

# تصميم متحكم يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر

الدكتور عباس صندوق \*

الدكتور غيث ورقوزق \*\*

المهندس معنز دبلو \*\*\*

## الملخص:

يقدم البحث منهجية جديدة للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر باستخدام متحكم يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة، وذلك باستخدام المقطع الخافض /Buck-Converter/، لمعرفة فاعلية المتحكم المقترح في التحكم بسرعة محرك تيار المستمر، تم مقارنته بمتحكم /PI/، يعتمد المتحكم المقترح على شبكة عصبونية عائمة تعالج إشارة خطأ السرعة الزاوية للمحرك ومشتقتها وذلك للتحكم بالجهد المغذي للمحرك.

## الكلمات المفتاحية:

نظام القدرة الكهربائية، محرك التيار المستمر، الشبكات العصبونية العائمة /ANFIS/، الذكاء الصناعي (AI)، المقطع الخافض للجهد /Buck Converter/، /PI/.

\* 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 Controller depend in his work on Neural Fuzzy Networks to Control DC Motor's Speed

Dr. Abbas Sandok\*

Dr. Ghaith Warkozek \*\*

Eng. Moataz Dablo \*\*\*

## Abstract:

The Research Presents a New Methodology for Controlling DC Motor's Speed by using Controller Depends on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, using buck converter, to see The Effectiveness of the Proposed Controller in Controlling The Speed of a Dc Motor, Compared to a PI Controller, The Proposed Controller Depends on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System That Processes the Angular Velocity Error Signal of the Motor and its Derivative Signal in order to Control the Voltage That Feeds the Motor.

**Keywords:** Power System, Dc Motor, Electric Power System, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System /ANFIS/, Artificial Intelligence (Ai), Buck Converter /, / PI / .

---

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

## 1- مقدمة:

الآلات الكهربائية تشغل دوراً هاماً في شتى مجالات الحياة ، حيث تستعمل في نظام القدرة الكهربائية، على سبيل المثال كمولد في المحطات الكهربائية من أجل الحصول على القدرة الكهربائية ، وكمحرك في المصاعد الكهربائية من أجل الحصول على القدرة الميكانيكية [1] .

يعتبر التحكم بسرعة المحركات من الأمور الغاية في الأهمية وذلك من أجل الأداء الجيد والفعال للآلة، ومن المعروف عند زيادة التحميل على المحرك تقل السرعة وبنخفاض الحمولة تزداد السرعة، من هنا لابد أن يتم التحكم بسرعة المحرك .

إن استخدام الذكاء الصناعي في مجال التحكم من الطرق الجديدة والحديثة [2,10]، وتزيد من الموثوقية وسرعة معالجة وتقلل من الخطأ البشري، من أجل ذلك سنصمم متحكم يعتمد على الشبكات العصبونية العائمة (والتي هي جزء من تطبيقات الذكاء الصناعي) يهدف إلى تحسين استجابة سرعة المحرك عن طريق التحكم بالجهد المطبق على المحرك، يتم تدريب المتحكم على قيم تعتمد على خبرة نظام الخبير، وتؤخذ من أكثر القيم تداولاً للتحكم بالسرعة، وكذلك الحال بالنسبة لقيم المعالجة لهذه التغيرات.

## 2- هدف البحث:

يتناول دراسة سلوك محرك تيار المستمر وفي هذه الحالة محرك تيار مستمر ذو تهبيح دائم، ودراسة استجابة هذا المحرك لتغيرات الحمل عند تطبيق سرعة معينة مرجعية التي من الممكن أن يواجهها المحرك في عمله، وكيفية الحفاظ على استمرارية عمله بجودة ووثوقية عالية.

يهدف البحث إلى مايلي:

1- الاطلاع على عمل الآلات الكهربائية من خلال معرفة طرق التحكم بها ودور التحكم في مخرجات الآلة الكهربائية.

2- دراسة مبدأ عمل الشبكات العصبونية العائمة وطرق نمذجتها.

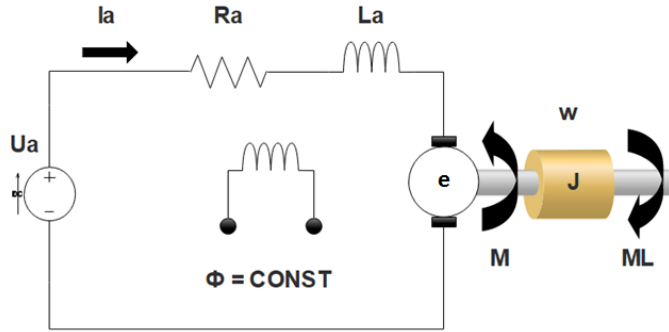
3- إجراء مقارنة بين متحكم /PI/ ومتحكم يعتمد على الشبكات العصبونية العائمة لاختيار الطريقة الأفضل بينهما.

### 3- مواد وطرق البحث:

لقد اعتمدنا في البحث طريقة النمذجة والمحاكاة لمحرك بوضع النموذج الرياضي لمحرك التيار المستمر ذو التهيج الدائم المدروس باستخدام بيئة الـ SIMULINK في برنامج MATLAB ، وتم الاعتماد على الشبكة العصبونية العائمة لتقوم بعملية التعامل مع اشارة خطأ السرعة الزاوية ومشتقتها ومعالجتهما من أجل التحكم، وقد تمت عملية تدريب الشبكة المقترحة باستخدام برنامج الماتلاب.

### 3-1- نموذج النظام المدروس:

يظهر الشكل الدارة المكافئة لآلة التيار المستمر ذات تهيج دائم، حيث تتكون من وشيعة المتحرض ومن القوة المحركة الكهربائية كما يبين الشكل (1):



الشكل (1) دارة آلة تيار مستمر ذات تهيج دائم.

من الدارة المكافئة يمكن أن نكتب في الحالة العابرة عند عمل الآلة كمحرك في الربع الأول من خلال العلاقات التالية:

$$U_a = R_a * I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + e \quad (1)$$

$$M = K * I_a : K = C * \phi \quad (2)$$

$$e = K * w \quad (3)$$

$$\Delta w = w_0 - w \quad (4)$$

$$M_S = M - M_L = J \frac{d w}{d t} \quad (5)$$

باصلاح المعادلة رقم (5)

$$\frac{d w}{d t} = \frac{1}{J} * (M - M_L) = \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) \quad (6)$$

$$w = \int \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) dt \quad (7)$$

نعوض بالمعادلة رقم (3)

$$e = K * \int \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) dt \quad (8)$$

وبالتالي المعادلة رقم (8) تمثل معادلة موديل المحرك والتي سنستخدمها للنمذجة لاحقاً.

في الحالة المستقرة يكون:

$$U_a = R_a * I_a + e \rightarrow U_a - e = R_a * I_a \quad (9)$$

حيث :

ثابت الآلة	$K$
الثابت الميكانيكي للآلة	$C$
عزم الآلة - N.m	$M$
عزم الحمولة - N.m	$M_L$
عزم التسارع - N.m	$M_S$
ثابت العطالة - kg.m <sup>2</sup>	$J$
السرعة الزاوية على فراغ - rad/sec	$w_0$
السرعة الزاوية عند نقطة العمل - rad/sec	$w$

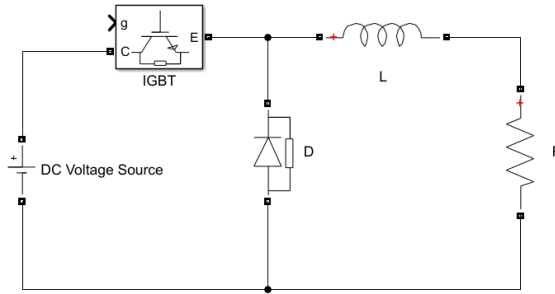
### 3-2- المقطع الخافض:

يبين الشكل (2) دائرة مقطع خافض للجهد /Buck-Converter/، والتي تتكون من جهد الدخل /DC Voltage Source/ وترانزستور وديود، أما الخرج فيكون من حمولة أومية أو تحريضية أو كلاهما، الهدف من دائرة المقطع هو الحصول على جهد خرج  $V_{out}$  أصغر من جهد الدخل  $V_{in}$  وقابل للتغير [3]، حيث العلاقة بينهما هي:

$$V_{out} = \frac{t_{on}}{T} * V_{in} = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} * V_{in} = d * V_{in}$$

حيث :

$V_{in}$	جهد الدخل - volt
$V_{out}$	جهد الخرج - volt
$t_{on}$	زمن تمرير الترانزستور ، حالة الوصل - sec
$t_{off}$	زمن عدم تمرير الترانزستور، حالة الفصل - sec
$T$	الدور - sec
$d$	دور العمل / Duty Cycle /



الشكل (2) دائرة مقطع خافض للجهد

### 3-3- بنية الشبكة العصبونية العائمة (ANFIS) المستخدمة:

هي مزيج من الشبكات العصبونية الاصطناعية والأنظمة العائمة بحيث يتم استخدام خوارزميات الشبكات العصبونية الصناعية لتحديد بارامترات النظام العائم [5].

يكون دخل الشبكة التي لدينا عبارة عن دخلان  $e_w$  و  $e_w$  حيث  $e_w$  هو خطأ السرعة الزاوية لدوران المحرك بين الإشارة المرجعية (المرغوبة) وإشارة خرج النظام الذي لدينا و  $e_w$  هي مشتق خطأ السرعة الزاوية، وخرج الشبكة هي Ref إشار مرجعية تقارن مع تيار المتحرض  $I_a$  وذلك من أجل نبضات المقطع الخافض للجهد، حيث تم جمع المعطيات من حالات مختلفة للحمولة والمعالجة من قبل متحكم PI تقليدي، تم ضرب مشتق السرعة الزاوية بمعامل تخفيض من أجل أن يتلائم مع دخل المتحكم المذكور أعلاه.

لتصميم هذا النظام في بيئة الماتلاب نقوم بكتابة الكود في برنامج الماتلاب:

```
data = anfis(trainingData)
```

عن طريق هذا الكود يولد نظام /ANFIS/ بنوع تاكاجي-سيجونو [4]، ويعمل الكود على ضبط البارامترات ذاتياً باستخدام معطيات التدريب والتي هي دخل وخرج المتحكم ، ومن ثم يتم توليد بنية ANFIS ذاتياص من قبل برنامج الماتلاب، وتخرن ضمن ملف ببرنامج الماتلاب بنافذة Workspace له لاحقه ./fis/.

وخوارزمية التدريب التي يتم استخدامها بالكود هي عبارة عن دمج بين خوارزمية الانتشار الخلفي [6] وطريقة المربعات الصغرى [7].



### 3-4 التدريب:

يتم وضع معطيات التدريب بمصفوفة مكونة من ثلاثة أعمدة ، أول عمودين منها  $e_w$  و  $e_w$  وهما خطأ السرعة الزاوية لدوران المحرك ومشتقه، والعمود الثالث هوة Ref إشار مرجعية تم شرحها أعلاه، ثم نكتب الكود بواجهة الـ *Command windows* ببرنامج الماتلاب

```
data=anfis(Train_Data);
```

وسوف يظهر لنا على نفس الشاشة مايلى موضحة بالشكل (3):

ANFIS info:

```
Number of nodes: 21
Number of linear parameters: 12
Number of nonlinear parameters: 12
Total number of parameters: 24
Number of training data pairs: 55396
Number of checking data pairs: 0
Number of fuzzy rules: 4
```

الشكل (3-a) خرج الماتلاب بعد تنفيذ الكود.

```
Start training ANFIS ...

 1   16.6106
 2   16.5768
 3   16.5439
 4   16.5113
 5   16.4788

Step size increases to 0.011000 after epoch 5.
 6   16.4456
 7   16.4076
 8   16.3673
 9   16.3237

Step size increases to 0.012100 after epoch 9.
10   16.2762

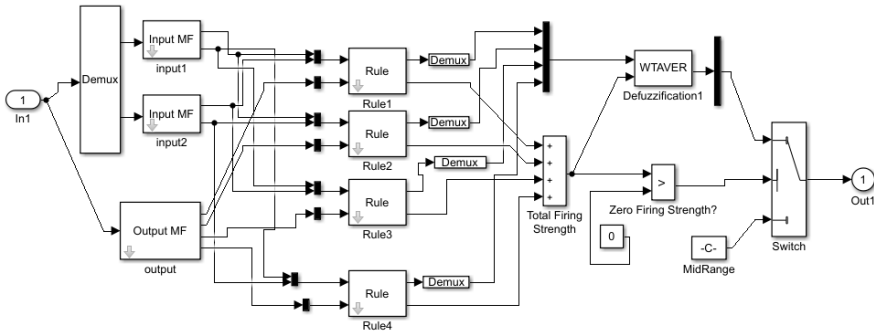
Minimal training RMSE = 16.276241
```

الشكل (3-b) اظهار خرج الماتلاب بعد تنفيذ الكود

وهي عبارة عن تشكيل شبكة *ANFIS* ضمن برنامج الماتلاب مؤلفة من 21 عقدة و 12 بارامتر خطي و 12 بارامتر غير خطي وعدد أزواج التدريب 55396 ومن أربع قواعد عائمة .

والشكل (3-b) بين التدريب لشبكة *ANFIS* حيث يعمل على اظهار قيم الخفاء لمجموعة من القيم المدربة للوصول إلى أصغر قيمة خطأ عند التدريب، ولا نستطيع أن نوقف الكود حتى ينتهي من جميع القيم التي وضعناها للتدريب.

وعندما يتم فتحها من واجهة ال *SIMULINK* كما بالشكل (4):



الشكل (4) شكل شبكة *ANFIS* بعد التدريب.

تتألف شبكة *ANFIS* من عدة طبقات:

الطبقة الأولى (طبقة الدخل) : تتكون من مدخلان وتتعامل مباشرة معهما حيث تقوم هذه الطبقة بحساب نسبة المشاركة لكل مدخل.

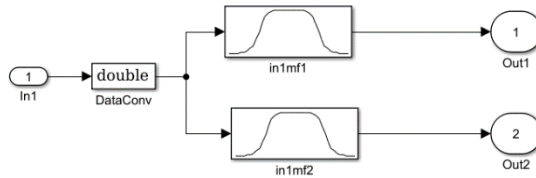
الطبقة الثانية : تقوم بحساب قوة القواعد الموضوعية وتابع الانتماء الموجود بها، والتي في هذه الحالة ولدت ذاتياً من قبل البرنامج.

الطبقة الثالثة : طبقة القواعد حيث تقوم بانجاز عملية AND العائمة، و حساب نسبة قوة قاعدة معينة إلى القواعد الأخرى، وعلاقتها مع بعضها.

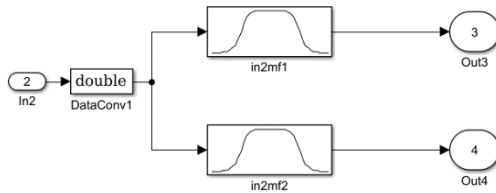
الطبقة الرابعة : تقوم في هذه الطبقة بإضافة بعض المتغيرات التي تسلسل البيانات، وتعمل على دمج القواعد.

الطبقة الخامسة (فك التعويم) : هي الطبقة التي من خلالها يتم تجميع الخرج وينتج الجواب النهائي.

القواعد العائم لهم شكل التابع gbellmf وهو تابع انتماء ذو شكل الجرس [5]، وموضحين بالشكلين رقم (5) ورقم (6).



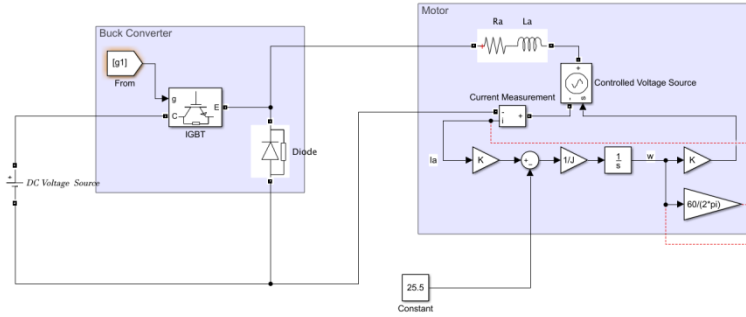
الشكل (5) مكونات بلوك input 1



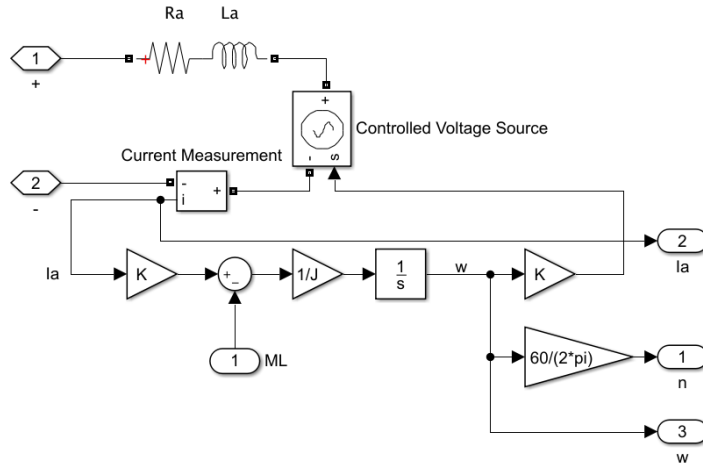
الشكل (6) مكونات بلوك input 2

### 3-5 المحاكاة الحاسوبية:

تم نمذجة الدارة في بنية Matlab-Simulink [8,9]، والمكونة من مقطع خافض للجهد والموضحة بالشكل (7)، ومن دارة محرك تيار مستمر ذو التهيج الدائم مستخدمين المعادلة رقم (8) من أجل نمذجة المحرك والموضحة بالشكل (8)

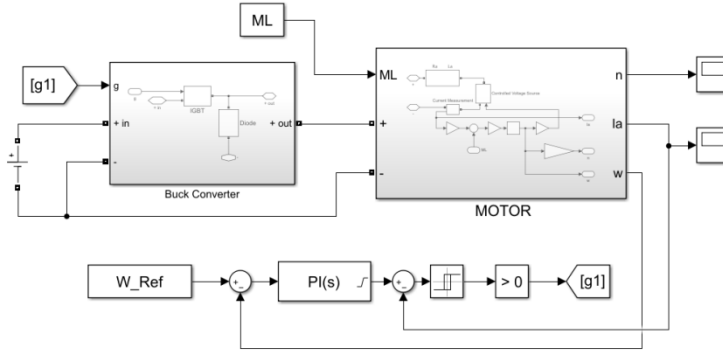


الشكل (7) دارة المقطع الخافض موصولة مع دارة المحرك

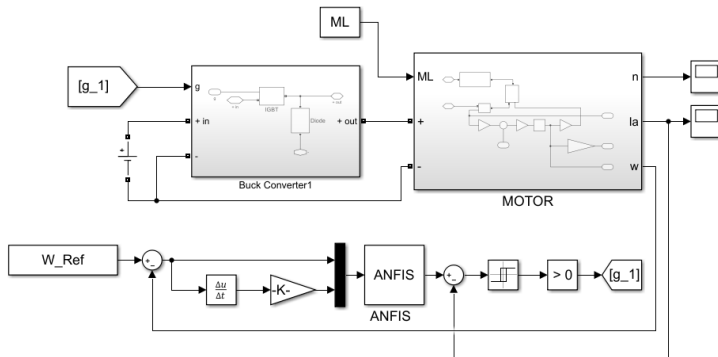


الشكل (8) دارة محرك التيار المستمر ذو التهيج الدائم

ويبين الشكل (9) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم PI ذو ثوابت  $K_p = 50$  و  $K_I = 0.1$ ، ويبين الشكل (10) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم ANFIS المقترح .



الشكل (9) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم PI .

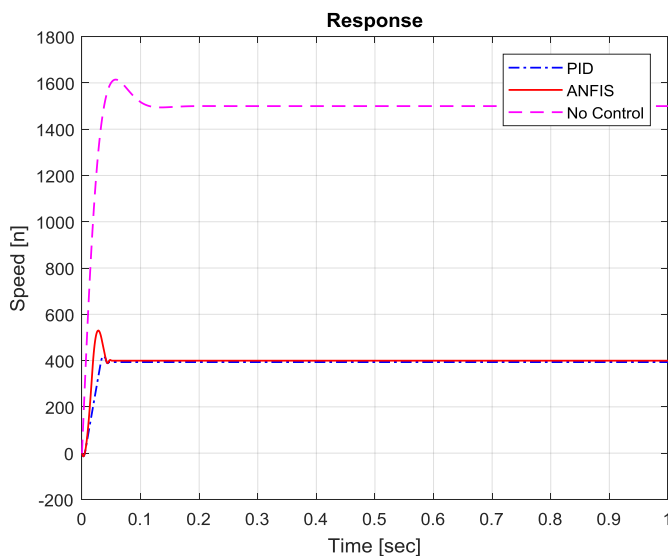


الشكل (10) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم ANFIS .

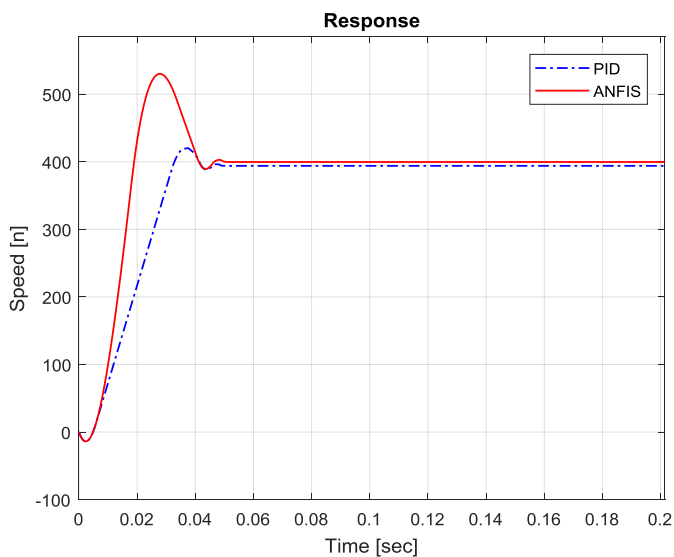
#### 4- النتائج ومناقشتها:

في أغلب الأحيان يطلب من المحركات الكهربائية العمل على سرعات معينة لأحمال معينة أو الحفاظ على سرعة معينة مع تغير الحمل الميكانيكي على خرج المحرك /والذي قد يكون مصعد أو سير ميكانيكي/.

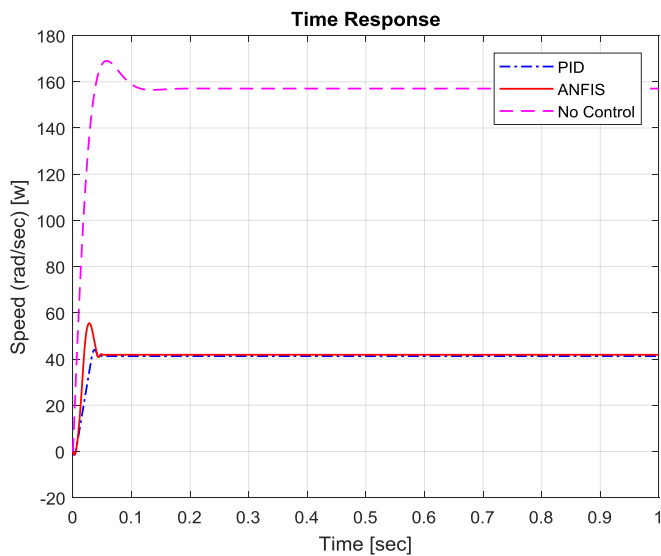
- تم تطبيق الشبكة العصبونية العائمة الناتجة من الكود، والتي تكون بصيغة ملف له لاحقة /fis/ بنافذة Workspace ببرنامج الماتلاب، ومن ثم يتم تحميل الملف / ببرنامج Simlink / على النموذج، ومقارنة الاشارة الناتجة مع اشارة نفس النموذج مع متحكم من نوع PI، تم تطبيق في هذه الحالة حمولة ميكانيكية ثابتة وسرعة مرجعية 400 rpm فكانت الاستجابة كما هو موضح بالأشكال التالية :



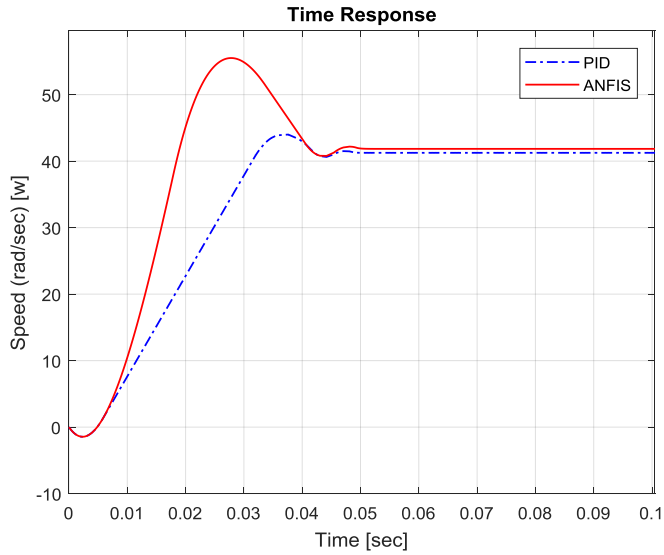
الشكل (11-a) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك.



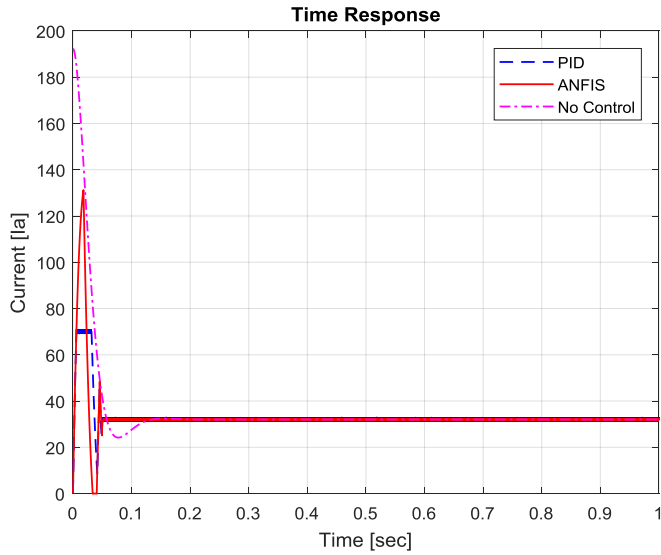
الشكل (11-b) الاستجابة الزمنية لتغيير سرعة المحرك



الشكل (12-a) الاستجابة الزمنية لتغيير السرعة الزاوية للمحرك.

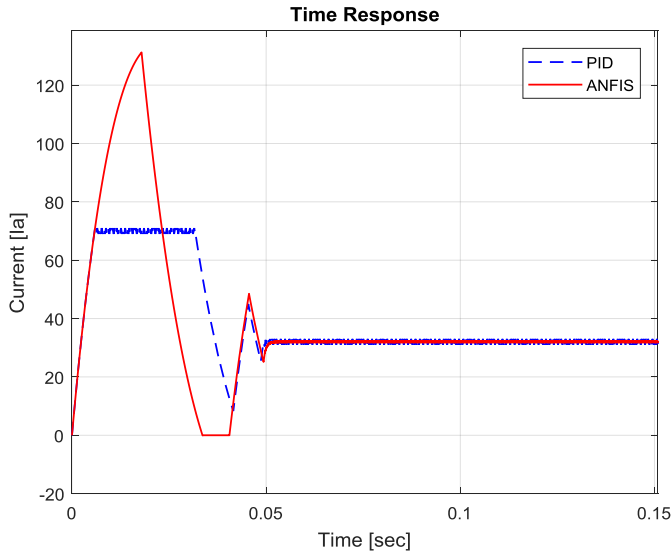


الشكل (12-b) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك



الشكل (13 -a) الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك.

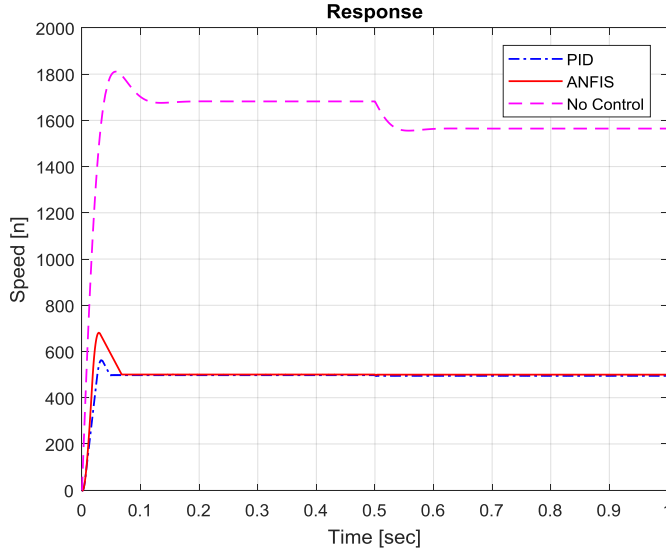




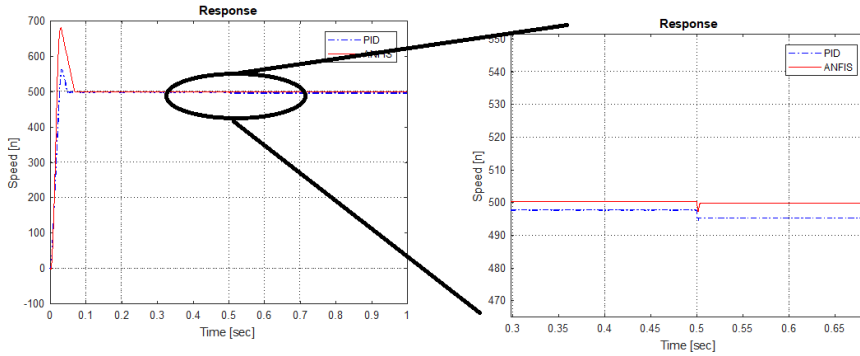
الشكل (b- 13) الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك.

في مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (11) a و b / نرى أن منحنى السرعة بوجود المتحكم المقترح /ANFIS/ وصل للسرعة المرجعية /400 rpm/ أما منحنى السرعة بوجود المتحكم /PI/ وصل لسرعة أقل من السرعة المرجعية، وفي مخطط الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل (12) a و b / نرى أن منحنى السرعة الزاوية بوجود المتحكم المقترح وصل للسرعة الزاوية المرجعية /41.88 rad/sec/ التي تقابل السرعة المرجعية /400 rpm/، أما منحنى السرعة الزاوية بوجود المتحكم /PI/ وصل لسرعة زاوية أقل، ونرى في مخطط الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك /والموضحة بالشكل (13) a و b / أن تغير التيار بوجود المتحكم المقترح له تجاوز أعظمي كبير ويستقر بعد الوصول للسرعة المرجعية المطلوبة، أما بوجود المتحكم /PI/ نرى أن التيار قيمه متغيره غير مستقره حتى بعد زمن 0.05 . sec

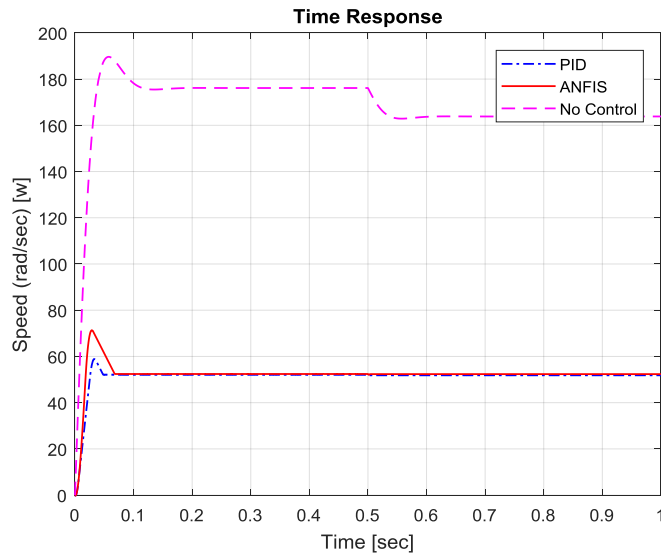
- سندرس أداء المتحكم ببنية /ANFIS/ في حال زيادة التحميل من /10 Nm/ إلى /20 Nm/ مع تثبيت سرعة المحرك على سرعة مرجعية 500 rpm، سيتم رسم الاستجابة الزمنية للسرعة والسرعة الزاوية وتيار المتحرض للمحرك.



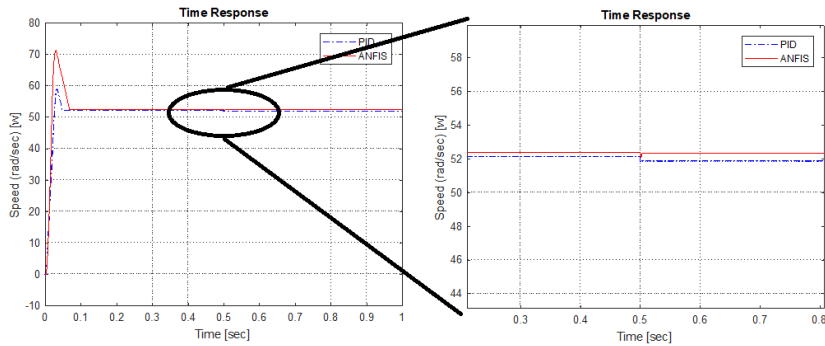
الشكل (14-a) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



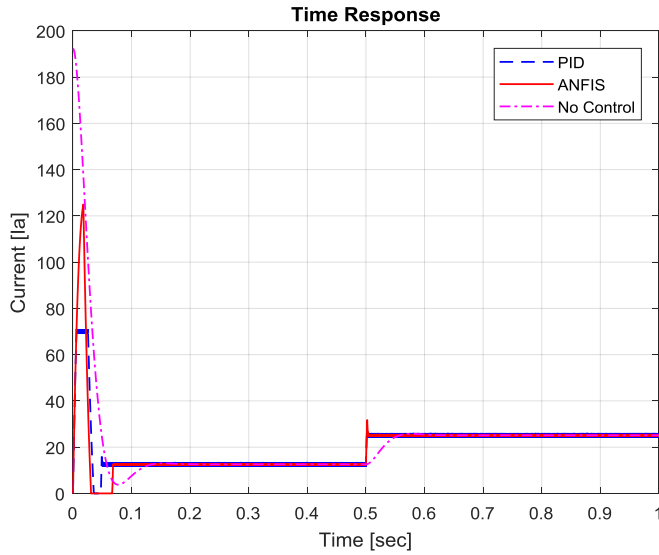
الشكل (14-b) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



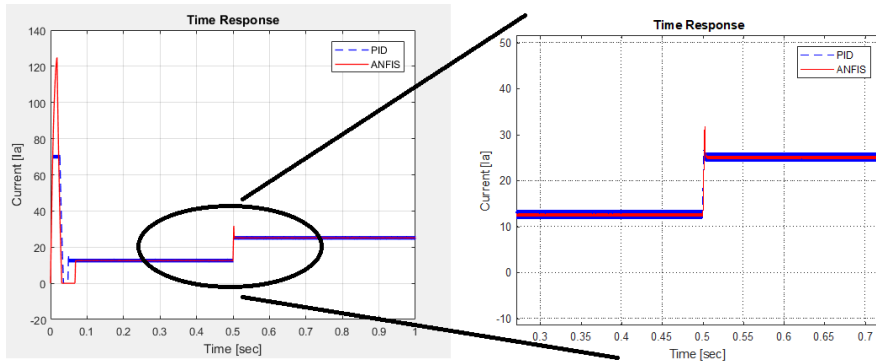
الشكل (15-a) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك



الشكل (15-b) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك.



الشكل (16-a) الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.



الشكل (16-b) الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.

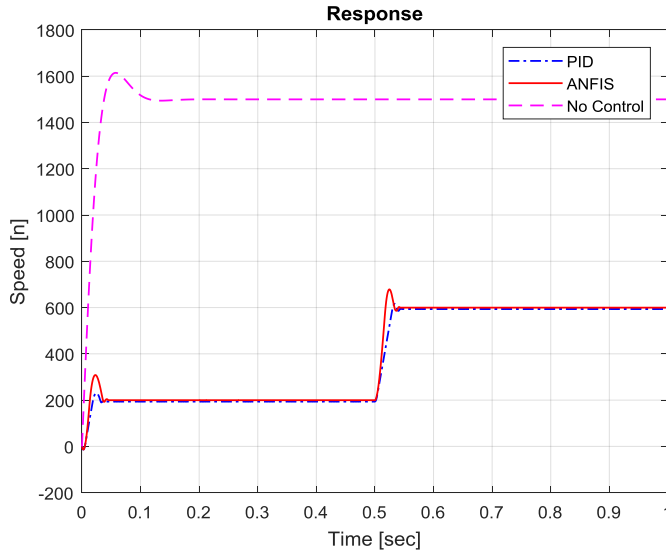
في حال زيادة التحميل من 10 إلى 20 Nm مع تثبيت سرعة المحرك على سرعة مرجعية /500 rpm/ ، نرى أن مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (14) a و b/ وتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل (15) a و b/ وتغير تيار المتحرض للمحرك /والموضح بالشكل (16) a و b/ نجد

أن إشارة النموذج الذي يحتوي المتحكم المقترح /ANFIS/ أفضل وزمن العودة للسرعة المطلوبة أقل من إشارة النموذج الذي يحتوي على متحكم /PI/ التي تكون أقل استقراراً. ونلاحظ عند تغير الحمل في الزمن /0.5 sec/ من 10 إلى 20 NM أن النموذج الذي يحوي المتحكم /ANFIS/ استغرق بمعالجة التغير زمن أقل من النموذج الذي يحوي المتحكم /PI/ موضحين بالجدول (1):

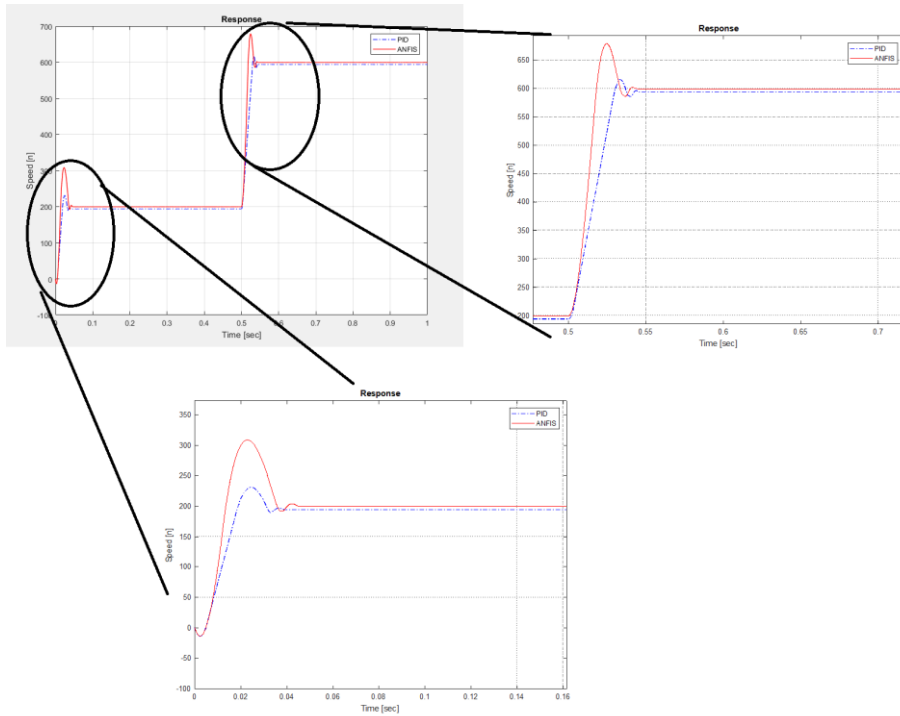
جدول (1) الزمن المستغرق لمعالجة التغير

المتحكم	زمن الذي يستغرقه المتحكم لمعالجة تغير الحمولة
ANFIS	بحدود 0.005 sec
PI	أكبر من 0.2 sec

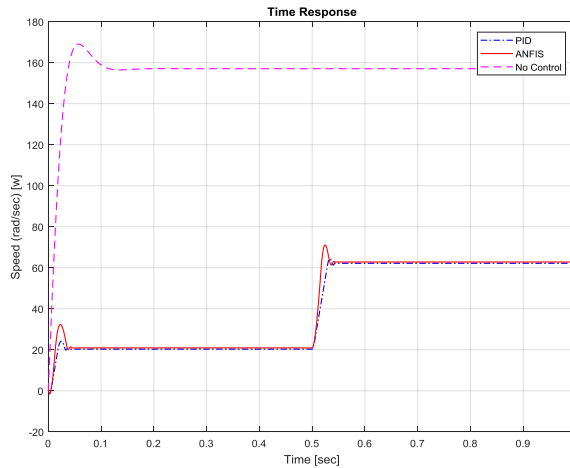
- سندرس أداء المتحكم ببنية /ANFIS/ في حال تغير السرعة من /200 rpm/ ولغاية /600 rpm/ مع ثبات الحمولة، سيتم رسم الاستجابة الزمنية للسرعة والسرعة الزاوية وتيار المتحرض للمحرك.



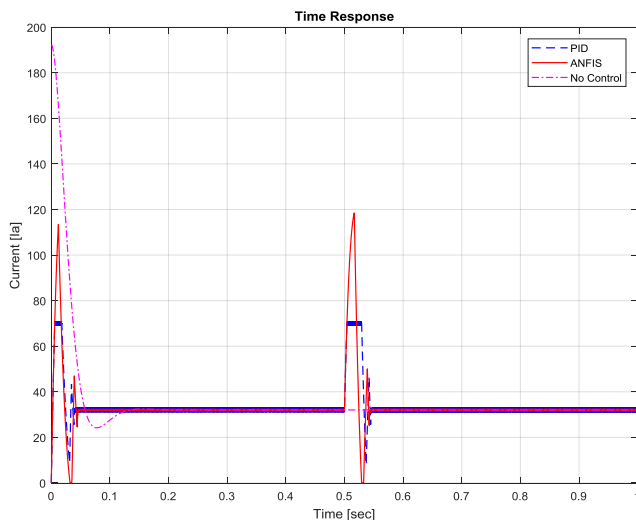
الشكل (17-a) : الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



الشكل (17-b) : الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



الشكل (18) : الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك.



الشكل (19) : الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.

في حال تغير السرعة من 200 إلى 600 rpm في اللحظة (0.5 sec) مع ثبات الحمولة نرى أن مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (17) a و b/ وتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل(18)// وتغير تيار المتحرض للمحرك /والموضح بالشكل (19)// نجد أن إشارة النموذج الذي يحتوي المتحكم المقترح /ANFIS/ أفضل أيضاً وأكثر استقراراً وانسيابية من نفس النموذج الذي يحتوي على متحكم /PI/.



## 5- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

نستنتج من خلال النتائج التي حصلنا عليها:

- 1- يتمتع المتحكم المعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة بالقدرة على تحسين أداء المحرك .
- 2- كان أداء المتحكم المصمم أفضل من المتحكم التقليدي وذلك لوصوله إلى القيمة المرجعية بحالات عمل مختلفة.
- 3- يعتمد أداء المتحكم 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 متحكم /PI/ .
- 2- استكمال البحث بدراسة تغيرات الأعطال على المحركات.
- 3- تطبيق المتحكم على المحرك التحريضي.
- 4- الاستفادة من البحث وتطبيقه في نظام الطاقة البديلة /الطاقة الشمسية/.

## 6- المراجع:

- [1] ONG C, 1998 – Dynamic Simulation of Electric Machinery.  
Prentice Hall, PTR, New Jersey USA, 643p.
- [2] UKIL A, 2007 – Intelligent Systems and Signal Processing in Power Engineering. Springer, NewYork USA, 379p.
- [3] RASHID M, 2001 – POWER ELECTRONICS HANDBOOK.  
ACADEMIC PRESS, NewYork USA, 892p.
- [4] JANG J, 1993 – ANFIS: Adaptive Network based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, VOL.23, NO.3.
- [5] JANG J, 1997 – Neuro Fuzzy And Soft Computing. Prentice Hall, PTR, USA, 640p.
- [6] E.RUMELHART D – Backpropagation: The Basic Theory .
- [7] FENG D, 1998 – Total Least Mean Squares Algorithm, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL.46, NO.8.
- [8] ALHAZORY M, WARKOZEK G, 2020 – Modelling and Simulation of Electric Power Systems. Damascus University, First Edition,335p. **In Arabic**

[9] MERHEJ M, 2017 – Electric Power Systems Modeling and Simulation. Tishreen University,261p. **In Arabic**

[10] Al-Masoud T,2018 – Design Fuzzy Logic Controller Logical to Control Motor DC, Al-Baath University Journal, Vol.40, NO.61. **In Arabic**

