



التحكم في سرعة محرك التيار المستمر باستخدام المتحكم الدقيق

أحمد سعد محمد اشليبطة^{1*}، نوري علي المبروك الحاشي²

¹قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة بني وليد، ليبيا

²المعهد العالي للتقنيات الطبية، بني وليد، ليبيا

Controlling the Speed of A DC Motor Using a Microcontroller

Ahmed Saed ishleebtah^{1*}, Nouri Ali almabrouk alhashi²

¹Physics Department, Faculty of Education, Bani Waleed University, Bani Waleed, Libya

²Higher Institute of Medical Sciences and Technologies, Bani Walid, Libya

*Corresponding author: ahmedeshlibta@bwu.edu.ly

Received: July 15, 2024

Accepted: October 16, 2024

Published: November 14, 2024

الملخص

يعد التحكم في سرعة محرك التيار المستمر من المواضيع الأساسية في أنظمة التحكم الكهربائي، حيث يستخدم على نطاق واسع في العديد من التطبيقات الصناعية التي تتطلب دقة وثبات في سرعة المحرك. في هذه الورقة، تم استخدام المتحكم الدقيق للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر من خلال برمجة وحدة تحكم تضمن استجابة سريعة ومستقرة. تم تصميم وبرمجة المتحكم بحيث يقوم بقراءة سرعة المحرك وضبطها حسب القيم المرجعية المطلوبة. يستخدم النظام تقنيات تعديل عرض النبضة (PWM) للتحكم في جهد المحرك، مما يتيح تعديل السرعة بسلاسة وفقاً للإشارات المرجعية. وقد أثبتت الدراسة أن المتحكم الدقيق يمكنه الحفاظ على سرعة المحرك ضمن الحدود المطلوبة مع تأثير منخفض من العوامل الخارجية، مما يجعله خياراً مناسباً للعديد من الأنظمة التي تتطلب التحكم الدقيق والسريع.

الكلمات المفتاحية: محرك، التيار المستمر، المتحكم الدقيق، السرعة، التحكم.

Abstract

Controlling the speed of a DC motor is one of the fundamental topics in electrical control systems, as it is widely used in many industrial applications that require precision and stability in motor speed. In this paper, a microcontroller was used to control the speed of a DC motor by programming a controller that ensures a fast and stable response. The controller was designed and programmed to read the motor speed and adjust it according to the required reference values. The system uses pulse width modulation (PWM) techniques to control the motor voltage, allowing for smooth speed adjustment according to the reference signals. The study has proven that the microcontroller can maintain the motor speed within the required limits with minimal influence from external factors, making it a suitable option for many systems that require precise and rapid control.

Keywords: Motor, DC, Microcontroller, Speed, Control.

المقدمة:

يعتبر التحكم في المحركات الكهربائية من المجالات المهمة في التطبيقات الصناعية، خاصة في الأنظمة التي تتطلب تحكماً دقيقاً وسلساً في السرعة والعزم. تلعب محركات التيار المستمر دوراً رئيسياً في العديد من التطبيقات الصناعية، بفضل خصائصها التي تتيح سهولة التحكم في سرعتها وعزمها مقارنة بمحركات

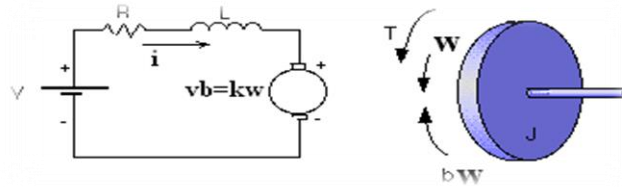
التيار المتردد. في هذا السياق، ظهرت الحاجة إلى تقنيات تحكم متقدمة تضمن الأداء الأمثل للمحرك وتحافظ على استقراره في الظروف المختلفة [1,2].

المتحكمات الدقيقة (Microcontroller) أصبحت إحدى الحلول الشائعة والفعالة للتحكم في سرعة محركات التيار المستمر، نظرًا لإمكاناتها الكبيرة في معالجة البيانات وقدرتها على تنفيذ العمليات المعقدة في وقت قصير، مما يجعلها قادرة على تنفيذ خوارزميات التحكم بشكل فعال [3].

في هذه الورقة، سيتم تقديم نظام تحكم يعتمد على المتحكم الدقيق للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر باستخدام تقنية تعديل عرض النبضة (PWM). يُعتمد هذا النظام على استشعار سرعة المحرك ومقارنتها بالقيمة المرجعية المطلوبة، ومن ثم ضبط جهد المحرك لتحقيق السرعة المرجوة. يُظهر هذا النظام تحسُّنًا ملحوظًا في كفاءة التحكم، حيث يتميز بالاستجابة السريعة والدقة في الحفاظ على السرعة ضمن الحدود المطلوبة [4,5].

محرك التيار المستمر DC Motor

محرك التيار المستمر هو نوع من المحركات الكهربائية التي تستخدم التيار المستمر لإنشاء عزم دوران تتكون محركات التيار المستمر من جزأين أساسيين العضو الثابت والعضو الدوار. يتكون العضو الثابت من ملفات المجال، بينما يتكون العضو الدوار من ملف عضو الإنتاج عندما يمر التيار المستمر من خلال ملفات المجال وملف عضو الإنتاج، فإنه يخلق مجالًا مغناطيسيًا يتفاعل مع ملف عضو الإنتاج لإنشاء عزم دوران [6,7].



الشكل (1) الجزء الميكانيكي والجزء الكهربائي لمحرك التيار المستمر.

جدول (1) يوضح بيانات المحرك المراد التحكم في سرعته.

جدول (1) يوضح بيانات المحرك المراد التحكم في سرعته.

القيمة (Value)	المعامل (Parameter)
0.01 Kg.m ² /S ²	عزم القصور الذاتي (J)
0.1 Nms	معامل الاحتكاك (B)
0.01 Nm/Amp	ثابت القوة الدافعة الكهربائية العكسية وثابت العزم (K=Ke=K)
6 ohm	مقاومة العضو المنتج (R)
10m H	معاوقة الملف (L)
5V	مصدر الجهد (V)

نمذجة محرك التيار المستمر باستخدام برنامج الماتلاب (Modeling of DC Motor). ويتم ذلك بتكوين نموذج Simulink لإنجاز عملية realization باستخدام المعادلات التي تمثل المحرك. والتي يمكن منها محاكاة أداء المحرك ومعرفة الاستجابة للنظام المفتوح. دالة تحويل للمحرك التيار المستمر [8,9].

$$V = Ri + L \frac{di}{dt} + V_b \quad (1)$$

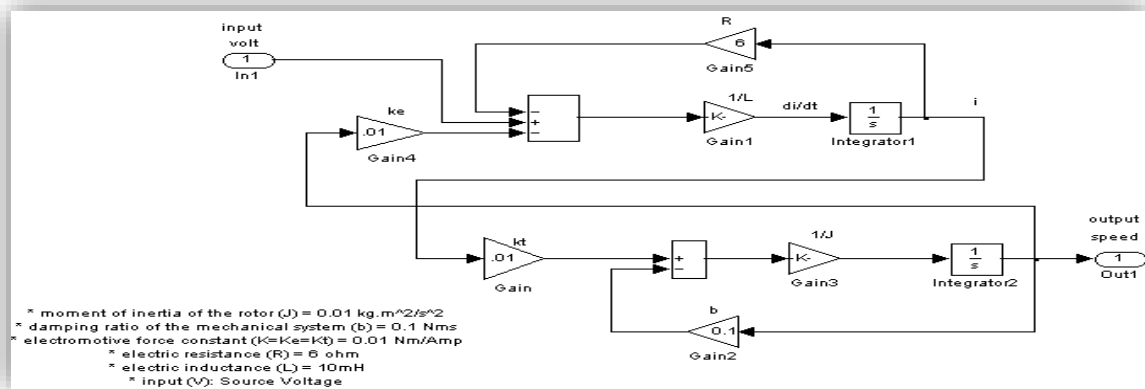
$$V_b = K_e w \quad (2)$$

$$T = J \frac{dw}{dt} + bW \quad (3)$$

$$T = K_t i \quad (4)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V - Ri - V_b}{L} \quad (5)$$

