التحكم الإلكتروني في الآلات

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الجدارة: اختيار دائرة الموحدات المحكومة المناسبة للمحرك وظروف التشغيل

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب بإذن الله 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: ٩ ساعات

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

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الوحدة الثالثة : 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 أيضاً 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

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_v I_f} \qquad (3\text{-}1)$$

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)

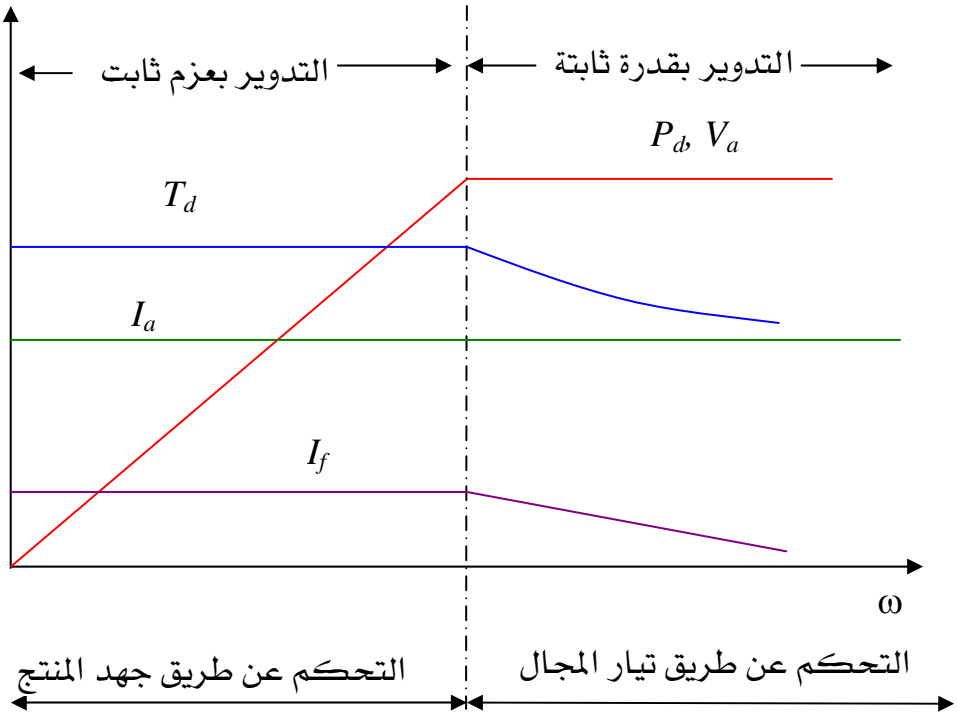
من المعادلة (3-1) يمكن أن نستنبط أنه يمكن التحكم في سرعة المحرك بثلاث طرق نستعرضها فيما يلي:

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 عملياً قليل بالمقارنة بالطرق الأخرى.

التحكم في تيار المجال: حيث تتناسب السرعة عكسياً مع تيار المجال وتتميز هذه الطريقة أيضاً 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 تقريباً 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



الشكل (1-3)

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

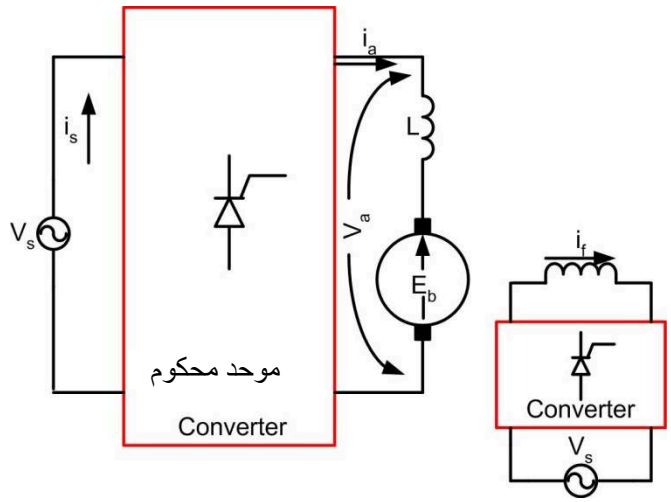
ويوضح الشكل (1-3) علاقات العزم المتولد"T_d" والقدرة "P_d" وجهد المنتج "V_a" وتيار المنتج "I_a" وتيار المجال "I_f" مع السرعة "ω" ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسين. في الجزء الأول تكون السرعة أقل من السرعة المقننة ويتم التحكم في السرعة عن طريق جهد المنتج "V_a" ويكون العزم ثابتاً

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 15 KW في هذه يتم 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 "α_a" أو في دائرة المجال للتحكم في تيار المجال "I_f" عن طريق زاوية الإشعال "α_f". ويمثل الشكل (2-3) 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.



الشكل (2-3)

الدائرة الأساسية للتدوير من خلال الموحدات المحكومة

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

التدوير من خلال الموحد النصف الموجة المحكوم "Single Phase Half Converter Drives"

التدوير من خلال الموحد الكاملة النصف المحكوم "Single Phase Semi-converter Drives"

التدوير من خلال الموحد الكاملة الموجة المحكوم "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 الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم Single Phase Half Converter Drives

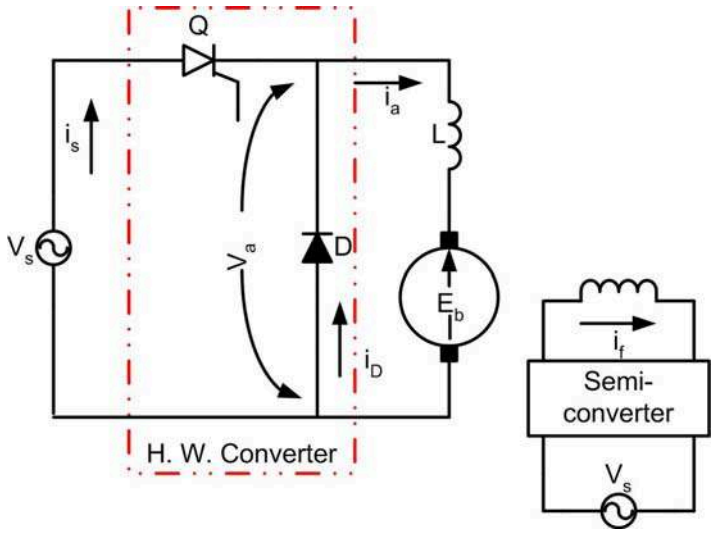
عند استخدام هذا الموحد يكون تيار المنتج غير متصل مما يسبب سوءاً في أداء المحركات عالية القدرة ولذلك لاتستخدم هذه الطريقة إلا نادراً في التطبيقات الصناعية حيث يقتصر استخدامه على المحركات صغير ة القدرة وفي حدود 0.5 KW.

الشكل (3-3) 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 الموحد نصف الموجة في دائرة المجال لأنه في حالة استخدامه فإن تيار المجال سيحتوي على كثير من التذبذبات غير المرغوب فيها، ولذلك يستخدم الموحد كامل الموجة نصف المحكوم في دائرة المجال كما في الشكل (3-3)، وعلى ذلك يكون جهد المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}2)$$

وجهد المجال الناتج من الموحد الأحادي الوجه نصف المحكوم:

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1+Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}3)$$

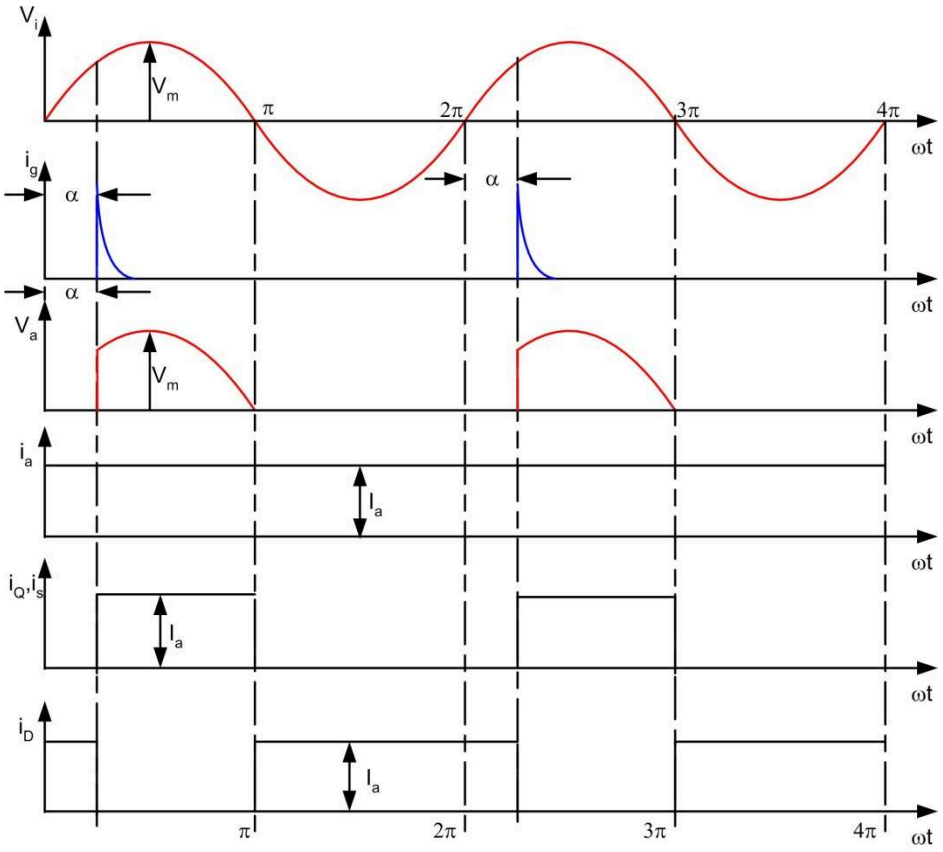


الشكل (3-3)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الشكل (3-4) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج ويلاحظ أن تيار المنتج متصل بسبب استخدام ملف التنعيم العالي القيمة.



الشكل (3-4)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد نصف الموجة المحكوم

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

Single Phase Semi-converter Drives

يستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية بحد أعلى 15 KW حيث يستخدم الموحد الكامل الموجة النصف المحكوم في كل من دائرة المنتج والمجال كما في الشكل (3-5)، وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

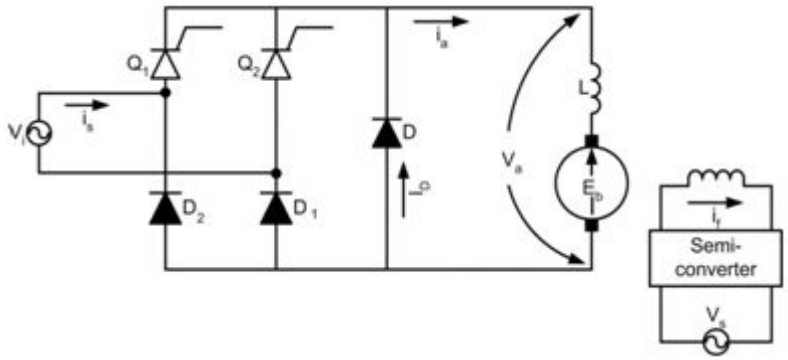
$$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1+Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}4)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1+Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}5)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

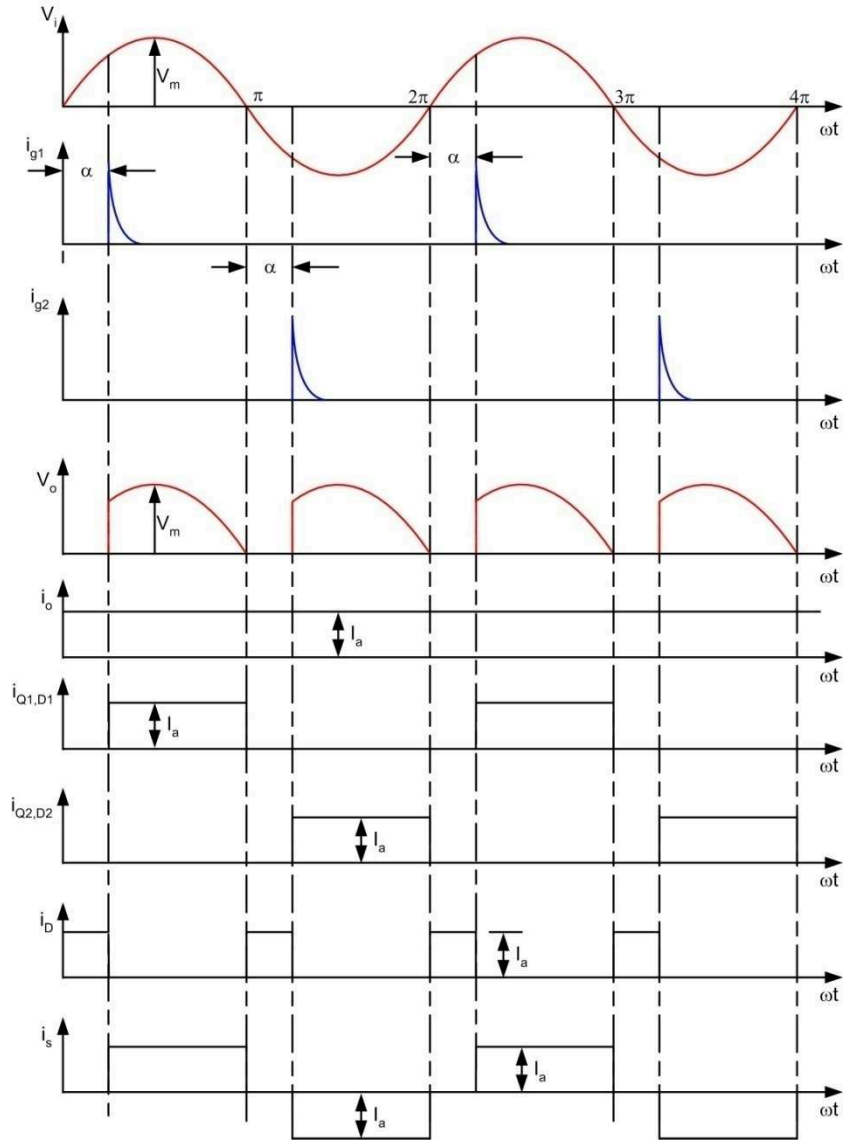
وكما هو واضح من المعادلات السابقة فإنه يمكن التحكم في جهد المنتج من خلال زاوية الإشعال في دائرة المنتج (α_a)، بينما يمكن التحكم في تيار المجال من خلال زاوية الإشعال في دائرة المجال (α_f). الشكل (6-3) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج. ومن الواضح أن هذا الموحد ينتج جهداً وتياراً موجبين (one quadrant).



الشكل (5-3)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (3-6)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

مثال (3-1):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/sec وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة واحسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك

الحل

$V_s = 208$ V $\quad n = 700$ rpm $\quad R_f = 150\ \Omega$ $\quad R_a = 0.1\ \Omega$

T_L=75 N.m $\quad K_v = 1.1$ V/A.rad./sec.

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

$T_d = T_L = 75$ N.m

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 73.3$ rad/sec $\quad V_m = 208\sqrt{2}$ =294.156 V

أ)

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

$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) = 187.266$ V

$\boldsymbol{I_f} = \frac{V_f}{R_f} = 1.248$ Amp.

$E_b = K_v\ \omega I_f = 100.62$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = 106.1$ V

بالتعويض في المعادلة (4-3) نجد أن قيمة زاوية الإشعال في دائرة المنتج

$\alpha_a = 82.3^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند ($\alpha_a = 0$) وعلى ذلك فإن:

$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_a) = 187.266$V

$E_b = V_a - I_a R_a = 181.8$ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{181.8}{(1.1)(1.248)} = 132.43$ rad/sec

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1264.655$ rpm

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ت) لزيادة السرعة إلى 1400 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.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1400)}{60} = 146.6 \text{ rad/sec}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 181.8 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{181.8}{(1.1)(146.6)} = 1.127 \text{ Amp.}$$

$$V_f = I_f R_f = 169.1 \text{ V}$$

$$169.1 = 93.633(1+\text{Cos } \alpha_f)$$

$$\alpha_f = 36.3^o$$

$$T_d = K_v I_f I_a = 67.6 \text{ N.m}$$

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة المحكوم

Single Phase Full Converter Drives

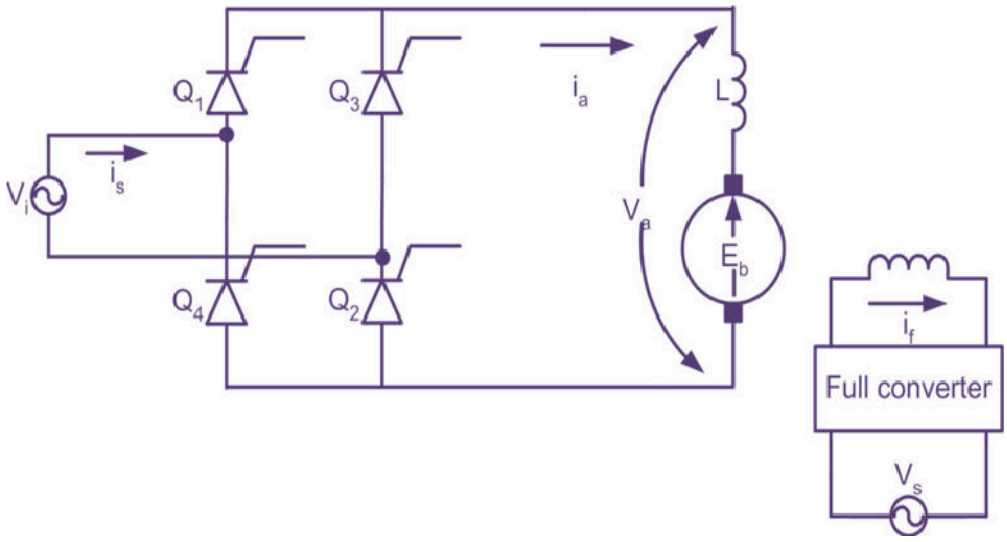
يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل 3-7 جميعها ثايرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4).ولايوجد في هذه الحالة دايود حدافة.

في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثايرستور "Q_1"، "Q_2" في حالة انحياز أمامي لذلك يتم إشعالهما عند زاوية "α" ويمر التيار من المصدر إلى المنتج من خلال "Q_1, Q_2" ويستمر مرور التيار حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالباً وذلك بسبب المحاثة العالية للحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_3, Q_4" عند زاوية "$\pi+\alpha$" ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_1"، "Q_2" عند زاوية "$2\pi+\alpha$". ويتكرر ذلك مع كل دورة، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (3-8).

ويلاحظ أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً على حسب قيمة زاوية الإشعال، فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90^o يكون الجهد موجبا بينما يكون سالباً إذا كانت أكبر من 90^o، أما تيار الحمل فيكون دائماً موجباً، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد"Two quadrant". وتصل القدرات التي يستخدم فيها هذا الموحد إلى 15 KW مثل الموحد النصف محكوم ولكن الموحد المحكوم يتميز بأنه يمكن استخدامه عند إعادة التوليد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث يتم عكس اتجاه القدرة وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة والذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال



الشكل (7-3)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الموجة الكاملة المحكوم

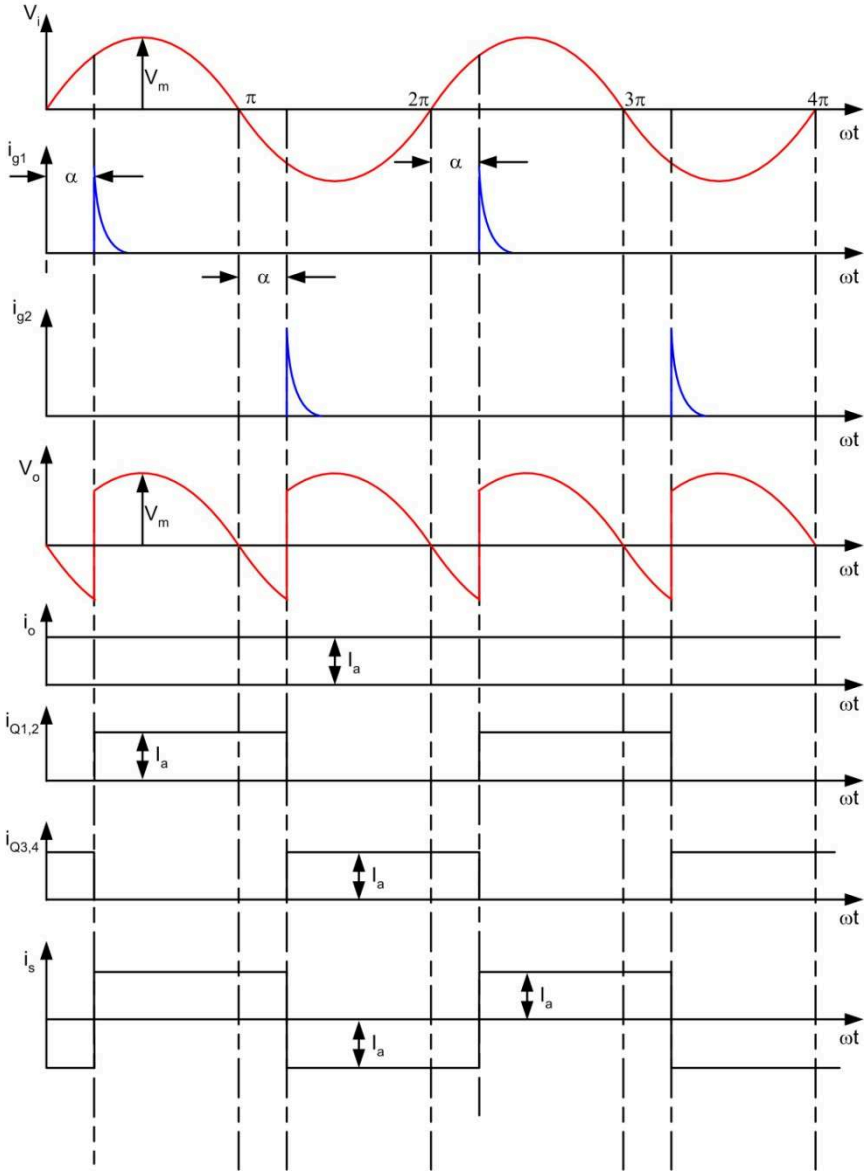
وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}4)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}5)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (3-8)

أشكال موجات الجهد واالتيار عند استخدام الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم

مثال (3-2):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V عند تردد 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.35 V/A-rad/sec وكان تيار المنتج 50 Amp. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^o. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار 20% 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

$V_s = 440$ V $\quad I_a = 50$ Amp $\quad R_f = 200\ \Omega$ $\quad R_a = 0.2\ \Omega$

$\alpha_a=60^o$ $\quad K_v = 1.35$ V/A.rad./sec. $\alpha_a=60^o$

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

$T_d = T_L$ $\quad V_m = 440\sqrt{2} = 622.25$ V

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر($\alpha_f=0^o$)

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) = 396.14 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = 1.98 \text{ Amp.}$$

$T_d = K_v\ I_f.\ I_a = 133.65$ Nm.

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}cos\alpha_a = 198.07 \text{ V}$$

$E_b = V_a - I_a R_a = 188.7$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{188.7}{(1.35)(1.98)} = 70.36 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 671.88 \text{ rpm}$$

ب) إذا قل العزم بمقدار 20% يقل تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$T_d = 0.8(133.65) = 106.92$ Nm.

$I_a = 0.8(50) = 40$ Amp

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$E_b = V_a - I_a R_a = 198.07 - 40(0.2) = 190.7$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{190.07}{(1.35)(1.98)} = 71.1 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 679 \text{ rpm}$$

ت) إذا عكس اتجاه المجال فإن اتجاه القوة الدافعة المضادة يكون سالباً.

$E_b = -190.07$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = -190.07 + 40(0.2) = -182.07$ V

$$-182.07 = V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) = 396.14(Cos\alpha_a)$$

