الباب الاول

مقدمة

1.1 مدخل:

تمثل المحركات الحثية 85% من المحركات المستخدمة في الصناعة وهذا يرجع إلي المميزات التي تتمتع بها من سهولة التركيب وقلة التكلفة وعدم حوجتها إلي صيانة متكررة وأيضا صلاحيتها للعمل في البيئة القاسية.

تم إختراع المحرك الحثي من قبل العالم نيكولا تيسلا في 1886 م في الولايات المتحدة الأمريكية حيث درس أسس وآلية عمل المحرك.

تحتل المحركات الحثية حوالي 85% من تطبيقات المحركات الصناعية نتيجة لما تتميز به المحركات الحثية من عزوم قوية إلي غيرها من المميزات الأخر ى وفي كثير من الأحيان يشار إليها ب(عصب العمل) الذي يعتمد عليه في الصناعة .

1.2 المشكلة:

ان من الصعب التحكم في سرعة المحركات الحثية، و نتيجة للتغيرات السريعة والمتلاحقة في مختلف ميادين الحياة وخاصة في ميادين الصناعة كان لابد من وجود طرق للتحكم في سرعة المحركات الحثية بكفاءة ودقة عالية .

1.3 الاهداف:

ان الاهداف الرئيسية من هذا المشروع يمكن تلخيصها في الاتي:

- دراسة التحكم في سرعة المحرك الحثي عن طريق (V/F).
- استخدام تقنية ثبات نسبة الفولتية والتردد للحصول علي سرعات مختلفة.

1.4 منهجية المشروع:

في هذا المشروع تم تصميم نموذج للتحكم في سرعة المحرك الحثي بتقنية v/f , pwm بإستخدام برنامج الماتلاب .

1.5 هيكلية المشروع:

في الباب الأول تم سرد لمحة تاريخية عن المحركات الحثية وتم عرض المشكلة والهدف من المشروع ومنهجية وهيكلية المشروع وفي الباب الثاني تم التحدث عن الكترونيات القدرة الترانزستور ثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة وجهاز الإنفرتر تعريفه وخصائصه ومبدأ عمله وتطبيقاته كذلك تحدثنا عن تعديل عرض النبضات (PWM).في الباب الثالث تم تناول الطرق التقليدية والحديثة للتحكم في سرعة المحركات ،وفي الباب الرابع تم تصميم نموذج يقوم بتغيير سرعة المحرك بإستخدام برنامج الماتلاب وفي الباب الخامس تحصلنا علي النتائج من نموذج المحاكاة وتحدثنا عن الخلاصة المفيدة من المشروع بالاضافة الى التوصيات والمراجع.

الباب الثاني

المحركات الكهربائية والكترونيات القدرة

2.1 المحركات الكهربائية :

هي آلات تحول الطاقة الكهربائية إلي قدرة ميكانيكية لإنجاز عمل حيث تستخدم المحركات الكهربائية لتشغيل عدة آلات ومعدات ميكانيكية .

تتنوع أحجام وسعات المحركات الكهربية تنوعا كبيرا فقد يكون المحرك صغيرا يقوم بوظائفه داخل ساعة يد أومحركا ضخما يمد قاطرة ثقيلة بالقدرة .

2.2 البنية العامة للمحرك:

يتكون المحرك بصورة عامة من :

- **العضو الدوار:**

هو الجزء الدائر فى المحرك ويكون متوازن بإحكام ضد الإهتزازات ومطلي بمواد خاصة لحماية الملفات

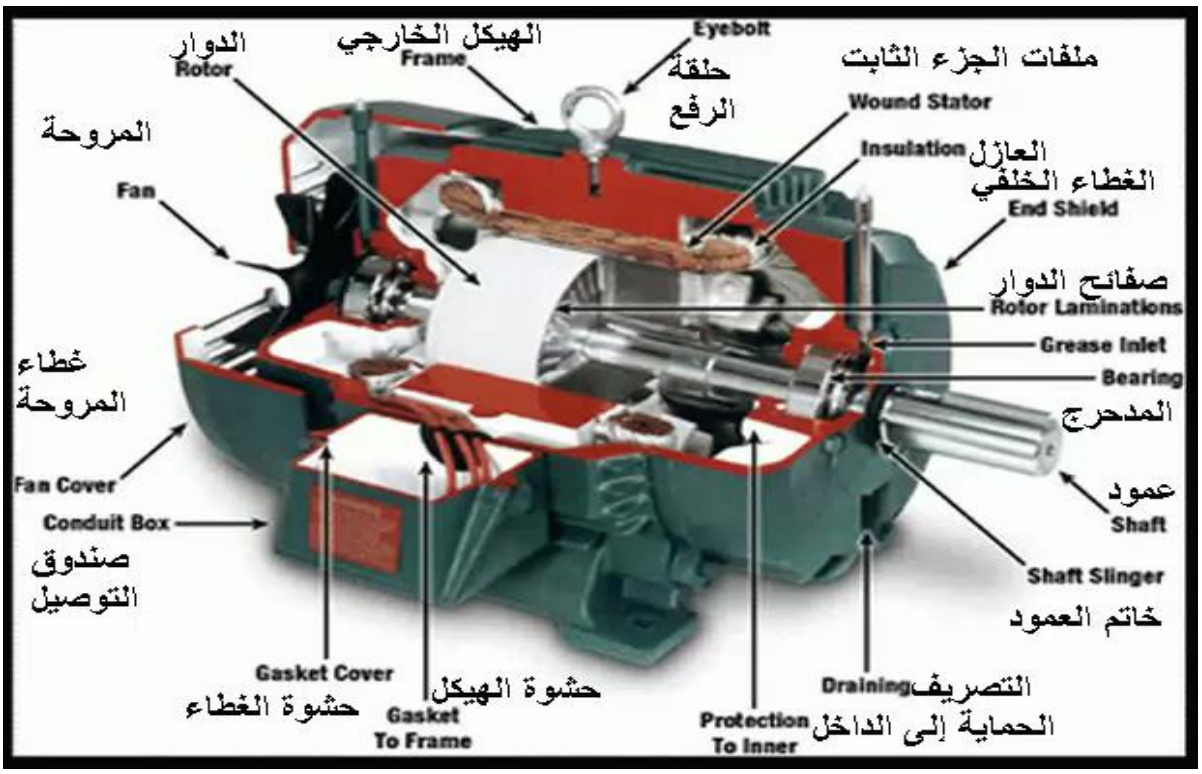
- **العضو الثابت:**

هو الجزء الثابت من المحرك ويمكن أن يكون الثابت أو الدوار مغناطيس أو ملفات كهربائية

- **المجمع:** هو حلقة مشطورة مثبتة على محور الدوران وتدور معه.
- **المسفرات** :هى الموصلات الكهربائية الى المجمع وتكون إما نحاسية أو كربونية مثبتة بنوابض للضغط على المجمع.
- **التجميع:**

هو عملية تغير إتجاه التيار المار فى ملفات الدوار أثناء حركتها تحت المسفرات.

- التحكم فى جهد محركات التيار المستمر يتم بالتحكم بعرض النبضة أما فى محركات التيار المتناوب يتم التحكم عن طريقتغيير مطال وتردد الإشارة الجيبية.



شكل (2.1) : يوضح مكونات المحرك الكهربي

2.3أنواع المحركات الكهربائية :

إن السبب الرئيسى لتعدد انواع المحركات انه لا يوجد محرك يمكن ان يعتبر محركا مثاليا يناسب جميع الاحمال ويعمل في كل الظروف ويفى بكل الاحتياجات بسعر مناسب وتكاليف تشغيل قليلة وحاجة قليلة للصيانة .بناءا علي ذلك فإن كل محرك يتم تصنيعه يكون له خواص محددة ومزايا وعيوب تختلف من نوع الى اخر .**[1]**

تنقسم المحركات الكهربائية من حيث نوع التيار إلى ما يلي:

- محركات تيار مستمر .
- محركات تيار متناوب .
- محركات عمومية (تغذى بتيار مستمر ومتناوب).
- محركات خاصة .

2.3.1 محركات التيار المستمر:

تستخدم عندما يكون الحمل في حاجة للعمل عند سرعات مختلفة ويحتاج الي عزم بدء عالى.

تعتبر محركات التيار المستمر هي أفضل أنواع المحركات التى يمكن التحكم فى سرعتها بكفاءة ودقة وحساسية عالية ومدي كبير للتغير فى السرعة وثمن أو سعر منظم السرعة أقل من أى نوع آخر من المحركات .

كما تتميز محركات التيار المستمر بأنها تعطى عزم بدء كبير مقارنة بباقى الأنواع حيث قد يصل إلى خمسة أضعاف عزم الحمل الكامل .

ومن عيوب محركات التيار المستمر:

- إرتفاع السعر مقارنة بباقى الأنواع الأخري.
- تحتاج إلي صيانه متكررة.
- تيار البدء عالى جدا مقارنة بباقي الأنواع حيث يصل إلي 20 ضعف تيار الحمل الكامل.

2.3.2 محركات التيار المتناوب :

تصنف حسب مايلي :

- عدد أطوار التغذية .
- حسب البنية .
- حسب الخواص .

2.3.2.1 حسب عدد الاطوار:

- محركات أحادية الطور .
- محركات ثلاثية الطور .

2.3.2.2 حسب البنية :

- محركات ذات دائر مقصور (قفص سنجابي).
- محركات ذات دائر ملفوف (ذو حلقات الانزلاق) .

2.3.2.3 حسب الخواص :

- محركات متزامنة.
- محركات غير متزامنة.

2.4 مكونات المحرك الحثي :

- **الإطار:**

عبارة عن غلاف من الصلب أو الألمونيوم أو الحديد الزهر (جسم المحرك)، وحجمه كبير لدرجة أنه يستطيع أن يحمل رقائق قلب المجال. وتثبت أقطاب المجال في الإطار عموما بواسطة مسامير تنفذ فيه. وغالبا ما يكون الإطار جزءا مكملا للماكينة التي تحمله .

- **العضو الساكن (stator):**

قلب العضو الساكن عبارة عن حزمة صفائح فولاذية بها مجاري تحتوي الملفات ثلاثية الطور هذه المجاري يمكن أن تكون مغلقة أو شبه مفتوحة أو مفتوحة ، ويثبت هذا القلب علي إطار العضو الساكن الذي يصنع من الحديد الصلب.

- **العضو الدوار(rotor):**

يوجد نوعان مختلفان في تكوينهما وإن كانت خصائصهما الكهربائية متقاربة جدا. ويسمى المحرك عادة بإسم عضوه الدوار للتمييز بينهما وهذان النوعان هما:

- المحركات ذات الحلقات الإنزلاقية (Slip–ring motors) .
- المحركات ذات القفص السنجابي (Squirrel– cage motors) .

اولا :

العضو الدوار ذو الحلقات الإنزلاقية:

يتكون العضو الدوار في المحركات ذات الحلقات الإنزلاقية من جسم أسطواني من رقائق الحديد المعزولة عن بعضها البعض به مجارى ويشبه في تكوينه المنتج في آلة التيار المستمر ،وتحتوي المجاري في هذه الحالة على ملفات ثلاثية الأطوار يتم ترتيبها على نحو مماثل لترتيب الملفات في العضو الثابت ويخضع لنفس القواعد لذلك يطلق على مثل هذا النوع أحيانا إسم العضو الدوار الملفوف (Wound rotor) ، ويكون توصيل الأطوار في ملفات العضو الدوار على شكل دلتا أو نجمة، كما توصل الأطراف في الحالتين إلى ثلاث حلقات انزلاقية مركبة على نفس عمود الإدارة (Shaft) للمحرك وتدور معه ومن ثم جاءت تسمية هذا النوع من المحركات بأنها ذات الحلقات الإنزلاقية ويمكن توصيل ملفات العضو الدوار بناء على ذلك إلى أية دائرة خارجية ثلاثية الأطوار (Three-phase external circuit) مثل مقاومة ثلاثية المراحل وذلك عن طريق الفرش المركبة فوق الحلقات الإنزلاقية. وبذلك يمكن تغيير خواص تشغيل هذا النوع من المحركات على نطاق واسع عن طريق الدوائر الخارجية المختلفة التي يتم توصيلها إلى ملفات العضو الدوار ومن ثم يمكن التحكم فيه على النحو المطلوب.

ثانيا :

2.4.1 العضو الدوار ذو القفص السنجابي :

يتكون العضو الدوار من جسم اسطواني من رقائق الحديد و به مجارى على النحو السابق وصفه في النوع الأول. ولكن بدلا من الملفات ثلاثية الأطوار التي توجد في مجارى النوع الأول تملئ هذه المجارى بقضبان (Bars) من النحاس أو من الألومونيوم تصب فيها عادة وتتصل أطرافها من كل ناحية بحلقة متينة من نفس معدن القضبان بحيث تشبه القضبان والحلقتان في تكوينها على هذا النحو قفص السنجاب ومن ثم جاءت تسمية هذا النوع من المحركات بأنها ذات القفص السنجابي.

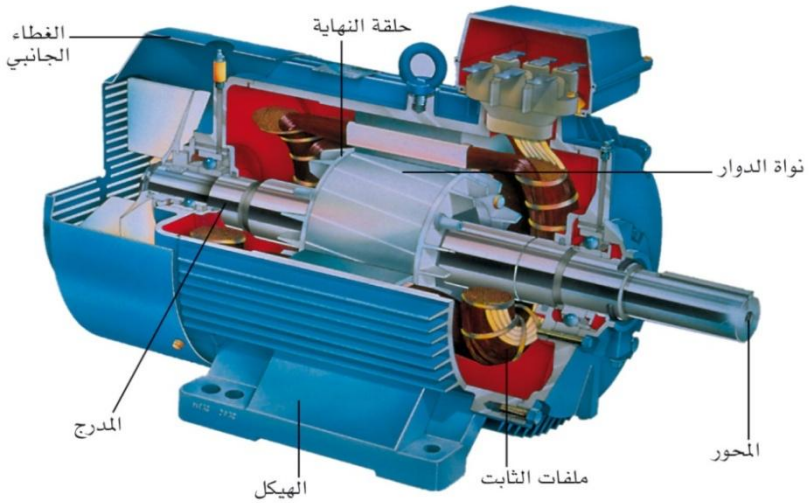
ولا يمكن بعد إتمام صنع هذا النوع من المحركات توصيله بأية دائرة خارجية. لذلك يكون تغير خواص تشغيل هذا النوع من المحركات الحثية عندما يراد ذلك عن طريق العضو الثابت حيث لا يوجد وسيلة للوصول إلى قفص السنجاب بعد إتمام صنع المحرك.

2.4.2 الغطاءين الجانبيين :

يتم تثبيت المنتج تثبيت محوري حر الحركة داخل قلب المجال للمحرك وذلك بواسطة الغطاءان الجانبيان علي جانبي الإطار ويحفظان في مكانهما بواسطة مسامير قلاووظ. ويحتوي الغطاءان علي الكرسيين وهما عادة بلي أو ذو جلبة حيث يدور فيهما عمود المنتج وتحتوي الكثير من المحركات العامة علي غطاء جانبي يصب كجزء من الإطار وبذلك يمكن رفع غطاء جانبي واحد ،في هذا النوع من المحركات تثبت حوامل الفرش بالمسامير عادة في الغطاء في الجانب الأمامي .[1]

2.4.3 الثغرة الهوائية (air gap):

توجد ما بين الدوار والساكن مسافة من الهواء وكلما قلت المسافة بين الدوار والساكن قلت قيمة مقاومة الهواء.



شكل (2.2) : يوضح أجزاء المحرك الحثي

2.4.3 المجال المغنطيسي الدوار:

ملفات العضو الثابت موصلة علي شكل نجمة أو دلتا ويوجد بين كل ملف وآخر زاوية فراغية قدرها 120 درجة عندما توصل هذه الملفات بمصدر جهد كهربائي ثلاثي الأوجه بين كل وجه وآخر 120 درجة فإنه ستمر في هذه الملفات تيارات متزنة بين كل تيار وآخر 120 درجة ونتيجة لمرور هذه التيارات بهذه الصفة في تلك الملفات التي يفصل بين كل ملف وآخر زاوية فراغية قدرها 120درجة فإنه سينشأ في الثغرة الهوائية مجال مغنطيسي دوار منتظم هذا المجال المغنطيسي يدور بسرعة تسمي السرعة التزامنية وتحسب من المعادلة التالية:

$$n_s = \frac{120f}{p} \qquad (1.1)$$

ns:السرعة التزامنية.

F:تردد تيار العضو الثابت.

P:عدد أقطاب الآلة.

شدة هذا المجال المغناطيسي تتناسب طرديا مع تيار الوجه المار في العضو الثابت وعدد اللفات في العضو الثابت تحت كل قطب وتحسب من المعادلة التالية:

$$Fs = Ns.Is \qquad (2.1)$$

Fs:شدة المجال المغناطيسي.

Ns: عدد لفات العضو الثابت لكل قطب.

Is:القيمةالفعالة لتيار الوجه في العضو الثابت.

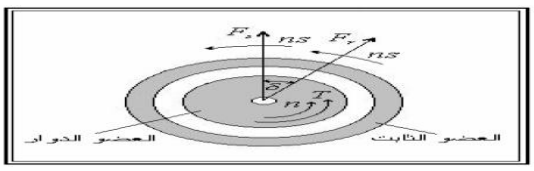
2.4 مبدأ عمل المحرك الحثي:

عند توصيل أطراف العضو الثابت بمصدر الجهد فإنه سينشأ مجال مغناطيسي دوار هذا المجال الميغناطيسي الدوار سيولد قوة دافعة كهربائية في أي موصل كهربي يقع ضمن نطاق تأثيره وحيث أن العضو الدوار يقع ضمن نطاق تأثير هذا المجال فستنشأ في موصلاته قوة دافعة كهربائية وبما أن

موصلات العضو الدوار مقصورة من الطرفين سيمر تيار كهربي ثلاثي الأوجه بين كل وجه وآخر توجد زاوية مقدارها 120 درجة ومن ثم سيتولد مجال ميغناطيسي دوار آخر في الثغرة الهوائية نتيجة مرور تيارات ثلاثية الأوجه في موصلات العضو الدوار . وهكذا يصبح لدينا مجالان مغناطيسيان دواران الأول ناتج من العضو الساكن ويدور بالسرعة التزامنية (ns) والثاني ناتج من العضو الدوار ويدور بالسرعة التزامنية(ns) بالنسبة للعضو الثابت أما بالنسبة للعضو الدوار فإن هناك حالتان الأولي عند السكون أي قبل أن يبدأ المحرك بالدوران وعندها تكون سرعة المجال الدوار (ns) أما الحالة الثانية هي عند دوران المحرك بسرعة (nr) وعندها يدور المجال الناتج من العضو الدوار بسرعة (s.ns)

يقطع المجال المغناطيسي الدوار الناتج من العضو الساكن موصلات العضو الدوار وحسب قانون لينز فإنه سينتج عزم يؤدي إلي دوران العضو الدوار في نفس إتجاه المجال الدوار لأجل تقليل قطع المجال الدوار لموصلات العضو الدوار، وبالتالي ستقل القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في موصلات العضو الدوار وستقل قيمة التيارات المارة في موصلات العضو الدوار وتبعا له تقل شدة المجال الميغناطيسيالمتولد ومن ثم يقل العزم المؤثر علي العضو الدوار وهكذا حتي تصل سرعة العضو الدوار إلي سرعة قريبة من السرعة التزامنية ، عندما تصل سرعة العضو الدوار إلي سرعة قريبة من السرعة التزامنية تكون التيارات المتولدة في موصلات العضو الدوار صغيرة وبالتالي يضعف المجال الميغناطيسي الناشئ فيها ممايؤدي إلي إنخفاض العزم المؤثر علي العضو الدوار .

عندما تستقر سرعة العضو الدوار فإن العزم المؤثر علي العضو الدوار يكون مساوي لقوة الإحتكاك التي يتعرض لها العضو الدوار .[1].



شكل (2.3) : يوضح علاقة المجال بسرعة الدوران

عند تحميل المحرك تقل سرعة العضو الدوار وينتج عن ذلك زيادة في سرعة قطع المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوار مما يؤدي إلي زيادة قيم التيارات المارة في موصلاته وبالتالي زيادة شدة المجال الميغناطيسي الناشئ فيها ومن ثم زيادة العزم المؤثر علي العضو الدوار ثم تستقر سرعة العضو الدوار عند سرعة جديدة وعندها يكون العزم المؤثر عليه مساوي لعزم الحمل المسلط عليه.

2.5 مفهوم الإنزلاق:

الجهد المتولد في موصلات العضو الدوار يعتمد علي السرعة النسبية بين العضو الدوار وسرعة المجال الميغناطيسي الدوار الناتج من العضو الثابت ، فإذا كانت سرعة المجال الميغناطيسي الدوار هي ns وكانت سرعة العضو الدوار هي nr فإن السرعة النسبية بين سرعة العضو الدوار وسرعة المجال الميغناطيسي الدوار هي الفرق بين السرعتين وتسمي سرعة الانزلاق :

$$n\ slip = ns - nr \qquad (2.3)$$

n slip: السرعة النسبية بين سرعة العضو الدوار وسرعة المجال الميغناطيسي الدوار .

ns : سرعة المجال الميغناطيسي الدوار

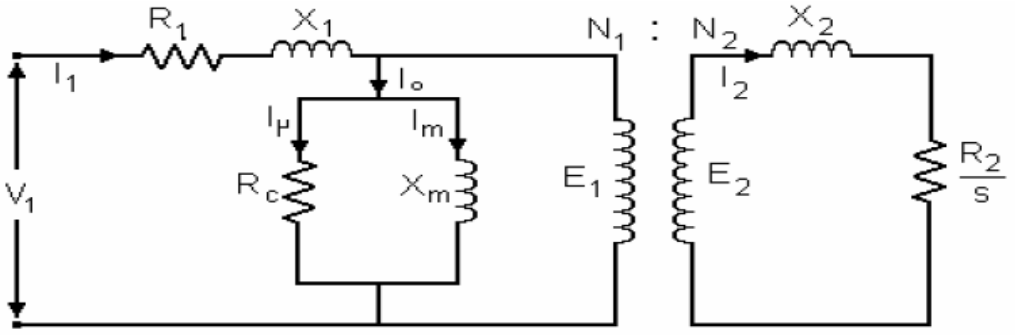
nr : سرعة العضو الدوار

وإذا نسبت هذه السرعة إلي السرعة التزامنية فإنها تعطي معامل الانزلاق :

$$s = ns - \frac{nr}{ns} \qquad (2.4)$$

s : معامل الإنزلاق.

2.6 الدائرة المكافئة :



الشكل (2.4) يوضح: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي

R1,R2 : مقاومة ملفات العضو الثابت والدوار لكل وجه .

X1,X2 : الممانعة الحثية لملفات العضو الثابت والعضو الدوار لكل وجه .

Rc : مقاومة تمثل المفاقيد الحديدية .

Xm : المفاعلة الميغناطيسية .

N1,N2 : عدد لفات العضو الدوار والعضو الثابت .

2.7 مميزات وعيوب المحركات الحثية:

2.7.1 مميزات المحركات الحثية :

- سهولة التركيب والصيانة.
- إقتصادية إذا ما قورنت بمكائن التيار المستمر والمكائن التزامنية.
- تستخدم للحصول علي سرعات ثابتة أومتغيرة وبكفاءة عالية.

2.7.2 عيوب المحركات الحثية :

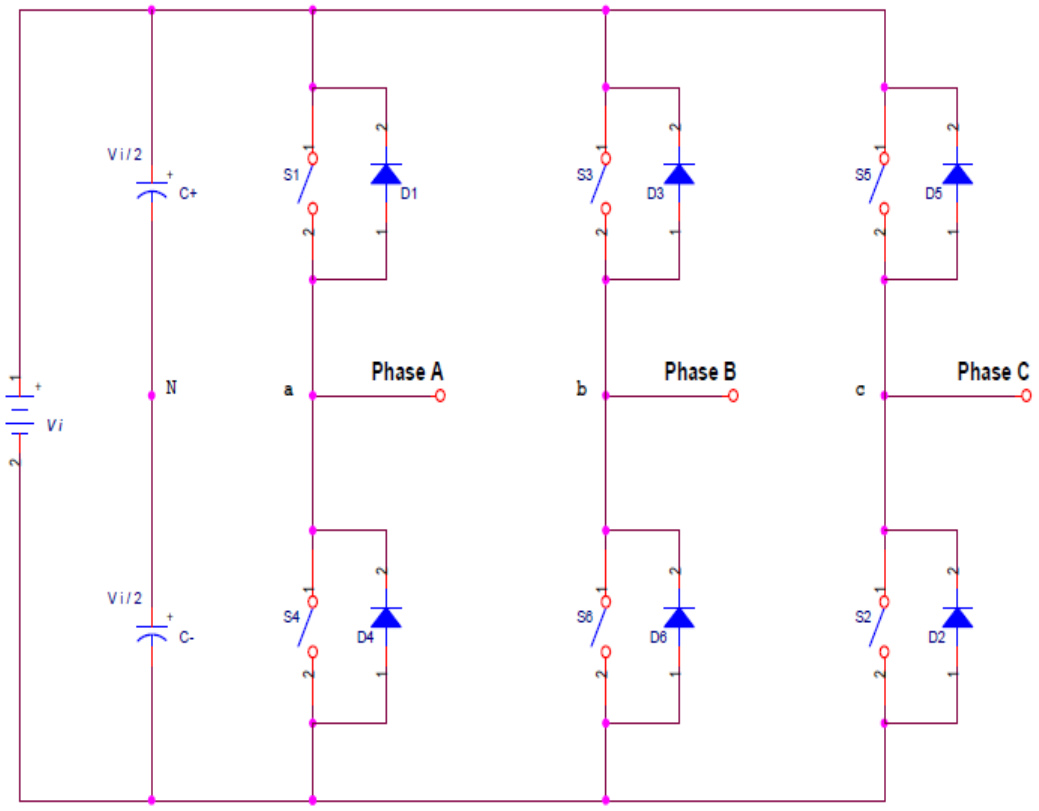
- اعلي تكلفة من حيث التحكم في السرعة .
- معامل القدرة منخفض نسبيا .

2.7.3 العواكس:

تعمل العواكس علي تحويل التيار المستمر ذو الجهد ثابت القيمة إلي تيار متردد يمكن التحكم في جهده أوتردده أوفيهما معا وهناك طرق مختلفة للتحكم في قيمة الجهد الناتج من العاكس مثل التحكم في قيمة الجهد المستمر أوالتحكم في الجهد المتردد الناتج بطريقة عرض النبضة(PWM) بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم في الدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة.

تستخدم العواكس في عدد كبير من التطبيقات الصناعية مثل مصادر القدرة غير المنقطعة والتحكم في سرعة المحركات الحثية والمحركات المتزامنة والتي تستخدم في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلي سرعات متغيرة . ويمكن تقسيم العواكس حسب نوع الجهد الناتج إلي عواكس أحادية الوجه وعواكس ثلاثية الأوجه.[1]

للتحكم في سرعة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه تستخدم العواكس للتحكم في الجهد المسلط علي العضو الثابت او التحكم في التردد او التحكم في الجهد والتردد معا . ويتم ذلك بإستخدام عدة أنواع من العواكس مثل العاكس ثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد الثابت Three phase Voltage Source) Inverter) والعاكس ثلاثي الأوجه ذي النبضة متغيرة العرض (PWM Inverter) .



شكل(2.5) : يوضح عاكس ثلاثي الطور

ويمكن تشغيل هذا العاكس كعاكس ست خطوات (Six Step Inverter) أوعاكس ذي نبضة متغيرة العرض (PWM Inverter).

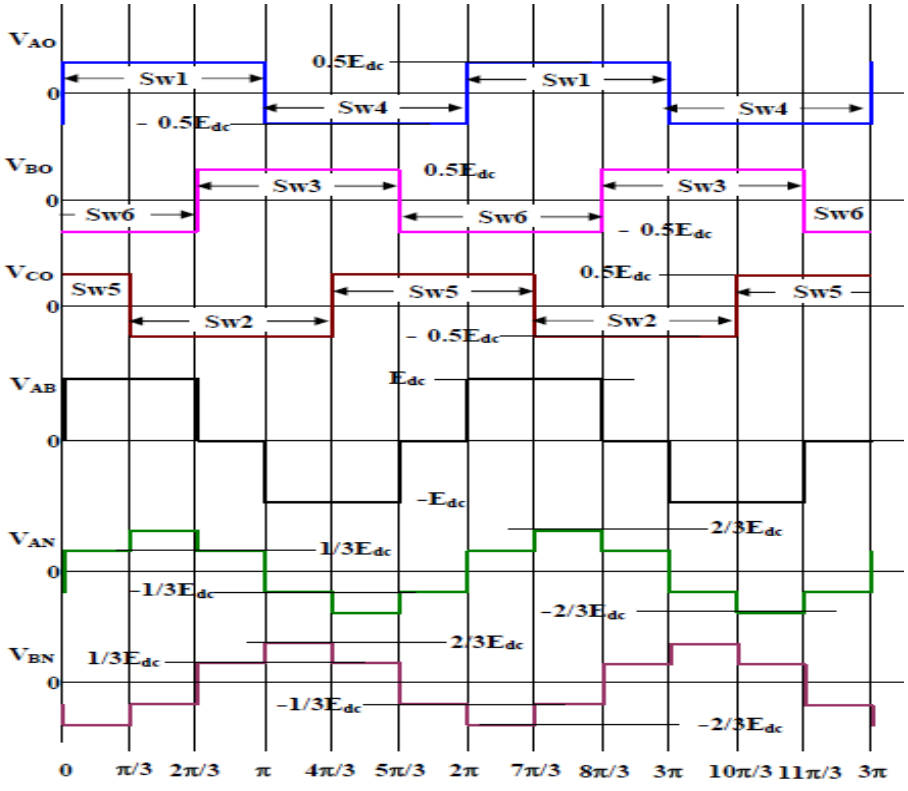
2.7.3.1 تشغيل العاكس كعاكس ست خطوات :

عند تشغيل العاكس كعاكس ست خطوات يتم اشعال المفاتيح المستخدمة في العاكس بحيث في كل لحظة يكون هنالك ثلاث مفاتيح في حالة ON وثلاثة مفاتيح في الحالة OFF ، يجب ان يراعي عدم وجود مفتاحين في نفس الرجل في الحالة ON في نفس اللحظة ؛ وذلك حتي لا يحدث قصر في الدائرة . الجدول التالي يوضح تبديلات المفاتيح عند تشغيل العاكس كعاكس ست خطوات .[4]

جدول (2.1) : يوضح تبديلات المفاتيح عند تشغيل العاكس كعاكس ست خطواط .

State No	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
6	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON

والشكل التالي يوضح الإشارات الخارجة من العاكس :



شكل (2.6) : يوضح الاشارات الخارجة من العاكس عند تشغيله كعاكس ست خطواط

نلاحظ ان شكل الفولتية ثلاثية الطور المتولدة تكون مربعة وليست جيبية ، كما انها تحتوي علي توافقيات . عند السرعات العالية يكون تأثير هذه التوافقيات قليل نسبيا ، لكن في السرعات المنخفضة هذه التوافقيات تسبب تأثيرا سلبيا .

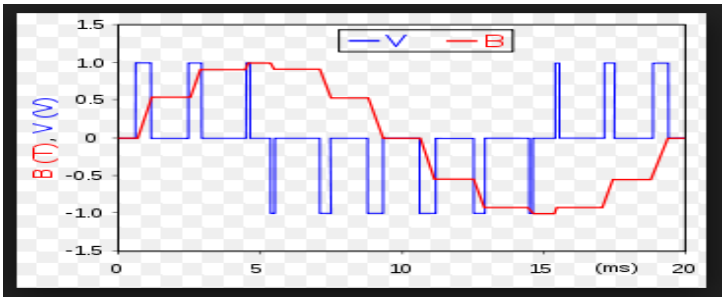
لأجل تقليل هذا التأثير أستخدمت عدة طرق منها استعمال مرشح ؛ لإلغاء تأثير التوافقيات .

اما الطريقة المثلى هي استخدام تعديل عرض النبضة .

2.7.3.2 تشغيل العاكس كعاكس ذي نبضة متغيرة العرض :

عند تشغيل العاكس كعاكس ذي نبضة متغيرة العرض يتم قدح المفتاح لفترة قصيرة من الزمن سامحا لقيمة صغيرة من التيار بالتدفق خلال المحرك و من ثم يتم اطفاؤه، و من ثم يتم قدحه لفترة اطول من الزمن سامحا للتيار بالتدفق لقيمة اعلى حتى يصل التيار الى القيمة القصوى Peak، و من ثم يتم قدح المفتاح ليعمل لفترات اقصر حتى يصل التيار الى الصفر. يتم انتاج الجزء السالب من الموجة الجيبية من خلال قدح مفتاح اخر موصول على الجزء السالب من مصدر الجهد بنفس الطريقة . ونفس الطريقة لباقي الاطوار .[3]

الشكل التالي يوضح الاشارة الخارجة من العاكس للطور الواحد :



شكل (2.7) : يوضح الاشارات الخارجة من العاكس عند شغيله كعاكس ذي نبضة متغيرة العرض

- يتم التحكم في التردد بتغيير مدة التشغيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في العاكس بينما يمكن التحكم في الجهد بإستخدام إحدي الطرق التالية:

- **التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل للعاكس :**

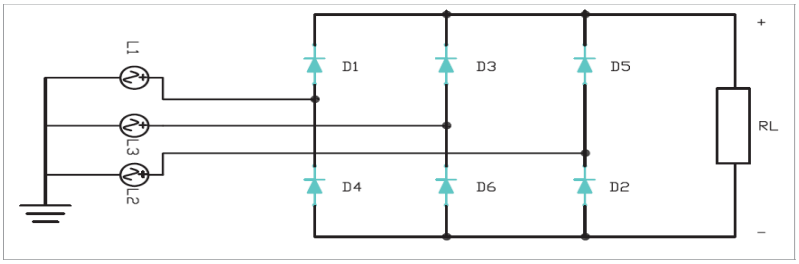
يتم ذلك بإستخدام مصدر تيار مستمر ومقطع أو باستخدام مصدر للتيار المتردد وقنطرة الموحدات المحكومة كما يمكن أن يتم ذلك بإستخدام مصدر للتيار المتردد وقنطرة الموحدات غير المحكومة ومقطع التيار المستمر .

- **التحكم في قيمة الجهد الناتج من العاكس ذي النبضة المتغيرة العرض:**

في هذه الحالة يمكن التحكم في كل من الجهد والتردد معا بتغيير زمن التشغيل والفصل .

2.8 المقوم ثلاثي الطور:

يتكون المقوم ثلاثي الطور من قنطرة من ستة ثنائيات كما موضح في الشكل (2.8) ،حيث تتكون القنطرة من ثلاثة اطراف يحتوي كل طرف على ثنائيين ،يوصل كل طرف الى أحد الاطوار الثلاثة ، ويلاحظ أيضا أن القنطرة مكونة من نصفين أحدهما النصف الموجب ،ويضم الثنائيات D1،D3، D5 ، والاخر النصف السالب يضم الثنائيات D2، D4، D6



شكل (2.8) : يوضح مقوم ثلاثي الطور

2.9 تعديل عرض النبضة PWM:

هي تقنية تسمح بالتحكّم بقيمة تماثلية رقمياً (controlling an analog value digitally).

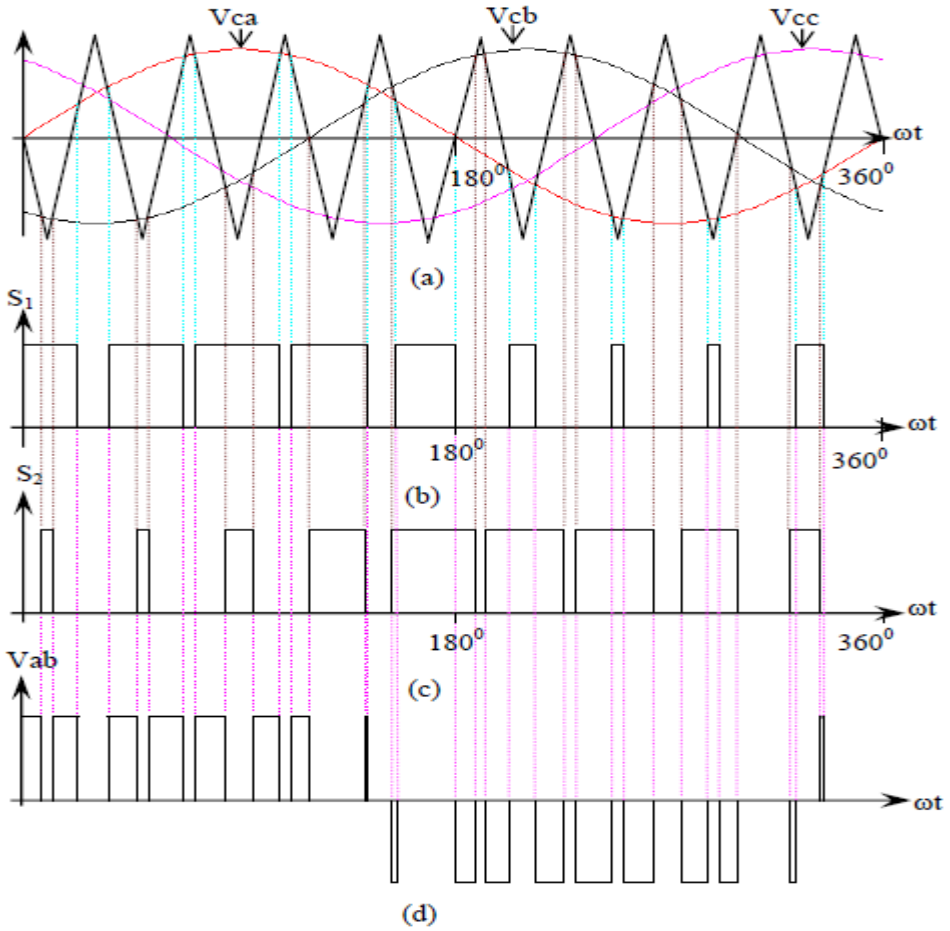
بمعنى انه من الممكن استخدامها ك مبدل رقمي تمثيلي(digital to analog converter) بشكل مختلف. الفكرة تكمن في التحّكم بتردد النبضات pulses في الدورة الواحدة، بمعنى انه يتم التبديل بين التردد العالي والتردد المنخفض بسرعة معيّنة بحيث ان الناتج النهائي يكون قيّمة بينهم. الإشارة الرقمية

لها قيمتين كما هو معروف 0 و 1 ففي حالة لو كان الجهد 12 فولت مثلاً، 0 ≡ 0 فولت و 1 ≡ 12 فولت، بينما الإشارة التماثلية هي قيمة بين الصفر والـ 12 فولت.

الـ duty cycle أو ما يعرف بدورة الخدمة للإشارة الرقمية هي نسبة الجهد العالي في دورة واحدة من الإشارة، وهي قابلة للبرمجة أو التعديل

وهي عبارة عن نسبة مئوية يمكن استخدامها للربط بين الجهود وبهذا الشكل يمكن التحكم في قيمة الجهد الثابت.[1]

باستخدام هذه الفكرة البسيطة نستطيع التحكم بعدد كبير جدا من التطبيقات. الجهد الناتج هو قيمة ما بين أعلى وأقل قيمة للجهد الخاص بالمصدر على حسب نسبة دورة الخدمة



شكل(2.9) : يوضح إشارات تعديل عرض النبضة

الباب الثالث

طرق التحكم في المحرك الحثي

3.1 الطرق التقليدية للتحكم في المحركات الحثية:

أهم ما تمتاز به الماكنة الحثية هو سهولة تركيبها وصيانتها إضافة إلى كونها إقتصادية إذا ما قورنت بمكائن التيار المستمر والمكائن التزامنية . حيث أنها تستخدم للحصول على سرعة ثابتة أو متغيرة وبكفاءة عالية . ان طرق السيطرة المستخدمة أكثر تعقيداً مما هو عليه في مكائن التيار المستمر إلا إن المكائن الحثية تعد أكثر إقتصادية إذا ما قورنت بوصفها وحدة كاملة.

3.1.1 تغيير الفولتية الطرفية:

إن سلوك العزم عند سرعة معينة بتغيير الفولتية الطرفية يمكن إستنتاجهمن المعادلة الآتية:

$$\mathrm{T}e = \frac{3V_i{}^2}{\omega_s}.\frac{R_2'/S}{(R_1+\frac{R_2}{S})^2+(X_1+X_2)^2} \qquad (3.1)$$

Te: العزم الكهربي .

vi : الفولتية الطرفية .

ns : السرعة التزامنية (RAD/sec) .

نلاحظ أن العزم يتناسب مع مربع الفولتية .

عند تغيير الفولتية (V_i) إلى فولتية (V_{in}) فإن العزم سيتغير من (T_e) إلى (T_{en}) عند سرعة معينة. لذا يمكن إيجاد العلاقة الآتية:

$$\frac{T_{en}}{T_e}=(\frac{V_{in}}{V_i})^2 \qquad (3.2)$$

عند سرعة معينة

$$s = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2+(X_1+X_2)^2}} \qquad (3.3)$$

إن التيار الداخل يتناسب مع الفولتية . لذا لا يمكن زيادة الفولتية عن 1.2 من الفولتية المقننة بينما تستخدم هذ الطريقة عادة في حالة الفولتية المطبقة أقل من الفولتية المقننة وبالتالي فإن التيار الداخل يقل بنسبة إنخفاض الفولتية .

يفضل إستخدام هذه الطريقة في حالة تغير عزم الحمل مع مربع السرعة . كما الحال في المراوح .

تتعين سرعة المحرك من تقاطع عزم الحمل مع عزم المحرك . يكون المحرك في حالة إستقرار عندما يكون معدل تغير العزم بنسبة لسرعة المحرك أقل مما هو عليه في حالة الحمل عند نقطة التقاطع ، وبعكسه يكون المحرك في حالة غير مستقرة .

يمكن الحصول على مدى سرعة معينة بالتحكم بمدى مقابلة للفولتية ، هذه الطريقة ملائمة مع كل من المحرك اللفائفي والمحرك ذي القفص السنجابي .

3.1.2 تغيير تردد المصدر :

السرعة التزامنية يمكن إيجادها من العلاقة الآتية:

$$n_s = \frac{120f}{P} \qquad (3.4)$$

p : عدد أقطاب المحرك .

نلاحظ ان أهم العناصر التي يمكن بواسطتها التحكم بالسرعة هي :

- التردد
- عدد الأقطاب
- معامل الانزلاق

بتغيير التردد تتغير السرعة التزامنية إضافة إلى سرعة المحرك.

إن الممانعة الفعلية للماكنة الحثية تعتمد على كل من التردد والسرعة وبالتالي تغير من قيمة التيار والفيض فلو اعتبرنا الفولتية (E_1) ثابتة نلاحظ أن الفيض (ϕ_1) يتناسب عكسياً مع التردد (f) كما مبين في العلاقة الآتية:

$$E_1=4.44kw_1N_1\phi_1 f \qquad (3.5)$$

E1 : الجهد المحتث .

Kw1 : معامل اللف

N1 : السرعة

Ø :الفيض الكهربي .

$$\phi_1 \alpha \frac{1}{f_2} \qquad (3.6)$$

وحيث أن العزم يتناسب مع مربع الفيض :

$$T_e \alpha \phi_1^2 \qquad (3.7)$$

$$T_e \alpha \frac{1}{f_s^2} \qquad (3.8)$$

أي أن العزم يتناسب عكسياً مع مربع التردد . ولكن عملياً لا يمكن الإستمرار بتقليل التردد لأجل الحصول على عزم عال وذلك لأن الفيض يزداد ويصل حالة الإشباع (Saturation).

ولأجل المحافظة على قيمة الفيض عند تقليل التردد نعمد إلى تقليل الفولتية أيضاً كما سيأتي شرحها مفصلاً لاحقاً.

تستخدم هذه الطريقة في حالة العضو الدوار الملفوف والسنجابي. ويتم إستخدام هذه الطريقة مع الحمل الذي يتناسب عزمه عكسياً مع السرعة حيث يكون المحرك في حالة إستقرار في المنطقة المحصورة بين السرعة التزامنية والسرعة عند أقصى عزم يفضل إستخدام تغيير الفولتية الطرفية وخاصة عند الترددات الواطئة للحصول على سرعة قليلة لأجل الحد من زيادة كل من التيار والفيض.

3.1.3 تغيير عدد الأقطاب:

تستخدم هذه الطريقة عادة في حالة العضو الدوار ذي القفص السنجابي، حيث لا يحتاج إلى تغيير عدد أقطابه لأنه يسلك سلوك العضو الساكن عن طريق الحث الذاتي . تغيير عدد الأقطاب لا يؤثر على تيار المغنطة ، لذا فإن العزم فإنه لا يتأثر لأنه يعتمد على تيار العضو الدوار مع كثافة

الفيض اللذين يكونان ثابتين بتغيير عدد الأقطاب ، اما كل من تيار البدء ، التيا ر المقنن ، أقصى عامل قدره والسرعة فتتناسب تناسبا عكسياً مع عدد الأقطاب .

3.2 الطرق الحديثة للتحكم في سرعة المحرك الحثي :

مع التقدم السريع في التكنلوجيا ، ظهرت أساليب وطرق جديدة للتحكم بالمحركات كافة .

إن هذه الطرق تتطور باستمرار مع التقدم في الزمن لتلبي أغراض التحكم كافة ، حيث أن تطور التكنولوجيا السريع ، يرافقه تعقيد في عناصر التحكم ودوائرها .

3.2.1 التحكم بطريقة v/f :

هي من الطرق الاولي بالتحكم بالسرعة بنظام الحلقة المفتوحة.

إن المبدأ الاساسي للتحكم بمحرك التيار المتناوب بطريقة v/f يعتمد على الدائرة المكافئة للمحرك الحثي في الحالة المستقرة ، وذلك لأنه عند تطبيق جهود ثلاثية الطور متوازنة ، سوف تمر في ملفات الثابت تيارات ثلاثية الطور متوازنة ، إن هذه التيارات تؤدى الى إنتاج فيض مغناطيسي كثافته Bair–gap من خلال الفجوة الهوائية والذي يملك سرعة دوران زاوية هى نفس السرعة الزاوية للجهود المطبقة على الثابت ، وعندها فإن الفيض الدائر في الفجوة الهوائية سيحتث قوة محركة كهربائية في الدوار E air–gap.

إذا اعتبرنا أن الجهد المطبق على الثابت هو $\overrightarrow{U}$s فانه في الحالة المستقرة يمكن التعبير عن هذا الجهد بالعلاقة :

$$\overrightarrow{Us} = \overrightarrow{E}\text{air–gap+}(Rs + j\omega s\, Ls)\, I \qquad (3.9)$$

I : تيار المنتج .

وبالتالي فإذا كان air–gap φ يعبر عن الحقل المغناطيسي في الفجوة الهوائية ، وكان الفيض اللحظي المرتبط بكل طور من اطوار الثابت يعطى بالعلاقة :

$$\varphi = \hat{\varphi} \ \sin(\omega \ st) \qquad (3.10)$$

وحسب قانون فراداي فإن الجهد المحتث هو :

$$\text{Eair} - \text{gap} = \text{Ns}\frac{d\varphi\,(t)}{dt} \qquad (3.11)$$

Ns : عدد لفات أحد أطوار الثابت .

$$\text{E air} - \text{gap} = \text{Ns}\,\omega s\ \text{s}\ \hat{\varphi} * \cos(\omega st) \qquad (3.12)$$

وبشكل أخر يمكننا أن نكتب:

$$\text{Eair} - \text{gap} = \text{KwF}\,\varphi \qquad (3.13)$$

من المعادله السابقة نجد ان :

$$\varphi = \frac{1}{\text{Kw}}.\frac{Eair-gap}{Fs} \qquad (3.14)$$

أي أنة يمكن المحافظة على الفيض المغناطيسي ثابت ، إذا حافظنا على النسبة $\frac{Eair-gap}{\text{Fs}}$ ثابتة وباهمال هبوط الجهد على الممانعة يمكن أن نعتبر أن :

$$\overrightarrow{Us} = \vec{E}air - gap \qquad (3.15)$$

وبالنتيجة نجد أنه من اجل المحافظة على تدفق مغناطيسيي ثابت ،يجب أن تكون النسبةUs/Fs ثابتة.

إن أداء وميزات هذه الطريقة تصبح غير مجدية في حالة العمل عند ترددات منخفضة مع وجود عزم حمولة كبير،والسبب يعود الي ان هبوط الجهد الناتج عن مرور التيار في ممانعة الثابت يصبح غير مهمل و بالتالي تصبح المعادله الاخيره غير صحيحه،ومنه نجد أن Eair−gap تنخفض والذي بدوره يؤدي الي انخفاض في الحقل المغناطيسي في الفجوة الهوائية .

يمكن التغلب على هذه الظاهرة وذلك بتعويض الجهد على ممانعة الثابت.

إن هذا التعويض يحافظ على الفيض المغناطيسي ثابت بحيث ان الجهد الذي سوف يتم اضافته يعتمد بشكل اساسي على تيارات الثابت التي تتناسب مع العزم الكهرومغناطيسي.

إن هذا الجهد يدعى بجهد التعزيز(Boosting Voltage) والذي يتم ضبطه من اجل كل قيمة للسرعة مع مرعاة ان العلاقة هي علاقة غير خطية،والشكل يبين منحني توليد جهد التعزيز.

3.2.1.1 مزايا وعيوب طريقة التحكم بتقنية v/f :

اولا :

المزايا :

- تغيير أو ضبط السرعة بدون حساسات .
- بسيطة وذات كلفة منخفضة .
- كفاءة عالية في حالة غياب الحلقة المغلقة .

ثانيا :

العيوب :

- استجابة بطيئة (الحالة العابرة تستغرق وقت طويل نسبيا).
- أداء ضعيف في الحلقة المغلقة.
- لا تستخدم في التطبيقات التي تتطلب تحكم دقيق .[1]

3.2.2 تعديل الفراغ الإتجاهي:

Space vector modulation (SVM):

هو خوارزمية للتحكم في عرض النبضة ، ويستخدم لتعيين موجة التيار المتردد . يشيع استخدامه لقيادة محركات التيار المتناوب ثلاثية الطور بسرعات متغيرة من مصدر تيار مستمر .

الانفرتر الموضح ادناه يحول التيار المستمر الى متردد عبر قنطرة من المفاتيح الالكترونية المحكومة ، هذا التيار المتردد يمكن ان يغذي محرك تيار متردد ثلاثي الطور .

تنص طبغرافية هذه الطريقة علي انه يجب ان لايكون هناك قصر بين مفاتيح الرجل الواحدة ، اي انه لايمكن ان يكون كلا مفتاحي الرجل الواحدة في الحالة(ON) في نفس اللحظة الزمنية . وهذا يؤدي الي ثماني تبديلات مختلفة في المفاتيح ، ست منها تكون فعالة والتبديلان المتبقيان يكونا غير فعالين .

جدول (3.1) :يوضح تبديلات المفاتيح.

Vector	A^+	B^+	C^+	A^-	B^-	C^-	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	
V_0 = {000}	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	0	0	0	zero vector
V_1 = {100}	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	$+V_{dc}$	0	$-V_{dc}$	active vector
V_2 = {110}	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0	$+V_{dc}$	$-V_{dc}$	active vector
V_3 = {010}	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	$-V_{dc}$	$+V_{dc}$	0	active vector
V_4 = {011}	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	$-V_{dc}$	0	$+V_{dc}$	active vector
V_5 = {001}	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	0	$-V_{dc}$	$+V_{dc}$	active vector
V_6 = {101}	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	$+V_{dc}$	$-V_{dc}$	0	active vector
V_7 = {111}	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	0	0	0	zero vector

لتنفيذ SVM يتم اخذ عينة كإشارة مرجعية ، هذه الإشارة يمكن الحصول عليها من ثلاث اطوار مرجعية مختلفة بإستخدام تحويلات (الفا–بيتا–قاما) .

ثم عن طريق مزج تبديلتان نشطتان متجاورتان يتم الحصول علي المتجه المرجعي ومتجه صفري واحد او متجهان .

هناك عدة اوضاع لإختيار ترتيب المتجهات ، هذه الاوضاع تؤثر في فقودات التبديل ومحتوي التوافقيات .[2].

3.2.3 **التحكم الإتجاهي في المجال :**

Field Oriented Control (FOC):

هو احدي طرق التحكم الحديثة في محركات التيار المتردد ، التحكم يكون بإستخدام(VFD).

جاءت فكرة التحكم في المحرك الحثي بهذه الطريقة من أن التحكم في محركات التيار المستمر يعتبر سهل و بسيط وهذا لأن في محركات التيار المستمر هناك تياران فقط .

تعتمد طريقة التحكم الاتجاهي في المجال علي تحويل المحاور الثابتة a,b,c الى محاور دوارة ثم تحويل المحاور الدوارة α, β الى محاور ثابتة d,q واجراء المعالجات المطلوبة للتحكم عليها .

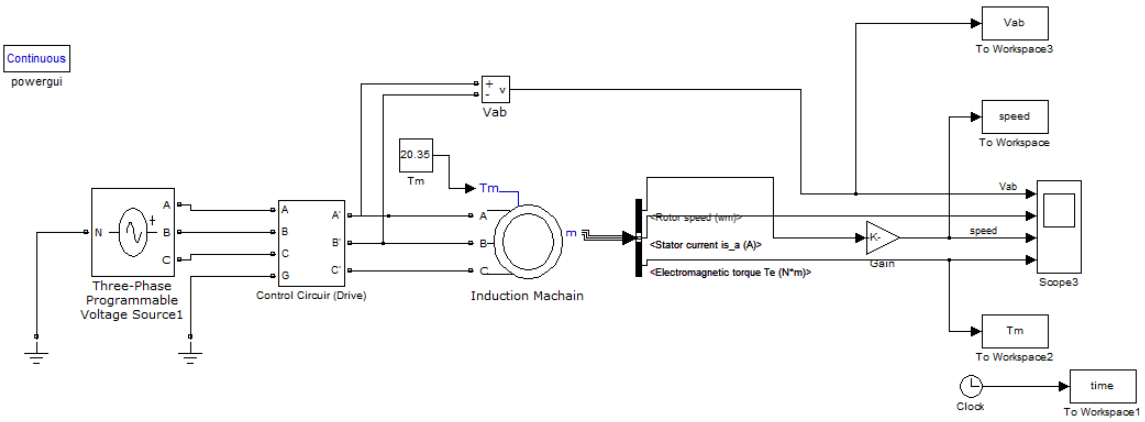
بعد اجراء المعالجات المطلوبة علي التيارات في المحاور d,q تعاد مرة اخري الي تيارات في المحاور abc .متغيري خرج العاكس في هذه الطريقة هما التردد ومطال الفولتية .[2]

الباب الرابع

النمذجة وطريقة العمل

المقدمة:

بإستخدام الكترونات القدرة ومولد PWM ومصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة تم تصميم دائرة للتحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الطور عن طريق برنامج الماتلاب .



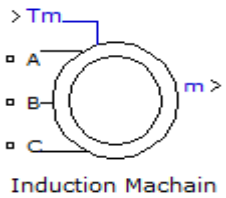
شكل(4.1) : يوضح دائرة التحكم في سرعة المحرك الحثي

4.1 مكونات دائرة التحكم في سرعة المحرك الحثي :

- محرك حثي ثلاثي الطور .
- دائرة التحكم في سرعة المحرك
- مصدر فولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة.

4.1.1 المحرك الحثي:

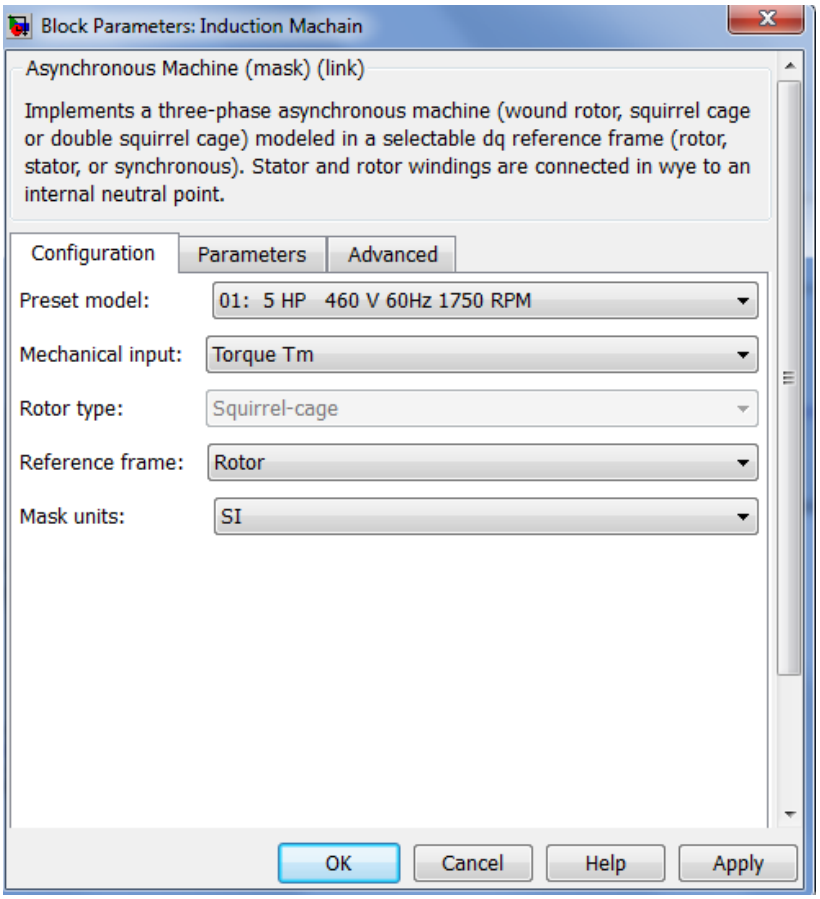
من مكتبة الالات في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم اختيار محرك غير متزامن ثلاثي الطور.



شكل (4.2) : يوضح المحرك الحثي

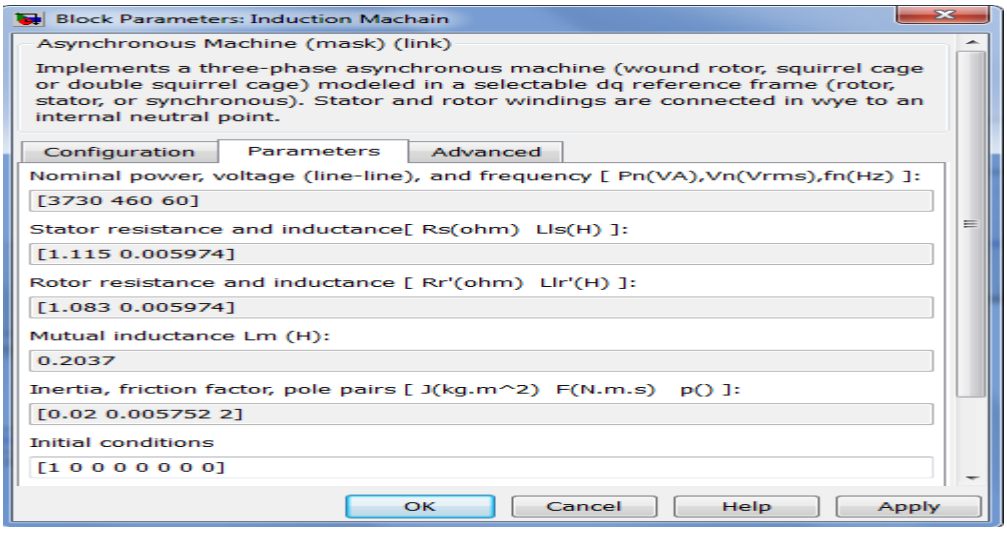
تم ضبط مواصفات معاملات المحرك كما موضح بالشكل ادناه :

- مواصفات المحرك :



شكل (4.3) : يوضح مواصفات المحرك الحثي

- معاملات المحرك:



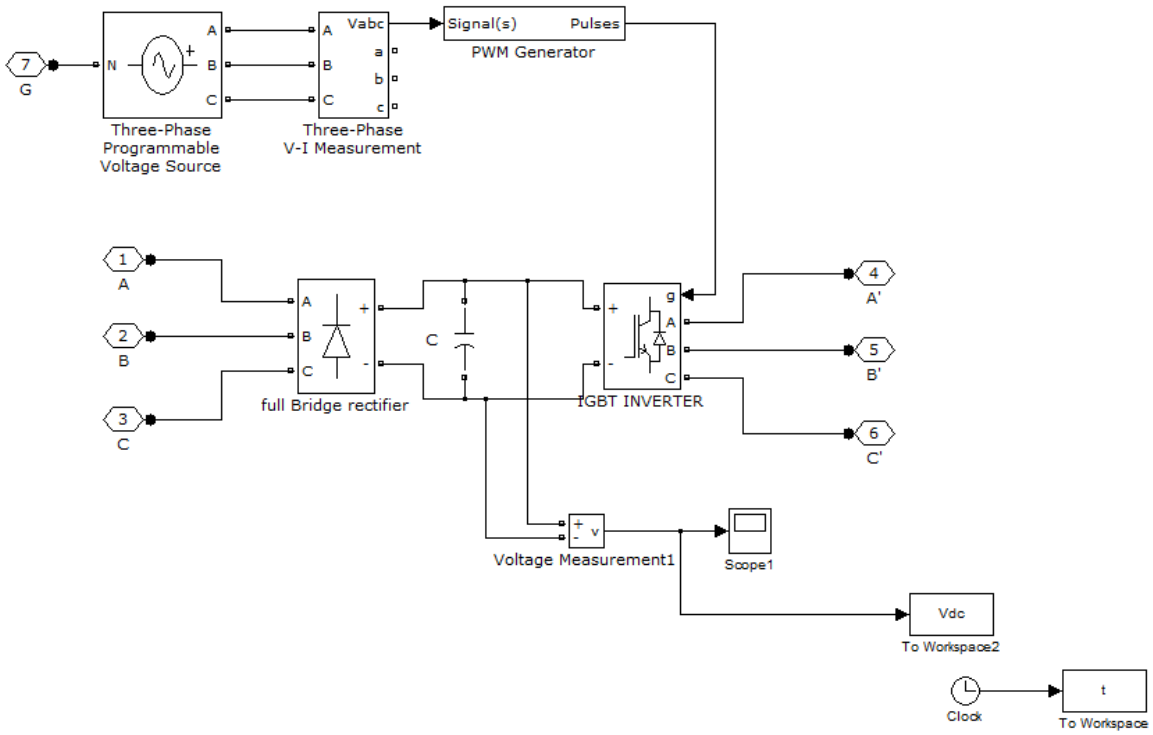
شكل(4.4) : يوضح معاملات المحرك الحثي

$$w = 1750 * \frac{\pi}{60} = 183.26 \frac{rad}{sec} \qquad (4.1)$$

العزم الاسمي لهذا المحرك يعطي بالمعادلة:

$$Tm = \frac{5 * 746}{183.26} =$$

4.1.2 دائرة التحكم في المحرك (Drive) :



شكل (4.5) : يوضح دائرة التحكم في المحرك (Drive)

4.1.2.1 مكونات دائرة التحكم في المحرك (Drive)

تعمل دائرة قيادة المحرك علي توفير التردد والفولتية المتغيران للمحرك وذلك بواسطة العاكس ثلاثي الطور.

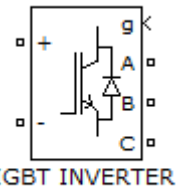
- العاكس ثلاثي الطور .
- مقوم قنطرة ثلاثي الطور .
- مولد PWM .

- مصدر فولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة .
- جهاز قياس ثلاثي الطور .

1. العاكس ثلاثي الطور

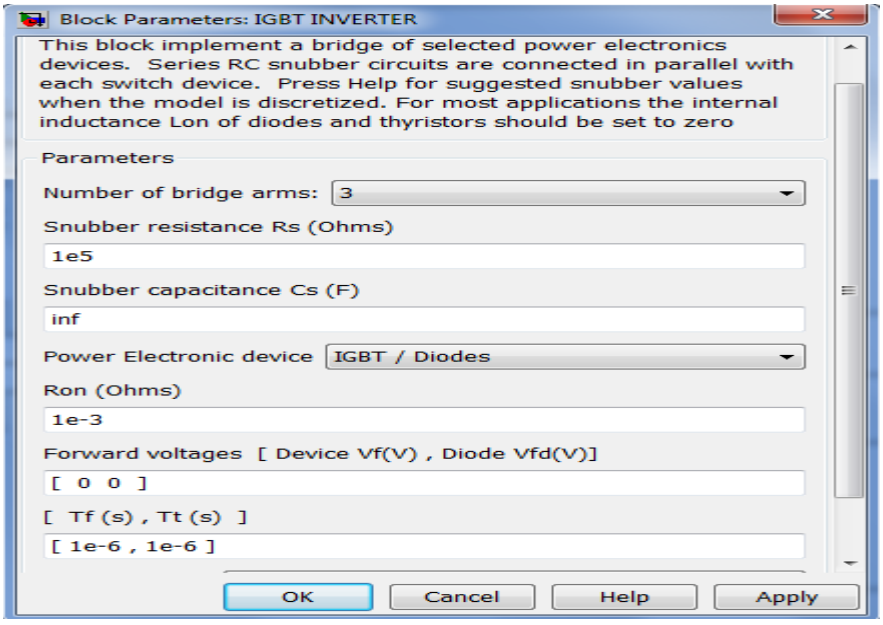
يوفر الفولتية المترددة ذات التردد المتغير اللازمة لقيادة المحرك الحثي ثلاثي الطور .

من مكتبة الكترونيات القدرة في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم اختيار Universal bridge



شكل(4.6) : يوضح العاكس ثلاثي الطور

حيث ضبطت معاملاته كما موضح بالشكل ادناه :

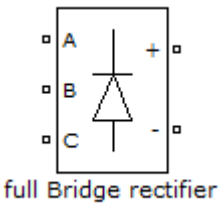


شكل (4.7) : يوضح معاملات العاكس ثلاثي الطور

2. مقوم قنطرة ثلاثي الطور:

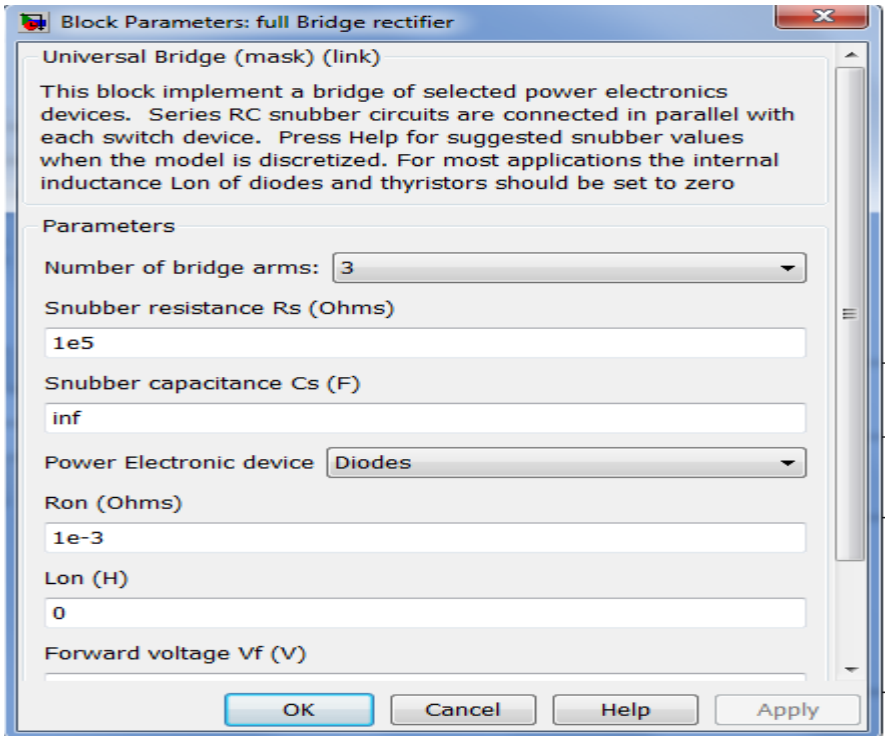
يوفر الفولتية المستمرة اللازمة لتغذية العاكس ثلاثي الطور .

من الكترونيات القدرة في مكتبة نماذج نظم القدرة تم اختيار Universal bridge



شكل (4.8) : يوضح مقوم قنطرة ثلاثي الطور

وضبطت معاملاته كما موضح بالشكل ادناه :



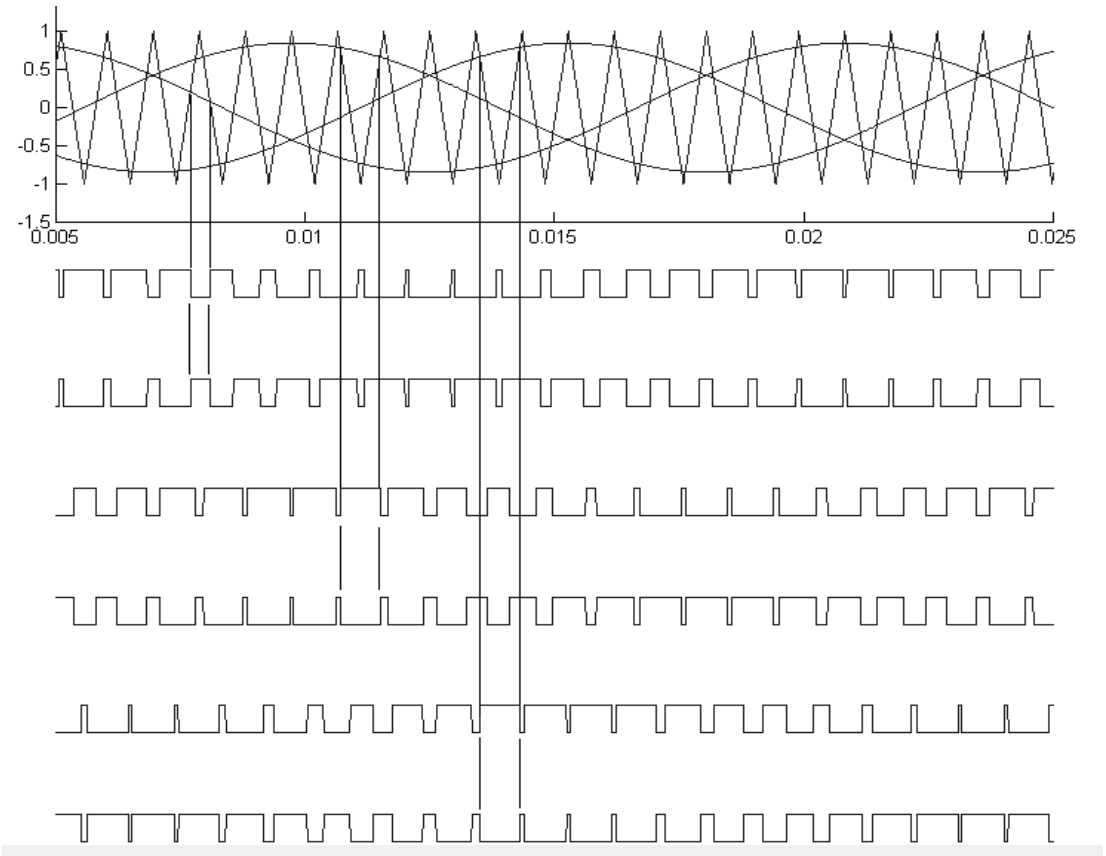
شكل (4.9) : يوضح معاملات مقوم القنطرة ثلاثي الطور

$$Vdc = \frac{3}{\pi} * \sqrt{2} * \text{Vrms} \qquad (4.3)$$

3. مولد PWM

يولد نبضات متغيرة التردد لتشغيل العاكس ثلاثي الطور .

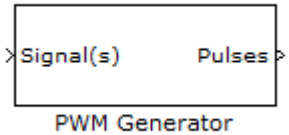
تتولد النبضات في مولد PWM نتيجة دمج اشارتين ؛ الاولي هي الاشارة الحاملة (Carrier signal)المثلثية و يقوم مولد PWM بتوليدها داخليا . اما الاشارة الثانية فهي اشارة التعديل (modulation signal)الجيبية وهذه الاشارة اما أن نعطي مولد PWM امر بتوليدها داخليا ، او نوفرها له من مصدر خارجي اذا أردنا التحكم فيها .



شكل(4.10) : يوضح النبضات التي تنتج من مولد pwm

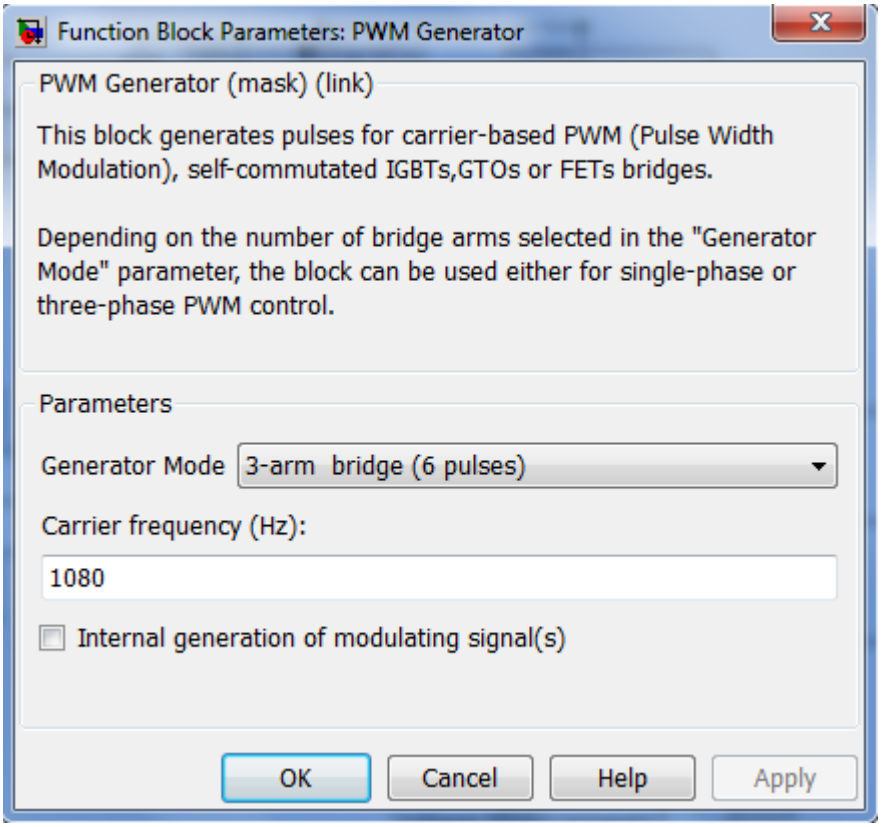
في هذه الدائرة تم توفير اشارة التعديل من مصدر فولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة .

من المكتبة الخاصة في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم اختيار مولد pwm



شكل(4.11) : يوضح مولد PWM

وتم ضبط معاملاته كما موضح بالشكل ادناه:



شكل (4.12) : يوضح معاملات مولد PWM

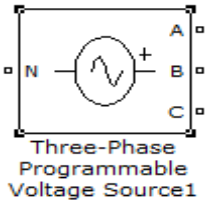
4.مصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة :

يوفر اشارات التعديل لمولد PWM .

حيث يقوم بتوليد فولتية جيبية ثلاثية الطور متغيرة التردد او المطال او الطور .

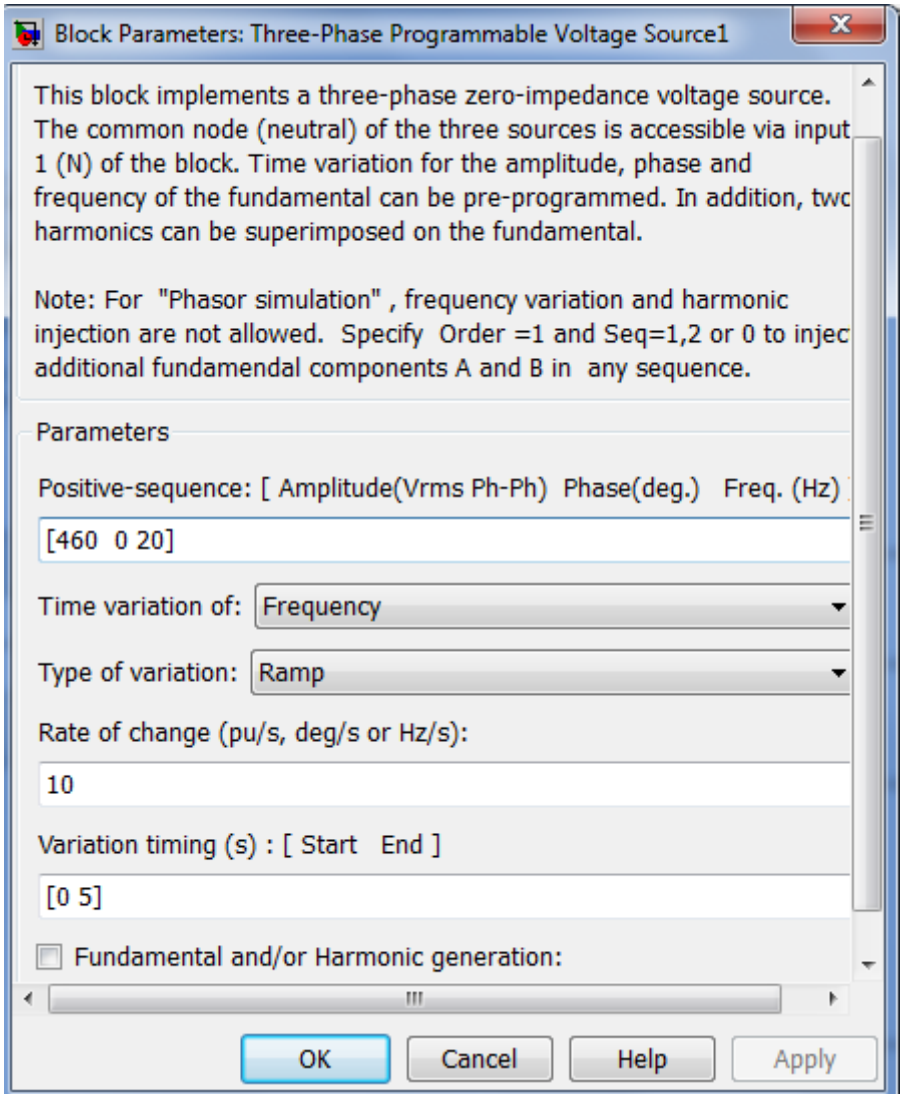
في دائرة قيادة المحرك تم استخدامه لتوليد فولتية ثلاثية الطور بتردد متغير مع الزمن .

من المصادر الكهربية في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم اختيار مصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة



شكل (4.13) : يوضح مصدر فولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة

وتم ضبط معاملاته كما موضح بالشكل ادناه

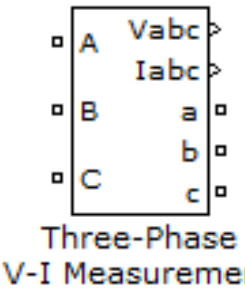


شكل(4.14) : يوضح معاملات مصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة

5. جهاز القياس ثلاثي الطور :

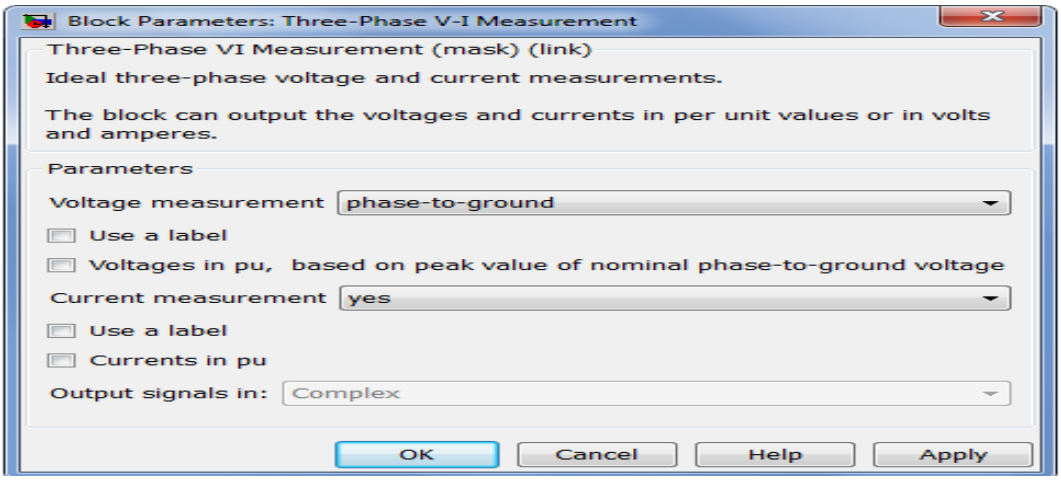
يمرر قراءة التردد المتغير لمولد PWM .

من أجهزة في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم اختيار جهاز القياس ثلاثي الطور .



شكل(4.15) : يوضح جهاز قياس ثلاثي الطور

وضبطت معاملاته كما موضح بالشكل ادناه :

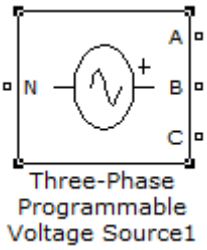


شكل (4.16) : يوضح معاملات جهاز القياس ثلاثي الطور

4.2.3 مصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة :

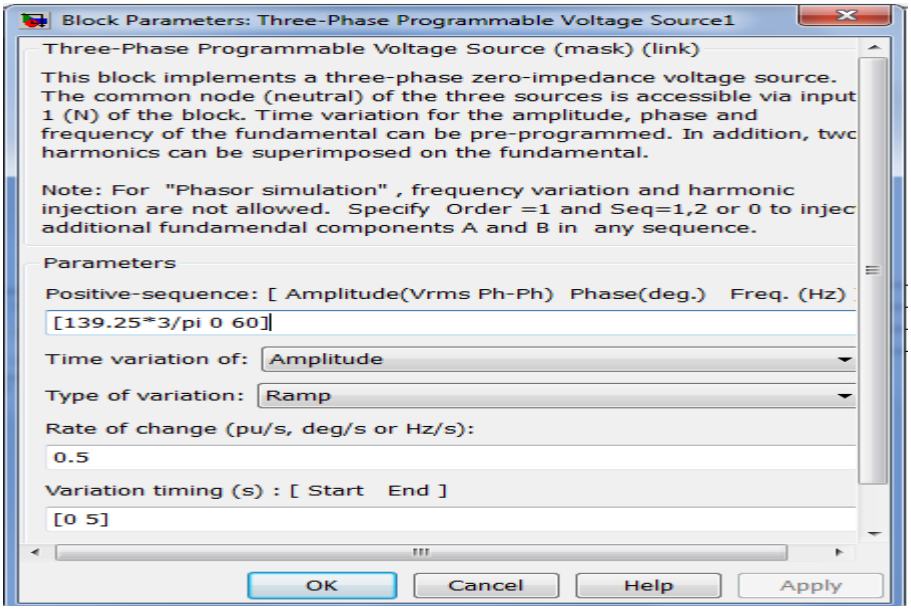
أستخدم لتغذية دائرة التحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الطور ؛ حيث يمرر فولتية ثلاثية الطور متغيرة المطال للمقوم ثلاثي الطور .

من المصادر الكهربية في مكتبة نمذجة نظم القدرة تم إختيارمصدر فولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة .



شكل (4.17) : يوضح مصدر الفولتية ثلاثي الطور قابل للبرمجة

وتم ضبط معاملاته كما موضح بالشكل ادناه



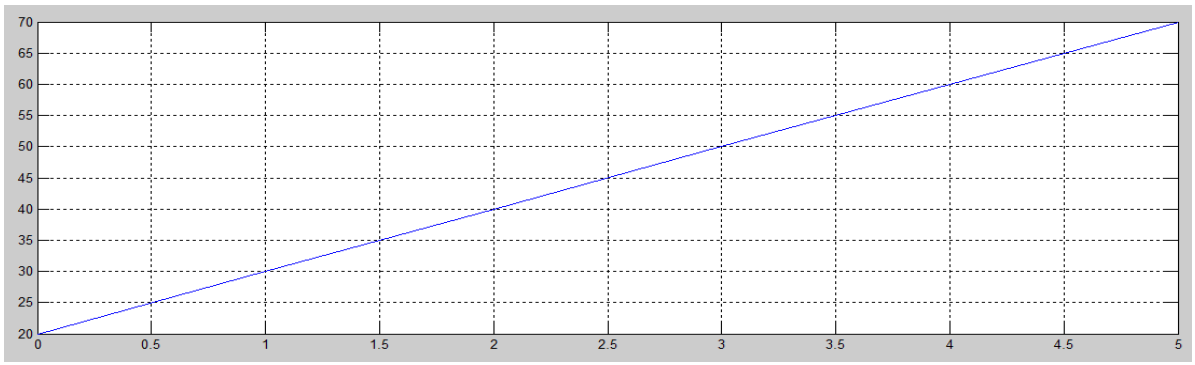
شكل (4.18) : يوضح معاملات مصدر الفولتية ثلاثي الطور القابل للبرمجة

الباب الخامس

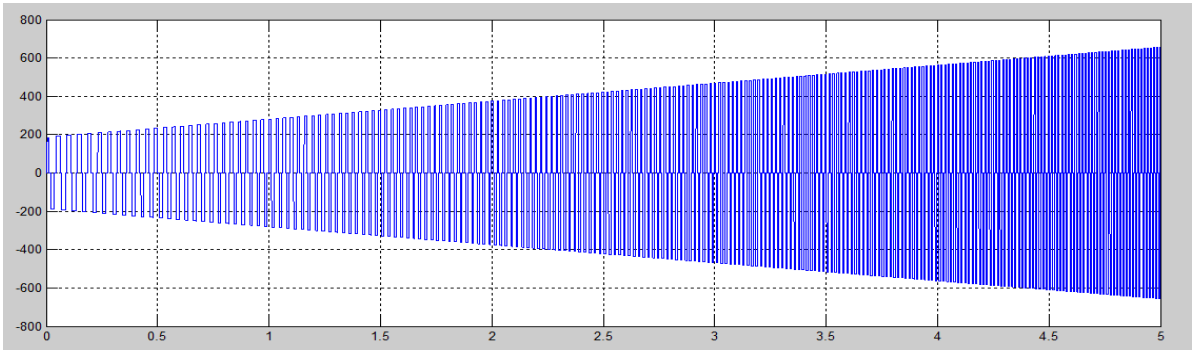
النتائج والتوصيات والخلاصة

5.1 النتائج :

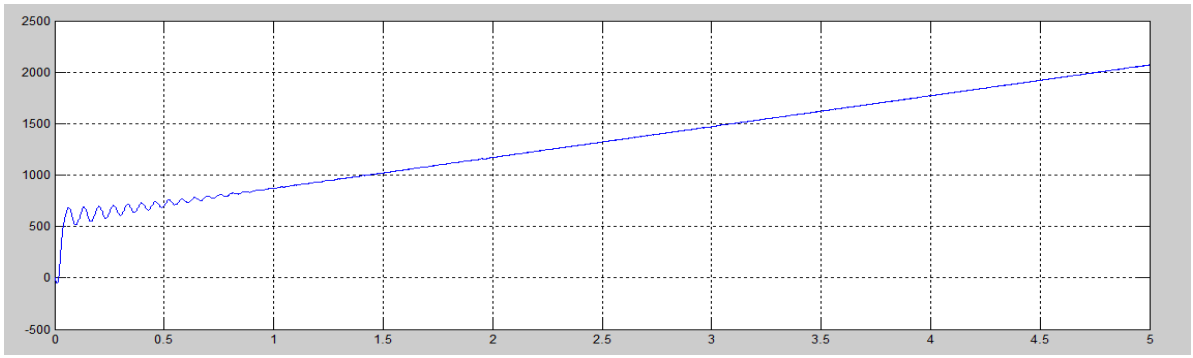
بعد تنفيذ الدائرة تم التحصل علي النتائج التالية :



شكل(5.1) : يوضح تغير التردد مع الزمن



شكل(5.2) : يوضح تغير مطال الفولتية بين الطور a والطور b وترددها

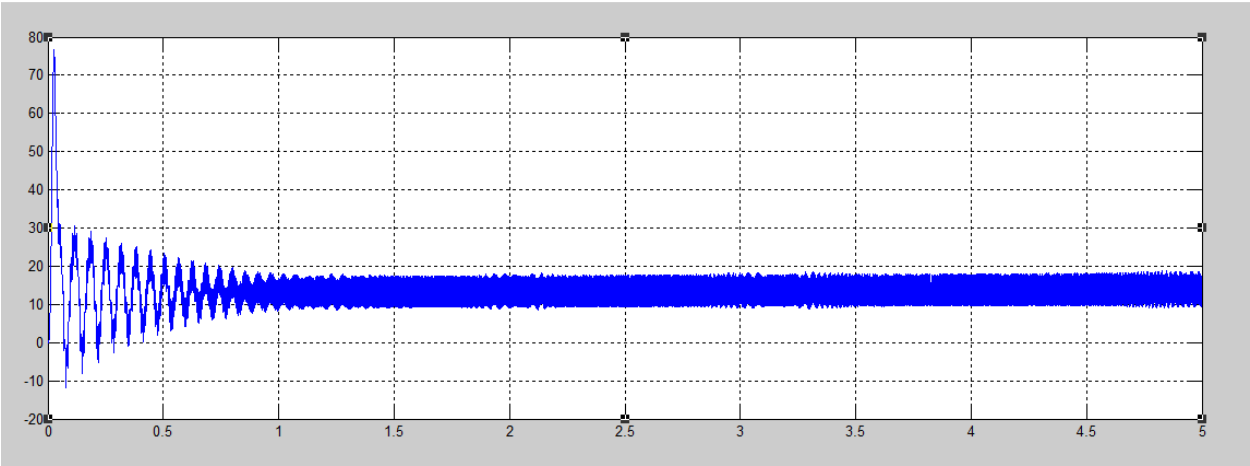


شكل(5.3) : يوضح تغير السرعة مع الزمن عند تغيير التردد.

جدول (5.1) :يوضح العلاقة بين الفولتية والتردد والسرعة والزمن :

T	F	Vrms	Speed (rpm)
0	20	188.33	583.3
1	30	282.5	875
2	40	376.7	1166.7
3	50	470.83	1458.3
4	60	565	1750
5	70	659.2	2041.6

- المحرك المصمم ليعمل علي الانفيرتر يسمح بتشغيله بسرعات اعلي من السرعة المقننة له .



شكل(5.4) :يوضح ثبات العزم عند تغيير السرعة.

5.2 **الخلاصة :**

من خلال هذا البحث تم التعرف على طرق التحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الطور، وتم تصميم نموذج بإستخدام برنامج الماتلاب للتحكم في سرعة المحرك الحثي بإستخدام تقنية ثبات الفولتية والتردد وتم الحصول على ترددات مختلفة عن طريق مولد تعديل عرض النبضة ، ومن خلال هذا النموذج تم التحقق من أن تغير السرعة يعتمد على تغير التردد ، كما تم التحقق من ثبات العزم والذى يعتمد على ثبات النسبة بين الفولتية والتردد .

5.3 **التوصيات:**

- توسيع الدراسة في هذا المجال لتشمل التغير في العزم .
- تصميم وتنفيذ الدائرة عمليا.
- محاولة اضافة بعض التعديلات في هذه الطريقة لتشمل التحكم الدقيق في السرعات.
- تحويل دائرة التحكم من تحكم مفتوح الي تحكم مغلق.
- تصميم دائرة تحكم قابلة للبرمجة بدقة عالية وكفاءة عالية.

5.4 المراجع :

[1] د.باسل محمد سعد ،د.ضياء الدين علي النعمة ،"المكائن الكهربائية(الات التيار المتردد)"، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر،الموصل،1889.

[2] أ.جهاد دريدي ، أ.عثمان إرفاعية ، أ.إبراهيم محمد قدح ،" الإلكترونيات الصناعية "، مركز المناهج ، رام الله،2006.

[3]Austin Hughes," Electric Motors and Drives", ELSEVIER, Third edition 2006 .

[4] b. K–Bose," Modern power Electronics and Ac Driver", Prentice Hall PTR,2002.