



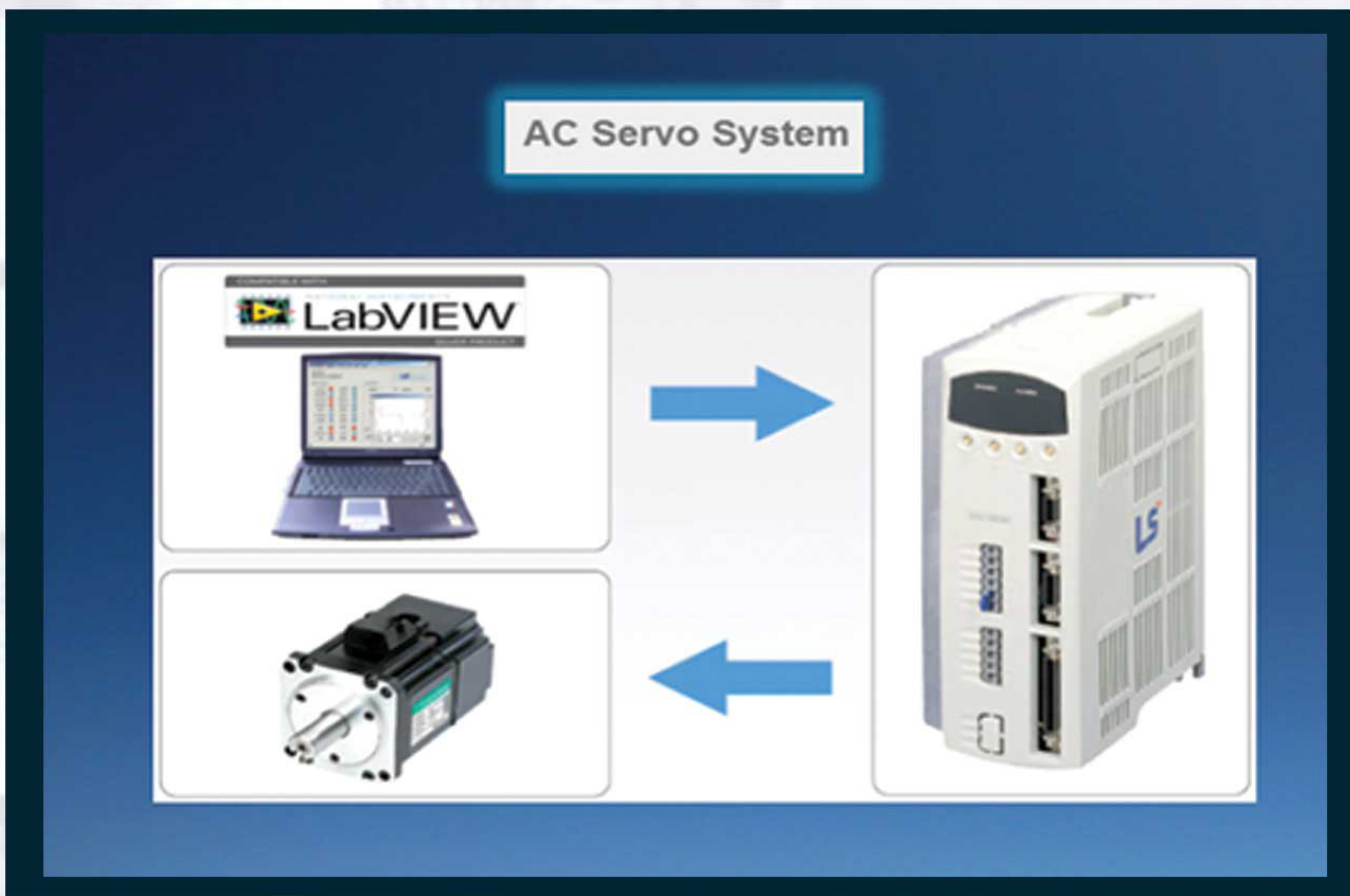
جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية
قسم القيادة الكهربائية

مشروع أعد لنيل درجة الإجازة في الهندسة الكهربائية

القيادة الرقمية للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة

Digital Drive of Permanent Magnet Synchronous Machine



بإشراف الدكتور المهندس

أحمد عمار نعساني

مشاركة

المهندس محمد ناصيف

إعداد وتنفيذ

أحمد ضباع محمد زهير البدره



جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية

قسم القيادة الكهربائية

مشروع أعد لنيل درجة الإجازة في الهندسة الكهربائية

القيادة الرقمية للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة



بإشراف الدكتور المهندس

أحمد عمار زعماني

مشاركة

المهندس محمد ناصيف

إعداد وتنفيذ

محمد زهير البدره

أحمد ضباع

العام الدراسي 2013-2014

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

(سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم)

صَلَّى
عَلَيْهِمُ
الْعَظِيمِ

الإهداء

بسم الله أبتدي....
وبنور وجهه أهتدي...
غرفت غرفة من بحر علمه الكبير....
فعرفت من هو ومن أنا...
إهداء خاص
إلى المعلم الأول.....
إلى من أنقذ البشرية من مهاوي الضلال إلى معارج الرفعة
والكمال.....
إلى حبيب الله وحبينا سيدنا

محمد رسول الله صلى الله عليه وسلم

إلى من علماني أنه بالإرادة يصنع الإنسان ما يشاء.....
إلى رموز التضحية والحب والفداء.....

أمي..... أبي

إلى نعم الأصدقاء وأوفى الأوفياء.....

إخوتي

إلى جميع الأصدقاء الذين أحببتهم وأحبوني.....

أصدقائي

أحمد

الإهداء

شكرا رباه لأنك بجانبني في كل مرحلة من مراحل حياتي حتى بلغت
المنى.....

...ربي زدني علما...

أنت رحمة الله المهداة لي في الحياة.. أنت الفرح الذي يكمل نجاحي.. يا
شمعة حياتي ويا نبع الحنان.. يا نهر الحب الذي لا ينضب..

أمي

كنت لي خير معين وسند.. غرست في قلبي حب العلم منذ الصغر
ودفعتني إلى طلبه.. يا من علمني الإصرار والتحدي.. يا من يرتعش
قلبي لذكراه..

إلى الروح الطاهرة.....

أبي (رحمه الله)

إلى نجوم تضيئ في سمائي.. إلى من قضيت معهم أجمل أيامي.. إلى من
هم بقلبي ودمي.. إلى قناديل أهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد.. إلى
الذين لم يفارقوا مخيلتي رغم المسافات...

إخوتي

إلى من برؤياهم يهدأ بالي.. وبلقياهم تتجلي همومي.. إلى من شاركوني
فرحي وحزني.. إلى من سأفقدتهم.. وأتمنى أن يجمعني الله بهم من
جديد.. إلى أخوة لم تلدهم أمي...

أصدقائي

كلمة شكر

نتوجه ببطاقة شكر و تقدير للكادر التدريسي في كلية الهندسة الكهربائية و الإلكترونية و لكل من ساهم في وصولنا إلى هذه المرحلة و نتوجه بشكر خاص إلى الذين كانوا عوناً لنا في إنجاز هذا المشروع و لم يبخلوا علينا بمعلوماتهم و خبرتهم و نخص بالذكر

الدكتور المهندس

أحمد عمار نعلاني

المهندس

حانز مكيالي

المهندس

أحمد شريفة

المهندس

محمد ناصيف

أحمد و محمد نزهير

الفهرس

الفصل الأول : المحركات المتوافقة ذات المغناط الدائمة

- 1-1-1 مقدمة 2
- 2-1-1 بنية الآلات المتوافقة 2
- 3-1-1 المحركات المتوافقة 3
- 4-1-1 طرق إقلاع المحركات المتوافقة 4
- 5-1-1 المحركات المتوافقة ذات المغناط الدائمة 5
- 6-1-1 تصنيف المحركات المتوافقة ذات المغناط الدائمة 6
- 7-1-1 الخاتمة 8

الفصل الثاني : التمثيل الرياضي للمحركات المتوافقة ذات المغناط الدائمة

- 1-2-1 مقدمة 10
- 2-2-1 فرضيات هامة 10
- 3-2-1 تمثيل المحرك في نظام المحاور الثنائية q,d 10
- 4-2-1 استنتاج معادلات الجهد الثنائية للمحرك من أجل محاور ثنائية مرتبطة بالدوار 11
- 5-2-1 معادلات الجهود للمحرك 12
- 6-2-1 معادلات العزم الكهرومغناطيسي في جملة المحاور الدوارة d,q 14
- 7-2-1 معادلة السرعة الميكانيكية 15
- 8-2-1 الخاتمة 16

الفصل الثالث : أنظمة قيادة المحركات المتوافقة ذات المغناط الدائمة

- 1-3-1 مقدمة 18
- 2-3-1 المنظمات الالكترونية المستخدمة في أنظمة القيادة 18
- 3-3-1 نظرية التحكم V/f 20
- 4-3-1 المحاكاة والنتائج التمثيلية لخوارزمية V/f 22
- 5-3-1 التحكم الشعاعي Vector Control 27
- 6-3-1 نظام القيادة FOC (Field Oriented Control) 27
- 7-3-1 تنظيم التيار I_q باستخدام منظم PI 32
- 8-3-1 تنظيم التيار I_d باستخدام منظم PI 33
- 9-3-1 تنظيم التيار والسرعة معاً 34
- 10-3-1 تنظيم الموضع 41
- 11-3-1 الخاتمة 42

الفصل الرابع : التمثيل الرياضي لقالبه الجهد المسؤولة عن تغذية المحرك

- 44-1-4 مقدمة 44
- 44-2-4 المبدلة الستاتيكية 44
- 45-3-4 قالبه الجهد 45
- 49-5-4 التحكم بقالبه الجهد 49
- 52-5-5 الخاتمة 52

الفصل الخامس : التمثيل الرقمي للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة وأنظمة قيادته

- 54-1-5 مقدمة 54
- 54-2-5 معادلتى أويلر 54
- 54-3-5 التمثيل الرقمي لمعادلة نظام من المرتبة الأولى 54
- 55-4-5 التمثيل الرقمي لمعادلات المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة 55
- 56-5-5 التمثيل الرقمي للمنظمات PID 56
- 59-6-5 الخاتمة 59

الفصل السادس : التطبيق العملي

- 61-1-6 أنظمة قيادة المحركات المتواقتة ذي المغناط الدائمة 61
- 62-2-6 جهاز الانفيرتر المستخدم في المشروع 62
- 63-3-6 أهم الميزات التي يتمتع بها هذا الانفيرتر 63
- 65-4-6 آلية تحويل الانفيرتر إلى منصة عمل 65
- 69-5-6 طريقة البرمجة 69
- 70-6-6 خوارزميات عمل الانفيرتر 70
- 74-7-6 التجارب العملية 74
- 76-8-6 مبدأ عمل Encoder وكيفية حساب السرعة 76
- 79-9-6 توليد نبضات التحكم بالموضع 79
- 88-10-6 ربط الدرايف مع الحاسب 88
- 101-11-6 الخاتمة 101
- 102- خلاصة البحث 102
- 103- آفاق التطوير 103
- 104- المراجع 104

المقدمة

في خضم السباق التكنولوجي لابتكار أنظمة متكاملة العمل والأداء، تم اللجوء لابتكار محركات ذات طبيعة خاصة تلائم تطبيقات محددة لتشكل عنصراً في جملة متكاملة تقود لأداء عالٍ وموثوقية شديدة، من هنا بزغت فكرة المحركات الخاصة وهي في طريقها الواسع للتطور والتحسين المستمر.

حيث أن ارتفاع إنتاجية المعامل والمنشآت الصناعية يتعلق مباشرة بالتجهيزات الكهربائية والتقنيات الإلكترونية المستخدمة في قيادتها وتشغيلها.

في بحثنا هذا سنقوم بدراسة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة باعتباره من المحركات الشائعة الاستخدام في التطبيقات الصناعية وذلك لما يتميز به من مميزات عديدة، حيث إن دوار المحرك له عزم عطالة صغير وحرارة الدوار قليلة وبالتالي مردود عالي وملائم للوظائف التي تتطلب تحكم بالوضعية وتبقى السيئة الوحيدة لديه في السعر المرتفع بسبب غلاء المادة التي تصنع منها المغناط الدائمة وارتفاع قيمة تيار الإقلاع والذي تظهر أهميته عند عمل هذه المحركات مع القالبات ذات أنصاف النواقل.

ومع التطور العلمي الكبير في مجال الإلكترونيات الصناعية واستخدام الحاسب في مجال التحكم والقيادة أصبح بالإمكان قيادة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة بسهولة وذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي للمحرك وتمثيله على الحاسب وبالتالي دراسة أنظمة عمل المحرك وتحليل المعادلات الممثلة له ودراسة أنظمة القيادة المختلفة التي يمكن تطبيقها عليه.

ويعد دراسة أنظمة قيادة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة لا بد من التعرف على أهم عنصر مستخدم في عملية القيادة وهو ما يسمى Servo-Drive والذي يمثل نظام القيادة المستخدم لقيادة المحرك بالإضافة لوجود قابلية الجهد من أجل عملية تحويل إشارة الجهد القادمة من نظام القيادة (جهود منخفضة) إلى إشارة جهد على خرج القالبية والتي تطبق على المحرك مباشرة وبالتالي إمكانية التحكم بمطال وتردد إشارة الخرج بما يناسب العملية الصناعية المطلوبة.

في هذا المشروع سنقوم بدراسة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة وأنظمة القيادة المستخدمة، كما يلي :

الفصل الأول :

سننقل عن بنية الآلات المتواقتة بشكل عام ثم ننقل إلى المحركات المتواقتة وطرق الإقلاع ومن ثم سنتحدث عن المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة وتصنيفاتها.

الفصل الثاني :

سنقوم باستنتاج النموذج الرياضي للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة في نظام محاور إحداثيات ثنائية متعامدة ودوارة بسرعة الدوار وتمثيل هذا النموذج الرياضي باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

الفصل الثالث :

سنقوم بدراسة نظامين من أنظمة قيادة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة الحديثة، نظام $V/F=constant$ ، ونظام التحكم بشعاع الفيض الموجه FOC المستخدم في الإنفيرترات الموجودة بالأسواق، وتمثيلها أيضاً باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

الفصل الرابع :

سنقوم بدراسة قالبة الجهد المسؤولة عن تغذية المحرك، وتمثيلها باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

الفصل الخامس :

سنقوم بعملية التحويل الرقمي للمعادلات الرياضية الممثلة للمحرك ولأنظمة قيادة المحرك (PID)، وتمثيلها باستخدام بيئة Matlab/Simulink.

الفصل السادس :

سنقوم بالتعريف بأحد أنواع الإنفيرترات المستخدمة لقيادة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة وهو من إنتاج شركة (LS)، حيث قمنا بدراسة الكتالوك المرفق معه ومن ثم تجهيز منصة مخبرية التي يمكن أن يستفاد منها في إعداد بعض التجارب العملية لطلاب كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، ثم أخذنا بعض النتائج العملية على راسم إشارة، وقمنا بعملية ربط بين الإنفيرتر ودارة تحكم خارجية يستفاد منها في خوارزمية التحكم بالموضع وقمنا أيضاً بعملية ربط مع الحاسب عن طريق البرنامج المرفق مع الإنفيرتر وأيضاً عن طريق بيئة .LABVIEW.

الفصل الأول

المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة



1-1- مقدمة

إن أكثر من 98% من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم يتم توليدها باستخدام الآلات المتواقتة فهي الأكثر استخداماً لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية. وكما تستخدم الآلات المتواقتة كمولدات متواقتة تستخدم أيضاً كمحركات متواقتة، وقد اكتسب هذا النوع من الآلات هذه التسمية (التواقت) بسبب التوافق بين سرعة دوران المجال المغناطيسي والعضو الدوار.

1-2- بنية الآلات المتواقتة

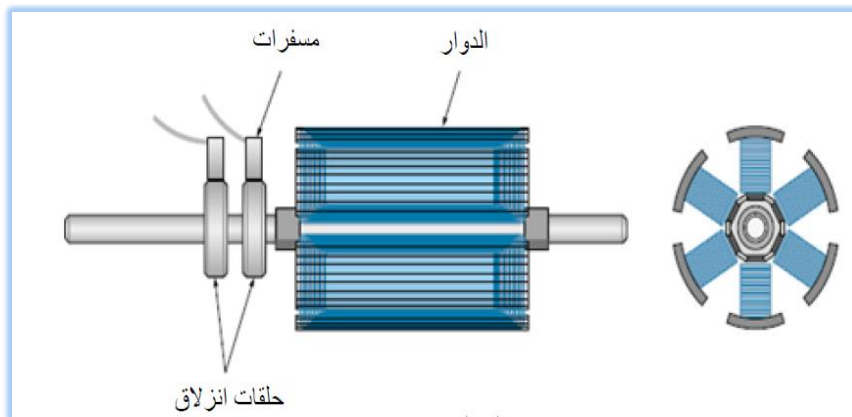
تتألف الآلات المتواقتة بشكل عام من جزأين أساسيين هما :

الجزء الثابت

يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية ويدعى المتحرض، يخرج في النهاية ستة أطراف يمكن توصيلها بشكل نجمي أو مثلثي بحيث يكون مشابه تماماً للجزء الثابت في المحرك التحريضي من حيث التركيب واللف.

الجزء الدوار

يحمل ملفات المجال المغناطيسي ويغذى بتيار مستمر عن طريق حلقتي انزلاق لينشط المغناط الموجودة على محيطه وهذه المغناط تقوم بالتفاعل مع الساحة المغناطيسية الدوارة للثابت مما يجعل الدوار يدور بنفس سرعة دوران الساحة المغناطيسية أي بسرعة التواقت.

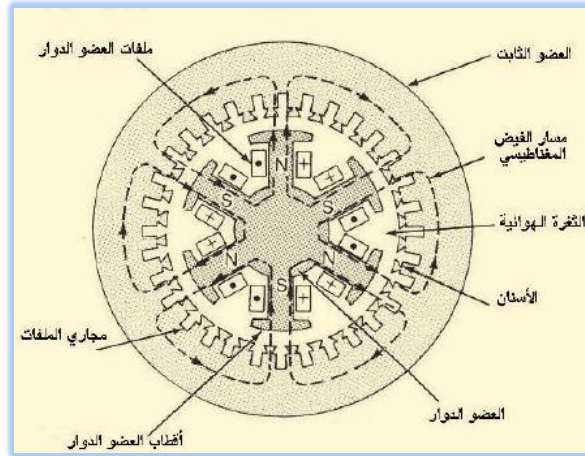


الشكل (1-1): شكل الدوار في الآلة المتواقتة

بشكل عام هناك نوعان من الجزء الدوار حسب البنية وذلك يعتمد على التطبيق المستخدم وهما :

1- دوار ذو أقطاب بارزة

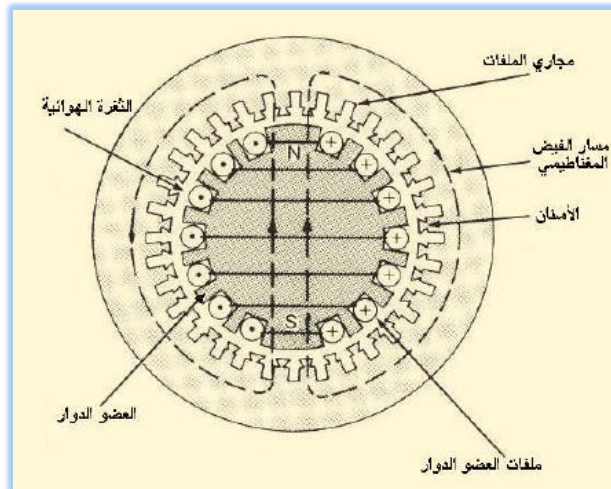
يستخدم في الآلات المتواقتة ذات السرعات المنخفضة (عادة تقل عن 1000 دورة بالدقيقة).



الشكل (1-2): آلة متواقتة بدوار ذي أقطاب بارزة

2- دوار اسطواني

يستخدم في الآلات المتواقتة ذات السرعات العالية حيث تكون السرعة إما 1500 أو 1800 أو 3000 أو 3600 دورة بالدقيقة وهذا يعتمد على التردد المطلوب وعدد الأقطاب، والجدير بالذكر أنه يجب أن يكون عدد أقطاب الجزء الدوار مساوياً لعدد الأقطاب في الجزء الثابت.



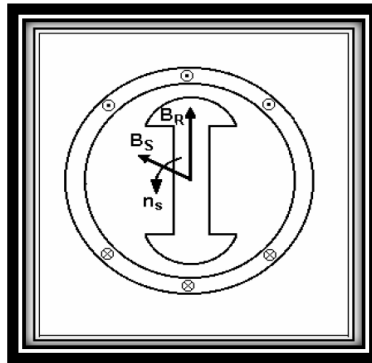
الشكل (1-3): آلة متواقتة ذات دوار أسطواني

1-3- المحركات المتواقتة

يشبه المحرك المتواقت في عمله المحرك التحريضي ولكن بينهما اختلاف أساسي وهو أن الدوار في المحرك المتواقت يدور بسرعة دوران الحقل المغناطيسي نفسه المتولد عن الثابت. في المحركات التحريضية الدوار يتلقى الاستطاعة من الثابت نتيجة لمبدأ التحريض وذلك يتطلب وجود إنزلاق بين سرعته وسرعة الحقل الدوار، أما في المحرك المتواقت يجب توفير تلك الاستطاعة من مصدر آخر وعادة يتم تغذية الدوار من منبع تيار مستمر عبر حلقات إنزلاق ومسافات.

1-4- مبدأ العمل

إنّ مبدأ عمل المحركات المتواقتة بشكل عام هو : عندما تغذى ملفات الدوار بالتيار المستمر سيتولد مجالاً مغناطيسياً ثابتاً في الجزء الدوار ، أما الجزء الثابت فعندما يوصل إلى مصدر جهد متناوب ثلاثي الطور سيمر فيه تيارات ثلاثية الطور التي بدورها ستولد مجالاً مغناطيسياً دواراً منتظماً وبالتالي سيتواجد داخل الآلة مجالين مغناطيسيين ، مجال الجزء الدوار سيحاول أن يكون متعامداً مع مجال الجزء الثابت تماماً كما يحدث عندما يوضع قطعتان من المغناطيس قرب بعضهما البعض ، وحيث أن مجال الجزء الثابت يدور فإن مجال الجزء الدوار سيحاول اللحاق به (ومعه الجزء الدوار نفسه) ولكن لن يتمكن من ذلك بسبب اتساع الزاوية بينهما وهكذا يعيد الكره في كل دوره من دون أن يتمكن من الإقلاع وبالتالي لا بد من إيجاد وسيلة لجعل حقل الجزء الدوار يحافظ على الزاوية بينه وبين مجال الجزء الثابت. لكي يتحقق ذلك يجب أن يدار الجزء الدوار بالسرعة التوافقية أو قريب منها قبل توصيل التيار المستمر في ملفاته وعند التوصيل ستكون الزاوية بين المجالين صغيرة وسيستمر مجال الجزء الدوار ومعه الجزء الدوار نفسه باللحاق بمجال الجزء الثابت وسيطور بسرعه نفسها (السرعة التوافقية) التي لا تتغير مهما تغير حمل المحرك ما دام أنه ضمن الحمولة الاسمية له وفي حالة زيادة الحمل عن العزم الأعظمي فإن الجزء الدوار سيفقد التوافق ويبدأ بالتباطؤ التدريجي حتى التوقف.



الشكل (1-4): المجالات المغناطيسية في المحرك المتواقت

1-5- طرق إقلاع المحرك المتواقت

- 1) توفير إمكانية التحكم بالتردد حيث يكون عند الإقلاع ذو قيمة صغيرة ثم تزداد قيمته تدريجياً، وبذلك يستطيع الدوار أن يتحرك مع الساحة المغناطيسية التي ستكون سرعتها في البداية قليلة ثم تزداد تدريجياً. هذه الطريقة تتطلب دارات إضافية للتحكم بالتردد، ولكنها توفر لنا إمكانية التحكم بسرعة المحرك.
- 2) استخدام محرك آخر على محور المحرك المتواقت نفسه لإعطائه سرعة التوافق عند الإقلاع، ولكن لهذه الطريقة سيئة واضحة تتمثل في الحاجة إلى عتاد إضافي.
- 3) إدخال بعض قضبان القفص السنجابي إلى دوار المحرك المتواقت الأمر الذي يمكن المحرك المتواقت من الإقلاع كمحرك تحريضي.

1-6- المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة

المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة هي محركات تستخدم مغناط دائمة لإنتاج الحقل المغناطيسي في الثغرة الهوائية عوضاً عن المغناطيس الكهربائي، هذه المحركات تملك مميزات هامة جذبت اهتمام الباحثين والصناعيين لاستخدامها في تطبيقات عديدة.

1-7- المواد ذات المغنطة الدائمة

تؤثر خصائص المواد ذات المغنطة الدائمة بشكلٍ مباشر على أداء المحرك فالمعرفة الجيدة مطلوبة لاختيار هذه المواد ولفهم محركات المغناط الدائمة، حيث تصنع المواد التي تولد الحقل المغناطيسي من مزيج من المعادن النادرة التي تستخرج من الأرض تدعى بالمواد الفيرو مغناطيسية والتي تمتلك كثافة طاقة مغناطيسية عالية تولد معدلات معتبرة من القدرة والعزم. ومن أهم أنواع هذه المغناط الدائمة:

1 . مغناطيس النيكو

يؤمن هذا المغناطيس كثافة فيض مرتفعة ولكن قوة قسرية صغيرة أي أنه يفقد المغناطيسية بسهولة.

2 . مغناطيس الفيرايت

يؤمن هذا المغناطيس كثافة فيض منخفضة ولكن قوة قسرية كبيرة أي أنه يفقد المغناطيسية بصعوبة.

3 . مغناطيس الأتربة النادرة

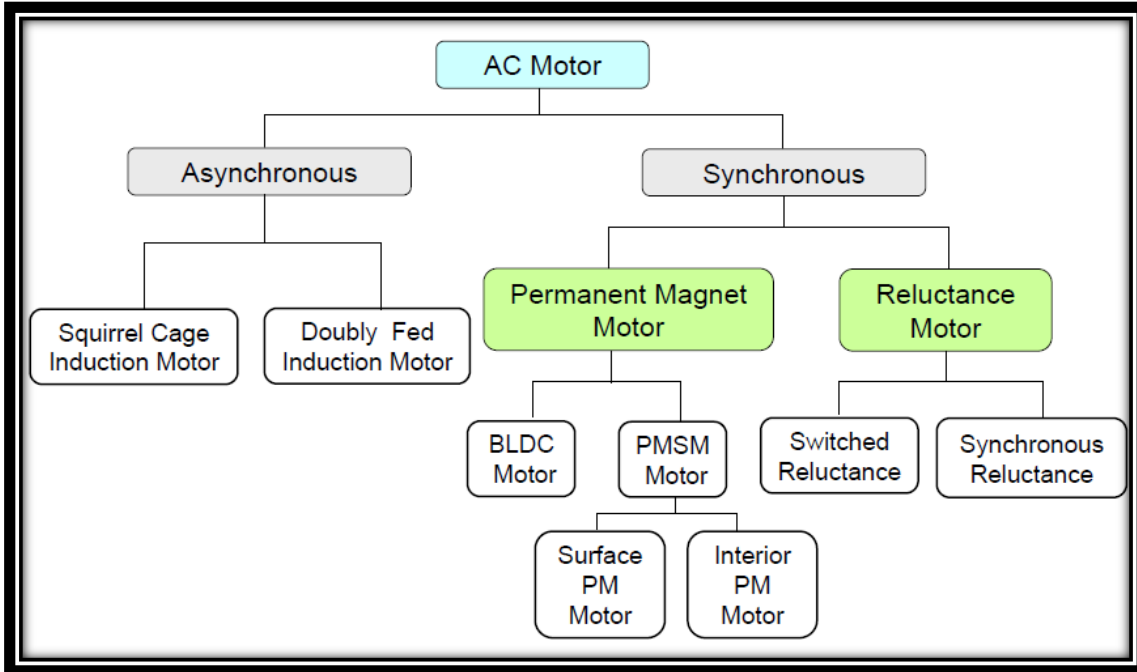
يؤمن هذا المغناطيس كثافة فيض مرتفعة وقوة قسرية كبيرة، وهذا النوع غالي الثمن بالمقارنة مع الأنواع السابقة ويتمتع بمميزات بالمقارنة مع الأنواع السابقة.

إن استخدام المغناط الدائمة في بناء المحركات الكهربائية أدى إلى الحصول على المميزات التالية :

1. ليس هناك ضياعات في ملف التهييج حيث قمنا باستبداله بمغناط دائمة وبالتالي زيادة في المردود.
2. التخلص من منبع التغذية المستمر الخارجي.
3. الحصول على عزم أكبر مما هو عليه في المحركات العادية.
4. أداء ديناميكي أفضل (للعزم والسرعة).
5. سهولة في البناء والصيانة.
6. ضجيج أقل.

8-1- تصنيف المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة

الشكل (1-5) يوضح التصنيف العام للمحركات ذات التيار التناوب :



الشكل (1-5): التصنيف العام للمحركات ذات التيار التناوب

1) تصنيف المحركات وفقاً لتوزيع كثافة الفيض المغناطيسي

تصنف المحركات المتواقتة بشكل رئيسي وفقاً لتوزيع كثافة الفيض المغناطيسي وشكل تيار التهيج لنوعين :

1- المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة PMSM

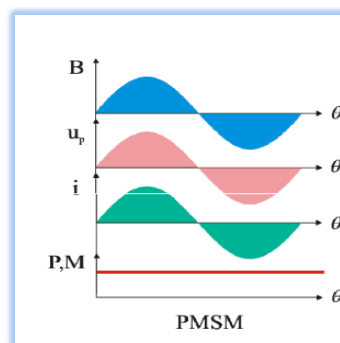
المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة تملك توزيع جيبي للقوة المحركة الكهربائية العكسية.

ومصممة لتحسين الأمواج الجيبية للقوة المحركة الكهربائية العكسية ولها المميزات التالية :

1- توزيع جيبي للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية.

2- شكل أمواج التيار جيبية.

3- توزيع جيبي لنواقل الثابت.



الشكل (1-6): شكل موجة الفيض والجهد والتيار للمحرك المتواقت PMSM

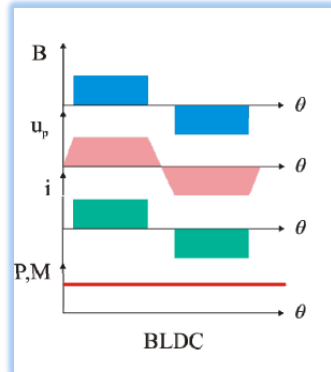
2- محركات التيار المستمر ذات المغناط الدائمة وبدون مسفرت BLDCM

المحركات ذات المغناط الدائمة وبدون مسفرت تملك توزيع غير جيبي للقوة المحركة الكهربائية العكسية، ومصممة لتحسين الأمواج غير الجيبية للقوة المحركة الكهربائية العكسية ولها المميزات التالية:

1- توزيع غير جيبي للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية.

2- شكل أمواج التيار غير جيبيية.

3- الملفات على الثابت قريبة من بعضها البعض.



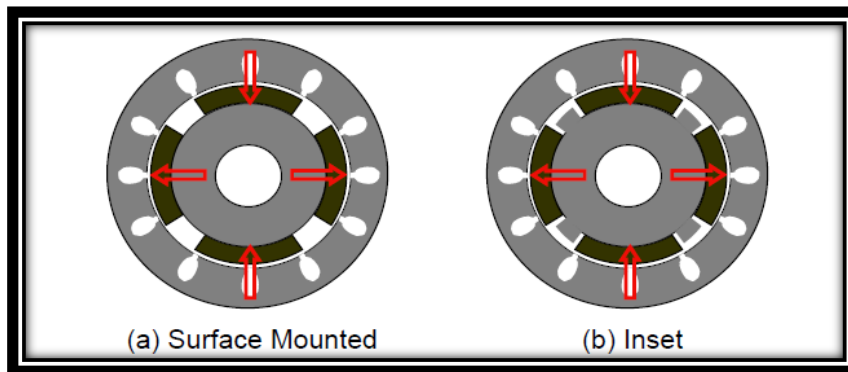
الشكل (7-1): شكل موجة الفيض والجهد والتيار للمحرك المتواقت BLDCM

2) تصنيف المحركات حسب توزيع المغناطيس على الدوار

في المحركات ذات المغناط الدائمة يمكن أن يتوضع المغناطيس بأشكال مختلفة على الدوار، حيث يتوضع على السطح الخارجي للدوار ونحصل على محركات متواقتة ذات مغناط دائمة سطحية أو يتوضع على السطح الداخلي للدوار ونحصل على محركات متواقتة ذات مغناط دائمة داخلية وبذلك نحصل على نوعين هما :

1- المحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة السطحية

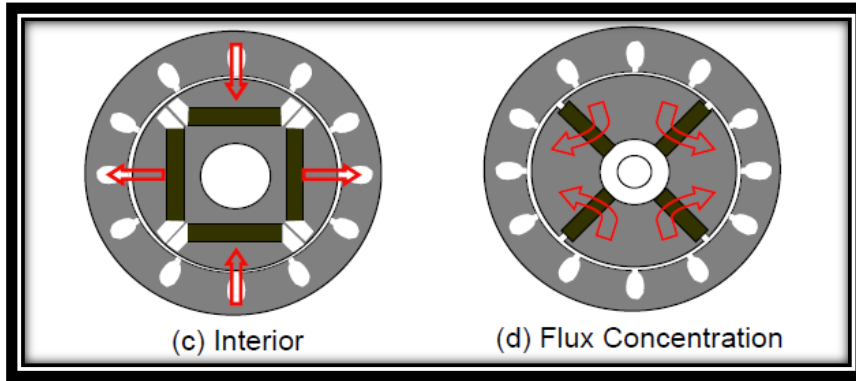
يتوضع المغناطيس على السطح الخارجي للدوار، ويستخدم هذا المحرك في التطبيقات ذات السرعة المنخفضة، والنواة الحديدية هنا تكون مصمته أو تحوي ثقوب لسهولة التصنيع، المغناط الدائمة تركيب على سطح النواة باستخدام مواد لاصقة.



الشكل (8-1): محركات متواقتة ذات مغناط دائمة سطحية

2- المحركات المتواقتة ذات المغناطيس الدائمة الداخلية :

هنا المغناطيس الدائمة تتوضع داخل الدوار وهذه المحركات غير شائعة على عكس المحركات المتواقتة ذات المغناطيس الدائمة السطحية وتستخدم من أجل التطبيقات التي تتطلب سرعة دوران عالية.



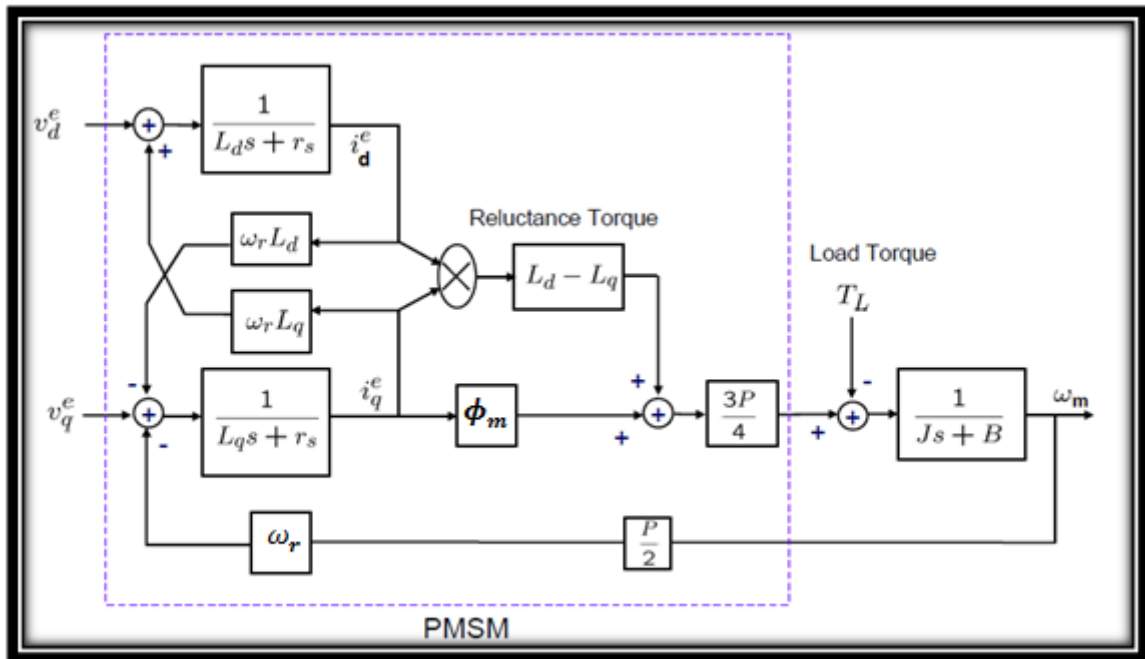
الشكل (9-1): محركات متواقتة ذات مغناطيس دائمة داخلية

9-1- الخاتمة

الفصل السابق كان عبارة عن دراسة نظرية للمحركات المتواقتة قمنا خلالها بالتحدث عن الآلات المتواقتة وبنيتها، وتعرفنا على طرق إقلاع المحركات المتواقتة ثم تحدثنا عن المغناطيس المستخدمة في صناعة الدوار للآلات الكهربائية وعن تصنيفات هذه الآلات ذات المغناطيس الدائمة.

الفصل الثاني

التمثيل الرياضي للمحركات المتواقتة ذات المغناط الدائمة



2-1-1- مقدمة

من أجل دراسة المحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة وتحليل ومعرفة سير عمليات تحويل الطاقة فيه، ومن أجل تمثيله على الحاسب وبالتالي التمكن من دراسة أنظمة قيادته وذلك لمحاولة تجاوز الصعوبات الموجودة في قيادته، كان لا بد من الحصول على النموذج الرياضي العام له، حيث يمكننا هذا النموذج من معرفة المعادلات التي تصف عمل المحرك في الحالة المستقرة والحالة العابرة، وحل هذه المعادلات عن طريق الحاسب، وبالتالي الحصول على نموذج للمحرك نستطيع من خلاله دراسة أنظمة عمل المحرك ودراسة أنظمة القيادة المختلفة له لتنظيم السرعة أو العزم أو الموضع.

2-2- فرضيات هامة

عند دراستنا لاستنتاج النموذج الرياضي العام للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة نأخذ بعين الاعتبار بعض الفرضيات بحيث يصبح من خلالها النموذج الرياضي مماثلاً تقريباً للمحرك الحقيقي وهي :

- 1- جهد التغذية جيبي ومتوازن (محصلة التيارات تساوي الصفر).
- 2- قيمة مقاومة وتحريضية الملفات على الثابت ثابتة ونفسها من أجل جميع الملفات.
- 3- التحريض المغناطيسي ثابت على طول الثغرة الهوائية.
- 4- تيار التمغنط خطي والضياعات الحديدية مهملة.
- 5- عدم وجود ملفات تهدئة، لأنه في السنوات الأخيرة لم تعد هذه الآلات تحوي على هذا النوع من الملفات.

2-3- تمثيل المحرك في نظام المحاور الثلاثية q,d

إن عملية النمذجة تبدأ من دراسة المقادير الكهربائية لكل من الدوار والثابت أي دراسة الجهد والتيار والفيضان للحصول على معادلة معبرة عن المحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة، حيث نلجأ قبل القيام بالدراسة إلى إسقاط جملة المحاور الثلاثية لهذه المقادير على محاور إحداثيات ثنائية وذلك لأن عملية دراسة المقادير الكهربائية الثلاثية الطور بشكل شعاعي يجب أن تأخذ بعين الاعتبار التمثيل الكهربائي والفراغي للملفات، أي أننا نغذي الثابت بجهود ثلاثية الطور مزاحة عن بعضها بمقدار 120 درجة. كما أن ملفات الثابت تكون متوضعة توضعاً فراغياً بحيث تكون الزاوية بين كل ملفين متجاورين هي 120 درجة، وبالتالي فإن عملية التمثيل الحالية على محاور ثلاثية غير ممكنة إذ لا يمكن كتابة معادلات تمثل المحرك بشكل صحيح (أي لا يمكن الحصول على معادلات تمثل الإزاحة بين الملفات كهربائياً وفراغياً بالوقت نفسه). لذلك نلجأ إلى إسقاط المحاور الثلاثية على محاور إحداثيات ثنائية متعامدة ودوارة بسرعة عشوائية ω_k .

2-4- استنتاج معادلات الجهد الثنائية للمحرك من أجل محاور إحداثيات ثنائية مرتبطة بالدوار

عند تغذية المحرك بجهد ثلاثي الطور متوازن ذي تردد ثابت يمكن اعتبار أن هذا الجهد الثلاثي عبارة عن شعاع دائري دوار في الفضاء يدور بسرعة تساوي تردد الشبكة وتطبيق هذا الشعاع على ثابت المحرك المدروس وباعتبار أن R_s تمثل مقاومة ملفات الثابت للمحرك و L_s تمثل تحريضية ملفات الثابت، عندها يمكن كتابة العلاقة التي تمثل الشعاع من أجل محاور إحداثيات ثنائية دوارة بسرعة عشوائية وفق التالي :

$$V_s e^{j\theta\kappa} = R_s i_s e^{j\theta\kappa} + \frac{d(\phi_s \cdot e^{j\theta\kappa})}{dt} \quad (2.1)$$

عند دراسة الشعاع من أجل جملة محاور إحداثيات ثنائية مرتبطة بالثابت $\omega_k = 0$ عندها تصبح العلاقة على الشكل التالي:

$$V_s = R_s i_s + \frac{d(\phi_s)}{dt} \quad (2.2)$$

وعند دراسة الشعاع من أجل جملة محاور إحداثيات ثنائية مرتبطة بالدوار $\omega_k = \omega$ عندها تصبح العلاقة على الشكل التالي:

$$V_s e^{j\theta} = R_s i_s e^{j\theta} + \frac{d(\phi_s e^{j\theta})}{dt}$$

$$V_s e^{j\theta} = R_s i_s e^{j\theta} + \frac{d(\phi_s)}{dt} e^{j\theta} + J \omega \phi_s e^{j\theta} \quad (2.3)$$

حيث إن :

$$\phi_s = L_s i_s + \phi_m \quad (2.4)$$

ϕ_m : الفيض الناتج عن المغناط الموجودة في الدوار والمترايط مع ملفات الثابت.

بتعويض قيمة فيض الثابت المعطى بالعلاقة (2.4) في العلاقة (2.3) نحصل على العلاقة التالية :

$$V_s e^{j\theta} = R_s i_s e^{j\theta} + \frac{d(L_s i_s + \phi_m)}{dt} e^{j\theta} + J \omega (L_s i_s + \phi_m) e^{j\theta}$$

$$V_s e^{j\theta} = R_s i_s e^{j\theta} + L_s \frac{d(i_s)}{dt} e^{j\theta} + J \omega L_s i_s e^{j\theta} + J \omega \phi_m e^{j\theta} \quad (2.5)$$

نقسم طرفي العلاقة (2.5) على قيمة $e^{j\theta}$ فنحصل على العلاقة التالية :

$$V_s = R_s i_s + L_s \frac{d(i_s)}{dt} + J \omega L_s i_s + J \omega \phi_m \quad (2.6)$$

بتعويض قيمة شعاعي التيار والجهد بمركباتها الثنائية تصبح العلاقة :

$$V_d + J V_q = R_s (i_d + J i_q) + L_s \frac{d(i_d + J i_q)}{dt} + J \omega L_s (i_d + J i_q) + J \omega \phi_m \quad (2.7)$$

بفصل الجزء التخيلي عن الحقيقي نحصل على معادلتنا الجهد للمحرك من أجل محاور إحداثيات ثنائية مرتبطة بالدوار :

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + \omega L_{sd} i_{sd} + \omega \phi_m$$

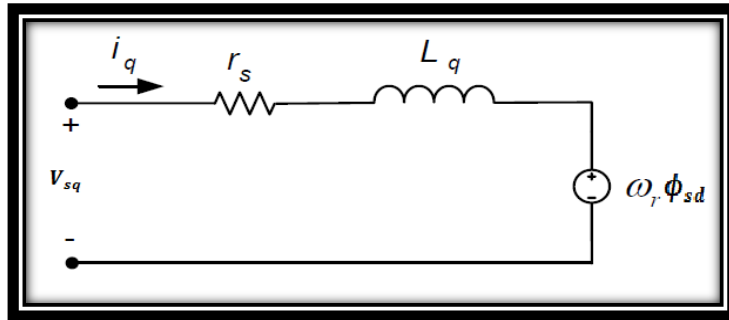
$$V_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + \omega \phi_{sd} \quad (2.8)$$

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega L_{sq} i_{sq}$$

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega \phi_{sq} \quad (2.9)$$

2-5- معادلات الجهود للمحرك

من العلاقة (2.8) نرسم الدارة المكافئة للطور q لمحرك متواقت ذي مغناطيس دائمة :



الشكل (2-1): الدارة المكافئة للطور q

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + \omega L_{sd} i_{sd} + \omega \phi_m$$

$$V_{sq} - (L_{sd} i_{sd} + \phi_m) \cdot \omega = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} \quad (2.10)$$

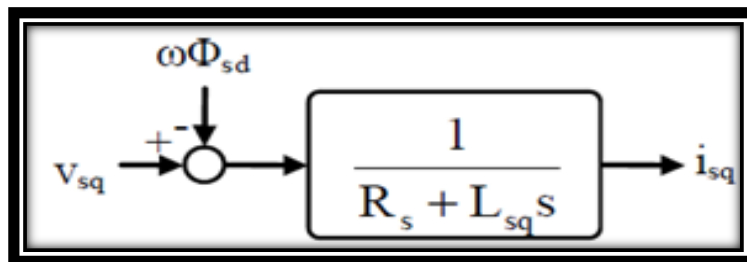
بإجراء تحويل لابلاس على العلاقة (2.10) نحصل على العلاقة التالية :

$$\frac{i_{sq}}{(V_{sq} - e_{sq})} = \frac{1}{L_{sq}s + R_s} \quad (2.11)$$

حيث إن e_{sq} تمثل القوة المحركة الكهربائية (الاضطراب الداخلي) على المحور q .

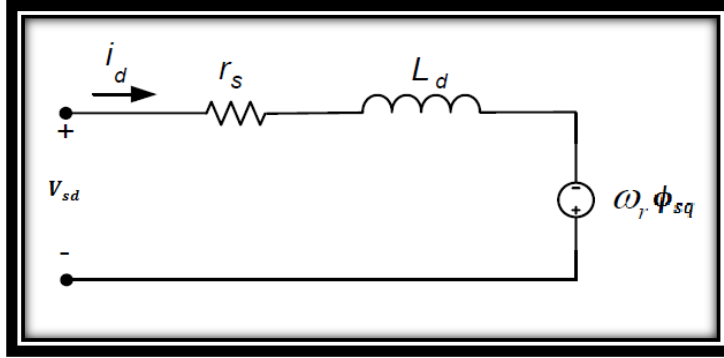
$$e_{sq} = \omega \cdot (L_{sd} i_{sd} + \phi_m) \quad (2.12)$$

بالتالي حصلنا على تابع نقل من المرتبة الأولى دخله الجهد V_{sq} مطروح منه الإضطراب الداخلي وخرجه هو التيار i_{sq} والشكل التالي يبين ذلك :



الشكل (2-2): المخطط الصندوقي المكافئ للطور q

من العلاقة (2.9) نرسم الدارة المكافئة للطور d لمحرك متواقت ذي مغناطيس دائمة :



الشكل (2-3): الدارة المكافئة للطور d

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega L_{sq} i_{sq}$$

$$V_{sd} + \omega L_{sq} i_{sq} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} \quad (2.13)$$

بإجراء تحويل لابلاس على العلاقة (2.13) نحصل على العلاقة التالية :

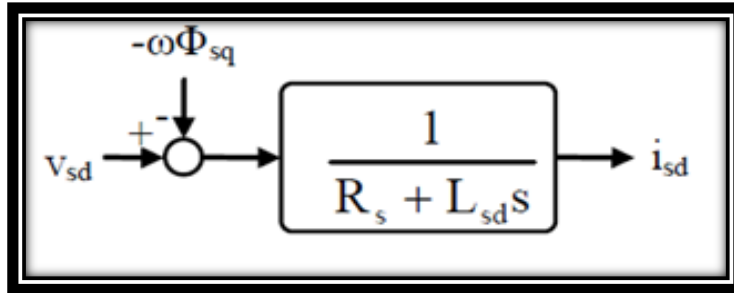
$$\frac{i_{sd}}{(V_{sd} + e_{sd})} = \frac{1}{L_{sd}s + R_s} \quad (2.14)$$

حيث إن e_{sd} تمثل القوة المحركة الكهربائية (الاضطراب الداخلي) على المحور d .

$$e_{sd} = \omega L_{sq} i_{sq} \quad (2.15)$$

بالتالي حصلنا على تابع نقل من المرتبة الأولى دخله الجهد V_{sd} مضاف إليه الإضطراب الداخلي والخرج هو

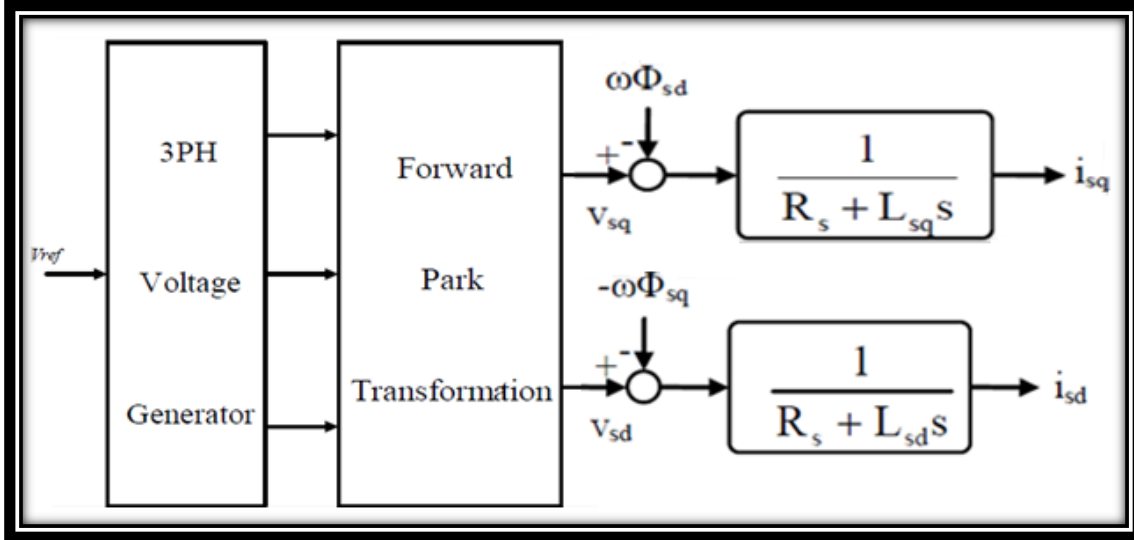
التيار i_{sd} والشكل التالي يبين ذلك :



الشكل (2-4): المخطط الصندوقي المكافئ للطور (d)

بالتالي نحصل على علاقة التيارات الثنائية i_{sd} و i_{sq} انطلاقاً من علاقة الجهود V_{sd} و V_{sq} التي حصلنا عليها من الجهود الثلاثية عبر تحويل بارك الأمامي والجهود الثلاثية التي حصلنا عليها من قيمة V_{ref} المرجعي

كما نلاحظ في الشكل (2-5) :



الشكل (2-5): المخطط الصندوقي للتيارات Id, Iq

2-6- معادلات العزم الكهرومغناطيسي في جملة محاور إحداثيات دارة d,q

انطلاقاً من الجهود الثلاثة فإن علاقة الاستطاعة تعطى وفق المعادلة التالية:

$$P_e = V_{sa} i_{sa} + V_{sb} i_{sb} + V_{sc} i_{sc} \quad (2.16)$$

أما في جملة محاور الإحداثيات الثنائية ستصبح العلاقة :

$$P_e = \frac{3}{2} (V_{sd} i_{sd} + V_{sq} i_{sq}) \quad (2.17)$$

إذا استبدلنا V_{sd} و V_{sq} في هذه العلاقة بعلاقتهم (2.8) و (2.9) نجد ما يلي :

$$P_e = \frac{3}{2} (R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2)) + \frac{3}{2} \frac{d}{dt} (i_{sd} \phi_{sd} + i_{sq} \phi_{sq}) + \frac{3}{2} \cdot \omega (i_{sq} \phi_{sd} - i_{sd} \phi_{sq}) \quad (2.18)$$

من العلاقة السابقة نلاحظ وجود ثلاثة حدود :

الحد الأول يمثل الاستطاعة الضائعة في الملفات والحد الثاني يمثل الطاقة المخزنة في الحقل المغناطيسي للدوار في الثغرة الهوائية والحد الثالث يمثل الاستطاعة المتحولة من الشكل الكهربائي إلى الشكل الميكانيكي والذي يمثل الطاقة الميكانيكية على المحرك ومن هذا الحد يتم استنتاج العزم الكهرومغناطيسي كما يلي :

$$P_{em} = \frac{3}{2} \omega (i_{sq} \phi_{sd} - i_{sd} \phi_{sq}) \quad (2.19)$$

وتعطى علاقة الطاقة الميكانيكية للدوار بالشكل :

$$P_{em} = \omega_m \cdot T_{em} \quad (2.20)$$

بمساواة العلاقتين (2.19) و (2.20) نحصل على :

$$\omega_m \cdot T_{em} = \frac{3}{2} \omega (i_{sq} \phi_{sd} - i_{sd} \phi_{sq}) \quad (2.21)$$

إن العلاقة التي تربط بين السرعة الميكانيكية والكهربائية للدوار تعطى بالعلاقة :

$$\omega_r = \frac{p}{2} \cdot \omega_m \quad (2.22)$$

P : عدد الأقطاب

بتعويض العلاقة (2.22) في العلاقة (2.21) نجد :

$$\omega_m \cdot T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \cdot \omega_m (i_{sq} \phi_{sd} - i_{sd} \phi_{sq})$$

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (i_{sq} \phi_{sd} - i_{sd} \phi_{sq})$$

بالتالي نحصل على علاقة العزم الكهرومغناطيسي للمحرك :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (\phi_m i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq})$$

إن العزم الكهرومغناطيسي المولد من المحرك يقسم إلى مركبتان :

1- مركبة التهييج : والتي تتلائم مع المغناطيس الدائم في الدوار وتمثل المركبة الأساسية للعزم بالنسبة للتفاعل بين الفيوض المتولدة من الثابت والدوار.

2- المركبة الرديية : والتي تكون سالبة عندما ($L_{sd} < L_{sq}$) وهذه المركبة بسبب أن المغناطيس مضمورة. بفرض أن ($L_{sd} = L_{sq}$) أي مغناطيس سطحية نجد :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \phi_m i_{sq} \quad (2.23)$$

7-2- معادلة السرعة الميكانيكية

تعطى علاقة السرعة الميكانيكية بالعلاقة التالية :

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_r = \frac{p}{2} (T_{em} - T_L)$$

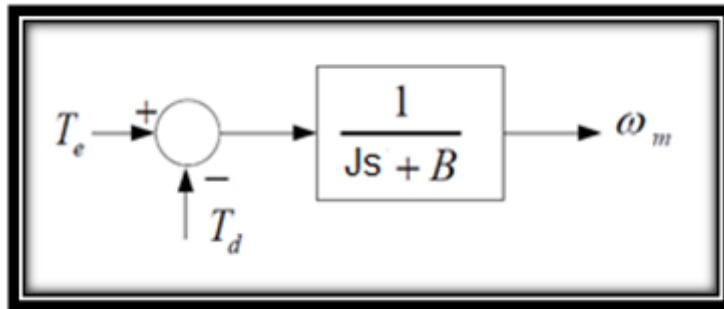
$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_m = (T_{em} - T_d - B \omega_m) \quad (2.24)$$

حيث إن : $T_L = T_d + B \omega_m$

بعد التعويض وإجراء تحويل لابلاس على هذه العلاقة :

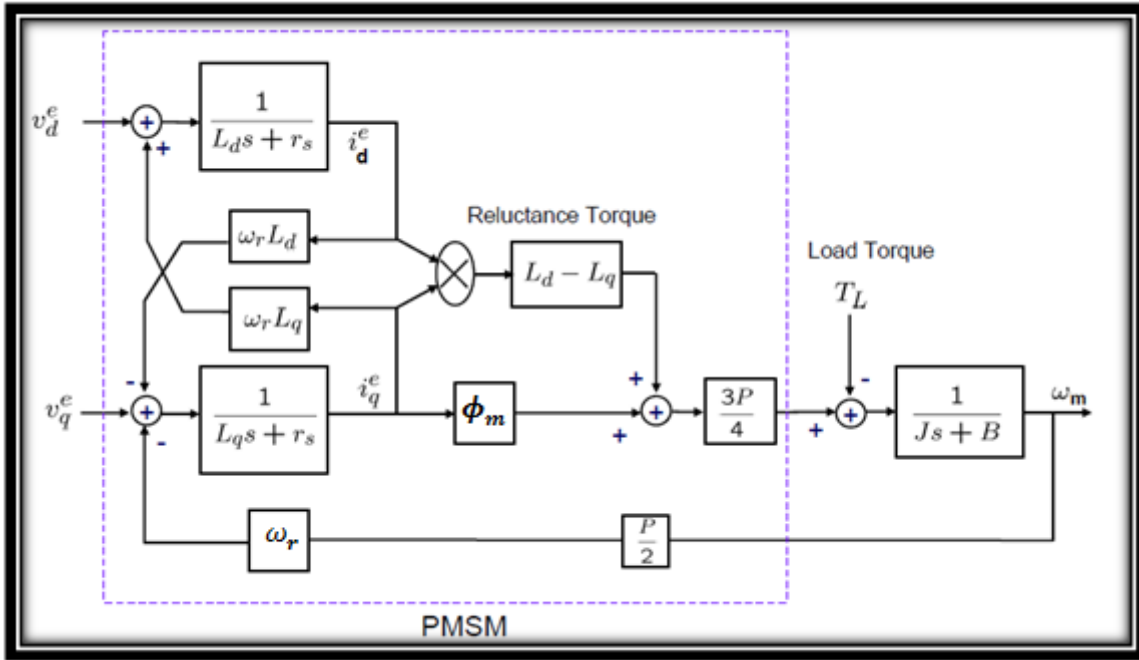
$$\frac{\omega_m}{T_{em} - T_L} = \frac{1}{Js + B} \quad (2.25)$$

بالتالي حصلنا على تابع نقل من المرتبة الأولى دخله العزم الكهرومغناطيسي T_{em} مطروح منه عزم الحمل T_L والخرج هو السرعة الميكانيكية.



الشكل (2-6): المخطط الصندوقي للجزء الميكانيكي

بالتالي حصلنا على النموذج الرياضي الكامل للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة والذي سوف نعبر عنه بالشكل (7-2):



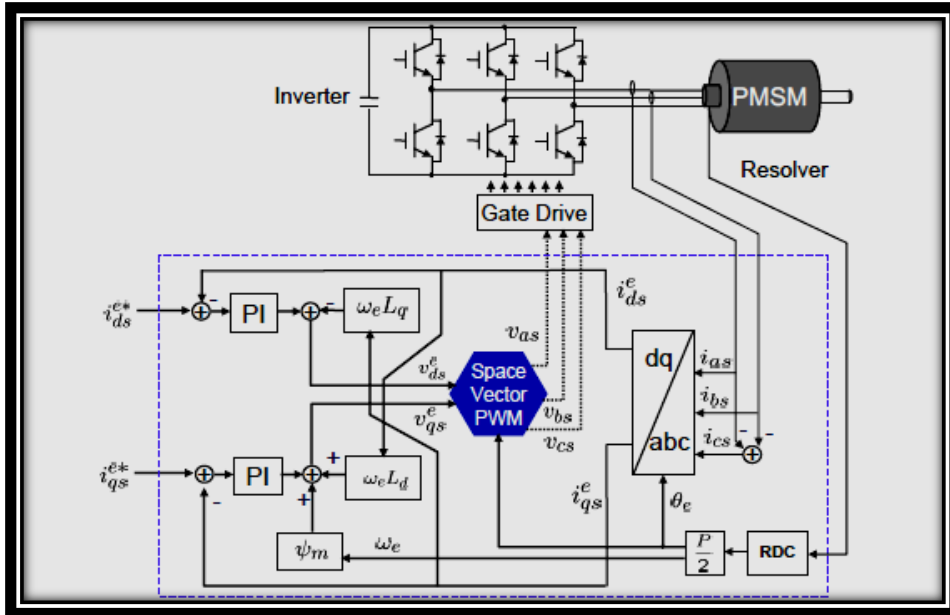
الشكل (7-2): نموذج المحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة PMSM

8-2- الخاتمة

في هذا الفصل قمنا بدراسة الموديل الرياضي للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة وذلك انطلاقاً من معادلة الجهود الثلاثية الطور، حيث قمنا بتحويلها إلى جهود ثنائية دارة مرتبطة بالدوار عن طريق تحويل بارك الأمامي ثم أوجدنا معادلات التيار انطلاقاً من معادلات الجهود الثنائية ثم أوجدنا معادلات العزم وأوجدنا علاقة السرعة وفي النهاية أوجدنا نموذج المحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة PMSM، وبالتالي أصبح بإمكاننا تطبيق هذا النظام على برنامج الماتلاب وتطبيق أنظمة القيادة المختلفة.

الفصل الثالث

أنظمة قيادة المحركات المتواقتة ذات المغناطيس الدائمة



3-1- مقدمة

تحول المحركات الكهربائية الطاقة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية. وفي عصرنا الحالي بات استخدام المحركات الكهربائية أمراً حتمياً مع ظهورها في عدد غير محدود من التطبيقات بدءاً بالتطبيقات المنزلية (الثلاجات، الغسالات، المراوح...) والتجارية (التدفئة، التهوية، التكييف...) وصولاً إلى التطبيقات الصناعية (المشغلات، خطوط الإنتاج...).

يدرك القليل من الناس فقط العدد الحقيقي للمحركات الكهربائية الموجودة في العالم، ومدى تأثيرها على البيئة. في الحقيقة، أكثر من عشرين مليون محرك يتم تصنيعها يومياً في أنحاء العالم ! أي ما يعادل سبعة مليارات محرك جديد سنوياً ! لسوء الحظ، فإن الغالبية العظمى من هذه المحركات تكون صغيرة لا تتجاوز استطاعتها بضعة كيلووات، وهذه المحركات تكون عادة ضعيفة المردود إذ يصل مردودها إلى 50% فقط، وهذا يعني أن نصف الاستطاعة المستهلكة في المحرك تتحول إلى عمل مفيد. وهذا يمثل تهديداً للبيئة وزيادة كبيرة في التكاليف، خاصةً إذا علمنا أن نصف الطاقة المستهلكة في العالم تبتلعها المحركات الكهربائية. ومن هنا كان من الضروري تطوير نظريات جديدة للتحكم بالمحركات الكهربائية، فظهرت نظريات التحكم الشعاعي VectorControl التي تتيح تشغيل المحرك بأداء عالٍ عند السرعات والعزوم المختلفة وبأقل قدر ممكن من الطاقة.

في هذا الفصل سوف ندرس نظامي قيادة :

• نظام $V/F=constant$.

• نظام التحكم بالحقل الموجه FOC.

وسوف نقوم بتمثيل النظامين في بيئة ماتلاب وتطبيقهما على نموذج المحرك المتوافق ذي المغناط الدائمة ومناقشة النتائج التي سيتم الحصول عليها بعد تنفيذ الخوارزميات في البيئة البرمجية المستخدمة.

3-2- المنظمات الإلكترونية المستخدمة في أنظمة القيادة

انتشرت المنظمات الإلكترونية بكثرة ودخلت مع نظم التحكم المتقدمة نظراً لحبوبة الدور الذي تلعبه ضمن نظام التحكم ، وأهم هذه المنظمات هو المنظم التناسبي_التكاملي_التفاضلي (PID).

تلعب المنظمات في نظم التحكم الصناعية دوراً أساسياً في أداء النظام وفعاليتها، على الرغم من أن معظم المنظمات تعرف على أنها منظمات PID، إلا أن المنظم الأكثر استخداماً في نظم التحكم الصناعية هو المنظم PI.

قديمًا، بنيت المنظمات اعتماداً على الدارات الإلكترونية والعناصر التشابيهية (كمضخم العمليات) وتطورت مع تطورها، ولكن في الوقت الحالي وبعد ثورة المعالجات التي وفرت قدرات معالجة كبيرة، وبأسعار زهيدة مقارنة مع الدارات الإلكترونية، صار من الممكن بناء المنظم بشكل برمجي ضمن نظام التحكم من دون الحاجة إلى بناءه فيزيائياً، وهذا ما نراه في نظم التحكم الحديثة وخصوصاً نظم التحكم الشعاعي.

يتألف المنظم PID من ثلاثة أقسام :

P: المنظم التناسبي.

I: المنظم التكاملي.

D: المنظم التفاضلي.

ويقوم المنظم بالمهام التالية :

- مقارنة القيمة المقاسة للكميات المنظمة مع القيمة المطلوبة.
 - توليد إشارة خرج تتعلق قيمتها بقيمة خطأ الدخل وزمن حدوثه وسرعة تغيره.
 - تأمين شكل واستطاعة إشارة الخرج اللازمة لتحريك عنصر التنفيذ.
- وبالتالي يؤثر تطبيق المنظم على استجابة النظام الزمنية والتي تتضمن زمن الصعود وزمن الاستقرار وكذلك نسبة تجاوز الهدف ودقة استجابة هذا النظام وسنشرح فيما يلي تأثير بعض الأنواع من المتحكمات على النظام المطبق عليه.

1- المنظم التناسبي

يعبر المنظم التناسبي عن ربح إشارة الخطأ (إشارة الدخل - إشارة الخرج) أي يمكن التحكم بهذا الربح عن طريق إضافة هذا المنظم، وبالتالي فالمنظم التناسبي يؤثر على سرعة النظام (سرعة وصول النظام إلى القيمة المطلوبة).

$$U(t) = k_p e(t)$$

حيث:

$$e = r - y \quad \text{إشارة الخطأ بين إشارة الخرج } y \text{ والإشارة المرجعية } r.$$

k_p : ثابت التناسب (الربح) وهو ثابت المنظم التناسبي.

2- المنظم التكاملي

ينتج هذا المنظم في النظام بإضافة مكامل ويستخدم لإعطاء الدقة اللازمة لنظام التحكم حيث يكون تابع المنظم على الشكل التالي:

$$U(t) = k_i \int_0^t e(t) dt$$

حيث:

k_i : ثابت المنظم التكاملي.

3- المنظم التناسبي التكاملي

يعطى تابع هذا المنظم بالشكل :

$$U(t) = k(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt)$$

هذا النظام يؤمن تحقيق سرعة للنظام عن طريق المنظم التناسبي ويؤمن دقة في تصحيح الخطأ عن طريق المنظم التكاملي وبالتالي هو الأكثر استخداماً في أنظمة القيادة.

محاسن ومساوئ استعمال المنظمات في نظام معين

سلبيات	ايجابيات	
<p>⊗ لا يلغي الخطأ في الحالة المستقرة.</p> <p>⊗ يزداد اهتزاز النظام بزيادة ثابت التناسب (انخفاض درجة الاستقرار).</p>	<p>✓ زيادة سرعة النظام أي بمعنى آخر تقليل زمن الصعود.</p> <p>✓ ينقص مقدار الخطأ بزيادة ثابت التناسب في الحالة المستقرة.</p>	المُنظَم التناسبي
<p>⊗ يزيد من اهتزاز النظام (انخفاض درجة الاستقرار).</p>	<p>✓ يؤدي إلى إلغاء الخطأ في الحالة المستقرة من أجل إشارة الخطوة.</p>	المُنظَم التكاملي

3-3- التحكم وفق مبدأ V/f ثابت

نظرية التحكم V/f

تعتبر طريقة التحكم V/f من الطرق الأولى للتحكم بالسرعة في نظام الحلقة المفتوحة. يمكن استنتاج القانون الأساسي لنظام V/F انطلاقاً من معادلات جهود المحرك المتوافقة المعبر عنها في نظام محاور الإحداثيات الثنائية المتعامدة المرتبطة بالثابت ، حيث تعطى علاقة شعاع جهد الثابت في نظام المحاور المرتبطة بالثابت وفقاً لما يلي :

$$V_s = R_s i_s + \frac{d(\phi_s)}{dt} \quad (3.1)$$

بإهمال هبوط الجهد على مقاومة الثابت ، وباعتبار أن شكل موجة جهد التغذية للثابت جيبية، يمكن كتابة شعاع جهد الثابت كما يلي :

$$V_s = \frac{d(\phi_s)}{dt} = J \omega_s \phi_s \quad (3.2)$$

حيث إن V_s هو شعاع جهد الثابت في نظام محاور إحداثيات ثنائية متعامدة منسوبة للثابت. من العلاقة السابقة يمكن كتابة علاقة شعاع جهد الثابت بدلالة مطال شعاع فيض الثابت في الحالة المستقرة على الشكل التالي :

$$V_s = \omega_s \phi_s \quad (3.3)$$

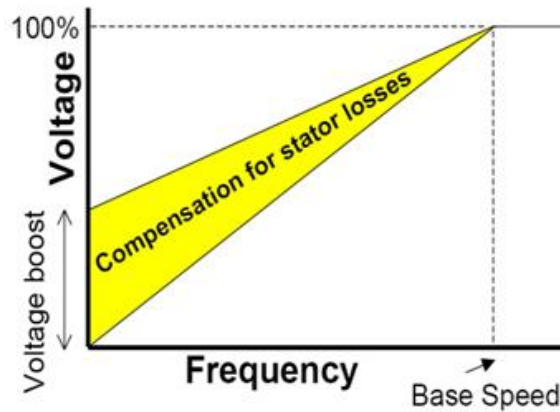
وبالتالي نجد :

$$\frac{V_{sa\beta}}{2\pi f_s} = \phi_{sa\beta} = \frac{V_{sabc}}{2\pi f_s} = \phi_{sabc} \quad (3.4)$$

$V_{sa\beta}$ ، V_{sabc} مطال شعاع جهد الثابت في نظام المحاور الثلاثية والثنائية على التوالي.

ϕ_{sabc} ، $\phi_{sa\beta}$ مطال شعاع فيض الثابت في نظام المحاور الثلاثية والثنائية على التوالي. تعبر العلاقة (3.4) عن القانون الأساسي لنظام V/F، وتنص على أن نسبة مطال شعاع جهد الثابت على تردد المقادير الكهربائية في الثابت مساوية لمطال شعاع فيض الثابت. حيث يتم في هذا النظام المحافظة على تدفق مغناطيسي ثابت في المحرك أي المحافظة على إمكانية توليد عزم كهرومغناطيسي ثابت للمحرك من خلال تأمين نسبة ثابتة بين الجهد وتردد الثابت، حيث إنه من خلال تغيير قيمة تردد الثابت يمكن التحكم بسرعة المحرك لكن التغيير في قيمة التردد سوف يغير قيمة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية وبالتالي تغيير العزم. وللمحافظة على قيمة ثابتة لهذا الفيض وبالتالي قيمة ثابتة للعزم يجب المحافظة على نسبة ثابتة بين قيمة جهد وتردد التغذية للجزء الثابت باعتبار أن هبوط الجهد على ممانعات الجزء الثابت مهملة. إذاً، أي تغيير في تردد المقادير الكهربائية في الثابت (وبالتالي تغيير في سرعة المحرك) يجب أن يرافقه تغيير مماثل في مطال جهد الثابت، بحيث تبقى النسبة V_s/ω_s ثابتة. إن هذه الطريقة تصبح غير مجدية في حال العمل عند ترددات منخفضة (سرعة منخفضة) مع وجود عزم حمولة كبير، والسبب يعود إلى أن هبوط الجهد الناتج عن مرور التيار في ممانعة الثابت يصبح غير مهم، وبالتالي تصبح المعادلة الأخيرة غير صحيحة، وعند السرعة صفر فإن جهد التغذية كلياً مستهلك بمقاومة الثابت وبالتالي يمكن التغلب على هذه الظاهرة بتعويض هبوط الجهد على ممانعة الثابت، وهذا التعويض يحافظ على الفيض المغناطيسي ثابتاً بحيث أن الجهد الذي ستم إضافته يعتمد بشكل أساسي على تيارات الثابت التي تتناسب مع العزم الكهرومغناطيسي.

إن هذا الجهد يدعى بجهد التعزيز (Voltage-Boosting) والذي يتم ضبطه من أجل كل قيمة للسرعة مع مراعاة أن العلاقة هي علاقة غير خطية، والشكل التالي يبين منحنى توليد جهد التعزيز.



الشكل (3-1) : منحنى توليد جهد التعزيز

محاسن و مساوئ طريقة التحكم V/f

المحاسن

- a. إمكانية ضبط السرعة بدون حساسات.
- b. بسيطة وذات كلفة منخفضة.
- c. قوية في حالة غياب التغذية العكسية (في حالة عدم تنظيم السرعة).

المساوئ

- a. استجابة بطيئة (الحالة العابرة تستغرق وقت طويل نسبياً).
- b. أداء ضعيف.
- c. لا يوجد تحكم بالتدفق .
- d. لا يوجد تحكم بالسرعة (بل ضبط) أي أن السرعة تضبط ولا يتحكم بها.

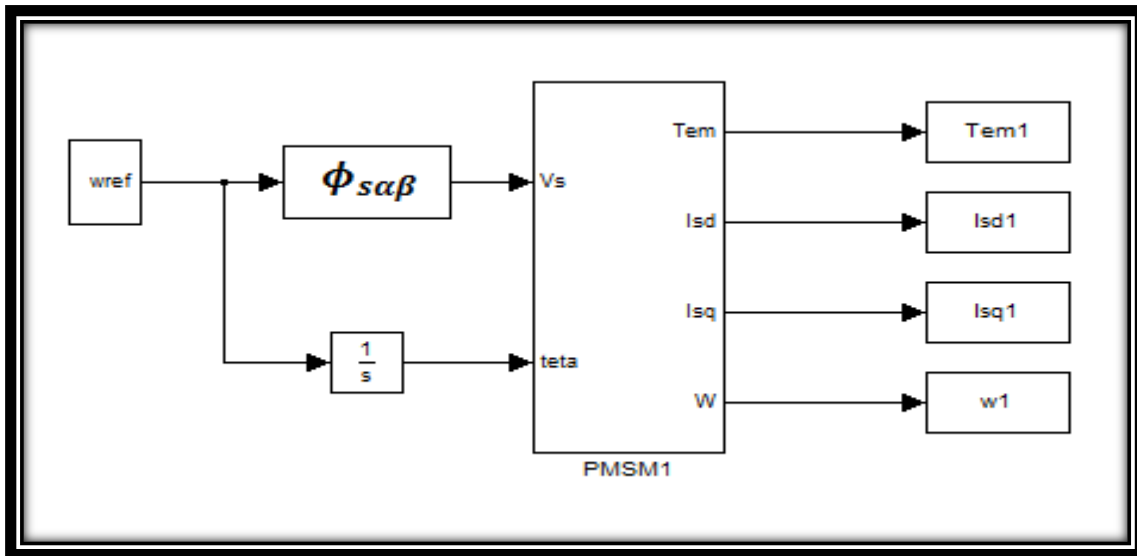
3-4- المحاكاة والنتائج التمثيلية

باستخدام نموذج المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة الذي تم تمثيله باستخدام بيئة ماتلاب سنقوم بضبط سرعة هذا المحرك باستخدام نظام القيادة V/f ثابت، وستتم الدراسة على ثلاث خطوات هي:

- (1) ضبط سرعة المحرك بدون إضافة جهد داعم.
- (2) ضبط سرعة المحرك مع إضافة جهد داعم.
- (3) تنظيم سرعة المحرك باستخدام منظم PI.

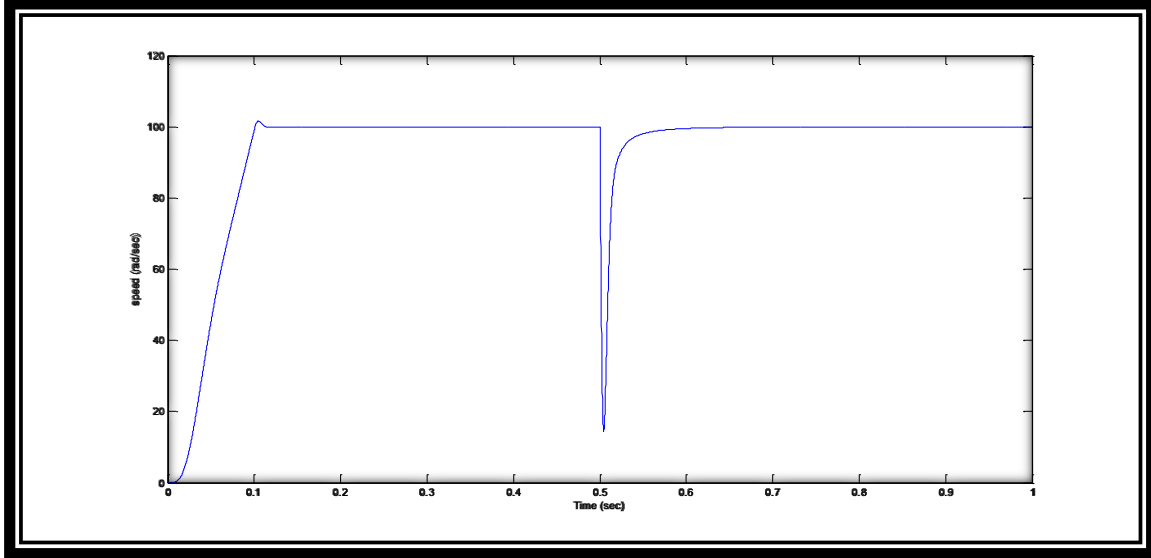
نظام القيادة V/F=constant في الحلقة المفتوحة بدون إضافة جهد داعم

يبين الشكل التالي المخطط الصندوقي لاستخدام نظام القيادة V/F=constant مع محرك PMSM، حيث قمنا بتأمين نسبة ثابتة بين الجهد والتردد من أجل قيمة مرجعية للسرعة.



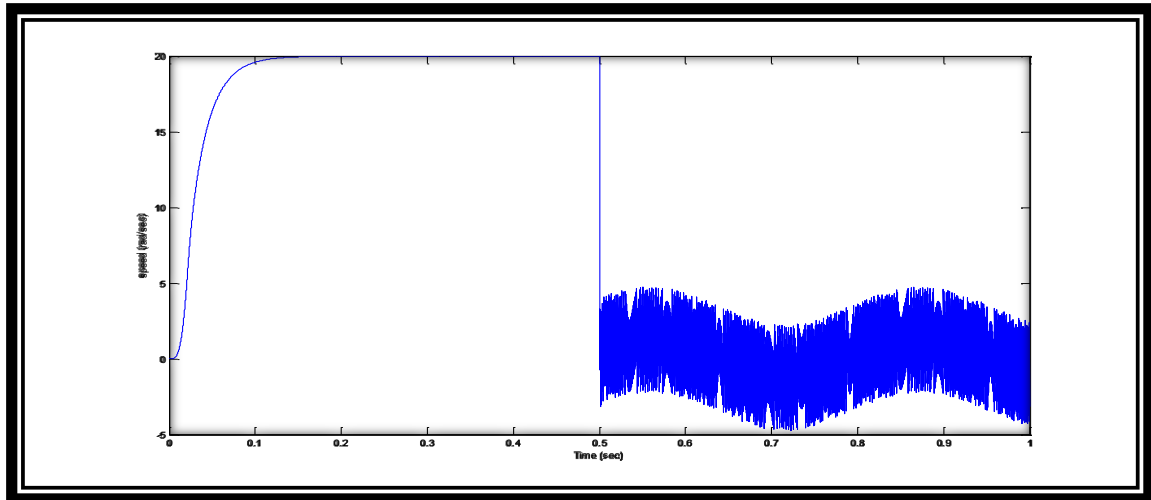
الشكل (2-3) : تطبيق الجهد والتردد على المحرك في نظام V/F=constant

يتم التحكم بالسرعة مع المحافظة على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي للثابت والتي هي القيمة الاسمية
نقوم بإدخال سرعة المحرك بشكل متدرج حتى تصل إلى 100 (rad/sec) ، ويتم تطبيق الحمل الاسمي على
المحرك في اللحظة 0.5 (sec) .



الشكل (3-3) : منحنى السرعة

من الشكل نلاحظ أن السرعة عند التحميل عادت على قيمتها المرجعية وذلك كون المحرك المدروس من النوع المتوافق، ونلاحظ أن السرعة انخفضت بشكل كبير لحظة التحميل بسبب عدم تنظيم الفيض في الثابت. في حال العمل في نظام الحلقة المفتوحة الزاوية تفرض على النظام من القيمة المرجعية للسرعة أما في حالة نظام الحلقة المغلقة فالزاوية تأتي من اشتقاق سرعة المحرك المقاسة وبالتالي لا تسبب الانخفاض الظاهر. كما مر معنا سابقاً فإنه عند تطبيق سرعات منخفضة فإن تأثير إهمال هبوط الجهد على مقاومات الثابت سوف يكون واضحاً، انظر إلى الشكل (4-3) حيث كانت القيمة المطلوبة لضبط السرعة هي 20 (rad/sec) .

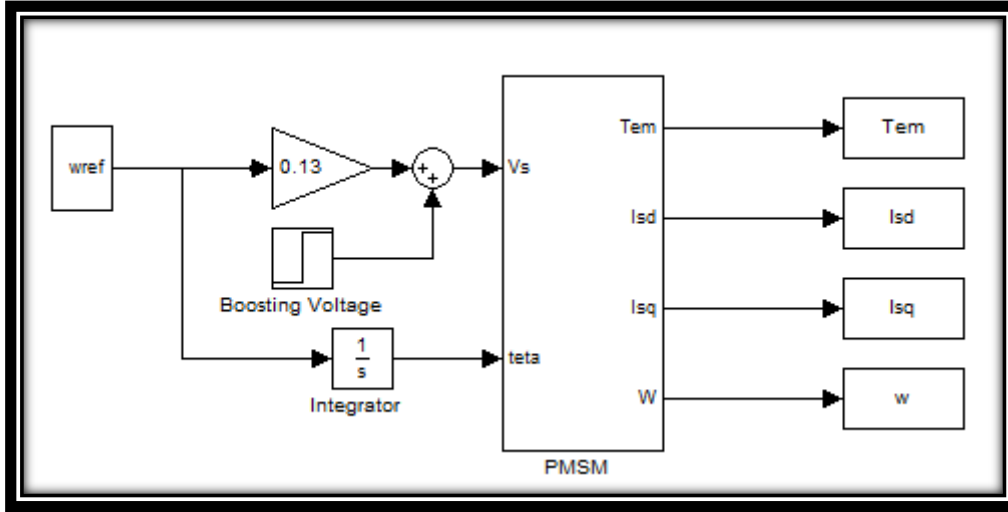


الشكل (4-3) : منحنى السرعة عند تطبيق سرعة منخفضة

نلاحظ من الشكل ظهور تأثير هبوط الجهد على سرعة وأداء المحرك عند التحميل وبالتالي لا بد من تعويض هبوط الجهد هذا بإضافة جهد داعم.

نظام القيادة $V/F=constant$ في الحلقة المفتوحة مع إضافة جهد داعم

يبين الشكل (3-5) المخطط الصندوقي لعملية ضبط سرعة المحرك المتوافقة في نظام $V/F=constant$ وذلك مع إضافة جهد داعم لحل مشكلة تأثير هبوط الجهد على مقاومات الثابت عند تطبيق سرعات منخفضة.



الشكل (3-5) : المخطط الصندوقي لضبط سرعة المحرك في نظام $V/F=constant$ مع إضافة جهد داعم

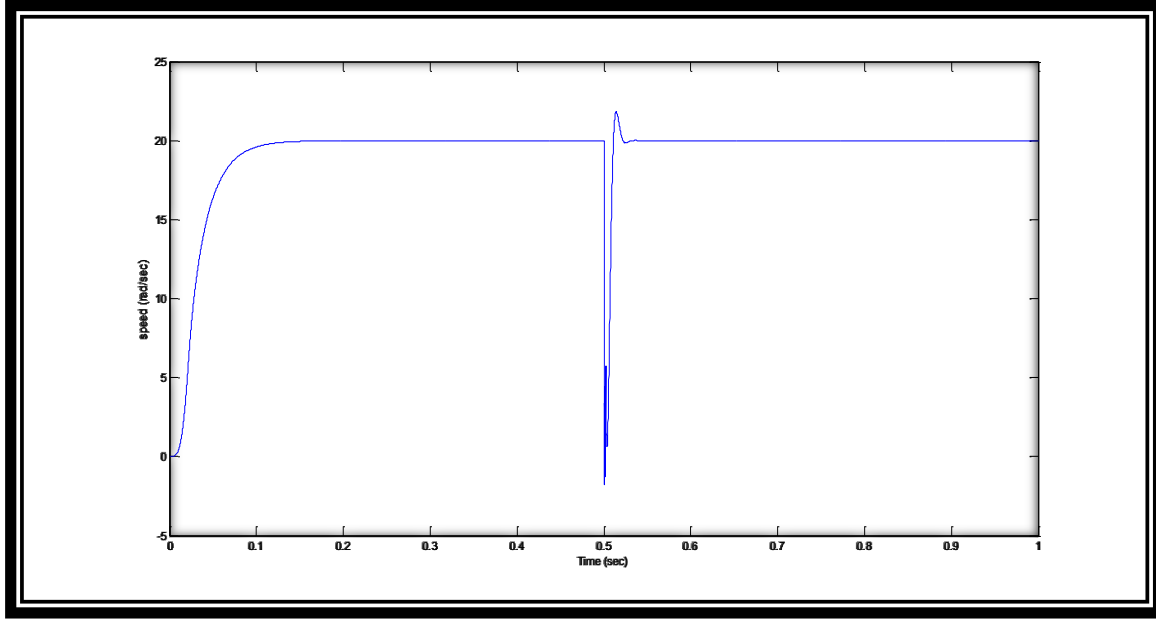
إن إضافة الجهد الداعم لتعويض هبوط الجهد الناتج عن مقاومة الثابت سيكون له تأثير سلبي عند العمل على فراغ (الدخول في الإشباع المغناطيسي) وبالتالي فإن إضافة الجهد الداعم كقيمة ثابتة مهما كانت سرعة دوران المحرك (منخفضة أو مرتفعة) ستسبب لنا المشاكل التالية :

1- عند سرعات دوران منخفضة سيدخل المحرك في الإشباع المغناطيسي بصورة كبيرة عند العمل على حمولات صغيرة.

2- عند سرعات قريبة من السرعة الاسمية سيتم تطبيق جهود أعلى من الجهد الاسمي وسيكون هناك اشباع مغناطيسي ولكن أقل مما هو عليه عند السرعات المنخفضة.

والحل هو أن يتم إدخال قيمة الجهد الداعم بشكل يتعلق مع سرعة الدوران ومع الحمولة، أي كلما أردنا تجاوز مشكلة سنضطر إلى زيادة تعقيد الخوارزمية.

برسم منحنى السرعة عند ضبط سرعة المحرك على القيمة $20(\text{rad}/\text{sec})$ نحصل على المنحنى التالي :



الشكل (3-6) : منحنى السرعة عند تطبيق سرعة منخفضة

يجب أن ننتبه أن هناك حدود معينة لقيمة السرعة المنخفضة التي يمكن تطبيقها على المحرك، لأنه عند قيم منخفضة للسرعة سيكون للجهد أيضاً قيمة منخفضة يمكن عندها أن لا يكون المحرك قادراً على العمل.