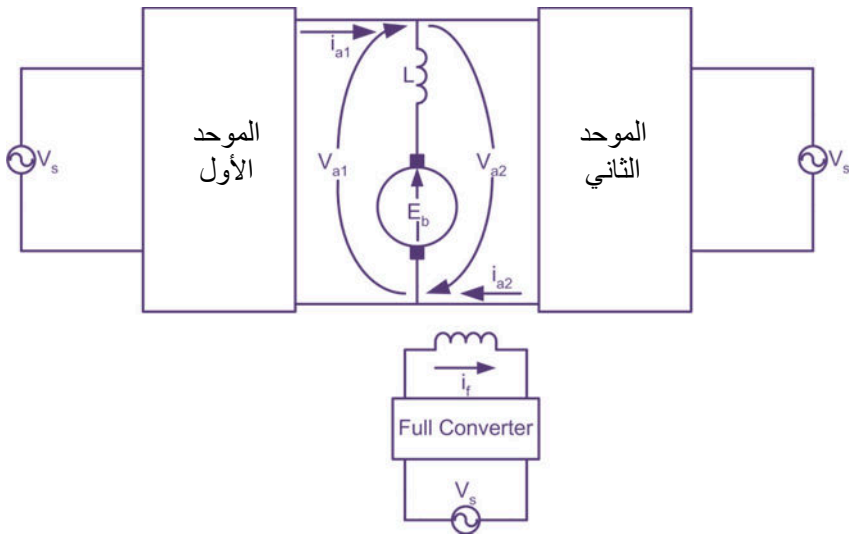
$$\alpha_a = 117.36^o$$

القدرة المستردة للمصدر

$P_s = P_a = V_a I_a = 72828$ Watt

التدوير باستخدام الموحد المزدوج الأحادي 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 الشكل (9-3)، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف المنتج وأيضاً عكس التيار في دائرة المنتج (Four quadrant)، فعند تشغيل الموحد الأول يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a1} ويكون التيار المار في المنتج I_{a1} حيث يتم تشغيل المحرك في الربع الأول (التدوير الأمامي) ويمكن عمل (الفرملة أمامية) وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الأول لتكون أكبر من 90^o (يعمل المحرك في الربع الثاني) الفرملة الأمامية. وإذا أريد عكس حركة المحرك فيتم تشغيل الموحد الثاني بدلا من الموحد الأول حيث يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a2} (عكس V_{a1}) والتيار المار به I_{a2} (عكس I_{a1})، لذلك يعمل المحرك في (الربع الثالث) التدوير العكسي عكس الحالة الأولى ويمكن أيضاً فرملة المحرك في هذه الحالة وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الثاني لتكون أكبر من 90^o. ويلاحظ أن اتجاه المجال سيعكس في حالتي الفرملة.



الشكل (3-9)

التدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a1}\right) \qquad (3\text{-}6)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a2}\right) \qquad (3\text{-}7)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) \qquad (3\text{-}8)$$

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة المحكوم

Three Phase Half-Wave Converter Drives

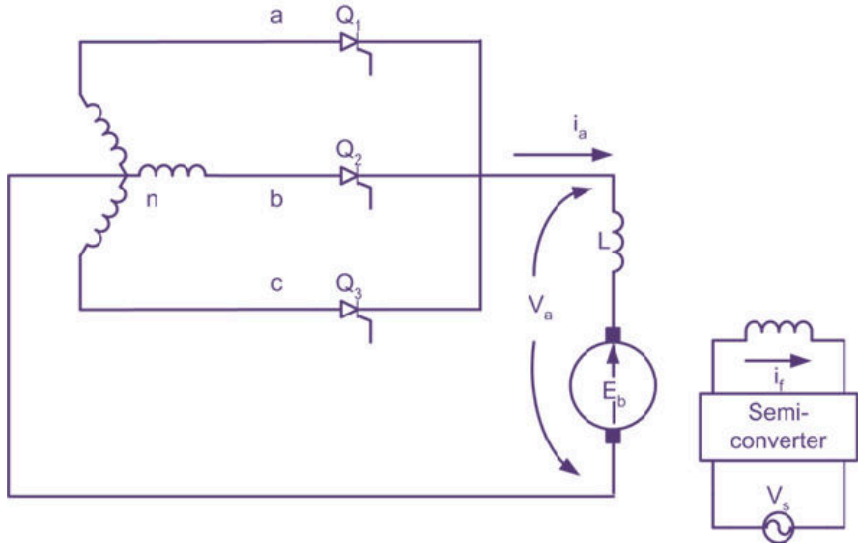
يتكون الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة من ثلاث ثايرستورات " Q_1,Q_2,Q_3 " توصل بين المصدر والمنتج بينما يستخدم الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة نصف المحكوم في دائرة المجال كما في الشكل (3-10) ويستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية التي تتطلب قدرات تصل إلى 40KW وباستخدام الموحد الثلاثي الأوجه يكون الجهد الناتج عنه إما موجباً أو سالباً بينما يكون التيار موجباً "Two Quadrant" وعلى ذلك يكون جهد المنتج

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}Cos\alpha_a \qquad (3\text{-}9)$$

وجهد المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}10)$$

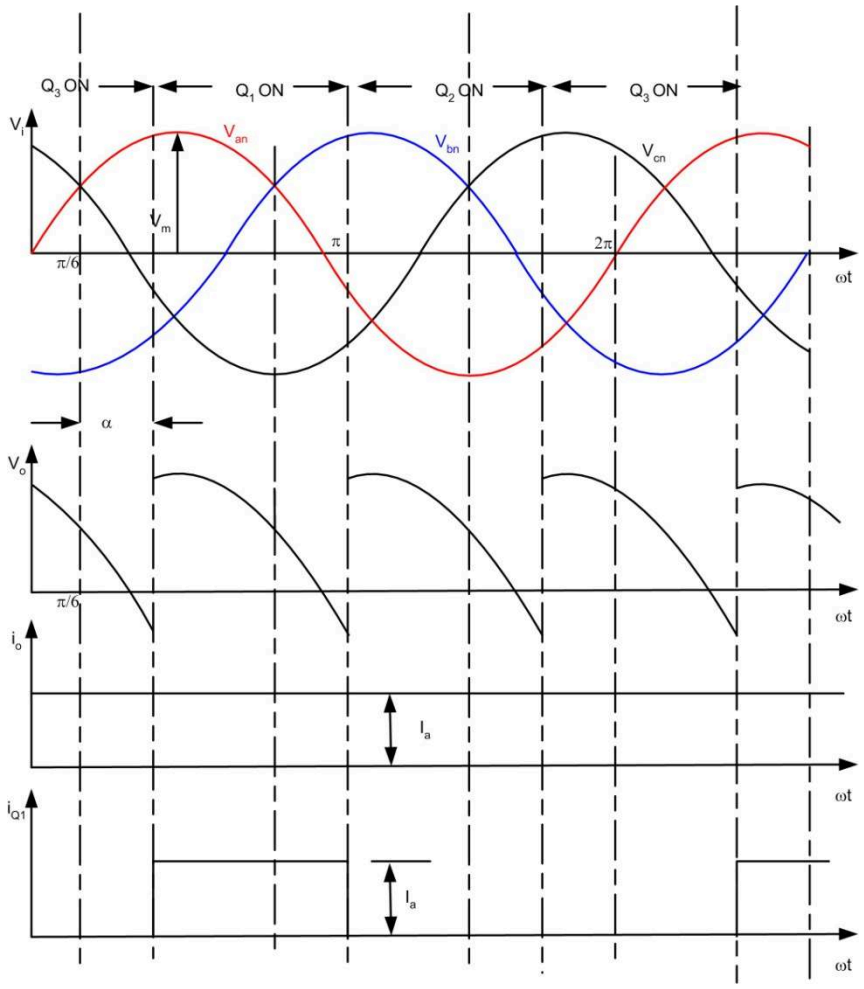
ويوضح الشكل (3-11) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج



الشكل (3-10)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (3-11)

أشكال موجات الجهد واالتيار عند استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

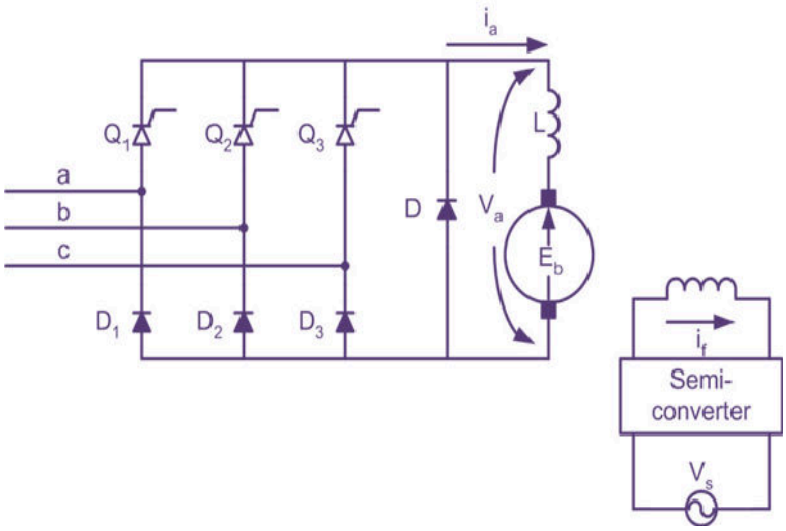
Three Phase Semi-converter Drives

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعهما على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود حذافة كما في الشكل (3-12) حيث يستخدم الموحد النصف المحكوم 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 115 KW ويكون جهد المنتج

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}11)$$

ويكون جهد المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}12)$$



الشكل (3-12)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

مثال (3-3)

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد الثلاثي الأوجه جهده 208V وتردده 60 Hz موصل نجمة وذلك من خلال الموحد الثلاثي الأوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال فإذا ضبط تيار المجال عند 1 Amp وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 250 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/sec وكان عزم الحمل 120 Nm. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 30^o. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا زاد الحمل بنسبة 20% احسب سرعة المحرك

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

الحل

$V_s = 208$ V $\quad I_f = 1$ Amp $\quad R_f = 250\ \Omega$ $\quad R_a = 0.2\ \Omega$

$\alpha_a = 30^o$ $\quad K_v = 1.2$ V/A.rad./sec. $\quad \alpha_a = 60^o$ $\quad T_L = 120$ Nm.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

$$T_d = T_L = 120 \text{ Nm} \qquad V_m = 208\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \text{ V}$$

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر($\alpha_f=0^o$)

$$V_f = I_f R_f = 250 \quad \text{V}$$

$$250 = V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) = 140.45(1+\text{Cos } \alpha_f)$$

$$\alpha_f = 38.74^o$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_a) = 140.45(1+\text{Cos } \alpha_a) = 262.08 \quad \text{V}$$

$$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{120}{(1.2)(1.0)} = 100 \quad \text{Amp}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 242.08 \quad \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{242.08}{(1.2)(1.0)} = 201.73 \quad \text{rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1926.38 \quad \text{rpm}$$

ب) إذا زاد العزم بمقدار 20% يزيد تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$$T_d = 1.2(120) = 144 \quad \text{Nm.}$$

$$I_a = 1.2(100) = 120 \quad \text{Amp}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 262.08\text{-}120(0.2) = 238 \quad \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{238.08}{(1.2)(1.0)} = 198.4 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1894.58 \quad \text{rpm}$$

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

$$E_b = 242.08 \quad \text{V}$$

$$242.08 = V_a - I_a R_a = V_a - 120(.2)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_a = 266.08 = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_a) = 140.45(1+\text{Cos } \alpha_a)$$

$$\alpha_a = 26.6^o$$

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة محكوم

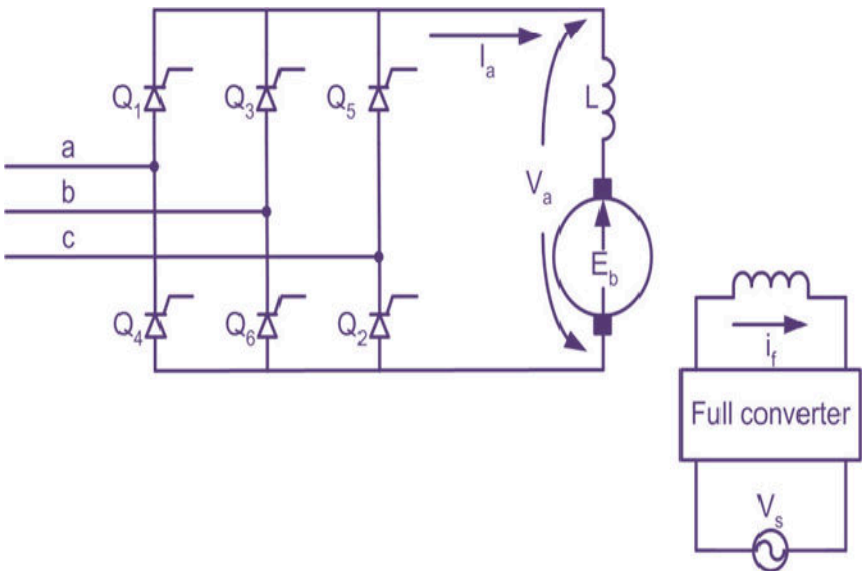
Three Phase Full Converter Drives

في هذه الحالة يتم توصيل الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم في كل من دائرة المنتج ودائرة المجال كما في الشكل (3-13) ولذلك فإن جهد المنتج إما أن يكون موجباً أوسالباً 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

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}13)$$

ويكون الجهد المتوسط في دائرة المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}14)$$



الشكل (3-13)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة المحكوم

مثال (3-4):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد الثلاثي الأوجه موصلاً نجمة جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.25 Ω ومقاومة ملفات المجال 180 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/sec وعزم الحمل 115 Nm. عند سرعة 900 rpm. وضبطت زاوية الإشعال في دائرة المجال عند 20^o اهمل 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 1800 rpm

الحل

$V_s = 208$ V $\quad n = 900$ rpm $\quad R_f = 180\ \Omega$ $\quad R_a = 0.25\ \Omega$

T_L=115 N.m $\quad K_v = 1.2$ V/A.rad./sec. $\quad \alpha_f = 20^o$

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

$$T_d = T_L = 115 \text{ N.m}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 94.25 \text{ rad/sec} \qquad V_m = 208\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \text{ V}$$

أ)

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_f = 280.897 \text{ (Cos 20)} = 263.956 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = 1.466 \text{ Amp.}$$

$$E_b = K_v\, \omega\, I_f = 165.85 \quad \text{V}$$

$$V_a = E_b + I_a R_a = 182.19 \quad \text{V}$$

$$182.19 = V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a = 280.897 \text{ (Cos } \alpha_a)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$\alpha_a = 49.56^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند ($\alpha_a = 0$) وعلى ذلك فإن:

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a = 280.897 \quad V$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 264.55 \quad V$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{264.55}{(1.2)(1.466)} = 150.38 \quad rad/sec$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1436.06 \quad rpm$$

ت) لزيادة السرعة إلى 1800 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.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1800)}{60} = 188.496 \quad rad/sec$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 264.5 \quad V$$

$$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{264.5}{(1.2)(188.496)} = 1.169 \quad Amp.$$

$$V_f = I_f R_f = 210.42 \quad V$$

$$210.42 = 280.897(Cos\ \alpha_f)$$

$$\alpha_f = 41.49^o$$

$$T_d = K_v I_f I_a = 91.7 \quad N.m$$

التدوير باستخدام الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه Three Phase Dual Converter Drives

هذه الحالة مماثلة تماما للتدوير باستخدام الموحد المزدوج الأحادي الوجه كما في شكل (3-9) غير أن الموحدات المستخدمة ستكون من النوع الثلاثي الأوجه. ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_{a1} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a1}) \qquad (3\text{-}15)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a2}) \qquad (3\text{-}16)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}17)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الأحادي الوجه النصف المحكوم يكون دائماً موجباً ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- الموحد المزدوج الأحادي الوجه يستخدم في الربع الأول والثالث فقط ☐
- الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه يستخدم في جميع حالات التدوير المختلفة ☐

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/sec وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm. اهمل 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة واحسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك.

السؤال الرابع:

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.35 V/A-rad/sec وكان تيار المنتج 50 Amp. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^o. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن اهمل 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 20% احسب سرعة المحرك

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

السؤال الخامس:

محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه جهده 208Vوتردده 60 Hz موصل نجمة وذلك من خلال الموحد الثلاثي الأوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال ف إذا ضبط تيار المجال عند 1 Amp وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 250 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/sec وكان عزم الحمل 120 Nm. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 30^o اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا زاد الحمل بنسبة 20% احسب سرعة المحرك

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر