مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (1) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (1) 2009

مقارنة بين التحكم العائم والتقليدي (PID, P) في إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام المقاومات

الدكتور علي الجازي*
الدكتور معزوز صلاحات**
واصف السلعوس***

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2008. قُبِل للنشر في 2009/1/19)

□ الملخّص □

تناول هذا البحث دراسة حالات إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام تقنيات تحكم تقليدية (PID, P) ونظم تحكم حديثة على مثال المنطق العائم الذي يعدّ أحد أهم المواضيع البحثية في عصرنا الحالي.

يتضمن هذا البحث دراسة مفصلة في مقارنة تقنيات نظم التحكم المتعددة ونمذجتها ثم مقارنة النتائج العملية باستخدام برمجيات Simulink– Matlab \ Fuzzy logic وبيئتها؛ لأداء نظم التحكم في إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام مقاومات مناسبة، وأظهرت النتائج أداء أفضل للحالات العابرة للسرعة والعزم والتيار باستخدام التحكم العائم مقارنة مع النظم التقليدية الأخرى.

الكلمات المفتاحية: محركات التيار المستمر– قيادة محركات التيار المستمر– متحكمات المنطق العائم– المجموعات العائمة .

* أستاذ مساعد – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة دمشق– سورية.
** أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونكس– كلية الهندسة التكنولوجية–جامعة البلقاء – الأردن .
*** طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة دمشق– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (1) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (1) 2009

A Comparison Between Fuzzy Logic and Traditional Controllers (PID, P) Used in Starting DC Drives

Dr. Ali Al Jazi *
Dr. Mazouz Salahat**
Wasif Al Saluos***

(Received 31 / 8 / 2008. Accepted 19 / 1 / 2009)

□ ABSTRACT □

This research has dealt with the transient processes of starting DC motor, using traditional control techniques, such as (PID, P), modern control systems: fuzzy logic, for instance, has becomes one of the most important explored issues nowadays. This research contains a thorough study, comparing the varied controlling techniques [for starting DC motors with appropriate resistances] along with their prototypes to simulation results, by using Matlab/ Simulink/ Fuzzy Logic programs and environment. The simulation results have proved better performance of fuzzy logic in comparison with classical control systems.

Key Words: DC. Motors, DC. Motors Drives, Fuzzy Logic Controllers, Fuzzy Sets.

*** Assistant Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.**
**** Assistant Professor, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering Technology, Al-Balqa University, Jordan.**
***** Postgraduate Student, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.**

مقدمة:

يعدّ المنطق العائم (FL) وتطبيقاته أكثر حداثة من الأنظمة الخبيرة، والذي يعتمد على التعبير (نعم ، لا) أو المنطق (0 ، 1) ، وهو أساساً متعدد القيم ويسمح للقيم التي تقع ما بين الصح والخطأ . يقدم المنطق العائم وسيلة ناجحة تساعد في عمليات الاستنتاج وأتمتة اتخاذ القرار في نظم تُوظّف لأداء واجبات يقوم بتنفيذها العامل البشري. تتم معالجة الشكل الرياضي للمفاهيم بالحاسوب باستخدام تعبير لغوي على سبيل المثال سريع جداً ، أكثر طولاً، ساخن جداً. **[1]**

يعدّ تطبيق الأنظمة العائمة من أكثر الطرائق تشابهاً مع تفكير الإنسان، ولقد برز المنطق العائم بوصفه أداة للتحكم وتحديث أنظمتها والعمليات الصناعية المعقدة، إضافة إلى استخدامه في الأجهزة الكهربائية المنزلية وأجهزة التسلية وفي الأنظمة الخبيرة الأخرى.

لقد تعرض المنطق العائم في البداية لعوائق وانتقادات وصعوبة في استيعابه وقبول التعامل معه لاعتبارات متعددة ، منها اجتماعي واقتصادي وفكري وعلمي لاختلاف الأيدلوجية في قيمة النتائج المرجوة من التحليل والاستنتاج.

بالاعتماد على طبيعة التفكير البشري العائم قام العالم "لطفي زادة" عالم الكمبيوتر في جامعة كاليفورنيا في ابتكار المنطق العائم ونظرية المجموعات العائمة في العام 1965، وكان من أبرز الباحثين متابعةً واهتماماً في هذا المجال .

بالاعتماد على منطق "بولين" الذي طور مبدأ عمل الأنظمة الخبيرة التي تعتمد على المنطق وغالباً ما يعدّ تعبيراً غامضاً ، غير واضح ، غير دقيق وعائم في طبيعته، ولهذا جاء التفكير الواقعي في مقدرة المنطق العائم على التعامل مع هذه الحالات غير الخطية التي يتعذر تشكيل معادلات رياضية لها ، باستخدام تعبير لغوي بسيط يبنى على المصطلحات والقواعد IF,THEN بالشكل التالي :

- IF weather is good AND outside temperature is 25c THEN lets go out.

يطبق المنطق العائم بنجاح في عمليات التحكم والنمذجة، التقييم، التطابق، التشخيص، وفي العلوم العسكرية والطبية وغيرها، وسنتناول في هذا البحث مبدأ عمل المنطق العائم وتطبيقاته في الأنظمة الكهربائية، حيث يحتوي صندوق أدوات المنطق العائم في بيئة ماتلاب على أمثلة وبرامج متطورة .

إن استخدام المنطق العائم في عمليات التحكم بمنظومة تتلاءم مع متطلبات التطبيق، وقد يستخدم في نظم معقدة يصعب نمذجتها رياضياً وبوصفها أداة لتوليد إشارات تحكم تدعم أداء نظم التحكم التقليدية وتحسنه، ومن الجدير بالذكر عدم وجود قواعد ثابتة تلائم معظم التطبيقات، ولكنَّ هناك قيوداً تقنية تحد من استخدام متغيرات لغوية كثيرة قد تساعد على زيادة مرونة نظام التحكم ، مع أن الزيادة في عدد القواعد يؤدي إلى صعوبة معالجتها وزيادة حجم الذاكرة المطلوبة.

أهمية البحث وأهدافه:

الغاية من البحث التعرف على سلوك بعض أنظمة التحكم التقليدية مثل (PID , P) ونظام التحكم العائم عند إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام مجموعة من المقاومات ، وتحسين أداء قيادته، باستخدام تقنية تحكم المنطق العائم، والمقارنة مع طرق التحكم التقليدية المذكورة .

طريقة البحث ومواده:

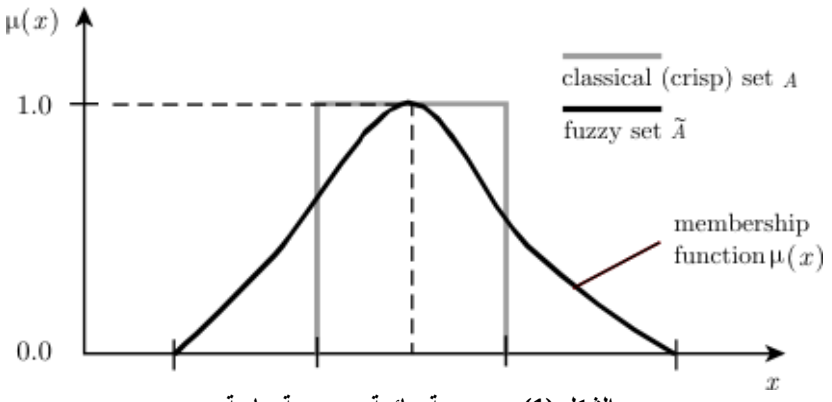
تم هذا البحث في سياق بحث لطالب دراسات عليا في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ؛ إذ يعتمد البحث على دراسة بعض طرق التحكم التقليدية بإقلاع محرك تيار مستمر باستخدام مقاومات الإقلاع ومقارنتها بالتحكم باستخدام النظام العائم، وذلك من خلال إجراء محاكاة لهذه الأنظمة باستخدام البيئة البرمجية Matlab . المحرك الذي تم اختياره بوصفه مادة للبحث متوفر ضمن قائمة أنواع المحركات المتاحة ضمن البيئة البرمجية المذكورة حيث زودت المكتبة الخاصة بهذه المحركات بكافة المحددات المطلوبة لعمليات النمذجة والمحاكاة ، إضافة إلى ذلك هناك أمثلة مختلفة ضمن Matlab\demo تطرقت إلى هذه الأنواع من المحركات .

بعد اختيار المحرك تم وضع المخططات الصندوقية لحالات التحكم الأربع المطلوب دراستها، وأجريت المحاكاة وسجلت النتائج المطلوبة لإظهار الفروقات في إشارات التيار والسرعة والعزم .

المجموعات العائمة :

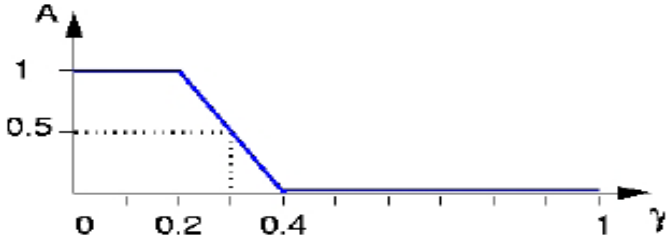
يتعامل المنطق العائم مع مسائل عائمة أو غامضة ، وتعتمد نظرية المجموعة التقليدية على منطق بولين الذي يتعامل مع معطيات وبلغة رياضية أهدافها دقيقة أو متغيرة وهي أحد الاحتمالين الصفر والواحد .**[2][1]**

يستخدم المصنف العائم وهو أحد تطبيقات النظرية العائمة للتعبير عن معلومات خبيرة باستخدام متغيرات لغوية بسيطة تصف المجموعات العائمة ، ويوضح الشكل (1) المقارنة بين المجموعة العائمة والمجموعة العادية.



الشكل (1) : مجموعة عائمة ومجموعة عادية.

تشفر العناصر بالأرقام (0,1) جميعها، ولفهم هذه الفكرة بطريقة أصح يتم السماح باستخدام قيم أكثر بين الصفر والواحد ، وبخيارات لانهائية بين الحدود (1 0) ويوضح الشكل (2) قيم درجة الانتماء في مجموعة عائمة .

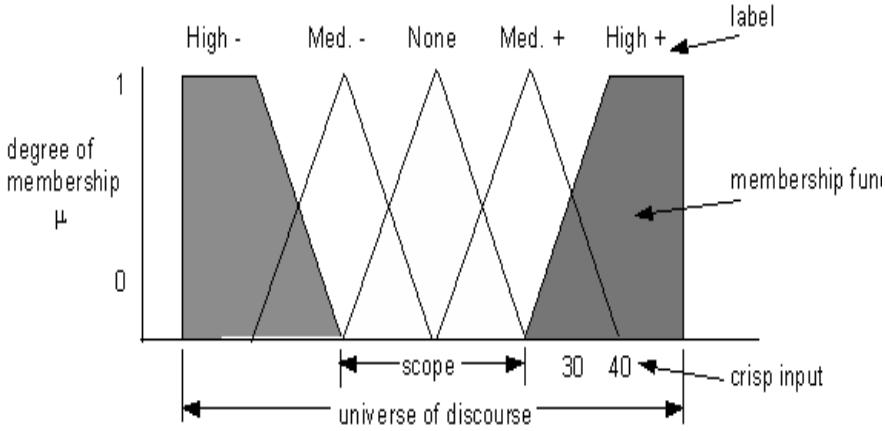


الشكل(2): درجات توابع الانتماء.

تعتمد نظرية المجموعة العائمة على المنطق العائم إذ إنّ للهدف الدقيق درجات من الانتماء تعطى بوصفها مجموعة ضمن المدى (1 - 0) ، ويعرف أحياناً المنطق العائم بوصفه منطقاً متعدد القيم من الصفر إلى الواحد. مع ملاحظة أن المجموعة العائمة تبسط المجموعة العددية لمشاركة عناصر المجال الكلي لتدمج مع قيم التابع المقرون معه، وعلى سبيل المثال نفترض أننا نحدد المتغير اللغوي درجة الحرارة Ui والقيمة اللغوية hot ؛ لذا فإن تابع انتماء المجموعة العائمة يصف درجة حرارتها الحقيقية.

توابع الانتماء:

يُعبّر عن قيم المتغيرات العائمة بلغة إنجليزية سلسة، وبرسم بياني لقيم مشاركة لكل دخل يعالج ويحدد التداخل الفعال، ويقرر أخيراً استجابة الخرج ، ومثال على ذلك ما يوضح في الشكل (3)؛ إذ تعدّ درجة حرارة الجزء الثابت (Stator) للمحرك المتغير العائم، ويعرف من خلال متغيرات لغوية تصف حالة : البرودة والوسط والسخونة والتي تُمثّل بتوابع انتماء على شكل مثلث أو شبه منحرف أو أشكال أخرى.**[6][5]**



الشكل (3) :المجال الكلي لتوابع انتماء.

تعرف هذه المتغيرات اللغوية بوصفها مجموعات عائمة، ويعبر عن تابع الانتماء بمنحنى قيم المتغيرات العائمة في مخطط، تحددُ قيمُ درجةِ الانتماء μ .وللمجموعة العائمة مجالاً متعدداً غالباً ما يكون أكثر من ثلاثة مجالات. تشكل المجموعات العائمة المجال الكلي للحاكمة العائمة وهو تعريف جزئي، وكل مجال كلي يحتوي ضمناً المجموعات العائمة، وكل مجموعة تسمح للمنتمين لها بالحصول على درجات مختلفة من الانتماء ضمن قيم [1 , 0] وتتداخل المجموعات المتجاورة في المجال الكلي بنسب(10- 50)% .

متحكم المنطق العائم:

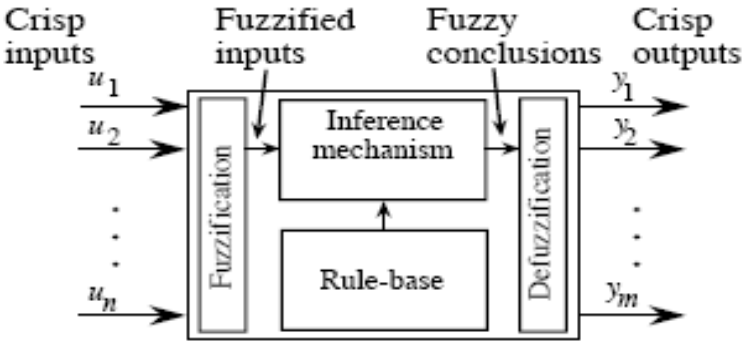
تعد الأنظمة العائمة تنظيماً استاتيكياً غير خطي بين المخارج والمداخل، ويبين الشكل (4) المداخل والمخارج، وهي قيم رقمية حقيقية crisp ، وإن مرحلة التعويم تحول هذه القيم إلى مجموعات عائمة، وتستخدم آلية الاستدلال القواعد العائمة في قاعدة الأساس للحصول على نتائج عائمة، وكما أن مرحلة فك التعويم تحول القيم العائمة إلى قيم خرج رقمية.[5][8][1][4] .

يبين الشكل (4) مكونات النظام العائم؛ إذ يُظهر المداخل، الخارج ، مرحلة التعويم ، مرحلة فك التعويم ..... الخ.

يعطي التحكم العائم علماً منهجياً أساسياً لتمثيل معرفة تساعد على اكتشاف الجانب البشري في كيفية التحكم في النظام وتحقيقها. سنتناول في هذه الدراسة فلسفة الحاكمات المنطقية العائمة، التي تتضمن قواعد تجريبية مقيدة وخاصة في مخططات تحكم المشغل ، والجدير بالذكر عدم وجود اتفاقيات في اعتماد مصطلحات فنية، وهناك جهود تبذل لاعتماد مصطلحات فنية معيارية متفق عليها لتطبق في أنحاء العالم .

تعدّ قواعد الأساس Rule base هي IF, Then ويدعى التعبير اللغوي (If) الحالة condition والتعبير اللغوي (Then) النتيجة conclusion .

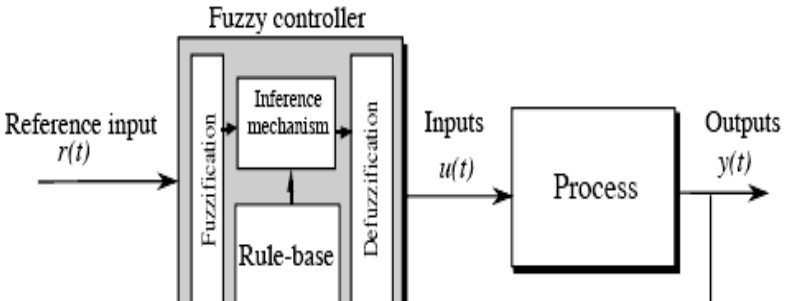
تعبر القيمة (.Neg) في الدخل والخرج عن مصطلح لغوي مختصر للتعبير Negative والمصطلح اللغوي (NB)، لتعبر عن Negative Big.



الشكل (4) : مخطط صندوقي يبين بنية حاكمة المنطق العائم.

يظهر في الشكل(5) المخطط الصندوقي المعطى لمتحكم عائم ضمن صندوق في نظام تحكم حلقة مغلقة ، ويشار لخرج عملية التحكم Y(t) ولإشارة الدخل U(t) وإشارة المرجعية للدخل r(t) :**[5] [7]**

يقارن حاصل خرج مدخلات المخطط Y(t) مع إشارة دخل المرجعية r(t) وبالتالي يقرر ماذا ستكون إشارة دخل عملية التحكم U(t) للوصول لتحقيق إنجاز الهدف المطلوب.



طرق التحكم في قيادة محرك التيار المستمر:

يستخدم طرق متعددة في قيادة المحرك منها:

1- التحكم في السرعة Speed Control 2- التحكم في الموضع Position

3- التحكم في العزم Torque Control - التحكم في الإقلاع ، التوقف وعكس اتجاه الدوران Starting, Breaking & Reversing

سنتناول في هذا البحث عمليات التحكم في إقلاع محرك تيار مستمر ذي تهييج مستقل باستخدام مقاومات .

النمذجة والمحاكاة لإقلاع محرك تيار مستمر باستخدام مقاومات الإقلاع:

Resistance starting of DC motor

تستخدم طريقة الإقلاع لمحرك التيار المستمر باستخدام المقاومات كما هو معروف للحد من التيارات العالية عند الإقلاع من حالة السكون ، بحيث يتم إخراج هذه المقاومات من الدارة على التوالي خلال فترات زمنية معينة، حيث يصل المحرك في نهايتها للسرعة الاسمية .

- المعادلات الرياضية للمحرك (النموذج الرياضي):[9]

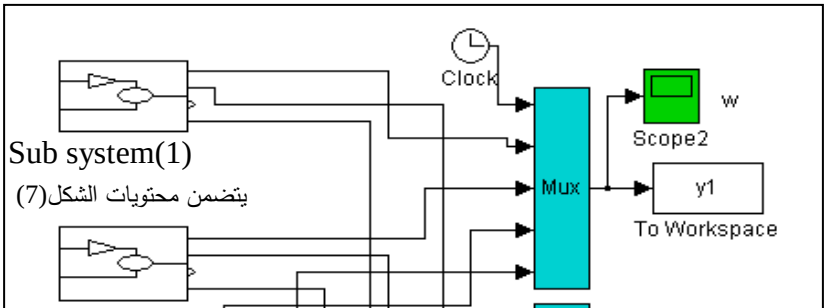
$$E_a = K_a . \Phi . \omega_m \quad ; \quad (V) \qquad (1)$$

$$T_{em} = K_a . \Phi . I_a \quad ; \quad (N.m) \qquad (2)$$

$$V_a(t) = I_a R_t + L_{aq}\, di/dt + E_a + V_{brush} \qquad (3)$$

$$I_a(t) = 1/L_{aq} \int (V_a - V_{brush} - I_a R_t - E_a)\, dt + I_a(0) \quad ; \quad (A) \qquad (4)$$

$$\omega_m(t) = 1/j \int (T_{em} - T_{mech} - D_w \omega_m) + \omega_m(0) \quad ; \quad rad/s \qquad (5)$$



Sub system(1)
يتضمن محتويات الشكل(8)

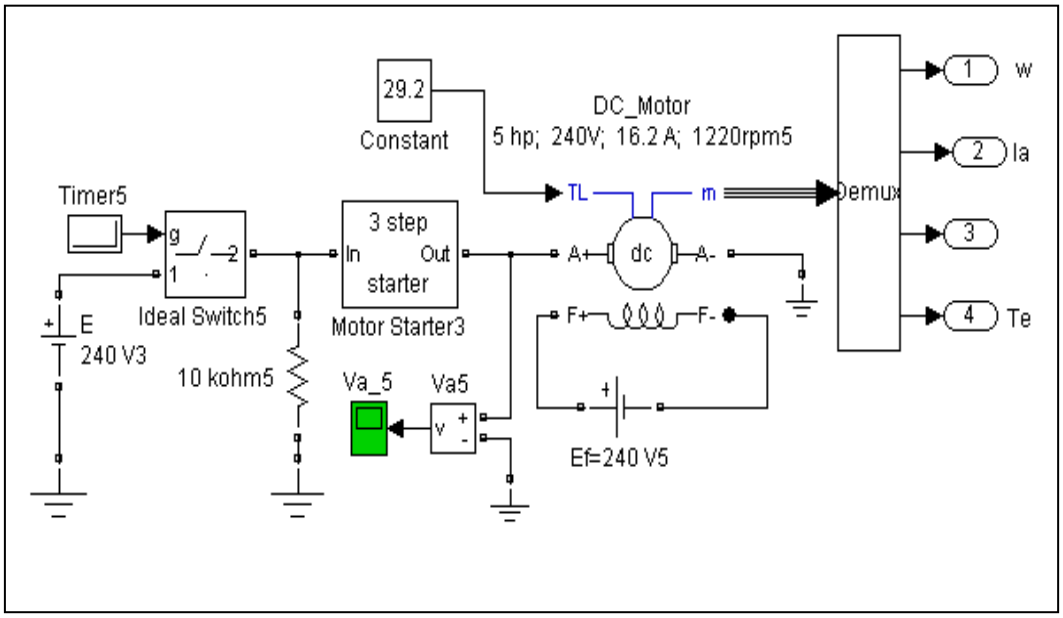
Sub system(1)
يتضمن محتويات الشكل(9)

Sub system(1)
يتضمن محتويات الشكل(10)

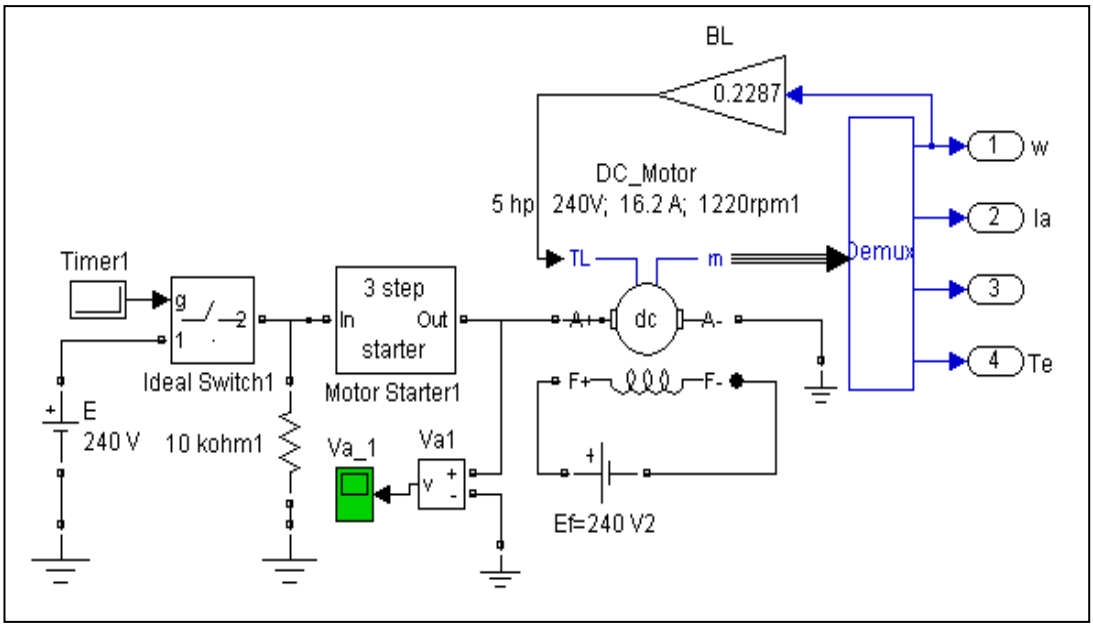
يبين الشكل (6) مخططاً صندوقياً يتضمن أربعة أساليب للتحكم بإقلاع محرك تيار مستمر باستخدام الإقلاع المباشر والتحكم التقليدي والعائم.

تمت النمذجة ومحاكاة عملية إقلاع المحرك باستخدام بيئة MATLAB لأربع حالات من نظم التحكم في إقلاع محرك تيار مستمر بتوصيل مقاومات على التسلسل مع دارة المحرك ومقارنة نتائج كل منها مع استخدام المتغيرات والمحددات نفسها ، حيث تم استخدام النموذج الرياضي المبين في المعادلات (1,2,3,4,5) في بناء نموذج المحاكاة[9] [12]

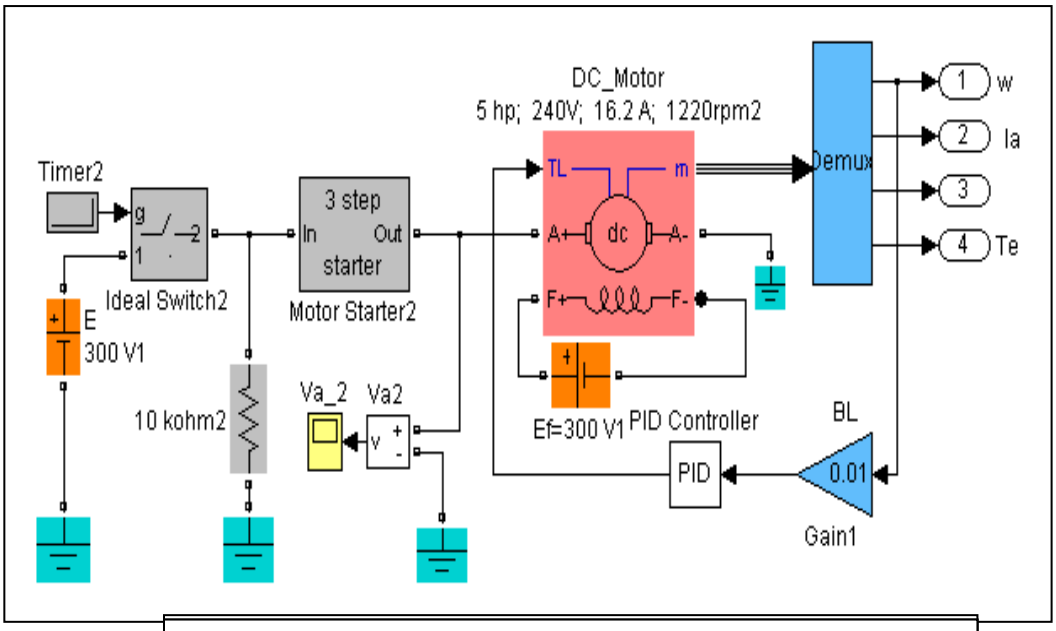
- الإقلاع من دون تحكم ومن دون تغذية عكسية.
- إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام حاكمة تناسبية P .
- إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام الحاكمة التقليدية PID .
- إقلاع محرك تيار مستمر باستخدام الحاكمة العائمة.



الشكل (7) : يبين الدارة التفصيلية للإقلاع من دون تغذيةٍ عكسيةٍ وحملاً ذا عزم ثابت.



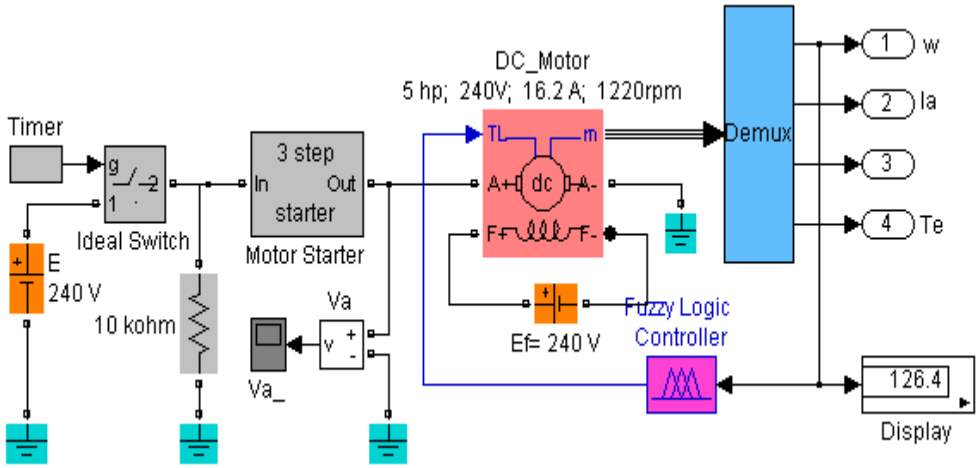
الشكل (8) : يبين دارة تفصيلية لحاكمة تناسبية P حيث أخذت إشارة السرعة بوصفها دخلاً للحاكمة، وخرج الحاكمة، هو العزم .



الشكل (9) دارة تفصيلية لمتحكم تناسبي– تكاملي – تفاضليPID

نصف في هذا البحث خيارات التصميم بالاعتماد على حلقة التحكم الواحدة ضمن المعايير العالمية المتقدمة . حيث عدّ تصميم المتحكم التقليدي PID التي استخدمها مهندسو التصميم بوصفها نقطة بداية لأي أنظمة تحكم متطورة مع أن تصميم المتحكم التقليدي ربما يكون إلى حد ما بسيطا، بينما تتضمن القواعد العائمة استحداث تصميم متطلبات إضافية كثيرة والبحث عن مراجع تمهيدية كثيرة تشرح التحكم العائم ، وهناك توجيهات عامة لوضع محددات متحكمة عائمة بسيطة تعتمد على ثلاثة إجراءات تصميمية:

- البدء مع متحكمة تقليدية PID .
- إدخال متحكمة عائمة خطية مكافئة .
- جعل المتحكمة تدريجياً غير خطية .



الشكل (10) دارة تفصيلية لمتحكمة المنطق العائم Fuzzy logic حيث أخذت إشارة السرعة بوصفها دخلاً للمتحكمة، وخرج المتحكمة هو العزم.

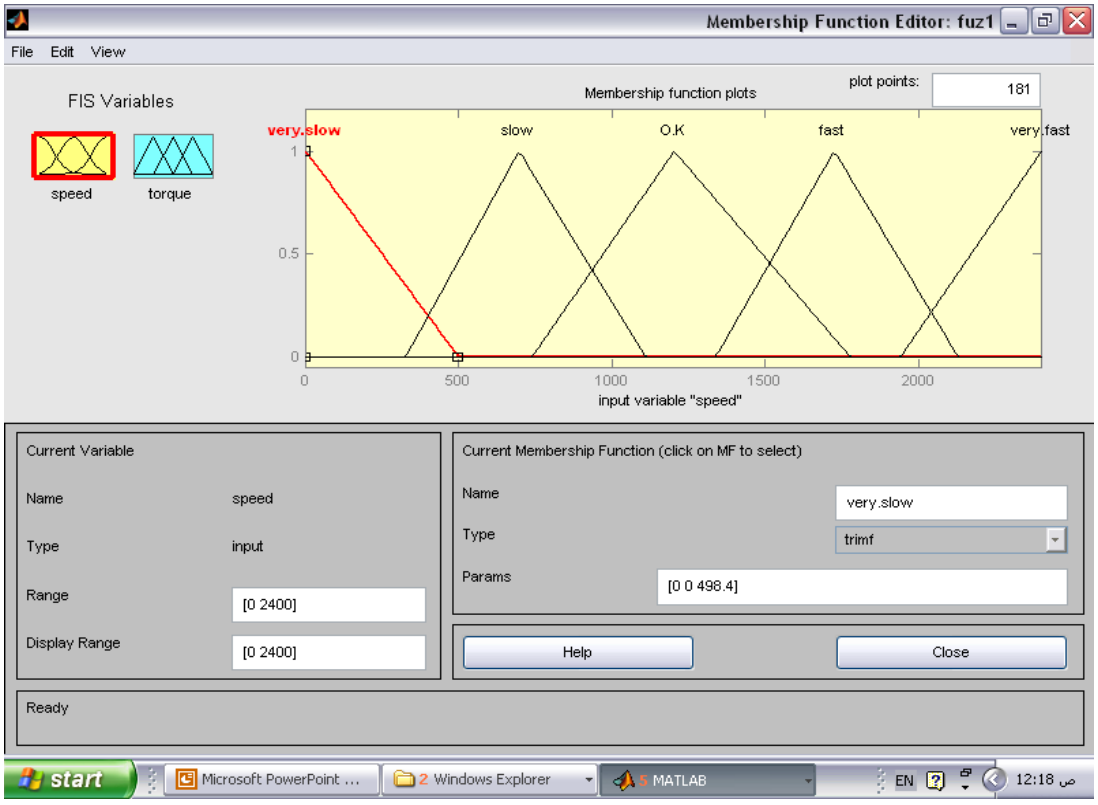
حيث تعدّ هذه المتحكمة خطية، ولها تابع نقل مع متغيرات قيم دخل kp ,ki ,kd حيث من الصعب معايرتها لاستجابة مثالية مع تغير الأحمال والعطالة Inertia، وهذا يجعلنا نستخدم متحكمات غير خطية مثل المتحكمة العائمة .

يبين الشكل(10) الدارة التفصيلية باستخدام المتحكمة العائمة حيث يمتاز استخدام المنطق العائم بـ :

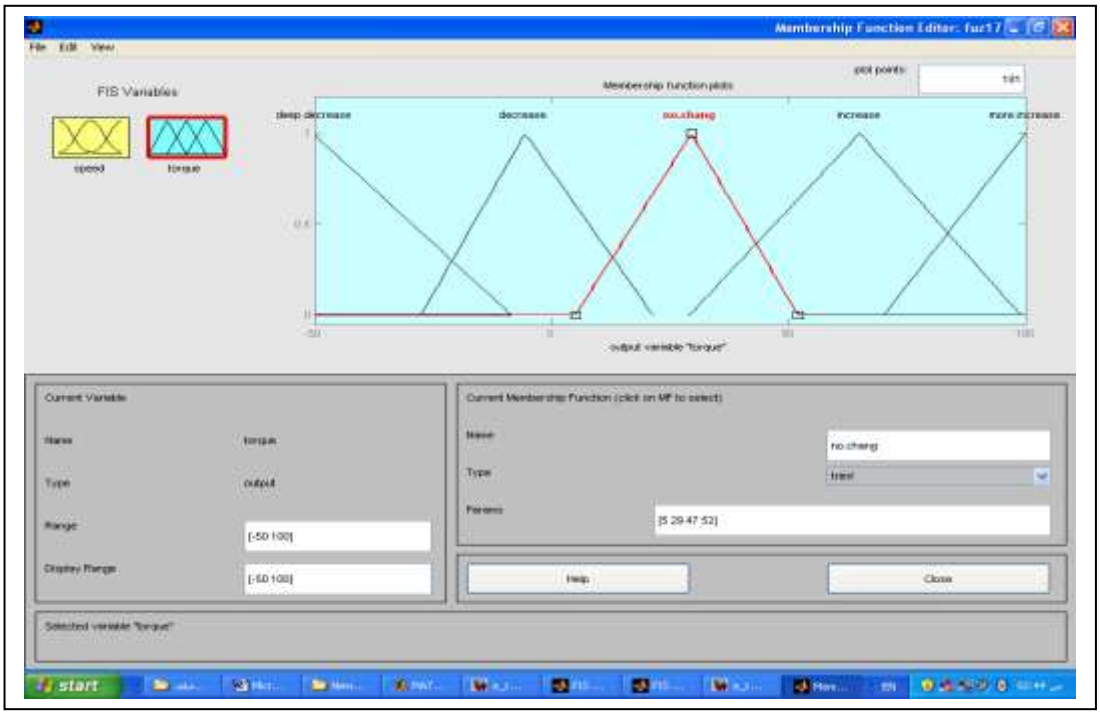
- سهولة إعداد القواعد ومعايرتها وتعديلها في المنطق العائم مقارنة مع النظم الأخرى التي تتطلب تعديلاً في كسب المتحكمات.
- لا يتطلب وجود معادلات رياضية صعبة في إعداد القواعد وتوابع الانتماء والمجموعات في المتحكمة العائمة بالمقارنة مع النظم الأخرى.
- نظم المنطق العائم تستخدم في العمليات غير الخطية وقد لا يحتاج لإشارة تغذية عكسية في بعض التطبيقات.

النتائج و المناقشة :

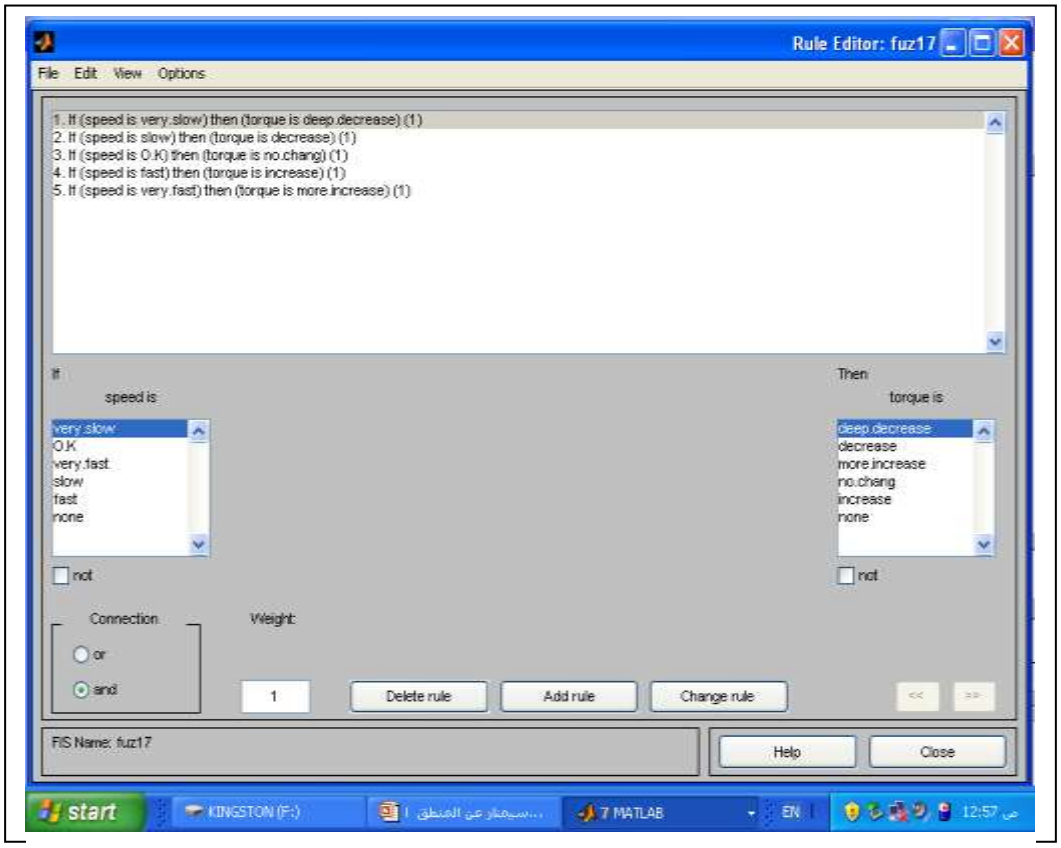
تمت المحاكاة من خلال المخطط العام المبين في الشكل (6) من أجل الحصول على نتائج المحاكاة خلال الزمن نفسه لتسهيل عملية المقارنة بين نتائج المحاكاة للطرائق الأربع . يوضح الشكل (11) بنية تشكيل توابع الانتماء لمتغير الدخل السرعة V.slow, slow. Ok. fast, V.fast والشكل (13) يبين القواعد المستخدمة في النظام العائم التي يبنى عليها نظام التحكم.



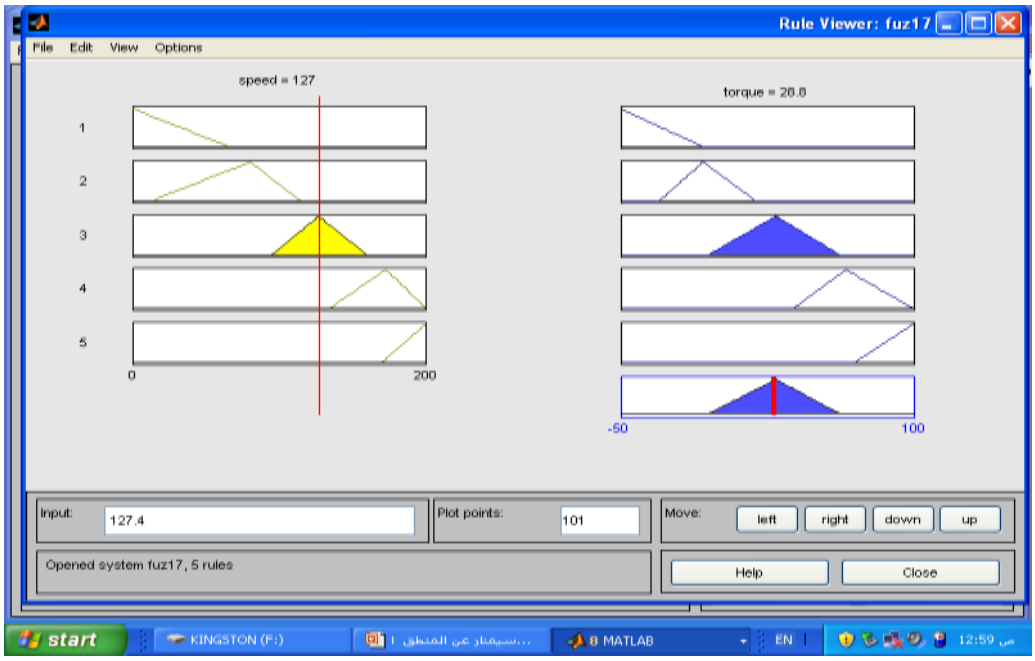
الشكل (11) توابع الانتماء لمتغير الدخل (السرعة) . يمكن أن تكون بالـ r.p.m أو بالـ rad/sec.



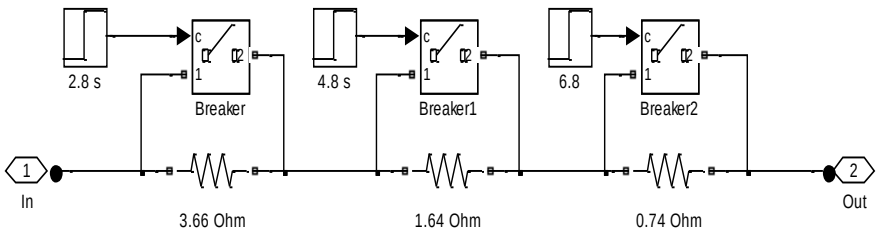
الشكل (12) توابع الانتماء لمتغير الدخل (العزم).



