

دراسة وتصميم مراقب تكيفي لمحرك تيار مستمر دون مسفرات BLDC وتطبيقه على آلة خياطة صناعية

د. مروان لباد *

م. ريم طعمي **

(تاريخ الإيداع 2021/ 1 /15 . قَبْلُ للنشر في 2021/ 8/2)

□ ملخص □

إن مفهوم التحكم العكسي يستند على قياس متحولات الحالة الخاضعة للتحكم في أي نظام باستخدام أدوات معينة كالحساسات ومن ثم إيصال هذه المعلومات إلى المتحكم ليصار إلى تغيير قيم الخرج إلى القيم المطلوبة. ولكن هناك عدة سيئات لاستخدام الحساسات فهي تقوم بإضافة مركبات الضجيج على القيم المقاسة كما أن الحساسات تحتاج إلى اسلاك توصيل وهذا يؤدي إلى زيادة في التكلفة بالإضافة إلى تخفيض الوثوقية، ومع دخول الحاسب في أنظمة التحكم أصبح من الممكن نمذجة أي نظام وتقدير متحولات الحالة باستخدام مراقبات، وبالتالي يتم استخدام هذه القيم المقطرة عوضاً عن القياس المباشر.

في هذه المقالة تم تطوير مراقب تكيفي فعال لتقدير موضع وسرعة الدوار لمحرك BLDC، باعتماد طريقة تقدير القوة المحركة العكسية حيث أن المراقب يقوم بتقدير السرعة عن طريق قانون معين، ويتم التحقق من الاستقرار التقاربي للمراقبة باستخدام تحليل ليايونوف وسنورد نتائج المحاكاة التي تثبت صحة التحليل النظري ومدى قابلية تنفيذ طريقة المراقب ومناقشة النتائج التي حصلنا عليها

الكلمات المفتاحية: مراقب الحالة، مراقب تكيفي، محركات BLDC، القوة المحركة العكسية، الاستقرار المتقارب

* أستاذ في قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة - كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية - جامعة حلب - سوريا
** طالبة دكتوراه في قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة - كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية - جامعة حلب - سوريا

Studying and Design observer for BLDC Motor for Industrial Sewing Machines

Dr.Marwan Labbad*
Eng. Reem Toumi**

(Received 15 / 1/ 2021 . Accepted 2 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

The concept of reverse control is based on the measurement of the state-controlled transducers of any system by using certain instruments such as sensors and then communicating this information to the controller to change the output values to the required values. However, there are several disadvantages to the use of sensors, they add noise compounds to the measured values and sensors need wiring so that leads to an increase in cost, in addition to reducing reliability.

The entry of the computer in the control systems it is possible to model any system and estimate the state transformers using controls These estimated values are therefore used instead of direct measurements. In this article an effective adaptive monitor is developed to estimate the rotor position and speed of the BLDC engine, by using the method of estimating the inverse dynamics, where the observer estimates the speed by a certain law, and verifies the approximate stability of the observation using the analysis of Leaponov.

We will list the simulation results that prove the validity of the theoretical analysis and the applicability of the observer method and discuss the results obtained.

Keywords: Condition Monitor, Adaptive Controller, BLDC Motors, Reverse Engine Power, Convergent Stability

* Professor in Automation and control Engineering Department, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Aleppo University, Syria

** Student PHD in Automation and control Engineering Department, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Aleppo University, Syria

1- مقدمة:

تعتمد معظم صالات إنتاج الألبسة على آلات خياطة صناعية مؤتمتة لزيادة كمية ونوعية الانتاج وتخفيض كلف الانتاج، وتعتمد معظم الات الخياطة الصناعية على المحركات وتتم قيادة هذه المحركات بواسطة الحساسات. تستخدم معظم الورشات في مدينة حلب آلات خياطة إما صينية المنشأ وهذه بشكل عام أعطالها كثيرة أو اوروبية المنشأ والتي تتميز بالجودة ولكن نظرا للحصار الاقتصادي على حركة الاستيراد والتصدير خلال السنوات القليلة الماضية صار من الضروري التفكير بطرق اخرى لقيادة هذه المحركات دون استخدام للحساسات من أجل توفير ثمن الحساسات المستوردة التي تصل لنصف ثمن الآلة. شهدت السنوات الأخيرة توجه كبير لقيادة المحركات التي تمثل في أغلبها كنظم لا خطية بدون حساسات وذلك بتصميم مراقبات لها باستخدام النظريات المتقدمة في التحكم اللاخطي التي تم تطويرها لتأمين الاستقرار والوثوقية في العمل.

2- أهمية البحث:

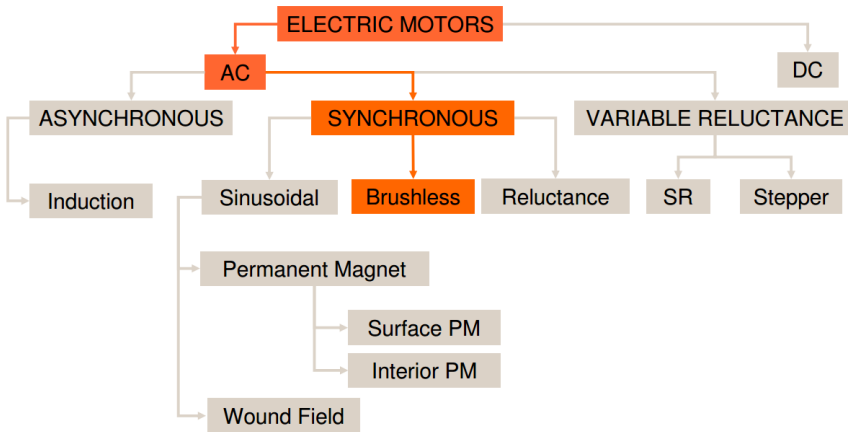
تتركز أهمية البحث في تصميم مراقب تكيفي لمحرك مستمر دون مسفرات حيث يعتبر حالياً من المحركات الأكثر انتشاراً في التطبيقات الصناعية الحديثة. يتم الاستفادة من هذا المراقب في تطبيقات التحكم بدون حساسات, أي الغاء حساس الموضع المستخدم مع المحرك والذي يمكن أن يتعرض للعطل أو للكسر مما يسبب خروج المحرك عن العمل.

3- طرائق البحث:

الهدف الرئيسي هو تطوير نظام تحكم وملاحقة ذكية لمنظومة تحكم بآلات خياطة صناعية وفق خوارزميات معينة لاحدى طرق التحكم وتطبيق محاكاة simulation ببرنامج protus، وبرمجة micro controller. سنستعرض الظروف المحيطة بالمشكلة، وكيف يمكن إيجاد حلولاً لتلك المشاكل، وسنقوم بعدها باستنباط الحل الملائم لمشكلتنا، والخطوات الدراسية اللازمة لذلك ومن ثم آليات تنفيذ ذلك العمل.



الشكل(1) ماكينة الخياطة الصناعية المطبق عليها الدراسة



الشكل (2) أنواع المحركات المستخدمة في الصناعة

تخضع المحركات الكهربائية لعدة تصنيفات بناءً على منبع التغذية والبنية وآلية العمل، ويتميز كل نوع بخواص تجعله مناسباً لتطبيقات معينة دون الأخرى. بشكل عام تقسم المحركات الكهربائية إلى نمطين رئيسيين: نمط يعتمد تغذية مستمرة بدرجة ضمنه محركات التيار المستمر ونمط آخر يعتمد تغذية كهربائية متناوبة الذي ينقسم بدوره إلى عدة تصنيفات: محركات تزامنية ومحركات لاتزامنية ومحركات الممانعة المتغيرة [2]. كما يمكن تصنيف المحركات الكهربائية بناءً على طبيعة المغنطة فنجد المحركات ذوات المغناط الدائمة والمحركات ذوات المغناط الكهربائية والتي تسري على النوعين محركات التيار المستمر ومحركات التيار المتناوب، [3] بالإضافة إلى العديد من التصنيفات الأخرى. يوضح الشكل (2) تصنيف المحركات ويتمتع كل من الأنواع السابقة بخواص معينة ومزايا ومساوئ، و يحدد عادة نوع المحرك المستخدم بناءً على طبيعة التطبيق ومتطلباته [4].

4- طرق قياس وتقدير موضع وسرعة المحرك

- الطريقة الأولى: إعادة بناء متحولات الحالة للمحرك (الموضع، السرعة) بالاعتماد على الموديل الرياضي للمحرك، مثل مرشح كالمان او مرشح كالمان الموسع مراقب لينبرجر
- الطريقة الثانية : حقن المحرك بإشارة ذات تردد عالي مضاف إلى التغذية الرئيسية وعن طريق دراسة التيار الناتج عن استجابة المحرك لهذه الإشارة يمكن تقدير موضع وسرعة المحرك.
- الطريقة الثالثة: تعتمد على تقدير القوة المحركة الكهربائية العكسية ومنها يتم استخلاص معلومات عن الموضع والسرعة للمحرك [5]

5- طريقة البحث:

قمنا باختيار المحرك المطلوب دراسته وهو المحرك المستمر دون مسفرت، كما هو واضح بالشكل (3). يختلف هذا النوع من المحركات عن باقي محركات DC في انه يتكون من عدد كبير من الملفات مقسمة الى ثلاثة مجموعات وكل مجموعة يخرج منها سلك يدعى بـ Phase و تشكل الملفات في المحرك Phase 3- تخرج منها 3 اسلاك دخل power ولذلك فإن سرعته تكون كبيره جدا ولكن في المقابل فإن عزم الدوران يكاد يكون غير موجود، ونظرية عمله تكمن في ان دخل power له يكون عن طريق 3 اشارات لكل ملف اشارة



الشكل (3) محرك مستمر دون مسفرت BLDC

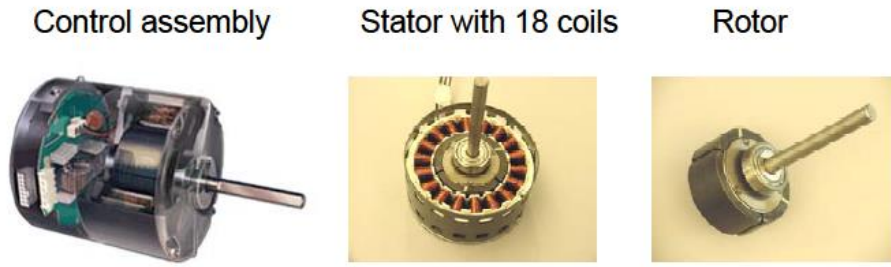
ويتم ازالة الأطوار Phase shift بالتتالي من اجل التحكم في الجهد وبالتالي التحكم في السرعة. وبالتالي يحتاج إلى تيار عالي جدا ليصل إلى سرعته القصوى، تم الاعتماد على معادلات المحرك والذي يعطى بالعلاقات التالية [4]:

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + M_{ab} \frac{di_b}{dt} + M_{ac} \frac{di_c}{dt} + e_a \quad (1)$$

$$v_b = R_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + M_{ba} \frac{di_b}{dt} + M_{bc} \frac{di_c}{dt} + e_b \quad (2)$$

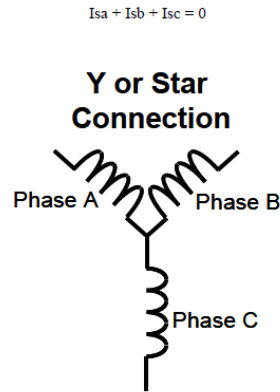
$$v_c = R_c i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + M_{ca} \frac{di_a}{dt} + M_{cb} \frac{di_b}{dt} + e_c \quad (3)$$

حيث أن (i) التيار و (v) الجهد في المرجع الثنائي (α,β)



الشكل(4) الثابت والدوار ضمن المحرك

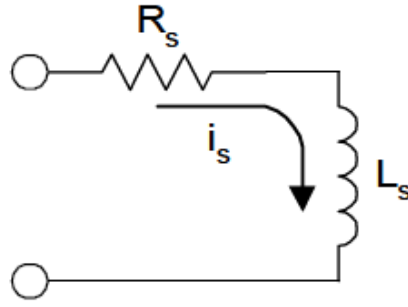
يبين الشكل (4) الثابت والدوار ضمن المحرك حيث القسم الدائر rotor يحتوي مغناط ثابتة متوضعة بشكل دائري متتالي ومتناوية القطبية ما بين شمالي وجنوبي N,S . يحتوي القسم الثابت stator على الملفات ايضا متوضعة بشكل دائري ومتقابلة وتقسّم الى ثلاث مجموعات كل مجموعة يخرج منها سلك لخارج المحرك يسمى Phase لذلك يتم التحكم بالمحرك من خلال ثلاثة أطوار يمكن ان يكون القسم المتحرك داخلي او خارجي حسب تصميم المحرك كل مجموعة ملفات في القسم الثابت يرمز لها بملف بحيث تشكل ثلاثة أطوار وتتصل الملفات الثلاث بنقطة مشتركة هي النتر neutral [5] كما هي مبينة بالشكل (5)



الشكل(5) الوصل النجمي للملفات

تأخذ القوة المحركة الكهربائية العكسية في المحرك بدون المسفرات شكل شبه منحرف و ليس شكلاً جيبياً [6]، وبالتالي فإن متحولات الذاتية لا تتغير بشكل جيبي مع موضع الدائر في فضاء الأطوار (abc) وبالتالي فإنها لن تكون ثابتة بعد عملية التحويل مما لا يعطي الكثير من الأفضلية للعمل في الفضاء (d,q) على العمل في الفضاء (abc) بناء عليه يُفضل استخدام النموذج ضمن متحولات فضاء الأطوار abc لتمثيل المحرك بدون المسفرات [7].

في كل ملف في الجزء الثابت يكون التيار هو المسؤول عن عزم الدوران طالما أن المجال المغناطيسي لا يتغير .



الشكل(6) اتجاه التيار المار في الملف

وفي هذه الحالة يكون عزم الدوران

$$T = K \Phi i_s \quad (4)$$

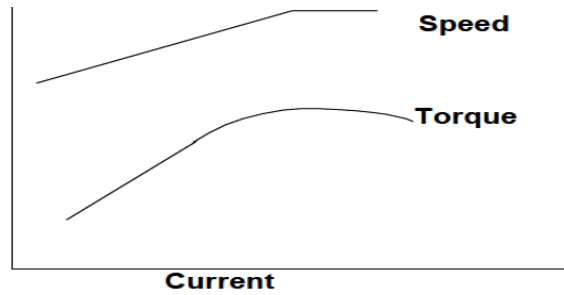
حيث K ثابت عزم الدوران و Φ الحقل, المغناطيسي , i_s التيار المار في الملف كما هي موضحة بالشكل(6).

كمية التيارات المارة في ملفات الجزء الثابت تعتمد على الجهود المطبقة على الملفات وعلى جهد القوى المحركة العكسية back-EMF المتولدة من جراء الحركة.

تزداد السرعة بتزايد التيار الى قيمة محددة ثم تثبت وتستمر عليها أما عزم الدوران يتزايد الى نقطة محددة ثم يتناقص بذلك يتم التحكم بالعزم بسهولة عن طريق التيار كما هو واضح بالشكل(7)

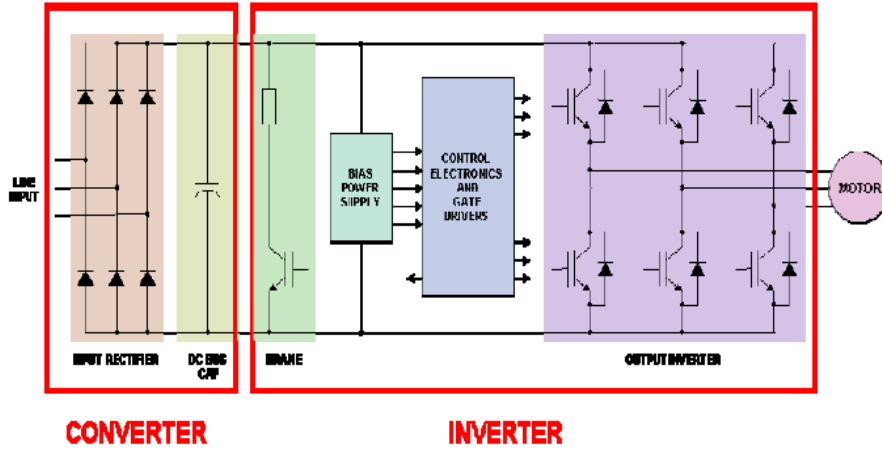
نموذجيا من اجل قيادة المحرك نوع BLDC نحتاج hardware والى inverter و converter والى ستة ترانزستورات نوع MOSFET أو نوع IGBT بحسب التصميم بحيث توضع في ال inverter، والتحويل من تيار متناوب AC الى تيار مستمر DC ليس ضروريا يمكن ادخال التيار المستمر بشكل مباشر الى inverte

كما هو واضح بالشكل (8) نموذج لدارة التحكم وفيها اسماء الترانزستورات ..S1,S2, وأقطاب الملفات الثلاثة A,B,C أو U,V,W [8]



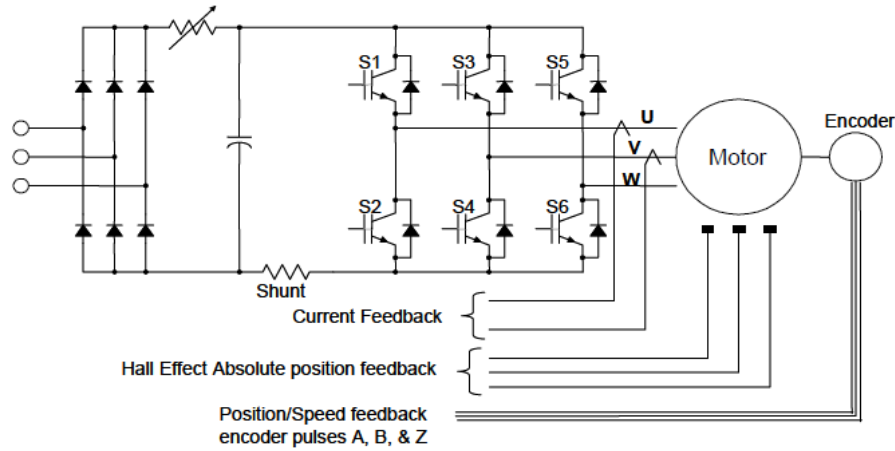
الشكل(7) السرعة والعزم اعتمادا على التيار

$$\begin{aligned}
 S1 &= U_p = U^+ = A^+ \\
 S2 &= U_n = U^- = A^- \\
 S3 &= V_p = V^+ = B^+ \\
 S4 &= V_n = V^- = B^- \\
 S5 &= W_p = W^+ = C^+ \\
 S6 &= W_n = W^- = C^-
 \end{aligned}$$



الشكل (8) دائرة inverter ودائرة converter

ومن أجل التحكم بدوران ال rotor ولكي لايقفل ولا تتجاذب الأقطاب المختلفة من المغناط الدائمة في القسم المتحرك مع أقطاب المجالات المغناطيسية المتولدة في ملفات القسم الثابت نحتاج الى حساسات لكي تزودنا بمعلومات عن موقع المغناط الدائمة أثناء الحركة.



الشكل (9) توضع حساسات Hal-effect

الحساسات من نوع Hall effect تحتوي فجوة تتحسس بالمجالات المغناطيسية التي تمر فوقها وتولد نبضة موجبة عند مرور القطب الشمالي N ونبضة سالبة عند مرور القطب الجنوبي S بذلك نعرف لحظة مرور المغناط الدائمة في القسم الدائر من موقع الحساسات ونتحكم بتبديل الجهود على الملفات في القسم الثابت لكي نحصل على التزامن في الحركة synchronization .

هذه الطريقة يتتبع حركة ال rotor بواسطة حساسات ال Hall effect تحتاج الى دائرة خاصة تدعى Encoder وهذا المرمز بحاجة الى اسلاك اضافية ويسبب ضجيج وزيادة في سعر المحرك والشكل (10) يبين المرمز المستخدم في آلة الخياطة المدروسة

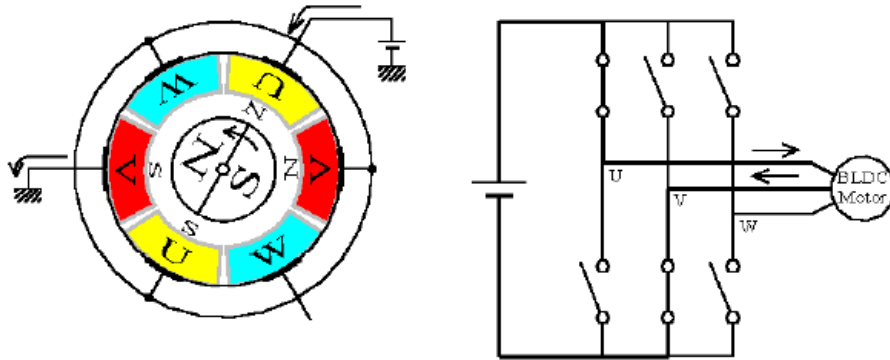


الشكل (10) المرمر المستخدم في آلة الخياطة الصناعية

سنشرح طريقة عملها باختصار وكيف سوف نستبدلها باستخدام القوة المحركة العكسية back-EMF .

6- عمل المرمر Encoder

تنوضع الملفات على ثلاثة أطوار موزعة بشكل دائري تفصل فيما بينها زاوية 120 درجة، كل ملف ينفصل إلى جزئين متقابلين ومتصلين فيما بينهما من داخل جسم الجزء الثابت. كما في الشكل (11) وعند تغذية الطور بجهد موجب يكون اسمه مضاف إليه إشارة (+) أو الحرف p مثلًا Wp , وعند وصلة بجهد الصفر GND يضاف إلى اسمه إشارة (-) أو الحرف n مثلًا Wn , $C-$,



الشكل (11) تموضع الأطوار ضمن الجزء الثابت

نحتاج إلى ستة خطوات لكي ندير ال rotor إلى 360 درجة في كل خطوة نشغل ملفين معا فينحرف ال rotor بمقدار 60 درجة. في الشكل (11) يتم تغذية الطور U بجهد موجب والطور V يوصل إلى GND وبذلك يعبر عنها بـ U_p , V_n أو $U+$, $V-$ أي سوف يمر التيار من U_p إلى U_n (لأن U_p و U_n هوملف واحد بجزئين متصلين داخل جسم الموتور) إلى V_p عبر الوصل المشترك بين ثلاثة فازات ثم إلى V_n الذي يساوي GND.

وبعاد تكرار الخطوات الستة من أجل دورات المغناط الدائمة [9].

يتم التحكم بتسلسل الخطوات عن طريق microcontroller /MCU/ بحيث تكون إشارات حساسات Hall الثلاثة عبارة عن مقاطعات خارجية إلى المتحكم كل مقاطعة تحدث لحظة مرور المغناط الدائمة أمام الحساس بذلك يعرف المتحكم موقع أقطاب الجزء الدائر.

ويستطيع المتحكم تشغيل أو فصل كل ترانزيستور كمفتاح في كل خطوة مترتبة على قراءة الحساسات وبسهولة يمكن تحديد أية حساس قد أعطى الإشارة بقراءة قيم الحساسات الثلاثة معا، تتابع تشغيل الأطوار موضح بالجدول (1):
نلاحظ في الجدول (1) كل خطوة تبين الطور الذي سيغذى بالجهد الموجب Positive والطور الذي سيتم وصله إلى GND بذلك يمر التيار من الملف الأول إلى الملف الثاني ثم إلى GND.

Step #	Phase Up	Phase Vp	Phase Wp	Phase Un	Phase Vn	Phase Wn
1	Up				Vn	
2	Up					Wn
3		Vp				Wn
4		Vp		Un		
5			Wp	Un		
6			Wp		Vn	

الجدول (1) تتابع تشغيل الفازات

وذلك عن طريق تشغيل أو اطفاء الترانزستورات المناسبة للخطوة، كل طور موجب Up,Vp,Wp ينشط الدوران 120 درجة وكل طور سالب Un,Vn,Wn ينشط الدوران 120 لذلك يدعى هذا النوع من التعديل (120-degree modulation).

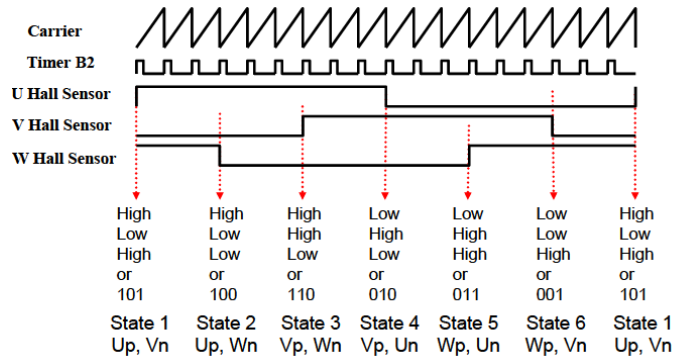
في كل مقاطعة للحساسات الثلاثة A,B,C يقوم الـ MCU بتنفيذ كود لتشغيل الخطوة اللاحقة ويجب ان تستجيب المقاطعة لاشارات الحساسات الصحيحة وأثناء تنفيذ كل خطوة يجب ان يطفأ الترانزستورات المفتوحة أولاً ثم يشغل الترانزستورات المطلوبة لتشغيل الخطوة القادمة.

كل حساس يولد نبضة مرتفعة High لمدة 180 درجة من الدوران ثم يولد نبضة منخفضة Low لمدة 180 درجة ذلك لان كل حساس له جزئين جزء جنوبي S وشمالي N متقابلة على الـ stator والفرق بين كل حساس والذي يليه 120 درجة لذلك يبدأ الحساس A بنبضة صاعدة من الصفر درجة ثم يليه الحساس B بنبضة صاعدة من 120 درجة ثم يليه الحساس C بنبضة صاعدة من 240 درجة. أي يوجد ازاحة كل بداية جبهة صاعدة وبداية جبهة هابطة وبذلك يكون لدينا ستة اشارات لتكتمل دورة كاملة من خلال تنفيذ ستة خطوات تبديل بين الأطوار.

لمجرد حدوث اول مقاطعة لجبهة صاعدة من الحساس A يقرأ الـ MCU المداخل الثلاثة للحساسات والتي تكون 1,0,1 ويؤهل مخارج أول خطوة والتي هي Up,Vn وعند حدوث المقاطعة الثانية على الجبهة الهابطة للحساس C سيقراً مداخل المقاطعات 1,0,0 سيبدأ بتنفيذ الخطوة الثانية وبالشكل المشابه يكمل دورة كاملة 360 درجة، وهذا مبين بالشكل (12) المقاطعات لحساس هول

إن الجهد المطبق يتوازن مع القوة المحركة العكسية back-EMF بحيث يتحقق العزم اللازم للحفاظ على سرعة الدوران. من الشكل (13) نلاحظ أن التيار في السرعة القصوى يميل لشبه منحرف والعزم مرتبط بالتيار المتحكم.

من أجل التحكم بالتيار وبالتالي عزم الدوران نستخدم التعديل المطالي (PWM) width modulation pulse خلال تنفيذ الخطوة يتغير الجهد بين ON-OFF بتردد حامل مناسب ويجب ان يكون التردد الحامل اكبر من تردد التبديل بين الخطوات لذلك نستخدم مؤقت لتوليد اشارة PWM بتردد حامل وبزمن لـ ON وزمن لـ OFF.



الشكل (12) المقاطعات لحساس Hall

سنعرف أزمدة التشغيل duty cycle في اشارة التعديل المطالي المولدة ذلك من خلال اشارات الحساسات لأن الزاوية بين اشارات الحساسات المتتالية 60 درجة اي بين كل مقاطعة ومقاطعة تالية وبمعرفة الزمن بين كل مقاطعة والثانية بواسطة المؤقت نحسب السرعة وبعد حساب السرعة اما نزيد زمن ال duty cycle او ننقصه.

تعاني هذه الطريقة من تعقيد في عمليات التحكم وتحتاج إلى قدرة معالجة رقمية كبيرة كما تعاني من بعض المشاكل التي تؤثر على وثوقية وفعالية عمل النظام نذكر منها:

• يجب أن يدور المحرك بسرعة معينة كافية لتوليد قوة محركة كهربائية عكسية قابلة للقياس.

• غير مجدية في السرعات العالية جدا بسبب حدوث انقطاعات في عمليات التبديل.

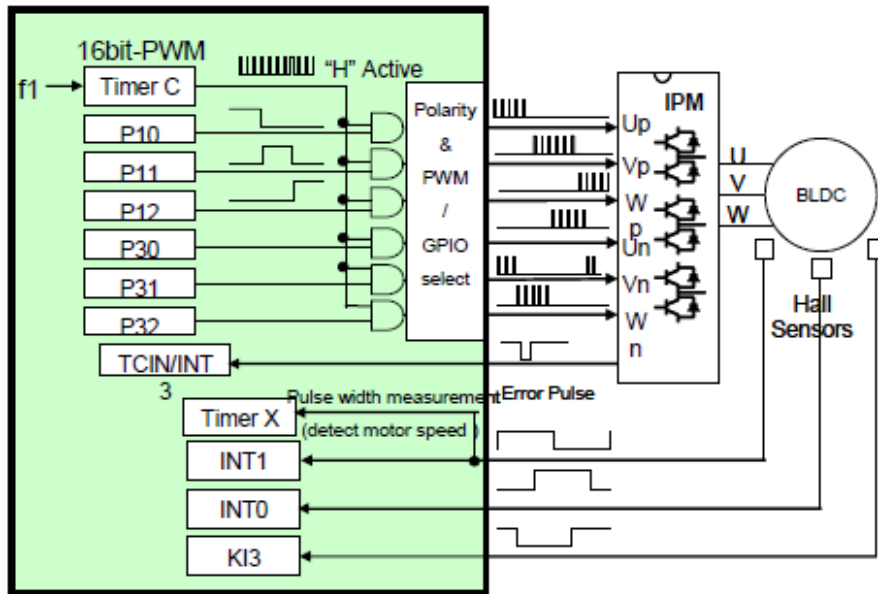
• التغيرات المفاجئة في الحمل يمكن أن تؤدي إلى فقدان عملية التحكم.

• تعقيد في عمليات التحكم اللازمة والحاجة لقدرة معالجة رقمية أكبر.

وبالتالي لكي نستطيع التحكم بموتور BDC نحتاج من ال MCU الى ستة مخارج للتحكم بالترانزستورات والى

ثلاثة مداخل مقاطعة للحساسات [10] بالإضافة الى مؤقت أول لتوليد اشارة PWM وأيضا الى مؤقت ثاني لقياس الزمن

بين المقاطعات وحساب السرعة، كما هو موضح بالشكل (13)

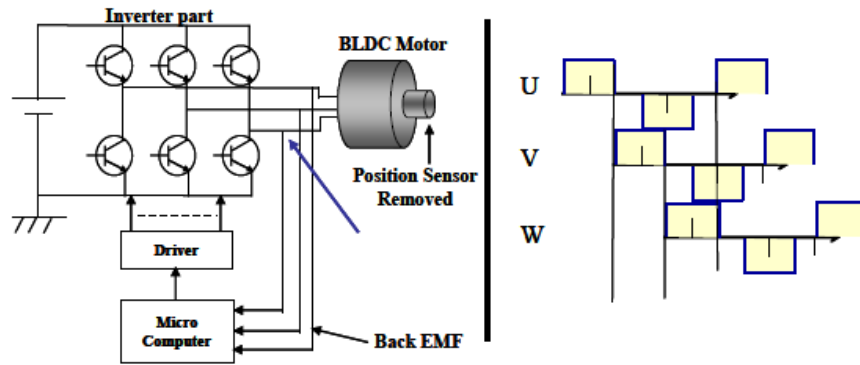


الشكل (13) وحدة MCU موصولة مع محرك BLDC

يتم التحكم بدورات المحرك من خلال حلقة مغلقة اي يستقبل الـ MCU اشارات الحساسات ثم ينفذ الخطوة التالية وهذا لا يتم الا اذا كان المحرك يدور. ولكن بداية يجب ان يبدأ المحرك الدوران بنسبة من 50% الى 70% من duty cycle بنفس التردد الحامل ومن ثم يتم تحريكه برمجيا بدن استقبال اشارات الحساسات.

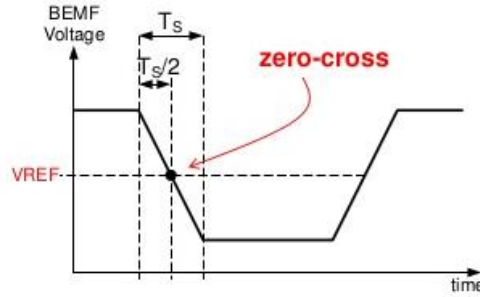
7- النتائج والمناقشة:

تم وضع بعض الفرضيات الخاصة لتصميم المحرك على أساسها نعتمد نموذج محرك التيار المستمر بدون مسفرات ثلاثي الأطوار ذو توصيل نجمي، بحيث تأخذ الفجوة الهوائية في المحرك شكلاً منتظماً، يأخذ التدفق المغناطيسي شكل موجة شبه منحرفة، لا يوجد إشباع مغناطيسي والأطوار الثلاثة في الجزء الثابت متطابقة، موزعة بشكل متجانس، ولها نفس المعاملات، الأطوار الثلاثة في الجزء الثابت موصولة بشكل نجمي ولا يمكن الوصول للحياضي بما أن التصميم يعتمد على إعادة البناء لكل القطع المستخدمة في الآلات الصناعية فسنبدأ من التغذية



الشكل (14) محرك Bldc مع MCU وطريق القوة المحركة العكسية

من الشكل (14) نلاحظ من شكل الأطوار الثلاثة U,V,W أن كل طور يمر بزمن يكون فيه عائم وغير متصل مثلاً لنأخذ U يبدأ بقطب موجب 120 درجة ثم يبقى عائم 60 درجة ثم يصبح سالب 120 درجة ويكرر الفترات الزمنية نفسها وينطبق هذا الكلام على V وعلى W. في فترة عدم الاتصال وهو عائم خلال 60 درجة يولد اشارة القوة المحركة العكسية، في الزمن الذي يكون به موجب يكون الترانزستور المتصل به من الجهة العلوية مغلق أما الفترة الزمنية التي يكون فيها سالب يكون الترانزستور المتصل به من الجهة السفلى مغلق وفي فترة التعويم يكون كلا الترانزستورين غير مغلقة . الحساسات A,B,C تكون موضحة على المحرك من الخارج ولا يوجد داعي لفكه أو في datasheet الخاصة به وايضا اشارات خرج الحساسات وهل هي من نوع تعديل 120 درجة.

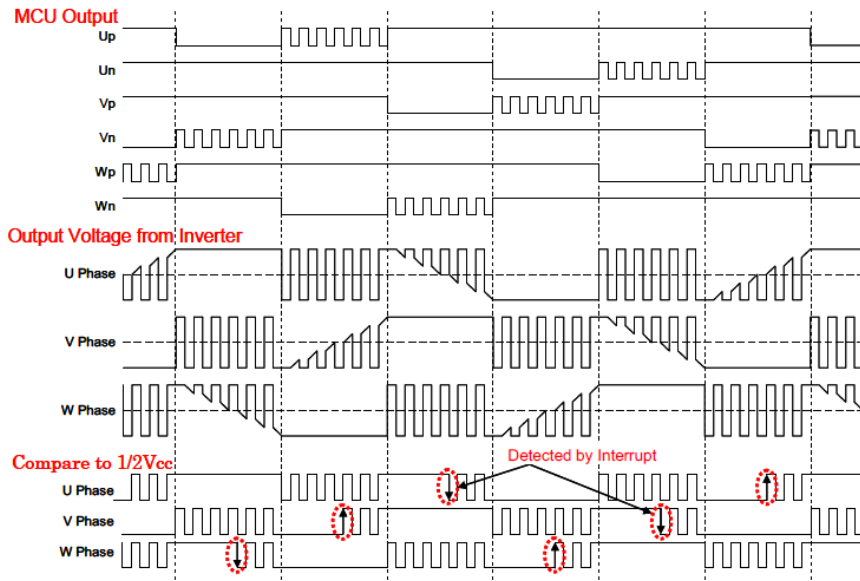


الشكل (15) نقطة zero-crossing

تبدأ اشارة BEMF بالهبوط ثم بالصعود وتعتبر نقطة الصفر zero-crossing التي تساوي نقطة neutral المشتركة بين الفازات الثلاثة من خلال هذه النبضة نستطيع تحديد موضع ال rotor وايضا السرعة كما في نبضة الحساسات السابقة كما هو واضح بالشكل (15) ولكن الفرق أن نقطة عبور الصفر تتأخر عن نبضة الحساسات بمقدار 30 درجة أي $Ts/2$ في نصف زمن الخطوة لذا يجب تأخير بدء الخطوة التالية 30 درجة لكي تتوافق مع بدء الحركة [11].

والشكل (16) يوضح مواقع نقاط zero-crossing point (ZCP) للأطوار الثلاثة U,V,W عندما تكون بحالة

عدم الاتصال [12]

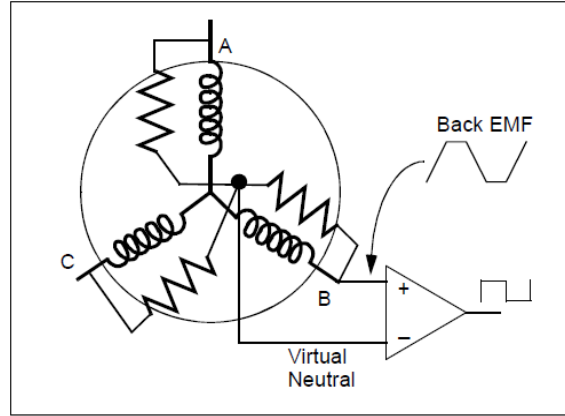


الشكل (16) مواقع نقاط (ZCP) للفازات الثلاثة U,V,W بحالة عدم الاتصال

يمكن كشف ZCP بطرق عديدة منها البسيطة مثلا: بواسطة مقارن Comparator إما خارجي أو داخل المايكروكنترولر بنقطة المرجع neutral وبعد تحديد زمنها يضاف تأخير بمقدار 30 درجة الذي يساوي نصف زمن الخطوة $Ts/2$.

أو يكشف عنها بواسطة ADC اذا كانت مساوية الى الصفر ثم يضاف لها نصف زمن الخطوة $Ts/2$.

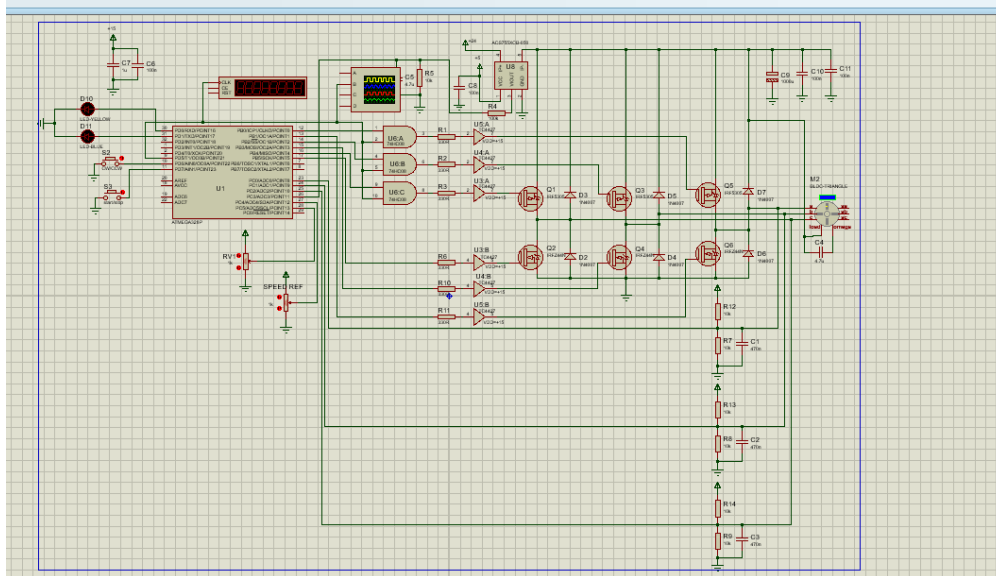
أو بطرق معقدة مثل التزامن بينها وبين اشارة PWM



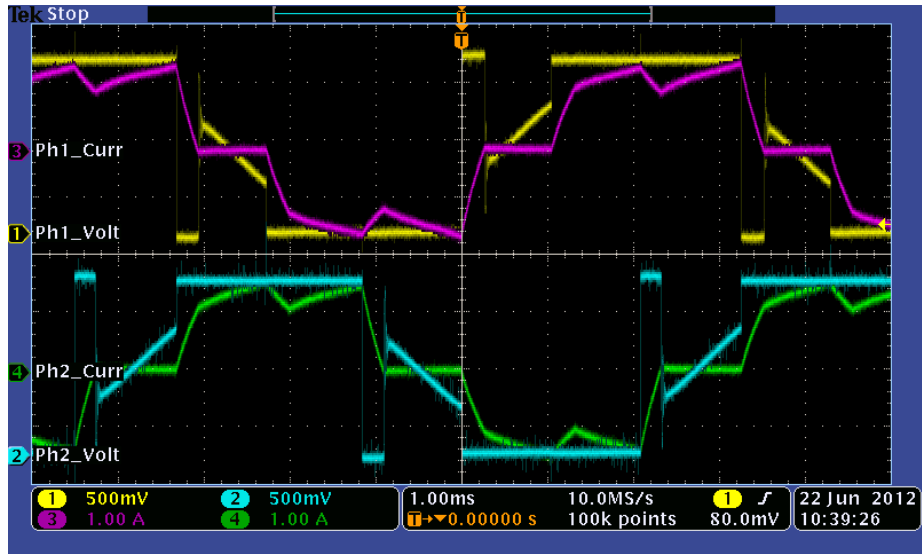
الشكل(17) اضافة المقاومات من رتبة 10KΩ لملفات المحرك

هنا يجب وضع مقاومات من رتبة 10KΩ كما هو واضح في الشكل (17) من أجل تحديد نقطة neutral المشتركة والتي تدعى virtual neutral لكي يتم القياس بشكل صحيح [13] تكشف في هذا التطبيق نتائج المقارنات من خلال مقاطعات خارجية . والمؤقت TimerX يقيس عرض النبضة بين المقاطعات المتتالية لكي يحسب السرعة من خلال معرفة الزمن لكل 60 درجة عند حدوث المقاطعة وتحديد ZCP، يبدأ مؤقت آخر بالعد حتى يصل لزمان TimerX/2 ثم يضاف زمنه الى زمن العبور فيتحدد زمن بدء الخطوة[14].

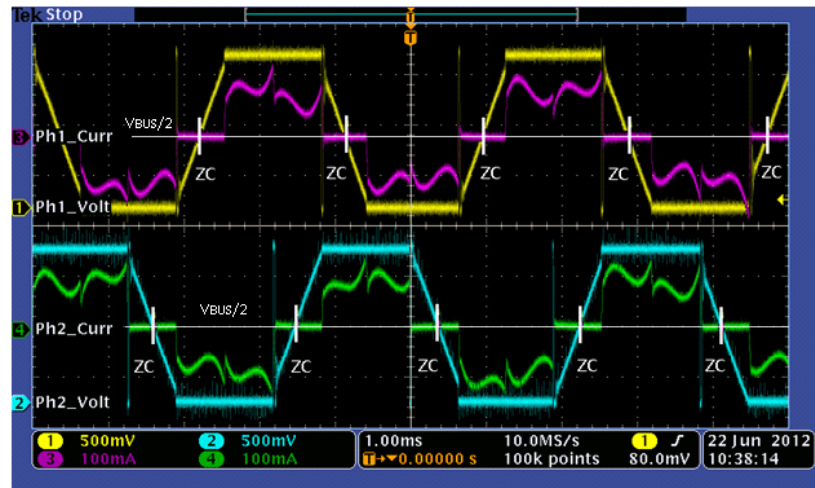
استطاعة المحرك 110W، التيار الاسمي 48A والمتحكم المستخدم ATMEGA328P [15]



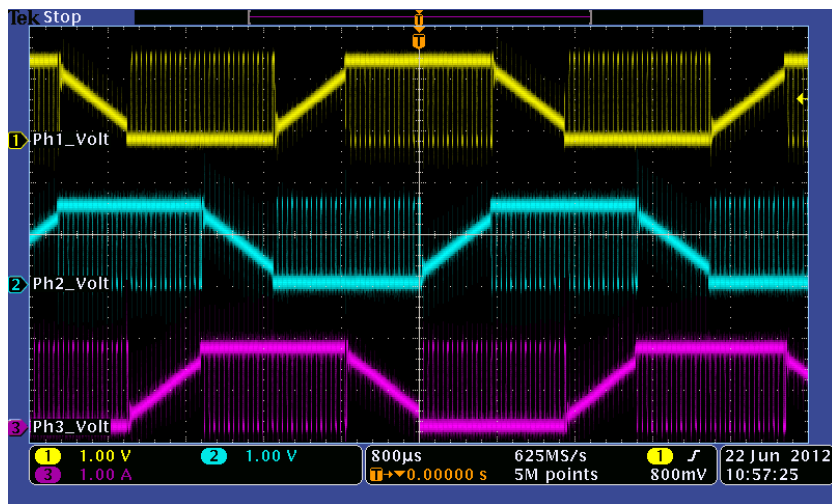
الشكل(18) الدارة في برنامج protus



الشكل (19) أشكال الجهد والتيار عند تطبيق الحمل



الشكل (20) ZCP



الشكل (21) القوة المحركة العكسية للخطوط الثلاثة

8- الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة مشكلة تعترض عدداً من الآلات الموجودة ضمن معامل صغيرة منتشرة في حلب على نطاق واسع وبناء على دراسة السوق والتكلفة المادية لتطوير الآلات تمت إعادة تصميم قسم التحكم وقسم واجهة المستخدم بما يمكن أي عامل التعامل مع هذه الواجهة لبساطتها.

وستتم دراسة طرق تخمين أخرى كالخوارزمية التنبؤية، والنمذجة البارامترية وتطبيقها على برنامج المحاكاة لمعرفة الطريقة الأنسب لاستخدامها بشكل واقعي في محرك BLDC

9- المراجع العلمية:

- [1] جوخدار عبد القادر "الات التيار المستمر وتصميمها " منشورات جامعة حلب، 2010.
- [2] *Brushless DC Motor (BLDC) Fundamentals*, Microchip 2003
- [3] *Permanent brushless DC motor -Sensorless Speed Control of BLDC Motor* by M.Tech 2016
- [4] *A Novel Energy Regeneration Technique in Brushless DC Motor for Electric Vehicles*
M.Tech / M.E / PhD Thesis | Electrical Engineering | India | Volume 5 Issue 8, August 2016
- [5] *Position and speed control of brushless DC motors using sensor less techniques and application trends* by Jose Carlos Gamazo- 2010
- [6] *Sensorless Rotor Position Estimation For Brushless DC Motors* Iram G. Raza The University of Western Ontario/April/ 2016
- [7] *A new approach to Sensorless control method for brushless DC motor international journal of control Vol 6 pp477-487 ,2008*
- [8] *Brushless DC Motor (BLDC) characteresation and selection for fixed wig UAV,2020.*
- [9] IEEE AFRICON P13-15,2011
- [10] *Microchip Technology Inc., - 40-pin Enhanced Flash Microcontrollers with Nano Watt Technology, High-Performance PWM and A/D-3,5,13,2010*
- [11] HEINZ Rongen., *-Introduction to pic microcontroller-for schungszentrum jülich-3,4. 2010*
- [12] www.best-microcontroller-projects.com
- [13] Rakesh Parekh- VF of 3-Phase Induction Motor Using Space Vector Modulation- Microchip Technology Inc,1,2. .,2005
- [14] Yaskawa ELECTRIC America,inc., *-Induction motor SPEED torque Characteristics-3,4. 2006*
- [15] Adrian Lita and Mihai Cheles, Microchip Technology Inc.Sensorless BLDC Control with Back-EMF Filtering Using a Majority Function,2008.