

رسم الميزة الميكانيكية لمحرك تحريضي ثلاثي

الطور باستخدام Raspberry pi

** م. لبنى نديم حايك

* م. ميس عبد الوهاب ابراهيم

ملخص البحث

انطلاقاً من حاجة العملية التعليمية إلى التجارب العملية وضرورة أن تقوم الأقسام التخصصية بتصميم وتنفيذ منصاتهما، ونظراً لعدم توفر الأجهزة اللازمة لتقديم الوسائل التوضيحية للطلاب ولإيجاد حل لهذه الإشكالية استناداً إلى دراسات سابقة في هذا المجال، تم إجراء تجربة عملية لرسم الميزة الميكانيكية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور مقادراً بطريقة التحكم الشعاعي وذلك باستخدام الراسبييري باي .

تم في هذا البحث توضيح طريقة القيادة المستخدمة لتحميل المحرك التحريضي ثلاثي الطور من أجل رسم المميزات الميكانيكية للمحرك وأنظمة قياس العزم المتوفرة بالسوق المحلية من أجل المنصات التعليمية للطلاب وليس من أجل الاستخدام الصناعي، كما تم تصميم نظام خاص لتحميل المحرك التحريضي من أجل دراسة تأثير تغيرات عزم الحمولة وعرض منحنيات العمل على البرنامج المصمم ابتداءً من حالة اللاحمل وحتى قيمة العزم الأعظمي عند سرعات مختلفة وقد تم رسم مميزة (سرعة/عزم) للمحرك التحريضي ومقارنة نتائج القيم المقروءة من مسجلات المبدلة (VFD) في الزمن الحقيقي مع القيم المقروءة من الحساسات المركبة على نظام التحميل.

وقد بينت النتائج استقراراً واضحاً في قيم السرعة والعزم عند استخدام تقنية التحكم الشعاعي ، وتقاربا كبيراً بين النتائج المخبرية التي تم الحصول عليها والدراسات النظرية .

الكلمات المفتاحية : الميزة الميكانيكية ، التحكم الشعاعي، راسبييري باي، المبدلة الترددية، محرك تحريضي ثلاثي الطور .

Draw the mechanical characteristic of a three-phase induction motor using the Raspberry Pi

****Eng.Loubna Hayek**

*** Eng. Mays Ibrahim**

Abstract

Proceeding from the need of the educational process for practical experiments and the necessity for the specialized departments to design and implement their platforms, and due to the lack of the necessary devices to provide illustrative means to students and to find a solution to this problem based on previous studies in this field, a practical experiment was conducted to draw the mechanical characteristic of a three-phase induction motor driven By vector control, using the Raspberry Pi .

In this research, the driving method used to load the three-phase induction motor was clarified in order to draw the mechanical characteristics of the motor and the torque measurement systems available in the local market for educational platforms for students and not for industrial use, and a special system was designed to load the induction motor in order to study the effect of torque

changes payload The curves of the designed program were presented starting from the no-load state to the maximum torque value at different speeds. A characteristic (speed / torque) of the induction motor was drawn and the results of the values read from the VFD registers were compared in real time with the values read from the sensors existing on the load system.

The results showed a clear stability in the values of speed and torque when using the vector control technique, and a great convergence between the obtained laboratory results and theoretical studies.

Keywords: mechanical characteristic, vector control, raspberry pi, variable frequency drive, three-phase induction motor.

* M.Sc. – Department of Industrial Automation– Faculty of Technical engineering – Tartous University

مقدمة :

إن التطور في قيادة محركات التيار المتناوب كانت عن طريق محاكاة طرق التحكم بالتيار المستمر للحصول على مميزات مشابهة في مجال الاستجابة السريعة للعزم، والدقة في السرعة، ولكن التحكم بالسرعة في المحركات التحريضية أصعب بكثير من التحكم بالسرعة في محركات التيار المستمر؛ كون العلاقة بين تيار المحرك والعزم علاقة غير خطية، [1] وتتطلب خوارزميات تحكم قوية ومحكمة لتحقيق أغراض التحكم عند مجال العمليات الواسع، إذ أن الهدف من التحكم الشعاعي في المحركات التحريضية هو توفير إمكانية فصل التحكم بالعزم المتولد عن التحكم بالفيض المغناطيسي. [2]

تم في هذا البحث اعتماد كلاً من المنهجين الوصفي والتجريبي، حيث تم توصيف الإشكاليات المطروحة، وتوصيف الإجراءات والأدوات اللازمة لإجراء البحث، وتمت دراسة خصائص المبدلة الشعاعية من أجل تحقيق الربط بينها وبين Raspberry Pi بغية تصميم واجهة تخاطبيه (GUI) لنظام القيادة المستخدم، حيث تقوم المبدلة بالتحكم بالمحرك التحريضي المربوط معها باستخدام تقنية التحكم الشعاعي.

المنهج الوصفي :

المكونات المادية للنظام :

1- محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو قفص سنجابي.

2- Vector Drive.

3- Raspberry Pi .

4- Laptop .

5- بروتوكولات الاتصال.

6- شاشة عرض.

7- حساس عزم.

8- حساس سرعة .

9- نظام تحميل للمحرك.

واجهة البرنامج:

1. تشغيل وإيقاف المحرك .

2. تغيير اتجاه الدوران .

3. ضبط السرعة.

4. رسم المميّزة الميكانيكية للمحرك.

توصيف التجربة:

1. يقوم الطالب بالاطلاع على نموذج التحكم الشعاعي وفهم كيفية عمله.

2. الانتقال نحو التطبيق العملي و التأكد من صحة التوصيل.

3. تشغيل الواجهة وضبط السرعة عند قيمة منخفضة.

4. تشغيل نظام التحميل وزيادة الحمل بشكل تدريجي ،ولكن عند زيادة الحمل فوق

القيم الاسمية يجب أخذ القيم خلال زمن قصير لتجنب ارتفاع حرارة المحرك بشكل كبير .

5. زيادة السرعة وتكرار الخطوة 4 حتى الوصول للعزم الاسمي.

6. يقوم الطالب برسم المميّزة الميكانيكية للمحرك ويجب أن تتطابق مع المميّزة

الميكانيكية التي تظهر على الواجهة .

7. يقوم الطالب بالاطلاع على الكود البرمجي ومراقبة عمل البرنامج .

حيث قمنا بإجراء التجارب اللازمة لإثبات الفرضيات ،ثم الوصول إلى النتائج ، وتمت مناقشة تلك النتائج ومقارنتها بنتائج الأبحاث العالمية ،وصولاً إلى الاستنتاجات، ويمكن تلخيص منهجية البحث بالخطوات التالية:

- 1- اختيار التجهيزات المادية المناسبة للنظام .
- 2-دراسة شاملة للمبدلة الشعاعية المستخدمة لإعداد بروتوكول الاتصال الخاص بالمبدلة .
- 3- ربط Raspberry pi مع Vector Drive عن طريق الطرفيات ومع نظام تحصيل بيانات العزم.
- 4- برمجة Vector Drive .
- 5- تطوير واجهة التحكم والمراقبة (GUI) .
- 6- تحصيل بيانات العزم والسرعة من الحساسات المركبة على نظام التحميل .
- 7- الاختبار والتنفيذ .
- 8- إظهار المنحنيات والمميزات الميكانيكية المطلوبة .
- 9- تطابق النتائج المخبرية مع الدراسات النظرية .

هدف البحث:

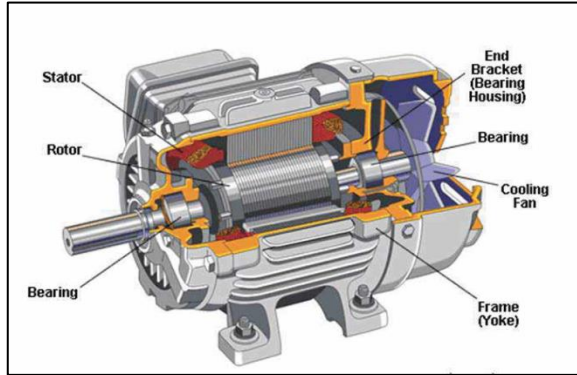
نظراً لأن مفهوم التحكم الشعاعي بالمحركات التحريضية لا يزال غامضاً بالنسبة للطلاب بسبب محدودية الأدوات التعليمية لمفاهيم التحكم الشعاعي وكلفتها العالية، هنا تكمن أهمية البحث من الناحية التعليمية حيث يمكن استخدام النموذج المقترح كأداة لتعزيز فرص البحث التطبيقي والتجريبي وتحسين مناهج القيادة الآلية باستخدام التحكم الشعاعي على مستويات الدراسات العليا والجامعية ، كذلك تسهيل التعامل مع أنظمة التحكم الشعاعي وبرمجتها ، بالتالي تقليل الفجوة بين الدراسات النظرية والتطبيقات العملية .

يقدم هذا البحث طريقة جديدة لتحصيل بيانات التحكم الشعاعي حيث تم استخدام الراسبييري باي لقيادة المبدلة الشعاعية (VFD) التي بدورها تقود المحرك التحريضي ، كما تم إرسال واستقبال البيانات بين Raspberry Pi و Vector Drive بالتالي يمكننا استخدام الراسبييري من بناء نموذج للمراقبة والتحكم وتحصيل بيانات السرعة والعزم عند تحميل محرك القيادة المستخدم .

مواد وطرائق البحث :

1- المحركات التحريضية :

تمتاز المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي (squirrel cage induction motor) بالبساطة والمتانة وتعد المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي ذات سرعة ثابتة "مقارنة بالدوائر الملفوف" إذا تم توصيلها إلى مصدر طاقة ذو جهد وتردد ثابتين، وهذا مناسب في أنظمة القيادة التي تتطلب سرعة ثابتة، ومن جهة أخرى تتطلب العديد من التطبيقات الصناعية سرعات متغيرة، أو تتطلب التنظيم على مجال محدد من السرعات ويبين الشكل (1) بنية المحرك التحريضي ذو القفص السنجابي . [2]