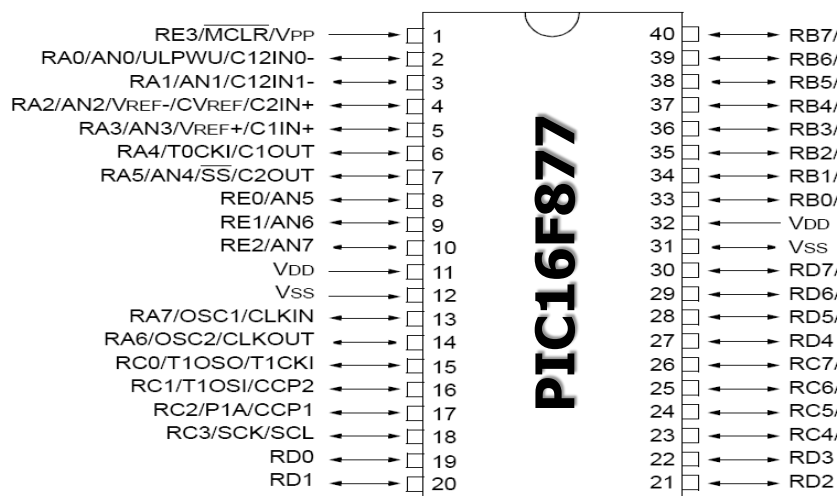
$$\frac{dw}{dt} = \frac{k_t i - bW}{L} \quad (6)$$



الشكل (2) دالة تحويل المحرك.

المتحكم الدقيق PIC 16F877A

المتحكم وهو عبارة عن نظام حاسوب مصغر يشمل على وحدة معالجة مركزية CPU بإضافة إلى ذاكرة وهزاز ومؤقت، على شريحة صغيرة في وحدة متكاملة. كما أنه يحتوي على عدة منافذ وهي [10-12]: المنفذ A حيث له 6 مداخل ومخارج، المنفذ B حيث له 8 مداخل ومخارج، المنفذ C حيث له 8 مداخل ومخارج، والمنفذ D حيث له 8 مداخل ومخارج، ومع العلم بأن معظم مداخل المتحكم يمكن معالجتها فقط كإشارة دخل رقمية عند نفس مستويات جهد المنبع V_{CC} وهي 5V. والشكل 3 يوضح المتحكم الدقيق PIC 16F877A .



الشكل (3) المتحكم الدقيق.

مميزات المتحكم الدقيق Pic16f877a

- يحتوي على 35 أمر برمجة فقط.
- كل الأوامر تحتاج لدورة واحدة ماعدا بعض التعليمات التي تحتاج لدورتين وهي لا تتعدى 2.
- يمكن استخدام منافذ الدخل والخرج حسب حاجة المستخدم كمدخل أو كمخرج عن طريق تغيير التهيئة الداخلية للبرنامج.
- تحتوي نظام الحفاظ على استهلاك الطاقة ومحمي ضد الكهرباء الاستاتيكية.
- ومن أهم مميزات المتحكم الدقيق نظام تضمين عرض النبضة [4].

نظام تضمين عرض النبضة PWM

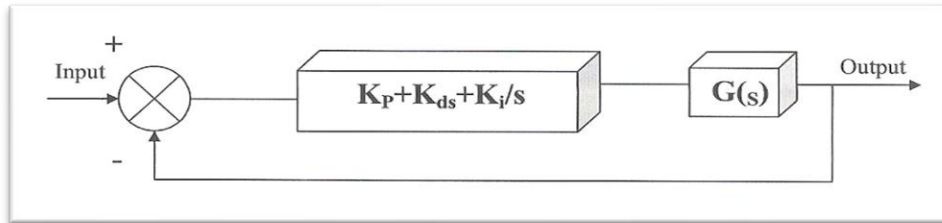
يسمى أيضا نظام تضمين مدة النبضة أو نظام تضمين طول النبضة والذي يقع تحت إطار نظام تضمين زمن النبضة والذي يشتمل أيضا علي نظام تضمين موضع النبضة وفي هذا النظام يتم تغيير عرض النبضات بما يتناسب اتساع إشارة المعلومات عند هذه النبضات، وتستخدم عرض النبضة للتحكم في التطبيقات التي تتطلب تحكم في السرعات وشدة الإضاءة حيث يمكن التحكم في عرض النبضة كاملة، والتي تمثل القيمة القصوى للجهد المطبق علي الجهاز المستخدم، وأكثر التطبيقات انتشاراً لهذه المنظومة هي التحكم في سرعة المحركات الكهربائية والتحكم في شدة الإضاءة [13-16].

المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي

كما هو موضح من الاسم فإن هذا المسيطر يحتوي على عنصر تناسبي للحصول على استجابة سريعة عند حدوث أي اضطراب بالنظام، وعنصر تفاضلي للوصول بأي خطأ فجائي إلى قيمة أمنة، وعنصر تكامل يعمل على الوصول بالخطأ للصفر [17-19]. ودالة التحويلية لهذا المسيطر هي:

$$G(s) = (K_p + K_i/s + K_{ds}) \quad (7)$$

- K_i : التكاملي المسيطر ثابت .
- K_p : ثابت المسيطر التناسبي.
- K_d : ثابت المسيطر التكاملي.



الشكل (4) منظومة مغلقة مع المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي.

محاكاة نظام التحكم في سرعة المحرك باستخدام برنامج (Matlab) وتحليل استجابة النظام المفتوح يمكن باستخدام البرنامج التالي إيجاد دالة التحويل للمحرك في نطاق لابلاس وإيجاد الاستجابة لدالة الخطوة للمحرك بدون حاكم ومعرفة الأقطاب للمحرك في نطاق لابلاس [20-23].

```
[A,B,C,D]=linmod('dc_motor2')
[num,den]=ss2tf(A,B,C,D)
motor=tf(num,den)
zpk(motor)
figure(1)
step(motor)
grid
hold on
n1=0.167;
```

```

d1=[1 10];
motor2=tf(n1,d1)
step(motor2)
hold off

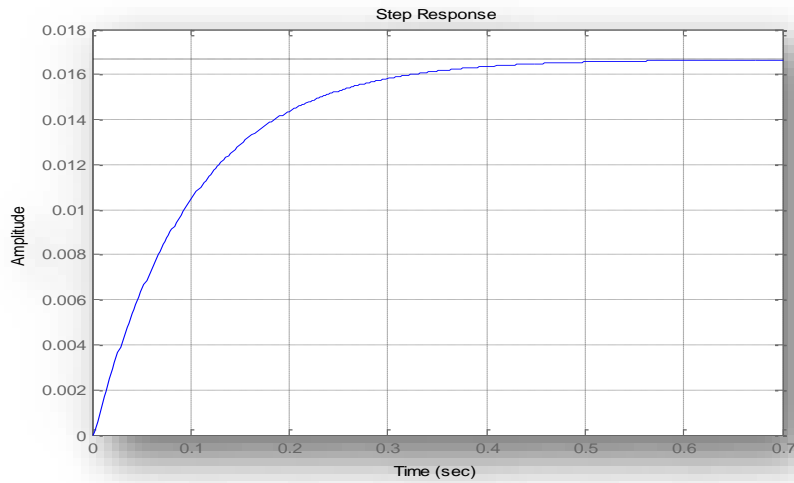
```

ومن خلال ملاحظة نتائج البرنامج نجد أن دالة التحويل للمحرك هي:

$$G(s) = \frac{1.137e^{-0.13}s + 100}{s^2 + 610s + 6001} = \frac{1.1369e^{-0.13}(s + 8.76e^{0.14})}{(s + 600)(s + 10)} \quad (8)$$

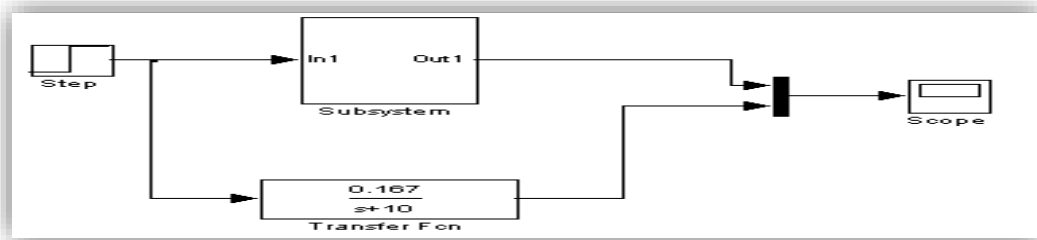
والتي يمكن التعبير عنها بدالة تحويل من الدرجة الأولى وذلك بإلغاء القطب والصفير البعيدين والذي ليس لهما تأثير على الاستجابة للمحرك وإبقاء القطب الفعال فقط **Dominant Pole** وهو $S=-10$ لتصبح دالة التحويل للمحرك هي:

$$G(s) = \frac{0.167}{s+10} \quad (9)$$



الشكل (5) استجابة المحرك لدالة الخطوة.

يبين النموذج التالي مقارنة استجابة نموذج **simulink** للمحرك مع استجابة دالة التحويل للمحرك والتي تبين إن لهما نفس الاستجابة.



الشكل (6) مقارنة الأداء لنوعين من المندمجة لنفس المحرك.

تصميم نظام تحكم مغلق للتحكم في سرعة المحرك

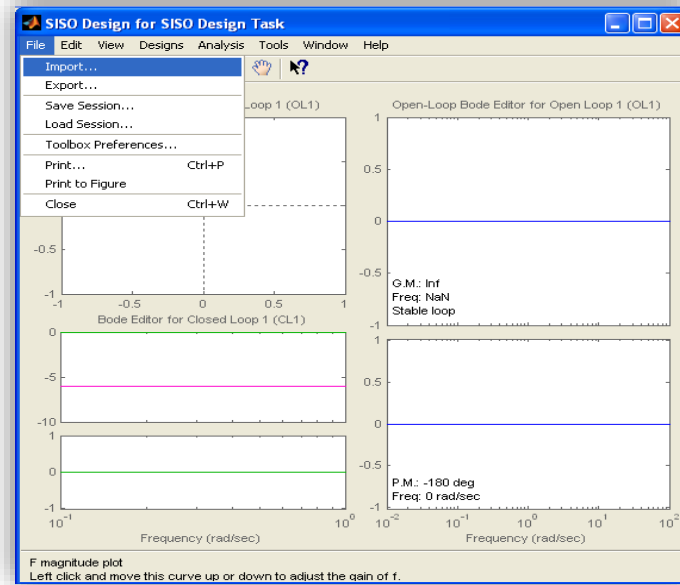
بعد إن لاحظنا أداء المحرك بدون حاكم تم اختيار الحاكم التناسبي التكاملي وذلك لتحقيق شروط استجابة للنظام المغلق وهي الوصول إلي نسبة خطأ عند الاستقرار تساوي صفر و اقل زمن استقرار للاستجابة و اعلي قمة تجاوز الهدف اقل من ولا تزيد عن 15%.

وبما أن دالة التحويل للحاكم التناسبي التكامل هي:

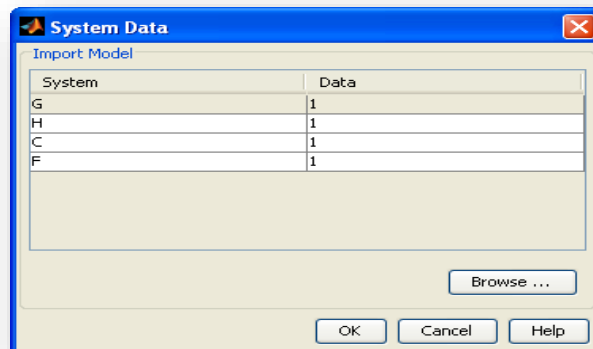
$$G_C(S) = k_p \frac{k_i}{S} \quad (10)$$

$$G_C(s) = \frac{k_p S + k_i}{s} = \frac{k_p (S + \frac{k_i}{k_p} S)}{S} \quad (11)$$

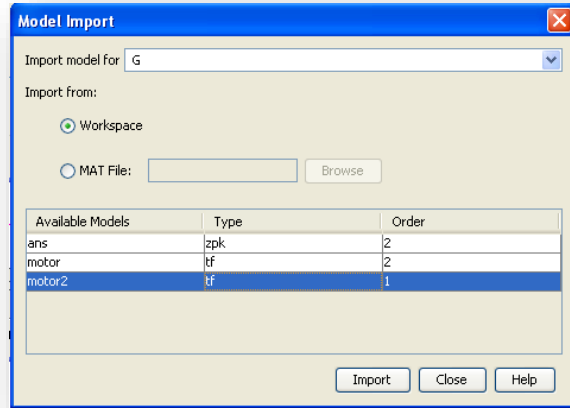
للبدء في عملية تصميم الحاكم التناسبي التكامل يتم استخدام أداة التصميم الموجودة في برنامج Matlab وهي **sisotool** وستظهر نافذة التصميم المبينة في الشكل التالي والتي منها يتم إدخال دالة التحويل للمحرك ثم اختيار نوع الحاكم والبدء بالتصميم باستخدام طريقة الجذور الهندسية (**root locus method**) مباشرة وذلك بتحديد مكان الصفر وإضافة قطب عند نقطة الأصل للحاكم التناسبي التكامل وملاحظة تغير موضع الأقطاب للنظام المغلق عند تغيير معامل الكسب للحاكم والتي تحدد شكل الاستجابة. ويمكن ملاحظة شكل الاستجابة للنظام المغلق بهذه الأداة ألي أن يتم الوصول ألي الاستجابة المطلوبة. وتبين الأشكال التالية مراحل انجاز التصميم للحاكم التناسبي التكامل.



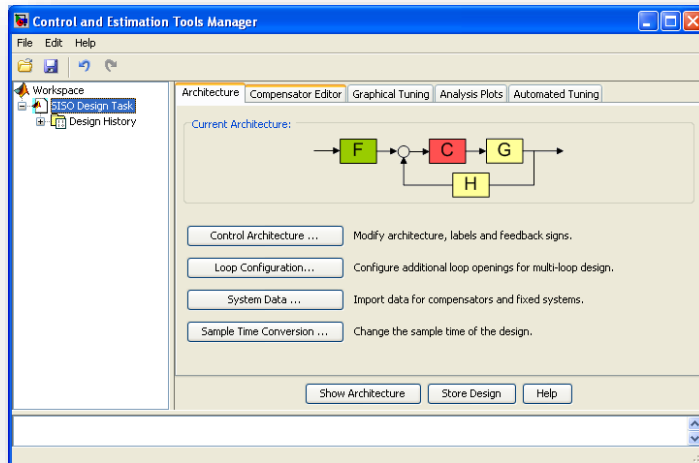
الشكل (7) النافذة الرئيسية لأداة التصميم للحاكم **sisotool**.



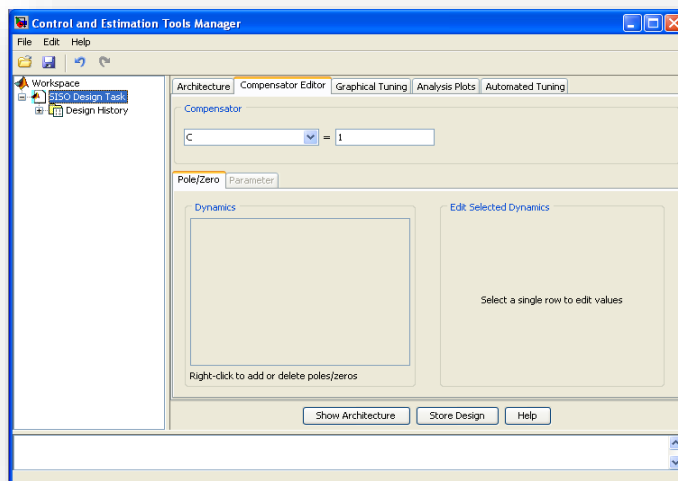
الشكل (8) نافذة اختيار بيانات نظام التحكم المغلق.



