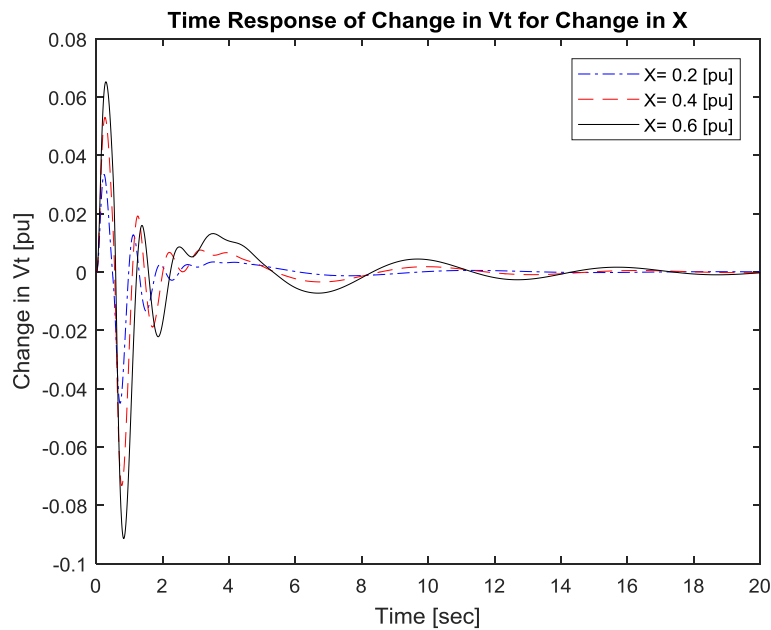
• سندر س أداء /ANFIS/ في حال تغير قيمة المفاعلة المكافئة لخطي النقل (X) /ذلك بوصل خطوط جديدة أو بتغير التردد / وسيتم رسم الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد ( $\delta$ ) والاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد ( $\omega$ ) والاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد ( $V_t$ ) وذلك من أجل تغير قيمة المفاعلة المكافئة لخطي النقل (X) /X=0.2[pu], X=0.4[pu], X=0.6[pu]/



الشكل (18): الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد.



الشكل(19): الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد.



الشكل(20): الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد.

يظهر الشكل (18) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية لدوار المولد حيث نلاحظ مع زيادة قيمة المفاعلة المكافئة يزداد زمن الاستقرار وزمن التجاوز الأعظمي للإشارة، بينما يظهر الشكل(19) الاستجابة الزمنية لتغير زاوية دوار المولد حيث نلاحظ ازدياد زمن التجاوز الأعظمي مع ازدياد قيم  $X$ ، ويبين الشكل (20) الاستجابة الزمنية لتغير الجهد الطرفي للمولد حيث نلاحظ تناقص زمن الاستقرار وازدياد التجاوز الأعظمي مع ازدياد قيمة  $X$ .

**الاستنتاجات والتوصيات:****الاستنتاجات:**

نستنتج من خلال النتائج التي حصلنا عليها:

- 1- يتمتع محمد الاهتزاز المعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة بالقدرة على إمكانية زيادة تحسين الاستقرار الديناميكي بتقليل مطال الاهتزازات الناشئة عن الأعطال وتقليل من التخامد.
- 2- أثبت هذا المخدم المصمم فعالته من أجل حالات عمل مختلفة (زيادة حمولة - تغيير الاستطاعة الردية المولدة - تغيير قيمة المفاعلة المكافئة لخط النقل).
- 3- يعتمد أداء المخدم المصمم على الذكاء الصناعي ويمكن أن يتعلم بشكل مستمر من خلال توسيع قاعدة البيانات المستخدمة للتدريب.

**التوصيات:**

1. الاستفادة من البحث في ربط الذكاء الصناعي مع مخدم الاهتزاز التقليدي.
2. استكمال البحث بدراسة تغييرات كل من P,Q,X معاً.
3. الاستفادة من البحث وتطبيقه في نظام متعدد الآلات من أجل تحسين استقرار أنظمة الطاقة الكهربائية.

**References:**

- [1] J. Machowski, Z. Lubosny, J. W.Bialek, J.R.Bumby, " *POWER SYSTEM DYNAMICS Stability and Control, 3<sup>rd</sup> Edition* ", © 2020 John Wiley & Sons Ltd, USA.
- [2] Mohamed E. El-Hawary, "*Electrical Energy Systems, Second Edition*", © 2008 CRC Press LLC , New York Washington, D.C
- [3] Isa S. Qamber, "*Power Systems Control and Reliability – Electric Power Design and Enhancement*", ©2020 by Apple Academic Press, Inc.
- [4] Chee-Min ong, "*Dynamic Simulation of Electric Machinery* ", © 1998 by Prentice Hall, PTR
- [5] Abhisek Ukil, "*Intelligent Systems and Signal Processing in Power Engineering*", © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- [6] Jyh-Shing Roger Jang , "*Neuro-Fuzzy And Soft Computing* ", © 1997 by Prentice Hall, PTR.
- [7] Kwang Y. Lee, *Fellow IEEE*, Hee-Sang Ko, " *Power System Stabilization Using A Free-Model Based Inverse Dynamic Neuro Controller* ", 0-7803-7278-6/02/\$10.00 ©2002 IEEE
- [8] David E . Rumelhart " *Backpropagation: The Basic Theory* ".
- [9] Da-Zheng Feng, " *Total Least Mean Squares Algorithm*", IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 46, NO. 8, AUGUST 1998.
- [10] Mustafa Al-Hzouri; Ghayth Warkouzak, *Modeling and Imitating the Electrical Power Systems*. Damascus University, 2000.
- [11] Mohamad Abd al-Hamid; Sima Sharouf. *The Settlement of the Electrical Power Systems*. Tishreen University, 2010.