

الفصل الثالث

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 "الثايرستور" , حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثايرستور .

ويتم إشعال الثايرستور في دوائر الموحدات المحكومة بتسليط نبضة على البوابة بينما يتم إطفائه طبيعيا في حالة الأحمال الممثلة بمقاومة , أما في حالة الأحمال الحثية (ملفات) فيتم إطفائه 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 وموحدات ثلاثية الأوجه , كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربع 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 فيما يلي

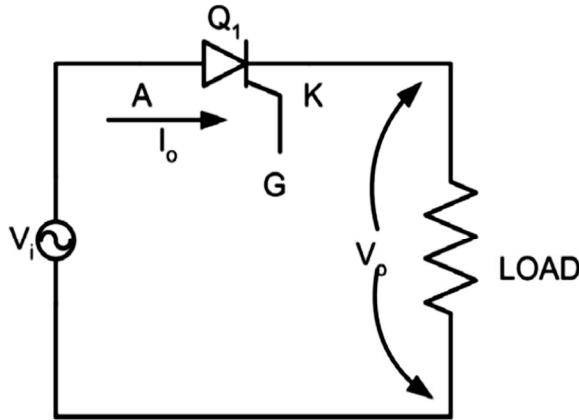
1-3 موحّد أحادي الوجه نصف موجة محكوم

Single Phase Half Wave Converter

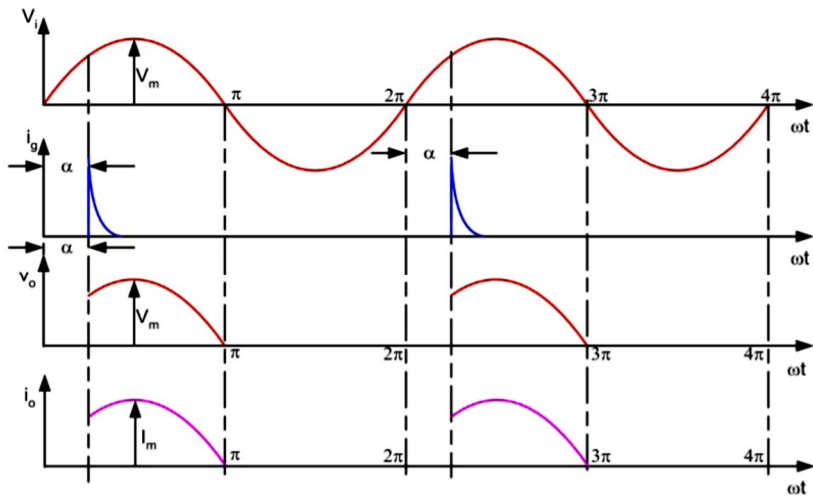
1-1-3 موحّد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي

ولكي نفهم كيفية عمل الموحّدات المحكومة فسنبداً بدائرة بسيطة لموحّد نصف موجة محكوم يتكون من عنصر توحيد محكوم (ثايرستور) واحد فقط كما في شكل (1-3) . ويستخدم هذا الموحّد لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة .

خلال النصف الموجب من الموجة يكون جهد الأنود "A" أعلى من جهد الكاثود "K" ويكون الثايرستور في حالة انحياز أمامي فعند إشعال الثايرستور عن طريق تيار البوابة عند زاوية إشعال " α " فإن جهد الدخل سوف يظهر على الحمل ويبدأ مرور التيار في الحمل من خلال الثايرستور وعندما يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند " $\omega t = \pi$ " فإن التيار المار بالحمل يكون مساوياً للصفر أيضاً ويصبح الثايرستور في حالة فصل وعندما يبدأ النصف السالب من الموجة فإن جهد الأنود "A" سيكون أقل من جهد الكاثود "K" ويكون الثايرستور في حالة انحياز عكسي بمعنى أنه لا يمكن إشعاله خلال هذه الفترة ويستمر الوضع كذلك حتى تبدأ الموجة الموجبة مرة أخرى ويتم إشعال الثايرستور مرة أخرى , ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (2-3).



شكل (٢- ١) موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي



شكل (٢- ٢) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي
ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج “ V_0 ” من عملية التوحيد
وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة الخرج في خلال الفترة الزمنية 2π كما يلي:

$$V_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

وكما هو واضح من المعادلة فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في
قيمة زاوية الإشعال α ولكن التيار في الناتج من استخدام هذا الموحد يكون

متقطع وهذا غير مرغوب فيه في التطبيقات الصناعية المختلفة لذا يندر استخدام مثل هذا الموحد ويقتصر استخدامه فقط في القدرات الصغيرة جدا .

مثال (1-3): موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10 أوم وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 فولت , المطلوب:

- القيمة المتوسطة لتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45 درجة .
- زاوية الاشعال اللازمة للحصول على تيار 6 أمبير.
- أقصى قيمة يمكن الحصول عليها لتيار الحمل .