الشكل (1) : بنية المحرك التحريضي ذو القفص السنجابي

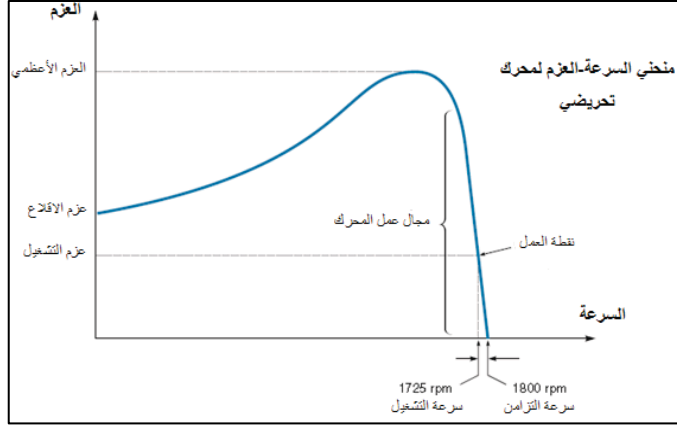
وتتمتاز المحركات التحريضية بالميزات الآتية التي تجعلها تلعب دوراً مهماً في معظم التطبيقات الصناعية:

- القدرة على إنتاج عزم دوران عالية عند سرعات منخفضة .
- كفاءة عالية على مجال سرعات وعزوم كبيرة.
- متانة عالية في مختلف ظروف التشغيل.
- استجابة سريعة لعزم الحموله .
- تشغيل المحرك ودارات القيادة على كامل مجال السرعة بكفاءة وموثوقية عالية وأعطال أقل.

إن منحنى السرعة- عزم للمحرك التحريضي المبين بالشكل (2) يعطينا معلومات عن أداء المحرك التحريضي عند السرعات والعزوم المختلفة، فالعزم المولد في المحرك عند سرعة التزامن هو صفر لأن المحرك يتطلب وجود انزلاق ليعمل ، وعند سرعة التوافق ينعدم الانزلاق ، والمنحنى يكون تقريباً خطي في المجال عند شروط العمل الطبيعية .

[3]

وتسمى النقطة التي يعطى عندها عزم الحمل الكامل بنقطة العمل وتحدد من قبل المصنع ويكون مجال تشغيل المحرك حول هذه النقطة، أما أكبر عزم يمكن أن يولد يسمى بالعزم الأعظمي أو عزم الانهيار (Pullout or Breakdown Torque)، وهو غالباً يكون من 2-3 أضعاف عزم الحموله الاسمي، بينما عزم الإقلاع يكون أكبر من عزم الحموله بحدود 1.5 مرة .



الشكل (2) : منحني السرعة عزم للمحرك التحريضي

2- التحكم الشعاعي vector control:

تستخدم تقنية التحكم الشعاعي لتغيير سرعة المحرك التحريضي على مجال واسع، في مخطط التحكم الشعاعي يتم تجميع التيار المكون من مركبتين: الأولى مسؤولة عن إنتاج الفيض، والثانية مسؤولة عن إنتاج العزم في المحرك، وله مميزات عديدة أهمها: التحكم بالسرعة على مجال واسع، وتنظيم دقيق للسرعة، واستجابة ديناميكية عالية. [4]

إن أكثر التقنيات المعاصرة الشائعة في قيادة المحركات التحريضية هي التحكم الشعاعي، والذي يعرف أيضاً بالتحكم المباشر بالعزم، وبالتحكم الشعاعي بالفيض، وتم تطويرها في التطبيقات الصناعية من قبل شركة ABB، والوظيفة الأساسية هي التحكم بجريان الطاقة من المأخذ الرئيسي خلال سير العملية عبر شعاع المحرك، مقداران فيزيائيان يصفان حالة الشعاع (state of the shaft) هما العزم والسرعة، يعتمد التحكم بجريان الطاقة على التحكم بهذه الكميات، ويتم في التطبيق العملي التحكم بأحد هذين المقدارين، ونقول: التحكم بالعزم، أو التحكم بالسرعة. [5]

وعند قيادة السرعة المتغيرة في نمط التحكم بالعزم يتم تحديد السرعة من قبل الحمل، العزم تابع للتيار الفعلي والفيض الفعلي في الآلة، وبالمثل عند التحكم بالسرعة يتم تحديد العزم من قبل الحمل.

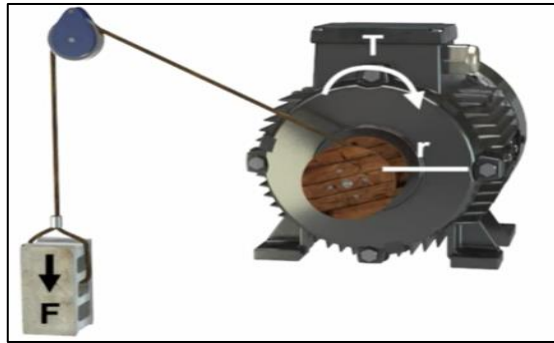
تستخدم أجهزة قيادة السرعة المتغيرة (Variable speed drives) في التحكم الدقيق بسرعة المحركات الكهربائية التي تقود الأحمال بدءاً من المراوح، والمضخات، إلى التطبيقات المعقدة في آلات الورق، والروافع، والعمليات المشابهة. [6]

3- مفهوم العزم:

البارامترات التي تحدد نوع العمل الذي يمكن أن ينتجه المحرك هي: السرعة، العزم والاستطاعة.

تعرف السرعة على أنها عدد الدورات التي يدورها المحرك بالدقيقة وواحدتها RPM. يعرف العمل على أنه القوة المطبقة خلال مسافة معينة. ولكن في حالة المحركات والرافعات والبكرات فإن العمل المنجز يسمى بالعزم كما في الشكل (3)، فالعزم هو نوع خاص من العمل ولكن ينجز بشكل دوراني. فإذا كانت القوة F والقطر البكرة r فإن العزم يعطى بالعلاقة (1). [7]

$$T = F * r \quad (1)$$



الشكل (3) : مفهوم العزم

يوجد عدة وحدات لقياس العزم [Ib-ft] أو [NM] وغالباً ما نستخدم NM. فإذا كان لدينا عزم قيمته 1NM يكون قادر على رفع 1Newton مسافة 1 Meter. منذ سنوات قبل اختراع المحركات فإن معظم الأعمال كانت تتجز يدوياً وقد تم التقدير انه

$$1\text{Horse Power}=33000 \text{ Ib-ft /min}= 44880 \text{ NM/min}= 746 \text{ Nm/Min}= 746 \text{ W}$$

غالباً ما نستخدم الحصان البخاري او الواط (Watts) لقياس الاستطاعة. [28] يمكن ربط السرعة والعزم والاستطاعة مع بعضهم وفق العلاقة (2)

$$T[Nm] = \frac{9.55 * Power [Watts]}{Speed [RPM]} \quad (2)$$

فمن أجل الحفاظ على العزم ثابت فإنه عند زيادة السرعة يجب زيادة الاستطاعة، والعكس صحيح.

ومن أجل الحفاظ على السرعة ثابتة فإنه عند زيادة العزم يجب زيادة الاستطاعة، والعكس صحيح.

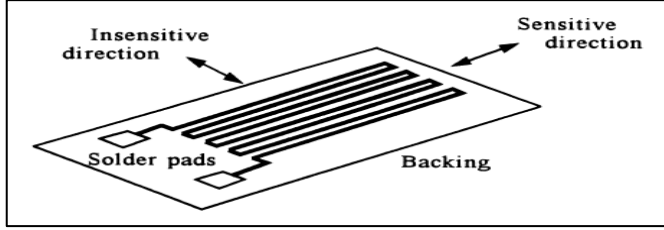
ومن أجل الحفاظ على الاستطاعة ثابتة فانه عند زيادة السرعة يجب تخفيض العزم، والعكس صحيح. [7]

3-1 أجهزة قياس العزم الدوراني:

يوجد أشكال مختلفة لأجهزة قياس العزم التي يمكن أن تتركب بين المحرك والآلة (سير، ضاغط، عنفة....) لقياس العزم الذي يقدمه المحرك لتشغيل الآلة ، في هذا البحث سنناقش أنظمة تحصيل بيانات العزم من اجل المنصات التعليمية للطلاب وليس من أجل الاستخدام الصناعي لقياس العزوم على الآلات الصناعية، فيما يلي أبرزها : [8]

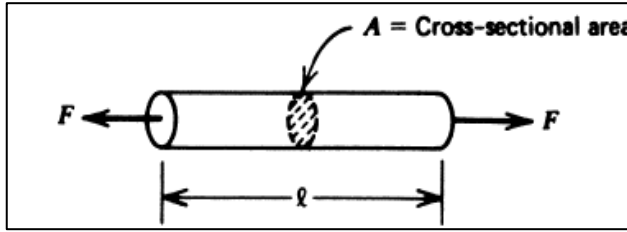
3-1-1 مقاومات الانفعال Strain Gauge:

تستجيب هذه المقاومات للانفعالات الميكانيكية وتلتصق بشكل متين على الجسم الذي نريد قياس الإجهاد عليه وهي موضحة بالشكل (4).



الشكل (4) : مقاومة انفعال مركبة على الجسم المراد قياس الاجهاد عليه

لو أخذنا مقطع من ناقل وتعرض للشد فإنه يزداد طوله ويقل مقطعه كما في الشكل (5)



الشكل (5) : ناقل تعرض للشد

تعطى مقاومة الناقل بالعلاقة (3) :

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (3)$$

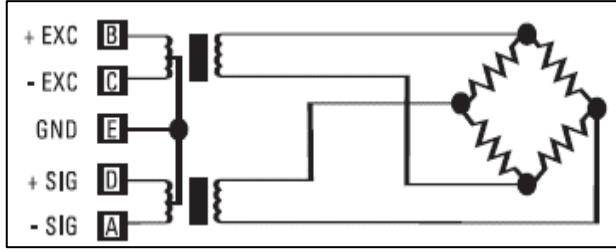
أو يتم تركيب أربع مقاومات انفعال على محور يربط بين المحرك والحمولة كما هو موضح بالشكل (6). وعندما يدور المحرك يتعرض محور المقياس إلى إجهاد يتناسب قيمته مع قيمة الحمولة، ونحصل على جهد يتغير تبعاً لعزم الحمولة. [8]



الشكل (6): جهاز قياس العزم من شركة PCB

ويتم توصيل المقاومات الأربعة مع بعضها عن طريق جسر واطستن كما بالشكل (7).

حيث جميع المقاومات الموصولة هي مقاومات انفعال. [9]

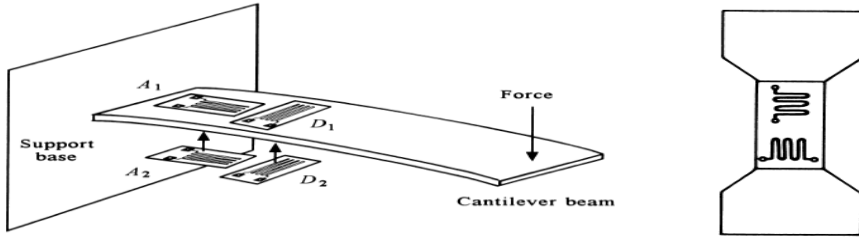


الشكل (7): البنية الداخلية لمقياس العزم من شركة PCB

3-1-2 جسر واطستن Wheatstone bridge :

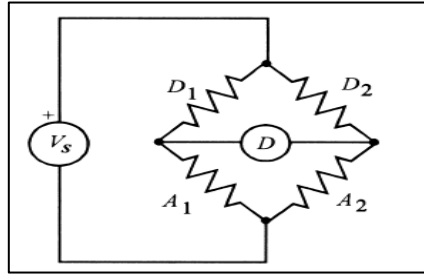
تستخدم جميع خلايا الحمل Load Cells جسر واطستن في توصيل مقاومات الانفعال، فمن خلال هذا الجسر يمكننا زيادة دقة القياس عن طريق توصيل 4 مقاومات انفعال ويكون الخرج صفر في حالة عدم وجود حمولة. [10]

يوضح الشكل (8) دائرة خلية الحمل وكيفية توصيل مقاومات الانفعال. حيث يوجد 4 مقاومات ، اثنين من كل جهة A1,A2 لقياس الانحناء، D1,D2 للتغلب على التشويش الناتج عن تغير درجات الحرارة. [10]



الشكل (8): خلية الحمل Load Cell

ويوضح الشكل (9) بنية جسر واطستن مع 4 مقاومات انفعال.



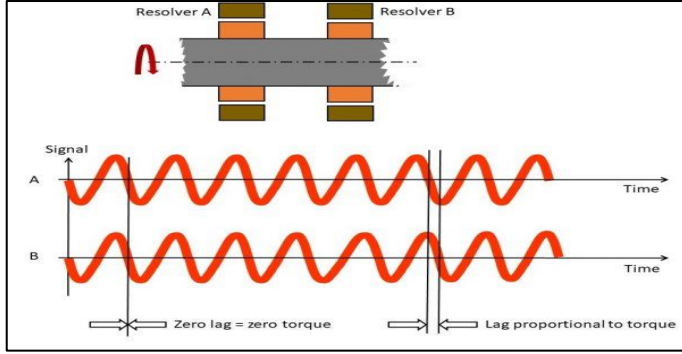
الشكل (9) : جسر واطستن

ويمكننا حساب جهد الخرج انطلاقا من قانون كيرشوف الثاني، كما في العلاقة (4)

$$V_o = \left(\frac{D1}{D1 + A1 + \Delta A1} - \frac{D2}{D2 + A2 - \Delta A2} \right) V_s \quad (4)$$

3-1-3 حساسات الزاوية (Angle Sensors) :

تعتمد هذه الأجهزة على قياس زاوية التواء المحور (the twist) الواصل بين المحرك والحمولة وبالتالي قياس العزم حيث يتم إضافة اثنين من حساسات الزاوية أو (Shaft encoder) الأول يوصل عند المحرك والآخر يوصل عند الحمولة وبمعرفة انحراف الطور بين الحساسين يمكننا معرفة العزم. كما هو موضح بالشكل (10) . [11]



الشكل (10) : قياس العزم باستخدام حساسات الزاوية

في حالة عدم وجود عزم يكون الانزياح في الطور بين الاشارتين هو 0، وعندما نطبق عزم حمولة على المحرك فإن الانزياح الطوري يزداد بشكل طردي مع العزم. ولكن حساسات الزوايا يجب ان تكون دقيقة جداً وتقيس بنسبة 0.0001 درجة (وهي غالباً حساسات تحريضية بمواصفات خاصة Inductive sensors). وليس من الضرورة أن يكون المحور طويلاً لزيادة الدقة وإنما يتم استخدام محور طوله 25mm ولكن له مرونة محددة تناسب مجال العزم المطلوب قياسه. وغالباً لا تستخدم هذه المقاييس لأن سعرها مرتفع جداً بالرغم من انها أكثر متانة وموثوقية ودقة من مقاومات الانفعال [11].

4- منصة قياس العزم عن طريق آلة التيار المستمر ونظام بروني:

تم في هذا البحث الاستعانة بمنصة قياس العزم TERCO الموجودة في مخبر القيادة الآلية، تقوم هذه المنصة على قياس عزم المحركات ميكانيكياً عن طريق نظام بروني ولكن هنا لا يتم التحميل عن طريق الاحتكاك وإنما عن طريق توصيل حمولات على مولدة التيار المستمر. يتكون نظام قياس العزم من مولدة تيار مستمر ولكن هيكل المولدة موصول على المؤشر الميكانيكي لقياس العزم وبالتالي كلما ازداد العزم ازدادت زاوية دوران الهيكل ، وتقيس العزوم حتى 25Nm.

رسم الممیزة الميكانيكية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور باستخدام Raspberry pi

وتحتوي المنصة على مقياسي تيار، الأول يقيس حتى 1A ويتم وصله لقياس تيار التهيج ، والثاني 15A ويقيس تيار المتحرض، كما تحتوي المنصة أيضا على حساس سرعة (تاكومتر) يقيس حتى 4000 RPM، بالإضافة إلى مقاومة تحميل للمتحرض.

بالنسبة للمولدة فإن استطاعتها هي 2.2KW والسرعة 1500 RPM وجهد التهيج 220VDC والتيار 0.8A، يوضح الشكل (11) منصة قياس عزم المحركات الكهربائية مقدمة من شركة TERCO السويدية. [12]



الشكل (11) : منصة قياس العزم من شركة TERCO

5- مواصفات شريحة Raspberry pi 3 model B الفنية:

تم في هذا البحث استخدام شريحة Raspberry pi 3 model B وهذا الجدول يوضح مواصفاتها الفنية

جدول 1 يبين مواصفات شريحة Raspberry pi model B 3 : [13]

Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU	نوع المعالج
1GB RAM	سعة ذاكرة الوصول العشوائي
BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board	شريحة بلوتوث + شريحة ال WIFI
100 Base Ethernet	منفذ الانترنت
40-pin extended GPIO	عدد أقطاب التحكم
4 USB 2 ports	نوع و عدد منافذ USB
4 Pole stereo output and composite video port	مخرج الصوت و الفيديو
Full size HDMI	نوع وصلة الشاشة
CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera	مدخل كاميرا راسبيري باي عالية الدقة
DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display	مدخل شاشة اللمس
Micro SD port for loading your operating system and storing data	مدخل بطاقة الذاكرة
Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A	منفذ micro usb المخصص للتغذية

6- مقارنة بين ARDUINO UNO & RASPBERRY PI 3 Model B :R3

جدول 2 مقارنة بين raspberry pi 3 و Arduino uno :

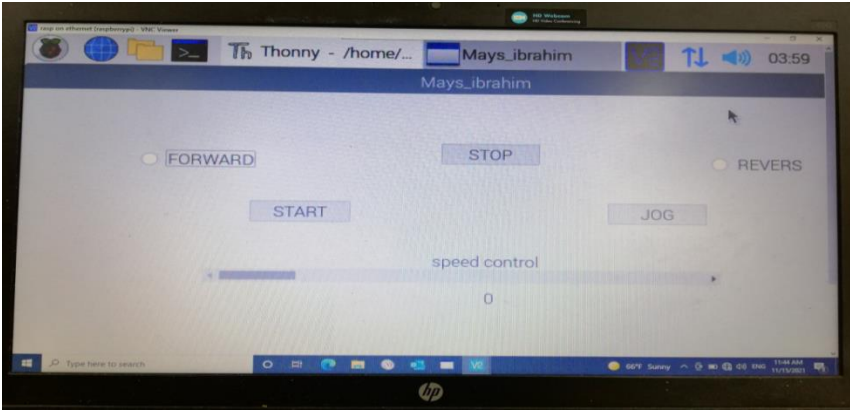
ARDUINO UNO	RASPBERRY PI 3	من حيث
R3	MODEL B	الإصدار
16MHz , 328 AT Mega	Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU	المعالج
2KILLO BYTE	1GIGA BYTE	الذاكرة العشوائية
32 KILLO BYTE	MICRO SD CARD	الذاكرة الثابتة
NO	YES	تشغيل فيديو عالي الدقة
14	(20 TO 24)	عدد مخارج التحكم
6	NO	عدد مداخل التماثلي
6	20	مخارج PWM
NO	YES	معالجة تفرعية
NO	YES	مدخل شبكة
ARDUINO C	كل لغات البرمجة التي تعمل على Linux	اللغات البرمجية المدعومة

تم استخدام متحكم أردوينو من أجل قراءة قيمة السرعة من الانكودر ، لأن الراسبييري لا تحوي على أقطاب Analog .

7- النموذج العملي المصمم :

تم في هذا البحث دراسة خصائص المبدلة الترددية ودراسة بارامترات ومخططات التوصيل للمبدلة الشعاعية المستخدمة، وكيفية ضبطها لتلائم النظام العملي المصمم، والتعرف على بارامترات المحرك التحريضي المربوط معها، وكيفية تحديد طريقة قيادته مع إمكانية التغيير بين الأنماط المتعددة لطرق القيادة المختلفة ضمن المبدلة، كذلك إعداد بروتوكول الاتصال المناسب من أجل تحقيق الربط بين الراسبييري باي والمبدلة . ثم تم تصميم واجهة تخاطبية GUI للتحكم بالمبدلة الترددية مباشرة عن طريق الطرفيات في Raspberry Pi مما يمكننا من إرسال واستقبال البيانات بين Raspberry pi & VFD .

كذلك تم تشغيل المحرك التحريضي وإيقافه وتدويره بالاتجاهين الأمامي والعكسي بمرونة، بالإضافة إلى زلقة للتحكم بالسرعة، كما تم حساب قيمة السرعة عن طريق الانكودر الضوئي (حساس السرعة) المربوط على محور المحرك التحريضي .

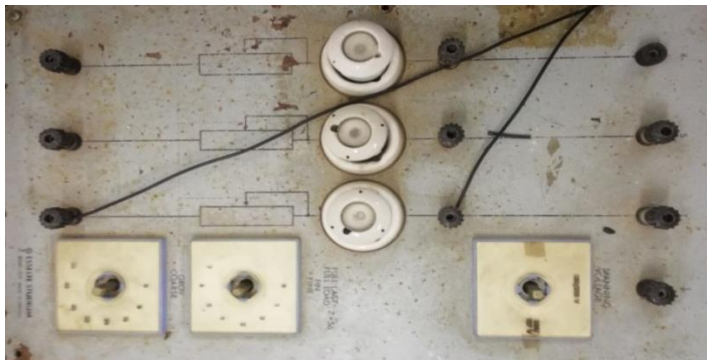


الشكل (12) : البرنامج المصمم للتحكم بال VFD

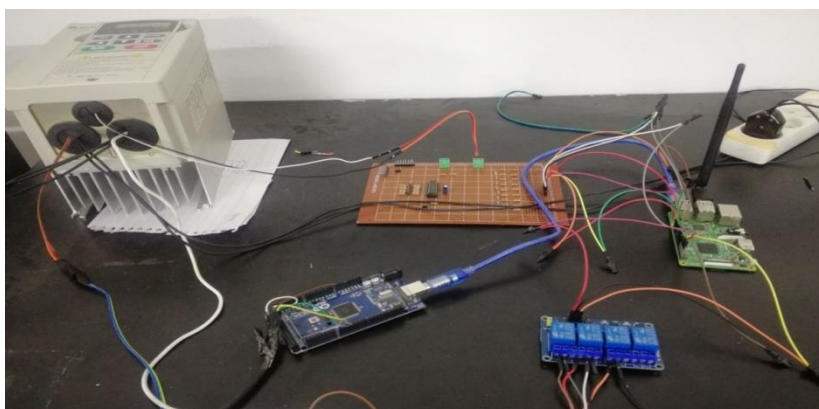
كما تم تصميم نظام خاص لتحميل المحرك التحريضي من أجل دراسة تأثير تغيرات عزم الحمولة وعرض منحنيات العمل على البرنامج المصمم (الواجهة) ابتداء من حالة اللاحمل وحتى قيمة العزم الأعظمي عند سرعات مختلفة فقد تم استخدام مقاومة متغيرة

رسم الممبزة الميكانيكية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور باستخدام Raspberry pi

للتحكم بالحمولة المطبقة على المحرك، وقد تم رسم ممبزة (سرعة/ عزم) للمحرك التحريضي ومقارنة نتائج القيم المقروءة من مسجلات المبدلة (VFD) في الزمن الحقيقي



الشكل (13) : نظام تحميل المحرك التحريضي



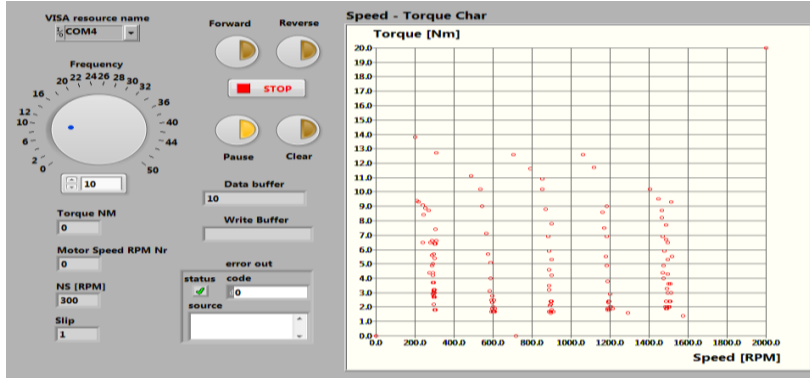
الشكل(14) : ربط Raspberry pi & vfd

يبين الشكل (14) الآلية المستخدمة لربط الراسبييري باي بالمبدلة الشعاعية عن طريق الطرفيات ، بالإضافة إلى ريليات يتم التحكم فيها كقواطع لأزرار Fwd&Rev...

النتائج والمناقشة :

تم تصميم واجهة GUI بنجاح للتحكم بالمبدلة الترددية مباشرة عن طريق الطرفيات في Raspberry Pi مما يمكننا من إرسال واستقبال البيانات بين Raspberry pi & VFD .

المنحنيات تم عرضها بواسطة Vnc Viewer الذي يمكننا من توفير الكلفة المادية في حال شراء شاشة خاصة للراسبييري ، كما تم حساب قيمة السرعة عن طريق الأنكودر المربوط على محور المحرك ، يتكون نظام قياس العزم من مولدة تيار مستمر ولكن هيكل المولدة موصول على مؤشر ميكانيكي لقياس العزم وبالتالي كلما زاد العزم ازدادت زاوية دوران الهيكل، يقيس العزوم حتى 25Nm.



الشكل (15) : تغيرات السرعة والعزم عند استخدام برنامج Labview

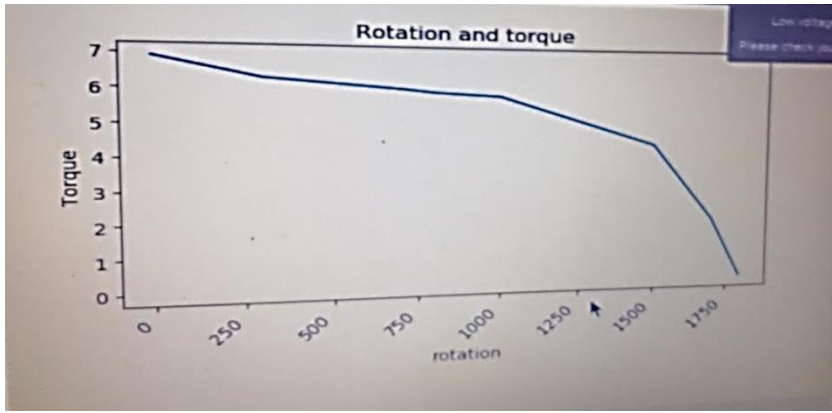
اعتمادا على الدراسات المرجعية التي تم فيها استخدام برنامج Labview من أجل قيادة المبدلة الشعاعية عن طريق بروتوكول Modbus وبرنامج Labview نلاحظ أنه عند السرعات المنخفضة (حتى 300 rpm) فإن السرعة بقيت ثابتة حتى الوصول إلى قيمة بحدود 1.5 من العزم الاسمي وبعدها انخفضت بشكل مباشر . [14]

وبالمقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها عند تطبيق نظام القيادة المصمم باستخدام Raspberry Pi نلاحظ ان السرعة بدأت من الصفر ثم ازدادت بالتدرج أي التغيرات في شكل مميزة (سرعة / عزم) كانت طفيفة بحيث بقيت تتأرجح حول قيم ثابتة حتى 1000

Raspberry pi رسم المميّزة الميكانيكية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور باستخدام

rpm، بينما العزم المولد كان كبيراً في البداية من أجل الإقلاع ومن ثم انخفض حتى الصفر عند الوصول إلى حالة الاستقرار.

ومن أجل توضيح الحالة الديناميكية نجعل السرعة تتغير من حالة التوقف وحتى السرعة الاسمية عند زمن 0.2 s والعزم يتغير من حالة اللاحمل وحتى العزم الاسمي عند الزمن 1.8 S. ويوضح الشكل (16) الحالة الديناميكية عند تغيير السرعة والعزم، حيث نلاحظ تغيير شكل المميّزة عند سرعة 1500 rpm بشكل حاد .



الشكل (16) : مميّزة السرعة / عزم

بينما عند السرعات المتوسطة والمرتفعة فإن نظامي التحكم يقدمان أداءً جيداً ولكن نظام التحكم الشعاعي المصمم أكثر ثباتاً اعتماداً على زاوية المنحني .

والجدير بالملاحظة أنه عند السرعات المرتفعة ترتفع حرارة المحرك بالإضافة إلى ذلك ترتفع حرارة الحزام بين المحرك والمولد ويحدث انزلاق مما يؤدي إلى تأرجح القيم المقروءة حول القيم الحقيقية .

مقارنة القيم المقروءة من الانفرتر ومن الحساسات :

جدول 4 :

Torque (Nm)	Speed (rpm)
0	1800
1.9	1700
5	1500
6	1000
6.1	800
6.2	700
6.3	300

جدول 3 :

Torque (Nm)	Speed (rpm)
0	2700
2.1	2640
3	2580
4.1	2520
5.2	2460
6.9	2520
8	2580

يبين الجدول 3 القيم القروءة لكل من السرعة والعزم من المسجلات الداخلية للانفرتر وبيين الجدول 4 القيم المقروءة للسرعة والعزم من حساسات السرعة والعزم المركبة على نظام التحميل إذ نلاحظ أن القراءات السابقة متقاربة إلى حد كبير .

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- عند نمذجة نظام التحكم الشعاعي كانت قيم مركبة الفيض ثابتة ومركبة التيار تتغير تبعا للحمولة .
- تم تحقيق التراسل بين الراسبييري والمبدلة الشعاعية بمرونة عبر استخدام الطرفيات وتم عرض تغيرات العزم المقدم بدلالة سرعة دوران المحرك .
- يمكن استخدام المبدلة الترددية ولا حاجة لحساس السرعة (الانكودر الضوئي) الا من أجل العمليات التي تتطلب تحكما دقيقا بالسرعة .

التوصيات :

- تجربة قياس عزوم المحركات التي تعمل في حالة عدم وجود مبدلة شعاعية .
- تحصيل بيانات المحرك في الحالات العابرة وتأثير تغير قيم التسارع والتباطؤ على الأداء .
- استخدام مبدلة ذات معالج أسرع لتقليل التأخير الزمني الحاصل في الاستجابة القادمة من البرنامج .

قائمة المراجع :

- [1] Schauder, C. (1992). Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(5), 1054-1061
- [2] Peng, F. Z., & Fukao, T. (1994). Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(5), 1234-1240
- [3] BUINAC,R.; TOMLJENOVIC,V.2013, *Determination of the Torque – Speed Characteristic of Induction Motor in electric Machinery Education. IEEE Croatia*,895- 899
- [4] Schauder, C. (1992). Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(5), 1054-1061
- [5] Peng, F. Z., & Fukao, T. (1994). Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(5), 1234-1240.
- [6] Holtz, J., & Quan, J. (2001, September). Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a nonlinear inverter model and parameter identification. In *Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE* (Vol. 4, pp. 2614-2621). IEEE.
- [7] 8 April 2019. <https://datum-electronics.co.uk/product/rotary-torque-sensor-m425>
- [8] 8 April 2019. <https://datum-electronics.co.uk/product/rotary-torque-sensor-m425>
- [9]5May2019.<https://measurementsensors.honeywell.com/techresources/-appnotes/Pages/Ways to Measure the Force Acting on a Rotating Shaft.aspx> *Tunis*, Vol.11, No.15, 8728- 8732
- [10] أ.د. علي احمد محمود، مقرر عناصر التحكم والقياس. جامعة طرطوس

[11] 20 April 2019. <https://www.zettlex.com/articles/torque-measurement-angle-sensors>

[12] <https://www.tercosweden.com>

[13] <http://www.raspberypi.org>

[14] Ghaith, Ghanem. "Didactic Experiment Platform for Acquiring Vector Control Data Using Labview (Modeling, Design, Implementation)". Tartous university, 2019.