

قيادة المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة SRM(4/3) عن طريق الحاسوب من خلال منفذ الطابعة LPT

الدكتور عباس صندوق*

(تاريخ الإيداع 16 / 11 / 2015. قُبل للنشر في 4 / 1 / 2016)

□ ملخص □

يقدم البحث دراسة عن نظام تحكم بالمحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة SRM(4/3) الذي يقاد باستخدام الحاسوب من خلال منفذ الطابعة التفرعي LPT، ويتضمن البحث شرحاً مبسطاً للمحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة و مبدأ عمله، بعض المزايا المساوي، و جرى تنفيذ الدارات الإلكترونية المناسبة من دارات الاستطاعة، دارات توليد النبضات، دارات العزل بين الحاسوب و دارات الاستطاعة، البرمجيات المناسبة لقيادة النظام، وأنجزت القياسات المناسبة لمراقبة التيارات والتوترات والسرعة في المحرك لتسجيل النتائج ومناقشتها .

الكلمات المفتاحية: منفذ الطابعة التفرعي LPT ، المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة، قيادة المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة

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

Computer aided drive of SRM(4/3) (Switched Reluctance Motor)Via printer port- LPT

Dr. Abbas Sandouk *

(Received 16 / 11 / 2015. Accepted 4 / 1 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this paper the control system of the switch reluctance motor (SRM) has been studied and executed, and driven by computer through the printer parallel port (LPT), and a simple explanation for switch reluctance motor has been introduced also it's work principle and some of its advantages and disadvantages with presenting some samples, where suitable electronic circuits, pulses generation circuits, isolation circuits between computer and power circuits has been executed, with suitable programming for controlling the whole system, then suitable measurements for monitoring have been done like currents, voltages, motor speed and recorded to be discussed.

Key words: parallel port LPT , SRM, driving of SRM, SRM and its control,

* Associate Professor- Faculty of Mech. &Elec. Eng. _Damascus Univ- Syria.

مقدمة

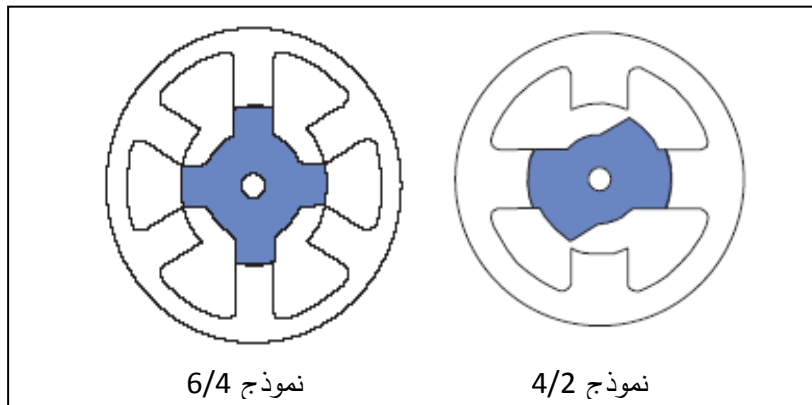
حظي المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة بجزء كبير من الأبحاث كونه يعد من النماذج ذات الكلفة الأقل، لأن الدائر فيه بدون ملفات وهو عبارة عن معدن مصمت. هناك عدة نماذج من هذه المحركات وتختلف هذه النماذج عن بعضها البعض بعدد أقطاب الثابت وعدد أسنان الدائر. في معظم الدراسات يتم دراسة تصميم المحرك إما عن طريق محدداته، أو من خلال حساب السيلية المغناطيسية، أو الحل العددي للمعادلة التفاضلية الواصفة له وغيرها من الطرائق وبعضها يستخدم الحاسوب لإجراء الحسابات المطلوبة. تهدف هذه الدراسة لإيجاد طريقة للتحكم بهذا المحرك عن طريق الحاسب حيث هناك صعوبة في عملية الربط لذلك تم البحث في طريقة للربط باستخدام مدخل الطابعة LPT في الحاسب مع درات التحكم بالمحرك وذلك باستخدام عدة لغات برمجة بحيث نحصل على واجهة تحكمية Interface لمستخدمي الحاسب تكون بعيدة عن الدارة الفعلية بحيث تجري عملية التحكم دون الحاجة للاطلاع على دارة التحكم الحقيقية، وقد تم التأكد من فاعليتها بإجراء التجارب المناسبة كما هو مبين في سياق البحث.

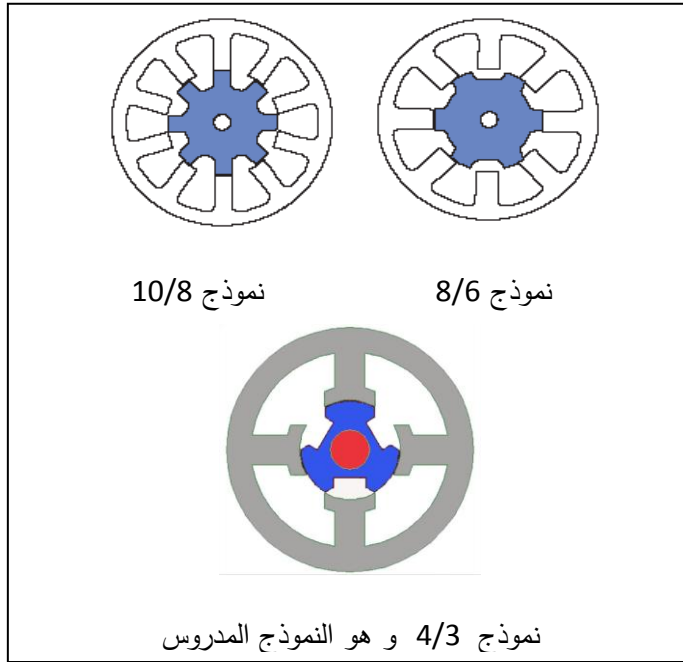
2- بنية المحرك ومبدأ عمله

يتألف المحرك من جزأين الثابت (بعدد أقطاب m) والدائر (بعدد أقطاب n) ، لكن الملفات موجودة فقط على الجزء الثابت.

هذه الملفات تتحول إلى أقطاب مغناطيسية تجذب الجزء الدائر والمشكل من اسطوانة من الحديد المصمت تم تشكيلها على شكل أسنان والشرط الأساسي لبناء هذا النوع من المحركات ألا يتساوى m مع n حيث يختلف عدد هذه الأقطاب والأسنان من محرك لآخر مثلاً { $12/8$ ، $6/4$ ، $4/3$ } وتقرأ من اليسار إلى اليمين عدد الأقطاب إلى عدد الأسنان كما في الشكل (1).

يعتمد مبدأ عمل المحرك ذي المغناطيسية المتغيرة على ظاهرة الجذب والدفع المغناطيسي بين أقطاب الثابت وأسنان الدائر [1],[2],[4].





الشكل (1) يبين بعض النماذج للمحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة

3- بعض المعادلات الأساسية الرياضية للمحرك :

(معادلة التوتر)

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

(معادلة العزم والاستطاعة)

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

حيث: ψ : السيالة المغناطيسية المتشابهة ω : السرعة الزاوية

N : عدد اللفات

i : التيار الكهربائي

 $R_{mg \min}$: مقاومة الثغرة الهوائية الأصغر (حالة التطابق التام) θ_{\max} : زاوية التطابق الأعظمية

4- بعض مزايا هذا المحرك :

• عدم وجود ملفات (Coils) في الدائر (Rotor)، وبساطة الملفات على الثابت (stator).

- سرعة هذا المحرك تتراوح بين $(100000 \div 0.001)$ r.p.m، وقد استطاع الباحثون حالياً أن يصلوا به حتى 40000 r.p.m، أما السرعات العالية فهي بحاجة لمساند خاصة مثل المساند الهوائية أو المغناطيسية بدلاً من المراكز اللاحتكاكية (الرولمانات) أو الاحتكاكية (البالكات). [5][6][7]
- مردود أكبر لهذا المحرك من الأنواع الأخرى للمحركات ذات الاستطاعات نفسها كون معظم الضياعات فيه حديدية، حيث اعتمد في تنفيذ ملفات الثابت على مقاطع أسلاك نحاسية كبيرة ومبسطة الشكل.
- عزم إقلاعه كبير، ويتحدد بالتيار المسموح به للمحرك حتى عند سرعات منخفضة جداً.
- عدم تعرض دارات التغذية الإلكترونية فيه لحالات قصر لأن ملفات مريوطة على التسلسل مع الدارة المغذية وهي غير مرتبطة ببعضها بعضاً حيث عند حدوث أي عطل في أحد الدارات يتم فقد الطور المرتبط بهذه الدارة فقط و يبقى المحرك قادراً على العمل لكن بقيمة عزم أقل و في حال قصر دارتين مع بعضهما يمكن اعتبارها إحدى طرق التغذية للمحرك .

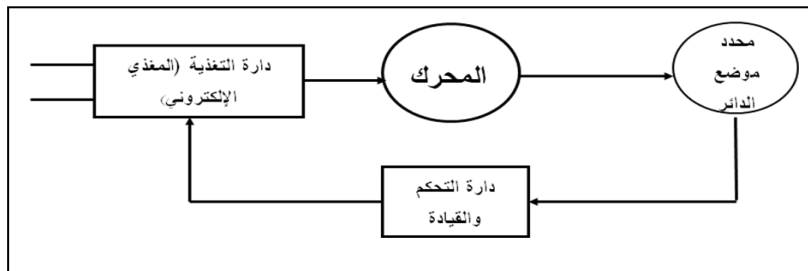
• لا علاقة لعزم المحرك باتجاه التيار حيث لا تتغير قيمة العزم إذا تغير اتجاه مرور التيار بالملفات ، وبالتالي فإن الحاجة لأنصاف النواقل المستخدمة للتغذية أقل من تلك المستخدمة في المحرك التحريضي لتحديد جهة مرور التيار بالملفات، وبذلك يمكن التحكم بخصائص (العزم / السرعة) بشكل أنسب من المحركات التحريضية.

5- من مساوئه :

- العزم الناتج على محور المحرك ذو طبيعة نبضية، مما يؤدي إلى نشوء تعرج بالعزم، وبالتالي نشوء ضجيج.
- حاجة هذا النوع من المحركات لتحديد موضع الدائر لقيادته (تتابع تغذية الأطوار وعرض نبضة التشغيل لكل طور)، أي تزامن بين تغذية الملفات و موضع الدائر.
- حاجة هذا المحرك إلى عدد أكبر من الكابلات ، مقارنة مع محركات التيار المتناوب ولنفس عدد الأطوار.
- الضياعات الحديدية كبيرة بالدائر .

6- طرائق قيادة المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة SRM :

إن المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة لا يمكن الاستمرار في عمله إلا ضمن منظومة تتكون من دارة المغذي الإلكتروني ودارة التحكم والقيادة - محرك - محدد موضع الدائر كما في الشكل (2).



الشكل (2) مخطط صندوقي لقيادة المحرك ذي الممانعة المغناطيسية المتغيرة

ويمكن تقسيم طرائق القيادة لهذا النوع من المحركات إلى نوعين رئيسيين:

الأول: القيادة باستخدام حساس الوضعية

(Drive Motor with Motor position sensor) وبهذه الحالة كيفما توقف المحرك فهناك إشارة من

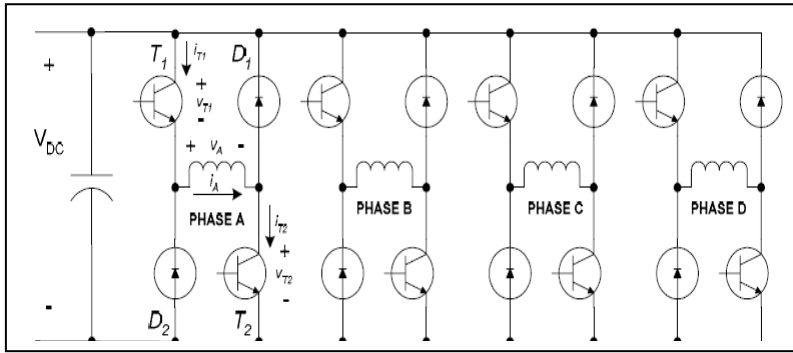
حساس توضع الدائر تشير إلى القطب ذي التوضع الأفضل (الأمثل) من أجل البدء بتطبيق التغذية عليه وبالتالي إقلاع المحرك بدون أي صعوبة.

الثاني: بدون حساس الوضعية (sensorless controller) الذي يستخدم عملية المفاضلة المبرمجة بين

موضع الدائر المحتمل والتغذية اللازمة والمتابعة لدوران المحرك بشكل مستمر.

حيث تم تصميم دارة مبدل نصف جسري لاتناظري لتغذية ملفات المحرك مكونة من ترانزستورات IGBT مع

دارات تخفيض زيادة التيار عند الإقلاع بتقطيع نبضة التوتر المغذية لكل ملف كما هو موضح في الشكل (3) [1], [2],[3].



الشكل (3) مخطط لدارة الاستطاعة المستخدمة لتغذية ملفات المحرك

7- استخدام منفذ الطابعة التفرعي LPT في قيادة المحركات SRM

يعتبر منفذ الطابعة التفرعي من ابسط المنافذ الموجودة في الحاسوب وهو سهل التعامل و يمكن توظيفه في مشاريع تطبيقية جيدة و سهلة التصميم، حيث يختصر بعض الدارات المطلوبة من أجل تصميم بطاقات الحاسوب [8].

8- مكونات منفذ الطابعة التفرعي LPT

يتكون منفذ الطابعة من (25 pin) مرقمة من 1 وحتى 25 كما في الشكل (4) حيث بعضها خطوط إخراج

(إخراج أوامر أو نبضات قيادة) وبعضها الآخر هو خطوط إدخال (إدخال أوامر أو نبضات قيادة و تحكم)، حيث تقسم و حسب الشكل إلى بوابات كالتالي:

بوابة الخرج 8 bit : العنوان {378H} وخطوطها هي (2÷9).

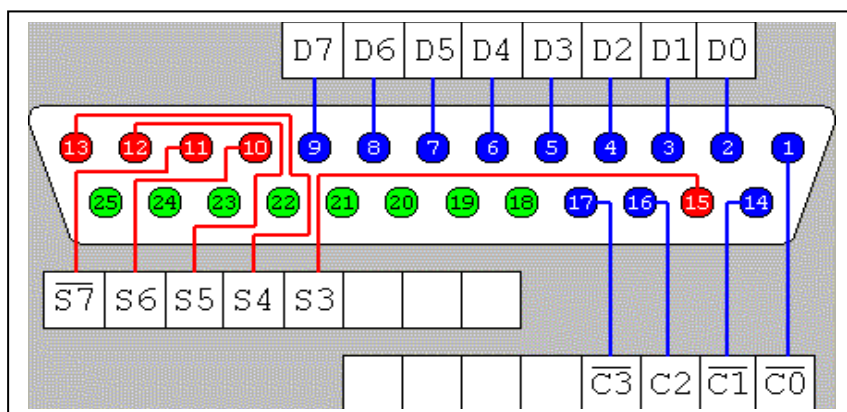
بوابة التحكم 4 bit : العنوان {37AH} و أرقام تماساتها ضمن المخرج هي: (1,14,16,17).

بوابة الدخل 5 bit : العنوان {379H} و أرقامها (10,11,12,13,15).

و الخطوط من 18 إلى 25 تشكل أرضي الحاسوب نفسه وهو الموصول إلى أرضي الدارة الخارجية. و يمكن

التعامل مع المنافذ بشكل عام ومنفذ الطابعة بشكل خاص، بواسطة العديد من لغات البرمجة منها: Assembly و

Basic و Pascal و C++ \ C و حتى VB و لكن بمساعدة مكتبات خارجية [5].

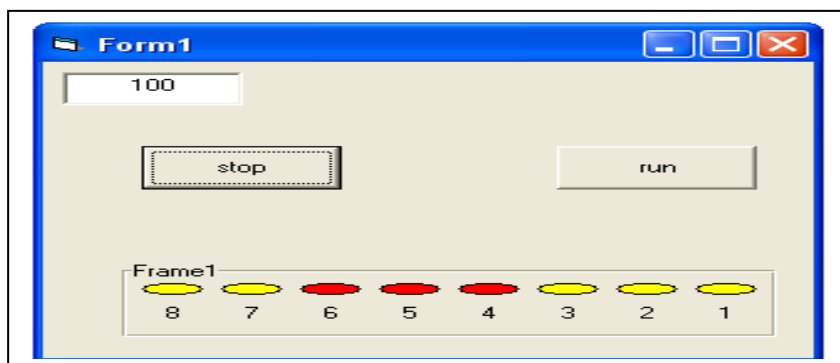


الشكل (4) مكونات مخرج الطابعة LPT في الحاسوب

9- التعامل مع البوابة

حيث يتم التعامل مع البوابة من ناحية الكتابة للبوابة أو القراءة منها باستخدام العديد من لغات البرمجة منها لغة Delphi حيث يتم استخدام لغة الآلة (Assembly) للكتابة إلى أو القراءة من البوابة، أو باستخدام C++ والتي تعطي مرونة وقوة في التعامل البرمجي على مستوى العتاد، أو باستخدام البيئة البرمجية Matlab ويبين الملحق (A) الملف المستخدم لعمليات الإدخال والإخراج. وهناك لغة Visual Basic لكن لا يمكنها الوصول إلى منافذ الحاسوب بشكل مباشر كونها تصنف ضمن اللغات عالية المستوى وتحتاج إلى مكتبة API لتشق الطريق إلى الذاكرة لذا كان الحل الأمثل استخدام مكتبة InpOut32 المخصصة لهذا الغرض فيصبح البرنامج قادراً على التعامل مع أي منفذ من منافذ الحاسوب شرط معرفة العنوان الخاص به ضمن الذاكرة (عنوان LPT1 هو &H378)، وذلك بواسطة التعليمتين Inp للإدخال و Out للإخراج.

يمكن التحكم بالفواصل الزمنية بين نبضات الخرج الناتجة على مخرج الطابعة، والتي ستؤخذ كنبضات قيادة لدارات التحكم بفصل ووصل العناصر الترانزستورية الموجودة في دائرة الاستطاعة من خلال تغيير زمن الموقت الذي يمثل الحلقة كما هو مبين من واجهة البرنامج في الشكل (5).



الشكل (5) واجهة برنامج التحكم المخزن ضمن الحاسوب

حيث تم بدايةً تنفيذ برنامج دون الاعتماد على إشارة التغذية الخلفية القادمة من حساس الموضع وتم القيام ببعض تجارب الإقلاع على المحرك استناداً على احتمال التوافق بين تردد نبضات الخرج وموضع المحرك وسرعة دورانه وذلك يدوياً في معظم الأحيان.

تم تطوير البرنامج بحيث يتم إدخال إشارة الموضع من حساس تحريضي مثبت على جسم المحرك وبمساعدة مجموعة من المسننات المثبتة على محور المحرك و التي يتم تغذية ملفات المحرك على أساسها وفي هذا البرنامج قمنا بتبشير كل نبضة مطبقة على الملفات لتخفيض قيمة التيار في الملف، وبالتالي تخفيض ممانعة الملف و تحقيق سهولة أكبر في إقلاع المحرك، ويمكننا التحكم بسرعة المحرك من خلال التحكم بتردد النبضات عبر واجهة البرنامج المنفذ. ويبين الملحق (B) البرنامج المستخدم.

10- الدارة العملية لقيادة المحرك 3/4- SRM باستخدام الحاسوب

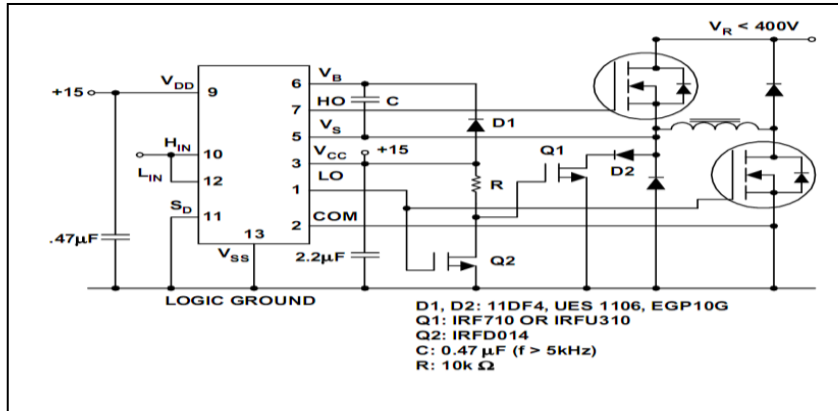
تتكون دارة المغذي الالكتروني التي تم من خلالها تغذية ملفات المحرك (ملفات أقطاب الثابت) بتتابع مناسب لعمل و دوران المحرك بشكل مستمر من مجموعة تقطيع للتوتر المستمر لتغذية ملفات الثابت بشكل متزامن مع موضع الدائر، وتم بناء هذا المغذي في دراستنا هذه على شكل نصف جسر مقاد يتألف من ترانزستورين و ديودين يتوسطهم الملف المراد تغذيته، وذلك توافقاً مع معظم الدراسات والأبحاث العالمية المطبقة على هذا النوع من المحركات، وذلك بالاستعانة بالدارة الالكترونية المتكاملة (IC) ذات الرقم IR2110 كعنصر قيادة للترانزستورات بغية الحصول على أفضل خصائص عمل لهذه الترانزستورات، وهناك طرائق مختلفة لتغذية ملفات الثابت من دارة الاستطاعة كما هو مبين بالجدول الآتية.

ب - طريقة التغذية الثانية

	B						
			C				
					D		
							A

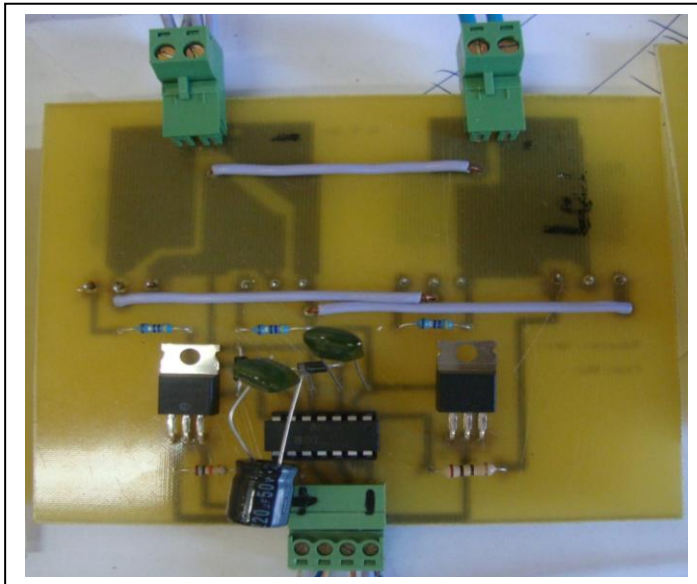
أ - طريقة التغذية الأولى

حيث يبين الشكل(6) الدارة المستخدمة لتغذية قواعد الترانزستورات :

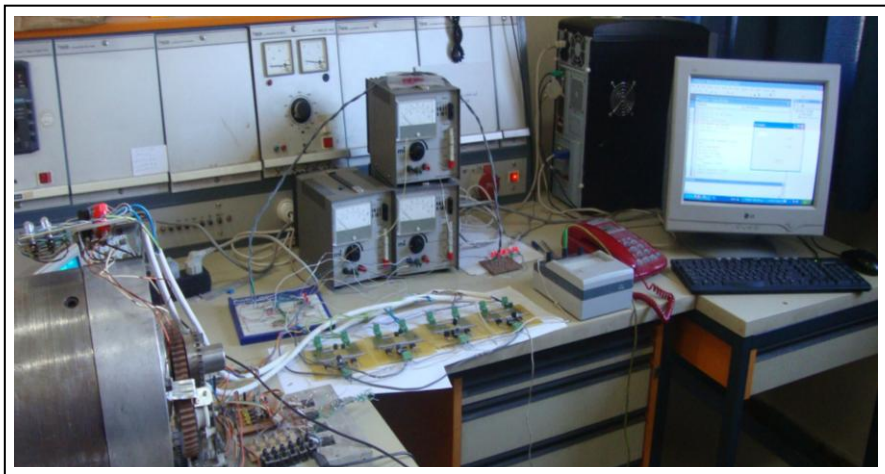


الشكل(6) مكونات دارة التحكم

ويبين الشكلين (7)(8) الدارة المطبوعة المنفذة لإحدى دارات تغذية ملفات المحرك SRM :



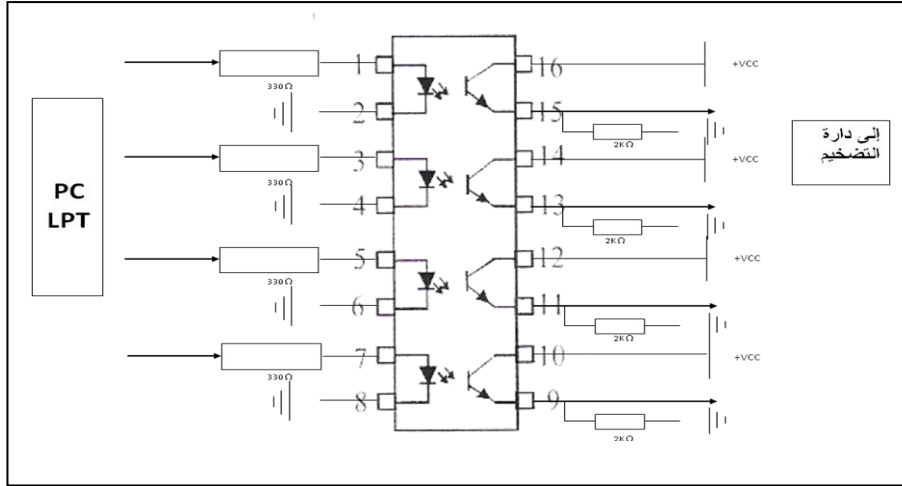
الشكل(7) دارة الاستطاعة المنفذة



الشكل(8) الشكل العام للمحرك SRM-3/4 مع نظام القيادة

11- دائرة العزل

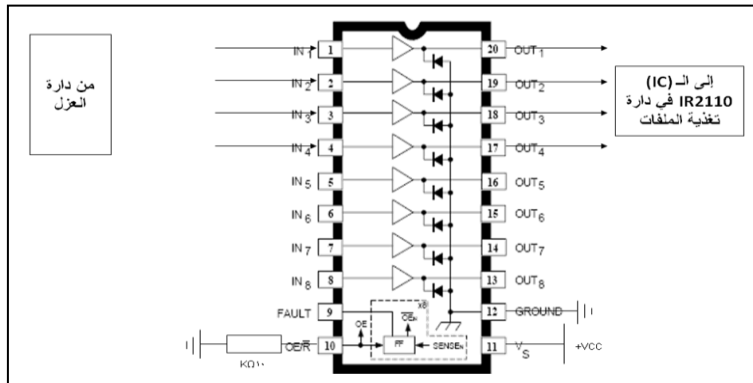
تم تنفيذ دائرة عزل ضوئي لعزل اللوحة الأم للحاسب عن دائرة الاستطاعة، بحيث عند حدوث أي عطل أو قصر في الدارة لا يتأثر الحاسوب كما في الشكل (9)



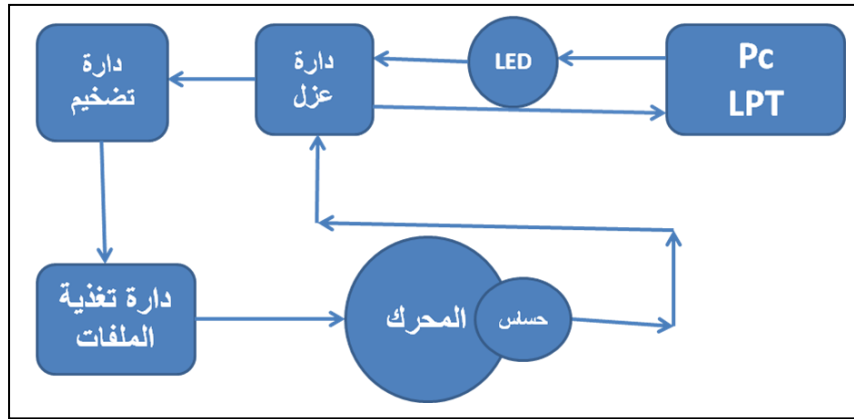
الشكل (9) دائرة العزل الضوئي

12- دائرة التضخيم

لقد قمنا بتنفيذ دائرة لتضخيم الإشارات الخارجة من دائرة العزل حتى تتمكن وبشكل أكيد من تجاوز عتبة عمل الدارة الإلكترونية، وبالتالي تعمل الترانزستورات وتقوم بتغذية الملفات بشكل جيد، ويبين الشكل (10) مخطط دائرة التضخيم، والشكل (11) المخطط الصندوقي لنظام القيادة المنفذ.



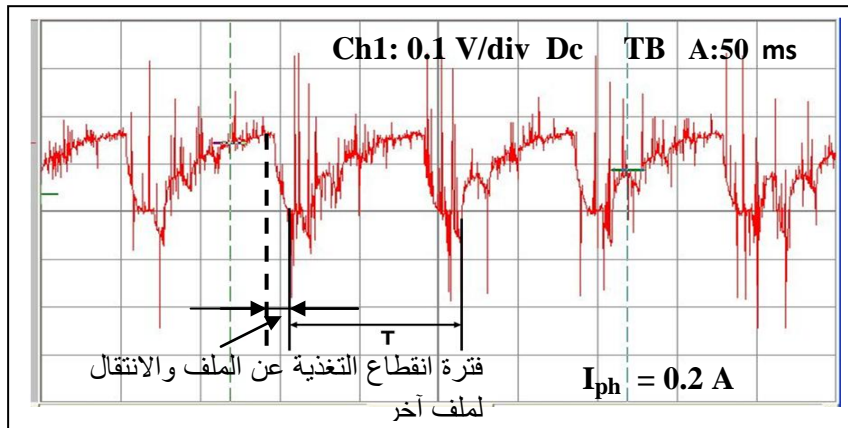
الشكل (10) دائرة تضخيم النبضات



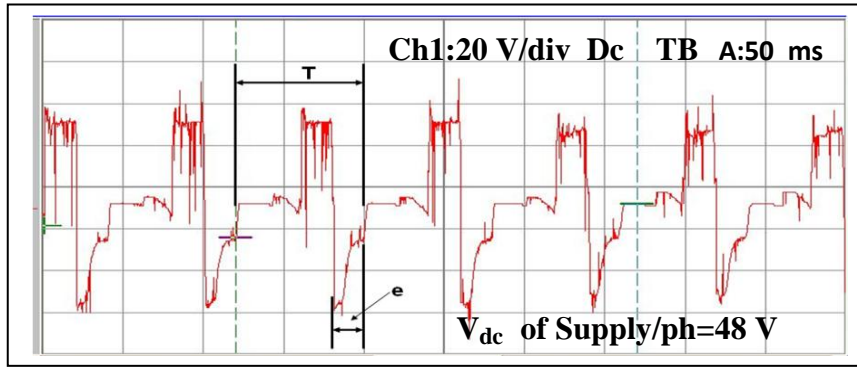
الشكل (11) المخطط الصندوقي لنظام القيادة المنفذ

13- الاختبارات والنتائج

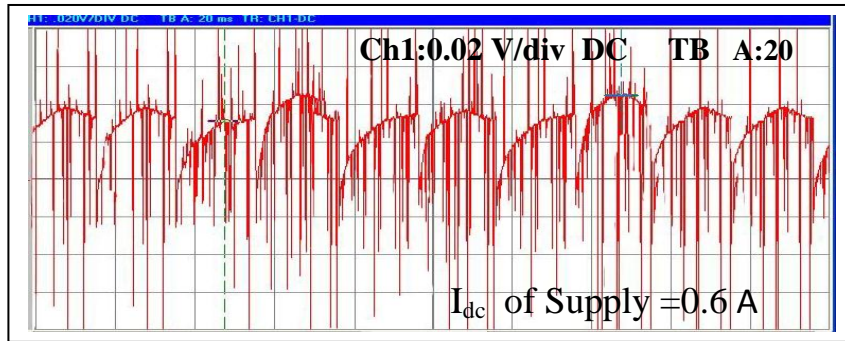
من اجل دراسة قدرة نظام القيادة الذي تم تصميمه وتنفيذه على تغذية المحرك واستجابة هذا النظام لحالات التشغيل المختلفة التي يتعرض لها المحرك، فقد تم إجراء مجموعة من القياسات لكل من إشارات التيار المستجر من منبع التغذية، التيارات المارة في أطوار المحرك، التوترات المطبقة على أطوار المحرك، عن طريق مقاييس توتر وتيار نوع FLUKE قادرة على تخزين القراءات ومن ثم نقلها للحاسب لإظهارها على شكل منحنيات كما هو مبين في الأشكال (12,13,14,15).



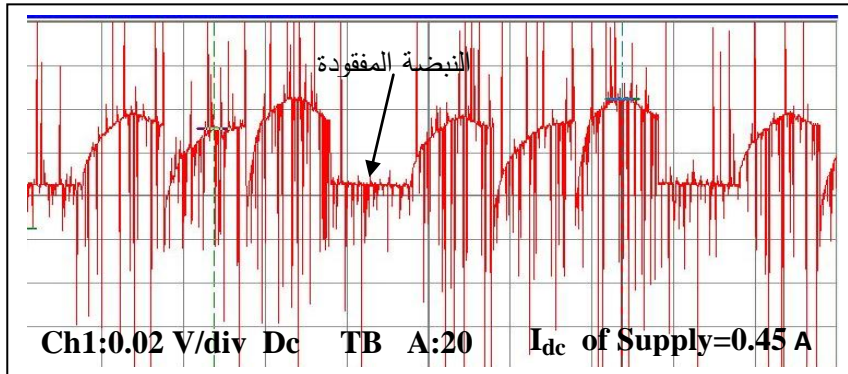
الشكل (12) شكل تيار أحد ملفات المحرك



الشكل(13) التوتر المطبق على أحد ملفات المحرك



الشكل(14) شكل التيار الكلي المستجر من منبع التيار المستمر



الشكل(15) شكل التيار الكلي المستجر من منبع التغذية بعد غياب تغذية أحد الأطوار

14- مناقشة النتائج

من خلال الأشكال السابقة نلاحظ:

- 1 - من الشكل(12) نلاحظ تيار أحد ملفات المحرك يبدأ بالتزايد من لحظة تطبيق التوتر على الملف وحتى لحظة فصل التغذية والانتقال لملف آخر. ونلاحظ أيضاً أن التيار لم يهبط إلى الصفر مباشرة إنما تناقص تدريجياً بما يتناسب مع تناقص القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الملف.

- 2 - من الشكل (13) نلاحظ ظهور قوة محركة كهربائية عكسية (سالبة) في الملف تظهر لحظة انقطاع التغذية عن الملف والانتقال للملف التالي، وهذه القوة المحركة متناقصة.
- 3 - ظهور نبضات أبرية (Spikes) تأخذ فترات قصيرة جداً في موجات التوتّر والتيار وهذه ناتجة عن الحالات العابرة عند لحظات الفصل والوصل للعناصر الإلكترونية في دارة الاستطاعة، بسبب تهشير نبضة التوتّر المطبقة على الملفات (أي تحميلها بتردد).
- 4 - في الشكل (14) نلاحظ فقدان للتيار المار في أحد الأطوار بسبب انقطاع التغذية عن هذا الطور. علماً بأن المحرك قد استمر بالدوران ولكن ما تم حدوثه هو انخفاض في سرعة المحرك ، وهذا ما يدل على أن هذا النوع من المحركات يستطيع الاستمرار في الدوران رغم انقطاع أحد أطواره.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم استخدام مبرط الطابعة في الحاسب وتعديله ليتمكن من الإرسال والاستقبال ، بحيث تم الاستغناء عن كروت الربط والتحصيل عالية الثمن المستخدمة لربط الأجهزة مع الحاسب.

تم كتابة برنامج للتحكم بالمحرك عن طريق الحاسب والتأكد من إمكانية الربط بينهما وبذلك تم الاستعاضة عن المتحركات الخارجية بمتحكمات تم برمجتها ضمن الحاسب مما يتيح إمكانية التعديل بشكل أسهل لتحسين الأداء لاحقاً.

-التأكد من العملية التحكمية من خلال التأكد من صحة عمل المحرك عند ظروف التشغيل التي تم برمجتها للمحرك عليها.

لا بد من وضع هذا المتحكم تحت التجريب عند الحالات العابرة والتعديل على البرنامج بحيث يصبح قادر ليس فقط على إعطاء ظرف تشغيل معين بل والمحافظة عليه مهما كانت المتغيرات الحاصلة سواءً على خرج المحرك الميكانيكي أو دخله الكهربائي.

لا بد من إيجاد طريقة للتخلص من القوة المحركة الكهربائية العكسية في الملفات من الحالات العابرة لحظات الفصل والوصل للعناصر الإلكترونية.

المراجع

- [1] A. Sandouk; H. G. Herold; and M. Aldosoky. " Design And Execution A Controlled Switch Reluctance Motor To Be Used In Electric Car's " Doctorate Thesis, Damascus University , 2005 .
- [2] V. Trifa; C. Marginean. " Digitally Ontrolled Driver For Supplying Electric Reluctant Motors ". Suceava, Romani, May 25 – 27, 2006 .
- [3] P. Chancharoensook; and M.F. Rahman. " A Modified Switching Strategy For Asymmetric Half-Bridge Converters For Switched Reluctance Motor Drives " , paper , The University of New South Wales Sydney NSW 2052 Australia, 2003.
- [4] M. T. Dizenzo. " Switched Reluctance Motor Control-Basic Operation and Example Using the TMS320F240", Application Report, SPRA420A-February, 2000, TEXAS INSTRUMENTS.

[5] I. El-Samahy; M. I. Marei; and E. F. El-Saadany. " Modeling of a Four-Quadrant Switched Reluctance Motor Drive on EMTDC/PSCAD ", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 3, No. 1, pp.68~78, 2008.

[6] D. H. Lee; and J. W. Ahn. " Performance of High-Speed 4/2 Switched Reluctance Motor ", Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 6, No. 5, pp. 640~646, 2011.

[7] M. Anju; and R.Rajasekaran. " Design and Performance Analysis of High Speed Switched Reluctance Motor Drive for Various Industrial Applications ", International Electrical Engineering Journal (IEEJ)Vol. 5 (2014) No. 1, pp. 1171-1178.

[8] عماد الكردي . " استثمار البوابات التفرعية في الحواسيب الشخصية " ، كتاب ، شعاع للنشر و العلوم ،

. 1999