الحل :

- تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \text{ V}$$

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 46.816 (1 + \cos 45^\circ) = 79.92 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.92 \text{ A}$$

- زاوية الاشعال للحصول على تيار 6 أمبير :

$$V_o = I_o R = 6 * 10 = 60 \text{ V}$$

بالتعويض عن قيمة V_o يمكن إيجاد الزاوية α من المعادلة

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\alpha = 73.64^\circ$$

- أقصى قيمة لتيار الحمل للحصول على أقصى قيمة للتيار يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر .

$$V_{o \max} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 46.816 (1 + \cos 0) = 93.63 \quad V$$

$$I_{o \max} = \frac{V_{o \max}}{R} = 9.36 \text{ A}$$

2-1-3 موحّد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي وحثي

معظم الأحمال في التطبيقات الصناعية المختلفة مثل المحركات الكهربائية تحتوي على حمل مادي وحثي , لذلك يجب دراسة تأثير الأحمال الحثية على أداء الموحّدات المحكومة , شكل (3-3) يوضح موحّد أحادي الوجه نصف موجة مع حمل يتكون من مقاومة وممانعة حثية , بينما يوضح شكل (4-3) أشكال موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحّد . ونلاحظ أنه عندما يتم إشعال الثايرستور (تشغيله) فإن التيار في الحمل لا يتغير لحظياً كما في حالة الحمل المادي وذلك بسبب وجود الملف الذي يقاوم مثل هذا التغير , وكذلك الحال عندما يصل جهد المصدر إلى الصفر وتبدأ الموجة السالبة فإن التيار المار في الثايرستور له قيمة أعلى من الصفر ولذلك لا يتم إطفاء الثايرستور ويظهر جزء من الموجة السالبة على أطراف الحمل , ويستمر الوضع كذلك حتى يصل التيار المار في الثايرستور إلى الصفر عند الزاوية β والتي تتحدد قيمتها بناءً على قيمة كل من المقاومة والمحثّة . ويستخدم أحياناً دايود المسار الحر "D" للتخلص من الجزء السالب من الجهد ويساعد ذلك على تقليل عدم الاتصال في موجة التيار المار بالحمل , حيث سيمر في الثايرستور المناظر للجزء الموجب من موجة

الجهد ويمر في دايدود المسار الحر الجزء المناظر للجزء السالب من موجة الجهد , ولذلك وفي معظم التطبيقات يستخدم أحيانا ملف تنعيم مع الحمل ولكن ومع ذلك فإن هذا الموحد قليل الاستخدام في الصناعة .

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد بدون دايدود المسار الحر وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة الخرج في خلال الفترة الزمنية من صفر إلى 2π كما يلي:

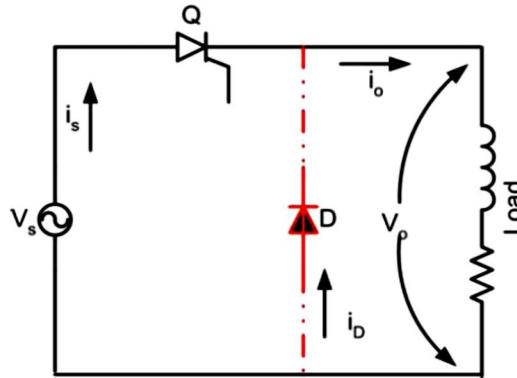
$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

حيث "β" زاوية إطفاء الثايرستور , أما في حالة استخدام دايدود المسار الحر

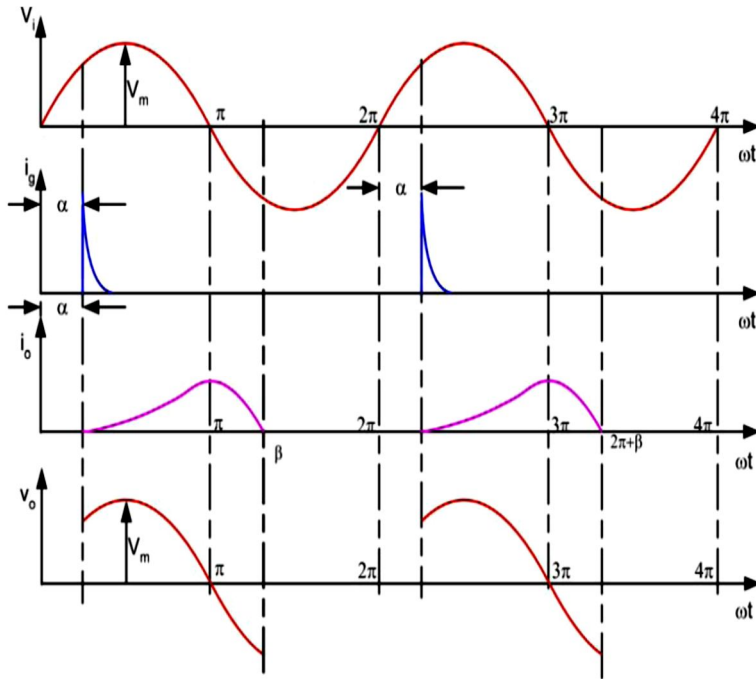
$$V_o = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

فيكون الجهد المتوسط طبقا للمعادلة

نتيجة لأن معظم التطبيقات الصناعية تحتوي على أحمال مادية وحثية وتحتاج دائما إلى تيار متصل فسنتقي في دراسة الموحّدات المحكومة في الجزء المتبقي بحالات الأحمال ذات المحاطة العالية .



شكل (٢- ٣) موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي



شكل (٢-٤) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي وحثي

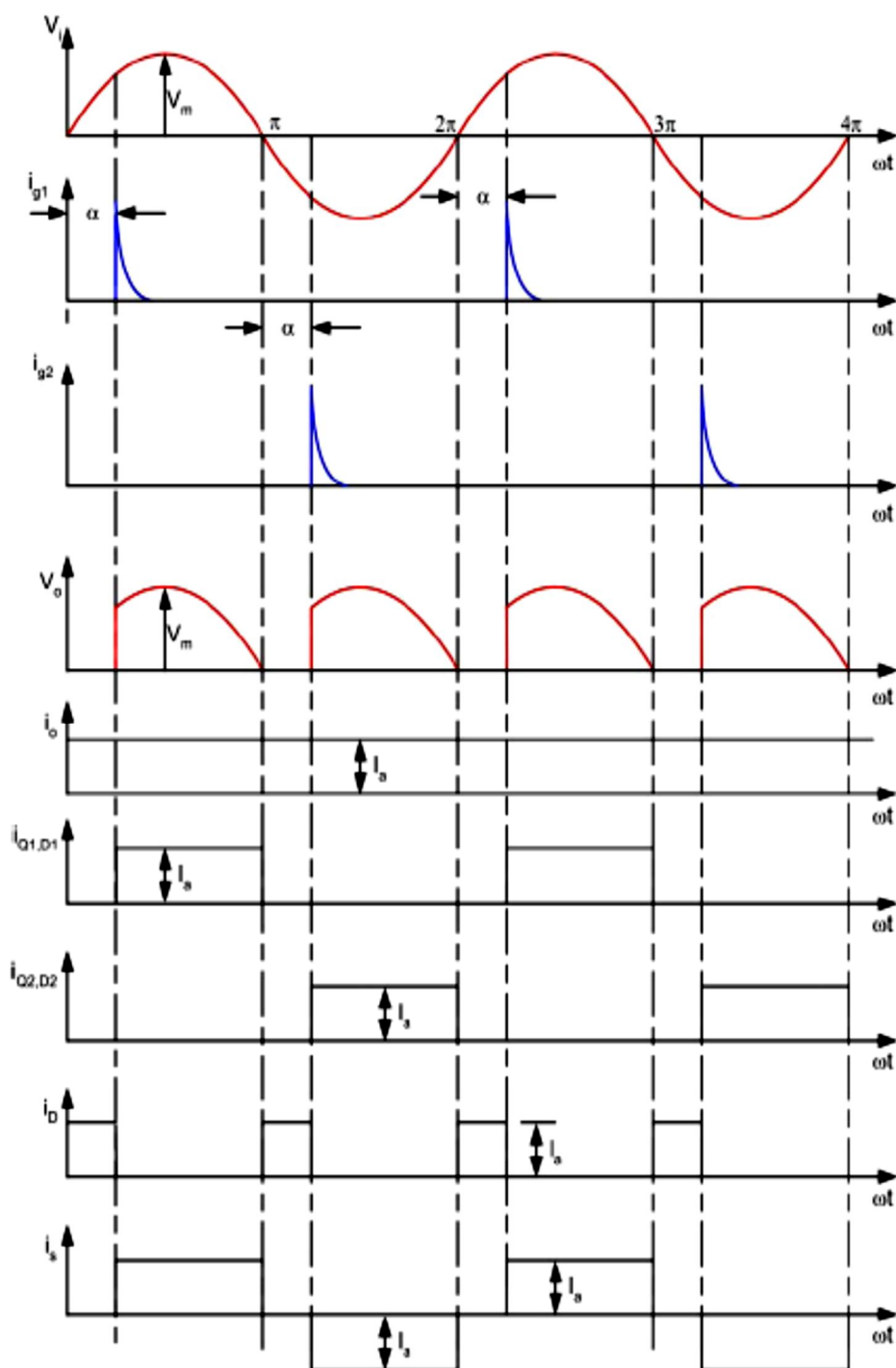
2-3 موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم Single phase semi converter

يتكون الموحد النصف محكوم من قنطرة تحتوي على أربع عناصر توحيد كما في شكل (3-5) , اثنان منهما عبارة عن ثايرستور (Q_1, Q_2) والآخران عبارة عن دايود (D_1, D_2) بالإضافة إلى دايود المسار الحر "D" وسوف نقتصر في دراستنا على حالة الحمل الذي يحتوي على ممانعة حثية عالية .

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V₀" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "من صفر إلى π" كما يلي :

$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

وكما هو واضح من المعادلة فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α" , ومن الواضح أيضا أن جهد الخرج لهذا الموحد دائما يكون موجبا وكذلك تيار الحمل . لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي لا تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد أو التيار "One quadrant".



شكل (٣-٦) موجات الجهد والتيار للموحد أحادي الوجه نصف محكوم مع حمل ذو معاينة عالية

مثال (2-3) : موحد أحادي الوجه كامل الموجة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 15 أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات , وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 فولت . احسب:

- تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60 درجة .
- زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره 150 فولت .
- أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل .

الحل :

- تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \text{ V}$$

$$V_o = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$= 93.633 (1 + \cos 60) = 140.4495 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 9.3633 \text{ A}$$

زاوية الاشعال : بالتعويض في المعادلة V_o عن الجهد 150 V

$$V_o = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\alpha = 52.987^\circ$$

- أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل :

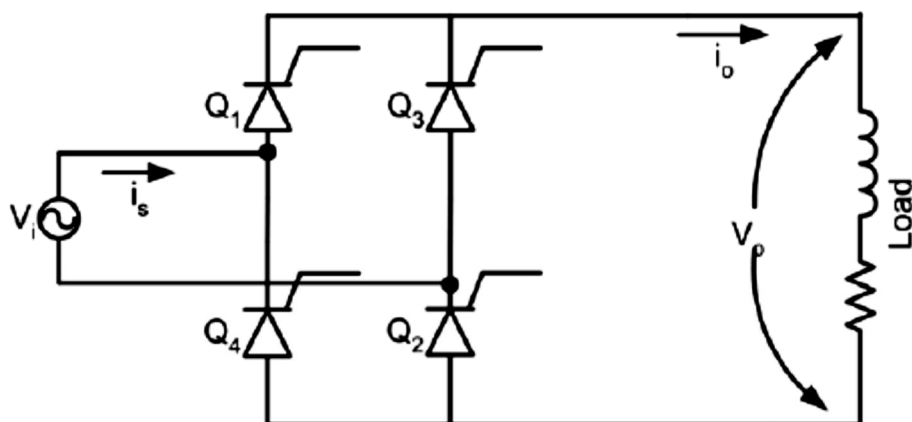
للحصول على أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) = 93.633 (1 + \cos 0) = 187.266$$

3-3 موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

Single-Phase Full-Wave Converter

يتكون الموحد المحكوم كامل الموجة من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد جميعها ثايرستور (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) كما في شكل (3-7) وسوف نهتم هنا بحالة الحمل الذي يحتوي على ممانعة حثية عالية .



شكل (3-7) موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

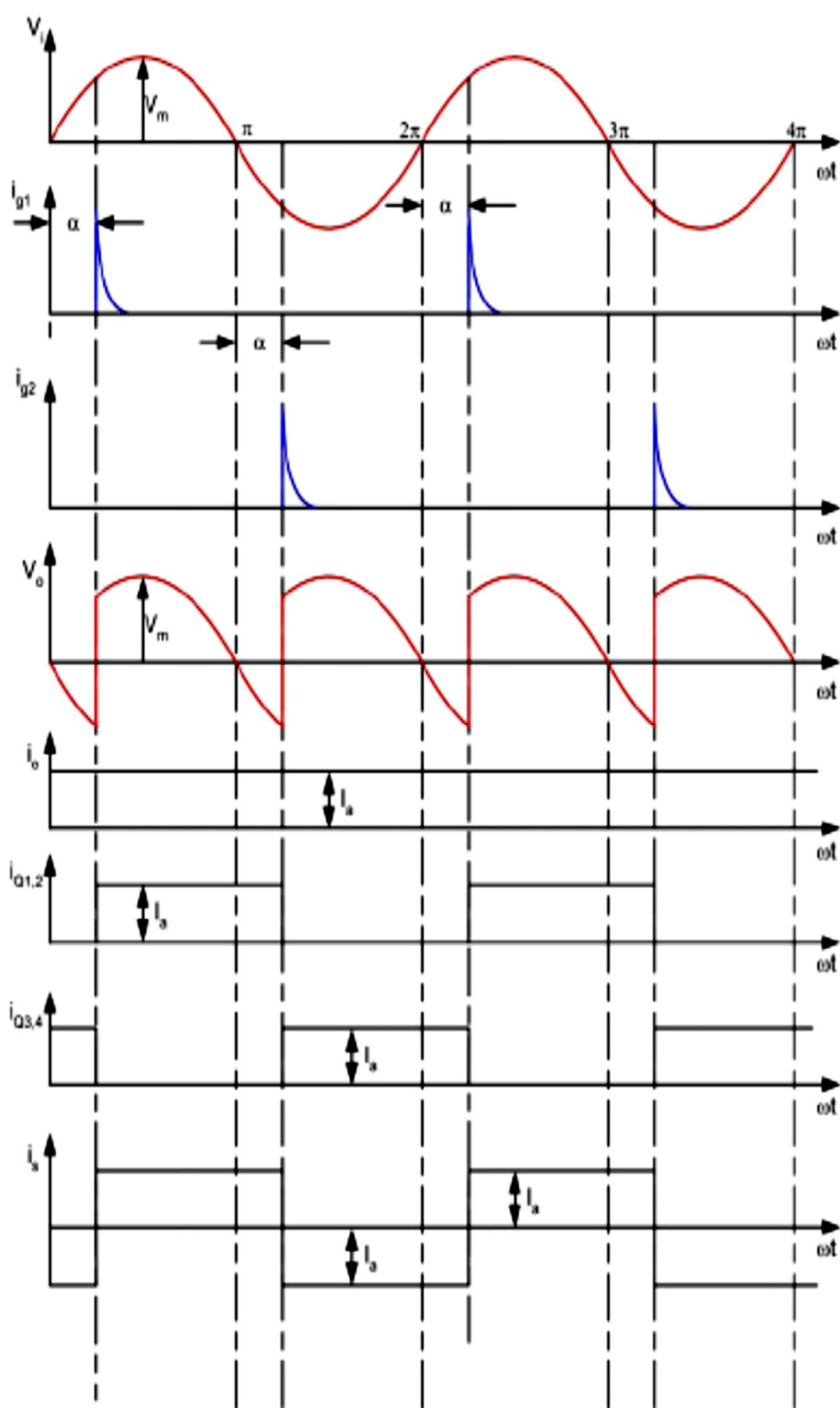
في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثايرستور " Q_1 ", " Q_2 " في حالة انحياز أمامي , لذلك عندما يتم إشعالهما عند زاوية " α " وذلك بتسليط نبضة على بوابة كل منهما – يتم توصيل التيار من المصدر إلى الحمل خلال " Q_1 ", " Q_2 " ونتيجة لمحاثة الحمل فإن التيار يستمر في المرور في كل من " Q_1, Q_2 "

حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالبا ويستمر ذلك حتى يتم إشعال الثايرستور " Q_3 " والثايرستور " Q_4 " – اللذين يكونان في حالة انحياز أمامي – عند زاوية " $\pi + \alpha$ " ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور " Q_1 " والثايرستور " Q_2 " عند زاوية " $2\pi + \alpha$ ". ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (8-3).

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج " V_o " من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية من α إلى $(\pi + \alpha)$ وتكون طبقا للمعادلة

$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi + \alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

وكما هو واضح من معادلة الجهد المتوسط فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال " α " , و أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجبا أو سالبا على حسب قيمة زاوية الإشعال فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90 درجة يكون الجهد موجبا بينما يكون سالبا إذا كانت زاوية الإشعال أكبر من 90 درجة أما تيار الحمل فيكون دائما موجبا لهذا يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد "Two quadrant"



شكل (٣-٨) موجات الجهد والتيار للموحد أحادي الوجه معكوم مع حمل ذو معاينة عالية

مثال (3-3): موحد أحادي الوجه كامل الموجة يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 12 أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات , وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 فولت احسب:

- تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60 درجة .
- القدرة المسحوبة من المصدر P_s .
- عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 120 درجة احسب القدرة المستردة إلى المصدر .

الحل:

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \text{ V}$$

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} (\cos \alpha) = 187.266 (\cos 60) = 93.633 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.8 \text{ A}$$

القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_s = P_L = V_o I_o = 730.594 \text{ Watt}$$

- عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 120 درجة فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا , ويمكن حسابه من المعادلة .

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} (\cos \alpha) = 187.266 (\cos 120) = -93.633 \text{ V}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$$P_s = V_o I_o = -730.594 \text{ watt}$$

4-3 الموحد المزدوج أحادي الوجه Single -Phase Dual Converter

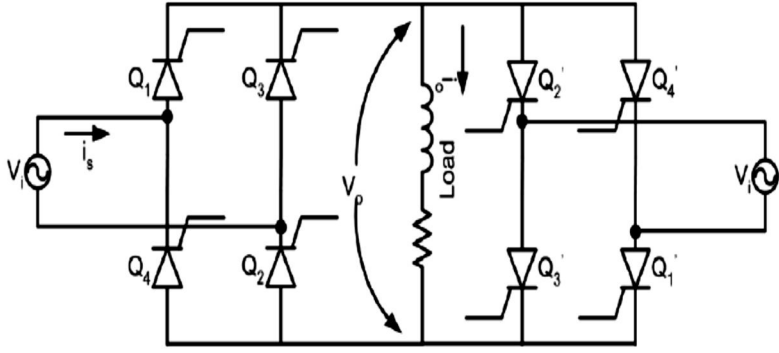
يتكون الموحد المزدوج من موحدتين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (3-9) وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار في الحمل ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة .

في حالة تشغيل الموحد الأول والمكون من "Q₁", "Q₂", "Q₃", "Q₄" يكون الجهد على أطراف الحمل :

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi} (\cos \alpha_{a1})$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني والمكون من "Q₁'", "Q₂'", "Q₃'", "Q₄'" يكون الجهد على أطراف الحمل

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi} (\cos \alpha_{a2})$$



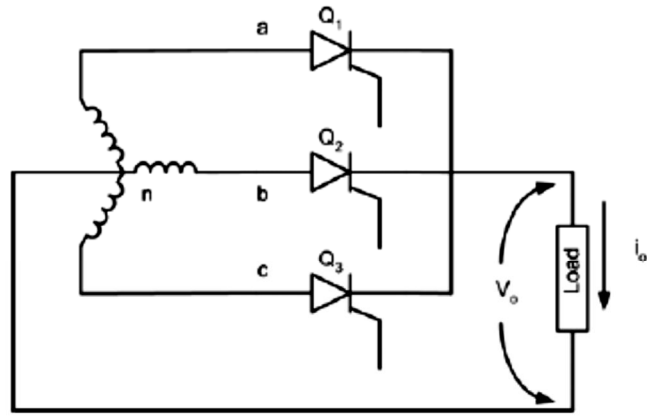
شكل (٣-٩) الموحد المزدوج أحادي الوجه

5-3 الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة المحكوم

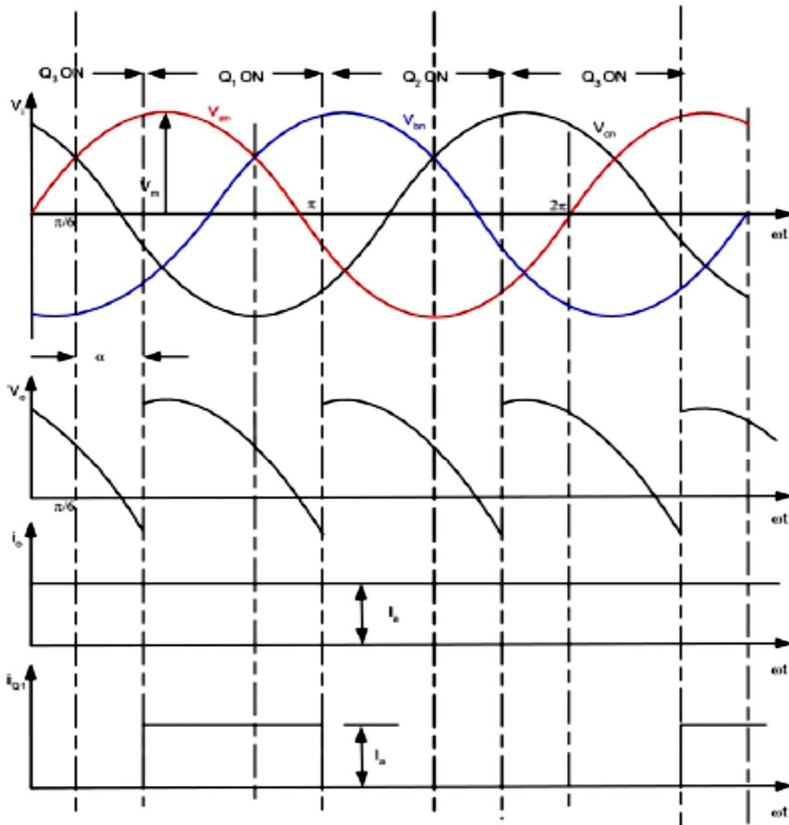
Three-Phase Half Wave Converter

تستخدم الموحّدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب , منها القدرة العالية مقارنة بالموحّدات أحادية الوجه كما أن تردد التذبذبات يكون عالي ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحّدات أحادية الوجه .

يتكون الموحد الثلاثي الوجه نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات " Q_1, Q_2, Q_3 " توصل بين المصدر والحمل كما في شكل (3-10). في هذه الحالة يتم إشعال Q_1 عندما يكون انحيازه أماميا بمعنى 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 (3-11) .



شكل (٣ - ١٠) الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة



شكل (٣ - ١١) موجات الجهد والتيار للموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة

ويمكن ملاحظة أن عدد التذبذبات في موجة الخرج أقل من الموحد أحادي الوجه .
ويمكن حساب متوسط جهد الخرج بإجراء التكامل لشكل موجة جهد الخرج في
الفترة من $(\pi/6+\alpha)$ إلى $(5\pi/6+\alpha)$, وعلى ذلك يمكن حساب هذا الجهد من
المعادلة (7-3) .

$$V_o = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\alpha+\frac{5\pi}{6}} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \cos\alpha$$

مثال (4-3): موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي
عبارة عن مقاومة مقدارها 10 أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون
التيار متصلا وخاليا من التذبذبات , وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل
نجمة وجهه 208 فولت . احسب :

- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30 درجة , وكذلك تيار الحمل.
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60 درجة
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 120 درجة
- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل .

الحل:

- الجهد المتوسط وتيار الحمل عند زاوية إشعال 30 درجة .

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

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos \alpha) = 140.449 (\cos 30) = 121.633 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 12.166 \text{ A}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال 60 درجة

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos \alpha) = 140.449 (\cos 60) = 70.2245 \text{ V}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال 120 درجة

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos \alpha) = 140.449 (\cos 120) = -70.2245 \text{ V}$$

- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل يحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية لصفر

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos \alpha) = 140.449 (\cos 0) = 140.449 \text{ V}$$

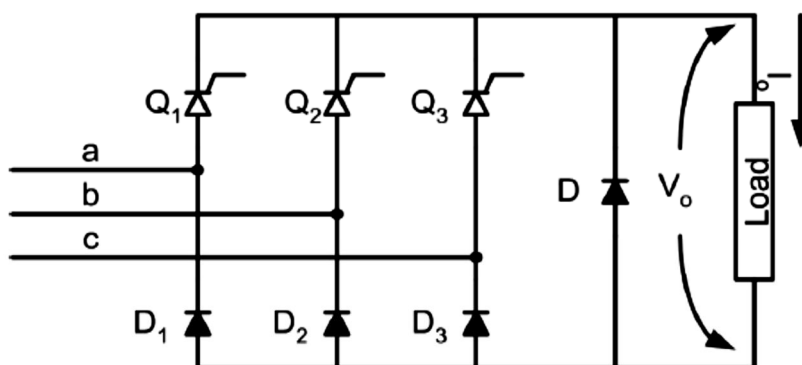
6-3 الموحد الثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم

Three-Phase Semi-Converter

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعهم على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود مسار حر كما في شكل (12-3) ويستخدم هذا الموحد

في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب أيضا
 “Quadrant one” , ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة حيث يستخدم
 في التطبيقات التي تصل القدرة فيها إلى حوالي 120 كيلووات ويلاحظ أن معامل
 القدرة له يقل بزيادة زاوية الإشعال ولكنه أعلى من معامل القدرة للموحد ثلاثي
 الأوجه نصف موجة ويكون الجهد المتوسط الناتج طبقا للمعادلة .

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$



شكل (٣- ١٢) الموحد ثلاثي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال (5-3): موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي
 عبارة عن مقاومة مقدارها 10 أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون
 التيار متصلا وخاليا من التذبذبات , وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل
 نجمة وجهه 208 فولت , احسب :

- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45
 درجة , وكذلك تيار الحمل.

- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 75 درجة
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 135 درجة
- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل .
- زاوية الاشعال اللازمة للحصول على تيار مقداره 6 أمبير.

الحل :

- الجهد المتوسط وتيار الحمل عند زاوية إشعال 45 درجة .

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

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$= 140.449 (1 + \cos 45) = 239.76 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 23.976 \text{ A}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال 75 درجة

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 140.449 (1 + \cos 75)$$

$$= 176.8 \text{ V}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال 135 درجة

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 140.449 (1 + \cos 135)$$

$$= 41.136 \text{ V}$$

- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل تحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية لصفر

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 140.449 (1 + \cos 0)$$

$$= 280.898 \text{ V}$$

للحصول على تيار 6 أمبير , يجب أن يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل

$$V_o = I_o R = 6(10) = 60 \text{ V}$$

بالتعويض عن قيمة الجهد المتوسط بالقيمة 60 فولت

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

يمكن إيجاد زاوية الإشعال

$$\alpha = 52.987^\circ$$

الموحد الثلاثي الوجه موجة كاملة محكوم

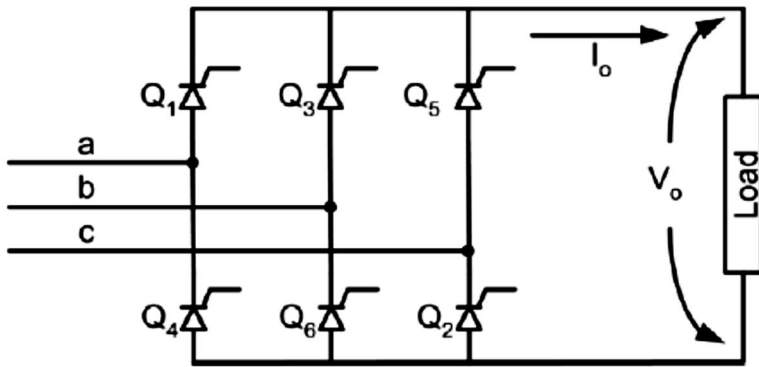
6-3

Three –Phase Full Converter

يتكون هذا الموحد من ست ثايرستورات يتم توزيعهم على شكل قنطرة كما في شكل (13-3) ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب أو

سالب على حسب قيمة زاوية الإشعال ذو تيار موجب فقط "Quadrant Two" ويكون الجهد المتوسط الناتج طبقا للمعادلة .

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos\alpha$$



شكل (٣ - ١٢) الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

مثال (6-3) : موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10 أوم وممانعة حثية عالية لدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات . وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهه 208 فولت . احسب :

- تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 40 درجة .
- القدرة المسحوبة من المصدر P_s .

- عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 140 درجة احسب القدرة المستردة إلى المصدر.

الحل :

- تيار الحمل عند زاوية 40 درجة

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

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} (\cos \alpha) = 280.898 (\cos 40) = 215.18 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 21.518 \text{ A}$$

- القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_s = P_L = V_o I_o = 4630.25 \text{ Watt}$$

- عندما تتغير زاوية الاشعال لتكون 135° فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا ويمكن حسابه من المعادلة.

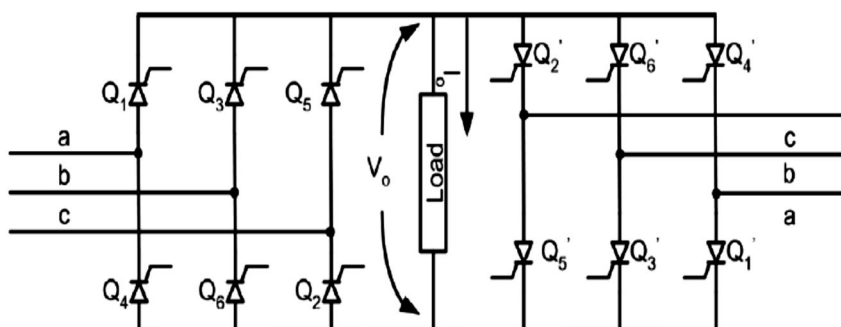
$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} (\cos \alpha) = 280.898 (\cos 135) = -198.625 \text{ V}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$$P_s = V_o I_o = -3945.189 \text{ Watt}$$

7-3 الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه Three-Phase Dual –Converter

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (3-14) , وذلك حتى تتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذلك عكس التيار المار في الحمل. ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية مع المحركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.



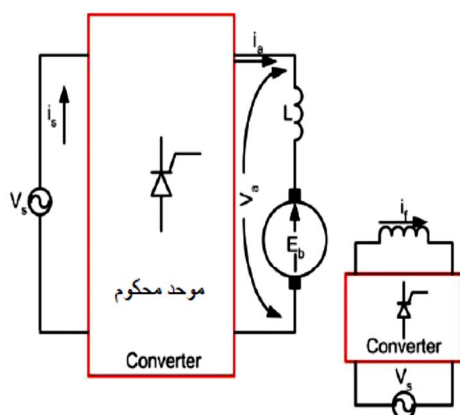
شكل (3- ١٤) الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه

8-3 تطبيقات :

تستخدم الموحدات المحكومة بكثرة في التطبيقات الصناعية المختلفة وذلك بهدف السيطرة على أداء محركات التيار المستمر والتحكم في سرعتها , ويتم ذلك بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته , وتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثايرستورات " حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثايرستور, ويوضح شكل (3-15) الدائرة الأساسية لكيفية استخدام دوائر الموحدات المحكومة للتحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة. وتتكون الدائرة من موحدين محكومين أحدهما في دائرة المنتج , والآخر في دائرة المجال . ويعتمد اختيار نوع الموحدات المستخدمة بناء على نوع مصدر التغذية المتوفر وعلى قدرة المحرك بالإضافة إلى طبيعة

الحمل. وتتم عملية التحكم في سرعة محركات التيار المستمر عمليا عن طريقين رئيسيين :

- **التحكم في جهد المنتج :** حيث تتناسب السرعة طرديا مع جهد المنتج وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة ويتم تنفيذ ذلك عمليا بالتحكم في زاوية إشعال الثايرستورات في دائرة الموحد الموصلة بين المصدر والمنتج . فعندما يراد زيادة السرعة يجب زيادة جهد المنتج أي تقليل زاوية الإشعال في دائرة المنتج , وعندما يراد تقليل السرعة يجب تقليل جهد المنتج وبالتالي زيادة زاوية الإشعال .
- **التحكم في تيار المجال :** حيث تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المجال وتتميز بإمكانية الحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة , ويتم تنفيذ ذلك عمليا بالتحكم في زاوية إشعال الثايرستورات في دائرة الموحد الموصلة بين المصدر ودائرة المجال , فعندما يراد زيادة السرعة يجب تقليل تيار المجال ويتم ذلك بتقليل جهد المجال أي بزيادة زاوية الإشعال في دائرة المجال , وعندما يراد تقليل السرعة يجب زيادة تيار المجال أي زيادة جهد المجال وبالتالي تقليل زاوية الإشعال .



شكل (٣ - ١٥) الدائرة الأساسية للتحكم في محركات التيار المستمر من خلال الموحدات المحكومة

مثال (3- 7) : محرك تيار مستمر منفصل التغذية قدرته 25 حصان , يغذى من موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم ومتصل بمنبع 220 فولت و60 هرتز .
التيار المقنن للمحرك 10 أمبير عند السرعة المقننة 1500 لفة/ دقيقة . احسب الآتي :

- زاوية الإشعال عند السرعة المقننة وعند سرعة 500 لفة / دقيقة . مع العلم بأن مقاومة ملفات المنتج 0.2 أوم .

الحل :

يمكن كتابة المعادلات التالية لمحرك التيار المستمر منفصل التغذية:

$$V_a = E_a + I_a R_a$$

$$E_a = k \omega$$

$$T = k I_a$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

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

الجهد الخارج من الموحد المحكوم كدالة في جهد المنبع :

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$V_m = 220 \sqrt{2} = 311.13 \text{ V}$$

- حساب زاوية الإشعال عند السرعة المقتننة :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 1500}{60} = 157.1 \text{ rad/sec}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{2.5 * 746}{157.1} = 11.87 \text{ N.M}$$

$$k = \frac{T}{I_a} = \frac{11.87}{10} = 1.187$$

$$E_a = k \omega = 1.187 * 157.1 = 186.6 \text{ V}$$

$$V_a = E_a + I_a R_a = 186.6 + 10 * 0.2 = 188.6 \text{ V}$$

$$\cos \alpha = \frac{V_a * \pi}{2V_m} = \frac{188.6 * \pi}{2 * 311.13} = 0.8946$$

$$\alpha = 26.5^\circ$$

- حساب زاوية الإشعال عند سرعة 500 لفة/ دقيقة :

$$E_{a1} = k \omega_1 = 1.187 * 157.1 = 186.6 \text{ V}$$

$$V_{a1} = E_{a1} + I_a R_a^2 = 62.15 + 10 * 0.2 = 64.15 \text{ V}$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{V_{a1} * \pi}{2V_m} = \frac{64.15 * \pi}{2 * 311.13} = 0.323$$

$$\alpha = 71.1^\circ$$