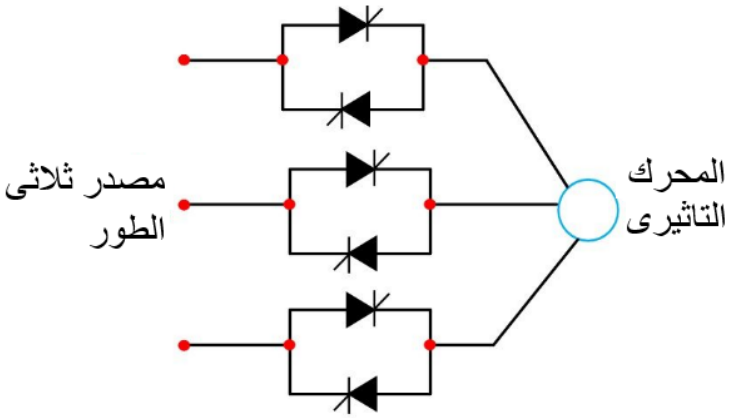
استخدام اشباه موصلات القدرة لقيادة المحركات التاثيرية ثلاثية الأوجه



ثيرستور للتحكم في الجهد

د م/ حمدى محمد سليمان

نوفمبر ٢٠٢٠

قال الله تعالى:
وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْماً
(طه: 114)

مقدمة

منذ اكتشاف فاراداي ظاهرة الحث المتبادل واخترع أول محرك كهربائي قائم على هذه الظاهرة في القرن التاسع عشر، قام المهندسون والباحثون الكهربائيون بتطوير المواد المستخدمة في تصنيع المحركات الكهربائية مثل؛ القلب الحديدى، الموصلات المصنوع منها اللفات، مواد العزل وهلم جرا لتحسين خواص ادائها. في ذلك الوقت، تم استخدام محركات التيار المتردد لتشغيل الأحمال بسرعة ثابتة. مع تطور أجهزة أشباه موصلات الطاقة ونظريات التحكم، تم استخدام محركات التيار المتردد لتشغيل الأحمال بسرعات متفاوتة. في هذا الوقت، تم استبدال محركات التيار المستمر بمحركات التيار المتردد.

في هذا الكتاب، تم شرح كيفية استخدام مغيرات التردد للتحكم في سرعة المحركات التاثيرية ثلاثية الطور واختيرت هذه المحركات نظرًا لانتشارها في العديد من التطبيقات الصناعية مثل وسائل النقل واحمال المضخات والمراوح والنواقل والسيوروأجهزة التبريد والتكييف وما إلى ذلك.

بداء هذا الكتاب بالحديث عن المكونات الأساسية لاى نظام قيادة واستعرض كيفية اختيار نظام القيادة وكيفية اختيار المحرك الكهربى كما قام بشرح الاحمال الميكانيكية الأكثر شهرة في التطبيقات العملية وتعرفنا على أنواع أنظمة القيادة الالكترونية المستخدمة في سوق العمل بعد ذلك تحدثنا المحركات التاثيرية واسس تصنيعها وخواص الأداء لها والوسائل التقليدية والوسائل الحديثة لطرق البدء الخاصة بها وكيفية التغلب على مشاكل بدء هذه المحركات. كما تم شرح مغيرات السرعة واجزائها شرحا وافيا وبيان بطرق توليد النبضات ١٢٠ درجة و١٨٠ درجة وطريقة النبضات المعدلة وكيفية التحكم في سرعة المحركات التاثيرية بالطرق التقليدية والطرق الحديثة كما تم شرح أنظمة التحكم ذات المسار المفتوح وذات المسار المغلق وذكر مميزاتها وعيوبها وتطبيقاتها. كما تم شرح التحكم القياسى من خلال كلا من المسار المفتوح والمسار المغلق واهم مشاكل كلا النظامين وكيف يمكن التغلب على تلك المشاكل كما تم عمل تصميم عملى من الالف الى الياء لمغير سرعة من النوع القياسى ذو المسار المفتوح وتم مناقشة جميع دوائره الالكترونية من خلال برنامج الالتيم وتم التحكم بهذا المغير في محرك تاثيرى ثلاثى الاوجة وتم قياس النتائج العملية لذلك النظام.

القاهرة في ٢٥ نوفمبر ٢٠٢٠

د/حمدى محمد سليمان

المحتويات

	الصفحة
مقدمة	أ
المحتويات	ب
الفصل الأول: أنظمة القيادة متغيرة السرعة	١
١-١ عناصر أنظمة القيادة الرئيسية	١
١ - ٢ تصنيف أنظمة القيادة الكهربية	١٠
١ - ٣ مميزات انظمة القيادة الكهربية	١١
١- ٤ تطبيقات أنظمة الدفع الكهربى	١٢
١- ٥ العوامل المؤثرة على اختيار أنظمة الدفع الكهربى	١٢
١- ٦ أنظمة الجر	١٣
الفصل الثانى المحرك التاثيرى ذو الثلاثة اوجه	١٨
٢ - ١ تركيب المحرك التاثيرى ثلاثى الطور	١٨
٢- ٢ المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى ثلاثي الأطوار	٢١
٢- ٣ مميزات المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى	٢١
٢-٤ تطبيقات المحرك التاثيرى ذو قفص السنجابى	٢٣
٢ - ٥ المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق	٢٣
٢-٦ مميزات المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق	٢٤
٢ - ٧ تطبيقات المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق	٢٤
٢- ٨ نظرية عمل المحرك التاثيرى ثلاثى الطور	٢٤
٢ - ٩ طرق البدء المحركات التاثيرية ثلاثية الطور	٢٥
٢- ١٠ تصنيف المحركات التاثيرية طبقا للجنة الكهروتقنية الدولية NEMA و IEC	٣٠
٢ - ١١ مواصفات الجهد المسلط على المحرك للتشغيل بامان	٣٢
الفصل الثالث مغيرات التردد المستخدمة للتحكم في سرعة المحركات الكهربية	٣٣
٣- ١ المقومات وانواعها	٣٣
٣-٢ العواكس وانواعها	٣٩

الصفحة

٣ - ٣ طرق التحكم في العاكس ثلاثى الطور ٤٢

٣ - ٣ -١ طرق التحكم في العاكس ثلاثى الطور ٤٢

٣ - ٣ - ٢ طريقة التوصيل ذات ١٨٠ درجة ٤٣

٣ - ٣ - ٣ مبداء طريقة النبضات المعدلة ٤٤

٣-٣-٤ طريقة النبضات المعدلة الجيبية ٤٥

الفصل الرابع التحكم في سرعة المحرك الكهربى ٤٨

٤ - ١ الطرق الرئيسية للتحكم في سرعة المحرك التاثيرى ثلاثى الطور ٤٨

٤-١-١ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى من خلال تغيير عدد الأقطاب ٤٩

٤-١-٢ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى من خلال التحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت ٤٩

٤-١-٣ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى بتغيير التردد ٥١

٤- ١-٤ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى بتغيير الجهد والتردد ٥٢

٤- ١ - ٥ تعزيز الجهد للقضاء على مشكلة العزم عند الترددات المنخفضة ٥٥

الفصل الخامس نظرة عامة على النظام ذو المسار المفتوح والنظام ذو المسار المغلق للتحكم ٥٦

٥- ١ أنواع أنظمة التحكم ٥٧

٥- ١ - ١ نظام التحكم ذو المسار المفتو ح ٥٧

٥- ١ - ٢ نظام التحكم ذو المسار المغلق ٥٨

٥ - ٣ الاختلافات الرئيسية بين نظام التحكم ذو المسار المفتوح ونظام التحكم ذو المسار ٦٠

الفصل السادس التحكم القياسى في المحرك التاثير ى ٦٢

١- ٦ التحكم القياسى من خلال المسار المفتوح ٦٤

٦ - ٢ التحكم التناسبى التكاملى ٦٩

٦ - ٢ - ١ التحكم التناسبي ٦٩

٦-٢-١-١ محاكاة التحكم التناسبى لاستنتاج خصائصه ٧١

٦-٢-٢ الحاكم التكاملى ٧٢

٦-٢-٢-١ محاكاة الحاكم التكاملى اظهار نتائجه ٧٣

٦-٣- ٢ الحاكم التناسبى التكاملى ٧٤

الصفحة

٦- ٢ - ٣ - ١ محاكاة الحاكم التناسبى التكاملى ٧٦

٦-٣ التحكم القياسى من خلال المسار المغلق ٧٧

٦-٤ قيادة المحرك التاثيرى باستخدام النبضات المعدلة لتوليد الموجات الجيبية باستخدام التحكم القياسى ٧٨

الفصل السابع تصميم وتشغيل دوائر التحكم القياسى ذو المسار المفتوح للتحكم في المحركات التاثيرية ٨٥

٧ - ١ دوائر المعدل وتوفير الطاقة (الدوائر المطبوعة) ٨٨

٧- ١ - ١ دائرة المعدل الرئيسي ٨٨

٧- ١ - ٢ دوائر مقوم جهاز التحكم ٨٩

٧- ٢ العاكس ذو الست خطوات (PCB الثاني) ٩١

٧ - ٢ - ١ اردوينو نانو ٩٢

٧-٢-٢ الابتوكبلر ١٠٣

٧ - ٢ - ٣ دائرة القيادة والعاكس ست خطوات ١٠٤

٧-٣ النتائج التجريبية ١٠٧

المراجع ١١٠

الفصل الاول

أنظمة القيادة متغيرة السرعة

عندما يحتاج البشر إلى السفر من مدينة إلى أخرى في أي بلد، فهناك العديد من الطرق لنقلهم مثل الحافلة والشاحنة وسيارة الأجرة والمترو. يفضل معظم هؤلاء الأشخاص استخدام المترو للوصول إلى هدفهم في الوقت المحدد. هذا لأن المترو هو وسيلة نقل حديثة بها نظام قيادة (Drive system). يمكن التحكم في نظام القيادة هذا بسهولة، باستخدام وحدات تحكم (Control system)، يمكن لسائق المترو التحكم في سرعة المحركات الكهربية (Electric motors) للوصول في الوقت المحدد. لذلك، عندما نحتاج إلى التحكم في الحركة، نحتاج إلى نظام قيادة كهربية. يمكن لنظام القيادة الكهربائية التحكم في حركة الحمل عن طريق التحكم في سرعة محركاتها. من خلال هذه المقدمة دعونا نتعرف على ما المقصود بالقيادة الكهربية.

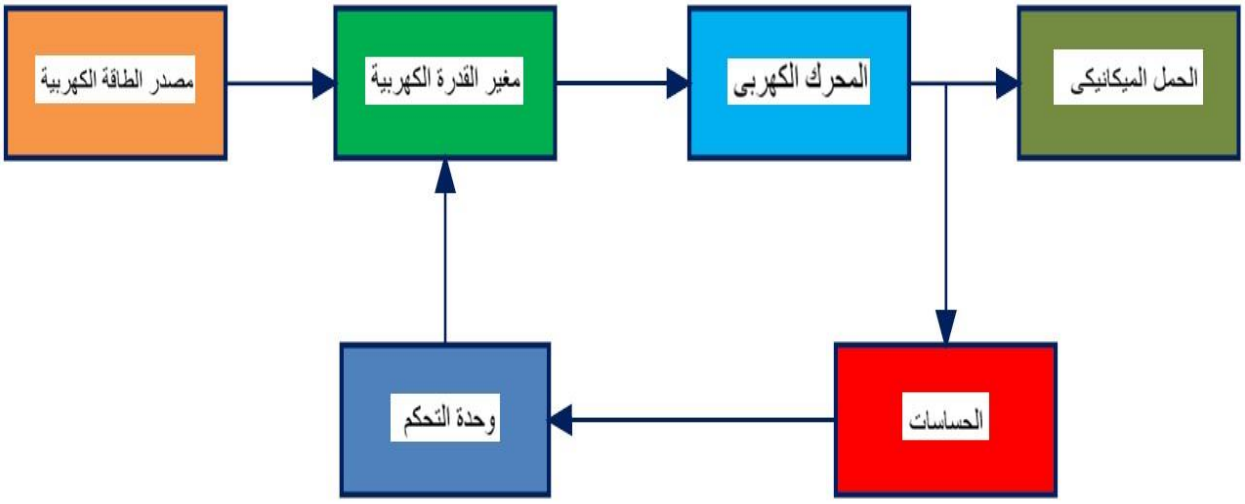
القيادة الكهربية للأنظمة متغيرة السرعة (أنظمة الدفع الكهربى): تعرف القيادة الكهربية للأنظمة متغيرة السرعة بانها نظام الدفع الكهربائي يستخدم للتحكم في سرعة المحرك الكهربائي وعزمه واتجاهه. تختلف انظمة دفع كهربائي باختلاف الوظيفة المخصصة لها، ولكن هناك بعض المميزات الشائعة المرتبطة بجميع أنظمة الدفع الكهربائي. او يمكن تعريف ذلك النظام بانه النظام المستخدم للتحكم في حركة آلة كهربائية، مثل هذه الانواع من النظم تسمى نظم الدفع الكهربى او نظم القيادة الكهربية. بمعنى آخر، القيادة التي تستخدم المحرك الكهربائي تسمى قيادة كهربية. تستخدم القيادة الكهربية أيًا من محركات بدء الحركة مثل محركات الديزل أو البنزين أو توربينات الغاز أو البخار اوالمحركات البخارية اوالمحركات الهيدروليكية اوالمحركات الكهربائية كمصدر أساسي للطاقة. وتعمل هذه المحركات على توفير الطاقة الميكانيكية للقيادة وللتحكم في الحركة.

١-١ عناصر أنظمة القيادة الرئيسية:

يمكن رؤية المكونات الأساسية لأنظمة القيادة الرئيسية من خلال الشكل ١-١ حيث يتضح انها تتكون من التالى:-

١- مصدر الطاقة الكهربية (Power supply).
٢- مغير القدرة الكهربية (Power converter).
٣- المحرك الكهربى (Electric motor).
٤- الحمل الميكانيكى (Mechanical load).
٥- الحساسات (Sensor).

٦- وحدة التحكم (Control unit).



شكل ١-١ المكونات الأساسية لانظمة الدفع الكهربى

وهذه المكونات لنظام الدفع (نظام القيادة) يمكن شرحها كالتالى:-

<u>أولا مصدر الطاقة الكهربية:</u>

مصدر التغذية الرئيسى للكهرباء يطلق عليه مصدر الطاقة. يمكن تصنيف الطاقة الكهربائية على أنها طاقة التيار المتردد أو طاقة التيار المستمر حسب اتجاه تدفق الطاقة. هنا يرمز للتيار المتردد او مصدر الطاقة المتردد بالرمز AC ويرمز للتيار المستمر او مصدر الطاقة المستمر بالرمز DC. يُطلق على الطاقة الناتجة عن تدفق التيار في الاتجاه المتناوب اسم طاقة التيار المتردد ، وتسمى القوة الناتجة عن تدفق التيار في اتجاه واحد فقط طاقة التيار المستمر. يعمل المصدر الكهربى على تغذية نظام القيادة بالطاقة. ويمكن تقسيم مصادر الطاقة في التطبيقات الصناعية الى نوعين رئسيين هما:

١. مصادر الطاقة المترددة (AC) ،

٢. مصادر الطاقة المستمرة (DC)

وقد تكون مصادر الطاقة المترددة أحادية الطور أو ثلاثية الطور، ٥٠ هرتز أو ٦٠ هرتز ، ٢٤٠ فولت / ٤١٥ فولت ، ٢٢٠ فولت / ٣٨٠ فولت ، ١٢٠ فولت / ٩٠ فولت ، ١١ كيلو فولت / ٤١٥ فولت ، إلخ.

كما تحتوي مصادر الطاقة المستمرة على العديد من الأنواع المختلفة لمستويات الجهد.

عادةً ما يكون للمنشآت الصناعية واسعة النطاق أكثر من نوع واحد من مصادر الطاقة بجهد وترددات مختلفة ، فقد تحتوي الطائرات التجارية ، على سبيل المثال ، على مصادر تيار متردد ٤٠٠ هرتز ومصادر إضافية تبلغ ٢٧٠ فولت.

ثانيا مغيرات القدرة:

مغيرات القدرة هى عبارة عن واجهات (Interface) للمحرك مع مصدر الطاقة حيث تعمل على امداد المحرك بجهد مع تردد قابلين للتعديل، او تيار مع تردد قابلين للتعديل أو جهد متردد او تيار مستمر قابلين للتعديل. هذا يعني أن الوظيفة الرئيسية لمغيرات القدرة هي تحويل شكل الموجة (wave) لمصادر الطاقة إلى تلك التي يتطلبها المحرك الكهربائي من أجل تحقيق الأداء المطلوب كما انه يحدد طريقة تشغيل المحرك هل يعمل في وضع التحريك أو في وضع الفرملة. ويمكن تقسيم هذه المغيرات الى عدة أنواع يمكن سردها كالتالى:-

١- العاكس (Inverter): يقوم العاكس بتحويل الجهد والتيار المستمر الداخل له الى تيار وجهد متردد مناسب لنوع التطبيق الذى يعمل معه. حيث يوجد نوعيين رئيسيين للعاكس هما عاكس تيار (Current source inverter) وعاكس جهد (Voltage source inverter).
٢- مقطع الجهد المستمر (DC chopper): يقوم هذا النوع من المغيرات بتحويل الجهد المستمر المسلط عليه الى مستويات مختلفة من الجهد المستمر تتناسب مع نوع التطبيق المستخدم من اجله المغير.
٣- مقوم التيار المستمر المتحكم فيه (Controlled rectifier): يقوم هذا النوع من المغيرات بتحويل مصدر الجهد المتردد الى جهد مستمر متحكم فيه.
٤- مقطع الجهد المتردد (AC chopper): يقوم هذا النوع بالتحكم بقيمة الجهد المتردد الداخل له فقط دون تغيير التردد لذلك يسمى أيضا منظم الجهد المتردد (AC regulator).

ثالثا المحرك الكهربى:

تُستخدم المحركات الكهربائية في جميع أنحاء العالم في العديد من التطبيقات السكنية والتجارية والصناعية والمرافق. تقوم المحركات بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. قد يكون المحرك جزءًا من مضخة أو مروحة ، أو متصلاً ببعض أشكال المعدات الميكانيكية الأخرى مثل دورات الرياح أو السيور أو الخلاطات.

والمحركات الكهربائية لها أنواع مختلفة مثل محركات التيار المستمر (DC motors) ومحركات التيار المتردد (AC motors) والمحركات الخاصة (Special motors)

١- محركات التيار المستمر:

يمكن تقسيم محركات التيار المستمر إلى ثلاثة انواع رئيسية –

- محرك تيار مستمر غير ذاتى التغذية (Separately excited DC motor): في هذا النوع يتم تغذية ملفات المجال (Field winding) من مصدر ويتم تغذية ملفات المنتج (Armature winding) من مصدر اخر مثل محرك تيار مستمر ذو تغذية منفصلة.
- محرك تيار مستمر ذاتى التغذية (Self-excited DC motor): مثل محرك تيار مستمر توالى ، ومحرك تيار مستمر توازى ، ومحرك تيار مستمر مركب ويوجد منه نوعين مركب التوازى الطويل ومركب التوازى القصير.
- محرك تيار مستمر ذو مغناطيسي دائم.

٢- محركات التيار المتردد:

يمكن تقسيم محركات التيار المتردد الى نوعينرئيسيين هما

- المحركات التاثيرية (Induction motors): تنقسم المحركات التاثيرية الى نوعين رئسيين هما محرك تاثيرى ذو قفص سنجابى ومحرك تاثيرى من النوع الملفوف ذو حلقات الانزلاق.
- المحركات التزامنية (Synchronous motors). تنقسم المحركات التزامنية لها نوعين رئيسيين هما المحرك التزامنى من النوع الملفوف والمحرك التزامنى ذو المغناطيس الدائم.

٣- المحركات الخاصة:

إلى جانب جميع المحركات المذكورة أعلاه ، هناك بعض أنواع من المحركات التي تسمى المحركات الخاصة مثل المحركات الخطوية ومحركات المعوقة ومحركات الشيراجا.

المعيار الأساسي في اختيار محرك كهربائي لتطبيق معين:

١. مستوى الطاقة والأداء الذي تتطلبه الأحمال أثناء التشغيل الديناميكي والحالة المستقرة.

على سبيل المثال: في التطبيق الذي يحتاج إلى عزم دوران عالي ، قد يكون محرك التوالي المستمر خيارًا أفضل من المحرك التاثيرى. في تطبيقات السرعة الثابتة ، يكون المحرك المتزامن أكثر ملاءمة من المحركات التاثيرية أو محركات التيار المستمر.

٢. العوامل البيئية (تحديد نوع المحرك)

على سبيل المثال: في معالجة الأغذية ، والصناعات الكيماوية ، والطيران ، حيث يجب أن تكون البيئة نظيفة وخالية من الأقواس ، وعلى هذا لا يمكن استخدام محرك التيار المستمر ما لم يتم تغليفه.

٣. تكلفة المحرك الكهربى

بشكل عام ، تعد محركات التيار المستمر بدون فرش أكثر تكلفة ، في حين أن المحركات التاثيرية على شكل قفص السنجاب أرخص الأنواع

٤. وظيفة المغيرات (أشكال الموجة)

على سبيل المثال: إذا كان مصدر الطاقة من نوع التيار المتردد والمحرك هو آلة تعمل بالتيار المستمر. يقوم المغير بتحويل شكل موجة التيار المتردد إلى تيار مستمر. (يتم ذلك من اجل استقرار وكفاءة وأداء المحرك الذي يستخدم هذا المغير).

رابعا الاحمال الميكانيكية:

يحتوي الحمل الميكانيكي على العديد من المكونات. هذه المكونات هي؛

١. عزم الاحتكاك (Frictional torque)

عزم الاحتكاك هو القيمة المكافئة لمقاومة الاحتكاك منسوبة الى عمود الادارة. سواء كانت ناتجة من دوران عمود الإدارة او من الأجزاء الميكانيكية المختلفة للحمل.

٢. العزم الناتج عن مقاومة الهواء للدوران (Windage torque)

عندما يعمل المحرك ، تولد رياح عزم دوران يعاكس الحركة. يُعرف هذا باسم عزم الدوران الهوائى.

٣. عزم الدوران المستفاد (Load torque) للقيام بالحمل الميكانيكى على عمود الإدارة وقد يكون عزم الدوران هذا ثابتا لا يعتمد على السرعة او قد يكون مرتبطا بالسرعة.

تصنيفات الأحمال الميكانيكية المختلفة:

يمكن تصنيف معظم الأحمال الصناعية إلى النوعين رئيسيين هما

(١) عزم دوران الحمل متغير بمرور الوقت:

- أحمال من النوع الثابت (Constant load): الأحمال التي تعمل بشكل مستمر لـنفس ظروف التحميل (نفس عزم الدوران) ولفترة طويلة.
- الأحمال مستمرة التغير (Changing load continuously): هي احمال المتغيرة مع الوقت ولها دورة عمل.
- الأحمال النابضة (Pulsating load): يكون الحمل فيها على شكل نبضة مثل الاحمال المزودة بعمود كرنك.
- أحمال الصادمة (Impact load): قمم هذه الحمل متكررة ومنتظمة كما هو الحال في مصانع الدرفلة ، مطارق الصقل ، إلخ.
- أحمال تعمل لفترات قصيرة (مثل الرافعات).

(٢) عزم دوران الحمل مرتبط مع السرعة:

- عزم تحميل ثابت مهما تغيرت السرعة (مثل الرافعات والسيور).
- عزم تحميل متناسب مع السرعة (احمال المولدات الكهربية).
- عزم تحميل متناسب مع مربع السرعة (عزم التحميل المروحى).
- عزم الدوران يتناسب عكسيا مع السرعة (الاحمال ذات الانواع ثابتة الطاقة).

خصائص عزم التحميل الميكانيكى مع السرعة:

يجب معرفة خصائص السرعة وعزم الدوران للحمل لحساب وقت التسارع واختيار نوع المحرك المناسب للحمل. تكون خصائص سرعة الحمل وعزم الدوران للأحمال الصناعية عمومًا غير تحليلية ($T_L = f(\omega)$). ومع ذلك ، يمكن تقريب بعضها إلى شكل تحليلي مثل العلاقة التالية التي تم اعدادها معمليا لتتناسب مع الاحمال المختلفة $T_L = C T_r (\frac{n}{n_r})^k$

حيث C هي ثابت تناسب، T_r العزم المقنن للمحرك، T_L عزم الحمل، n_r السرعة المقننة للمحرك، n سرعة المحرك، k معامل اسى يحدد العلاقة ما بين العزم والسرعة.

ويمكن حصر أنواع الاحمال الميكانيكية في التالى:-

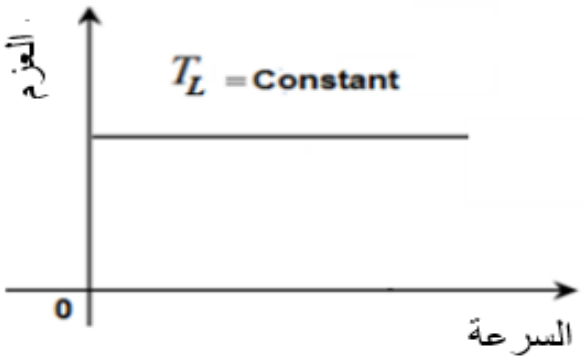
١- عزم الدوران الثابت لا يعتمد على السرعة (Constant torque): $T_L = k$

هذا النوع من الاحمال الميكانيكية يحتاج الحمل فيها الى عزم ثابت بغض النظر عن السرعة ويمكن تحقيق ذلك في المعادلة المعملية بوضع k تساوى صفر و C تساوى واحد اوى رقم اخر ثابت بناء على عزم الحمل وهذه الاحمال تشمل احمال التشكيل أو القطع أو الطحن أو القص وأيضا الرافعات أثناء الرفع والناقلات مثل السيورالتي تتعامل مع الوزن الثابت للمواد لكل وحدة والشكل ١-٢ يظهر هذا النوع من خصائص هذه الاحمال.

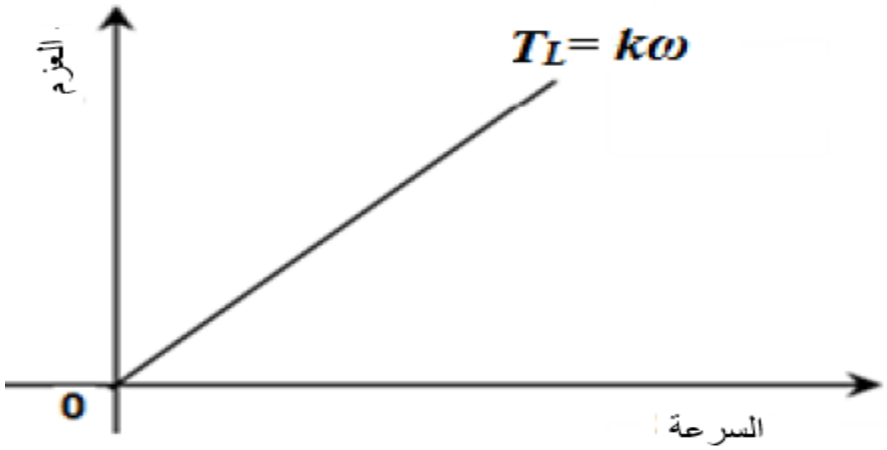
٢- العزم المتناسب مع السرعة (Torque proportional to speed): $T_L = k\omega$

في هذه الانوع من الاحمال يتناسب عزم الحمل تناسبا طرديا مع السرعة كما بالشكل ١-٣ ولتحقيق ذلك تأخذ قيمة k الواحد الصحيح من اشهر أنواع هذه الاحمال مولدات التيار المستمر ذات التغذية المنفصلة المتصلة بمقاومة ثابت ؛ الفرامل الكهربية التي تعمل بتاثير التيار الدوامة ويمكن رسم العلاقة مابين سرعة الحمل الميكانيكى وعزم دورانه طبقا للعلاقة

$T_L = k\omega$.



شكل ١-٢ خصائص العزم مع السرعة للاحمال الثابتة



شكل ١-٣ خصائص العزم مع السرعة للاحمال المتناسبة طرديا مع السرعة

٣- عزم الدوران متناسب مع مربع السرعة (Torque proportional to squared speed): $TL = k\omega^2$

هناك نوع آخر من الأحمال المتواجدة بالحياة العملية وهذا النوع الذي يتناسب فيه عزم الحمل مع مربع السرعة وتاخذ فيه القيمة k اثنان في المعادلة المعملية، مثل : المراوح والمضخات الدوارة والضواغط ومراوح السفن. ويمكن رؤية خصائص هذا الحمل بالشكل ١-٤

٤. العزم يتناسب عكسيا مع السرعة (Torque inversely proportional to speed): $T_L \alpha \frac{1}{\omega}$

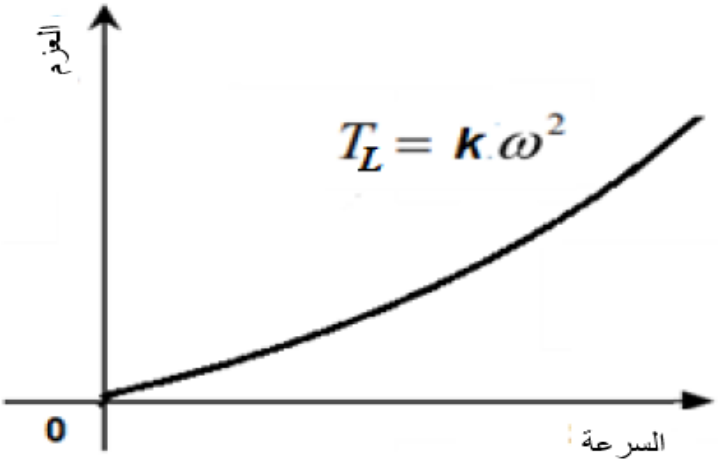
في هذا النوع من الأحمال ، يتناسب العزم عكسياً مع سرعة المحرك. وفى هذا النوع تأخذ فيه القيمة k سالب واحد وتعمل أنواع معينة من الحمل بهذه الطرق مثل ؛ المخارط وآلات الحفر وآلات الطحن ومطحنة الصلب وحمل الجر الكهربى وخصائص عزم الدوران لهذا الحمل مع السرعة يمكن رؤيتها بالشكل ١-٥

٥. عزم الدوران متعلق بالسرعة على شكل كثيرة حدود:

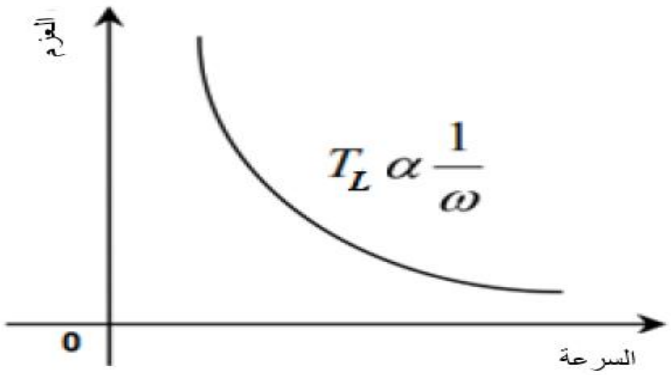
بالنسبة للخصائص الخاصة بالشكل ١-٦ ، يمكن تقريب كل مثال إلى شكل متعدد الحدود مثل الاحمال التالية:

للروافع والمصاعد تكون معادلة العزم دالة في السرعة تأخذ الشكل $T_L = ko+k\omega$ ويمكن رؤية العلاقة بين العزم والسرعة عند الحمل الكامل واللا حمل بالشكل ١-٦ ا

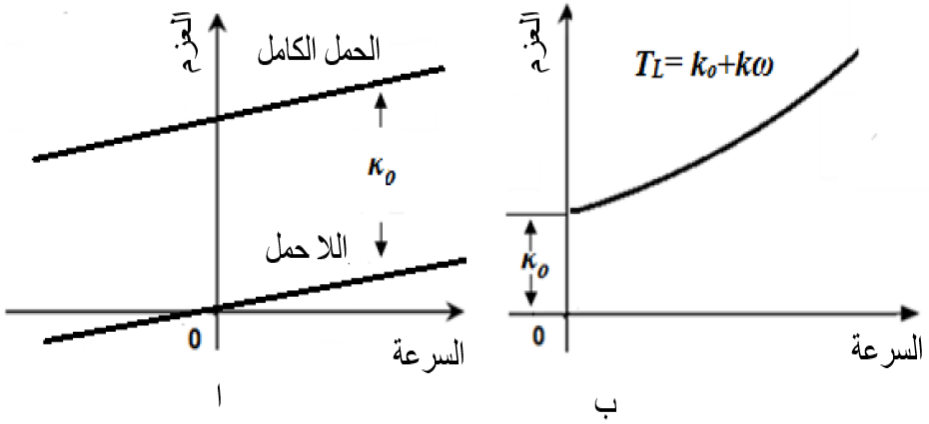
للضواغط تكون معادلة العزم دالة في السرعة تأخذ الشكل ..... $T_L = ko+k_1\omega+k_2\omega^2+$ ويمكن رؤية العلاقة بين العزم والسرعة كما بالشكل ١-٦ ب



شكل ١-٤ خصائص العزم مع السرعة للاحمال المتناسبة طرديا مع مربع السرعة



شكل ١-٥ خصائص العزم مع السرعة للاحمال المتناسبة عكسيا مع السرعة



شكل ١-٦ العزم دالة تقريبية في السرعة على هيئة كثيرة حدود

خامسا وحدة الحساسات:

لنبداء أولا بتعريف الحساس حيث يعرف الحساس بانه أداة استشعار يعمل على كشف الحالة الفيزيائية المحيطة فمنها ما يستخدم لقياس درجة حرارة او يقيس عزم او يحسب اتجاه او يقيس تيار او جهد او سرعة محرك حيث يقوم بتحويل الإشارات الساقطة عليه الى نبضات كهربية يمكن قياسها او عدها طبقا لطريقة عمل ذلك الحساس.

سادسا وحدة التحكم

تستخدم وحدة التحكم في عمل التوافق ما بين مغير القدرة والمحرك الكهربى لتحقيق متطلبات الحمل.

١-٢ تصنيف أنظمة القيادة الكهربية (Driving system):

يمكن تصنيف أنظمة القيادة الكهربية على النحو التالي:

١. حسب طريقة التشغيل

- أنظمة القيادة ذات الخدمة المستمرة (Continuous duty drives)
- أنظمة القيادة ذات فترات العمل القصيرة (Short time duty drives)
- أنظمة القيادة ذات الخدمة المتقطعة (Intermittent duty drives)

٢. حسب طريقة السيطرة

- قيادة يدوية (Manual driving)
- قيادة نصف تلقائية (Semiautomatic driving)
- قيادة تلقائية (Automatic driving)

٣. حسب عدد المحركات الكهربية

- قيادة محرك فردي (Individual driving)
- قيادة المجموعة (Group driving)
- قيادة متعددة المحركات (Multigroup driving)

٤. تصنيف رئيسي آخر للمحرك الكهربائي هو

- أنظمة قيادة التيار المستمرDC
- أنظمة قيادة التيار المتردد AC

نظرا لأننا في هذه الدورة نتعامل مع قيادة محركات التيار المتردد لذلك سوف نقارن بينها وبين قيادة محركات التيار المستمر حيث توجد هذه المقارنة بالجدول ١-١

أنظمة قيادة محركات التيار المستمر	أنظمة قيادة محركات التيار المتردد
تكنولوجيا راسخة وبسيطة	دائرة الطاقة ودائرة التحكم معقدة
يتطلب صيانة متكررة	قليل الصيانة
المبدل يجعل المحرك ضخمًا ومكلفًا وثقيلًا	لا توجد مشاكل في المبدل في هذه المحركات وهي غير مكلفة ، خاصة المحركات التاثيرية ذات قفص السنجابى
تقييمات السرعة والتصميم محدودة بسبب عمليات التبديل	سريع الاستجابة ونطاق التحكم في السرعة عريض المدى
معامل القدرة لها سيئ	معامل القدرة لها جيد
حساس للعوامل البيئة	غير حساس للعوامل البيئة

جدول ١-١ مقارنة بين أنظمة الدفع ذات التيار المستمر وأنظمة الدفع ذات التيار المتردد

١-٣ مميزات انظمة القيادة الكهربية:

نظام الدفع الكهربائي الحديث المتغير السرعة هو نظام ثابت يستخدم أجهزة أشباه موصلات الطاقة مثل الثيارستور (SCR) وترانزستورات الطاقة. لقد حلت هذه الأنظمة محل نظم الدفع الهوائية أو الهيدروليكية القديمة بالإضافة إلى أنظمة الدفع الكهروميكانيكية وغيرها من أشكال التحكم للتحكم الإلكتروني باستخدام الدفع الكهربى والذي يتمتع بالمزايا التالية:

١. التشغيل الأساسى لها بسيطة وذو موثوقية.

٢. التوفير في المساحة والتكلفة الرأسمالية.

٣. تيار بدء منخفض.

٤. يتم من خلاله التحكم في زمن التشغيل وزمن الايقاف.

٥. كفائته مرتفعة.

٦. سريع الاستجابة.

٧. تكلفة صيانته منخفضة وعمره طويل.

٨. يمكن تحويل قوة الفرملة إلى طاقة كهربائية واعادتها الى مصدر الكهرباء الرئيسي.

١-٤ تطبيقات أنظمة الدفع الكهربى:

تستخدم الدفع الكهربى (أنظمة القيادة الكهربائية) في العديد من التطبيقات الصناعية مثل:

١- مصانع الورق.

٢- مصانع الصلب.

٣- مصانع الأسمنت.

٤- مصانع النسيج.

٥- مصانع السكر.

٦- أنظمة الجر الكهربائي.

٧- السيارات الكهربائية.

٨- الصناعات البتروكيماوية.

١-٥ العوامل المؤثرة على اختيار أنظمة الدفع الكهربى:

يعتمد اختيار أنظمة الدفع الكهربى على عدد من العوامل. من اهمها

١- متطلبات التشغيل المستقر: (يعتمد على طبيعة وخصائص عزم الدوران مع السرعة ، وتنظيم السرعة ، مدى السرعة المطلوب التحكم فيه، الكفاءة ، شكل دورة العمل ، وأرباع التشغيل ، وتذبذبات السرعة، قيم التشغيل المقننة من لوحة بيانات المحرك، إلخ).
٢- متطلبات التشغيل العابر (قيم التسارع والتباطؤ، البدء، الايقاف، عكس السرعة).

٣- متطلبات المصادر الكهربية: (أنواع المصدر، وسعته، وحجم الجهد، ومعامل القدرة، والتوافقيات، إلخ).
٤- رأس المال وتكلفة التشغيل واحتياجات الصيانة والعمر الافتراضى.
٥- قيود المساحة والوزن اى المساحة المطلوب وضعه فيها ووزنه.
٦- البيئة والموقع.
٧- الموثوقية.

١-٦ أنظمة الجر (Traction systems):

يُطلق على النظام الذي يتسبب في دفع السيارات او القطارات والتي يتم فيها الحصول على قوة الجر أو القيادة من أجهزة مختلفة مثل قيادة محركات الديزل ومحركات البخار والمحركات الكهربائية وما إلى ذلك نظام الجر. يمكن تصنيف نظام الجر على أنه أنظمة جر كهربائية وأنظمة جر غير كهربائية.

١- نظام الجر غير الكهربائي

نظام الجر الغير كهربى يُشير إلى نظام الجر الذي لا يستخدم الطاقة الكهربائية لحركة السيارة او القطارات في أي مرحلة. يعتبر محرك البخار هو أفضل مثال على نظام الجر غير الكهربائي وهو أول نظام قاطرة تم استخدامه قبل اختراع أنظمة الجر الكهربائي الفعلية. ويمكن رؤية ذلك النظام كما بالشكل ١-٧. يتم استخدام الفحم أو البترول كوقود للعمل على تحرير الطاقة الحرارية لإنتاج ضغط البخار ثم يتم تحويله إلى طاقة حركية بحيث يتم إنتاج الحركة الميكانيكية للمركبة. كما يوضح ذلك الشكل رقم ١-٨

شكل ١-٧ نظام جر غير كهربى (المحرك الكهربى) يستخدم لادارة قاطرة

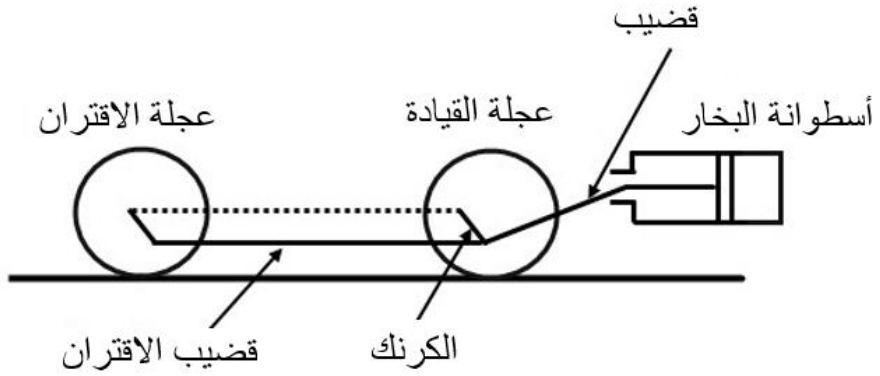
عيوب أنظمة القاطرات البخارية هى، انخفاض كفاءة الوقود ، وضعف الأداء الفني ، وصيانة عدد كبير من مرافق الإمداد بالمياه ، وتكلفة الصيانة العالية التي جعلتها تستبدل بأنظمة جر بديلة وبالتالي تم اللجوء الى الجر الكهربي.

انواع أنظمة الجر غير الكهربائية:

أ. المركبات القائمة على محرك بخاري (تستخدم للسكك الحديدية)

ب. المركبات القائمة على محرك الاحتراق الداخلي (المستخدمة في النقل البري)

ج. قطارات ماجليف



شكل ١-٨ لايضاح عمل قاطرة الجر من خلال البخار

٢- نظام الجر الكهربائي

يتضمن الجر الكهربائي استخدام الكهرباء في مرحلة ما أو في جميع مراحل حركة القاطرة. يشتمل هذا النظام على دفع كهربائي مباشر ودفع كهربائي بالديزل ومركبات تعمل بالبطاريات.

في هذا ، تُستخدم المحركات الكهربائية لإنتاج حركة السيارة ويتم تشغيلها عن طريق سحب الكهرباء من المرافق أو مولدات الديزل أو البطاريات. ويمكن رؤية مثال لذلك خلال الشكل ١-٩

شكل ١-٩ مثال للجر الكهربى

مزايا أنظمة الجر الكهربي:

أ. الاوفر. إنها من أرخص الطرق اذا ماقورنت بانظمة الجر الأخرى.

ب. النظافة. خاليةٍ من الدخان وغازات المداخن

ج. تكلفة الصيانة. تبلغ تكلفة الصيانة والإصلاح حوالي ٥٠٪ من نظام الجر البخاري.

د. وقت البدء. تبدأ العمل في الوقت قصير جدا لا يتجاوز ثوانى معدودة.

ه. عزم دوران عالي. يستخدم هذا النظام محركات التوالي في كلا من التيار المستمر والمتردد لما لها من عزم دوران عالي جدًا.

ر. الايقاف في الجر الكهربائي ، اثناء الإيقاف يتم ارجاع ما يوازى ٤٠٪ من الطاقة الى الشبكة الكهربية الرئيسية.

ز. توفير في وسائل الطاقة الغير متجددة مثل الفحم. لا حاجة لاستخدام الفحم في نظام الجر الكهربائي.

عيوب أنظمة الجر الكهربائي:

أ. ارتفاع النفقات الأولية لانشاء مشروع الجر الكهربى.

ب. وجود اعطال في مصدر الكهرباء يجعلها خارج الخدمة.

ج. يلزم استخدام معدات اضافية اثناء استخدام الفرامل الكهربية واثناء استغلال هذه الظاهرة لارجاع كهرباء لشبكة التغذية.

د. يجب أن تتحرك المركبات التي تعمل بالكهرباء فقط على مسار مكهرب.

ه. التشويش على الارسال والاستقبال مثل الراديو وخطوط الهاتف.

مصادر التغذية لانظمة الجر الكهربى:

١- نظام التيار المستمر
٢- نظام التيار المتردد
- وجه واحد
- ثلاثة اوجه

٣- النظام المركب
- تغذية من جهد متردد ذو وجه واحد مع تغذية من جهد مستمر
- تغذية من جهد متردد ذو وجه واحد مع جهد متردد ذو ثلاثة اوجه

العوامل المؤثرة في استهلاك الطاقة:

١- المسافة بين المحطات.
٢- مقاومة القطار.
٣- التسارع والتباطؤ.
٤- الانحدار.
٥- معدات القطار.

اشهر المحركات المستخدمة في الجر الكهربى:

١- محرك التوالي المغذى من تيار مستمر
٢- محرك التوالي المغذى من تيار متردد
٣- المحرك التاثيرى ثلاثى الاوجه

المميزات الكهربائية لمحركات الجر:

١- عزم دوران عالي.
٢- يمكن التحكم في سرعتها بسهولة.
٣- لها قدرة كبيرة على إعادة الكهرباء للشبكة اثناء استخدام الفرامل الكهربية.
٤- لها قدرة كبيرة على تحمل الفصل والتشغيل المتعدد.
٥- لها قدرة كبيرة على تحمل تقلبات الجهد.

الميزات الميكانيكية لمحركات الجر:

١- خفيفة الوزن.

٢- تحتاج الى مساحة صغيرة.
٣- يجب أن تكون قوية وقادرة على تحمل الاهتزازات.

طرق التحكم في محركات الجر الكهربى:

١- التحكم باستخدام مقاومة الريوستات
٢- التحكم باستخدام التوالي والتوازي
٣- التحكم في المجال
٤- التحكم باستخدام زيادة ونقصان الجهد
٥- التحكم باستخدام الثايرستور
- التحكم في زاوية الوجه
- التحكم المتقطع

الفرامل المستخدمة في الجر الكهربى:

أولا الفرامل الكهربية:

١- توصيل أو عكس اتجاه التيار
٢- الفرملة باستخدام المقاومات
٣- الفرملة بالتوليد وإعادة الكهرباء لمصدر التغذية

ثانيا الفرامل الميكانيكية:

١- الفرملة باستخدام الهواء المضغوط
٢- الفرملة باستخدام التفريغ

ثالثا الفرملة باستخدام الجر المغناطيسى

الاتجاهات الحديثة في الجر الكهربائي:

١- التحكم باستخدام التبويب (Tab changer)
٢- التحكم باستخدام الثايرستور
٣- التحكم باستخدام مقطعات الجهد والتيار
٤- تحكم باستخدام المعالجات الصغيرة

الفصل الثانى

المحرك التاثيرى ذو الثلاثة اوجه

المحرك الكهربائي: جهاز يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. يعتمد مبدأ عمل المحرك الكهربائي على التفاعل بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي. هناك نوعان من المحركات الكهربائية محركات التيارالمستمر ومحركات التيار المتردد.

محركات التيار المستمر: تغذى من مصادر طاقة ذات جهد مستمر مثل محرك التيار المستمر ذو التغذية الذاتية ومحرك التيار المستمر ذو التغذية المنفصلة. يشتمل محرك التيار المستمر ذاتى الإثارة على أنواع أخرى من محركات التيار المستمر مثل محرك التوالى ومحرك التوازى والمحرك المركب.

محركات التيار المتردد: هو عبارة عن محركات تغذى من مصادر طاقة ذات جهد متردد كالمحرك المتزامن والمحرك التاثيرى. تتغذى هذه المحركات من مصدر طاقة ذات جهد متردد أحادي الطور أو من مصدر طاقة ذات جهد متردد ثلاثي الطور. يُطلق على المحرك المتزامن محرك مزدوج الإثارة لأنه يتغذى من مصدرين للطاقة أحدهما يغذي الجزء الدوار والآخر يغذي الجزء الثابت اما المحرك التاثيرى فهو محرك احادى الاثارة لأنه يغذي الجزء الثابت فقط من مصدر الطاقة وسوف نركز هنا على المحرك التاثيرى نظرا لانتشاره في الصناعة.

المحرك التاثيرى ثلاثي الطور هو المحرك الكهربي الأكثر استخدامًا في الصناعة. يتم توفير ما يقرب من ٨٠٪ من الطاقة الميكانيكية التي تستخدمها الصناعات بواسطة المحركات التاثيرية ثلاثية الطور بسبب بنائها البسيط والمتين، وتكلفتها المنخفضة، وخصائص تشغيلها الجيدة، وغياب المبدل، والتنظيم الجيد للسرعة. في المحرك التاثيرى ثلاثي الطور، يتم نقل الطاقة من ملفات العضو الثابت إلى الملف العضو الدوار من خلال مبداء الحث. يُطلق على المحرك التاثيرى أيضًا اسم المحرك اللامتزامن حيث يعمل بسرعة غير السرعة المتزامنة.

٢-١ تركيب المحرك التاثيرى ثلاثي الطور:

مثل أي نوع آخر من المحركات الكهربائية ، يتكون المحرك التاثيرى ثلاثي الطور من جزأين رئيسيين ، هما العضو الدوار والعضو الثابت.

العضو الثابت: هوجزء من أجزاء المحرك التاثيرى غير قابل للحركة يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية هى الاطار الخاص بالعضو الثابت وقلب العضو الثابت وملفات العضو الثابت وهذه الأجزاء يمكن شرحها كالتالى:-

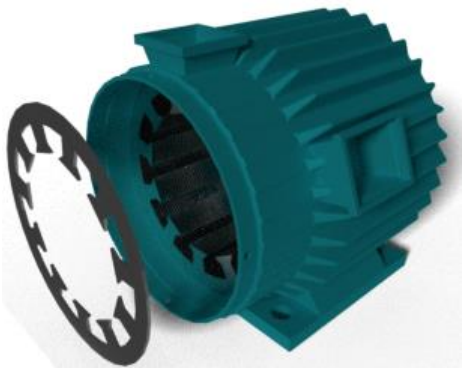
أولا اطار العضو الثابت (Yoke):

هو الجزء الخارجي من المحرك التاثيرى ثلاثي الطور. وتتمثل مهمته الرئيسية في دعم كلا من قلب العضو الثابت وملفات المجال وهى أيضا تسمى ملفات العضو الثابت. يعمل الاطار الثابت كغطاء يوفر الحماية والقوة الميكانيكية لجميع الأجزاء الداخلية للمحرك التاثيرى. يتكون هذا الإطار من الفولاذ المصبوب أو الصلب. يجب أن يكون إطار المحرك التاثيرى ثلاثي الطور قويًا وصلبًا نظرًا لأن طول فجوة الهواء للمحرك التاثيرى ثلاثي الطور صغير جدًا. خلاف ذلك ، لن يظل العضو المتحرك متحد المركز مع العضو الثابت ، مما يؤدي إلى سحب مغناطيسي غير متوازن. والشكل رقم ٢-١ يبين اطار العضو الثابت.

شكل رقم ٢-١ الاطار الخاص بالجزء الثابت

ثانيا قلب العضو الثابت (Stator core):

الوظيفة الرئيسية للقلب الثابت هي حمل الفيض المغناطيسى المتردد. ويعمل ذلك الفيض المغناطيسى المتردد على توليد تيارات دوامية في ذلك القلب الحديدى تشكل هذه التيارات خطرا على ملفات المجال المغناطيسى ولتقليل اثر هذه التيارات او بمعنى اخر لتقليل الفقد الناتج عن هذه التيارات الدوامة، يتم تصنيع قلب العضو الثابت من شرائح من الصلب السيليكونى او فولاذ السيليكون. يتراوح سمك هذه الشرائح من ٠,٤ إلى ٠,٥ مم. يتم تجميع هذه الشرائح معًا لتشكيل قلب العضو الثابت ، والذي يتم وضعه بعد ذلك في إطار العضو الثابت. يتكون القلب الثابت من فولاذ السيليكون ، مما يساعد على تقليل فقدان التباطؤ الذي يحدث في المحرك. يمكن رؤية قلب العضو الثابت في الشكل ٢-٢.



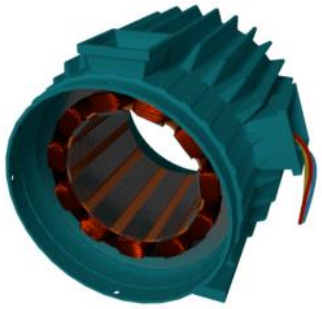
شكل ٢-٢ قلب الجزء الثابت داخل الاطار الخاص بالجزء الثابت

ثالثا ملفات العضو الثابت (Stator winding):

الفتحات الموجودة على محيط العضو الثابت من الداخل للمحرك التاثيرى ثلاثي الطور يتم وضع ملفات بها ثلاثية الطور. يتم توصيل هذه الملفات إما نجمة أو دلتا اعتمادًا على نوع وطريقة البدء التي نستخدمها لدوران المحرك التاثيرى. وغالبا ما يبدأ المحرك التاثيرى ذوقفص السنجابى نجمة ثم يتم التحول الى توصيلة الملفات دلتا. وعندما يتم تحفيز هذه الملفات بواسطة مصدر تيار متردد ثلاثي الطور، فإنه ينتج مجالًا مغناطيسيًا دوارًا يؤدى الى دوران المحرك كما سيتم شرحه فيما بعد والشكل ٢-٣ يوضح ملفات العضو الثابت موضوعة داخل العضو الثابت.

الجزء الدوار: هو الجزء المتحرك من المحرك التاثيرى الذى يتم توصيله بالحمل الميكانيكي من خلال عمود الادارة.

يتم تصنيف الجزء المتحرك للمحرك التاثيرى ثلاثي الطور الى نوعيين رئيسيين هما العضو دوار ذو القفص السنجابى والعضو الدوار ذو حلقات الانزلاق (العضو الدوار من النوع الملفوف).



شكل٣-٢ العضو الثابت كاملا

اعتمادًا على نوع العضو الدوار المستخدم في المحرك التاثيرى، يتم تصنيف المحرك التاثيرى ثلاثي الطور على النحو التالي:

١- محرك تاثيرى ذو القفص السنجابى

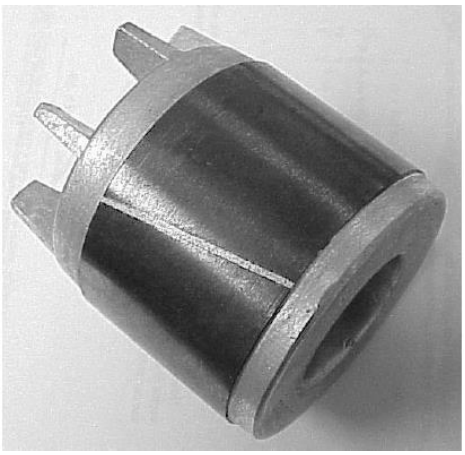
٢- محرك تاثيرى ذو حلق انزلاق (محرك تاثيرى من النوع الملفوف)

٢-٢ المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى ثلاثي الأطوار:

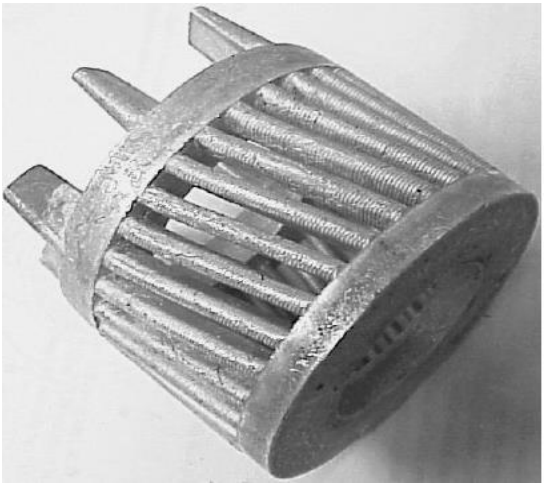
في هذا النوع من المحرك التاثيرى ثلاثي الطور ياخذ الجزء المتحرك فيه الشكل الاسطوانى الذى له فتحات على طول محيطه. هذه الفتحات غير متوازية لبعضها البعض ولكنها منحرفة قليلاً على جانبي الأسطوانة الخاصة بالعضو الدوار مما يجعل المحرك قابل للحركة بسلاسة وهدوءًا حيث يعمل هذا الوضع على تقليل قوى التجاذب بين اسنان كلا من العضو الثابت والعضو الدوار في بداية الحركة مما يسهل حركة دوران العضو الدوار. في الفتحات المذكورة انفا توضع قضبان من الألومنيوم أو النحاس. تسمى هذه القضبان المصنوعة من الألومنيوم أو النحاس الأصفر بالموصلات الدوارة ويتم وضعها في الفتحات الموجودة على محيط العضو الدوار. يتم تقصير الموصلات الدوارة بشكل دائم بواسطة حلقات النحاس أو الألومنيوم من النهايتين. لتوفير القوة الميكانيكية ، يتم تثبيت هذه الموصلات الدوارة في الحلقة الطرفية من الامام والخلف، وبالتالي تشكل دائرة مغلقة كاملة تشبه قفص السناجب، بسبب ذلك سميت هذه النوعية من المحركات بالمحركات التاثيرية ذات القفص السنجابى. نظرًا لأن حلقات النهاية تقصر القضبان بشكل دائم ، فإن مقاومة الجزء المتحرك تكون صغيرة جدًا ، ولا يمكن إضافة مقاومة خارجية حيث يتم تقصير القضبان بشكل دائم وعلى ذلك لا يمكن الدخول للعضو الدوار والتحكم فيه. مما يعنى عدم وجود حلقة الانزلاق والفرش مما يجعل بناء المحرك التاثيرى ثلاثي الطور على شكل قفص سنجابى بسيطًا جدًا وقويًا وبالتالي يستخدم على نطاق واسع في الصناعة. تتمتع هذه المحركات بميزة اعتماد أي عدد من أزواج الأقطاب حيث تتكيف مع كلا من اقطاب العضو الثابت مهما كان عددها. يوضح الشكل ٢-٤ الجزء المتحرك للمحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى من الخارج أيضًا ، كما يوضح الشكل ٢-٥ العضو الدائر للمحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى من الداخل. يمكن رؤية إجمالي المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابي في الشكل ٢-٦.

٢-٣ مميزات المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى:

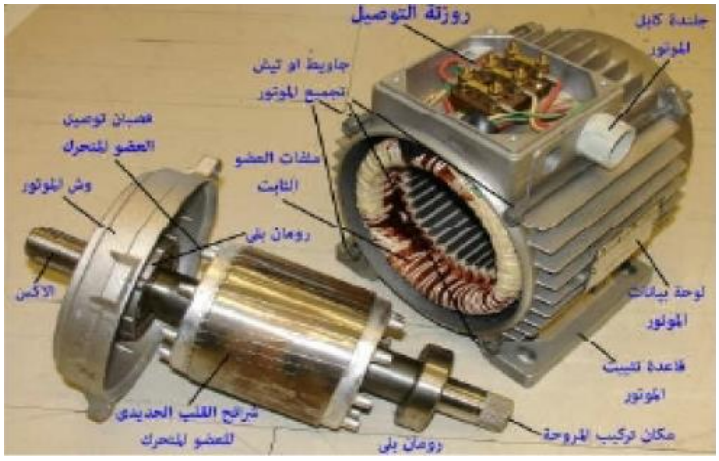
بنائه بسيط للغاية وقوي. نظرًا لعدم وجود فرش وحلقات منزلقة ، فان هذه المحركات صيانة أقل.



شكل ٢-٤ الجزء المتحرك للمحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى من الخارج



شكل ٢-٥ العضو الدائر للمحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى من الداخل



شكل ٢-٦ إجمالي المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابي من الداخل

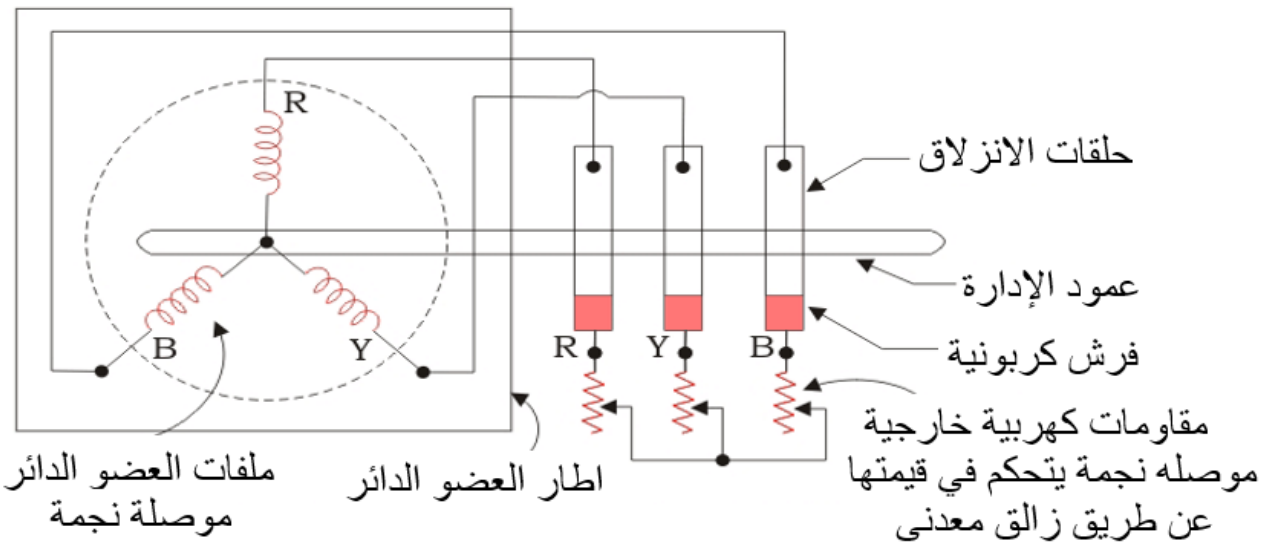
٢-٤ تطبيقات المحرك التاثيرى ذو قفص السنجابى:

تستخدم المحركات التاثيرية ذات القفص السنجابى في المخارط ، وآلة الحفر ، والمراوح، وآلات الطباعة بالنفخ، إلخ.

٢-٥ المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق:

في هذا النوع من المحركات التاثيرية ثلاثية الطور ، يتم لف الجزء المتحرك ليعطى نفس عدد الأقطاب الجزء الثابت ، ولكنه يحتوي على عدد أقل من المجارى التي توضع بها الملفات وأيضا عدد لفات الملفات في كل وجة في العضو الدائر أقل من عدد لفات الملفات لكل وجه في العضو الثابت. ويتم توصيل ملفات العضو الدائر بنفس طريقة توصيل ملفات العضو الثابت اى اما ان يكونا نجمة أو دلتا.

ترتبط الأطراف الثلاثة الناتجة من توصيل الملفات ثلاثية الطور بشكل دائم بحلقات انزلق. يمكن توصيل مقاومة الخارجية بسهولة من خلال الفرشاة وحلقات الانزلاق وذلك من اجل استخدامها للتحكم في السرعة وتحسين عزم الدوران للمحرك التاثيرى ثلاثي الطور. وتعمل الفرش الكربونية المتصلة بحلقات الانزلاق على نقل التيار من وإلى ملفات العضو الدوار. حيث ترتبط هذه الفرش أيضًا بمقاومات متصلة على شكل نجمة ثلاثية الطور. والشكل ٢-٧ يبين مخطط كهربائي لمحرك تاثيرى ثلاثي الطور متصل بمجموعة من المقاومات من خلال حلقات انزلاقية.



شكل ٢-٧ محرك تاثيرى من النوع الملفوف ذو حلقات انزلاق متصل مع مجموعة من المقاومات الكهربية

عند البدء ، يتم توصيل المقاومات الكهربية بدائرة العضو الدوار ويتم خفض قيمتها تدريجيًا مع زيادة سرعة العضو الدوار عن طريق تحريك الزالق المعدنى. عند الوصول للسرعة المقننة يتم تقصير الحلقات الانزلاقية عن طريق توصيل طوق معدني يربط كل حلقات الانزلاق معًا ، كما تتم إزالة الفرشاة أيضًا. وهذا يقلل من تآكل الفرشاة. نظرًا لوجود حلقات الانزلاق والفرشاة ، يصبح بناء العضو الدوار معقدًا إلى حد ما ، ولذلك فهو أقل استخدامًا مقارنة بالمحرك التاثيرى ذوالقفص السنجابي.

٢-٦مميزات المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق:

تتميز هذه المحركات بعزم دوران عالي وتيار بدء منخفض. وإمكانية إضافة مقاومة إضافية للتحكم في سرعتها.

٢-٧ تطبيقات المحرك التاثيرى ذو حلقات الانزلاق:

يستخدام هذا المحرك عند الحاجة إلى عزم دوران مرتفع ، أي في الاوناش والرافعات والمصاعد وما إلى ذلك.

الأجزاء الأخرى من المحرك التاثيرى ثلاثي الطور هي:

١- عمود ادارة لنقل عزم الدوران للحمل. هذا العمود مصنوع من الفولاذ.
٢- رولمان بلى لدعم العمود الدوار.
٣- إحدى مشاكل المحرك الكهربائي هي إنتاج الحرارة أثناء الدوران. للتغلب على هذه المشكلة ، نحتاج إلى مروحة للتبريد لذلك تركب مروحة على عمود الادارة.
٤- لكى يعمل المحرك يتم توصيله بالكهرباء من مصدر خارجي بصندوق يسمى صندوق الأطراف الخارجية.
٥- هناك مسافة صغيرة بين العضو الدوار والجزء الثابت والتي تتراوح عادة من ٠,٤ مم إلى ٤ مم. هذه المسافة تسمى الثغرة الهوائية حتى لا يتلف المحرك بتقطيع ملفاته نتيجة للاحتكاك ما بين العضو الدوار وملفات العضو الثابت.

٢-٨ نظرية عمل المحرك التاثيرى ثلاثى الطور:

عند تسليط جهد الطور على ملفات الجزء الثابت ، يتم إنتاج فيض مغناطيسي في ذلك الجزء الثابت بسبب مرور التيار في الملفات. يتم ترتيب ملفات العضو الدوار بحيث يصبح كل ملف مقصورا فى دائرة العضو الدائر.

يقطع الفيض المغناطيس من الجزء الثابت الملفات المقصورة من العضو الدائر. نظرًا لأن ملفات العضو الدائر مقصورة على نفسها ووفقًا لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، فإن التيار سيبدأ في المرور عبر ملفات

العضو الدوار. عندما يمر التيار عبر ملفات الدوار ، يتم توليد فيض مغناطيسى آخر في الدائرة الكهربية للعضو الدائر.

الآن هناك نوعان من المجال المغناطيسى، أحدهما هو مجال مغناطيسى من الجزء الثابت ، والآخر هو مجال مغناطيسى من الجزء المتحرك. لاحظ انه سوف يتأخر المجال المغناطيسى الجزء المتحرك مقارنة بالمجال المغناطيسى للجزء الثابت حيث ينشاء المجال المغناطيسى للعضو الدائر بعد تواجد المجال المغناطيسى للعضو الثابت. وبسبب ذلك ، سوف يشعر العضو الدوار بعزم دوران يجعل الجزء المتحرك يدور في اتجاه المجال المغناطيسي له.

٢-٩ طرق البدء المحركات التاثيرية ثلاثية الطور (Starting methods):

إذا تم تشغيل المحرك التاثيرى مباشرة من خلال مصدر الكهرباء ثلاثى الطور فإنه يسحب من خمسة إلى سبعة أضعاف تيار الحمل الكامل ويتراوح قيمة عزم بدء الدوران من مرة ونصف إلى مرتان ونصف فقط من عزم الحمل الكامل. تيار البدء الكبير هذا يسبب انخفاضًا كبيرًا في الجهد في الخطوط ثلاثية الطور التي تغذى المحرك التاثيرى، مما قد يؤثر على تشغيل الأجهزة الأخرى المتصلة بنفس هذه الخطوط. ومن ثم ، لا يُنصح ببدء المحركات التاثيرية ذات القدرات المرتفعة مباشرة من مصدر التيار الكهربائي وانما يفضل استخدام طريقة بدء للتغلب على ذلك. ويمكن تقسيم طرق البدء للمحركات التاثيرية ثلاثية الطور الى صنفين رئيسيين هما طرق بدء تقليدية وطرق بدء حديثة.

أولا طرق البدء التقليدية (Traditional starting methods):

يمكن حصر طرق البدء التقليدية في الطرق التالية:-

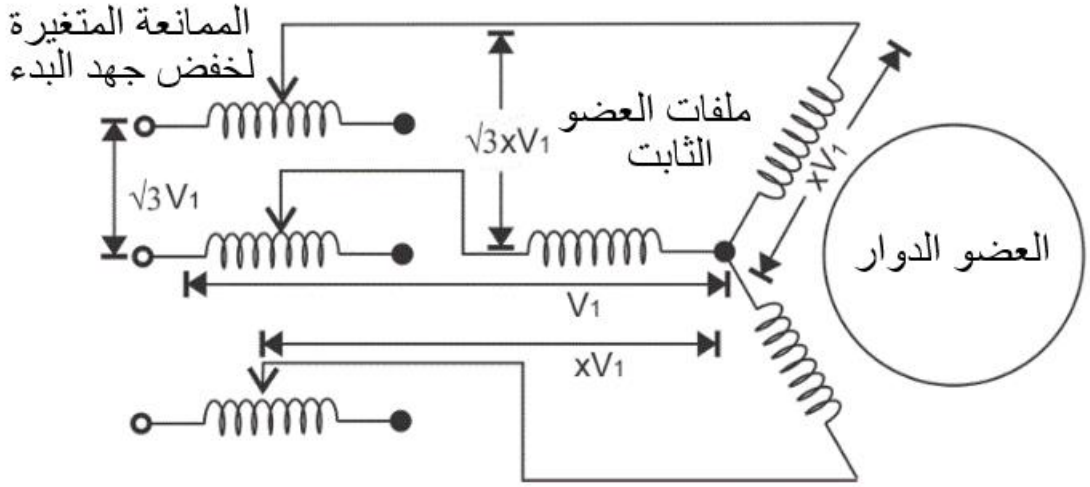
١- التوصيل المباشر
٢- التوصيل بزرع مقاومة او معاوقة متغيرة داخل خطوط الجهد الكهربى
٣- التوصيل نجمة دلتا
٤- التوصيل باستخدام محول ذاتى

التوصيل المباشر (Direct on line):

هذا النوع من طرق البدء هو الأبسط لتشغيل المحرك الكهربى. تتميز هذه الطريقة بانخفاض التكلفة وبساطة المعدات. على الرغم من أن وقت البدء قصير ، فإن عزم الدوران يكون أصغر عند البدء والتيار كبير ، وهو مناسب لبدء تشغيل المحركات ذات السعة الصغيرة.

وضع مقاومة او محاثة بين الخط الكهرباء والمحرك (Inserting resistance or reactance)

تضع في هذه الطريقة ممانعة (مقاومة أو محاثة) مع كل وجه من اوجه المحرك. عن طريق تقسيم الجهد ، يتم تقليل الجهد إلى المحرك. باستخدام ممانعات او مقاومات مختلفة ، حيث يمكن الحصول بهذه الطريقة على تخفيضات مختلفة في الجهد. مثل المحول الذاتي ، تعمل هذه الطريقة على محرك قياسي وتتطلب أدوات تحكم لتبديل الممانعات للداخل والخارج. مما يعمل على انخفاض الجهد، ويتم تبديد الطاقة الإضافية إذا تم استخدام بادئ المقاومة. هذه الطريقة للبدء بخفض الجهد على المحرك عن طريق زرع مقاومة او معاوقة يمكن رؤيتها خلال الشكل ٢-٨ الذى يبين العضو الدوار ملفات العضو الثابت الممانعة المتغيرة لخفض جهد البدء.

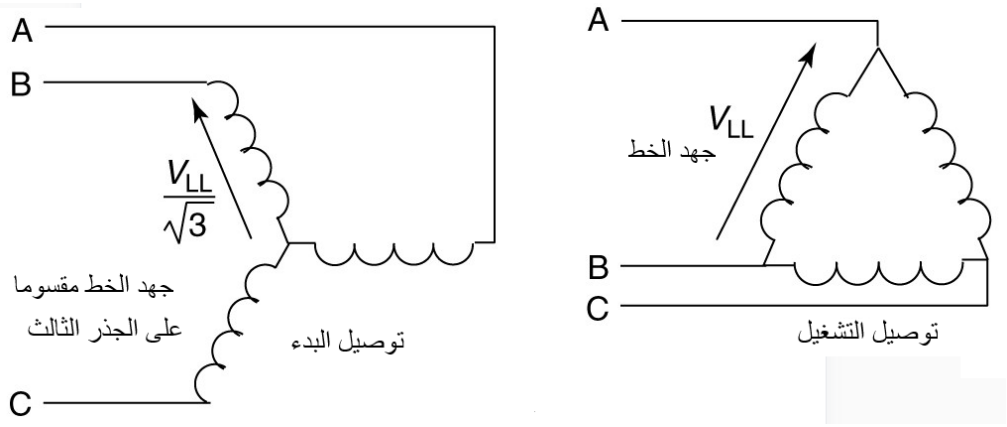


شكل ٢-٨ بدء المحرك التاثيرى بزرع معاوقة بين المحرك ومصدر الكهرباء

البدء باستخدام نجمة دلتا (Delta star starting method):

يوضح الشكل ٢-٩ مبدأ البدء باستخدام نجمة دلتا. تم تصميم ملفات الطور ليتم توصيلها في التشغيل دلتا، ولكنها تكون متصلة نجمة لبدء تشغيل المحرك. يسلط على كل ملف جهد الخط مقسوما على الجذر الثالث أثناء البدء ، مما يعني أن التيار سينخفض واما عزم الدوران سينخفض الى الثلث مما سيكون عليه أثناء بدء الجهد الكامل.

عندما يقترب المحرك من السرعة المقدرة ، يتم فتح الملفات مؤقتًا وإعادة توصيلها على شكل دلتا ليصبح الجهد المسلط عليها جهد الخط الكامل. يتطلب هذا النوع من التشغيل محركًا مصممًا لبدء تشغيل نجمة دلتا (٦ أو ١٢ سلكًا) بالإضافة إلى معدات تحكم لتبديل التوصيلات. عند استخدام بدء التشغيل في النظام نجمة دلتا، يُسمح لوقت التسارع بحد أقصى ان يكون ٣٦ ثانية إذا تم تشغيل المحرك بأقصى سرعة على نجمة. إذا تم تطبيق جهد كامل أثناء التسارع ، فإن أقصى وقت بدء مسموح به هو ١٥ ثانية.



شكل ٢-٩ البدء باستخدام الطريقة نجمة دلتا

البدء باستخدام المحول الذاتي (Autotransformer starting method)

هناك طريقة أخرى لبدء المحركات التاثيرية الكبيرة وهي تقليل الجهد باستخدام محول ذاتي. يتم استخدام محول ذاتي ثلاثي الأطوار لتقليل الجهد المطبق على المحرك خلال فترة البدء. يمكن ضبط الحنفيات (Tape) الموجودة على المحول الذاتي مما يوفر الاختيار من عدة مستويات مختلفة من الجهود. تتميز هذه التقنية بالعمل مع محرك تاثيرى. مثل بادئ الحركة نجمة دلتا، تتطلب هذه الطريقة عناصر تحكم للقيام بالتبديل. عيب استخدام طريقة البدء هذه (المحول الذاتي) هو أن خفض الجهد بقيم صغيرة يؤدى الى تقليل عزم الدوران بنسبة كبيرة لان العزم الناتج يتاثر بمربع الجهد المسلط. بالإضافة إلى ذلك ، سيكون هناك بعض تيار الاثارة المطلوب للمحول الذاتي سوف يضاف للتيار المسحوب من الشبكة الكهربية. يعتمد وقت البدء المسموح به لبدء تشغيل المحول الذاتي على تقليل الجهد. إذا تم تشغيل المحرك بأقصى سرعة بجهد منخفض ، فإن بعض توصيات الشركة المصنعة لقيمة الجهد المسلط ووقت تسليطه هي:

٨٠ ٪ من الجهد أثناء البدء ← ١٩ ثانية يسمح بالتسارع

٦٥٪ من الفولتية أثناء البدء ← ٢٨ ثانية مسموح بها للتسارع

٥٠٪ من الفولتية أثناء البدء ← ٤٨ ثانية مسموح بها للتسارع

ثانيا طرق البدء الحديثة (Modern methods of soft starting):

يمكن حصر طرق البدء الحديثة في الطرق التالية:-

١- بدء ناعم
٢- بدء باستخدام العاكس (الانفرتر)

أولا طريقة البدء الناعم (Soft starting):

جهاز البدء الناعم للمحركات: هو أحد الطرق التي تستخدم لتقليل تيار البدء في المحركات التاثيرية حيث تقوم بالتحكم في قيمة الجهد الكهربائي على ملفات المحرك. في البدء يقوم هذا الجهاز بتقليل الجهد على ملفات المحرك بحيث يعطي تيارا بالقدر الكافي لان يعطي عزما كافيا عند البدء.

يوفر المبدئ الناعم تسارعًا لطيفًا حتى السرعة الكاملة ولا يتم استخدامه إلا عند بدء التشغيل. يتم تحقيق هذه البداية التدريجية عن طريق زيادة الجهد الأولي للمحرك.

نميل إلى استخدام المشغلات اللينة في التطبيقات التي تتطلب التحكم في السرعة وعزم الدوران فقط أثناء بدء التشغيل أو عندما يكون هناك متطلب لتقليل تيارات التدفق لبدء التشغيل الكبيرة المرتبطة بمحرك كبير. يمكننا أيضًا استخدام البداية الناعمة عندما يحتاج النظام الميكانيكي (مثل الناقلات والأنظمة التي تُدار بالحزام والتروس وما إلى ذلك) إلى بداية لطيفة لتخفيف ارتفاع عزم الدوران والتوتر المرتبط ببدء التشغيل العادي. يمكننا أيضًا استخدامها في المضخات للتخلص من ارتفاع الضغط الناتج عن أنظمة الأنابيب.

يوجد نوعين من أجهزة البدء الناعم وهى البدء الناعم ذو التحكم المفتوح والبدء الناعم ذو التحكم المغلق.

أولا البدء الناعم ذو التحكم المفتوح (Open loop soft starting):

يتم تطبيق جهد البدء مع الوقت ، بغض النظر عن التيار المسحوب أو سرعة المحرك. لكل مرحلة ، يتم توصيل اثنين من الثيرستور من الخلف إلى الخلف ويتم إجراء مبدئيًا بتأخير قدره ١٨٠ درجة خلال دورات نصف الموجة المعنية. يتم تقليل هذا التأخير تدريجيًا بمرور الوقت حتى يرتفع الجهد المطبق إلى جهد الإمداد الكامل. يُعرف هذا أيضًا باسم نظام منحدر الجهد الزمني. هذه الطريقة ليست محببة لأنها لا تتحكم في تسارع المحرك.

ثانيا البدء الناعم ذو التحكم المغلق (Closed loop soft starting):

يتم مراقبة أي من خصائص خرج المحرك مثل التيار المسحوب أو السرعة ويتم تعديل جهد البدء وفقًا لذلك للحصول على الاستجابة المطلوبة. يتم مراقبة التيار في كل مرحلة وإذا تجاوز نقطة محددة معينة ، يتم إيقاف منحدر الجهد الزمني. وبالتالي ، فإن المبدأ الأساسي للبدء الناعم هو التحكم في زاوية التوصيل الخاصة بـالثيرستور، وبذلك يمكن التحكم في قيمة الجهد المسلط من المصدر الكهربى.

مكونان رئيسيان لبادئ التشغيل الناعم:

١- مفاتيح التحكم فى الطاقة مثل الثيرستور التي تحتاج إلى التحكم في زاوية الطور بحيث يتم تطبيقها على كل جزء من دورة من دورات التيار الكهربى. بالنسبة لمحرك ثلاثي الطور ، يتم توصيل اثنين من الثيرستور من الخلف إلى الخلف لكل مرحلة. يجب أن يتم تصنيف أجهزة التحويل على الأقل ثلاث مرات أكثر من جهد الخط.

٢- منطق التحكم باستخدام وحدات التحكم التحكم التناسبى التكاملى التفاضلى أو الحاكمات الدقيقة أو أي منطق آخر للتحكم في تطبيق جهد البوابة على الثيرستور، أي للتحكم في زاوية إشعال الثيرستورز لجعل الجزء المطلوب من دورة جهد التغذية.

مثال عملي لنظام البدء الإلكتروني الناعم للمحرك الحثي ثلاثي الطور

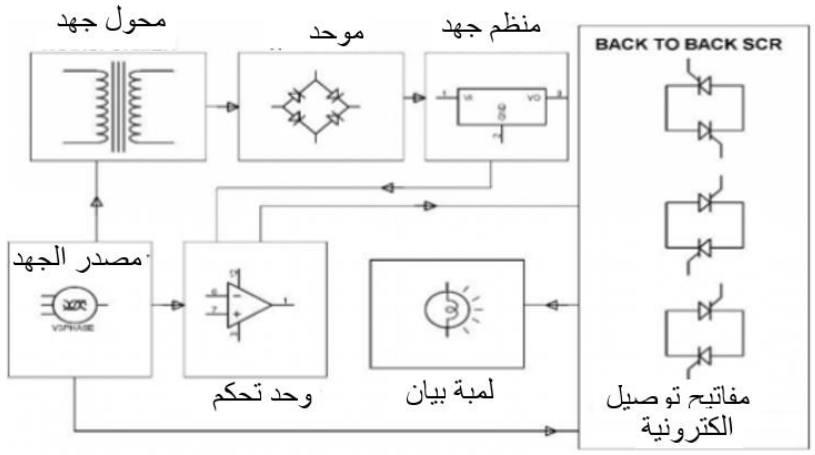
يتكون النظام من المكونات التالية كما هو موضح في الشكل ٢-١٠.

١- عدد اثنان ثيرستور متتاليان لكل مرحلة أي ستة ثيرستورز في المجموع للثلاثة اوجه.

٢- يشتمل جهاز البد الناعم على دوائر الكترونية لتوليد نبضات لاشعال الثيرستور.

٣- جهاز مبرمج عمليات دقيق (Microcontroller) لبرمجة عمليات تغير الجهود مع الزمن وتحديد زمن اشعال كل ثيرستور وبرمجة الجهد المناسب لتوفير الطاقة في حالة الاحمال الخفيفة وبرمجة معدل التغير في الجهد عند التوقف وبرمجة بداية ونهاية وقيمة الفرملة عند الايقاف.

٤- يشتمل جهاز البدء الناعم على دوائر توحيد لتوفير الجهد اللازم لفرملة الإيقاف والمرحلات التي تستخدم لفصل وتوصيل الدوائر الكهربية المصاحبة لعملية البدء الناعم.



شكل ٢-١٠ مخطط لدائرة أجهزة البدء الناعم

المواصفات التي نطلب بها جهاز البدء الناعم:

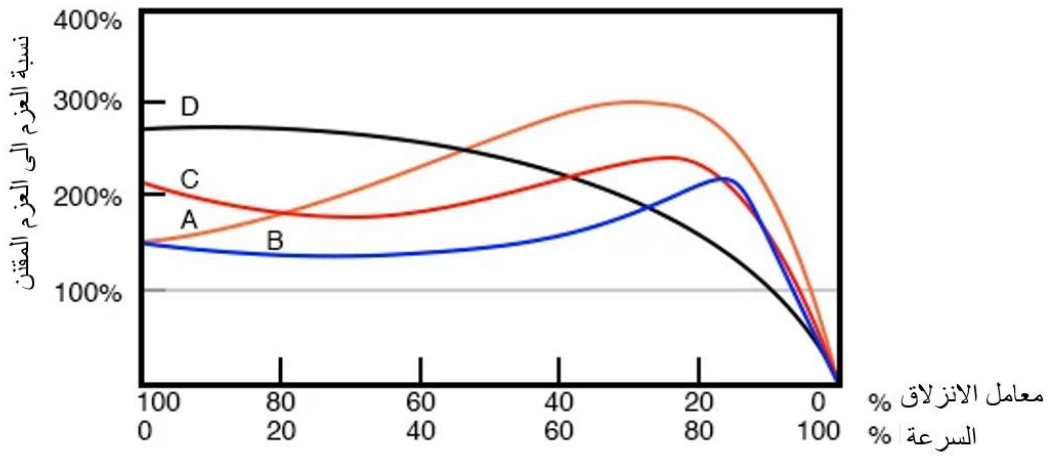
١- نذكر بيانات المحركة الاسمية وهى الجهد والتيار وقدرة الخرج والكفاءة ومعامل القدرة عند الحمل الكامل ويمكن الحصول على ذلك من خلال لوحة بيانات المحرك المثبته على جسمه.

٢- من صحيفة بيانات المصنع التي تطلب عند شراء المحرك نستخرج منها نسبة عزم البدء الى عزم الحمل المقنن ونسبة العزم الأقصى الى عزم الحمل المقنن ونوع الحمل الميكانيكى ومواصفاته بقدر الإمكان والحاجة الى توفير الطاقة سواء في البدء او اثناء التشغيل من عدمه والحاجة الى توقف ناعم او توقف فجائى وهل سوف يقوم الجهاز بعملية البدء لجهاز واحد او مجموعة من المحركات المتماثلة في الأداء او مختلفة في الأداء.

٣- في عدم توفر لوحة بيانت المصنع وتوفر بيانات المحرك فقط عليك ان تتصل بالشركة الموردة للجهاز لارسال مهندس لدراسة الحمل وتوفير افضل جهاز بدء مناسب.

٢-١٠ تصنيف المحركات التاثيرية طبقا للجنة الكهروتقنية الدولية NEMA و IEC:

تم تطوير فئات قياسية مختلفة (أو تصميمات) للمحركات ، تتوافق مع منحنيات عزم الدوران (الشكل ٢-١١) لتحسين قيادة الأحمال من الأنواع المختلفة. حددت الرابطة الوطنية لمصنعي الأجهزة الكهربائية (NEMA) فئات المحركات A و B و C و D لتلبية متطلبات المحرك التاثيرى وهذه التقنيات تتوافق مع فئات اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) المتشابهة مع السلاسل N و H.



الشكل ٢-١١ خواص عزم الحمل مع السرعة طبقا للجنة الكهروتقنية

تعمل جميع المحركات ، باستثناء الفئة D ، عند الانزلاق بنسبة ٥٪ أو أقل عند التحميل الكامل.

تعد محركات الفئة B (IEC Class N) هي المحركات الصالحة للاستخدام في معظم التطبيقات. عزم بدء التشغيل يتراوح ما بين ١٥٠٪ الى ١٧٠٪ من القيمة المقننة لعزم الحمل الكامل يمكنه بدء معظم الأحمال ، بدون تيار بدء مفرط. الكفاءة ومعامل القدرة مرتفعان لهذه المحركات. تستخدم عادة في المضخات والمراوح وأدوات الآلات.

عزم الدوران من الفئة أ هو نفس الفئة ب. الا ان عزم الدوران المتسرب و تيار البدء أعلى. يتعامل هذا المحرك مع الأحمال الزائدة العابرة كما في آلات بالحقن.

الفئة C (IEC Class H) لديها عزم دوران أعلى من الفئة A و B حيث يكون عزم البدء ضعف عزم الحمل الكامل. يتم تطبيق هذا المحرك على الأحمال ذات الإقلاع المرتفعة العزم والتي تحتاج إلى القيادة بسرعة ثابتة مثل الناقلات والكسارات والمضخات والضواغط الترددية.

تتميز محركات الفئة D بأعلى عزم بدء دوران مقترن بتيار بدء منخفض بسبب الانزلاق العالي (٥٪ إلى ١٣٪ عند عزم الحمل الكامل). ينتج عن الانزلاق العالي سرعة أقل. تنظيم السرعة ضعيف. ومع ذلك ، يتفوق المحرك في قيادة أحمال متغيرة مثل تلك التي تتطلب حدافة لتخزين الطاقة. تستخدم هذه المحركات في تطبيقات مكابس التخريم والمقصات والمصاعد.

تعد محركات الفئة E إصدارًا اعلي الكفاءة من الفئة B.

تتميز محركات الفئة F بعزم دوران منخفض للغاية ، و عزم بدء أقل بكثير من الفئة B. فهي تقود أحمالًا ثابتة وسهلة التشغيل.

٢-١١مواصفات الجهد المسلط على المحرك للتشغيل بامان:

١- يجب ان لا يقل او يزيد الجهد عن ١٠٪ من القيمة المقننة عند ثبات التردد.
٢- يجب ان لا يزيد او يقل التردد عند ثبات الجهد عن ٥٪ من القيمة المقننة.
٣- يجب ان لا يتحمل المحرك بأكثر من ١٥٠٪ من القيمة المقننة للتيار لمدة دقيقتين.
٤- يجب ان لا يستمر تيار البدء بالمحرك اكثر من ١٢ ثانية.
٥- يجب ان لا تزيد قيمة الجهود الغير متزنة اذا سلطت على المحرك عن ١٪ من القيمة المقننة.

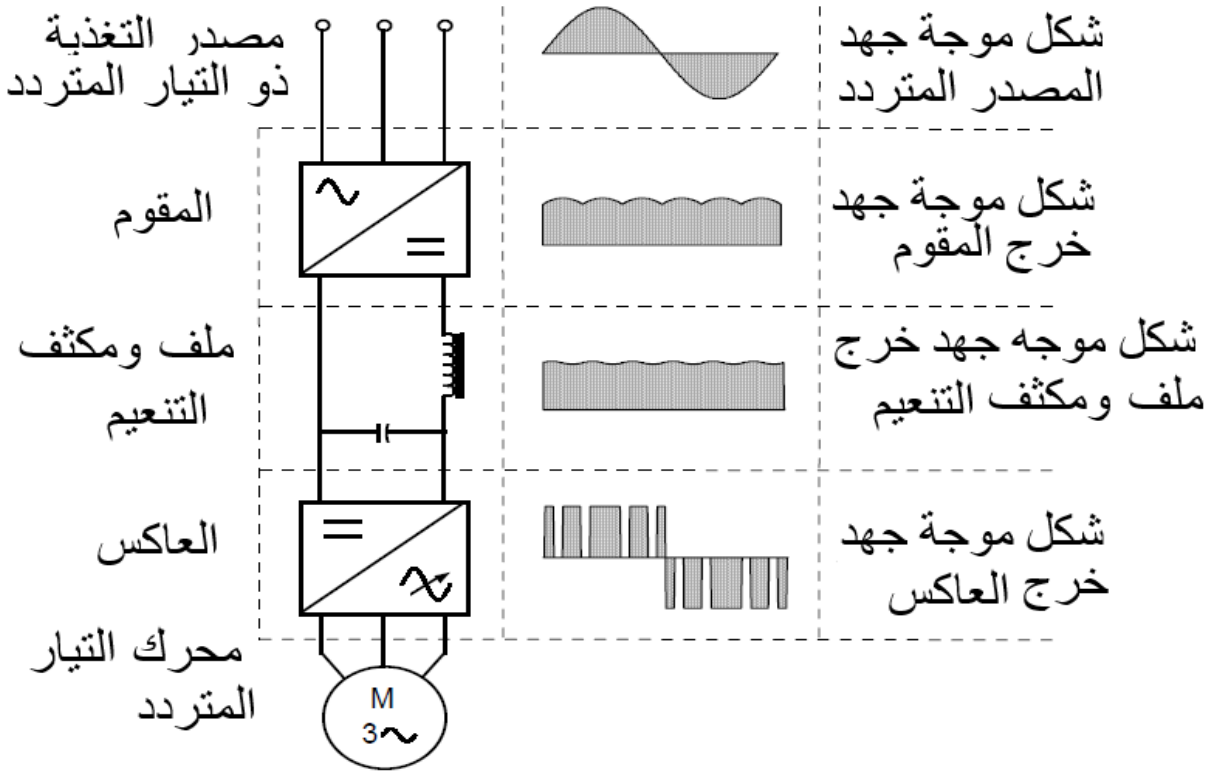
ملاحظات هامة على المحرك التاثيرى ثلاثى الطور:

١- عدد مجارى العضو الدوار يجب الا تتساوى مع عدد مجارى العضو الثابت لان التساوى يوجد قوى جذب بين اسنان العضو الثابت والعضو الدوار يمنع المحرك من بدء الحركة.
٢- مجارى العضو الدوار تصنع مائلة بحيث لاتقع سنة كاملة من اسنان العضو الدوار تحت سنة كاملة من اسنان العضو الثابت لان ذلك يحد بشكل كبير من التوافقيات الناشئة عن المجارى مما يحسن من أداء المحرك.
٣- يجب ان تكون الثغرة الهوائية ما بين العضو الثابت والعضو الدوار اقل ما يمكن لمنع الاحتكاك بين العضو الثابت والعضو الدائر هذا لان الصغر يحد من تيار اللاحمل مما يعمل على زيادة كفاءة المحرك الكهربى.
٤- معامل الانزلاق في المحركات التاثيرية يمثل الفرق ما بين سرعة المحرك وسرعة المجال الى سرعة المجال. هذا المعامل هام جدا في تحديد خواص المحرك عند اى نقطة تشغيل.
٥- يفضل المحرك التاثيرى الذى يعطى عزوم بدء عالية عند اى سرعة وكذلك يستطيع تشغيل الحمل بسرعات مرتفعة.

الفصل الثالث

مغيرات التردد المستخدمة للتحكم في سرعة المحركات الكهربية

المغيرات لها وظائف عديدة منها التحكم في سرعة المحركات الكهربية وتحويل التيار المستمر الى تيار متردد في أنظمة الطاقة الشمسية وتستخدم مع البطاريات كمصادر طاقة بديلة في حالة انقطاع الكهرباء وتستخدم لتحسين معامل القدرة والتخلص من التوافقيات في أنظمة المرشحات الفعالة. هذه المغيرات لها أسماء عديدة مثل ناقلات الحركة متغيرة السرعة وناقلات الحركة متغيرة التردد. يمكن رؤية احدى أنظمة القيادة متغيرة السرعة (ناقلات الحركة متغيرة السرعة) في الشكل ٣-١. من هذا الشكل يمكن استنتاج أن هذه المغيرات تتكون من مقوم ووصلة التيار المستمر والعاكس.

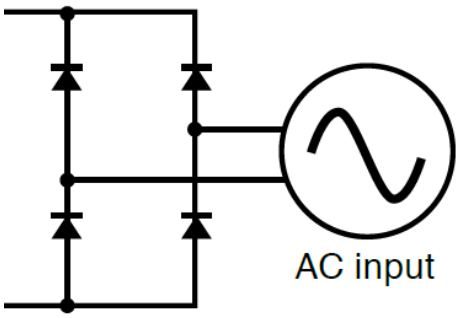


شكل ٣-١ نظام القيادة المستخدم لضبط التردد للتحكم في سرعة محركات التيار المتردد

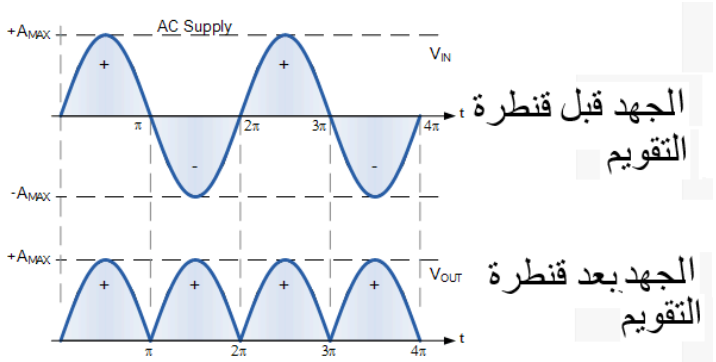
٣-١ المقومات وانواعها (Rectifiers):

المقومات لها اشكال عديدة مثل مقوم غير محكوم (Uncontrolled rectifier) أو مقوم محكوم (Controlled rectifier). في المقوم الغير محكوم، يتم استخدام الموحدات فيه للقيام بعملية تقويم التيار او

الجهد. ويعرف الموحد (Diode) الذى يقوم بعملية التقويم بانه مفتاح الكترونى مصنوع من مواد شبه موصلة تسمح بمرور القدرة الكهربية في اتجاه ولا تسمح بمرورها في الاتجاه الاخر. يصنف المقوم الغير المتحكم فيه من ناحية التغذية بالطاقة إلى مقوم أحادي الطور غير محكوم ومقوم ثلاثى الطور غير محكوم. يمكن رؤية المقوم احادى بالشكل ٣-٢. حيث يلاحظ من هذا الشكل انه يتكون من عدد أربعة مفاتيح الكترونية تقوم بتقويم الجهد المتردد الى جهد مستمر كما بالشكل ٣-٣. يتضح من الشكل ٣-٣ ان الجهد الناتج هو عبارة عن نبضات جهد وليست جهد مستمرا ولحل تلك المشكلة فانه يتم تركيب مكثف على التوازى (Capacitor) بعد خرج المقوم كما بالشكل ٣-٤ وبقياس شكل موجة الخرج قبل وبعد المكثف الذى تم تركيبه على التوازى تلاحظ تحسن الجهد الناتج حيث اصبح اقرب ما يكون الى الجهد المستمر كما يتضح من الشكل ٣-٥ وبفحص الشكل ٣-٥ يتضح ان المكثف يقوم بعملية شحن و تفريغ للجهد حيث يستمر الشحن الى القيمة العظمى للجهد المتردد المسلط ثم بعد ذلك تبداء عملية التفريغ تلقائيا. ومن الملاحظ انه يتم استخدام هذا النوع من المقومات عندما يكون مقدار القدرة المطلوبة من المقوم صغيرة اما في حالة احتياج قدرة مرتفعة فاننا نلجاء الى مقوم مغذى من مصدر جهد ثلاثى الطور.

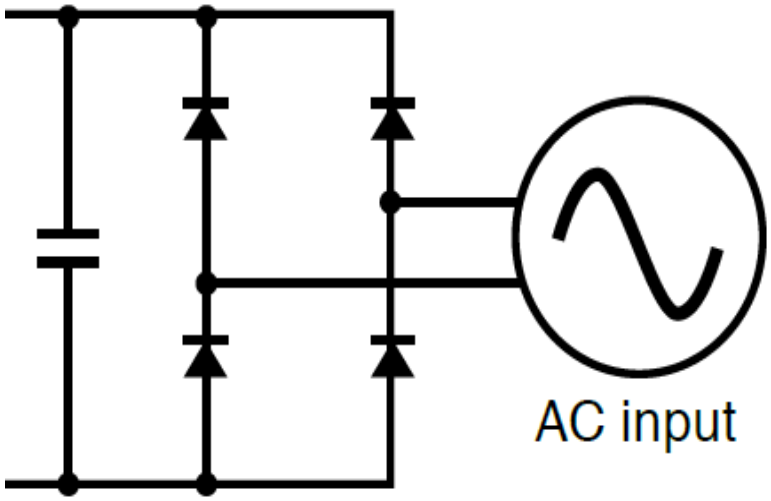


شكل ٣-٢ قنطرة تقويم مغذاة من مصدر احادى الطور

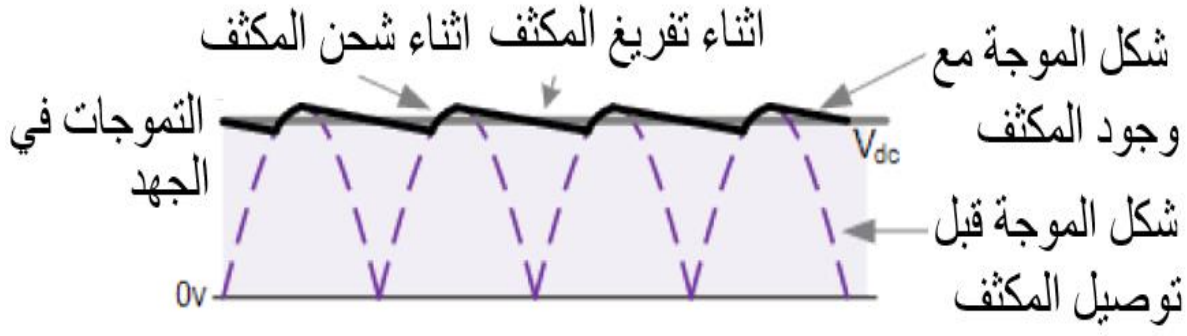


شكل ٣-٣ الاشكال المختلفة للجهد قبل وبعد قنطرة التقويم

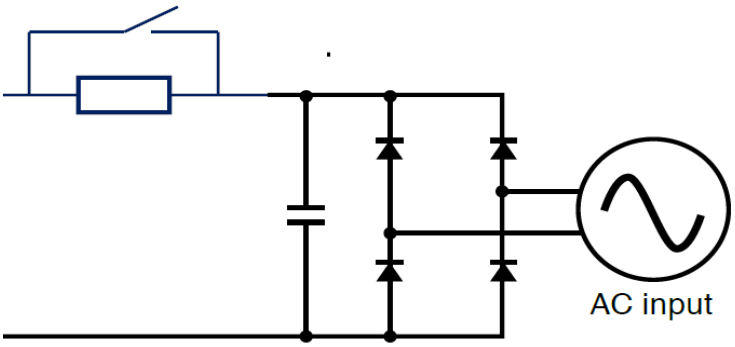
ومن اهم المشاكل التي يفرضها علينا وجود مقوم غير محكوم مشكلة ان جهد البدء يكون مرتفعا الامر الذى سوف يؤدى الى زيادة تيار البدء مما يشكل مشكلة حقيقية يجب حلها للتخلص من مشاكل التيار المرتفع في بداية التشغيل. ويمكن حل تلك المشكلة بإضافة مقاومة على التوالي بعد خرج المكثف للحد من تاثير جهد البدء الكبير الذى يتبعه تيار مرتفع يجب ان نتخلص منه ونظرا المقاومة التي يتم زرعها في الدائرة على التوالي بعد خرج المكثف تمثل قدرة مفقودة ضائعة علينا التخلص من تداخلها بالدائرة بعد استقرار التيار ويتم ذلك باستخدام كونتاكتور يتم توصيل احد ريشه على التوازى مع تلك المقاومة ليكون غير متصل بالكهرباء في بداية التشغيل وبعد استقرار التيار يتم تشغيل الكونتاكتور فيقوم بعمل قصر على المقاومة وبالتالي تكون قد خرجت من الدائرة ويتم ذلك باستخدام مؤقت زمنى يمكن ضبطه كما يتضح من الشكل ٣-٦.



شكل ٣-٤ المقوم شاملا مكثف التنعيم

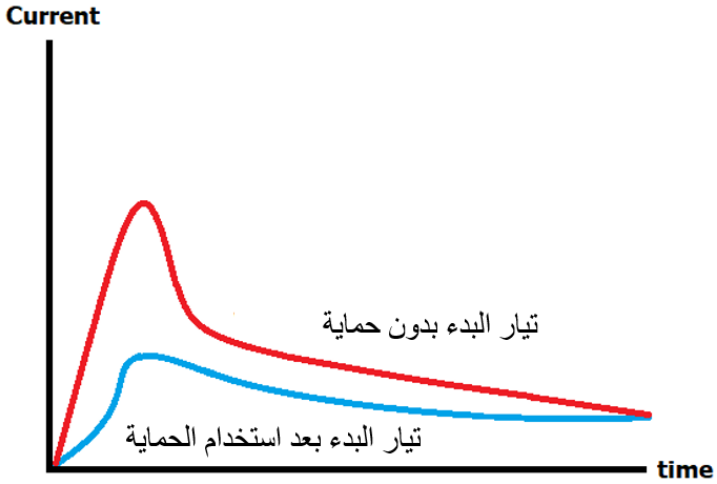


شكل ٣-٥ التغير في شكل الجهد الخارج من المقوم بعد إضافة مكثف مع القنطرة



شكل ٣-٦ مقوم احادى الطور مع مكثف تنعيم ومقاومة للحد من تيار البدء

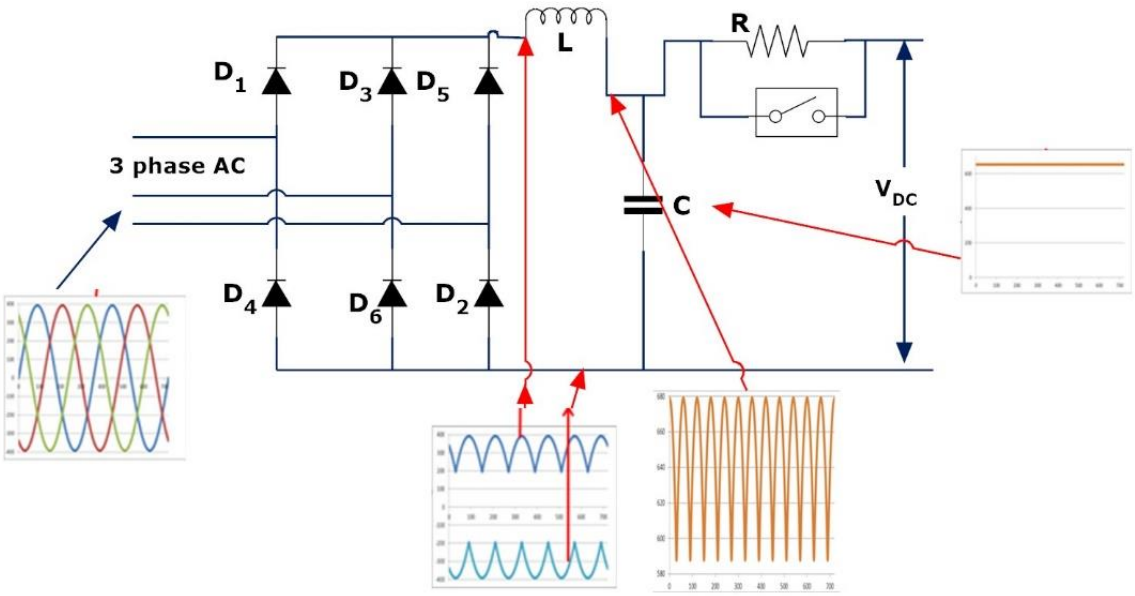
اما الشكل ٣-٧ فيوضح شكل تيار البدء قبل وبعد استخدام تلك المقاومة التي تم توصيلها على التوالي للحد من اثر زيادة الجهد الامر الذى أدى الى انخفاض تيار البدء. اى ان تلك المقاومة تعمل كجهاز حماية من ارتفاع تيار البدء.



شكل ٣-٧ تيار البدء قبل وبعد إضافة مقاومة على التوالي مع دائرة التقويم للحماية من ارتفاع التيار

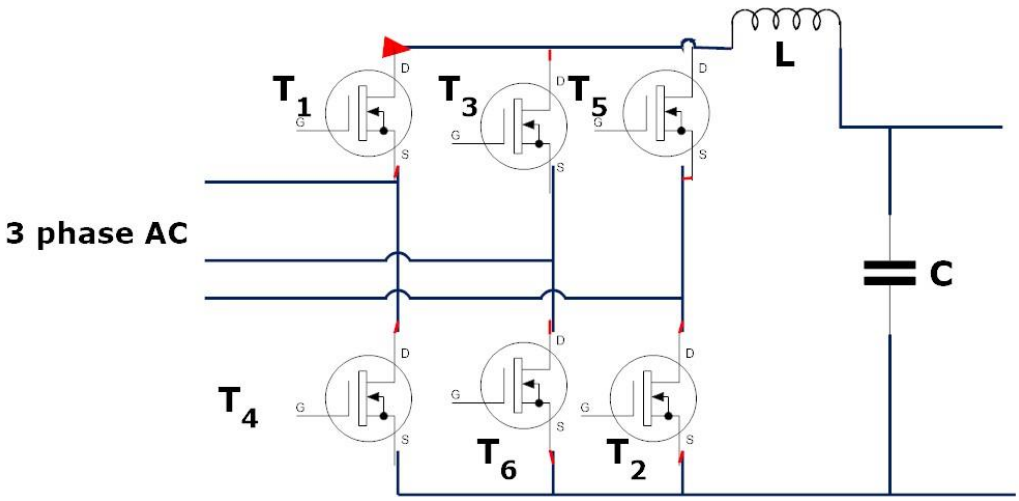
عندما تستخدم المقومات لتغذية محركات ذات قدرات كبيرة فان دائرة التقويم السابق ذكرها لا يمكن استخدامها بسبب انخفاض القدرة الناتجة منها وللحصول على قدرات تتناسب مع قدرات هذه المحركات المرتفعة القدرة فانه يتم استخدام قنطرة توحيد مغذاة من مصدر ثلاثى الطور هذه المقومات يمكن رؤية احد اشكالها بالشكل ٣-٨. ويضاف لهذه المقومات فلتر للتيار على التوالي ومكثف على التوازى وأيضا كما ذكرنا سابقا تتضاف مقاومة بعد ذلك للحد من تيار البدء اما إضافة الفلتر وهو عبارة عن ملف (Coil) فهو يستخدم للحد من قيمة التغير في

التيار مع الزمن (di/dt) اى انه يقاوم تاثير التموجات ويسمح بمرور التيار المستمر ولا يسمح بمرور التيارات ذات الترددات المرتفعة اما فائدة المكثف فانه يعمل على تقليل اثر تغير الجهد بالنسبة للزمن (dv/dt) كما يعمل على تحسين معامل القدرة للنظام ككل بالتحكم في مقدار القدرة الغير فعالة المطلوبة للمحرك الكهربى المتصل بمغير السرعة.

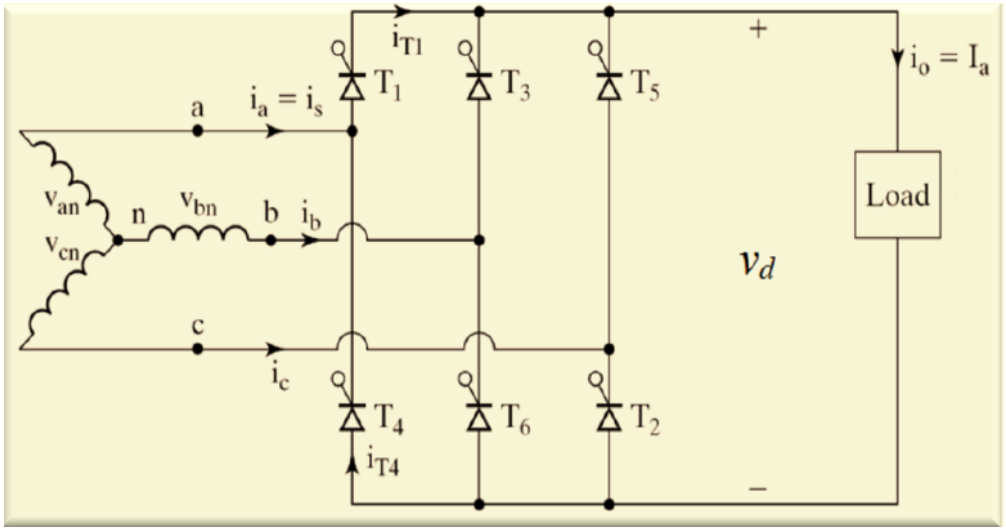


شكل ٣-٨ مقوم ثلاثى الطور مع مكثف وملف تنعيم ومقاومة للحد من تيار البدء

يمكن التحكم في الجهد الناتج من المقوم والاستغناء عن المقاومة المزروعة على خرج الموحد الغير محكوم باستخدام مجموعة ذات نوعية خاصة من المفاتيح الالكترونية من هذه المفاتيح الثيرستور والترانزستور حيث يمكن التحكم في مقدار الجهد الناتج عن طريق طرف ثالث يضاف الى الموحد يسمى البوابة (Gate) وعلى ذلك وباستخدام هذه البوابة يتم التحكم في مقدار الجهد الناتج حيث نبداء بنبضة تستمر لفترة زمنية صغيرة فيصبح الجهد الناتج صغيرا وبالتالي يصبح التيار المسحوب عند البدء صغيرا وبذلك نكون قد تخلصنا من مشكلة تيار البدء المرتفع ويمكن بعد ذلك زيادة الجهد تدريجيا والشكل ٣-٩ يوضح احد المقومات ثلاثية الطور المتحكم فيها وذلك باستخدام مفتاح الكترونى يسمى بالترانزستور من النوع موسفت ويمكن إحلال الثيرستور كمفتاح الكترونى بدلا من الترانزيستور كما بالشكل ٣-١٠.



شكل ٣-٩ مقوم متحكم فيه ثلاثى الطور مع مكثف وملف تنعيم

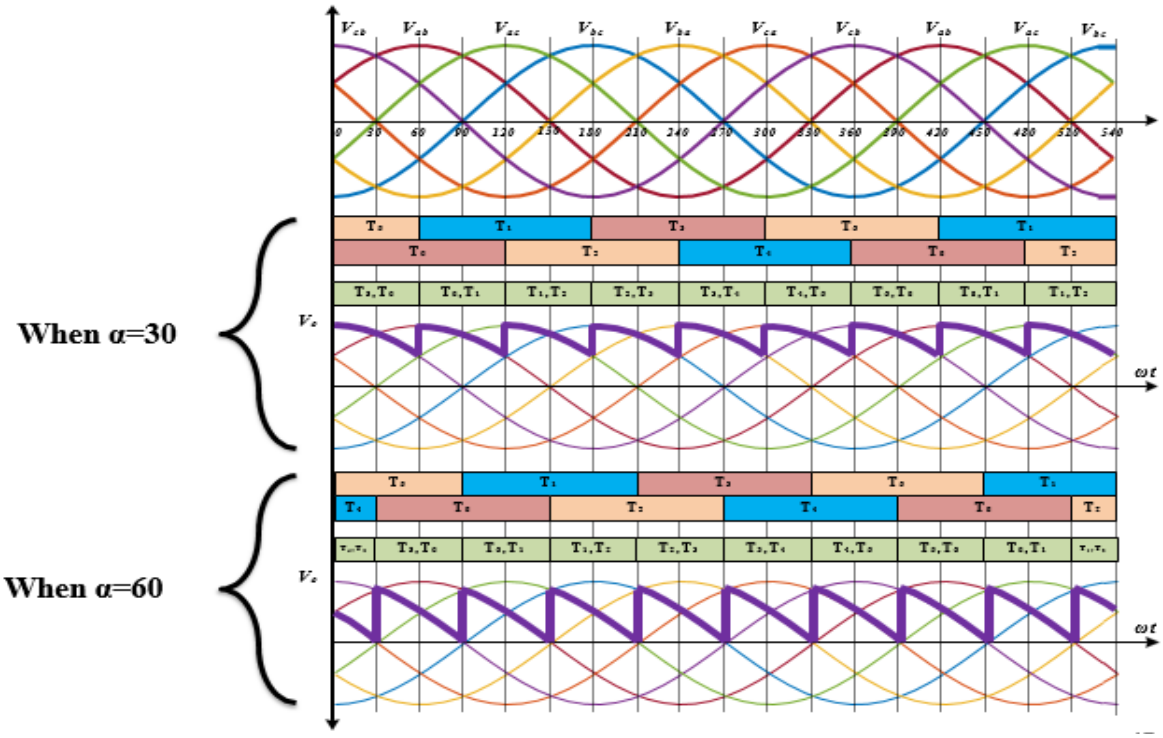


شكل ٣-١٠ مقوم متحكم فيه ثلاثى الطور مصنع من الثيرستور

وتمتاز هذه المقومات بانها عندما يعمل المحرك المتصل بها في حالة التوليد فانه يمكن ارجاع هذه الطاقة الناتجة من ذلك النظام الى مصدر التغذية الرئيسى. ولتوضيح شكل الموجات الناتجة عند التحكم في الجهد باستخدام زوايا اشعال مختلفة لتوضيح مقدار الجهد المستمر الناتج نجد انه مع زيادة زاوية الاشعال يقل قيمة الجهد وبالتالي يتم التحكم في خرج المقوم ويتم التحكم في زاوية الاشعال عند استخدام التيرستور. ويمكن رؤية خرج الجهد في حالة الثيرستور عند زوايا اشعال مختلفة كما بالشكل ٣-١١. بعد مناقشة االمقومات المختلفة ورابط التيار المستمر (مرشح LC) افى الجزء التالى سوف نناقش العاكس.

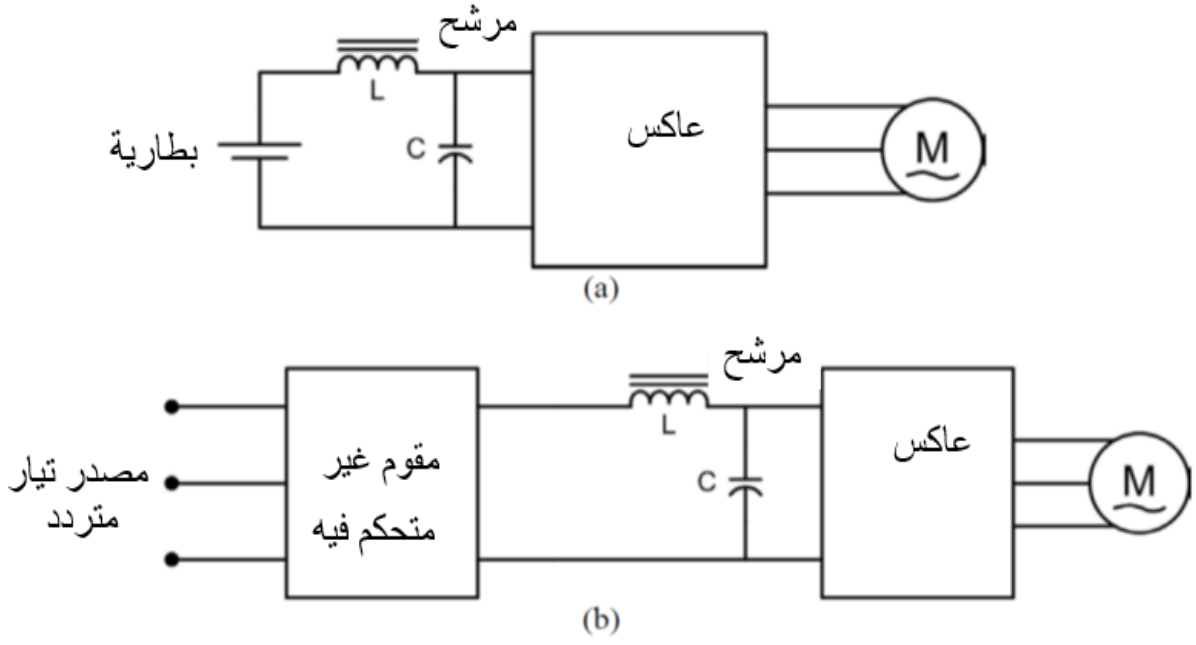
٣-٢ العواكس وانواعها (Inverters):

يمكن تعريف العاكس بأنه ؛ جهاز إلكتروني يحول الجهد أو التيار المستمر إلى جهد أو تيار متناوب. ويمكن تصنيف العواكس على حسب طبيعة الجهد الخارج منها إلى أحادي الطور وثلاث الطور، وبنوع المفاتيح الالكترونية المستخدامة بها مثل الترانزستور و الثايرستور (BJT ، و MOSFET ، و IGBT ، و MCT ، و GTO ، وما إلى ذلك). تستخدم هذه العواكس إشارات تحكم مثل النبضات المعدلة PWM لإنتاج جهد خرج وتيار متردد للتحكم في المسار المفتوح والتحكم في المسار المغلق ، ولكن هناك طريقتان أخريان للتحكم تستخدمان فقط في التحكم في المسار المفتوح. هذه الطرق هي ١٢٠درجة نطاق توصيل و ١٨٠درجة نطاق توصيل. وتؤدى هذه الطرق الى التحكم في شكل موجة الخرج او ترددها سواء كانت موجة تيار او جهد او التحكم في التردد فقط. حيث يمكن التحكم في جهد متوسط المربعات للجهد الناتج (Root mean square voltage) أو التيار فقط من العاكس أو يمكن التحكم فيه في جذر متوسط المربعات للجهد او التيار مع التردد ايضا. هذا يعتمد على نوع دائرة المقوم.

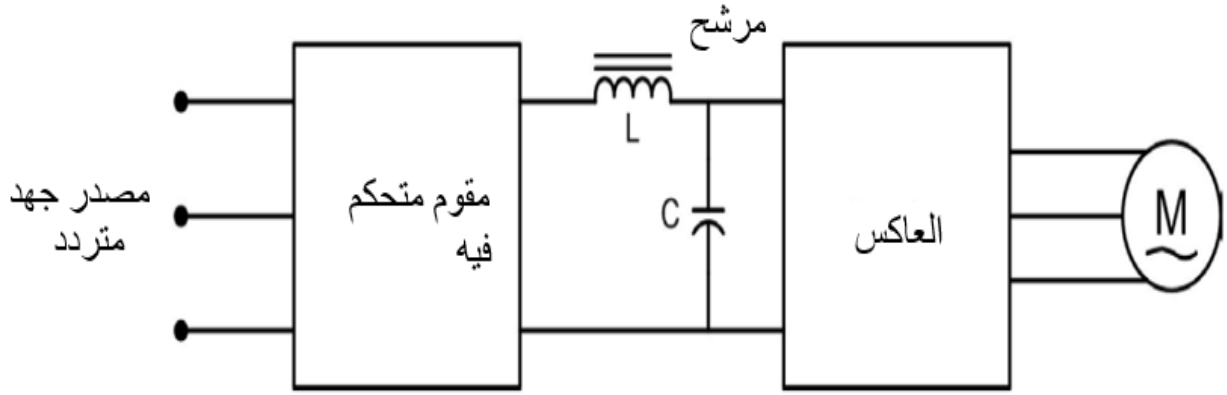


شكل ٣-١١ موجات الجهد الناتجة من مقوم متحكم فيه ثلاثى الطور مصنع من الثيرستور عند زوايا اشعال مختلفة

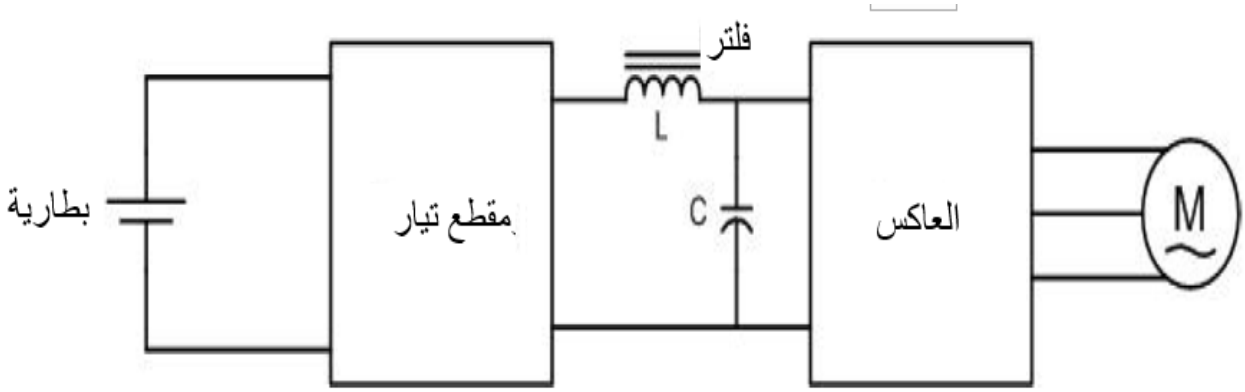
هذا يعني أنه إذا كان جهد الدخل للعاكس مستويًا ثابتًا (من البطارية أو من مقوم غير متحكم فيه) ، فسيتم استخدام العاكس للتحكم في جذر متوسط المربعات لموجة الجهد او التيار مع التحكم في تردد موجة الجهد او تردد موجة التيار. يمكن ملاحظة ذلك في الشكل ٣-١٢ ولكن في حالة استخدام مقوم التحكم (المقوم المتحكم فيه أو مقطع التيار المستمر) ، يتم استخدام العاكس فقط للتحكم في تردد جهد الخرج ومستوى الخرج يمكن التحكم في جهده اعتمادًا على القيم المختلفة لمستوى الفولتية الداخلة للعاكس (من الجهد الناتج من المعدل المتحكم فيه أو مقطع التيار المستمر). يمكن ملاحظة ذلك في الاشكال ٣- ١٣ و٣-١٤ و٣-١٥. أيضا ، يمكن تصنيف العاكس إلى العاكس الذي يتم تغذيته بالجهد (Voltage source inverter VSI) والعاكس الذي يتم تغذيته بالتيار (Current source inverter CSI). العاكس الذي يتم تغذيته بالجهد هو عاكس بجهد دخل ثابت ، بينما العاكس الذي يتم تغذيته بالتيار هو عاكس بتيار إدخال ثابت. العاكس المستخدم هنا هو مصدر للجهد ثلاثى الطور. ويتم استخدام العاكس للتحكم في المحركات الكهربية ذات تطبيقات الطاقة المنخفضة والطاقة العالية ويمكن الحصول على خرج ثلاثي الطور منه وذلك عن طريق تكوين ستة أجهزة تبديل كما هو موضح في الشكل ٣-١٦.



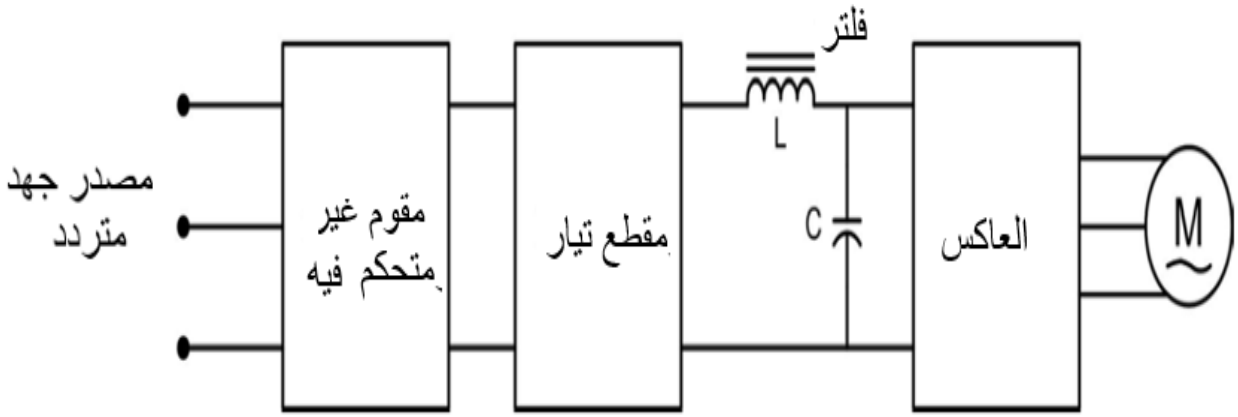
شكل ٣-١٢ التحكم في الجهد والتردد من خلال العاكس مصدر جهد متردد فلتر



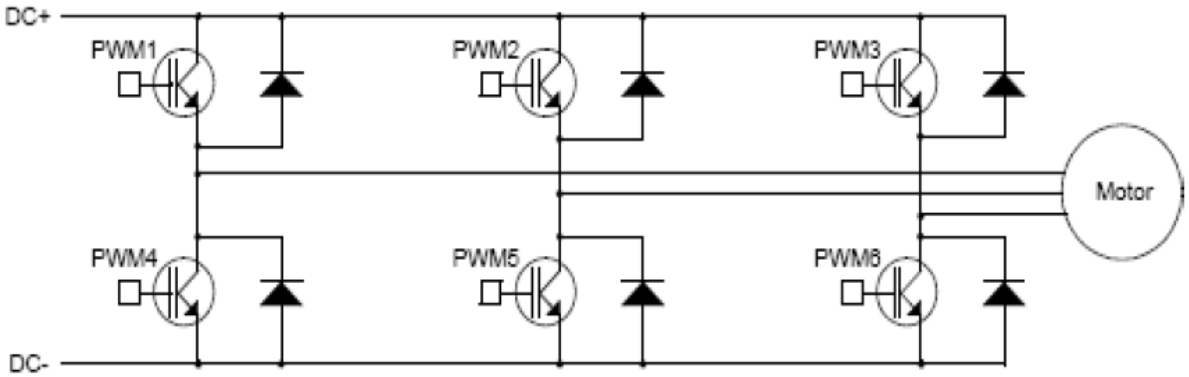
شكل ٣-١٣ التحكم في الجهد من خلال مقوم متحكم فيه والتحكم في التردد من خلال العاكس



شكل ٣-١٤ التحكم في الجهد من خلال بطارية ومقطع تيار والتحكم في التردد من خلال العاكس



شكل ٣-١٥ التحكم في الجهد من خلال مقوم غيرمتحكم فيه ومقطع تيار والتحكم في التردد من خلال العاكس



شكل ٣-١٦ العاكس ثلاثى الطور

٣-٣ طرق التحكم في العاكس ثلاثى الطور:

للتحكم في أجهزة التبديل (المفاتيح الالكترونية) للعاكس ، يتم استخدام العديد من الطرق. هذا يعتمد على نوع التحكم (التحكم في المسار المفتوح والتحكم في المسار المغلق). في التحكم في المسار المفتوح ، يمكن استخدام طريقة التوصيل ١٢٠ درجة أو يمكن استخدام طريقة توصيل ١٨٠ درجة أيضًا ، يمكن استخدام طريقة تعديل عرض النبضة مع التحكم في المسار المفتوح أو مع التحكم في المسار المغلق. يمكن شرح هذه الطرق على النحو التالي ؛

٣-٣-١ طريقة التوصيل ذات ١٢٠ درجة (120^0 Conduction band):

في هذه الطريقة يعمل كل مفتاح لمدة ١٢٠ درجة فقط على مدار كل دورة اى يكون مفصول لمدة ٢٤٠ درجة وبفحص هذه الطريقة نجد انه دائما يكون فقط عدد ٢ مفتاح الكترونى يعملان احدهما من اعلى والأخر من اسفل ومن وجه غير الذى يعمل في الوجه السابق اى رجلين فقط من العاكس يعملان والرجل الأخرى لا تعمل اى انه كل ٦٠ درجة يوجد وجهان يخرجان جهد والوجه الاخر جهده صفر لذلك تكون القدرة الناتجة من العاكس منخفضة اذا ما قورنت بطريقة التوصيل ذات ١٨٠ درجة

بالنسبة لوضع ١٢٠ درجة مع العاكس ، يعمل كل ترانزيستور ١٢٠ درجة من الدورة. مثل وضع ١٨٠ درجة ، يتطلب عاكس الوضع ١٢٠ درجة أيضًا ست خطوات ، مدة كل منها ٦٠ درجة لإكمال جهد التيار المتردد لدورة واحدة. قم بالتبديل في المجموعة العليا ، أي سلوك S1، S3، S5 بفاصل ١٢٠ درجة. هذا يعني أنه إذا تم عمل S1 عند $\omega t = 0$ ° ، فيجب إطلاق S3 عند $\omega t = 120$ درجة و S5 عند $\omega t = 240$ درجة. نفس

الحال مع المجموعة السفلية من المفاتيح. بالنسبة لهذا العاكس أيضًا ، يتم إعداد جدول يوضح تسلسل إطلاق جميع الترانزستور كما هو موضح في الجدول ٣-١.

Mode	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1st	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل
2nd	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل
3rd	لا يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل
4th	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل
5th	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل
6th	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل

جدول ٣-١ تشغيل المفاتيح الالكترونية للعاكس ١٢٠ درجة توصيل

٣-٣-٢ طريقة التوصيل ذات ١٨٠ درجة (180^0 Conduction band):

في هذه الطريقة كل مفتاح يعمل لمدة١٨٠ درجة من الدورة ، زوج الثايرستور في كل ذراع ، أي S1، S4 ؛ S3 و S6 و S5 و S2 يتم تشغيل بفاصل زمني ١٨٠ درجة. هذا يعني أن S1 تعمل لـ ١٨٠ درجة و S4 لمدة ال ١٨٠ درجة التالية من الدورة. اى اننا نقوم بالتبديل في المجموعة العليا ، أي سلوك S1، S3، S5 بفاصل ١٢٠ درجة. هذا يعني أنه إذا تم إطلاق S1 عند $\omega t = 0°$ ، فيجب إطلاق S3 عند $\omega t = 120$ درجة و S5 عند $\omega t = 240$ درجة. وهذا ما يحدث أيضا لنفس المجموعة السفلية من المفاتيح. على أساس مخطط إطلاق النبضات كما تجدر الإشارة الا انه عند اى لحظة زمنية نجد ان ثلاثة مفاتيح الكترونية تعمل معا بواقع مفتاح لكل وجه ويكون تشغيلهم اما مفتاح من المجموعة العليا مع مفتاحين من المجمعة السفلى تعمل معا او العكس بمعنى مفتحين من المجموعة العليا مع مفتاح من المجموعة السفلى ولا يجب باى حال من الأحوال تشغيل مفتاحين من نفس الوجه معا حتى لا يحدث قصر، ويمكن رؤية نظام التتابع في تشغيل هذه المفاتيح الالكترونية من الجدول ٣-١.

Mode	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1st	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل
2nd	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل
3rd	يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل
4th	لا يعمل	يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل	لا يعمل
5th	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل	يعمل	لا يعمل
6th	لا يعمل	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل	يعمل

جدول تشغيل المفاتيح الالكترونية للعاكس لنظام ١٨٠ درجة

٣-٣- ٣مبداء طريقة النبضات المعدلة (Pulse width modulation PWM):

يمكن ترشيح التوافقيات ذات الترتيب الأعلى في تيار الحمل بسهولة باستخدام مرشح (ملف). يمكن تقليل أو القضاء على نطاق محدد من التوافقيات ذات الترتيب الأدنى باختيار عدد النبضات لكل نصف دورة. عندما يزداد عدد النبضات ، يزداد أيضًا ترتيب التوافقيات ويمكن إزالة ذلك بسهولة عن طريق المرشحات. في هذه الطريقة ، يتم إعطاء جهد تيار متردد ثابت للعاكس ويتم الحصول على جهد خرج تيار مستمر متحكم فيه عن طريق ضبط فترات التشغيل والإيقاف للنبضات. هذه هي الطريقة الأكثر شيوعًا للتحكم في جهد الخرج وتسمى هذه الطريقة بالتحكم في تعديل عرض النبض.

مميزات طريقة تعديل عرض النبضات:

١. يمكن الحصول على التحكم في جهد الخرج بدون أي مكونات إضافية.

٢. يمكن التخلص من التوافقيات ذات الترتيب المنخفض أو تقليلها مع التحكم في جهد الخرج. نظرًا لأنه يمكن تصفية التوافقيات ذات الترتيب الأعلى بسهولة ، يتم تقليل متطلبات التصفية إلى الحد الأدنى.

٣. تتميز تقنيات النبضات المعدلة بنبضات السعة الثابتة. ومع ذلك ، يتم تعديل عرض هذه النبضات للحصول على التحكم في جهد الخرج وتقليل محتواها التوافقي.

تقنيات النبضات المعدلة المختلفة

١. تعديل النبضة الواحدة

٢. تعديل النبضات المتعددة

٣. تعديل النبض الجيبي

٣-٣-٤ طريقة النبضات المعدلة الجيبية:

لإنتاج موجة جهد جيبية عند التردد المطلوب، تتم مقارنة إشارة التحكم جيبية عند التردد المطلوب مع شكل موجة مثلثية. تردد الشكل الموجي المثلثى f_s ، يحدد تردد تبديل العاكس الذي يظل ثابتًا وذو سعة مقدارها v_{tri}. بمعنى ان هذه القيمة للجهد المثلثى (v_{tri}) تظل ثابتة عند هذه القيمة مع ثبات التردد عند f_s و تُستخدم إشارة التحكم v_{con} لتعديل نسبة تشغيل التبديل واشارة التحكم هذه لها تردد هو f ، وهو التردد الأساسي المطلوب لجهد خرج العاكس. ونسبة سعة التعديل تعطى من العلاقة $m_a = \frac{v_{con}}{v_{tri}}$ وهى النسبة ما بين جهد التحكم والجهد المثلثى ونسبة التردد المطلوب الى التردد للموجة المثلثية المسماة بالموجة الحاملة ويمكن حسابها من العلاقة $m_f = \frac{f_s}{f}$

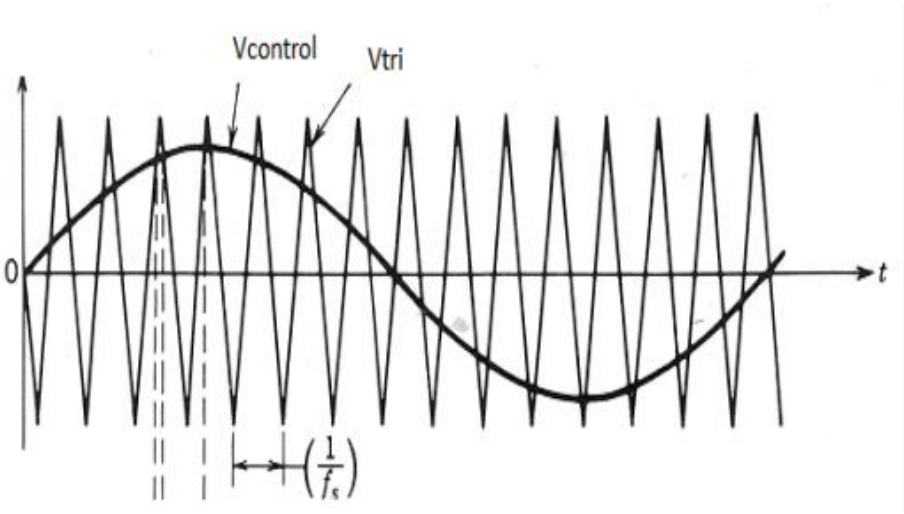
ومن ثم فان اكبرقيمة للجهد الناتج من العاكس (الجهد الجيبى) يحسب من العلاقة $v_o = m_a x \frac{v_d}{2}$

وعلى هذا فانه يتم مُقارنة الجهد المتردد الجيبي الذى نريد الحصول على نفس تردده مع الموجة الحاملة المثلثية عالية التردد لتحديد حالات التبديل لكل قطب في العاكس. بعد المقارنة ، يمكن تحديد حالات التبديل لكل عمود بناءً على القاعدة التالية:

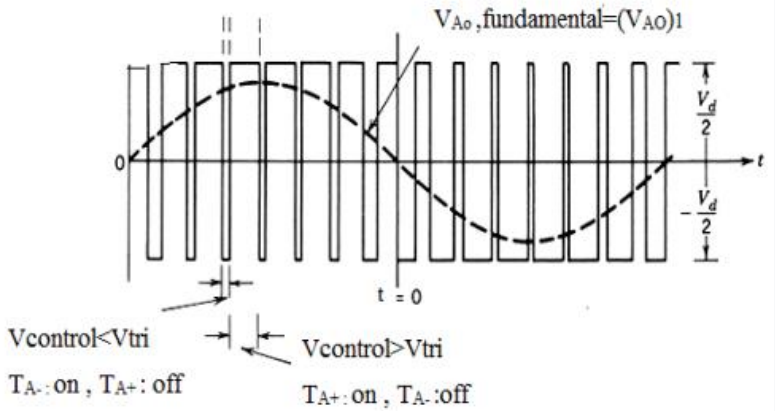
اذا كان الجهد المراد الحصول على تردده (v_{con}) اكبر من الجهد الحامل وهو الجهد المثلثى (v_{tri}) فان المفاتيح الالكترونية بالاعلى هي التي تصبح موصلة ويكون الجهد الناتج هو vd/2

اذا كان الجهد المراد الحصول على تردده (v_{con}) اقل من الجهد الحامل وهو الجهد المثلثى (v_{tri}) فان المفاتيح الالكترونية بالاسفل هي التي تصبح موصلة ويكون الجهد الناتج هو-vd/2

وتحدث هذه المقارنة لكل وجه ويمكن ملاحظة كيفية انتاج هذا الجهد من خلال الشكلين ٣-١٧و٣-١٨



شكل ٣-١٧ مقارنة التردد المطلوب الحصول عليه مع الموجة المثلثية



شكل ٣-١٨ الموجة الجيبية الناتجة

ملاحظات عامة على مغير السرعة:

١- في اى رجل من ارجل مغيرات السرعة يجب ان يوجد فاصل زمنى بين تشغيل المفاتيح الالكترونية الموجودة على نفس الرجل حتى لا يحدث قصر في دائرة المغير وقد وجد ان ذلك الفاصل الزمنى يتراوح ما بين ٢ميكروثانية الى٤ميكروثانية

٢- يجب ان يتراوح تردد الموجات المثلثية (الموجات الحاملة) ما بين ٢كيلوهرتز و٢٠ كيلوهرتز للحصول على أداء جيد لمنظومة التحكم في سرعة المحرك الكهربى

٣- عند اختيار تردد الموجة الحاملة يجب مراعاة القيمة المختارة حيث ان زيادتها بدرجة كبيرة سوف يقوم بإزالة التوافقيات والضوضاء الناتجة من المحرك لكن ذلك سوف يؤدى الى زيادة القدرة المفقودة في هذه المغيرات ويقلل من عمرها الافتراضى لذلك يجب التوازن بين المميزات والعيوب واختيار التردد المناسب

٤- يجب الحذر عند استخدام كابلات طويلة ما بين المحرك والمغير وذلك لان تردد الموجة الحاملة اذا زاد سوف يؤدى الى زيادة الجهد على اطراف المحرك مما يعرضه للخطر حيث تزداد سعة الكابل

عاكس الجهد له بعض المزايا وبعض العيوب مثل

أولا المميزات:

١. تعمل معه محركات التيار المتردد بكفاءة مرتفعة

٢-إمكانية استخدامه لتشغيل اكثر من محرك

٣.يتميز باستقرار عمليات الفصل والتشغيل

٤. يحسن الاستجابة ديناميكية لمحركات التيار المتردد

٥.يستخدم مع المحركات المنخفضة والمتوسطة الطاقة.

٦- يتم التحكم في عمليات التسارع والتباطئ له بسهولة

٧- مزود بمجموعة من الحمايات مثل ارتفاع الجهد والتيار وانخفاض الجد وسقوط احد الأوجه الخ

ثانيا العيوب:

١. تكلفته مرتفعة

٢.لا يعمل بطريقة جيدة مع السرعات المنخفضة

٤. نطاق سرعة المحرك محدد بـ ٤٠٪ بسبب التوافقيات

٥. التشغيل السلس غير ممكن ، تحدث مشاكل مثل تولد نبضات في عزم الدوران

الفصل الرابع

التحكم في سرعة المحرك الكهربى

تحتاج العديد من الأحمال في التطبيقات الصناعية إلى تغيير سرعتها ، لذلك يجب تغيير سرعة المحرك الذي يقوم بتدويرها. في هذا الفصل سوف نركز على المحرك التاثيرى ثلاثي الطور. قبل الحديث عن كيفية التحكم في سرعة المحرك التاثيرى ثلاثي الطور ، نتحدث أولاً عن الشروط التي يجب توافرها في اى طريقة التحكم اوجهاز يمكن من خلاله التحكم في سرعة المحرك الكهربى. ويمكن حصر هذه الشروط في التالى:-

١- لها مدى واسع للتحكم في السرعة.

٢- ان يكون لديه حساسية عالية للتحكم في السرعة.

٣- ان يتميز بدقة عالية للتحكم في السرعة.

٤- ان يحافظ على معدل التباين بين عزم دوران المحرك وسرعة المحرك عند أدنى قيمة.

٥- مفاقيد هذه الطريقة محدودة.

٦- طريقة التحكم في سرعة الموتور لا تضعف أداء المحرك.

٧- تكلفة طريقة التحكم منخفضة.

٨- الجهاز المستخدم في طريقة التحكم قليلة الصيانة.

٤-١ الطرق الرئيسية للتحكم فى سرعة المحرك التاثيرى ثلاثى الطور:

بما اننا نتعامل مع المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى حيث العضو الدائر مغلق على نفسه فان طريقة التحكم لا تتم الا من خلال العضو الثابت. ومن الطرق الرئيسية للتحكم في العضو الثابت مايلى: -

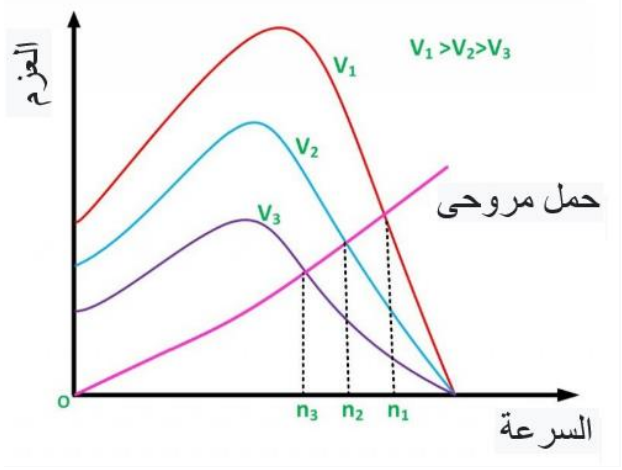
١- التحكم في السرعة عن طريق تغيير عدد الأقطاب.
٢- التحكم في السرعة عن طريق تغيير الجهد المسلط على العضو الثابت.
٣- التحكم في السرعة عن طريق تغيير التردد المسلط على العضو الثابت.
٤- التحكم في السرعة عن طريق تغيير الجهد مع التردد المسلط على العضو الثابت.

٤-١-١ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى من خلال تغيير عدد الأقطاب:

يمكن التحكم في سرعة المحرك عن طريق تغيير عدد الأقطاب لأن المحرك يعمل بالقرب من السرعة التزامنية. يتم حساب السرعة التزامنية من العلاقة ($n_s = \frac{120 f}{P}$) حيث P عدد الأقطاب و f التردد. من خلال الحفاظ على تردد المحرك ثابتًا وتغيير عدد الأقطاب تتغير السرعة التزامنية وتتغير معها سرعة المحرك. يحدث هذا من خلال تصميم ملفات أي وجه من اوجه المحرك ليخرج منها ثلاثة اطراف. هذه الاطراف هي طرف البداية وطرف اوسط وطرف النهاية. يتم توصيل هذه الاطراف لكل وجه على المفتاح بموضعين (Selector switch). يتمثل أحد هذه الاوضاع لتكوين عدد معين من الأقطاب ، بينما يمثل الموضع الآخر ضعف أقطاب. يمكن رؤية هذا النوع من التحكم بالسرعة في المصاعد الكهربية. يعطي العدد المنخفض للأقطاب السرعة العادية للمصعد وتعطي السرعة الأقل للمصعد عند ضعف الاقطاب السابقة.

٤-١-٢ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى من خلال التحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت:

التحكم في جهد العضو الثابت هو طريقة تستخدم للتحكم في سرعة المحرك التاثيرى. يمكن تغيير سرعة المحرك التاثيرى ثلاثي الطور عن طريق تغيير الجهد على العضو الثابت. ومن المعلوم ان عزم الدوران المحرك التاثيرى يتناسب مع مربع الجهد المسلط على العضو الثابت وأن الانزلاق عند أقصى عزم دوران مستقل عن ذلك الجهد. ونظرا لأننا لم نغير من التردد فان سرعة التزامن لن تتغير. وبرسم العلاقة بين الجهد المسلط على العضو الثابت مع السرعة نجدها كما بالشكل ٤-١



شكل ٤-١ خواص العزم مع السرعة للمحرك التاثيرى عند تغير الجهد المسلط على العضو الثابت

من خلال تغيير الجهد المسلط على العضو الثابت، يمكن التحكم في السرعة. لتقليل السرعة لنفس القيمة عند نفس التيار، يتم تقليل قيمة الجهد ونتيجة لذلك ، يتم تقليل عزم دوران المحرك. طريقة التحكم في جهد الجزء الثابت هذه مناسبة للتطبيقات التي يتناقص فيها عزم الحمل مع نقص السرعة. على سبيل المثال- في الحمل المروحى. تعطي هذه الطريقة تحكمًا في السرعة فقط أقل من السرعة المقننة حيث لا يُسمح بتسليط الجهد إذا كان أعلى من الجهد المقنن. هذه الطريقة مناسبة عندما يكون التشغيل المتقطع للمحرك مطلوبًا وكذلك للمحركات التي تعمل على تشغيل المراوح والمضخات حيث يختلف عزم الحمل حسب مربع السرعة. تتطلب هذه الأنواع من الاحمال عزم دوران منخفض بسرعات منخفضة. يمكن الحصول على هذه الحالة من خلال تطبيق جهد أقل دون تجاوز تيار المحرك.

تقليل جهد العضو الثابت يمكن القيام به من خلال احدى طريقتين، أحدهما تسمى التحكم التقليدي في السرعة والآخر تسمى التقنية الحديثة للتحكم في السرعة.

أولاً ، الأسلوب الكلاسيكي:

١- بتوصيل مقاومة خارجية في دائرة العضو الثابت للمحرك.

٢- عن طريق توصيل مفاعلة خارجية في دائرة العضو الثابت للمحرك.

٣- باستخدام محول ذاتى.

يتميز الأسلوب الكلاسيكى بالبساطة ولكن يعيبه المدى الضيق للتحكم في السرعة يضاف الى ذلك مع الطريقة الأولى (زرع مقاومة في كل وجه) يتم فقد جزء من الطاقة في المقاومة التي تم زرعها للتحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت

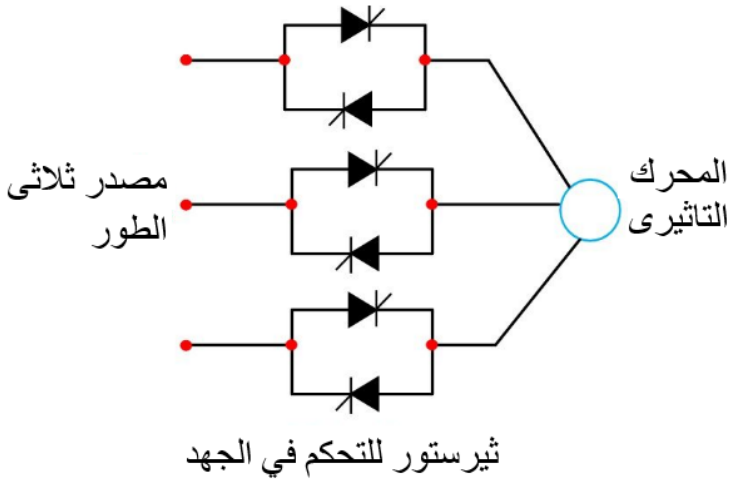
ثانياً: التقنية الحديثة:

١- باستخدام متحكم الجهد مثل الثايرستور

٢- باستخدام متحكم الجهد مثل الترياك

في الوقت الحاضر ، تُفضل طريقة التحكم في الجهد باستخدام الثايرستور لتغيير الجهد. في حالة المحرك التاثيرى ثلاثي الطور ، يلزم وجود ثلاثة أزواج من الثيرستور متصلة من الخلف إلى الخلف. كل زوج يتكون

من اثنين من الثايرستور. يوضح شكل ٤-٢ التحكم في الجهد الثابت للمحركات التاثيرية ثلاثية الطور بواسطة جهاز التحكم في الجهد باستخدام الثايرستور.



شكل ٤-٢ التحكم في الجهد الثابت للمحركات التاثيرية ثلاثية الطور باستخدام الثايرستور

بالنسبة للمحركات ذات الطاقة المنخفضة، يتم استبدال أزواج الثايرستور من الخلف إلى الخلف المتصلة في كل مرحلة بترياك. يتم الحصول على التحكم في السرعة من خلال تغيير زاوية الاشعال للترياك. نظرًا لأن المفاتيح الالكترونية تكون أكثر إحكاما وكفاءة مقارنة بالطرق التقليدية، فهي مفضلة على الطرق التقليدية للتحكم في الجهد.

٤-١-٣ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى بتغيير التردد:

التحكم في التردد هو طريقة تستخدم للتحكم في سرعة المحرك التاثيري. حيث يمكن التحكم في السرعة التزامن وبالتالي سرعة المحرك عن طريق تغيير تردد الجهد المسلط على العضو الثابت. يتم تحديد سرعة التزامن للمحرك التاثيرى من خلال العلاقة $n_s = \frac{120\,f}{P}$. تلك الطريقة لها بعض المحاذير التي يجب مراعاتها مثل أي انخفاض في التردد المسلط على العضو الثابت، دون تغيير في الجهد، يؤدي إلى زيادة تدفق الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية ما بين العضو الثابت والعضو الدائر. وحيث انه تم تصميم المحركات التاثيرية لتعمل عند نقطة الركبة الخاصة بخاصية المغنطة للاستفادة الكاملة من المادة المغناطيسية. لذلك ، فإن الزيادة في الفيض المغناطيسى سوف تؤدى الى تشبع المحرك. سيؤدي ذلك إلى زيادة تيار المغنطة ، وتشويه تيار الخط والجهد ، وزيادة في فقد المفاقيد الحديدية والمفاقيد النحاسية للعضو الثابت ، وإنتاج ضوضاء صوتية

عالية النغمة. وهذا يعنى أن الزيادة في الفيض المغناطيسى إلى ما بعد القيمة المقننة غير مرغوب فيها نظرا لتاثيرات حالة التشبع على المحرك، ويتم أيضًا تجنب انخفاض الفيض المغناطيسى للاحتفاظ بقدرة عزم الدوران للمحرك. لذلك ، يتم إجراء التحكم في التردد للمحرك التاثيرى لأقل من التردد المقنن بشكل عام عند الفيض المغناطيسى المقنن في الثغرة الهوائية عن طريق تغيير الجهد مع التردد المسلطين على العضو الثابت للحفاظ على نسبة (V / f) ثابتة عند القيمة المقدرة.

٤-١-٤ التحكم في سرعة المحرك التاثيرى بتغيير الجهد والتردد (Scalar control):

من أجل تقليل المفاقيد وتجنب التشبع كما في طريقة التحكم المذكورة أعلاه ، يتم تشغيل المحرك بتدفق الفيض المغناطيسى المقنن (Rated airgap flux) في الثغرة الهوائية. يتم الحصول على هذا الشرط عن طريق تغيير الجهد مع التردد للحفاظ على ثبات النسبة (V / f) عند قيمة المقننة. يُعرف هذا النوع من التحكم بالفولت الثابت لكل هرتز. إذا ظلت نسبة الجهد إلى التردد ثابتة ، فإن تدفق الفيض المغناطيسى في الثعرة الهوائية يظل ثابتًا. من خلال تغيير الجهد والتردد، يمكن تغيير عزم دوران المحرك وسرعته. عادةً ما يتم الحفاظ على عزم الدوران ثابتًا بينما تتغير السرعة. يستخدم هذا التحكم على نطاق واسع في القاطرات والتطبيقات الصناعية. الغرض من مخطط التحكم في الفولت والهرتز هو الحفاظ على تدفق الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية ثابتا للمحرك التاثيرى للحفاظ على التيار من أجل تحقيق كفاءة مرتفعة اثناء تشغيل. إذا ظلت نسبة تدفق الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية ثابتة سيعتمد عزم دوران المحرك فقط على تردد الانزلاق. في التشغيل المتغير التردد والجهد المتغير لنظام القيادة ، عادة ما يكون للمحرك الكهربى خصائص انزلاق منخفضة (أي مقاومة منخفضة للدوار) ، مما يعطي كفاءة عالية. يؤدي خفض تيار بدء في المحرك التاثيرى اثناء بدء التشغيل إلى تقليل الجهادات على المحرك وبالتالي تحسين العمر الافتراضي له. وبالتالي ، فإن التحكم في سرعة المحرك التاثيرى باستخدام مصدر تردد متغير يتطلب مصدر طاقة متغير الجهد. يتم الحصول على هذه المصادر بواسطة المغيرات التالية.

١- عاكس مصدر الجهد (Voltage source inverter)

٢- عاكس المصدر التيار (Current source inverter)

٣- مغير سيكلو (Cyclo-converter)

يقوم العاكس بتحويل جهد ثابت DC إلى جهد ثابت أو متغير AC بتردد متغير. يقوم مغير سيكلو بتحويل الجهد الثابت والتردد الثابت (AC) إلى جهد متغير وتردد متغير (AC). يسمح التحكم في التردد المتغير بالحصول

على أداء جيد مستقر وعابر ايضا من المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى. لاحظ ان المحرك التاثيرى ذو القفص السنجابى الذي يتم التحكم فيه بواسطة مغير السيكلو مناسب فقط لمحركات الطاقة الكبيرة التي تعمل عند سرعات منخفضة.

التحكم باستخدام التردد المتغير والجهد المتغير هو تحكم جيد جدًا إذا ما قورن بالتحكم في الجهد المتردد فقط نظرًا لأن له بعض المزايا مثل يمكن الحصول منع على عزم الدوران ثابت ، ويمتاز بثبات عزم الدوران الأقصى، والتوافقيات الناتجه عنه أقل ، كما يمتاز بالنطاق الواسع للتحكم في السرعة والكفاءة العالية ، ولكن له بعض العيوب مثل تغير الفيض المغناطيسى الخاص بالعضو الثابت بسبب الاختلافات في الجهد المسلط على المحرك التاثيرى، الذى سوف يؤدى الى تغير الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية وفقًا للتغير في مقاومة ملفات العضو الثابت مع تغير درجة الحرارة وبالتالي تتولد نبضات في عزم الدوران عند السرعات منخفضة بسبب وجود التوافقيات الخامسة والسابعة والحادية عشرة والأعلى من ذلك. لتحسين هذه المشاكل والتغلب عليها ، يتم استخدام طريقة أخرى للتحكم وهي طريقة تثبيت الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية للمحرك التاثيرى ما بين العضو الثابت والعضو الدوار. لتحقيق تحكم جيد في المحرك التاثيرى، يجب استخدام وحدة التحكم في التيار المتردد. تنتشر وحدة التحكم في التيار المتردد على نطاق واسع تحت العديد من الأسماء مثل جهاز القيادة بضبط السرعة (Adjustable speed drive) ، والقيادة بتغيير التردد (Variable frequency drive) ، والقيادة بتغيير السرعة (Variable speed drive) ، ومغير التردد (Frequency converter) ، وتتكون وحدة التحكم في التيار المتردد من ثلاثة أجزاء أساسية: المعدل ، والعاكس ، ورابط التيار المستمر لتوصيل الاثنين. يقوم المعدل بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر، بينما يقوم العاكس بتحويل جهد التيار المستمر إلى جهد متردد قابل للتعديل. يمكن أيضًا استخدام العاكس للتحكم في تدفق التيار الناتج إذا لزم الأمر. يتم توجيه كل من المعدل والعاكس بواسطة مجموعة من عناصر التحكم لتوليد مقدار معين من الجهد او التيار المتردد لمطابقة نظام محرك التيار المتردد في نقطة زمنية معينة. يحتوي محرك السرعة المتغيرة على عشر مزايا إضافية يدركها المستخدمون عند تشغيل المحركات المزودة بنظام قيادة. هذه الفوائد

١. التحكم في تيار البدء

٢. تقليل اضطرابات خط الكهرباء

٣. خفض الطاقة عند البدء

٤. التحكم في التسارع والتباطؤ

٥. سرعة التشغيل قابلة للتعديل

٦. حد عزم الدوران القابل للتعديل

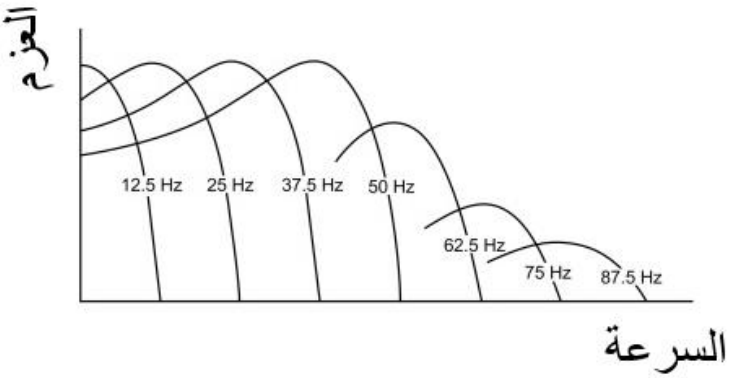
٧. التوقف المنضبط

٨. توفير الطاقة

٩. عكس الحركة

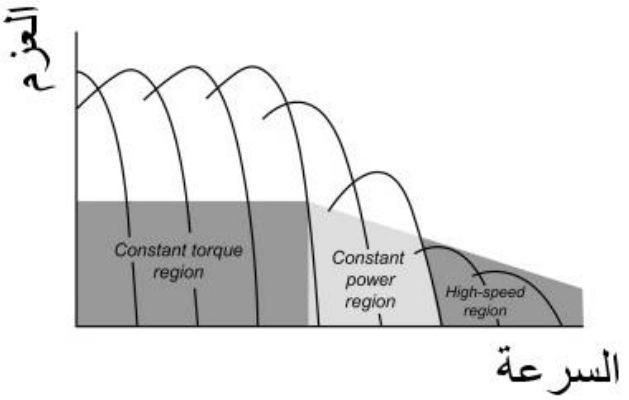
١٠. عدم الحاجة الى مكونات الميكانيكية

عند الترددات المنخفضة مع ثابت النسبة V / f ، نجد ان اقصى عزم ناتج من المحرك ينخفض يرجع ذلك الى تأثير مقاومة العضو الثابت وهى من اهم المشاكل في هذا النوع من التحكم. اى انه عندما يقترب التردد من الصفر ، يصبح انخفاض الجهد بسبب مقاومة العضو الثابت عاملا هام في اضعاف خواص المحرك التاثيرى ، حيث ينخفض الفيض المغناطيسى الذي يتسبب في انخفاض عزم الدوران. هذا التأثير معروف ويمكن تخفيفه بسهولة عن طريق تعزيز الجهد (Boost voltages) عند السرعة المنخفضة اى زيادة نسبة V / f عند الترددات المنخفضة لاستعادة الفيض المغناطيسى عند القيمة المقننة. يوضح الشكل ٤-٣ مجموعة نموذجية من منحنيات السرعة مع عزم الدوران لمحرك تاثيرى ذي جهد كهربائي منخفض السرعة. كما يجب ملاحظة انه عند زيادة السرعة عن السرعة المقننة ، لا يمكن الحفاظ على نسبة V / Hz ثابتة لأن الجهد لا يمكن أن يزيد عن الجهد المقنن للمحرك لتجنب انهيار عزل المحرك. الزيادة في التردد إلى ما بعد التردد المقنن ممكنة وسنحصل منها على سرعة أعلى من السرعة المقننة ولكن مع الحفاظ على الجهد عند الجهد المقنن ، وبالتالي تقل نسبة V / Hz ، وبالتالي ستقل كثافة الفيض المغناطيسى الذى سوف يؤدى الى انخفاض عزم الدوران.



شكل ٤-٣ مجموعة نموذجية من منحنيات السرعة عزم الدوران لمحرك ذي جهد كهربائي منخفض السرعة

كما ذكرنا سابقًا ، يمكن للمحرك الذي يحركه مغير التردد تحسين أي عزم وايصاله إلى عزم الدوران المقنن بأي سرعة حتى السرعة المقننة. هذه المنطقة تسمى منطقة "عزم الدوران الثابت". اما عند السرعات التي تزيد عن السرعة المقننة ، ستنخفض النسبة V / Hz لأن الجهد يظل ثابتًا عند جهد المحرك المقنن ، للعضو الثابت ، ويتم أيضًا الحفاظ على تيار العضو الدوار ثابتًا وتتزايد السرعة مع زيادة التردد ، وبالتالي ستقل كثافة الفيض المغناطيسى وسيقل عزم الدوران لانة يتناسب عكسياً مع التردد . تسمى هذه المنطقة التي تتميز بانخفاض عزم الدوران وزيادة سرعة المحرك بمنطقة القدرة الثابتة. وفى هذه المساحة من الطاقة الثابتة تصل سرعة المحرك إلى ضعف السرعة المقدرة تقريبًا. ما وراء منطقة الطاقة الثابتة هي المنطقة عالية السرعة وهى منطقة لا يمكن فيها الحفاظ على الطاقة الثابتة أكثر من ذلك. يوضح الشكل ٤-٤ هذه المناطق عزم الدوران الثابت ، والقدرة الثابتة ، والسرعة العالية.



شكل ٤-٤ مناطق ثبات العزم وثبات القدرة والسرعة العالية

٤-١-٥ تعزيز الجهد للقضاء على مشكلة العزم عند الترددات المنخفضة:

للحفاظ على العزم الأقصى والعزم المقنن ثابتا عند السرعات المنخفضة ، يتم استخدام طريقة أخرى لزيادة التحكم في الدقة عند التردد المنخفض والسرعة المنخفضة. هذه الطريقة تسمى ثبات كثافة الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية. في هذه الحالة نحسب الجهد الناتج عن الفيض المغناطيسى الثابت في الثغرة الهوائية ونحافظ عليه ونضيف له الجهد المفقود في مقاومة العضو الثابت اى اننا ننشاء برنامج حسابى يوضع داخل ذاكرة العاكس يتولى ذلك.

الفصل الخامس

نظرة عامة على النظام ذو المسار المفتوح والنظام ذو المسار المغلق للتحكم

عندما يتم الجمع بين عدد من العناصر معًا لتشكيل نظام لإنتاج المخرجات المرغوبة ، يُشار إلى النظام باسم نظام التحكم. الميزة الرئيسية لنظام التحكم هي أنه يجب أن تكون هناك علاقة رياضية واضحة بين مدخلات ومخرجات النظام. عندما يمكن تمثيل العلاقة بين مدخلات ومخرجات النظام من خلال التناسب الخطي ، فإن النظام يسمى نظام التحكم الخطي. وعندما لا يمكن تمثيل العلاقة بين المدخلات والمخرجات من خلال التناسب الخطي الفردي ، اى أن العلاقة ما بين المدخلات والمخرجات غير الخطية ، يشار إلى النظام على أنه نظام تحكم غير خطي.

متطلبات نظام التحكم الجيد:

الدقة: الدقة هي اداة لقياس التفاوت وتحدد حدود الأخطاء التي تحدث عند استخدام الجهاز في ظروف التشغيل العادية. يمكن تحسين الدقة باستخدام عناصر التغذية الراجعة. لزيادة دقة أي جهاز نكشف عن مقدار ألخطاء الموجودً في نظام التحكم.

الحساسية: تتغير معاملات نظام التحكم دائمًا مع التغيير في الظروف المحيطة أو الاضطرابات الداخلية أو أي معاملات أخرى. يمكن التعبير عن هذا التغيير من حيث الحساسية. يجب أن يكون أي نظام تحكم غير حساس لمثل هذه معاملات ولكن حساسًا لإشارات الدخل فقط.

الضوضاء: تُعرف إشارة الإدخال غير المرغوب فيها بالضوضاء. يجب أن يكون نظام التحكم الجيد قادرًا على تقليل تأثير الضوضاء للحصول على أداء أفضل.

الاستقرار: هو خاصية مهمة لنظام التحكم. بالنسبة لإشارة الإدخال المقيدة ، يجب أن يتم تقييد الخرج وإذا كان الدخل صفرًا ، فيجب أن يكون الناتج صفرًا ، فيُقال عندها إن نظام التحكم هذا نظام مستقر.

عرض النطاق الترددي: يحدد نطاق تردد التشغيل عرض النطاق الترددي لنظام التحكم. يجب أن يكون عرض النطاق أكبر ما يمكن للاستجابة الترددية لنظام التحكم الجيد.

السرعة: إنه الوقت الذي يستغرقه نظام التحكم لتحقيق إنتاجه المستقر. يمتلك نظام التحكم الجيد سرعة عالية لتحقيق الإنتاج المستقر. الفترة المؤقتة لهذا النظام صغيرة جدًا.

التذبذب: تميل الأنظمة الجيدة الى مقدار صغير من التذبذب أو التذبذب السريع لاستقرار للنظام.

٥-١ أنواع أنظمة التحكم:

هناك أنواع مختلفة من أنظمة التحكم ، ولكن تم إنشاؤها جميعًا للتحكم في المخرجات. يعد النظام المستخدم للتحكم في الموضع والسرعة والتسارع ودرجة الحرارة والضغط والجهد والتيار وما إلى ذلك أمثلة على أنظمة التحكم. هنا تم تصنيف الأنظمة إلى: -

١- نظام التحكم ذو المسار المفتوح (Open loop control system)

٢- نظام التحكم ذو المسار المغلق (Closed loop control system)

٥-١-١ نظام التحكم ذو المسار المفتوح:

في أنظمة التحكم ذات المسار المفتوح ، لا يتم تغذية الخرج بالدخل. لذلك ، يكون إجراء التحكم مستقلاً عن الخرج المطلوب. يوضح الشكل ١-٥ مخطط الكتلة لنظام التحكم ذو المسار المفتوح. هنا ، يتم تطبيق إدخال على وحدة تحكم وينتج إشارة تشغيل أو إشارة تحكم. تُعطى هذه الإشارة كمدخلات في المصنع أو العملية التي يجب التحكم فيها. لذلك ، ينتج المصنع مخرجات يتم التحكم فيها.

شكل ١-٥ مخطط الكتلة لنظام التحكم ذو المسار المفتوح

امثلة عملية لنظام التحكم في المسار ذو النظام المفتوح

- مجفف اليد الكهربائي - يخرج الهواء الساخن (الناتج) طالما أن يدك تحت الماكينة ، بغض النظر عن مقدار جفاف يدك.
- الغسالة الأوتوماتيكية - تعمل هذه الغسالة وفقًا للوقت المحدد مسبقًا بغض النظر عن اكتمال الغسيل أم لا.
- محمصة الخبز - تعمل هذه الآلة حسب الوقت المعدل بغض النظر عن اكتمال التحميص أم لا.

• ماكينة صنع الشاي / القهوة الأوتوماتيكية - تعمل هذه الآلات أيضًا للوقت المضبوط مسبقًا فقط.

• مجفف الملابس القائم على المؤقت - هذا الجهاز يجفف الملابس المبللة لوقت مضبوط مسبقًا ، لا يهم مقدار تجفيف الملابس.

• مفتاح الضوء - تضيء المصابيح عندما يكون مفتاح الضوء قيد التشغيل بغض النظر عن الضوء المطلوب أم لا.

مزايا نظام التحكم في المسار المفتوح:

• بسيط في البناء والتصميم.

• اقتصادى.

• سهل الصيانة.

• مستقر بشكل عام.

• ملائمة للاستخدام للمخرجات التي يصعب قياسها.

عيوب نظام التحكم في المسار المفتوح:

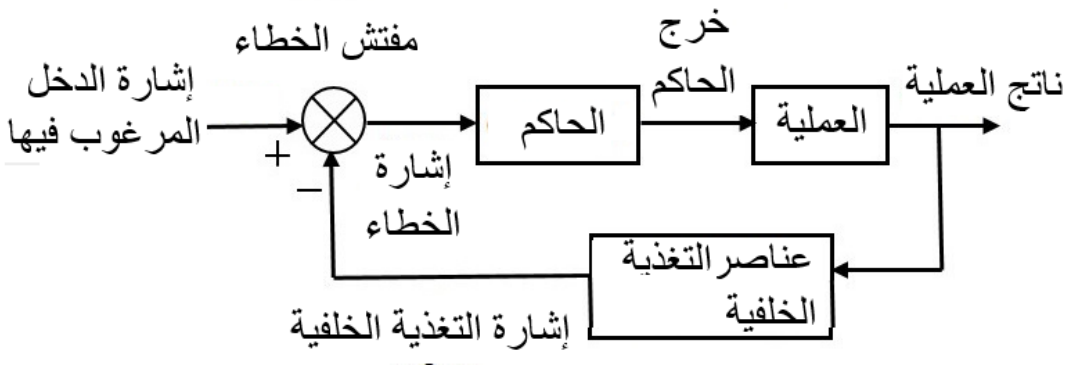
• أنها غير دقيقة.

• لا يمكن الاعتماد عليها.

• لا يمكن تصحيح أي تغيير في المخرجات تلقائيًا.

٥-١-٢ نظام التحكم ذو المسار المغلق:

يسمى نظام التحكم الذي تؤثر فيه المخرجات على كمية المدخلات بطريقة تضبط كمية المدخلات نفسها بناءً على ناتج نظام التحكم ذو المسار المغلق. يمكن تحويل نظام التحكم ذو المسار المفتوح إلى نظام التحكم ذو المسار المغلق من خلال إضافة تغذية خلفية. تقوم هذه التغذية الراجعة تلقائيًا بإجراء التغييرات المناسبة في الخرج بسبب اضطراب خارجي. بهذه الطريقة يسمى نظام التحكم ذو المسار المغلق نظام التحكم الآلي. يوضح الشكل ٢-٥ مخطط الكتلة لنظام التحكم ذو المسار المغلق حيث يتم أخذ التعليقات من المخرجات وتغذيتها إلى المدخلات. إشارة التغذية الخلفية عناصر التغذية الخلفية مفتش الخطاء إشارة الخطاء



شكل ٥-٢ نظام التحكم ذو المسار المغلق

أمثلة عملية على نظام التحكم ذو المسار المغلق

- مكواة كهربائية أوتوماتيكية - يتم التحكم في عناصر التسخين بواسطة درجة حرارة خرج المكواة.
- مُثبِّت الجهد المؤازر - يعمل جهاز التحكم في الجهد وفقًا لجهد خرج النظام.
- جهاز التحكم في مستوى المياه - يتم التحكم في المياه المدخلة عن طريق مستوى الماء في الخزان.
- إطلاق الصواريخ ومجنزرة السيارات عن طريق الرادار - يتم التحكم في اتجاه صاروخ بمقارنة الهدف والوضع من الصواريخ.
- مكيف هواء - يعمل مكيف الهواء حسب درجة حرارة الغرفة.
- نظام التبريد في السيارة - يعمل حسب درجة الحرارة التي يتحكم بها.

مميزات نظام التحكم ذو المسار المغلق

- تكون أنظمة التحكم ذو المسار المغلق أكثر دقة حتى في وجود اللاخطية.
- دقة عالية حيث يتم تصحيح أي خطأ ينشأ بسبب وجود إشارة تغذية مرتدة.
- نطاقها الترددي كبير.
- يسهل الأتمتة.
- قد تكون حساسية النظام صغيرة لجعل النظام أكثر استقرارًا.

• هذا النظام أقل تأثراً بالضوضاء.

عيوب نظام التحكم ذو المسار المغلق

• إنها أكثر تكلفة.

• تصميمها معقد.

• يتطلب مزيد من الصيانة.

• ردود الفعل تؤدي إلى استجابة متذبذبة.

• يتم تقليل المكاسب الإجمالية بسبب وجود ردود الفعل.

• الاستقرار هو المشكلة الرئيسية وهناك حاجة إلى مزيد من العناية لتصميم نظام ذو مسار مغلق مستقرة.

٥-٣ الاختلافات الرئيسية بين نظام التحكم ذو المسار المفتوح ونظام التحكم ذو المسار المغلق:

• نظام المسار المفتوح يعني أن خرج النظام خالٍ من مدخلاته. نظام التحكم ذو المسار المغلق ، يعتمد الخرج المطلوب على المدخلات.

• يسمى نظام التحكم ذو المسار المفتوح النظام الخالى من التغذية المرتدة بينما نظام التحكم ذو المسار المغلق هو نظام التغذية الراجعة.

• عملية التحكم والرقابة هما المكونان لنظام التحكم ذو المسار المفتوح. تتطلب النظام ذو المسار المغلق بعض المكونات مثل مكبر للصوت ، ووحدة التحكم ، والعملية الخاضعة للرقابة ، ونظام التغذية الراجعة ، إلخ.

• بناء الأنظمة أمر سهل بسبب استخدام عناصر قليلة في النظام المفتوح. إن بناء النظام المغلق صعب للغاية.

• نظام المسار المفتوح غير موثوق به بينما نظام المسار المغلق موثوق به.

• دقة النظام المفتوح أقل مقارنة بنظام االمسار المغلق.

• نظام المسار المفتوح أكثر استقرارًا مقارنة بنظام المسار المغلق. هنا تعني كلمة مستقر أن خرج النظام يظل ثابتًا حتى بعد الاضطرابات.

• نظام المسار المفتوح غير محسن ، بينما نظام المسار المغلق نظام محسن.

• يعطي نظام المسار المفتوح استجابة سريعة ، بينما يعطي نظام االمسار المغلق استجابة بطيئة.

• تعد معايرة نظام المسار المفتوح صعب مقارنة بنظام المسار المغلق.

• في نظام المسار المفتوح ، تأثر الاضطراب على الخرج ، بينما في نظام المسار المغلق لا يتأثر الخرج كثيرًا بالاضطرابات.

• نظام التحكم في المخرجات له استجابة غير خطية ، بينما نظام التحكم في الإدخال له استجابات خطية.

• إشارة المرور والغسالة الأوتوماتيكية وما إلى ذلك هي أمثلة على نظام الإخراج المفتوح ، في حين أن جهاز التحكم في درجة الحرارة والمحمصة وما إلى ذلك هي أمثلة لنظام المسار المغلق.

خاتمة:

نظام التحكم ذو المسار المفتوح و نظام التحكم ذو المسار المغلق هما نوعان من نظام التحكم. يعمل نظام التحكم ذو المسار المفتوحة على الدخل ، وهو بسيط في البناء بينما يكون نظام التحكم ذو المسار المغلق معقدًا ويعتمد ناتجها على المدخلات.

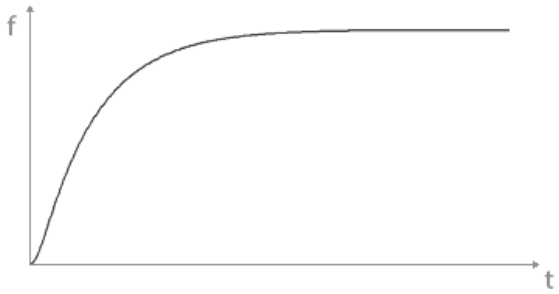
الفصل السادس

التحكم القياسى في المحرك التاثيرى

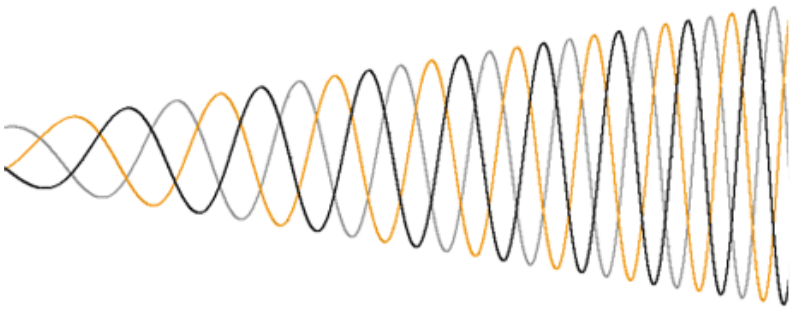
للحصول على عزم دوران ثابت للمحرك، يجب أن تكون كثافة الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية ثابتًة، ويمكن القيام بذلك تحت السرعة المقننة للمحرك اى تحت الظروف المقننة والمشار اليها في لوحة البيانات المتواجدة على المحرك ولكن عندما تكون السرعة أعلى من السرعة المقننة فان جهد المحرك يجب ان يظل عند القيمة المقننة المكتوبة على لوحات بيانات المحرك ولا يمكن زيادتها عن تلك القيمة من اجل الحفاظ على عزل الملفات وبالتالي عند زيادة سرعة المحرك فوق السرعة المقدرة ونظرا لان الفيض المغناطيسى يتناسب عكسيا مع السرعة عند ثبات الجهد يؤدي ذلك إلى تقليل كثافة الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية الذي يؤدي إلى نقصان عزم الدوران. يسمى هذا النوع من التحكم بالتحكم القياسي أو التحكم V / Hz. يمكن تقسيم هذا النوع من التحكم إلى التحكم القياسى ذو المسار المفتوح والتحكم القياسى ذو المسار المغلق. يمكن تنفيذ كل من التحكم في المسار المفتوح والتحكم في المسار المغلق من اجل التحكم فى سرعة المحرك التاثيرى على أساس مبدأ ثبات V / Hz. ويتم استخدام التحكم في السرعة باستخدام المسار المفتوح عندما لا تكون الدقة في الاستجابة للسرعة مطلوبة بدرجة كبيرة كما هو الحال في تطبيقات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء أو التطبيقات المروحية أو المضخات. في هذه الحالة ، يتم تحديد تردد المصدر بناءً على السرعة المطلوبة وافتراض أن المحرك سوف يتبع سرعته المتزامنة تقريبًا. ويعتبر الخطأ في سرعة المحرك الناتجة عن الانزلاق مقبولة.

يتم حساب نسبة V / Hz بناءً على القيم المقدرة (الجهد والتردد) لمحرك التيار المتردد المتحكم فيه. من خلال الحفاظ على قيمة نسبة V / Hz ثابتة ، يمكننا الحفاظ على تدفق مغناطيسي ثابت نسبيًا في فجوة المحرك. إذا زادت نسبة V / Hz ، يصبح المحرك اثارتة زائدة والعكس صحيح إذا انخفضت النسبة ، يكون المحرك اثارته منخفضة وكلا حالتين يسببا مزيدا من المشاكل للتطبيق المراد التحكم في سرعته. مع تطبيق V / Hz ، يتحكم في الجهد الذى يزداد بزيادة التردد كما هو موضح في الشكل ٦-١ والشكل ٦-٢. وهذا ويعد التحكم القياسي في محركات التيار المتردد بديلاً جيدًا للتطبيقات التي لا يوجد بها حمل متغير ولا يلزم وجود ديناميكيات جيدة لاحمالها اى الاحمال الثابتة. ان هذا النوع من أنواع التحكم لا يتطلب مستشعر لموضع العضو الدوار ، ويمكن تقدير سرعة العضو الدوار من التحكم في تردد وجهد المصدر. عند استخدام هذه الطريقة من التحكم (التحكم القياسي) ، لا يلزم وجود معالج إشارة رقمية عالي الأداء. ان تغيير الجهد بما يتناسب مع التردد من أجل الحفاظ على تدفق الفيض المغناطيسى في الثغرة الهوائية عند نسبة V / f المقدرة، لابد من توفيره خاصة عندما يعمل

المحرك عند أقل من تردده المقنن. ومع ذلك ، فإن جميع الأشياء غير المثالية بما في ذلك مقاومة العضو الثابت ، ومحاثة التسرب ، ومفاقيد القلب الحديدى، وانزلاق العضو الدوار يمكن أن تتسبب في أن يؤدي التحكم القياسى V / f إلى إظهار أداء متدهور لتنظيم السرعة عند التردد المنخفض وعزم الدوران العالي. وبالتالي ، عمل العديد من الباحثين لحل تلك المشكلات. حيث لا يزال تطبيقه العملي على الترددات المنخفضة يمثل تحديًا نظرًا لتأثير مقاومة الجزء الثابت وانزلاق العضو المتحرك ضروري لإنتاج عزم الدوران. بالإضافة إلى ذلك ، فإن السلوك غير الخطي لطبيعة طريقة النبضات المعدلة مع استخدام الجهد المنخفض الذى يجعل من الصعب استخدام محركات بتقنية V / f ثابتة بترددات أقل من ٣ هرتز.



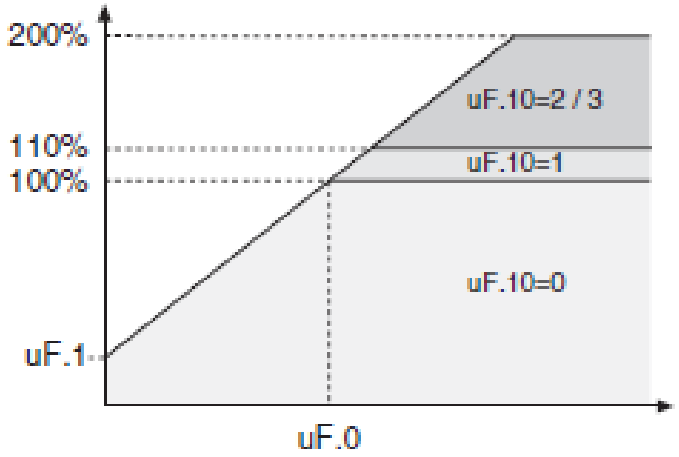
شكل ٦-١ معدل التغير في التردد



شكل ٦-٢ شكل تغير الجهد مع تطبيق التحكم القياسى

عند السرعات المنخفضة ، يكون انخفاض الجهد الناتج عن مقاومة الجزء الثابت كبيرًا. هذا الانخفاض له تأثير مباشر على تدفق الفيض المغناطيسى للمحرك أو عزم الدوران. هناك بعض التعديلات التي يمكنك إجراؤها لضبط عملية V / Hz. الأول يسمى "دعم الجهد". يضبط ذلك جهد الخرج عند صفر هرتز ، ويعطي المحرك دفعة قليلة من الجهد عند السرعات المنخفضة للتعويض الفقد في الجهد الناتج من وجود مقاومة الجزء الثابت.

في KEB F5 VFD، التردد المقنن هو uF.0 والتعزيز في الجهد uF.1 والذي يمكن تعديله حتى ٢٥٪ من الجهد المقنن. يمكن رؤية ذلك في الشكل ٣-٦



شكل ٣-٦ تغير الجهد مع التردد في حال تطبيق الجهد الداعم للتغلب على مشكلة التردد المنخفض

هناك العديد من الطرق المستخدمة لتعويض انخفاض الجهد عبر مقاومة العضو الثابت عند التردد المنخفض. هذه التقنيات مثل

١- ضبط خصائص التردد والجهد وبرمجتها داخل وسيلة التحكم.

٢- تعويض انخفاض الجهد اعتمادا على علاقة رياضية.

٣- تعويض انخفاض الجهد القائم على التغذية الراجعة للتيار.

٤- تعويض سرعة الانزلاق.

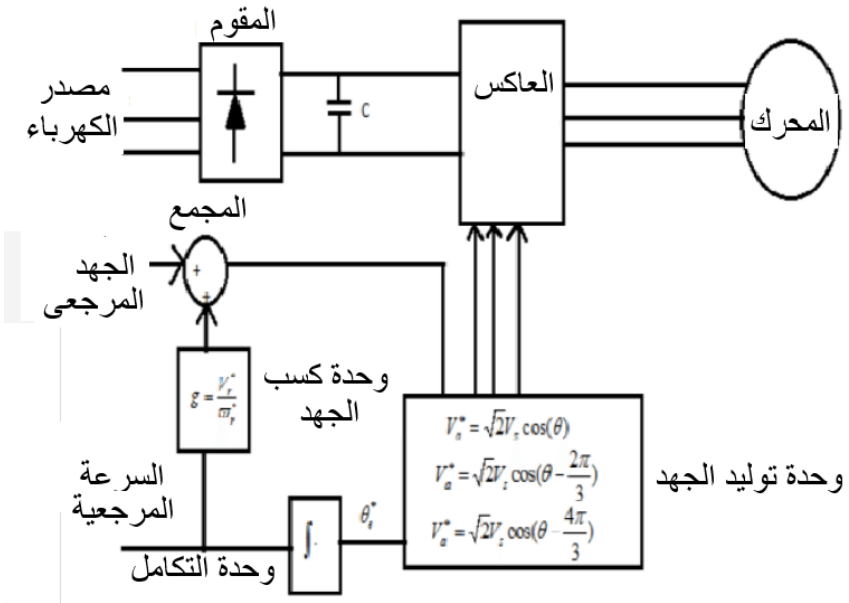
٥- تعويض انخفاض الجهد الاتجاهي.

بعد مناقشة فكرة التحكم القياسى ومشكلاته بشكل عام، سنناقش التحكم القياسي للتطبيق من خلال التحكم في المسار المفتوح والتحكم في المسار المغلق في ما يلي ؛

٦-١ التحكم القياسى من خلال المسار المفتوح:

يعد التحكم القياسى ذو المسار المفتوح للمحرك التاثيرى الطريقة الأكثر شيوعًا للتحكم في السرعة بسبب بساطته ويستخدم هذا النوع من التحكم مع كثيرا من المحركات على نطاق واسع في الصناعة. تقليديا ، تم استخدام المحركات التاثيرية مع مغيرات التردد لنظام المسار مفتوح لتطبيقات السرعة الثابتة وأيضا لتطبيقات السرعة

القابلة للتعديل ، وعلى ذلك فان التحكم في التردد أمرًا طبيعيًا. ومن اجل الحصول على أداء جيد يجب أن يكون الجهد متناسبًا مع التردد بحيث يظل تدفق الفيض المغناطيسى للعضو الثابت ثابتًا إذا تم إهمال مقاومتة. ويمكن ملاحظة مكونات التحكم القياسى للنظام المفتوح من خلال الشكل ٤-٦ حيث تتكون دائرة القدرة من مقوم يغذى من مصدر تيار متردد أحادي أو ثلاثي الطور على حسب قدرة المحرك المراد التحكم في سرعته، ومرشح وعاكس مزود بجهد يعمل بطريقة النبضات المعدلة PWM. اما دائرة التحكم فتتكون من مجمع ووحدة كسب مبرمجة و مكامل ومولد موجات.



شكل ٤-٦ التحكم القياسى ذو النظام المفتوح

فكرة عمل هذا النوع من التحكم تعتمد على وضع التردد او السرعة المرغوب فيها يتم ضرب هذه السرعة في معامل الكسب طبقا لمعادلة رياضية لايجاد الجهد المناسب المراد تسليطه على المحرك من خلال العاكس ويضاف الى هذا الجهد الناتج جهد اخر في حدود ١٠٪ من الجهد المقنن وذلك من اجل إدارة المحرك عند السرعات المنخفضة ثم للحصول على الوضع الزاوى بالنسبة لموجة الجهد التي سوف نستنتجها يتم تكامل السرعة المطلوب ان يتحرك بها المحرك من خلال وحدة تكامل ثم يستخدم خرج الجهد الاجمالى مع الموضع المتغير لانتاج شكل الجهد والتردد المراد ان يخرجهما العاكس من خلال وحدة مولد الجهد المرجعى ثم يتم تسليط ذلك الجهد على العاكس الى داخل وحدة النبضات المعدلة الذى يقارن داخل العاكس مع الموجات الحاملة او الموجات المثلثة لانتاج النبضات التي تعمل على تشغيل الستة مفاتيح الكترونية الخاصة بالعاكس لانتاج الجهد الحقيقى وتسليطه على المحرك ليدور بالسرعة المطلوبة. من الناحية المثالية ، ليست هناك حاجة لإشارات

ردود افعال لنظام التحكم هذا. حيث يستخدم نظام النبضات المعدلة PWM للعمل على تشغيل العاكس. وبفحص هذا النوع من التحكم (التحكم القياسى في مسار مفتوح) نجد ظهور بعض المشكلات مثل

• لا يمكن التحكم في سرعة المحرك بدقة ، لأن سرعة العضو الدوار ستكون أقل بقليل من السرعة التزامن، وفي الشكل ٤-٦ نجد ان تردد العضو الثابت وبالتالي السرعة التزامنية هى متغير التحكم الوحيد.

• لا يمكن الحفاظ على سرعة الانزلاق ، كونها الفرق بين السرعة التزامنية وسرعة العضو الدوار ، حيث لم يتم قياس سرعة العضو الدوار في هذا الشكل ٤-٦. يمكن أن يؤدي هذا إلى العمل في المنطقة غير المستقرة من خصائص سرعة عزم الدوران.

• يمكن أن يؤدي تأثير ما سبق إلى جعل تيارات الجزء الثابت تتجاوز التيار المقننة بكمية كبيرة مما يعرض مجموعة المقوم العاكس للخطر.

لذلك يجب التغلب على هذه المشكلات من خلال وجود مسار مغلق ، حيث تتم مقارنة سرعة العضو الدوار الفعلية بقيمتها المرجعية ، ويتم معالجة الخطأ من خلال وحدة تحكم عادةً PI وهى المتحكم التناسبى التكاملى ويتم استخدامه للحصول على أمر سرعة الانزلاق.

حاول بعض الباحثين تحسين أداء التحكم القياسى ذو المسار المفتوح من خلال اشتقاق علاقة اعتمادًا على الدائرة المكافئة للمحرك التاثيرى وعلى سرعة الانزلاق مثل

$$\tilde{V}_s/\omega_e = \tilde{\lambda}_{m_rated}[\frac{R_s}{\omega_e L_m} - \frac{\omega_e L_{ls}}{R_c} + j(1+\frac{L_{ls}}{L_m}+\frac{R_s}{R_c})]^{-1} \quad (9)$$

$$\frac{T_e}{I_s^2} = \frac{3P\omega_{sl}L_m^2 R_r}{R_r^2 + \omega_{sl}^2(L_{lr}+L_m)^2} \quad (11)$$

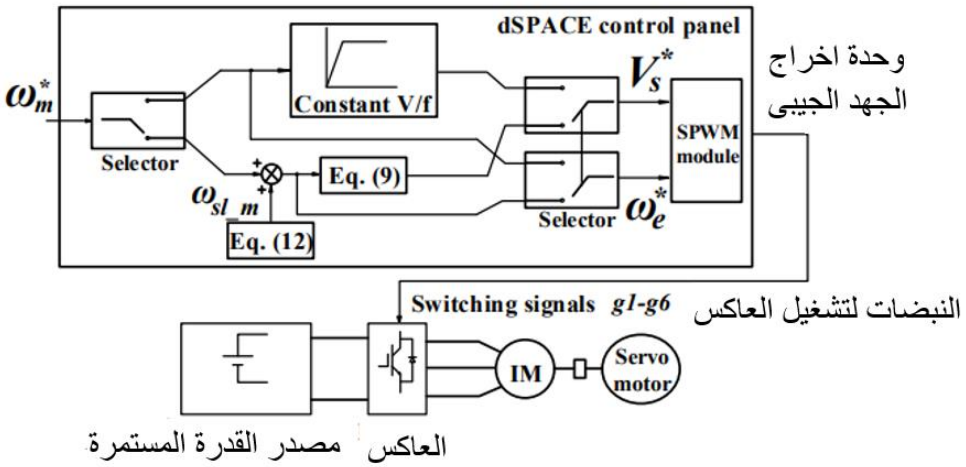
We differentiate the right hand side of eq. (11) with respect slip frequency ω_{sl} and let it equal zero, yielding eq. (12):

$$\omega_{sl_m} = R_r/(L_{lr}+L_m) \quad (12)$$

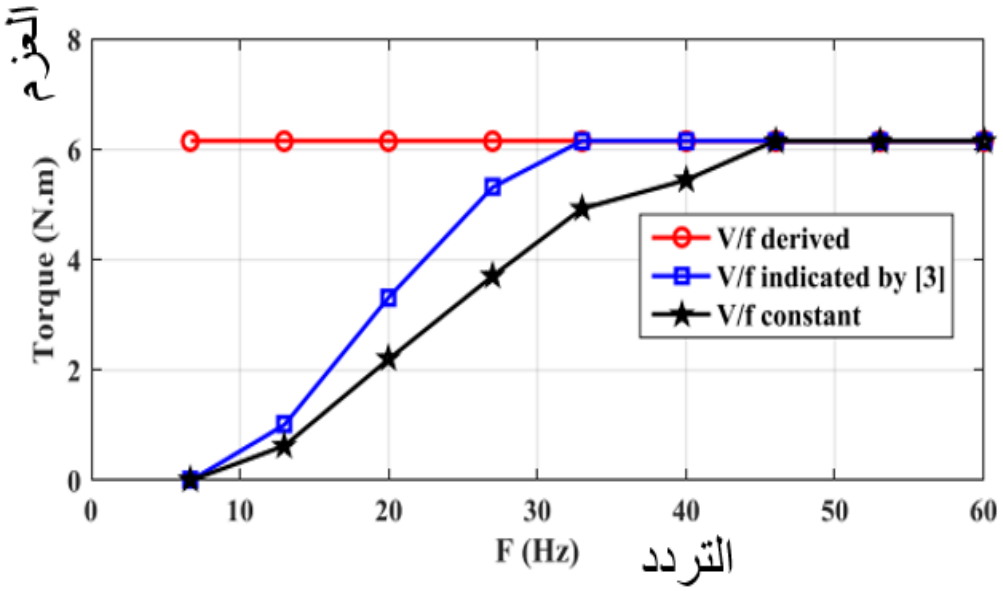
بمساعدة هذه المعادلات يصبح النظام المقترح كما في الشكل ٦-٥

وقد وجدت النتيجة على النحو التالي ؛

مع إجراء مزيد من الاختبارات باستخدام النظام المقترح واعتمادا على المعادلة رقم ٩ والمعادلة رقم ١٢ للحصول على V / f المقترحة وباستخدام التحكم القياسى V / f المشار إليه بواسطة [٣] لعمل المقارنة اللازمة، فإن القدرة على الحفاظ على عزم الدوران المقدر لـ V / f المشار إليه بواسطة [٣] والتحكم القياسى V / f ساءت عند انخفاض الترددات وسيتوقف المحرك عند تردد ٦,٦٧ هرتز اما بالطريقة المقترحة فكان الأداء جيدا. ويمكن رؤية نتائج المقارنة موضحة في الشكل ٦-٦.

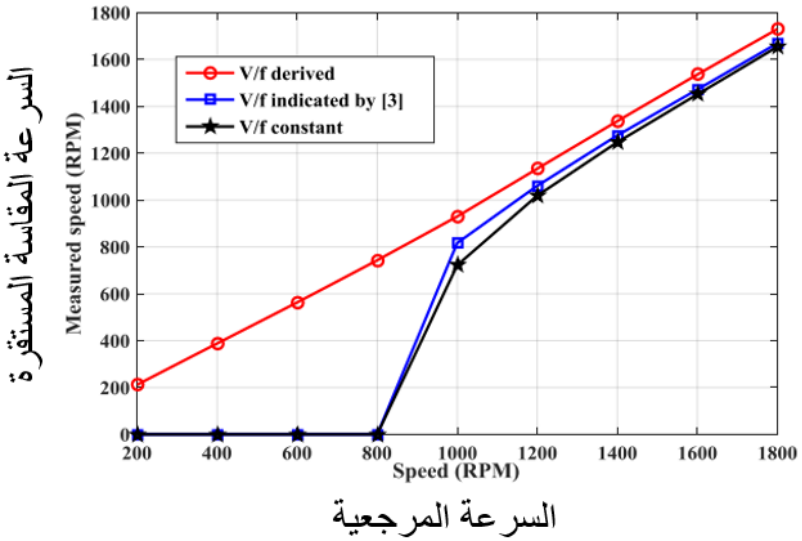


شكل ٦-٥ النظام المقترح لتحسين أداء التحكم القياسى ذو المسار المفتوح



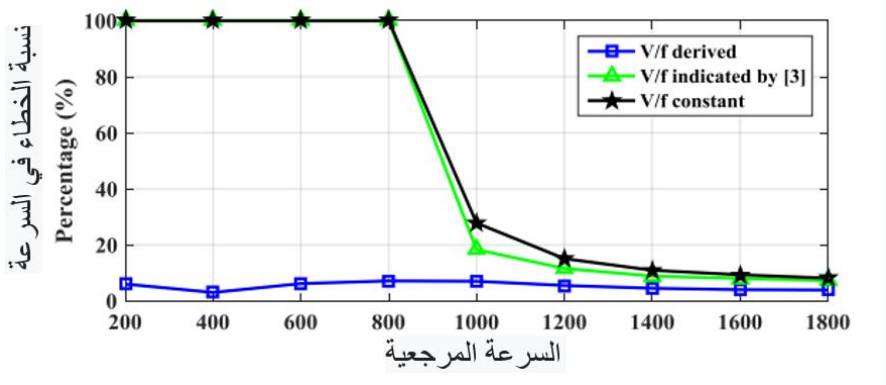
شكل ٦-٦ مقارنة قدرة الأنظمة تحت الدراسة على انتاج العزم المقنن تحت الترددات المختلفة

نتائج المقارنة لأداء سرعة الحالة المستقرة تحت الحمل المقنن مع السرعة المرجعية موضحة في الشكل ٦-٧. لاحظ أن كلاً من الاداء V / f المُشار إليه بواسطة [٣] والأداء باستخدام ثبات النسبة V / f يُظهر أداءً أسوأ لسرعة الحالة المستقرة ، خاصةً عندما يكون أمر السرعة مضبوطًا على أقل من ١٠٠٠ دورة في الدقيقة.



شكل ٦-٧ مقارنة السرعة المستقرة بالسرعة المرجعية للأنظمة تحت الدراسة

يوضح الشكل ٦-٨ النسبة المئوية للخطأ بين امر السرعة والسرعة المقاسة تحت الحمل المقنن للتحكم المقترح V / f مع تعويض الانزلاق مقابل التحكم الثابت V / f والتحكم V / f المشار إليه بواسطة [٣]. يمكن ملاحظة أن التحكم في V / f المقترح مع تعويض الانزلاق يحافظ على أداء سرعة جيد جدًا على النطاق بأكمله. يستمر أداء سرعة الحالة المستقرة لعناصر التحكم الأخرى في التدهور ولم يعد بإمكانهما توفير عزم الدوران المقدر بالسرعة المطلوبة.



شكل ٦-٨ النسبة المئوية للخطأ بين سرعة الأمر والسرعة المقاسة تحت تاثير الحمل الكامل

في التالي من نظام التحكم القياسي ، سيتم شرح موضوع التحكم القياسي للمسار المغلق. ولشرح ذلك سوف يتم استخدام عنصر تحكم الجديد داخل مسارالتحكم القياسى ذو المسار المغلق، وعنصر التحكم هذا هو وحدة التحكم التكامل التناسبي (وحدة التحكم PI) ، لذلك سنوضح أولاً تفاصيل وحدة التحكم التناسبى التكاملى في الجزء التالي.

٦-٢ التحكم التناسبى التكاملى (PI controller):

وسائل التحكم مثل التحكم التناسبى P والتحكم التناسبى التكاملى PI والتحكم التفاضلى PD والتحكم التناسبى التكاملى التفاضلى PID تعتبر من أنواع التحكم التقليدية التي يجب على من يقوم بتصممها أن يتعرف على النموذجً الرياضى للعملية التي من أجلها سوف يقوم بتصميم اى من وحدات التحكم هذه. توضح التجربة العملية أن هذا النوع من التحكم منتشر انتشارا كبيرا في الصناعة لأنه بسيط ويعتمد على ثلاثة أنواع أساسية من السلوك: السلوك النسبي (P) والسلوك التكاملى (I) وسلوك المشتقة او السلوك التفاضلى (D). ولذلك وبدلاً من استخدام عدد صغير من وحدات التحكم المعقدة، يتم استخدام عدد أكبر من وحدات تحكم PID البسيطة للتحكم في العمليات الصناعية بقدة كبيرة حساسية عالية من أجل أتمتة عملية معينة أكثر تعقيدًا.

٦-٢-١ التحكم التناسبى:

يستخدم هذا النوع من أنواع التحكم (التحكم النسبي) في الغالب في عمليات صناعية يمكن تمثيلها بمعادلات من الدرجة الأولى مثل عملية تخزين طاقة كهربية او مغنطيسية في ملف او مكثف لدراسة هذه العملية ولتحقيق الاستقرار فيها عندما تكون هذه العملية غير مستقرة. الوظيفة الرئيسية لوحدة التحكم التناسبية هو تقليل خطأ الحالة المستقرة للنظام. بزيادة عامل الكسب النسبي Kp ، والعمل على خفض خطأ الحالة المستقرة للنظام. ومع ذلك ، على الرغم من الخفض في مقدار الخطاء، الا انه لا يمكن للتحكم التناسبي أبدًا التخلص من حالة الخطاء المستقرة للنظام. نظرًا لأننا نزيد الكسب النسبي، فإن هذا يوفر سعة خطاء أصغر وهامش طور اقل، وديناميكيات أسرع تلبي نطاق ترددى أوسع وحساسية أكبر للضوضاء. لا يمكننا استخدام وحدة التحكم هذه إلا عندما يكون نظامنا يعطى ناتجا مقبولاً لخطأ ثابتا في حالة الاستقرار. بالإضافة إلى ذلك، يمكن بسهولة استنتاج أن تطبيق وحدة التحكم التناسبية يقلل من وقت الصعود وهو الوقت الذى يرتفع فية ناتج العملية مابين ١٠٪ الى ٩٠٪ من القيمة المرغوب فيها، تؤدي زيادة Kp فقط إلى تجاوز استجابة النظام. كما يؤدي التحكم النسبي أيضًا إلى حدوث تذبذب عنيفا بدرجة كافية في وجود فترات تأخير و / أو فترات تقديم داخل نظام التحكم. وعلى ذلك

فانه كلما زاد التأخر للعمليات التي يمكن وصفها بمعادلات تفاضلية ذات الرتب الأعلى ، زادت المشكلة التي تؤدي إليها. بالإضافة إلى أنه تقوم بعمل تضخم للتشوه والضوضاء للعملية التي نحن بصددها بشكل مباشر.

يمكن كتابة وحدة التحكم النسبية بالشكل التالي

$$p(t) = k_p e(t) \qquad 6.1$$

حيث k_p يمثل الحاكم التناسبى و $e(t)$ يمثل مقدار الخطاء

من خلال دراسة المعادلة. ٦,١ يتضح أن إشارة التحكم تتناسب مع الخطأ وهذا يمكن توضيحه من الشكل ٦-٩ حيث يكون ميل الخط متناسبا مع التحكم (k_p). يمكن تمثيل هذا النوع من التحكم كما هو موضح في الشكل ٦-١٠. يمكن كتابة دالة النقل لوحدة التحكم هذه عن طريق إجراء تحويل لابلاس للمكافئ للمعادلة ٦,١

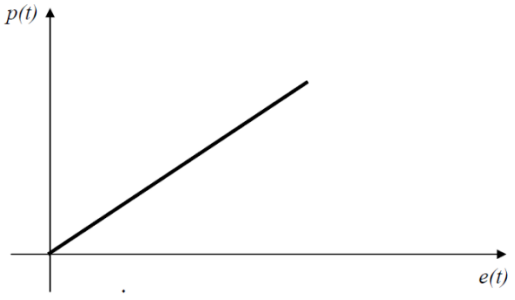
$$P(S) = k_p E(S) \qquad 6.2$$

ومن المعادلة السابقة يمكن وضع دالة النقل على الشكل التالى

$$G_C(s) = \frac{P(S)}{E(S)} = k_p \qquad 6.3$$

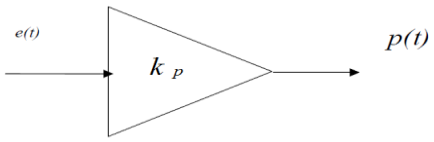
بعض الدوائر الالكترونية يمكن استخدامها لتحقيق التحكم التناسبى كما بالشكل ٦-١١ ومن استخدام الحسابات للدائرة الالكترونية يمكن استنتاج قيمة المعامل التناسبى كما يتضح من المعادلة ٦,٤

$$k_p = \frac{R2}{R1} \qquad 6.4$$

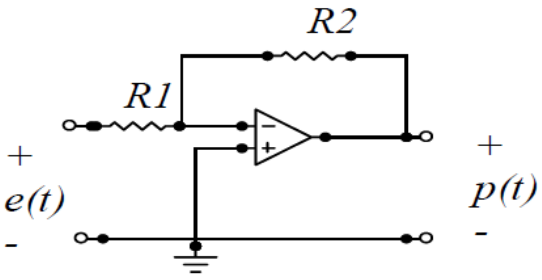


شكل ٦-٩ إشارة التحكم التناسبى مع الخطاء

ويمتاز هذا التحكم بانه بسيط وسريع الاستجابة ومن اهم عيوبه انه لا يلاشى الخطاء



شكل ٦-١٠ تمثيل الحاكم التناسبى

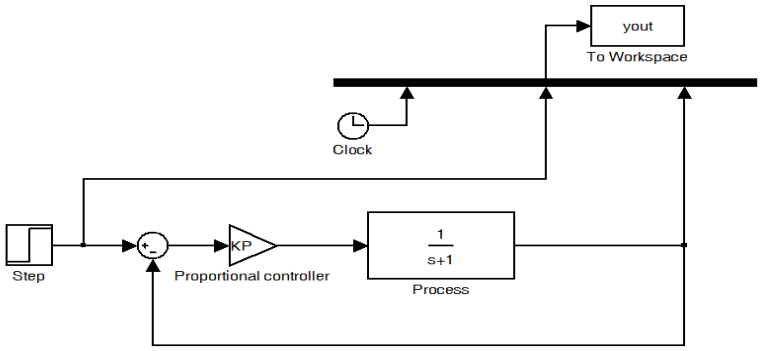


شكل ٦-١١ الدائرة الالكترونية التي يمكن بها تحقيق الحاكم التناسبى

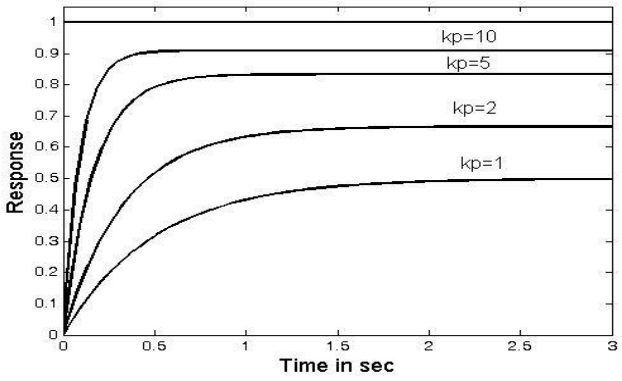
٦-٢-١-١ محاكاة التحكم التناسبى لاستنتاج خصائصه:

من أجل ملاحظة التأثيرات الأساسية الموضحة سابقا للمكاسب التناسبية لاستجابة النظام ، تابع عمليات المحاكاة التالية المعدة على برنامج الماتلاب في وقت مستمر مع دالة النقل $\frac{1}{s+1}$ حيث كانت دالة الادخال هي دالة خطوة مقدارها الوحدة. يظهر هذا النظام في الشكل ٦-١٢ بالتفصيل. يمكن رؤية نتائج طرق الضبط في الشكل ٦-١٣ حيث يوضح استجابة النظام لتغير معامل وحدة التحكم التناسبية حيث وجد ان ؛

١. عن طريق زيادة معامل التحكم التناسبى ؛ يتناقص مقدار الخطأ في الحالة المستقرة ويقل وقت الارتفاع ولا يصل الى الخطاء الصفرى.



شكل ٦-١٢ محاكاة الحاكم التناسبى مع عملية صناعية تم تمثيلها بمعادلة تفاضلية من الدرجة الأولى



شكل ٦-١٣ نتائج المحاكاة مع توليف معامل كسب التحكم التناسبى لتقليل الخطاء

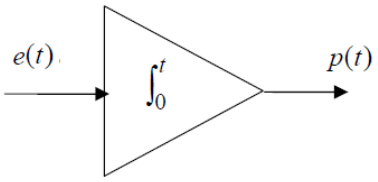
٦-٢-٢ الحاكم التكاملى:

خرج الحاكم التكاملى لاشارة $p(t)$ يمكن الحصول عليه من ناتج تكامل الخطاء $e(t)$ ويمكن التعبير عنه كالتالى:-

$$p(t) = k_I \int_0^t e(t)dt \qquad 6.5$$

حيث k_I هو كسب التكامل

هذا الحاكم التكاملى يمكن تمثيله كما بالشكل ٦-١٤ حيث الدخل هو الخطاء $e(t)$ والخرج هو $p(t)$



شكل ٦-١٤ تمثيل الحاكم التكاملى

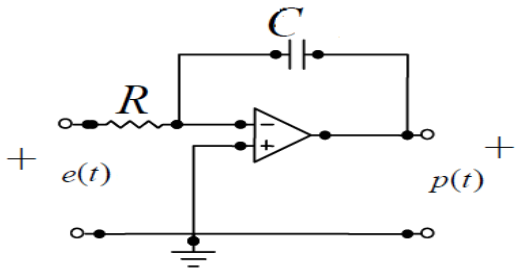
وبتطبيق لابلاس على المعادلة ٦,٥ نحصل على دالة النقل للحاكم التكاملى كالتالى

$$P(s) = \frac{k_I E(s)}{s} \qquad 6.6$$

وعلى هذا يمكن كتابة دالة النقل كما يلى

$$G_C(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = \frac{k_I}{s} \qquad 6.7$$

توجد بعض الدوائر الالكترونية يمكن من خلالها تمثيل الحاكم التكاملى وابسط أنواع هذه الدوائر يمكن رؤيتها بالشكل ٦-١٥



شكل ٦-١٥ الدائرة الالكترونية الممثلة للحاكم التكاملى

ومن خلال الدائرة الالكترونية الممثلة للحاكم التكاملى والموجودة بالشكل ٦-١٥ يمكن كتابة دالة النقل لها كالتالى:-

$$G_C(s) = \frac{k_I}{s} = \frac{1}{RCs} \qquad 6.8$$

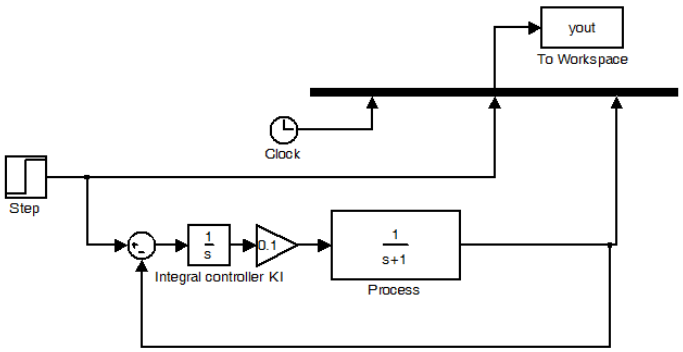
يوفر المكون المتكامل لوحدة التحكم هذه إشارة بناءً على مدة استمرار الخطأ. يعمل على منع استمرار الخطأ عن طريق زيادة إشارة التحكم مع مرور الوقت. يساعد هذا في تقليل حالة الخطاء المستقرة ، وفي بعض الحالات ، اعتمادًا على نوع النظام ونوع الإشارة المرجعية ، يزيله. لا يتم استخدام التحكم المتكامل فقط عادةً، ولكنها أكثر فعالية من التحكم النسبي للقضاء على حالة الخطاء المستقرة في استجابة الخطوة لنظام من الدرجة الأولى. بالنسبة للنظام من الدرجة الثانية ، يؤدي استخدام التحكم المتكامل إلى نظام ترتيب ثالث يمكن أن يؤدي ، وفقًا لمعايير النظام ، إلى تذبذبات غير مستقرة.

٦-٢-٢-١ محاكاة الحاكم التكاملى اظهار نتائجه:

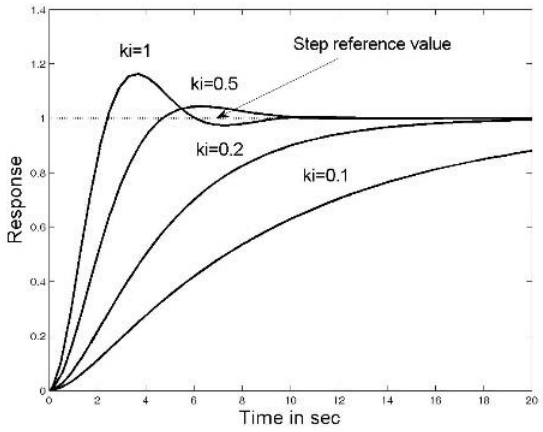
من أجل ملاحظة التأثيرات الأساسية الموضحة سابقا للمكاسب التكاملية لاستجابة النظام ، راجع عمليات المحاكاة التالية المعدة على برنامج الماتلاب في وقت مستمر مع دالة النقل $\frac{1}{s+1}$ وإدخال دالة خطوة الوحدة. يظهر هذا النظام في الشكل ٦-١٦ بالتفصيل.

ستؤدي نتائج اعادة الضبط كما يوضح الشكل ٦-١٧ لاستجابة النظام بوحدة التحكم التكاملية حيث وجد ان

١. عن طريق زيادة التحكم التكاملى؛ يتناقص الخطاء في الحالة المستقرة ويقل وقت الارتفاع. مع زيادة وحدة التحكم التكاملى ، ويصل خطأ الحالة الثابتة النهائي إلى الصفر.



شكل ٦-١٦ محاكاة الحاكم التكاملى



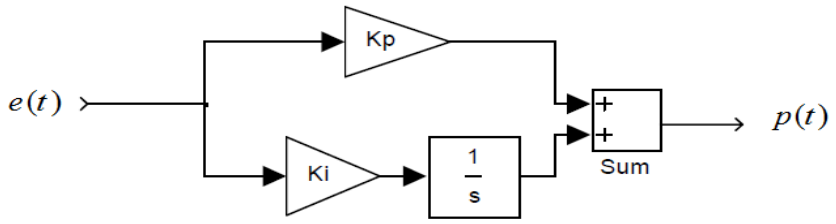
شكل ٦-١٧ نتائج توليف الحاكم التكاملى

٦-٢-٣ الحاكم التناسبى التكاملى:

الحاكم التناسبى التكاملى عبارة عن اتحاد الحاكم التناسبى مع الحاكم التكاملى ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$p(t) = k_p \cdot e(t) + k_I \int_0^t e(t)dt \qquad 6.9$$

هذا النوع من أنواع الحاكمات يمكن تمثيله كما بالشكل ٦-١٨



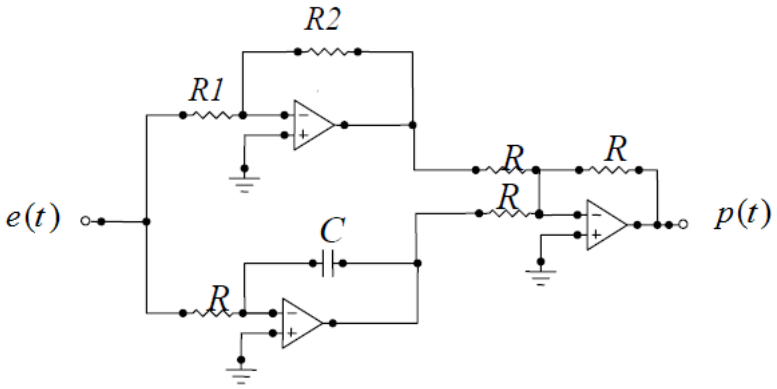
شكل ٦-١٨ تمثيل الحاكم التناسبى التكاملى

ويمكن الحصول على دالة النقل الخاصة به من خلال تطبيق طريقة لابلاس على المعادلة السابقة حيث نجد ان

$$P(s) = k_p \cdot E(s) + k_I \cdot \frac{E(s)}{s}$$

$$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_I}{s} \qquad 6.10$$

هذا النوع يمكن تمثيله بالدائرة الالكترونية الموضحة بالشكل ٦-١٩



شكل ٦-١٩ الدائرة الالكترونية الممثلة للحاكم التناسبى التكاملى

وكما تحدثنا سابقا فان $k_p = \frac{R2}{R1}; \quad k_I = \frac{1}{RC}$

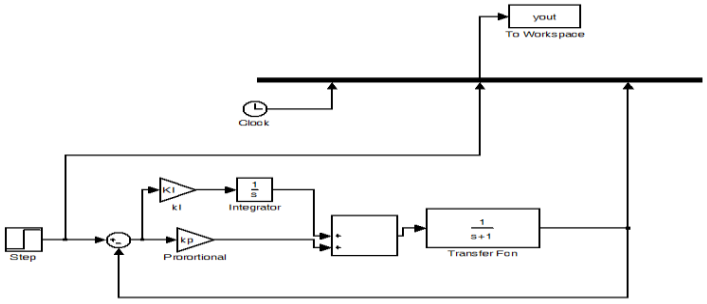
وبدراسة الحاكم التناسبى التكاملى يتضح انه يجمع ما بين مميزات الحاكم التناسبى والحاكم التكاملى اى أنه يزيل الخطأ الموجود فى الحالة المستقرة لدائرة الخطوة ويسمح بمزيد من التحكم في الاستجابة العابرة (مقارنة

بالتحكم التناسبي أو التحكم التكاملى فقط) لأنه يمكن تغيير كل من نسبة الاخماد والتردد الطبيعي باستخدام المكاسب. على سبيل المثال ، أصبح من الممكن الآن تقليل وقت الارتفاع والحد الأقصى للتجاوز في نفس الوقت.

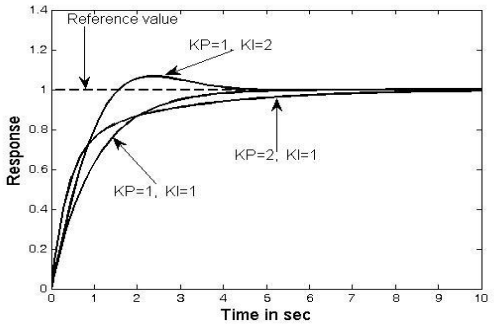
٦-٢-٣-١ محاكاة الحاكم التناسبى التكاملى:

من أجل ملاحظة التأثيرات الأساسية الموضحة أعلاه للمكاسب التكاملية التناسبية لاستجابة النظام ، راجع عمليات المحاكاة أدناه المعدة على برنامج الماتلاب في وقت مستمر مع دالة النقل ودالة الادخال وهى إدخال خطوة الوحدة. يظهر هذا النظام في الشكل ٦-٢٠ بالتفصيل. ستؤدي النتائج إلى الضبط. يوضح الشكل ٦-٢١ استجابة النظام بوحدة تحكم تكامل نسبي مختلفة حيث وجد ان ؛

يستخدم جهاز التحكم P-I (وحدة تحكم التكاملى التناسبي) بشكل أساسي للقضاء على خطأ الحالة المستقرة الناتج عن جهاز التحكم P (التناسبي). ومع ذلك ، من حيث سرعة الاستجابة والاستقرار العام للنظام ، ان لها تأثير سلبي. يتم استخدام وحدة التحكم هذه في الغالب في المناطق التي لا تمثل فيها سرعة النظام مشكلة. نظرًا لأن جهاز التحكم P-I ليس لديه القدرة على التنبؤ بالأخطاء المستقبلية للنظام ، فإنه لا يمكنه تقليل وقت الارتفاع وإزالة التذبذبات. إذا تم تطبيقه ، فإن أي مقدار من I (المُدمج) الذى يضمن تجاوز نقطة التحديد.



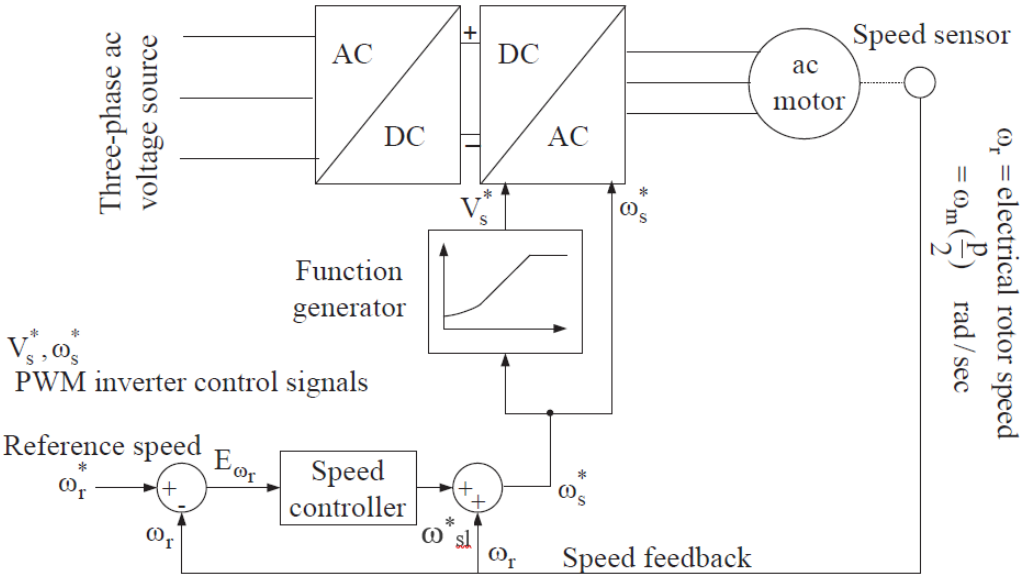
شكل ٦-٢٠ محاكاة التحكم التناسبى التكاملى



شكل ٦-٢١ نتائج محاكاة التحكم التناسبى التكاملى

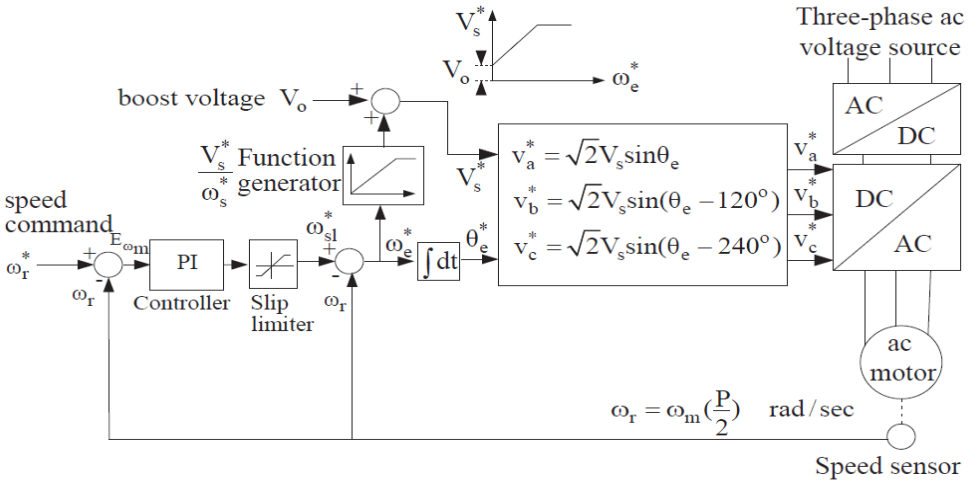
٦-٣ التحكم القياسى من خلال المسار المغلق:

يظهر الشكل ٦-٢٢ التحكم في السرعة للمحركات التاثيرية باستخدام التحكم القياسى ذو المسار المغلق. في هذه الطريقة يتم مقارنة السرعة المرجعية مع السرعة المقاسة بواسطة مستشعر السرعة والخطاء بين السرعتين يتم إدخاله الى المتحكم التناسبى التكاملى PI الذى يعمل بمثابة منظم الانزلاق. والغرض من استخدام التحكم PI الحصول على دقة ثابتة جيدة ، ولتخفيف الضوضاء. يضبط منظم الانزلاق حسب أمر سرعة الانزلاق ω^*_{sl}، الذي تقتصر قيمته القصوى على الحد من تيار العاكس إلى القيمة المسموح بها. تحدد السرعة التزامنية ، التي يتم الحصول عليها عن طريق إضافة السرعة الفعلية ω_r وسرعة الانزلاق ω^*_{sl} وذلك من اجل الحصول على تردد العاكس. ويتم توليد الجهد المرجعى V_s^* من خلال مولد الجهد. ويتم من خلال ذلك إضافة جهد متناسب مع التردد من الحصول على كثافة فيض مغناطيسى ثابت في الثغرة الهوائية ويتم ذلك حتى السرعة المقننة. اما في الترددات العليا فانه نظرا لان الجهد قد وصل الى القيمة المقننة التي لا يمكن زيادة الجهد عنها فان التردد يزداد وبالتالي يتناقص العزم نظرا لخفض المجال المغناطيسى الذى يتناسب عكسيا مع السرعة عند ثبات الجهد كما يمكن ملاحظة انه لتوليد النبضات التي تستخدم لادارة العاكس فان إشارة الجهد المرجعى المولد من خلال وحدة توليد الجهد مع التردد يتم ادخالهم الى العاكس ليتم الحصول إشارات جهد جيبية تقارن من خلال مولد الموجات الحاملة وبذلك يتم تشغيل المفاتيح الالكترونية للعاكس التي تنتج بذلك جهد يسلط على المحرك لادارته.



شكل ٦-٢٢ التحكم القياسى ذو المسار المغلق

يعمل هذا النظام بطريقة جيدة في الترددات المتوسطة والترددات المرتفعة اما مع الترددات المنخفضة فان الجهد المتناسب مع التردد لايستطيع المحافظة ثبات المجال المغناطيسى بسبب الجهد المفقود على مقاومة العضو الثابت وللتغلب على هذه المشكلة لابد من إضافة جهد داعم (boost voltage) ويمكن حساب ذلك الجهد من العلاقة $V_s = V_o + K\omega_s$ ويمكن رؤية ذلك كما بالشكل ٦-٢٣



شكل ٦-٢٣ التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع استخدام الجهد الداعم للترددات المختلفة

٦-٤ قيادة المحرك التاثيرى باستخدام النبضات المعدلة لتوليد الموجات الجيبية باستخدام التحكم القياسى:

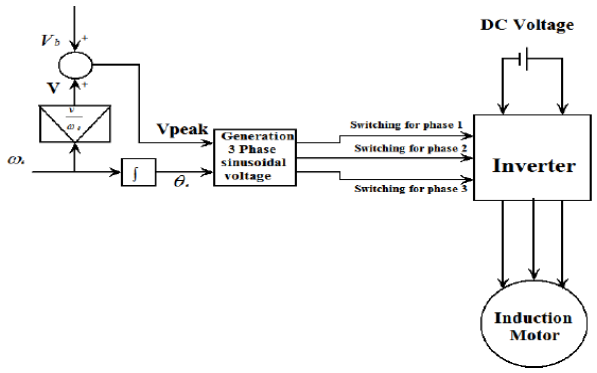
في هذه الجزء تم مقارنة بعض الحالات الخاصة بالتحكم القياسى لاظهار مميزات وعيوب كل حالة ويمكن حصر هذه الحالات في التالى:-

١- التحكم القياسى ذو المسار المفتوح مع دعم الجهد للتغلب على مشكلة العمل تحت التردد المنخفض (الحالة الاولى)

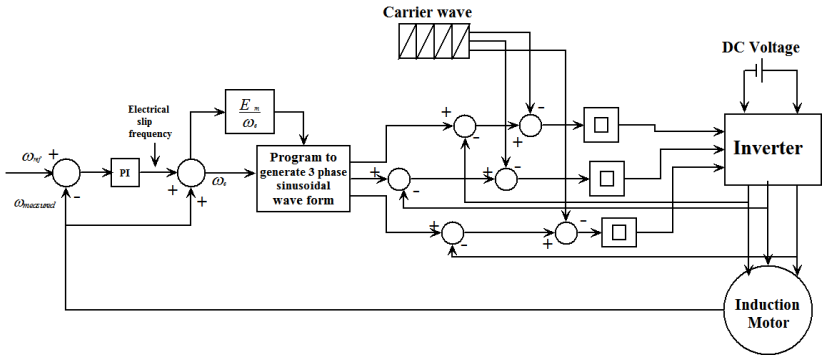
٢- التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع دعم الجهد للتغلب على مشكلة العمل تحت التردد المنخفض (الحالة الثانية)

٣- التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع دعم الجهد للتغلب على مشكلة العمل تحت التردد المنخفض واضافة وحدات تحكم تناسبى تكاملى لتحسين تموجات عزم الدوران وتحسين التشوه في التيار (الحالة الثالثة)

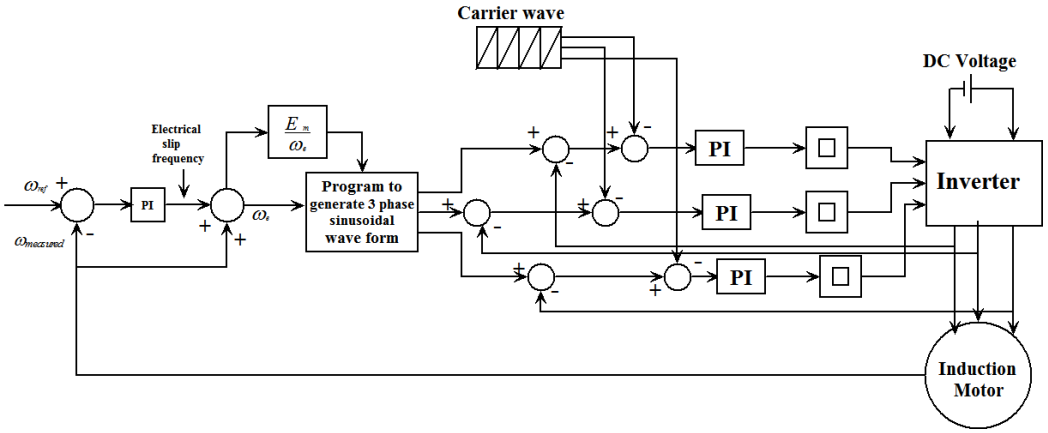
يمكن رؤية الحالة الأولى في الشكل ٦-٢٤ ويمكن رؤية الحالة الثانية في الشكل ٦-٢٥ و يمكن رؤية الحالة الثالثة في الشكل ٦-٢٦



الشكل ٦-٢٤ التحكم القياسى ذو المسار المفتوح مع دعم الجهد



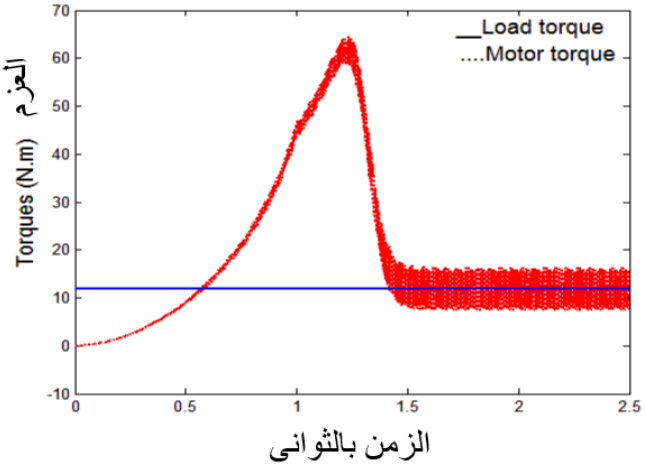
الشكل ٦-٢٥ التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع دعم الجهد



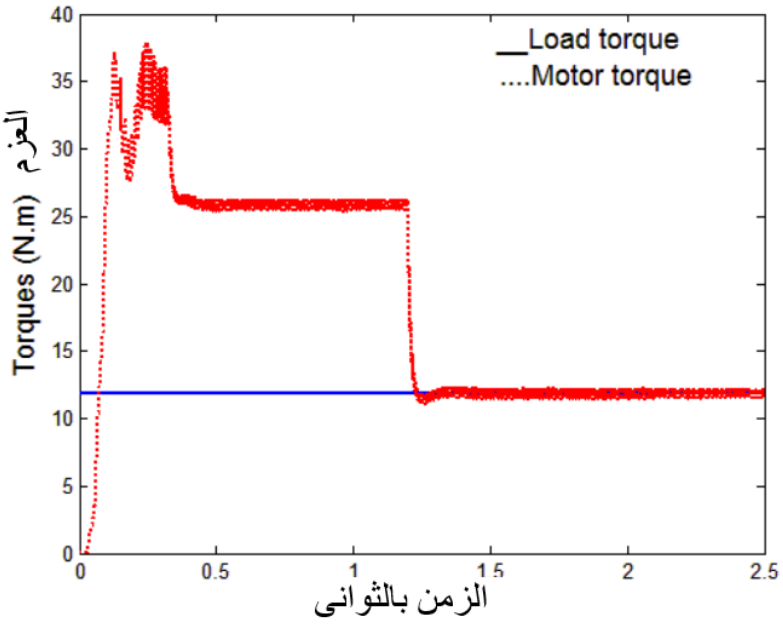
الشكل ٦-٢٦ التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع دعم الجهد واضافة التحكم التناسبى التكاملى لتحسين تموجات العزم وتشوهات التيار

من خلال دراسة خصائص أداء المحرك التاثيرى ثلاثي الطور تحت طرق التحكم المختلفة (التحكم القياسى ذو المسار المفتوح ، القياسى ذو المسار المغلق ، التحكم القياسى ذو المسار المغلق مع وحدة الحاكم التناسبى

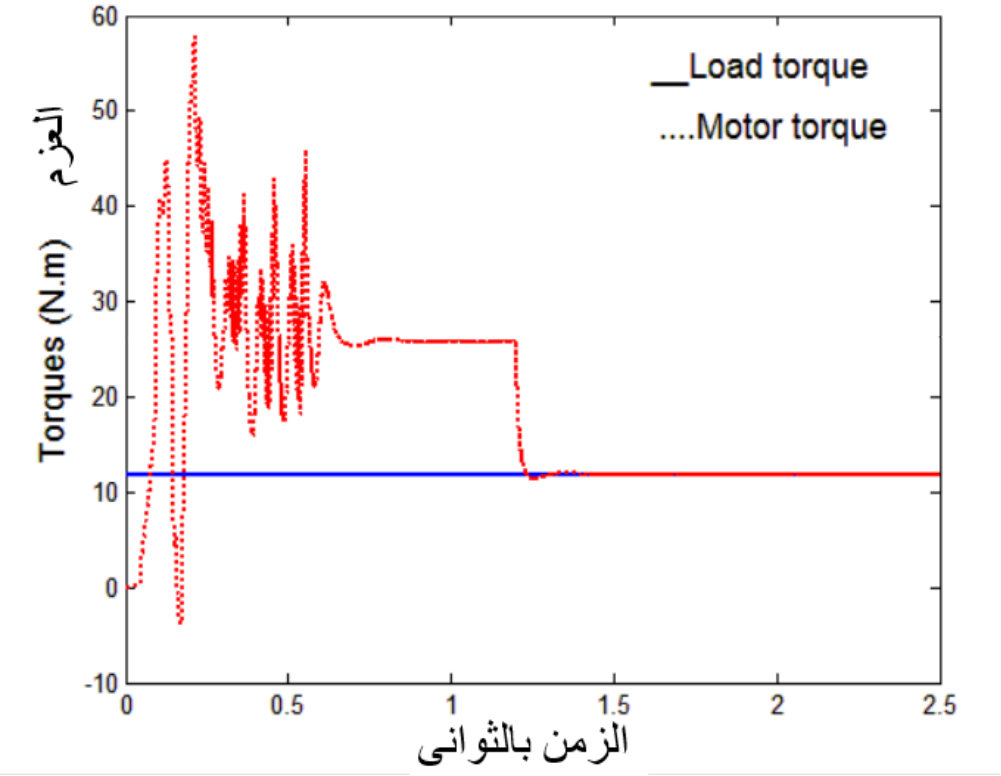
التكاملى PI لتحسين تموجات العزم وتشوه التيار). تبين ان؛ مع نظام التحكم القياسى ذو المسار المفتوح ، فإن عزم دوران المحرك مشوه لدرجة كبيرة ويحتوى على تموجات عزم مرتفعة. يمكن ملاحظة ذلك في الشكل ٦-٢٧. مع التحكم القياسى ذو المسار المغلق ، يصبح عزم دوران المحرك ذو تشوه منخفض وتموجات منخفضة إذا تمت مقارنته بنفس المحرك للتحكم في المسار المفتوح (الشكل ٦-٢٧) ويمكن رؤية ذلك في الشكل ٦-٢٨. يصبح عزم دوران المحرك ذو تشوه وتموجات منخفضة اقل كثيرا مع التحكم القياسى ذي المسار المغلق فى وحدة التحكم في التيار PI إذا ما قورنت بالحالات السابقة ويمكن رؤية ذلك في الشكل ٦-٢٩.



شكل ٦-٢٧ عزم دوران المحرك مقابل عزم دوران الحمل باستخدام التحكم العددي ذو المسار المفتوح

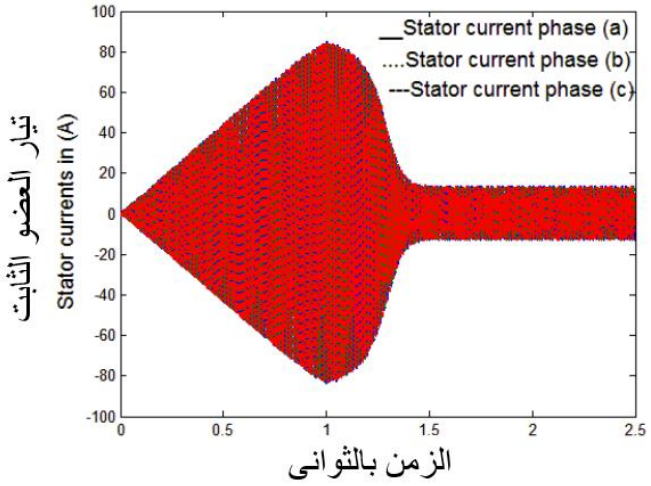


شكل ٦-٢٨ عزم دوران المحرك مقابل عزم دوران الحمل باستخدام التحكم العددي ذو المسار المغلق

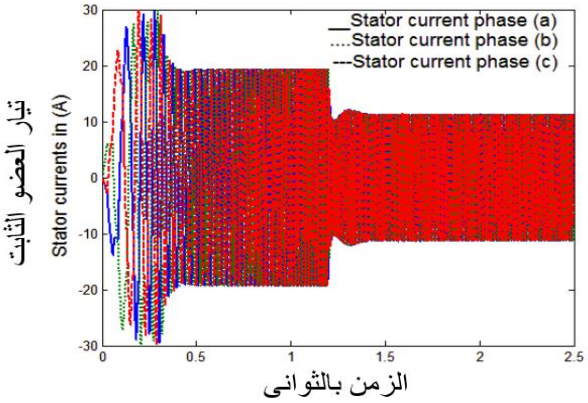


الشكل ٦-٢٩ عزم دوران المحرك مقابل عزم دوران الحمل باستخدام التحكم العددي الحالي لوحدة التحكم PI ذات الحلقة المغلقة

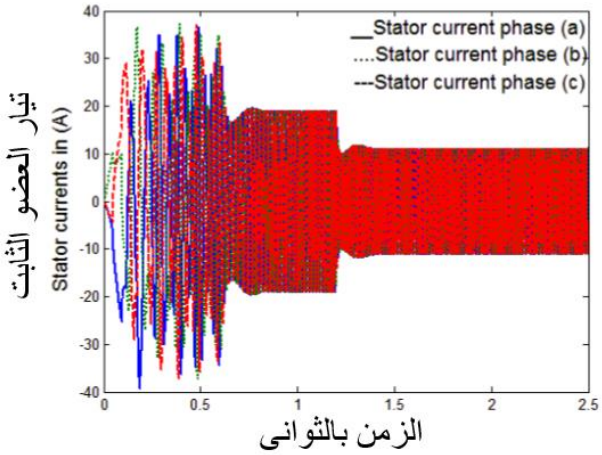
مع نظام التحكم في المسار المفتوح ، يظهر تيار المحرك في الشكل ٦-٣٠. يتزايد ذلك التيار تدريجياً ويصل إلى القيمة المقدرة عندما يصل عزم دوران المحرك وسرعة المحرك إلى عزم دوران حمل المحرك وسرعة المحرك المرجعية. أيضا ، التيار العضو الثابت يحتوى على تشوه كبير. يوضح الشكل ٦-٣١ تيار المحرك عندما يبدأ المحرك بالحمل مع التحكم القياسى ذي المسار المغلق ، ويتضح فى ذلك النوع من أنواع التحكم ان تيار العضو الثابت انخفض تشوهه مع استخدام ذلك النوع من التحكم اذا ما قورن بنفس تيار العضو الثابت للتحكم القياسي في المسار المفتوح (الشكل ٦-٣٠). وتلاحظ انخفاض التشوه بشكل ملحوظ فى تيار العضو الثابت مع التحكم القياسى ذو المسار المغلق نظرا لاستخدام وحدة الحاكم التناسبى التكاملى PI إذا ما قورنت بالحالات السابقة ويمكن رؤية ذلك في الشكل ٦-٣٢.



الشكل ٦-٣٠ تيار العضو الثابت باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمفتوح

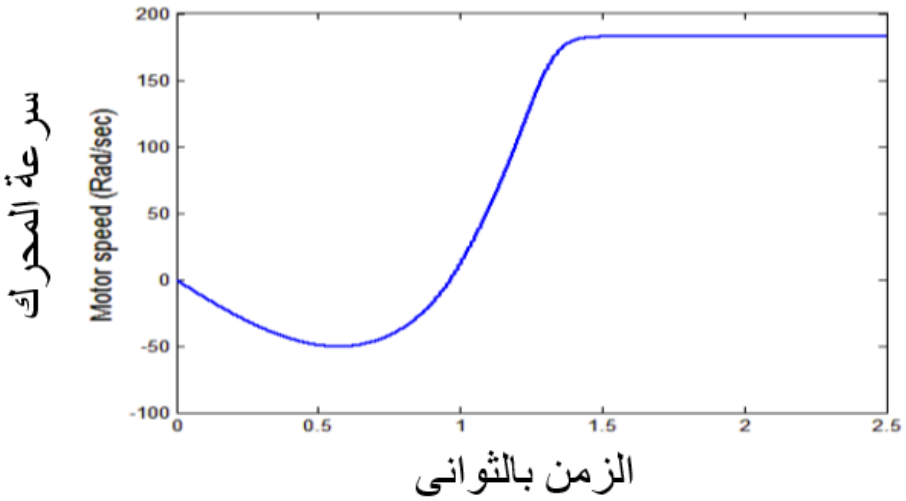


الشكل ٦-٣١ تيار العضو الثابت باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمغلق

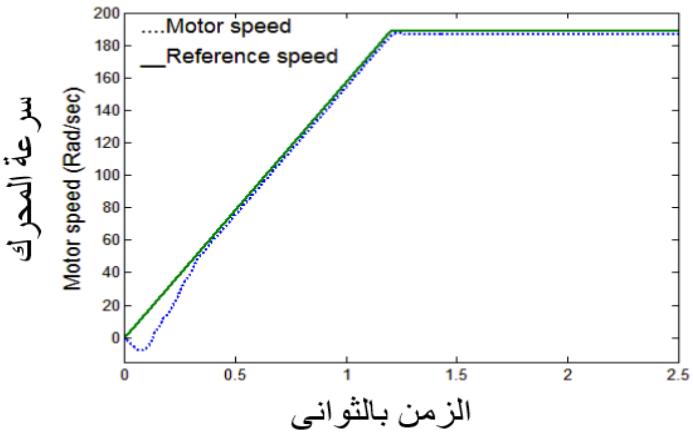


الشكل ٦-٣٢ تيار العضو الثابت باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمغلق مع الحاكم التناسبى التكاملى

نتيجة لتطبيق الجهد من الصفر والزيادة التدريجية في قيمته وجد أن سرعة المحرك تبدأ بالاتجاه السالب اى المحرك في البداية يعمل كانه مولد بعد ذلك فان السرعة تزداد في الاتجاه الموجب وتصل إلى القيمة المقننة عند ١,٥ ثانية كما هو موضح في الشكل ٦-٣٣. وايضا يوضح الشكل ٦-٣٤ سرعة المحرك مقابل السرعة المرجعية مع التحكم القياسي ذي المسار المغلق. عند المقارنة بين سرعة المحرك في هذه الحالة مع نفس حالة سرعة المحرك في التحكم القياسي في المسار المفتوح ، وجد أن ؛ تكون السرعة السالبة عند البدء منخفضة جدًا إذا ما قورنت بالشكل ٦-٣٣ في حالة التحكم القياسي في المسار المفتوح ، كما تصل سرعة المحرك إلى الحمل المقنن بشكل أسرع من التحكم القياسي في المسار المفتوح.

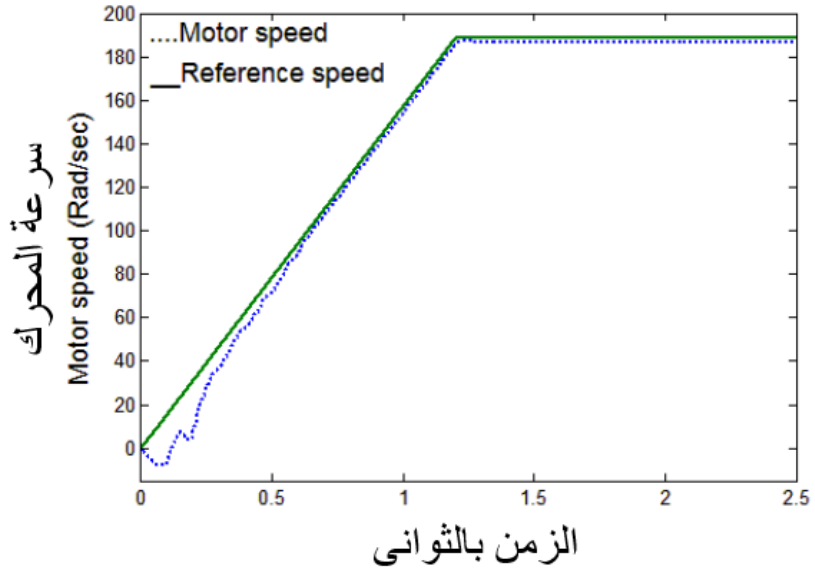


شكل ٦-٣٣ سرعة المحرك باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمفتوح



شكل ٦-٣٤ سرعة المحرك باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمغلق

يوضح الشكل ٦-٣٥ سرعة المحرك مقابل السرعة المرجعية مع التحكم القياسى ذو المسار المغلق ووحدة الحاكم التناسبى التكاملى PI تشبه هذه الحالة الحالة الأخيرة (التحكم القياسى ذو الحلقة المغلقة).

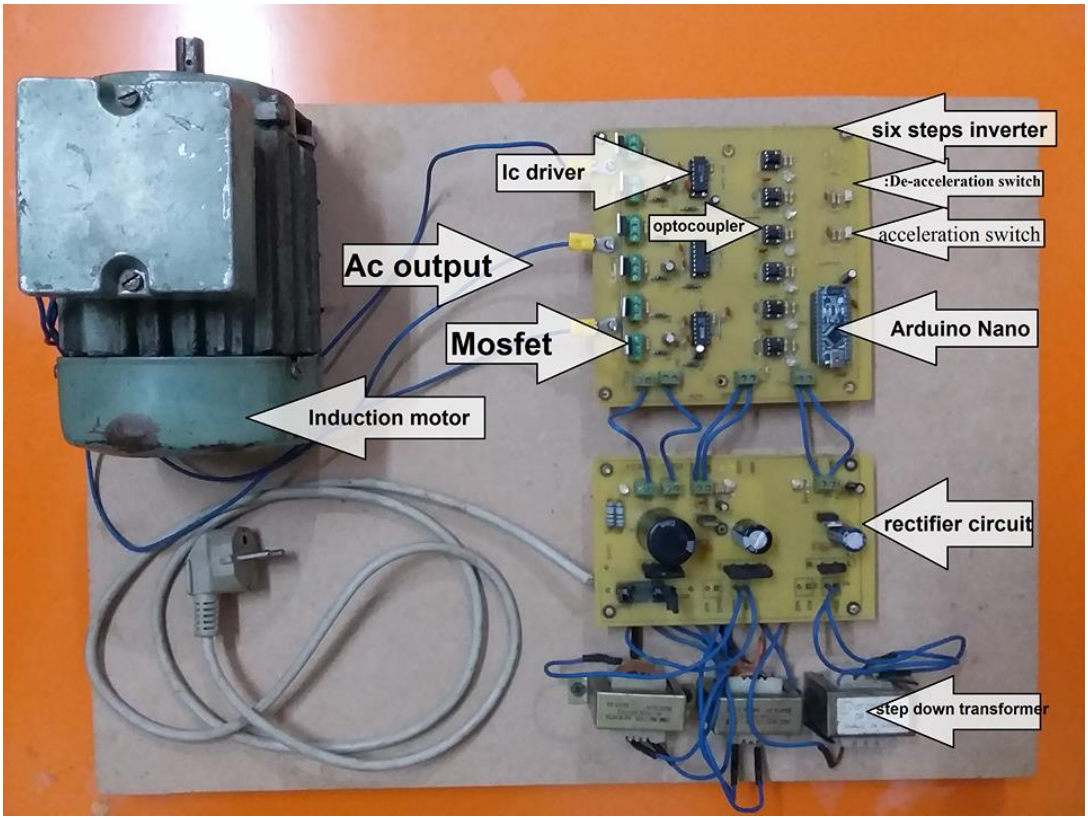


شكل ٦-٣٥ سرعة المحرك باستخدام التحكم القياسى ذو المسارالمغلق

الفصل السابع

تصميم وتشغيل دوائر التحكم القياسى ذو المسار المفتوح للتحكم في المحركات التاثيرية

يناقش هذا الفصل تكوين الأجهزة والبرامج والنتائج التجريبية المستخدمة لعمل تحكم قياسى ذو مسار مفتوح للتحكم بسرعة المحركات التاثيرية. يمكن رؤية الأجهزة التي صممت للقيام بذلك بشكل عام في الشكل ٧-١.



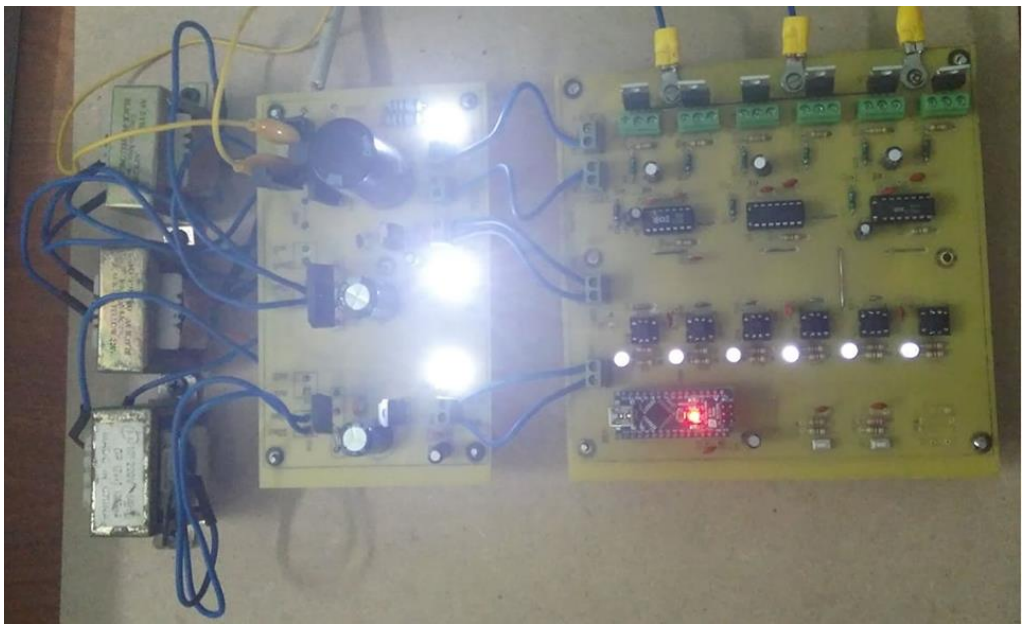
شكل ٧-١ الدائرة الكاملة للتحكم القياسى

يمكن رؤية الدوائر الإلكترونية الكلية لهذا المشروع في الشكل ٧-٢. يمكن تصنيف مكونات الأجهزة المستخدمة في هذا المشروع إلى ثلاث وحدات رئيسية. هذه الوحدات

١. المحرك التاثيرى ثلاثى الطور. يمكن رؤية هذا المحرك في الشكل ٧-٣.
٢. الدوائر المطبوعة التي تتضمن مجموعة المقومات. تستخدم هذه المقومات كدوائر لتوفير الطاقة لكلا من دوائر التحكم المختلفة الخاصة بالمشروع ودائرة تحكم بالعاكس ذو الست خطوات. وتُستخدم هذه

الدائرة للتحكم في المحرك عن طريق دائرة العاكس ، ودائرة optocoupler ، ودائرة Arduino ، ووذلك لتوفير الطاقة بمعدلات مختلفة لهذه الدوائر على حسب ظروف تشغيلها. يمكن ويمكن روية تلك الدائرة المطبوعة بالشكل ٧-٤.

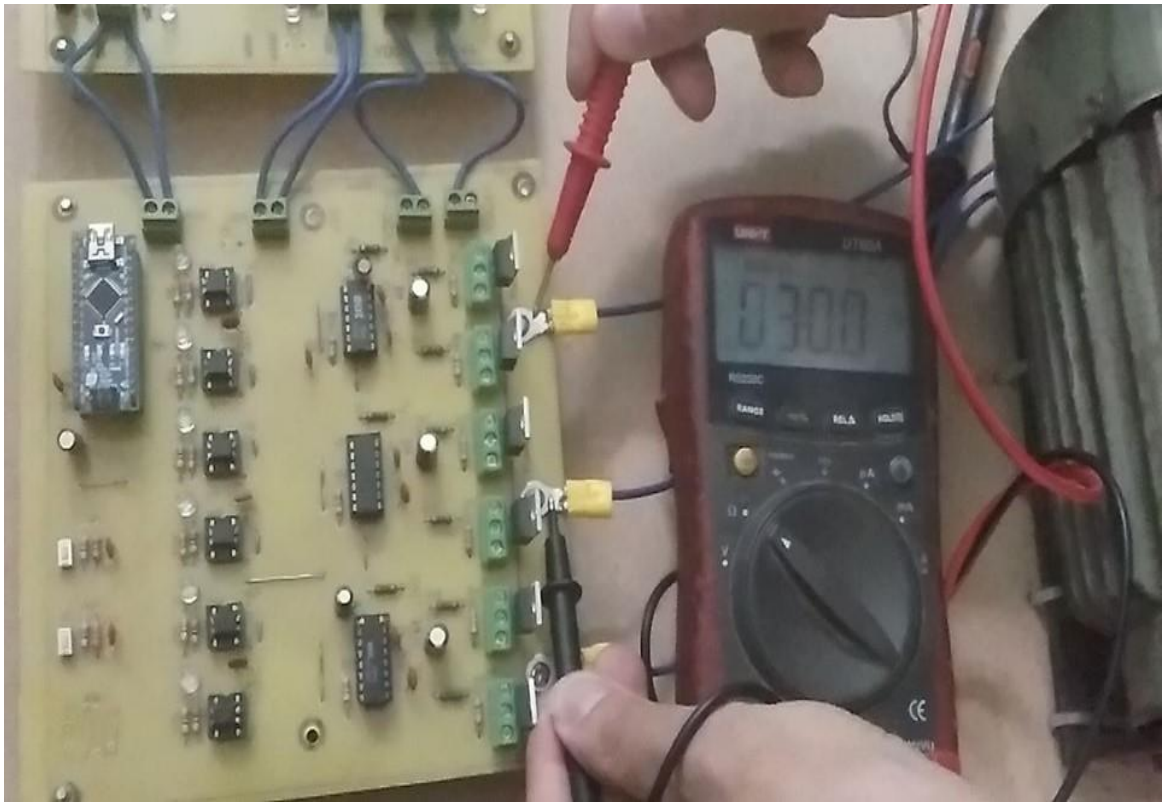
٣. والدائرة الأخرى المطبوعة والتي يتضمن Arduino لتوليد النبضات التي تستخدم لتشغيل العاكس ذي الخطوات الست. يتم استخدام خرج هذا العاكس لقيادة المحرك التاثيرى ثلاثي الطور. ويتم تكبير هذه النبضات من خلال optocoupler. يتم إرسال خرج هذا الـ optocouplers إلى دائرة القيادة لتشغيل العاكس. يمكن رؤية هذه الدائرة (الدائرة المطبوعة) في الشكل ٧-٥.



شكل ٧-٢ الشكل العام للدوائر الالكترونية الخاصة بالمشروع

شكل ٧-٣ المحرك التاثيرى المستخدم بالمشروع

شكل ٧-٤ الدائرة الالكترونية الأولى بالمشروع



شكل ٧-٥ دائرة العاكس

سيتم مناقشة تفاصيل المكونات المستخدمة في هذا المشروع في الأقسام التالية.

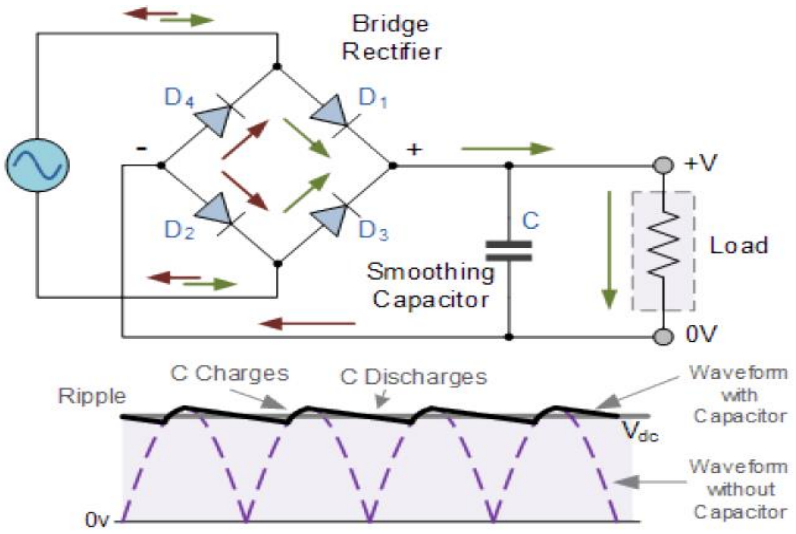
٧-١ دوائر المعدل وتوفير الطاقة (الدوائر المطبوعة):

من الشكل ٧-٤ يمكن استنتاج أن أول دائرة مطبوعة تمثل مصدر الطاقة الرئيسي وهو دائرة التحكم الرئيسية لجميع أجهزة التحكم في هذا المشروع. وتحتوي هذه الدائرة على بعض المحولات (محولين) ، وبعض قناطر التقويم (ثلاثة قناطر) ، وبعض مصادر الطاقة (اثنان من مصادر الطاقة) ، وبعض المكثفات الكيميائية (ثلاثة مكثفات كيميائية) ، وبعض المقاومات (خمس مقاومات) ، وبعض مصابيح LED (أربعة مصابيح LED) والموحدات. يستخدم هذا الكارت المطبوع لتحويل مصدر طاقة التيار المتردد إلى بعض مصادر التيار المستمر لكل منها وظيفة خاصة. يمكن تفسير ذلك على النحو التالي ؛

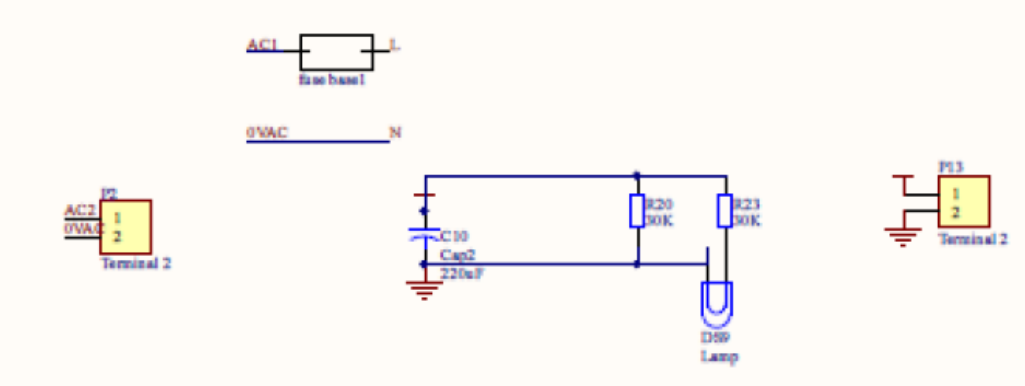
٧-١-١ دائرة المعدل الرئيسي:

تُستخدم دائرة المعدل الرئيسي لتوفير مصدر الطاقة الرئيسي للعاكس المكون من ست خطوات في اللوحة المطبوعة الثانية. يستخدم هذا العاكس لتوفير الطاقة المناسبة للمحرك التاثيرى ثلاثي الطور. تتكون هذه الدائرة (دائرة المعدل الرئيسي) من قنطرة ومكثف كيميائي ومصدر طاقة. تستخدم القنطرة لتحويل جهد التيار المتردد إلى جهد تيار مستمر. يستخدم المكثف الكيميائي لتنعيم جهد الخرج الناتج عن القنطرة. يتم استخدام مصدر الطاقة كمثبت لجهد التيار المستمر القادم من المكثف الكيميائي. يمكن رؤية دائرة المعدل الرئيسي وطاقة الخرج فى الدائرة الموضحة بالشكل ٧-٦. يمكن رؤية تصميم هذه الدائرة من خلال برنامج الالتيم في الشكل ٧-٧. في هذا التصميم ، هناك نوعان من الروزتات ، أحدهما للإدخال (روزتة التيار المتردد) والآخر لروزتة الخرج (روزتة التيار المستمر). لحماية هذه الدائرة ، يتم استخدام المصهر كما هو موضح. يتم توصيل أطراف الخرج للتيار المستمر من خلال مكثف كيميائي ٢٢٠ ميكرو فاراد لعمل تنعيم للجهد الناتج من المعدل. يوجد موحدات

ذات انبعاث ضوئى (Led) في هذه الدائرة للإشارة إلى وجود الخرج. لحماية هذه الليدات يتم توصيل المقاومة على التوالى مع هذه الليدات للحد من التيار حتى لا تحترق تلك الليدات.



شكل ٧-٦ الشكل العام للمقوم الرئيسى في الدائرة الأولى المطبوعة



شكل ٧-٧ الروزتات والليدات بدائرة المقوم الرئيسى من خلال برنامج الالتيم

٧-١-٢ دوائر مقوم جهاز التحكم:

هناك دائرتان لمعدلات التحكم، يتم استخدام إحداهما لتوفير الطاقة لـ Arduino وoptocoupler. أيضًا ، يتم استخدام مقوم وحدة التحكم الأخرى لتوفير الطاقة للمكون الآخر مثل الدوائر المتكاملة الموجودة بالمشروع IC.

تتكون دائرة مقوم التحكم الأول من المكونات التالية ؛

١. محول واحد يقوم بتحويل ٢٢٠ فولت تيار متردد إلى ٥ فولت تيار متردد.

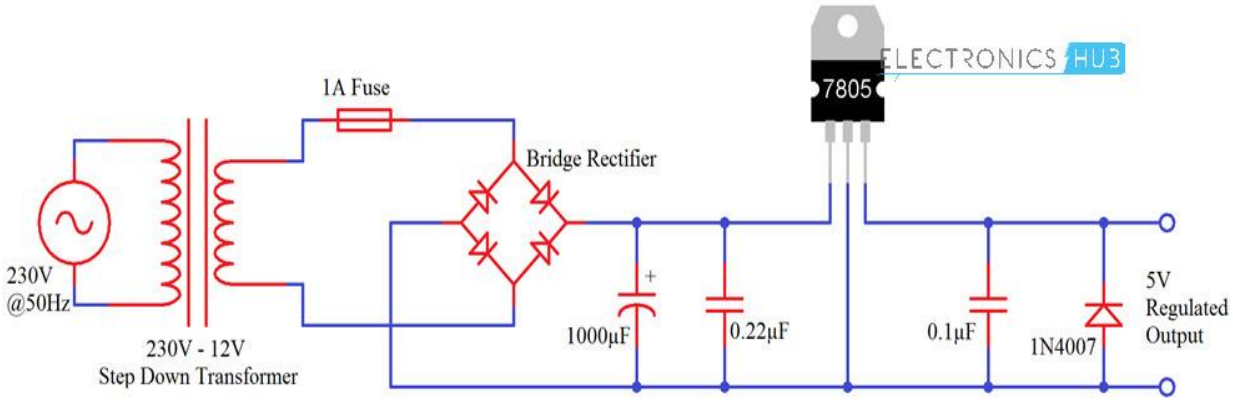
٢. مقوم على شكل قنطرة توحيد الذي يقوم بتحويل جهد التيار المتردد إلى جهد تيار مستمر يصل إلى ٨ فولت.

٣. لتنعيم جهد الخرج للمقومان أعلاه ، يتم استخدام المكثفات الكيميائية.

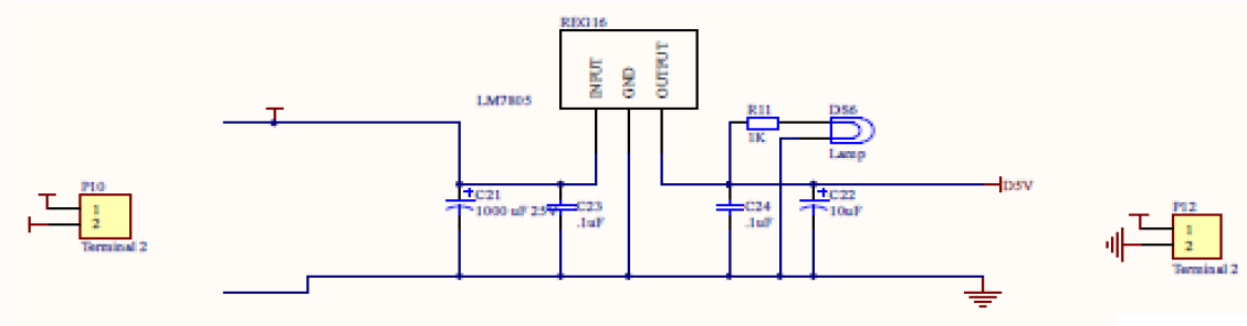
٤. نظرًا لأن Arduino الذي يولد نبضات تعمل دائرته على ٥ فولت ، يتم استخدام مصدر الطاقة لضبط هذا الجهد.

٥. أيضًا ، للإشارة إلى ان هذه الدوائر تعمل، يتم استخدام مؤشر LED للإشارة إلى ذلك. لحماية هذا الليدات ، هناك مقاومة متصلة على التوالى مرتبطة به.

يمكن رسم هذه الدائرة كما هو موضح في الشكل ٧-٨. كما يمكن رؤية تخطيط هذه الدائرة في الشكل ٧-٩ من خلال برنامج Altium.

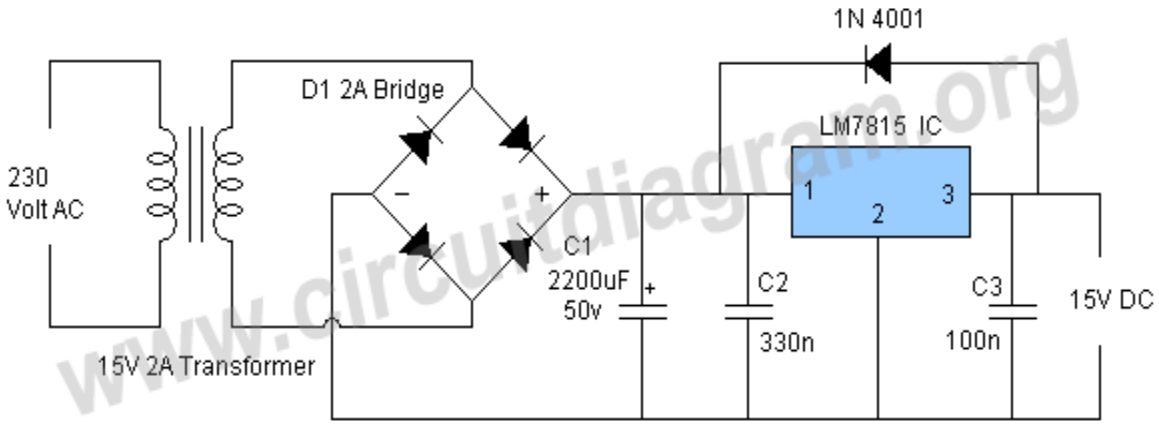


شكل ٧-٨ دائرة المقوم لتشغيل الدائرة التي تقود الميكروكونترولر

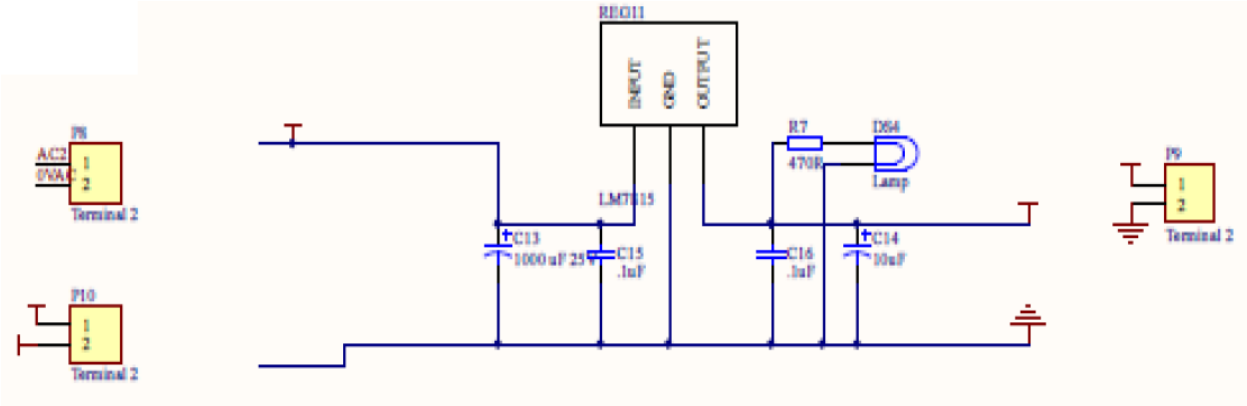


شكل ٧-٩ دائرة المقوم لتشغيل الدائرة التي تقود الميكروكونترولر من خلال برنامج الالتيم

تتشابه دائرة التحكم الأخرى مع دائرة التحكم المذكورة أعلاه ولكنها تختلف أعلاه في عدد المحولات. نظرًا لاستخدام الدوائر الأخرى بجهود مختلفة، وعلى ذلك فإننا نستخدم محولين متصلين على التوالى للحصول على الجهد المطلوب الذي يستخدم لقيادة ألاربعة ابتوكبلر وقيادة الميكروكونترولر IC. يمكن رؤية تفاصيل هذه الدائرة من خلال الشكل ٧-١٠ ويمكن رؤية تفاصيل الدائرة المصنعة ببرنامج الالتيم من خلال الشكل ٧-١١.



شكل ٧- ١٠ دائرة التحكم الأخرى لقيادة الدوائر الالكترونية الخاصة بالكرت المطبوع الثانى

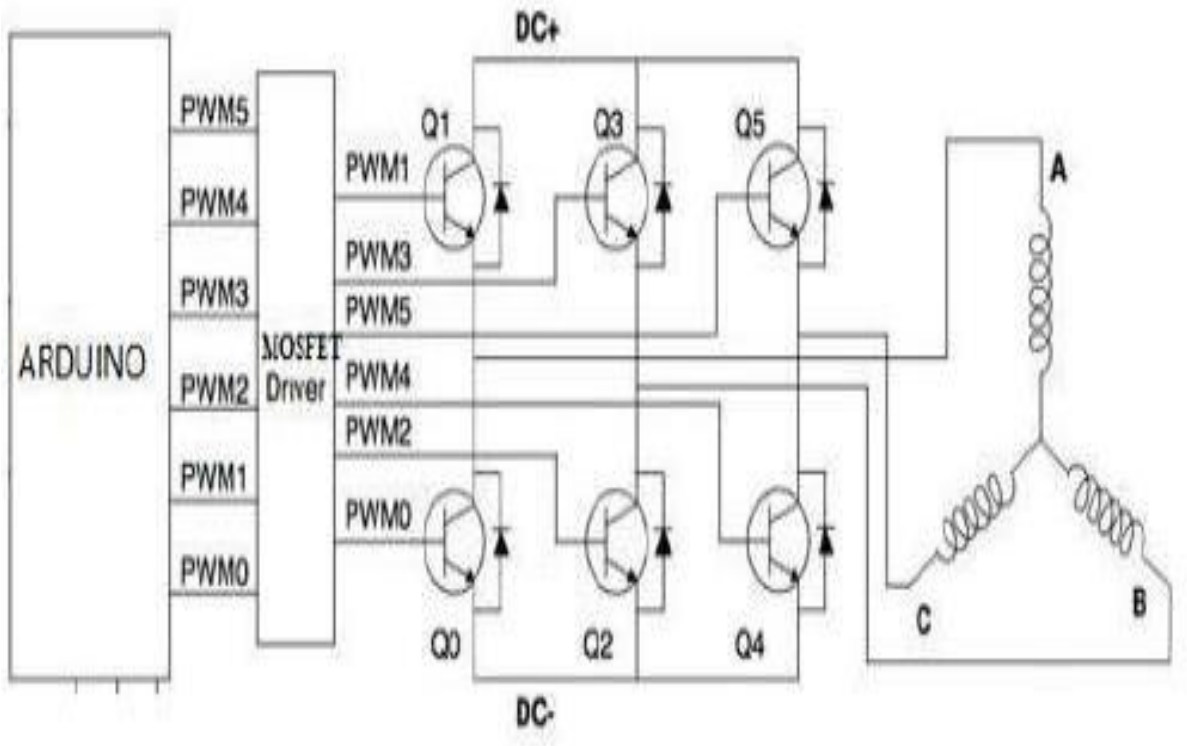


شكل ٧- ١١ دائرة التحكم الأخرى لقيادة الدوائر الالكترونية الخاصة بالكرت المطبوع الثانى من خلال برنامج الالتيم

٧-٢ العاكس ذو الست خطوات (PCB الثانى):

تحتوى الدائر المطبوعة الثانية (العاكس المكون من ست خطوات) على أربعة مكونات رئيسية. إنها دائرة Arduino ، والابتوكبلر ، ودوائر القيادة ومفاتيح الطاقة الالكترونية للعاكس. أيضا ، يحتوي على بعض الليدات المستخدمة كدلالة او كمؤشر لوجود الطاقة. يمكن تمثيل الدائرة المطبوعة هذه على أنه مجموعة من

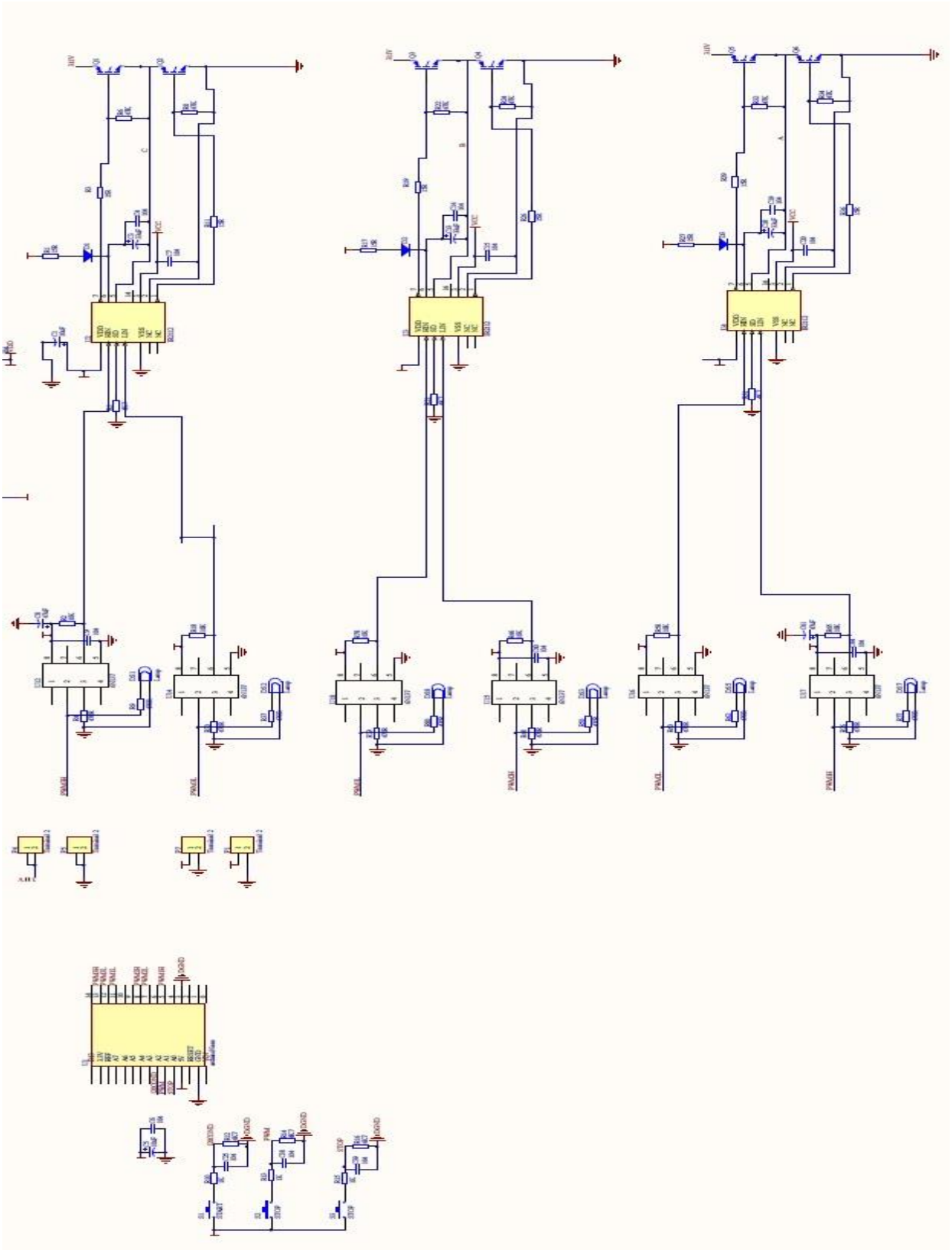
مخطط الكتلة كما هو موضح في الشكل ٧-١٢. يمكن رؤية تخطيط PCP الثاني من خلال برنامج Altium في الشكل ٧-١٢. كما يمكن رؤية تخطيط الدائرة المطبوعة هذه من خلال برنامج Altium في الشكل ٧-١٣. يمكن تفسير شرحها على النحو التالي ؛



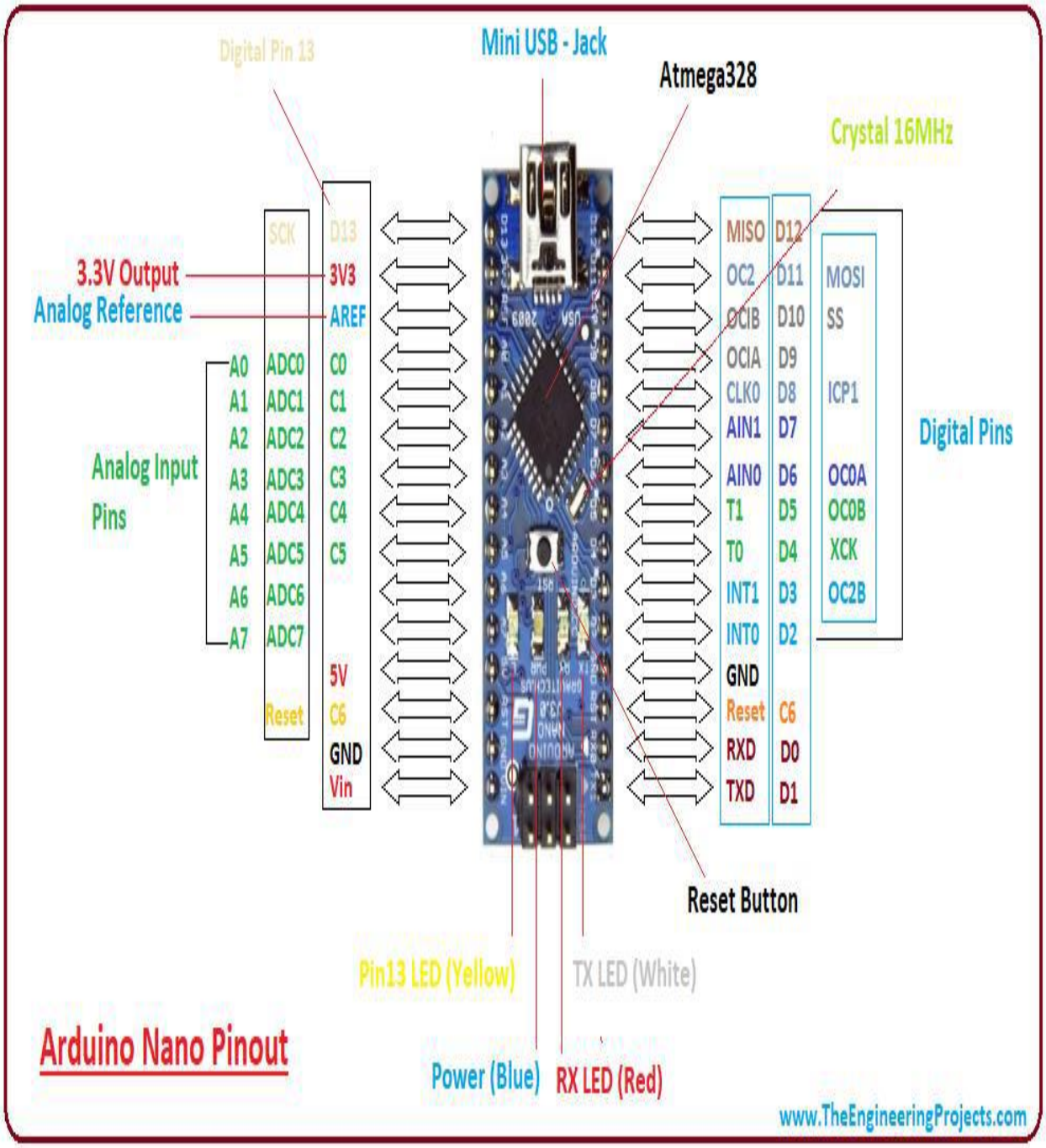
شكل ٧-١٢ مخطط الدائرة المطبوعة الثانية

٧-٢-١ اردوينو نانو:

Arduino Nano ، هو عبارة عن لوحة تحكم تم تطويرها بواسطة Arduino.cc وتعتمد على Atmega328p / Atmega168. تُستخدم لوحات Arduino على نطاق واسع في الروبوتات والأنظمة المدمجة والمشاريع الإلكترونية حيث تعد الأتمتة جزءًا أساسيًا من النظام. تم تقديم هذه اللوحات للطلاب والأشخاص الذين ليس لديهم خلفية فنية. يمكن رؤية اطراف Arduino Nano في الشكل.٧-١٤. يمكن رؤية تفاصيل وصلات الأرجل المستخدمة من خلال برنامج Altium من خلال الشكل ٧-١٥.



شكل ٧-١٣ مخطط الدائرة المطبوعة الثانية باستخدام الالتيم



شكل ٧-١٤ نقاط الدخول والخروج الخاصة باشارات الاردينو

فيما يلي بعض المميزات الأساسية التي يجب أن تعرفها إذا كنت تفكر في العمل على لوحة التحكم الدقيقة (لاردينو):

١. لديها ٢٢ مدخل / خرج.

٢. ١٤ من هذه المداخل اطراف رقمية.

٣. Arduino Nano لديه ٨ تناظرية.

٤. لديها ٦ مدخل PWM بين الاطراف الرقمية.

٥. لها مذبذب بلوري ١٦MHz.

٦. إن جهد التشغيل تتراوح من ما بين ٥ فولت إلى ١٢ فولت.

٧. كما يدعم طرق الاتصال المختلفة ، وهي:

أ. بروتوكول تسلسلي.

ب. بروتوكول I2C.

ج. بروتوكول SPI.

٨. يحتوي أيضًا على مدخل USB صغير يستخدم لتحميل الكود.

٩. كما أن لديها زر إعادة تشغيل.

كما تحتوي على ذاكرات مدمجة بداخله والتي تستخدم لأغراض مختلفة وهي كما يلي:

١. ذاكرة فلاش اردوينو نانو ٣٢ كيلو بايت.

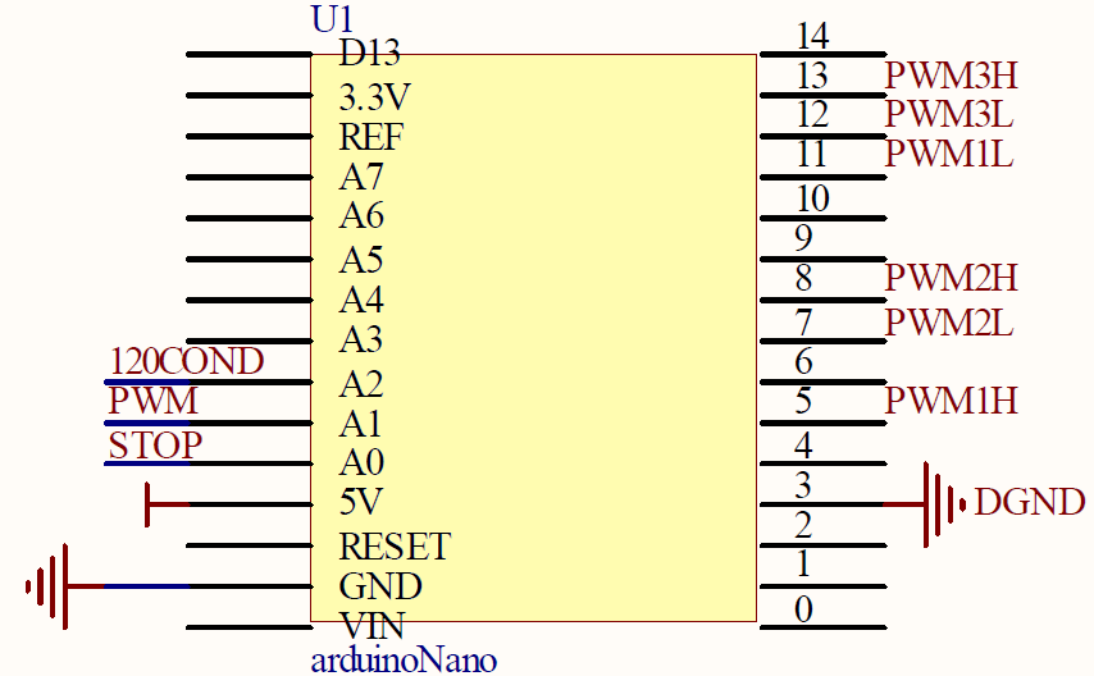
٢. يحتوي على محمل الإقلاع المثبت مسبقًا عليه ، والذي يأخذ ذاكرة فلاش تبلغ ٢ كيلوبايت.

٣. ذاكرة SRAM للوحة التحكم الدقيقة ٨ كيلو بايت.

٤. لها ذاكرة EEPROM 1kb.

توضح الخوارزمية التالية لتبين كيف نستخدم هذا المتحكم الدقيق. وهي تتألف من تحديد المدخلات ، وتحديد المخرجات ، وتحديد المتغير ، والتحقق من تسريع أو تباطؤ العملية ، وتغير المهمة. يمكن كتابة هذه الخوارزمية على النحو التالي ؛ أ- انتظر حتى تستقر الفولتية DC

ب- تحديد المدخلات



شكل ٧-١٥ يوضح الارجل المستخدمة في برنامج الالتيم للاردينو

1. Input 1 : acceleration switch …. SW1

2. Input2 :De-acceleration switch...SW2

c- Define output

1. PWM output for MOSFET 1…..PWM1

2. PWM output for MOSFET 2…..PWM2

3. PWM output for MOSFET 3…..PWM3

4. PWM output for MOSFET 4…..PWM4

5. PWM output for MOSFET 5…..PWM5

6. PWM output for MOSFET 6…..PWM6

d- Define variables

1. Ton …….. PWM on time

2. Toff……..PWM off time

3. T = Ton + Toff

4. D= Ton/T……..Duty cycle

e- Clear all outputs

f- For six mode of 180 conduction each switch is ON every 3 ms in order manner

g- Duty (D) = 0 …all PWMs = 0 and motor off

h- Check switches SW1 and SW2

i- If SW1 is ON

1. increase duty

j- If SW2 is OFF

1. Decrease duty

This algorithm can be written in C code inside the microcontroller as the follows;

```
const int led=13;

const int s1=5;

const int s4=3;

const int s3=9;

const int s6=6;

const int s2=10;

const int s5=11;
```

```
const int on=A6;//START SWITCH
const int off=A5;//STOP SWITCH
void setup() {
pinMode (s1,OUTPUT);
pinMode (s2,OUTPUT);
pinMode (s3,OUTPUT);
pinMode (s4,OUTPUT);
pinMode (s5,OUTPUT);
pinMode (s6,OUTPUT);
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s2,LOW);
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
digitalWrite(s6,LOW);
for (int ledc=0;ledc<=5;ledc++)
{
digitalWrite(led,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(led,LOW);
```

```
delay(1000);
}
digitalWrite(led,LOW);
}
void wait()
{
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s2,LOW);
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
digitalWrite(s6,LOW);
delayMicroseconds(d);
}
void wait1()
{
delayMicroseconds(3300-d);
}
void loop()
{
```

```
digitalWrite(s2,LOW);
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
wait();
digitalWrite(s5,HIGH);
digitalWrite(s6,HIGH);
digitalWrite(s1,HIGH);
wait1();
//////////////////////
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
wait();
digitalWrite(s1,HIGH);
digitalWrite(s6,HIGH);
digitalWrite(s2,HIGH);
wait1();
//////////////////////////
digitalWrite(s4,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
```

```
digitalWrite(s6,LOW);
wait();
digitalWrite(s1,HIGH);
digitalWrite(s2,HIGH);
digitalWrite(s3,HIGH);
wait1();
//////////////////////
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
digitalWrite(s6,LOW);
wait();
digitalWrite(s2,HIGH);
digitalWrite(s3,HIGH);
digitalWrite(s4,HIGH);
wait1();
//////////////////////
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s2,LOW);
digitalWrite(s6,LOW);
wait();
```

```
digitalWrite(s3,HIGH);
digitalWrite(s4,HIGH);
digitalWrite(s5,HIGH);
wait1();
//////////////////////
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s2,LOW);
digitalWrite(s3,LOW);
wait();
digitalWrite(s4,HIGH);
digitalWrite(s5,HIGH);
digitalWrite(s6,HIGH);
wait1();
if (analogRead(off)>255)
{
d=d+25 ;
if (d>=3300)
{d=3300;
digitalWrite(s1,LOW);
digitalWrite(s2,LOW);
```

```
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
digitalWrite(s5,LOW);
digitalWrite(s6,LOW);
}
}
if (analogRead(on)>255)
{
d=d-25;
if (d<25)d=25;
}
}
```

٧-٢-٢ الابتوكبلر:

الجهاز الذي يعزل الإشارة الكهربائية بين مصدر الدخل والخرج ويستخدم الضوء فقط باستخدام مكون إلكتروني شائع جدًا يسمى optocoupler. يتكون optocoupler أو المعزل البصري من باعث للضوء ومصباح LED وجهاز استقبال حساس للضوء والذي يمكن أن يكون صمام ثنائي أو ترانزستور ضوئي أو مقاوم ضوئي أو SCR ضوئي أو ترياك TRIAC مع التشغيل الأساسي لـ أداة optocoupler. عندما ندع النور يعبر إلى هناك! يسمح لك هذا الجهاز بنقل إشارة كهربائية بين دائرتين منفصلتين من جزأين: حيث الليد LED يصدر ضوء الأشعة تحت الحمراء ويوجد جهاز حساس للضوء يكتشف الضوء من مؤشر LED عندها يكون جاهزا للعمل. كلا الجزأين موجودان في صندوق أسود تقليدي مع زوج من الاطراف للتوصيل. يتم تطبيق التيار لأول مرة على Optocoupler ، مما يجعل مصباح LED ينتج أشعة تحت الحمراء وينبعث ضوءًا يتناسب مع التيار. عندما يصطدم الضوء بجهاز حساس للضوء ، يتم تشغيله ويبدأ في توصيل التيار كأي ترانزستور عادي.

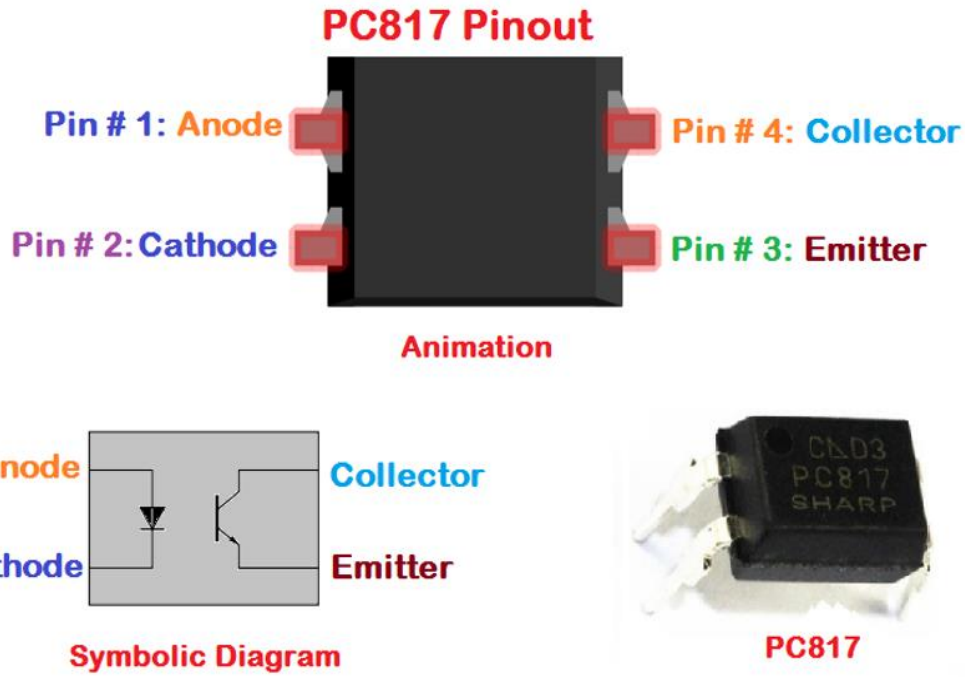
إذا كنت تصمم جهازًا إلكترونيًا يكون عرضة للارتفاعات المفاجئة في الجهد ، أو الصواعق ، أو ارتفاعات إمدادات الطاقة ، وما إلى ذلك ، فستحتاج إلى طريقة لحماية الأجهزة ذات الجهد المنخفض من الأجهزة الأخرى ذات الجهد المرتفع. عند استخدامه بشكل صحيح ، يمكن لـ Optocoupler بشكل فعال ان يعمل على:

١. إزالة الضوضاء الكهربائية من الإشارات

٢. عزل الأجهزة ذات الجهد المنخفض عن دوائر الجهد العالي

٣. تسمح لك باستخدام إشارات رقمية صغيرة للتحكم في جهد التيار المتردد الأكبر

يتم استخدام optocoupler في هذا المشروع كحماية ويسمح بتحيز MOSFET وذلك لأن بوابة MOSFET التي تتحكم في تشغيلها لا تعمل الا تحت خمسة عشر فولتًا ، لذلك يجب حفظ هذا الجهد الذي يولد بواسطة optocoupler . يوضح الشكل ٧-١٦ الرسوم الخاصة بالابتوكبلر.

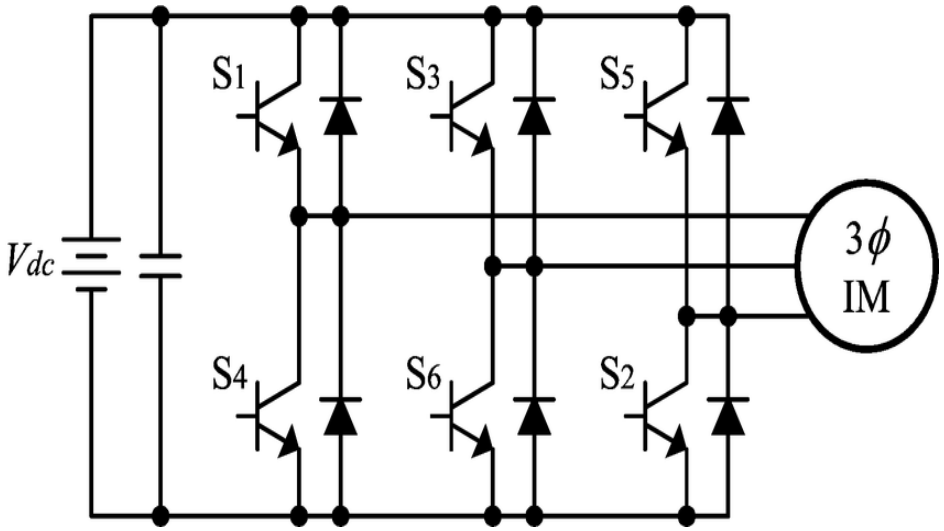


شكل ٧-١٦ الابتوكبلر

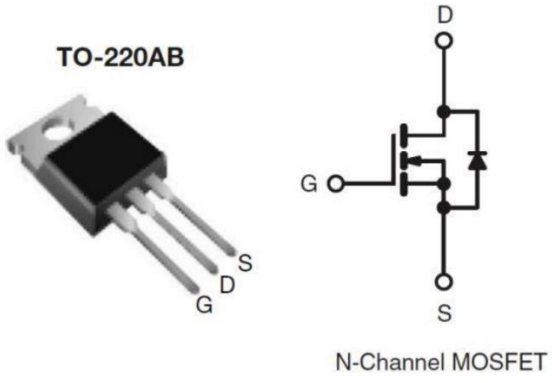
٧-٢-٣ دائرة القيادة والعاكس ست خطوات:

يتم استخدام العاكس المكون من ست خطوات لتوصيل الطاقة للمحرك. تتكون دائرة العاكس من ست مفاتيح الكترونية لدائرة الطاقة وكما يتكون من دائرة القيادة. يوضح الشكل ٧-١٧ رسمًا تخطيطيًا لدائرة توفير الطاقة

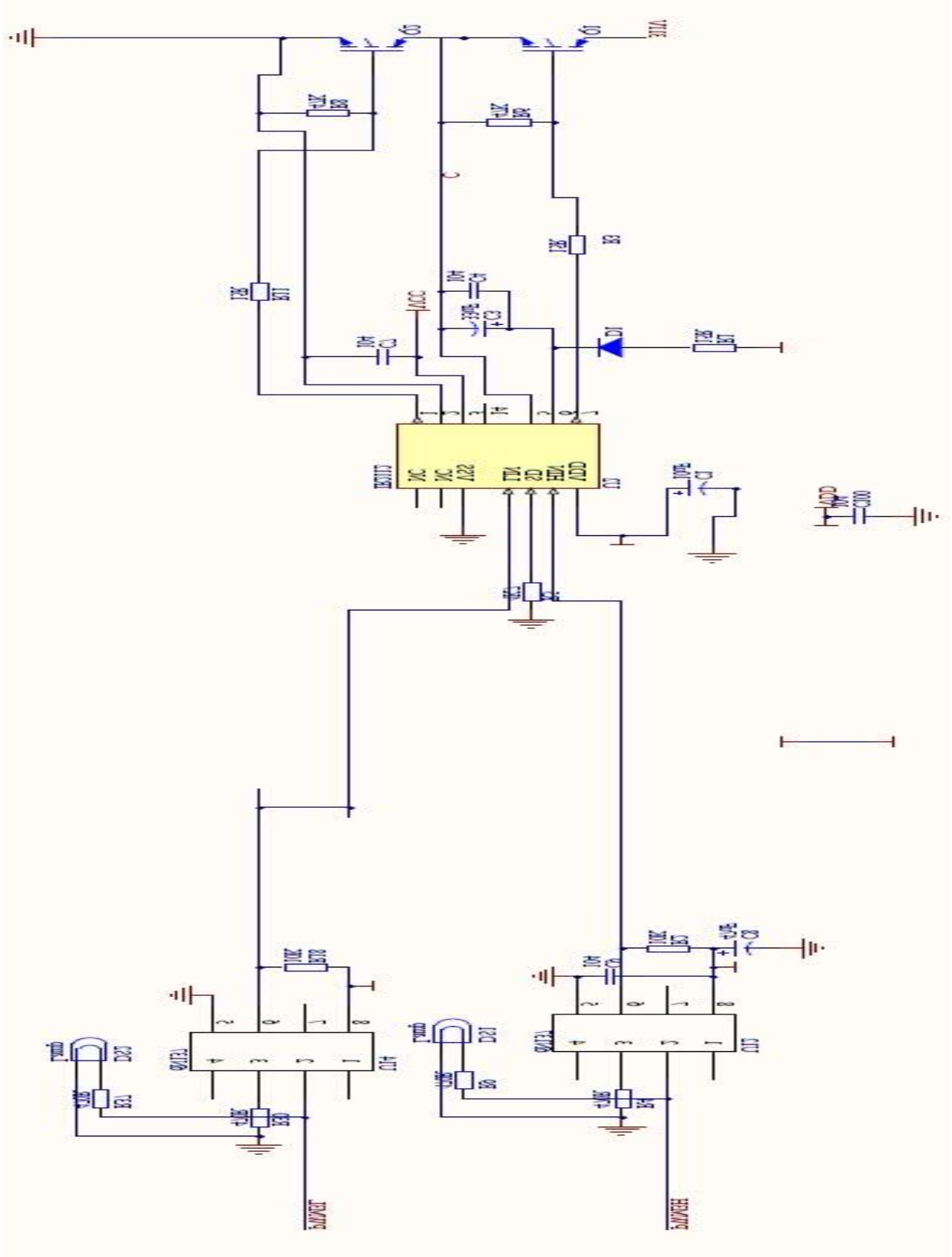
العاكس ذات الست خطوات. وهو يتألف كما ذكرنا سابقا من ستة مفاتيح طاقة (MOSFETS). تم اختيار مفاتيح MOSFETS نظرًا لما تتمتع به من مزايا عديدة. مزايا هذا المفتاح هي التبديل السريع ، والتحكم في جهد البوابة ، وانخفاض الجهد المنخفض عند القيادة ، والتحمل للجهود العالية. نوع MOSFET المستخدم في هذا المشروع هو TO-220AB. حزمة MOSFET هذه موضحة في الشكل ٧-١٨. دائرة القيادة المستخدمة في هذا المشروع هي IR2112. IR2112 عبارة عن جهاز الكترونى يستخدم لتوليد نبضات لى MOSFET و IGBT عالي الجهد وعالي السرعة مع قنوات إخراج مرجعية مستقلة عالية ومنخفضة. تُستخدم دائرة القيادة لقيادة القنطرة H. تظهر دائرة القيادة الكلية في الشكل ٧-١٩. تتكون هذه الدائرة من أربعة مراحل. المرحلة الأولى هي مرحلة التضخيم. المرحلة الثانية هي مرحلة العزل. إنها دائرة optocoupler. المرحلة الثالثة هي مرحلة القيادة. المرحلة الرابعة هي حماية وتحسين أداء هذه الدائرة.



شكل ٧-١٧ دائرة العاكس ذو الست خطوات



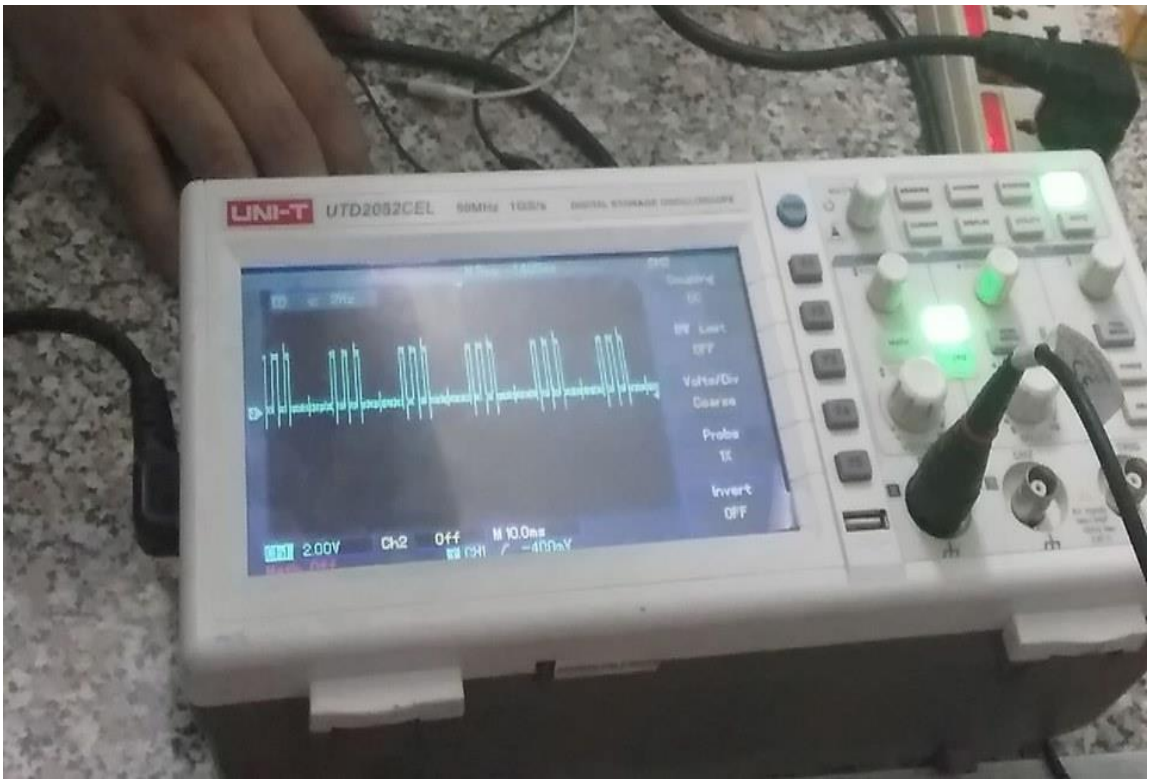
شكل ٧-١٨ الموسفت وتمثيله



شكل ٧-١٨ دائرة القيادة بشكل عام شاملة الابتوكبلر

٧-٣ النتائج التجريبية:

النتائج التجريبية تم مناقشتها هنا عندما يكون النظام قيد التشغيل والاستمرارية ، اضغط على مفتاح التسارع ، تزداد دورة العمل مما يعني أن الجهد الناتج من العاكس المكون من ست خطوات يزداد مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك التي يمكن رؤيتها بواسطة راسم الذبذبات وقراءة جهد الافوميتر. يوضح الشكل ٧-٢٠ شكل تعديل عرض النبضة لمفتاح واحد من خلال Adriano Nano.

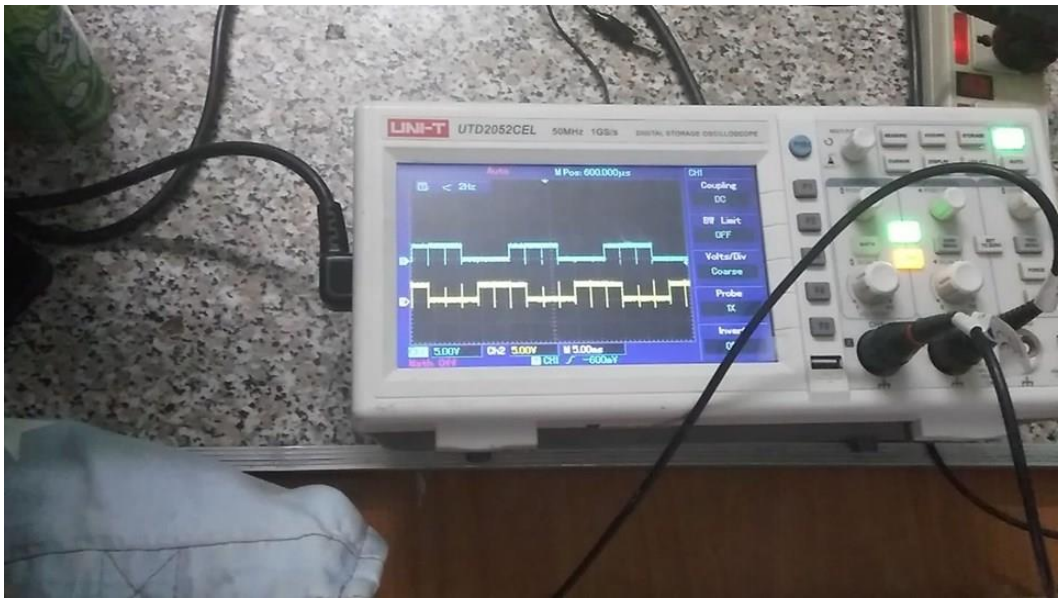


شكل ٧-٢٠ عرض النبضة المسلطة على العاكس لادارته

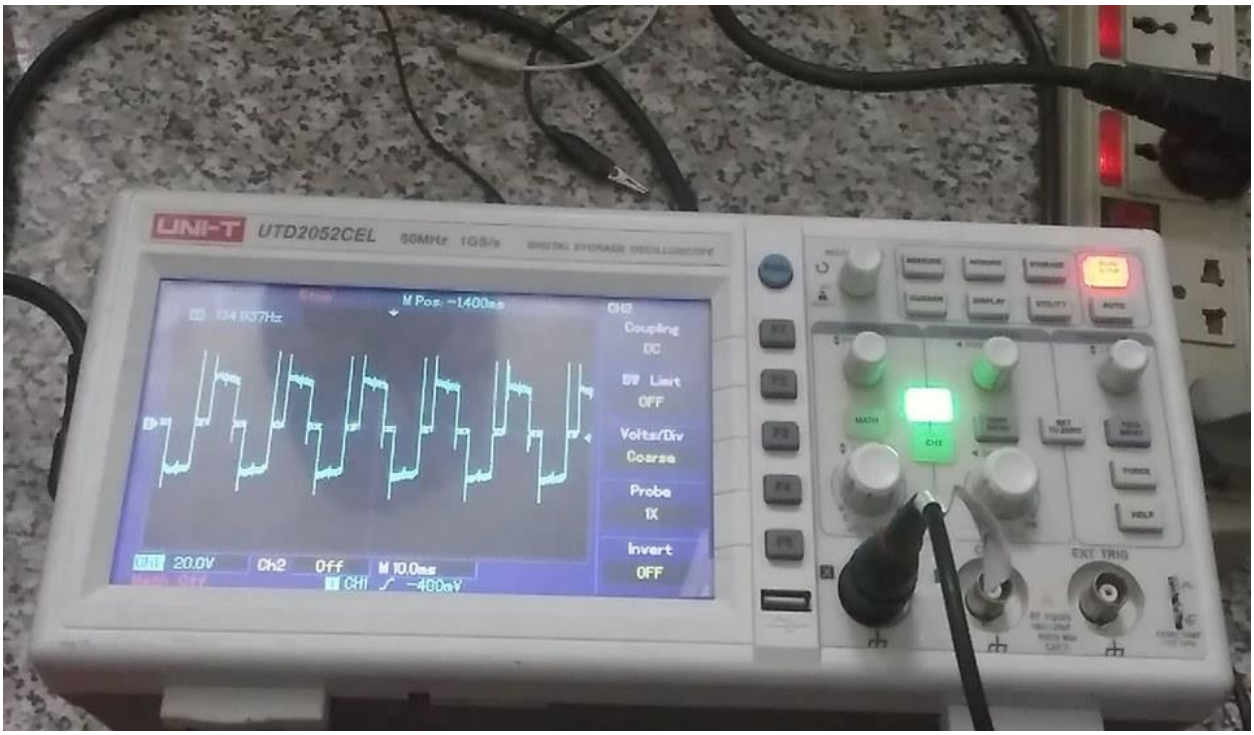
من خلال زيادة الضغط في الزر ، زادت دورة العمل لتعديل عرض النبض مما يؤدي إلى زيادة الجهد وبالتالي زيادة سرعة المحرك. شكل ٧-٢١ دورة عمل لمفتاحين مختلفين في الأرجل المختلفة.

يمكن رؤية الخرج لخط الجهد بين الطور a والطور b في الشكل ٧-٢٢. حيث يوجد هذا الجهد عند١٢٠٠ دورة في الدقيقة للمحرك.

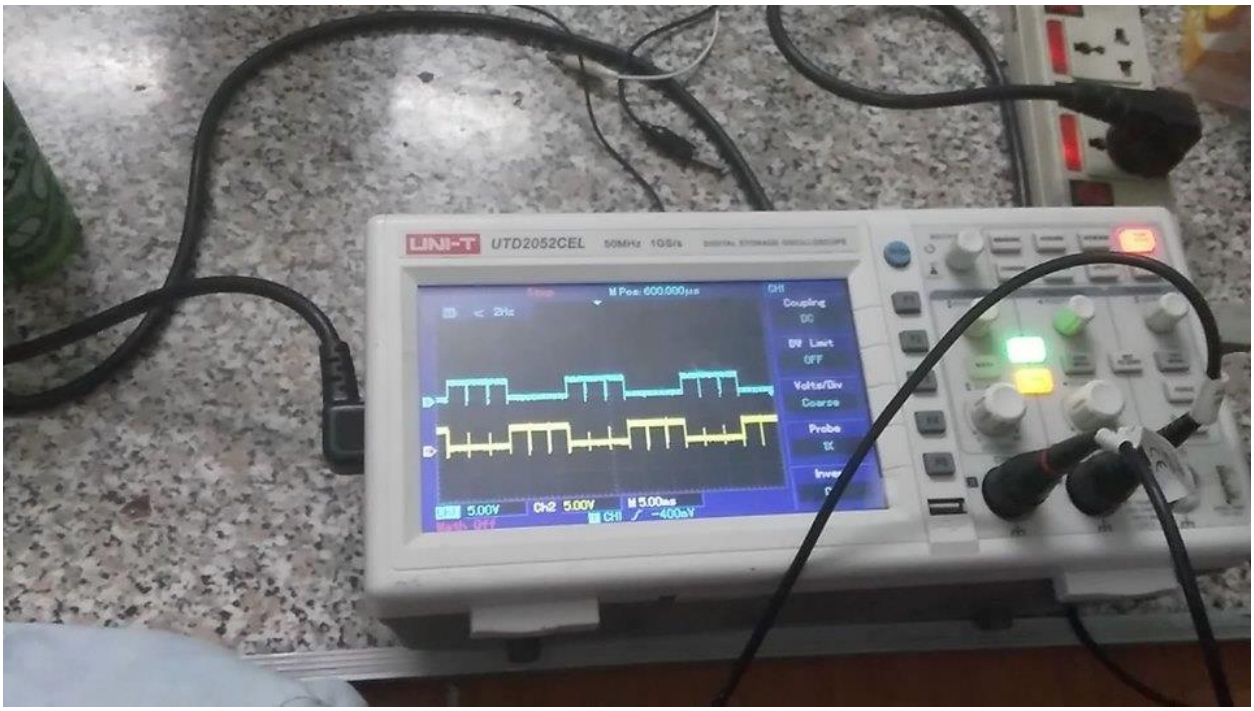
يمكن رؤية تعديل عرض النبضة لمفتاحين تكميليين على نفس الرجل في الشكل ٧-٢٣ حيث توجد نبضة المفتاح العلوي ولا يوجد مفتاح التبديل السفلي والعكس صحيح.



شكل ٧-٢١ عرض النبضة لمفتاحين عند مرحلة أخرى من سرعة المحرك



شكل ٧-٢٢ شكل جهد الخط بين الطور a والطور b



شكل ٧-٢٣ عرض النبضة لمفتاحين في نفس الرجل

لتقليل سرعة المحرك بالضغط على مفتاح آخر ، تنخفض دورة التشغيل وبالتالي ينخفض الجهد وتنخفض سرعة المحرك وعن طريق الضغط المستمر في هذا المفتاح ، سيتوقف المحرك.

المراجع

[1] Rashid, Muhammad H. Power Electronics. New Delhi: Prentice Hall of India Pvt Ltd, 2001.

[3] Bimbhra, Dr P S. Power Electronics. New Delhi: Khanna Publisher, 2005.

[4] Punchthrough and Nonpunch through IGBT's", IEEE transactions on electron devices, Vol. 45, no. 10, october 1998.

[5] I. Boldea, ''Control issues in adjustable speed drives, '' IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 2, No. 3, Sept. 2008, pp. 32 - 50.

[6] A. Munoz-Garcia, T.A. Lipo, D.W. Novotny, ''A new induction motor V/f control method capable of high-performance regulation at low speeds, '' Vol. 34, No. 4, July/August 1998, pp. 813 - 821.

[7] H. Akroum, M. Kidouche, A. Aibeche, ''A dSPACE DSP Control Platform for V/F Controlled Induction Motor Drive and Parameters Identification,'' Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE), vol. 121, pp. 305-312, 2011.

[8] C.J. Francis, H. Zelaya De La Parra, ''Stator resistance voltage-drop compensation for open-loop AC drives,'' Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol. 144 , No. 1, January 1997, pp.21 - 26.

[9] A. Oteafy, J. Chiasson, ''A Study of the Lyapunov Stability of an Open-Loop Induction Machine IEEE Transactions on Control Systems Technology,'' Vol. 18 , No. 6, Nov. 2010, pp. 1469 - 1476.

[10] K. Suzuki, S. Saito, T. Kudor, A. Tanaka, Y. Andoh, ''Stability Improvement of V/F Controlled Large Capacity Voltage-Source Inverter Fed Induction Motor,'' in 41st IAS Annual Meeting. Conference, Record of the 2006 IEEE Vol. 1, Oct. 2006, pp. 90-95.

[11] M. Zhiwen, L. Fei, T.Q. Zheng, "A New Stabilizing Control Method for suppressing Oscillations of V/Hz Controlled PWM Inverter-fed Induction Motors Drives," in 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2006, pp. 1-4.

[12] Y. Q. Xiang, ‘‘Instability compensation of V/Hz PWM inverter-fed induction motor drives,’’ in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, vol. 1, Oct. 1997, pp. 613-620.

[13] J. Holtz, ‘‘Pulsewidth modulation—A survey,’’ IEEE Trans. Ind. Electron, VOL. 39, NO. 5, pp. 410-420, December 1992.

[14] E.R.C. da Silva, E.C.dos Santos, C.B. Jacobina, "Pulsewidth Modulation Strategies," IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 5 (2), 2011, pp. 37-45.

[15] J. Holtz, ‘‘Pulsewidth modulation for electronic power conversion,’’ in Proc. IEEE, vol. 82, pp. 1194–1214, Aug. 1994.

[16] M. Depenbrock, ‘‘Pulse width control of a 3-phase inverter with nonsinusoidal phase voltages,’’ in Proc. IEEE Int. Semiconductor Power Converter Conf. (ISPCC’77), 1977, pp. 399–403.

[17] M. A. Boost and P. D. Ziogas, ‘‘State-of-theart carrier PWM techniques: A critical evaluation,’’ IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 24, pp. 271–280, Mar./Apr 1988.

[18] G. V. Stanke, ‘‘Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vector,’’ IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 24, pp. 142–150, Jan./Feb 1988.

[19] A. Trzynadlowski and S. Legowski, ‘‘Minimum-loss vector PWM strategy for three phase inverter,’’ IEEE Trans. Power Electron, vol. 9, pp. 26–34, Jan. 1994.

[20] H. W. van der Broeck, H. C. Skudelny, and G. V. Stanke, ‘‘Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vector,’’ IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 24, pp. 142–150, Jan./Feb 1988.

[21] V. Blasko, ‘‘A hybrid PWM strategy combining modified space vector and triangle comparison methods,’’ in Proc. Power Electronics Specialists Conf. (PESC) Rec. 1996, pp. 1872–187

[22] A. M. Hava, R. Kerkman, and T. A. Lipo, ‘‘A high-performance generalized discontinuous PWM algorithm,’’ IEEE Trans. Ind. Applicat. vol. 34, pp. 1059–1071, Sept./Oct. 1998.

[23] D.Shah, S. Nandi, "Analytical Approach to Design of Slip-Controller for Constant Volts/Hz Scheme Induction Motor Drive Using Motor Nameplate Details," in Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2007. CCECE 2007, pp. 393 - 396.

[24] G. F. Franklin, J. D. Powell, A. Emami-Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, 5-th edition, Pearson Prentice Hall, 2006.