

تصميم نظام لقيادة المحرك ذي المقاومة المغنطيسية المتغيرة (SRM (3/4 وتنفيذه باستخدام الحاسوب

الدكتور علي الجازي *

الدكتور عباس صندوق **

الملخص

جرى في هذه المقالة عرض مبدأ عمل المحرك ذي المقاومة المغنطيسية المتغيرة (SRM) واستخدام المتحكم الصغري Atmega 8535 والحاسوب الشخصي في تشكيل نظام لقيادة هذا النوع من المحركات، ومن ثم الحصول على نظام قيادة يمكن استخدامه للحصول على طرائق تحكمية متعددة.

تتضمن هذه المقالة تفاصيل الدارات العملية المنفذة (دارت الاستطاعة ودارات القيادة لها)، ومن ثم إظهار نظام قيادة يستخدم فيه المتحكم الصغري Atmega 8535، ويمكن عدّ نظام التحكم المنفذ من الأنظمة الأساسية للتحكم بالمحرك ويمكن بسهولة تعديل البرامج المخزنة في المتحكم الصغري وفي الحاسوب وتكييفها لتناسب وتطبيقات أخرى محددة. زود النظام المنفذ بـ 16 مخرجاً للنبضات، ومن ثم قيادة محرك يصل عدد أطواره حتى الـ 16 طوراً. أُجري الربط بين الحاسب ودارة القيادة من خلال المنفذ التسلسلي RS 232 .

فضلاً عن ذلك نُفذ تطبيق عملي (مخبري) لنظام تحكم زود بإمكانية التحكم بالتيار وتغيير السرعة ومراقبة وضع الدائر من خلال حساس (Encoder).

الكلمات المفتاحية: المتحكم المنطقي Atmega 8535، المحرك ذو المقاومة المغنطيسية المتغيرة قيادة المحرك ذي المغنطيسية المتغيرة

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

** مدرس - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

1 - مقدمة

محيطها الخارجي مجموعة أخرى من الكتل الحديدية عددها n تشير إلى عدد أقطاب الدائر ولا توضع عليها أي ملفات، وتعدُّ هذه الكتل بمنزلة أقطاب للجزء الدائر والشرط الأساسي لبناء هذا النوع من المحركات هو ($n \neq m$) تتميز المحركات عن بعضها بعضاً بنسبة هذين العددين [4].

3 - مبدأ عمل المحرك

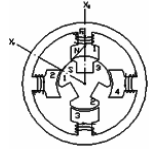
عند تغذية أحد ملفات الثابت تنشأ في الكتلة الحديدية الموجود عليها هذا الملف سيالة مغنطيسية تصبح بمنزلة قطب شمالي تخرج السيالة المغنطيسية منه وتنتج نحو أسنان الجزء الدائر ليصبح بمنزلة قطب مغنطيسي جنوبي، ويحدث التجاذب بين القطب الشمالي للثابت المغذى والقطب الجنوبي للدائر مما يؤدي إلى تحرك هذا السن وبالتالي إلى دوران الجزء الدائر. والشكل (1) يبين أشكالاً مختلفة للمحرك ذي المقاومة المغنطيسية المتغيرة [5] [4].



2- phase,
2 rotor poles
4 stator poles



4- phase ,
6 rotor poles, 8
stator poles



4- phase, 3 rotor poles ,4 stator poles



3- phase,
4 rotor poles
6 stator poles



5- phase,
8 rotor poles
10 stator poles

الشكل (1) يبين أشكال مختلفة للمحرك ذي المقاومة المغنطيسية المتغيرة (SRM)

تحظى المحركات ذات المقاومة المغنطيسية المتغيرة اليوم بجزء كبير من البحوث كونها تعدُّ من النماذج ذات الكلفة الأقل لأن الدائر فيها دون ملفات وهو عبارة عن معدن مسط أو من رقائق معدنية، وهناك عدة نماذج من هذه المحركات وتختلف هذه النماذج عن بعضها بعضاً بعدد أقطاب الثابت وعدد أسنان الدائر. في معظم الدراسات يصمم المحرك إما عن طريق محدداته، أو من خلال حساب السيالة المغنطيسية، أو الحل العددي للمعادلة التفاضلية الواصفة له وغيرها من الطرائق.

فالغاية من البحث هي تصميم نظام تحكم يستطيع تغذية محركات بعدد من الأطوار من 2 طوراً حتى 16 طوراً وتنفيذ، ويمتلك من الديناميكية بحيث يمكن أن يغذى المحرك ذو المقاومة المغنطيسية المتغيرة بعدة استراتيجيات (طرائق توصيل ملفات المحرك مع دارة الاستطاعة)، ومراقبة تيارات وتوترات الملفات والسرعة والعزم من خلال شاشة الحاسوب (PC) مع إمكانية التدخل عند الضرورة ومن خلال البرمجيات المخزنة في الحاسوب لفرملة المحرك، أو إقلاعه والتحكم بتياره وبالتالي التحكم بعزم المحرك.

2 - بنية المحرك

يتكون المحرك ذو المقاومة المغنطيسية المتغيرة (الدوار) من جزئين رئيسيين أحدهما الثابت والآخر الدائر. يتكون الجزء الثابت (Stator) من إطار حديدي يحمل على سطحه الداخلي مجموعة من الكتل الحديدية التي تحمل ملفات (Winding) وعند مرور التيار الكهربائي في هذه الملفات تصبح هذه الكتل بمنزلة أقطاب مغنطيسية ثابتة للمحرك ويرمز لعدد هذه الأقطاب بـ m قطباً، في حين يتكون الجزء الدائر (Rotor) من أسطوانة حديدية (نواة) تحمل على

هناك العديد من طرائق توصيل ملفات الثابت مع منبع التغذية. ولكل طريقة من هذه الطرائق مميزات، وبالتالي كل طريقة يمكن عدها حالة تشغيل خاصة للمحرك مثلاً (تغذية كل ملف وحده، تغذية ملفين متقابلين بأن واحد، تغذية ملف يتلو ذلك تغذية الملف المجاور وهكذا ومن ثم يجب عند تصميم دارات القيادة وتنفيذها أن تكون مناسبة للعمل ضمن أكثر من استراتيجية تغذية لملفات الجزء الثابت.

الجدول (1) يبين بعض هذه الاستراتيجيات لتوصيل ملفات الثابت مع منبع التغذية من أجل دورة واحدة.

Winding 1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Winding 2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Winding 3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Winding 4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

أ - طريقة تغذية الملفات بشكل كل ملف وحده

Winding 1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Winding 2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Winding 3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Winding 4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1

ب - طريقة تغذية الملفات بحيث تتم تغذية بشكل (ملف وحده ملفين معاً ملف وحده)

4 - النموذج الرياضي للمحرك ذي المقاومة

إذ: L_L : عامل التحريض المقابل للسيالة المتشردة وهو

تقريباً ثابت من أجل تيار محدد.

L_u : عامل التحريض المقابل للسيالة الرئيسية أو المفيدة.

ج - معادلة التيار

- عندما يكون الدائر ثابتاً فإن قيمة التيار i تعطى

$$i = \frac{u}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (3)$$

- عندما نعد أن المقدار $e_r = \frac{dL_u}{d\theta} \cdot \omega$ ثابت أي

إن مشتق عامل التحريض L_u بالنسبة إلى زاوية الدوران ثابت أي علاقة عامل التحريض بالزاوية تمثل بعلاقة خطية عندها يكون تغير التيار كما هو مبين بالعلاقة الآتية:

المغناطيسية المتغيرة (SRM)

عند رسم ممرات السيالة الناتجة من القطب نجد أن هذه السيالة تخترق أكثر من ثغرة هوائية واحدة وربما هناك ثغرات على التفرع وبالتالي الدارة المغناطيسية للقطب ليست دارة بسيطة بل معقدة نسبياً.

[3],[4],[5]

يتكون النموذج الرياضي لهذا النوع من المحركات من مجموعة من المعادلات كما هو معروف في أنواع الآلات الأخرى وهي:

آ - معادلة التوتر

$$u = i \cdot R + N \frac{d\phi}{dt} = i \cdot R + \frac{d(N \cdot \phi)}{dt} = i \cdot R + \frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

ب - معادلات التوتر والدائرة المكافئة

$$u = i \cdot R + L_L \frac{di}{dt} + L_u \frac{di}{dt} + i \frac{dL_u}{d\theta} \omega \quad (2)$$

5 - طرائق قيادة المحرك ذي الممانعة المغنطيسية المتغيرة SRM

يصنف عادة هذا النوع من المحركات ضمن مجموعة المحركات الخاصة، لذلك يطبق عليه طرائق قيادة مشابهة للطرائق المستخدمة في قيادة المحركات الكهربائية الخاصة، فعند استخدام أي طريقة من طرائق قيادة هذا النوع من المحركات لابد من الأخذ بالحسبان زاوية توضع الدائر. يقاد هذا النوع من المحركات بطريقتين:

الأولى: دون حلقة تغذية خلفية (دون عنصر مراقبة لوضعية الدائر).

الثانية: مع وجود حلقة تغذية خلفية (مع وجود عنصر لمراقبة توضع الدائر or Sensor Encoder). [1],[2], [5].

$$i = \frac{u - e_r}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (4)$$

- معادلات الاستطاعة والعزم

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{i^2 \cdot N^2}{R_{mg \min} \cdot \theta_{\max}} ; P = \omega \cdot T ;$$

$$V \cdot I = R \cdot I^2 + I \frac{d}{dt} \quad (5)$$

إذ:

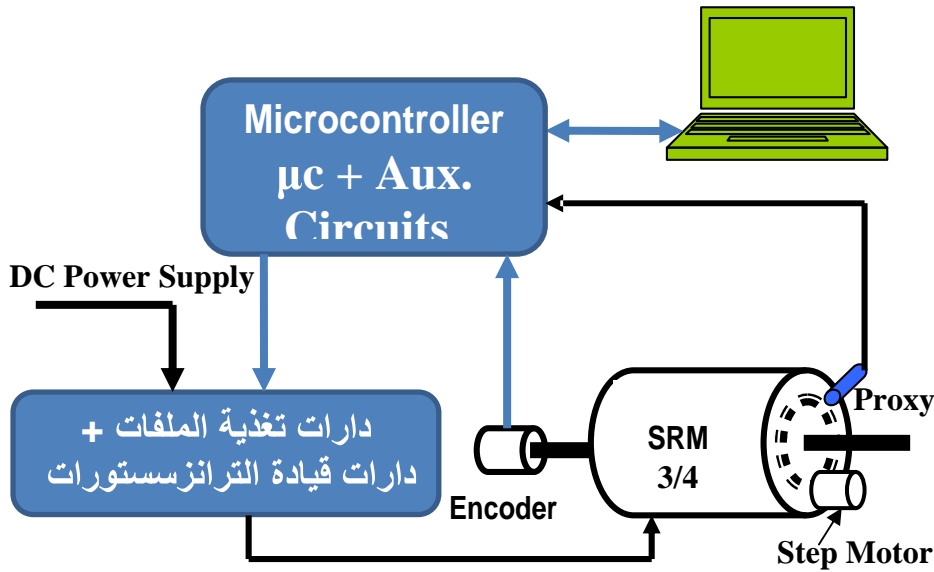
N: عدد اللفات.

I: التيار الكهربائي.

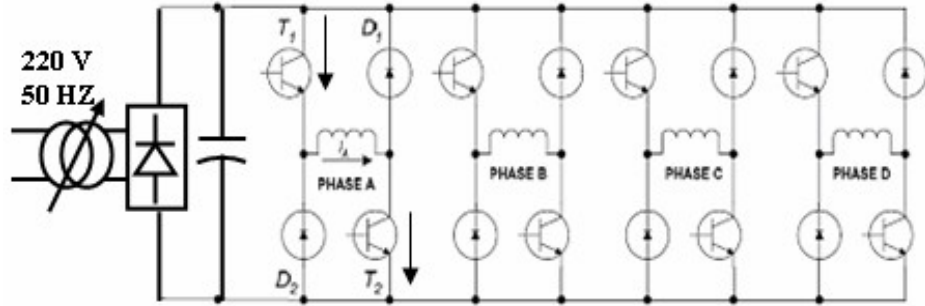
$R_{mg \min}$: مقاومة الشغرة الهوائية الأصغر (حالة التطابق التام).

θ_{\max} : زاوية التطابق الأعظمية.

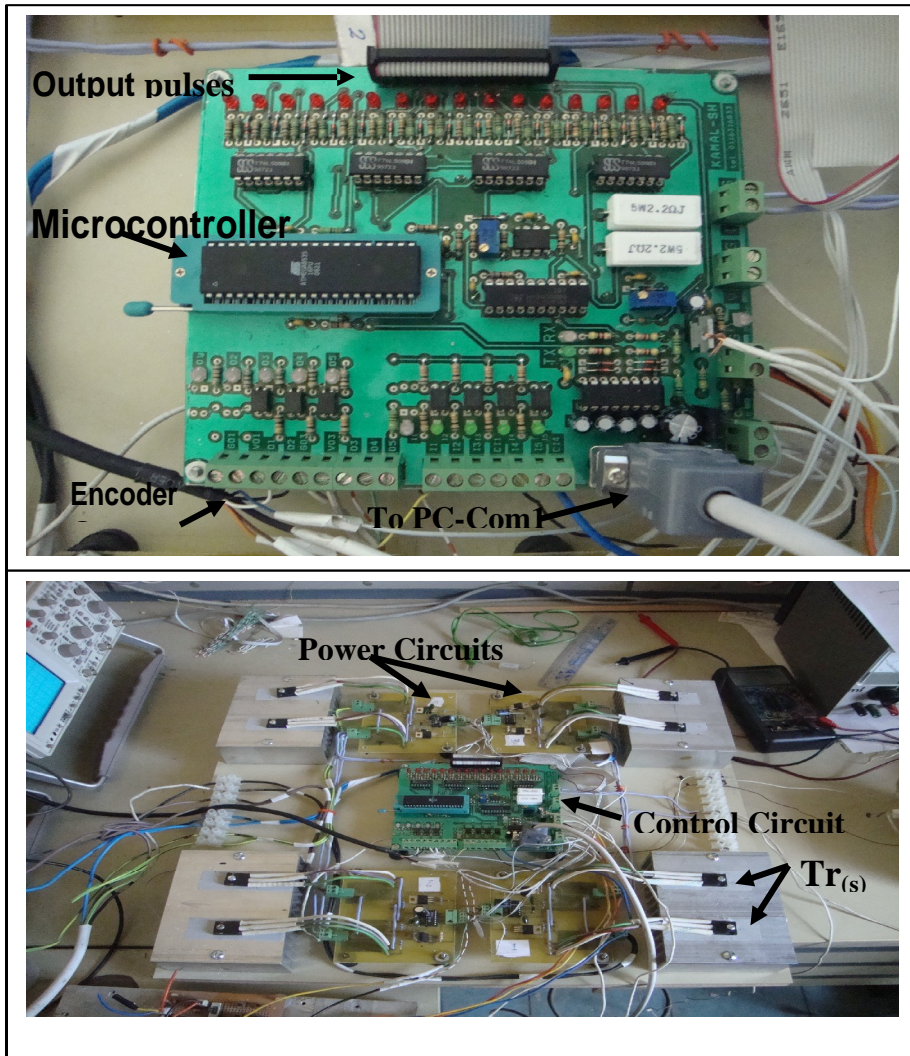
ω : السرعة الزاوية.



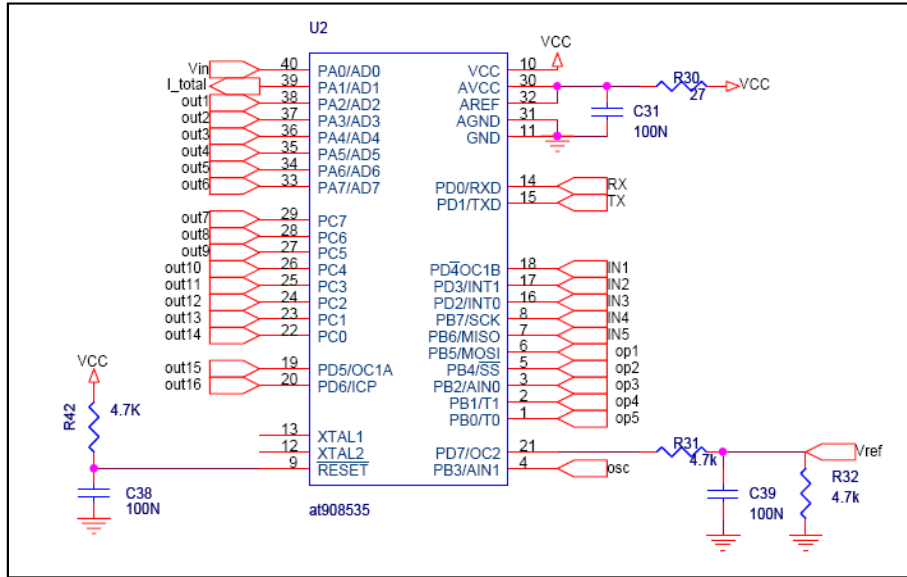
الشكل (2) يبين مخطط صندوقياً عاماً لنظام القيادة المنفذ



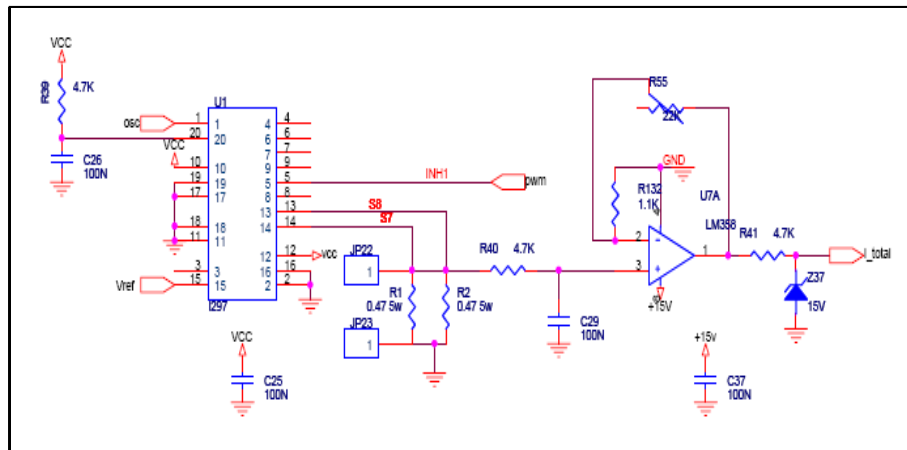
الشكل (3) يبين عناصر دائرة الاستطاعة وطريقة توصيل ملفات المحرك معها



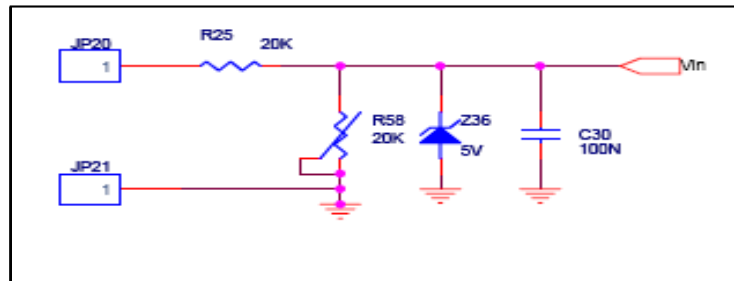
الشكل (4) يبين دوائر القيادة ودوائر الاستطاعة نُفِّدَتْ



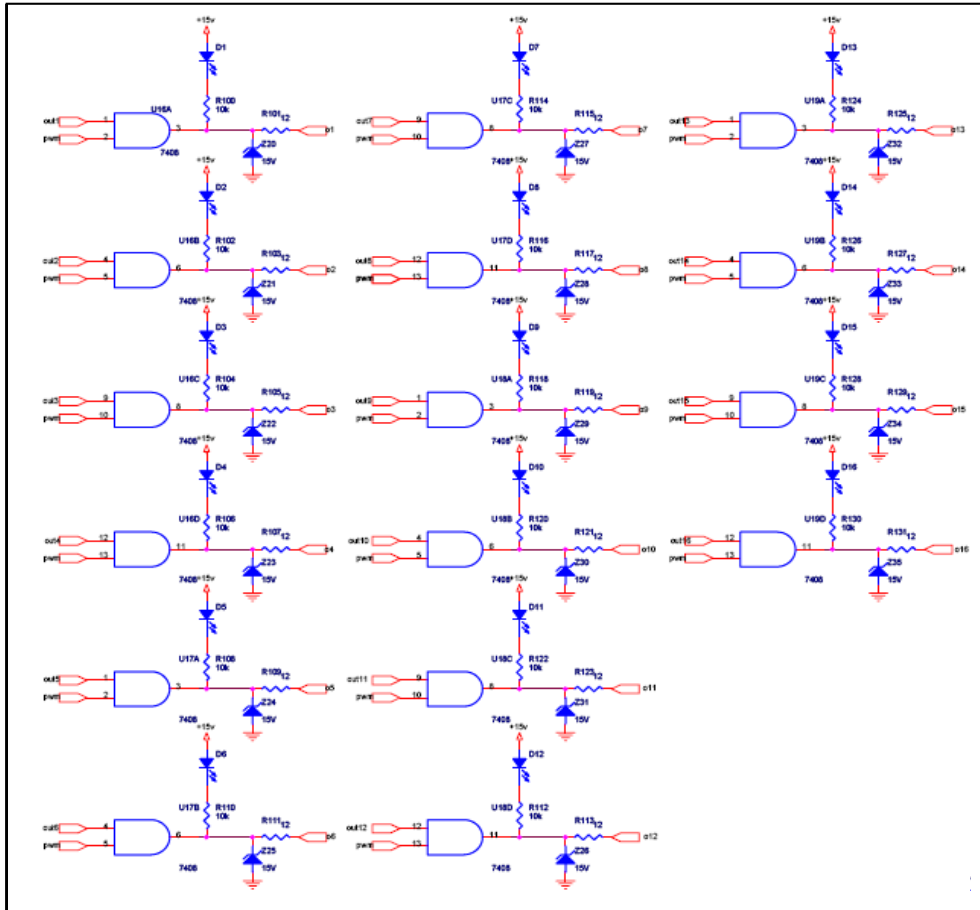
الشكل (5) يبين دائرة المعالج الأصغري Atmega 8535



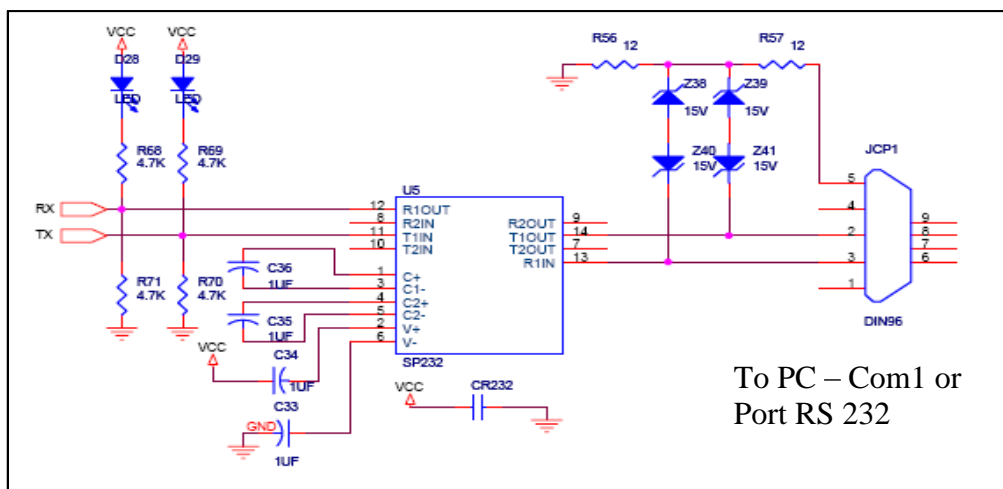
الشكل (6) يبين دائرة تنظيم التيار L297



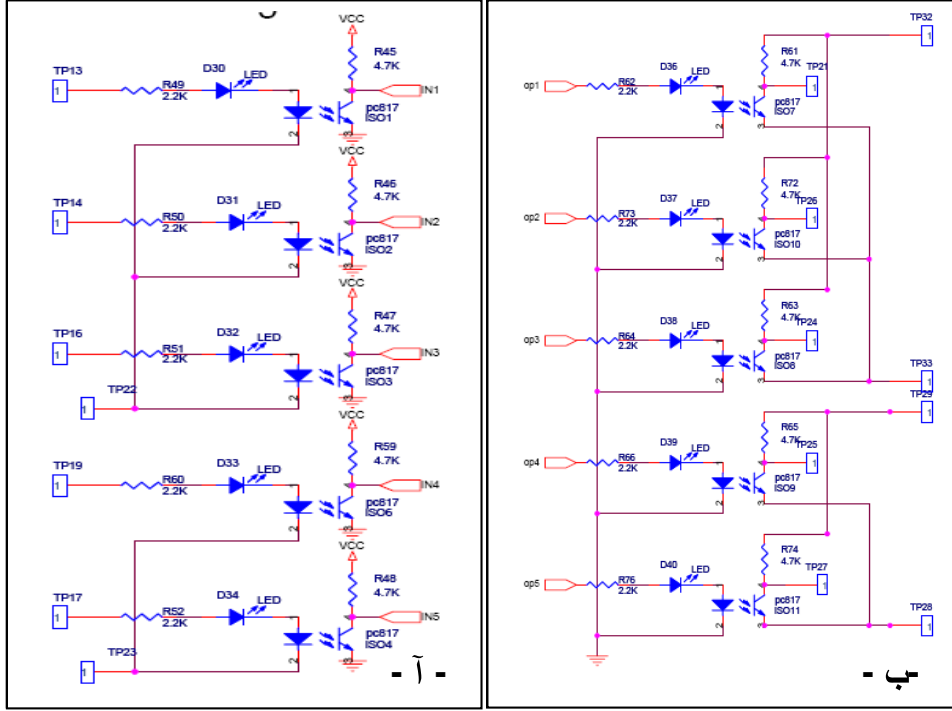
الشكل (7) يبين دائرة قراءة التوتير



الشكل (8) يبين مخارج دائرة التحكم إلى دارات الاستطاعة



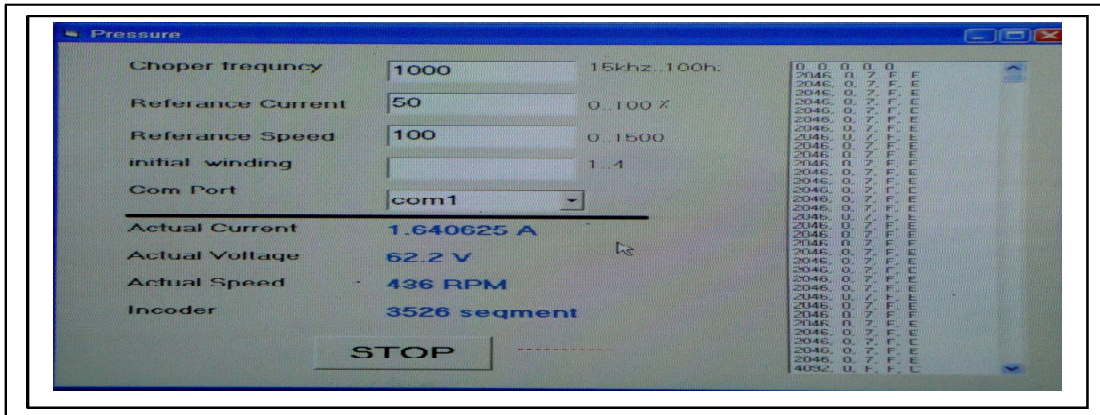
الشكل (9) يبين دائرة الربط بالحاسوب



الشكل (10) يبيّن: أ - مداخل الدارة ب - منافذ التعامل مع المحرك الخطوي

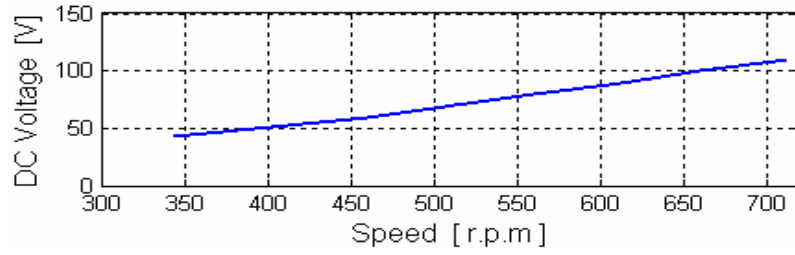
- الاختبارات والنتائج

من أجل اختبار مدى كفاءة واستجابة نظام القيادة المنفذ أجرينا مجموعة من الاختبارات والقياسات ورسم إشارات التيارات والتوترات لمنبع التغذية ولأطوار المحرك، والأشكال (11 و 13 و 14 و 15 و 16) تبين لنا الإشارات الحقيقية للتيارات والتوترات

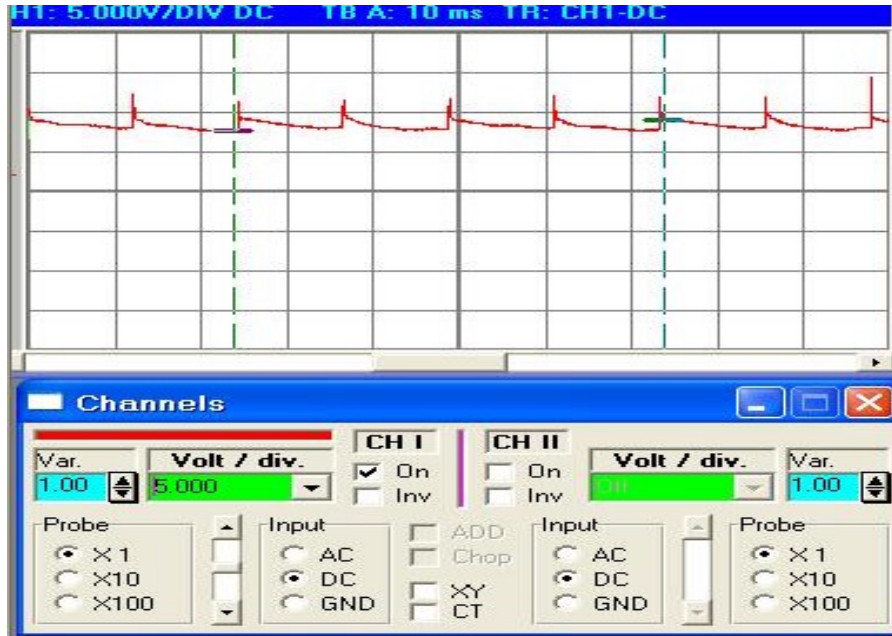


الشكل (11- أ) يبيّن شاشة الحاسوب وواجهة برنامج التحكم

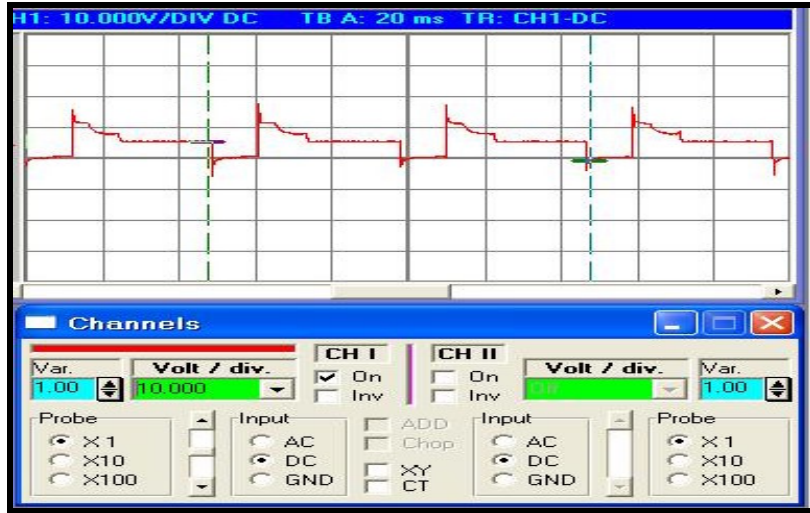
DC Voltage [V]	43	60	70	80	90	100	110
Speed [r.p.m]	344	460	512	560	612	660	712



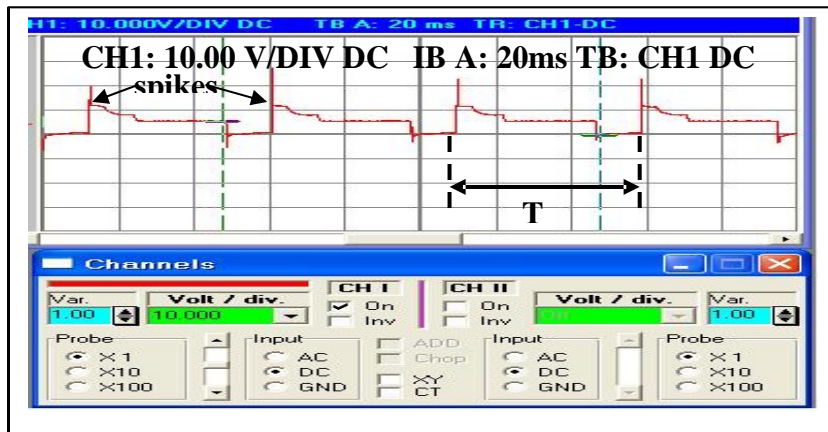
الشكل (11- ب) يبين العلاقة بين السرعة والتوتر للمحرك



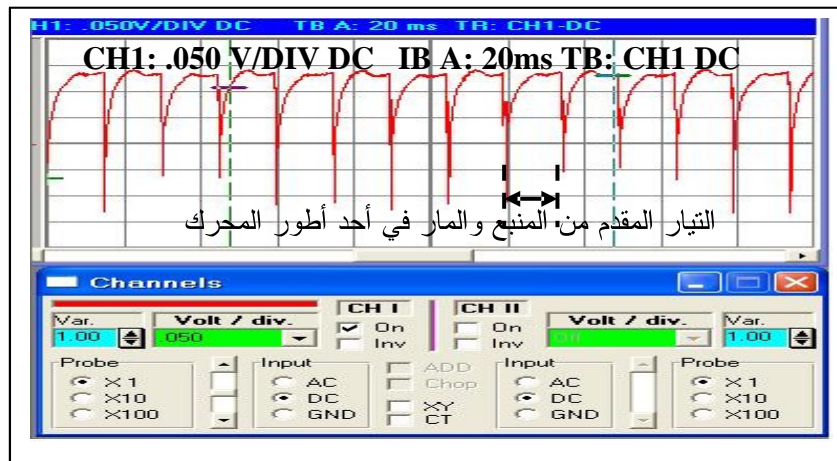
الشكل (12) يبين شكل التوتر المطبق من المنبع على دائرة الاستطاعة



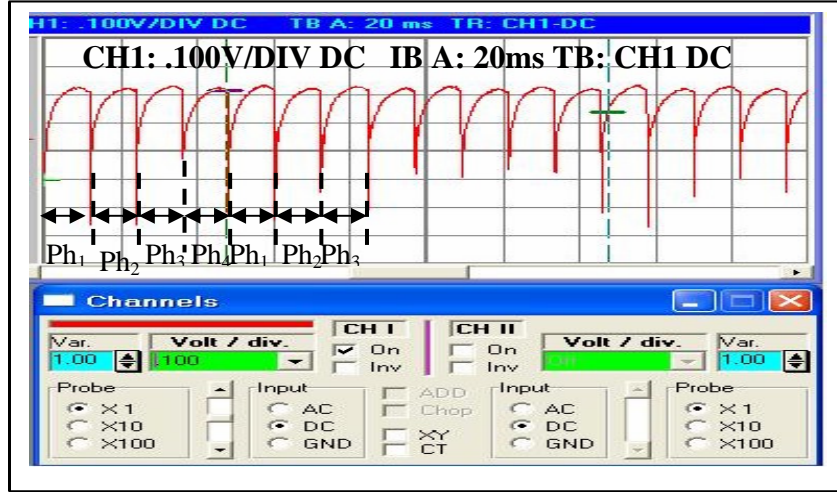
الشكل(13) يبين شكل التوتر المطبق على الطور الأول



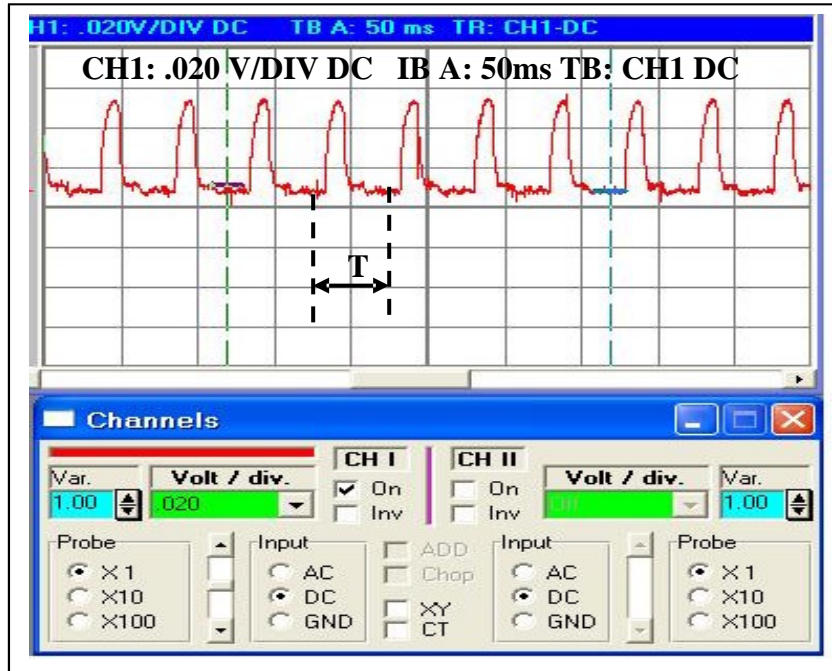
الشكل(14) يبين شكل التوتر المطبق على الطور الثاني



الشكل (15- أ) يبيّن شكل التيار الكلي المستخرج من منبع التيار المستمر



الشكل (15 - ب) يبيّن شكل التيار الكلي المستخرج من منبع التيار المستمر



الشكل (16) يبيّن شكل التيار المار في الطور الأول

- مناقشة النتائج

- من خلال دراسة إشارات التوترات والتيارات التي حصلنا عليها في الأشكال السابقة تم التوصل إلى النتائج الآتية:
- 1 - إمكانية استخدام منابع التيار المستمر الناتجة عن دارات التقويم بدلاً من منابع التيار

- 3 - أُجريت حالة فصل للتغذية لأحد الأطوار للتأكد من استمرارية دوران المحرك، حيث لوحظ أنّ المحرك يستمر بالدوران بعد انقطاع أحد الأطوار إنما تتناقص السرعة، وفي هذه الحالة يسلك المحرك سلوك محرك متعدد الأطوار وهذا ما يرفع الموثوقية في هذا النوع من المحركات. وتستخدم المحركات التحريضية المتعددة الأطوار (مثلاً المحرك التحريضي السداسي الطور) في التطبيقات التي تحتاج إلى موثوقية عالية (السفن القاطرات.....). في التطبيقات الجوالية (الروبوتات، السيارات الكهربائية.....) التي يستخدم فيها مثل هذا النوع من المحركات يفضل دائماً استخدام منابع التغذية المستمرة مباشرة (المدخرات).
- المستمر (المدخرات)، وذلك بعد إضافة مكثف إلى أطراف جسر التقويم ليقوم بعملية ترشيح للتوتر (تحسين شكل موجة التوتر). من خلال الشكل (12) نلاحظ ظهور تعرج في موجة التوتر المقدمة من المنبع وهذه القيمة مقبولة ويمكن التقليل من هذه القيمة للتعرج بتحسين عملية الترشيح.
- 2 - نلاحظ أنه عند كل حالة فصل ووصل للقواطع (الترانزستورات) تظهر هناك حالة عابرة لكنها سريعة التخماد، ويمكن عدّها ضمن المجال المقبول ولا تؤثر في أداء المحرك (زمنها لا يتجاوز 0.01 من زمن النبضة المطبقة على الملف) الأشكال (12 13 14) .

المراجع

- [1] N. H. Mvungi, " Sensorless Commutation Control of Switched Reluctance Motor, International Journal of Applied Science, Engineering and Technology Volume 4, No.1, 2007 ISSN 1307-4318
- [2] H. Klode, A. M. Omekanda and B. Lequesne, S. gopalakrishnan, GM Research Labs, A. Khalil, S. Underwood and I. Husain, the Univ. of Akron , " The Potential of Switched Reluctance Motor Technology for Electro-Mechanical Brake Applications". Copyright © 2006,SAE International.
- [3] Application Not, NEC, " Switched Reluctance Motor Control with μ PD78KO/KX2", Document No. U18498EE1VO AN00, Date Published December 2006, © NEC Electronics 2006, Printed in Germany.
- [4] Abbas Sandouk, Dr. M.Aldosoky, Dr. Habil Gerhard Harold, "Desing and Execution Acontrolled Switch Reluctance Motor To be Used in Electric Cars", Doctorate Thesis, Damas Univ., 2005 .
- [5] Michael T. Drenzo, " Switched Reluctance Motor Control-Basic Operation and Example Using the TMS320F240", Application Report, SPRA420A-February, 2000, TEXAS INSTRUMENTS.