

## المتحكم الأمثل للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر باستخدام الشبكات العصبية المضببة

م.م. حميد علي محمد الجبوري  
جامعة تكريت/كلية هندسة النفط والمعادن/  
قسم السيطرة والحاسبات  
hamed.ali8822@ yahoo.com:

أ.م.د. علي حسين احمد الحديدي  
جامعة الموصل/كلية الهندسة قسم الكهرباء  
ah\_control 2007@ yahoo.com:

### الخلاصة

العمل الحالي يتناول دراسة سرعة محرك تيار مستمر مسيطر عليه باستخدام المغير الخافض الرفع واختبار نظام الحلقة المفتوحة. محكم الشبكات العصبية المضببة صمم باختيار عشوائي لعدد ونوع الدوال العضوية للتحكم بسرعة محرك التيار المستمر. بسبب عدم وجود طريقة واضحة ومعروفة لاختيار عدد ونوع دوال العضوية في حالة استخدام المحكم المضبب, لقد تم تطوير نظام الاستدلال الضبابي المستند على الشبكات العصبية التكيفية والذي يربط بين بنية الاستدلال الضبابي وقابلية التعلم للشبكات العصبية التكيفية وذلك للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر. التقنية استخدمت لاختيار أحسن عدد وأفضل نوع من دوال العضوية للمنظومة المضببة. العملية تمت من خلال اختيار أربعة أنواع من دوال العضوية وبأعداد مختلفة (7,5,3) لكل نوع ومن ثم حساب الخطأ النسبي لكل حاله ومقارنة النتائج لاختيار الأقل من بينهم. ومن ثم استخدام المسار المختار للسيطرة على سرعة المحرك في ما تبقى من وقت العمل. التقنية المطورة استخدمت للسيطرة على سرعة محركين مختلفين في الخصائص ومتشابهين في النوع. الكلمات الدالة: الشبكات العصبية المضببة, محرك التيار المستمر, السيطرة التكيفية, المغير الخافض الرفع.

## Optimal Neuro-Fuzzy D.C. Motor Speed Control

*Assist proof. Dr. Ali H. Al-*

*Elect. Eng. Dept. Collage of Eng.  
University of Mosul*

*Assist lecture. Hameed A.*

*Control & Computer Eng. Dept.  
College of Petroleum & Minerals Eng.  
Tikrit University*

### Abstract

This work deals with investigating of d.c. motor speed controlled by a buck-boost converter. Open loop system is tested. Aneuro-Fuzzy controller with random number and type of membership function is designed to control the speed of the d.c. motor as a closed loop system. Because of the lack of a clear and a known way for selecting the type and number of membership function in case of fuzzy control, An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System which comprises a fuzzy inference structure and neural network learning ability is modified to control the speed of the motor. The technique is used to select the optimal number and the best type of membership function for the fuzzy system. The process is carried out through testing four types of membership functions with different numbers (3,5,...etc) for each type and computing the absolute error for each case comparing their results to choose the smallest among them. Then the chosen root is applied to control the system for the rest time of control. The technique is applied to two loads (motors).

## المقدمة

تلعب المحركات الكهربائية دوراً مهماً في الصناعة، حيث تستعمل لتوليد في السيارات الكهربائية في محطات القدرة، فضلاً عن كونها تزود بالقدرة الميكانيكية التي نحتاجها في الكثير من الصناعات، كما أنها تعد جزءاً لا غنى عنه في حياتنا اليومية حيث أن أغلب الأجهزة المنزلية تعتمد في عملها على المحركات الكهربائية.

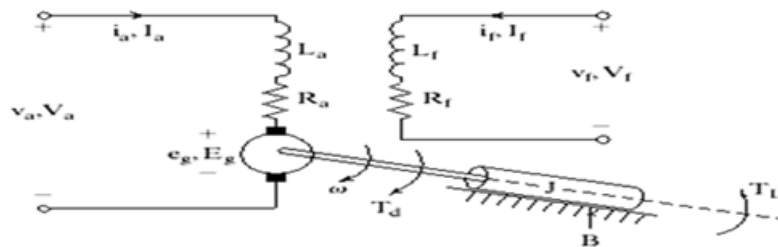
تطرق كثير من الباحثين إلى تصميم مسيطر ضبابي يستند على الشبكات العصبية التكيفية (Neuro-Fuzzy Controller) وبمجالات وتطبيقات مختلفة فمثلاً قام الباحثان (Jun Oh JANG and Pyeong Gi LEE) بتطوير جهاز سيطرة ضبابي مستند على الشبكات العصبية التكيفية لتعويض الاحتكاك في نظام محرك التيار المستمر، حيث تم اختيار خمس دوال عضوية نوع (Gaussian) وبشكل عشوائي. كما قام الباحثون (Adriana Florescu, Ovidiu Grigore, Dan Alexandru Stoichescu, Alexandru Vasile) بتصميم نظامين للسيطرة أولهما هو المسيطر الضبابي وثانيهما مسيطر الشبكات العصبية المضطربة، حيث تم اختيار نوع وعدد دوال العضوية بشكل عشوائي. كما قام الباحثون (Ferenc Farkas, Sandor Halasz, Istvan Kadar) بعرض مسيطر الشبكات العصبية المضطربة للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر نوع الفرشاة، كما في البحوث السابقة فقد تم اختيار نوع وعدد دوال العضوية بشكل عشوائي حيث كانت خمس دوال عضوية من نوع المثلثي في كل من الإدخال والإخراج [1,2,3,4].

نلاحظ من الأعمال السابقة التي تم استعراضها أن عملية اختيار نوع وعدد دوال العضوية جرت بطريقة عشوائية ومن دون حسابات مدروسة، أما البحث الحالي فيقترح تقنية جديدة على أساسها يتم اختيار عدد ونوع دوال العضوية للحصول على أحسن استجابة (أقل خطأ ممكن بين السرعة الحقيقية للمحرك والسرعة المرجعية). إننا في الكثير من التطبيقات بحاجة إلى تثبيت سرعة المحرك عند سرعة معينة وعلى هذا الأساس برزت الحاجة إلى بناء منظومة سيطرة تقوم بهذا العمل، حيث تتكون المنظومة التي تم بنائها من جزأين رئيسيين هما منظومة القدرة ومنظومة السيطرة.

## 1 منظومة القدرة Power System

تتكون منظومة القدرة من محرك التيار المستمر، ومغير التيار المستمر الخافض الرفع (Buck Boost Converter):  
أ- محرك التيار المستمر:

في هذا البحث تم اختيار نموذجين من محرك التيار المستمر ذي الإثارة المنفصلة، حيث الشكل (1) يبين الدائرة الكهربائية المكافئة لكل من المنتج والمجال للمحرك.



شكل (1) الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك تيار مستمر منفصل الإثارة

وان المصفوفات التي تصف عمل المحرك فهي كما مبين في أدناه:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{\omega}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_a & -k_b \\ L_a & L_a \\ k_b & -B \\ J & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ L_a & 0 \\ 0 & -1 \\ J & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ T_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

$i_a$ : تيار المجال

$L_a$ : محاثة المنتج

$R_a$ : مقاومة المنتج

$K_b$ : ثابت التناسب بين تيار المجال وعزم المحرك.

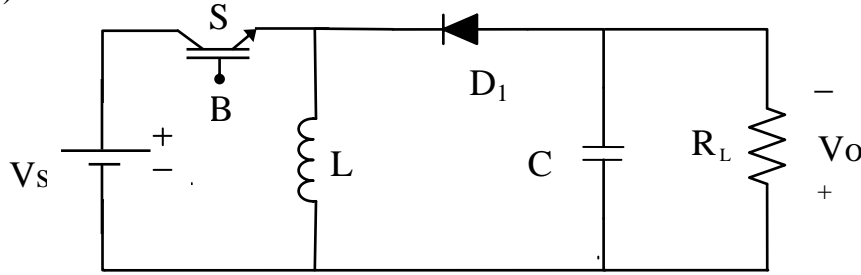
$\omega_m$ : سرعة المحرك.

$J$ : عزم القصور الذاتي للمحرك.

**ب- المغير الخافض الرفع Buck Boost Converter**

في هذا البحث تم استخدام المغير الخافض- الرفع (Buck-Boost Converter) وذلك للتحكم بفولتية المنتج عن طريق التحكم بزواوية قذح الترانسيستور لمغير التيار المستمر مما يؤدي إلى الحصول على مدى واسع من السرعة. حيث بالإمكان الحصول من خلال المغير على فولتية إخراج  $V_o$  أقل أو أعلى من فولتية الإدخال  $V_s$  وبقطبيه معاكسة، ويبين الشكل (2) الهيئة العامة للدائرة. وهذا النوع من المغيرات يكون حساسا جدا بتغير قيمة فترة توصيل الترانسيستور  $(\alpha)$ ، إذ إن معدل فولتية الإخراج هو [5,6,7]:

$$V_o = - \frac{\alpha \cdot V_s}{(1 - \alpha)} \quad \dots\dots(2)$$



الشكل (2) الهيئة العامة لدائرة المغير الخافض الرفع

بالإمكان كتابة مصفوفات عامة تضم حالتتي عمل الترانسيستور وبدلالة نسبة فترة التوصيل  $(\alpha)$  كما مبين أدناه [5].

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-(1-d)}{L} \\ \frac{(1-d)}{C} & \frac{-1}{(R_L \cdot C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot V_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

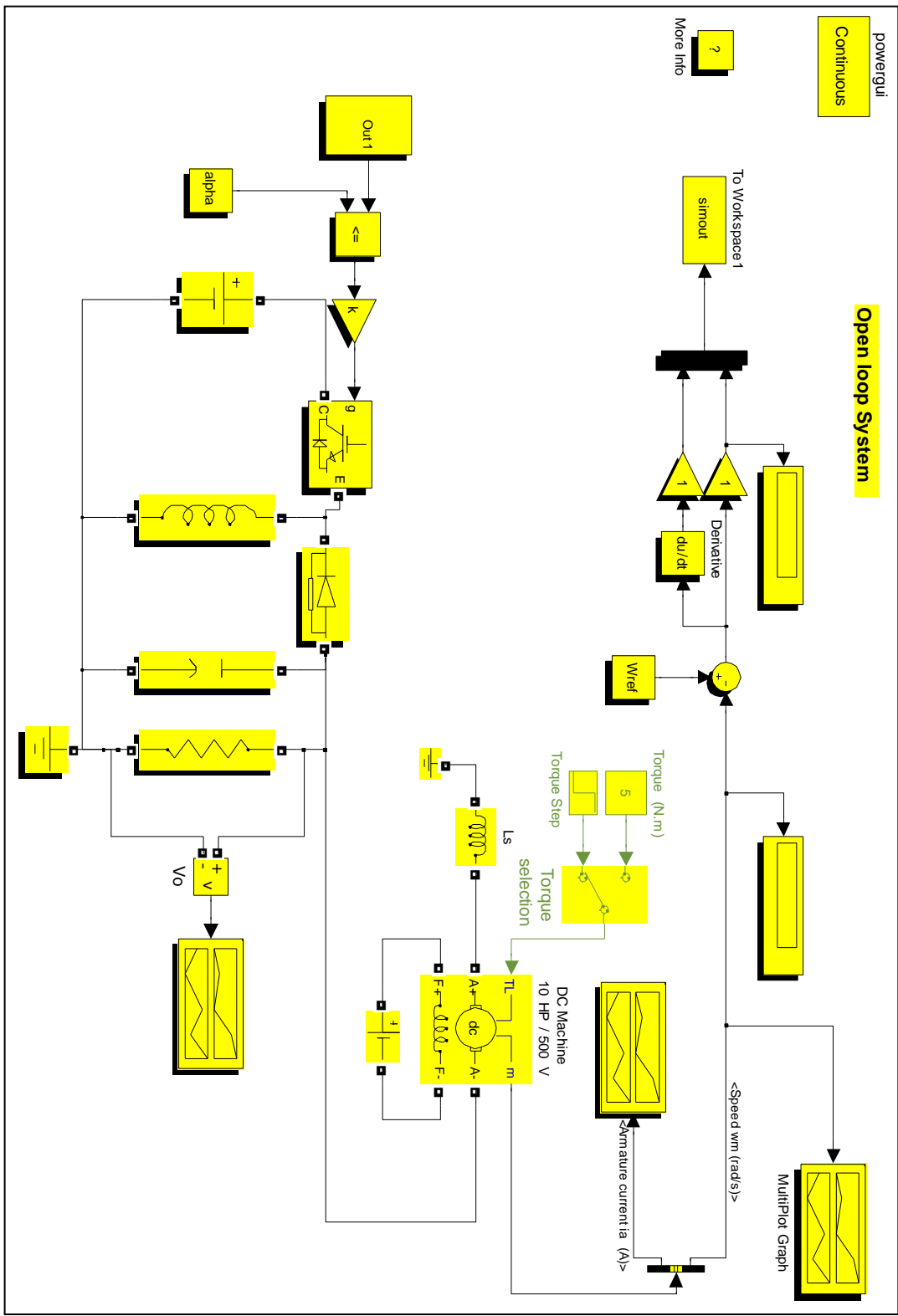
**ج- المعادلات الرياضية العامة للنظام:**

يمكن كتابة المعادلات الديناميكية للمنظومة بشكل كامل (محرك التيار المستمر مع المغير الخافض الرفع) بشكل مصفوفات و كما يأتي:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-(1-\alpha)}{L} & 0 & 0 \\ \frac{(1-\alpha)}{C} & \frac{-1}{(R_L \cdot C)} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_a} & \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-k_b}{L_a} \\ 0 & 0 & \frac{k_b}{J} & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\alpha}{L} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ T_L \end{bmatrix} \quad y = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

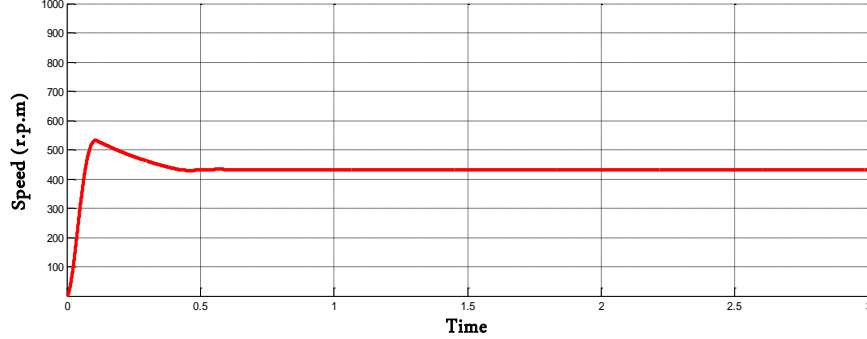
**د- استجابة نظام الدائرة المفتوحة:**

الشكل (3) يبين المخطط الكتلي لنظام الدائرة المفتوحة والذي يجمع بين محرك التيار المستمر ومغير التيار المستمر (الخافض الرفع). كما يمكن ملاحظة ان هناك دائرة لتوليد النبضات. إذ تم استخدام نموذجين من نماذج محرك التيار المستمر الموجودة في بيئة (Matlab/Simulink) بأحجام وعناصر مختلفة.



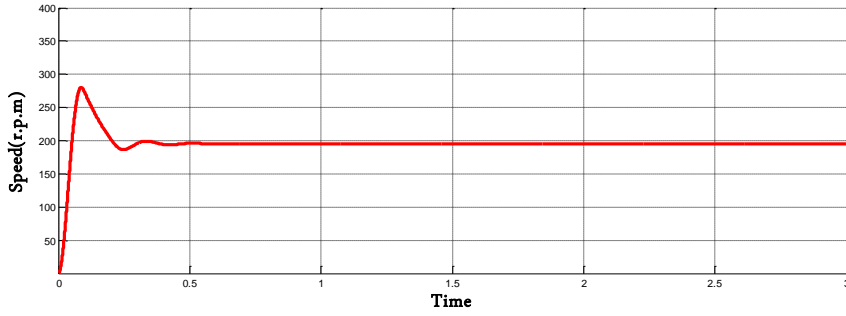
شكل (3) المخطط الكلي لنظام الدائرة المفتوحة

الشكل (4) يبين استجابة محرك التيار المستمر كنظام دائرة مفتوحة , فلقد تم تسليط نسبة فترة توصيل بمقدار (50%) حيث نلاحظ أن قيمة تجاوز الحد وصلت إلى (23%) وهذه تعتبر نسبة عالية. كما نلاحظ أن الاستجابة تأخذ وقتاً طويلاً من أجل أن تصل إلى حالة الثبوت, حيث يحتاج النظام إلى (0.5 sec) وبالتالي فإننا نحتاج إلى نظام سيطرة يحسن من استجابة النظام ويوصل به إلى السرعة المطلوبة بأسرع وقت ممكن وأقل قيمة لتجاوز الحد .



شكل(4) استجابة سرعة المحرك الاول عند ( $\alpha=50\%$ )

الشكل (5) يبين استجابة النموذج الثاني لمحرك التيار المستمر, كما تم تسليط نسبة فترة توصيل بمقدار (50%) حيث نلاحظ أن قيمة تجاوز الحد وصلت إلى (43.6%) وهذه تعتبر نسبة عالية أيضاً . وأن الاستجابة وصلت إلى حالة الثبوت بزمن حوالي (0.37 sec).



شكل(5) استجابة سرعة المحرك الثاني عند ( $\alpha=50\%$ )

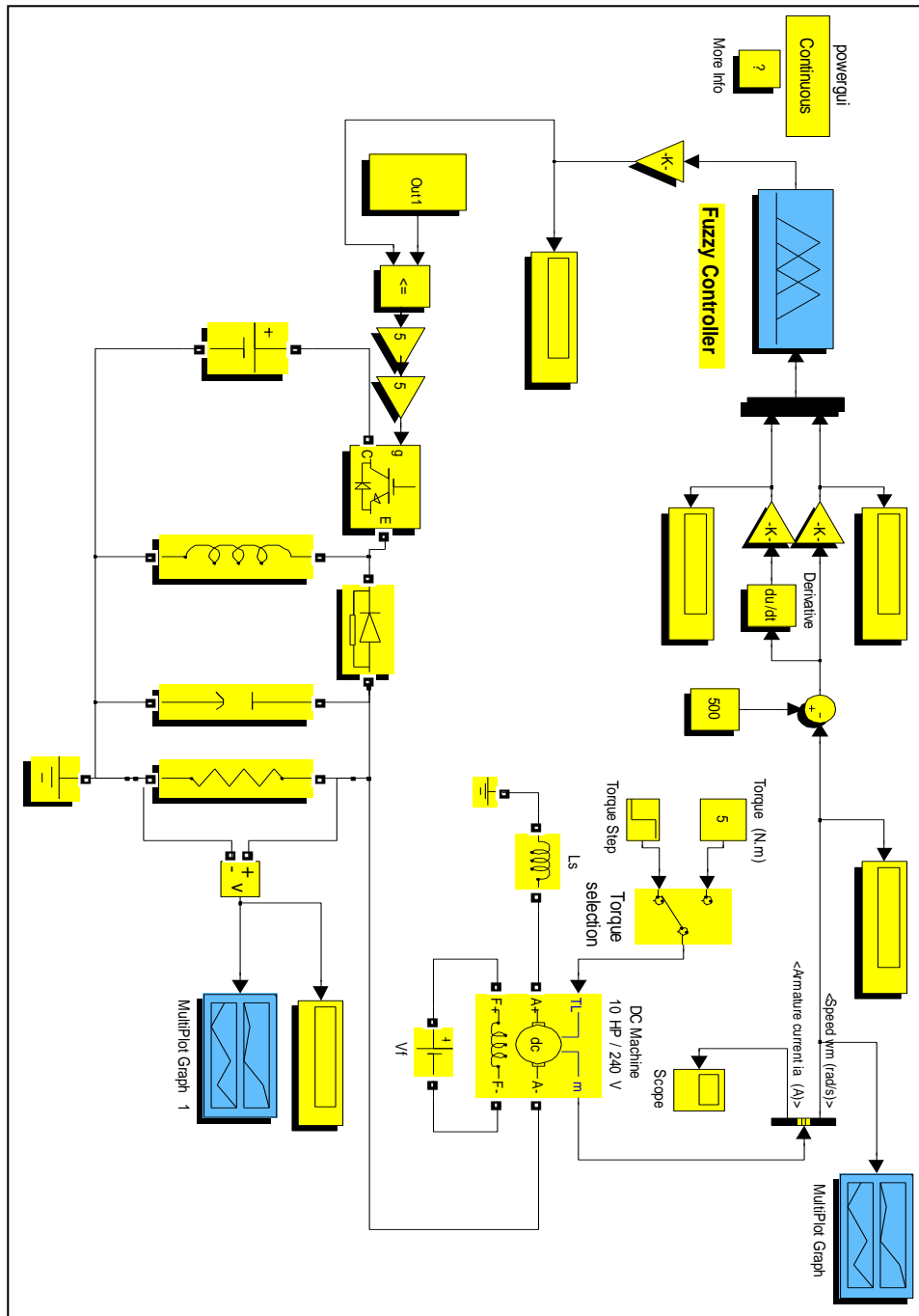
## 2\_ منظومة السيطرة:

هناك تقنيات عديدة للسيطرة في هذا المجال وقد تم تناول اثنتان منها في البحث الحالي:

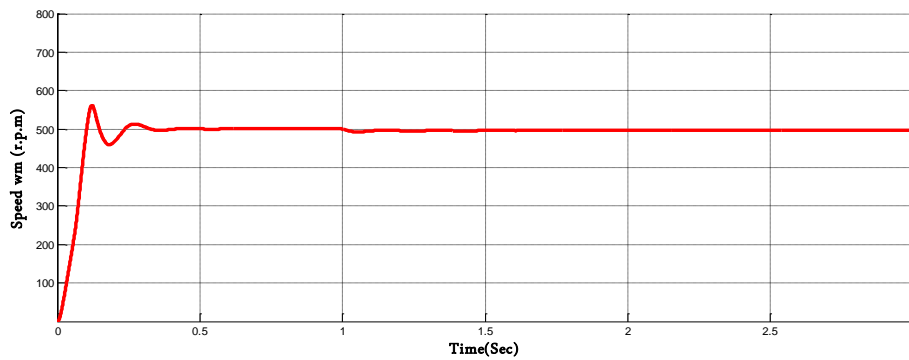
### أ- المسيطر الضبابي Fuzzy Controller :

إن السيطرة المضببة ذات كفاءة عالية, وإنها تستخدم التعابير اللغوية البسيطة بدلاً من المعادلات الرياضية الصعبة المعقدة ولكن من مساوئها صعوبة تضبيب الدوال العضوية لها وصعوبة تضبيب العناصر الخاصة بها, ومقدار التداخل في ما بينها بحيث إنها تعتمد على خبرة المصمم وهذه تعد من المسائل الصعبة فضلاً عن هدر أوقات كبيرة في تضبيب قيم الكسب عشوائياً. والشكل (6) يبين نظام الدائرة المغلقة مع المسيطر الضبابي التي تم بنائها [8,9,10].

الشكل (7) يمثل استجابة النموذج الاول لمحرك التيار المستمر وعند سرعة مرجعية ( $500 r.p.m$ ) حيث تم تنعيم كل من كسب الإدخال و الإخراج يدويا وعند ثلاث دوال عضوية من نوع المثلي. نلاحظ انه عند تغيير الحمل الخارجي المسلط ( $T_L$ ) من (5N.m إلى 25 N.m) أن المسيطر استطاع أن يرجع بالنظام إلى السرعة المرجعية ويتجاوز التشوه الحاصل في الاستجابة جراء تغيير عزم الحمل المسلط بشكل جيد. وبقيمة تجاوز الاحد (12.7%) وهي نسبة رديئة نوعاً ما .

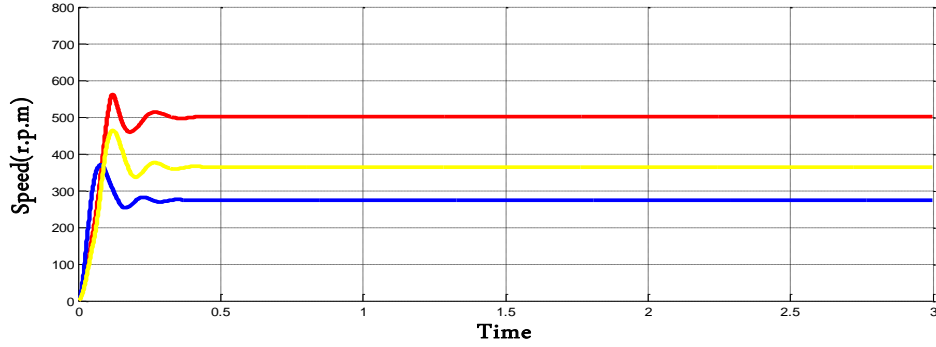


شكل (6) المخطط الكائني النظام الدائرة المعقدة مع المسيطر الضبابي



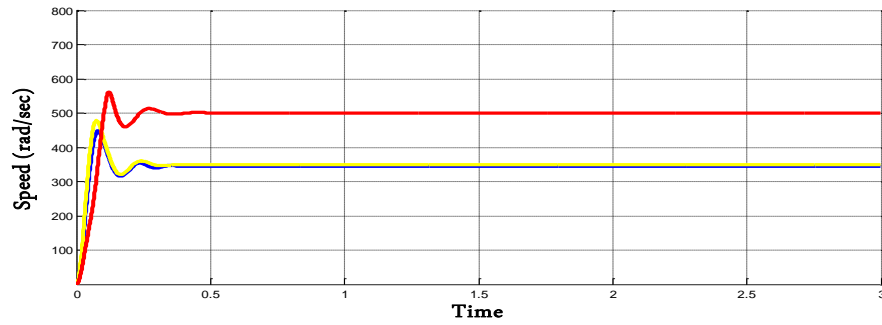
الشكل (7) استجابة السرعة باستخدام المسيطر الضبابي وعند سرعة مرجعية (500 r.p.m)

الشكل (8) يبين استجابة السرعة عند تثبيت قيم الكسب إلى القيم التي تم الحصول من خلالها على السرعة المرجعية (500 r.p.m) ومن ثم تغيير السرعة المرجعية إلى (750 r.p.m) مع الإبقاء على قيم الكسب ثابتة نلاحظ أن الاستجابة تدهورت ولم تصل إلى السرعة المرجعية حيث أصبح خطأ حالة الثبات مساوٍ لـ ( $ess=28\%$ ) كما مبين باللون الأصفر. أما الاستجابة المبينة باللون الأزرق فتمثل الاستجابة عند تغيير السرعة المرجعية إلى (1000 r.p.m). حيث نلاحظ أنه عند تغيير السرعة المرجعية تدهورت الاستجابة, وعدم وصولها إلى السرعة المرجعية بحيث أصبح خطأ حالة الثبات مساوٍ لـ ( $ess=45.2\%$ ) وهذا يدل على أن المسيطر الضبابي لا يكفي نفسه مع تغيير السرعة المرجعية وهذه الحالة تعد إحدى مساوئ هذا النظام.



الشكل (8) استجابة سرعة المحرك عند سرع مرجعية مختلفة

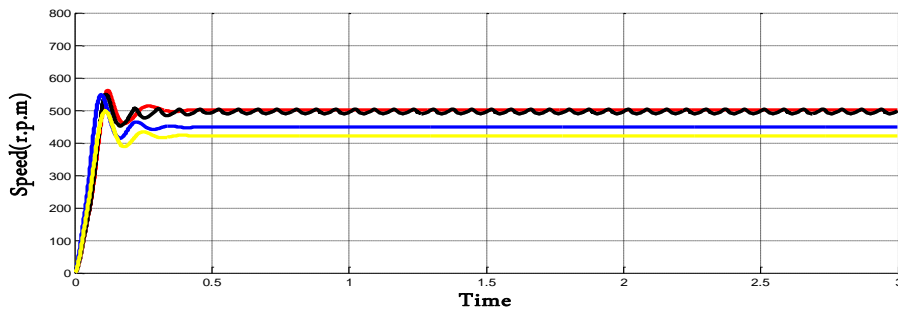
الشكل (9) يبين استجابة النظام عند استخدام ثلاث دوال عضوية نوع المثلي كما مبين باللون الأحمر, وهي الاستجابة نفسها التي تم تنعيم قيم الكسب عندها, ومن ثم تم استخدام أعداد مختلفة من دوال العضوية حيث كانت الاستجابة باللون الأزرق هي الاستجابة عند خمس دوال عضوية أما الاستجابة باللون الأصفر فهي عند سبع دوال عضوية.



الشكل (9) استجابة سرعة المحرك عند أعداد مختلفة من دوال العضوية

من الشكل (9) نلاحظ أن نظام السيطرة الضبابي لا يتكيف مع تغيير عدد دوال العضوية فيتغير عدد دوال العضوية تختلف قرارات المسيطر الضبابي مما أدى إلى توليد هذه الاستجابات الرديئة.

الشكل (10) يبين استجابات النظام عند ثلاث دوال عضوية وبأنواع مختلفة. حيث الاستجابة باللون الأحمر هي الاستجابة عند دوال عضوية نوع المثلي وهو النوع الذي تم تنعيم قيم الكسب عنده, أما الاستجابة باللون الأزرق فهي عند دوال عضوية نوع (شبه المنحرف) التي نلاحظ فيها زيادة في قيمة خطأ حالة الثبات. وكذلك الحال بالنسبة للأنواع الأخرى كما مبين بالشكل حيث الاستجابة باللون الأصفر عند دوال عضوية نوع ( $gbell$ ) و الاستجابة باللون الأسود عند دوال عضوية نوع ( $Gaussian$ ). مما سبق نلاحظ أن النظام لا يكفي نفسه مع تغيير نوع دوال العضوية

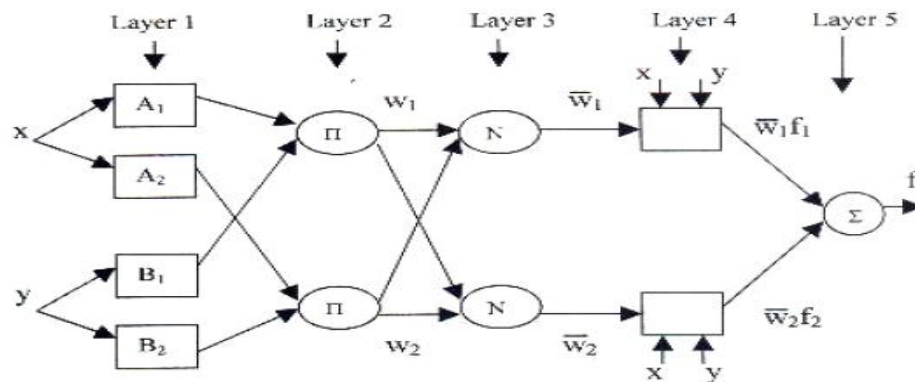


شكل (10) استجابة سرعة المحرك عند أنواع مختلفة من دوال العضوية

نلاحظ مما سبق أن المسيطر الضبابي مسيطر متين حيث قام بتحسين استجابة النظام بشكل جيد كما أنه استطاع أن يحافظ على استقرارية النظام بعد تسليط عزم حمل إضافي. لوحظ أن المسيطر قام بتقليل خطأ حالة الثبوت إلى قيم قليلة جداً، مما أدى إلى الوصول إلى السرعة المرجعية المطلوبة، وبالرغم من هذه المحاسن لاحظنا أن المسيطر لم يكيف نفسه مع تغيير السرعة المرجعية أو تغيير نوع أو عدد دوال العضوية.

### ب- مسيطر الشبكات العصبية المضببة:

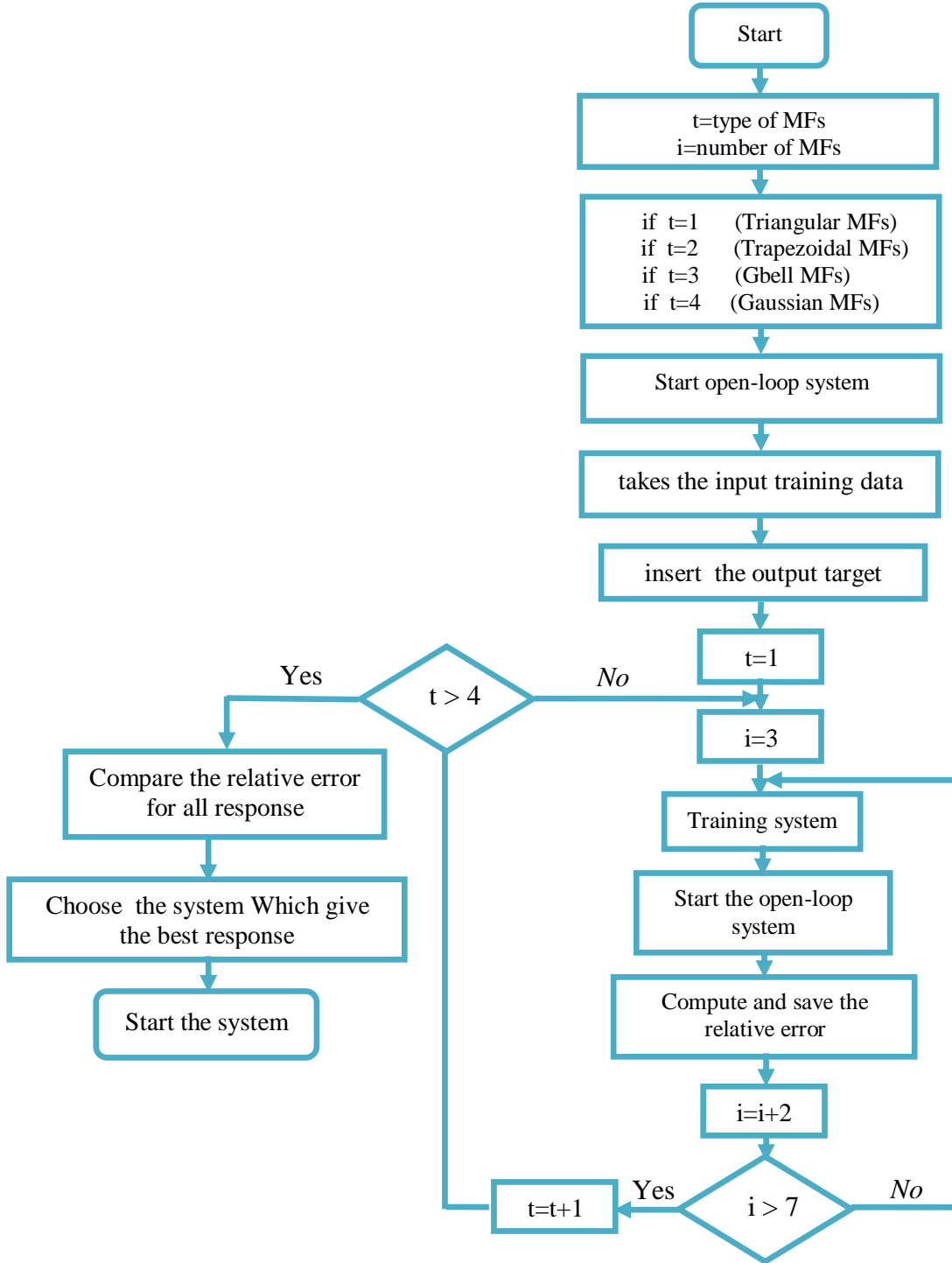
في هذا النظام يتم استخدام طريقة الاستدلال الضبابي نوع (Takagi-Sugeno)، وإخراج كل قاعدة يمكن أن يكون عبارة عن مركبة خطية لمتغيرات الإدخال مضافاً إليها قيمة ثابتة، أو يكون عبارة عن قيمة ثابتة فقط. والإخراج النهائي هو عبارة عن المعدل الوزني لإخراج كل قاعدة. حيث نفرض أن عندنا تركيب (ANFIS) له ادخالين فقط  $(x, y)$  وإخراج واحد  $(z)$  كما مبين في شكل (11) يحتوي على قاعدتين كما مبين أدناه [10,11,12]:



شكل (11) تركيب الشبكات العصبية المضببة (ANFIS) [14]

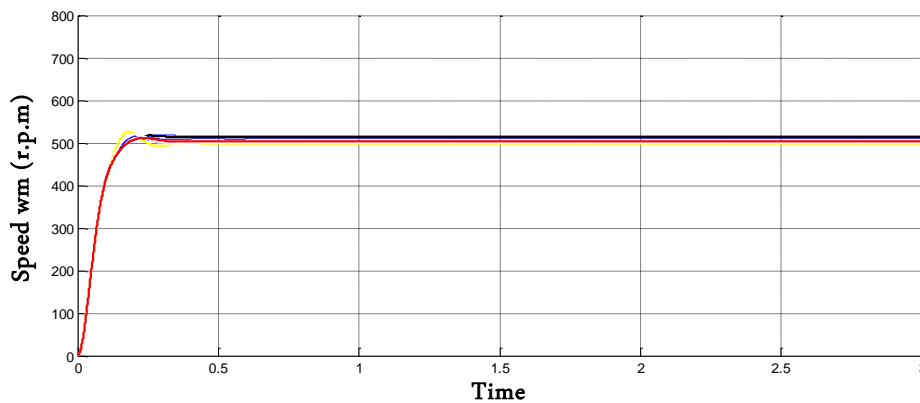
يتكون نظام سيطرة الشبكات العصبية المضببة الذي تم تصميمه من جزأين، جزء برمجي وهو الجزء الذي تتم فيه عملية التدريب وانتقاء النظام الذي يعطي أفضل استجابة. أما الجزء الثاني فهو الـ (Simulink) ويحتوي على الهيكل الأساسي للنظام والمتمثل بمحرك التيار المستمر (*dc motor*) ومغير التيار المستمر (*buck-boost converter*)، فضلاً عن احتوائه على دائرة توليد النبضات. وعند البدء بتشغيل البرنامج يقوم بتشغيل نظام الدائرة المفتوحة واستخلاص بيانات التدريب للإدخال حيث أن عملية التدريب تحتاج إلى زوجين من البيانات (بيانات الإدخال وبيانات الإخراج الهدف) ومن ثم تطبيق الإخراج الهدف وتدريب النظام عند ثلاث دوال عضوية نوع المثلثي ثم يتم تشغيل نظام الدائرة المغلقة وحساب الخطأ النسبي لاستجابة النظام. وبعد ذلك يقوم البرنامج بتغيير عدد دوال العضوية إلى خمس وسبع دوال عضوية ومن ثم تشغيل نظام الدائرة المغلقة وحساب الخطأ النسبي لكل حالة. ومن ثم يقوم البرنامج بتغيير نوع دوال العضوية إلى شبه المنحرف و (*gbell*) وكوسيان وبأعداد مختلفة من دوال العضوية ومن ثم تطبيق الخطوات السابقة. وبذلك يكون هناك اثنا عشر استجابة ولكل استجابة هناك خطأ نسبي يختلف عن الاستجابات الأخرى. بعد ذلك يقوم البرنامج بمقارنة الأخطاء النسبية الأثنتي عشر واختيار النظام الذي يعطي استجابة بأقل خطأ. وبعد هذا البرنامج برنامج عام لأي حمل، وليس فقط محرك التيار المستمر. في هذا البحث تم التطبيق على نموذجين من محركات التيار المستمر وبإمكان المستخدم تطبيقه على أي حمل آخر حيث أنه يحتاج من المستخدم فقط بيانات التدريب للإخراج (الإخراج الهدف). ويمكن تلخيص الخطوات أعلاه بالمخطط الانسيابي المبين في شكل (12).





شكل (12) المخطط الانسيابي لآلية عمل مسيطر الشبكات العصبية المضطربة

الشكل (13) يبين استجابات محرك التيار المستمر عند أنواع و أعداد مختلفة من دوال العضوية وعند سرعة مرجعية ( 500 r.p.m )، حيث يلاحظ وجود عدد من الاستجابات تتفاوت في ما بينها . هنالك اثنتا عشر نوعاً من الاستجابات إذ يقوم البرنامج بحساب الخطأ النسبي لكل استجابة ومن ثم يقارن بينها ويختار النظام الذي يعطي استجابة بأقل خطأ كما مبيّن بالشكل أدناه.



شكل (13) استجابات السرعة مع المسيطر (ANFIS) عند السرعة المرجعية (500 r.p.m)

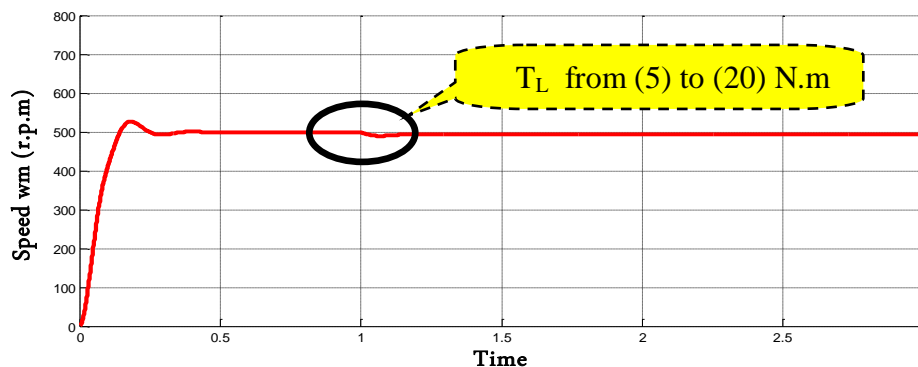
الجدول (1) يبين عملية المقارنة, يلحظ من الجدول أن النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع شبه المنحرف (Trapezoidal) يعطي أحسن استجابة وبأقل خطأ كما مبين بالشكل (14).

جدول (1) الأخطاء النسبية لاستجابات المحرك عند السرعة (500 r.p.m)

$W_{ref}=500(r.p.m)$		Number of membership function		
		3	5	7
Type of membership function	Triangular	0.0778	0.0833	2.312
	Trapezoidal	0.07206	2.602	2.703
	Gbell	0.0788	2.515	0.0991
	Gaussian	0.0728	0.08570	0.5289

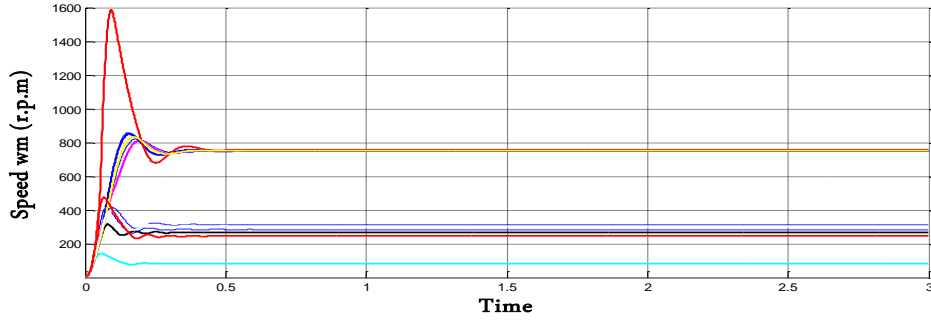
نلاحظ إن قيمة تجاوز الحد للاستجابة التي تم اختيارها تساوي (Mo.sh=4%) و ( $e_{ss}=0.0034$ ) وهي نسبة جيدة إذا ما قارناها مع استجابة الدائرة المفتوحة والاستجابة في حالة وجود المسيطر الضبابي كذلك.