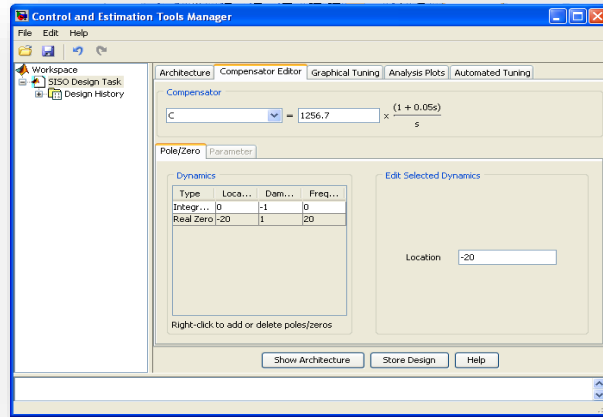
الشكل (9) نافذة إضافة دالة التحويل للمحرك لأداة التصميم sisotool.



الشكل (10) نافذة تحديد المخطط الصندوقي لنظام التحكم المغلق.



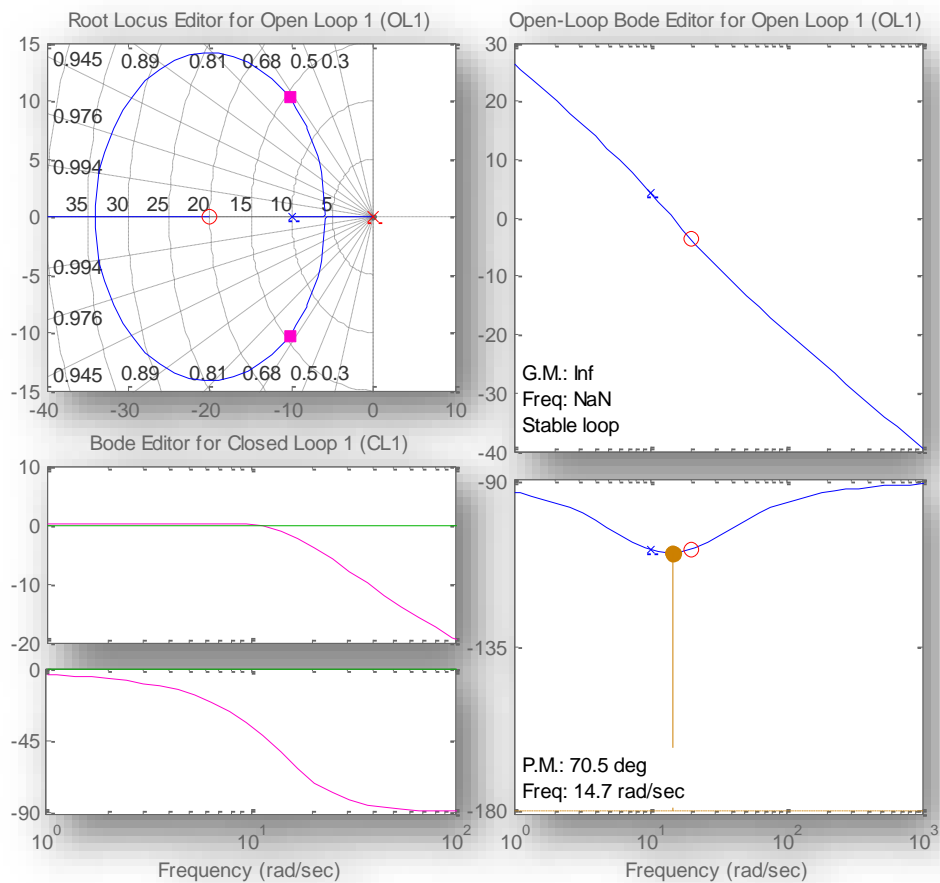
الشكل (11) نافذة تحديد نوع الحاكم المستخدم في نظام التحكم المغلق.



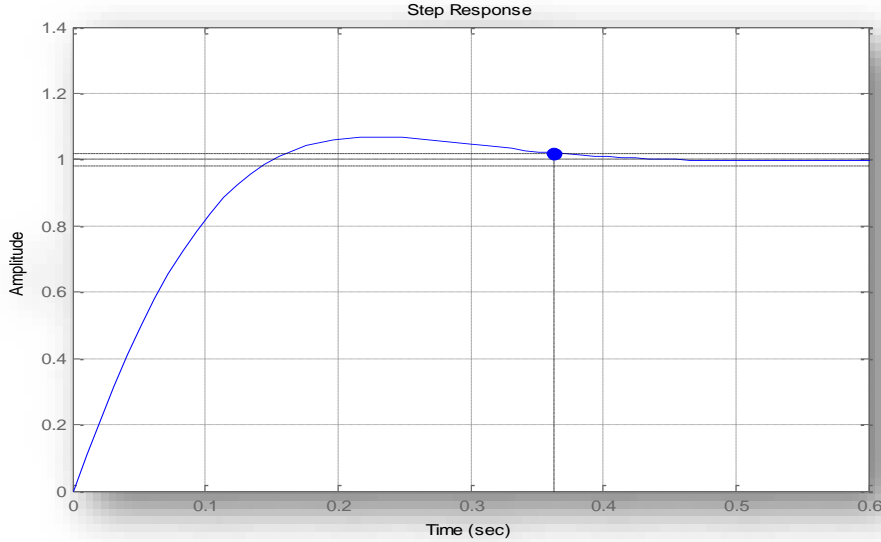
الشكل (12) تحديد الحاكم التناسبي التكاملي في اداة التصميم.

ومنها يمكن معرفة معاملات الكسب للحاكم مباشرة بالمقارنة بمعاملات دالة التحويل للحاكم التناسبي التكاملي.

$$K_p = 1256.7 * 0.05 = 62.8; k_i = 1256.7$$

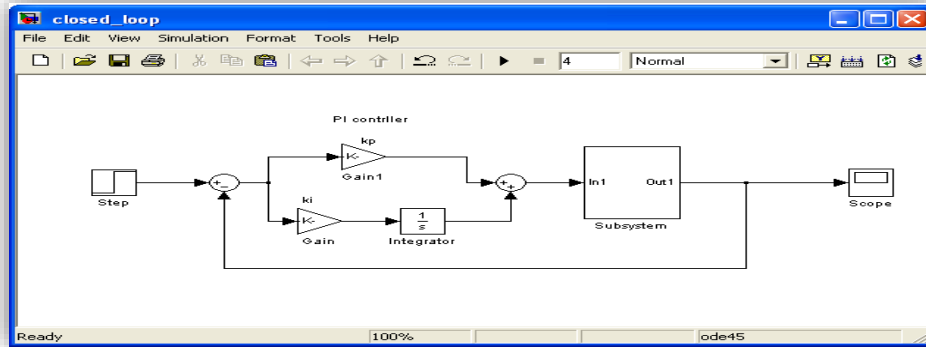


الشكل (13) تحديد موضع الاقطاب للنظام المغلق التي تحدد شكل الاستجابة.



الشكل (14) استجابة نظام التحكم المغلق لدالة الخطوة.

محاكاة نظام التحكم المغلق للتحكم في سرعة المحرك باستخدام نموذج Simulink تم تكوين نموذج للتحكم المغلق باستخدام الحاكم التناسبي التكاملي للتحكم في سرعة المحرك.



الشكل (15) نموذج محاكاة لنظام التحكم المغلق باستخدام الحاكم التناسبي التكاملي.

تحويل نظام التحكم المغلق من تماثلي إلى رقمي
 للتحكم في سرعة المحرك باستخدام حاكم تناسبي تكاملي رقمي وللحصول على نفس الأداء ونفس مواصفات الاستجابة تم استخدام برنامج الماتلاب التالي لإيجاد عرض نطاق النظام المغلق Bandwidth وذلك لمعرفة زمن التقطيع لنظام التحكم الرقمي والذي يمكن استخدامه للحصول على نفس استجابة نظام التحكم المغلق التماثلي وذلك لتحقيق الشرط التالي:

$$T \leq \frac{1}{10f_b}$$

حيث $w_b = 2\pi f_b$ عرض النطاق للنظام المغلق

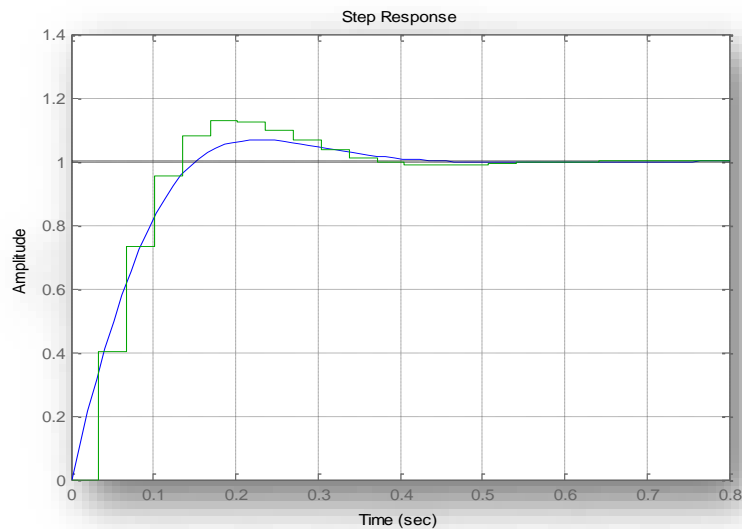
ويتم في هذا البرنامج تحويل النظام من دوال تحويل في نطاق لابلاس إلى دوال تحويل في نطاق Z وذلك للتأكد والمقارنة لكل من استجابة نظام التحكم الرقمي المغلق ونظام التحكم التماثلي المغلق.

```
clc
num=.167;
```

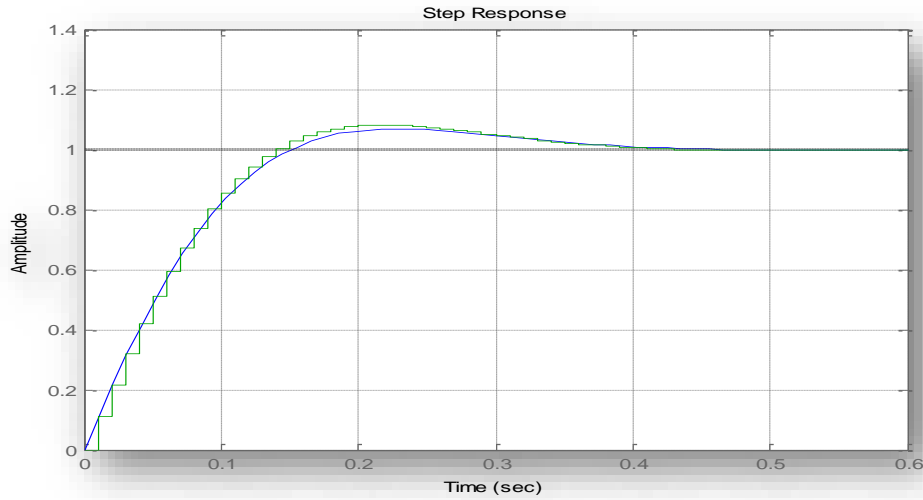
```

den=[1 10];
motor=tf(num,den)
kp=62.8;
ki=1256.7;
nc=[kp ki];
dc=[1 0];
PIcont=tf(nc,dc)
openloop=series(motor,PIcont)
closedloop=feedback(openloop,1)
figure(1)
step(closedloop)
hold on
bw=bandwidth(closedloop)
fb=bw/(2*pi)
T=1/(10*fb) %%
motord=c2d(motor,T,'zoh')
PIcontd=c2d(PIcont,T,'tustin')
openloopd=series(motord,PIcontd)
digital_sys=feedback(openloopd,1)
step(digital_sys)
grid
hold off

```

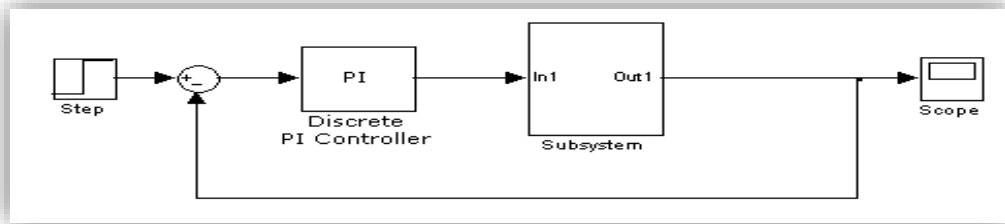


الشكل (16) يوضح مقارنة للاستجابة لنظام التحكم المغلق الرقمي والتماثلي باستخدام الحاكم التناسبي التكاملي عند زمن تقطيع (T=0.0338 sec).



الشكل (17) يوضح مقارنة للاستجابة لنظام التحكم المغلق الرقمي والتمائلي باستخدام الحاكم التناسبي التكاملي عند زمن تقطيع (T=.01sec).

نلاحظ من الاستجابتين السابقتين لدالة الخطوة للنظام المغلق الرقمي انه كلما كان زمن التقطيع صغير كل ما تطابق أداء النظام الرقمي مع أداء النظام التماثلي. وذلك باستخدام نموذج simulink كما مبين في الشكل التالي:



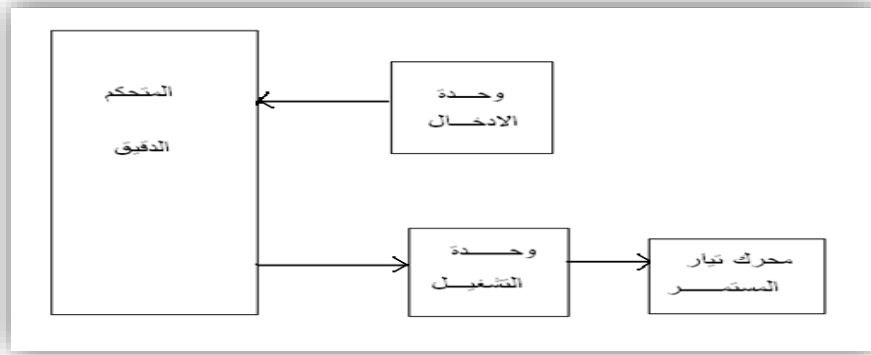
الشكل (18) يوضح النظام التحكم المغلق مع الحاكم التناسبي التكاملي الرقمي.

محاكاة نظام التحكم في سرعة المحرك في الحلقة المفتوحة

تعتمد فكرة عمل الدائرة في الحلقة المفتوحة على المتحكم الدقيق، بحيث عند الضغط على المفتاح تصدر إشارة الي المتحكم الدقيق بحيث يقوم المتحكم الدقيق بإعطاء إشارة (high) من خلال المنفذ (Port C2) إلى قاعدة الترانزستور، حيث يقوم الترانزستور بسحب التيار من المجمع إلى الباعث مما يؤدي سريان التيار بملف المحرك فيتولد مجال مغناطيسي بالملف مما يؤدي الي دوران المحرك بحيث يدور المحرك علي حسب السرعة المطلوبة أو المخزنة بالمتحكم الدقيق. حيث تعتمد فكرة التحكم في سرعة المحرك على تقنية (PWM) التي تم شرحها في الباب الرابع أي كلما تكبر عرض النبضة الداخلة إلى قاعدة الترانزستور تزيد كمية سحب الجهد من المجمع إلى الباعث مما يؤدي الي زيادة سرعة المحرك ويتم التحكم في سرعة المحرك بواسطة المفتاح السداسي والشكل (20) يوضح طريقة توصيل الترانزستور والمحرك مع المتحكم الدقيق.

المخطط الصندوقي لمنظومة التحكم المفتوح

هذه المنظومة هي عبارة عن محرك متغير السرعة مثبت به مفتاح وظيفته تحكم في سرعة المحرك، وترانزستور وظيفتها إعطاء جهد للمحرك وكل هذه المكونات المادية للمنظومة متصلة بالمتحكم الدقيق والشكل (19) يوضح المخطط الصندوقي للمنظومة.