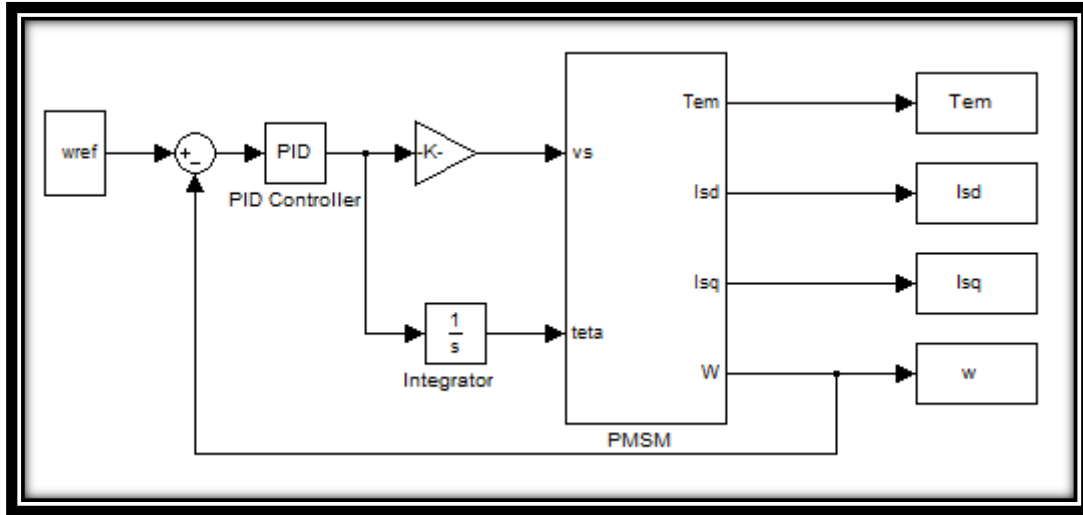
نظام القيادة $V/F=constant$ في الحلقة المغلقة

يمكن استخدام نظام $V/F=constant$ في الحلقة المغلقة وذلك للحصول على سرعة أكبر في تصحيح الخطأ الستاتيكي وذلك باستخدام منظم من نوع تناسبي تكاملي.

ثابت المنظم التناسبي يؤثر على سرعة الاستجابة وعلى الاهتزاز في الحالة المستقرة، وقيمة ثابت المنظم التكاملية تؤثر على قيمة القفزة في الحالة العابرة كما تؤثر عند تطبيق الحمل.

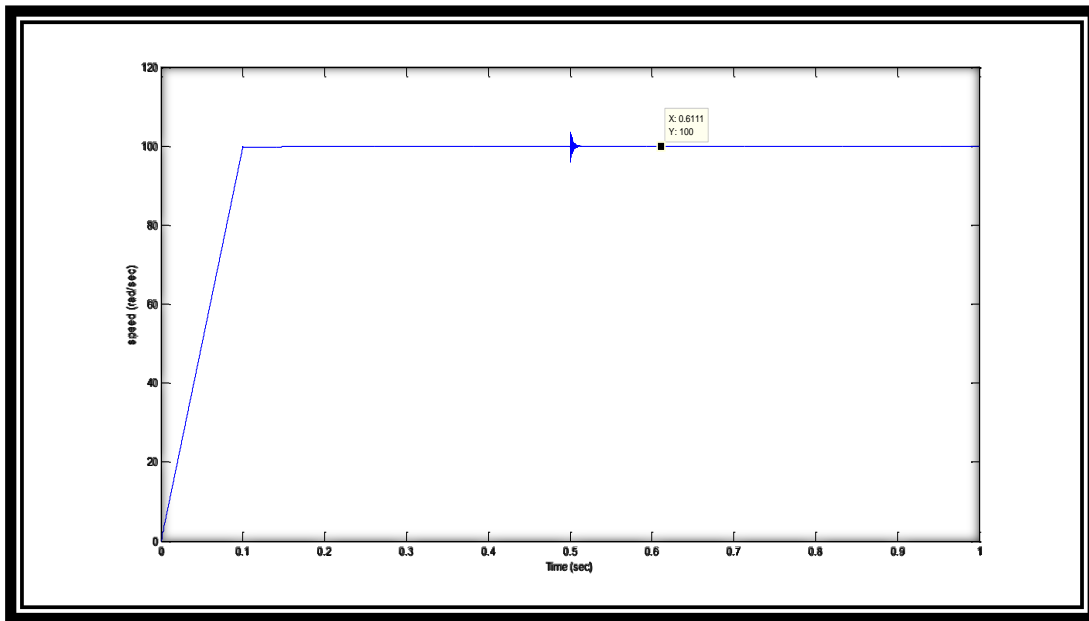
يتم اختيار ثوابت المنظم PI تجريبياً لأننا لم نتمكن من إيجاد تابع الانتقال للنظام، حيث نبدأ في البداية بزيادة قيمة الثابت K_p مع وضع قيمة K_i على قيمة الصفر حتى الحصول على استجابة السرعة بدون تجاوز للقيمة المرجعية ومن ثم نبدأ بزيادة الثابت K_i تدريجياً حتى الحصول على الاستجابة المرغوبة للسرعة.

يبين الشكل (3-7) المخطط الصندوقى لاستخدام نظام القيادة $V/F=constant$ في الحلقة المغلقة باستخدام منظم من نوع PI.



الشكل (7-3) : المخطط الصندوقي لتنظيم سرعة المحرك في نظام $V/F=constant$ باستخدام منظم PI

برسم منحنى السرعة عند ضبط سرعة المحرك على القيمة 100 (rad/sec) نحصل على المنحنى الموجود في الشكل (8-3).



الشكل (8-3) : منحنى سرعة المحرك عند تنظيم السرعة باستخدام منظم PI

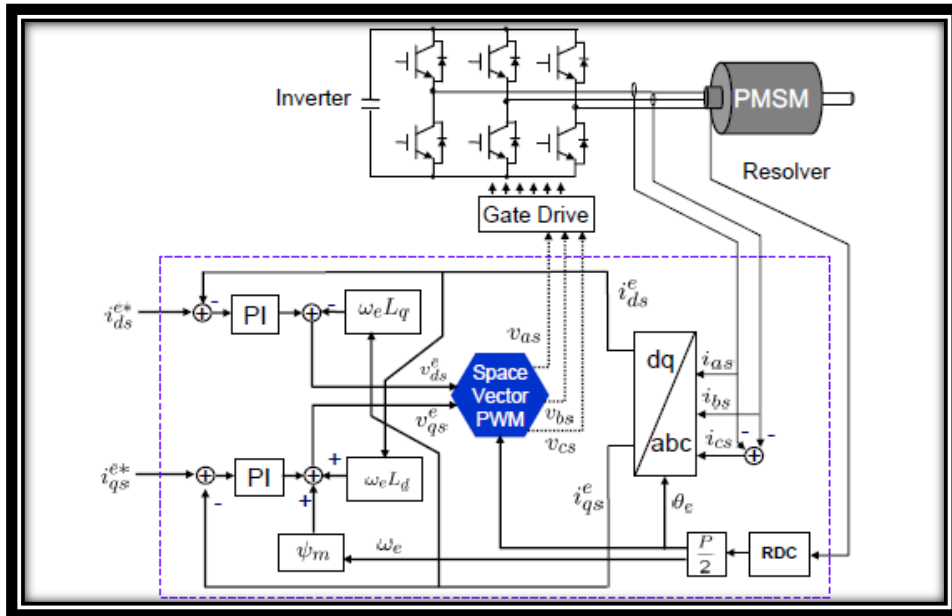
التحكم الشعاعي Vector Control

3-5- مقدمة

لفهم مبدأ العمل في التحكم بالحقل الموجه سنلقي نظرة سريعة على محرك التيار المستمر ذي التهيج المستقل. يتم في هذا المحرك التحكم بتغذية الثابت والدوار بشكل مستقل، وتظهر الدراسة الكهربائية للمحرك أنه يمكن التحكم بالعزم وبالفيض بشكل منفصل، حيث إن شدة الحقل المغناطيسي (بكلام آخر: قيمة تيار التهيج) تحدد قيمة الفيض، بينما يحدد التيار المار في ملفات الدوار قيمة العزم المتولد على محور المحرك. والنقطة المهمة هنا أنه يتم التحكم بالتدفق عبر ملفات الثابت (من خلال تيار التهيج) ليبقى الفيض الناتج عن ملفات الدوار متعامداً مع الحقل المغناطيسي للثابت.

وبعكس محرك التيار المستمر فإنه في المحركات المتوافقة يعتمد الفيض والعزم بشكل أساسي على بعضهما البعض.

والهدف من التحكم بالحقل الموجه في المحركات المتوافقة والمحركات التحريضية هو توفير إمكانية فصل التحكم بالعزم المتولد عن التحكم بالفيض المغناطيسي. أي الهدف هو تقليد مبدأ التحكم في محرك التيار المستمر. وسنستعرض فيما يلي شكلاً يوضح البنية الأساسية لنظام تحكم بتوجيه الحقل.

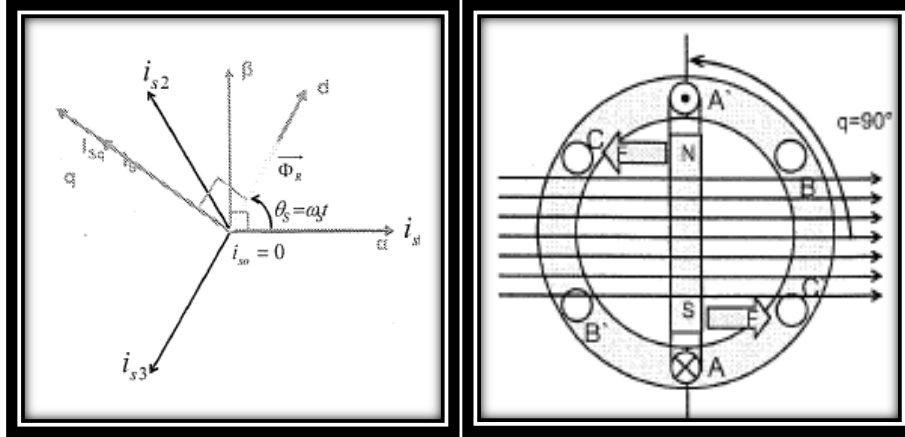


الشكل (3-9) : مخطط لنظام تحكم FOC بشكله الأساسي

3-6- نظام القيادة FOC (Field Oriented Control)

إن طريقة التحكم بالفيض الموجه هي أفضل اختيار من أجل تطبيقات الجهد المنخفض والسرعات المنخفضة، حيث إنه في هذه الطريقة يمكننا التحكم بالعزم في السرعات المنخفضة ضمن مجال واسع. إن هذا النظام هو نظام تحكم

مغلق مشابه لنظام قيادة محركات التيار المستمر، حيث من خلاله يمكن التحكم بالموضع والسرعة والعزم. في هذا النظام يتم قيادة المحرك عن طريق التحكم بالتيارات في الثابت حيث إن أساس هذه الطريقة هي توجيه تيار الثابت بحيث يولد فيض مغناطيسي يتعامد مع الفيض المغناطيسي المتولد في الدوار وبالتالي الحصول على عزم أعظمي للمحرك أي بمعنى آخر يتم توجيه فيض الثابت وفق المحور q .



الشكل (3-10) : الشكل يبين توجيه فيض الثابت وفق المحور q

التحكم الشعاعي للمحرك المتوافق ذي المغناطيس الدائمة مشتق من النموذج الديناميكي لهذا المحرك. تعطى معادلة العزم الكهرومغناطيسي في المحرك المتوافق ذي المغناطيس الدائمة :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (M_{df} i_f i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}) \quad (3.5)$$

حيث إن الفيض المتشابه بين الدوار والثابت يعطى بالعلاقة :

$$\phi_m = \phi_f = M_{df} i_f \quad (3.6)$$

يعتبر الفيض في الدوار ثابتاً ما عدا عند تأثير الحرارة. حساسية المغناطيس للحرارة تقلل كثافة الفيض المتبقي وبالتالي يزداد الفيض مع إرتفاع درجة الحرارة. وللحصول على عزم أعظمي لدينا الحالات التالية:

(1) إذا كانت المغناطيس سطحية ($L_{sd} = L_{sq}$) : فإن الحد الثاني من معادلة العزم لن يكون له أي تأثير على قيمة العزم وبالتالي في هذه الحالة يجب جعل i_{sd} مساوياً للصفر أو بمعنى آخر توجيه شعاع التيار i_s باتجاه المحور q . وبالتالي يصبح T_{em} أعظمي وتصبح علاقة العزم :

$$T_{em \max} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \phi_m i_{sq} \quad (3.7)$$

(2) إذا كانت المغناطيس مغمورة ($L_{sd} < L_{sq}$) : ففي هذه الحالة يجب جعل قيمة التيار i_{sd} سالبة بحيث يصبح للجداء ($i_{sd} i_{sq}$) قيمة سالبة.

(3) إذا كان الدوار ملفوف أقطاب بارزة ($L_{sd} > L_{sq}$) : فإن العزم الناتج عن اختلاف المحارسات على المحورين الطولاني والعرضاني لن يكون معدوم إنما سيكون له قيمة ففي هذه الحالة يجب جعل قيمة التيار i_{sd} أكبر من الصفر بحيث يصبح للجداء ($i_{sd} i_{sq}$) قيمة موجبة أعظمية.

بما أن المحرك المدروس هو محرك متوافق ذو مغناط دائمة سطحية غير بارزة وهذا ما يوافق الحالة الأولى من حالات الخوارزمية وكما نعلم أن العزم الذي يولده المحرك يتناسب مع التيارات المستجرة، وبالعودة إلى المعادلة (3.5) نلاحظ أن التيار i_{sd} لن يؤثر على قيمة العزم النهائية مهما كانت قيمته وكمردود نهائي للمحرك نلاحظ أن قيمة التيار i_{sd} لن يستفاد منها بل ستزيد من ضياعات جول على المحور العرضاني لذلك ولزيادة مردود المحرك سنقوم بتنظيم التيار i_{sd} إلى الصفر أو بمعنى آخر توجيه شعاع تيار الثابت باتجاه المحور الطولاني ليعطي بذلك المحرك عزمًا أعظمياً.

باعتبار أن المداخل هي تيارات ، فإن التيارات الثلاثية هي :

$$\begin{aligned} i_{sa} &= i_s \sin(\omega t + \gamma) \\ i_{sb} &= i_s \sin(\omega t + \gamma - \frac{2\pi}{3}) \\ i_{sc} &= i_s \sin(\omega t + \gamma + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

حيث (ω) هي السرعة الكهربائية للدوار .

(γ) هي الزاوية بين الحقل الدوار (المحور d) وشعاع تيار الثابت وتعرف بزاوية العزم .

باستخدام تحويل بارك ، تعطى المركبات q,d لشعاع تيار الثابت في الجملة المرجعية للدوار بالعلاقات:

$$i_{sd} = i_s \cos(\gamma) \quad (3.9)$$

$$i_{sq} = i_s \sin(\gamma) \quad (3.10)$$

تيارات المحاور q,d هي ثابتة في الجملة المرجعية الدوارة طالما أن (γ) هي ثابتة بالنسبة لعزم الحمل المعطى.

مركبات شعاع جهد الثابت في النموذج q,d هي :

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega L_{sq} i_{sq} \quad (3.11)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + \omega L_{sd} i_{sd} + \omega \phi_f \quad (3.12)$$

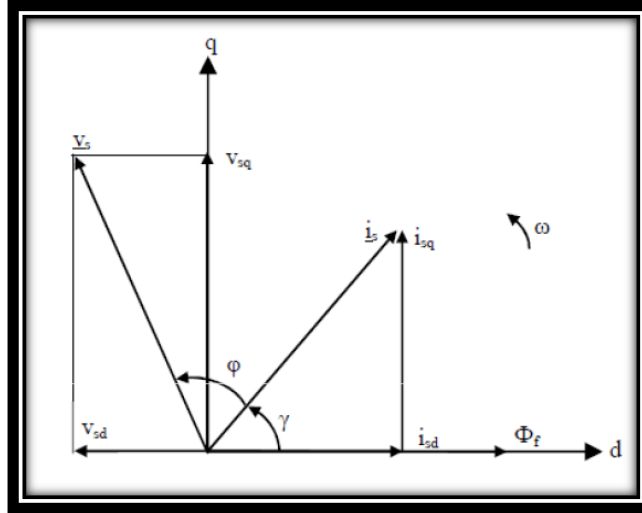
مركبات شعاع جهد الثابت في الحالة المستقرة يعطى بالعلاقة :

$$V_{sd} = R_s i_{sd} - \omega L_{sq} i_{sq} \quad (3.13)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + \omega L_{sd} i_{sd} + \omega \phi_f \quad (3.14)$$

شعاع جهد الثابت في الحالة المستقرة يعطى بالعلاقة :

$$V_s = (R_s - j\omega L_{sq}) i_s + j\omega (L_{sd} - L_{sq}) i_d + j\omega M_{df} i_f \quad (3.15)$$



الشكل (3-11) : الشكل يبين شعاع جهد الثابت

بما أن هذه ثوابت، فهي مشابهة تماماً للمتعرض والتيارات الحقل في المحرك DC ذي التهيج المستقل. بتعويض تيارات المحاور q,d في معادلة العزم الكهرومغناطيسي نجد :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (\phi_f i_s \sin(\gamma) + \frac{1}{2} (L_{sd} - L_{sq}) i_s^2 \sin(2\gamma)) \quad (3.16)$$

إذا كانت $\gamma = \frac{\pi}{2}$ فيصبح العزم الكهرومغناطيسي :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \phi_f i_s \quad (3.17)$$

هذه المعادلة مشابهة لمعادلة العزم المتولد في المحرك DC والمحرك التحريضي المتحكم به شعاعياً إذا حافظت زاوية العزم على القيمة $\frac{\pi}{2}$ والفيض بقي ثابتاً فإنه يتم التحكم بالعزم عن طريق مطال تيار الثابت وبالتالي سوف نحصل على أكبر قيمة للعزم عند أصغر قيمة للتيار.

لاحظ أن تدفق الفيض المشترك هو نتيجة لفيض الدوار وفيض الثابت وبالتالي يعطى بالعلاقة :

$$\phi = \sqrt{\phi_{sd}^2 + \phi_{sq}^2} = \sqrt{(L_{sd} i_{sd} + \phi_f)^2 + (L_{sq} i_{sq})^2} \quad (3.18)$$

إذا كانت $\gamma > \frac{\pi}{2}$ فإن i_{sd} سيصبح سالباً، وبالتالي فإن الفيض المشترك الناتج ينقص، وتعرف بطريقة تضعيف الفيض في أنظمة قيادة المحركات ذات المغناطيس الدائمة.

تنظيم زاوية العزم يؤمن مجال واسع من الخيارات في نظام قيادة المحرك المتوافق ذات المغناطيس الدائمة، نذكر بعض طرق التنظيم :

1- التنظيم عند زاوية العزم ثابتة أو (التنظيم عند تيار المحور d صفري).

2- التنظيم عند عامل الاستطاعة الواحد.

3- التحكم بطريقة العزم المثالي.

4- التحكم في منطقة تضعيف الحقل (تستعمل في السرعات الأعلى من السرعة القاعدية).

ملاحظة: نستطيع تطبيق إحدى هذه الطرق فقط في خوارزمية القيادة بمعنى آخر لايمكن تطبيق أكثر من طريقة في الخوارزمية نفسها.

سوف نقوم بدراسة التنظيم عند زاوية العزم ثابتة.

التنظيم عند زاوية العزم ثابتة ($i_{sd}=0, \gamma = \text{const}$)

إذا كانت $\gamma = \frac{\pi}{2}$ فإن معادلة العزم الكهرومغناطيسي تعطى بالعلاقة :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \phi_f i_s$$

يحدد عامل الاستطاعة من المخطط الشعاعي المبين في الشكل (11-3) ومحور الجهود :

$$\cos(\varphi) = \frac{V_{sq}}{V_s} = \frac{V_{sq}}{\sqrt{V_{sd}^2 + V_{sq}^2}} \quad (3.19)$$

جهود المحاور q,d في الحالة المستقرة هي :

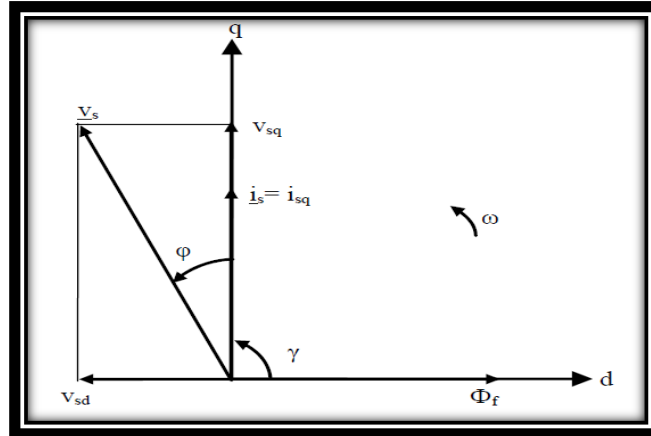
$$V_{sd} = -\omega L_{sq} i_{sq} = -\omega L_{sq} i_s$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + \omega \phi_f = R_s i_s + \omega \phi_f$$

$$\cos(\varphi) = \frac{R_s i_s + \omega \phi_f}{\sqrt{(-\omega L_{sq} i_s)^2 + (R_s i_s + \omega \phi_f)^2}}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{\frac{(-\omega L_{sq} i_s)^2}{(R_s i_s + \omega \phi_f)^2} + 1}} \quad (3.20)$$

هذه المعادلة توحى بأن عامل الاستطاعة سينخفض بزيادة سرعة الدوار وزيادة تيار الثابت وبالتالي المحرك يستجر استطاعة ردية.



الشكل (11-3) : الشكل يبين توجيه شعاع تيار الثابت باتجاه المحور الطولاني

مساوئ هذه الطريقة	محاسن هذه الطريقة
1 -تكلفة مرتفعة ونظام قيادة معقد بالمقارنة بنظام V/F	1 -استجابة جيدة للتحكم بالعزم
2 -الحاجة إلى حساسات لوجود تغذية عكسية في النظام	2 -إمكانية التحكم بالسرعة ضمن مجال واسع
	3 -التحكم بالعزم في كامل مجال السرعة

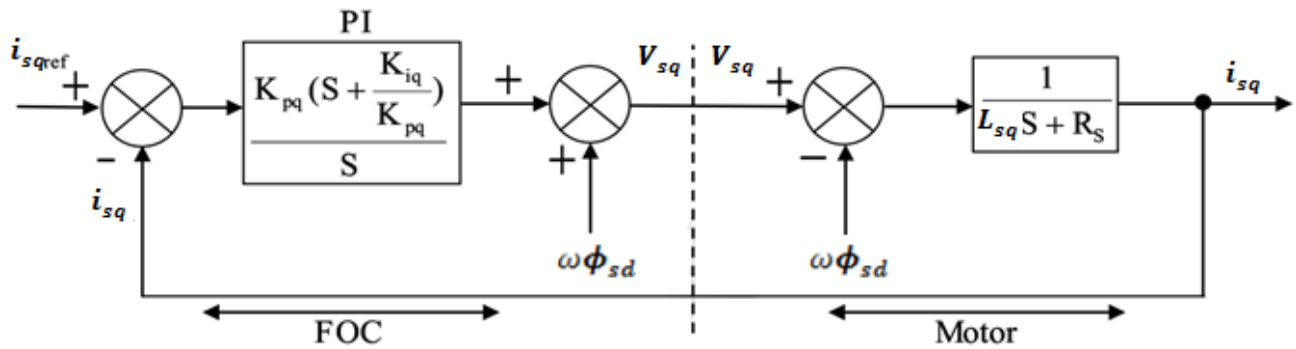
تنظيم السرعة والتيار والموضع في FOC باستخدام منظمات P-PI

7-3- أولاً : تنظيم التيار i_{sq} باستخدام منظم PI

في الشكل (12-3) نقوم بتنظيم التيار i_{sq} وذلك باستخدام المنظم التناسبي التكاملي (Proportional & Integrator Regulator) والذي يعطى تابع إنتقاله بالعلاقة التالية :

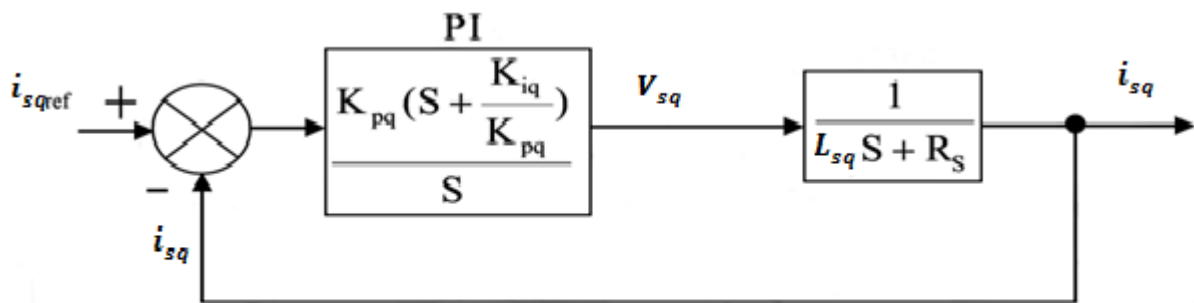
$$\frac{K_{pq} (S + \frac{k_{iq}}{K_{pq}})}{S} \quad (3.21)$$

وسنقوم بإهمال الاضطراب الداخلي $(\omega\phi_{sd})$ عند إجراء الحسابات ولكن ذلك سيكون على حساب إضافته لخرج المنظم كما في الشكل (12-3) :



الشكل (12-3) : تنظيم التيار i_{sq} في المحرك PMSM بطريقة FOC عن طريق منظم PI

لإيجاد ثوابت المنظم نقوم بإيجاد تابع النقل المكافئ للنظام والمنظم والمبين في الشكل (13-3) لكل من النظام والمنظم معاً وبعد إجراء الحسابات سنجد أن تابع النقل المكافئ للنظام والمنظم معاً كما هو في العلاقة (3-23) :



الشكل (13-3) : تابع النقل المكافئ في حلقة التيار i_{sq} في المحرك PMSM

ويتم الحصول على تابع النقل المكافئ بإيجاد تابع نقل الحلقة المغلقة للمخطط الصندوقي المبين بالشكل (13-3):

$$\frac{i_{sq}}{i_{sq_ref}} = \frac{K_{pq} \cdot (S + \frac{K_{iq}}{K_{pq}}) \cdot \frac{1}{L_{sq}}}{S} \cdot \frac{1}{S + \frac{R_s}{L_{sq}}} = \frac{K_{pq} \cdot \frac{1}{L_{sq}}}{S} = \frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S} \quad (3.22)$$

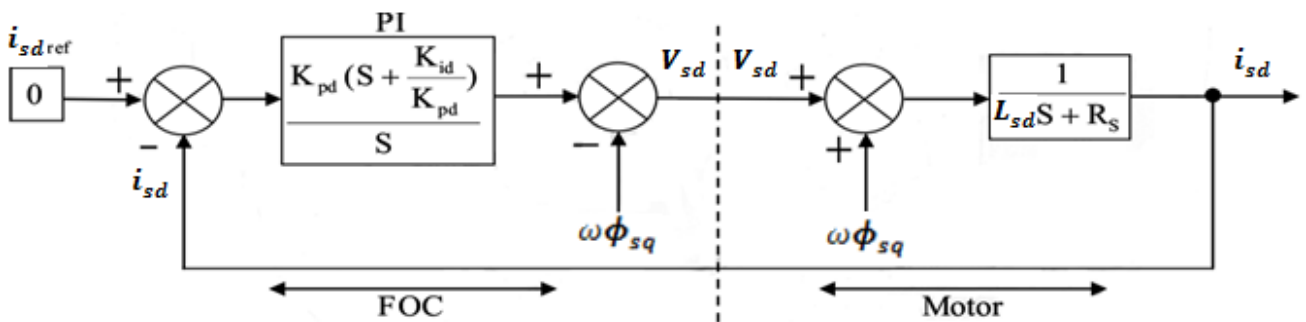
$$1 + \frac{K_{pq} \cdot (S + \frac{K_{iq}}{K_{pq}}) \cdot \frac{1}{L_{sq}}}{S} = 1 + \frac{K_{pq}}{S} \cdot \frac{1}{L_{sq}} = 1 + \frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S}$$

حيث سنفترض أن $\frac{K_{iq}}{K_{pq}} = \frac{R_s}{L_s}$ وذلك من أجل حذف قطب (جذر المقام) مع صفر (جذر البسط)، نقوم الآن بتوحيد المقامات ونختزل المقام المشترك فنحصل على تابع النقل النهائي كما يلي :

$$\frac{i_{sq}}{i_{sq_ref}} = \frac{\frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S}}{\frac{L_{sq} \cdot S + K_{pq}}{L_{sq} \cdot S}} = \frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S + K_{pq}} \quad (3.23)$$

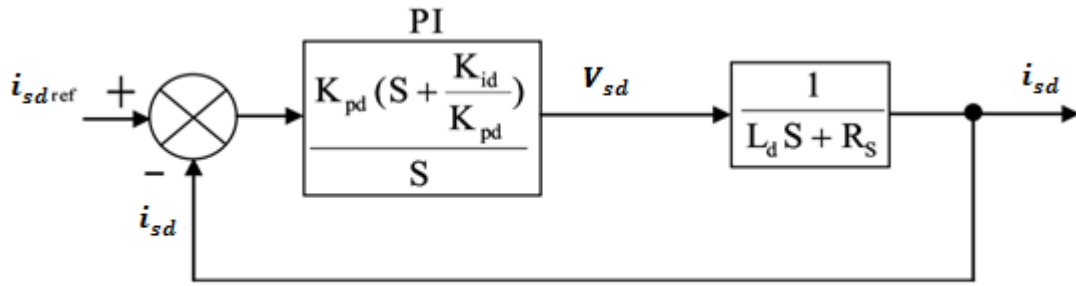
نفرض أيضاً $K_{pq} = 30$ وهو الثابت التناسبي للمنظم (وهو يفرض فرض) وبعد ذلك يتم حساب قيمة K_{iq} .

8-3- ثانياً : تنظيم التيار i_{sd} باستخدام منظم PI



الشكل (3-14) : تنظيم التيار i_d في المحرك PMSM بطريقة FOC عن طريق منظم PI

بالأسلوب نفسه تماماً سنقوم بتنظيم التيار i_{sd} باستخدام المنظم التناسبي التكاملي (Proportional&Integrator Regolator) وسنقوم بإهمال الاضطراب الداخلي $(\omega\phi_{sq})$ عند إجراء الحسابات ولكن ذلك سيكون على حساب إضافته لخرج المنظم كما في الشكل (3-14). لإيجاد ثوابت المنظم نقوم بإيجاد تابع النقل المكافئ لكل من النظام والمنظم معاً وبعد إجراء الحسابات سنجد أن تابع النقل المكافئ كما هو في العلاقة (3.24) :



الشكل (3- 15) : تابع النقل المكافئ في حلقة التيار i_{sd} في المحرك PMSM

$$\frac{i_{sd}}{i_{sd_ref}} = \frac{K_{pd} \cdot (S + \frac{K_{id}}{K_{pd}}) \cdot \frac{1}{L_{sd}}}{S \cdot (S + \frac{R_s}{L_{sd}})} = \frac{K_{pd} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{L_{sd}}}{1 + \frac{K_{pd}}{S} \cdot \frac{1}{L_{sd}}} = \frac{K_{pd}}{L_{sd} \cdot S + K_{pd}} \quad (3.24)$$

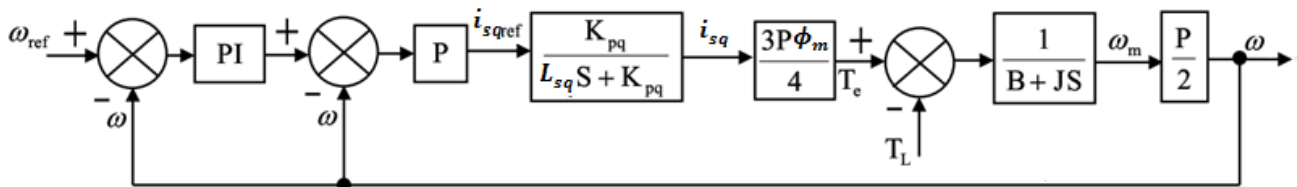
حيث سنعتبر أيضاً مايلي :

1. سنفترض أن $\frac{K_{id}}{K_{pd}} = \frac{R_s}{L_s}$ وذلك من أجل حذف قطب مع صفر.

2. نفرض أيضاً $K_{pd} = 30$ وهو الثابت التناسبي للمنظم وبعد ذلك يتم حساب قيمة K_{iq} .

9-3- ثالثاً : تنظيم التيار والسرعة معاً

حلقة تنظيم التيار هي الحلقة الداخلية أما حلقة تنظيم السرعة فهي الحلقة الخارجية كما في الشكل (3-16)، وبعد حساب ثوابت المنظم التناسبي التكاملية لحلقة تنظيم التيار، سنقوم باستنتاج تابع النقل لحلقة تنظيم السرعة وحساب ثوابت المنظمات المستخدمة (المنظم في هذه الحالة من النوع (P-PI) كما سنجد لاحقاً).

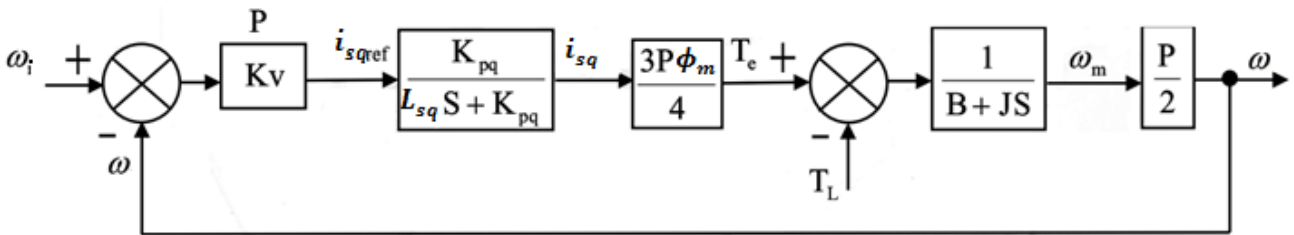


الشكل (3- 16) : تنظيم التيار والسرعة معاً في المحرك PMSM بطريقة FOC عن طريق منظم P-PI

من الشكل نجد أن تابع النقل الذي ينتج يكون من المرتبة الثانية أي أنه يملك قطبان أحدهما سريع والآخر بطيء وعند استخدام منظم تناسبي تكاملي يجب أن نضمن أن يكون قيمة معامل التخامد (ζ) للنظام أكبر أو يساوي الواحد لذلك نقوم بإضافة منظم تناسبي (P) وذلك للحصول على قطبين متمائلين (عندما $\zeta = 1$) ثم نختار منظم تناسبي - تكاملي الذي يضمن لنا الحصول على خطأ ستاتيكي مساوٍ للصفر والمحافظة على مرتبة النظام .

ملاحظة: الشكل القياسي لتابع النقل من المرتبة الثانية $\frac{G.\omega_n^2}{S^2 + 2.\zeta.\omega_n.S + \omega_n^2}$ حيث G ربح النظام بالحالة المستقرة $\omega_n = \frac{1}{\tau_n}$ التردد الزاوي الطبيعي .

1. تنظيم السرعة باستخدام المنظم (P)



الشكل (3- 172): تنظيم التيار والسرعة معا في المحرك PMSM بطريقة FOC عن طريق منظم P-PI

في البداية سنقوم بتنظيم السرعة باستخدام منظم تناسبي فقط وذلك لتقريب أقطاب النظام من بعضها وضمان أن قيمة معامل التخامد للنظام الأكبر أو تساوي الواحد . بعد إجراء الحسابات المناسبة سنصل لتابع النقل التالي :

$$\frac{\omega}{\omega_i} = \frac{K_v \times \frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S + K_{pq}} \times \frac{3 \cdot P \cdot \phi_m}{4} \times \frac{1}{B + J \cdot S}}{1 + K_v \times \frac{K_{pq}}{L_{sq} \cdot S + K_{pq}} \times \frac{3 \cdot P \cdot \psi_m}{4} \times \frac{1}{B + J \cdot S}} \quad (3.25)$$

ببساطة نقوم الآن بتوحيد المقامات ونختزل المقام المشترك فنحصل على ما يلي :

$$\frac{\omega}{\omega_i} = \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{(L_{sq} \cdot S + K_{pq}) \times 4 \times (B + J \cdot S) \times 2 + K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m} \quad (3.26)$$

نقوم بفك الأقواس في المقام و نقسم البسط والمقام على $(8 \cdot L_{sq} \cdot J)$ فنحصل على العلاقة :

$$\frac{\omega}{\omega_i} = \frac{\frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S^2 + \frac{(L_{sq} \cdot B + K_{pq} \cdot J)}{L_{sq} \cdot J} \cdot S + \frac{K_{pq} \cdot B}{L_{sq} \cdot J} + \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}} \quad (3.27)$$

وبالتالي يمكننا بسهولة الوصول لتابع النقل النهائي كما في العلاقة :

$$\frac{\omega}{\omega_i} = \frac{\frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S^2 + \frac{L_{sq} \cdot B + K_{pq} \cdot J}{L_{sq} \cdot J} \cdot S + \frac{8 \cdot K_{pq} \cdot B + K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}} \quad (3.28)$$

و نحسب قيمة ω_{n1} (وهي مقدار كهربائي) عندما $\zeta_1 = 1$:

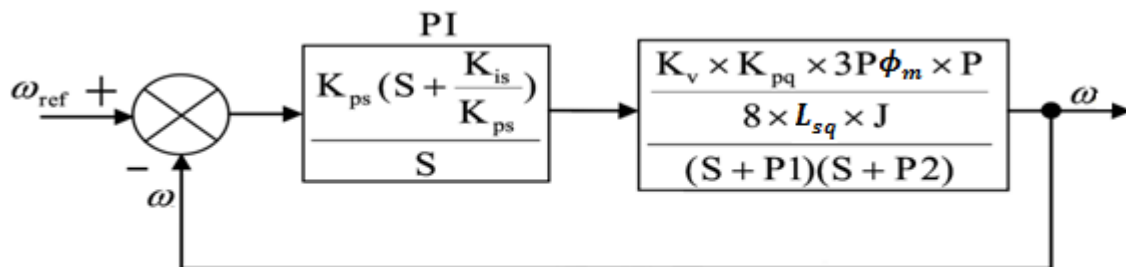
$$2 \cdot \zeta_1 \cdot \omega_{n1} = \frac{L_{sq} \cdot B + K_{pq} \cdot J}{L_{sq} \cdot J} \Rightarrow \omega_{n1} = 0.5 \times \left(\frac{B}{J} + \frac{K_{pq}}{L_{sq}} \right) \quad (3.29)$$

ومن ثم نحسب قيمة K_v كما يلي :

$$K_v = \frac{8 \cdot L_{sq} \cdot J \cdot \omega_{n1}^2 - 8 \cdot K_{pq} \cdot B}{K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m} \quad (3.30)$$

2. تنظيم السرعة باستخدام المنظم P-PI

بعد تنظيم السرعة باستخدام منظم تناسبي نقوم بإضافة منظم تناسبي تكاملي ونقوم بإيجاد تابع النقل للنظام الكلي والمعبّر عن عملية تنظيم التيار والسرعة والمخطط الصندوقي في الشكل (3-18) يبين عملية إضافة منظم تناسبي تكاملي إلى النظام السابق والمنظم بمنظم تناسبي فقط :



الشكل (3-18) : تابع النقل المكافئ لحلقة تنظيم التيار الداخلية في المحرك PMSM

$$\frac{\omega}{\omega_{ref}} = \frac{\frac{K_{ps}(S + \frac{K_{is}}{K_{ps}}) \cdot \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S} \cdot (S + p_1) \cdot (S + p_2)}{1 + \frac{K_{ps}(S + \frac{K_{is}}{K_{ps}}) \cdot \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S} \cdot (S + p_1) \cdot (S + p_2)} \quad (3.31)$$

نفرض أيضاً $P_1 = \frac{K_{is}}{K_{ps}}$ وذلك من أجل حذف صفر مع قطب كما رأينا سابقاً وبالتالي نكتب :

$$\frac{\omega}{\omega_{ref}} = \frac{\frac{K_{ps}}{S} \cdot \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J} \cdot (S + p_2)}{1 + \frac{K_{ps}}{S} \cdot \frac{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J} \cdot (S + p_2)} = \frac{\frac{K_{ps} \cdot K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S \cdot (S + p_2) + \frac{K_{ps} \cdot K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}} \quad (3.32)$$

بسهولة يمكن الحصول على تابع النقل المكافئ للحلقة كما يلي :

$$\frac{\omega}{\omega_{ref}} = \frac{\frac{K_{ps} \cdot K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}}{S^2 + P_2 \cdot S + \frac{K_{ps} \cdot K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m}{8 \cdot L_{sq} \cdot J}} \quad (3.33)$$

وذلك على اعتبار قيمة $P_2 = \omega_{n1}$ ومنه سنستنتج ثوابت المنظم ولكن يجب حساب قيمة ω_{n2} من أجل $\zeta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$:

$$2 \cdot \zeta_2 \cdot \omega_{n2} = P_2 \Rightarrow \omega_{n2} = \frac{\omega_{n1}}{\sqrt{2}}$$

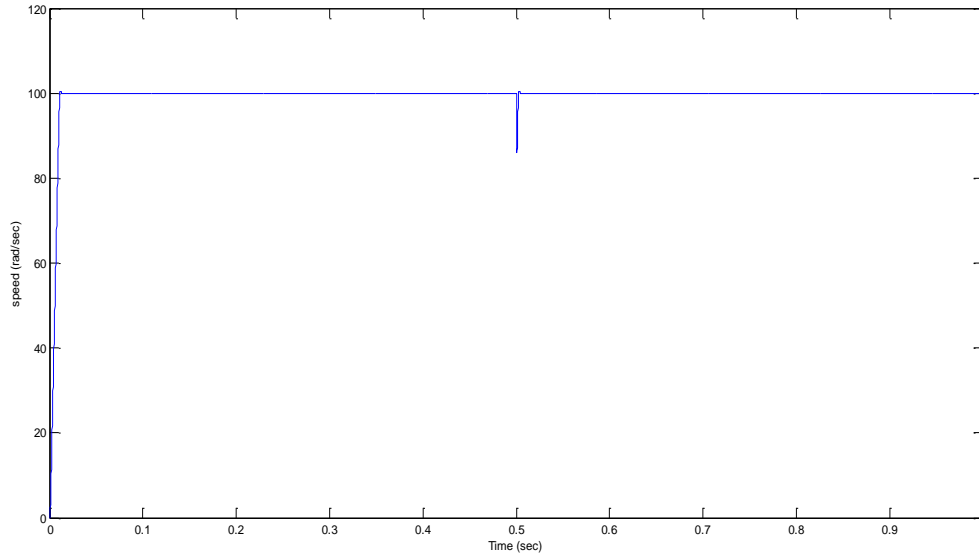
أما قيمة الثابت التناسبي K_{ps} فتستنتج وتعطى كما يلي :

$$K_{ps} = \frac{8 \cdot L_{sq} \cdot J \cdot \omega_{n2}^2}{K_v \cdot K_{pq} \cdot 3 \cdot P^2 \cdot \phi_m} \quad (3.34)$$

أما قيمة الثابت التكاملية K_{is} تستنتج ببساطة من العلاقة التالية: $K_{is} = \omega_{n1} \cdot K_{ps}$ حيث تمّ فرض النسبة $\frac{K_{is}}{K_{ps}} = P_2 = \omega_{n1}$ وذلك من أجل حذف صفر مع قطب.

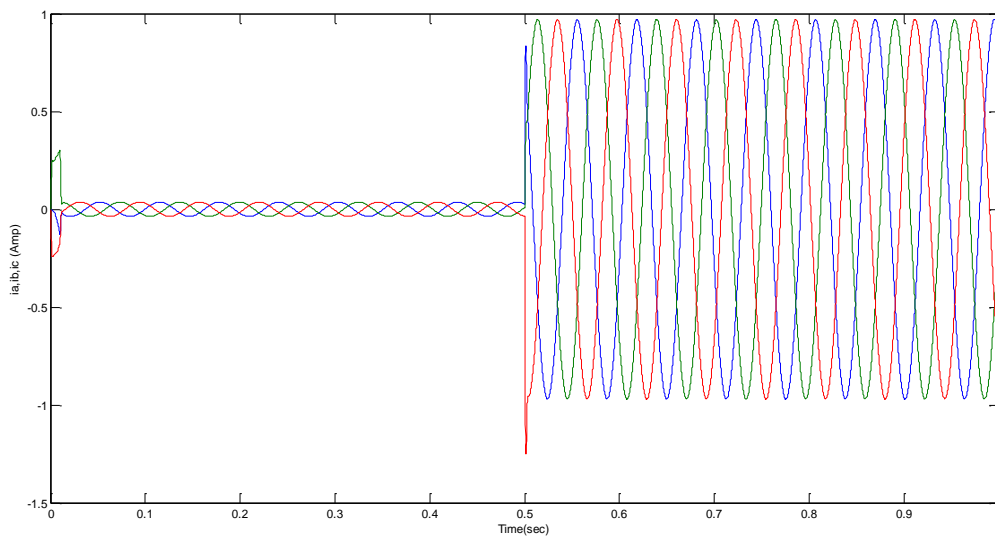
النتائج العملية لتنظيم السرعة والتيار معاً

تنظيم السرعة مع تنظيم التيار :



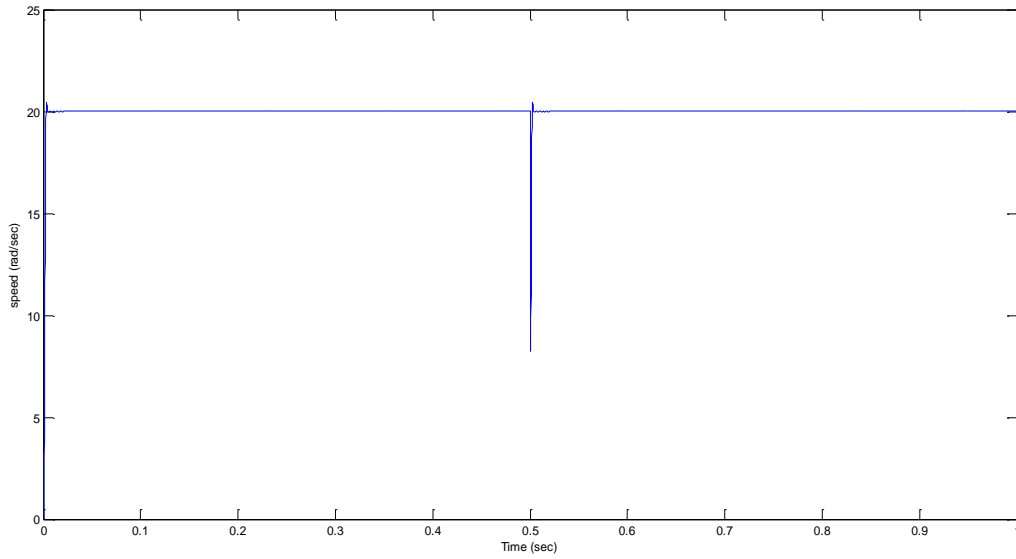
الشكل (19-3) : منحنى السرعة للمحرك PMSM في الماتلاب

نلاحظ أن أداء المحرك أصبح أفضل باستخدام خوارزمية FOC عند تنظيم السرعة مع تنظيم التيار، لقد قمنا بوضع مدرج سرعة من أجل التخلص من تيارات الإقلاع العالية.

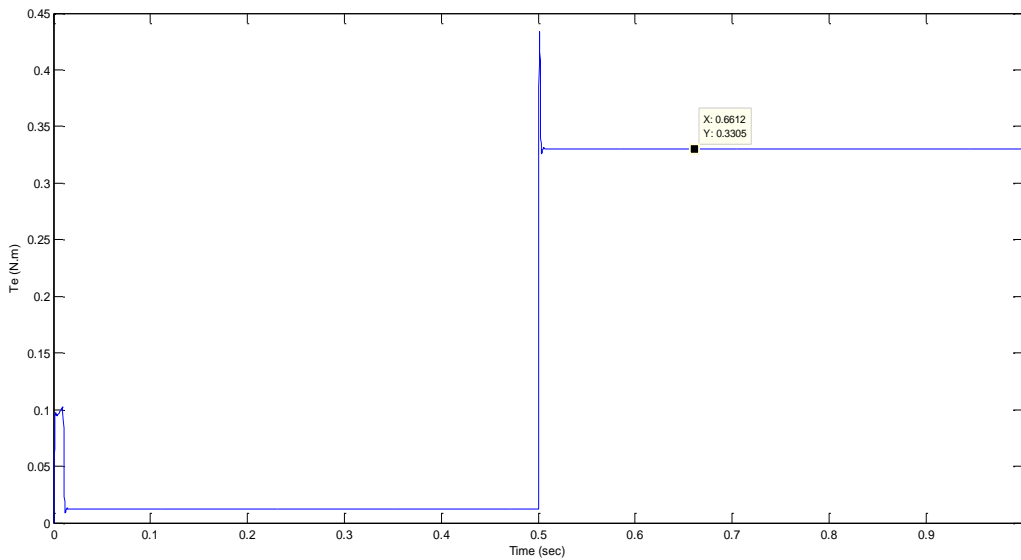


الشكل (20-3) : مميزة التيارات الثلاثية للمحرك PMSM في الماتلاب

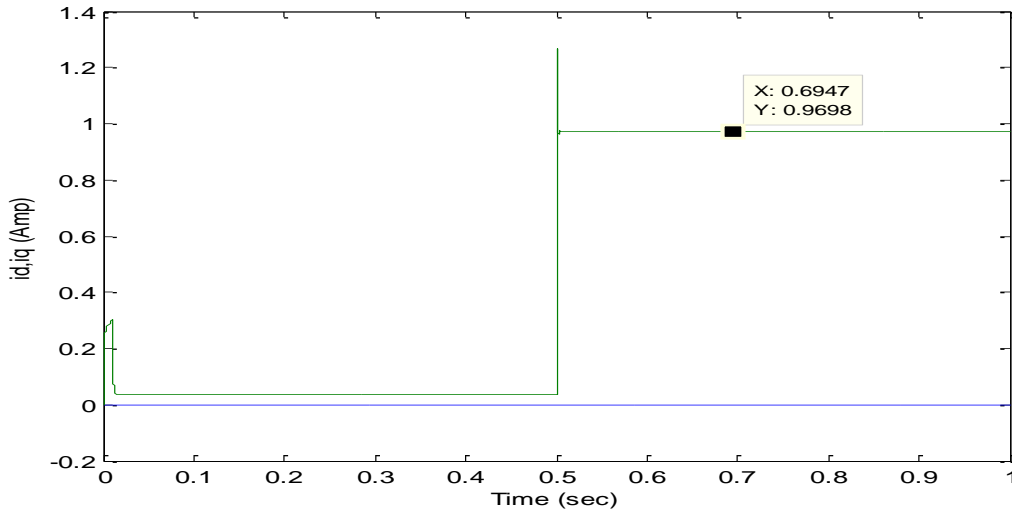
عند العمل على سرعات منخفضة وبالمقارنة بين خوارزمية FOC وخوارزمية V/F نجد أن السرعة عادت إلى التوافق بسرعة كبيرة دون أن ينهار المحرك، حيث أننا لا نحتاج إلى جهد داعم عند العمل على سرعات منخفضة جداً باستخدام طريقة FOC.



الشكل (21-3) : منحنى السرعة للمحرك PMSM في الماتلاب وذلك عند سرعات منخفضة باستخدام طريقة FOC

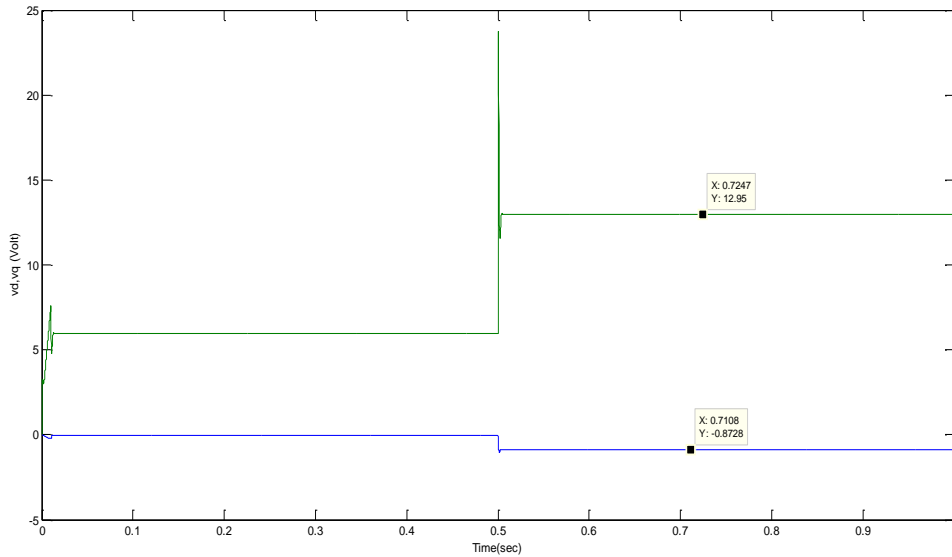


الشكل (22-3) : منحنى العزم للمحرك PMSM في الماتلاب



الشكل (23-3) : مميزة التياران i_{sq} - i_{sd} للمحرك PMSM في الماتلاب

إن التيار I_q يجب أن لا يتجاوز التيار الاسمي للمحرك، ولضمان عدم تجاوز التيار للتيار الاسمي قمنا بوضع Saturation لحلقة تنظيم التيار i_{sq} ، حيث أن قيم التيارات محكومة بالسرعة المرجعية المطلوبة.

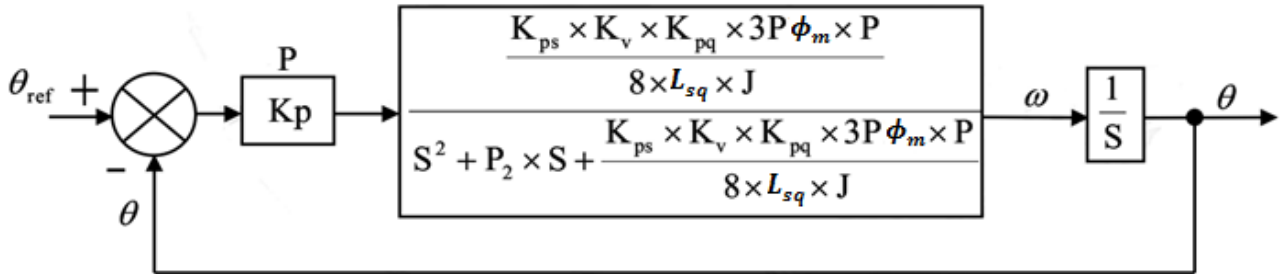


الشكل (24-3) : مميزة الجهدين V_{sq} - V_{sd} للمحرك PMSM في الماتلاب

إن قيمة الجهد الواجب تطبيقه على المحرك يجب أن تكون ضمن الحدود الاسمية للمحرك وأن تكون القالبية (Inverter) قادرة على إعطاء هذا الجهد على الخرج.

10-3- رابعاً : تنظيم الموضع

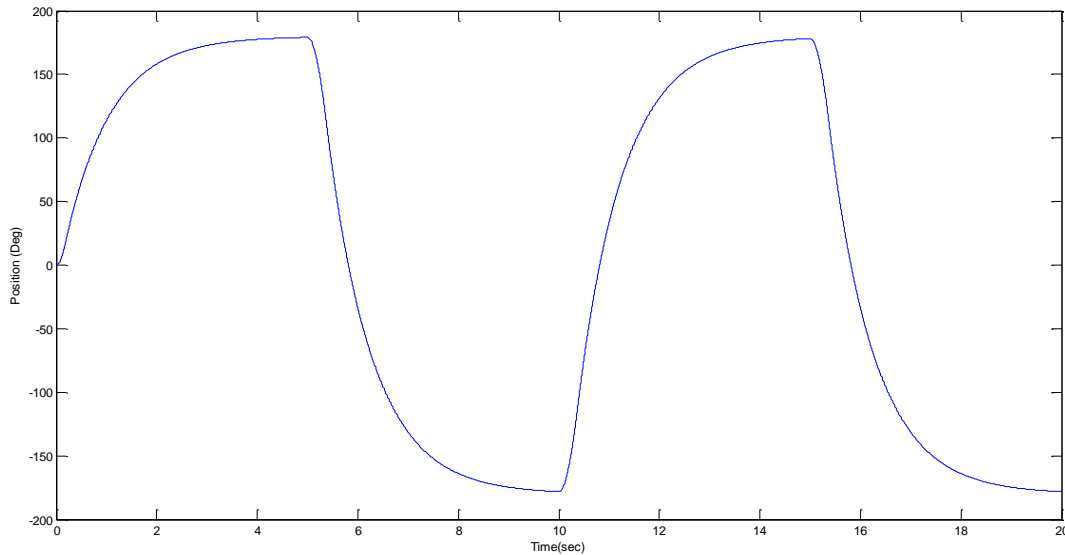
عند تنظيم الموضع سنعتبر حلقة تنظيم السرعة حلقة داخلية بالنسبة لحلقة تنظيم الموضع ولتنظيم الموضع نستخدم منظم تناسبي ونقوم بحساب قيمة الثابت لهذا المنظم تجريبياً والشكل (3-25) يبين المخطط الصندوقي لحلقة تنظيم الموضع :



الشكل (3- 25) : حلقة تنظيم الموضع في المحرك PMSM

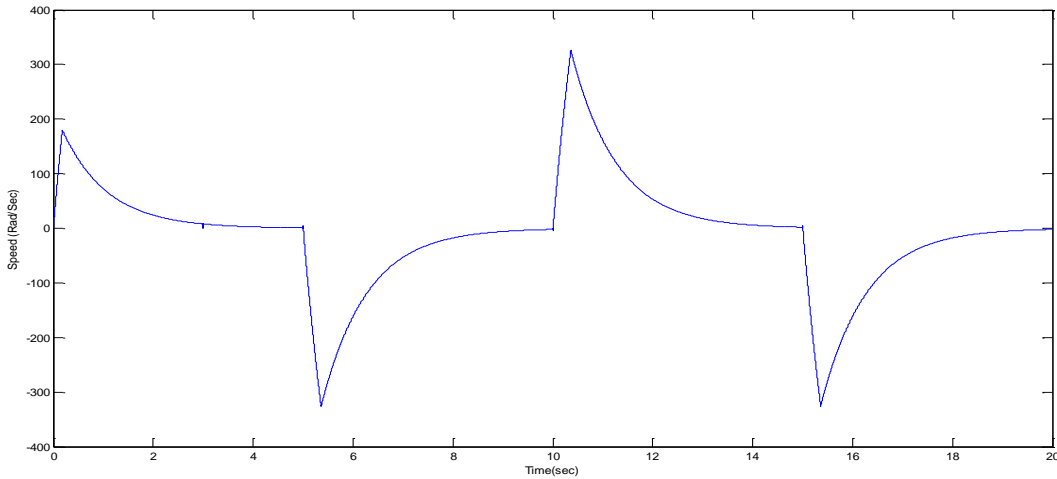
نتائج تنظيم الموضع

من أجل قيمة مرجعية للموضع يتم إدخالها عن طريق مدرج تتراوح قيمته بين (180→+180) وذلك من أجل قيمة $Kp=1$ نلاحظ عملية تنظيم الموضع :



الشكل (3-26) : تنظيم الموضع

والشكل (3-27) يوضح سرعة استجابة المحرك لتحقيق الموضع المطلوب :



الشكل (27-3) : منحنى السرعة عند تنظيم الوضع

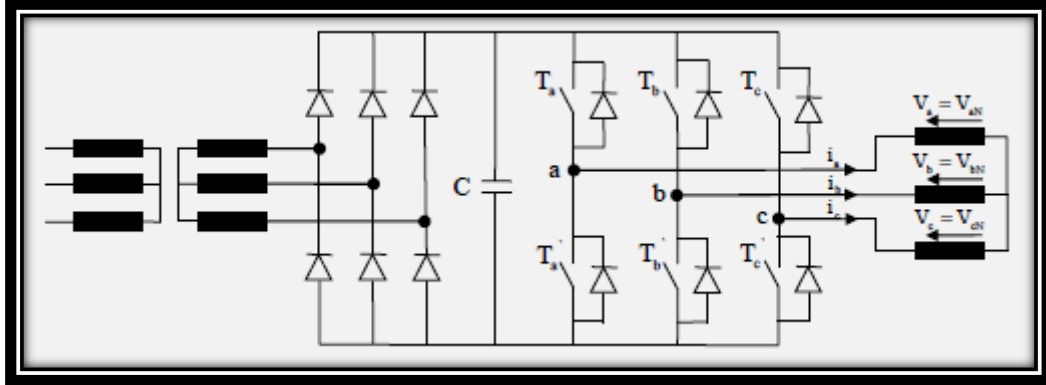
الخلاصة: تم في الفقرات السابقة تنظيم كل من التيار ثم التيار والسرعة ثم الوضع والسرعة .

11-3- الخاتمة

وجدنا أن طريقة $V/F=constant$ تعطي معلومة عن الجهد كطويلة ولا تعطي معلومة عن مكان الدوار (زاوية الدوار) لذلك لا تستخدم هذه الطريقة في أنظمة القيادة الحديثة (Inverter) للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة. أما طريقة التحكم بالفيض الموجه فتعطي معلومة عن شعاع الجهد المطبق على المحرك كطويلة وزاوية حيث قمنا بتوجيه تيار الثابت وفق المحور q (والمحور d المنطبق على القطب الشمالي للمغناطيس الدائمة تم توجيهه نحو الصفر) وبالتالي فإنه بمعرفة الزاوية نستطيع توليد العزم الأعظمي المطلوب من المحرك المتواقت، والجدير بالذكر أنه في هذه الخوارزمية يتم الاعتماد بشكل كبير على بارامترات المحرك والتي هي عرضة للتغيير على طول فترة العمل مما يجعل هذا النظام ذو حساسية عالية لتغيير بارامترات المحرك بالإضافة إلى أن هذه الخوارزمية تتصف بالصعوبة وأنها تحتاج إلى حساس سرعة دقيق، حيث إن أي خطأ في حساب السرعة سنحصل على زاوية توجيه خاطئة.

الفصل الرابع

التمثيل الرياضي لقالبه الجهد المسؤولة عن تغذية المحرك



4-1- مقدمة

إن أغلب خوارزميات التحكم والقيادة تعتمد على إيجاد إشارة مستمرة مع الزمن للجهد الواجب تطبيقه على المحرك. إن إشارة الجهد هذه لا يمكن تطبيقها على المحرك مباشرة في أي حال من الأحوال لذا لا بد من المرور بمرحلة وسيطة للحصول على هذا الجهد. المرحلة الوسيطة تتكون من عنصرين أساسيين هما قالبه الجهد وخوارزمية تعديل عرض النبضة التي تمكن من الحصول على النبضات الواجب تطبيقها على ترانزستورات القالبه للحصول على صورة الجهد المطلوب من خوارزمية التحكم والقيادة.

إن الجهود الناتجة من خرج منظمات PID لا يمكن تطبيقها مباشرة على المحرك لأن هذه الجهود ذات قيم منخفضة وهي عبارة عن صورة عن الجهود الحقيقية المطلوب تطبيقها لتغذية المحرك، لذلك لا بد من وجود مرحلة وسيطة بين المنظمات والمحرك يتم فيها تغيير مطال هذه الجهود ، ومبدلة الجهد تحقق هذه الغاية حيث نحصل في خرج المبدلة على جهد ذو تردد ومطال متغيرين يمكن التحكم بهما من خلال التحكم بالنبضات المطبقة على المفاتيح الإلكترونية في المبدلة.

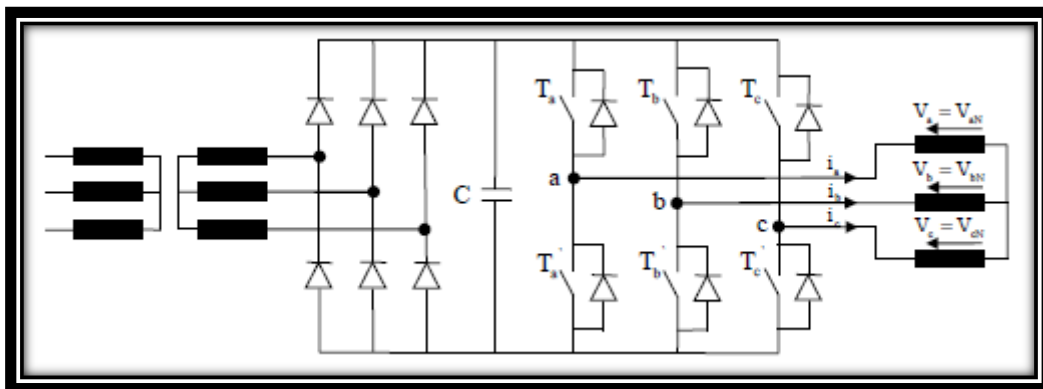
4-2- المبدلة الستاتيكية

تتكون المبدلة بشكل عام من :

1- مقوم جسري ديودي أحادي أو ثلاثي الطور وذلك حسب استطاعة المحرك المراد تغذيته (حيث أن المقوم الجسري الثلاثي الطور يعطي على خرجه جهد أكبر من الجهد على خرج المقوم أحادي الطور) هذا المقوم يحول الجهد المتناوب المطبق على دخله إلى جهد مستمر.

2- قالبه جهد مؤلفة من ستة ترانزستورات (وفي أغلب المبدلات الصناعية تكون الترانزستورات هي من النوع IGBT).

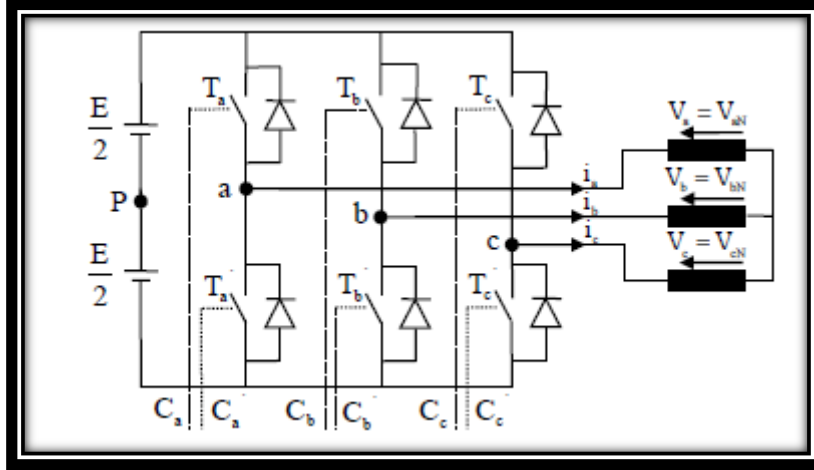
يبين الشكل (4-1) المخطط العام لمبدلة ستاتيكية تغذي محرك تحريضي ثلاثي الطور.



الشكل (4-1): المخطط العام للمبدلة الستاتيكية

4-3- قالبه الجهد

تعمل قالبه الجهد على تحويل الجهد المستمر المقدم من خرج المقوم الجسري إلى جهد متناوب منقطع يستخدم لتغذية المحرك التحريضي، لأن تحليل فورييه لإشارة الجهد المتقطع يبين أن المركبة الأساسية للجهد الناتج عن القالبه هي مركبة جيبيه وكما نعلم أن الجهد الذي يطبق على المحرك يفضل أن يكون جيبياً. يبين الشكل التالي مخطط قالبه الجهد والتي تتكون من ثلاثة أعمدة كل منها يحتوي على ترانزستورين موصول معهما على التفرع والتضاد ديودين مسار حر.



الشكل (4-2): قالبه الجهد ثلاثية الطور

نعتبر أن تبديل القواطع يتم بشكل لحظي بإهمال الزمن الميت، حيث إن الزمن الميت الفعلي يأخذ قيمة ضمن المجال $[5 \rightarrow 2] \mu s$ وهي قيمة صغيرة جداً مقارنة مع دور التقطيع الأعظمي للقالبه ولذلك يمكن إهمالها. في الشكل (4-2):

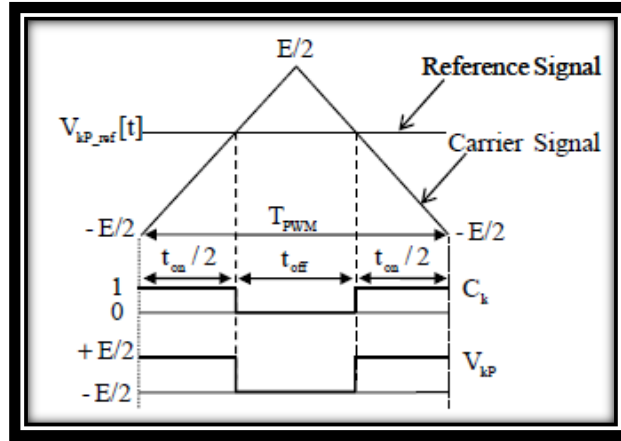
- تشير E إلى الجهد المستمر المطبق على دخل القالبه وقد تم تقسيم المنبع إلى قسمين باستخدام النقطة الوهمية P وذلك لتسهيل الدراسة حيث سيتم اعتبار P نقطة مرجعية.
- عبارة عن تابع ثنائي يمثل حالة الترانزستورات في العمود k. $C_k; k = a, b, c$
- لتجنب حدوث دائرة قصيرة في قالبه الجهد يجب أن يكون أحد الترانزستورين الموجودين في العمود الواحد في حالة وصل الترانزستور الآخر في حالة فصل وبالتالي فإن:

$$C_k = \bar{C}_k \quad \text{أي } \bar{C}_k \text{ هو متمم } C_k, \text{ حيث يعرف التابع } C_k \text{ كما يلي :}$$

$$\text{إذا كان الترانزستور العلوي في حالة وصل (تمرير) } C_k = 1.$$

$$\text{إذا كان الترانزستور العلوي في حالة فصل (عدم تمرير) } C_k = 0.$$

يتم تحديد لحظة التبديل وبالتالي الحصول على النبضات الواجب تطبيقها على ترانزستورات القالبه باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة، التي تعتمد على مقارنة إشارة مرجعية (Signal Reference) مع إشارة حاملة (Carrier-Signal) والشكل (4-3) يبين مبدأ عمل طريقة تعديل عرض النبضة.



الشكل (3-4): مبدأ عمل طريقة تعديل النبضة

من الشكل (3-4) نجد أنه تم مقارنة إشارة الجهد المرجعي مع إشارة مثلثية وكان الناتج هو النبضات الواجب تطبيقها على الترانزستورات، ومنه تم الحصول على قيمة الجهد على خرج القالبه، وذلك كما يلي:
تعطى علاقة جهود الطور V_{kp} على خرج القالبه بالنسبة للنقطة المرجعية P بالشكل التالي :

$$V_{kp} = C_k E - \frac{E}{2} \quad ; k = a, b, c \quad (4.1)$$

والقيمة الوسطية لجهود الطور V_{kp} في اللحظة (t) للنقطة المرجعية P خلال دور تعديل عرض النبضة T_{pwm} تعطى إعتماً على الشكل (4-3) بالعلاقة التالية :

$$V_{kp-av}[t] = \frac{1}{T_{pwm}} \frac{E}{2} (t_{on} - (T_{pwm} - t_{on})) = E \alpha_k[t] - \frac{E}{2} \quad (4.2)$$

حيث $\alpha_k[t] = \frac{t_{on}}{T_{pwm}}$ نسبة تمرير الترانزستور العلوي في العمود K وتأخذ القيم التالية :

$$0 \leq \alpha_k[t] \leq 1$$

من العلاقة (4-2) نجد أن :

$$\alpha_k[t] = \frac{V_{kp-av}[t] + \frac{E}{2}}{E} \quad (4.3)$$

لإيجاد جهود الطور المطبقة على المحرك والمأخوذة بالنسبة للنقطة المرجعية N نقوم بما يلي :
باعتبار أن الحمل متوازن ، فإن :

$$V_{aN} + V_{bN} + V_{cN} = 0$$

باستخدام جهود الخط نجد :

$$\begin{aligned} V_{aN} &= -(V_{bN} + V_{cN}) \\ V_{aN} &= -(V_{ba} + V_{aN} + V_{ca} + V_{aN}) \end{aligned}$$

$$V_{aN} = -(V_{ba} - V_{Na} + V_{ca} - V_{Na}) = V_{ba} - V_{ca} - 2V_{aN}$$

$$V_{aN} = \frac{1}{3} (V_{ab} - V_{ca})$$

بكتابة العلاقة السابقة بالنسبة للنقطة المرجعية الوهمية P نجد :

$$V_{aN} = \frac{1}{3} (V_{ap} - V_{bp} - V_{cp} + V_{ap})$$

$$V_{aN} = \frac{1}{3}(2V_{ap} - V_{bp} - V_{cp}) \quad (4.4)$$

وبطريقة مشابهة نوجد V_{cN}, V_{bN} :

$$V_{bN} = \frac{1}{3}(2V_{bc} - V_{ab}) = \frac{1}{3}(2V_{bp} - V_{cp} - V_{ap}) \quad (4.5)$$

$$V_{cN} = \frac{1}{3}(2V_{ca} - V_{bc}) = \frac{1}{3}(2V_{cp} - V_{ap} - V_{bp}) \quad (4.6)$$

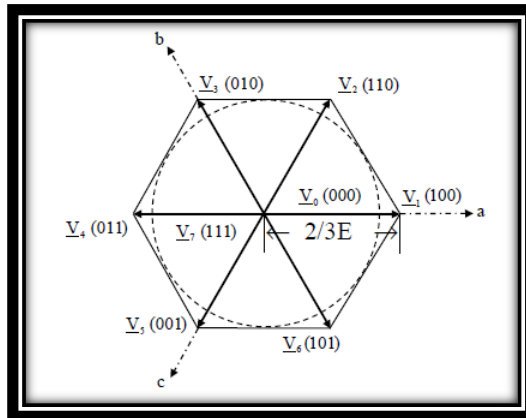
بتعويض العلاقة (4.1) في العلاقة (4.4), (4.5), (4.6) نجد :

$$V_{aN} = \frac{1}{3}E(2C_a - C_b - C_c) \quad (4.7)$$

$$V_{bN} = \frac{1}{3}E(2C_b - C_a - C_c) \quad (4.8)$$

$$V_{cN} = \frac{1}{3}E(2C_c - C_b - C_a) \quad (4.9)$$

بحسب قيم التوابع C_k المعبرة عن حالة الترانزستورات في القالبية فإن العلاقة (4.7) تعطي ثمانية أشعة جهد من بينهما شعاعين صفريين وستة أشعة تمتلك المطال نفسه وتكون مزاحة عن بعضها بزاوية 60 درجة كما في الشكل التالي :



الشكل (4-4): أشعة الجهد المتولدة على خرج القالبية تبعاً لحالة ترانزستورات القالبية

والجدول التالي يبين أشعة الجهد المتولدة على خرج القالبية تبعاً لحالة المفاتيح الإلكترونية في القالبية :

V_k	C_a	C_b	C_c	V_{aN}	V_{bN}	V_{cN}	V_{ap}	V_{bp}	V_{cp}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
V_0	0	0	0	0	0	0	$-E/2$	$-E/2$	$-E/2$	0	0	0
V_1	1	0	0	$2E/3$	$-E/3$	$-E/3$	$E/2$	$-E/2$	$-E/2$	E	0	$-E$
V_2	1	1	0	$E/3$	$E/3$	$-2E/3$	$E/2$	$E/2$	$-E/2$	0	E	$-E$
V_3	0	1	0	$-E/3$	$2E/3$	$-E/3$	$E/2$	$E/2$	$-E/2$	$-E$	E	0
V_4	0	1	1	$-2E/3$	$E/3$	$E/3$	$-E/2$	$E/2$	$E/2$	$-E$	0	E
V_5	0	0	1	$-E/3$	$-E/3$	$2E/3$	$-E/2$	$-E/2$	$E/2$	0	$-E$	E
V_6	1	0	1	$E/3$	$-2E/3$	$E/3$	$E/2$	$-E/2$	$E/2$	E	$-E$	0
V_7	1	1	1	0	0	0	$E/2$	$E/2$	$E/2$	0	0	0

الشكل (4-5): حالات ترانزستورات القالبية وجهود خرج القالبية الناتجة عن تطبيق تلك الحالات

وتعطى القيمة الوسطية في اللحظة t لجهود الطور على خرج القالبه بالنسبة للنقطة المرجعية N خلال دور تعديل عرض النبضة T_{pwm} كما يلي :

$$V_{aN_{av}}[t] = \frac{1}{3}E(2\alpha_a[t] - \alpha_b[t] - \alpha_c[t]) \quad (4.10)$$

$$V_{bN_{av}}[t] = \frac{1}{3}E(2\alpha_a[t] - \alpha_b[t] - \alpha_c[t]) \quad (4.11)$$

$$V_{cN_{av}}[t] = \frac{1}{3}E(2\alpha_a[t] - \alpha_b[t] - \alpha_c[t]) \quad (4.12)$$

من العلاقة (4.2) يمكن أن نكتب :

$$\alpha_k[t] = \frac{1}{E}V_{kP_{av}}[t] + \frac{1}{2} \quad (4.13)$$

حسب كيرشوف لدينا :

$$V_{kP_{av}}[t] = V_{kN_{av}}[t] + V_{NP}[t]$$

يمكن إذا كتابة العلاقة (4.13) كما يلي :

$$\alpha_k[t] = \frac{1}{E}(V_{kN_{av}}[t] + V_{NP}[t]) + \frac{1}{2} \quad (4.14)$$

من العلاقة نجد أنه عند اعتبار $V_{NP}[t] = 0$ ، تكون القيمة العظمى لجهود الطور التي يمكن توليدها على خرج القالبه نسبة للنقطة N تساوي $E/2$.

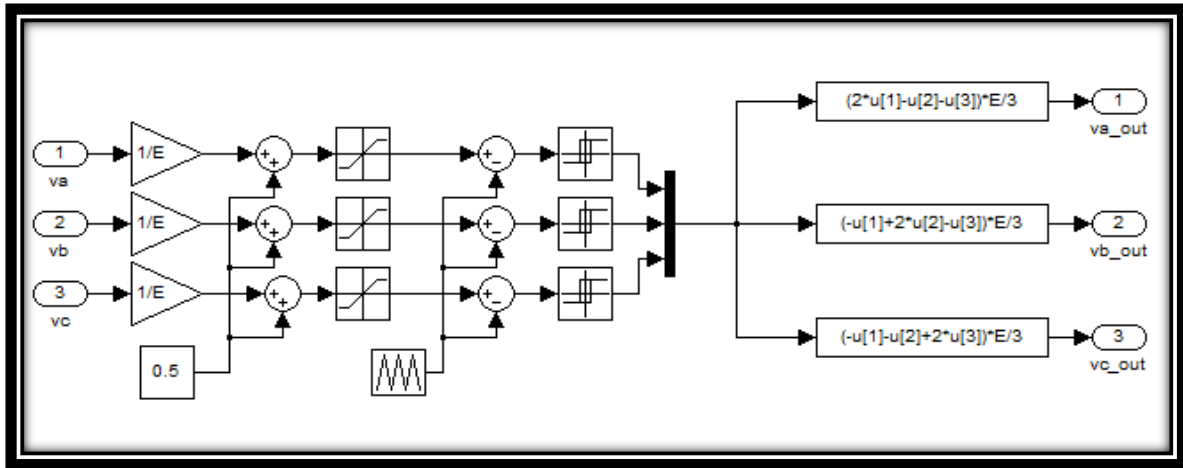
4-4- التحكم بقالبية الجهد

إن الطرق الحديثة لقيادة المحرك المتواقت (التحكم بالفيض الموجه ، التحكم المباشر بالعزم ،...) تقود إلى استراتيجيتين مختلفتين للتحكم بقالبية الجهد وهما :

- 1- القيادة غير المباشرة لقالبية الجهد.
- 2- القيادة المباشرة لقالبية الجهد.

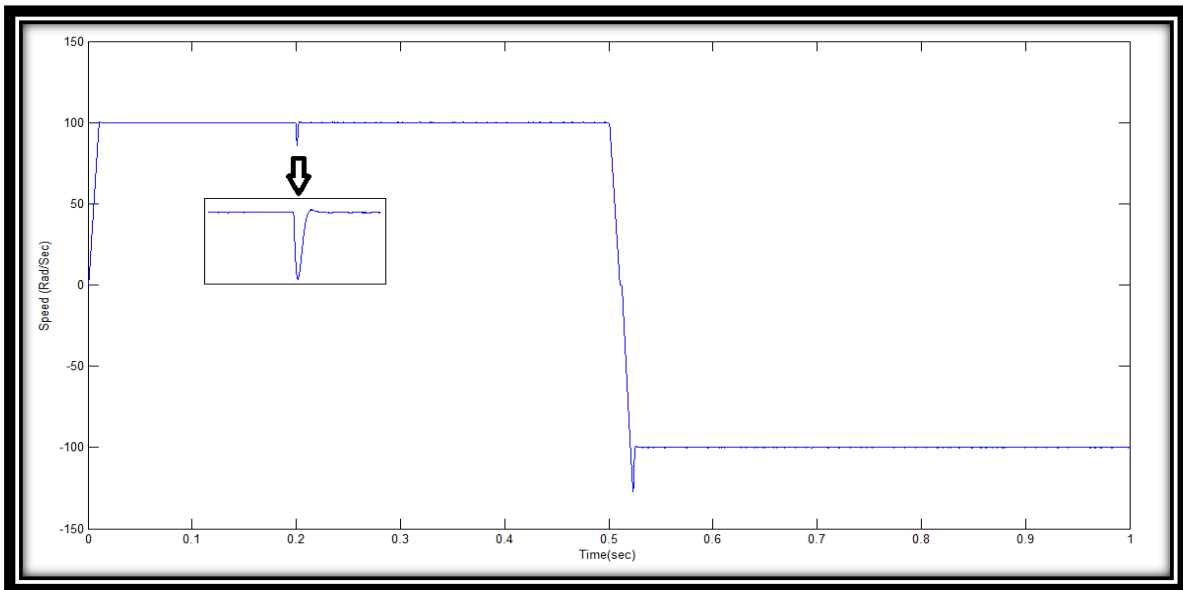
القيادة غير المباشرة لقالبية الجهد

إن هذه الطريقة تستخدم منظمات PID والتي تعطي على خرجها الجهود المرجعية التي تتم مقارنتها بإشارة مثلثية أو سن منشار من أجل توليد نبضات القدر للمفاتيح الإلكترونية في القالبية، حيث تدعى هذه الطريقة لتوليد النبضات بطريقة تعديل عرض النبضة PWM .
يبين الشكل (6-4) مخطط تمثيل هذه الطريقة :



الشكل (6-4): المخطط الصندوقي للقيادة غير المباشرة لقالبية الجهد

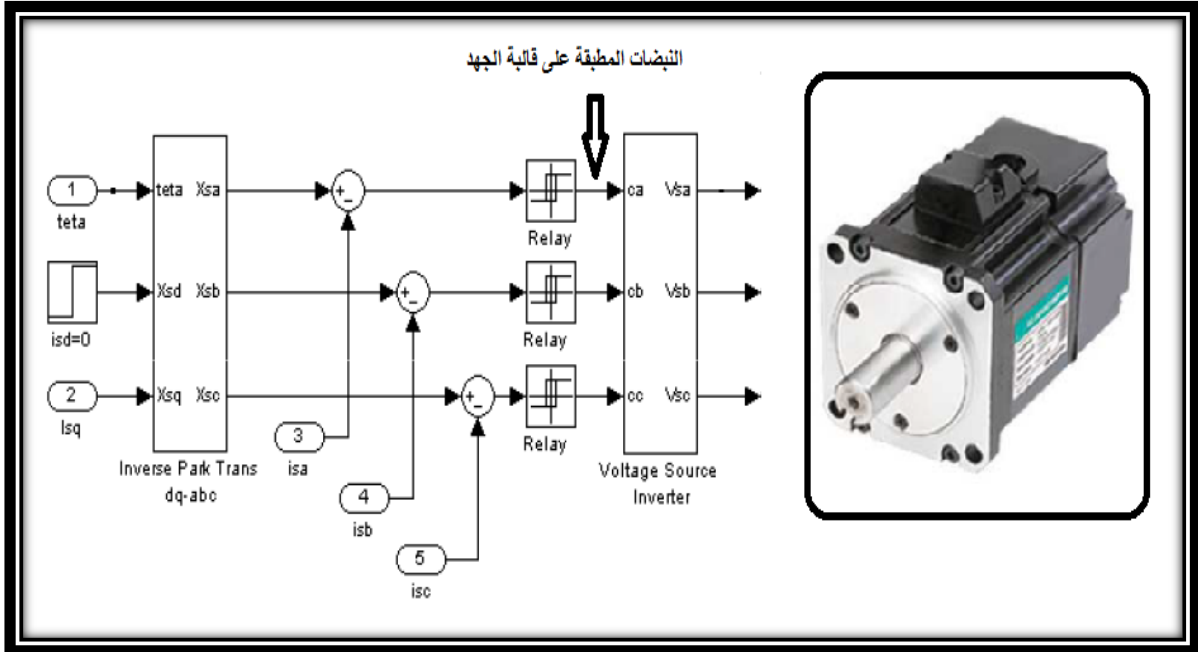
نتائج تنظيم السرعة مع تنظيم التيار في نظام FOC :



الشكل (7-4): إشارة السرعة باستخدام القيادة غير المباشرة لقالبية الجهد

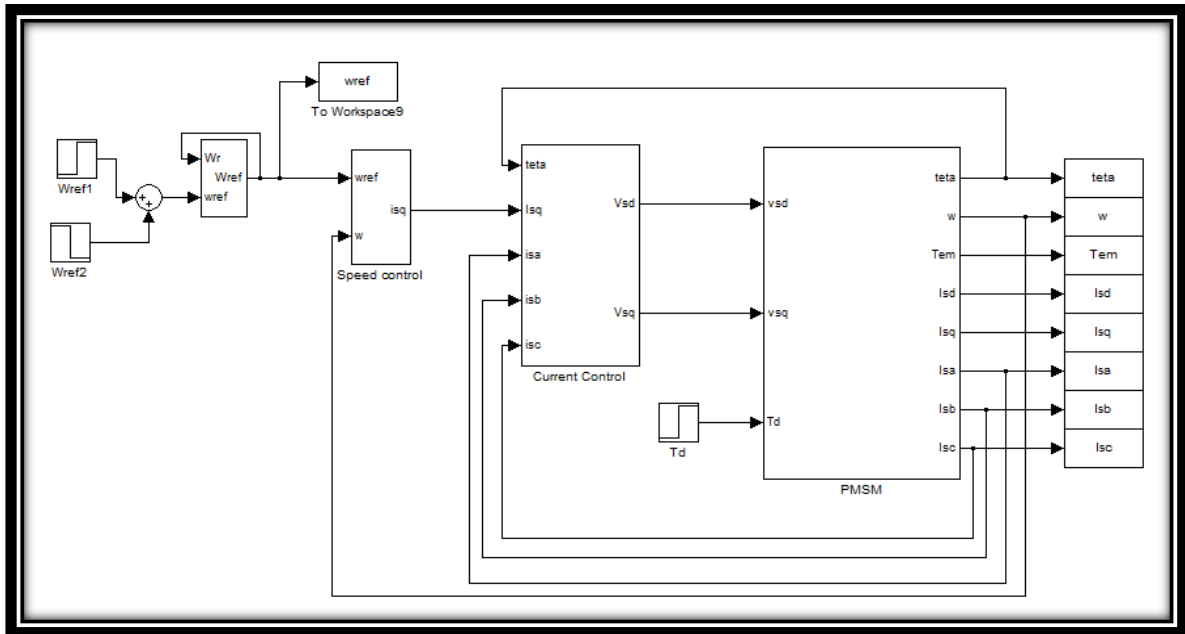
القيادة المباشرة لقالبه الجهد

تستخدم هذه الطريقة منظمات ذات عروة بطاء بمستويين والتي تشكل نظام التحكم بالتيارات ثلاثية الطور، يبين الشكل التالي التمثيل الصندوقي لهذه الطريقة حيث تكون مخارج هذه المنظمات عبارة عن أوامر التبديل لقالبه الجهد.



الشكل (4-8): المخطط الصندوقي للقيادة المباشرة لقالبه الجهد

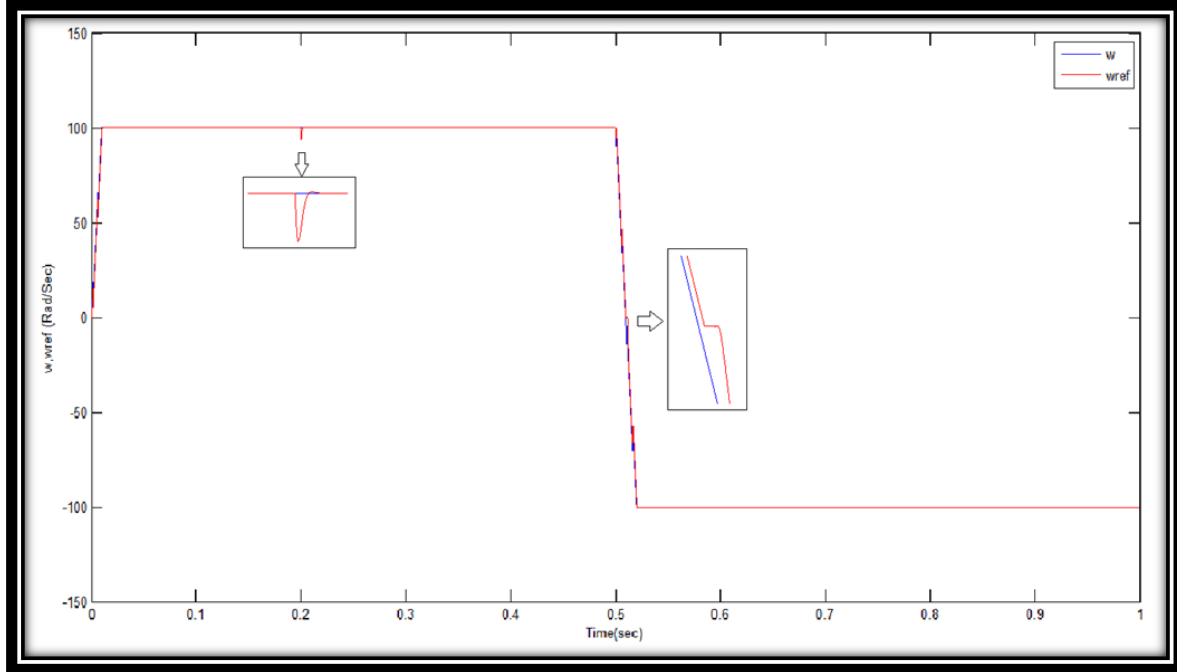
سنقوم الآن بتنظيم السرعة باستخدام منظم $P-PI$ وتنظيم التيار باستخدام المنظمات البطائية وذلك في المحرك المتوافق ذي المغناطيس الدائمة في نظام المحاور d, q (حيث إن المحور d متوضع على القطب الشمالي للمغناطيس الدائمة للمحرك المتوافق) وبوجود قالبه الجهد (Voltage source Inverter)



الشكل (4-9): المخطط الصندوقي لتنظيم السرعة باستخدام منظم $P-PI$ وتنظيم التيار باستخدام المنظم البطائي

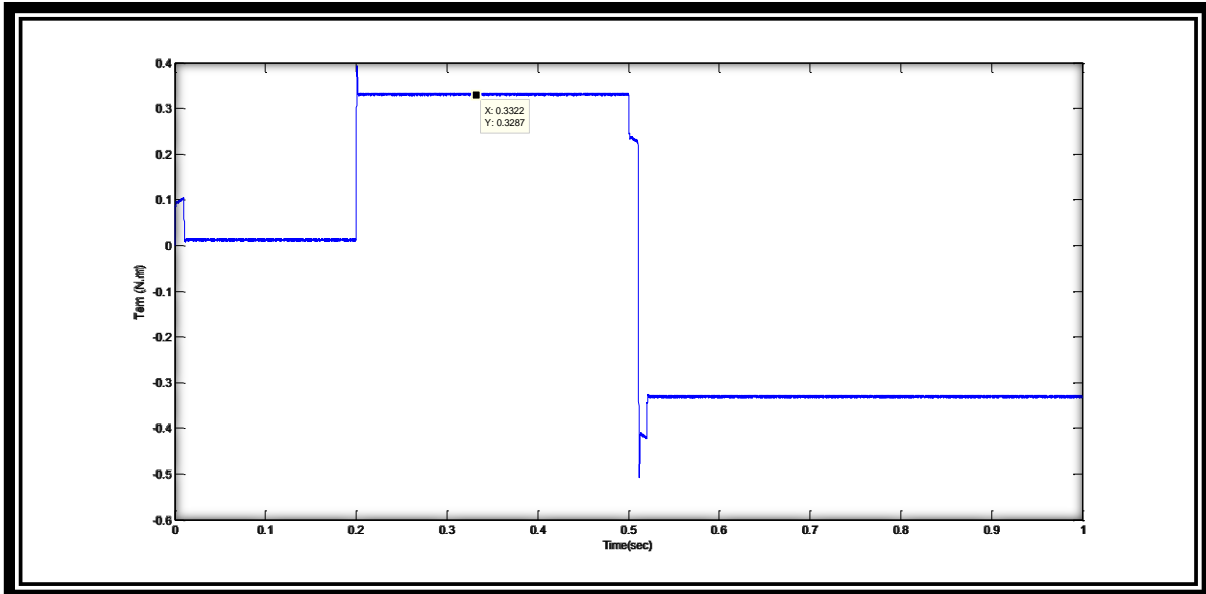
نتائج تنظيم السرعة مع تنظيم التيار

الشكل التالي يبين الفرق بين السرعة المرجعية والسرعة الحقيقية ، حيث قمنا بعكس جهة الدوران عند اللحظة (0.5sec).

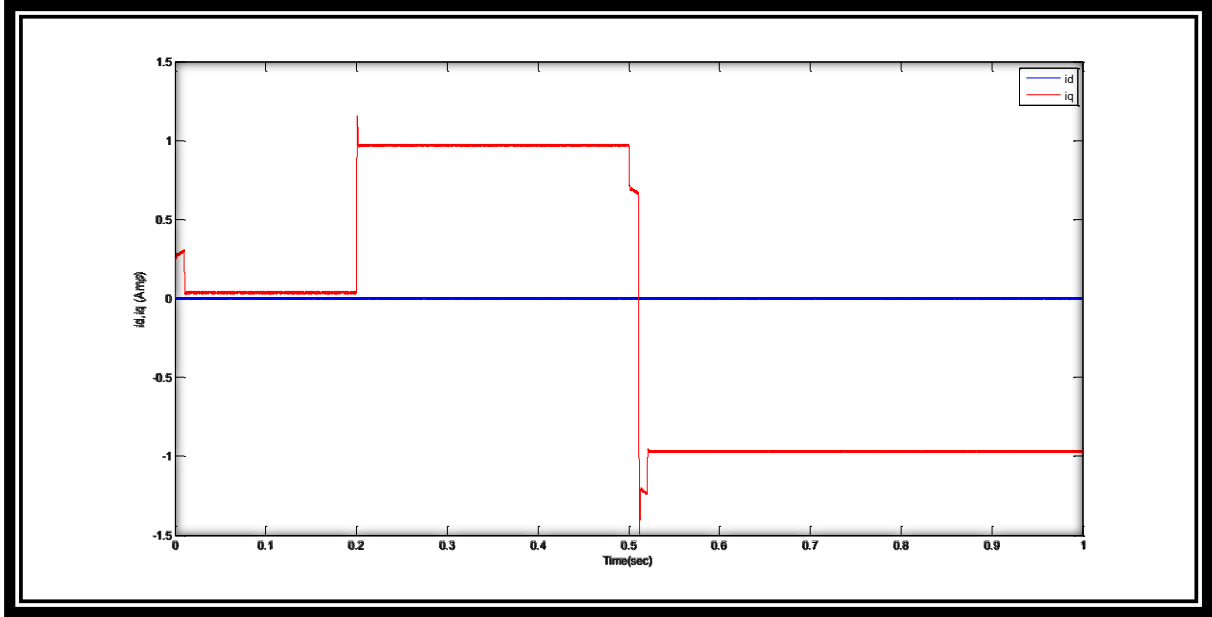


الشكل (4-10): إشارة السرعة الحقيقية وإشارة السرعة المرجعية المطلوبة

نلاحظ أنه لا يوجد اختلاف كبير بين سرعتين وأن الأداء الديناميكي عالي جداً من حيث الوصول إلى السرعة الاسمية بزمن قياسي وزمن الانتقال من السرعة الموجبة إلى السرعة السالبة وذلك كون المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة يتمتع بعزم عطالة صغير.



الشكل (4-11): إشارة العزم للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة

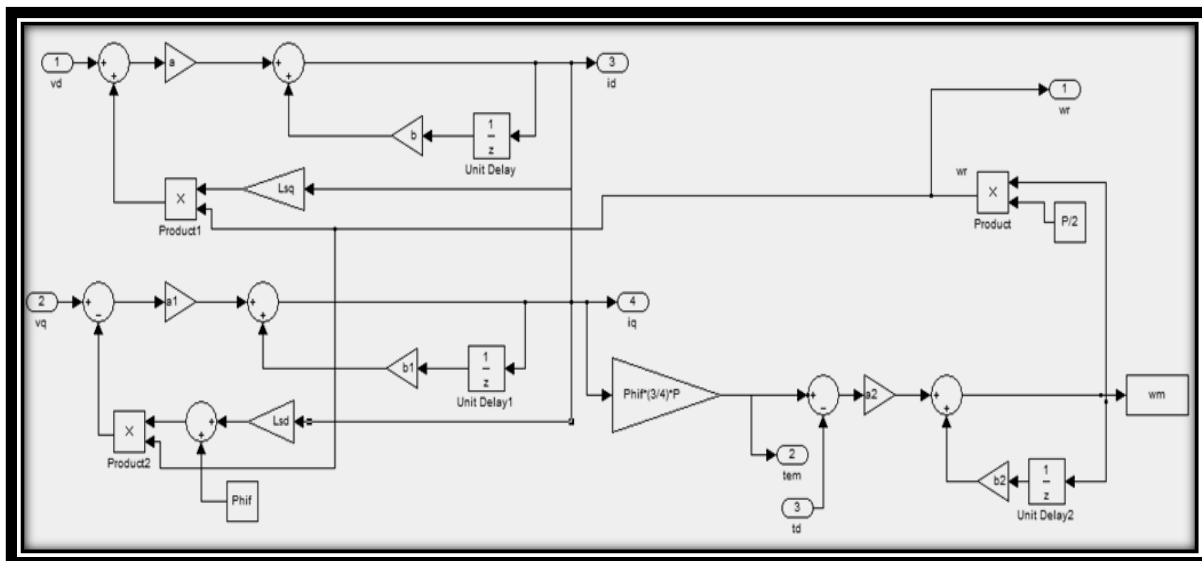
الشكل (4-12): إشارات التيارات i_d , i_q

4-5- الخاتمة

في هذا الفصل قمنا بدراسة المعادلات الرياضية للقالبه التي استخدمت لتغذية المحرك المدروس، والتعرف على طرق التحكم الحديثة لقيادة المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة حيث قمنا بنمذجة نظام القيادة بشكل كامل ضمن بيئة Matlab بوجود القالبه وقمنا بتنظيم السرعة والتيار ولاحظنا أنه لا يوجد اختلاف كبير بين خرج المنظمات وخرج القالبه.

الفصل الخامس

التمثيل الرقمي للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة وأنظمة قيادته



5-1-1 مقدمة

إن استخدام المعالجات المصغرة أو جهاز الحاسب أو أي متحكم قابل للبرمجة في عمليات التحكم الآلي يتطلب تمثيل نظام القيادة ضمن المعالج، وكما نعلم فإن المعالجات تتعامل مع إشارات رقمية، والإشارة الرقمية عبارة عن إشارة تتغير بين حالتين فقط أي تأخذ قيمة الصفر المنطقي أو قيمة الواحد المنطقي، وبالتالي لتمثيل نظام ما ضمن المعالج يجب تمثيل هذا النظام بشكل رقمي بحيث يمكن كتابته بأي لغة برمجية وبالتالي يمكن تمثيله ضمن المعالج.

يمكن فهم التمثيل الرقمي لنظام ما إذا افترضنا أنه لدينا تابع ما نريد رسمه، وكما نعلم أنه بإيجاد تكامل هذا التابع وبالتالي حساب مساحته فإنه يمكن رسم منحنى هذا التابع. أيضاً يمكن رسم هذا التابع من خلال معرفة النقاط الممثلة لهذا التابع عند كل لحظة زمنية، أي وكأننا قمنا بتقطيع المنحنى إلى مجموعة من النقاط. كلما زاد عدد النقاط الممثلة للتابع زادت الدقة في رسم المنحنى وذلك لأن زيادة عدد النقاط ضمن مجال زمني محدد يعني أن الفاصل الزمني بين كل نقطتين أصبح أصغر، وبالتالي كلما زاد تردد التقطيع نحصل على دقة أكبر في تمثيل التابع، وبالتالي التمثيل الرقمي لنظام ما يعني تقطيع هذا النظام أي تحويل المعادلة الرياضية الممثلة لهذا النظام من المجال الزمني المستمر إلى المجال الزمني المتقطع، ولانتقال بأي معادلة من المجال الزمني المستمر إلى المجال الزمني المتقطع فإنه يمكن استخدام إحدى معادلتَي أولير التفاضليتين.

5-2-1 معادلتَي أولير

لانتقال بأي معادلة من المجال الزمني المستمر إلى المجال الزمني المتقطع فإنه يمكن استخدام إحدى معادلتَي أولير التفاضليتين :

$$\frac{d_y}{dt} = \frac{y[k] - y[k - 1]}{T} \quad (5.1)$$

$$\frac{d_y}{dt} = \frac{y[k + 1] - y[k]}{T} \quad (5.2)$$

تسمى المعادلة (5.2) معادلة أولير الأمامية، والمعادلة (5.1) معادلة أولير العكسية.

حيث إن :

T : دور التقطيع .

K تعبر عن حالة النظام :

K الحالة الحالية ، k+1 الحالة التالية ، k+1 الحالة السابقة.

5-3-1 التمثيل الرقمي لمعادلة نظام من المرتبة الأولى

ليكن لدينا نظام معادلته الرياضية من المرتبة الأولى تعطى كما يلي :

$$y(t) = \frac{G}{T_s S + 1} \cdot x(t)$$

لتحويل هذه المعادلة إلى المجال الزمني المتقطع نقوم بما يلي :

$$T_s \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = G \cdot x(t) \quad (5.3)$$

بتعويض المعادلة (5.1) في المعادلة (5.3) نجد ما يلي :

$$T_s \frac{y[k] - y[k-1]}{T} + y[k] = G \cdot x[k]$$

وبفرض $a = \frac{T_s}{T}$ نجد :

$$y[k] \left(1 + \frac{T_s}{T}\right) = G \cdot x[k] + \frac{T_s}{T} y[k-1]$$

$$y[k] = \frac{G}{1+a} \cdot x[k] + \frac{a}{1+a} y[k-1] \quad (5.4)$$

والمعادلة السابقة تمثل تابع الانتقال السابق بالشكل الرقمي باستخدام أويلر العكسية.

ومن أجل التمثيل الرقمي للمعادلات الرياضية الممتلئة للمحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة في برنامج الماتلاب فإننا سوف نستخدم معادلة أويلر العكسية.

5-4- التمثيل الرقمي لمعادلات المحرك المتواقت ذي المغناطيس الدائمة

لدينا معادلة الجهد للطور d :

$$V_{sd}(t) = R_s I_{sd}(t) + L_{sd} \frac{dI_{sd}(t)}{dt} - \omega L_{sq} I_{sq}(t)$$

ولتحويلها إلى الشكل الرقمي سوف نعتمد طريقة أويلر العكسية :

$$V_{sd}[k] = R_s I_{sd}[k] + L_{sd} \frac{I_{sd}[k] - I_{sd}[k-1]}{T} - \omega L_{sq} I_{sq}[k]$$

$$V_{sd}[k] + \omega L_{sq} I_{sq}[k] = I_{sd}[k] \left(R_s + \frac{L_{sd}}{T} \right) - \frac{L_{sd}}{T} I_{sd}[k-1]$$

$$I_{sd}[k] = \frac{1}{\left(R_s + \frac{L_{sd}}{T} \right)} \left(V_{sd}[k] + \omega L_{sq} I_{sq}[k] \right) + \frac{\frac{L_{sd}}{T}}{\left(R_s + \frac{L_{sd}}{T} \right)} I_{sd}[k-1]$$

$$I_{sd}[k] = a(V_{sd}[k] + \omega L_{sq} I_{sq}[k]) + b I_{sd}[k-1] \quad (5-5)$$

لدينا معادلة الجهد للطور q :

$$V_{sq}(t) = R_s I_{sq}(t) + L_{sq} \frac{dI_{sq}(t)}{dt} + \omega L_{sd} I_{sd}(t) + \omega \phi_m(t)$$

ولتحويلها إلى الشكل الرقمي سوف نعتمد طريقة أويلر العكسية :

$$V_{sq}[k] = R_s I_{sq}[k] + L_{sq} \frac{I_{sq}[k] - I_{sq}[k-1]}{T} + \omega L_{sd} I_{sd}[k] + \omega \phi_m[k]$$

$$V_{sq}[k] - \omega (L_{sd} I_{sd}[k] + \phi_m[k]) = I_{sq}[k] \left(R_s + \frac{L_{sq}}{T} \right) - \frac{L_{sq}}{T} I_{sq}[k-1]$$

$$I_{sq}[k] = \frac{1}{\left(R_s + \frac{L_{sq}}{T} \right)} \left(V_{sq}[k] - \omega (L_{sd} I_{sd}[k] + \phi_m[k]) \right) + \frac{\frac{L_{sq}}{T}}{\left(R_s + \frac{L_{sq}}{T} \right)} I_{sq}[k-1]$$

$$I_{sq}[k] = a1 \left(V_{sq}[k] - \omega (L_{sd} I_{sd}[k] + \phi_m[k]) \right) + b1 I_{sq}[k - 1] \quad (5 - 6)$$

تعطى معادلة السرعة الميكانيكية :

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_m = (T_{em} - T_d - B\omega_m)$$

بالانتقال إلى الزمن المنقطع حسب أولر العكسية :

$$J \cdot \frac{\omega_m[k] - \omega_m[k - 1]}{T} = T_{em} [k] - T_d [k] - B\omega_m[k]$$

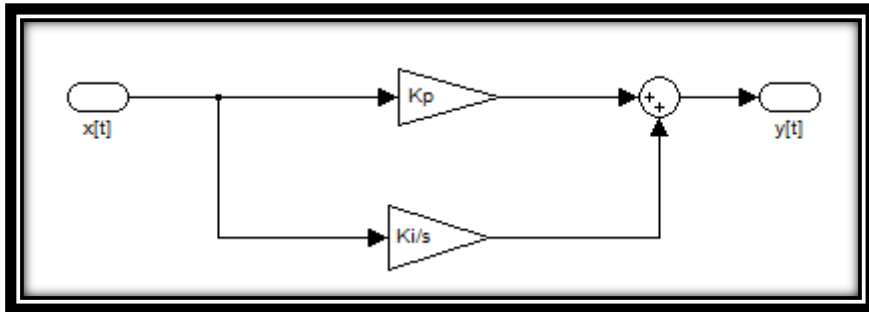
$$\omega_m[k] \left(B + \frac{J}{T} \right) = T_{em} [k] - T_d [k] + \frac{J}{T} \omega_m[k - 1]$$

$$\omega_m[k] = \frac{1}{\left(B + \frac{J}{T} \right)} (T_{em} [k] - T_d [k]) + \frac{\frac{J}{T}}{\left(B + \frac{J}{T} \right)} \omega_m[k - 1]$$

$$\omega_m[k] = a2 (T_{em} [k] - T_d [k]) + b2 \omega_m[k - 1]$$

5-5- التمثيل الرقمي للمنظمات PID

إن الشكل العام لمنظمات PI يعطى بالشكل التالي :



الشكل (5-1): المخطط الصندوقي للمنظم PI

حيث يتألف من جزأين الأول هو الجزء التناسبي والثاني هو الجزء التكاملي

يعبر عن المخطط الصندوقي السابق رياضياً بالمعادلة (5.7) :

$$y(t) = K_p \cdot x(t) + \frac{K_i}{s} \cdot x(t) \quad (5.7)$$

ولتحويلها إلى الشكل الرقمي نقوم بتجزئة المعادلة السابقة إلى جزأين وثم نقوم بتحويل كل جزء على حدة إلى

الشكل الرقمي باستخدام أولر العكسية .

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) \quad (5.8)$$

الجزء الأول :

$$y_1(t) = K_p \cdot x(t)$$

وبالتحويل إلى الشكل الرقمي نحصل على المعادلة التالية :

$$y_1(k) = K_p \cdot x(k) \quad (5.9)$$

الجزء الثاني :

$$y_2(t) = \frac{K_i}{S} \cdot x(t)$$

$$S \cdot y_2(t) = K_i \cdot x(t)$$

$$\frac{dy_2(t)}{dt} = K_i \cdot x(t)$$

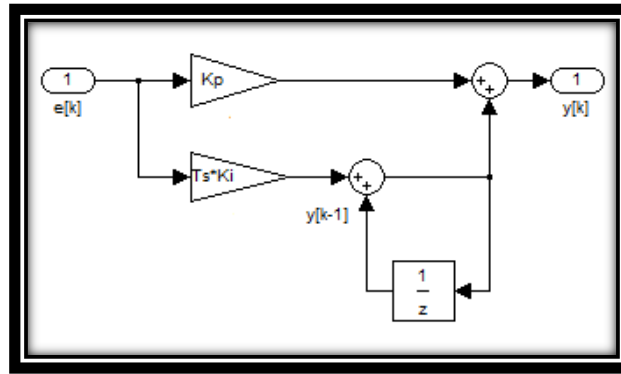
وبتعويض المعادلة (5.1) في المعادلة السابقة :

$$\frac{y_2[k] - y_2[k-1]}{T} = K_i \cdot x(t)$$

$$y_2[k] = T \cdot K_i \cdot x(t) + y_2[k-1] \quad (5.10)$$

وبتعويض العلاقات (5.9) و(5.10) في المعادلة (5.8) بعد تحويلها إلى المجال الرقمي نجد :

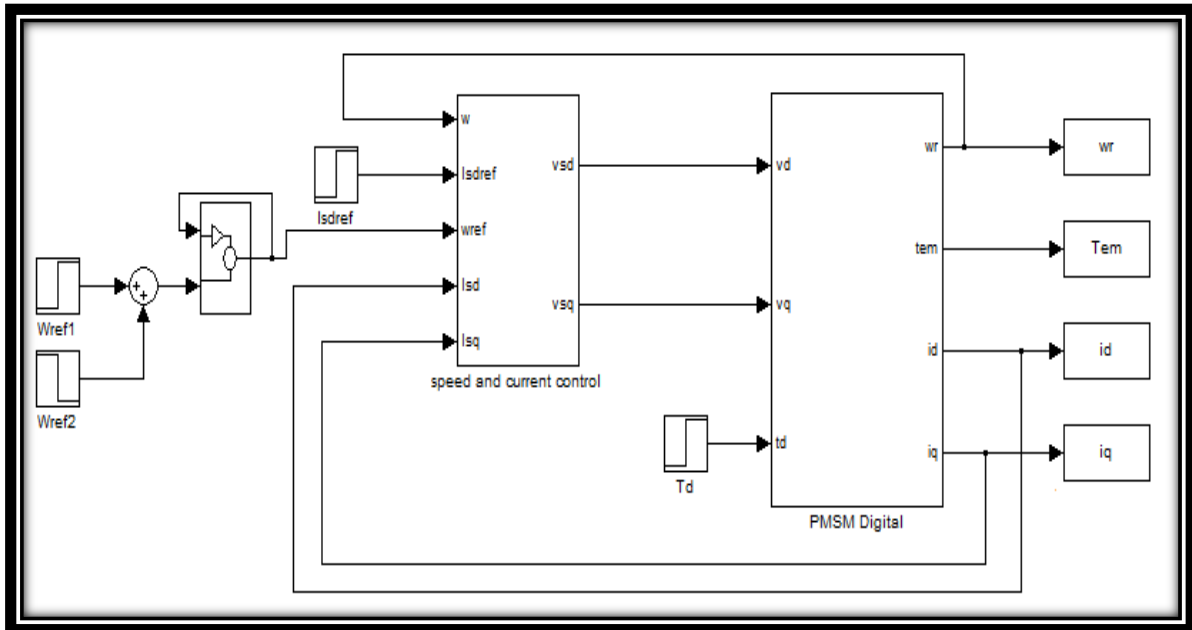
$$y(k) = K_p \cdot x(k) + T \cdot K_i \cdot x(t) + y_2[k-1] \quad (5.11)$$



الشكل (5-2): المخطط الصندوقي للمنظم PID الرقمي

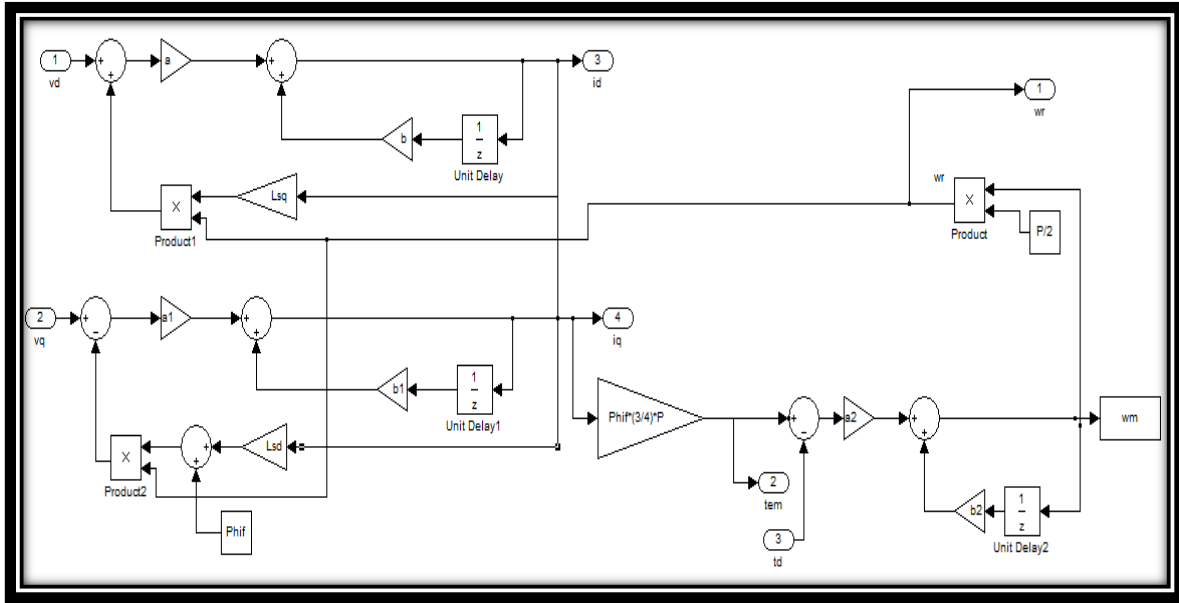
باستخدام المعادلات الرقمية السابقة نقوم بتمثيل المحرك ونظام التحكم بشعاع الفيض الموجه فنحصل

على الشكل التالي :



الشكل (5-3): تنظيم السرعة والتيار للمحرك المتواقت بالشكل الرقمي

الصندوق PMSM Digital يحتوي على :

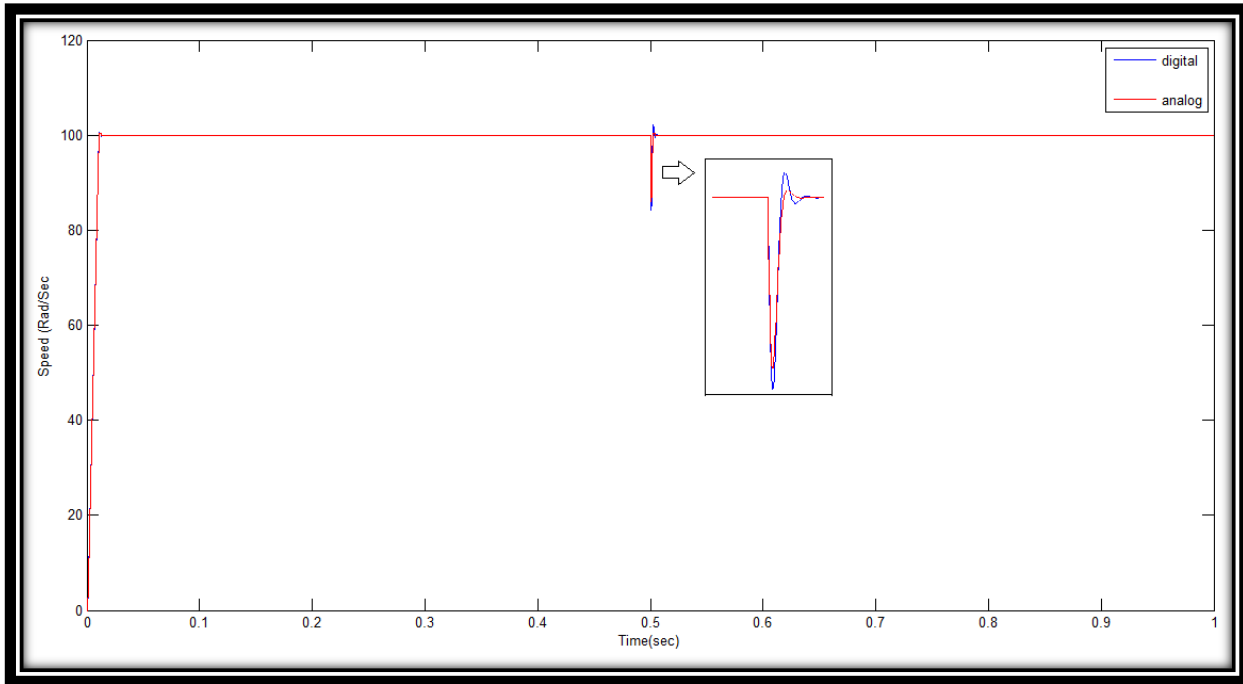


الشكل (4-5): المخطط الصندوقي للمحرك المتواقت بالشكل الرقمي

النتائج التمثيلية

بتنفيذ الخوارزمية في بيئة Simulink ومقارنة النتائج التشابهية مع النتائج الرقمية نجد مايلي :

منحني السرعة



الشكل (5-5): منحني السرعة (التشابهي والرقمي) بعد تنظيمه باستخدام طريقة التحكم بشعاع الفيض الموجه

نلاحظ أن المنحنيين منطبقان بشكل كامل ويوجد انزياح بين المنحنيين (عند الحالات العابرة) ولكن بقيمة صغيرة جداً لأن الماتلاب يستخدم طريقة أويلر الأمامية.

5-6- الخاتمة

تم في هذا الفصل التعرف على النظام الرقمي وأهميته عند الانتقال من الدراسة النظرية إلى التطبيق العملي على الشرائح الرقمية المختلفة ومن ثم قمنا بدراسة التمثيل الرقمي لتابع النقل من المرتبة الأولى باستخدام طريقة أويلر العكسية ثم قمنا بتمثيل معادلات المحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة بالشكل الرقمي والتمثيل الرقمي للمنظم PID المستخدم في نظام القيادة بشكل واسع وأخيراً قمنا بتنظيم السرعة والتيار للمحرك المتواقت بالشكل الرقمي.

الفصل السادس التطبيق العملي



6-1- المقدمة:

أحد الأساليب الحديثة المتبعة لإقلاع المحركات المتوقفة هي استخدام الانفيرتر الصناعي (مجموعة مقوم - قابلية) والذي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية المقدمة من الشبكة العامة ذات التردد والمطال الثابت إلى طاقة كهربائية ذات تردد ومطال متغيرين بهدف التحكم بسرعة المحرك ضمن مجال واسع. يؤدي استخدام الانفيرتر إلى :

- (1) التخلص من تيار الإقلاع العالي.
 - (2) إقلاع المحرك بشكل تدريجي متحكم به والتخلص من الصدمة الميكانيكية الناتجة عن الإقلاع.
 - (3) التحكم بسرعة دوران المحرك على كامل مجال السرعة.
 - (4) توفير في الاستطاعة الردية وبالتالي رفع قيمة عامل الاستطاعة.
- لقد تم التركيز في هذا الفصل على عمل الانفيرتر من نوع (APD-VS04NA4) والشركة المصنعة (LS).

حيث إن الهدف من هذا القسم بشكل أساسي مايلي:

- (1) شرح كيفية استثمار الانفيرتر بشكل مبسط.
 - (2) بناء لوحة مخبرية تتضمن كل الطرقيات الواجب ربطها بالانفيرتر والمتاحة من قبل الشركة المصنعة.
 - (3) تجهيز عدد من التجارب العملية على الانفيرتر.
 - (4) بيان كيفية الربط مع جهاز خارجي من أجل عمليات الربط والتحكم.
- طبعا النظام المدروس في هذا الفصل هو (AC-SERVO-MOTOR) ولكن ما هو السيرفو موتور؟ هو أحد أنواع المحركات الخاصة وهو يستخدم في التحكم الموضعي ومن أمثلة تطبيقات هذا المحرك تحريك أجهزة الرادار وأطباق استقبال الأقمار الصناعية ويستخدم أيضا في تحريك أجنحة الطائرات وبعض أنواع أجهزة الطباعة.

يتمتع محرك السيرفو بالخصائص التالية:

- 1- الاستجابة الفائقة للسرعة المطلوبة.
- 2- يقبل عمليات الفصل والتوصيل مهما تعددت.
- 3- توقف المحرك فور فصل المنبع عن المحرك.

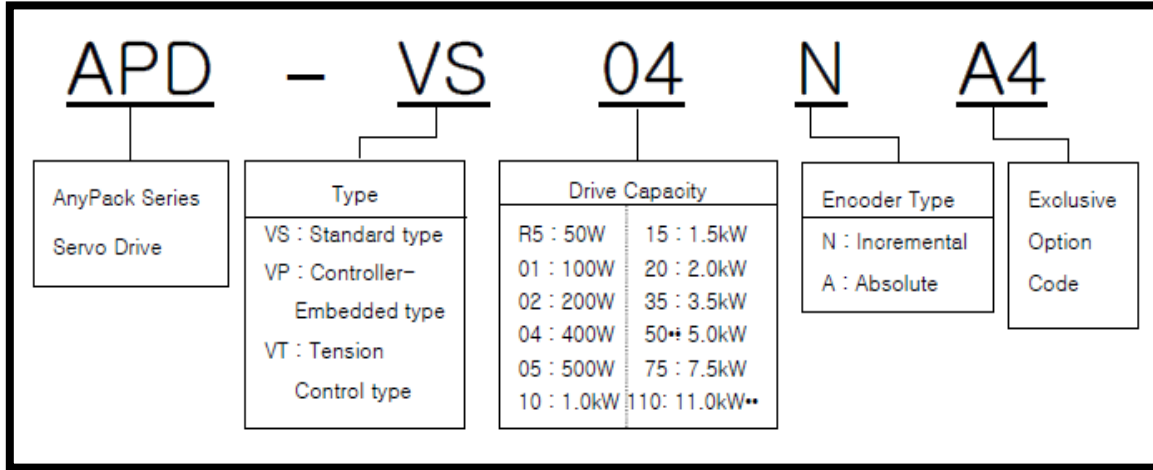


الشكل(6-1): محرك السيرفو المستخدم

وهو يحتاج إلى كبل Power وكبل Encoder.

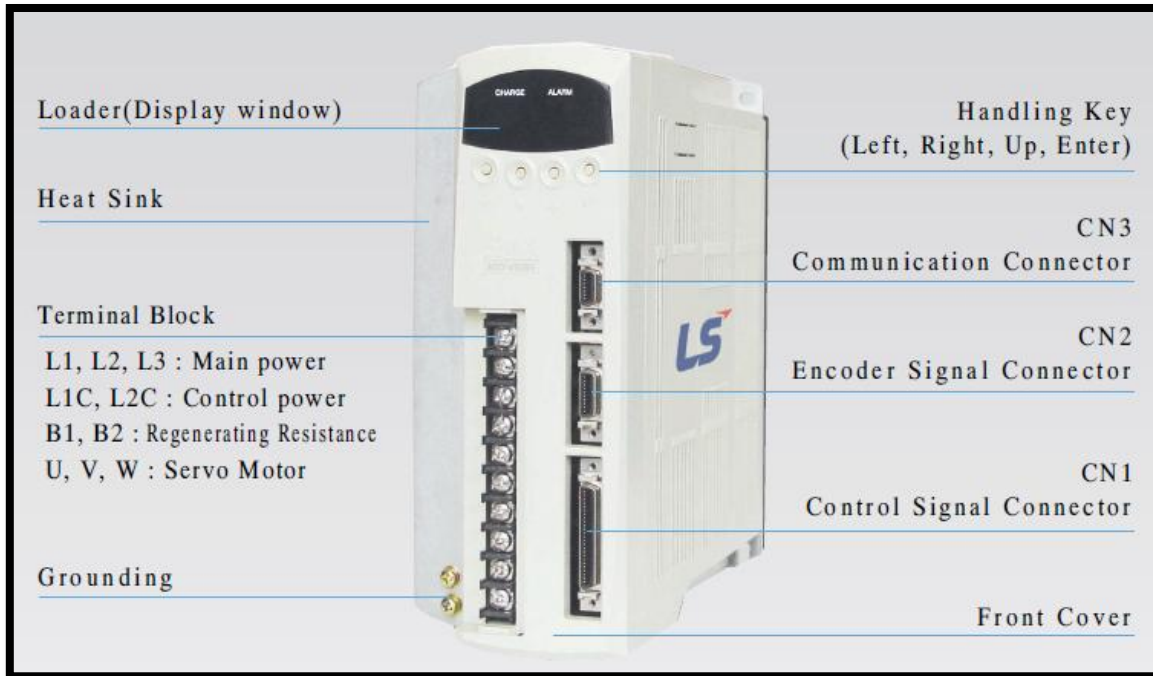
2-6- جهاز الانفيرتر المستخدم في المشروع

الانفيرتر المستخدم في المشروع من نوع (APD-VS04NA4) والشركة المصنعة (LS).



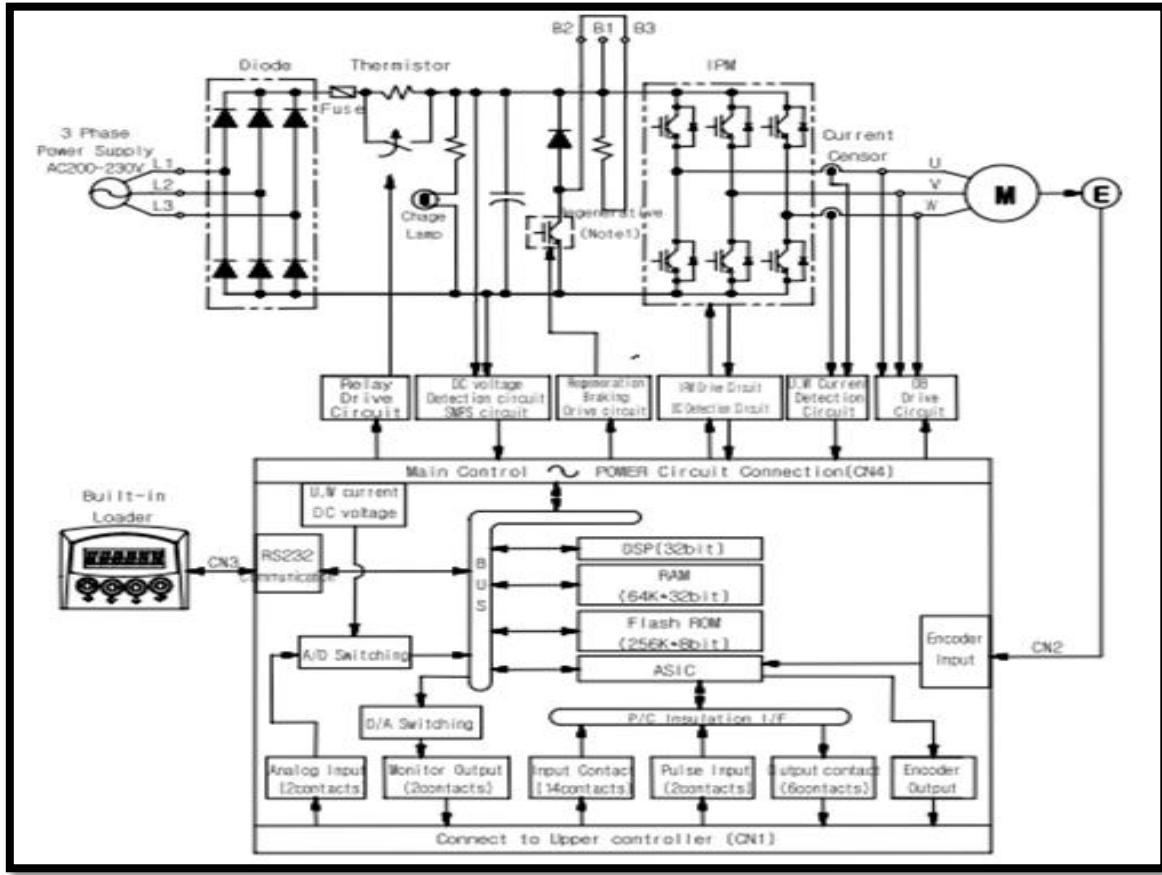
الشكل(2-6): نوع الانفيرتر المستخدم

والشكل(3-6) يبين الشكل الخارجي للانفيرتر المستخدم :



الشكل(3-6): الشكل الخارجي للانفيرتر المستخدم

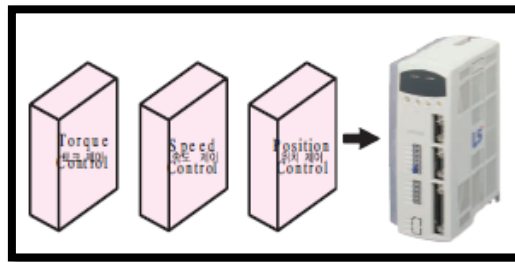
البنية الداخلية للانفيرتر :



الشكل(6-4): البنية الداخلية للانفيرتر

6-3- أهم الميزات التي يتمتع بها هذا الانفيرتر

(1) إمكانية التحكم بالموضع/السرعة/العزم.



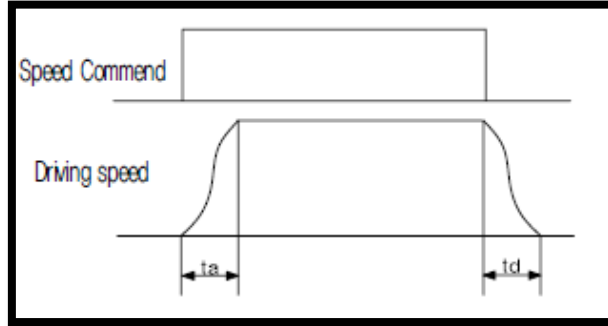
الشكل(6-5): خوارزميات عمل الانفيرتر

(2) يحتوي على ثلاثة مداخل رقمية من أجل التحكم بالسرعة.

	SPD3	SPD2	SPD1
AnalogSpeed	off	off	off
Internal Speed 1	off	off	on
Internal Speed 2	off	on	off
Internal Speed 3	off	on	on
Internal Speed 4	on	off	off
Internal Speed 5	on	off	on
Internal Speed 6	on	on	off
Internal Speed 7	on	on	on

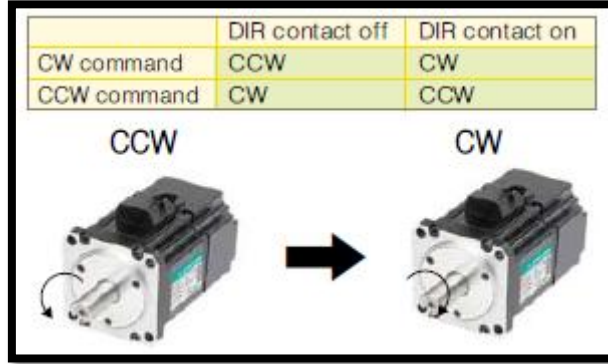
الشكل(6-6): ناخب اختيار سرعة المحرك

- (3) يحتوي على مدخل إشارة تشابهي من أجل التحكم بالسرعة.
 (4) تحديد مجال الخطأ الحاصل في تغير الجهد عند استخدام المدخل التشابهي من أجل التحكم بالسرعة.
 (5) إمكانية التحكم بزمان التسارع والتباطؤ وشكل منحنى التسارع والتباطؤ.



الشكل(6-7): منحنى التسارع والتباطؤ

- (6) يحتوي على مدخل إشارة تشابهي من أجل التحكم بالعزم المطبق على المحرك.
 (7) يحتوي على مدخلين رقميين من أجل التحكم باتجاه الدوران.



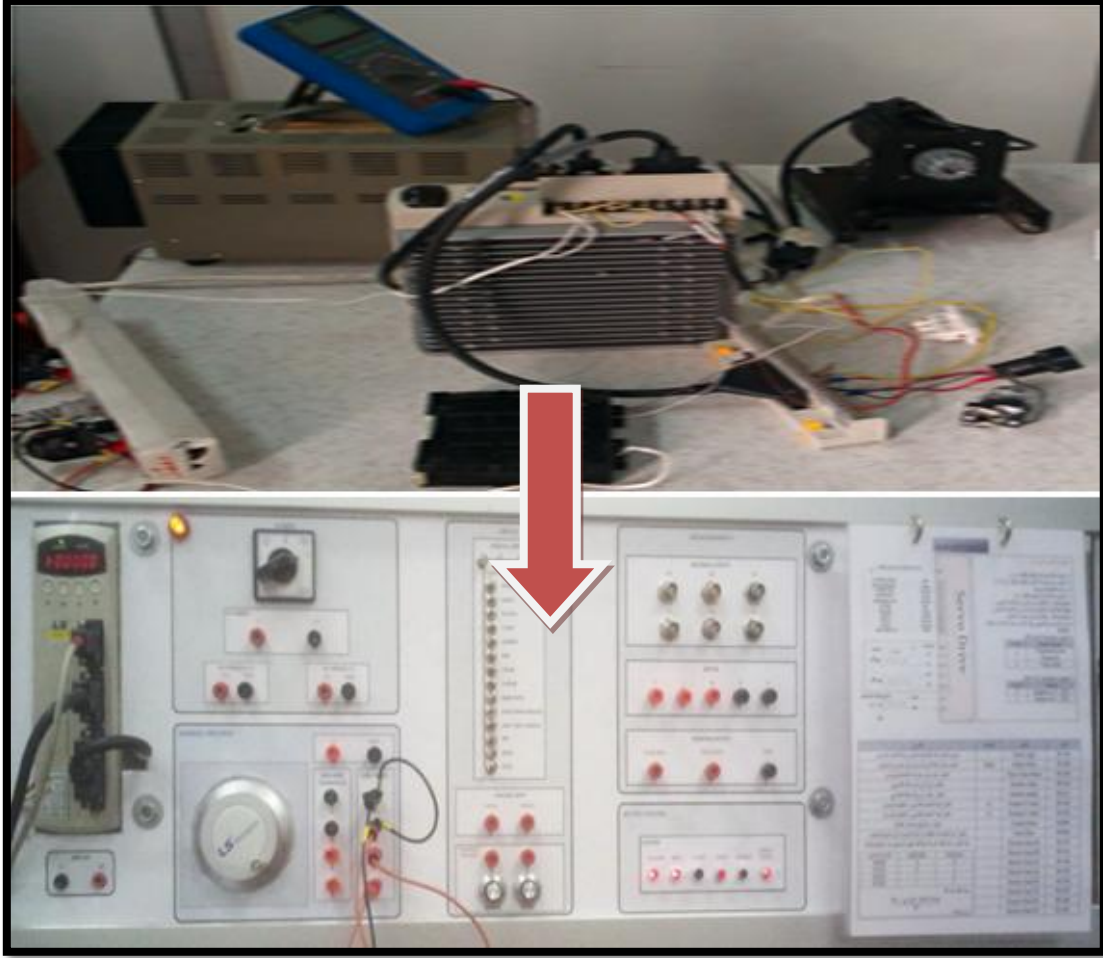
الشكل(6-8): التحكم باتجاه الدوران

- (8) يحتوي على منظمات من النوع P-PI من أجل تنظيم السرعة والموضع.
 (9) مقاوم للاهتزاز أثناء العمل.
 (10) مقاوم للاهتزاز أثناء التوقف.
 (11) يحتوي على مقاومة كبح داخلية.
 (12) إمكانية استخدام نبضات تحكم مختلفة من أجل التحكم بالموضع.

PF +PR	N-logic		P-logic	
	Forward rotation	Reverse rotation	Forward rotation	Reverse rotation
A phase +B phase	“0”		“3”	
CCW or CW Pulse	“1”		“4”	
Pulse + direction	“2”		“5”	

الشكل(6-9): نبضات التحكم المستخدمة للتحكم بالموضع

6-4- آلية تحويل الانفيرتر إلى منصة يعتمد عليها في تجارب عملية لطلاب كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية



الشكل (6-10): آلية تحويل الانفيرتر إلى منصة عمل

تم الاعتماد في ذلك على دراسة الكتالوك المرفق مع التجهيز حيث تم خلال ذلك تحديد :

- 1- المداخل والمخارج الرقمية.
- 2- المداخل والمخارج التشابيهية.
- 3- تحديد مخارج المراقبة والإشارة.
- 4- تحديد التغذية المطلوبة.

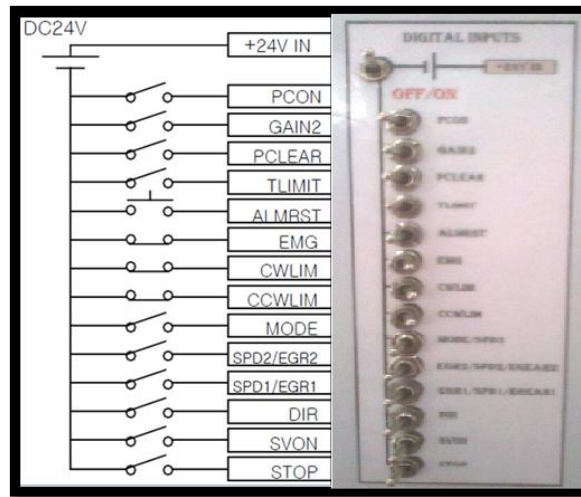
6-4-1- المداخل الرقمية:

المداخل الرقمية هي مداخل بجهد مستمر قيمته 24V وهي مداخل مشتركة في جميع خوارزميات العمل مع اختلاف وظيفة بعضها حسب نمط العمل المستخدم.

من هذه المداخل:

- CWLIM يقوم بمنع عملية الدوران في الاتجاه العكسي عند التفعيل.
- CCWLIM يقوم بمنع عملية الدوران في الاتجاه الأمامي عند التفعيل.
- ALMRST يفعل لإعطاء تحذير خلال العمل.

PCLEAR عند التفعيل يقوم بحجب نبضات التحكم بالموضع الخارجية.
 EMG يتم إيقاف العمل عند حالات الطوارئ.
 SVON يتم من خلاله تنفيذ الأوامر المطلوبة.
 ON : TLIMIT إدخال حدود العزم عن طريق مدخل تشابهي .
 OFF إدخال حدود العزم عن طريق بارامتر داخلي.
 MODE يتم من خلاله تحديد نمط العمل عند اختيار خوارزميتين تحكم في نفس الوقت.



الشكل(6-11): المخطط النظري والعملي للمداخل الرقمية

6-4-2- المداخل التشابهية:

لهذه المداخل وظائف متعددة سنقوم بشرح أهم هذه المداخل هي المدخلين 27 و 1 الذي يتم من خلالهما التحكم في السرعة أو العزم تشابهيا وذلك حسب نمط العمل المستخدم في عملية التشغيل.

Pin No.	Name	Function and Use
27	SPDCOM	Analog speed command (-10~+10[V])
	SPDLIM	Analog speed limit input (0~+10[V])
1	TRQCOM	Analog torque command input (-10~+10[V])
	TRQLIM	Analog torque limit input (0~+10[V])
8	GND	Analog Signal ground

الشكل(6-12): كيفية ضبط المداخل التشابهية

وحسب الدراسة تبين أننا بحاجة إلى جهد تشابهي متغير $10^-/10^+$ ومن أجل ذلك تم إدخال هذه الجهود بعد توليدها إلى مقاومة متغيرة من أجل التحكم بمطالها.



الشكل(6-13): الجهد التشابهي المتغير المتوضع على اللوحة المخبرية

3-4-6- مخارج الإشارة:

وهي ستة مخارج رقمية تعطي إشارة جهد مستمرة مطالها 24V قد تم الإتفاق على وضع ليدات تعطي إشارة ضوئية دلالة على حدث معين.

Pin No.	Name	Function and Use
38 /39	ALARM+/-	ALARM state output ON : normal state OFF : ALARM state
40 /41	RDY+/-	ON at Complete operating ready state
42	TLOUT	Torque limit
43	ZSPD	Output at servo stop (speed is zero)
44	BRAKE	Brake operating signal output (ON at servo dirving)
45	INSPD	Output complete signal of target speed reaching
	INPOS	Output complete signal of target position reaching

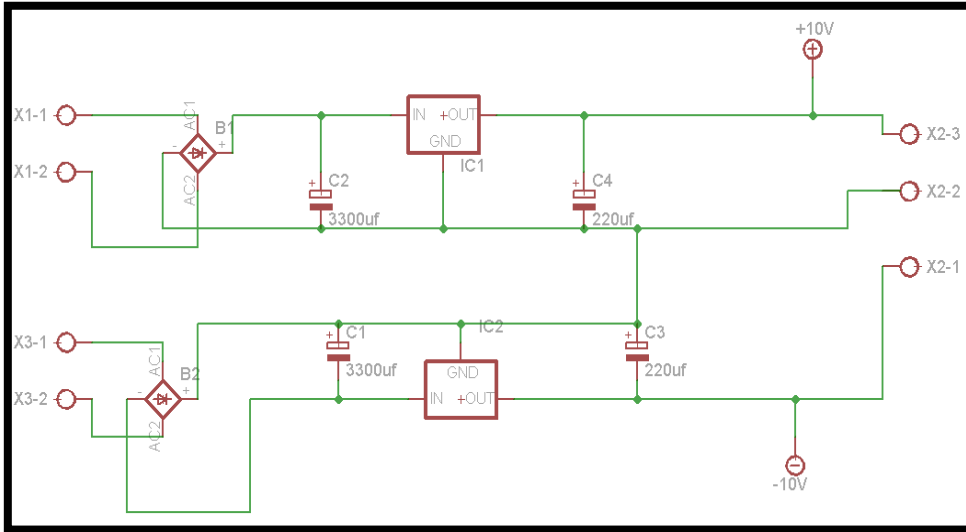
الشكل(6-14): دلانل المؤشر الضوئي



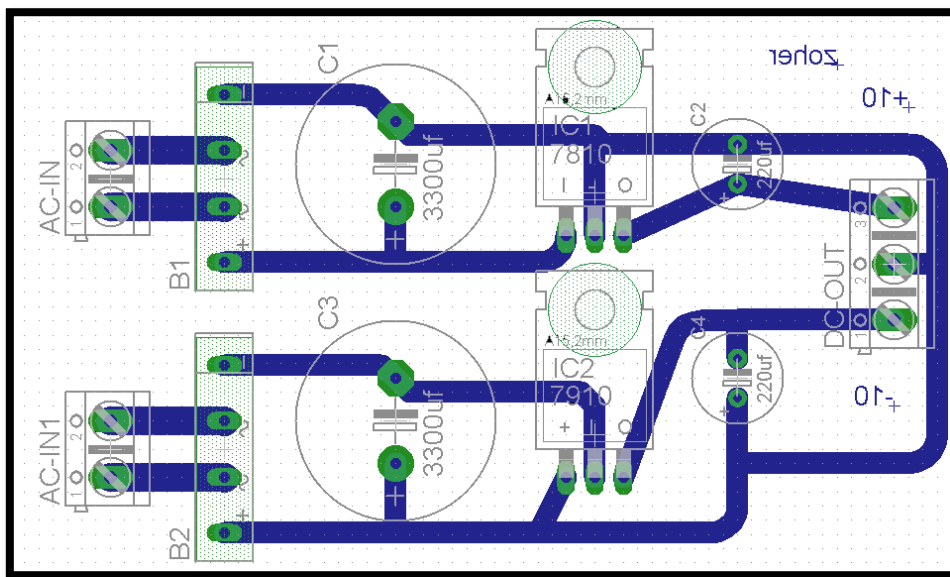
الشكل(6-15): توضع الليدات على الستناد الخارجي

6-4-4-4- منيع التغذية المستخدم

بعد دراسة كتالوك الانفيرتر تبين لنا أننا بحاجة إلى ثلاثة مستويات من الجهود المستمرة وهي +24/+10/-10 + 5/ وقد تم بناء دارة من اجل تأمين التغذية المطلوبة.



الشكل(6-16):المخطط النظري لدارة التغذية



الشكل(6-17):المخطط العملي لدارة التغذية

5-6- طريقة البرمجة

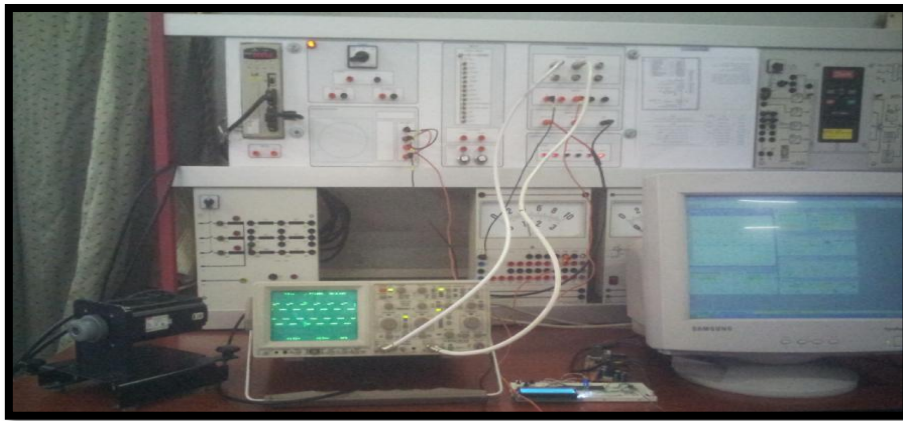
نلاحظ في مقدمة الجهاز العناصر التالية : شاشة إظهار، أربعة أزرار، بمجرد توصيل التغذية الكهربائية ستعمل شاشة الإظهار.

قام المصممون بتقسيم مجموعة البارامترات إلى تسعة قوائم رئيسية .

أرقام كل مجموعة	اسم المجموعة	الوظيفة
Pd-001 ~ Pd-020	قائمة الحالة	تعطي معلومات عن حالة عمل نظام السيرفو
PA-101 PA-120	قائمة التنبيه	تعطي معلومات في حال حدوث خطأ أثناء عملية التشغيل
PE-201 ~ PE-220	قائمة النظام	إدخال البارامترات المطلوبة لبناء النظام (إدخال ID المحرك بارامترات المحرك - نوع الانكودر - عدد نبضات الانكودر)
PE-301 ~ PE-320	قائمة التحكم	إدخال المتحولات المتعلقة بنظام التحكم
PE-401 ~ PE-420	قائمة المداخل والمخارج التشابيهية	إدخال قيم المتحولات المتعلقة بالمدخل/المخارج التشابيهية
PE-501 ~ PE-520	قائمة المداخل والمخارج الرقمية	إدخال قيم المتحولات المتعلقة بالمدخل/المخارج الرقمية
PE-601 ~ PE-620	قائمة التحكم بالسرعة	إدخال قيم المتحولات المتعلقة بنمط السرعة
PE-701 ~ PE-720	قائمة التحكم بالموضع	إدخال قيم المتحولات المتعلقة بنمط الموضع
PC-801 PC-820	قائمة الأوامر	تنفيذ أوامر بشكل يدوي

الشكل(6-18): قوائم البارامترات الرئيسية

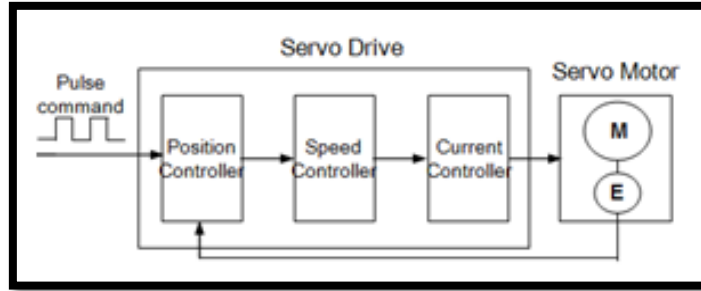
بعد دراسة الكتالوك والانتهاء من التصميم والتنفيذ للمنصة كان لابد لنا من تجهيز عدد من التجارب العملية يستفيد منها طلاب الهندسة الكهربائية والإلكترونية ومن أجل ذلك كان لابد لنا من اكتساب خبرة عملية وهذه الخبرة لا تكتسب بدون المعرفة والتجريب والاختبارات وتم العمل على عدد من الاختبارات وتوثيق نتائج تلك الاختبارات عن طريق راسم إشارة.



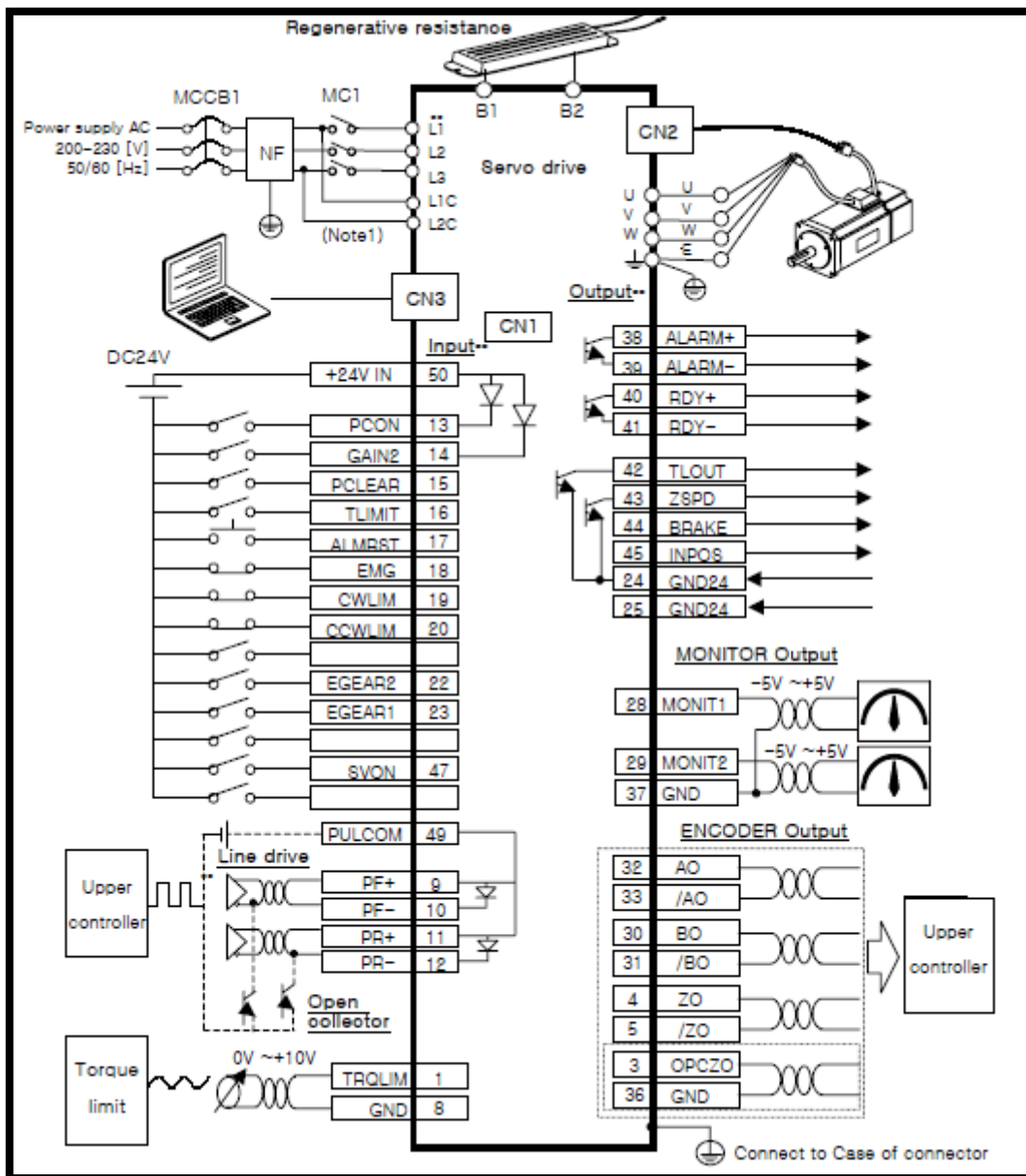
الشكل(6-19): منصة العمل

6-6- خوارزميات عمل الانفيرتر

(1) خوارزمية التحكم بالموضع



الشكل(6-20): خوارزمية التحكم بالموضع



الشكل(6-21): الأقطاب المستخدمة في خوارزمية التحكم بالموضع

أهم البرامترات المستخدمة:

Servo Drive

POWER SUPPLY VCC INPUT 24 VOLT (50)

P-CONTROL MOTION (13) PCON

INPUT GAIN2 MODE (14) GAIN2

TORQUE LIMIT (15) PCLEAR

ALARM RESET (16) TLIMIT

EMERGENCY STOP (17) ALMRST

CW LIMIT (18) EMG

CCW LIMIT (19) CWLIM

SPEED 3 (20) CCWLM

SPEED 2 (22) EGEAR2

SPEED 1 (23) EGEAR1

INPUT SERV ON (47) SVON

PULCOM (49)

PF+ (9)

PF- (10)

PR+ (11)

PR- (12)

TLIMIT (1)

GND (8)

خطوات العمل البروسية:

- تحديد ID المحرك [PE-201] - (13) .
- تحديد عدد نبضات المشفر [PE-204] - (2500) .
- وصل التغذية الرئيسية .
- اختيار نمط العمل [PE-601] - (2) .
- CWLIM: (OFF) منع الدوران بالاتجاه العكسي .
- CCWLM: (OFF) منع الدوران بالاتجاه الأمامي .
- PCLEAR: (ON) حجب نبضات التحكم .
- خرج الموضع التشابهي يمثل التردد حيث أن كل 5V تقابل 500kHz .

(PE-410) Monitor scale 1 •

Form	Data content
4	Command pulse frequency
5	Error pulse

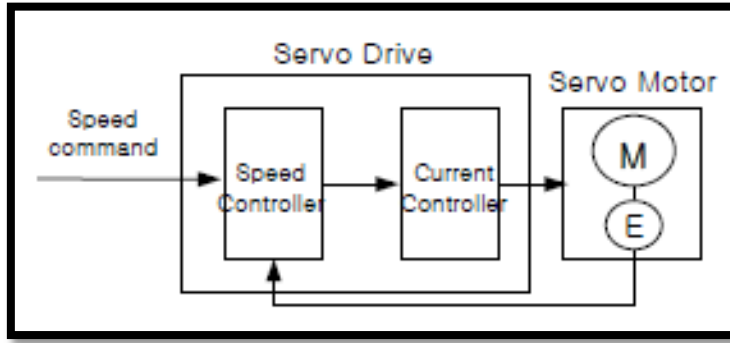
(PE-411) Monitor mode 1 •

Mode	Output
0	Output as -5 ~ 5[V]
1	Output as 0 ~ 5[V]

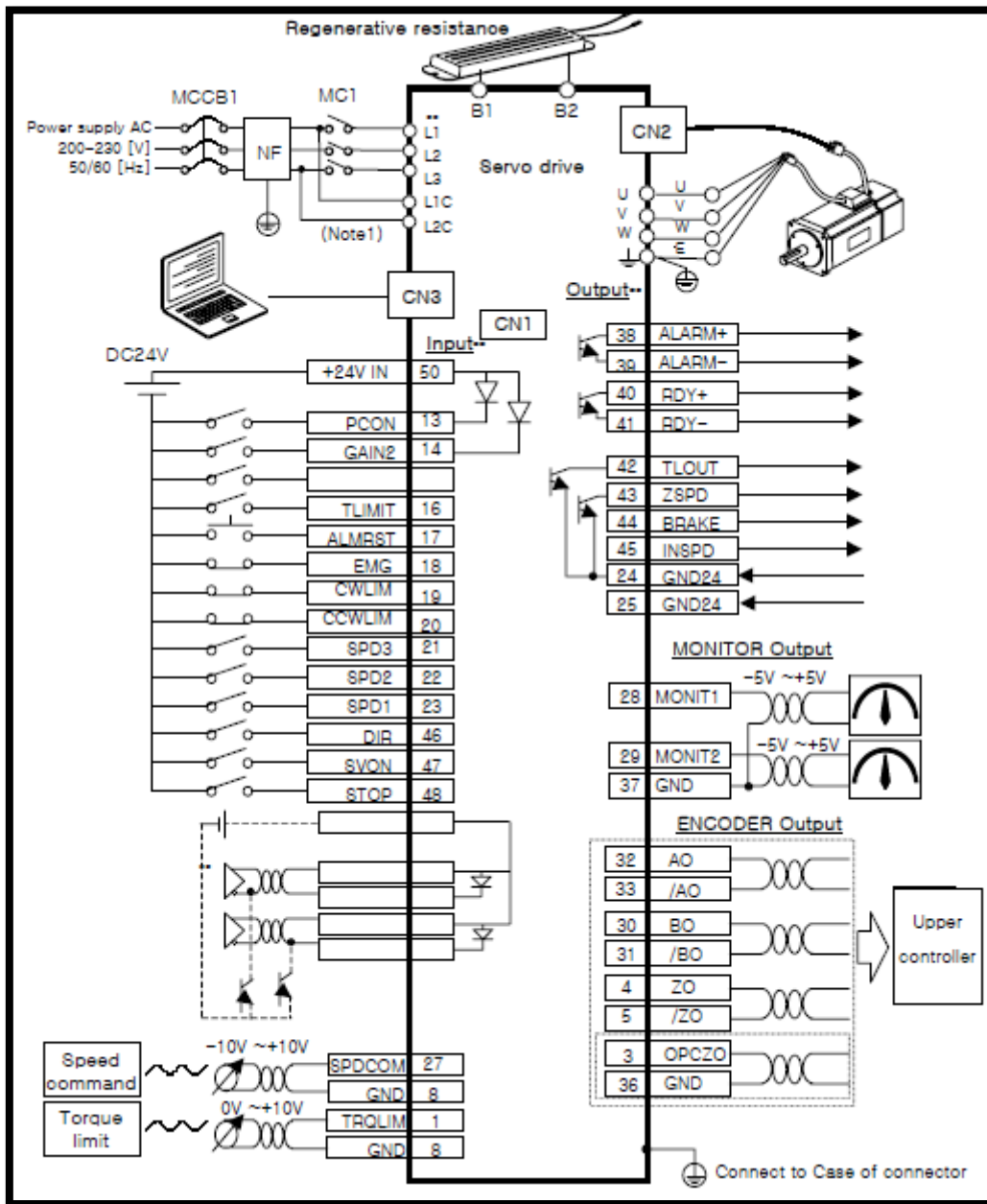
الرمز	الاسم	الواحدة	شرح
PE-701	Pulse Logic	-	وضع منطق دخل النبضات لحوار زمنية التحكم بالموضع
PE-502	Follow Error	Pulse	تحديد مجال الخطأ في الوصول إلى الموضع المطلوب
PE-509	Pulse Clear Mode	-	اختيار نمط حجب نبضات التحكم بالموضع
PE-410	Monitor scale1	-	اختيار نوع خرج المراقبة التشابهي
PE-411	Monitor mode1	-	اختيار مجال خرج المراقبة التشابهي
PE-302	Position P Gain1	1/s	اختيار قيمة المنظم التناسبي 1 لتنظيم الموضع
PE-303	Position P Gain2	1/s	اختيار قيمة المنظم التناسبي 2 لتنظيم الموضع
Pd-004	Current Pulse	-	إظهار تراكم قيم نبضات التحكم
Pd-006	Pulse Error	-	إظهار عدد النبضات الباقية من أجل الوصول إلى الموقع المطلوب

الشكل(6-22): البرامترات المتعلقة بخوارزمية التحكم بالموضع

2) خوارزمية التحكم بالسرعة :



الشكل (6-23): خوارزمية التحكم بالسرعة



الشكل (6-24): الأقطاب المستخدمة في خوارزمية التحكم بالسرعة

أهم البرامترات المستخدمة :

خطوات العمل الرئيسية:

- تحديد ID المحرك [PE-201] - (13) .
- تحديد عدد نبضات المشفر [PE-204] - (2500) .
- وصل التغذية الرئيسية .
- اختيار نمط العمل [PE-601] - (1) .
- CWLIM : منع الدوران بالاتجاه العكسي .
- CCW LIM : منع الدوران بالاتجاه الأمامي .
- تحديد نمط عكس اتجاه الدوران [PE-514]

Set	Forward(ccw)		Reverse(cw)		STOP	
	DIR	STOP	DIR	STOP	DIR	STOP
0	OFF	OFF	ON	OFF	NO.concern	ON
1	OFF	ON	ON	OFF	ON	ON
					OFF	OFF

- (PE-410) Monitor scale1

Form	Data content
0	Command speed
1	Current speed
- (PE-411) Monitor model1

Mode	Output
0	Output as -5 ~ 5[V]
1	Output as 0 ~ 5[V]

الرمز	الاسم	الواحدة	شرح																																				
PE-307	Speed P Gain1	rad/s	اختيار قيمة ربح منظم السرعة التناسلي																																				
PE-309	Speed I TC1	msec	اختيار قيمة منظم السرعة التكاملي																																				
PE-319	Speed P Control	r/min	استخدام منظم السرعة التناسلي عن طريق المدخل pcon ثم إدخال منظم PI																																				
PE-410	Monitor scale1	-	اختيار نوع خرج المراقبة التناهي																																				
PE-411	Monitor mode1	-	اختيار مجال خرج المراقبة التناهي																																				
PE-503	0 Speed RNG	r/min	وضع مجال للسرعة الصفرية من أجل تحديد استجابة السرعة																																				
Pd-002	Current speed	r/min	مراقبة حالة السرعة																																				
PE-602 ~ PE-608	Speed1 ~ Speed7	r/min	اختيار طريقة إدخال السرعة (تناهيلي/رقمي) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>SPD1</th> <th>SPD2</th> <th>SPD3</th> <th>نمط السرعة</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Analog speed</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Speed1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>Speed2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>Speed3</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>Speed4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>Speed5</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>Speed6</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>Speed7</td> </tr> </tbody> </table>	SPD1	SPD2	SPD3	نمط السرعة	0	0	0	Analog speed	1	0	0	Speed1	0	1	0	Speed2	1	1	0	Speed3	0	0	1	Speed4	1	0	1	Speed5	0	1	1	Speed6	1	1	1	Speed7
SPD1	SPD2	SPD3	نمط السرعة																																				
0	0	0	Analog speed																																				
1	0	0	Speed1																																				
0	1	0	Speed2																																				
1	1	0	Speed3																																				
0	0	1	Speed4																																				
1	0	1	Speed5																																				
0	1	1	Speed6																																				
1	1	1	Speed7																																				
PE-609	Accel Time	msec	تحديد زمن الانتقال من السرعة صفر حتى كامل السرعة																																				
PE-610	Decel Time	msec	تحديد زمن الانتقال من كامل السرعة حتى السرعة صفر																																				
PE-401	Analog Speed	r/min	إدخال قيمة السرعة التي تقابل القيمة العظمى عند جهد يساوي [10V]																																				
PE-402	Speed offset	mV	تعويض السرعة بسبب الخطأ الناتج عن الدخل التناهي للسرعة																																				
PE-403	S Clamp Mode	-	اختيار نقطة السرعة الصفرية																																				
PE-404	S Clamp Volt	mV	اختيار مجال السرعة الصفرية																																				

الشكل (6-25): البرامترات المتعلقة بخوارزمية التحكم بالسرعة

6-7- التجارب العملية

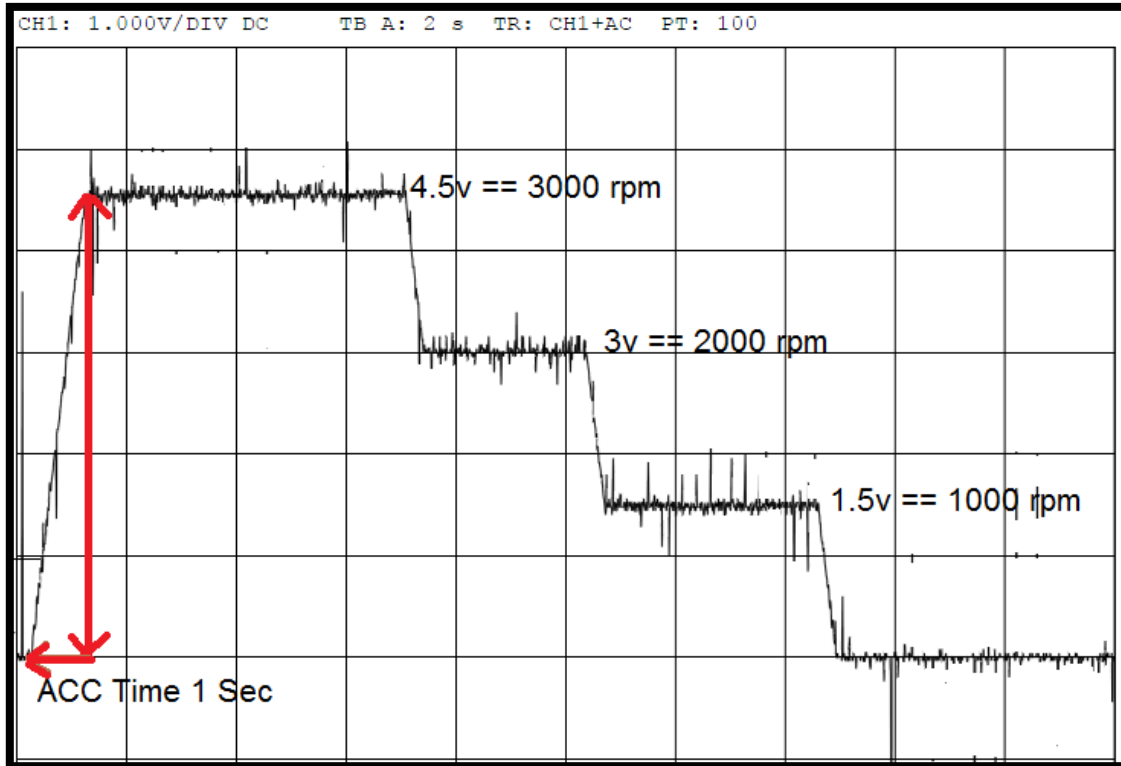
6-7-1- التسارع والتباطؤ في مميزة السرعة:

PE-609	1000msec	زمن التسارع
PE-610	1000msec	زمن التباطؤ

ملاحظة:

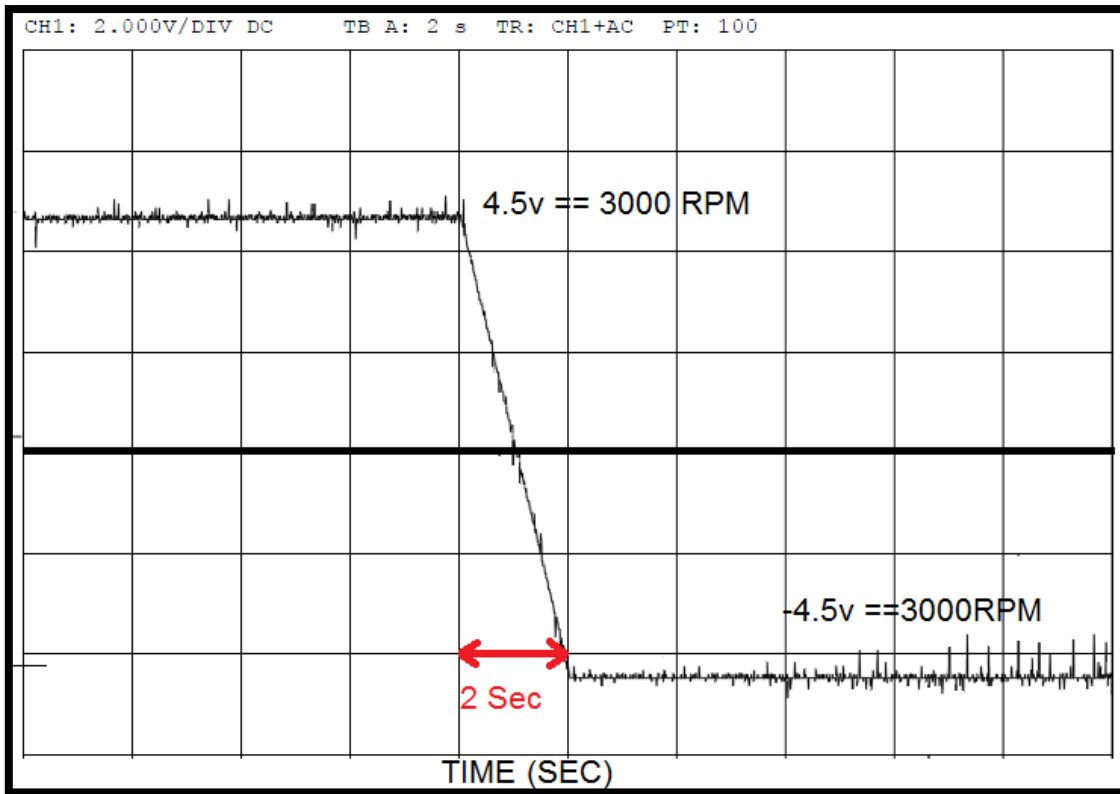
✚ إن خرج المراقبة التشابهي المزود به نظام قيادة المحرك يعطي إشارة جهد تشابهية يتراوح مطالها بين 0 - 5V وبالتالي من أجل السرعة الاسمية للمحرك 3000 rpm ستقابل 3v على مخرج المراقبة التشابهي ولحل هذه المشكلة لابد لنا من استخدام البارامتر التالي PE-410 حيث من خلال هذا البارامتر نتمكن من تقريب 3 إلى 5 عن طريق وضع 1.5 في هذا البارامتر وتصبح السرعة الأعظمية تقابل 4.5v.

✚ تغيير اتجاه دوران المحرك عند التحكم الرقمي في السرعة يتم من خلال Direction Switch، أما عند التحكم التشابهي يتم ذلك بقلب قطبية الجهد التشابهي المستخدم في التحكم بالسرعة.



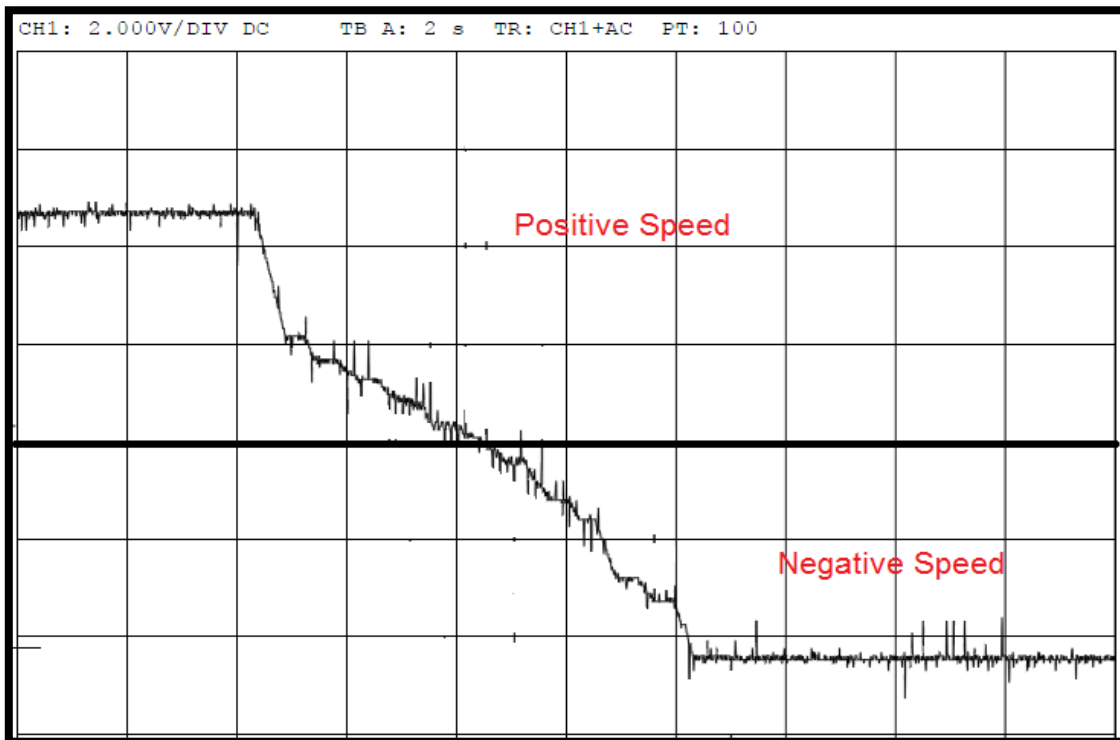
الشكل(6-26): تغير القيمة المرجعية للسرعة مع تغير القيمة الحقيقية

2-7-6- تغيير اتجاه سرعة الدوران :



الشكل(6-27): تغير القيمة المرجعية للسرعة عند تغيير اتجاه الدوران

3-7-6- التحكم في السرعة عن طريق المداخل التشابهيّة:

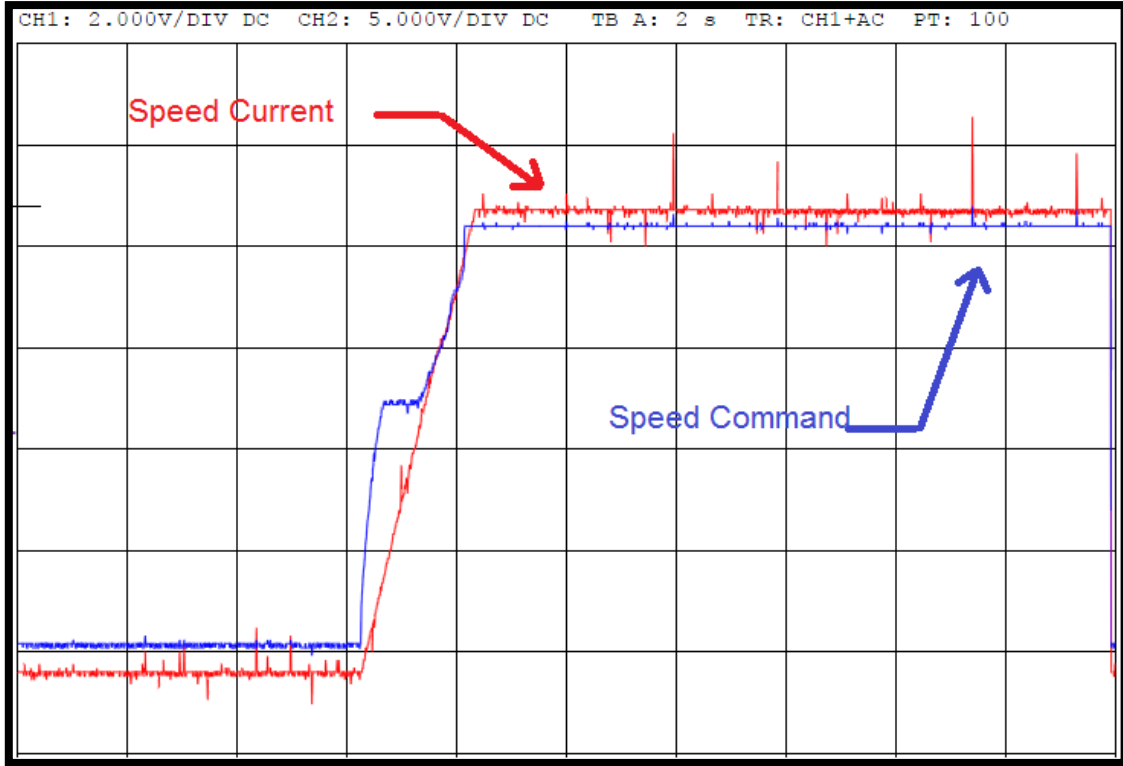


الشكل(6-28): تغيير القيمة المرجعية للسرعة في حالة التحكم في السرعة عن طريق المداخل التشابهيّة

في نظام قيادة المحرك (Servo Drive) هناك ما يسمى **Speed Current & Speed Command** **Speed Current** تمثل السرعة الحقيقية

Speed Command السرعة المدخلة تشابهها والتي تقابل السرعة الحقيقية.

ويرسم الإشارتين نلاحظ أنه لا يوجد فرق بينها سوى إزاحة بسيطة ناتجة بسبب Scale



الشكل(6-29): السرعة الحقيقية والسرعة المدخلة تشابهها التي تقابل السرعة الحقيقية

وهنا تم الانتهاء من أخذ النتائج العملية ضمن Speed Mode وكان لابد لنا من الانتقال إلى نمط، آخر وهذا النمط هو Position Mode.

قبل الانتقال إلى هذا النمط لابد لنا من إجراء بحث بسيط عن كيفية تحديد السرعة والموضع داخل محرك السيرفو وبعد البحث تبين أنه يتم قياس السرعة وتحديد الموضع عن طريق جهاز يربط مع محور المحرك يسمى Encoder.

6-8-6 مبدأ عمل Encoder وكيفية حساب السرعة

6-8-6-1 مقدمة

المشفرات هي عبارة عن حساسات تقوم بتوليد إشارات رقمية نتيجة حركة ما. إن كل من المشفرات ذات الذراع ، و التي تستجيب للحركة الدورانية، والمشفرات الخطية، التي تستجيب للحركة الخطية (أي أن المسار مستقيم) متوفران وعندما تستخدم مع أجهزة تحويل ميكانيكية، كالمسننات، عجلات القياس، المحاور الدورانية، فيمكن استخدامها لقياس الحركة الخطية، السرعة، والموضع.

ولهذه المشفرات عدة أنواع من المخارج، حيث إن المشفرات المتزايدة تولد سلسلة من النبضات عندما تتحرك و هذه النبضات تستخدم لقياس السرعة أو يمكن أن تدخل إلى عداد لتتبع الموضع. أما المشفرات المطلقة تولد

نبضات و كل نبضة تتألف من بتات تسمى (كلمة) تشير إلى الموضع الحالي بشكل مباشر . تستخدم المشفرات في الكثير من التطبيقات، كما يمكن أن تكون محولات إشارة للتغذية عكسية لنظام التحكم بسرعة المحركات كما يمكن أن تستخدم في التطبيقات التالية:

✚ في التغذية العكسية لنظام قيادة محركات التيار المتناوب (AC Drive)

✚ في التغذية العكسية لنظام قيادة محركات التيار المستمر (DC Drive)

✚ استخدامه في المجالات العسكرية مثل الرادارات، أنظمة الدفاع الجوي

✚ استخدامه في الروبوت الصناعي والعديد من التطبيقات

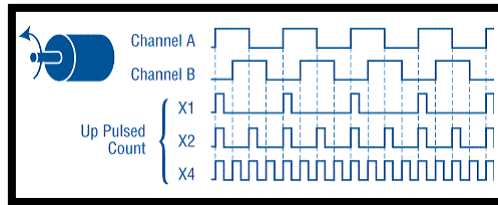
6-8-2- تقنية التحسس (SENSING TECHNOLOGY):

إن هذه الحساسات إما أن تكون حساسات بصرية ذات دقة عالية وتعمل عند سرعات عالية و ذات وثوقية و طويلة العمر في معظم البيئات الصناعية، أو ذات تقنية تحسس مغناطيسي وغالبا ما تستخدم في تطبيقات خاصة كمعامل الفولاذ والورق وتمتاز بدقة عالية وتعمل عند سرعات عالية أيضا وأكثر مقاومة للغبار والرطوبة و الصدمات الميكانيكية .

6-8-3- التشفير المتزايد (Incremental Coding):

تولد هذه المشفرات عدد محدد من النبضات المتساوية البعد فيما بينها كل دورة (PPR) أو كل أنش أو ميلي متر في الحركة الخطية. يستخدم خرج واحد في التطبيقات التي لا تحتاج إلى تحديد اتجاه الدوران، أو يمكن استخدام خرجين مزاحين عن بعضهما 90 درجة ومن خلال هذه الإزاحة يمكن تحديد اتجاه دوران المحرك في حال كان يدور مع اتجاه عقارب الساعة أم بعكس اتجاه عقارب الساعة. هذه الطريقة مفيدة في العمليات التي تتطلب عكس الدوران، أو المحافظة على الوضع النهائي عند توقف المحرك أو عن الاهتزاز الميكانيكي .على سبيل المثال، إن اهتزاز المحرك عند التوقف يمكن أن يسبب في المشفر الوحيد الاتجاه أن يولد مجموعة من النبضات التي سوف تعد بشكل خاطئ كحركة. للحصول على دقة أكبر للقياس يمكن للعداد أن يعد حافتي البداية و النهاية لكل نبضة من قطار النبضات من خرج واحد الأمر الذي يضاعف عدد النبضات المعدودة (X2) لكل دورة أو أنش .كما أن عد حافتي البداية والنهاية لنبضات كل من الخرجين يضاعف الدقة إلى (X4).

إن خرج المشفر يدل على الحركة، ولتحديد الموضع، لابد من إدخال نبضاتها إلى عداد. عند الإقلاع، يجب قيادة المحرك إلى موضع مرجعي لتجهيز عدادات الموضع . بعض المشفرات المتزايدة تولد أيضا نبضة أخرى تسمى (Marker) أو (Index) أو (Z Channel) حيث تولد مرة واحدة كل دورة في المشفرات الدورانية أو عند نقاط محددة بدقة في المشفرات الخطية ،تستخدم عادة لتحديد موضع معين .



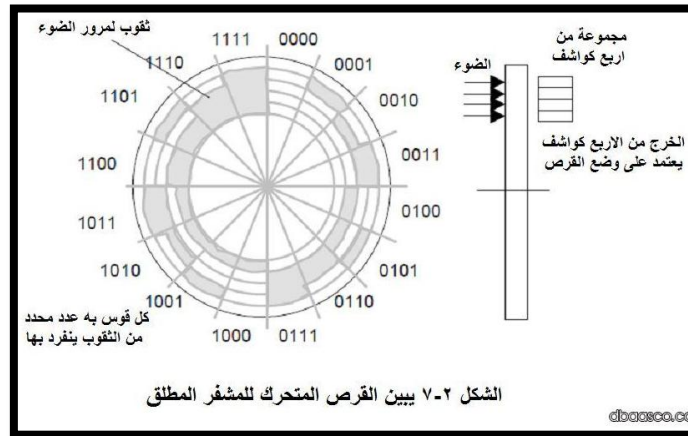
الشكل(6-30): زيادة دقة المشفر التزاوي

6-8-4-التشفير المطلق (Absolute Coding):

يولد هذا المشفر كلمات رقمية تمثل الموضع الفعلي للمشفر، بالإضافة إلى سرعتها و تحديد جهة الحركة، في حال فقدان الطاقة، فإنها تعطي خرجاً صحيحاً متى ما عادت إلى الحالة الطبيعية. ولا يوجد ضرورة لتحديد موضع مرجعي كما هو الحال في المشفرات المتزايدة. الحالات العابرة يمكن فقط أن تولد أخطاء عابرة في البيانات. عادةً تكون قصيرة جداً لتؤثر على ديناميكية نظام التحكم .

تحدد دقة المشفرات المطلقة بعدد البتات في كلمة في الخرج. يمكن أن يكون الخرج بالصيغة الثنائية أو بصيغة شيفرة غراي، التي تولد فقط تغير بت واحد كل خطوة لتقليل الأخطاء .

إن الفرق بين كل من المشفرين المتزايد والمطلق مشابه للفرق بين ساعة المؤقت (الإيقاف) والساعة العادية، حيث إن ساعة المؤقت يحسب الزمن المتزايد الذي ينقضي بين نقطتي البداية والنهاية، والمشفر المتزايد يعطي عدد محدد من النبضات متناسب مع الحركة، حيث إنه إذا كنا نعرف الزمن الحقيقي الذي بدأنا فيه التوقيت نستطيع أن نعرف الزمن التالي و ذلك بإضافة الزمن المنقضي .و لحساب الموضع نضيف النبضات المتزايدة إلى موضع بدائي معروف وبالتالي نحدد الموضع الحالي . عند استخدام مشفر مطلق فإن الموضع الفعلي سوف ينتقل بانتظام تماماً كالساعة .



الشكل(6-31): كيفية توضع الثقوب في المشفر المطلق

6-8-5-كيفية حساب السرعة :

بفرض أنه لدينا قرص يحتوي على ثقب واحد فقط، وبالتالي فإن القرص لا يمرر إشارة المرسل إلى المستقبل إلا مرة واحدة في كل دورة . أي أننا نحصل على نبضة واحدة في كل دورة. فإذا كان الفاصل الزمني بين كل نبضة هو ثانية واحدة فإننا نقول أن المحرك يدور دورة واحدة في الثانية أي 60 RPM. أما إذا كان الفاصل الزمني بين كل نبضة هو 0.5 ثانية فإننا نقول أن المحرك يدور (دورة واحدة خلال 0.5Sec) دورتين في الثانية أي 120 RPM وهكذا.....

وبالتالي نحن بحاجة إلى عداد (Counter0) لعد النبضات من جهاز قياس السرعة، وإلى مؤقت (Timer1) يعطينا زمن مرجعي مضبوط من قبلنا وليكن هذا الزمن 500 ميلي ثانية .

في نهاية هذا الزمن نقوم بقراءة قيمة العداد (Counter0) ونقول بأن المحرك قد أتم عدد من الدورات مقدارها محتوى العداد Counter0.

ولكن ماذا لو أن المحرك دار دورتين ونصف في الثانية (150 RPM) ، فهل يمكن أن نستخدم قرص ذو ثقب وحيد لمعرفة سرعة المحرك؟؟؟؟ ... طبعاً الجواب بالتأكيد هو لا و الحل هو استخدام قرص له ثقبين متقابلين على خط واحد، يعطي عندها جهاز القياس نبضتين في كل دورة، وبالتالي عندما نحصل على عدد من النبضات ولتكن 7 نتيجة قراءة قيمة العدّاد Counter0، خلال زمن مضبوط في المؤقت Timer1 مقداره 0.5Sec، فإن المحرك كنتيجة لذلك قد دار 3.5 دورة خلال 0.5Sec أي 7 دورات في الثانية أي (7 * 60 = 420 RPM) .

نلاحظ بأنه إذا ما أردنا زيادة دقة القياس فإننا نقوم بزيادة عدد الثقوب في القرص، فمثلاً قرص يحتوي على 1000 ثقب فإن 250 نبضة خلال 0.5Sec تعني 500 Pulse per Second أي نصف دورة في الثانية أي (0.5 * 60 = 30 RPM)، وإن 1750 نبضة خلال 0.5Sec تعني 3500 Pulse per Second أي 3.5 دورة في الثانية أي (3.5 * 60 = 210 RPM) .
و منه فإن المعادلة النهائية لحساب السرعة هي :

$$n = NP * \frac{60}{t_{Sec} * NH} [RPM]$$

حيث : NP عدد النبضات يتم الحصول عليها من العدّاد Counter0 خلال الزمن t_{Sec} .

t_{Sec} زمن أخذ العينات مقدراً بالثانية .

NH عدد الثقوب في القرص .

6-9- توليد نبضات التحكم بلموضع

عملياً من اجل اجراء التجارب في Position Mode نحتاج إلى مولد نبضات. في الواقع يتم تأمين هذه النبضات عن طريق المشفر اليدوي الذي يعتبر كجهاز ملحق للانفريتر المدروس والمشفر اليدوي المستخدم يولد في الدورة الواحدة 100 نبضة، وبالتالي تم عمل تعديل scale داخل الأنفريتر من أجل اعتبار 100 نبضة كأنها 10000 نبضة حيث أن المحرك يحتاج إلى 10000 ليتم دورة واحدة.



الشكل (6-32): المشفر اليدوي

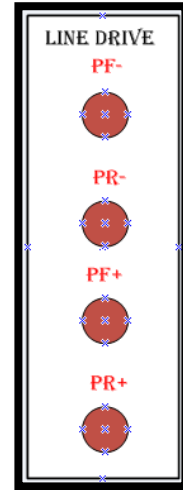


الشكل (6-33): توضع المشفر اليدوي على اللوحة المخبرية

وبالإضافة للمشفر اليدوي سنقوم بتصميم مولد نبضات يحاكي عمل المشفر اليدوي والذي يستخدم في خوارزميات التحكم بالموضع في الآلة الكهربائية، حيث يستخدم المشفر اليدوي من أجل طلب زاوية دوران محددة من المحرك تسمى زاوية مرجعية، يقوم الانفيرتر الصناعي بتطبيق الجهود المناسبة والتي تحقق زاوية الدوران المطلوبة.

بالنسبة للانفيرتر المدروس هنالك ثلاث حالات أو خيارات إدخال تمكن المستخدم من ضبط الموضع سنختار منها الحالة التالية.

PIN	Forward rotation	Reverse rotation
+PF		
+PR		
-PF	GND	GND
-PR	GND	GND



الشكل (6-34): كيفية تحديد جهة الدوران في خوارزمية الموضع

من الشكل (6-34): نلاحظ أن القطب (+Pf) يجب أن يغذى من مولد إشارة مربعة متحكم بها حيث إن تردد هذه الإشارة يحدد للانفيرتر سرعة الدوران المطلوبة، وعدد هذه النبضات يحدد زاوية الدوران المطلوبة حيث إن الانفيرتر يقابل كل 10000 نبضة بزاوية 360° والسبب في ذلك أن نظام القيادة المبني داخل الانفيرتر يتعامل مع مشفر تزايدى بدقة (2500) تقب في الدورة الواحدة. ”راجع دليل الانفيرتر“

بالنسبة للإشارة المطبقة على القطب (+PR) فهي إشارة مستمرة تحدد للانفيرتر اتجاه الدوران المطلوب، وبالنسبة للقطبين (-PF,-PR) فهما موصلين إلى قطب الأرضي للدارة.

وبالتالي المطلوب منا توليد إشارتين:

الأولى إشارة مستمرة تحدد للمتحكم اتجاه الدوران المطلوب (0v,5v).

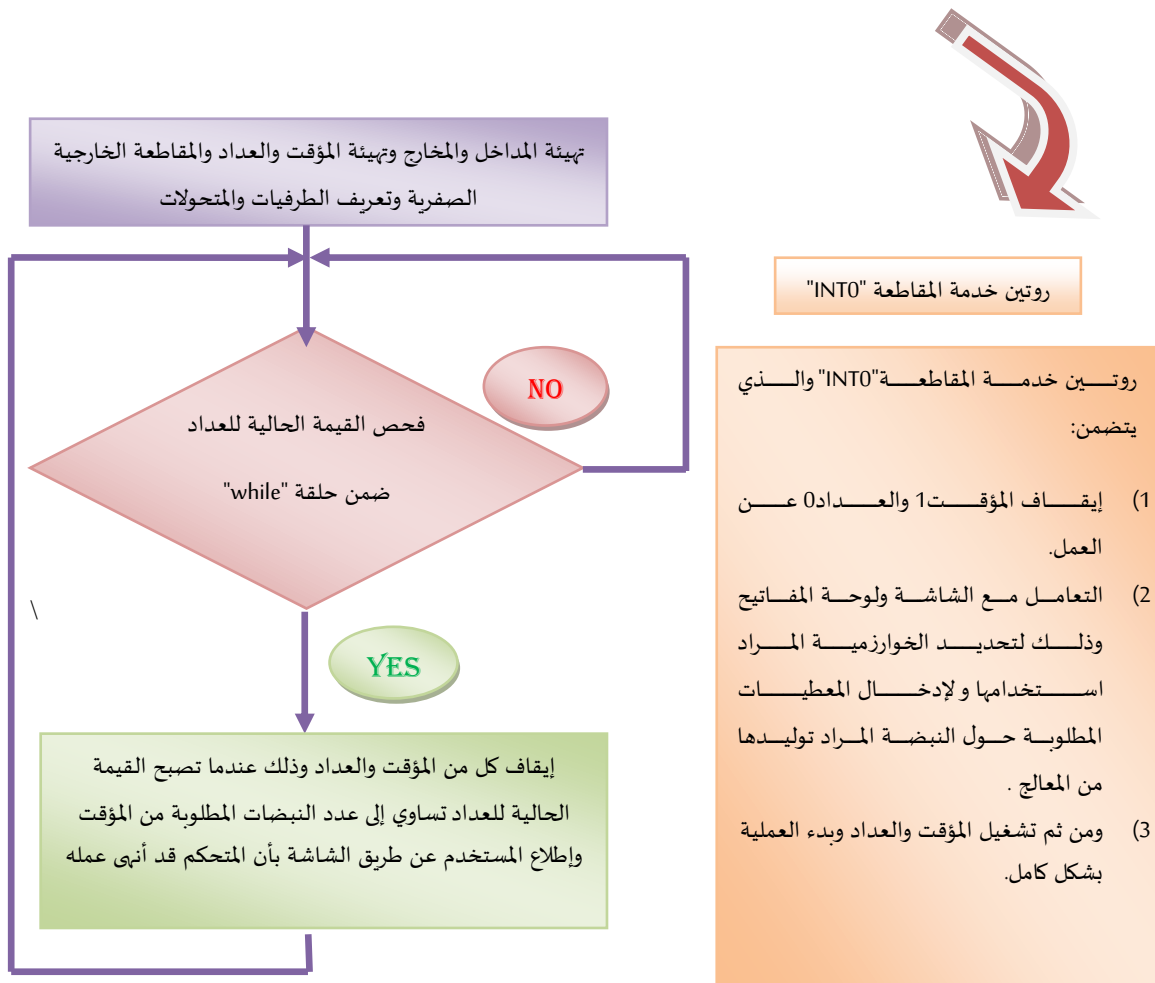
الثانية إشارة مستمرة مربعة ذات تردد وعدد نبضات متحكم بها ويعرض نبضة (50%) .
توليد النبضات:

سنقوم بتوليد النبضات المطلوبة باستخدام الشريحة الرقمية (ATMEGA 16) على الشكل التالي:

(1) سنقوم باستخدام المؤقت 1 في نمط التصفير وذلك لتوليد النبضة، حيث إن تردد النبضة يحدد قيمة مسجل المقارنة للمؤقت.

(2) سنقوم باستخدام العداد0، وذلك لتوليد عدد النبضات المطلوب والذي تحده زاوية الدوران المطلوبة.

بناءً على ذلك سوف نقوم ببناء خوارزمية تحكم تقوم بتحقيق الموضع المطلوب خلال زمن معين المخطط النهجي لسير العملية:



الشكل (6-35): المخطط النهجي لسير العملية

فكرة الكود البرمجي :

قمنا في هذا الكود باعتماد الخوارزمية الثنائية حيث تم تحقيق عدة مواضع خلال زمن ثابت، حيث إنه :
 - عند الضغط على الكباس الأول فإن المعالج سيولد 10000 نبضة خلال ثانيتين، أي ما يقابل دورة خلال ثانيتين.
 - عند الضغط على الكباس الثاني فإن المعالج سيولد 20000 نبضة خلال ثانيتين، أي ما يقابل دورتين خلال ثانيتين
 - عند الضغط على الكباس الثالث فإن المعالج سيولد 40000 نبضة خلال ثانيتين، أي ما يقابل أربع دورات خلال ثانيتين
 - طبعاً قبل الضغط على أي كباس يجب أولاً الضغط على الكباس رقم صفر الذي يمثل طلب تشغيل المحرك.
 الكود البرمجي :

<pre>#include <mega16.h> #include <math.h> #include <stdlib.h> #include <delay.h> float q=0,m1,m,A1,A2,A3,A4,A3A4; float n=0; char *s; #asm .equ __lcd_port=0x1B ;PORTA #endasm #include <lcd.h> interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void) { lcd_clear(); PORTD.7=0; TCCR1B=0x00; TCCR0=0x00; s1: if(PINC.2==0) { while(PINC.2==0) { }; m=10000,q=1,OCR1A=800; } s2: if(PINC.3==0) { while(PINC.3==0) { m=20000,q=1,OCR1A=400; } } s3: if(PINC.4==0) { while(PINC.4==0) { m=40000,q=1,OCR1A=200; } } if(q==0)goto s1; s: TCCR1B=0x09; //freq 8MHz TCCR0=0x06; PORTD.7=1; lcd_putsf("start up"); } interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void) { n+=1; }</pre>	<pre>void main(void) { // Declare your local variables here // Input/Output Ports initialization // Port A initialization // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T PORTA=0x00; DDRA=0x00; // Port B initialization // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T PORTB=0x00; DDRB=0x00; // Port C initialization // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In // State7=T State6=T State5=T State4=P State3=P State2=P State1=T State0=T PORTC=0x1C; DDRC=0x00; // Port D initialization // Func7=In Func6=In Func5=Out Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In // State7=T State6=T State5=0 State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T PORTD=0x0f; DDRD=0x20; // Timer/Counter 0 initialization // Clock source: T0 pin Falling Edge // Mode: Normal top=FFh // OC0 output: Disconnected TCCR0=0x06; TCNT0=0x00; OCR0=0x00;</pre>
-1-	-2-

```

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 8000.000 kHz
// Mode: CTC top=OCR1A
// OC1A output: Toggle
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: On
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x40;
TCCR1B=0x09;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Falling Edge
// INT1: Off
// INT2: Off
GICR|=0x40;
MCUCR=0x02;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x40;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x15;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by
Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

```

-3-

```

// LCD module initialization
lcd_init(16);

// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{
// Place your code here
if(q==1)
{
m1=n*256+TCNT0;

if(m1>=m)
{
TCCR1B=0x00; //if we had the target number of
pulses we will clear timer

TCCR0=0x00;
PORTD.7=0;
lcd_clear();
lcd_putsf(".....Done.....");
lcd_gotoxy(0,1);
A1=floor(m/1000);
itoa(A1,s);
lcd_puts(s);
A2=floor(m/100)-A1*10;
itoa(A2,s);
lcd_puts(s);
A3A4=(m-A1*1000-A2*100);

A3=floor(A3A4/10);
itoa(A3,s);
lcd_puts(s);

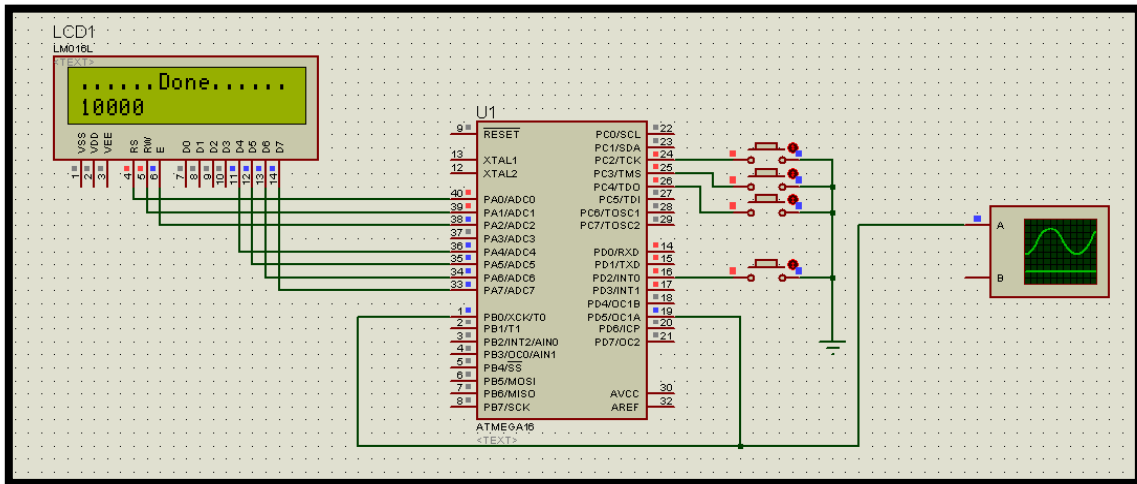
A4=A3A4-A3*10;

itoa(A4,s);
lcd_puts(s);
m1=0;
n=0;
q=0;
}
}
}
}
// End of code.....

```

-4-

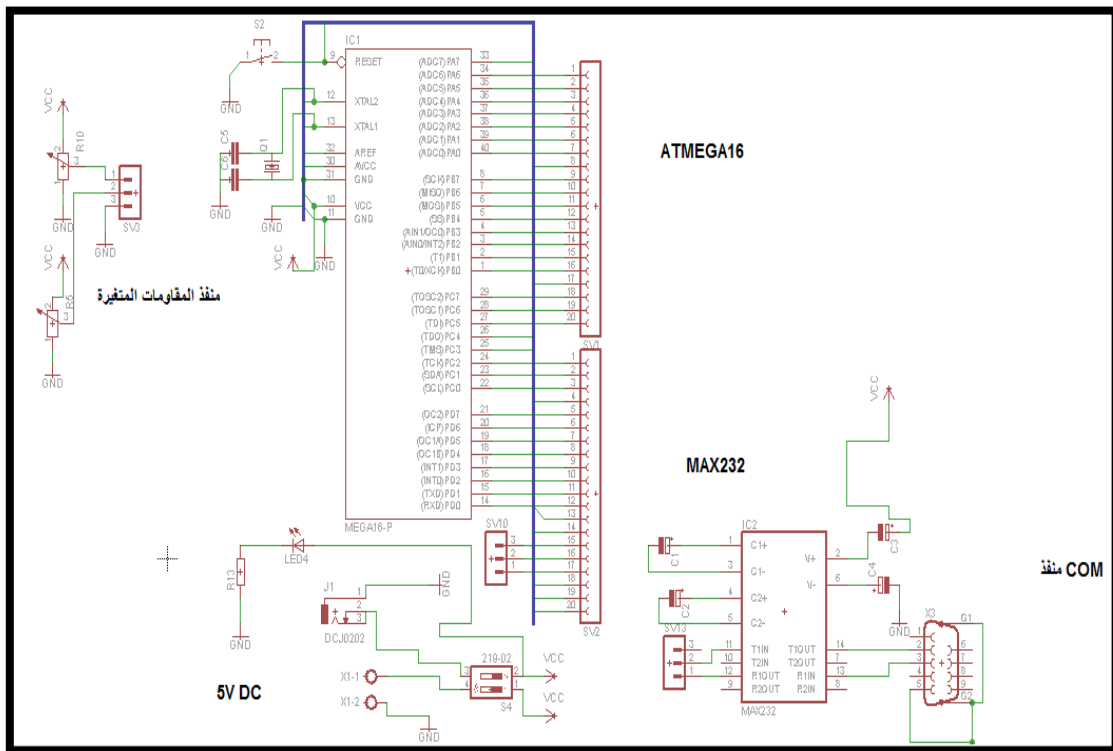
ودارة المحاكاة الخاصة بالكود السابق:



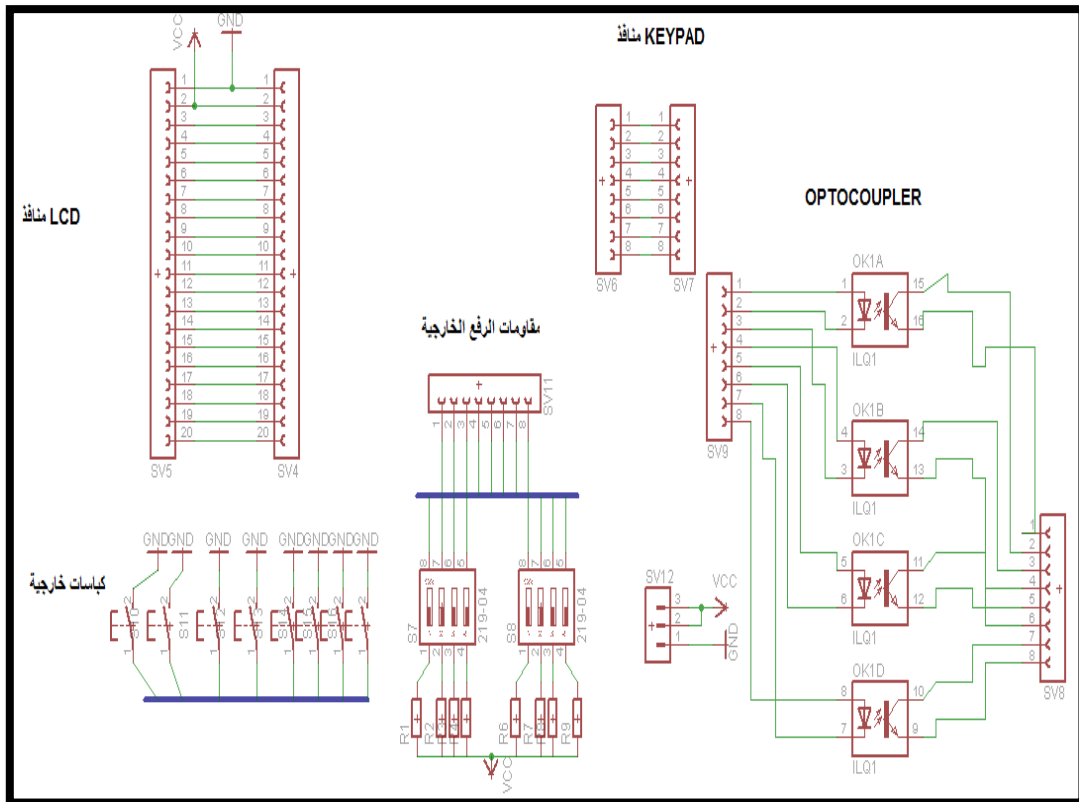
الشكل(6-36):محاكاة الكود البرمجي ضمن بيئة Proteus

الدارة العملية:

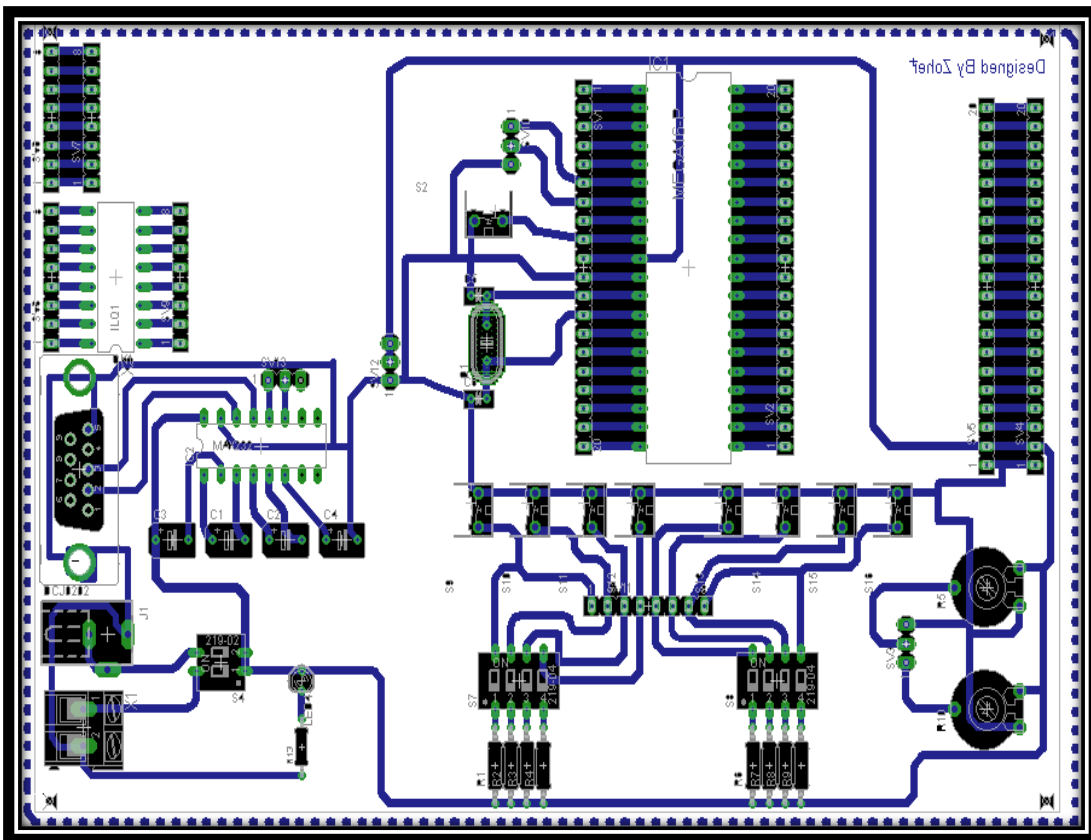
وتم تنفيذ الدارة العملية على لوحة التجارب الخاصة بالشريحة المدروسة والتي تتضمن معظم المحيطيات و الطرفيات التي من الممكن أن تتصل بالشريحة من مداخل رقمية وتشابهيية ووحدة ملائمة للاتصال مع الحاسب وإمكانية ربط لوحة مفاتيح وشاشة عرض مع الشريحة وكذلك يمكن لهذه اللوحة أن تخدم تجارب الاتصال اللاسلكي بين المتحكمات والأشكال التالية تبين المخطط النظري والعملي والدارة المطبوعة:



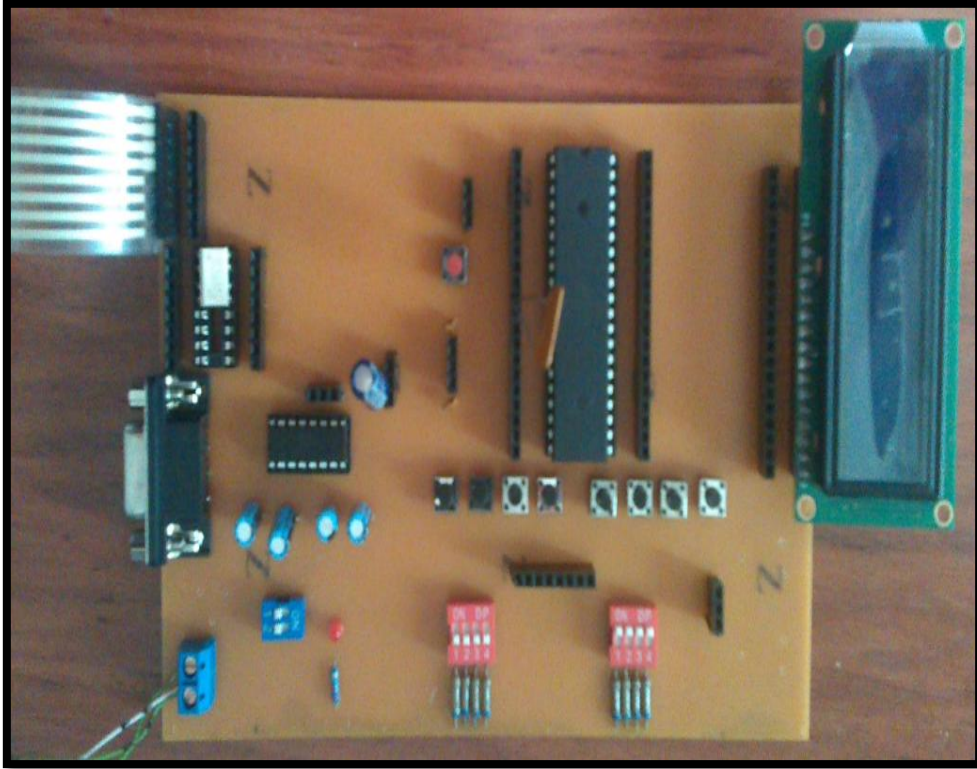
الشكل(6-40)المخطط النظري للدارة المطبوعة



الشكل (6-41) المخطط النظري للدارة المطبوعة



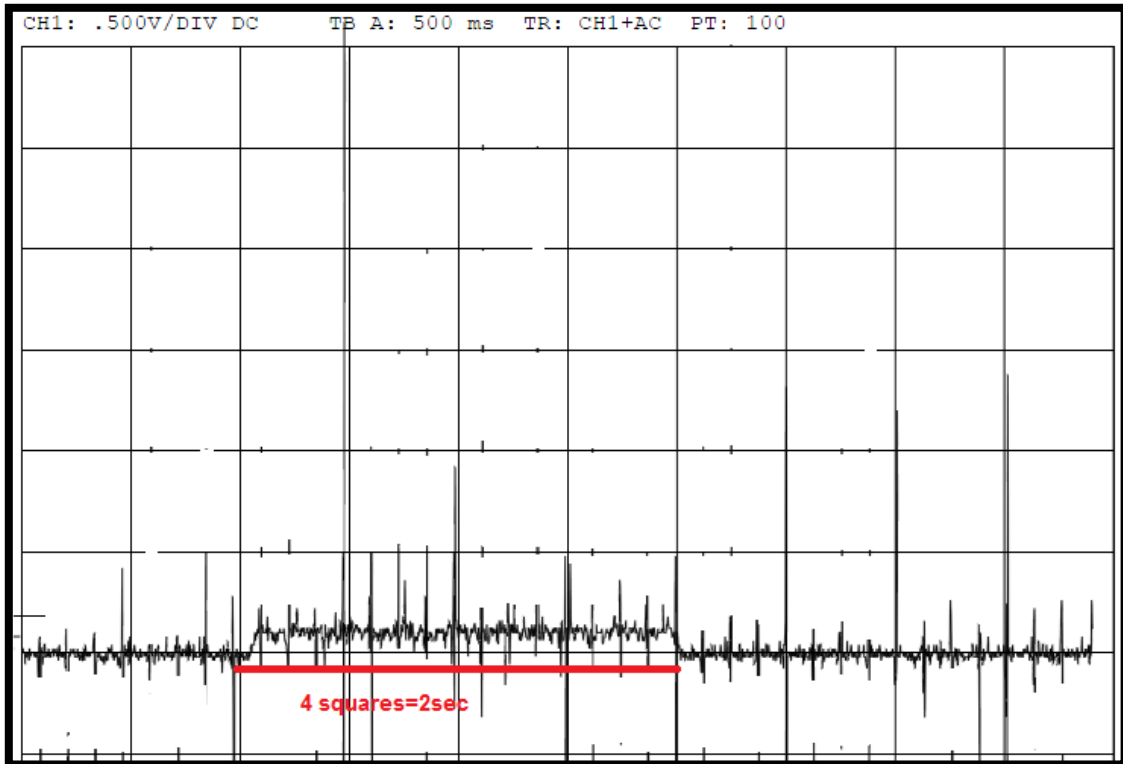
الشكل (6-42) مخطط الدارة المطبوع



الشكل(6-43): الدارة العملية: لوحة تجارب الشريحة الرقمية (Atmega 16)

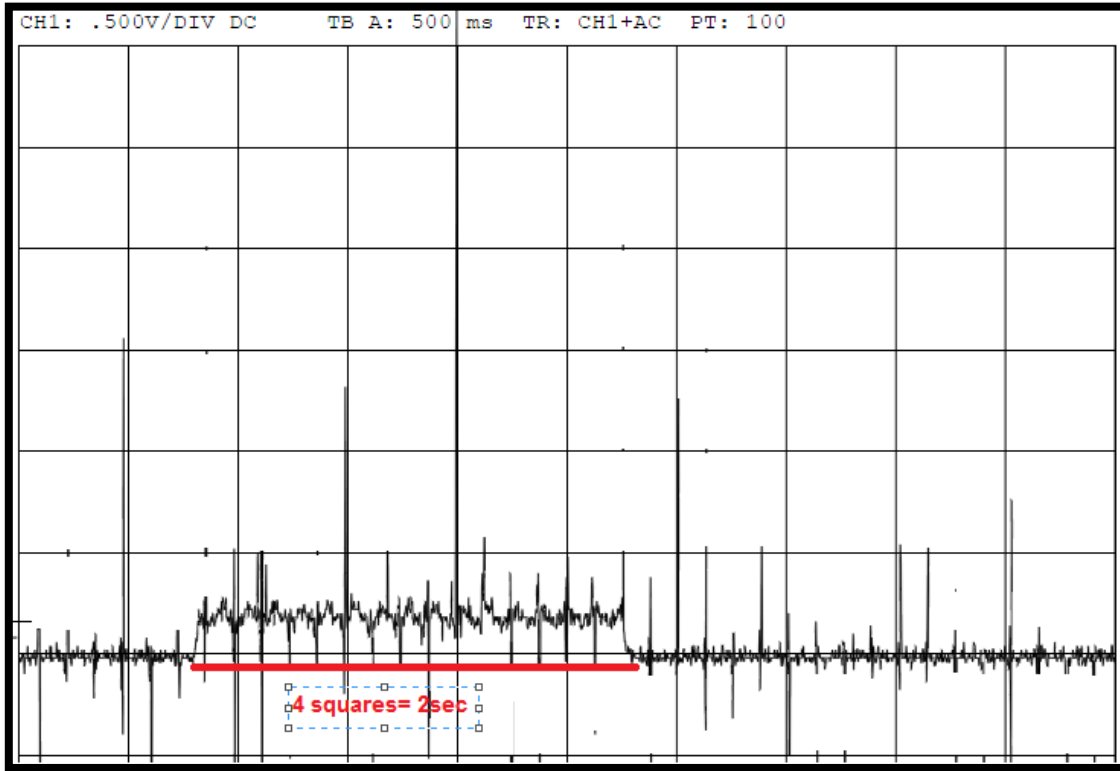
التجارب العملية باستخدام خوارزمية الموضع:

السرعة عند دورتين (تحكم بالموضع): 20000 نبضة خلال ثانيتين



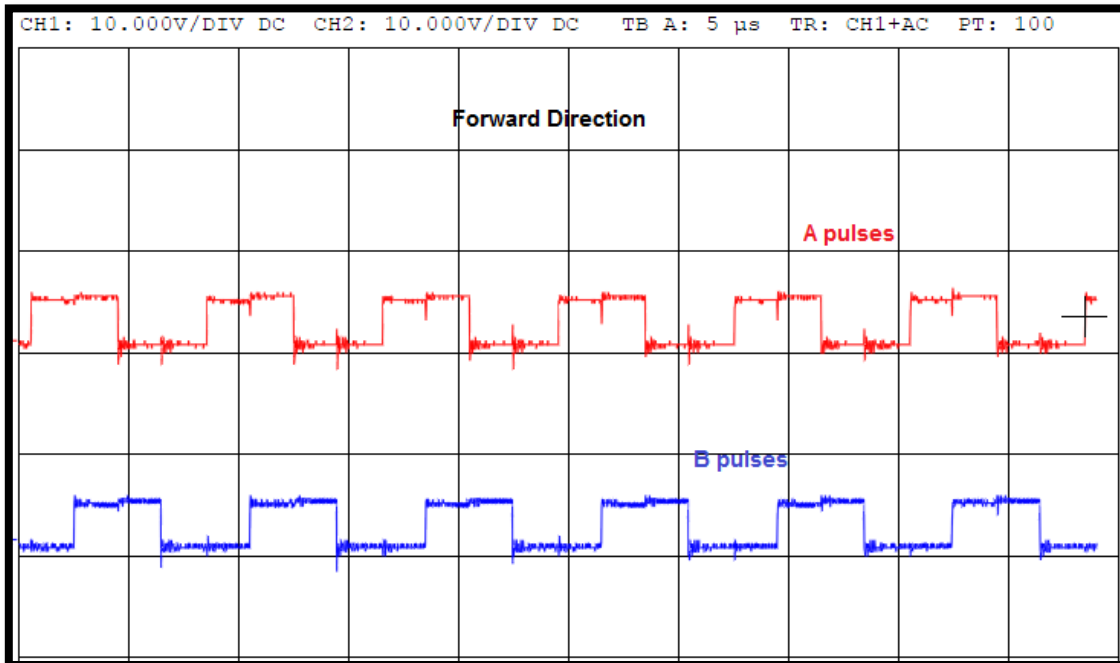
الشكل(6-44): دوران المحرك دورتين خلال ثانيتين

السرعة عند أربع دورات (تحكم بالموضع): 40000 نبضة خلال ثانيتين

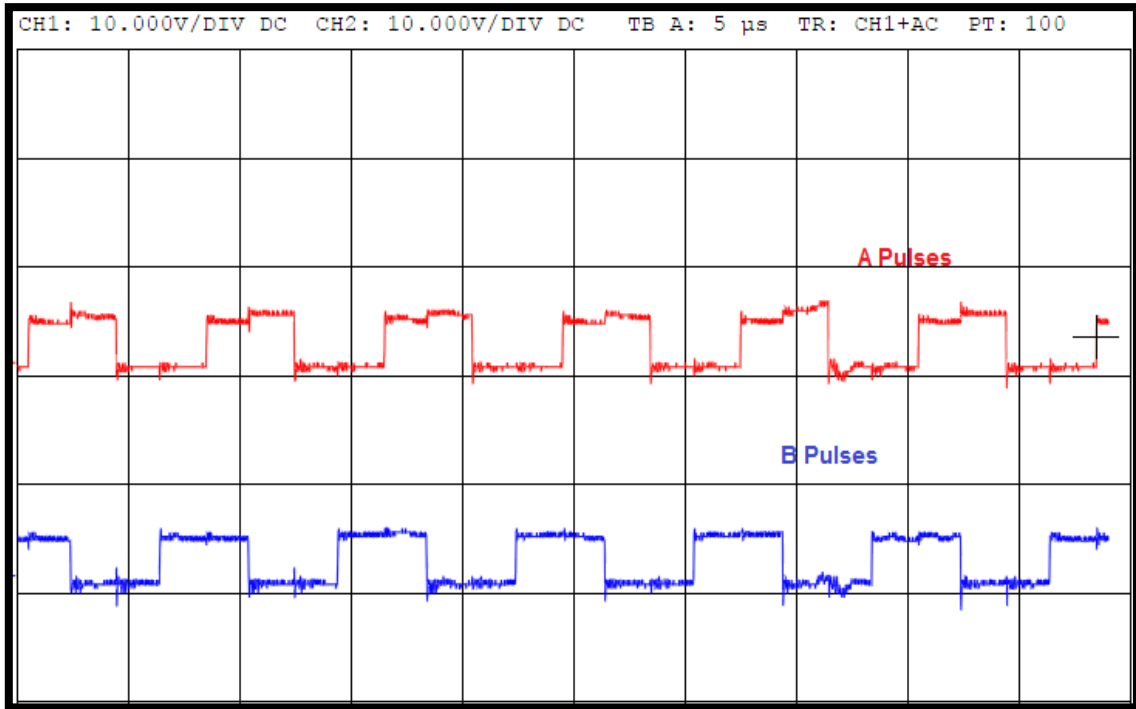


الشكل (6-45): دوران المحرك أربع دورات خلال ثانيتين

نبضات الانكودر في حالة الدوران الامامي:



الشكل (6-46): نبضات الانكودر الموصول على محور المحرك في حالة الدوران الأمامي



الشكل (6-47): نبضات الانكودر الموصول على محور المحرك في حالة الدوران العكسي

6-10- ربط الانفيرتر مع الحاسب

الآن سيتم الانتقال الى مرحلة جديدة من التجارب ألا وهي الربط مع الحاسب: من أجل الربط بين الانفيرتر والحاسب هناك برنامج جاهز من أجل ذلك ولكن نحن عملنا في الربط على مرحلتين.

المرحلة الاولى:

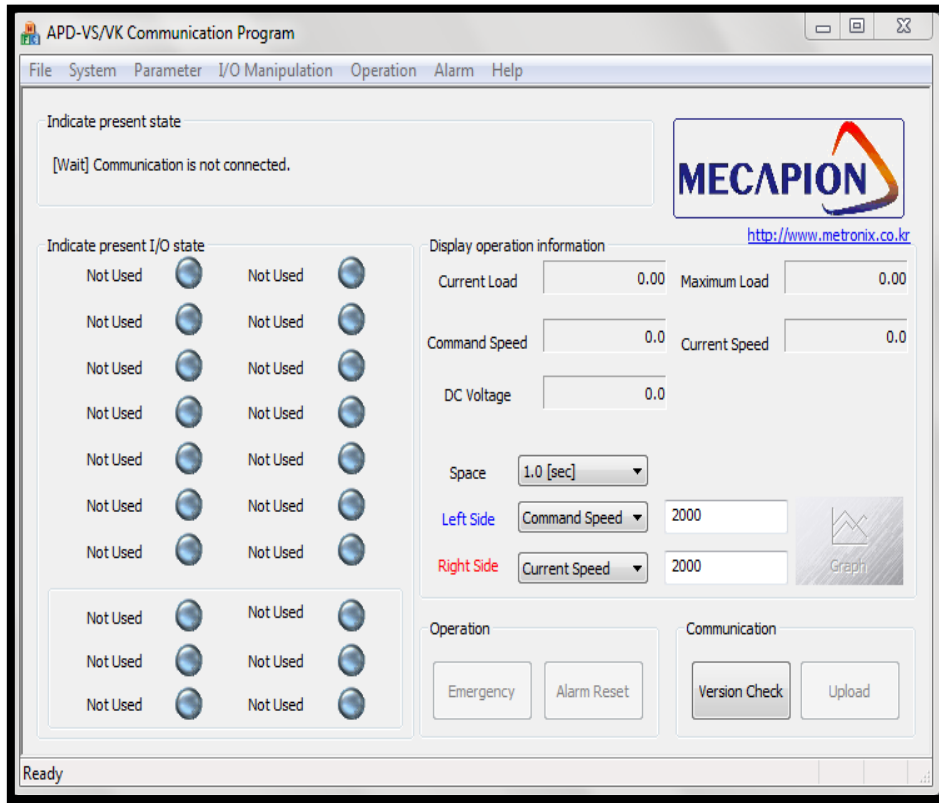
الربط المباشر بين الانفيرتر والمحرك عن طريق البرنامج المزود من الشركة.

المرحلة الثانية :

الربط غير مباشر بين الحاسب والانفيرتر عن طريق مولد نبضات المشروح سابقاً وهذا الربط يتم عن طريق واجهة تم تصميمها بواسطة برنامج LabView .

سنقوم الان بشرح المرحلة الاولى حيث تم الربط بواسطة برنامج Mecapion المرفق مع الإنفيرتر الخاص بالمحرك.

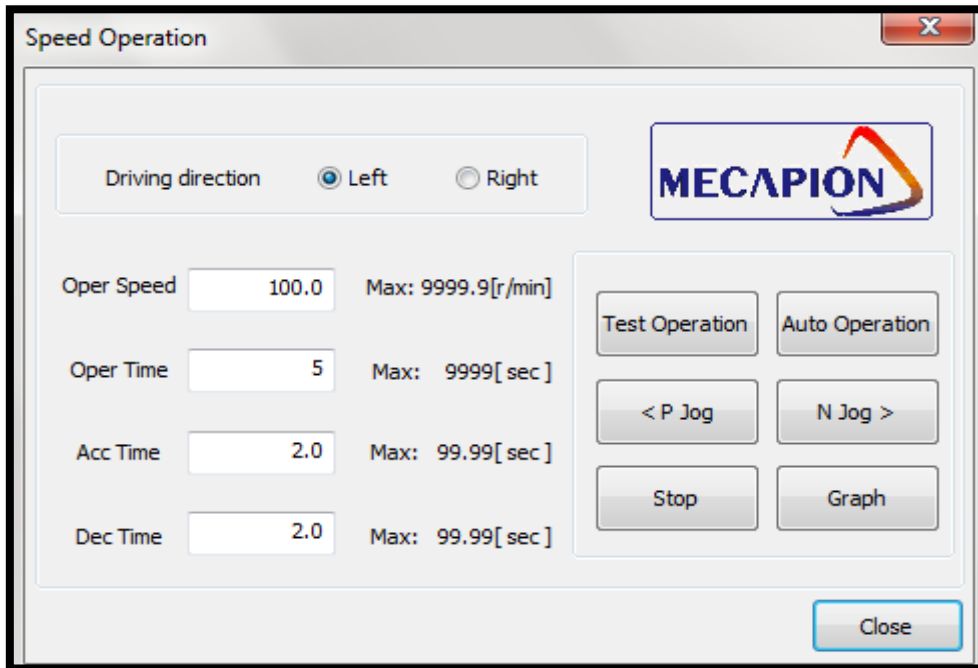
الواجهة الرئيسية للبرنامج:



شكل (6-48) الواجهة الرئيسية للبرنامج

مميزات هذا البرنامج:

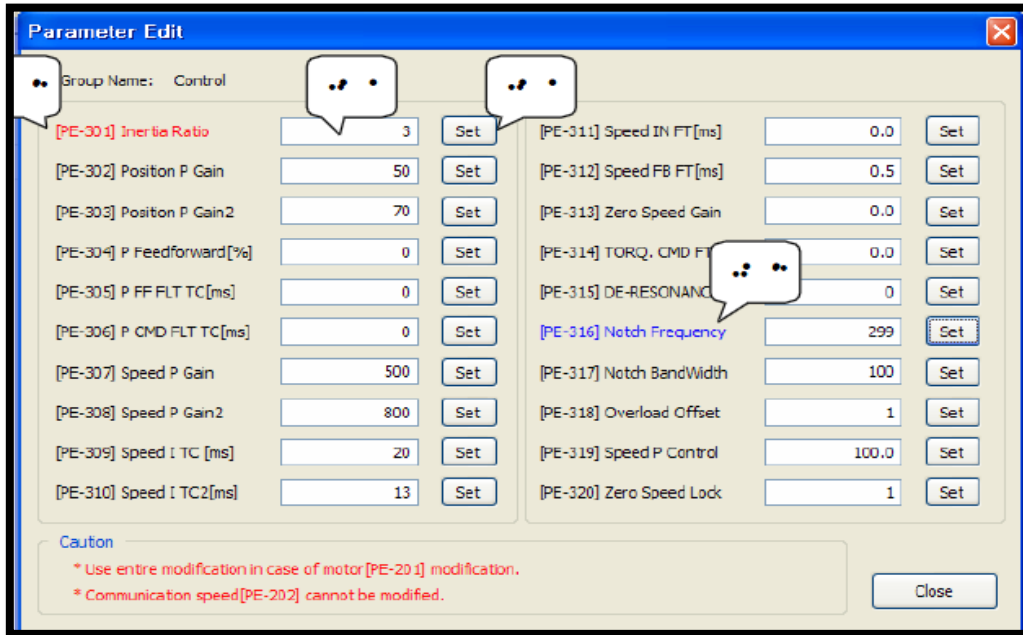
- ✚ يزود إمكانية العمل في Tuning Mode & Speed Mode
- ✚ عند اختيار نمط السرعة ستظهر لنا الواجهة التالية:



الشكل (6-49) الواجهة في حالة العمل بنمط السرعة

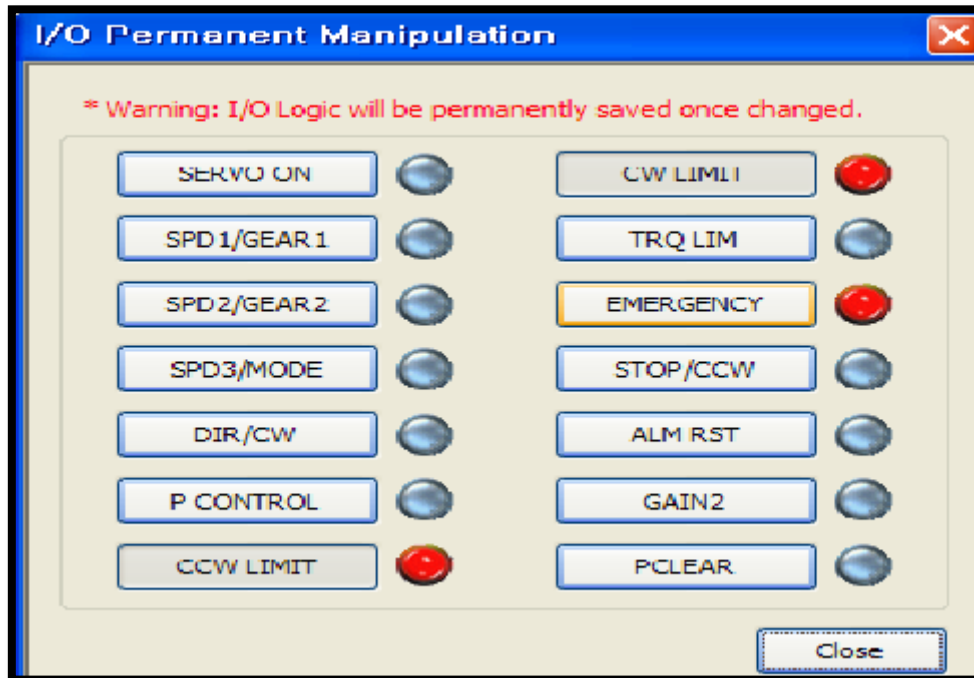
كما نلاحظ تمكن هذه الواجهة من العمل في نمطين أيضاً نستطيع من خلالها تحديد زمن التسارع وزمن التباطؤ إضافةً الى زمن الاختبار.

✚ إمكانية ضبط بارامترات الانفرتر عن طريق الواجهة التالية:



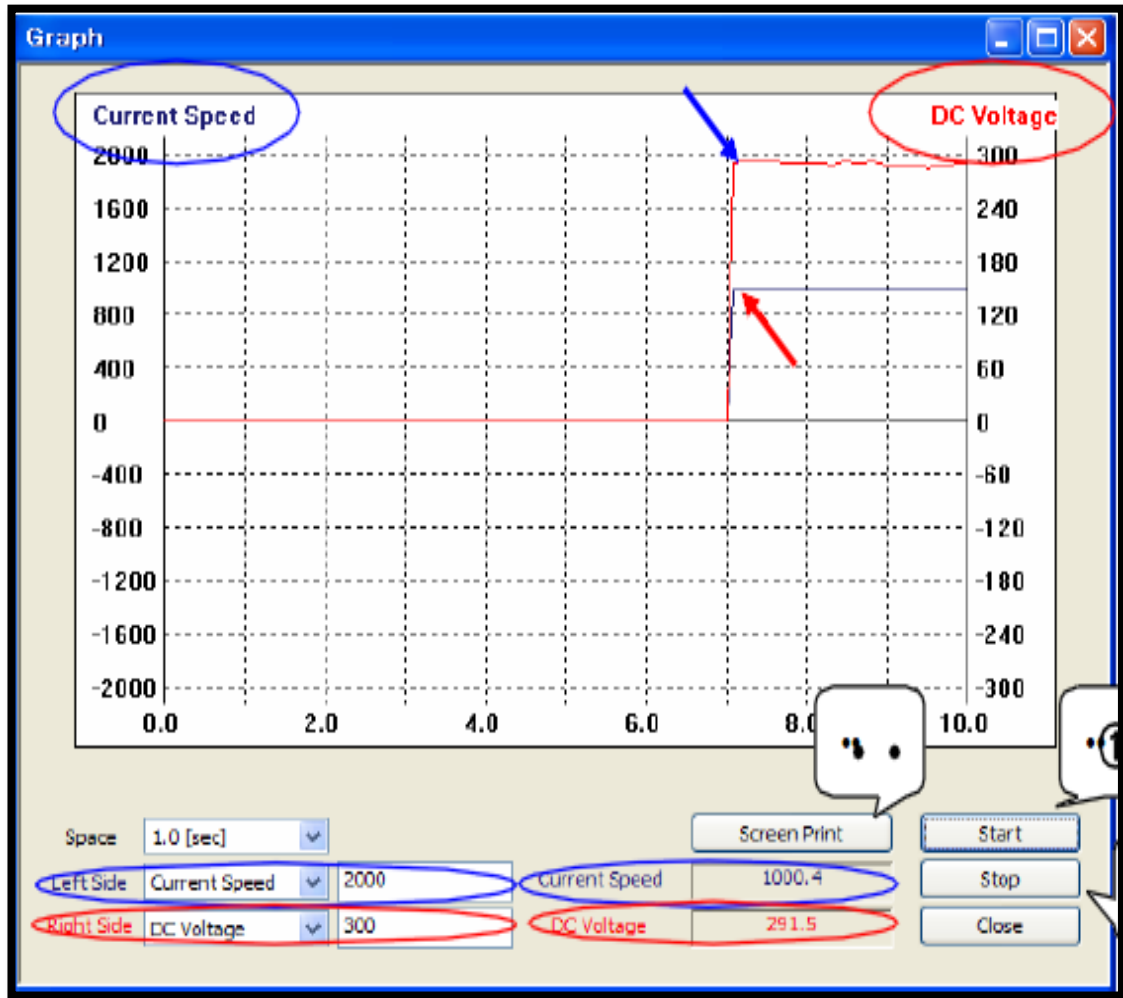
شكل(6-50) تحديد البرامترات عن طريق البرنامج

✚ إمكانية مراقبة المداخل والمخارج الرقمية.



الشكل(6-51) حالة المداخل والمخارج في حالة عمل البرنامج

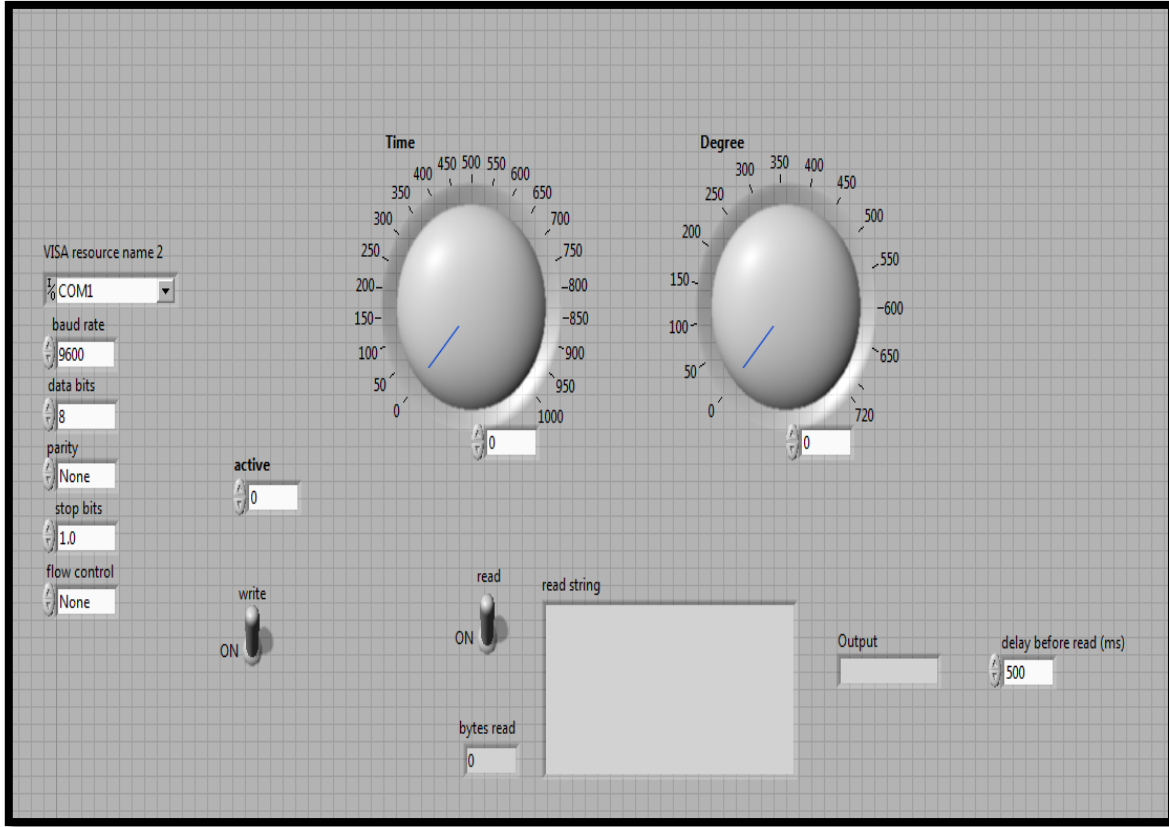
مكانية رسم السرعة الحقيقية وتحديد DC-Link



الشكل (6-52) السرعة الحقيقية والجهود المستمر عند تلك اللحظة

المرحلة الثانية الربط عن طريق واجهة مصممة باستخدام البرمجة الرسومية بواسطة LabView:

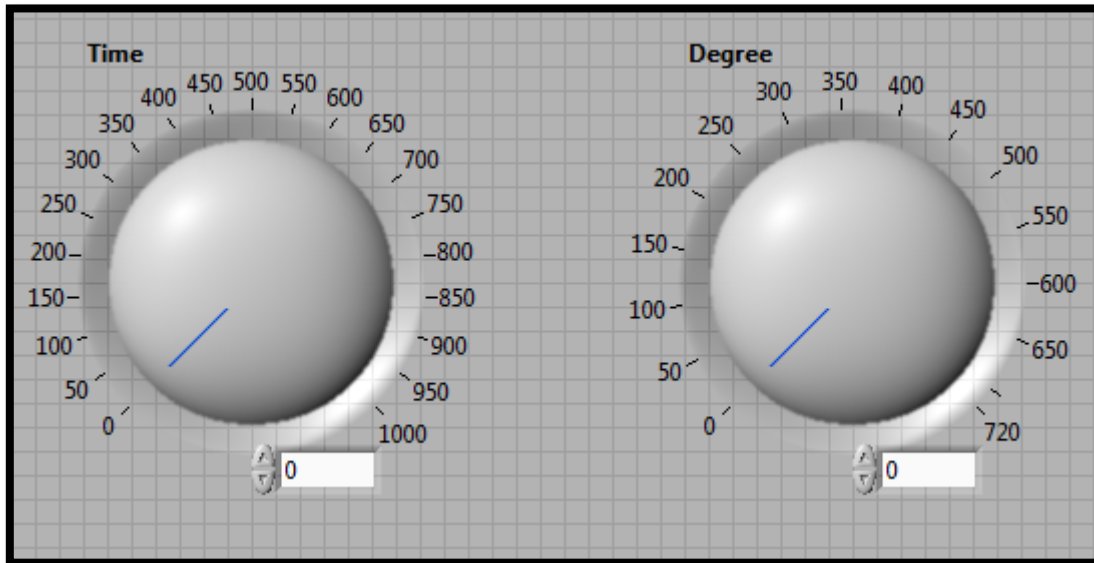
الآن سنقوم بشرح المرحلة الثانية حيث تم الربط عن طريق واجهة مصممة باستخدام البرمجة الرسومية بواسطة برنامج LabView وظيفتها هذه الواجهة التخاطب و إعطاء الأوامر إلى مولد النبضات المشروح سابقاً.



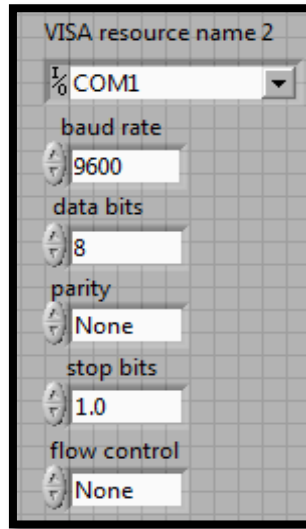
الشكل (6-53) الواجهة الرسومية للمستخدم.

وتتضمن الواجهة العناصر التالية:

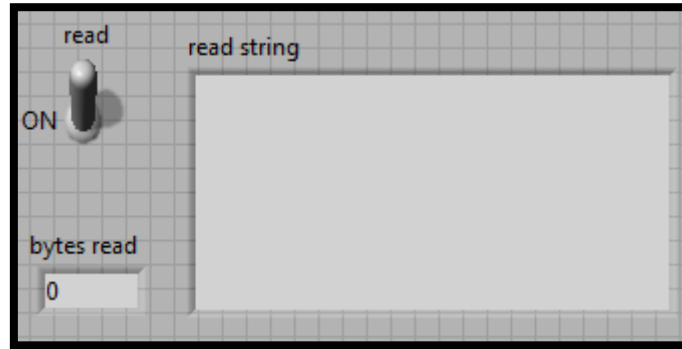
➡ مفاتيح إدخال الدرجة والزمن المطلوبين.



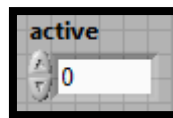
✚ تحديد خصائص الاتصال التسلسلي:



✚ المعطيات المرسله من المتحكم المصغر مع مفتاح تفعيل القراءة:

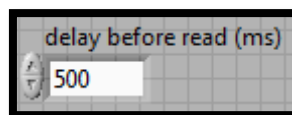


✚ أمر الإرسال:



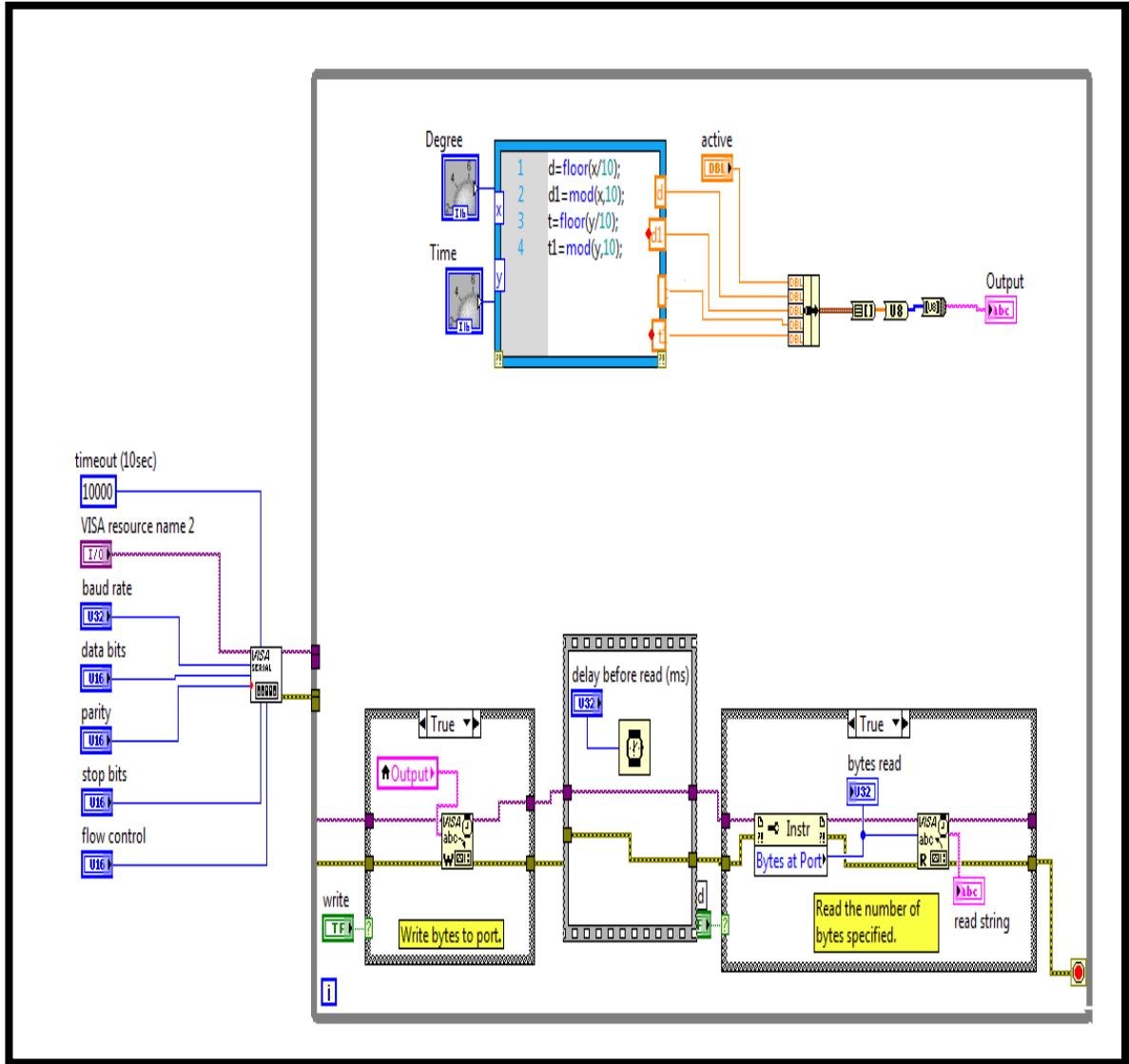
حيث لا يتم استقبال البيانات من قبل المتحكم إلا اذا تم إرسال رقم 1 ومن أجل إعادة استقبال بيانات جديد من قبل المتحكمو يجب إرسال 0 ومن ثم 1 من جديد.

✚ تحديد سرعة الإرسال والاستقبال:



✚ تفعيل الإرسال:





الشكل(6-54) الواجهة البرمجية للواجهة الرسومية السابقة

ينقسم البرنامج في الأعلى إلى جزئين:

الجزء الأول: إنشاء الاتصال وتهيئة إرسال واستقبال البيانات وهو الجزء الموجود في أسفل الصورة.

الجزء الثاني: وهو الموجود في أعلى ويتم فيه تشفير البيانات المراد إرسالها الى المتحكم المصغر حيث يتم إرسال قيمة 5 بايت فيتم تشفيرهم لما يقابلهم في ACCSI CODE ويتم تخزينه في المتغير Output ومن قم توصيله ب VISA Write.

الجزء الاول:

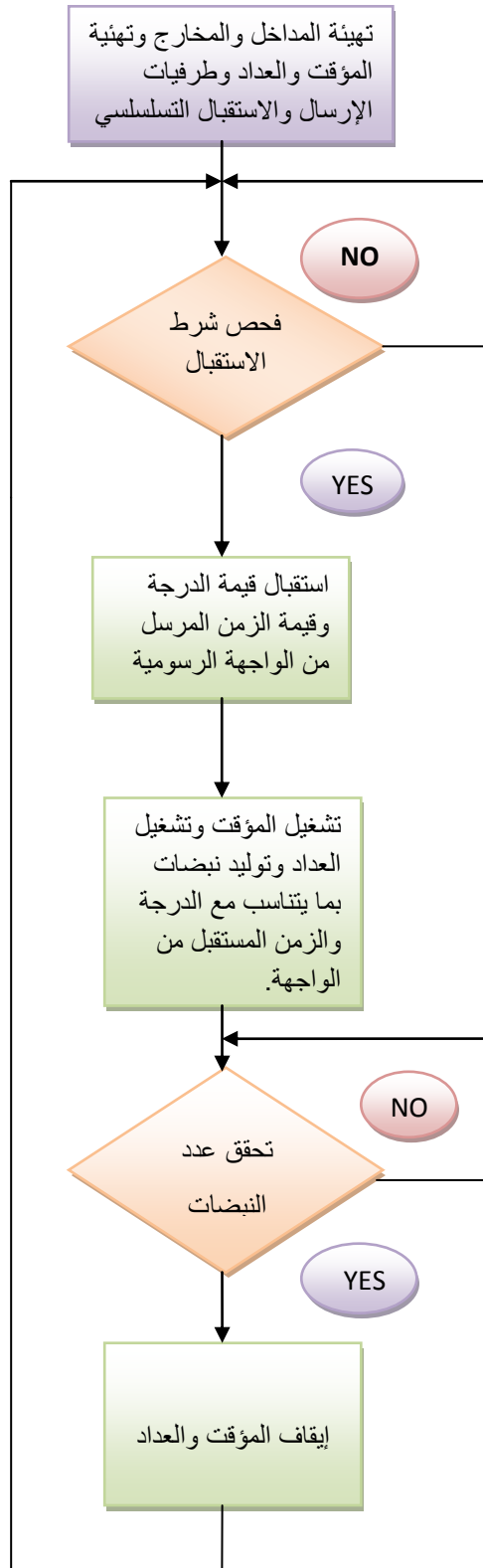
	<p>تقوم هذه الدالة بفتح جلسة اتصال مع المنفذ التسلسلي ويجب وضعها قبل حلقة While</p>
<p style="text-align: center;">VISA Write</p>	<p>تقوم هذه الدالة بإرسال النص الموصول ب write buffer وإرساله إلى المتحكم</p>
<p style="text-align: center;">VISA Read</p>	<p>تقوم هذه الدالة باستقبال النص القادم من المتحكم على read buffer</p>

الجزء الثاني:

وفي هذا الجزء يتم فيه إرسال الدرجة المطلوبة والزمن المطلوب إلى المتحكم حيث يستقبل المتحكم تلك المعلوماتين ويعمل على توليد النبضات على أساس تلك المعلوماتين.

	<p>يتم هنا استخدام mathscript وذلك من أجل تقسيم الدرجة والزمن إلى بايتين مستقلين وإرسال كل بايت على حده ومن ثم يتم تجميع البائتين في المايكرو وذلك بسبب أنه لا يمكن إرسال معلومة مكونة من بايتين بشكل مباشر</p>
	<p>باستخدام bundle يتم هنا تجميع البايتات على شكل frame يتألف من بايت شرط الاستقبال بايتين للدرجة وبائتين للزمن</p>
	<p>يتم هنا تحويل cluster to string وذلك من أجل الكتابة على write buffer</p>

المخطط النهجي لسير العملية:



فكره الكود البرمجي:

تعتمد الفكرة بشكل أساسي على إدخال الدرجة والزمن المطلوبين بمعنى آخر عدد دورات معين خلال زمن محدد حيث تم الاعتماد في توليد النبضات على نمط التصفير بالنسبة للمؤقت الأول ويقوم العداد 0 بعد النبضات المولده من قبل المؤقت 1 وعند تحقق العدد المطلوب يتم إيقاف المؤقت 1 والعداد 0 ويتم ايضاً تصفير العداد والمؤقت المستخدمين في هذه العملية.

استنتاج القوانين المستخدمة:

كل 360 درجة تقابل 10000 نبضة

كل deg درجة تقابل m

$$m = \frac{10000 * deg}{360}$$

حيث:

deg الدرجة التي أدخلها المستخدم من الواجهة

m عدد النبضات المطلوب

$$\text{كل } 1 \text{ عده زمنها } 10^{-6} \times \frac{1}{4}$$

كل Ncou عدة زمنها يساوي زمن النبضة الواحدة (لأننا نعمل في نمط التصفير)

زمن النبضة الواحدة=زمن النبضات مقسوما على عدد النبضات الكلي

وبالتالي:

$$Ncou = \frac{4 * 10^6 * time}{m}$$

حيث:

Ncou عدد العدادات الواجب تحميلها في مسجل OCR1A

time زمن النبضات الواجب على المستخدم إدخالها من الواجهة

```

#include <mega16.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <lcd.h>
#include <delay.h>
float a1,q=0,p=0,a2,a3,a4
,a5,time,m,m1,Ncou,deg,n=0;
char *s;
#asm
    .equ __lcd_port=0x1B ;PORTA
#endasm
#define RXB8 1
#define TXB8 0
#define UPE 2
#define OVR 3
#define FE 4
#define UDRE 5
#define RXC 7
#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)
#define RX_BUFFER_SIZE 5// USART Receiver
buffer
char rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
#if RX_BUFFER_SIZE<256

```

-1-

```

unsigned char rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#else
unsigned int rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#endif
bit rx_buffer_overflow;
// This flag is set on USART Receiver buffer overflow
interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
// USART Receiver interrupt service routine
{
char status,data;
status=UCSRA;
data=UDR;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR |
DATA_OVERRUN))==0)
{
rx_buffer[rx_wr_index]=data;
if (++rx_wr_index == RX_BUFFER_SIZE)
rx_wr_index=0;
if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE)
{
rx_counter=0;
rx_buffer_overflow=1;
};
};
}

```

-2-

```

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
// Get a character from the USART Receiver buffer
#pragma used+
#include <stdio.h>
// Standard Input/Output functions
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
// Timer 0 overflow interrupt service routine
{
n+=1;
}
void main(void)
{
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;
PORTD=0x00;
DDRD=0x22;
TCCR0=0x07; // Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: T0 pin Rising Edge
TCNT0=0x00; // Mode: Normal top=FFh
OCR0=0x00; // OC0 output: Disconnected
TCCR1A=0x40; // Timer/Counter 1 initialization// Clock
source: System Clock
TCCR1B=0x00; // Clock value: 8000.000 kHz// OC1B
output: Discon.
TCNT1H=0x00; // OC1A output: Toggle// Input Capture on
Falling Edge
TCNT1L=0x00; // Noise Canceler: Off// Input Capture
Interrupt: Off
ICR1H=0x00; // Timer 1 Overflow Interrupt: On
ICR1L=0x00; // Compare A Match Interrupt: On
OCR1AH=0x00; // Mode: CTC top=OCR1A
OCR1AL=0x00; // Compare B Match Interrupt: Off

```

-3-

```

OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
ASSR=0x00; // Timer/Counter 2 initialization
TCCR2=0x00; // Clock source: System Clock
TCNT2=0x00; // Clock value: Timer 2 Stopped
OCR2=0x00;
// Mode: Normal top=FFh// OC2 output: Disconnected
TIMSK=0x15; // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s)
initialization
UCSRA=0x00; // USART initialization// USART Baud rate:
9600
UCSRB=0xD8; // Communication Parameters: 8 Data, 1
Stop, No Parity
UCSRC=0x86; // USART Receiver: On
UBRRH=0x00; // USART Transmitter: On
UBRRL=0x33; // USART Mode: Asynchronous
lcd_init(16); // LCD module initialization
#asm("sei") // Global enable interrupts
while (1)
{
a1=rx_buffer[0];
lcd_gotoxy(0,0);
itoa(a1,s);
lcd_puts(s);
if((a1==1)&&(p==0))
{
a2=rx_buffer[1];
a3=rx_buffer[2];
a4=rx_buffer[3];
a5=rx_buffer[4];
deg=((a2*10)+a3);
time=a4*10+a5;
lcd_clear();
lcd_gotoxy(2,0);
itoa(deg,s);
lcd_puts(s);
lcd_gotoxy(0,1);

```

-4-

```
itoa(time,s);
lcd_puts(s);
m=ceil(deg*2500/360);
Ncou=(4*1000000*time)/m;
TCCR1B=0x00;
TCCR0=0x00;
OCR1A=Ncou;
TCCR1B=0x09;
TCCR0=0x07;
q=1;
p=1;
}
if(a1==0)p=0;
if(q==1)
{
m1=n*256+TCNT0;
if(m1>=m)
{
TCCR1B=0x00;
//if we had the target number of pulses we will clear time
TCCR0=0x00;
m=0;
n=0;
q=0;
lcd_clear();
lcd_putsf("Done:");
delay_ms(1000);
m1=0;
}
}
};
}
```

-5-

11-6 - الخاتمة

في هذا الفصل تعرفنا نظرياً وعملياً على وحدة قيادة متكاملة لقيادة محرك متوافقت ذي مغايط دائمة، ونؤكد أنه لبارامترات المحرك دور كبير في عملية القيادة الصحيحة، وقد قمنا بشرح خوارزميتي عمل مستخدمة في هذه الوحدة وهي خوارزمية التحكم بالموضع وخوارزمية التحكم بالسرعة حيث تم استخلاص أهم البارامترات المستخدمة في هاتين الخوارزميتين من الكتالوك المرفق مع وحدة القيادة المستخدمة، وإجراء تجارب مستنده على تلك البارامترات مع التطرق إلى ربط هذه الوحدة مع الحاسب، حيث تم تصميم واجهة رسومية باستخدام بيئة LabVIEW تعمل على قيادة المحرك ضمن خوارزمية الموضع بمساعدة مولد نبضات خارجي تم تصميمه من قبلنا.

خلاصة البحث

لا بدَّ في نهاية هذا المشروع من استعراض ما تمَّ إنجازه من عملٍ وسرد النقاط الرئيسية في هذا البحث، ومن ثمَّ نعرض بعض الأفكار والمقترحات لتطوير البحث مستقبلاً. في نهاية هذا البحث نجد أننا حصلنا على دراسة نظرية ورياضية للمحرك المتواقت ذي المغناط الدائمة مع إرفاق تلك الدراسة ببحث متواضع عن وحدة قيادة محرك ذي مغناط دائمة تتضمن:

➤ دراسة بنية ومبدأ عمل المحرك المتواقت، بالإضافة إلى دراسة أنواع المحركات المتواقتة، حيث تختلف تلك المحركات بشكل أساسي في بنية الدوار، ذلك الاختلاف يحدد بشكل جذري استخدام المحرك من حيث الاستطاعات والسرعات المطلوبة.

➤ استنتاج المعادلات الرياضية الممثلة للحوادث الفيزيائية داخل المحرك في نظام محاور إحداثيات ثنائية متعامدة دوارة بسرعة الدوار، والتي تساوي سرعة الساحة المغناطيسية في الثابت كون المحرك متواقت.

➤ دراسة نظام القيادة $V/F=constant$ في حالة العمل في نظام الحلقة المفتوحة والمغلقة، وفي نهاية تلك الدراسة وجدنا أن هذه الطريقة ذات أداء ديناميكي ضعيف بالنسبة للمحرك المتواقت، وذلك بسبب حاجتنا إلى معرفة زاوية الدوار من أجل إنتاج الجهود المطلوبة بشكل صحيح.

➤ دراسة نظام القيادة FOC التحكم بشعاع الفيض الموجه، تبين لنا في تلك الدراسة أنه لبنية دوار المحرك المتواقت دور كبير في اختيار نظرية التحكم المطلوبة، حسب التطبيق المطلوب إنجازه من قبل المحرك، كما يتمتع هذا النظام بديناميكية عالية لأنه يمكننا من حساب الثوابت وتحديد زاوية الدوار بشكل عالي الدقة.

➤ التمثيل الرياضي لقالبية الجهد المسؤولة عن تغذية المحرك، كنا نظن في بداية البحث أنه لا يوجد أهمية لإستخدام القالبية طالما أنه يتم تأمين الجهود المطلوبة من قبل المنظمات، تبين لنا من خلال الدراسة أن الجهود الناتجة عن المنظمات هي جهود صغيرة، وذلك لأنها تبنى بشكل رقمي داخل شريحة رقمية وهي تمثل صورة عن الجهود المطلوبة. من أجل إنتاج الجهد الواجب تطبيقه على دخل المحرك والمطلوب من خرج المنظمات، لابد من مرحلة وسيطية وهي المبدلات الإستطاعية.

➤ التمثيل الرقمي، حيث تم التمثيل الرقمي لجميع المعادلات الرياضية وذلك بهدف تمثيل النظام داخل الشرائح الرقمية، باستخدام أي لغة برمجة.

➤ إجراء دراسة نظرية وعملية على وحدة قيادة متكاملة لقيادة محرك متواقت ذي المغناط الدائمة، وقد قمنا بشرح خوارزمتي عمل مستخدمة في هذه الوحدة وهي خوارزمية الموضع وخوارزمية السرعة حيث تم استخلاص أهم البارامترات المستخدمة في هاتين الخوارزميتين من الكتالوك المرفق مع وحدة القيادة المستخدمة، و إجراء تجارب مستنده على تلك البارامترات مع التطرق إلى ربط هذه الوحدة مع الحاسب.

آفاق التطوير

مهما كان العمل على البحث متكامل فإنه في النهاية بحاجة لتطوير وذلك لأسباب عديدة منها ضيق الوقت وعدم توفر التجهيزات وخصوصاً في هذه الظروف الحرجة التي نعيشها في بلدنا العزيز سوريا ومن خلال دراستنا وعملنا على هذا المشروع وجدنا أن آفاق التطوير يمكن أن تتم في كثير من الاتجاهات.

ونلخص آفاق تطوير هذا المشروع بالنقاط التالية:

❖ توسيع الدراسة النظرية كمثال على ذلك نقطتين مهمتين:

1-استخدام قالبية تعمل بتقنية SVPWM.

2-استخدام نظام قيادة DTC تعتمد Fuzzy Logic PWM.

❖ توسيع الدراسة العملية ومن الأمثلة على ذلك:

1-استخدام الانفيرتر المدروس مع المحرك في تصميم تطبيق متكامل يتم فيه الربط مع PLC أو PCI.

2-تطوير الواجهة المستخدمة مثلاً من أجل رسم النبضات المطبقة على شاشة الحاسب.

3-الوصل بين عدة انفيرترات عبر أحد بروتوكولات الشبكات الصناعية (وذلك في حال توفر أكثر من انفيرتر في الكلية).

4-ربط الواجهة مع شبكة الانترنت.

المراجع الأجنبية:

1- Aalborg University Control In Power Electronics and Drives 8. Semester - Sensor less Control for PMSM.

2- MECAPION, AC Servo System Catalog.

المواقع على شبكة الويب:

3- www.ni.com

4- www.engineersgarage.com

5- www.eletorial.com

6- Walid Balid channel on youtube

المراجع العربية:

7- نعساني، أحمد عمار: محاضرات مادة أنظمة القيادة الكهربائية 1 لطلاب السنة الخامسة في قسم هندسة القيادة الكهربائية.

8- نعساني، أحمد عمار: محاضرات مادة أنظمة القيادة الكهربائية 2 لطلاب السنة الخامسة في قسم هندسة القيادة الكهربائية.

9- بسو، فاتح : النظرية العامة للآلات الكهربائية، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، حلب 1997.

10- مشروع تخرج، التمثيل الرياضي والرقمي لنظام قيادة محرك متواقت ذي مغناط دائمة، زياد النجار-أحمد سماق.

11- برمجة المتحكمات المصغرة AVR بلغة C إعداد إسماعيل طرودي.