شكل (14) يبين الاستجابة التي تم اختيارها بواسطة البرنامج التي تحتوي على أقل خطأ نسبي حيث من الجدول نلاحظ قيمة الخطأ والمساوية لـ (0.07206). وكذلك فقد تم تسليط عزم حمل خارجي مقداره (20 N.m) كما مبين بالشكل فان النظام قد تغلب على التشوه الناجم من العزم الإضافي المسلط.



شكل (14) الاستجابة المختارة عند سرعة مرجعية (500 r.p.m)

الشكل (15) يبين استجابات محرك التيار المستمر وعند سرعة مرجعية (750 r.p.m), والجدول (2) يبين عملية المقارنة فمن الجدول نلاحظ أن النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع (Gbell) يعطي أحسن استجابة وبأقل خطأ وكما مبين بالشكل (16).

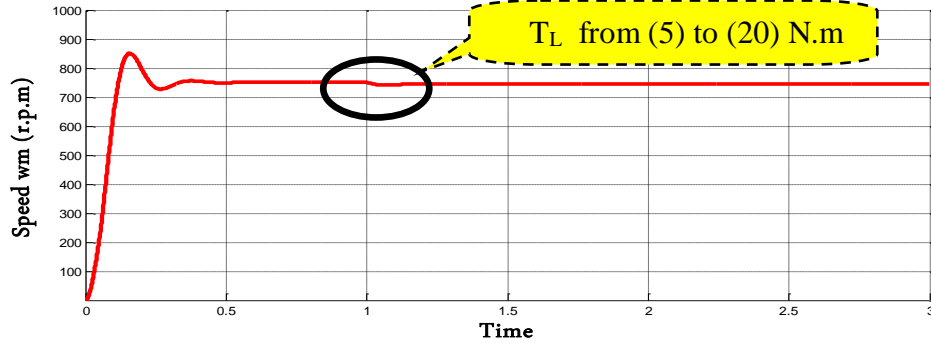


شكل (15) استجابات السرعة للمحرك وعند سرعة مرجعية ( 750 r.p.m )

جدول (2) الأخطاء النسبية لاستجابات المحرك عند سرعة مرجعية (750 r.p.m)

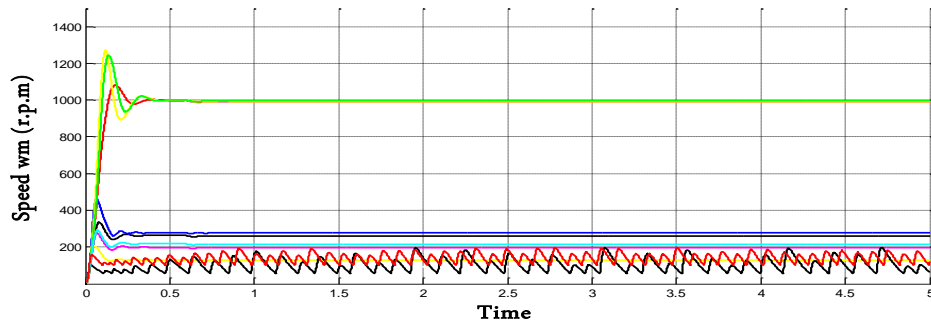
Type of membership function		Number of membership function		
		3	5	7
Type of membership function	Triangular	0.0855	0.00887	0.1864
	Trapezoidal	0.00835	0.1944	0.2667
	Gbell	0.00817	0.1756	0.0171
	Gaussian	0.00861	0.1791	0.2007

شكل (16) يبين الاستجابة التي تم اختيارها بواسطة البرنامج والتي تحتوي على أقل خطأ نسبي فمن الجدول نلاحظ قيمة الخطأ والمساوية لـ (0.00817). كذلك تغيير قيمة العزم المسلط كحمل خارجي مقداره من (5 r.p.m) إلى (25 N.m) كما مبين بالشكل إذ تغلب النظام على التشوه الناتج من العزم الإضافي المسلط.



شكل (16) الاستجابة المختارة عند سرعة مرجعية (750 r.p.m)

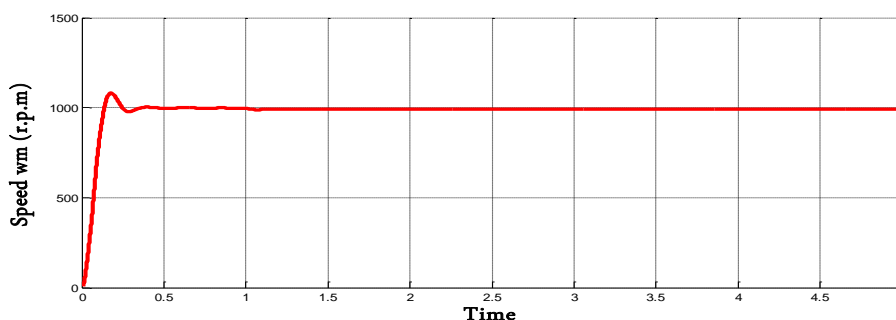
شكل (17) يبين استجابات محرك التيار المستمر عند سرعة مرجعية (1000 r.p.m) وفي هذه الحالة تم اختيار النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع المثلي والذي أعطى أحسن استجابة وبأقل خطأ نسبي (0.008159) كما موضح في جدول (3) وشكل (18).



شكل (17) استجابات المحرك عند سرعة مرجعية (1000 r.p.m)

جدول (3) الأخطاء النسبية لاستجابات المحرك عند سرعة مرجعية (1000 r.p.m)

$W_{ref}= 1000(r.p.m)$		Number of membership function		
		3	5	7
Type of membership function	Triangular	0.08159	0.74379	0.7203814
	Trapezoidal	0.0798165	0.902507	0.080681
	Gbell	0.8038	0.917884	0.084752
	Gaussian	0.78611	0.87723	0.894



شكل(18) الاستجابة المختارة عند سرعة مرجعية (1000 r.p.m)

كما ذكر سابقا فان مسيطر الشبكات العصبية المضطربة المصمم هو مسيطر عام يصلح لأي حمل ولإثبات ذلك تم تغيير نموذج محرك التيار المستمر والموجود ضمن بيئة (Matlab/Simulink). والجدول (4-5) يبين قيم الأخطاء النسبية للنموذج الثاني من محرك التيار المستمر عند ثلاث سرع مرجعية مختلفة (500, 750, 1000 (r.p.m)). ومن الجدول أدناه نلاحظ أنه عند السرعة المرجعية (500 r.p.m) كان النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع (trapezoidal) هو النظام الذي أعطى أحسن استجابة بأقل خطأ نسبي. و نلاحظ كذلك عند السرعة المرجعية (750 r.p.m) إن البرنامج قام باختيار النظام الذي له خمس دوال عضوية نوع (Gaussian), أما عند السرعة (1000 r.p.m) فقد قام البرنامج باختيار النظام الذي له سبع دوال عضوية نوع (gbell).

جدول (4) الأخطاء النسبية لاستجابات النموذج الثاني لمحرك التيار المستمر عند السرع المرجعية (500 , 750 , 1000 r.p.m)

No .of Membership Function			<i>Relative Error</i>		
			3	5	7
500(r.p.m)	Type of MFs	Triangular	0.122	0.1588	0.1463
		Trapezoidal	0.0732	0.0754	0.07645
		Gbell	0.865	0.0792	0.0772
		Gaussian	0.0788	0.0891	0.0895
750(r.p.m)	Type of MFs	Triangular	0.08159	0.74379	0.7203814
		Trapezoidal	0.0798165	0.902507	0.080681
		Gbell	0.8038	0.917884	0.084752
		Gaussian	0.78611	0.87723	0.894
1000(r.p.m)	Type of MFs	Triangular	0.08159	0.74379	0.7203814
		Trapezoidal	0.0798165	0.902507	0.080681
		Gbell	0.8038	0.917884	0.084752
		Gaussian	0.78611	0.87723	0.894

## مناقشة النتائج

تم تصميم المسيطر المنطقي المضبب والذي كان تصميمه ذا تضبيب عشوائي ، تمت دراسة استجابة المنظومة مع المحكم المضبب، إذ كانت النتائج جيدة مقارنة مع (نظام الحلقة المفتوحة) وتبين كذلك وجود تحسن ملحوظ في استجابة النظام عند السرعة المرجعية (500 r.p.m)، ومن ثم احتجنا إلى تغيير هذه السرعة المرجعية إلى (750 و 1000 r.p.m) فان النظام لم يكتف بنفسه مع السرعة المرجعية الجديدة. كما لوحظ انه عند تضبيب قيم الكسب عند ثلاث دوال العضوية نوع المثلثي ومن ثم تغيير نوع أو عدد دوال العضوية بحيث أصبحت الاستجابة رديئة وان المسيطر لم يكتف بنفسه مع هذا التغيير. كما أن عمله اختياريًا لنوع وعدد دوال العضوية كان بشكل عشوائي ولم تكن على وفق حسابات مدروسة وبما أن اختلاف نوع وعدد دوال العضوية وكذلك مدى كل من الإدخال والإخراج و مقدار التداخل في ما بينها له تأثير على استجابة النظام. ولذلك لا بد أن تكون هناك طريقة مدروسة وقاعدة يستند عليها النظام في عملية الاختيار. إما بالنسبة لمسيطر الشبكات العصبية المضببة نلاحظ من النتائج التي تم الحصول عليها إنه عند سرعة مرجعية ( 500 r.p.m) قام المسيطر باختبار اثنتا عشر نوعاً من دوال العضوية حيث لكل استجابة نوع وعدد خاص من دوال العضوية وقام المسيطر باختبار النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع المثلثي الذي أعطى أقل خطأ نسبي . ولقد لوحظ من الاستجابة التي تم اختيارها أن المسيطر استطاع أن يتغلب على التشويه الحاصل على استجابة السرعة نتيجة لتسليط عزم إضافي مقداره (20 N.m) كحمل خارجي. وقد تم تغيير السرعة المرجعية إلى (750 r.p.m) وتدريب النظام على السرعة الجديدة وفي هذه الحالة قام المسيطر باختبار النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع (Gbell) أما عند تغيير السرعة المرجعية إلى (1000 r.p.m) فقد قام المسيطر باختبار النظام الذي له ثلاث دوال عضوية نوع المثلثي ، وقد تم تكرار العملية نفسها على النموذج الثاني لمحرك التيار المستمر وبسرعة مرجعية مختلفة، مما سبق نلاحظ أن لكل سرعة مرجعية وجود نوع وعدد خاص من دوال العضوية يعطي أفضل استجابة .

## الاستنتاج

تناول البحث تصميم نوعين من المسيطرات للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر ذو الإثارة المنفصلة، وذلك بالاعتماد على برمجيات (Matlab/Simulink)، حيث تم دراسة استجابة الدائرة (نظام الدارة المفتوحة) و (نظام الدارة المغلقة مع المسيطرين). المسيطران هما المسيطر الضبابي ومسيطر الشبكات العصبية المضببة حيث تم استخدام مغير القدرة الخافض-الرافع للسيطرة على فولتية المنتج للمحرك وبالتالي التحكم بالسرعة. تم تصاميم واقتراح ودراسة مسيطر يستند على الشبكات العصبية المضببة ويقوم باختبار عدد ونوع من دوال العضوية التي من خلالها تم الحصول على أفضل استجابة من بين اثنتا عشرة استجابة تم اختبارها، وكذلك فإن هذا المسيطر يمكن أن يكتف بنفسه مع تغيير السرعة المرجعية أو تغيير نموذج المحرك حيث أن المسيطر المقترح يعتبر مسيطر عام يمكن استخدامه لأي حمل و ليس فقط محرك التيار المستمر ولا يحتاج من المستخدم سوى الإخراج الهدف، حيث أظهرت النتائج أن مسيطر الشبكات العصبية المضببة يكون ذا كفاءة أعلى ويعطي نتائج أفضل إذا ما قورن بالمسيطر الضبابي

## المصادر

- د.مأمون فاضل الكبابجي و د.نبيل محمود عبد القادر "المكائن الكهربائية والإلكترونيات القدرة". مديرية دار الكتب [1]: للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق 1988 .
- [2]: Jun Oh JANG and Pyeong Gi LEE, "Neuro-Fuzzy Control for DC Motor Friction Compensation" Department of computer control Engineering ,south korea.2000.
- [3]: Adriana Florescu, Ovidiu Grigore, Dan Alexandru Stoichescu, Alexandru Vasile, "NEURO-FUZZY DESIGN IN DC MOTOR SPEED CONTROL" *University of Bucharest, Electronics and Telecommunications Faculty, Bd. Armata Poporului 1-3, Sect. 6, 77206 - Bucharest, Romania .2001.*
- [4]: Ferenc Farkas, Sandor Halasz, Istvan Kadar, "Speed Sensorless Neuro-Fuzzy Controller for Brush type DC Machine", Department of Electric power Engineering ,Budpest University of Technology ,Hungary2005.
- [5]: Salwan Samir Sabri Ali, "Optimal Fuzzy Controller Design For (Cuk) Converter Circuit Using Genetic Algorithm", thesis M.Sc. University of Mosul/ Iraq,2008.

[6]: Mohamed H. Rashid, "Power Electronics Circuits , Devices and Applications", Third Edition ,Electrical and Engineering, University of West Florida,2004.

[7]- Stanimir Yordanov Yordanov, "An Approach on T-S Fuzzy Model and Control of Buck-boost Converter ",Department AIUT, TU Gabrovo, H.Dimitar 4., 5300, Bulgaria,.2004.....buck-boost

[8]: Nadia Qassim Mohammed, "Neuro Fuzzy Controller For A Four Quadrant Position and Speed Control", University of Baghdad/ Iraq, , thesis,M.Sc.2005.

[9]: Maher Mohammed Fawzi Saber AL Greer, "Design and Implementation Of Computerized Industrial Fuzzy Control System " ,University of Mosul/ Iraq, , thesis ,M.Sc. 2004.

[10]: Leond Reznik, "Fuzzy Controller", Vectoria University of Technology ,Melbourne, Australia. 1997

[11]- Yodyium Tipsuwan and Saksiri Aiemchareon, "A Neuro-Fuzzy Network-Based Controller for DC Motor Speed Control ",Department of Computer Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.2005.....ANFIS

[12]: Nada Abd Al-Ghani , "Speaker Recognition Using Neuro-Fuzzy Method", thesis ,M.Sc. University of Mosul/ Iraq,2004.

[13]: Mehamet Acar & Ismail Temiz, "Motion Controller Design For The Speed Control Of DC Servo Motor", Gaziosmanpasa University & Marmara University , International Journal of Applied Mathematics and Information . 2007.

[14]: Heikki Koivo, "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", Paper ,IEEE . 2000.