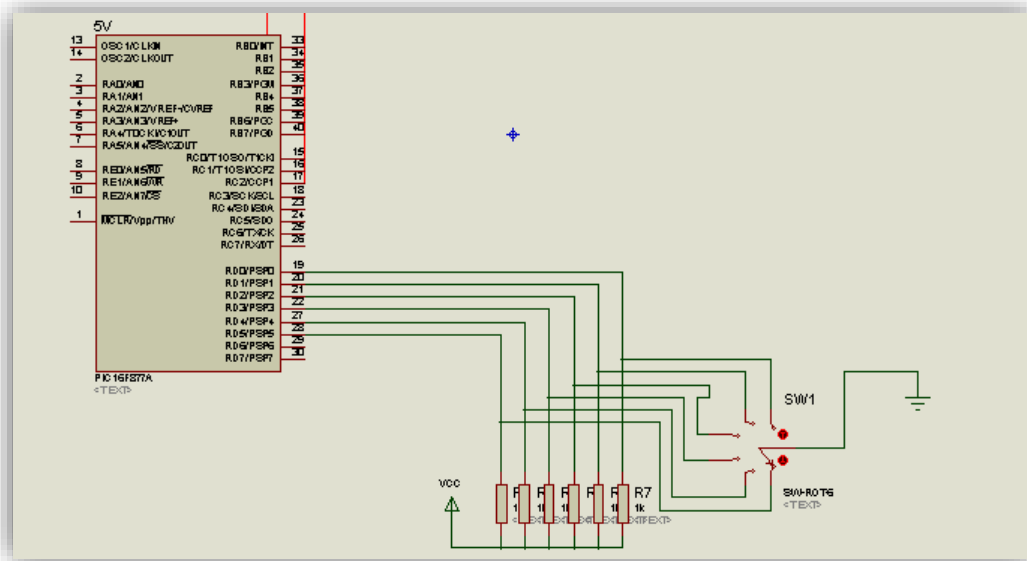
الشكل (19) المخطط الصندوقي للمنظومة.

مكونات منظومة التحكم المفتوح

هي مكونات أساسية والتي عن طريق هذه المكونات يقوم المتحكم الدقيق باستقبال الإشارة المبعوثة من وحدة الإدخال وإعطاء الأوامر الي وحدة التشغيل وباقي الوحدات الأخر.

وحدة الإدخال

يعتبر المفتاح السداسي كوحدة إدخال للمتحكم الدقيق المتصل بالمنفذ (Port D) حيث يقوم المفتاح بتحديد السرعة المطلوبة للمحرك، حيث توجد ستة مفاتيح ادخال بالمتحكم كما بالشكل (20). تم توصيل مقاومة مع كل مفتاح لمنع حدوث (short circuit) بين الجهد V_{CC} والأرضي.

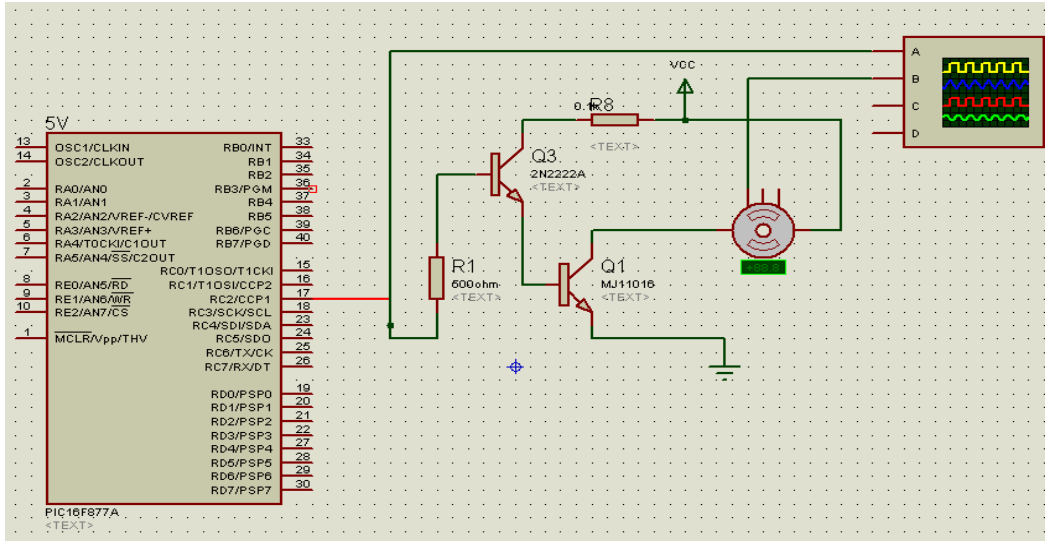


الشكل (20) طريقة توصيل المفتاح مع المتحكم الدقيق.

وحدة التشغيل

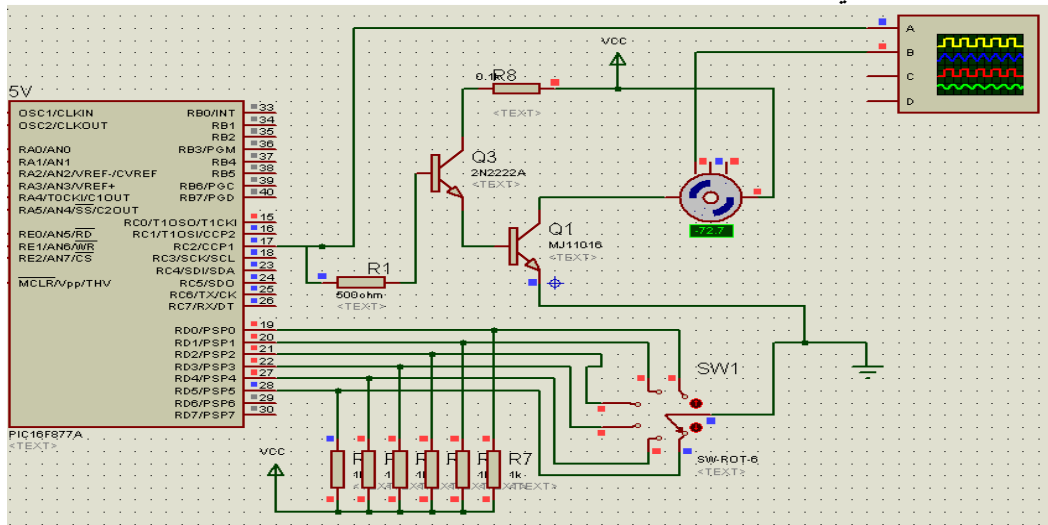
يعتبر الترانزستور كوحدة تشغيل في الدائرة متصل بالمنفذ (PORT C2) كما انه يعتبر كمفتاح لتشغيل المحرك حيث تم استخدام الترانزستور نوع (NPN) ذو القاعدة الموجبة و لترانزستور ثلاثة أطراف القاعدة (Base) والمجمع (Collector) والباعث (Emitter) ولكي يعمل الترانزستور كمفتاح يجب أن يكون تيار القاعدة كافيًا لكي يضع الترانزستور في منطقة التشبع، حيث يقوم المتحكم الدقيق بإعطاء نبضة من خلال المنفذ (PORT C2) إلى قاعدة الترانزستور، حيث يقوم الترانزستور بسحب التيار من المجمع إلى الباعث مما يؤدي إلى دوران المحرك بحيث يدور المحرك علي حسب السرعة المطلوبة أو المخزنة بالمتحكم الدقيق حيث تعتمد فكرة التحكم في سرعة المحرك علي تقنية (PWM). كلما تكبر عرض النبضة الداخلة إلى قاعدة الترانزستور تزيد كمية سحب الجهد من المجمع إلى الباعث مما يؤدي

الي زيادة سرعة المحرك ويتم التحكم في سرعة المحرك بواسطة المفتاح السداسي والشكل (21) يوضح طريقة توصيل الترانزستور والمحرك مع المتحكم الدقيق.



الشكل (21) طريقة توصيل الترانزستور والمحرك مع المتحكم الدقيق.

تركيب الدائرة كاملة في الحلقة المفتوحة



الشكل (22) تركيب الدائرة كاملة في الحلقة المفتوحة.

نتائج اختبار منظومة التحكم المفتوح

تم اختبار منظومة التحكم المفتوح بواسطة برنامج (ISIS) وكانت النتائج كما في الجدول (2).

جدول (2) نتائج المحاكاة في الحلقة المفتوحة.

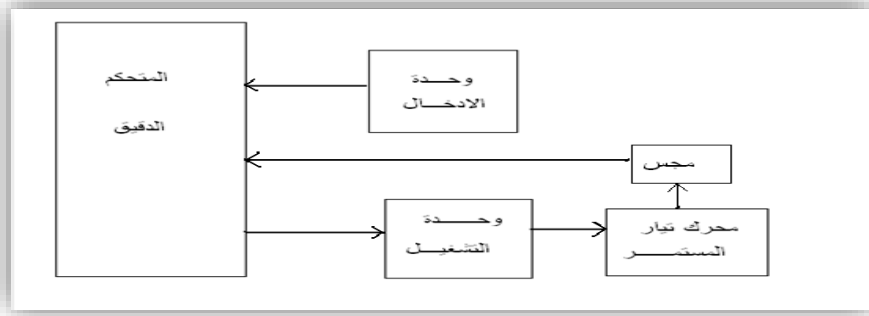
المفتاح	عرض النبضة	سرعة المحرك (Rpm)	زمن الاستقرار بالثانية
S1	0	0	0
S2	50	5.47	2.3
S3	100	19.6	3.8
S4	150	34.0	5
S5	200	48.5	2.5
S6	255	64.6	2.3

محاكاة نظام التحكم في سرعة المحرك في الحلقة المغلقة

تعتمد فكرة عمل الدائرة في الحلقة المغلقة علي المتحكم الدقيق، بحيث عند الضغط علي المفتاح لتحديد السرعة المطلوبة تصدر إشارة الي المتحكم الدقيق، بحيث يقوم المتحكم الدقيق بإعطاء إشارة (high) من خلال المنفذ (PORT C2) إلي قاعدة الترانزستور الأول (B1) فيسحب التيار من المجمع (C1) الي الباعث (E1) في الترانزستور الأول ومنها الي قاعدة الترانزستور الثاني (B2)، فيسحب التيار من المجمع (C2) الي الباعث (E2) مما يؤدي سريان التيار بملف المحرك فيتولد مجال مغناطيسي بالملف مما يؤدي الي دوران المحرك بحيث يدور المحرك علي حسب السرعة التي تم تحديدها بواسطة المفتاح، أو السرعة المخزنة بالمتحكم الدقيق، وتختلف فكرة عمل الدائرة في الحلقة المغلقة عن الحلقة المفتوحة وذلك أن يقوم المتحكم الدقيق بقراءة السرعة الخارجة من المجس الموجود في المحرك ويقوم بمقارنتها بـ (السرعة المخزنة في البرنامج المحمل في المتحكم الدقيق)، في حالة كانت قراءة سرعة المحرك أكبر من السرعة المطلوبة في هذه الحالة تكون فترة نبضة (off) أكبر من فترة نبضة (on) لكي يقلل من سرعة المحرك الي أن تصل الي السرعة المطلوبة، والعكس إذا كانت السرعة المطلوبة أكبر من سرعة المحرك تكون فترة نبضة (on) أكبر من فترة (off) أي أن تصل الي السرعة المطلوبة.

المخطط الصندوقي للمنظومة المغلقة

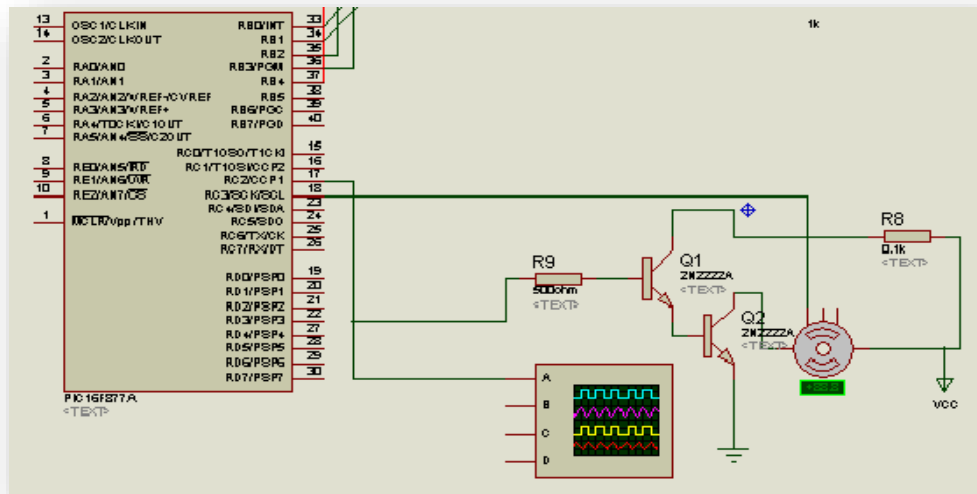
هذه المنظومة هي عبارة عن محرك متغير السرعة ووحدة الإدخال وهي مفتاح وظيفتها التحكم في سرعة المحرك ووحدة التشغيل ترانزستورات وظيفتها إعطاء جهد للمحرك ووحدة المقارنة (close loop) للمقارنة بين سرعة خرج المحرك والسرعة المطلوبة وكل هذه المكونات المادية للمنظومة متصلة بالمتحكم الدقيق والشكل (23) يوضح المخطط الصندوقي للمنظومة.



الشكل (23) المخطط الصندوقي للمنظومة.

وحدة التشغيل

تعتبر الترانزستورات كوحدة تشغيل في الدائرة متصل بالمنفذ (PORT C2) والشكل (4.6) طريقة توصيل المحرك بالترانزستورات في الدائرة المغلقة مع المتحكم الدقيق، حيث يقوم المتحكم الدقيق بإعطاء نبضة من خلال المنفذ (PORT C2) إلي قاعدة الترانزستور الأول $Tr1$ فيمر التيار عبره وبدوره يعطي إلي قاعدة الترانزستور الثاني $Tr2$ فيصبح إشارة المجمع لترانزستور الثاني متصلة بالأرضي. وبعد ذلك يشتغل المحرك علي حسب السرعة المطلوبة أو التي تم تحديدها بالمفتاح الخماسي حيث يقوم المتحكم الدقيق بالمقارنة بين سرعة خرج المحرك المتصل بالمنفذ (C3) والسرعة المطلوبة أو المخزنة بالمتحكم الدقيق.



الشكل (24) طريقة توصيل المحرك بالترانزستورات في الدائرة المغلقة مع المتحكم الدقيق.

المجس (Sensor)

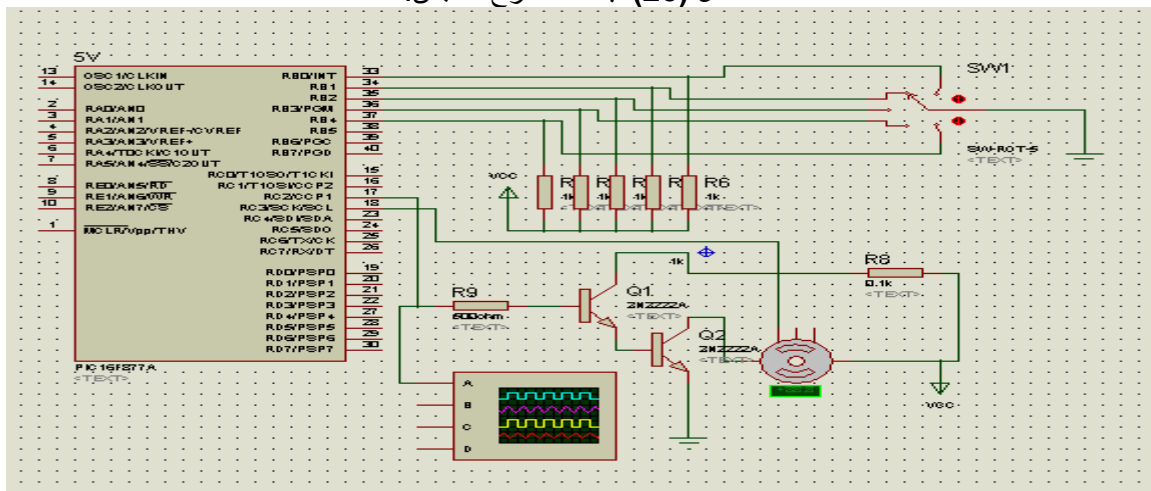
المجس المستخدم شفت انكودر وهو ينتج 24 نبضة لكل لفة كما موضح بالشكل (25).
 * حساب سرعة دوران المحرك: -

$$\text{السرعة} = \frac{\text{عدداللفات}}{\text{الزمن}} ، \text{السرعة} = \frac{1}{T}$$

حيث T1 الزمن اللازم للفة الكاملة وهي زمن أنتاج 24 نبضة من المجس.



الشكل (25) نبضات خرج المجس.



الشكل (26) تركيب الدائرة كاملة في حلقة المغلقة.

خوارزمية منظومة التحكم المغلق

لكي يتم تشغيل المتحكم الدقيق يجب إعداد برنامج التحكم وتخزينه في المتحكم الدقيق. خوارزمية التحكم المغلق توضح خطوات عمل المتحكم لإنجاز مهمة التحكم في سرعة المحرك.

نتائج اختبار منظومة التحكم المغلق

تم اختبار منظومة التحكم المغلق بواسطة برنامج (ISIS) وكانت النتائج كما في الجدول (3)

جدول (3) نتائج المحاكاة في الحلقة المغلقة.

مقدار الخطاء (RpM)	زمن الاستقرار يحدد بالدقيقة	سرعة المحرك المطلوبة (RpM)	وضعية المفتاح
0	0	0	S1
3.3	1.2	30	S2
2.2	2.6	60	S3
1.5	4.7	90	S4
1	10	120	S5

الخاتمة:

في هذة الورقة تم التحكم في سرعة محرك التيار المستمر باستخدام المتحكم الدقيق، حيث تحصلنا على تحكم سلس ودقيق في السرعة عبر استخدام إشارة PWM، التي يمكن من خلالها تغيير سرعة المحرك بسهولة من خلال تعديل نسبة عرض النبضة، مما يتيح التحكم بالسرعة بشكل سلس ودقيق، بالإضافة الى كفاءة طاقة محسنة بفضل التحكم الديناميكي في الجهد المطبق، والذي تم تقليل استهلاك الطاقة بشكل كبير مقارنةً بالتحكم التقليدي الذي يعتمد على تعديل مقاومات أو تحويلات ميكانيكية، وايضا استقرار عالي في السرعة باستخدام حلقات التحكم مثل PID، والذي مكنا من ضبط السرعة لتبقى ثابتة تحت تأثير الأحمال المختلفة أو تغيرات في الجهد، مما يزيد من استقرار النظام.

المراجع

- [1] R. Rikwan and A. Ma'arif, "DC motor rotary speed control with Arduino UNO based PID control," *csol*, vol. 1, no. 1, pp. 17–31, 2023.
- [2] V. E. Vavilov, R. A. Kilmotov, and A. R. Khakimyanov, "Electronic speed controller of collectorless dc motors of unmanned aerial vehicles," in *2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2024, pp. 570–574.
- [3] A. Ranjan, R. Paul, R. Pandey, and A. Sengupta, "Design of Closed Loop Boost Converter fed Separately Excited DC Motor and its Wavelet based Denoising," in *2023 International Conference on Communication, Circuits, and Systems (IC3S)*, 2023, pp. 1–6.
- [4] J. A. Niembro-Ceceña, R. A. Gómez-Loenzo, and J. Rodríguez-Reséndiz, "SoftCtrlDC-M: Embedded control software for brushed direct current motors," *SoftwareX*, vol. 25, no. 101643, p. 101643, 2024.
- [5] A. Top and M. Gökbulut, "A novel period-based method for the measurement direct current motor velocity using low-resolver encoder," *Trans. Inst. Meas. Control*, p. 014233122211226, 2022.
- [6] A. A. Ahmed, A. Alsharif, T. Triwiyanto, M. Khaleel, C. W. Tan, and R. Ayop, "Using of neural network-based controller to obtain the effect of hub motors weight on electric vehicle ride comfort," in *2022 IEEE 2nd International Maghreb*

Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA), 2022.

- [7] N. Das, L. R. S. Paragond, and B. H. Waghmare, "An optimised brushless DC motor control scheme for robotics applications," *arXiv [cs.RO]*, 2024.
- [8] P. Manikandan, P. Sivakumar, C. S. Varshini, N. V. Ganesh, E. Tejaswani, and M. Balaram, "Method of fuel control and monitoring system under electromagnetic impulses using STM32 microcontroller," in *2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC)*, 2023, pp. 1442–1447.
- [9] A. Alsharif, A. A. Ahmed, M. M. Khaleel, and M. A. Altayib, "Ancillary services and energy management for electric Vehicle: Mini-review," *The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)*, vol. 1, no. 1, pp. 9–12, 2023.
- [10] A. Banik, J. Umesh, G. Bhadade, and A. Gaikwad, "Speed control of single phase induction motor using TRIAC and Bluetooth device," in *2023 IEEE 2nd International Conference on Industrial Electronics: Developments & Applications (ICIDeA)*, 2023, pp. 516–521.
- [11] Q. Ariyansyah and A. Ma'arif, "DC motor speed control with Proportional Integral Derivative (PID) control on the prototype of a mini-submarine," *jfsc*, vol. 1, no. 1, pp. 18–24, 2023.
- [12] M. Khaleel, M. Şimşir, Z. Yusupov, N. Yasser, H. Elkhozondar, and A. A. Ahmed, "The role of fault detection and diagnosis in induction motors," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 1, pp. 31–40, 2023.
- [13] F. Ardiyanto, W. Wiyono, R. Rahmat, and E. B. Raharjo, "Design and manufacturing of control circuits for centrifuge device motors," *BISEENG*, vol. 1, pp. V124016–V124016, 2024.
- [14] A. S. D. Alarga, H. S. Hawedi, I. Imbayah, A. A. Ahmed, A. Alsharif, and M. M. Khaleel, "A simple Design of Automatic Bag Valve Mask Ventilator using arduino," in *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2023.
- [15] K. Kroičs and A. Būmanis, "BLDC motor speed control with digital adaptive PID-Fuzzy controller and reduced harmonic content," *Energies*, vol. 17, no. 6, p. 1311, 2024.
- [16] A. Ghayth, M. Şimşir, M. Khaleel, A. Ahmed, and A. Alsharif, "An investigation of Inverse-Automatic Mechanical Transmission of EV using gear downshift approach," *Int. J. Electr. Eng. and Sustain.*, pp. 1–9, 2023.
- [17] M. Khaleel, A. A. Ahmed, and A. Alsharif, "Technology challenges and trends of electric motor and drive in electric vehicle," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 1, pp. 41–48, 2023.
- [18] M. Belrzaeg, A. Ahmed, M. Khaleel, A. Alsharif, M. M. Rahmah, and A. S. D. Alarga, "Suspension system control process for buses with in-wheel motors," *ICCEIS 2022*, vol. 29, no. 1, p. 4, 2023.
- [19] M. Kuczmann, "Review of DC motor modeling and linear control: Theory with laboratory tests," *Electronics (Basel)*, vol. 13, no. 11, p. 2225, 2024.
- [20] A. Latif, A. Z. Arfianto, H. A. Widodo, R. Rahim, and E. T. Helmy, "Motor DC PID system regulator for mini conveyor drive based-on matlab," *jrc*, vol. 1, no. 6, pp. 185–190, 2020.

- [21] A. Alsharif, A. A. Ahmed, M. M. Khaleel, A. S. D. Alarga, O. S. M. Jomah, and A. B. E. Alrashed, "Stochastic method and sensitivity analysis assessments for vehicle-to-home integration based on renewable energy sources," in *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2023, pp. 783–787.
- [22] M. Nassim and A. Abdelkader, "Speed control of DC motor using fuzzy PID controller," *arXiv [eess.SY]*, 2021.
- [23] K. S. Gowthaman, S. Palaniyappan, L. Hubert Tony Raj, and A. T. Sankara Subramanian, "Temperature detection and control in multiple DC motors," *Mater. Today*, vol. 45, pp. 2202–2206, 2021.