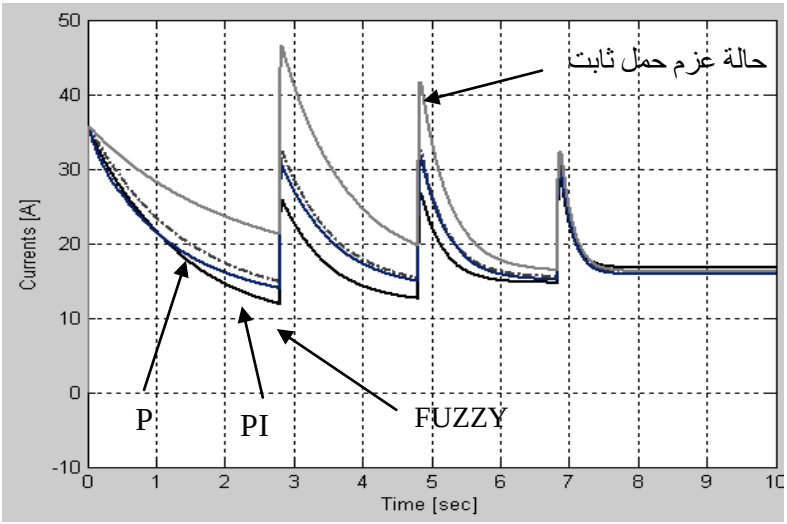
الشكل (13) القواعد المستخدمة وعددها خمس لمتغيري الدخل والخرج .



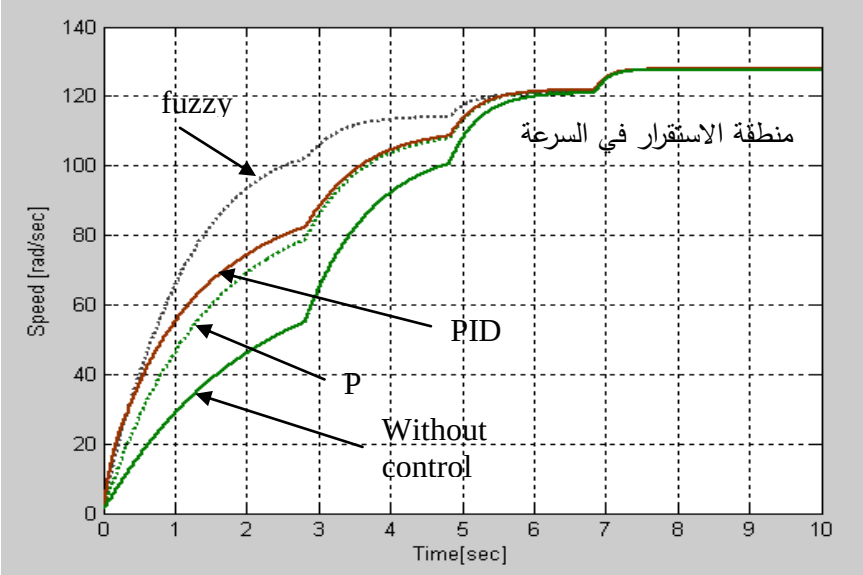
الشكل (14) شاشة لعرض علاقة متغيرات الدخل مع الخرج وقيم السرعة والعزم عند كل قيمة للمتغيرات



الشكل(15): دارة المقاومات المستخدمة في إقلاع المحرك مع المؤقتات الزمنية اللازمة لذلك .



الشكل (16): منحنيات التيار I في الحالات الأربع من لحظة الإقلاع حتى مرحلة الاستقرار .



الشكل(17) : منحنيات السرعة ω في الحالات الأربع من لحظة الإقلاع حتى مرحلة الاستقرار.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- لقد أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة لإقلاع المحرك (DC Motor) ، التي تمت من خلال هذا البحث باستخدام طريقة المنطق العائم والطرق التقليدية، الفروقات في منحنيات السرعة والتيار والعزم وسبب هذه الفروقات سرعة الاستجابة التي يمتلكها كل نظام من النظم التي تم اختيارها في البحث؛ إذ تؤدي محددات كل نظام، (K_P , K_i , K_d) في النظم التقليدية ، وتوابع الانتماء والقواعد في النظام العائم دوراً أساسياً في تحديد سرعة الاستجابة المطلوبة (المناسبة)؛ لذلك تعدّ المنحنيات التي تم الحصول عليها ليست الوحيدة إنما يمكن الحصول على العديد من المنحنيات الدالة على تغيرات السرعة والتيار والعزم وذلك تبعاً لقيم محددات كل نظام ، وهنا يأتي دور المصمم لنظام القيادة وخبراته العملية في اختيار المحددات الصحيحة للحصول على أداء جيد لنظام التحكم ، وبالتالي أداء المحرك ، وخاصة حالة النظام العائم ؛ لأنه لا يعتمد على معادلات رياضية، وإنما يعتمد على دقة اختيار القواعد (Rules) وتوابع الانتماء (Membership Functions).

2- يعدّ التحكم العائم هو الأفضل من حيث سرعة الاستجابة في منحنى السرعة في الحالة الديناميكية و الوصول إلى السرعة الاسمية كما يظهر في الشكل (17).

3- انخفاض في قيمة التيار المستجر عند إقلاع المحرك في النظام العائم مقارنة مع النظم الأخرى كما يظهر في الشكل (16).

المراجع :

[1] KEVIN M. PASSINO & STEPHEN YURKOVICH , "*Fuzzy Control"*. Book, Department of Electrical Engineering The Ohio State University , 1998.

[2] *fuzzy logic control (FLC) based on speed control system for a DC Motor using MATLAB Simulink .by internet.*

[3] FERENC FARKAS, SÁNDOR HALÁSZ, ISTVÁN KÁDÁR ,"*Fuzzy Vs Conventional Controllers In Dc Drives*".

[4] FERENC, FARKAS, SÁNDOR HALÁSZ, ISTVÁN KÁDÁR, "*Designing Fuzzy Speed Controller for DC Drives and Tuning with Genetic Algorithms*".

[5] Marcelo Godoy Simoes Colorado USA in 2001 Introduction to Fuzzy Logic Controller (FLC) .

[6] BOGUMILA MROZEK, ZBIGNIEW MROZEK, "*Modelling and Fuzzy Control of DC Drive*". Cracow University of Technology, 24 Warszawska Str, PL 31-155 KRAKOW, Poland. 2000.

[7] E. E. EL-KHOLY, A. M. DABROOM, AND ADEL EL-KHOLY , *"Principles Of Fuzzy Logic Controllers For Dc Motor Drives ". ,* PART 1 .

[8] STEPHEN CHIU, "*Using Fuzzy Logic in Control Applications: Beyond Fuzzy PID Control"* . 1998.

[9] CHEE-MUN ONG, "*Dynamic Simulation of Electric Machinery Using Matlab\Simulink*". Book, by prentice Hall PTR , 1998.351-414.

[10] The Math. Works Inc., Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, 2005

[12] Matlab V. R2006a.