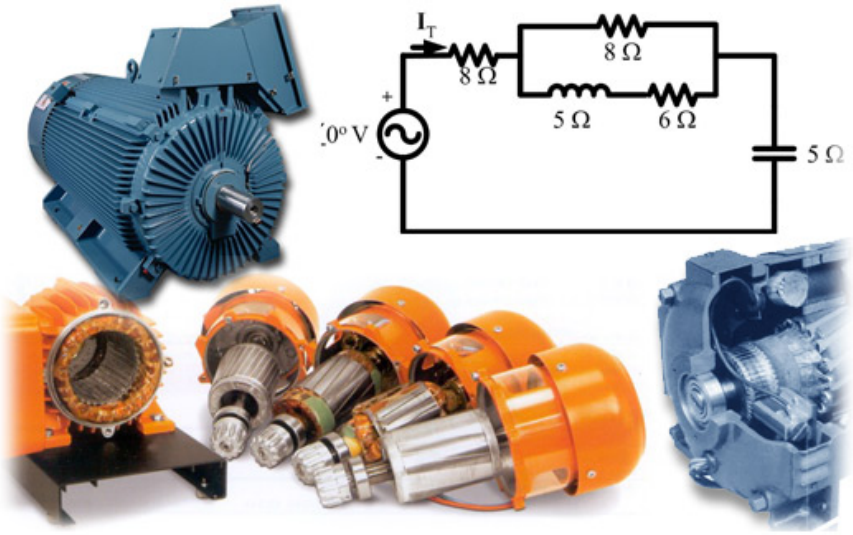
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات و معدات كهربائية

التحكم الإلكتروني في الآلات

٢٤٤ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " التحكم الإلكتروني في الالآت " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تحتل المحركات الكهربائية مكانة متميزة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى وسائل تدوير (تحريك) متغيرة السرعة، وذلك لما تتميز به هذه المحركات من خصائص جيدة مثل إمكانية التحكم في السرعة خلال مدى تحكم واسع، ولقد ساعد على ذلك أيضا التقدم التكنولوجي في صناعة المواد المغناطيسية بالإضافة إلى التقدم الهائل في دوائر إلكترونيات القدرة والتحكم فيها.

وتتكون منظومة التدوير الكهربائي كما في شكل ١ من:

الحمل الميكانيكي (مضخة – مروحة – مخرطة ..... الخ)، وتعتمد العلاقة بين عزم الحمل وسرعته على نوع الحمل وهذه العلاقة مهمة جدا في تحديد نوع المحرك الكهربي المناسب لهذا الحمل.

المحرك الكهربي، يتحدد نوع المحرك الكهربي المناسب بناء على نوع الحمل الميكانيكي وطبيعته وعلى عدد من العوامل الأخرى مثل:

مدى السرعة المطلوب العمل به

مدى صعوبة التحكم في السرعة أو تنظيمها

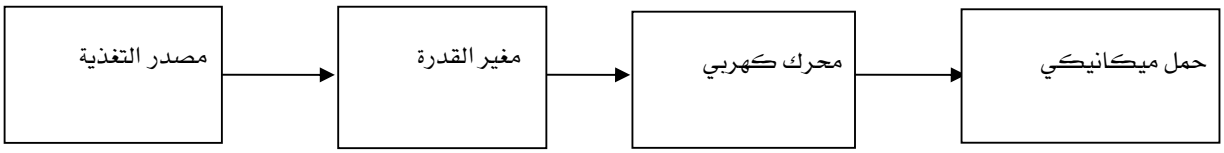
الكفاءة خلال مدى السرعة المعمول به

متطلبات بدء الحركة

طبيعة مكان التشغيل (نظيف – قابل للانفجار.....الخ)

مغير القدرة، هناك العديد من مغيرات القدرة ويتم تحديد نوع المغير المناسب بناء على نوع المحرك وطبيعة مصدر التغذية

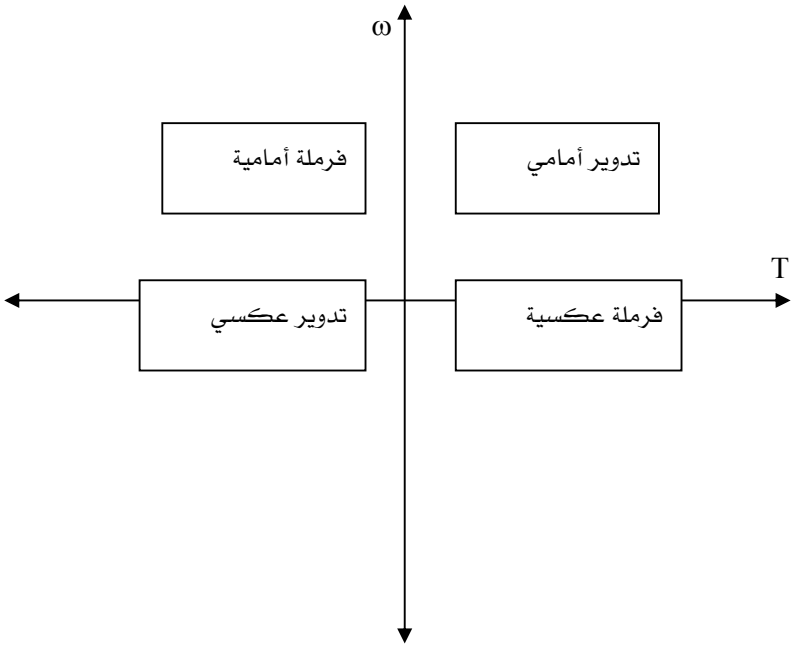
مصدر التغذية، حيث يتحدد نوع المغير بناء على مصدر التغذية المتاح وعلى نوع المحرك المستخدم.



شكل ١

مكونات منظومة التدوير الكهربائي

وكما أن العلاقة بين عزم الحمل وسرعة المحرك مهمة فإن العلاقة بين العزم المتولد وسرعته أيضا مهمة ويجب أن تؤخذ في الاعتبار، وهناك أربع حالات لهذه العلاقة حسب ما هو موضح بالرسم في شكل ٢



شكل ٢

حالات التدوير المختلفة

في الربع الأول تدوير أمامي ويكون كل من العزم والسرعة موجبين أما الربع الثاني فيعبر عن حالة فرملة أمامية ويكون العزم سالبا والسرعة موجبة، بينما يمثل الربع الثالث حالة تدوير عكسي حيث يكون كل من العزم والسرعة سالبين ويكون المحرك في هذه الحالة مثل الربع الأول، أما الربع الرابع فيمكن أن ينتج عن طريقين:

أولا: فرملة عكسية، كأن يكون المحرك يعمل في الربع الثالث ثم تولدت فرملة بأي من الطرق المعروفة والتي سيتم شرحها فيما بعد.

ثانيا: إذا انعكس عزم الحمل بحيث يقوم بإدارة المحرك في عكس اتجاه العزم المتولد.

تتكون هذه الحقيبة من ست وحدات تدريبية حيث يتم فيها دراسة طرق التحكم الإلكتروني في المحركات الكهربائية المختلفة، وحتى يتسنى لنا ذلك فسنقوم في البداية بمراجعة خصائص المحركات الكهربائية المختلفة حيث نناقش تلك الخصائص في الوحدة التدريبية الأولى، ثم نعرض مراجعة سريعة لدوائر إلكترونيات القدرة - التي من الممكن الاستفادة منها في عملية التحكم في المحركات الكهربية - في الوحدة التدريبية الثانية. وتقدم الوحدة التدريبية الثالثة كيفية استخدام الموحدات المحكومة " Controlled Rectifiers" للتحكم في محركات التيار المستمر بينما تعرض الوحدة الرابعة استخدام مقطعات التيار المستمر " DC Chopper " للتحكم في محركات التيار المستمر. أما في

الوحدة التدريبية الخامسة يتم استعراض كيفية التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام حاكمات الجهد المتناوب " AC Voltage Controller " والعواكس" Inverters " ، بالإضافة إلى التحكم في المحركات الحثية ذات العضو الملفوف باستعادة طاقة الانزلاق " Slip Power Recovery " وفي الوحدة التدريبية السادسة نشرح كيفية التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه.

التحكم الإلكتروني في الآلات

مراجعة على خواص المحركات الكهربائية المستخدمة في الصناعة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: التعرف على أنواع المحركات الكهربائية والتمييز بين الخواص المختلفة لكل نوع

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

١. التمييز بين الأنواع المختلفة للمحركات الكهربائية
٢. تحديد مميزات وعيوب كل نوع منها
٣. رسم العلاقة بين العزم والسرعة لكل من
- محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة
- محرك التيار المستمر من نوع التوالي
- المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

الوقت المتوقع: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر آلات التيار المستمر والمحولات
اجتياز مقرر آلات التيار المتردد

مراجعة على خواص المحركات الكهربائية المستخدمة في الصناعة

تلعب المحركات الكهربائية دورا مهما في التطبيقات الصناعية وذلك لما تتميز به تلك المحركات من خصائص مهمة مثل سهولة التحكم فيها والسيطرة عليها وتنوعها بما يتناسب مع ظروف التشغيل المختلفة. ويمكن تقسيم هذه المحركات إلى نوعين أساسيين هما محركات التيار المستمر ومحركات التيار المتردد، وكل نوع منها يمكن تقسيمة إلى عدة أنواع وسوف نستعرض في هذه الوحدة التدريبية خصائص أهم أنواع المحركات المستخدمة في الصناعة.

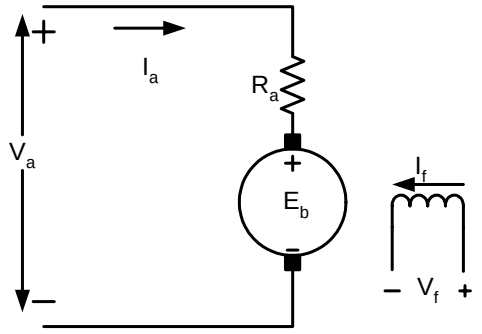
أولا: محركات التيار المستمر: DC Motors

تلعب محركات التيار المستمر دورا رئيسيا في التطبيقات الصناعية الحديثة التي تتطلب سرعات متغيرة، وذلك لما تمتاز به هذه المحركات من عزم بدء عال، ومدى تحكم واسع في السرعة، كما تتميز طرق التحكم فيها بالبساطة وسهولة التشغيل وقلة التكلفة. وعلى الجانب الآخر فإن هذه المحركات لها بعض العيوب مثل كبر الحجم، وثقل الوزن، كما أنها غالية الثمن وتحتاج إلى صيانة دورية، إضافة إلى أنها لاتصلح للتطبيقات ذات السرعات العالية أو التي تستخدم في الأماكن النظيفة أو الأماكن القابلة للانفجار.

تنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين هما محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة، ومحرك التيار المستمر ذي التغذية الذاتية. وينقسم محرك التيار المستمر ذي التغذية الذاتية إلى ثلاثة أنواع هي محرك التوالي ومحرك التوازي والمحرك المركب، ويعتبر محرك التوازي والمحرك المركب من المحركات ذات السرعة الثابتة لذا سوف نستعرض خواص كل من محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة ومحرك التوالي حيث يكثر استخدامهما كمحركات متغيرة السرعة، كما أن محرك التوالي يستخدم بكثرة في تطبيقات الجر الكهربائي.

محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة Separately Excited DC Motor

يمكن تمثيل محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة بدائرتين كهربيتين إحداهما تمثل ملفات المنتج والأخرى تمثل ملفات المجال، كل دائرة منهما منفصلة عن الأخرى، ويتم تغذية كل دائرة منهما باستقلالية عن الدائرة الأخرى.



شكل (١-١)

الدائرة المكافئة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة

شكل (١-١) يمثل الدائرة المكافئة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة. عند توصيل دائرة المجال بمصدر التيار المستمر يمر تيار مستمر في دائرة المجال وبالتالي يتولد عنه مجال مغناطيسي وكذا الحال في دائرة المنتج ونتيجة لتداخل هذين المجالين يتولد العزم الكهرومغناطيسي مما يسبب حركة المحرك ويتسبب ذلك في تولد قوة دافعة مضادة في دائرة المنتج "E_b" وعلى ذلك يمكن وصف عمل المحرك ودراسة خواصة في حالة الاستقرار من خلال المعادلات التالية:

$$V_f = R_f I_f \qquad (١-١)$$

$$V_a = E_b + R_a I_a \qquad (١-٢)$$

$$E_b = K_v \omega I_f \qquad (١-٣)$$

$$T_d = K_t I_f I_a \qquad (١-٤)$$

$$T_d = T_L + B \omega \qquad (١-٥)$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

E_b القوة الدافعة العكسية (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

V_f الجهد المسلط على ملفات المجال (V)

R_f مقاومة ملفات المجال (Ω)

I_f تيار المجال (A)

K_v ثابت الجهد للمحرك (V/A-rad./sec)

K_t ثابت العزم ($N.m/A^2$)

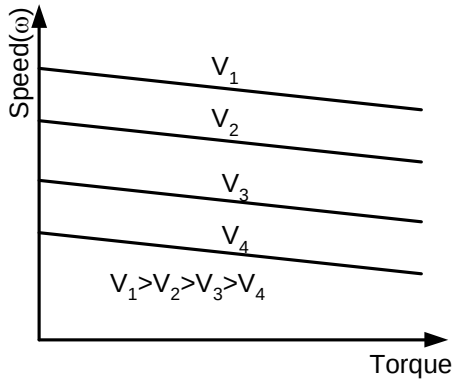
T_d العزم المتولد (N.m)

T_L عزم الحمل (N.m)

ω سرعة المحرك (rad./sec)

B معامل الاحتكاك (N.m/rad./sec)

ويوضح شكل (٢-١) العلاقة بين العزم وسرعة المحرك عند جهود مختلفة، ومن الملاحظ في هذه العلاقة أنه كلما زاد جهد المنتج زادت السرعة عند نفس العزم كما يلاحظ أيضا أن السرعة تقل عند زيادة العزم.



شكل (٢-١)

العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة

مثال (١-١):

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذية كل من دائرة المنتج ودائرة المجال من مصدر للتيار المستمر جهده ٤٤٠V لكل. ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,١٥ Ω ومقاومة ملفات المجال ٣٠٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,١٥ V/A.rad./sec وعزم الحمل ١٠٠ N.m. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك:

- احسب تيار المنتج وسرعة المحرك
- إذا زاد عزم الحمل بمقدار ٢٠٪ احسب سرعة المحرك

الحل

$V_a = ٤٤٠$ V $V_f = ٤٤٠$ V $R_f = ٣٠٠\ \Omega$ $R_a = ٠,١٥\ \Omega$

$T_L = ١٠٠$ N.m $K_v = ١,١٥$ V/A.rad./sec.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = ١٠٠$ N.m

$I_f = \frac{V_f}{R_f} = ١,٤٦٧$ Amp.

$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{100}{(1.15)(1.467)} = ٥٩,٢٨$ Amp

$E_b = V_a - I_a R_a = ٤٣١,١٠٧$ Volt

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{431.107}{(1.15)(1.467)} = ٢٥٥,٥٣٩$ rad./sec

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٢٤٤٠,٢١٧$ rpm

إذا زاد الحمل بمقدار ٢٠٪

$T_d = T_L = ١٢٠$ N.m.

$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{120}{(1.15)(1.467)} = ٧١,١٣$ Amp

$E_b = V_a - I_a R_a = ٤٢٩,٣٣$ Volt

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{429.33}{(1.15)(1.467)} = ٢٥٤,٤٨٦$ rad./sec

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٢٤٣٠,١٦$ rpm

محرك التوالي Series Motor

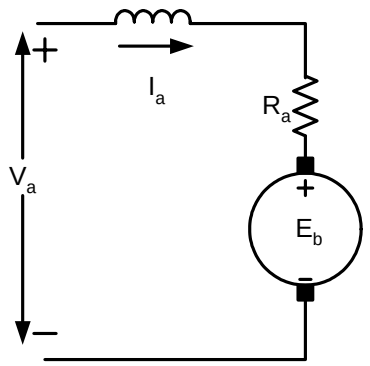
في محرك التوالي يتم توصيل ملفات المجال على التوالي مع ملفات دائرة المنتج كما في شكل (١-٣) وعلي ذلك تكون المعادلات التي تصف عمل المحرك كالتالي:

$$V_a = E_b + (R_a + R_f) I_a \qquad (١-٦)$$

$$E_b = K_v \omega I_a \quad (١\square٧)$$

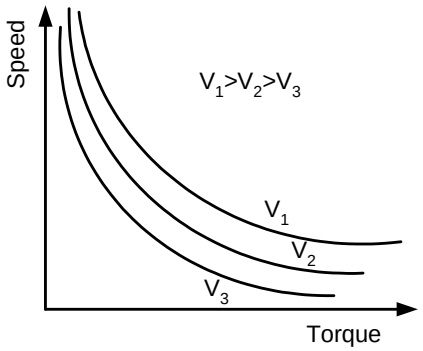
$$T_d = K_t I_a^{٢} \quad (١\square٨)$$

$$T_d = T_L + B \omega \quad (١\square٩)$$



شكل (١□٣)

الدائرة المكافئة لمحرك التوالي



شكل (١□٤)

العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التوالي

ويوضح شكل (١□٤) العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التوالي عند قيم مختلفة للجهد ويلاحظ أنه كلما زاد الجهد المسلط على المحرك زادت السرعة عند نفس الحمل، كما يلاحظ أن عزم البدء للمحرك عال جدا ولذلك يستخدم بكثرة كمحرك جر في القطارات الكهربائية، كما يجب تحميل المحرك قبل بدء تشغيله.

مثال (١□٢):

محرك تيار مستمر من نوع التوالي قيمه المقننة ١٠٠ hp, ٦٠٠V, ١٥٠٠ rpm . ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٤ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٦ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠٣٢ V/A.rad./sec و كان المحرك يعمل عند عزم.٦٠ N.m و سرعة ١٠٠٠ rpm أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك

- احسب تيار و جهد المنتج
- إذا أريد زيادة سرعة المحرك بمقدار ٢٠٪ عند نفس العزم احسب جهد المنتج

الحل

$R_f = ٠,٠٦\ \Omega$ $R_a = ٠,٠٤\ \Omega$ $T_L = ٦٠$ N.m $K_v = ١,١٥$ V/A.rad./sec.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = ٦٠$ N.m

$$I_f = I_a = \sqrt{\frac{T_d}{K_v}} = ٤٣,٣ \quad \text{Amp.}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ١٠٤,٧٢ \quad \text{rad./sec}$$

$$E_b = K_v I_f \omega = ١٤٥,١ \quad \text{Volt}$$

$$V_a = E_b + (R_a + R_f)\, I_a = ١٤٩,٤٣ \quad \text{Volt}$$

لزيادة السرعة عند نفس الحمل (نفس التيار) يجب زيادة جهد المنتج

$n = ١٢٠٠.$rpm

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ١٢٥,٦٦٤ \quad \text{rad./sec}$$

$$E_b = K_v I_f \omega = ١٧٤,١٢ \quad \text{Volt}$$

$$V_a = E_b + (R_a + R_f)\, I_a = ١٧٨,٤٥ \quad \text{Volt}$$

ثانيا: محركات التيار المتردد AC Motors

بالرغم من بساطة نظم التحكم في محركات التيار المستمر وقلة تكلفتها إلا أن محركات التيار المستمر نفسها لها بعض العيوب مثل كبر الحجم وثقل الوزن وحاجتها إلى الصيانة الدورية وتكلفتها العالية بالإضافة إلى أنها لاتناسب السرعات العالية، وعلى الجانب الآخر فإن آلات التيار المتردد رخيصة

الثمن ولاتحتاج إلى صيانة دورية تقريبا، ولكن التحكم فيها أكثر تكلفة وتعقيدا من تلك المستخدمة مع محركات التيار المستمر. وبصفة عامة ونتيجة للتقدم التكنولجي في مجال إلكترونيات القدرة فإن محركات التيار المتردد أصبحت تستخدم بكثرة في النظم الصناعية التي تحتاج إلى سرعات متغيرة، وتنقسم محركات التيار المتردد المستخدمة في مثل هذه التطبيقات إلى نوعين هما المحركات الحثية ثلاثية الأوجه والمحركات المتزامنة وسوف نتناول خواص كل منهما باختصار.

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه Three Phase Induction Motors

تتكون المحركات الحثية ثلاثية الأوجة من ملفات ثلاثية في كل من العضو الثابت والعضو الدائر، ويتم ترتيب الملفات في العضو الثابت بحيث تعطي تأثير عدد من الأقطاب، ويتم تغذية هذه الملفات من مصدر ثلاثي الأوجه متزن مما يسبب تكون مجال مغناطيسي يدور بسرعة التزامن مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية بالحث في ملفات العضو الدائر ف إذا تم قصر ملفاته فإن ذلك سوف يؤدي إلى مرور تيار كهربائي في العضو الدائر يصاحبه مجال مغناطيسي دوار آخر ويدور أيضا بسرعة التزامن، ونتيجة لتداخل هذين المجالين المغناطيسيين يتولد العزم الكهرومغناطيسي الذي يؤدي إلى حركة المحرك.

ويمكن فهم خواص المحرك الحثي ثلاثي الأوجة من خلال تمثيله بالدائرة المكافئة المبينة بشكل (١-٥) والدائرة المكافئة التقريبية بشكل (١-٦)، بالإضافة إلى مخطط القدرة للمحركات الحثية والمبين في شكل (١-٧). ومن خلال ذلك يمكن كتابة المعادلات التي تحكم عمل المحرك كما يلي:

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{P} \qquad (١-١٠)$$

$$\frac{n_s - n}{n_s} = s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \qquad (١-١١)$$

$$= \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s}}{\omega_s} = \frac{3V_1^2 \cdot R_2'}{s\omega_s\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 \left(X_1 + X_2'\right)^2} \qquad (١-١٢)$$

$$n_s = \frac{120\, f}{P} \qquad (١-١٣)$$

حيث:

I_1 تيار العضو الثابت (A)

I_2' تيار العضو الدائر منسوبا للعضو الثابت (A)

R_1 مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)

R_2' مقاومة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

X_1 معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)

X_2' معاوقة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

R_c مقاومة القلب الحديدي (Ω)

X_c معاوقة القلب الحديدي (Ω)

I_o تيار اللاحمل (A)

I_x تيار المغنطة (A)

I_c التيار المعبر عن المفاقيد في القلب الحديدي (A)

ω سرعة المحرك (rad./sec)

ω_s سرعة التزامن (rad./sec)

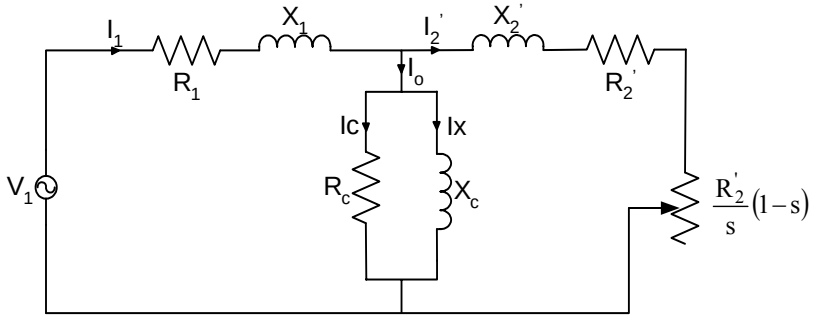
s الانزلاق

P عدد الأقطاب

f تردد المصدر

n_s سرعة التزامن (rpm)

n سرعة المحرك (rpm)

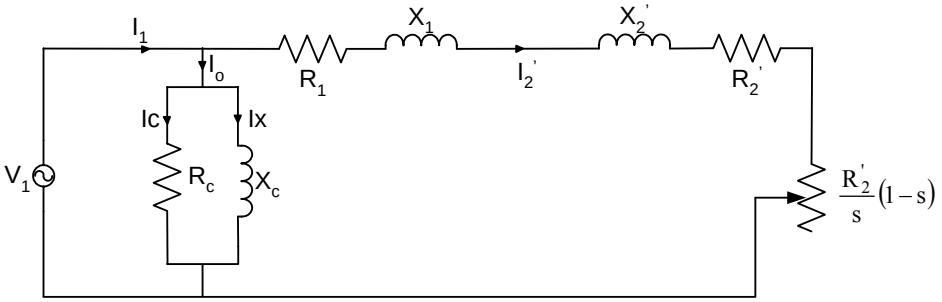


شكل (٥-١)

الدائرة المكافئة للمحرك الحثي ثلاثي الوجه

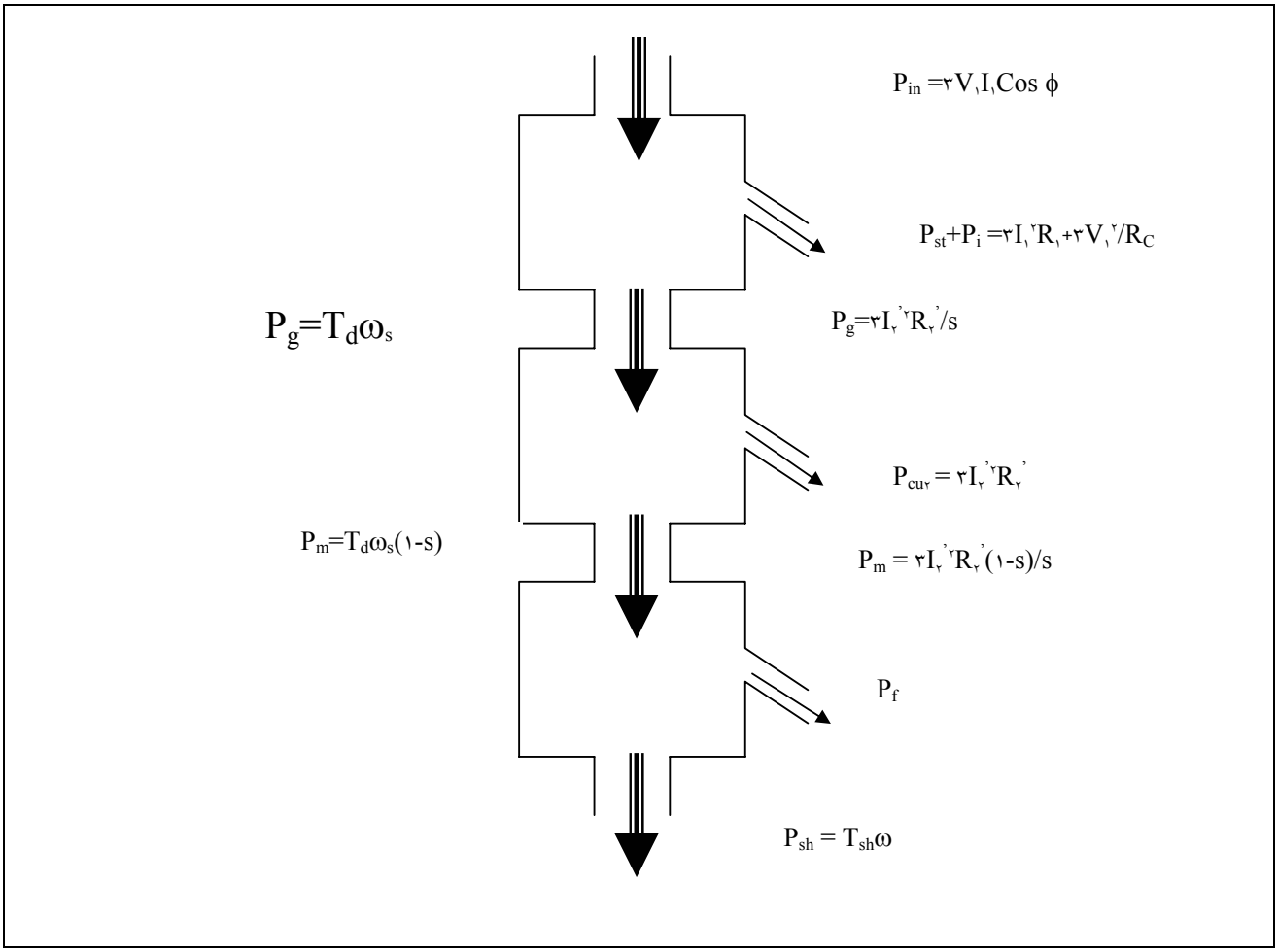
ويمكن رسم الدائرة المكافئة للمحرك بصورة تقريبية كما في شكل (٦-١) وتتكون من نفس عناصر الدائرة المكافئة ولكن تم نقل الجزء المعبر عن القلب الحديدي ليوصل على التوازي مع المصدر.

شكل (٨-١) يبين العلاقة بين العزم والانزلاق للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه وتتكون هذه العلاقة من جزأين رئيسيين. الجزء الأول من "s=١" وحتى "$s=s_m$" وتتميز بعدم الاتزان أما الجزء الثاني من "$s=s_m$" وحتى "s=٠" وتتميز بالاتزان وهي المنطقة التي يعمل بها المحرك حيث يتلاقى العزم المتولد مع عزم الحمل عند نقطة التشغيل وعلى ذلك تتحدد سرعة المحرك والانزلاق



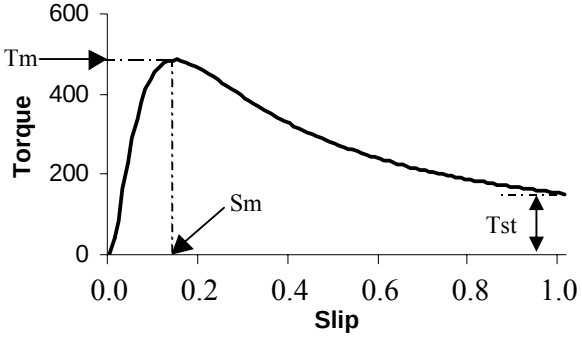
شكل (٦-١)

الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه



شكل (٧-١)

مخطط سريان القدرة للمحرك الحثى ثلاثى الأوجه



شكل (٨-١)

العلاقة بين العزم والانزلاق في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

مثال (٣□١) :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذي أربعة أقطاب موصل نجمة قيمه المقننة ٢٥hp, ٤٦٠V, ٦٠Hz وثوابت الدائرة المكافئة له منسوبة للعضو الثابت كالتالي:

$R_1 = ٠,٦٤\ \Omega$ $R_2' = ٠,٣٣٣\ \Omega$ $X_1 = ١,١\ \Omega$

$X_2' = ٠,٤٦٥\Omega$ $X_c = ٢٧\ \Omega$

المفاقيد الحديدية ٣٠٠ watt ومفاقيد الاحتكاك ٧٠٠ watt ويمكن اعتبارهما ثابتتين ف إذا كانت سرعة المحرك ١٧٥٠ rpm احسب الانزلاق ثم استخدم الدائرة المكافئة التقريبية ومخطط القدرة لحساب:

١ - التيار المسحوب من المصدر ٢ - معامل القدرة ٣ - القدرة المسحوبة من المصدر

٤ - القدرة في الثغرة الهوائية ٥ - المفاقيد النحاسية ٦ - العزم المتولد

٧ - عزم الحمل ٨ - القدرة عند عمود الإدارة

الحل

$P_c = ٣٠٠$ W, $P_f = ٧٠٠$ W, $n = ١٧٥٠$ rpm, f = ٦٠ Hz

$P = ٤$ $V_L = ٤٦٠$ V $V_{ph} = \frac{460}{\sqrt{3}} = ٢٦٥,٥٨$ V

$n_s = \frac{120\,f}{P} = ١٨٠٠$ rpm $\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = ١٨٨,٤٩٦$ rad/sec

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ١٨٣,٢٦$ rad/sec $s = \frac{n_s - n}{n_s} = ٠,٠٢٧٨$

من الدائرة المكافئة التقريبية في شكل (٧□١) يمكن حساب مجموع معاوقات العضو الثابت والعضو الدائر معا كالتالي:

$$Z_1 + Z_2 = (R_1 + \frac{R_2'}{s}) + j(X_1 + X_2') = ١٢,٦١٨ + j١,٥٦٥ = ١٢,٧١٥\angle 7^o$$

التيار المار في العضو الدائر

$$I_2' = \frac{V_{ph}}{Z_1 + Z_2} = 20.88\angle -7^o = ٢٠,٧\text{-}j٢,٥٤$$

تيار اللاحمل

$$I_o = \frac{V_{ph}}{Z_o} = 9.836\angle -90^o = -j٩,٨٣٦$$

التيار المسحوب من المصدر

$$I_١ = I_o + I_٢' = ٢٠,٧ - j١٢,٣٨ = ٢٤,١٢\angle -30.9^o$$

I١= ٢٤,١٢∠ Amp

معامل القدرة

P.F = Cos(∠٣٠,٩) = ٠,٨٦ lag (متأخر)

القدرة المسحوبة من المصدر

Pin=٣Vph I١ Cos (٣٠,٩) = ١٦٤٩٢,٨٧ Watt

المفاقيد النحاسية في العضو الثابت

$$P_{st} = ٣I_١^٢ . R_١ = ١١١٧ \text{ Watt}$$

القدرة في الثغرة الهوائية

$$P_g = P_{in} - (P_{st} + P_c) = ١٥٠٧٥,٨٦ \text{Watt}$$

المفاقيد النحاسية في العضو الدائر

$$P_{cu٢} = ٣I_٢'^٢ . R_٢' = ٤٣٥,٥٤ \quad \text{Watt}$$

العزم المتولد

$$T_d = \frac{P_g}{\omega_s} = ٨٠ \quad \text{N.m}$$

القدرة عند عمود الإدارة

$$P_{sh} = P_g - (P_{cu٢} + P_f) = ١٣٩٤٠,٣٢ \quad \text{Watt}$$

عزم الحمل = عزم عمود الإدارة

$$T_{sh} = \frac{P_{sh}}{\omega} = ٧٦ \quad \text{N.m}$$

المحركات التزامنية Synchronous Motors

المحرك التزامني محرك ثابت السرعة وتتحدد سرعته بناء على تردد المصدر وعلى عدد الأقطاب. تحتوي المحركات التزامنية على ملفات ثلاثية الأوجه في العضو الثابت (مشابهة لملفات العضو الثابت في المحركات الحثية) كما تحتوي على ملفات المجال في العضو الدائر حيث يتم تغذيتها بتيار مستمر بينما يتم تغذية ملفات العضو الثابت (المنتج) من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه، ينتج عن ذلك مجالان

مغناطيسيان أحدهما ناتج عن ملفات العضو الثابت ويدور بسرعة التزامن أما الآخر فينتج عن ملفات المجال (العضو الدائر) وهذا المجال يكون ثابتاً، ف إذا تم بدء المحرك بأي وسيلة فإن هذين المجالين يتداخلان ويتولد العزم، لذلك فإن المحرك التزامني يحتاج إلى وسيلة لبدء الحركة، هذه الوسيلة إما أن تكون خارجية أو أن يتم بدء المحرك كمحرك حثي عن طريق ملفات الإخماد التي عادة ما توجد في العضو الدائر لهذا الغرض ولتحسين أداء المحرك، وتتميز المحركات التزامنية بقدرتها على العمل عند قيم مختلفة لمعامل القدرة وذلك بالتحكم في قيمة تيار المجال وتنقسم المحركات التزامنية إلى عدة أنواع أهمها المحركات التزامنية ذات العضو الأسطواني والمحركات التزامنية ذات الأقطاب البارزة.

أولا: المحرك التزامني ذي العضو الأسطواني Cylindrical Rotor Motor

في هذه الحالة يتم لف ملفات على العضو الدائر ويتميز هذا النوع بثغرة هوائية منتظمة ويستخدم في التطبيقات ذات السرعات العالية ويبين شكل (١□٩) الدائرة المكافئة لهذا النوع بينما يبين شكل (١□١٠) المخطط الاتجاهي للجهود لهذا المحرك مع إهمال قيمة مقاومة ملفات المنتج كذلك يمكن كتابة المعادلات التي تحكم عمل المحرك التزامني كالتالي:

$$\bar{E}_f = \bar{V}_t + \bar{I}_a\left(R_a + jX_s\right) \qquad (١□١٤)$$

$$T_d = \frac{3V_t E_f Sin\delta}{\omega_s X_s} \qquad (١□١٥)$$

ويدور المحرك بسرعة التزامن والتي يمكن حسابها من المعادلة (١□١٣)

حيث:

I_a تيار العضو الثابت (A)

E_f جهد المجال (V)

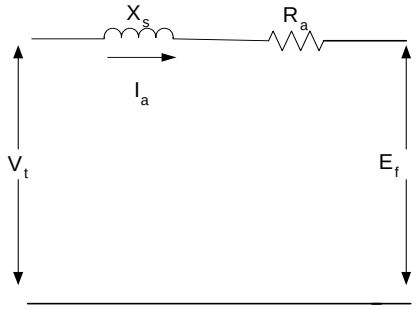
V_t جهد المصدر (V)

R_a مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)

X_s معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)

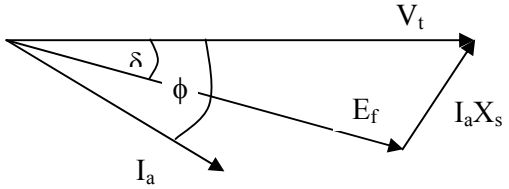
δ زاوية القدرة

ϕ الزاوية بين الجهد والتيار



شكل (١□٩)

الدائرة المكافئة للمحرك التزامني ذي العضو الأسطواني



شكل (١□١٠)

المخطط الاتجاهى للجهود

ثانيا: المحرك ذي الأقطاب البارزة Salient Pole Motor

في هذه الحالة يتم لف ملفات المجال حول الأقطاب البارزة والمثبتة على العضو الدوار ولذلك تكون الثغرة الهوائية غير منتظمة وتكون معادلة العزم المتولد للمحرك كما يلي:

$$T_d = \frac{3V_t E_f Sin\delta}{\omega_s X_d} - \frac{3V_t^2}{2\omega_s} \qquad (١□١٦)$$

حيث:

X_d المركبة الأفقية للمعاوقة (Ω)

X_q المركبة العمودية للمعاوقة (Ω)

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

أ. أكمل العبارات التالية:

- في حالة .....يكون العزم والسرعة موجبين ويعمل المحرك في الربع .....

- في حالة الفرملة العكسية يكون العزم..... والسرعة ..... ويعمل المحرك في الربع .....

ب. ضع✓ أو × أمام العبارات التالية:

- في حالة الفرملة الأمامية يعمل المحرك كمولد ويكون العزم موجباً ☐
- في حالة الفرملة العكسية يكون العزم موجب والسرعة سالبة ☐
- عزم البدء لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة أعلى من عزم البدء لمحرك توال له نفس القدرة. ☐

السؤال الثاني:

أ. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة. وضح تأثير تغير الجهد على تلك العلاقة

ب. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة محرك التيار المستمر من نوع التوالي. وضح تأثير تغير الجهد على تلك العلاقة

السؤال الثالث:

أ. اذكر مميزات وعيوب محركات التيار المستمر

ب. اذكر مميزات وعيوب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

ت. ارسم العلاقة بين العزم والانزلاق للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

ث. عرف كلاً من:

- الانزلاق
- سرعة التزامن

السؤال الرابع:

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذية كل من دائرة المنتج ودائرة المجال من مصدر للتيار المستمر جهده ٤٤٠V لكل. ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,١ Ω ومقاومة ملفات المجال ٢٨٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,١٤ V/A.rad./sec وعزم الحمل ١٢٠ N.m. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك:

أ. احسب تيار المنتج وسرعة المحرك.

ب. احسب قيمة جهد المنتج إذا أريد تخفيض السرعة إلى نصف قيمتها السابقة.

السؤال الخامس:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي قيمه المقننة ١٠٠ hp, ٦٠٠V, ١٥٠٠ rpm . ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٣ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠٣ V/A.rad./sec وكان المحرك يعمل عند عزم ٥٠ N.m و سرعة ١٠٠٠ rpm أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك

أ. احسب تيار و جهد المنتج

ب. إذا زاد العزم بمقدار ٢٠٪ احسب السرعة.

السؤال السادس:

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذي أربعة أقطاب موصل نجمة قيمه المقننة ٢٠hp, ٤٦٠V, ٦٠Hz وثوابت الدائرة المكافئة له منسوبة للعضو الثابت كالتالي:

$R_1 = ٠,٦٥\ \Omega$ $R_2' = ٠,٣٤\ \Omega$ $X_1 = ١,١١\ \Omega$

$X_2' = ٠,٥٥\Omega$ $X_c = ٣٠\ \Omega$

المفاقيد الحديدية ٣٢٠ watt ومفاقيد الاحتكاك ٧٠٠ watt ويمكن اعتبارهما ثابتتين ف إذا كان الانزلاق ٠,٠٢ احسب سرعة المحرك ثم استخدم الدائرة المكافئة التقريبية ومخطط القدرة لحساب:

١ - التيار المسحوب من المصدر ٢ - معامل القدرة ٣ - القدرة المسحوبة من المصدر

٤ - القدرة في الثغرة الهوائية ٥ - المفاقيد النحاسية ٦ - العزم المتولد

٧ - عزم الحمل ٨ - القدرة عند عمود الادارة

التحكم الإلكتروني في الآلات

مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: التعرف على أنواع واستخدامات دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

١. رسم الأنواع المختلفة لدوائر التوحيد المحكومة
٢. رسم أشكال موجات التيار والجهد لكل نوع من دوائر التوحيد المحكومة
٣. حساب القيمة المتوسطة للجهد والتيار في دوائر التوحيد المختلفة
٤. رسم الأنواع الأساسية لدوائر مقطعات التيار المستمر
٥. رسم أشكال موجات التيار والجهد لمقطع التيار المستمر من النوع الخافض
٦. حساب القيمة المتوسطة للجهد الناتج من مقطع التيار المستمر وفهم تأثير نسبة التشغيل على القيمة المتوسطة للجهد
٧. رسم الأشكال الأساسية لدوائر حاكمات الجهد المتناوب وأشكال موجات التيار والجهد
٨. رسم وتوضيح الأشكال الأساسية للعواكس

الوقت المتوقع: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة

مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

نتيجة للتقدم التكنولوجي الهائل في صناعة أشباه الموصلات فقد أصبحت دوائر إلكترونيات القدرة تلعب دورا رئيسيا مهماً في مجال التحكم الإلكتروني في المحركات الكهربائية، حيث أصبح من السهل استخدام هذه الدوائر لبدء الحركة والتحكم في سرعة المحركات كما يمكن استخدامها لعمل الفرملة أيضا. وتسمى الدوائر الإلكترونية المستخدمة لهذا الغرض بمغيرات القدرة "Converters " وتتميز هذه الدوائر بصغر الحجم والدقة العالية وقلة التكلفة في معظم الحالات. وتنقسم مغيرات القدرة إلى عدة أنواع هي:

الموحدات المحكومة " Controlled Rectifiers "

مقطعات التيار المستمر "DC Choppers "

حاكمات الجهد المتردد " AC Voltage Controllers "

العواكس " Inverters "

ويعتمد اختيار مغير القدرة المناسب على عدة عوامل مثل نوع المحرك ومصدر التغذية المتوفر بالإضافة إلى طبيعة الحمل.

أولا: الموحدات المحكومة "Controlled Rectifiers"

تستخدم الموحدات المحكومة للتحويل من تيار متردد إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثايرستورات" حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثايرستور، ويتم إشعال الثايرستور في دوائر الموحدات المحكومة بتسليط نبضة على البوابة، بينما يتم إطفاؤه طبيعيا في حالة الأحمال الممثلة بمقاومة، أما في حال الأحمال الحثية (ملفات) فيتم إطفاؤه بإشعال ثايرستور آخر في دائرة الموحد المستخدم وذلك خلال النصف السالب من الموجة.

وتتميز الموحدات المحكومة بالبساطة والكفاءة العالية وقلة التكلفة، ولذلك تستخدم بكثرة في التحكم في التطبيقات الصناعية التي تتطلب سرعات متغيرة، ويمكن تقسيم الموحدات المحكومة حسب نوع المصدر إلى نوعين رئيسيين، موحدات أحادية الوجه وموحدات ثلاثية الأوجه، كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربعة أنواع هي:

موحد نصف موجة محكوم "Half Wave Converter "

موحد موجة كاملة نصف محكوم "Semi-converter"

موحد موجة كاملة محكوم " Full Wave Converter"

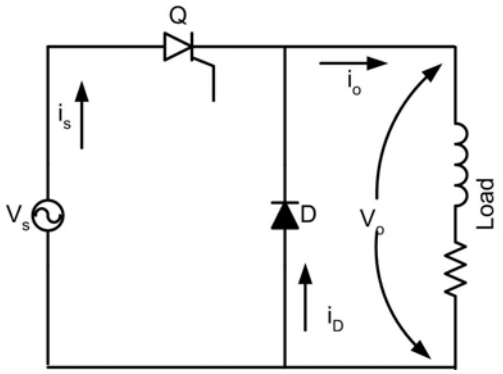
المغير المزدوج "Dual Converter"

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع في الجزء التالي

الموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم Single Phase Half Wave Converter

يتكون هذا الموحد من عنصر توحيد محكوم (ثايرستورQ) كما في شكل (١-٢) . ويتميز التيار المار في الحمل نتيجة لاستخدام هذا الموحد بأنه تيار متقطع وغير متصل ولذلك يحتاج إلى ملف تنعيم عال القيمة كما يتطلب أيضا وجود دايود حذافة (D) ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha) \qquad (١-٢)$$



شكل (١-٢)

موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم

وكما هو واضح من المعادلة (١-٢) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته المتوسطة بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال"α" ،.ونتيجة للتذبذبات العالية في موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحد فإنه يستخدم في التطبيقات الصناعية على نطاق ضيق جدا وفي القدرات الصغيرة

مثال (١-٢) :

موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60^o

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصو على تيار 8A

ت. أقصى قيمة يمكن الحصول عليها لتيار الحمل

ث. ارسم العلاقة بين زاوية الإشعال والجهد المتوسط على أطراف الحمل

الحل

أ) تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) = 46.816(1+Cos60) = 70.22 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.022 \quad \text{Amp.}$$

ب) زاوية الإشعال

للحصول على تيار 8A

$$V_o = I_o R = 8\times 10 = 80 \quad \text{Volt}$$

بالتعويض في المعادلة (١□٢)

$\alpha = ٤٤,٨٦^o$

ت) أقصى قيمة لتيار الحمل

للحصول على أقصى قيمة للتيار يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) = 46.816(1+Cos0) = 93.63 \quad \text{Volt}$$

$$I_{o\max} = \frac{V_{o\max}}{R} = 9.36 \quad \text{Amp.}$$

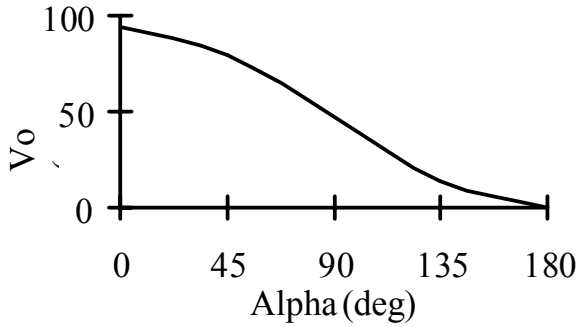
ث)العلاقة بين زاوية الإشعال والجهد المتوسط على أطراف الحمل

من المعادلة (١□٢) وبالتعويض عن قيمة V_m يمكن استنتاج الجدول التالي

α(deg)	٠	٤٥	٩٠	١٣٥	١٨٠
V_o(volt)	٩٣,٦٣	٧٩,٨١٦	٤٦,٨١٦	١٣,٧١	٠

جدول ١

العلاقة بين زاوية الإشعال والقيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل (مثال ١□٢)

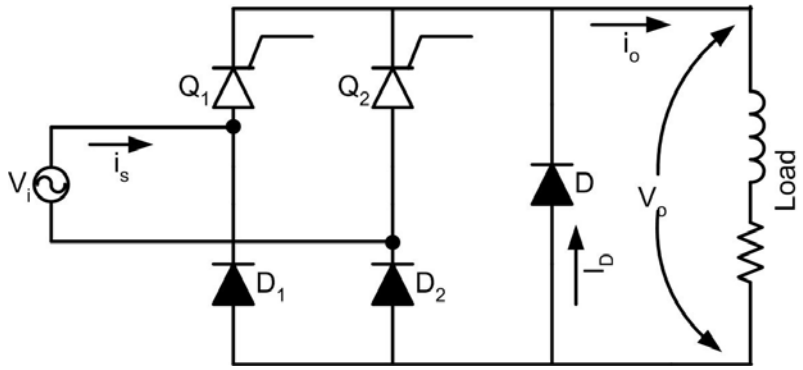


شكل (٢-٢)

العلاقة بين الجهد وزاوية الإشعال (مثال ١-٢)

موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم "Single Phase Semi-converter"

يتكون الموحد النصف محكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل (٣-٢) اثنان منهما عبارة عن ثايرستور (Q_1,Q_2) والآخران عبارة عن دايود (D_1, D_2) بالإضافة إلى دايود الحذافة "D"، ويبين شكل (٤-٢) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد لتغذية حمل ذي محاثة عالية وذلك للحصول على تيار متصل وخالي من التذبذبات.



شكل (٣-٢)

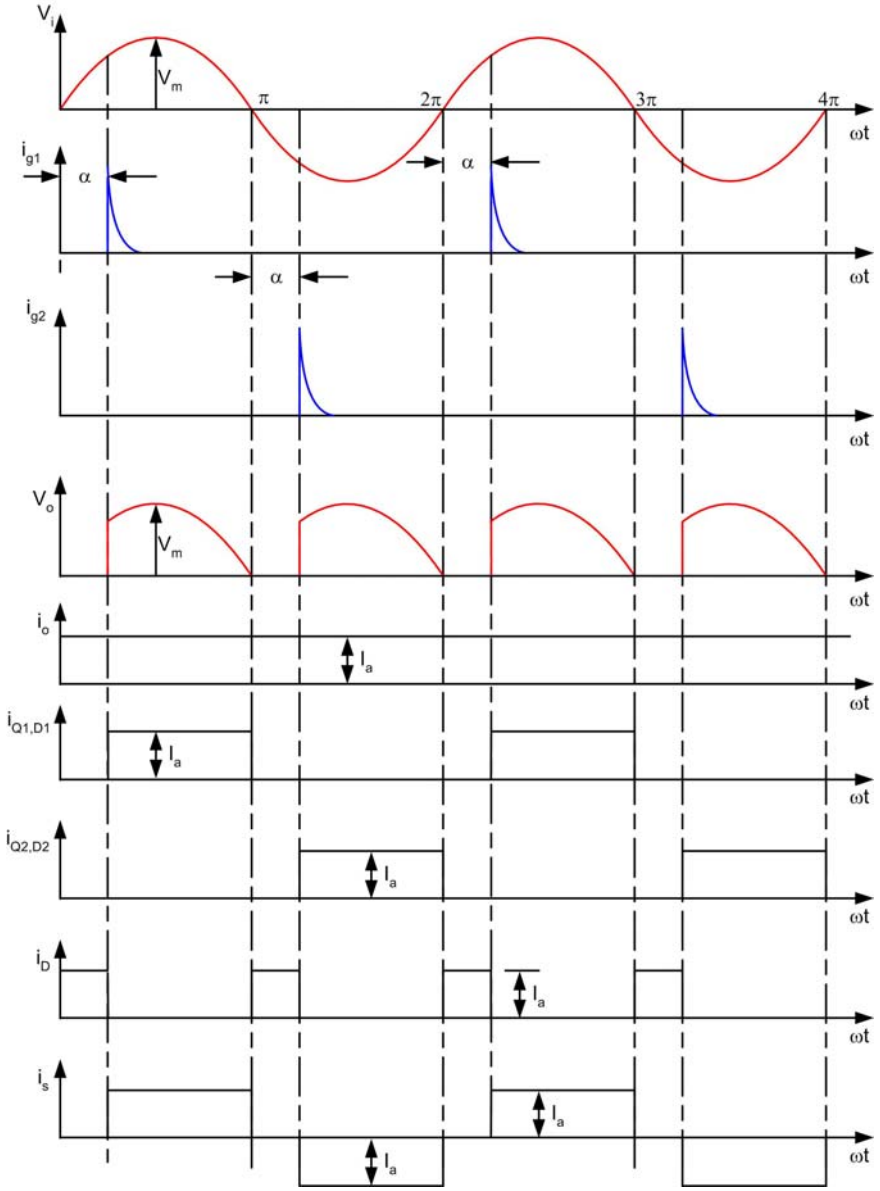
موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "π-٠" وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل:

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha) \qquad (٢-٢)$$

وكما هو واضح من المعادلة (٢-٢)هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α".

ومن الواضح أن جهد الخرج لهذا الموحد دائما يكون موجبا، وكذلك تيار الحمل يكون أيضا موجبا لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التى لاتحتاج إلى عكس اتجاه الجهد أو التيار"One quadrant" كحالات التدوير الأمامي للمحركات.



شكل (٢-٤)

أشكال موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف محكوم

مثال (٢-٢) :

موحد أحادي الوجه كامل الموجة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 75^o

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره ١٥٠v

ت. أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل

الحل

أ) تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha) = 93 \cdot 633(1 + Cos75) = 117.86 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 11.787 \quad \text{Amp.}$$

ب) زاوية الإشعال: بالتعويض في المعادلة (٢-٢) عن الجهد ١٥٠ V

$\alpha = ٥٢,٩٨٧^o$

ت) أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل

للحصول على أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha) = 93.633(1 + Cos0) = 187.266 \quad \text{Volt}$$

موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم "Single Phase Full Converter"

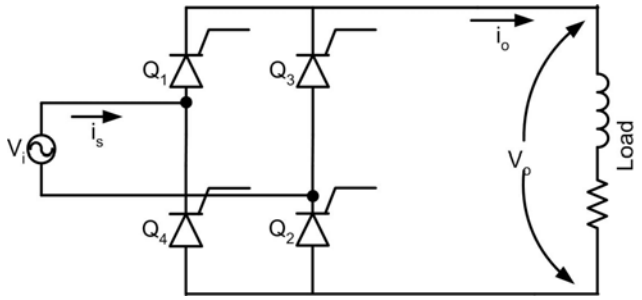
يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل (٢-٥) جميعها ثايرستور ($Q_١, Q_٢, Q_٣, Q_٤$) .ويوضح شكل (٢-٦) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد مع حمل ذي محاثة عالية حيث يمر التيار في كل من ($Q_١, Q_٢$) في النصف الموجب

لموجة المصدر ويمر في كل من (Q_3, Q_4) في النصف السالب، وينتج عن ذلك مرور تيار موحد دائما في الحمل. وفي حالة زيادة زاوية الإشعال عن 90^o فإن جهد الحمل سيصبح سالبا، بمعنى أن التيار الناتج من استخدام هذا الموحد يكون يكون دائما موجبا بغض النظر عن زاوية الإشعال بينما يعتمد الجهد على زاوية الإشعال فإما أن يكون موجبا عندما تكون زاوية الإشعال أقل من 90^o أو سالبا إذا كانت أكبر من 90^o (Two-quadrant)، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى عكس الجهد مثل عمليات الفرملة بإعادة التوليد.

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "α to π-α"

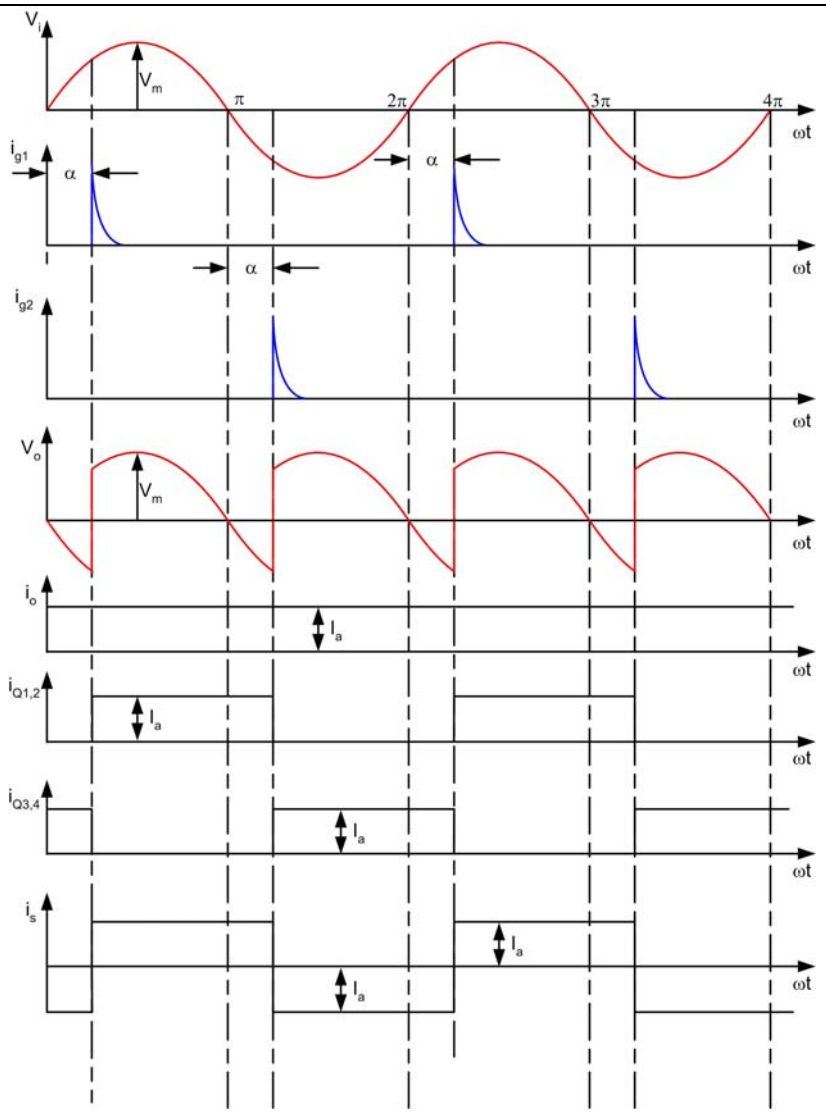
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} Cos\alpha \qquad (٢-٣)$$

وكما هو واضح من المعادلة (٣-٢) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال " α"



شكل (٢-٥)

موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم



شكل (٢-٦)

أشكال موجات الجهد والتيار

مثال (٢-٣) :

موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ V احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o

ب. القدرة المسحوبة من المصدر P_s

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135^o احسب القدرة المستردة إلى المصدر

الحل

أ)

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 187.266(Cos45) = 132.417 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 13.2417 \quad \text{Amp.}$$

ب)

القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$$P_s = P_L = V_o I_o = ١٧٥٣,٤٣ \quad \text{watt}$$

ت)

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون ^{o}١٣٥ فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا، ويمكن حسابه من المعادلة (٣□٢)

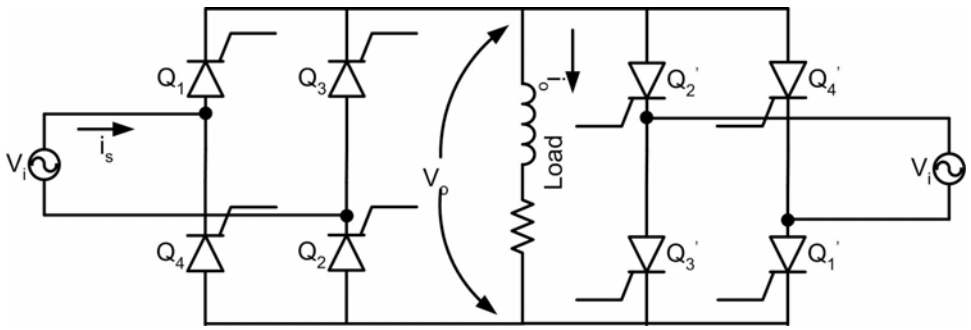
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 187.266(Cos135) = -132.417 \quad \text{Volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$$P_s = V_o I_o = \square ١٧٥٣,٤٣ \quad \text{watt}$$

الموحد المزدوج أحادي الوجه Single Phase Dual Converter

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (٧□٢) وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار في الحمل (Four quadrant) ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة



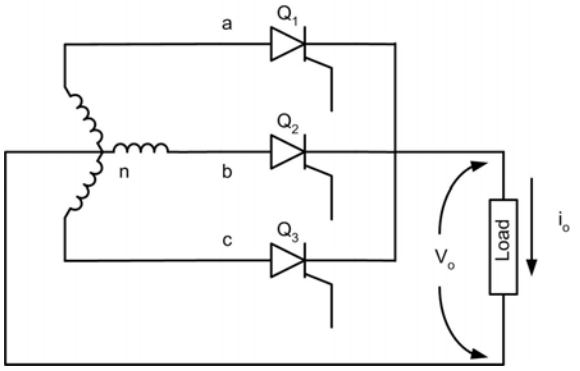
شكل (٧□٢)

الموحد المزدوج أحادي الوجه

الموحد ثلاثي الوجه نصف موجة محكوم "Three Phase Half Wave Converter"

تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات أحادية الوجه، كما أن تردد التذبذبات يكون عالياً ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات أحادية الوجه

يتكون الموحد الثلاثي نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات "Q_1,Q_2,Q_3" توصل بين المصدر والحمل كما في شكل (٢-٨)



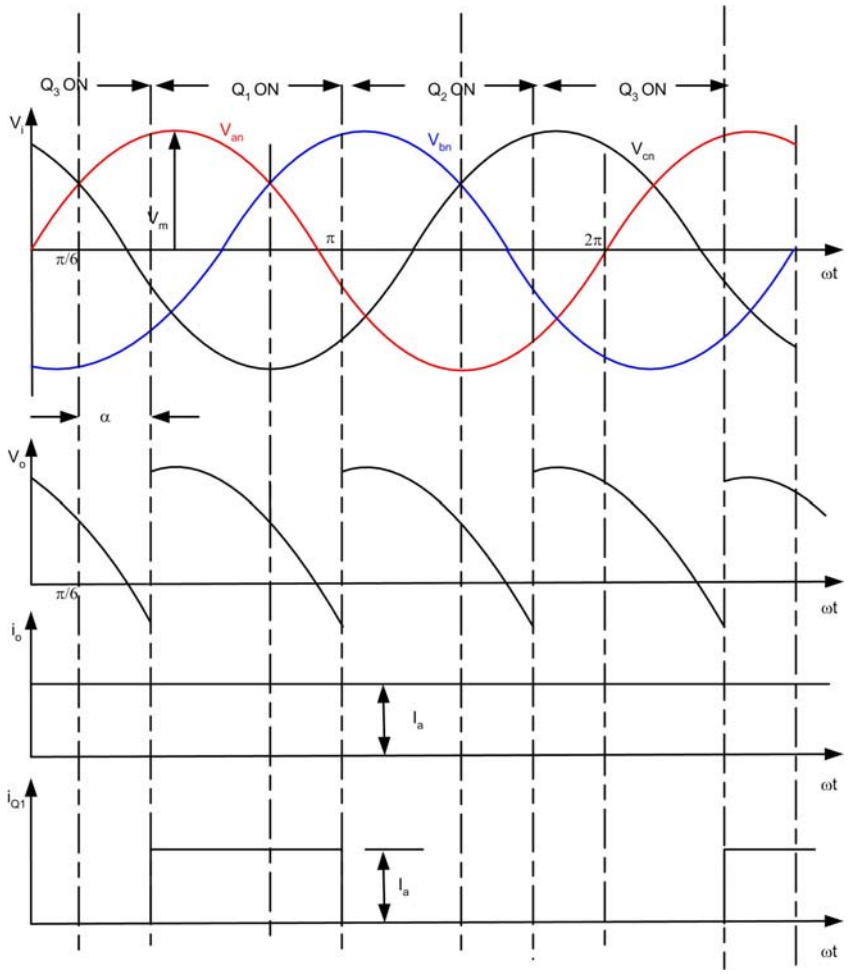
شكل (٢-٨)

الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة

في هذه الحالة يتم إشعال Q_1 عندما يكون انحيازه أماميا بمعني أن تكون ($\omega t>\pi/6$) وعلى ذلك يتم إشعاله عند ($\omega t=\pi/6+\alpha$)، وينتج عن ذلك أن يظهر الجهد V_{an} على الحمل ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_2 عند ($\omega t=5\pi/6+\alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_1 يؤدي إلى إطفائه ويظهر الجهد V_{bn} على الحمل، ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_3 عند ($\omega t=3\pi/2+\alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_2 يؤدي إلى إطفائه، ويظهر الجهد V_{cn} على الحمل وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار للموحد والحمل كما في شكل (٢-٩) ويمكن ملاحظة أن التيار دائما موجب بينما الجهد من الممكن أن يكون موجبا أو سالبا"Two quadrant "حسب زاوية الإشعال كما يمكن ملاحظة أن عدد التذبذبات أقل من تلك الناتجة من الموحد أحادي الوجه

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha \qquad (٢-٤)$$



شكل (٢□٨)

أشكال موجات الجهد واالتيار

مثال (٢□٤) :

موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ V ، احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^{o}

الحل

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \quad \text{Volt}$$

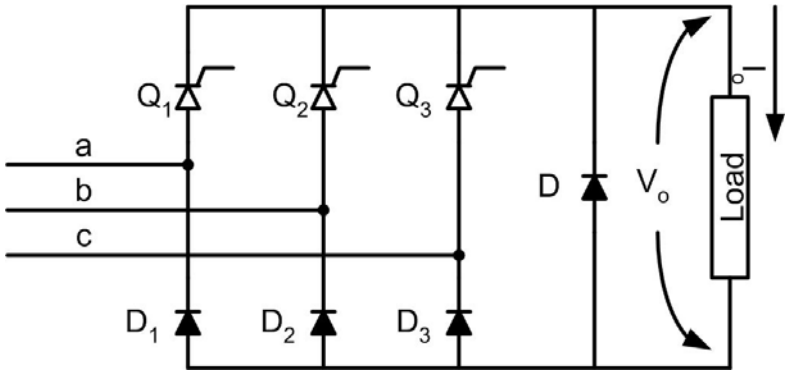
$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(Cos\alpha) = 140 \cdot 449(Cos30) = 121.633 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 12.166 \quad \text{Amp.}$$

الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم "Three Phase Semi-converter"

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعها على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود حذافة كما في شكل (٢-١٠)، ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب "One quadrant"، ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة كما أن معامل القدرة له أعلى ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) \qquad (٢-٥)$$



شكل (٢-١٠)

الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال (٢-٥) :

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ V. احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^o

الحل

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \quad \text{Volt}$$

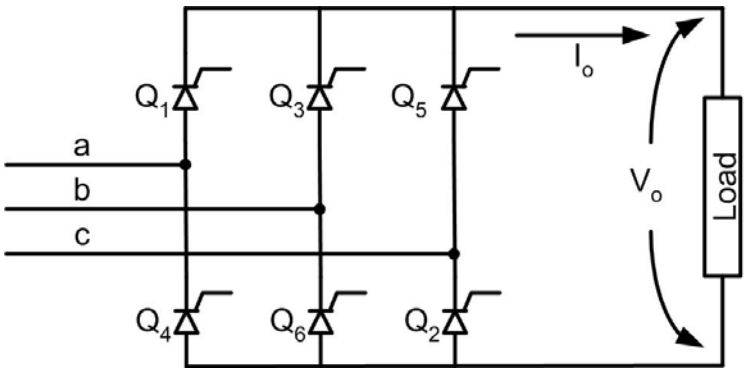
$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) = 140\cdot 449(1+Cos30) = 262.08 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 26.208 \quad \text{Amp.}$$

الموحد ثلاثي الوجه موجة كاملة محكوم "Three Phase Full Converter"

يتكون هذا الموحد من ستة ثايرستورات يتم توزيعها على شكل قنطرة كما في شكل (٢-١١) ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب أو سالب على حسب قيمة زاوية الإشعال وتيار موجب فقط "Two quadrant" ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}Cos\alpha \qquad (٢-٦)$$



شكل (٢-١١)

الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

مثال (٢-٦) :

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ V . احسب

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o

ب. القدرة المسحوبة من المصدر P_s

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135^o احسب القدرة المستردة إلى المصدر

الحل

أ)

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 280.898(Cos45) = 198.625 \qquad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 19.8625 \qquad \text{Amp.}$$

ب)

القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$P_s = P_L = V_o I_o = ٣٩٤٥,١٨٩$ watt

ت)

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون ١٣٥^o فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا ويمكن حسابه من المعادلة (٣□٢)

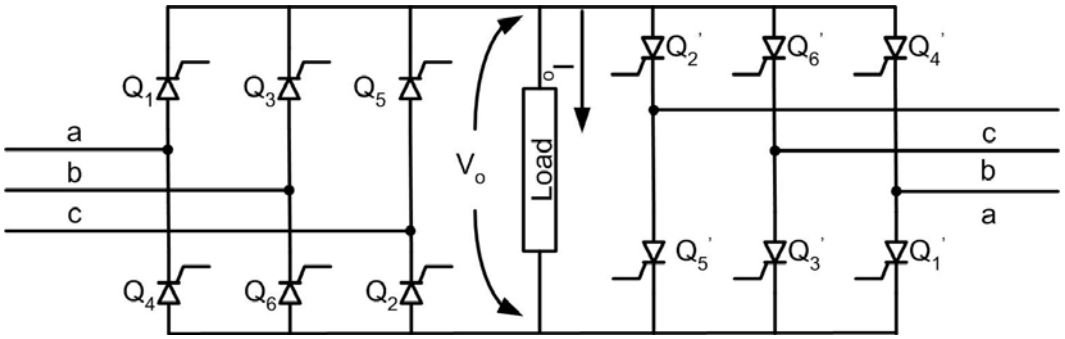
$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 280.898(Cos135) = -198.625 \qquad \text{Volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o = -٣٩٤٥,١٨٩$ watt

الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه "Three Phase Dual Converter"

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (١٢□٢) وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار في الحمل "Four quadrant" ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.



شكل (٢-١٢)

الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه

ثانيا: مقطعات التيار المستمر DC Choppers

تستخدم مقطعات التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة (محكوم)، وتستخدم مقطعات التيار المستمر على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية والأوناش.... الخ، وتلعب مقطعات التيار المستمر دورا مهما للتحكم في السرعة أو عمل الفرملة بإعادة التوليد ويؤدي استخدامها إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية.

نظرية عمل مقطعات التيار المستمر Theory of Operation

يمكن فهم فكرة عمل مقطع التيار المستمر باستخدام الدائرة الموضحة بشكل (٢-١٣) والمكونة من حمل (عبارة عن مقاومة) ومفتاح ومصدر للتيار المستمر. عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل، و إذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساويا للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٢-١٤) ويكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s \qquad (٢-٧)$$

حيث

V_s جهد المصدر

T_{on} زمن التوصيل

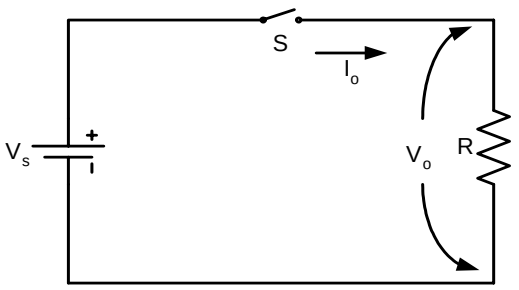
T_{off} زمن الفصل

T الزمن الكلي

V_o جهد الخرج

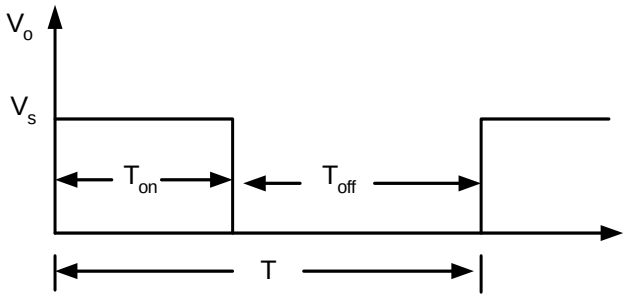
k نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (٧-٢) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق التحكم في نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عاليا (يتراوح ما بين ٥٠٠ Hz إلى ٢٥٠٠ Hz) لذا يجب أن يكون المفتاح المستخدم أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة أو IGPT أو MOSFET أو GTO .....الخ.



شكل(١٣-٢)

دائرة مقطع التيار المستمر



شكل(١٤-٢)

جهد الخرج

مما سبق يتضح لنا أنه يمكن التحكم في القيمة المتوسطة للجهد عن طريق نسبة التشغيل والتي يمكن التحكم فيها بطريقتين:

تعديل عرض النبضة (PWM) ويتم ذلك بتغيير فترة التوصيل (T_{on}) مع المحافظة على زمن الدورة (T) ثابت

تغيير التردد (FM) ويتم ذلك بتغيير زمن الدورة (T) مع المحافظة على زمن التوصيل (T_{on}) ثابت

وتنقسم المقطعات حسب نوعية أشباه الموصلات المستخدمة إلى عدة أنواع منها:

المقطعات الثايرستورية: ويستخدم فيها ترانزستور القدرة (SCR) كمفتاح وتتميز بالقدرات العالية ولكنها تحتاج إلى دوائر إطفاء قسرية

المقطعات الترانزستورية: ويستخدم فيها ترانزستور القدرة (PT) كمفتاح وتمتاز بعدم حاجتها إلى دوائر إطفاء قسرية حيث يتم تشغيله بنبضة تيار على القاعدة وإطفاؤه يتم بنهاية نبضة تيار القاعدة، ونتيجة لاعتماد ترانزستور القدرة على تيار القاعدة في الإشعال فإن هذا يعني تعقيداً وصعوبة في دوائر الإشعال ويزيد التعقيد كلما زاد تيار الحمل.

مقطعات الموسفت: ويستخدم فيها ترانزستور موسفت (MOSFET) كمفتاح، وقد انتشرت بشكل ملحوظ في الصناعة، وذلك لما يتمتع به من بعض المميزات مثل:

- ترانزستور موسفت (MOSFET) يتم التحكم فيه بإشارة جهد وليس بإشارة تيار حيث يحتاج لتيار صغير جدا لاشعاله.
- البوابة معزولة عن المصدر بمعنى أنه ليس هناك ارتباط بين تيار البوابة وتيار الحمل.
- يعمل عند ترددات عالية وهذا يسهل عملية تنعيم الخرج

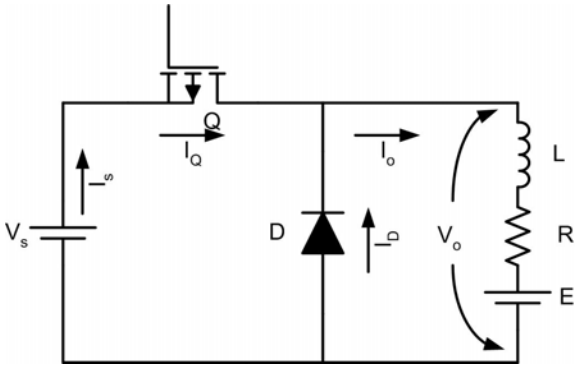
وعلي الجانب الآخر فإن قدراتها أقل من الثايرستور ولكن يمكن التغلب على هذا العيب بتوصيلها على التوازي

ويمكن تقسيم مقطعات التيار المستمر من حيث استخدامها إلى نوعين رئيسيين هما المقطعات الخافضة والمقطعات الرافعة.

المقطعات الخافضة "Step Down DC Chopper"

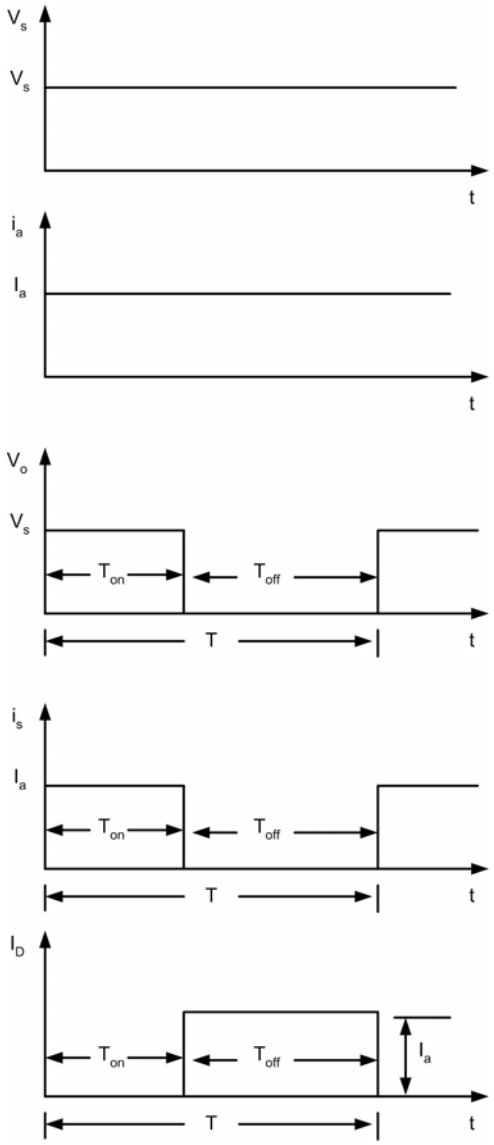
في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أقل من جهد المصدر، أي أن نسبة التشغيل أقل من واحد. ويبين شكل (١٥-٢) مقطعاً خافضاً باستخدام موسفت لتغذية حمل عبارة عن مقاومة وملف وبطارية كما يبين شكل (١٦-٢) أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة باعتبار أن محاثة الملف عالية بحيث يكون تيار الحمل متصلاً وخالياً من التذبذبات.

عند تشغيل المقطع أي وضع الموسفت في حالة (On) يمر التيار من المصدر إلى الحمل من خلال الموسفت (Q)، أما في حال الفصل أي وضع الموسفت في حالة (Off) فإن التيار يدور في الحمل ودايود الحذافة حتى يتم تشغيل (Q) مرة أخرى، وفي هذه الحالة يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما في المعادلة (٧-٢) حيث تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.



شكل (١٤-٢)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض باستخدام الموسفت



شكل (١٦□٢)

أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة

المقطعات الرافعة "Step Up DC Chopper"

في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أكبر من جهد المصدر. شكل (١٧□٢) يوضح مثال للمقطعات الرافعة يتكون من موسفت وملف عالي القيمة ودايود تم تركيبهما بالشكل المبين. عند تشغيل المقطع أي وضعه في حالة (On) فإن التيار يمر في الملف (L) لفترة طويلة حيث

يتم تخزين طاقة في الملف وعند وضع المفتاح في حالة (Off) يتم تفريغها في الحمل ويمكن إثبات أن الجهد على أطراف الحمل:

$$v_o = \frac{\Delta I}{1-k} V_s \qquad (٢\text{-}٨)$$

حيث:

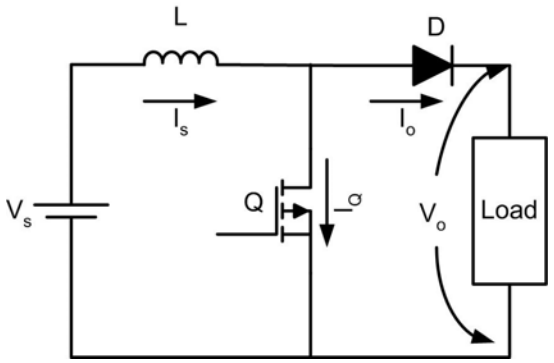
V_s جهد المصدر

ΔI الفرق بين القيمة العظمى والصغرى للتيار نتيجة لعملية الفصل والتوصيل

k نسبة التشغيل

v_o القيمة الحظية لجهد الخرج

ومن المعادلة (٢-٨) يمكن ملاحظة أن الجهد على أطراف الحمل يمكن التحكم فيه بالتحكم في نسبة التشغيل. ويمكن استخدام هذه الفكرة لنقل الطاقة من من مصدر إلى آخر كما تستخدم لعمل الفرملة للمحركات الكهربائية بإعادة التوليد.



شكل (٢-١٧)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الرافع باستخدام الموسفت

ثالثا: حاكمات الجهد المتناوب AC Voltage Controller

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب للتحويل من جهد متردد ثابت القيمة إلى جهد متردد متغير القيمة (محكوم)، ويتم ذلك باستخدام عناصر إلكترونيات القدرة مثل الثايرستور لتحقيق هذا الغرض، ولفهم كيفية عمل حاكمات الجهد المتناوب نبدأ بدراسة لدائرة بسيطة لحاكم جهد متناوب أحادي الوجه يستخدم لتغذية مقاومة كما في شكل (١٨-٢)، وتتكون دائرة حاكم الجهد المتناوب من تايرستورين متعاكسين Q_1, Q_2، يتم إشعال أحدهما في النصف الموجب من الموجة، بينما يتم إشعال الآخر في النصف السالب من الموجة. ويعتبر الهدف الأساسي لاستخدام حاكمات الجهد المتناوب هو التحكم في القيمة الفعالة للجهد.

وهناك طريقتان لتنفيذ هذا الهدف:

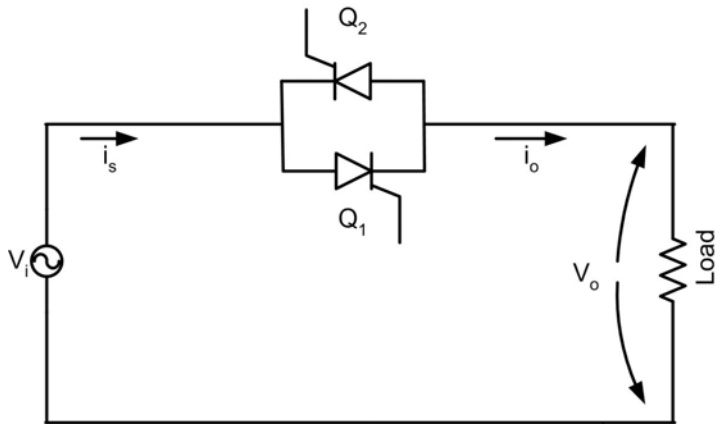
١. التحكم في فترات التشغيل والإيقاف On-Off Control

وفي هذه الحالة يتم توصيل Q_1, Q_2 لعدد صحيح من الدورات ثم فصلها لعدد آخر كما في شكل (١٩-٢) وهكذا يتم التحكم في القيمة الفعالة للجهد، وتتميز هذه الطريقة بقلة التوافقيات الناتجة من عملية التوصيل والفصل للثايرستورات.

٢. التحكم في زاوية إشعال الثايرستورات Phase Control

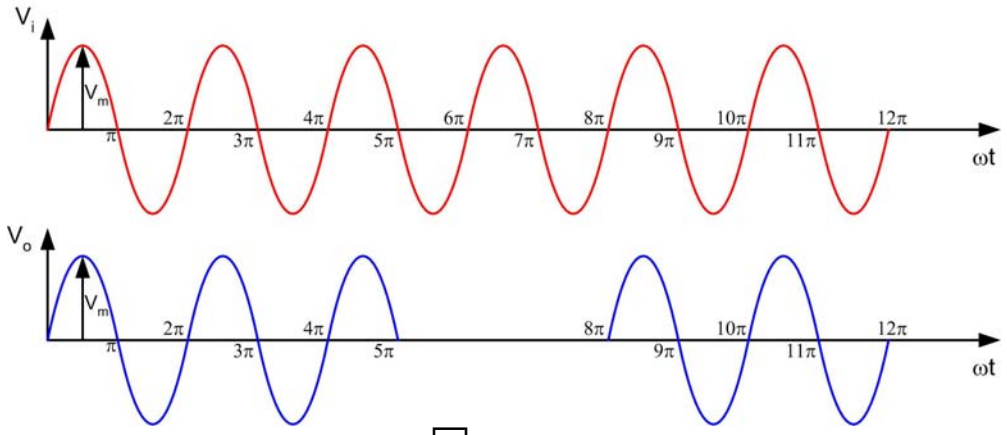
وهذه الطريقة هى الأكثر انتشارا حيث يتم التحكم في زاوية إشعال كل من Q_1, Q_2 وتكون أشكال الموجات كما في شكل (٢٠-٢).

ويمكن تقسيم حاكمات الجهد المتناوب إلى حاكمات أحادية الوجه كما في شكل (١٨-٢) أوحاكمات ثلاثية الوجه كما في شكل (٢١-٢).



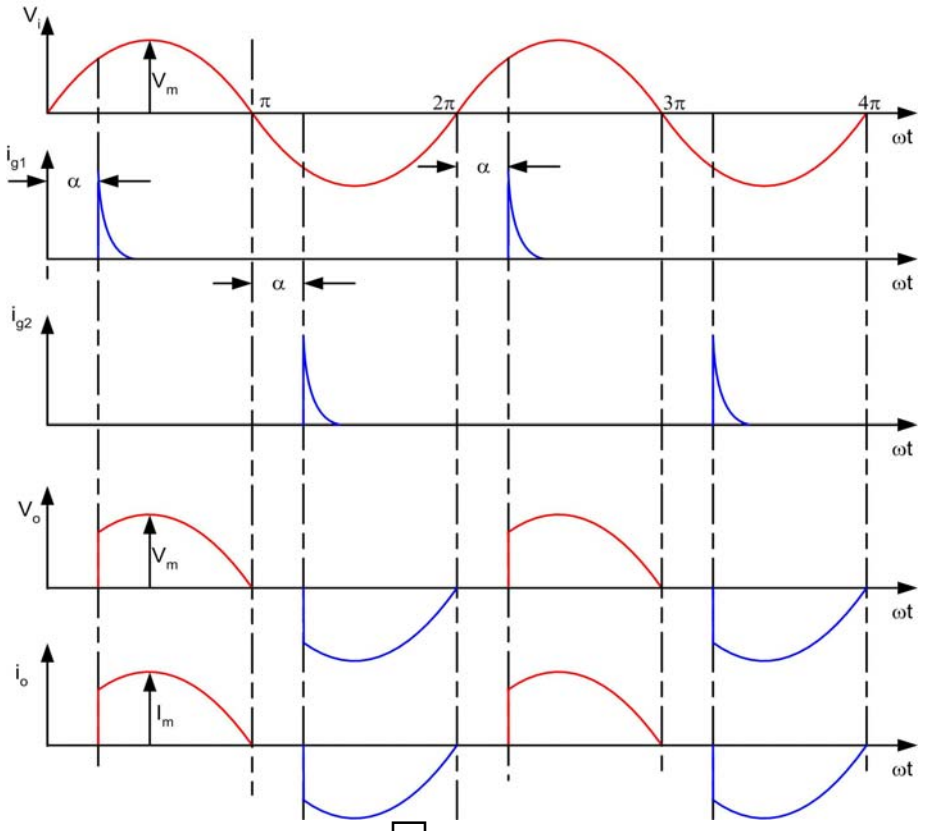
شكل (١٨-٢)

دائرة حاكم الجهد المتردد أحادي الوجه مع حمل مقاومة



شكل (١٩□٢)

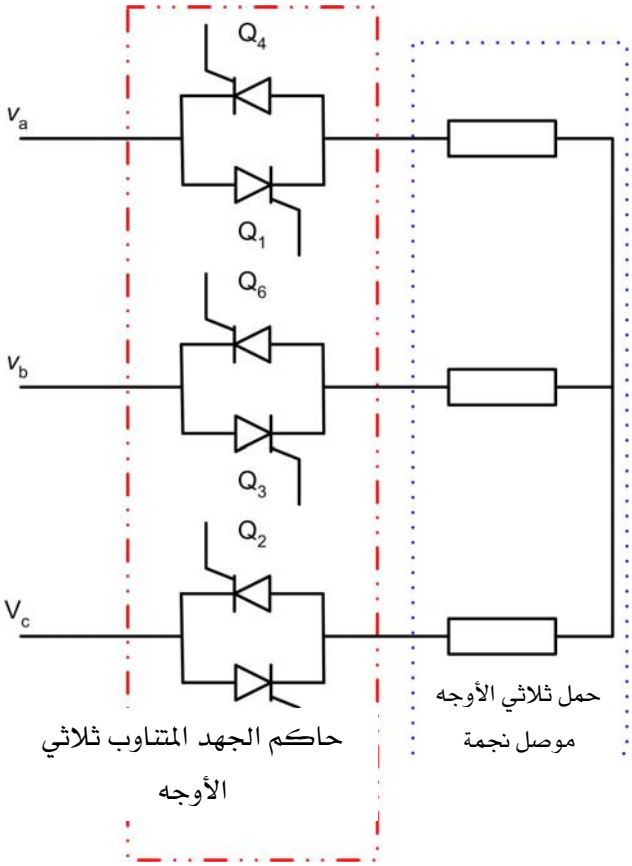
أشكال موجات الجهد لحاكم الجهد المتناوب (التحكم في فترات التشغيل والإيقاف)



شكل (٢٠□٢)

أشكال موجات الجهد والتيار للحاكم أحادي الوجه مع حمل (مقاومة)

التحكم في زاوية الإشعال



شكل (٢١-٢)

دائرة حاكم الجهد المتردد ثلاثي الأوجه

رابعا : العواكس INVERTERS

تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار متردد يمكن التحكم في جهده أوتردده أو فيهما معا ، وهناك طرق مختلفة للتحكم في قيمة الجهد الناتج من استخدام العاكس مثل التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل بأي من الطرق السابقة أو التحكم في الجهد المتردد الناتج بطريقة عرض النبضة (PWM) بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم في الدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة.

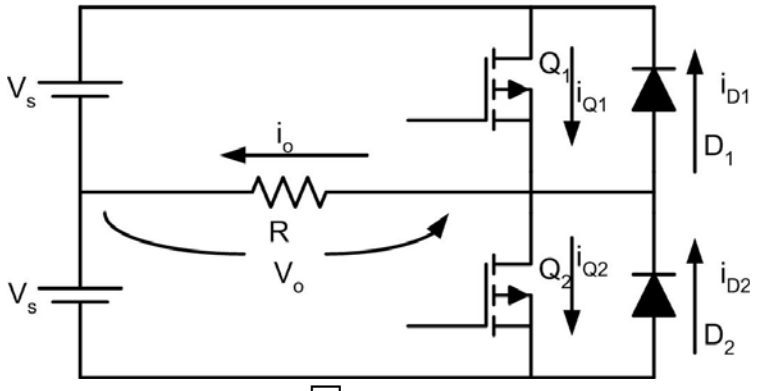
ويعتبر العاكس من الناحية العملية عاكسا مناسبا كلما كان شكل موجة الجهد الناتجة عنه أقرب إلى الموجة الجيبية، لذا يوصل فلتر (Filter) مكون من مقاومة ومكثف وملف على خرج العاكس للتخلص من التوافقيات الغير مرغوب فيها ، كما أن استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات السرعات العالية في بناء العواكس يقلل أيضا من هذه التوافقيات. وتستخدم العواكس في عدد كبير من

التطبيقات الصناعية مثل مصادر القدرة غير المنقطعة (UPS) والتحكم في سرعة المحركات الحثية والمحركات المتزامنة والتي تستخدم في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى سرعات متغيرة.

ويمكن تقسيم العواكس حسب نوع الجهد الناتج إلى عواكس أحادية الوجه وعواكس ثلاثية الأوجه.

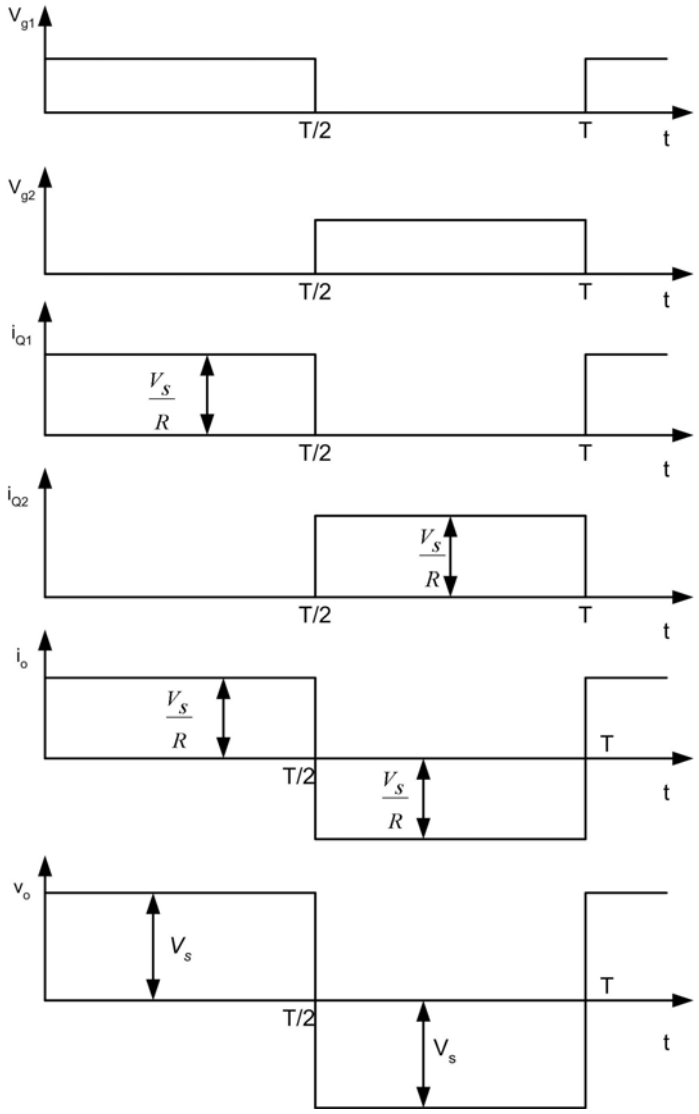
فكرة العمل

يمكن فهم فكرة عمل العواكس بدراسة الدائرة البسيطة والمبينة بشكل (٢-٢٢) والتي تتكون من اثنين موسفت (Q_1, Q_2) واثنين دايود (D_1, D_2) وحمل على شكل مقاومة ومصدرين للجهد المستمر قيمة كل منهم V_s عند تشغيل Q_1 يمر التيار من المصدر الأول ومن خلال Q_1 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره (V_s) وذلك طوال فترة التوصيل ($T/2$)، وعند تشغيل Q_2 يمر التيار من المصدر الثاني ومن خلال Q_2 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره ($-V_s$) وذلك طوال فترة التوصيل ($T/2$) وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٢-٢٣) ويسمى هذا العاكس بعاكس نصف قنطرة وعندما يحتوي الحمل على ممانعة حثية فإن التيار في الحمل لا يمكن أن يغير اتجاهه فجأة نتيجة لإطفاء (فصل) Q_1 لذلك يستمر التيار في المرور في الحمل من خلال D_2 والمصدر السفلي حتى يصل إلى الصفر حيث يتم توصيل Q_2، وكذلك الحال بالنسبة إلى D_1 حيث يستخدم كمسار للتيار مع المصدر العلوي عند إطفاء Q_2.



شكل (٢-٢٢)

عاكس أحادي الوجه نصف قنطرة



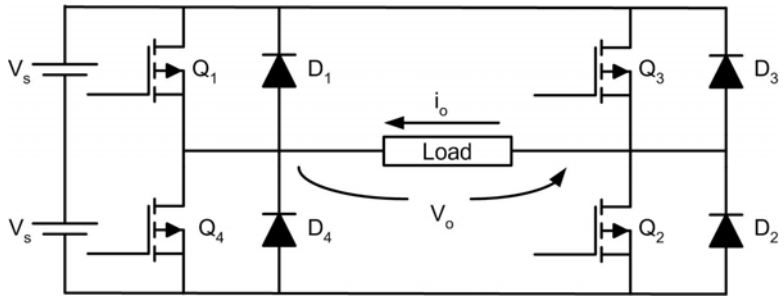
شكل (٢□٢٣)

أشكال موجات التيار والجهد لعاكس أحادي الوجه نصف قنطرة مع حمل عبارة عن مقاومة

عاكس قنطرة أحادي الوجه Single Phase Bridge Inverter

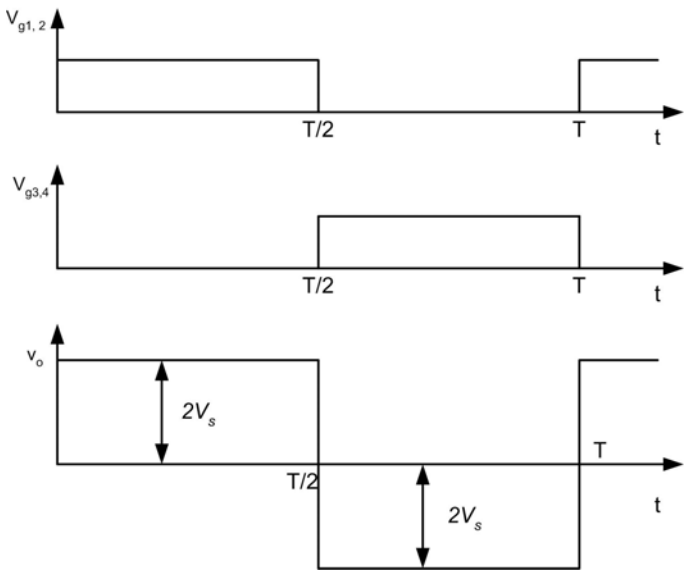
يتكون من أربعة عناصر توصيل (موسفت أو ترانزستور قدرة ....الخ) وأربعة دايود يتم توصيلهم على شكل قنطرة كما في شكل (٢□٢٤)، حيث يتم تشغيل كل من Q_1, Q_2 معا فيكون الجهد على أطراف الحمل ($2V_s$)، وعند تشغيل Q_3, Q_4 معا يظهر الجهد ($-2V_s$) على أطراف الحمل كما في شكل
(٢□٢٥). ويستخدم كل من D_1, D_2 كمسار للتيار عند إطفاء Q_3, Q_4 وذلك حتى يصل تيار الحمل إلى

صفر وفي خلال هذه الفترة تعاد القدرة إلى المصدر، وبالمثل $D_٤$, $D_٣$ يستخدمان لنفس الهدف عند إطفاء $Q_١$, $Q_٢$.



شكل (٢-٢٤)

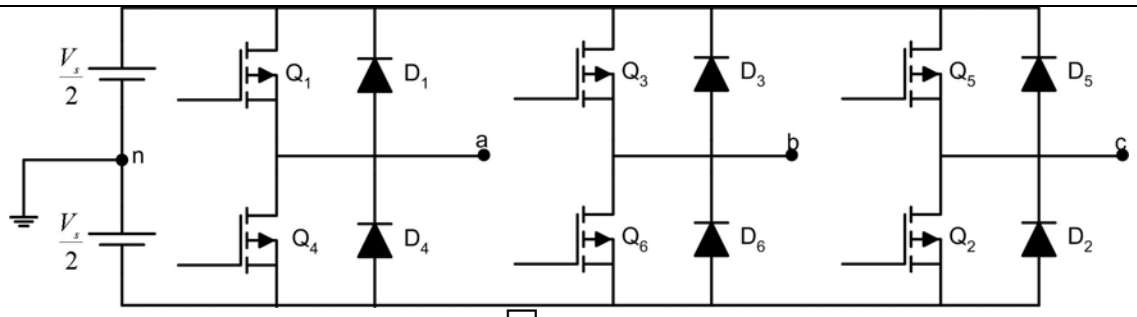
عاكس قنطرة أحادي الوجه



شكل (٢-٢٥)

أشكال موجات التيار والجهد لعاكس قنطرة أحادي الوجه

ويمكن تقسيم العواكس إلى عواكس أحادية الوجه كما في شكل (٢-٢٤) وعوكس ثلاثية الأوجه كما في شكل (٢-٢٦).



شكل (٢٦□٢)

عاكس قنطرة ثلاثي الأوجه

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

أ. قارن بين الموسفت والثايرستور من حيث القدرة وكيفية التشغيل. اذكر مميزات وعيوب كل منهما.

ب. ما هى أنواع الموحدات المحكومة ؟

ت. ارسم دائرة لموحد أحادي الوجه نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي يحتوي على مقاومة وملف عالي القيمة. ثم ارسم أشكال موجات التيار والجهد في دائرة هذا الموحد.

ث. كرر السؤال السابق في حالة الموحد المحكوم.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- يستخدم الموحد أحادي الوجه النصف محكوم لتدوير المحرك في اتجاه واحد فقط. □
- يمكن استخدام الموحد أحادي الوجه النصف محكوم لعمل فرملة بإعادة التوليد □
- يمكن استخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه في أربع حالات تشغيل مختلفة □
- يستخدم مقطع التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر إلى تيار متردد □
- في مقطع التيار المستمر من النوع الخافض تكون نسبة التشغيل أقل من واحد □
- في مقطع التيار المستمر من النوع الرافع تكون نسبة التشغيل أكبر من واحد □

السؤال الثالث:

أ. اشرح فكرة عمل مقطع التيار المستمر

ب. ما هى استخدامات مقطع التيار المستمر من النوع الرافع ؟

السؤال الرابع:

أ.اذكر إستخدامات حاكمات الجهد المتناوب.

ب.اذكر طرق التحكم في القيمة الفعالة للجهد الناتج من حاكم الجهد المتناوب واشرح واحدة منها بالتفصيل.

ت.اذكر فائدة استخدام العواكس في الصناعة.

ث.ارسم عاكس قنطرة أحادي الوجه، ثم ارسم أشكال موجات الجهد والتيار في العاكس.

السؤال الخامس:

موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ v. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة ثم احسب:

أ. زاوية الإشعال إذا كان تيار الحمل ١٥ Amp

ب. القدرة المسحوبة من المصدر Ps

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون ^{o}١٣٥ احسب القدرة المستردة إلى المصدر.

السؤال السادس:

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ v احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ^{o}٤٥

التحكم الإلكتروني في الآلات

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: اختيار دائرة الموحدات المحكومة المناسبة للمحرك وظروف التشغيل

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

١. معرفة الأنواع المختلفة لدوائر التوحيد المحكومة ومدى ملاءمة كل منها للمحرك وظروف التشغيل
٢. معرفة كيفية استخدام دوائر التوحيد المحكومة للسيطرة على أداء المحرك والتحكم في سرعته

الوقت المتوقع: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة
اجتياز مقرر آلات التيار المستمر والمحولات

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة

تستخدم محركات التيار المستمر بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تتطلب محركات متغيرة السرعة وذلك لما تمتاز به هذه المحركات من مميزات مختلفة سبق عرضها في الوحدة الأولى ولقد ساعد على ذلك أيضا التقدم الهائل في صناعة عناصر إلكترونيات القدرة ودوائرها التى سهلت عملية التحكم في المحركات الكهربائية باستخدام مغيرات القدرة (Power Converters) والتي تتميز بصغر الحجم والدقة العالية، ويمكن تقسيم مغيرات القدرة إلى أربعة أنواع سبق عرضها في الوحدة الثانية. ومن هذه المغيرات الموحدات المحكومة. التي تستخدم للسيطرة على أداء محركات التيار المستمر عندما يكون مصدر التغذية المتوفر من النوع المتردد وهو ماسوف نتناولة في هذه الوحدة. ويمكن تقسيم التدوير الكهربائي لمحركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة إلى نوعين هما التدوير باستخدام الموحدات المحكومة أحادية الوجه والتدوير باستخدام الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه

وقبل الدخول في تفاصيل كل نوع من المناسب لنا أن نستعرض طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر، ولكى يتسنى لنا ذلك فلنبدأ بكتابة معادلة السرعة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة والتي سبق عرضها في الوحدة الأولى

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_v I_f} \qquad (٣\text{-}١)$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

I_f تيار المجال (A)

K_v ثابت الجهد للمحرك(V/A-rad./sec)

ω سرعة المحرك(rad./sec)

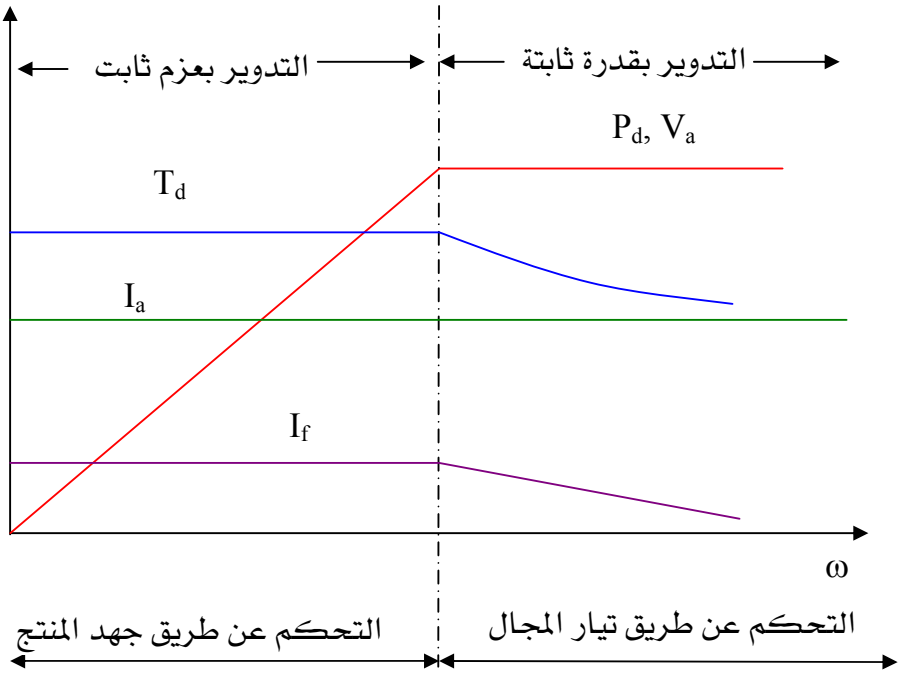
من المعادلة (٣-١) يمكن أن نستنبط أنه يمكن التحكم في سرعة المحرك بثلاث طرق نستعرضها فيما يلي:

إضافة مقاومة على التوالي في دائرة المنتج: حيث إن زيادة هذه المقاومة تقلل السرعة وتتميز هذه الطريقة بالبساطة ولكن لها عيوب كثيرة مثل المفاقيد النحاسية العالية وكبر الحجم وتلويث الجو المحيط .....إلخ. لذلك فإن استخدامها عمليا قليل بالمقارنة بالطرق الأخرى.

التحكم في تيار المجال: حيث تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المجال وتتميز هذه الطريقة أيضا بالبساطة إلا أنها لا تصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة كما أن تقليل التيار يضعف العزم المتولد بالإضافة إلى أن استخدامها يحتاج لحرص كبير حتى لا يصل تيار المجال إلى صفر لخطورة ذلك.

التحكم في جهد المنتج: وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة بالإضافة إلى أن العلاقة بين السرعة وجهد المنتج تقريبا علاقة خطية ولكن هذه الطريقة لاتصلح للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة.

ولذلك ففي الحياة العملية تستخدم الطريقة الثالثة للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة بينما تستخدم الطريقة الثانية للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة



شكل (١-٣)

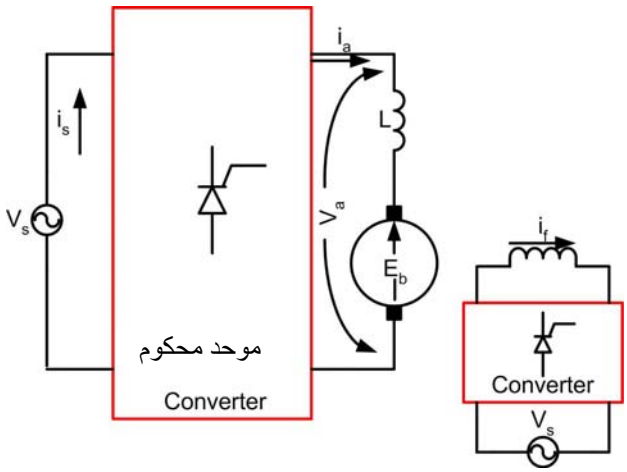
العلاقة بين كل من العزم والقدرة والجهد وتيار المنتج وتيار المجال مع السرعة

ويوضح شكل (١-٣) علاقات العزم المتولد"Td" والقدرة "Pd" وجهد المنتج "Va" وتيار المنتج "Ia" وتيار المجال "I_f" مع السرعة "ω" ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسيين. في الجزء الأول تكون السرعة أقل من السرعة المقننة ويتم التحكم في السرعة عن طريق جهد المنتج "Va" ويكون العزم ثابتاً

وكذا كل من تيار المجال وتيار المنتج، بينما في الجزء الثاني يتم التحكم في السرعة عن طريق تيار المجال "I_f" حيث تكون قيمة كل من القدرة وتيار المنتج وجهد المنتج ثابتة.

أولا: التدوير باستخدام الموحدات أحادية الوجه المحكومة Single Phase Drives

تستخدم الموحدات أحادية الوجه عندما يكون مصدر التغذية المتوفر أحادي الوجه وتصلح للتحكم في المحركات الصغيرة والتي لاتزيد قدرتها عن ١٥ KW في هذه ويتم استخدام موحد أحادي الوجه أو أكثر بهدف السيطرة على أداء المحرك والتحكم فيه من خلال زاوية إشعال الموحد. ويستخدم الموحد في دائرة المنتج للتحكم في جهد المنتج "V_a" عن طريق زاوية الإشعال "a" أو في دائرة المجال للتحكم في تيار المجال "If" عن طريق زاوية الإشعال "α_f". ويمثل شكل (٢-٣) الدائرة الأساسية لكيفية التحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة باستخدام الموحدات المحكومة وتتكون من محرك التيار المستمر وملف تنعيم ذي قيمة عالية لتنعيم تيار المنتج ومصدر للتيار المتردد أحادي الوجه وموحد أحادي الوجه محكوم للتحكم في تيار المجال وآخر للتحكم في تيار المنتج.



شكل (٢-٣)

الدائرة الأساسية للتدوير من خلال الموحدات المحكومة

ويمكن تقسيم التدوير الكهربائي من مصدر أحادي الوجه إلى أربعة أنواع:

التدوير من خلال موحد نصف موجة محكوم "Single Phase Half Converter Drives"

التدوير من خلال موحد موجة كاملة نصف محكوم "Single Phase Semi-converter Drives"

التدوير من خلال موحد موجة كاملة محكوم "Single Phase Full Converter Drives"

التدوير من خلال المغير المزدوج "Single Phase Dual Converter Drives "

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع فيما يلي

التدوير من خلال موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم Single Phase Half Converter Drives

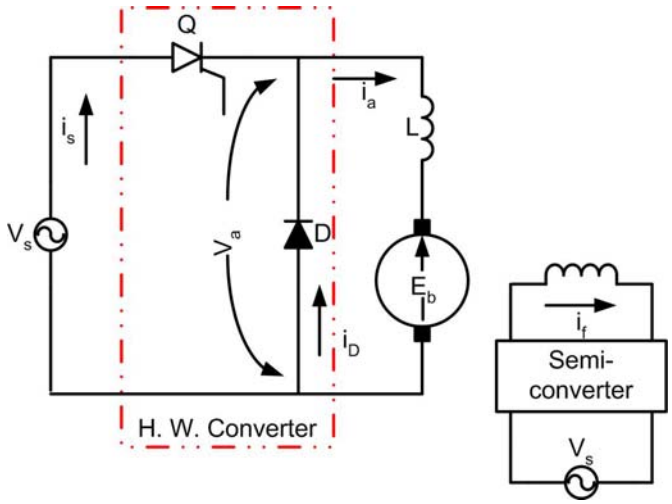
عند استخدام هذا الموحد يكون تيار المنتج غير متصل مما يسبب سوء في أداء المحركات عالية القدرة ولذلك لاتستخدم هذه الطريقة إلا نادرا في التطبيقات الصناعية حيث يقتصر استخدامه على المحركات صغير ة القدرة وفي حدود ٠,٥ KW.

شكل (٣-٣) يبين دائرة الموحد أحادي الوجه نصف الموجة والتي تتكون من ثايرستور ودايود حذافة وملف تنعيم. وينتج عن هذا الموحد جهد موجب وتيار موجب "One quadrant" ومن الصعب استخدام موحد نصف موجة في دائرة المجال لأنه في حالة استخدامه فإن تيار المجال سيحتوي على كثير من التذبذبات غير المرغوب فيها، ولذلك يستخدم موحد كامل الموجة نصف محكوم في دائرة المجال كما في شكل (٣-٣)، وعلى ذلك يكون جهد المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_a) \qquad (٣-٢)$$

وجهد المجال الناتج من موحد أحادي الوجه نصف محكوم:

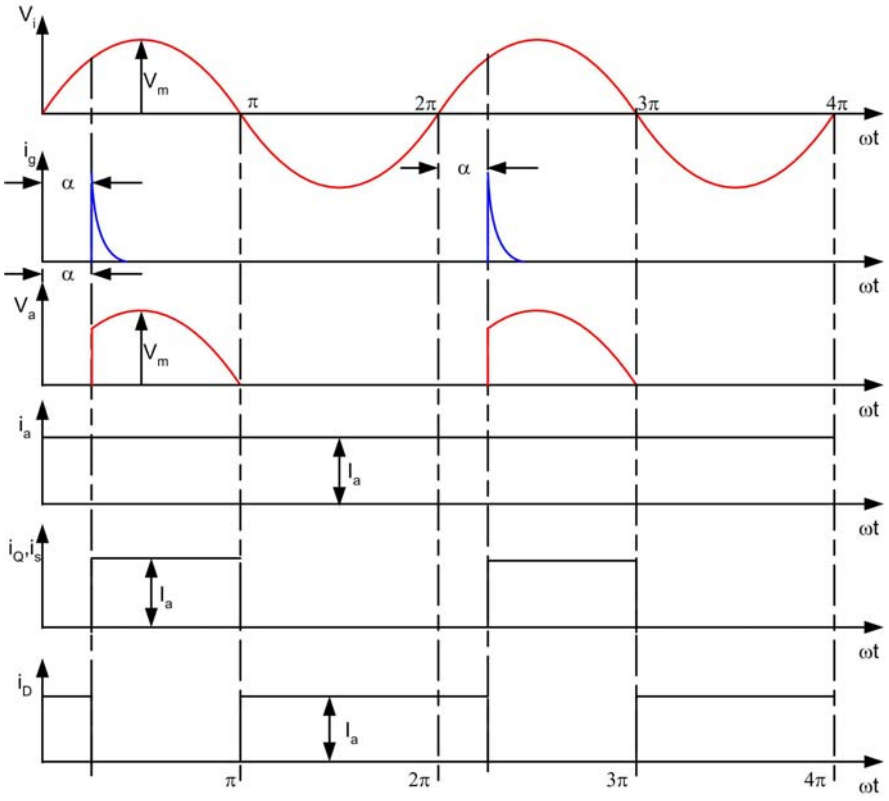
$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad (٣-٣)$$



شكل (٣-٣)

التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم

ويتم التحكم في المحرك عن طريق جهد المنتج بالتحكم في α_a، بينما يتم التحكم في تيار المجال عن طريق التحكم في α_f. ويبين شكل (٣-٤) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج ويلاحظ أن تيار المنتج متصل بسبب استخدام ملف تنعيم عالي القيمة.



شكل (٤□٣)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام موحد نصف موجة محكوم

التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

Single Phase Semi-converter Drives

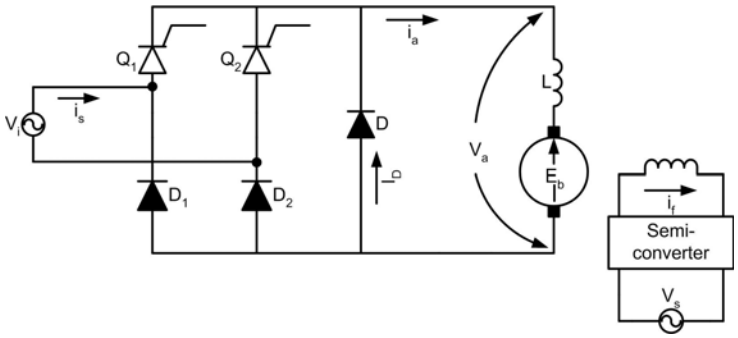
يستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية بحد أعلى ١٥ KW حيث يستخدم موحد كامل الموجة نصف محكوم في كل من دائرة المنتج والمجال كما في شكل (٥□٣)، وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_a) \qquad (٤□٣)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

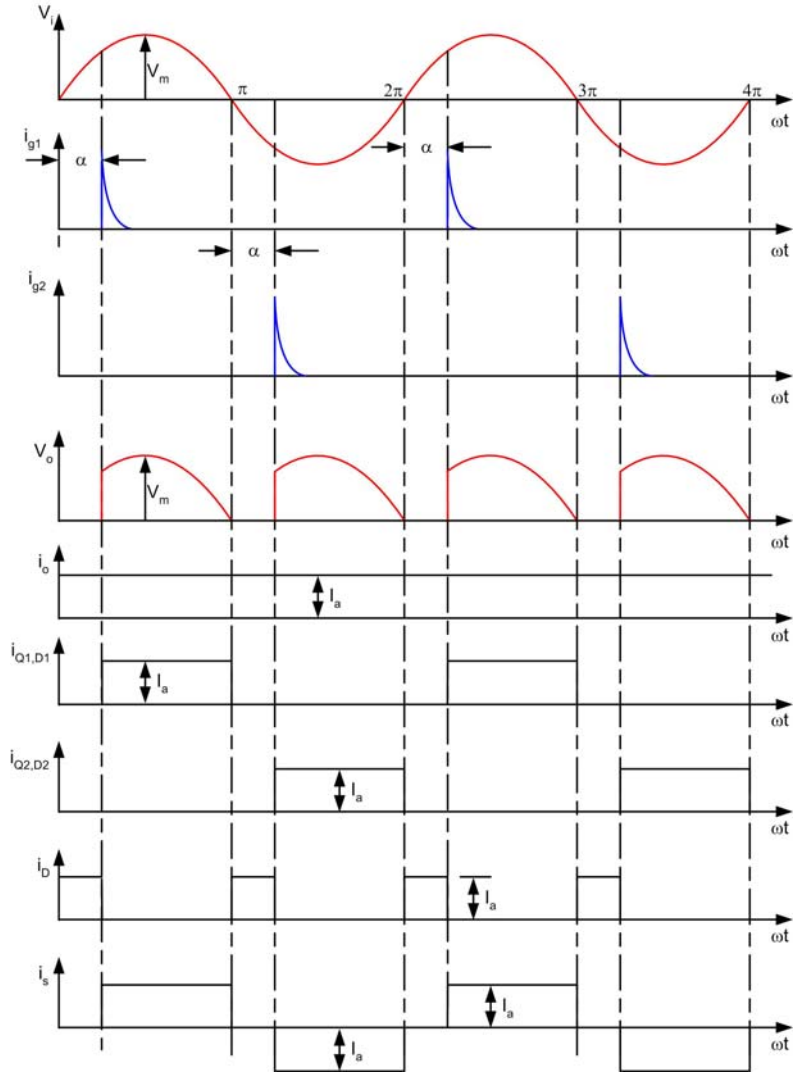
$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad (٥□٣)$$

وكما هو واضح من المعادلات السابقة فإنه يمكن التحكم في جهد المنتج من خلال زاوية الإشعال في دائرة المنتج (α_a)، بينما يمكن التحكم في تيار المجال من خلال زاوية الإشعال في دائرة المجال (α_f). شكل (٦□٣) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج. ومن الواضح أن هذا الموحد ينتج جهدا وتيارا موجبين (one quadrant).



شكل (٥□٣)

التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم



شكل (٦□٣)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال (١-٣):

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده ٢٠٨ V وتردده ٦٠ Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,١ Ω ومقاومة ملفات المجال ١٥٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,١ V/A-rad/sec وعزم الحمل ٧٥ Nm. عند سرعة ٧٠٠ rpm. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج

ت. إذا أريد زيادة السرعةإلى ١٤٠٠ rpm اقترح الطريقة المناسبة و احسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك

الحل

$V_s = ٢٠٨$ V $n = ٧٠٠$ rpm $R_f = ١٥٠\ \Omega$ $R_a = ٠,١\ \Omega$

$T_L = ٧٥$ N.m $K_v = ١,١$ V/A.rad./sec.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = ٧٥$ N.m

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ٧٣,٣$ rad/sec $V_m = ٢٠٨\sqrt{2} = ٢٩٤,١٥٦$ V

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر

$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) = ١٨٧,٢٦٦$ V

$I_f = \frac{V_f}{R_f} = ١,٢٤٨$ Amp.

$E_b = K_v\ \omega\ I_f = ١٠٠,٦٢$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = ١٠٦,١$ V

بالتعويض في المعادلة (٤-٣) نجد أن قيمة زاوية الإشعال في دائرة المنتج

$\alpha_a = ٨٢,٣^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند ($\alpha_a = ٠$) وعلى ذلك فإن:

$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_a) = ١٨٧,٢٦٦$V

$E_b = V_a - I_a R_a = ١٨١,٨$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{181.8}{(1.1)(1.248)} = ١٣٢,٤٣ \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ١٢٦٤,٦٥٥ \text{ rpm}$$

ت) لزيادة السرعة إلى ١٤٠٠ rpm يتم ذلك عن طريق تيار المجال وفي هذه الحالة يكون كل من تيار المنتج وجهد المنتج ثابتين (تدوير بقدرة ثابتة) ولكن العزم المتولد سيقل نتيجة لتقليل تيار المجال.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1400)}{60} = ١٤٦,٦ \text{ rad/sec}$$

$E_b = V_a - I_a R_a = ١٨١,٨$ V

$$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{181.8}{(1.1)(146.6)} = ١,١٢٧ \quad \text{Amp.}$$

$V_f = I_f R_f = ١٦٩,١$ V

$١٦٩,١ = ٩٣,٦٣٣(١ + \cos \alpha_f)$

$\alpha_f = ٣٦,٣^o$

$T_d = K_v I_f I_a = ٦٧,٦$ **N.m**

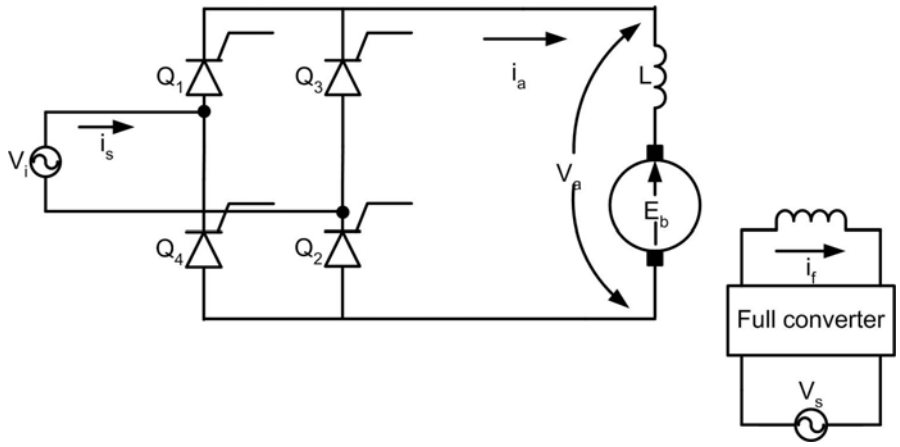
التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

Single Phase Full Converter Drives

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل (٣-٧) جميعها ثايرستور ($Q_١, Q_٢, Q_٣, Q_٤$).ولايوجد في هذه الحالة دايود حذافة.

في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثايرستور "$Q_١$"، "$Q_٢$" في حالة انحياز أمامي لذلك يتم إشعالهما عند زاوية "α " ويمر التيار من المصدر إلى المنتج من خلال "$Q_١, Q_٢$" ويستمر مرور التيار حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالبا وذلك بسبب المحاثة العالية للحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "$Q_٣, Q_٤$" عند زاوية "$\pi+\alpha$ " ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "$Q_١$"، "$Q_٢$" عند زاوية "$٢\pi+\alpha$". ويتكرر ذلك مع كل دورة، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٣-٨).

ويلاحظ أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجبا أو سالبا على حسب قيمة زاوية الإشعال، ف إذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90^o يكون الجهد موجبا بينما يكون سالبا إذا كانت أقل من 90^o، أما تيار الحمل فيكون دائما موجبا، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد"Two quadrant". وتصل القدرات التي يستخدم فيها هذا الموحد إلى ١٥ KW مثل الموحد النصف محكوم ولكن الموحد المحكوم يتميز بأنه يمكن استخدامه عند إعادة التوليد حيث يتم عكس اتجاه القدرة وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة والذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال (زاوية الإشعال في دائرة المجال تكون أكبر من 90^o).



شكل (٣□٧)

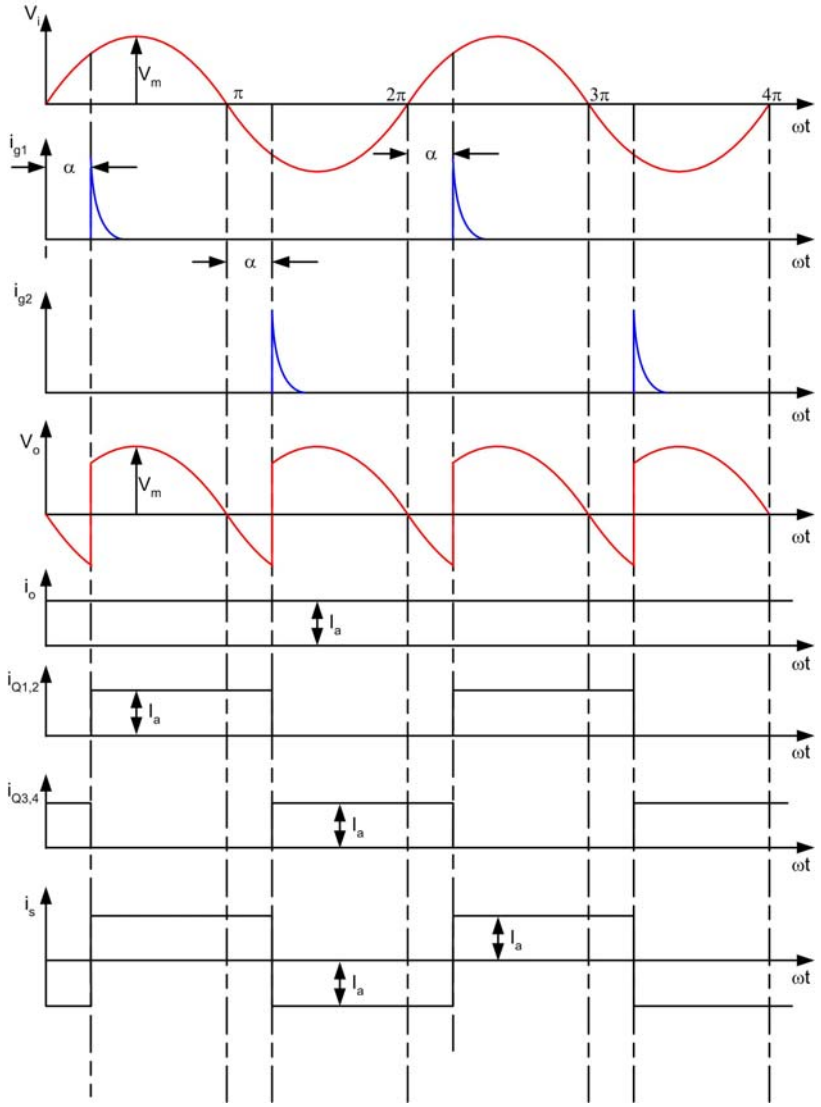
التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) \qquad (٣\square٤)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (٣\square٥)$$



شكل (٨□٣)

أشكال موجات الجهد واالتيار عند استخدام موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم

مثال (٢□٣):

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده ٤٤٠ V عند تردد ٦٠ Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٢٠٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,٣٥ V/A-rad/sec وكان تيار المنتج .Amp ٥٠ وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^{o}. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار ٢٠٪ احسب سرعة المحرك

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وكذا زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ثم احسب القدرة المستردة للمصدر

الحل

$V_s = ٤٤٠$ V $I_a = ٥٠$ Amp $R_f = ٢٠٠\ \Omega$ $R_a = ٠,٢\ \Omega$

$\alpha_a = ٦٠^o$ $K_v = ١,٣٥$ V/A.rad./sec. $\alpha_a = ٦٠^o$

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L$ $V_m = ٤٤٠\sqrt{2} = ٦٢٢,٢٥$ V

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر($\alpha_f = ٠^o$)

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) = ٣٩٦,١٤ \text{ V}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = ١,٩٨ \text{ Amp.}$$

$T_d = K_v I_f . I_a = ١٣٣,٦٥$ Nm.

$$E_b = V_a - I_a R_a = ١٨٨,٧ \text{ V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{188.7}{(1.35)(1.98)} = ٧٠,٣٦ \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٦٧١,٨٨ \text{ rpm}$$

ب) إذا قل العزم بمقدار ٢٠٪ يقل تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$T_d = ٠,٨(١٣٣,٦٥) = ١٠٦,٩٢$ Nm.

$I_a = ٠,٨(٥٠) = ٤٠$ Amp

$E_b = V_a - I_a R_a = ١٩٨,٠٧ \square ٤٠(٠,٢) = ١٩٠,٧$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{190.07}{(1.35)(1.98)} = ٧١,١ \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٦٧٩ \text{ rpm}$$

ت) إذا عكس اتجاه المجال فإن زاوية الإشعال في دائرة المجال تساوي ١٨٠^o.

$\alpha_f = ١٨٠^o$

$E_b = \square ١٩٠,٠٧$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = \square ١٩٠,٠٧ + ٤٠(٠,٢) = \square ١٨٢,٠٧$ V

$$- ١٨٢,٠٧ = V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) = 396.14(Cos\alpha_a)$$

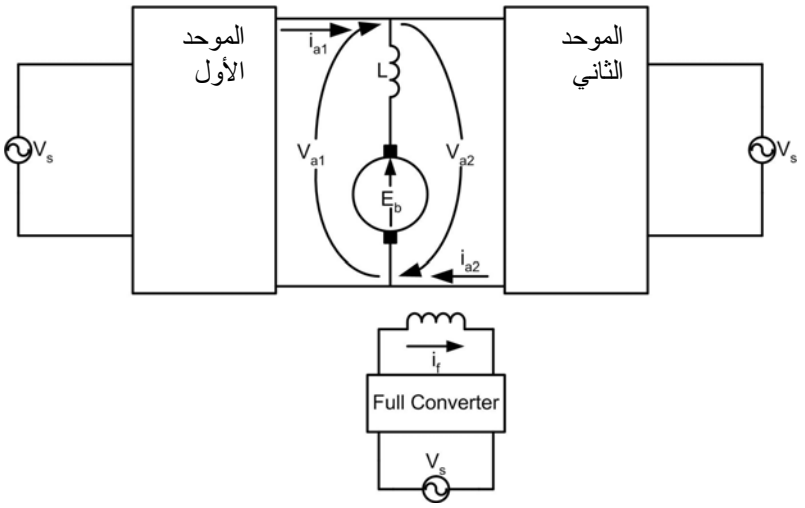
$\alpha_a = ١١٧,٣٦^o$

القدرة المستردة للمصدر

$P_s = P_a = V_a I_a = ٧٢٨٢٨$ Watt

التدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه Single Phase Dual Converter Drives

يستخدم الموحد المزدوج بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة. في هذه الحالة يتم توصيل موحدين محكومين في دائرة المنتج، بينما يتم توصيل موحد محكوم في دائرة المجال كما في شكل (٩□٣)، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف المنتج وأيضا عكس التيار في دائرة المنتج (Four quadrant)، فعند تشغيل الموحد الأول يكون الجهد على أطراف المنتج $V_{a١}$ ويكون التيار المار في المنتج $I_{a١}$ حيث يتم تشغيل المحرك في الربع الأول (تدوير أمامي) ويمكن عمل فرملة أمامية وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الأول لتكون أكبر من ٩٠^o (يعمل المحرك في الربع الثاني). و إذا أريد عكس حركة المحرك فيتم تشغيل الموحد الثاني بدلا من الموحد الأول حيث يكون الجهد على أطراف المنتج $V_{a٢}$ (عكس $V_{a١}$) والتيار المار به $I_{a٢}$ (عكس $I_{a١}$)، لذلك يعمل المحرك في الربع الثالث عكس الحالة الأولى ويمكن أيضا فرملة المحرك في هذه الحالة وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الثاني لتكون أكبر من ٩٠^o. ويلاحظ أن اتجاه المجال سيعكس في حالتي الفرملة لذا يجب أن يكون الموحد المستخدم في دائرة المجال من النوع كامل الموجة المحكوم ليسمح بعكس اتجاه المجال.



شكل (٣□٩)

التدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a1}\right) \qquad (٣□٦)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a2}\right) \qquad (٣□٧)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) \qquad (٣□٨)$$

ثانيا: التدوير باستخدام الموحدات ثلاثية الأوجه المحكوم: Three Phase Drives

تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات أحادية الوجه، كما أن تردد التذبذبات يكون عالياً، ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات أحادية الوجه، ولذلك فإنها تستخدم للسيطرة على محركات التيار المستمر ذات القدرات العالية التي قد تصل إلى عدد من الميجاوات وينقسم التدوير باستخدام المحدات ثلاثية الأوجه المحكومة إلى أربعة أنواع مشابهة لتلك في حالة الموحدات أحادية الوجه المحكومة وسوف نتناول كل نوع منها باختصار فيما يلي:

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة المحكوم

Three Phase Half-Wave Converter Drives

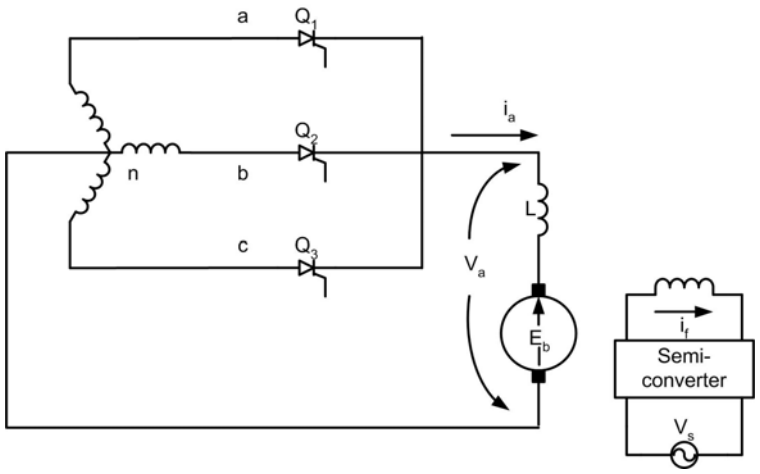
يتكون الموحد الثلاثي نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات "Q_1,Q_2,Q_3" توصل بين المصدر والمنتج بينما يستخدم موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم في دائرة المجال كما في شكل (٣-١٠) ويستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية التي تتطلب قدرات تصل إلى ٤٠KW وباستخدام الموحد ثلاثي الأوجه يكون الجهد الناتج عنه إما موجبا أو سالبا بينما يكون التيار موجبا "Two Quadrant" وعلى ذلك يكون جهد المنتج

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a \qquad (٣-٩)$$

وجهد المجال

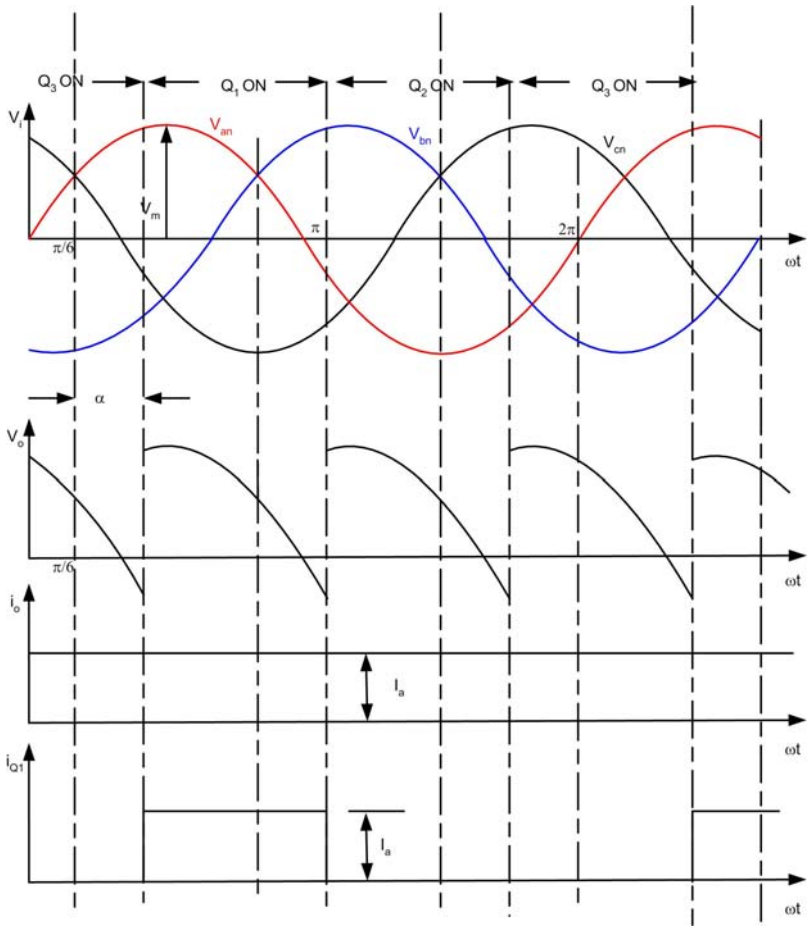
$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad (٣-١٠)$$

ويوضح شكل (٣-١١) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج



شكل (٣-١٠)

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة



شكل (١١□٣)

أشكال موجات الجهد واالتيار عند استخدام موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم

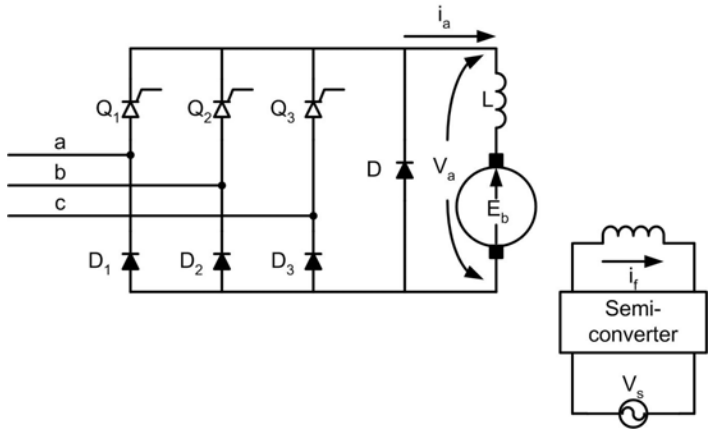
Three Phase Semi-converter Drives

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعهما على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود حذافة كما في شكل (١٢□٣) حيث يستخدم موحد نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب أيضا "One quadrant" ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة حيث تصل قدرته إلى ١١٥ KW ويكون جهد المنتج

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) \qquad (١١□٣)$$

ويكون جهد المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) \qquad (١٢□٣)$$



شكل (٣□١٢)

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال (٣□٣)

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه جهده ٢٠٨V وتردده ٦٠ Hz موصل نجمة وذلك من خلال موحد ثلاثي الأوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال ف إذا ضبط تيار المجال عند ١ Amp وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٢٥٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,٢ V/A-rad/sec وكان عزم الحمل ١٢٠ Nm. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج ٣٠°. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا زاد الحمل بنسبة ٢٠٪ احسب سرعة المحرك

ت. احسب قيمة زاوية الإشعال لتعود السرعة لسابق قيمتها كما في الحالة أ

الحل

V_s = ٢٠٨ V I_f = ١ Amp R_f = ٢٥٠ Ω R_a = ٠,٢ Ω

α_a=٣٠° K_v = ١,٢ V/A.rad./sec. α_a=٦٠° T_L= ١٢٠ Nm.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L$ =١٢٠ Nm $V_m = ٢٠٨\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = ١٦٩,٨٣$ V

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر(α_f=٠°)

$V_f = I_f R_f =$ ٢٥٠ V

$٢٥٠ = V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) =$ ١٤٠,٤٥(١+Cos α_f)

$\alpha_f =$ ٣٨,٧٤°

$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) =$١٤٠,٤٥(١+Cos α_a) = ٢٦٢,٠٨ V

$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{120}{(1.2)(1.0)} =$١٠٠ Amp

$E_b = V_a - I_a R_a =$ ٢٤٢,٠٨ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{242.08}{(1.2)(1.0)} =$ ٢٠١,٧٣ rad/sec

$n = \frac{60\omega}{2\pi} =$ ١٩٢٦,٣٨ rpm

ب) إذا زاد العزم بمقدار ٢٠٪ يزيد تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$T_d =$١,٢(١٢٠) = ١٤٤ Nm.

$I_a =$١,٢(١٠٠) = ١٢٠ Amp

$E_b = V_a - I_a R_a =$ ٢٦٢,٠٨□١٢٠(٠,٢) = ٢٣٨ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{238.08}{(1.2)(1.0)} =$١٩٨,٤ rad/sec

$n = \frac{60\omega}{2\pi} =$ ١٨٩٤,٥٨ rpm

ت) لكى تعود السرعة لقيمتها السابقة فإن جهد المنتج يجب أن يزيد حتى تعود E_b لقيمتها السابقة.

$E_b =$ ٢٤٢,٠٨ V

٢٤٢,٠٨ = $V_a - I_a R_a = V_a -$١٢٠(.٢)

$V_a =$ ٢٦٦,٠٨ = $\frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) =$١٤٠,٤٥(١+Cos α_a)

$\alpha_a =$ ٢٦,٦°

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

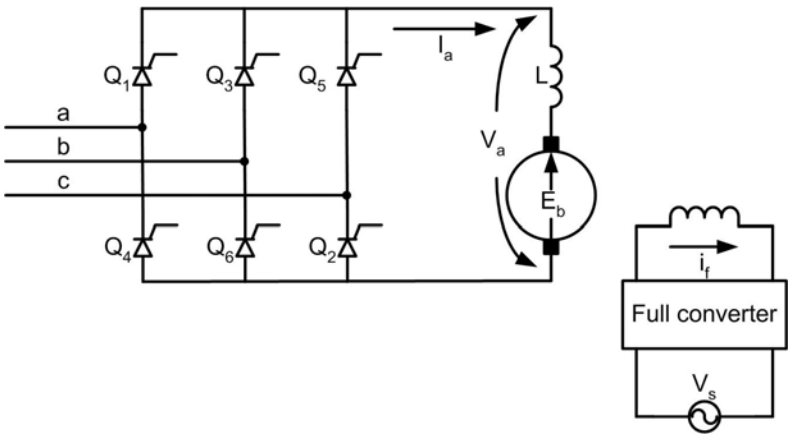
Three Phase Full Converter Drives

في هذه الحالة يتم توصيل موحد ثلاثي الأوجه محكوم في كل من دائرة المنتج ودائرة المجال كما في شكل (١٣-٣) ولذلك فإن جهد المنتج إما أن يكون موجبا أوسالبا على حسب قيمة زاوية الإشعال أما التيار فيكون موجباً فقط "Two quadrant" ولذلك يمكن استخدامه عند إعادة التوليد حيث يتم عكس اتجاه القدرة وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة. الذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال (زاوية الإشعال في دائرة المجال تكون أكبر من 90^o) ويكون الجهد المتوسط في دائرة المنتج

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) \qquad (١٣-٣)$$

ويكون الجهد المتوسط في دائرة المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (١٤-٣)$$



شكل (١٣-٣)

التدوير باستخدام الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

مثال (١٤-٣):

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد ثلاثي الأوجه محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد ثلاثي الأوجه موصل نجمة جهده ٢٠٨ V وتردده ٦٠ Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٢٥ Ω ومقاومة ملفات المجال ١٨٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,٢ V/A-rad/sec وعزم الحمل ١١٥ Nm. عند سرعة ٩٠٠ rpm. وضبطت زاوية الإشعال في دائرة المجال

عند ٢٠^{o} أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج

ت. احسب قيمة α_f للحصول على سرعة ١٨٠٠ rpm

الحل

$V_s = ٢٠٨$ V $\quad n = ٩٠٠$ rpm $\quad R_f = ١٨٠\ \Omega$ $\quad R_a = ٠,٢٥\ \Omega$

$T_L = ١١٥$ N.m $\quad K_v = ١,٢$ V/A.rad./sec. $\quad \alpha_f = ٢٠^{o}$

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = ١١٥$ N.m

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ٩٤,٢٥$ rad/sec $\quad V_m = ٢٠٨\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = ١٦٩,٨٣$ V

أ)

$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_f = ٢٨٠,٨٩٧\ (\text{Cos}\ ٢٠) = ٢٦٣,٩٥٦$ V

$I_f = \frac{V_f}{R_f} = ١,٤٦٦$ Amp.

$E_b = K_v\ \omega\ I_f = ١٦٥,٨٥$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = ١٨٢,١٩$ V

$١٨٢,١٩ = V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a = ٢٨٠,٨٩٧\ (\text{Cos}\ \alpha_a)$

$\alpha_a = ٤٩,٥٦^{o}$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند ($\alpha_a = ٠$) وعلى ذلك فإن:

$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a = ٢٨٠,٨٩٧$ V

$E_b = V_a - I_a R_a = ٢٦٤,٥٥$ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{264.55}{(1.2)(1.466)} = ١٥٠,٣٨$ rad/sec

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ١٤٣٦,٠٦ \quad \text{rpm}$$

ت) لزيادة السرعة إلى ١٨٠٠ rpm يجب تقليل تيار المجال وفي هذه الحالة يكون كل من تيار المنتج وجهد المنتج ثابتين (تدوير بقدرة ثابتة) ولكن العزم المتولد سيقل نتيجة لتقليل تيار المجال.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1800)}{60} = ١٨٨,٤٩٦ \quad \text{rad/sec}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = ٢٦٤,٥ \quad \text{V}$$

$$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{264.5}{(1.2)(188.496)} = ١,١٦٩ \quad \text{Amp.}$$

$$V_f = I_f R_f = ٢١٠,٤٢ \quad \text{V}$$

$$٢١٠,٤٢ = ٢٨٠,٨٩٧(\text{Cos } \alpha_f)$$

$$\alpha_f = ٤١,٤٩^{o}$$

$$T_d = K_v I_f I_a = ٩١,٧ \text{ N.m}$$

التدوير باستخدام الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه Three Phase Dual Converter Drives

هذه الحالة مماثلة تماما للتدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه كما في شكل (٩□٣) غير أن الموحدات المستخدمة ستكون من النوع ثلاثي الأوجه. ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a1}) \qquad (٣□١٥)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a2}) \qquad (٣□١٦)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (٣□١٧)$$

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

أ. وضح بالرسم فقط منحنيات كل من القدرة والعزم وتيار المنتج وتيار المجال وذلك عند التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة من صفر إلى ضعف السرعة المقننة.

ب. ما هى طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة؟ ناقش مميزات وعيوب كل طريقة ثم بين كيفية استخدام الموحدات المحكومة لتنفيذ هذه الطرق.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- الجهد الناتج من الموحد أحادي الوجه النصف محكوم يكون دائما موجبا ☐
- يمكن استخدام الموحد أحادي الوجه النصف محكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد أحادي الوجه المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- الموحد المزدوج أحادي الوجه يستخدم في الربع الأول والثالث فقط ☐
- الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه يستخدم في جميع حالات التدوير المختلفة ☐

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده ٢٠٨ V وتردده ٦٠ Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,١ Ω ومقاومة ملفات المجال ١٥٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,١ V/A-rad/sec وعزم الحمل ٧٥ Nm. عند سرعة ٧٠٠ rpm. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن.

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج.

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى ١٤٠٠ rpm اقترح الطريقة المناسبة و احسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك.

السؤال الرابع:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده ٤٤٠ V وتردده ٦٠ Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٢٠٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,٣٥ V/A-rad/sec وكان تيار المنتج .Amp ٥٠ وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^{o}. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار ٢٠٪ احسب سرعة المحرك

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وكذا زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ثم احسب القدرة المستردة للمصدر

السؤال الخامس:

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه جهده ٢٠٨Vوتردده ٦٠ Hz موصل نجمة وذلك من خلال موحد ثلاثي الأوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال ف إذا ضبط تيار المجال عند ١ Amp وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٢٥٠ Ω وثابت الجهد للمحرك ١,٢ V/A-rad/sec وكان عزم الحمل .١٢٠ Nm وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 30^{o} أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا زاد الحمل بنسبة ٢٠٪ احسب سرعة المحرك

ت. احسب قيمة زاوية الإشعال لتعود السرعة لسابق قيمتها كما في الحالة أ

التحكم الإلكتروني في الآلات

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: فهم كيفية تشغيل محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

١. اختيار دائرة مقطع التيار المستمر الملائمة للمحرك وظروف التشغيل
٢. معرفة كيفية استخدام مقطعات التيار المستمر للسيطرة على أداء المحرك والتحكم في سرعته
٣. معرفة كيفية استخدام مقطعات التيار المستمر لعمل الفرملة بأنواعها المختلفة
٤. استخدام مقطع التيار المستمر في عكس حركة المحرك

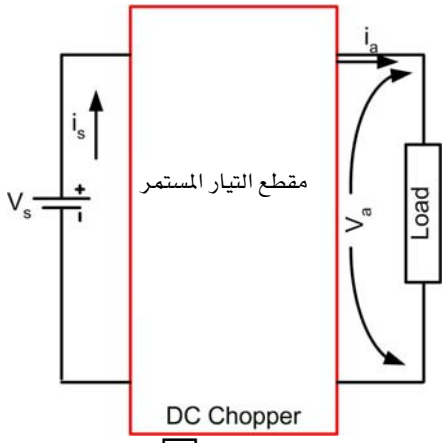
الوقت المتوقع: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة
اجتياز مقرر آلات التيار المستمر والمحولات

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

DC Chopper Drives

في الوحدة الثالثة تناولنا كيفية استخدام الموحدات المحكومة للسيطرة على أداء محركات التيار المستمر وتستخدم الموحدات المحكومة عندما يكون مصدر الجهد المتوفر من نوع التيار المتردد، أما إذا كان المصدر المتوفر مصدرا للتيار المستمر فإننا نلجأ إلى استخدام مقطعات مقطعات التيار المستمر، والتي تستخدم للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة (محكوم)، وتستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية والأوناش.... الخ. حيث تلعب دورا مهما في التحكم في سرعة محركات التيار المستمر أو عمل الفرملة بإعادة التوليد مما يؤدي إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية.



شكل (١-٤)

الدائرة التخطيطية لمقطع التيار المستمر

ويوصل مقطع التيار المستمر بين مصدر التيار المستمر والحمل كما في شكل (١-٤)، والمقطع في أبسط صوره عبارة عن مفتاح، عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل و إذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساويا للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (١٣-٢) ويكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s \qquad (١-٤)$$

حيث

V_s جهد المصدر

T_{on} زمن التوصيل

T_{off} زمن الفصل

T الزمن الكلي

V_o جهد الخرج

k نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (١-٤) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق تغيير نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عاليا، لذلك يجب أن يكون المفتاح المستخدم كمقطع أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة، IGPT, MOSFET, GTO الخ

ويساهم مقطع التيار المستمر في عمليات التحريك الكهربائي باستخدام محركات التيار المستمر بأربع طرق هي:

التحكم في سرعة المحرك

الفرملة بإعادة التوليد

الفرملة الديناميكية (باستخدام مقاومة)

الفرملة بإعادة التوليد واستخدام مقاومة معا

وسوف نتناول هذه الحالات الأربع بالتفصيل فيما يلي

التحكم في سرعة المحرك

في هذه الحالة يتم استخدام المقطع للتحكم في القدرة المسحوبة من المصدر، وذلك بالتحكم في جهد المنتج أو تيار المجال أو كليهما معا. شكل (٢-٤) يبين الرسم التخطيطي كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للسيطرة على أداء محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة، وفيه يستخدم مقطعان أحدهما للتحكم في جهد المنتج والآخر للتحكم في تيار المجال.

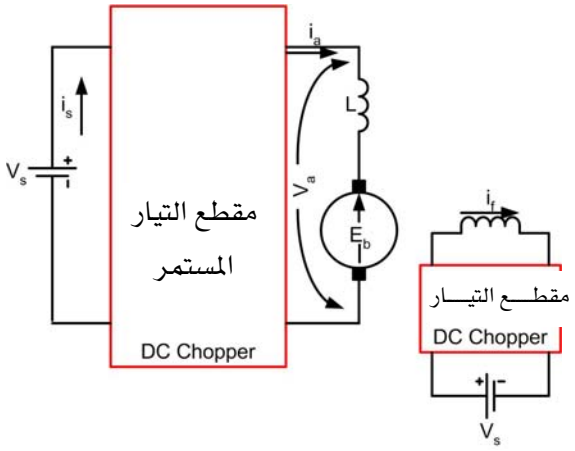
عند التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التوالي فإننا نحتاج لمقطع واحد فقط و ذلك للتحكم في جهد المنتج كما في شكل (٣-٤)، وتتكون دائرة المقطع في هذه الحالة من موسفت يتم توصيله بين المصدر والمنتج، بينما يوصل دايود حذافة على التوازي مع المنتج لضمان استمرارية التيار في دائرة المنتج، كما يوصل عادة ملف ذي قيمة عالية على التوالي في دائرة المنتج لنفس الغرض ولتقليل التذبذبات غير المرغوب فيها في تيار المنتج، ويصلح هذا المقطع للاستخدام في الربع الأول فقط حيث يكون الجهد والتيار موجبين. ويوضح شكل (٤-٤) أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام المقطع ويمكن

ملاحظة أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات. ويكون الجهد المتوسط على أطراف المنتج كما في المعادلة (١□٤). بينما تكون القيمة المتوسطة للتيار المسحوب من المصدر:

$$I_s = k\, I_a \qquad (٤□٢)$$

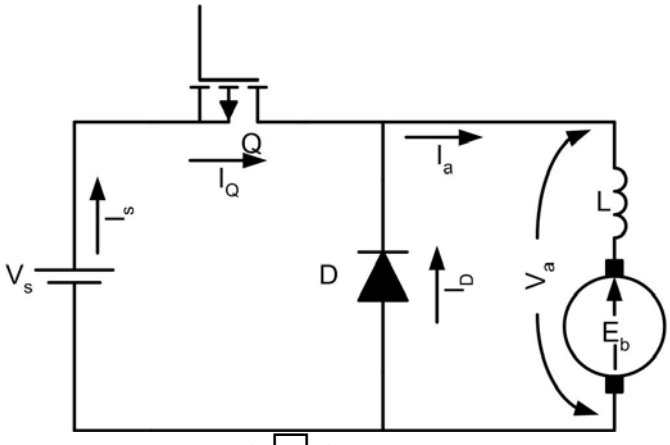
وتكون القدرة المسحوبة من المصدر (P_s) مساوية للقدرة المستهلكة بالمحرك (P_a):

$$P_s = P_a = V_s I_s = V_a I_a = k V_s I_a \qquad (٤□٣)$$



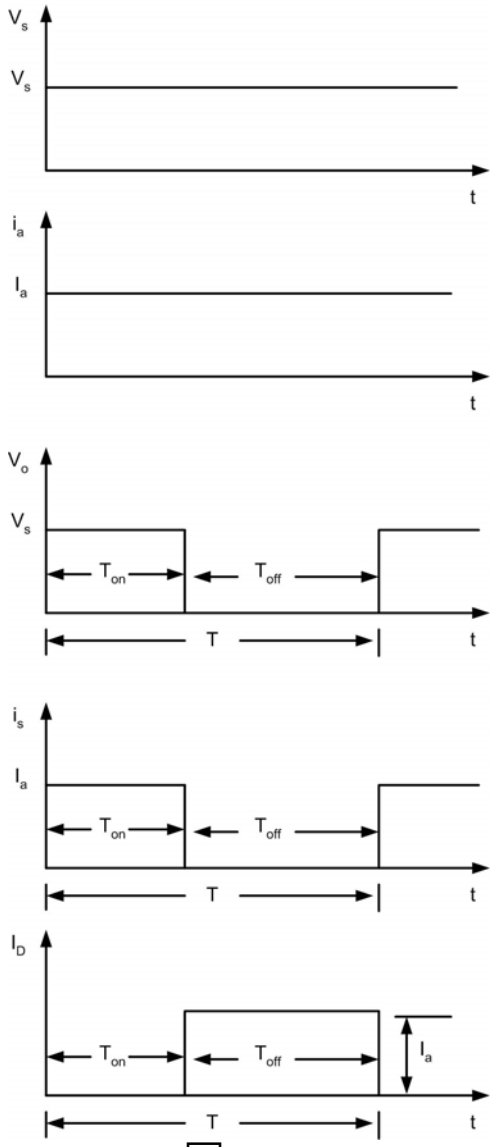
شكل (٤□٢)

الرسم التخطيطي لكيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة



شكل (٤□٣)

التحكم في محرك التوالي باستخدام مقطع التيار المستمر



شكل (٤-٤)

أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي

مثال (١-٤):

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده ٦٠٠ V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله ٠,٦ ومقاومة ملفات المنتج ٠,٠٤ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٦ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠٣١V/A-rad/sec وعزم الحمل ٢٠٠ N.m. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر

إذا أريد خفض سرعة المحرك إلى ١٠٠٠ rpm. احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة

الحل

$V_s = ٦٠٠$ V $k = ٠,٦$ $R_f = ٠,٠٦\ \Omega$ $R_a = ٠,٠٤\ \Omega$

$T_L = ٢٠٠$ N.m $K_v = ٠,٠٣١$ V/A.rad./sec.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = ٧٥$ N.m

أ)

الدائرة المستخدمة كما في شكل (٣□٤) بينما أشكال الموجات كما في شكل (٤□٤)

ب)

السرعة

$V_a = kV_s = ٠,٦(٦٠٠) = ٣٦٠$ V

$T_e = K_v I_a^{٢} =$ $I_f = I_a = \sqrt{\frac{T_e}{K_v}} = ٨٠,٣٢٢$ Amp

$E_b = V_a - I_a(R_a + R_f) = ٣٦٠ - ٨٠,٣٢٢(٠,١) = ٣٥١,٩٦٨$ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = ١٤١,٢٤٥$ rad/sec.

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ١٣٤٨,٧٩$ rpm

القدرة المسحوبة من المصدر

$P_s = kV_s I_a = ٠,٦(٦٠٠)(٨٠,٣٢٢) = ٢٨,٩١٦$ KW

ت)

لخفض السرعة يجب تخفيض الجهد على أطراف المحرك وذلك بتخفيض نسبة التشغيل

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = ١٠٤,٧٢$ rad/sec

$E_b = K_v I_f \omega = ٢٦٠,٧٥$ V

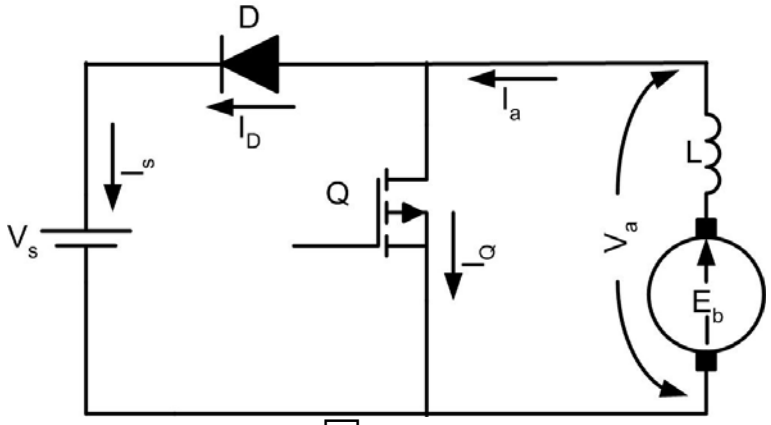
$V_a = E_b + I_a R_a = ٢٦٨,٧٨$ V

$$k = \frac{V_a}{V_s} = ٠,٤٤٨$$

الفرملة بإعادة التوليد Regenerative Braking

في هذه الحالة يتم الاستفادة بطاقة الحركة الناتجة عن دوران المحرك وإعادتها مرة أخرى إلى المصدر حيث يعمل المحرك في تلك الفترة كمولد، ويتم الاستعانة بمقطع التيار المستمر في ذلك كما سبق شرح فكرة نقل الطاقة من مصدر إلى آخر ذي جهد أعلى في الوحدة الثانية وتستغل هذه الفكرة لعمل الفرملة بإعادة التوليد

شكل (٥-٤) يوضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر في عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي، عند تشغيل المقطع"Q" فإن التيار في دائرة المنتج سيزداد بشكل كبير بسبب القصر على أطراف المحرك والذي نتج عن تشغيل المقطع، وفي تلك الفترة سيتم تخزين الطاقة في ملفات المنتج والمجال وعند ايقاف تشغيل المقطع فإن الطاقة التي تم تخزينها في الملفات خلال فترة تشغيل المقطع سيتم تفريغها (نقلها إلى المصدر) من خلال الدايود "D" وعندما تقل الطاقة المخزنة يتم توصيل المقطع مرة أخرى ثم يفصل وهكذا. وبتكرار عملية التوصيل والفصل يتم استعادة طاقة الحركة بدلا من تبديدها. ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني حيث الجهد موجب والتيار سالب.



شكل (٥-٤)

الفرملة بإعادة التوليد باستخدام مقطع التيار المستمر

شكل (٦-٤) يعرض أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد وذلك بفرض أن المحاثة عالية حتى يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وفي هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة لجهد المنتج مساوية للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة (٤-٤)

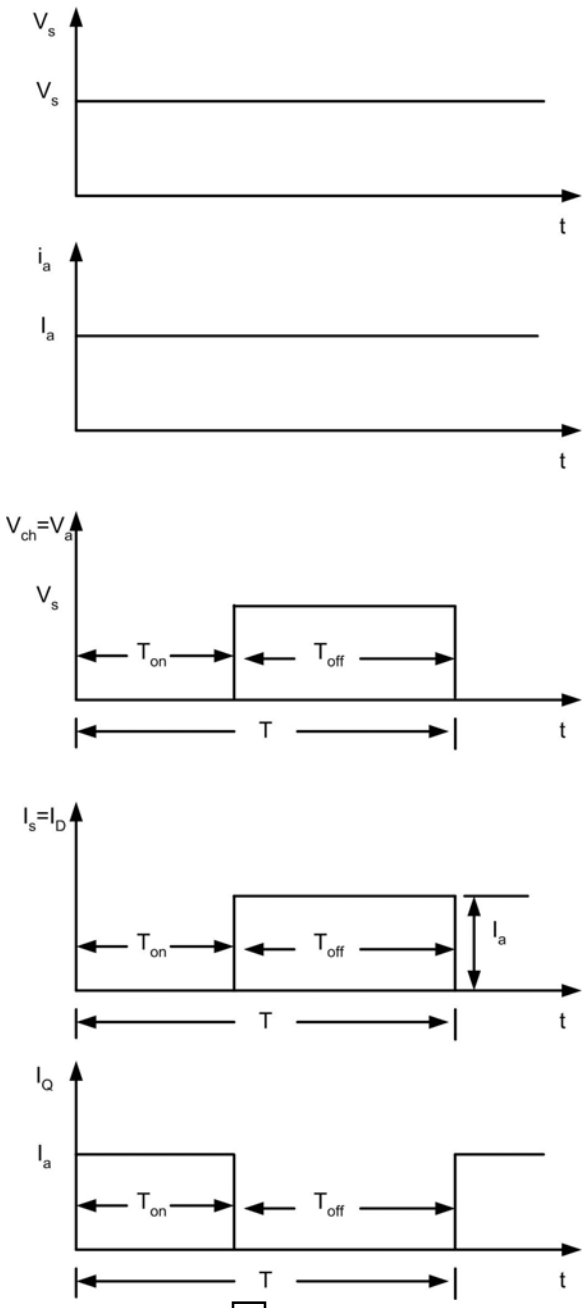
$$V_a=V_{ch}=(1-k)V_s \qquad (٤\square٤)$$

بينما تكون القيمة المتوسطة لتيار المصدر:

$$I_s = (1- k)\, I_a \qquad (٤\square٥)$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر:

$$P_s = P_g = V_sI_s = V_aI_a =(1 - k)V_sI_a \qquad (٤\square٦)$$



شكل (٦-٤)

أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد

ويكون الجهد المتولد على أطراف المحرك عندما يعمل كمولد:

$$E_b = E_g = V_a + I_a R_a = (1-k)V_s + I_a(R_a+R_f) \qquad (٤-٧)$$

وبالتحكم في نسبة التشغيل يتم التحكم في القدرة المعادة إلى المصدر وبالتالي في عملية الفرملة.

ولكي تتم عملية الفرملة بإعادة التوليد يجب أن يتوفر الشرط التالي:

$$0 \le E_g - I_a(R_a + R_f) \le V_s$$

ومن خلال هذا الشرط يمكن الحصول على الحد الأدنى والحد الأقصى للسرعة كما يلي:

الحد الأدنى للسرعة (ω_{min})

$E_g - I_a(R_a+R_f) = ٠$

$K_v I_f \omega_{min} - I_a(R_a+R_f) = ٠$

$$\omega_{min} = \frac{I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} \qquad (٤-٨)$$

في حالة محرك التوالي يكون تيار المنتج هو نفسه تيار المجال ويكون الحد الأدني للسرعة كما يلي:

$$\omega_{min} = \frac{(R_a + R_f)}{K_v} \qquad (٤-٩)$$

الحد الأقصى للسرعة (ω_{max})

$E_g - I_a(R_a+R_f) = V_s$

$K_v I_f \omega_{max} - I_a(R_a+R_f) = V_s$

$$\omega_{min} = \frac{V_s + I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} \qquad (٤-١٠)$$

وهذا يعني أنه لعمل فرملة بإعادة التوليد فإن سرعة المحرك يجب أن تكون أكبر من السرعة الصغري (ω_{min}) وأقل من السرعة الكبرى (ω_{max})

مثال (٢-٤):

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر، وكان جهد المصدر V ٦٠٠ و نسبة تشغيل المقطع تيار ٠,٦ ومقاومة ملفات المنتج Ω ٠,٠٣ ومقاومة ملفات المجال Ω ٠,٠٥ وثابت الجهد للمحرك ٠,٠١٦V/A-rad/sec وكان تيار المنتج .A ٢٥٠. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

احسب القيمة المتوسطة لجهد المنتج والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك

القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد

الحل

V_s = ٦٠٠ V k= ٠,٦ R_f = ٠,٠٥ Ω R_a = ٠,٠٣ Ω

I_a=٢٥٠ Amp K_v = ٠,٠١٦ V/A.rad./sec.

أ)

الدائرة المستخدمة كما في شكل (٥-٤) بينما أشكال الموجات كما في شكل (٦-٤)

ب)

القيمة المتوسطة لجهد المنتج

$V_a=(1-k)V_s$ = ٠,٤(٦٠٠) =٢٤٠ V

القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = P_g = V_sI_s = V_aI_a =(1 - k)V_sI_a$ = ٤٨ KW

سرعة المحرك

$E_g = V_a + I_a(R_a+R_f)$ = ٢٥٦ V

$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = ٨٠ \text{ rad/sec.}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٧٦٣,٩٤ \text{ rpm}$$

ت)

السرعة الصغرى ω_{min}

$$\omega_{min} = \frac{(R_a + R_f)}{K_v} = ٥ \text{ rad/sec}$$

$$n_{min} = \frac{60\omega}{2\pi} = ٤٧,٧٤٦ \text{ rpm}$$

السرعة العظمى ω_{max}

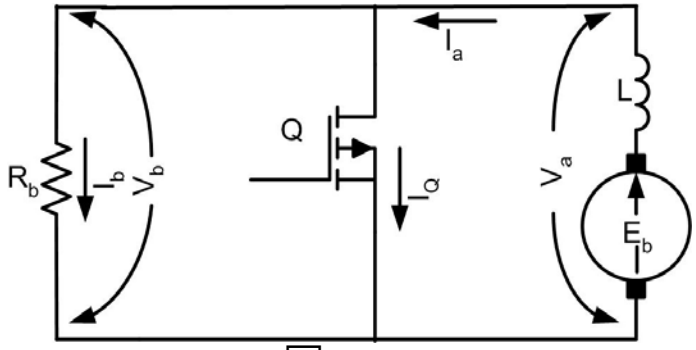
$$\omega_{min} = \frac{V_s + I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} = ١٩٢,٥ \text{ rad/sec}$$

$$n_{max} = \frac{60\omega}{2\pi} = ١٨٣٨,٢٤ \text{ rpm}$$

الفرملة الديناميكية (الفرملة باستخدام مقاومة) Dynamic Braking

في هذه الحالة يتم استهلاك طاقة الحركة (بعد تحويلها إلى طاقة كهربية) في مقاومة توصل بدلا من المصدر المستخدم في حالة إعادة التوليد، وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون الفرملة بإعادة التوليد غير

ممكنة، ويتم الاستفادة من هذه الطاقة أحيانا في التدفئة. شكل (٤-٧) دائرة الفرملة الديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي وفكرة عملها مشابهة تماما لعمل الفرملة بإعادة التوليد غير أن الطاقة في هذه الحالة تستهلك في المقاومة بدلا من إعادتها إلى المصدر، ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني حيث الجهد موجب والتيار سالب.



شكل (٤-٧)

الفرملة الديناميكية باستخدام مقطع التيار المستمر

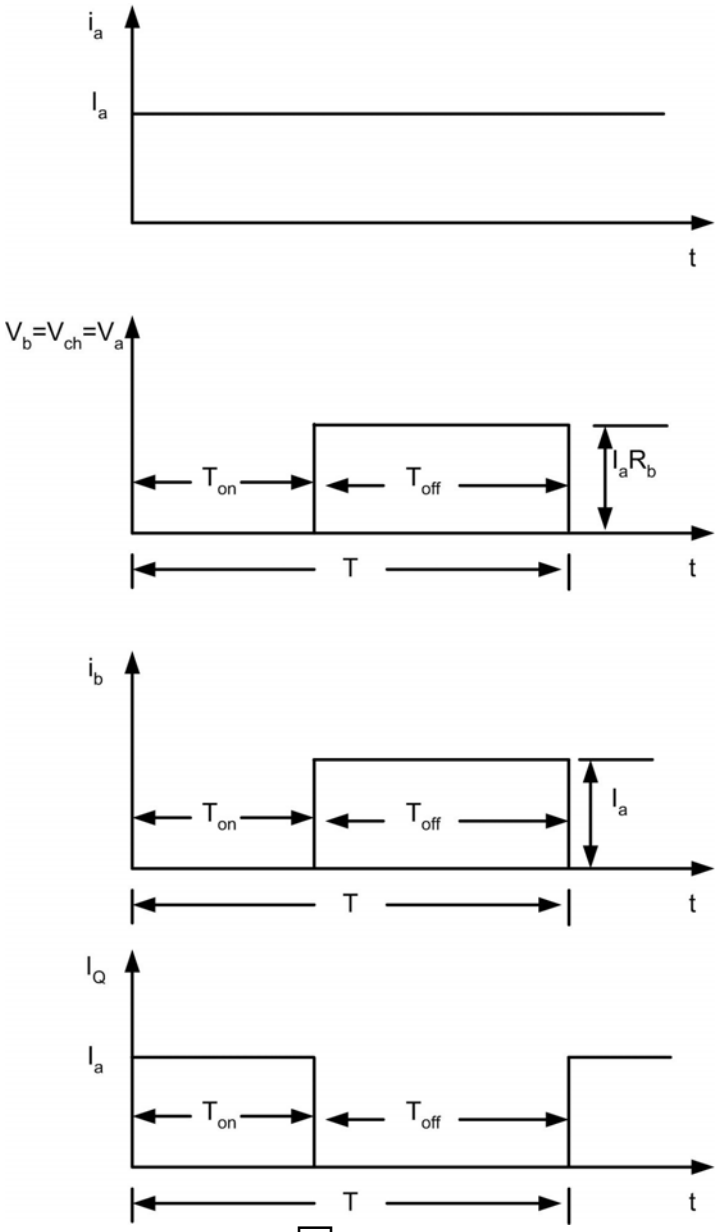
شكل (٤-٨)يعرض أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة وذلك بفرض وجود محاثة عالية في الدائرة بحيث يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وفي هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة لتيار المقطع (I_b) كما في المعادلة (٤-١١) بينما تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المقاومة مساوية للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة (٤-١٢)

$$I_b = (1- k)\, I_a \qquad (٤-١١)$$

$$V_b = V_{ch} = R_b I_a (1-k) \qquad (٤-١٢)$$

وتكون القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_b = V_b I_b = (1 - k)^2 I_a^2 R_b \qquad (٤-١٣)$$



شكل (٨-٤)

أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة

مثال (٣-٤):

يتم عمل فرملة ديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكانت نسبة تشغيل المقطع تيار ٠,٥ ومقاومة ملفات المنتج ٠,٠٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٣ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠١٦V/A-rad/sec وكان تيار المنتج ١٢٠ A.والمقاومة المستخدمة لعمل الفرملة قيمتها ٦ Ω اعتبر أن تيار المنتج متصل وخالي من التذبذبات.

ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد
احسب القيمة المتوسطة للجهد على المقطع والقدرة المستهلكة
القيمة العظمى للجهد على المقطع وسرعة المحرك

الحل

k= ٠,٥ R_f = ٠,٠٣ Ω R_a = ٠,٠٢ Ω

I_a=١٢٠ Amp K_v = ٠,٠١٦ V/A.rad./sec. R_b = ٦ Ω

أ)

الدائرة المستخدمة كما في شكل (٧□٤) بينما أشكال الموجات كما في شكل (٨□٤)

ب)

القيمة المتوسطة للجهد على المقطع

$V_b=V_{ch}=R_bI_a(1-k)$= ٦(١٢٠)(١□٠,٥)=٣٦٠ V

القدرة المستهلكة في المقاومة

$P_b = V_bI_b = (1-k)^2 I_a^2 R_b$ = ٢١,٦ KW

ت)

أقصى قيمة للجهد على المقطع

$V_b)_{max}=V_{ch})_{max}=R_bI_a$= ٦(١٢٠)=٧٢٠ V

سرعة المحرك

$E_g = V_a + I_a(R_a+R_f)$ = ٣٦٦ V

$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = ١٩٠,٦٢٥ \text{ rad/sec.}$$

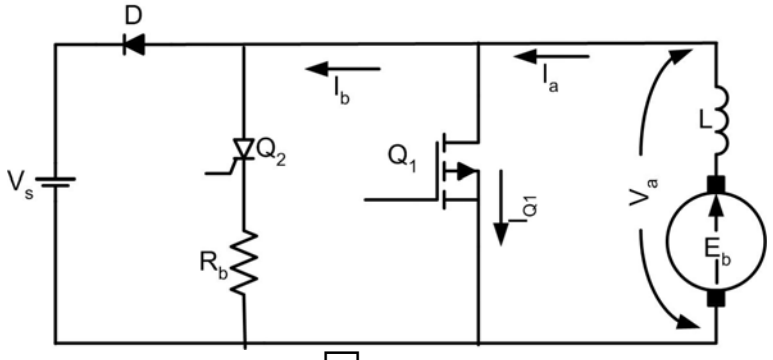
$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ١٨٢٠,٣٣ \text{ rpm}$$

الفرملة بإعادة التوليد واستخدام مقاومة معا

Combined Dynamic and Regenerative Braking

في كثير من الأحيان يتم عمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية باستخدام دائرة واحدة كما في شكل (٩□٤) حيث يتم تشغيل المقطع "Q١" ف إذا كانت سرعة المحرك داخل حدود التشغيل

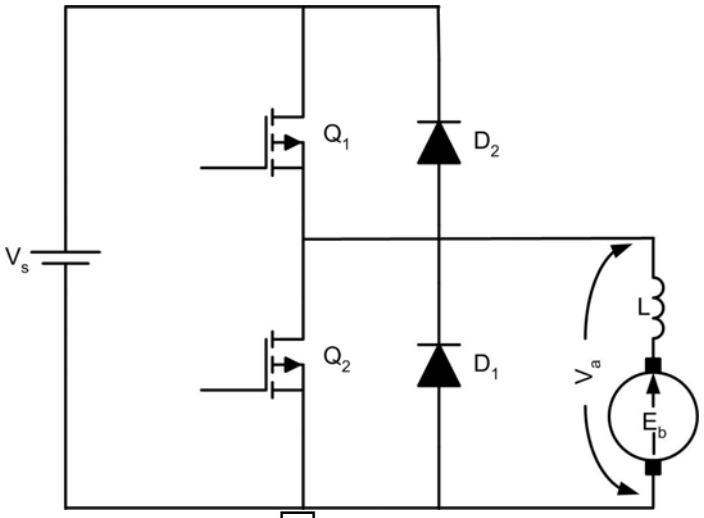
المسموح بإعادة التوليد فيها والمصدر من الممكن أن يستقبل الطاقة فتتم الفرملة بإعادة التوليد ويمر تيار الفرملة إلى المصدر من خلال الدايود "D"، وتستخدم دائرة منطقية لتحديد نوع الفرملة المناسبة ف إذا كانت سرعة المحرك خارج حدود التشغيل سواء كانت أكبر من السرعة القصوى أو أصغر من السرعة الصغرى المسموح بإعادة التوليد بينهما فيتم تشغيل الثايرستور "Q_2" ويتحول تيار الفرملة ليمر في المقاومة "R_b" بدلا من الرجوع إلى المصدر أي تتم الفرملة الديناميكية ويمكن ملاحظة أن الثايرستور "Q_2" يتم اطفاؤه طبيعيا عندما يتم تشغيل "Q_1" في كل دورة.



شكل (٩□٤)

استخدام مقطع التيار المستمر لعمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية معا

يمكن ملاحظة أن الدائرة التي تستخدم للتحكم في سرعة المحرك يكون فيها الجهد والتيار موجبان أي أنها تصلح للعمل في الربع الأول فقط (حالة التدوير الأمامي)، بينما في حالة الفرملة يكون الجهد موجب والتيار سالب أي أنها تصلح للعمل في الربع الثاني (حالة الفرملة الأمامية)، ويمكن الجمع بينهما في دائرة واحدة تصلح للعمل في حالتي التدوير الأمامي والفرملة الأمامية كما في شكل (١٠□٤).

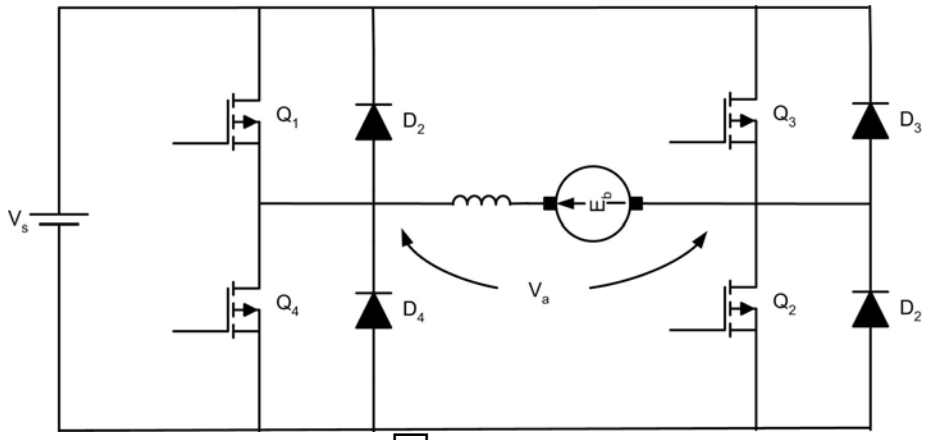


شكل (١٠-٤)

استخدام مقطع التيار المستمر للعمل في الربع الأول والثاني

فحالة التدوير الأمامي (أي العمل في الربع الأول) تتم باستخدام Q_1, D_1، فعند تشغيل Q_1 أي عندما يكون في حالة ON فإن جهد المصدر يتصل بأطراف المحرك وعندما يتحول Q_1 إلى حالة OFF فإن الدايود D_1 يعمل كدايود حذافة. أما حالة الفرملة بإعادة التوليد فتتم باستخدام Q_2, D_2، فعند تشغيل Q_2 أي عندما يكون في حالة ON فإن المحرك يعمل كمولد ويزداد تيار المنتج ويتم تخزين الطاقة في الملفات وعندما يتحول Q_2 إلى حالة OFF فتتم إعادة الطاقة المخزنة إلى المصدر من خلال مرور التيار في D_2

في التطبيقات الصناعية تكثر الحاجة إلى عكس حركة المحركات الكهربائية المستخدمة وهذا يستلزم أن يكون المقطع المستخدم صالحاً للعمل في أربع حالات تدوير، في الربع الأول حيث الجهد والتيار موجبان (تدوير أمامي)، و في الربع الثاني حيث الجهد الموجب والتيار السالب (فرملة أمامية)، بينما في الربع الثالث حيث الجهد والتيار سالبان (تدوير عكسي)، أما في الربع الرابع والأخير يكون الجهد سالب والتيار موجب (فرملة عكسية). وشكل (١١-٤) يبين دائرة لمقطع من هذا النوع تستخدم للسيطرة على محرك للتيار المستمر.



شكل (١١-٤)

استخدام مقطع التيار المستمر للعمل في أربع حالات تشغيل

أولا التدوير الأمامي

يتم استخدام $Q_2$1Q , بينما Q_4 ,Q_3 في حالة OFF، عندما يكون Q_2 ,Q_1 في حالة ON فإن جهد المصدر يكون موصلا على أطراف المحرك ويزداد تيار المنتج وعندما يتحول Q_1 إلى الحالة OFF، بينما يستمر Q_2 في حالة ON فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_2 وD_4 (دايود حذافة).

ثانيا: الفرملة الأمامية

في حالة ما يكون Q_3 ,Q_2, Q_1 في حالة OFF بينما Q_4 في حالة ON، فإن التيار يمر من خلال Q_4, D_2 ويتم تخزين الطاقة في الملفات ف إذا تحول Q_4 إلى حالة OFF، فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_1, D_2 وتتم الفرملة الأمامية بإعادة التوليد.

ثالثا التدوير العكسي

يتم استخدام $Q_4$3Q , بينما Q_2 ,Q_1 في حالة OFF، عندما يكون Q_4 ,Q_3 في حالة ON فإن جهد المصدر يكون موصلا على أطراف المحرك عكس الجهد في حالة التدوير الأمامي ويزداد تيار المنتج وعندما يتحول Q_2 إلى الحالة OFF بينما يستمر Q_4 في حالة ON فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_4 وD_2 (دايود حذافة)

رابعا: الفرملة العكسية

في حالة ما يكون Q_1, Q_3, Q_4 في حالة OFF بينما Q_2 في حالة ON فإن التيار يمر من خلال Q_2 وD_4 ويتم تخزين الطاقة في الملفات ف إذا تحول Q_2 إلى حالة OFF فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_3, D_2 وتتم الفرملة العكسية بإعادة التوليد.

ويمكن ملاحظة أنه في حالة التدوير العكسي والفرملة العكسية فإن اتجاه المجال يجب أن يعكس لذا في حالة التغذية المنفصلة يجب مراعاة عكس اتجاه المجال في هاتين الحالتين.

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

أ. اذكر بعض التطبيقات الصناعية التي يستخدم فيها مقطع التيار المستمر

ب. ارسم الدائرة التخطيطية التي توضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة.

ت. اشرح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي، وارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار.

ث. اذكر طرق عمل الفرملة لمحرك التيار المستمر باستخدام مقطع التيار المستمر واشرح اثنين منها بالتفصيل.

ج. اشرح مستعينا بالرسم كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر وعمل الفرملة بإعادة التوليد.

السؤال الثاني:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده ٦٠٠ V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله ٠,٦ ومقاومة ملفات المنتج ٠,٠٣ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٥ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠٣١V/A-rad/sec وكان تيار المنتج ٧٠ A. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر

ت. احسب العزم المتولد

ث. إذا أريد زيادة سرعة المحرك بنسبة ٢٠٪ احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" ف إذا كان مصدر التيار المستمر ذا جهد ٦٦٠ V ومقاومة ملفات المنتج ٠,٠٣ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٥ Ω

وثابت الجهد للمحرك ٠,٠٣٥V/A-rad/sec . و كان المطلوب المحافظة على قيمة العزم المتولد ليكون ٥٤٧ Nm اعتبر تيار المنتج متصلاً و خالياً من التذبذبات:

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب قيمة تيار المنتج

ت. ارسم العلاقة بين كل من نسبة تشغيل مقطع التيار وسرعة المحرك

السؤال الرابع:

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكان جهد المصدر ٦٦٠ V، ومقاومة ملفات المنتج ٠,٠٢ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٣ Ω وثابت الجهد للمحرك ٠,٠١٦V/A-rad/sec وكانت القيمة المتوسطة لجهد المنتج ٢٥٠ V تيار المنتج ٢٥٠ A.، أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب نسبة تشغيل مقطع تيار والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك

ت. القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد

السؤال الخامس:

يتم عمل فرملة ديناميكية على محرك تيار مستمر من نوع التوالى باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" ومقاومة قيمتها ٥ Ω. ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٣ Ω ومقاومة ملفات المجال ٠,٠٥ Ω و كان ثابت الجهد للمحرك .١٤mV/A.rad/sec وكانت القيمة المتوسطة لتيار المحرك ٣٥٠A ونسبة تشغيل مقطع التيار ٦٠٪ اعتبر تيار المنتج متصلاً و خالياً من التذبذبات . ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد ثم احسب:

أ. الجهد المتوسط على المقطع

ب. القدره المستهلكة في المقاومة

ت. سرعة المحرك

التحكم الإلكتروني في الآلات

التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: اختيار الطريقة المناسبة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وتحديد الدائرة المناسبة لذلك.

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

١. معرفة كيفية تنفيذ الطرق المختلفة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام دوائر حاكمات الجهد المتناوب.
٢. معرفة كيفية تنفيذ الطرق المختلفة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام العواكس.
٣. معرفة كيفية التحكم في المحركات ذات العضو الملفوف باستعادة طاقة الانزلاق.

الوقت المتوقع: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة
اجتياز مقرر آلات التيار المتردد والمحولات

التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

بالرغم من بساطة طرق التحكم في سرعة محركات التيار المستمر التي سبق تناولها في الوحدتين الثالثة والرابعة إلا أن محركات التيار المستمر نفسها لها بعض العيوب مثل كبر الحجم وثقل الوزن وحاجتها الدائمة إلى الصيانة الدورية بالإضافة إلى ارتفاع ثمنها، مما دفع الباحثين إلى البحث في كيفية استخدام محركات التيار المتردد كمحركات متغيرة السرعة في التطبيقات الصناعية المختلفة، وذلك لما تتمتع به من مميزات عديدة مثل خفة الوزن وصغر الحجم ورخص الثمن بالإضافة إلى عدم حاجتها للصيانة الدورية تقريبا، ولكن على الجانب الآخر فإن التحكم فيها أصعب من التحكم في آلات التيار المستمر حيث تحتاج إلى التحكم في أكثر من عامل (الجهد والتردد)، ولكن التقدم في صناعة عناصر إلكترونيات القدرة ودوائر التحكم الرقمية ساهم في الفترة الأخيرة بجهد كبير في تسهيل عملية التحكم في تلك المحركات حتى أصبحت بديلا منافسا لمحركات التيار المستمر في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة خاصة في الأماكن القابلة للانفجار مثل المناجم والصناعات الكيميائية والتركيبات تحت المياه كما تصلح أيضا للمضخات والمراوح ونافخات الهواء والكمبرسورات والسيور بالإضافة إلى القطارات الكهربائية. وتنقسم آلات التيار المتردد إلى نوعين رئيسيين هما المحركات الحثية ثلاثية الأوجه والمحركات المتزامنة، وسوف نتناول في هذه الوحدة طرق التحكم في المحركات الحثية، بينما سنتناول في الوحدة السادسة كيفية التحكم في المحركات التزامنية.

يتم التحكم في سرعة المحركات الحثية بالتحكم في العزم المتولد الذي يعتمد على التفاعل (التداخل) بين مجالين مغناطيسيين يدوران بسرعة التزامن أحدهما ناتج من تغذية ملفات العضو الثابت من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه بينما ينتج المجال الثاني من التيار المار في العضو الدائر بالحث، وتعتمد قيمة العزم المتولد كما في المعادلة (١□٥) على قيمة الجهد المسلط على أطراف العضو الثابت وعلى قيمة تردد المصدر .ويمكن مراجعة كيفية عمل المحركات الحثية ثلاثية الأوجه بالرجوع إلى الوحدة التدريبية الأولى

$$T_d = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s}}{\omega_s} = \frac{3V_1^2 \cdot R_2'}{s\omega_s\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 \left(X_1 + X_2'\right)^2} \qquad (١□٥)$$

حيث:

I_2' تيار العضو الدائر منسوبا للعضو الثابت (A)

R_1 مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)

R_2' مقاومة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

X_1 معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)

X_2' معاوقة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

ω سرعة المحرك (rad./sec)

ω_s سرعة التزامن (rad./sec)

s الانزلاق

V_1 الجهد المسلط على العضو الثابت

يمكن تقسيم أنواع التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه بشكل عام إلى نوعين رئيسيين:

- **تحكم عن طريق دائرة العضو الثابت:** ويتم ذلك بطرق مختلفة وتتميز جميعها بأنها تصلح للمحركات الحثية سواء كانت محركات ذات قفص سنجابي أو محركات ذات عضو دائر ملفوف
- **تحكم طريق دائرة العضو الدائر:** وتصلح للمحركات ذات العضو الدائر الملفوف فقط

وسوف نتناول طرق التحكم المستخدمة في كل نوع من هذه الأنواع فيما يلي.

أولا التحكم في دائرة العضو الثابت

بالرجوع إلى المعادلة (١-٥) نستطيع أن نستنتج أن العزم المتولد والسرعة يمكن التحكم فيهما بعدة طرق تنفذ جميعها من خلال دائرة العضو الثابت مثل:

التحكم في جهد المصدر التحكم في تردد المصدر

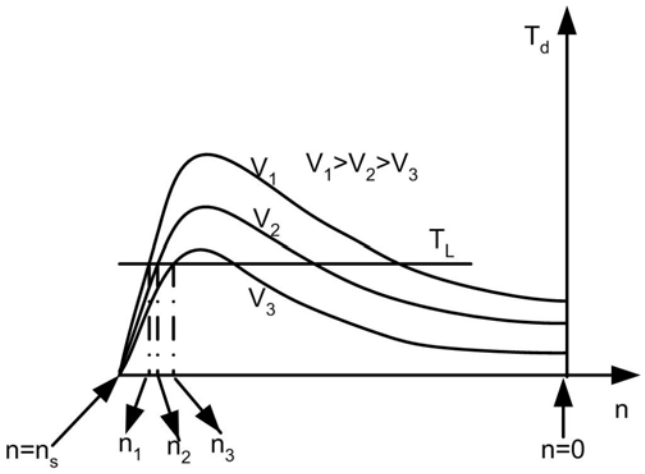
التحكم في الجهد والتردد معا

التحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت (Stator Voltage Control)

بالرجوع إلى المعادلة (١-٥) نجد أن العزم المتولد يتناسب مع مربع الجهد وبالتالي فعند تقليل الجهد المسلط على العضو الثابت فإن العزم المتولد سوف يقل وبالتالي تقل السرعة ويوضح شكل (١-٥) العلاقة بين العزم والسرعة عند قيم مختلفة لجهد العضو الثابت.

فنجد أن سرعة المحرك (n_1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_1) تكون أكبر من السرعة (n_2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_2)، والسرعة (n_2) تكون أكبر من السرعة (n_3) والتي تنتج عند

تغذية المحرك بالجهد (V_2) وهكذا، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وسهولة التنفيذ ولكنها تصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة فقط، كما أن مدى التحكم في السرعة يكون صغير وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في المراوح والمضخات والأوناش.



شكل (١-٥)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند قيم مختلفة لجهد العضو الثابت

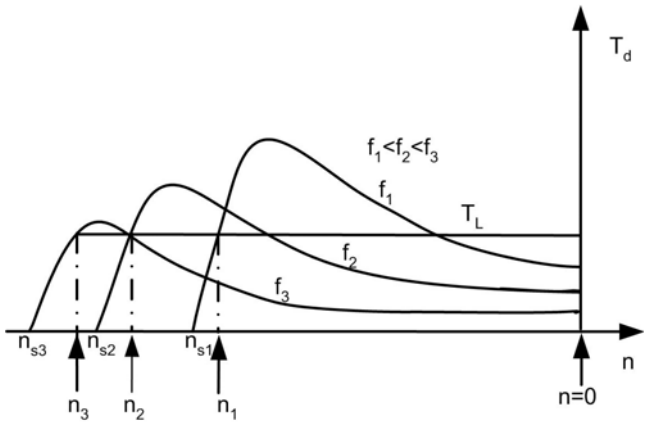
التحكم في التردد (Frequency Control)

يمكن التحكم في العزم المتولد للمحرك الحثي وسرعتة بالتحكم في تردد المصدر، وذلك لأن تغيير التردد يؤدي إلى تغيير المجال المغناطيسي الناتج طبقا للمعادلة (٢-٥) والتي تربط بين المجال المغناطيسي (Φ)الناتج من مرور التيار في ملف والجهد المسلط عليه (V) وتردد المصدر (f)

$$\Phi \propto \frac{V}{f} \qquad (٢-٥)$$

ومن المعادلة (٢-٥) يمكن ملاحظة أن المجال المغناطيسي يتناسب عكسيا مع التردد أي أنه بزيادة التردد يقل المجال المغناطيسي المتولد وبالتالي يقل العزم وتزيد سرعة المحرك، كما يمكن ملاحظة أنه بتقليل التردد يزداد المجال المغناطيسي ويزيد العزم المتولد وتقل السرعة، كما هو واضح من شكل (٥-٢) والذي يوضح العلاقة بين العزم المتولد وسرعة المحرك عند ترددات مختلفة. فنجد أن سرعة المحرك (n_1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_1) تكون أقل من السرعة (n_2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_2)، والسرعة (n_2) تكون أقل من السرعة (n_3) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_3) وهكذا. وتصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات عالية (أكبر من السرعة المقننة) مع مراعاة أن لايقل العزم

المتولد عن عزم الحمل المطلوب، ولاتصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات صغيرة (أقل من السرعة المقننة) لأن ذلك يحتاج إلى تردد صغير قد يؤدي إلى تشبع المجال المغناطيسي المتولد. وتسمى هذه الطريقة طريقة إضعاف المجال (Field-weakening mode) وذلك لضعف المجال المغناطيسي نتيجة لزيادة التردد

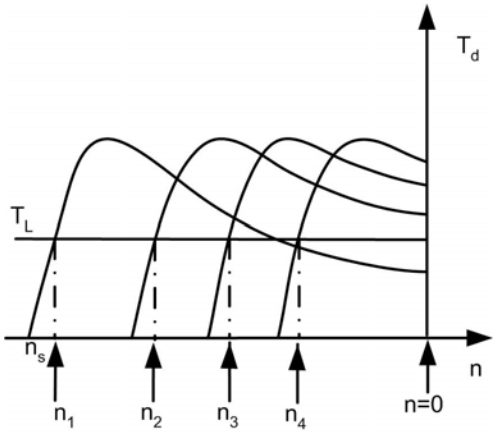


شكل (٢□٥)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند قيم مختلفة للتردد

التحكم في الجهد والتردد معا (Voltage and Frequency Control)

في هذه الطريقة يتم السيطرة على أداء المحرك بالتحكم في كل من الجهد والتردد معا بحيث تكون النسبة بينهما ثابتة وذلك بهدف الحفاظ على المجال المغناطيسي عند قيمة ثابتة ولذلك تكون قيمة أقصى عزم أيضا ثابتة بينما يمكن الحصول على سرعات مختلفة كما في شكل (٣□٥)



شكل (٣□٥)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند التحكم في الجهد والتردد معا

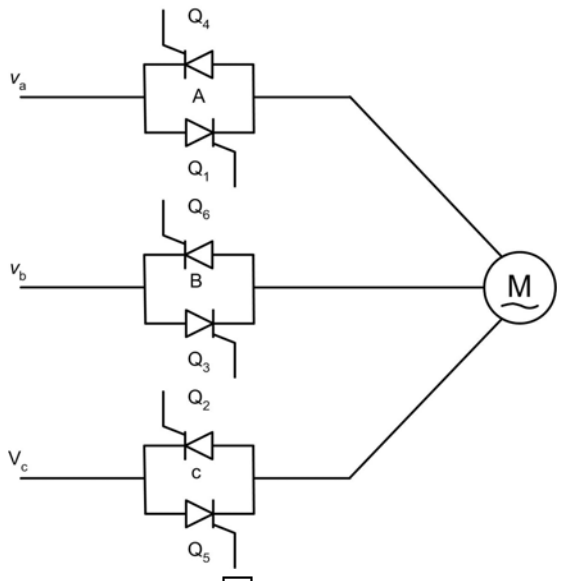
وتتميز هذه الطريقة بمدى كبير للتحكم في السرعة (من صفر إلى السرعة المقننة)، و إذا أريد زيادة السرعة عن ذلك فإننا نلجأ للتحكم في التردد فقط، كما تتميز هذه الطريقة بإمكانية استخدامها لبدء المحرك بعزم بدء عال مما يقلل من زمن التعجيل اللازم للوصول لنقطة التشغيل. ونتيجة لثبات المجال المغناطيسي في هذه الطريقة فتسمى بطريقة التحكم بثبات المجال (Constant Flux Operation).

وتتم عملية التحكم في جهد العضو الثابت بطرق مختلفة مثل حاكمات الجهد المتردد أو العواكس وسوف نتناولها في الأجزاء التالية.

التحكم في المحركات الحثية باستخدام حاكمات الجهد المتناوب

Control of Induction Motor by AC Voltage Controller

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب للتحكم في جهد العضو الثابت، وذلك بهدف السيطرة على أداء المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، وفي هذه الحالة يكون الجهد المغذي للمحرك متغير القيمة (محكوماً) بينما يكون التردد هو نفسه تردد المصدر ثلاثي الأوجه، وتتم عملية التحكم في القيمة الفعالة للجهد عن طريق التحكم في زاوية الإشعال للثايرستورات المكونة لحاكم الجهد المتردد وتستخدم حاكمات الجهد المتردد للتحكم في تطبيقات متعددة مثل المراوح والمضخات والأوناش. ومن عيوب حاكمات الجهد المتناوب توليد توافقيات غير مرغوب فيها كما أن معامل القدرة لها منخفض



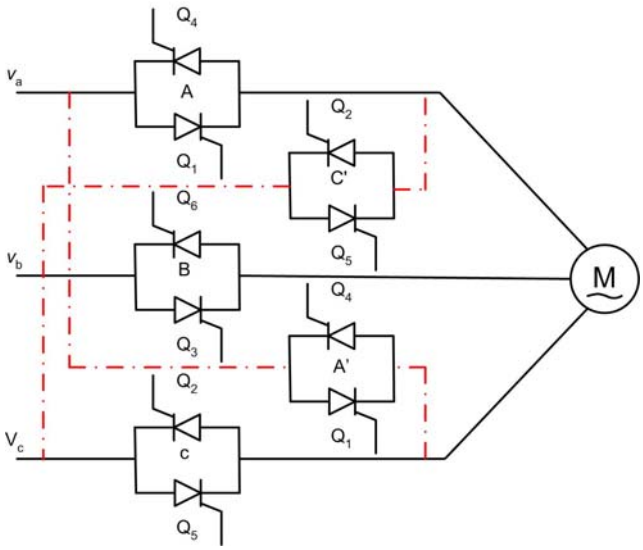
شكل (٤-٥)

التحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه باستخدام حاكم الجهد المتناوب ثلاثي الأوجه

ويوضح شكل (٤□٥) حاكم جهد متناوب ثلاثي الأوجه مكون من ستة ثايرستورات يستخدم اثنان منها لكل وجه ويستخدم هذا الحاكم للتحكم في محرك حثي ثلاثي الأوجه. وفي حالة المحركات الصغيرة يمكن أن يستبدل كل زوج من الثايرستورات المستخدمة بترياك يستخدم في الوجه الواحد.

والحاكم الموضح في شكل (٤□٥) يستخدم للتدوير الأمامي للمحرك (Forward Motoring) والفرملة العكسية (Reverse Plugging) أي في الربع الأول والرابع

ويمكن استخدام حاكم الجهد المتناوب للسيطرة على المحرك في أربع حالات تدوير أي في الربع الأول والثاني والثالث والرابع، ويوضح شكل (٥□٥) حاكم الجهد المتناوب الذي يمكن استخدامه لهذه الحالات المختلفة. عند تشغيل أزواج الثايرستور (A, B, C) فإن المحرك يمكن أن يعمل في الربع الأول والرابع، بينما إذا تم تشغيل أزواج الثايرستور (A', B, C') فإن المحرك يمكن أن يعمل في الربع الثاني (فرملة أمامية) والثالث (تدوير عكسي).



شكل (٥□٥)

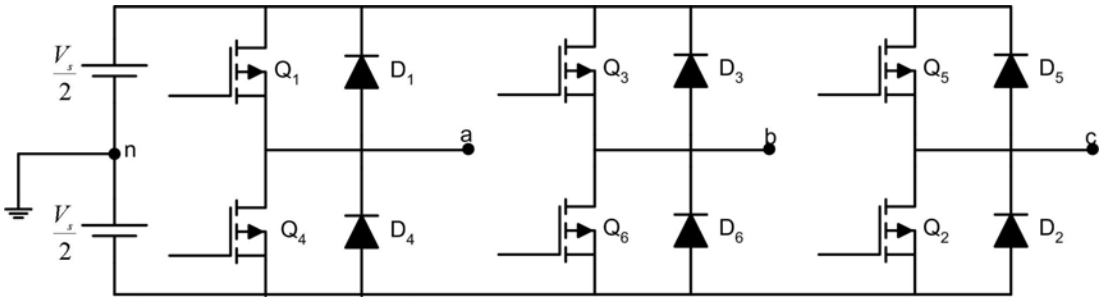
التحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه باستخدام حاكم جهد متناوب ثلاثي الأوجه يعمل في أربع حالات تشغيل مختلفة

التحكم في المحركات الحثية باستخدام العواكس

Control of Induction Motor by Inverters

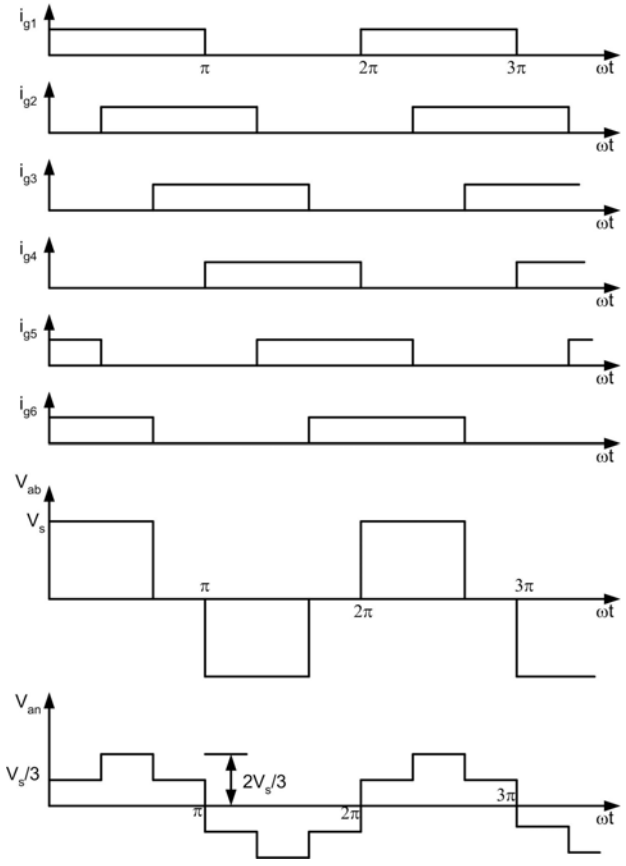
تستخدم العواكس في تنفيذ عمليات التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وذلك بالتحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت أو التحكم في التردد أو التحكم في الجهد والتردد معا، ويتم ذلك باستخدام عدة أنواع من العواكس مثل العاكس ثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد الثابت

والعاكس ثلاثي الأوجه ذي النبضة متغيرة العرض (Three-phase Voltage Source Inverter) (PWM Inverter)، ويبين شكل (٦-٥) عاكساً ثلاثي الأوجه ذا مصدر جهد ويتكون من ستة موسفت وستة دايودات حيث يتم إشعال كل موسفت لمدة 180^o وفصله لمدة 180^o أخرى ويتم ذلك بالتتابع كما في شكل (٧-٥) ويمكن تشغيل هذا العاكس كعاكس ست خطوات (Six Step Inverter) أو عاكس ذي نبضة متغيرة العرض (PWM Inverter).



شكل (٦-٥)

عاكس ثلاثي الأوجه



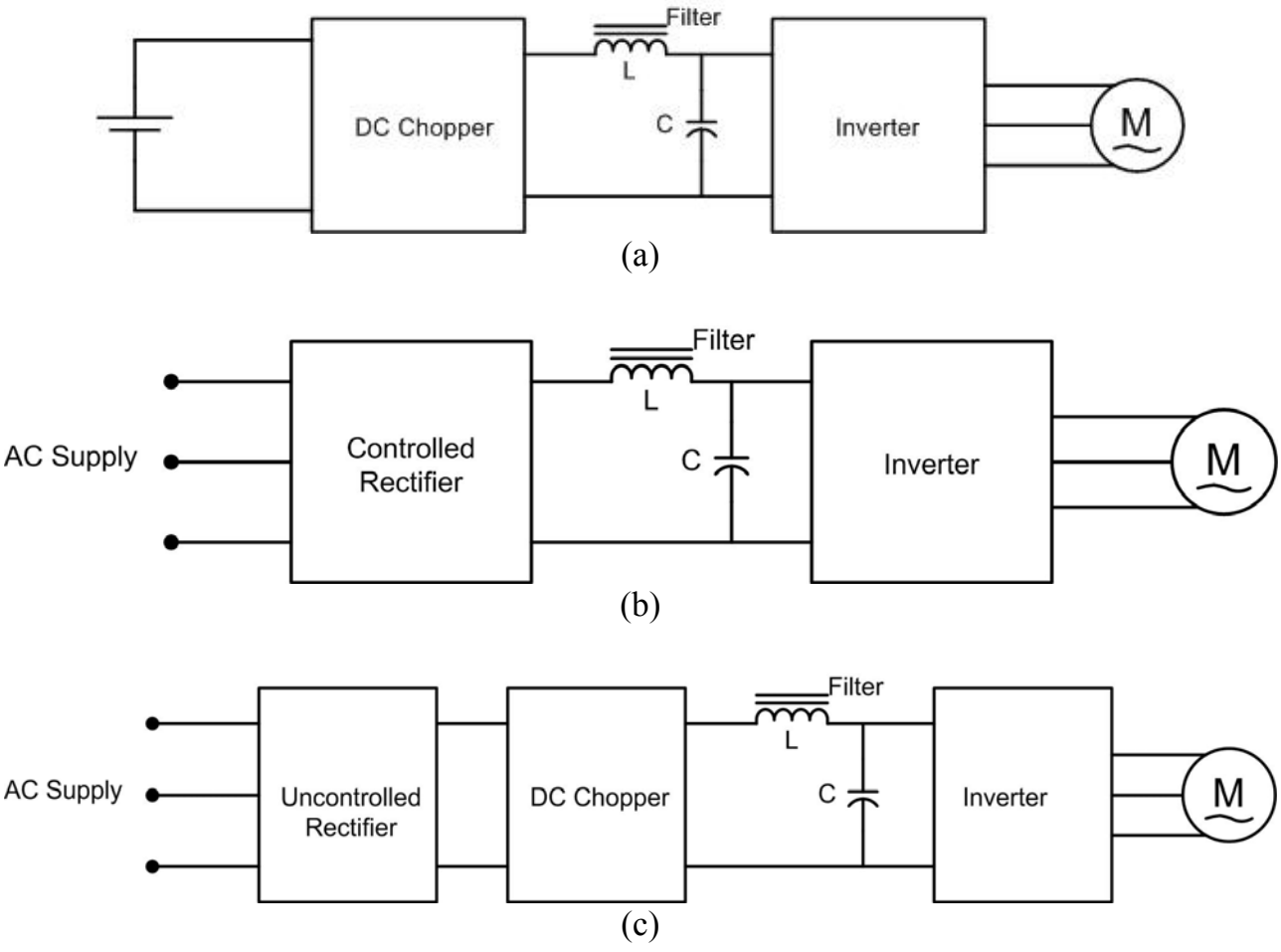
شكل (٧-٥)

أشكال موجات التحكم والجهد الناتج من العاكس ثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد

يتم التحكم في التردد بتغيير مدة التشغيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في العاكس، بينما يمكن التحكم في الجهد بإحدى الطرق التالية

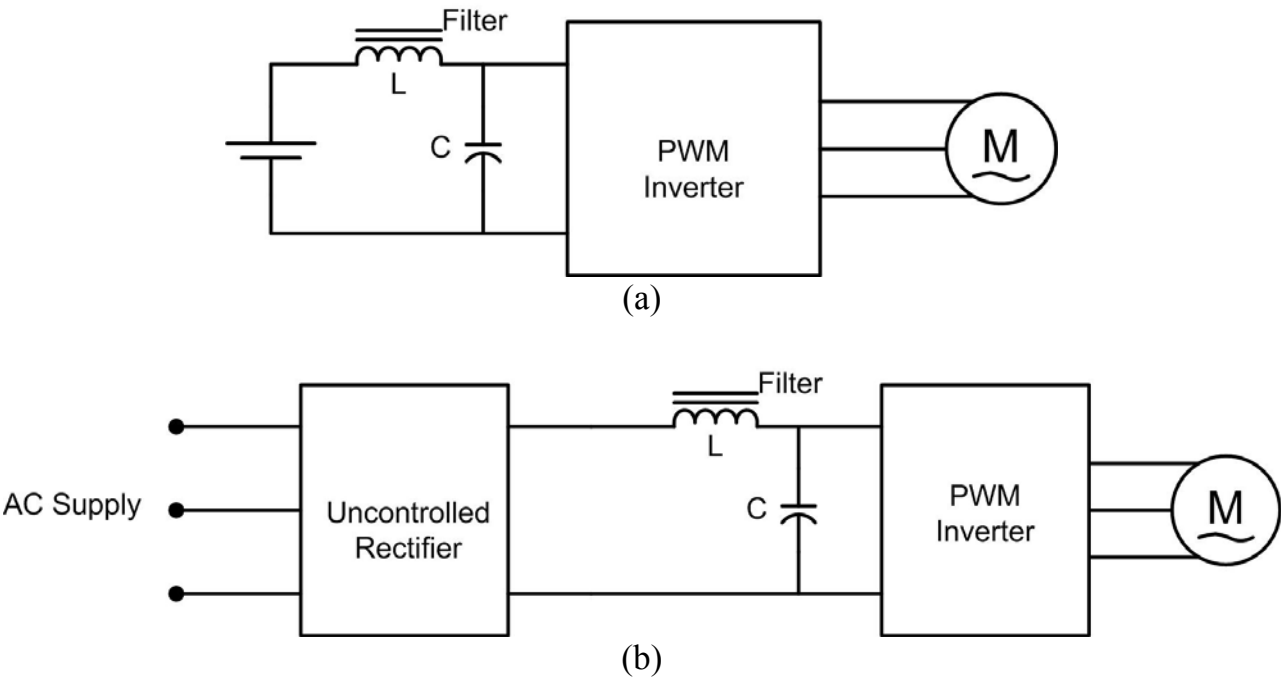
١. **التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل للعاكس**: ويتم ذلك باستخدام مصدر تيار مستمر ومقطع كما في شكل (٨-a□٥)، أو باستخدام مصدر للتيار المتردد وقنطرة موحدات محكومة كما في شكل (٨-b□٥)، كما يمكن أن يتم ذلك باستخدام مصدر للتيار المتردد وقنطرة موحدات غير محكومة ومقطع تيار مستمر كما في شكل (٨-c□٥).

٢. **التحكم في قيمة الجهد الناتج من العاكس ذي النبضة متغيرة العرض**: وفي هذه الحالة يمكن التحكم في كل من الجهد والتردد معا بتغيير زمن التشغيل والفصل كما في شكل (٩□٥).



شكل (٨□٥)

التحكم في جهد العاكس ذي الست خطوات بطرق مختلفة



شكل (٩□٥)

التحكم في الجهد والتردد باستخدام العاكس ذي النبضة متغيرة العرض

ثانيا التحكم في دائرة العضو الدائر

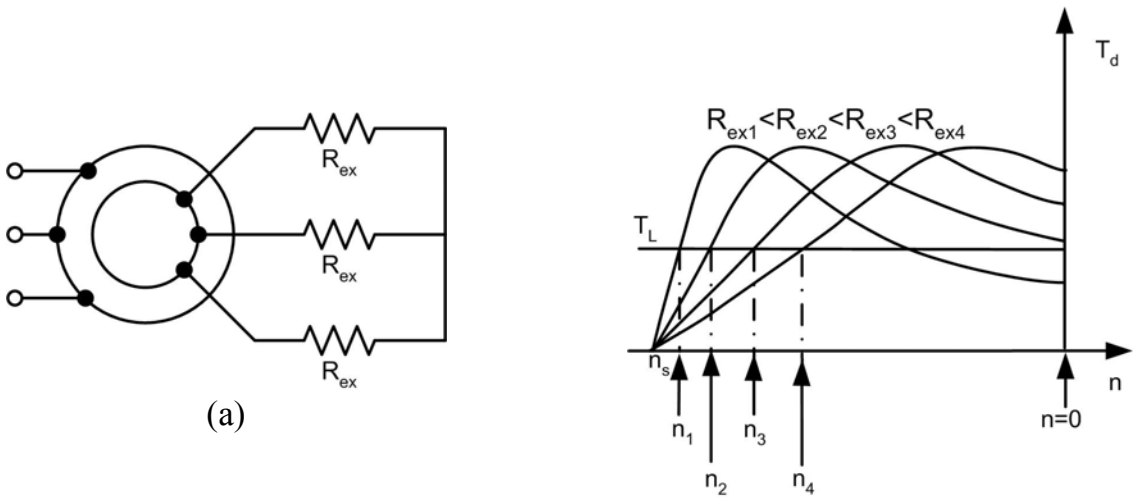
في هذه الحالة يتم التحكم في المحركات الحثية عن طريق دائرة العضو الدائر لذا تصلح هذه الطريقة فقط للتحكم في المحركات ذات العضو الملفوف. والمحركات ذات العضو الملفوف لها بعض العيوب مقارنة بالمحركات ذات القفص السنجابي مثل ارتفاع الثمن وثقل الوزن وكبر الحجم وحاجتها للصيانة الدورية ولكن التحكم فيها عن طريق دائرة العضو الدائر يكون أرخص لذا تستخدم في بعض التطبيقات الصناعية المحدودة.

في المحركات الحثية يتحول جزء من القدرة في الثغرة الهوائية إلى قدرة ميكانيكية والجزء المتبقي يسمى قدرة الانزلاق (Slip Power) وتعتمد طرق التحكم عن طريق العضو الدائر على التحكم في هذه القدرة وبالتالي التحكم في القدرة الميكانيكية، ومن ثم يتم التحكم في السرعة ويمكن تلخيص طرق التحكم عن طريق دائرة العضو الدائر كما يلي:

- التحكم باستخدام مقاومة (Static Rotor Resistance Control)
- التحكم باستعادة طاقة الانزلاق (Slip Power Recovery Control)

التحكم باستخدام مقاومة (Static Rotor Resistance Control)

عند توصيل ثلاث مقاومات (R_{ex}) في دائرة العضو الدائر من خلال حلقات الانزلاق الموصلة على أطراف العضو الدائر كما في شكل (a-١٠□٥) فإن العزم المتولد من المحرك يمكن التحكم فيه بتغيير قيمة المقاومة الخارجية الموصلة، ويمكن حساب قيمة العزم المتولد في هذه الحالة بعد إضافة المقاومة الخارجية لمقاومة العضو الدائر في المعادلة (١□٥). شكل (b-١٠□٥) يوضح العلاقة بين السرعة والعزم عند قيم مختلفة للمقاومة المضافة (R_{ex}) وبالرغم من المفاقيد العالية التي تنتج عن استخدام هذه الطريقة إلا أنها تتمتع ببعض المميزات مثل البساطة، ورخص الثمن، ومعامل القدرة العالي، ومدى التحكم في السرعة الكبير، وكذلك تقليل تيار البدء، لذا تستخدم هذه الطريقة في بعض التطبيقات مثل الحفارات والأوناش.



شكل (١٠□٥)

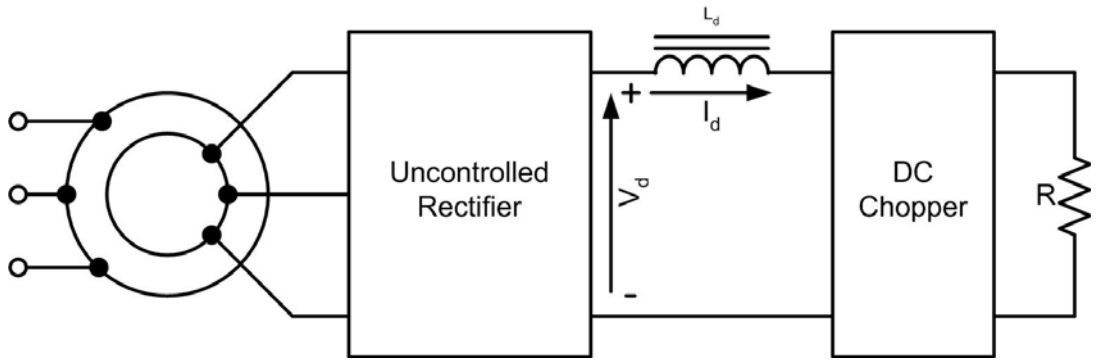
التحكم في المحرك ذي العضو الملفوف باستخدام مقاومة

ويمكن استبدال المقاومات الثلاث (R_{ex}) بمقاومة واحدة (R) ومقطع بالإضافة إلى قنطرة موحدات كما في شكل (١١□٥) وبتغيير نسبة تشغيل المقطع (k) يتم التحكم في القيمة الفعالة للمقاومة (R_e) والتي ستتغير قيمتها من (R) إذا كانت نسبة تشغيل المقطع صفر إلى صفر إذا كانت نسبة تشغيل المقطع واحد ويمكن إيجاد القيمة الفعالة للمقاومة عند أي نسبة تشغيل من المعادلة (٣□٥).

$Re=R(\sqrt{1-k})$	(٥-٣)

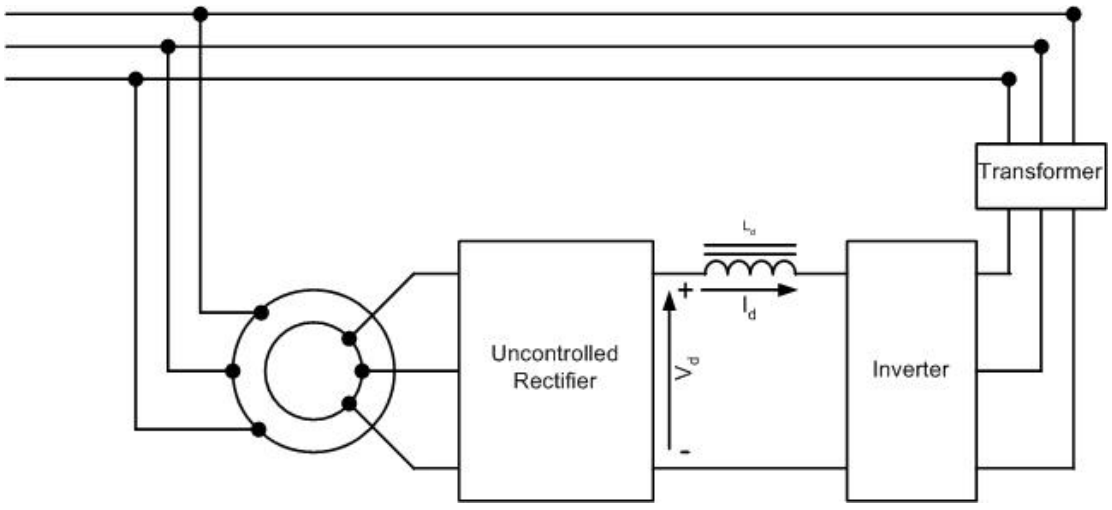
التحكم باستعادة طاقة الانزلاق (Slip Power Recovery Control)

يمكن إعادة قدرة الانزلاق إلى المصدر باستبدال مقطع التيار المستمر والمقاومة في شكل (١١-٥) بمغير قدرة ثلاثي الأوجه كما في شكل (١٢-٥). يتم تشغيل مغير القدرة في هذه الحالة كعاكس حيث تكون زاوية الإشعال أكبر من 90^{o} وذلك لتحويل الجهد المستمر (V_d) إلى جهد متردد ومن ثم توصيله بمصدر التيار المتردد من خلال محول، وبالتحكم في قيمة زاوية إشعال الثايرستور في دائرة العاكس يتم التحكم في قيمة قدرة الانزلاق المعادة إلى المصدر وبالتالي في سرعة المحرك وتعرف هذه الطريقة بطريقة كرامر الإستاتيكية.



شكل (١١-٥)

التحكم في قدرة الانزلاق باستخدام مقطع



شكل (١٢-٥)

التحكم في المحرك الحثي باستعادة قدرة الانزلاق (طريقة كرامر الاستاتيكية)

أسئلة

السؤال الأول:

أ. عرف كلاً من سرعة التزامن والانزلاق

ب. ما هي العوامل التي تؤثر في قيمة العزم المتولد ؟

ت. اذكر مميزات وعيوب المحرك الحثي ثلاثي الأوجه عند استخدامه كمحرك متغير السرعة.

ث. اذكر طرق التحكم في المحرك الحثي ذي القفص السنجابي واشرح اثنين منها بالتفصيل.

ج. اذكر طرق التحكم في المحرك الحثي ذي العضو الملفوف واشرح اثنين منها بالتفصيل.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية، ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- تمتاز طريقة التحكم في جهد العضو الثابت بمدى التحكم الواسع ☐
- يتم التحكم في جهد العضو الثابت للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة
- يتم التحكم في التردد للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة ☐
- تستخدم طريقة التحكم في التردد في عملية بدء المحركات الحثية ☐
- طريق التحكم بثبات المجال تتم بالتحكم في الجهد والتردد معا بحيث تكون النسبة بينهما ثابتة ☐
- يتم التحكم في المحرك ذي القفص السنجابي بإضافة مقاومة في العضو الدائر ☐
- تستخدم طريقة كرامر الإستاتيكية للتحكم في المحرك ذي القفص السنجابي ☐

السؤال الثالث:

أ. اشرح موضحا بالرسم كيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في المحرك الحثي ليعمل في أربع حالات تشغيل

ب. اشرح كيفية التحكم في الجهد باستخدام العواكس

ت. اشرح موضحا بالرسم طريقة كرامر الإستاتيكية للتحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

التحكم الإلكتروني في الآلات

التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: اختيار الطريقة المناسبة للتحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه وتحديد الدائرة المناسبة لذلك.

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

- معرفة كيفية للتحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه بتغيير التردد
- معرفة كل من طريقة التحكم المنفصل والتحكم الذاتي.
- معرفة كيفية استخدام العواكس في تنفيذ عملية التحكم في المحرك التزامني.

الوقت المتوقع: ٤ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة
اجتياز مقرر آلات التيار المتردد والمحولات

التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

في الوحدة السابقة بدأنا في طرق التحكم في محركات التيار المتردد حيث تناولنا كيفية التحكم في المحركات الحثية والطرق المختلفة للسيطرة على أدائها، واستكمالا لطرق التحكم في محركات التيار المتردد سنتناول في هذه الوحدة كيفية التحكم في المحرك التزامني للعمل كمحرك متغير السرعة.

تتمتع المحركات التزامنية بعدد من المميزات مقارنة بمحركات التيار المستمر والمحركات الحثية، من أهم مميزات المحرك التزامني عدم وجود الموحد (Commutator) المستخدم في محركات التيار المستمر مما أدى إلى صغر حجم المحرك التزامني وخفة وزنة مقارنة بمثيله من محركات التيار المستمر وقد ساعد ذلك أيضا على عدم وجود قيود على سرعتة القصوى أو جهده أو قدرته أو أماكن استخدامه سواء كانت أماكن قابلة للانفجار أو أماكن نظيفة كما ساعد عدم وجود الموحد أيضا على عدم الحاجة إلى الصيانة الدورية.

وتمتاز المحركات التزامنية (ذات العضو الملفوف أو ذات المغناطيس الدائم) بكفائتها العالية بالمقارنة بنظيرتها في المحركات الحثية إضافة إلى أن معامل قدرتها أيضا أعلى من المحركات الحثية.

التحكم في المحرك التزامني بتغيير التردد

يدور المحرك التزامني بسرعة ثابتة مساوية لسرعة التزامن (سرعة المجال المغناطيسي الدوار الناتج من تغذية المحرك من مصدر ثلاثي الأوجه) التي تتحدد بناء على تردد المصدر وعدد أقطاب المحرك طبقا للمعادلة (١-٦)

$$\omega = \omega_s = \frac{4\pi f}{P} \qquad (١-٦)$$

حيث:

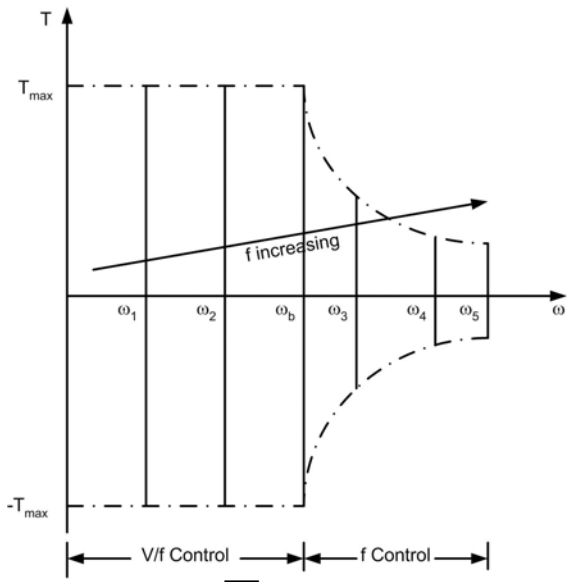
ω سرعة المحرك (rad./sec)

ω_s سرعة التزامن (rad./sec)

f تردد المصدر

P عدد الأقطاب

وعند تغذية المحرك التزامني من مصدر متغير التردد فإنه يعمل كمحرك متغير السرعة، لذلك فإن التحكم في سرعة المحرك التزامني تتم بتغيير التردد، وحتى نتجنب ضعف المجال المغناطيسي الناتج عن زيادة التردد أو التشبع في المجال الناتج من تقليل التردد فإن تغيير التردد يصاحبه أيضا تغيير في الجهد بحيث تكون النسبة بين الجهد والتردد دائما ثابتة للحصول على مجال مغناطيسي ثابت، ولذلك فإن استراتيجية التحكم هي أن يعمل المحرك بمجال مغناطيسي ثابت (constant V/f) حتى السرعة المقننة (ω_b)، ثم يتم التحكم في التردد فقط إذا أريد الحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة (ω_b)، ويوضح شكل (١-٦) العلاقة بين السرعة والعزم للمحرك التزامني عند ترددات مختلفة، ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسيين. في الجزء الأول من السرعة صفر إلى السرعة المقننة (ω_b) حيث يتم التحكم بتغيير كل من الجهد والتردد (constant V/f) والجزء الثاني عندما تكون السرعة أكبر من السرع المقننة ويتم فيه التحكم بتغيير التردد فقط لذا يقل المجال المغناطيسي وبالتالي العزم.



شكل (١-٦)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك التزامني عند قيم مختلفة للتردد

وتنقسم طرق التحكم في المحركات التزامنية عن طريق التردد إلى نوعين هما التحكم المنفصل والتحكم الذاتي

التحكم المنفصل

في التحكم المنفصل (دائرة مفتوحة) يتم التحكم في التردد بمذبذب خارجي (Independent Oscillator) وبالتالي يتم التحكم في السرعة بدقة من خلال التحكم ذي الدائرة المفتوحة، فعند زيادة التردد تدريجيا تزداد سرعة دوران المجال المغناطيسى الناتج من العضو الثابت من ω_s إلى ω_{s1} وينتج عن ذلك زيادة زاوية القدرة ومن ثم تبدأ سرعة المحرك في الزيادة حتى تصل إلى سرعة التزامن الجديدة. وعند تقليل التردد تدريجيا تقل سرعة دوران المجال المغناطيسى الناتج من العضو الثابت من ω_s إلى ω_{s2} نتيجة لذلك تقل زاوية القدرة ومن ثم تقل سرعة المحرك حتى تصل إلى سرعة التزامن الجديدة.

من المناقشة السابقة يمكن أن نلاحظ أن التغير في التردد يجب أن يكون تدريجيا حتى نسمح لسرعة المحرك بتتبع التغير في سرعة التزامن. أما في حالة التغيير المفاجئ في التردد والذي يتبعه تغيير مفاجئ أيضا في سرعة التزامن فإن سرعة المحرك لا تتمكن من تتبع هذا التغير المفاجئ الذي يحدث في سرعة التزامن.

وفي حالة التغير البطيء في الحمل فهذا النوع من التحكم يتمكن من المحافظة على سرعته ثابتة ومساوية لسرعة التزامن، كما يستطيع هذا النوع من التحكم أن يحافظ على سرعة المحرك ثابتة إذا كان التغير في الحمل سريعا وصغير القيمة، أما في حالة التغير السريع عالي القيمة فإن المحرك يفقد حالة الاتزان لذلك لا يصلح هذا النوع من التحكم في ظروف التشغيل التي تتطلب تغيرات مفاجئة في السرعة أو التي تحتوي أحمال تتغير بصورة مفاجئة وبقيم عالية، وفي هذه الحالة نلجأ إلى التحكم الذاتي

التحكم الذاتي

تعاني أنظمة التدوير الكهربائي التي تحتوي على محركات تزامنية ذات التحكم المنفصل من بعض العيوب مثل تعرضها لعزوم نبضية أثناء تغير التردد وفي بعض الاحيان يفقد المحرك حالة الاتزان، ويمكن التخلص من هذه العيوب بالتحكم الذاتي في المحرك. ويستخدم المحرك التزامني في هذه الحالة في العديد من التطبيقات الصناعية ذات القدرات العالية التي تصل إلى عشرات الميجاوات والتطبيقات التي تحتاج إلى سرعات عالية مثل الضواغط والمراوح والطائرات كما تستخدم في السرعات المنخفضة في مصانع الأسمنت والمناجم.

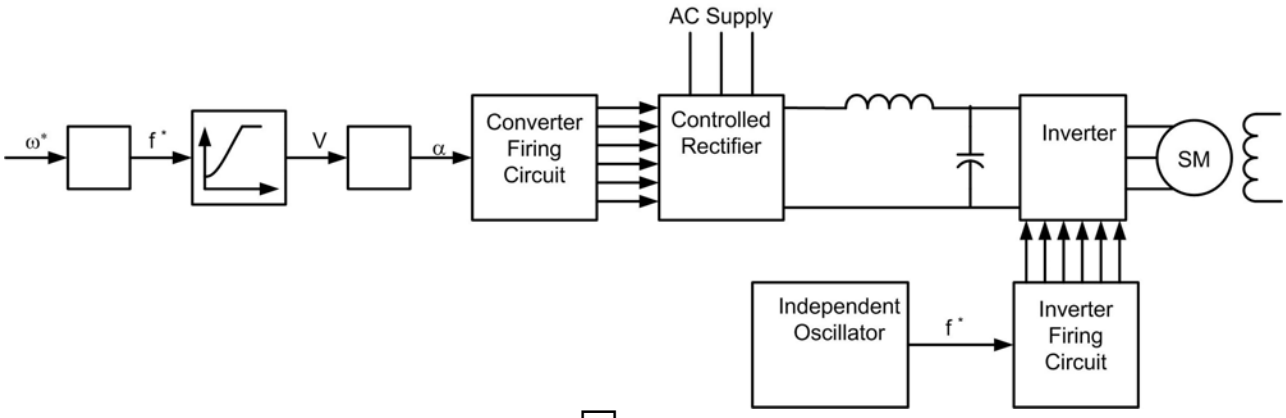
وفي حالة التحكم الذاتي يتم التحكم على شكل دائرة مغلقة ولانحتاج إلى مذبذب خارجي لتحديد التردد المطلوب، فعندما تتغير سرعة المحرك فإن تردد المصدر يتغير أيضا بما يضمن دوران المجال

المغناطيسي الناتج من تغذية ملفات العضو الثابت من المصدر بنفس سرعة العضو الدائر، وهذا يؤكد أن المجال المغناطيسى الناتج من العضو الثابت والمجال المغناطيسى الناتج من العضو الدائر يكونان دائما متزامنين عند كل نقاط التشغيل المختلفة، ويترتب على ذلك أن لايعاني المحرك من العزوم النبضية أو الاهتزازات أو عدم الاتزان الناتج من التغير المفاجئ في عزم الحمل أو التردد عندما يتم التحكم فيه بمذبذب منفصل. ولضمان دقة تتبع التردد للسرعة يستخدم حساس لتحديد وضع العضو الدائر بدقة وبناء على ذلك يتم توليد نبضات إشعال عناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في بناء العاكس المستخدم في تغذية المحرك، وعلى ذلك يكون التردد متناسبا مع سرعة المحرك الفعلية.

التحكم في المحركات التزامنية باستخدام العواكس

تستخدم العواكس لتنفيذ عمليات التحكم في المحركات التزامنية التي سبق شرحها في هذه الوحدة. شكل (٢-٦) يوضح الرسم التخطيطي لكيفية استخدام عاكس ذي مصدر جهد لتنفيذ عملية التحكم المنفصل (التحكم ذي الدائرة المفتوحة) في المحرك التزامني. وتتكون الدائرة من المحرك المراد التحكم فيه وموحد محكوم وعاكس ذي مصدر جهد ثلاثي الأوجه ووحدة إشعال للموحد وأخرى للعاكس بالإضافة إلى المذبذب.

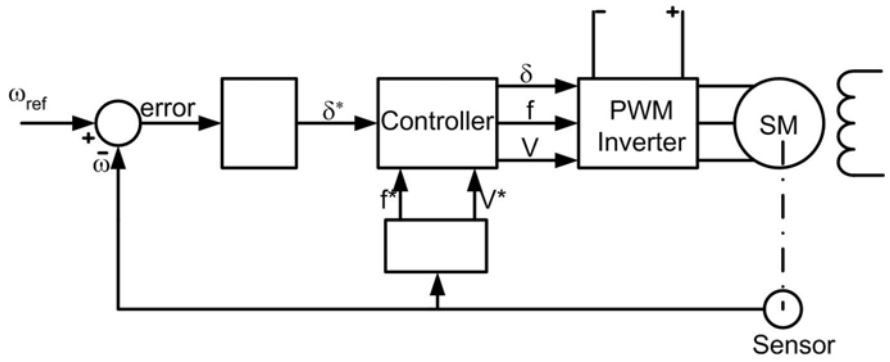
بناء على السرعة المطلوبه يتولد التردد من المذبذب، ثم يتحدد الجهد المطلوب بما يضمن ثبات المجال المغناطيسي إذا كانت السرعة أقل من السرعة المقننة أو أن يساوي الجهد المقنن إذا كانت السرعة أكبر من السرعة المقننة وبتحديد التردد يتم توليد النبضات اللازمة للعاكس عن طريق وحدة إشعال العاكس، وبتحديد الجهد يتم تحديد زاوية الإشعال ومن ثم النبضات اللازمة للموحد المحكوم من وحدة إشعاله.



شكل (٢-٦)

التحكم المنفصل (ذو الدائرة المفتوحة) للمحرك التزامني

شكل (٣-٦) يوضح الرسم التخطيطي لدائرة للتحكم الذاتي في المحرك وتتكون من المحرك المراد التحكم فيه وحاكم وعاكس ذي نبضة متغيرة العرض وحساس لوضع العضو الدائر وكما يتضح من الرسم إذا تغيرت السرعة المطلوبة (ω_{ref}) فإن الخطأ في السرعة (الفرق بين السرعة المطلوبة والسرعة المقاسة بمساعدة الحساس) يزداد مما يؤدي إلى زيادة زاوية القدرة وبالتالي يزيد العزم المتولد ومن ثم تزداد سرعة المحرك، وتعتمد قيمة الخطأ في السرعة على نوع الحاكم المستخدم ويمكن ملاحظة أن السرعة تتغير بناء على تغير زاوية القدرة وليس بناء على تغير التردد كما في حالة التحكم المنفصل.



شكل (٢-٦)

التحكم الذاتي (ذو الدائرة المغلقة) للمحرك التزامني

أسئلة

السؤال الأول:

أ. ماهي مميزات المحرك التزامني مقارنة بالمحرك الحثي ؟

ب. ماهي مميزات المحرك التزامني مقارنة بمحرك التيار المستمر ؟

ت. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك التزامني عند التحكم في السرعة من صفر إلى ضعف السرعة المقننة.

السؤال الثاني:

أ. اشرح موضحا بالرسم طريقة التحكم المنفصل في المحرك التزامني

ب. اشرح موضحا بالرسم طريقة التحكم الذاتي في المحرك التزامني

المراجع

- Electric Motor and Drives: Fundamentals, Types and Applications, Austin Hughes, Heinemann Newnes, ١٩٩٠

- Power Semiconductor Controlled Drives, Gopal K. Dubey *Prentice Hall*, ١٩٨٩ ISBN:٠-١٣-٦٨٦٨٩٠-٨

- Power Electronics: Circuits, Devices and applications, *M. H. Rashid*, *Prentice Hall*, ١٩٩٤ ISBN:٨١-٢٠٣-٠٨٦٩-٧

- Power Electronics and Motor Control, *W. Shepherd, L. M. Hulley, and D. T. W. Liang, Cambridge*, ١٩٩٥

الفهرس

الوحدة الأولى : مراجعة على خواص المحركات الكهربائية المستخدمة في الصناعة. ٢
- محركات التيار المستمر ٢
- **محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة** ٢
- **محرك التوالي** ٥
- محركات التيار المتردد ٧
- **المحركات الحثية ثلاثية الأوجه** ٨
- **المحركات التزامنية** ١٣
- أسئلة وتمارين ١٥

الوحدة الثانية : مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة ١٨
- الموحدات المحكومة ١٨
- **الموحد أحادي الوجه نصف موجة** ١٩
- **الموحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم** ٢١
- **الموحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم** ٢٣
- **الموحد المزدوج أحادي الوجه** ٢٦
- **الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة** ٢٧
- **الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم** ٢٩
- **الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم** ٣٠
- **الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه** ٣١
- مقطعات التيار المستمر ٣٢
- **نظرية عمل مقطعات التيار المستمر** ٣٢
- **المقطعات الخافضة** ٣٤
- **المقطعات الرافعة** ٣٦

- حاكمات الجهد المتناوب ٣٨
- العواكس ٤٠
- **فكرة العمل** ٤١
- **عاكس قنطرة أحادي الوجه** ٤٢
- أسئلة وتمارين ٤٤

الوحدة الثالثة : التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة ٤٧

- التدوير باستخدام الموحدات أحادية الوجه ٤٩
- **التدوير من خلال موحد أحادي الوجه نصف موجة** ٥٠
- **التدوير من خلال موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم** ٥١
- **التدوير من خلال موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم** ٥٤
- **التدوير من خلال موحد المزدوج أحادي الوجه** ٥٨
- التدوير باستخدام الموحدات ثلاثية الوجه ٥٩
- **التدوير من خلال موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة** ٦٠
- **التدوير من خلال موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم** ٦١
- **التدوير من خلال موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم** ٦٤
- **التدوير من خلال موحد المزدوج ثلاثي الأوجه** ٦٦
- أسئلة وتمارين متنوعة ٦٧

الوحدة الرابعة :التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر ٧٠

- التحكم في سرعة المحرك ٧١
- الفرملة بإعادة التوليد ٧٥
- الفرملة الديناميكية ٧٩
- الفرملة بعادة التوليد واستخدام مقاومة معا ٨١
- أسئلة وتمارين ٨٥

الوحدة الخامسة : التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه. ٨٨

- التحكم عن طريق دائرة العضو الثابت ٨٩

- **التحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت** ٨٩
- **التحكم في التردد** ٩٠
- **التحكم في الجهد والتردد معا** ٩١
- **التحكم في المحركات الحثية باستخدام حاكمات الجهد المتناوب** ٩٢
- **التحكم في المحركات الحثية باستخدام العواكس** ٩٣
- التحكم عن طريق دائرة العضو الدائر ٩٦
- **التحكم باستخدام مقاومة** ٩٧
- **التحكم باستعادة طاقة الانزلاق** ٩٨
- أسئلة ٩٩

الوحدة السادسة : التحكم في المحركات التزامنية ثلاثي الأوجه ١٠١

- التحكم بتغيير التردد ١٠١
- **التحكم المنفصل** ١٠٣
- **التحكم الذاتي** ١٠٣
- التحكم باستخدام العواكس ١٠٤
- أسئلة ١٠٦

المراجع ١٠٧

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS