التحكم الإلكتروني في الآلات

مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب بإذن الله 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: ٢ ساعه

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر إلكترونيات القدرة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوحدة الثانية : مراجعة في دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

نتيجة للتقدم التكنولوجي الهائل في صناعة أشباه الموصلات فقد أصبحت دوائر إلكترونيات القدرة تلعب دوراً رئيسياً 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 أيضاً. 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.

أولاً: 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 طبيعياً 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 رئيسين، موحدات أحادية الوجه وموحدات ثلاثية الأوجه، كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربعة أنواع هي:

الموحد النصف الموجة المحكوم "Half Wave Converter "

الموحد الكاملة الموجة النصف المحكوم "Semi-converter"

الموحد الكاملة الموجة المحكوم "Full Wave Converter"

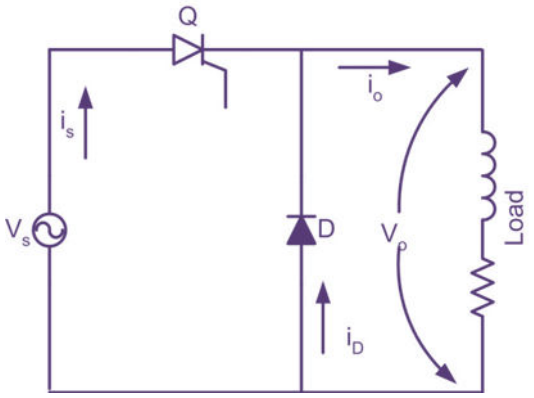
المغير المزدوج "Dual Converter"

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع في الجزء التالي

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم Single Phase Half Wave Converter

يتكون هذا الموحد من عنصر توحيد محكوم (ثايرستورQ) كما في شكل 1-2 . ويتميز التيار المار في الحمل نتيجة لاستخدام هذا الموحد بأنه تيار متقطع وغير متصل ولذلك يحتاج إلى ملف تنعيم عالي القيمة كما يتطلب أيضا وجود دايود حذافة (D) ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل

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



الشكل (1-2)

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم

وكما هو واضح من المعادلة (1-2) 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 جداً وفي القدرات الصغيرة

مثال (1-2) :

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60^o

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصول 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 (1-2)

$\alpha = 44.86^o$

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

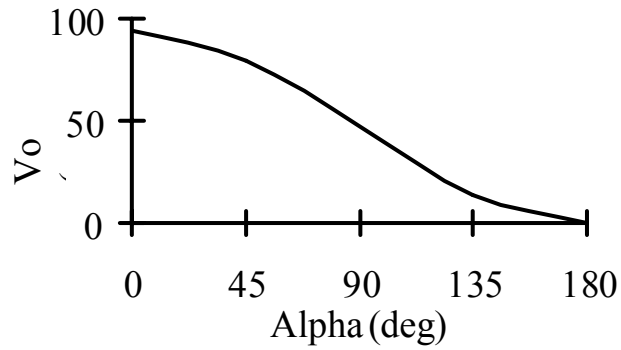
من المعادلة (1-2) وبالتعويض عن قيمة V_m يمكن استنتاج الجدول التالي

α(deg)	0	45	90	135	180
V_o(volt)	93.63	79.816	46.816	13.71	0

جدول 1

العلاقة بين زاوية الإشعال والقيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل (مثال 1-2)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

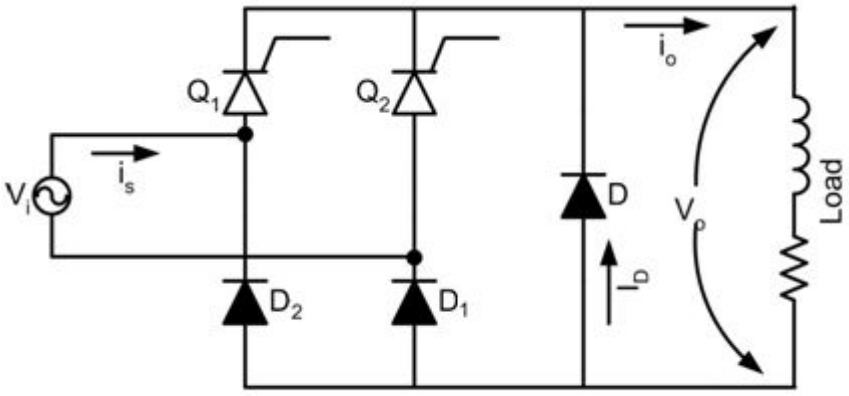


الشكل (2-2)

العلاقة بين الجهد وزاوية الإشعال (مثال 1-2)

الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة النصف لامحكوم "Single Phase Semi-converter"

يتكون الموحد النصف المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في الشكل (2-3)اثنان منهما عبارة عن ثايرستور (Q_1,Q_2) والآخران عبارة عن دايود (D_1, D_2) بالإضافة إلى دايود الحدافة "D" ، ويبين الشكل (2-4) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد لتغذية حمل ذي محاثة عالية وذلك للحصول على تيار متصل وخالٍ من التذبذبات.



الشكل (2-3)

الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة النصف المحكوم

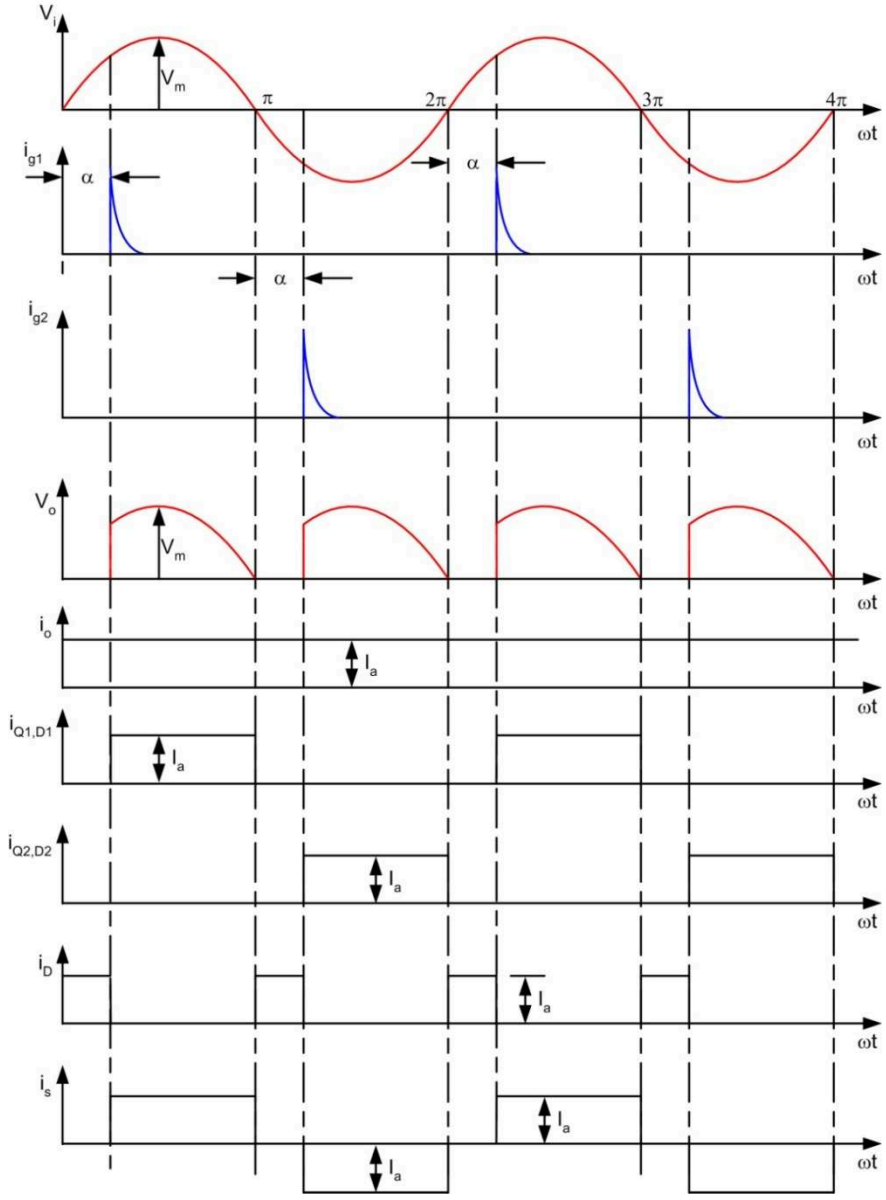
ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج خلال الفترة الزمنية "0-π" وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

وكما هو واضح من المعادلة (2-2)هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α".

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



الشكل (2-4)

أشكال موجات الجهد والتيار الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال (2-2) :

موحد أحادي الوجه كامل الموجة نصف المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 75^o

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره 150 v

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 (2-2) عن الجهد 150 V

$\alpha = 52.987^o$

ت) أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل

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

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

الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم "Single Phase Full Converter"

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في الشكل (2-5) جميعها ثايرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4). ويوضح الشكل (2-6) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد مع حمل ذي محاثة عالية حيث يمر التيار في كل من (Q_1, Q_2) في النصف الموجب لموجة المصدر ويمر في كل من (Q_3, Q_4) في النصف السالب، وينتج عن ذلك مرور تيار موحد دائماً في الحمل. وفي حالة زيادة زاوية الإشعال عن 90^o فإن جهد الحمل سيصبح سالباً، بمعنى أن التيار الناتج من

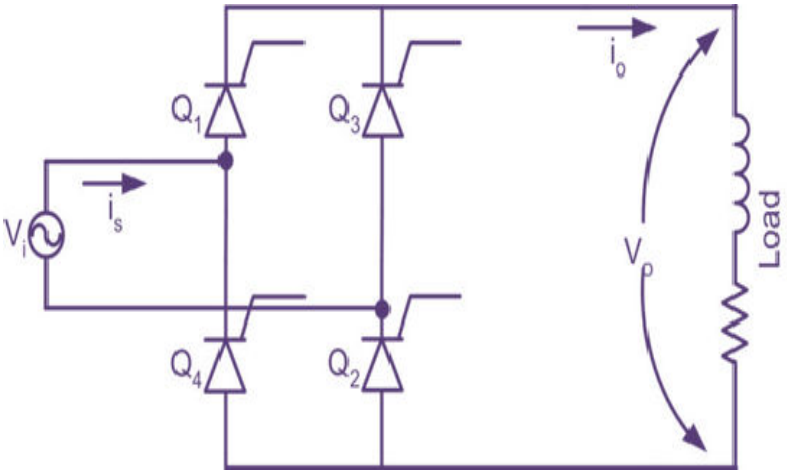
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

استخدام هذا الموحد يكون دائماً موجباً بغض النظر عن زاوية الإشعال بينما يعتمد الجهد على زاوية الإشعال فإما أن يكون موجباً عندما تكون زاوية الإشعال أقل من 90^o أو سالباً 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"

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

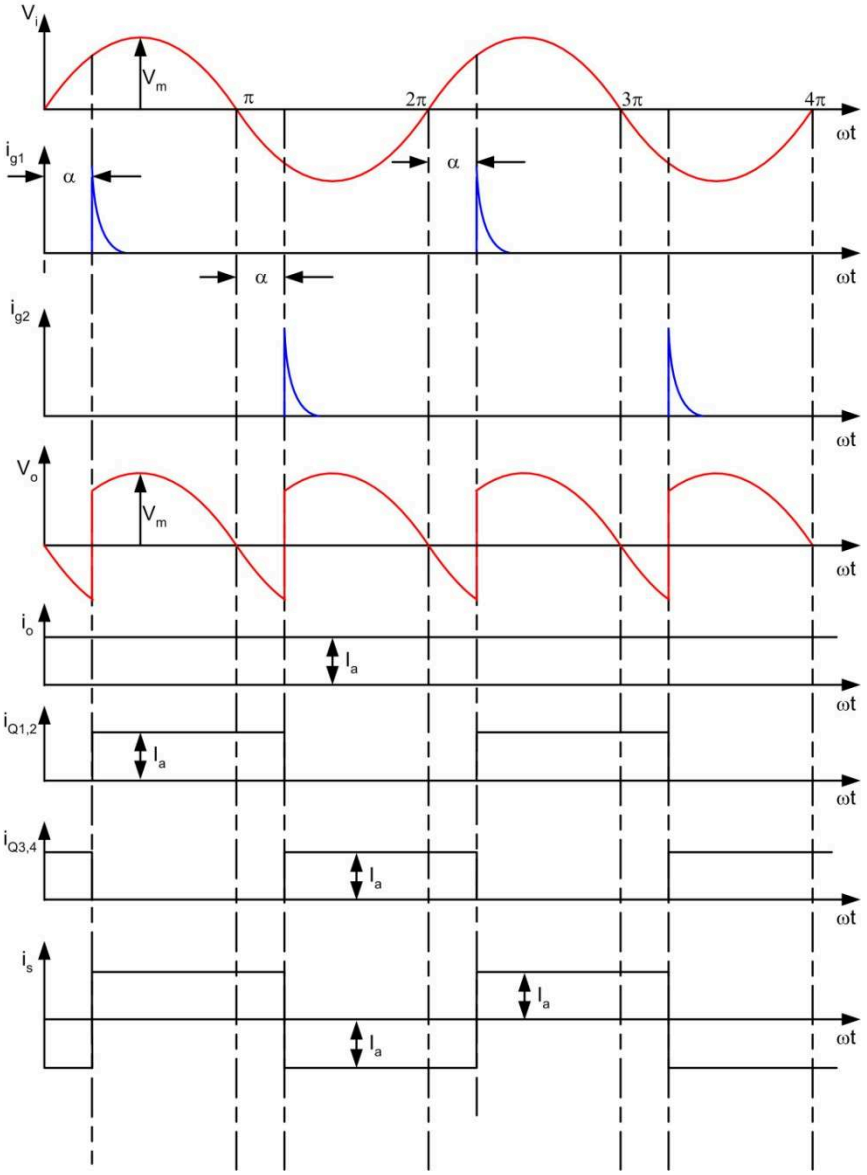
وكما هو واضح من المعادلة (2-3) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α"



الشكل (2-5)

الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة المحكوم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (2-6)

أشكال موجات الجهد والتيار

مثال (2-3) :

موحد أحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

$$P_s = P_L = V_o I_o = 1753.43 \quad \text{watt}$$

ت)

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 135^o فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً، ويمكن حسابه من المعادلة (2-3)

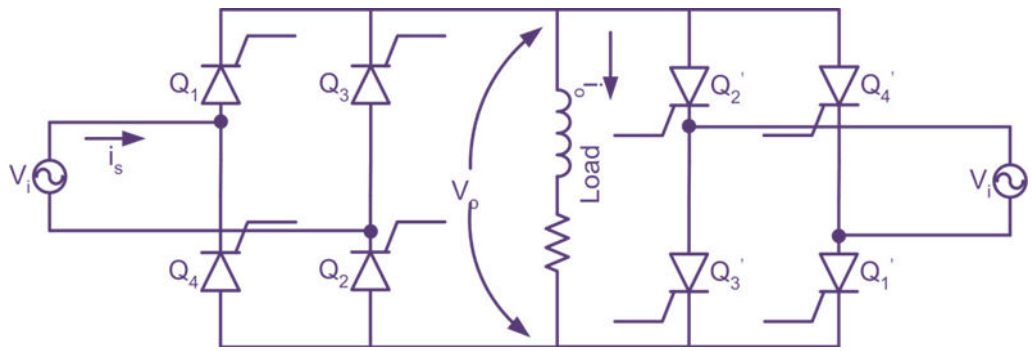
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 187.266(Cos135) = -132.417 \quad \text{Volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$$P_s = V_o I_o = -1753.43 \quad \text{watt}$$

الموحد المزدوج الأحادي الوجه Single Phase Dual Converter

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في الشكل (2-7) 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



الشكل (2-7)

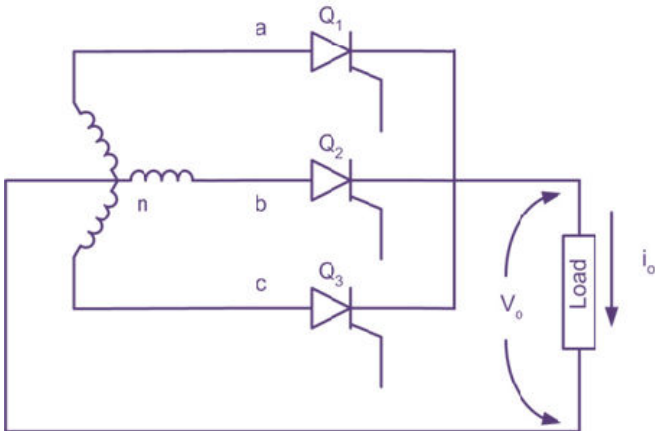
الموحد المزدوج أحادي الوجه

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الموحد ثلاثي الوجه النصف الموجة المحكوم "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 الأحادية الوجه

يتكون الموحد الثلاثي نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات "Q_1,Q_2,Q_3" توصل بين المصدر والحمل كما في الشكل (2-8)



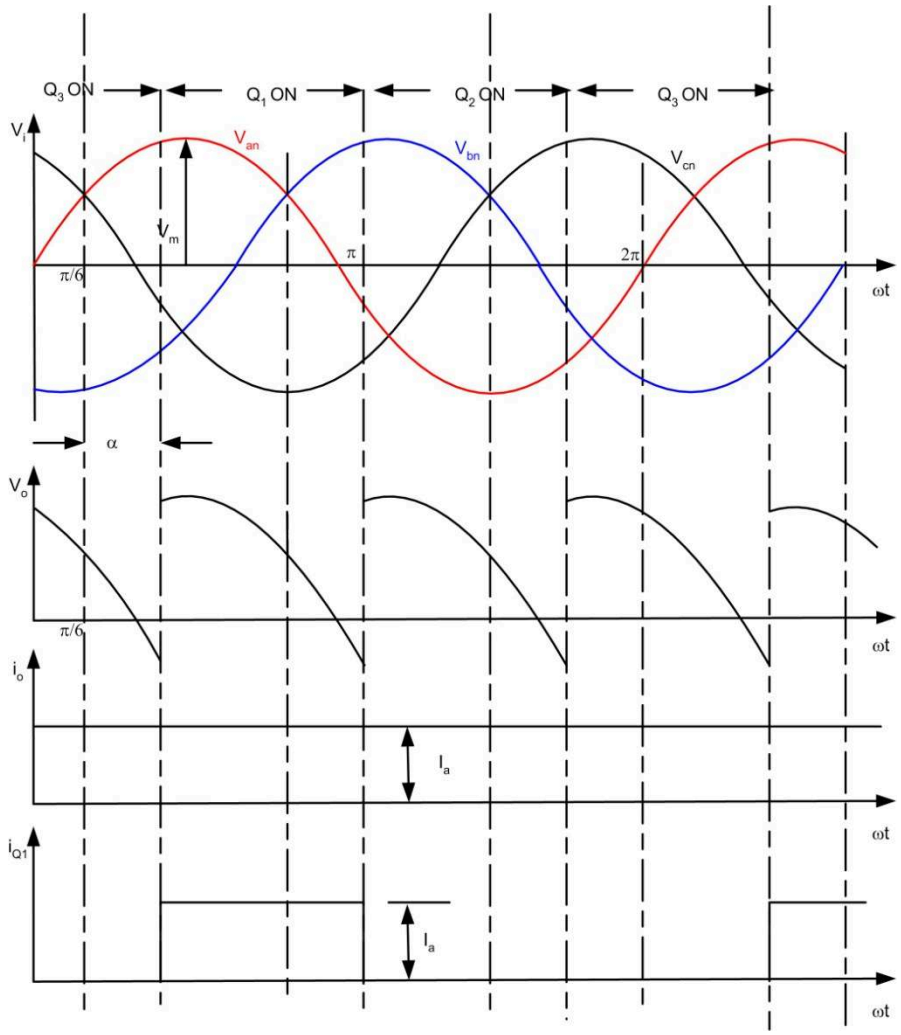
الشكل (2-8)

الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة

في هذه الحالة يتم إشعال Q_1 عندما يكون انحيازه أمامياً 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 الشكل (2-9) ويمكن ملاحظة أن التيار دائماً موجباً بينما الجهد من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً "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

$$V_o=\frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}Cos\alpha \qquad (2\text{-}4)$$



الشكل (2-9)

أشكال موجات الجهد واالتيار

مثال (2-4) :

موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v، احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^o

الحل

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

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

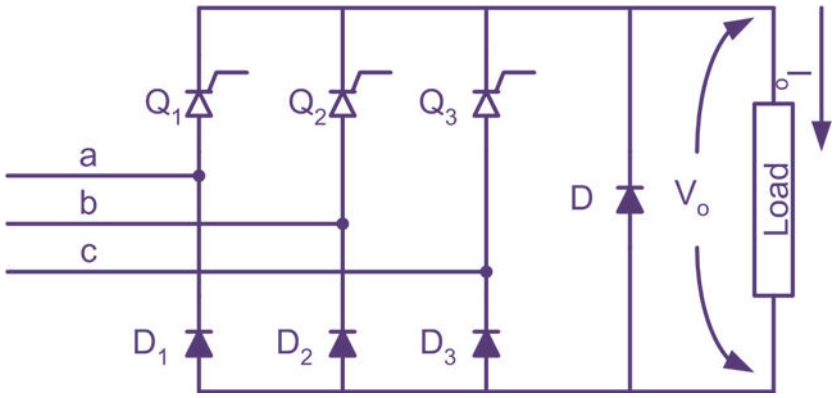
$$I_o = \frac{V_o}{R} = 12.166 \quad \text{Amp.}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم "Three Phase Semi-converter"

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعها على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود حذافة كما في الشكل (2-10)، ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب "One quadrant"، ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة كما أن معامل قدرته أعلى ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) \qquad (2\text{-}5)$$



الشكل (2-10)

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

مثال (2-5) :

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v. احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^o

الحل

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

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

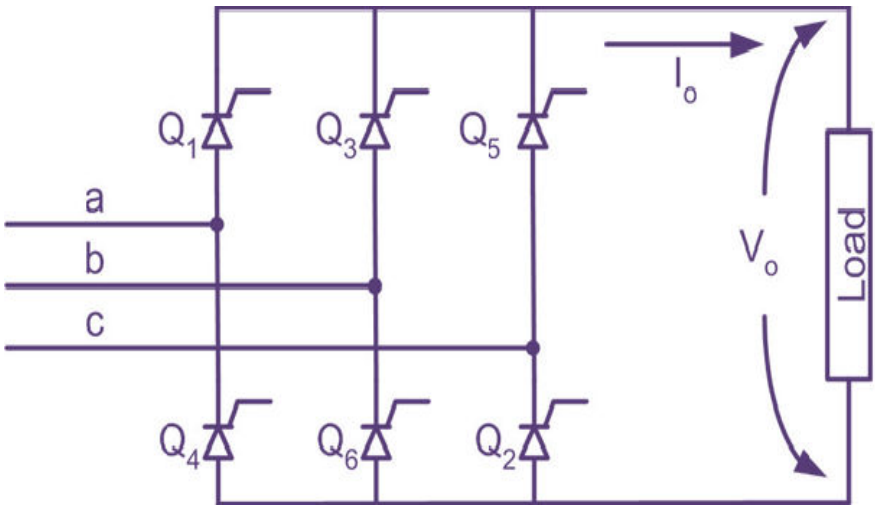
$$I_o = \frac{V_o}{R} = 26.208 \quad \text{Amp.}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الموحد ثلاثي الوجه الكاملة الموجة المحكوم "Three Phase Full Converter"

يتكون هذا الموحد من ستة ثايرستورات يتم توزيعها على شكل قنطرة كما في الشكل (2-11) 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

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} Cos\alpha \qquad (2\text{-}6)$$



الشكل (2-11)

الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

مثال (2-6) :

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

$P_s = P_L = V_o I_o = 3945.189$ watt

ت)

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 135^o فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً ويمكن حسابه من المعادلة (3-2)

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

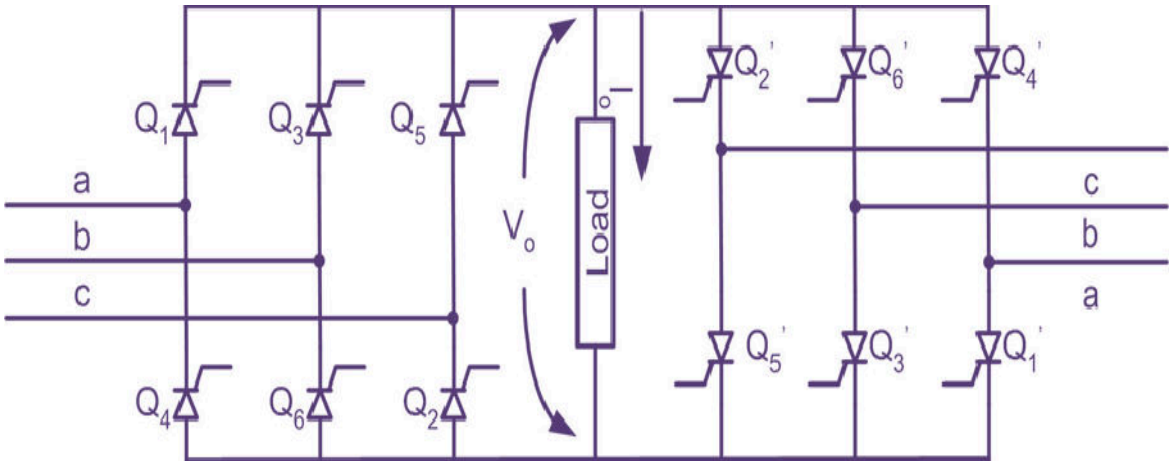
وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o = -3945.189$ watt

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه "Three Phase Dual Converter"

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في الشكل (12-2) 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.



الشكل (12-2)

الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه

ثانياً: 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 دوراً 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 في شكل (13-2) والمكونة من حمل (عبارة عن مقاومة) ومفتاح ومصدر للتيار المستمر. عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل، وإذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساوياً

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

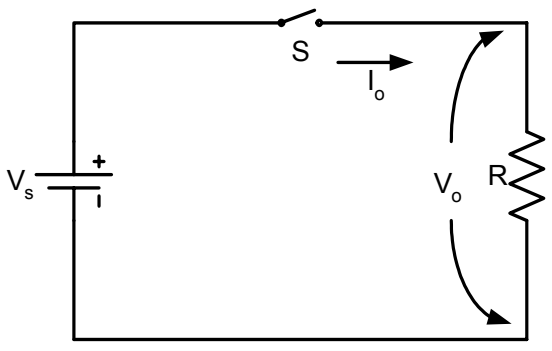
للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (2-14) ويكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s \qquad (2\text{-}7)$$

حيث

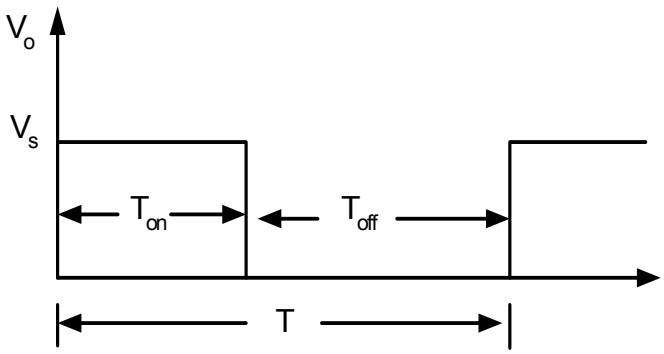
V_s	جهد المصدر
T_{on}	زمن التوصيل
T_{off}	زمن الفصل
T	الزمن الكلي
V_o	جهد الخرج
k	نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (2-7) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق التحكم في نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عالياً (يتراوح ما بين 500 Hz إلى 2500 Hz) لذا يجب أن يكون المفتاح المستخدم أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة أو IGPT أو MOSFET أو GTO .....إلخ.



الشكل (2-13)

دائرة مقطع التيار المستمر



الشكل(2-14)

جهد الخرج

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 جداً لاشعاله.
- البوابة معزولة عن المصدر بمعنى أنه ليس هناك ارتباط بين تيار البوابة وتيار الحمل.
- يعمل عند ترددات عالية وهذا يسهل عملية تنعيم الخرج

وعلى 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 رئيسين هما المقطعات الخافضة والمقطعات الرافعة.

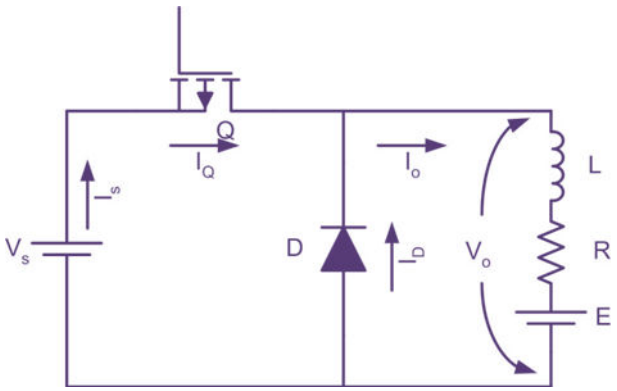
المقطعات الخافضة "Step Down DC Chopper"

في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أقل من جهد المصدر، أي أن نسبة التشغيل أقل من واحد. ويبين الشكل (15-2) مقطعاً خافضاً باستخدام موسفت لتغذية حمل عبارة عن

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مقاومة وملف وبطارية كما يبين الشكل (2-16) أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة باعتبار أن محاثة الملف عالية بحيث يكون تيار الحمل متصلاً وخالياً من التذبذبات.

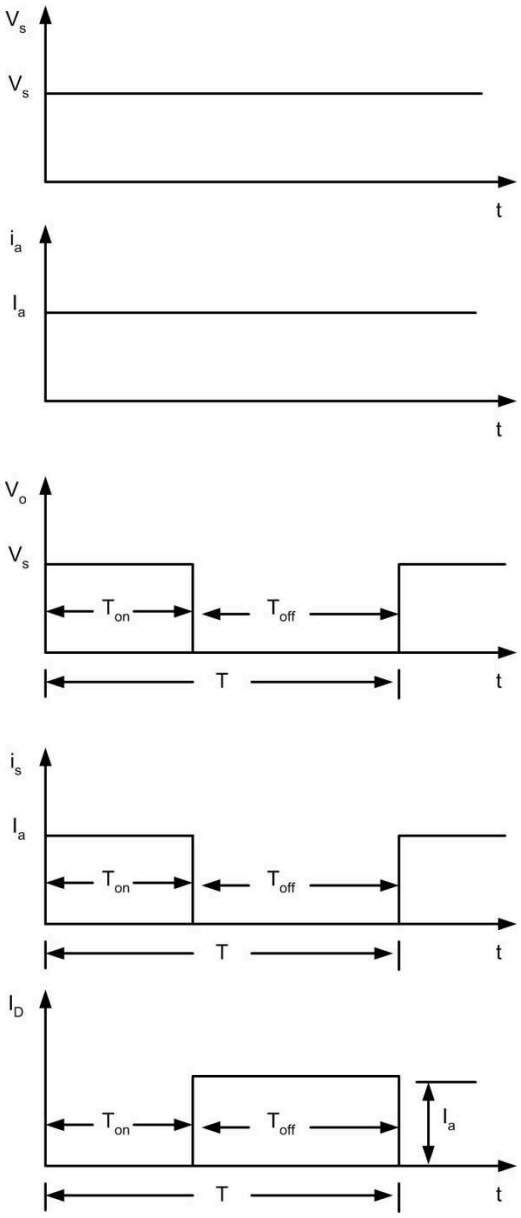
عند تشغيل المقطع أي وضع الموسفت في حالة (On) يمر التيار من المصدر إلى الحمل من خلال الموسفت (Q)، أما في حال الفصل أي وضع الموسفت في حالة (Off) فإن التيار يدور في الحمل ودايود الحذافة حتى يتم تشغيل (Q) مرة أخرى، وفي هذه الحالة يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما في المعادلة (2-7) حيث تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.



الشكل (2-15)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض باستخدام الموسفت

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (2-16)

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. الشكل (2-17) يوضح مثالاً للمقطعات الرافعة إذ 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:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$v_o = \frac{\Delta I}{1-k} V_s \qquad (2\text{-}8)$$

حيث:

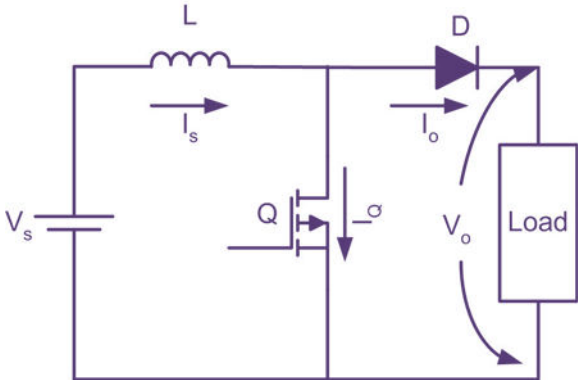
V_s جهد المصدر

ΔI الفرق بين القيمة العظمى والصغرى للتيار نتيجة لعملية الفصل والتوصيل

k نسبة التشغيل

v_o القيمة الحظية لجهد الخرج

ومن المعادلة (2-8) يمكن ملاحظة أن الجهد على أطراف الحمل يمكن التحكم فيه بالتحكم في نسبة التشغيل. ويمكن استخدام هذه الفكرة لنقل الطاقة من مصدر إلى آخر كما تستخدم لعمل الفرملة للمحركات الكهربائية بإعادة التوليد.



الشكل (2-17)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الرافع باستخدام الموسفت

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ثالثاً: 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 الشكل (2-18)، وتتكون دائرة حاكم الجهد المتناوب من ثايرستورين متعاكسين $Q1, Q_2$، 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:

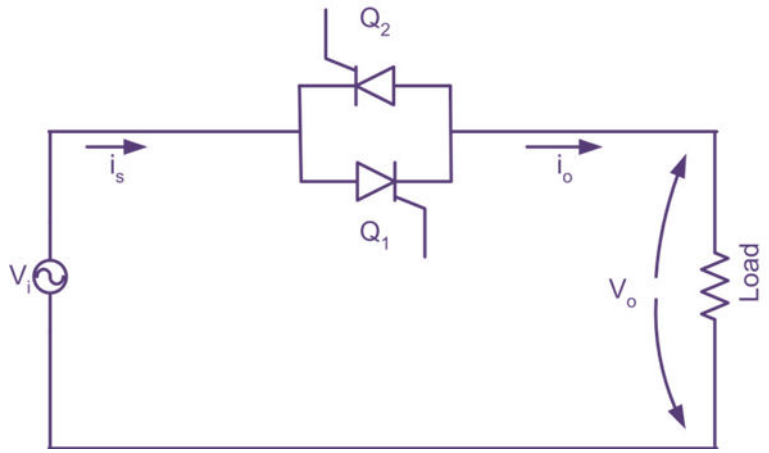
١. التحكم في فترات التشغيل والإيقاف On-Off Control

وفي هذه الحالة يتم توصيل Q_1, Q_2 لعدد صحيح من الدورات ثم فصلها لعدد آخر كما في الشكل 2-19 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 انتشاراً حيث يتم التحكم في زاوية إشعال كل من Q_1, Q_2 وتكون أشكال الموجات كما في الشكل (2-20).

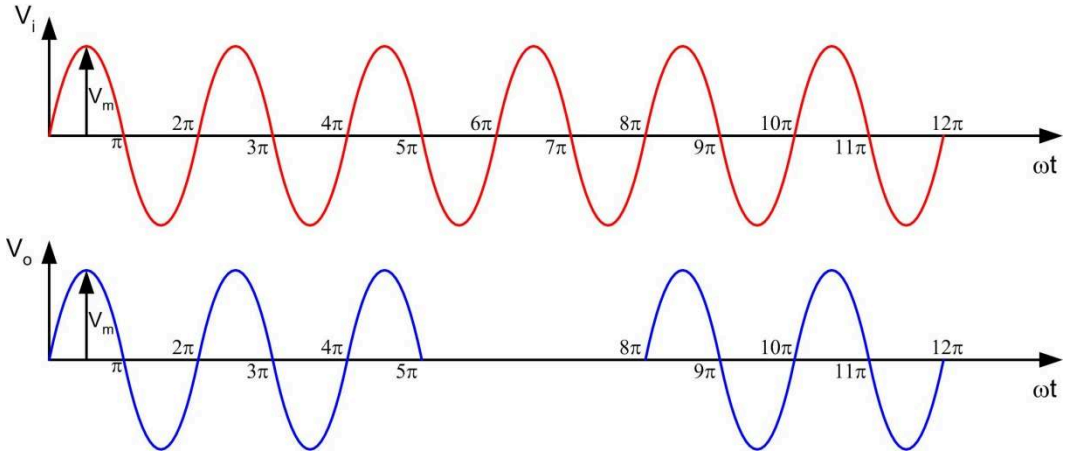
ويمكن تقسيم حاكمات الجهد المتناوب إلى حاكمات أحادية الوجه كما في الشكل (2-18) أوحاكمات ثلاثية الوجه كما في الشكل (2-21).



الشكل (2-18)

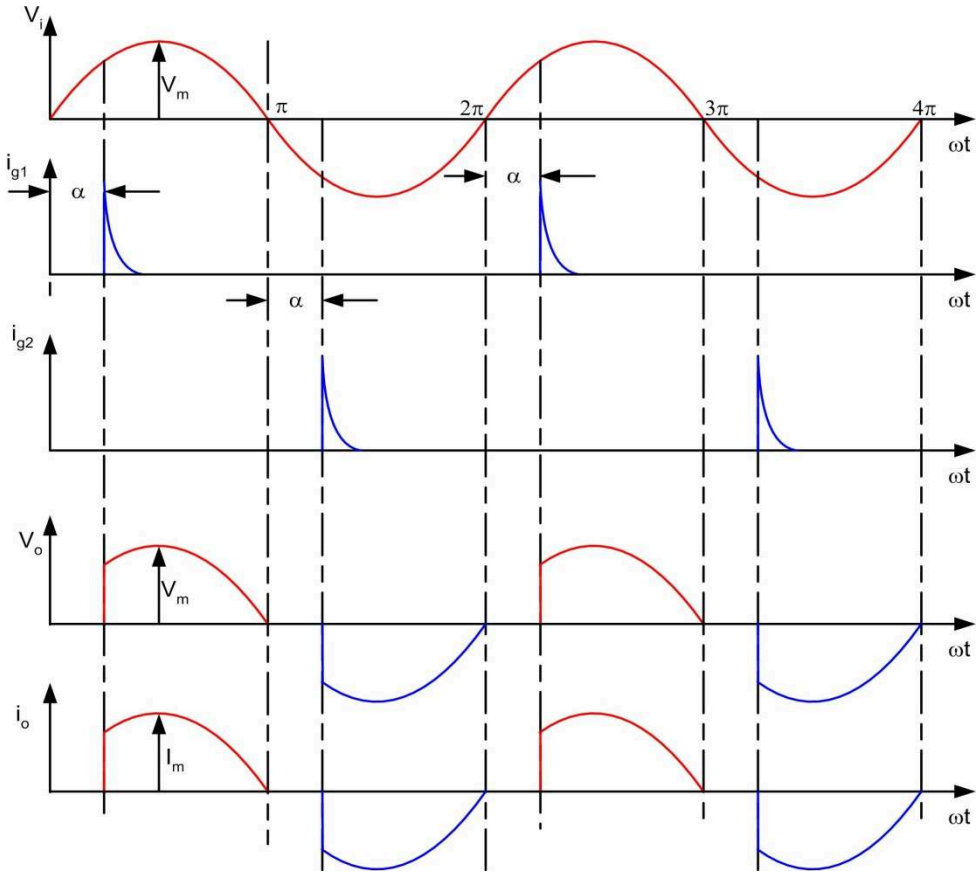
دائرة حاكم الجهد المتردد أحادي الوجه مع حمل مقاومة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (2-19)

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

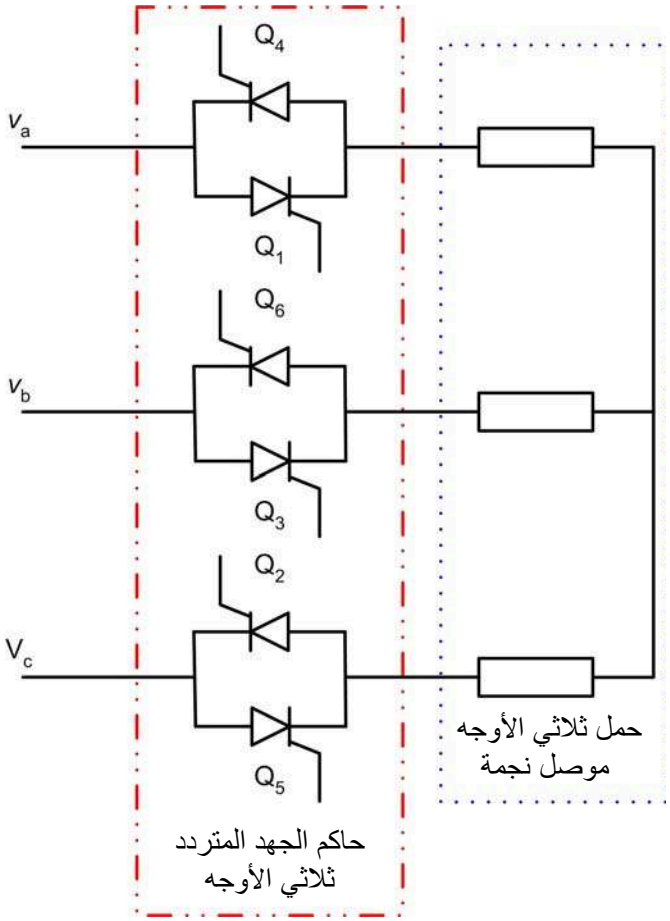


الشكل (2-20)

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

التحكم في زاوية الإشعال

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (21-2)

دائرة حاكم الجهد المتردد ثلاثي الأوجه

رابعاً: العواكس INVERTERS

تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار متردد يمكن التحكم في جهده أوتردده أو فيهما معاً، 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.

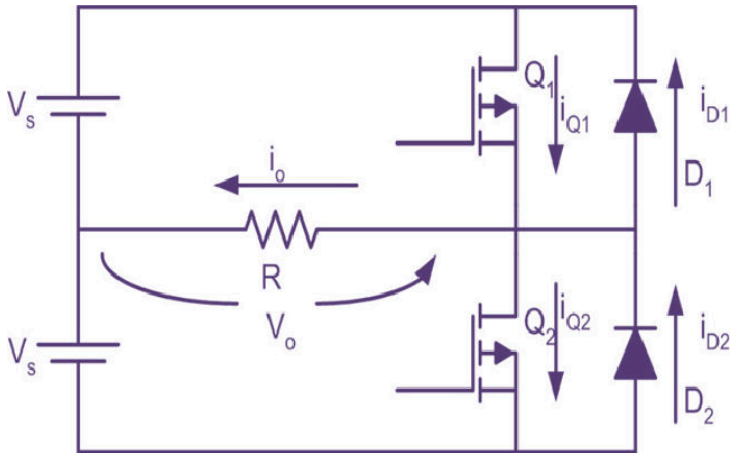
ويعتبر العاكس من الناحية العملية عاكساً مناسباً كلما كان شكل موجة الجهد الناتجة عنه أقرب إلى الموجة الجيبية، لذا يوصل فلتر (Filter) مكون من مقاومة ومكثف وملف على خرج العاكس للتخلص من التوافقيات غير المرغوب فيها، كما أن استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات السرعات

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

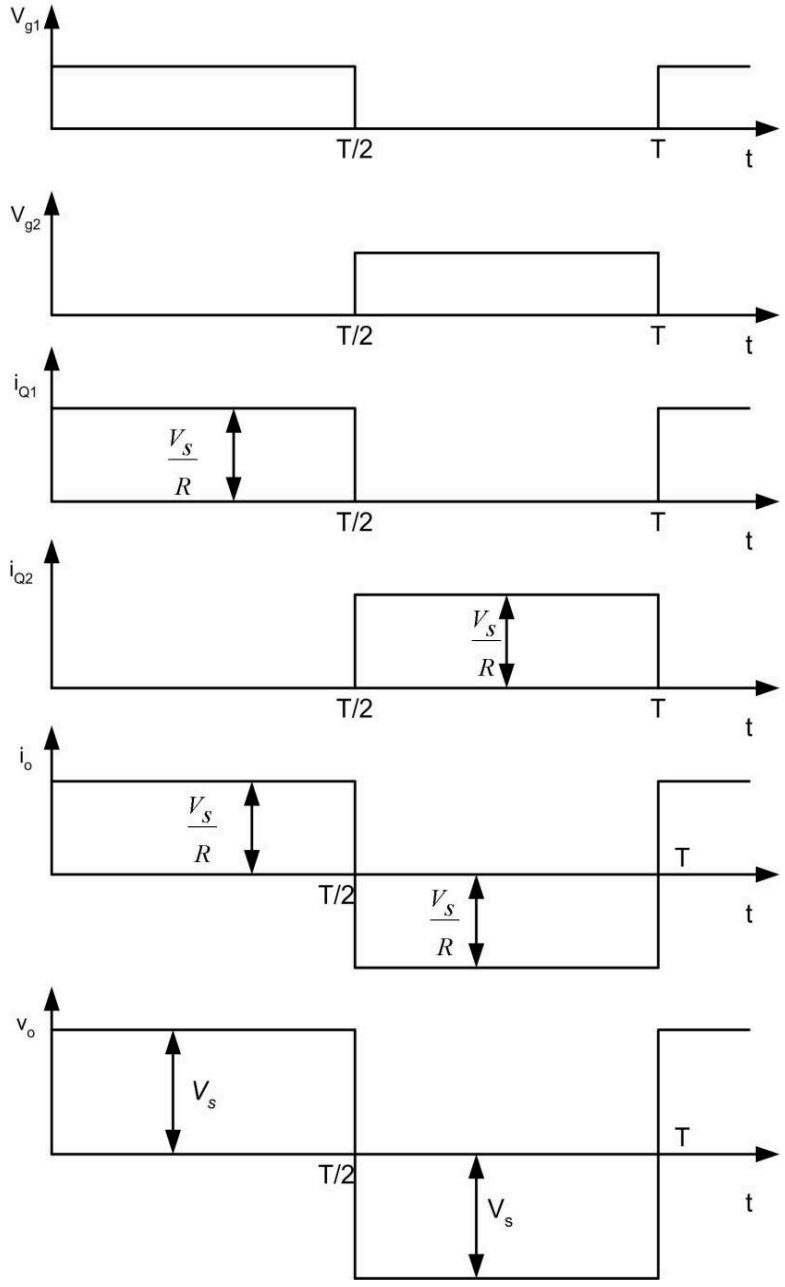
يمكن فهم فكرة عمل العواكس بدراسة الدائرة البسيطة والمبينة في شكل (22-2) والتي تتكون من (٢) موسفتين (Q_1, Q_2) و(٢) دايودين (D_1, D_2) وحمل على شكل مقاومة ومصدرين للجهد المستمر قيمة كل منهم V_s عند تشغيل Q_1 يمر التيار من المصدر الأول ومن خلال Q_1 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره (V_s) وذلك 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 الشكل (23-2) 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.



الشكل (22-2)

عاكس أحادي الوجه نصف قنطرة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (2-23)

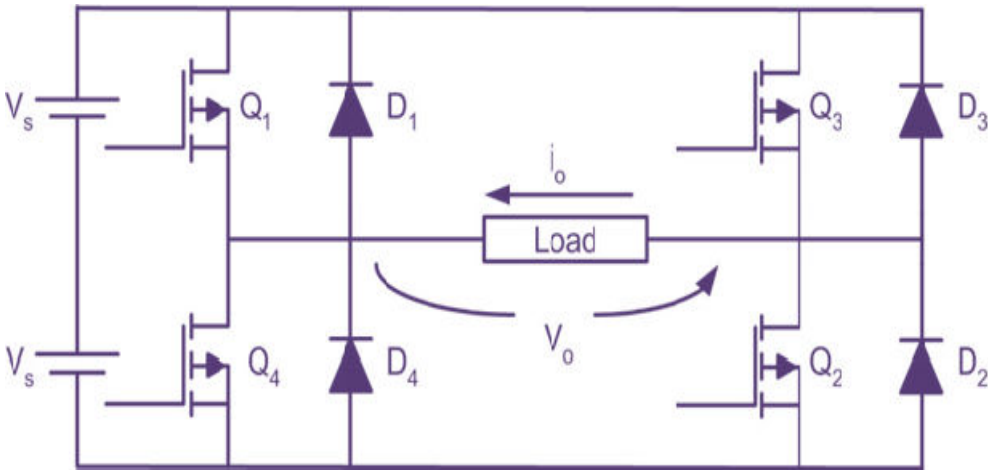
أشكال موجات التيار والجهد لعاكس أحادي الوجه نصف قنطرة مع حمل عبارة عن مقاومة

عاكس قنطرة أحادي الوجه Single Phase Bridge Inverter

يتكون من أربعة عناصر توصيل (موسفت أو ترانزستور قدرة ....الخ) وأربع دايودات يتم توصيلها على شكل قنطرة كما في الشكل (2-24)، حيث يتم تشغيل كل من Q_1, Q_2 معاً فيكون الجهد على أطراف الحمل ($2V_s$)، وعند تشغيل Q_3, Q_4 معاً يظهر الجهد ($-2V_s$) على أطراف الحمل كما في الشكل (2-25) ويستخدم كل من D_1, D_2 كمسار للتيار عند إطفاء Q_3, Q_4 وذلك حتى يصل تيار

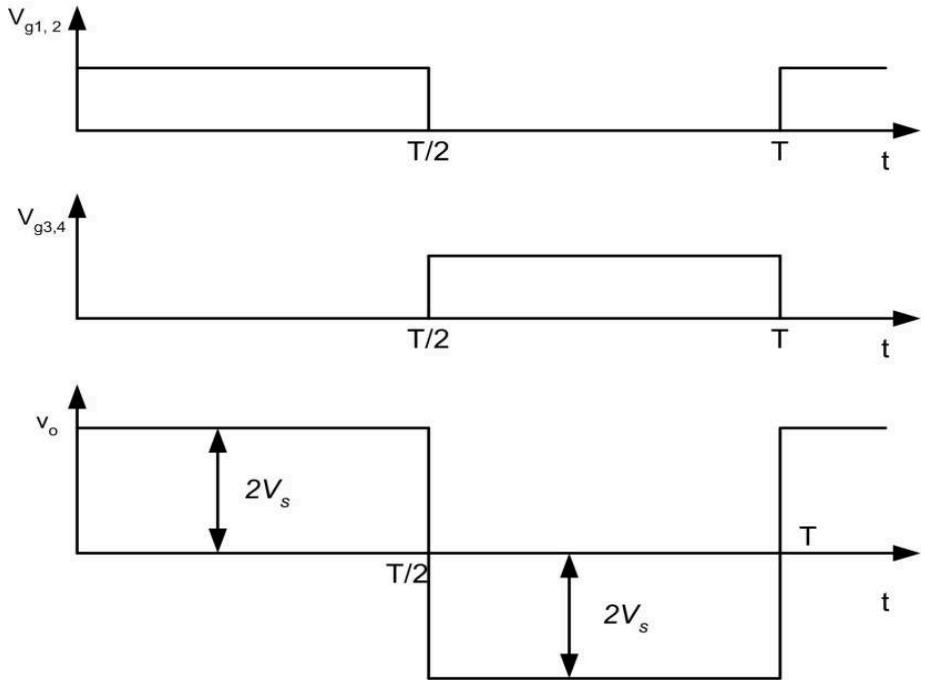
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحمل إلى صفر وفي خلال هذه الفترة تعاد القدرة إلى المصدر، وبالمثل D_3, D_4 يستخدمان لنفس الهدف عند إطفاء Q_1, Q_2.



الشكل (2-24)

عاكس قنطرة أحادي الوجه

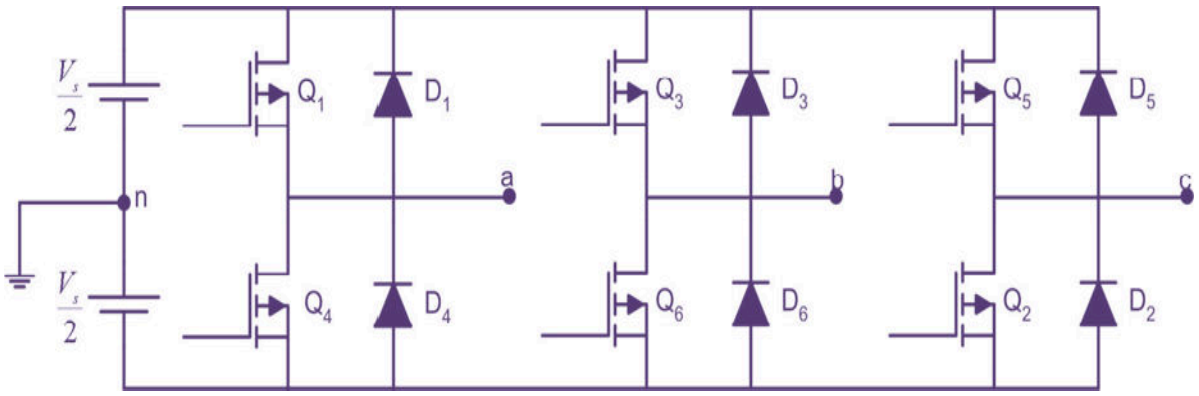


الشكل (2-25)

أشكال موجات التيار والجهد لعاكس قنطرة أحادي الوجه

ويمكن تقسيم العواكس إلى عواكس أحادية الوجه كما في الشكل (2-24) وعواكس ثلاثية الأوجه كما في الشكل (2-26).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (26-2)

عاكس قنطرة ثلاثي الأوجه

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

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

ب. ما 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 الأحادي الوجه النصف المحكوم لتدوير المحرك في اتجاه واحد فقط. ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم لعمل فرملة بإعادة التوليد ☐
- يمكن استخدام الموحد المزدوج الأحادي 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 استخدامات مقطع التيار المستمر من النوع الرافع ؟

السؤال الرابع:

أ. اذكر استخدامات حاكمات الجهد المتناوب.

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الكامل الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة ثم احسب:

أ. زاوية الإشعال إذا كان تيار الحمل 15 Amp

ب. القدرة المسحوبة من المصدر Ps

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

السؤال السادس:

موحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر