المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

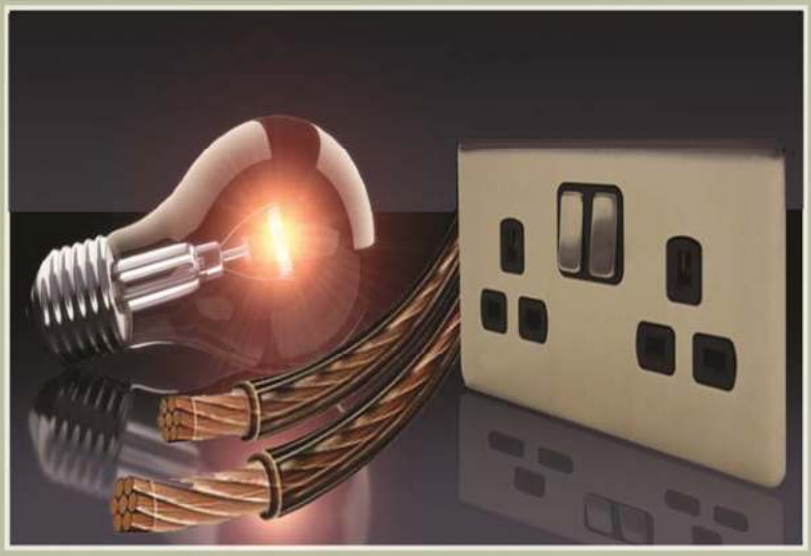
الحقيبة التدريبية:

إلكترونيات القدرة (نظري)

في تخصصات

الآلات والمعدات الكهربائية

والقوى الكهربائية و مشغل لوحة التحكم



مقدمة

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

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني 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 الله ثم 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 للتدريب التقني والمهني 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 "**إلكترونيات القدرة- نظري** " لمتدربي تخصصات " **الآلات والمعدات الكهربائية والقوى الكهربائية ومشغل لوحة التحكم** " 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 وجلً أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم 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

الفهــرس

الموضـــوع	رقم الصفحة
مقدمة	١
الفهــرس	٢
تمهيد	٧
الوحدة الأولى : دوائر الموحدات غير المحكومة	١٠
١,١ مقدمة لإلكترونيات القدرة	١٢
1.2 عناصر إلكترونيات القدرة	١٦
1.2.1 دايود القدرة	١٦
1.2.1.1دايود الأغراض العامة	١٩
1.2.1.2الدايود سريع الاستعادة	١٩
1.2.1.3دايود شوتكي	٢٠
1.3 دوائر التوحيد غير المحكومة	٢١
1.3.1 دوائر التوحيد أحادية الوجه.	٢٢
I.الموحد نصف الموجه أحادي الوجه	٢٢
II.موحد موجه كاملة ذو نقطة وسطية أحادي الوجه	٣٠
III.موحد القنطرة أحادية الوجه	٣٣
١,٣,٢ دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه	٣٧
I.موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه	٣٧
II.موحد القنطرة ثلاثي الأوجه	٤٠
١,٤ دوائر التنعيم والتنقية	٤٣
١,٥ تطبيقات	٤٥
أسئلة الوحدة الأولى	٥١

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الثانية : دوائر الموحدات المحكومة	٥٤
٢,١ الثايرستور	٥٥
٢,١,١ تركيب الثايرستور وتشغيله	٥٥
٢,١,٢ خواص الثايرستور	٥٧
٢,١,٣ طرق إشعال الثايرستور	٥٩
٢,١,٤ طرق إيقاف الثايرستور (الإخماد)	٦١
٢,١,٥ حماية الثايرستور	٦٣
٢,١,٦ أنواع الثايرستور	٦٦
٢,٢ الموحدات المحكومة	٦٩
٢,٢,١ موحد أحادي الوجه نصف الموجه المحكوم	٧٠
I.موحد أحادي الوجه نصف الموجه المحكوم مع حمل مادي	٧٠
II.الموحد الأحادي الوجه نصف الموجه المحكوم مع حمل مادي وحثي	٧٤
٢,٢,٢ موحد أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم	٧٨
٢,٢,٣ موحد أحادي الوجه موجه كاملة محكوم	٨٢
٢,٢,٤ الموحد المزدوج الأحادي	٨٦
٢,٢,٥ موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه محكوم	٨٧
٢,٢,٦ موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة نصف محكوم	٩٢
٢,٢,٧ موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة محكوم	٩٥
٢,٢,٨ موحد مزدوج ثلاثي الأوجه	٩٧
٢,٣ تطبيقات	٩٨
أسئلة الوحدة الثانية	١٠١

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الثالثة : مقطعات التيار المستمر	١٠٤
٣,١ ترانزستور القدرة	١٠٥
٣,١,١ الترانزستور الثنائي القطبية	١٠٦
٣,١,٢ ترانزستور تأثير المجال أكسيد المعدن شبه الموصل	١٠٨
٣,١,٣ الترانزستور الثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة	١١١
٣,٢ مقطعات التيار المستمر	١١٢
٣,٢,١ نظرية عمل مقطعات التيار المستمر	١١٢
٣,٢,٢طرق التحكم بمقطعات التيار المستمر	١١٥
٣,٢,٣أنواع مقطعات التيار المستمر	١١٨
٣,٢,٣,١المقطعات الخافضة	١١٩
٣,٢,٣,٢المقطعات الرافعة	١٢٢
أسئلة الوحدة الثالثة	١٢٤
الوحدة الرابعة : حاكمات الجهد المتردد	١٢٧
٤,١فكرة عمل حاكمات الجهد المتردد	١٢٧
٤,١,١ التحكم في فترات التشغيل والإيقاف	١٢٨
٤,١,٢ التحكم في زاوية إشعال الثايرستور	١٣١
٤,٢ حاكم الجهد المتردد الأحادي الوجه مع حمل مادي وحثي	١٣٣
٤,٣ تطبيقات	١٣٦
٤,٣,١التحكم في شدة الإضاءة	١٣٦
٤,٣,٢التحكم في درجة الحرارة	١٣٧
أسئلة الوحدة الرابعة	١٣٨

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الخامسة : العواكس	١٤١
مقدمة	١٤٢
٥,١ التطبيقات الصناعية للعواكس	١٤٤
٥,٢فكرة عمل العاكس	١٤٥
٥,٣ عاكس مصدر الجهد	١٤٨
٥,٣,١ عاكس نصف قنطرة أحادي الوجه	١٤٨
٥,٣,١,١ حالة الحمل المادي	١٤٩
٥,٣,١,٢ حالة الحمل الحثي	١٥١
٥,٣,٢عاكس قنطرة أحادية الوجه	١٥٦
٥,٣,٢,١حالة الحمل المادي	١٥٦
٥,٣,٢,٢حالة الحمل الحثي	١٦٠
٥,٣,٣ عاكس القنطرة الثلاثي الأوجه	١٦٥
٥,٤ طرق التحكم في جهد خرج العاكس	١٦٧
٥,٤,١تعديل عرض النبضة	١٦٨
٥,٤,١,١تعديل وحيد لعرض النبضة	١٦٨
٥,٤,١,٢تعديل متضاعف لعرض النبضة	١٧٠
٥,٤,١,٣تعديل جيبي لعرض النبضة	١٧١
أسئلة الوحدة الخامسة	١٧٣

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة السادسة : أجهزة الطاقة غير المنقطعة	١٧٦
مقدمة :	١٧٧
٦,١ مكونات أجهزة الطاقة غير المنقطعة	١٧٨
٦,١,١ الموحد	١٧٨
٦,١,٢البطارية	١٨١
٦,١,٢,١شحن البطاريات	١٨٣
٦,١,٣العاكس	١٨٤
٦,١,٣,١فكرة عمل العاكس	١٨٤
٦,٢ أنواع أجهزة الطاقة غير المنقطعة	١٨٩
٦,٢,١الأحادي التغيير	١٨٩
٦,٢,١,١ وضع الاستعداد	١٨٩
٦,٢,١,٢. وضع الاستعداد باستخدام محول الرنين	١٩٠
٦,٢,١,٣.التفاعلي	١٩١
٦,٢,٢ . المصدر المزدوج التغير	١٩٤
أسئلة على الوحدة السادسة	١٩٥
المراجـع	١٩٦

تمهيد

يعتبر علم إلكترونيات القدرة من العلوم المهمة في حياتنا العملية ،إذ لا يخلو أي مصنع من دائرة من الدوائر المتعددة لإلكترونيات القدرة، وحتى المنزل حيث تحتوي بعض الأجهزة المنزلية على مثل تلك الدوائر. وكذلك السيارة التي نستعملها لا تخلو من هذه الدوائر.

المقصود بإلكترونيات القدرة هي تلك الدوائر، التي تحتوي على عنصر أو أكثر من عناصر أشباه الموصلات الإلكترونية، التي يمكنها التعامل مع قدرات عالية، بحيث يمكن استخدامها في مجال القوى الكهربائية. حيث تستخدم دوائر إلكترونيات القدرة للحصول على منبع قدرة بمواصفات خاصة للجهد والتردد. حيث يمكن التحويل من صورة إلى أخرى لمصدر القدرة، فمثلا يمكن الحصول على جهد متغير التردد والقيمة من جهد ثابت القيمة والتردد. ويمكن أيضاً الحصول على جهد مستمر من منبع جهد متردد، كما يمكن أيضاً التحويل من جهد مستمر إلى جهد متردد متغير القيمة والتردد. ولهذا أهمية كبيرة في التحكم في المعدات الكهربائيةوتوليد ونقل وتوزيع القدرة الكهربائية. وخلاصة القول يمكن تعريف إلكترونيات القدرة بأنهاتطبيقات استخدام العناصر الإلكترونية ذات القدرات العالية للتحكم في دوائر القدرة الكهربائية ، وكذلك تحويل الطاقة الكهربائي.

إن المجالاتالتي تطبق دوائر إلكترونيات القدرة شتى ،فعلى سبيل المثال لا الحصر تستخدم إلكترونيات القدرة في التسخين الكهربائيوالتحكم في الإضاءةوالتحكم في المحركات الكهربائية، وآلات الجر الكهربائيةونقل القدرة بالتيار المستمرومصدر القدرة ضد انقطاع التيار الكهربائيUPS، ومنظمات الجهدوالأجهزة المنزلية الحديثة ،مثل الثلاجات والغسالات وأجهزة التكييفوالتحكم في درجات الحرارةوفي المناجم وصناعات الحديد، والتحكم في إشارات المرور، وفي خطوط الإنتاج في المصانع الكبيرة.

إن هذه الحقيبة تشتمل وحدات عديدة وفيها:

- الوحدة الأولى وفيها سنتعرف على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة بكثرة في العديد من التطبيقات الصناعية والأغراض العامة. أيضاً سوف نتعرف على عنصر دايود القدرة وكيفية عمله ،ثم نشرح تركيب وطريقة عمل دوائر التوحيد غير المحكومة، حيث نتعرف على الأنواع المختلفة لتلك الدوائر وكيفية حساب القيمة المتوسطة للجهد

وكذلك معاملات الأداء المهمة، وأيضاً سنتعرف على كيفية تنعيم الجهد الخارج من تلك الدوائر وأهم تطبيقاتها.

- وتحتوي الوحدة الثانية على دوائر التوحيد المحكومة، حيث يمثل الثايرستور العنصر أساسي للتحكم، وسوف نعرض دوائر الموحدات المحكومة الأحادية الوجه والثلاثية الأوجه، ودراسة تأثير زاوية الإشعال للثايرستور على الجهد الخارج وذلك مع حمل مادي وحمل حثي. وفي نهاية الوحدة سوف نعرض أهم التطبيقات لتلك الدوائر.
- أما الوحدة الثالثة فتبين كيفية تحويل الجهد المستمر ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة، وذلك باستخدام دوائر مقطعات التيار المستمر، سوف نقدم في البداية شرح عن عنصر الترانزستور وكيفية عمله ،ثم نتعرف على الأنواع المختلفة لمقطعات التيار المستمر، ثم بعد ذلك نوضح فكرة عمل تلك المقطعات واستخدام الترانزستور في الدوائر المختلفة.
- أما الوحدة الرابعة فتقدم دوائر حاكمات الجهد المتردد أو كما تسمى أحيانا مقطعات التيار المتردد، حيث نعرض فكرة عمل تلك الدوائر وأنواعها المختلفة وكيفية التحكم في الجهد المتردد الثابت القيمة، وتحويله إلى جهد متردد متغير القيمة، وسوف نعرض أيضاً تطبيق تلك الدوائر للتحكم في الإضاءة ودرجات الحرارة.
- أما الوحدة الخامسة فتقدم دوائر العاكس، حيث يستخدم لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد متغير القيمة والتردد. وسوف نعرض دوائر العاكس الأحادية الوجه والثلاثية الأوجه مع شرح لفكرة العمل. كما نوضح أهم التطبيقات لتلك الدوائر.
- في حين تتعرض الوحدة السادسة لأجهزة الطاقة غير المنقطعة ، حيث نتعرف على أنواعها المختلفة ومكوناتها واستخداماته، ومن ثم نلقي الضوء على دوائر شحن البطاريات .

إن هذا المقرر مفيد للمتدرب لفهم نظرية عمل وتكوين دوائر إلكترونيات القدرة، كما يساعد المتدرب على كيفية تهيئة منبع جهد ذي مواصفات خاصة، علاوة على ذلك يعين المتدرب على تشخيص الأعطال الشائعة لدوائر إلكترونيات القدرة ،وكل ذلك يفيد المتدرب الذي سوف يعمل في المجالات الصناعية. وعلى المتدرب أن يكون لديه إلمام بالمبادئ الأساسية للدوائر الكهربائية والمبادئ الأساسية للعناصر الإلكترونية ،حتى تعينه على استيعاب وفهم هذا المقرر بسهولة ويسر.

إن دراسة هذا المقرر تمكن المتدرب من:

١. الإلمام بخواص عناصر إلكترونيات القدرة.
٢. الإلمام بكيفية استخدام عناصر إلكترونيات القدرة في بناء الدوائر الكهربائية.
٣. الإلمام بتطبيقات دوائر إلكترونيات القدرة المختلفة في الصناعة.
٤. الإلمام بأنواع الحماية المطلوبة لدوائر إلكترونيات القدرة .
٥. القدرة على فحص دوائر إلكترونيات القدرة وتحديد الأعطال وإصلاحها.

الوحدة الأولى

دوائر الموحدات غير المحكومة

الهدف العام للوحدة: دراسة الموحداتغير المحكومة وتأثير دوائر التنعيم والتنقية على الجهد الخارج من تلك الموحدات . التعرف على أهم التطبيقات للموحدات غير المحكومة في المجال الصناعي.

الأهداف التفصيلية:

١. أن يتعرف المتدرب على أنواع دوائر إلكترونيات القدرة .
٢. أن يتعرف المتدرب على العناصر المستخدمة في دوائر الموحدات غير المحكومة .
٣. أن يدرس المتدرب الخواص الكهربائية لدايود القدرة .
٤. التعرف على تطبيقات دايود القدرة.
٥. أن يتعرف المتدرب على أنواع الموحدات غير المحكومة.
٦. أن يدرس المتدرب أداء الموحدات .
٧. أن يدرس المتدرب تأثير دوائر التنعيم والتنقية على الجهد الخارج من الموحدات .
٨. أن يلم المتدرب بأهم التطبيقات لدوائر الموحدات .
٩. أن يشخص المتدرب الأعطال لدوائر التوحيد .

١,١مقدمة لإلكترونيات القدرة :

ترجع ثورة الإلكترونيات الأولى إلى عام ١٩٤٨م عندما تم اختراع الترانزستور السليكوني، تلاه اختراع الثايرستور عام ١٩٥٦م.أما الثورةالثانية فقد بدأت عام ١٩٥٨م عندما تم تطوير وإنتاج الثايرستور بالشكل تجاري. منذ ذلك الحين بدأ انتشار إلكترونيات القدرة في كثير من التطبيقات الصناعية وازدادت الأهمية مع التقدم المستمر في علم الحواسيب والإلكترونيات الدقيقة، حيث أمكن التحكم في دوائر إلكترونيات القدرة لتتعامل مع كمية قدرة كبيرة بكفاءة عالية.

سنتعرف على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة بكثرة في العديد من التطبيقات الصناعية والأغراض العامة. أيضاً سوف نتعرف على عنصر دايود القدرة وكيفية عمله ثم نشرح تركيب وطريقة عمل دوائر التوحيد غير المحكومة، حيث نتعرف على الأنواع المختلفة لتلك الدوائر وكيفية حساب القيمة المتوسطة للجهد وكذلك معاملات الأداء المهمة، وأيضاً سنتعرف على كيفية تنعيم الجهد الخارج من تلك الدوائر وأهم تطبيقاتها.

دوائر إلكترونيات القدرةPowerElectronic Circuits

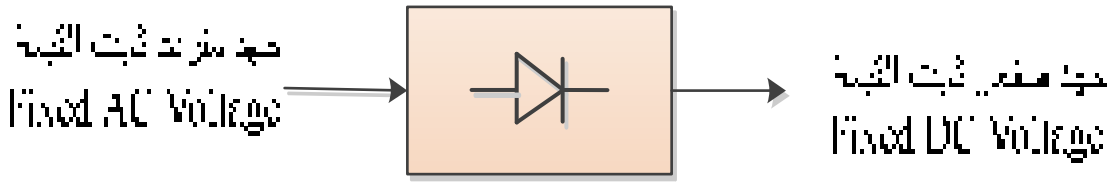
تستخدم دوائر إلكترونيات القدرة لتهيئة المصدر الكهربائي ليتناسب مع متطلبات الحمل. وتمتاز تلك الدوائر بصغر الحجم والوزن والكفاءة العالية. وتحتوي دوائر إلكترونيات القدرة على عناصر أشباه الموصلات(Semiconductors) ذات القدرة والتي يتم التحكم فيها عن طريق دوائر إلكترونية مساعدة.

يمكن تقسيم دوائر إلكترونيات القدرة طبقاً لوظيفة كل منها إلى خمسة أنواع رئيسة هي:

١. الموحدات غير المحكومة و المحكومة Uncontrolled& controlled Rectifiers
٢. حاكمات الجهد المتردد. AC Voltage Controllers
٣. مقطعات التيار المستمر. DCChoppers
٤. العواكس . Inverters

أولاً / الموحدات غير المحكومة Uncontrolled Rectifiers

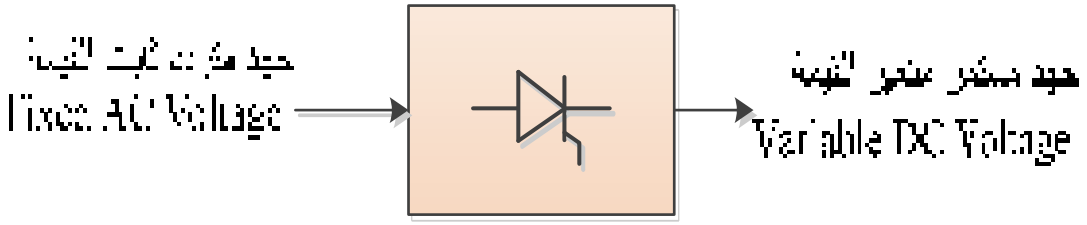
تستخدم دوائر الموحدات غير المحكومة لتحويل الجهد المتردد ثابت القيمة إلى جهد مستمر ثابت القيمة، ويمكن أن يكون الجهد المتردد أحادي الوجه أو ثلاثي الأوجه ، ويستخدم عنصر الدايود(Diode)في هذه نوع من الدوائر كما هو موضح في شكل(1-1).



الشكل (1-1) الموحد غير المحكوم.

ثانياً / الموحدات المحكوم. Controlled Rectifiers

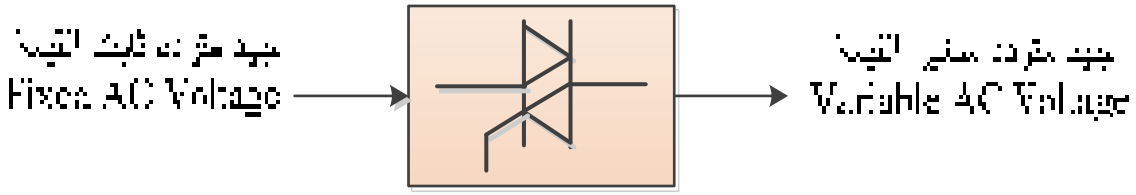
دوائر الموحداتالمحكومة تقوم بتحويلالجهد المتردد ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة ، ويمكن أن يكون الجهد المتردد أحادي الوجه أو ثلاثي الأوجه، والعنصر المستخدم بكثرة في هذه الدوائر هو الثايرستور (Thyristor) هو موضح في شكل(1-2) .للموحدات المحكومة عدة تطبيقات صناعية مثل التحكم في محركات التيار المستمر ومصادرالقدرة للتيار المستمر وكذلكفي أجهزة شحن البطاريات.



الشكل (١- ٢)الموحدالمحكومControlled Rectifier..

ثالثاً / حاكمات الجهد المتردد. AC Voltage Controllers

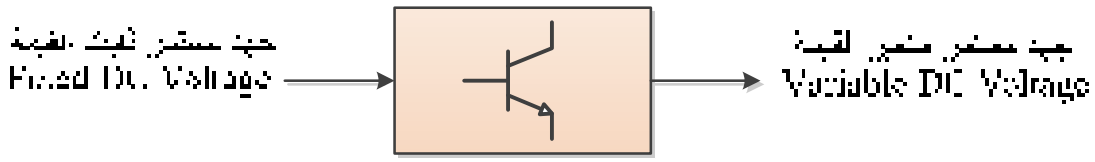
وظيفة حاكم الجهد المتردد هي الحصول على جهد متردد متغير القيمة من جهد متردد ثابت القيمة كما هو موضح في شكل(١-٣)، ويستخدم عنصر الثايرستور في دوائر حاكمات الجهد المتردد ذات القدرات العالية، أما في حالة القدرات المنخفضة فيستخدم الترياك(Triac) بكثرة لرخص ثمنه وسهولة تصميم دوائر التحكم الخاصة به . ولحاكمات الجهد المتردد العديد من التطبيقات المهمة مثل التحكم في الإضاءة والتحكم في سرعة المحركات الحثية وكذلك التحكم في درجات الحرارة.



الشكل (١-٣) حاكم الجهد المتردد.
AC Voltage Controller.

رابعاً / مقطعات التيار المستمر DC Choppers

تقوم بتحويلالجهد المستمر ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة . في الماضي كان الثايرستور هو العنصر المستخدم في دوائر مقطعات التيار المستمر ولكن الآن يستخدم الترانزستور (Transistor)في هذا النوع من الدوائر كما هو موضح في شكل (١-٤). وأحد تطبيقات مقطعات التيار المستمر التحكم في محركات التيار المستمر والتي تغذى من بطاريات أو منبع جهد مستمر ثابت القيمة.

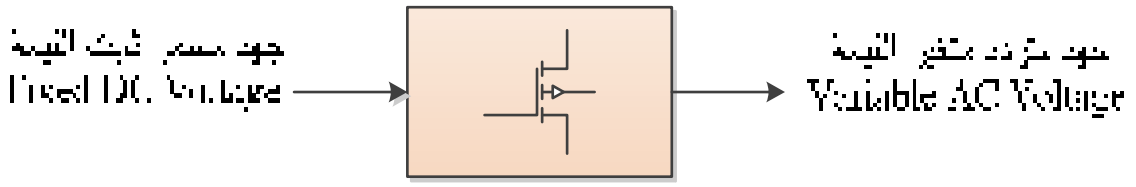


الشكل (١- ٤) مقطع التيار المستمر.DC Chopper.

خامساً / العواكس Inverters

الهدف الاساسي من العواكس هي تحويل التيار المستمر ثابت القيمة إلى تيار متردد متغير القيمة والتردد كما في شكل (١-٥). ويمكن الحصول على جهد متردد أحادي الوجه ويسمى العاكس في هذه الحالة عاكساً أحادي الوجه كما يمكن الحصول على جهد متردد ثلاثي الأوجه من جهد مستمر ويسمى العاكس في هذه الحالة عاكساً ثلاثي الأوجه.

ويمكن استخدام الثايرستور أو الترانزستور في دوائر العاكس ولكن يفضل استخدام الترانزستور نظراً لسهولة تصميم دوائر التحكم ومرونة استخدامه وكذلك العمل عند ترددات عالية وبساطة دائرة القدرة. ويستخدم العاكس على نطاق واسع في التحكم في محركات التيار المتردد والتسيير الكهربائي، كما يستخدم أيضاً في دوائر مصدر القدرة ضد انقطاع التيار والتي تعرف باسم أجهزة UPS.



الشكل (١- ٥) عاكس.Inverter

تحتوي دوائر إلكترونيات القدرة المشار إليها على عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة العالية موصلة معاً بطريقة خاصة لكي تعطي الوظيفة المطلوبة منها. وتحتاج دوائر إلكترونيات القدرة إلى خبرة عالية ومهارة علمية لتصميمها الذي ينقسم إلى أربعة أقسام :

- تصميم دائرة القدرة وتحديد مقننات العناصر المستخدمة.
- تصميم دوائر الحماية الخاصة بعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة.
- حساب طريقة أو استراتيجية التحكم اللازمة.
- تصميم دوائر المنطق أو دوائر الإشعال الخاصة بالعناصر المستخدمة في دائرة القدرة.

وسوف يتناول المنهج بالتفصيل دوائر إلكترونيات القدرة كلاً على حدة من حيث التركيب والتشغيل ونظرية العمل وكذلك كيفية التصميم وذلك من خلال الوحدات المختلفة.

١,٢.عناصر إلكترونيات القدرة Power Electronic Elements

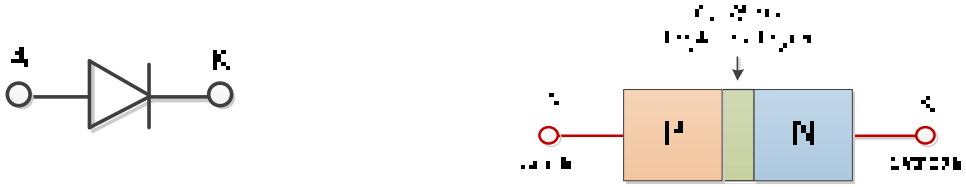
تستخدم عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة في دوائر إلكترونيات القدرة، ونتيجة للتطور الهائل في صناعة أشباه الموصلات تم استحداث عناصر جديدة ذات قدرات عالية وسرعات قفل وفتح فائقة تعد بالميكرو ثانية مما أدى إلى تصميم دوائر إلكترونية ذات مقدرة على تهيئة المنبع الكهربائي والتحكم فيه حسب المطلوب منه. ولكل عنصر من عناصر أشباه الموصلات خصائصه التي يتميز بها والتي بناءً عليه يتحدد مدى ملاءمة كل منها لمختلف التطبيقات العملية.

تتميز عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة بقدرتها على تبديل كميات كبيرة من القدرة بالإضافة إلى قدرتها على تحمل جهود عالية قد تصل إلى 5 kV وتيارات عالية قد تفوق 4 kA. وسنكتفي هنا بالتعرف على دايود القدرة ثم سنتطرق في الوحدات الأخرى على بقية العناصر شائعة الاستخدام.

١,٢,١. دايودالقدرة Power Diode

يعتبر دايود القدرة حجر الأساس في معظم دوائر إلكترونيات القدرة، وهو يعمل كمفتاح إلكتروني لأداء وظائف مختلفة، فمثلاً يستخدم كموحد للتيار المتردد، كما يستخدم في بعض الأحيان كدايود للمسار الحر (Freewheeling diode).

تتألف البنية الداخلية النموذجية للدايود من الوصلة الثنائية (P-N) تتكون من جزء يحمل شحنات سالبة N وجزء يحمل شحنات موجبة P وبينهما منطقة صغيرة تسمى منطقة الاستنزاف.وللدايودطرفان طرف يدعى الأنود (Anode) ويرمز له بالحرف Aوطرف يدعى الكاثود(Cathode) ويرمز له بالحرف Kكما هو مبين في شكل(١- ٦ أ)ويرمز للدايود بالرمز المبين في شكل (١- ٦ ب).

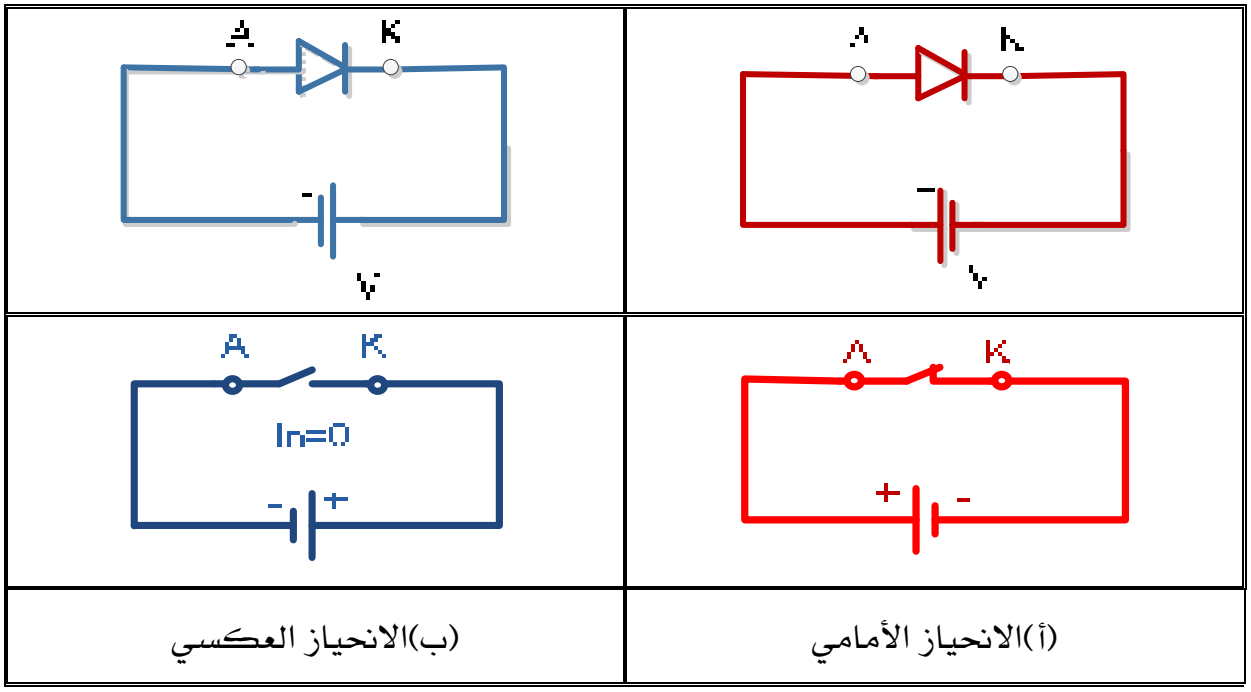


(ب) (أ)

الشكل (١- ٦) بنية الدايود الداخلية ورمزه .

عندما يكون جهد الأنود Aموجباً بالنسبة لجهد الكاثود Kنقول في هذه حالة أن الدايود في حالة انحياز أمامي (Forward Bias)كما هو موضح في شكل (١- ٧أ) ، وفيها يسمح الدايود بمرور التيار الكهربائي من خلاله لأن المقاومة الأمامية ما بين الأنود والكاثود تكون صغيرة . أما الجهد المفقود على أطراف الدايود فتعتمد قيمته على طرق تصنيع ودرجه حرارة الوصلة الثنائية وعادة لا يتعدى هذا الجهد1.2V.

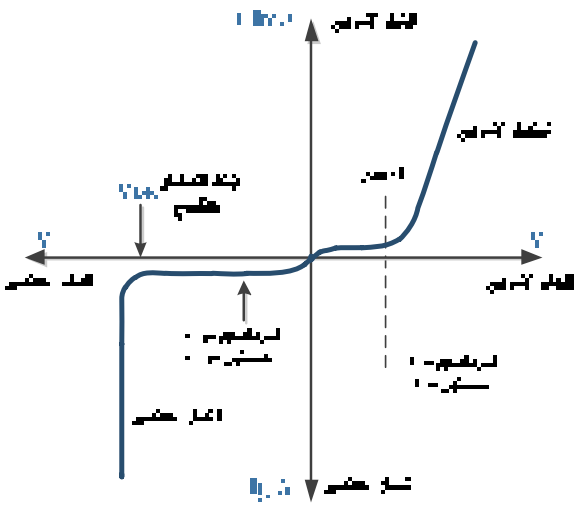
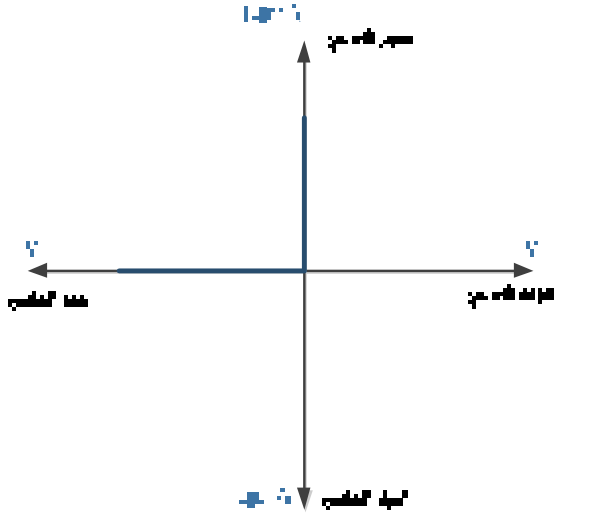
أما عندما يكون جهد الأنود Aسالباً بالنسبةلجهد الكاثود K ، فيقال في هذه الحالة أن الدايود في حالة انحياز عكسي(Reverse Bias)وفيها يمر تيار عكسي من الكاثود إلى الأنود يعرف بتيار التسرب(LeakageCurrent) ، وعادة قيمة هذا التيار صغيرة جداً وتقدر بالميكرو أو بالملي أمبير. وتزداد قيمة التيار العكسي بزيادة الجهد العكسي ،حتى يصل الجهد العكسي إلى جهد الانهيار(V_{BR}) المحدد للدايود فيمر تيار عكسي قيمته عالية جداً تفقد الدايود خصائصه، ويوضح شكل (١- ٧ب) التوصيل العكسي للدايود.



(أ)الانحياز الأمامي	(ب)الانحياز العكسي

الشكل (1-7) طرق توصيل الدايود.

يوضح شكل(1-8) منحنى خواص الدايود الفعلي (Practical) ، وفي معظم التطبيقات يمكن اعتبار الدايود مثالياً(Ideal) أي لا يوجدبه فقد جهد أثناء الانحياز الأمامي ويكون تيار التسرب مساوياً للصفر في حالة الانحياز العكسي كما هو موضح في شكل (1-9). ويمثل منحنى الخواص العلاقة بين تيار الأنود (I_A)والجهد على أطراف الدايود (V_{AK}).

	
الشكل(1-8) منحنى الخواص الاستاتيكية لدايود القدرة الفعلي.	الشكل (1-9) منحنى الخواص الاستاتيكية لدايود القدرة المثالي.

ولدايودات القدرة ثلاثة أنواع رئيسية تتحدد خصائص وحدود كل نوع حسب التطبيق،وهي كما يلي :

١- دايود الأغراض العامة General Purpose Diode
٢- دايود سريع الاستعادة Fast Recovery Diode
٣- دايود شوتكي Schottky Diode

١,٢,١,١ دايود الأغراض العامة General Purpose Diode

يعرف بالدايود السليكوني ويستخدم في الأغراض العامة ذات الترددات المنخفضة(أقل من 1kHz) والتي لا يمثل فيها زمن الاستعادة تأثيراً حرجاً على سرعة الفتح والقفل ،حيث يكون زمن الاستعادة عادةً في حدود 25µs.ويستخدم عادةً في دوائر توحيد التيار المتردد ومغيرات القدرة التي تعمل عند تردد منخفض، وهو رخيص الثمن ومتوفر بمقننات عالية من الجهد والتيار تصل إلى 5kV وعدة آلاف من الأمبيرات قد تصل إلى أكثر من 3kA.

ويمكن أن تدمج عدة دايودات معاً لتكون قنطرة توحيد وفي هذه الحالة تكون مقننات الجهد والتيار في حدود 1kv و300A . ويوضح شكل(1-10) عدة أشكال لدايود الأغراض العامة والذي يستخدم في كثير من التطبيقات بقدرات ومقننات مختلفة.

الشكل (1-10) دايود الأغراض العامة(من شركة بوركسPowerex).

١,٢,١,٢ الدايود سريع الاستعادة Fast Recovery Diode

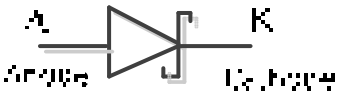
صممت البنية الداخلية لهذا النوع من الدايودات من أجل زيادة سرعة الاستعادة التي تصل إلى أقل من 5µs لذلك كثيراً ما يستخدم في الدوائر ذات الترددات العالية للفتح والقفل . ويتوفر هذا النوع من الدايودات بمقننات تصل إلى 3kV وعدة مئات من الأمبيرات قد تصل إلى 1kA.و للدايود سريع الاستعادة بعض العيوب،منها زيادة هبوط الجهد الامامي له، وارتفاع ثمنه بالمقارنة بدايود الأغراض العامة. ويوضح شكل (1-11) عدة أشكال من هذا النوع بمقننات مختلفة.

الشكل (1-11) أشكال مختلفة لدايود سريع الاستعادة .

١,٢,١,٣ دايود شوتكي Diode Schottky

يحقق دايود شوتكي تبديلاً سريعاً وفقاً لبنيته الداخلية الخاصة، حيث يتم استبدال الوصلة P-N بموحد شوتكي الذي يتميز بوجود منطقة مجردة صغيرة جداً، وبما أن الشحنة المخزونة فيه قليلة جداً، فإن هذا سيجعل موحد شوتكي عنصراً سريعاً جداً بالمقارنة مع الوصلة P-N، إلا أن سعة وصلة شوتكي أكبر من سعة الوصلة P-Nويمكن أن تحد من سرعة تبديله من التوصيل إلى الفصل والعكس.

ويوضح شكل (1-12) رمز دايود شوتكي . كما يتميز موحد شوتكي بتيار تسرب عالي مما يحد من القيمة الاسمية لجهد الحجز (Voltage Blocking) ولذلك تستخدم موحدات شوتكي للعمل عند جهود أقل من 200 v، وتيار قد يصل إلى 300A، لذلك فهي ملائمة للتطبيقات ذات التيار العالي والجهد المنخفض. ويوضح شكل (1-13) دايود شوتكي بمقننات مختلفة .



الشكل (1-12) رمز دايود شوتكي.

الشكل (1-13) دايود شوتكي بمقننات مختلفة.

١,٣ دوائر التوحيد غير المحكومة Uncontrolled Rectifier Circuits

دوائر التوحيد (الموحدات) تقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ، والموحدات التي تستخدم دايود القدرة يطلق عليها الموحدات غير المحكومة، وذلك لأنها تعطي جهد خرج مستمر وثابت القيمة طالما كان جهد الدخل ثابت.

يعتبر الدايود عنصراً مناسباً لدوائر التوحيد غير المحكومة بسبب خاصية التوصيل في اتجاه واحد، وتصنف الدوائر بناءً على :

١. عدد الأوجه (وجه واحد أو ثلاثي الأوجه).
٢. شكل موجه الخرج (نصف موجه أو موجه كاملة).

سنستعرض بعض دوائر التوحيد مع افتراض أن الدايود له خواص مثالية، ويعرف الدايود المثالي بأن مقاومته للتيار في الاتجاه الأمامي تساوي الصفر، بينما مقاومته للتيار في الاتجاه العكسي ما لا نهاية ، كما أنه يوصل تياراً إذا كان فرق الجهد بين الأنود والكاثود موجباً ،أي أن جهد الأنود أعلى من جهد الكاثود، وفي حالة التوصيل يكون فرق الجهد على طرفيه مساوياً للصفر. وهذا الافتراض مقبول في دوائر إلكترونيات القدرة ،حيث جهود وتيارات الدائرة كبيرة على عكس دوائر الإلكترونيات الدقيقة، حيث جهود وتيارات الدائرة صغيرة. وبذلك يمكن إهمال الفقد في الجهد على الدايود، والذي عادة لا يتعدى 1.2v ، مقارنة بجهد الدائرة والذي يقدر بعشرات الفولتات.

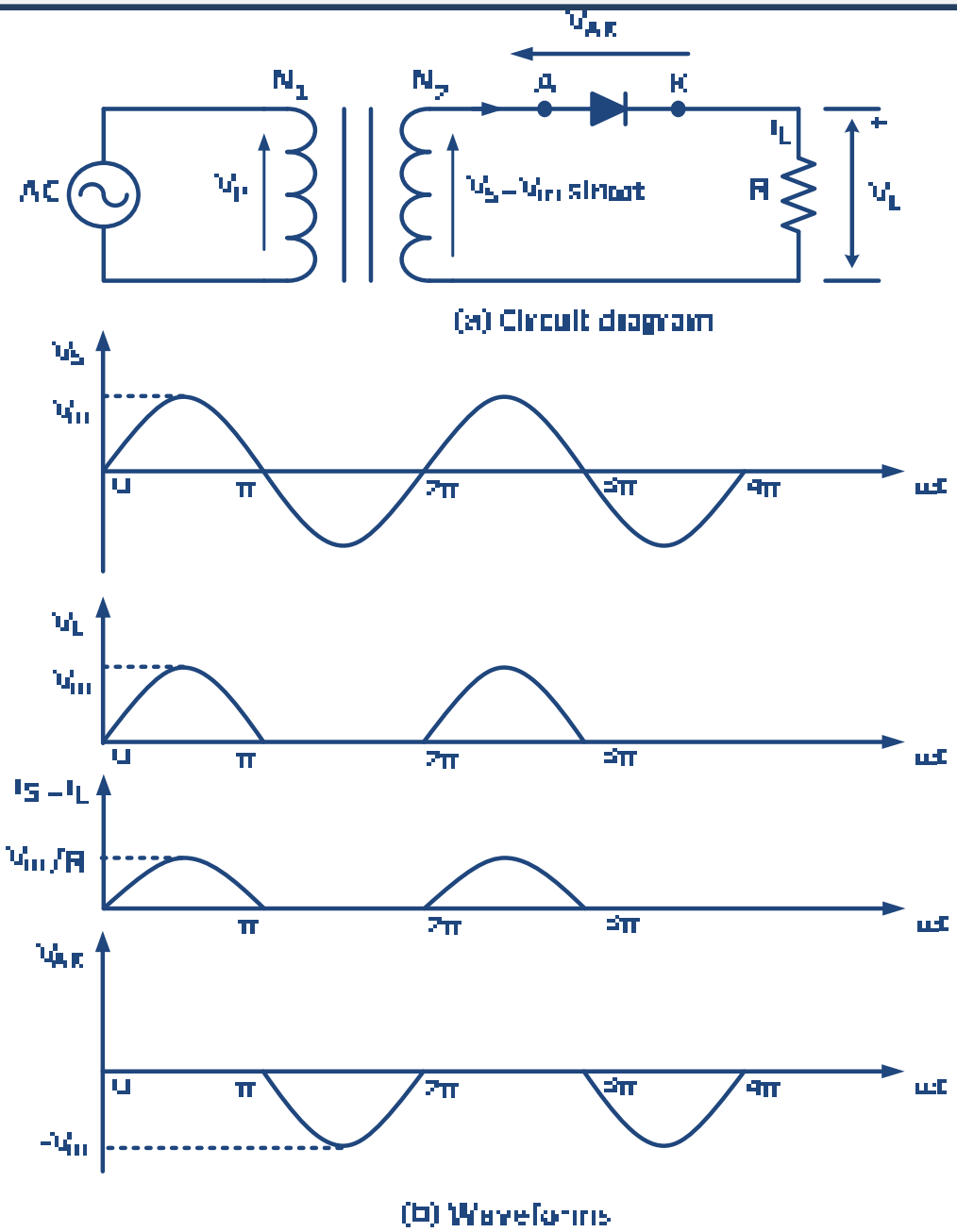
١,٣,١. دوائر التوحيد أحادية الوجه Single-phase Rectifier Circuits.

تصنف دوائر التوحيد أحادية الوجه من حيث شكلموجه الخرج إلى دوائر توحيد نصف موجه، ودوائر توحيد موجه كاملة. ويوجد شكلان لدوائر توحيد الموجه الكاملة، وهما الموحد ذو النقطة الوسطية(Center-tap-Rectifier) وموحد القنطرة (Bridge Rectifier). وسوف نستعرض بالشرح والتحليل الدوائر المختلفة للموحداتأحادية الوجه.

I. الموحد نصف الموجه أحادي الوجه The Single-phase Half-wave Rectifier

تعتبر هذه الدائرة من أبسط دوائر الموحدات ولكنها لا تستخدم في التطبيقات الصناعية، وذلك نظراً لأنها تسبب مركبة تياراً مستمراً(DC Component) بالمصدر المتردد مما يحدث آثاراً ضارة جداً بالمحولات والمولدات المتصلة بالشبكة الكهربائية، ولكن دراسة هذه الدائرةستفيد في فهم عمل دوائر الموحدات بصفة عامة.

يوضح شكل(1-14) دائرة توحيد نصف موجه أحادي الوجه موصلة بمصدر تيار متردد من خلال محول كهربائي خافض أو رفع للجهد حسب حاجة الحمل.ونوع الحمل في هذه الدائرة عبارة عن حمل مادي.



الشكل (1-14) دائرة توحيد نصف موجه أحادية الوجه وأشكال موجات التيار والجهد.

نفرض أن جهد الملف الثانوي يعطى بالعلاقة:

$$v_s(t) = V_m \times \sin(\omega . t) \qquad \textbf{1-1}$$

عندما يكون هذا الجهد موجباً أي في الفترة من 0 إلى π، ومن 2π إلى 3π يصبح الدايود في حالة انحياز أمامي ويوصل تياراً إلى الحمل. وبإهمال الهبوط في الجهد عبر الدايود، يصبح تيار الحمل يساوي :

$$i_L(t) = \frac{v_s(t)}{R} = \frac{V_m \times \sin(\omega . t)}{R} \qquad \textbf{2-1}$$

وفي حالة توصيل الدايود يظهر جهد الملف الثانوي v_s (t) على الحمل كما هو مبين في شكل موجه الحمل $V_L(t)$ بالشكل(1-14).

أما عندما يكون جهد الملف الثانوي سالباً أي في الفترة من π إلى 2π ، ومن 3πإلى 4π يصبح الدايود في حالة انحياز عكسي ولا يوصل تياراً إلى الحمل، ويكون جهدالحمل (الخرج) في هذه الحالة مساوياً للصفر.

ونلاحظ أن جهد الحمل خلال دورة كاملة أصبح موحداً أي في اتجاه واحد كما هو مبين في شكل(1-14) الذي يوضح ايضاً الجهد عبر الدايود (V_{AK}):

$$v_{AK}(t) = (v_s(t) - v_L(t)) \qquad \textbf{3-1}$$

خلال فترة توصيل الدايود يكون الجهدV_{AK}(t) مساوياً للصفر، أما في حالة عدم التوصيل يظهر الجهد السالب للمصدر على أطراف الدايود. ولذلك يراعى عند اختيار الدايود أن يتحمل أقصى جهد عكسي مسلط عليه وهو ما يعرف بـ (Peak Inverse Voltage-PIV).

يلاحظ أن جهدالحمل(الخرج) مكون من مركبة DC بالإضافة إلى تموج AC. ويمكن حساب مركبة DC فقط أي القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_{av} عن طريق تكامل موجه الخرج وذلك حسب المعادلة التالية:

$$V_{av} = \frac{1}{2 \times \pi} \int_0^{\pi} V_m \times \sin(\omega.t) \times \ d(\omega.t) \qquad \textbf{4-1}$$

$$V_{av} \ = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 \times V_m \qquad \textbf{5-1}$$

ويمكن أيضاً حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل I_{av} من العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \ \frac{V_m}{\pi \times R} \qquad \textbf{6-1}$$

يمكن حساب القدرة المتوسطةالمستهلكة في الحمل (P_{oav})من العلاقة التالية:

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = I_{av}^2 \times R \ = \frac{V_{av}^2}{R} \qquad \textbf{7-1}$$

أيضاً يمكن حساب القيمة الفعالة لجهد الحمل كالتالي :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_m \times \sin(\omega.t))^2 \, d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{(1 - \cos(2.\omega.t))}{2} d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{4\pi} \times \left| (\omega.t) - \frac{\sin(\,2 \times \omega \times t)}{2} \right|_0^{\pi}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \ 0.5 \times V_m \qquad \textbf{8-1}$$

أما القيمة الفعالة لتيار الحمل فيمكن حسابه بدلالة الجهد كالتالي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \ \frac{0.5 \times V_m}{R} \qquad \textbf{9-1}$$

بإهمال القدرة المفقودة في الدايود ، يمكن اعتبار أن القدرة الداخلة للدائرة P_{in} هي القدرة الفعالة المفقودة في مقاومة الحمل ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} = I_{rms}^2 \times R = \frac{V_{rms}^2}{R} \qquad \textbf{10-1}$$

كما سبق يمكن اعتبار أن الجهد الموحد الاتجاه عبارة عن مركبة جهد مستمر بالإضافة إلى مركبة جهد متردد وهي ما تعرف بالتموج (Ripple)، ويمكن حساب القيمة الفعالة لمركبة الجهد المتردد V_{ac} من العلاقة التالية:

$$V_{ac} = \sqrt{{V_{rms}}^2 - {V_{av}}^2} \qquad \textbf{11-1}$$

حساب معاملات الأداء لدائرة التوحيد :

١. **كفاءة دائرة التوحيد (η): تعطي من العلاقة التالية:**

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} \times 100 \qquad \textbf{12-1}$$

٢. **معامل شكل الموجه FF**: هو مقياس لشكل موجه الخرج، أي مدى قربها من الجهد المستمر ويعطى بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} \qquad \textbf{13-1}$$

٣. **معامل التموج (Ripple Factor)** : يمكن قياس فاعلية عملية التوحيد بإيجاد معامل التموج لموجه جهد الخرج والذي يحسب بالعلاقة التالية :

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{av}}$$

$$RF = \frac{\sqrt{{V_{rms}}^2 - {V_{av}}^2}}{V_{av}} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{av}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} \qquad \textbf{14-1}$$

٤. **معامل الاستخدام للمحول (Transformer Utilization Factor-TUF-) :**

يعتبر من معاملات الأداء المهمة لدوائر التوحيد ، حيث يحدد مقننات المحول المستخدم في دوائر التوحيد. ويمكن حساب هذا المعامل من العلاقة التالية:

$$\mathrm{TUF} = \frac{P_{o(av)}}{V_s \times I_s} \qquad \textbf{15-1}$$

حيث إن:

$$V_{s(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{s(rms)} = \frac{V_{s(rms)}}{R}$$

حيث تمثل V_s القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول، أما I_s فيمثل القيمة الفعالة لتيار الملف الثانوي.

مثال 1-1:

للدائرة الموضحة في شكل(1-14)، إذا كان الجهد الفعال على الملف الابتدائي للمحول 220V ونسبة التحويل للمحول ($a = N_1/N_2$) تساوي ٥ وقيمة مقاومة الحمل 10 Ω احسب:

١. القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل .
٢. القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل .
٣. القدرة المستهلكة في الحمل .
٤. القدرة المسحوبة من المصدر .
٥. كفاءة الدائرة .
٦. أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود .
٧. معامل الاستخدام للمحول .

الحـــل :-

المعطيات : $V_P = 220\ v$ ، $a = \frac{N_1}{N_2} = 5$ ، $R = 10\ \Omega$

قانون نسبة التحويل للمحول :

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_P}{V_S}$$

١.القيمة الفعالة لجهد الثانوي:

$$V_S = \frac{N_2 \times V_P}{N_1} = \frac{1 \times 220}{5} = 44\ v$$

القيمة العظمى لجهدالثانوي:

$$V_m = \sqrt{2} \times V_S = \sqrt{2} \times 44 = 62.23\ v$$

القيمة المتوسطة لجهدالثانوي:

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{62.23}{\pi} = 19.8\ v$$

القيمة المتوسطة لتيار الثانوي:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{19.8}{10} = 1.98\ A$$

٢.القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \frac{62.23}{2} = 31\ v$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{31}{10} = 3.1\ A$$

٣.القدرة المتوسطة المستهلكة في الحمل

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = 19.8 \times 1.98$$
$$= 39.204 \ W$$

٤.القدرة المسحوبة من المصدر

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} = 31 \times 3.1$$
$$= 96.1 \ W$$

٥.كفاءة الدائرة

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} \times 100 = \frac{39.204}{96.1} \times 100$$
$$= 40.8\%$$

٦. أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود

$$PIV = V_m = 62.23 \ V$$

٧. معامل الاستخدام للمحول

$$TUF = \frac{P_{o(av)}}{V_s \times I_s} = \frac{39.204}{44 \times 3.112} = 0.286.$$

$$1/TUF = 1/0.286 = 3.496.$$

ملاحظة

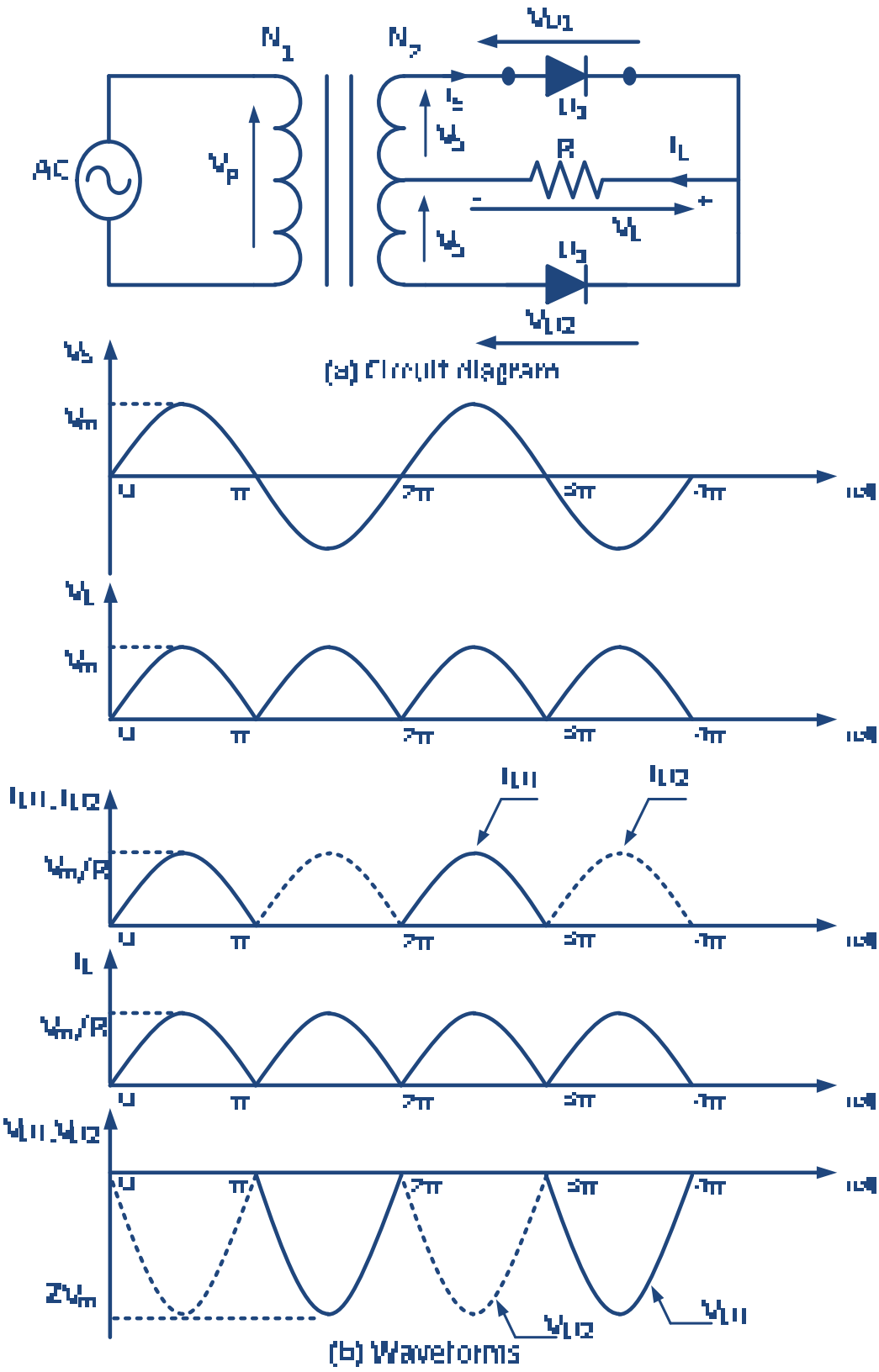
أن :**1/*TUF*=3.496**يعني أنه يجب استخدام محول في دائرة التوحيد يتحمل قدرة تساوي ٣,٤٩٦ من القيمة المقننة للقدرة المطلوبة للحمل من منبع الجهد المتردد. كما يجب أيضاً ملاحظة أن المحول يحمل تياراً مستمراً نظراً لتوحيد نصف الموجه وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى تشبع المحول وينتج مشاكل للشبكة الكهربائية.

II. موحد موجه كاملة ذو نقطة وسطية أحادي الوجه :

Single-phase Full-wave Center-tap Rectifier

يوضح شكل(1-15) دائرة موحدذو نقطة وسطية وكذلك شكل موجات الخرج. وتتميز هذه الدائرة بأنها تحتاج فقط إلى زوج واحد من الدايود ،يوصل كل منهما بالتبادل خلال نصف الموجه، وبذلك نحصل على الموجه الكاملةالموحدة الاتجاه. ففي نصف الموجه الموجبة للمنبع يكون الجهد للنهاية العليا في الملف الثانوي للمحول موجباً وبذلك يوصل الدايود D_1 حيث يكون في حالة انحياز أمامي بينما الدايود D_2 في حالة انحياز عكسي، ويكون جهد الخرج على الحمل مساوياً للجهد V_s ، ويكون الجهد العكسي المسلط على الدايود D_2 مساوياً لجهد الملف الثانوي $(2V_S)$، لذا يكون الدايود D_2 في حالة عدم توصيل.

أما عند نصف الموجه السالب للمنبع تكون النهاية السفلى للملف الثانوي موجبة ،وبذلك يصبح الدايود D_2 في حالة انحياز أمامي ويوصل التيار إلى الحمل ،أما الدايود D_1 فيكون في حالة انحياز عكسي ،وبذلك يصبح التيار المار في الحمل موحد الاتجاه. ولكن يعيب هذه الدائرة ضرورة وجود محول للحصول على نقطة وسطية، والاستفادة تكون فقط من نصف جهد الملف الثانوي.



الشكل (1-15) موحد موجه كاملة ذو نقطة وسطية.

يمكن إيجاد القيمة المتوسطة لجهد الحمل V_{av} من العلاقة التالية:

$$V_{av} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \times \sin(\omega \times t).\, d(\omega.t) \qquad \textbf{16-1}$$

$$V_{av} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366 \times V_m \qquad \textbf{17-1}$$

ويمكن أيضاً حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل I_{av} من العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{2 \times V_m}{\pi \times R} \qquad \textbf{18-1}$$

أيضاً يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على الحمل على الوجه الآتي:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (V_m \times \sin(\omega.t))^2\, d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{\pi}\int_0^{\pi} \frac{(1-\cos(2\times\omega\times t))}{2}\, d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{2\pi} \times \left(\omega t - \frac{\sin(2\times\omega\times t)}{2}\right)_0^{\pi}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \times V_m \qquad \textbf{19-1}$$

أما القيمة الفعالة للتيار المار في الدايود(تيار الحمل) فيمكن حسابها بدلالة الجهد كالتالي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{\sqrt{2} \times R} \qquad \textbf{20-1}$$

يتضح من المعادلة (١-١٧) أن قيمة الجهد المتوسط لحمل موحدالموجه الكاملة يساوي ضعف الجهد لموحد نصف الموجه، ولكن الدايود يتعرض لجهد عكسي PIV يساوي أيضاً ضعف الجهد لدايود الموحد نصف الموجه مما يزيد من مقننات الدايود.

يمكن حساب معاملات الأداء لموحدالموجه الكاملة بنفس العلاقات والقوانين المستخدمة لموحد نصف الموجه. مع مراعاة استخدام المعادلات من(١-١٢) إلى (١-١٥) لحساب تلك المعاملات.

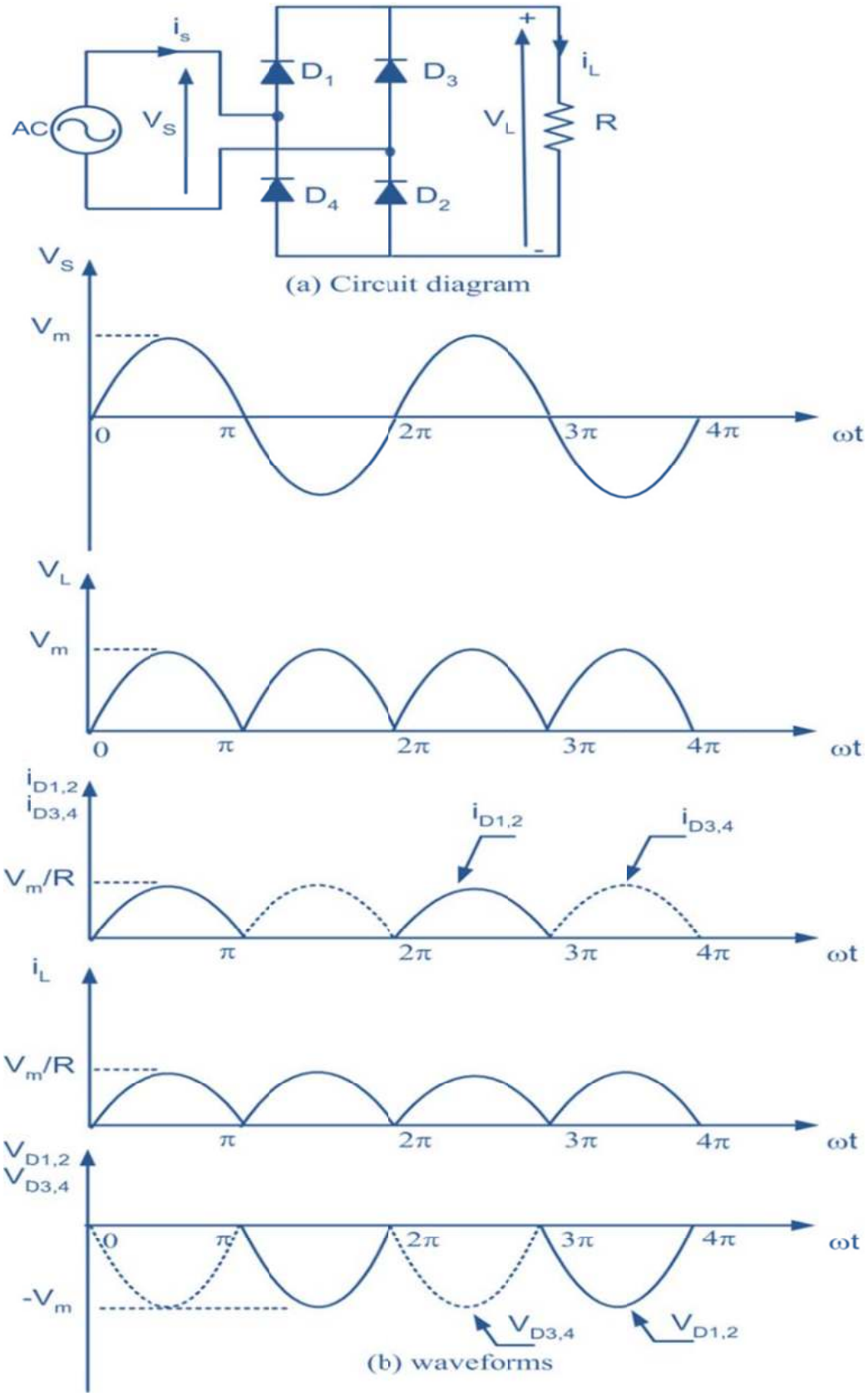
III. موحد القنطرة أحادية الوجه Single-phase Full-wave Bridge Rectifier

يعتبر موحد القنطرة أحادية الوجه من أهم موحدات الموجه الكاملة، ولا يمكن الاستغناء عن المحول في موحد القنطرة إلا إذا كانت قيمة جهد المنبع المتردد غير مناسبة لقيمة الجهد المستمر المطلوب، أو غير مناسبة لمقننات الدايود، ولكن هذا الموحد يحتاج إلى أربعة دايودات.

يوضح شكل (1-16) دائرة هذا الموحد وكذلك شكل موجات الجهود والتيارات في الدائرة. عندما يكون جهد المنبع V_s موجباً أي من الفترة 0 إلى π يصبح الدايود D_1 في حالة انحياز أمامي ويمر تيار خلال الدايود D_1 إلى الحمل ثم من خلال الدايود D_2 إلى المنبع مرة أخرى. ويكون الجهد العكسي المسلط على D_4 , D_3 مساوياً للجهد V_s.

أما عندما يصبح جهد المنبع V_s سالباً أي من الفترة π إلى 2π يصبح الدايود D_3 في حالة انحياز أمامي ويمر تيار خلال الدايود D_3 إلى الحمل في نفس الاتجاه السابق ثم من خلال الدايود D_4 إلى المنبع مرة أخرى. ويكون الجهد العكسي المسلط على D_2 , D_1 مساوياً للجهد V_s. ونلاحظ أن التيار المار في الحمل i_L موحد الاتجاه في جميع حالات التوصيل.

تستخدم نفس العلاقات لحساب الجهود والتيارات كما في حالة موحد الموجه الكاملة ذوالنقطة الوسطية. ويجب ملاحظة أن الدايود في موحد القنطرة يتعرض لجهد عكسيPIV يساوي نصف الجهد الذي يتعرض له الدايود في الموحد ذوالنقطة الوسطية، مما يقلل من مقننات الدائرة. إلا أن استخدام أربعة دايودات يزيد نسبياً من تكلفة الدائرة، وكذلك من الجهد الأمامي المفقود على الدايود.



الشكل(1-16) موحد القنطرة أحادية الوجه.

مثال 1-2 :

للدائرة الموضحة في شكل(1-16)، إذا كان جهد المنبع 44 v وقيمة مقاومة الحمل 10 Ω احسب ما يلي :

١. كفاءة الدائرة .
٢. معامل شكل الموجه.
٣. معامل التموج.
٤. أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود.

الحـــــل :-

المعطيات : $V_s = 44\ V R = 10\Omega$

١. كفاءة الدائرة .

$$V_m = \sqrt{2} \times V_s = \sqrt{2} \times 44 = 62.23\ v$$

$$V_{av} = \frac{2 \times V_m}{\pi} = \frac{2 \times 62.23}{\pi} = 39.6\ v$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{39.6}{10} = 3.96\ A$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{62.23}{\sqrt{2}} = 44\ v$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{44}{10} = 4.4\ A$$

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = 39.6 \times 3.96 = 156.8\ W$$

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} = 44 \times 4.4 = 193.6\ W$$

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} = \frac{156.8}{193.6} = 0.81. \ => \ \eta\ (\%) = 81\%.$$

٢. عامل شكل الموجه.

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{44}{39.6} = 1.11. => \ FF\ (\%) = 111\%.$$

٣. معامل التموج.

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{1.11^2 - 1} = 0.48$$

$$RF\ (\%) = 48\%.$$

٤.أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود.

$$PIV = V_m = 62.23\ v$$

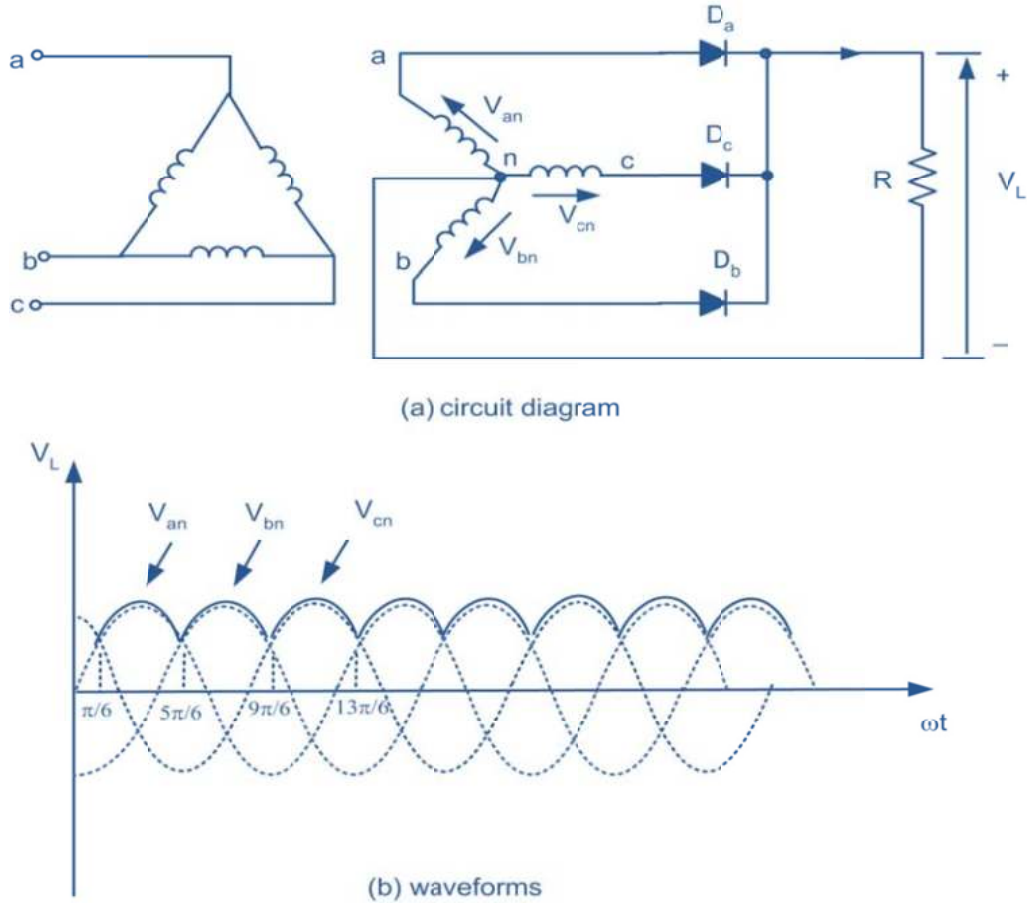
يتضح من النتائج أن أداء موحد القنطرة أفضل من أداء موحد نصف الموجه، حيث الكفاءة أعلى وتشوه موجه الخرج أقل. أيضاً موحد القنطرة يعطي جهداً أعلى من الموحد نصف الموجه.

١,٣,٢. دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه Three-phase Rectifier Circuits

عرفنا من خلال الجزء (1-3-1) أن أقصى جهد مستمر يمكن الحصول عليه من دوائر التوحيدالأحادية الوجه ذات الموجه الكاملة هو($0.6366\times V_m$) المعادلة(١-١٧)، وهذا الجهد مناسب لتطبيقات حتى15 kW ،أما إذا أردنا الحصول قدرات أعلى فلا بد من استخدام دوائر توحيد ثلاثية الأوجه. وتنقسم دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه إلى نوعين: دوائر توحيد نصف موجه ، ودوائر توحيد موجه كاملة. وعادة تعطي دوائر توحيد الموجه الكاملة ضعف الجهد الذي تعطيه دوائر التوحيد نصف الموجه.

I. موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه The Three-phase Half-wave Rectifier

شكل(1-17) يبين دائرة موحد نصف موجه ثلاثية الأوجه، حيث يستخدم دايود مع كل وجه من الأوجه الثلاثة لمنبع الجهد المتردد ويستلزم أن يكون مصدر الجهد ذو أربعة أطراف. ويوصل الحمل بين النقطة المشتركة لخرج الدايودات الثلاثة وبين خط التعادل N للمصدر كما هو موضح بالشكل.



الشكل (1-17) موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه.

الدايود D_a يوصل تياراً في الفترة من $\pi/6$ إلى $5\pi/6$ وذلك عندما يكون جهد V_a أعلى من جهد الوجهين الآخرين (V_c)و (V_b)، أيضاً يوصل الدايود D_b عندما يكون جهد V_b أعلى من جهد الوجهين الآخرين، وبالمثل يوصل الدايود D_c عندما يكون جهد V_c أعلى من جهد الوجهين الآخرين. ويتضح من شكل موجات الخرج أن كل دايود يوصل $(2\pi/3)$ $120°$.

ويمكن حساب القيمة المتوسطة لجهد الحمل من العلاقة التالية:

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi/3}\int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \times \sin(\omega.t).d(\omega t)$$

$$V_{av} = \frac{3\sqrt{3} \times V_m}{2 \times \pi} = 0.827 \times V_m \qquad \textbf{21-1}$$

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل من العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{0.827 \times V_m}{R} \qquad \textbf{22-1}$$

ويمكن حساب القدرة المستهلكة في الحمل (قدرة الخرج) من العلاقة :

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} \qquad \textbf{23-1}$$

كما يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد والتيار كما يلي :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (V_m \times \sin(\omega.t))^2 \, d(\omega t)}$$

$$V_{rms} = 0.84068 \times V_m \qquad \textbf{24-1}$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{0.84068 \times V_m}{R} \qquad \textbf{25-1}$$

وبالتالي يمكن حساب القدرة الفعالة المسحوبة من المصدر(قدرة الدخل) من العلاقة :

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} \qquad \textbf{26-1}$$

ويمكن كتابة معادلات الأداء للموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجه كما يلي:

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{avg}^2} \qquad \textbf{27-1}$$

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} \times 100 = 96.8\ \% \qquad \textbf{28-1}$$

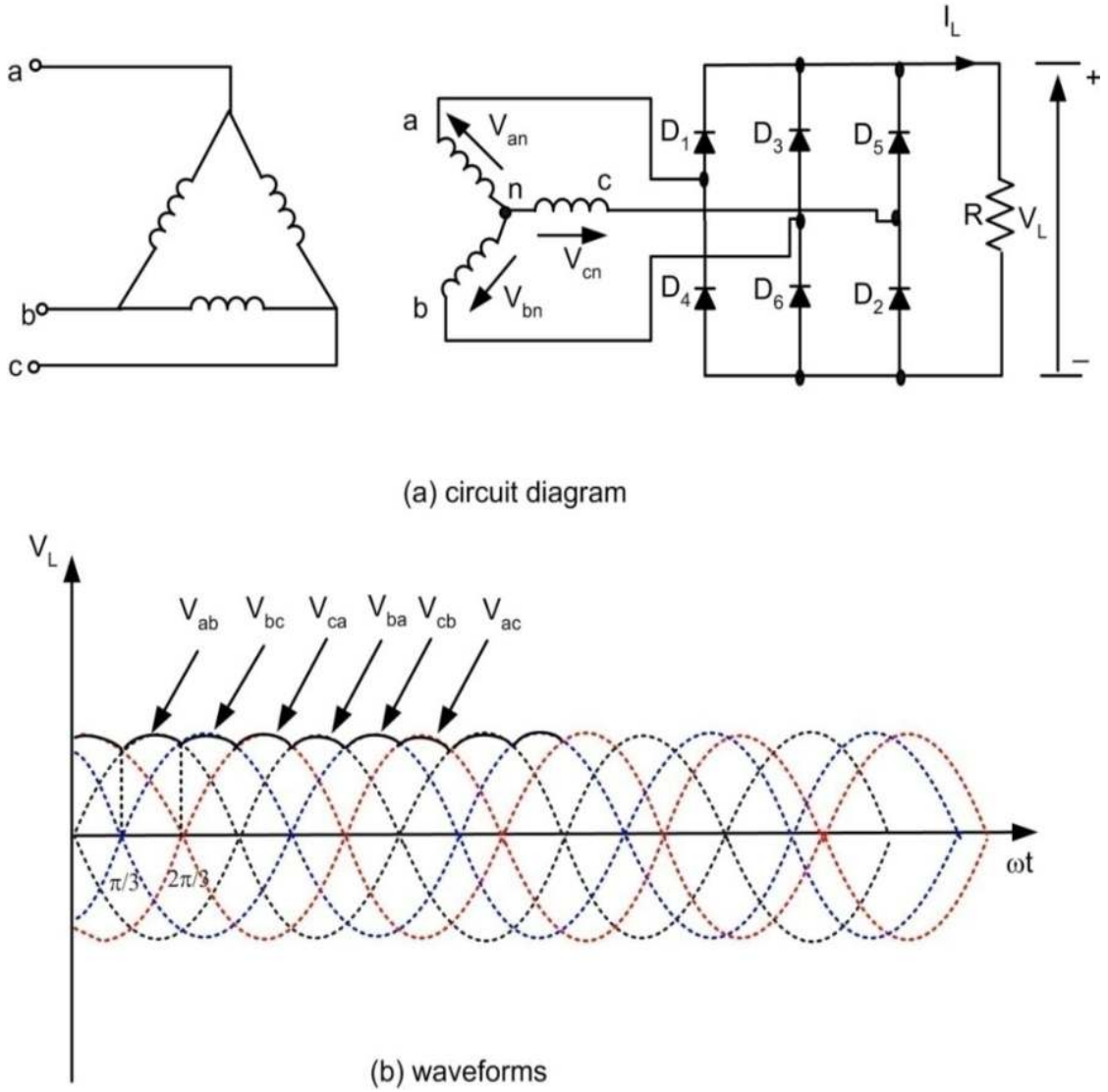
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = 1.017 \qquad \textbf{29-1}$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = 0.185 = 18.5\% \qquad \textbf{30-1}$$

$$TUF = 0.6643 = 66.43\% \qquad \textbf{31-1}$$

II. موحد القنطرة ثلاثي الأوجهThree-Phase Bridge Rectifier

تستخدم قنطرة التوحيد ثلاثي الأوجه في معظم التطبيقات ذات القدرات المرتفعة حيث تعطي جهداً وقدرة أعلى من دائرة توحيد نصف الموجه. وهي تعتبر دائرة توحيد موجه كاملة. ويبين شكل(1-18) ترتيب الدايودات لتشكل قنطرة التوحيد ثلاثية الأوجه، ويكون توصيل التيار في الدايودات على حسب التتابع التالي: D_1D_2, D_2D_3, D_3D_4,D_4D_5, D_5D_6 وD_6D_1 .



الشكل (١- ١٨) موحد القنطرة ثلاثي الأوجه.

هـذا ويمكـن اعتبـار القنطـرة عبـارة عـن دائرتـي توحيـد نصـف موجـه متصـلتين علـى التـوالي ،وبـذلك يكـون الجهـد الخـارج مـن القنطـرة ضـعف الجهـد الخـارج مـن دائـرة التوحيـد نصـف الموجه ،وتعطي القيمة المتوسطة للجهد الخارج من القنطرة بالعلاقة التالية:

$$V_{av} = \frac{1}{\pi/3}\int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3}V_m \times \sin(\omega t).\, d(\omega t)$$

$$V_{av} = \frac{3\sqrt{3} \times V_m}{\pi} = 1.654 \times V_m \qquad \textbf{32-1}$$

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل من العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{1.654 \times V_m}{R} \qquad \textbf{33-1}$$

ويمكن حساب القدرة المستهلكة في الحمل من العلاقة :

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} \qquad \textbf{34 -1}$$

بينما حساب القيمة الفعالة للجهد والتيار كما يلي :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\frac{2\pi}{6}}\int_{\pi/3}^{2\pi/3} (V_m \times \sin(\omega t))^2 \times d(\omega t)} \qquad \textbf{35-1}$$

$$= 1.655 \times Vm$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{1.655 \times V_m}{R} \qquad \textbf{36-1}$$

وبالتالي يمكن حساب القدرة الفعالة المسحوبة من المصدرمن العلاقة :

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} \qquad \textbf{37-1}$$

ويمكن كتابة معادلات الأداء لموحد القنطرة ثلاثي الأوجه كما يلي:

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{av}^2} = 0.0575 \times V_m \qquad \textbf{38-1}$$

39-1

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} = 99.83\ \%$$

40-1

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = 1.0008 = 100.08\%$$

41-1

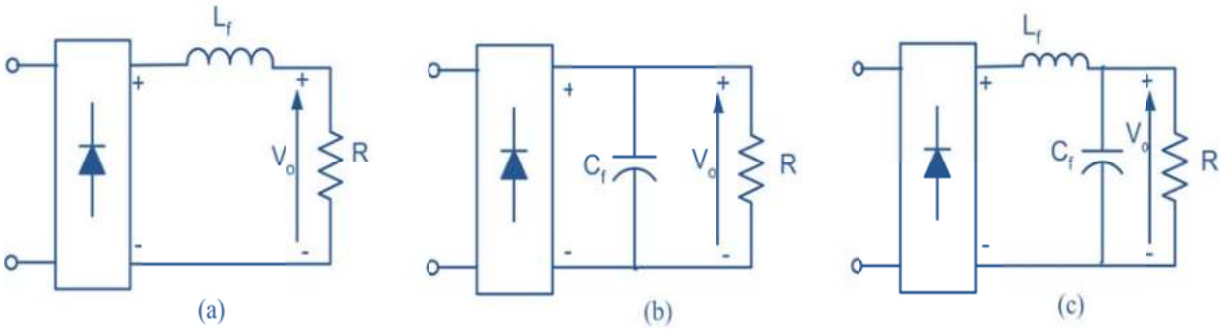
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = 0.04 = 4\%$$

42-1

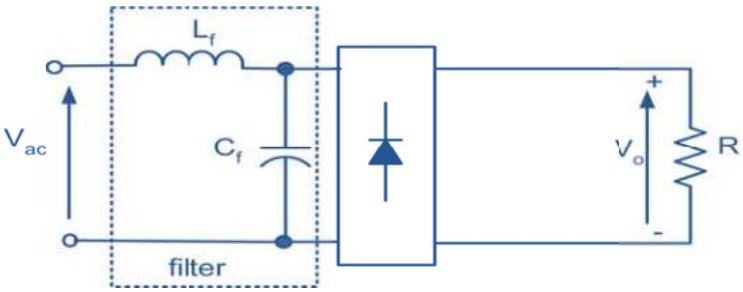
TUF = 0.9542 = 66.43%

١,٤. دوائر التنعيم والتنقية Filter Circuits

يتضح من خلال دوائر التوحيد السابقة أن الجهد الموحد الاتجاه المسلط على الحمل يحتوي على تموجات (Ripples) وهذه التموجات يعبر عنها معامل التموج ومعامل شكل الموجه كما سبق ذكره. وللحصول على جهد مستمر ثابت القيمة تستخدم دوائر تنعيم وتنقية (Filters) وذلك لمنع وصول التموجات إلى الحمل. وتسمى أحياناً دائرة التنعيم بالمرشح، هذا ويستخدم المرشح لتنعيم الجهد المستمر المسلط على الحمل. والمرشح المستخدم ،لذلك يعرف بمرشح التيار المستمر (DCFilter). وعادة يكون مرشح التيار المستمر إما محاثة L أو مكثف C أو محاثة ومكثف LC كما هو موضح في شكل(1-19).أيضاً يمكن أن يستخدم مرشح تيار متردد (ACFilter) ناحية منبع التيار المتردد ،حيث يمكن أن يتشوه جهد المصدر نتيجة عملية التوحيد. ويوضح شكل(١-٢٠) مرشح تيار متردد من نوع محاثة ومكثف LC.

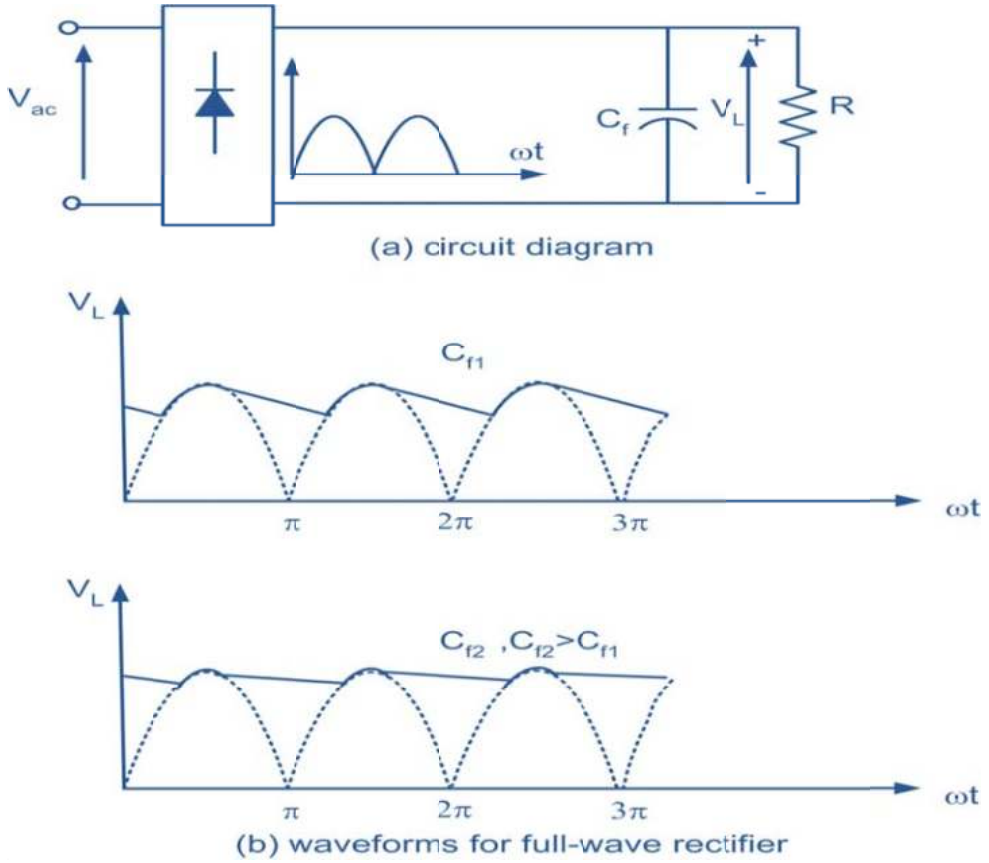


الشكل (1-19) دوائر تنعيم التيار المستمرDC Filters



الشكل (1-20) دوائر تنعيم التيار المتردد AC Filters

يستخدم عادة مرشح التيار المستمر من نوع المكثف شكل(1-19b) في دوائر



الشكل (1-21) دائرة تنعيم تيار مستمرلموحد موجه كاملة.

يمكن حساب قيمة جهد التموج من القمة إلى القمة كما يلي :

$$V_{r(pp)} = \frac{V_m}{2 \times f \times R \times C_f} \qquad \textbf{43-1}$$

وبالتالي القيمة الفعالة لجهد التموج :

$$V_{ac} = \frac{V_m}{4\sqrt{2} \times f \times R \times C_f} \qquad \textbf{44-1}$$

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة لجهد الحمل من العلاقة التالية:

$$V_{av} = V_m - \frac{V_{r(pp)}}{2} = V_m - \frac{V_m}{4 \times f \times R \times C_f}$$

$$= V_m \times (1 - \frac{1}{4 \times f \times R \times C_f}) \qquad \textbf{45-1}$$

التوحيد سواء كانت توحيد نصف موجه أو موجه كاملة. ويوضح شكل(١-21) استخدام مرشح تيار مستمر مع دائرة توحيد موجه كاملة. كما يبين الشكل أيضاً تأثير تغير قيمة المكثف على شكل موجه الخرج. فكلما زادت قيمة سعة المكثف قل التموج في موجه جهد الخرج حيث $C_{f2}>C_{f1}$. وبتلك الطريقة نجعل قيمة جهد خرج الموحد تقريباً ثابتة. ويمكن القول أن الجهد الموحد قد تحول إلى جهد مستمر بمفهومه المعروف، خاصة عند استخدام منظم (مثبت) للجهد وذلك للحصول على قيمة ثابتة من الجهد المستمر V_{dc}.

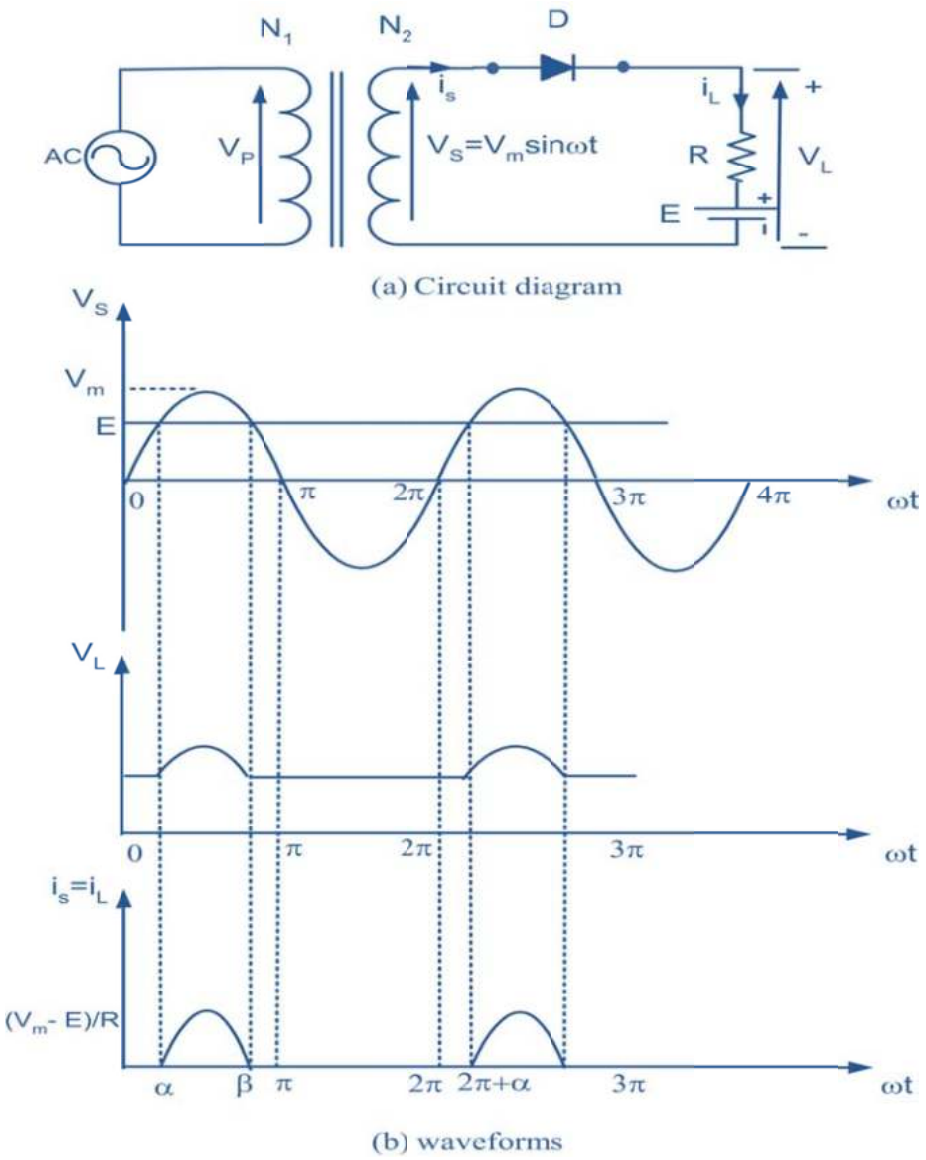
حيث يمثل f قيمة التردد للموجه الموحدة وهي ضعف تردد المنبع في حالة دوائر توحيد الموجه الكاملة، ويساوي تردد المنبع في حالة دوائر توحيد نصف الموجه.

وتوضح المعادلة أن قيمة الجهد المتوسط تزداد بزيادة قيمة السعة للمكثف C_f. ويمكن أيضاً حساب معامل التموج لجهد الحمل من العلاقة التالية:

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{av}} \qquad \textbf{46-1}$$

١,٥. تطبيقات Applications.

من أهم تطبيقات دوائر التوحيد استخدامها كشاحن للبطاريات. كما تستخدم دوائر التوحيد لتغذية محركات التيار المستمر، حيث يتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر مناسب لتغذية هذه المحركات. كما تستخدم أيضاً كمرحلة مهمة في دوائر التحكم في سرعة المحركات الحثية، حيث تغذي عاكسات التيار التي تحول التيار المستمر إلى تيار متردد متغير الجهد والتردد، علاوة على ذلك تستخدم دوائر التوحيد لشحن بطاريات أجهزة مصدر القدرة ضد انقطاع التيار UPS، وكذلك كشافات إنارة الطوارئ. الشكل (١-٢٢) يوضح دائرة موحد نصف موجه لشحن بطارية ذات جهد E . وفي الشكل يوصل الدايود تياراً عندما يكون جهد الأنود أكبر من جهد الكاثود، أي أنه عندما يكون جهد الملف الثانوي V_s أعلى من جهد البطارية E. وتكون فترة التوصيل من الزاوية α إلى الزاوية β.



الشكل (1-22) دائرة شحن بطارية.

ويمكن حساب الزاوية α والزاوية β كالتالي:

$$E = V_m \times \sin(\alpha) \qquad \textbf{47-1}$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الزاوية αكدالة في جهد البطارية وجهد المصدر.

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{E}{V_m}\right) \qquad \textbf{48-1}$$

عندما يصبح جهد الملف الثانوي V_s أقل من جهد البطارية، يُطفأ الدايود وذلك عند الزاوية β التي يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\beta = \pi - \alpha \qquad \textbf{48-1}$$

وبذلك يمكن حساب تيار الشحن من العلاقة التالية:

$$i_L(t) = \frac{V_s(t) - E}{R} = \frac{V_m \times \sin(\omega t) - E}{R} \quad \ldots\ldots (\alpha < \omega t < \beta) \qquad \textbf{50-1}$$

حيث يمثل التيار i_L القيمة اللحظية لتيار الحمل، ومن المعادلة (**50-1**) يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الشحن (تيار الحمل المتوسط) حسب العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} \frac{(V_m \times \sin(\omega t) - E)}{R} \times d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2.\pi.R} \left| -V_m \times \cos(\omega t) - E(\omega t) \right|_{\alpha}^{\beta}$$

$$I_{av} = \frac{1}{2\pi \times R}[(2 \times V_m \times \cos\alpha) + (2 \times E \times \alpha) - (\pi \times E)] \qquad \textbf{51-1}$$

مثال 1-3

في الشكل (١-٢٢) إذا كان جهد البطارية 12 v وسعتها 100 Wh والقيمة المتوسطة لتيار الشحن5A وجهد المنبع 120 V ونسبة التحويل للمحول 1:2 ، احسب التالي: -

١. زاوية التوصيل للدايود.
٢. قيمة مقاومة تحديد التيار.
٣. القدرة المقننة للمقاومة .
٤. زمن شحن البطارية .
٥. كفاءة دائرة التوحيد .
٦. أقصى جهد عكسي يتحمله الدايود.

الحـــــل :-

المعطيات : $E = 12\ v\ ,\ \ V_p=120\ v,\ \ I_o= 5\ A$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{2}{1}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_1}{N_2} \gg\gg\ V_s = \frac{V_P \times N_2}{N_1} = \frac{120 \times 1}{2} = 60V$$

$$V_m = \sqrt{2}\ \times V_s = \sqrt{2}\ \times 60 =\ 84.85\ V$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{E}{V_m}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{12}{84.85}\right) = 8.13^{\circ} = 0.1419\ rad$$

$$\beta = \pi - \alpha = 180° - 8.13° = 171.87°$$

تحسب زاوية توصيل الدايود δ من العلاقة التالية:

$$\delta = \beta - \alpha = 171.87° - 8.13° = 163.74°$$

يحسب تيار شحن البطارية I_{av} من المعادلة(1- 51) والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{1}{2\pi R}[(2 \times V_m \times \cos\alpha) + (2 \times E \times \alpha) - (\pi \times E)]$$

من معادلة التيار يمكن حساب قيمة المقاومة R اللازمة لتحديد قيمة التيار عند 5A كالتالي:

$$R = \frac{1}{2\pi \times I_{av}}[(2 \times V_m \times \cos\alpha) + (2 \times E \times \alpha) - (\pi \times E)]$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times 5}(2 \times 84.85 \times \cos 8.13^0 + 2 \times 12 \times 0.1419 - \pi \times 12)$$
$$= 4.26\Omega$$

يمكن حساب القيمة الفعالة لتيار الشحن من العلاقة التالية:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left(\frac{V_m \sin\omega t - E}{R}\right)^2 d(\omega t)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi R^2}\left[\left(\frac{V_m^2}{2} + E^2\right)(\pi - 2\alpha) + \frac{V_m^2}{2}\sin 2\alpha - 4V_m E\cos\alpha\right]}$$

$$I_{rms} = 8.2\,A$$

من حساب القيمة الفعالة للتيار يمكن حساب القدرة المقننة للمقاومة R من العلاقة التالية:

$$P_R = I_{rms}^2 \times R = 8.2^2 \times 4.26 = 286.4\ W$$

تعطي المعادلة التالية قيمة القدرة المتوسطة أو قدرة الشحن للبطارية:

$$P_{o(av)} = E \times I_{av} = 12 \times 5 = 60W$$

ومنها يمكن حساب زمن الشحن كالتالي:

$$t = \frac{100}{P_o} = \frac{100}{60} = 1.66\ h$$

يمكن حساب كفاءة دائرة التوحيد η حسب العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{o(av)} + P_R} = \frac{60}{60 + 286.4} = 17.32\ \%$$

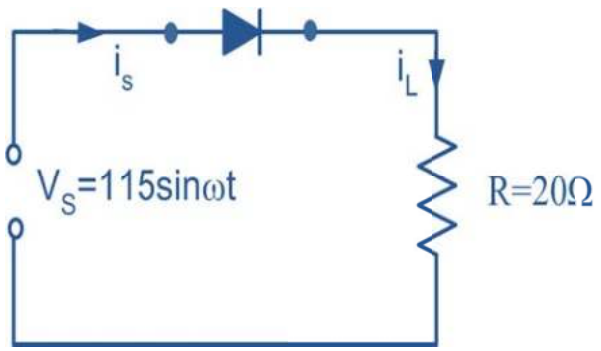
أقصى جهد عكسي يتحمله الدايود يحسب من العلاقة التالية:

$$PIV = V_m + E = 84.85 + 12 = 96.85\ v$$

من المثال يتضح أن كفاءة الدائرة لا تتعدى ١٨٪، ويمكن تحسين كفاءة دائرة الشحن إذا استبدلت دائرة التوحيد لنصف الموجه بدائرة توحيد موجه كاملة. وعلى المتدرب أن يعيد الحل مستخدماً دائرة توحيد موجه كاملة ويقارن النتائج التي سوف يحصل عليها مع نتائج المثال المذكور.

أسئلة الوحدة الأولى

١. ماذا يقصد بإلكترونيات القدرة؟
٢. اذكر أربعة مجالات لاستخدامات إلكترونيات القدرة.
٣. ما هي أنواع دوائر إلكترونيات القدرة ؟
٤. اذكر أنواع عناصر إلكترونيات القدرة .
٥. ما الأنواع المختلفة لدايود القدرة ؟
٦. ما وظيفة دوائر التوحيد؟
٧. اذكر أنواع دوائر التوحيد أحادية الوجه.
٨. اذكر أنواع دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه.
٩. عرف معاملات الأداء التالية:
   a. معامل شكل الموجه.
   b. معامل التموج .
   c. كفاءة التوحيد .
   d. معامل الاستخدام لمحول دائرة التوحيد.
١٠. ما الفرق بين دائرة توحيد نصف الموجه ودائرة توحيد الموجه الكاملة ؟
١١. ما تردد الجهد الخارج من دائرة توحيد موجه كاملة أحادية الوجه؟
١٢. اذكر مميزات استخدام دائرة توحيد ثلاثية الأوجه عن دائرة توحيد أحادية الوجه.
١٣. ما الهدف من استخدام دوائر التنعيم؟
١٤. اذكر بعض تطبيقات دوائر التوحيد.
١٥. في الدائرة المبينة أوجد القيمة المتوسطة لتيار المنبع وكذلك أوجد القدرة المسحوبة من منبع الجهد المتردد.



١٦.للدائرة الموضحة في شكل (1-16) ، إذا كان جهد المنبع 120V ونسبة التحويل للمحول ١:٥ وقيمة مقاومة الحمل 12Ω ، احسب التالي:

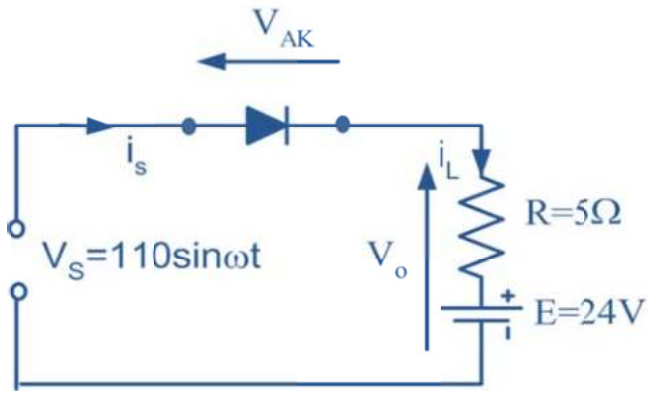
- القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل .
- القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل.
- كفاءة الدائرة .
- معامل شكل الموجه .
- معامل التموج .
- أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود.
- القيمة المتوسطة لتيار الدايود.

١٧.للدائرة الموضحة في شكل (1-21)، إذا كان جهد الخط للمنبع 380V ونسبة التحويل للمحول ١:١٠ وقيمة مقاومة الحمل 10 Ω ، احسب التالي:

- القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل .
- القيمة الفعالة لجهد و تيار الحمل .
- القدرة المستهلكة في الحمل .
- القدرة المسحوبة من المصدر .
- كفاءة الدائرة .

١٨.في الدائرة المبينة بالشكل أوجد ما يلي :

- شكل موجات كلاً من V_o, i_L, V_s, V_{AK} .
- القدرة المسحوبة من المصدر .



الوحدة الثانية

دوائر الموحدات المحكومة

الهدف العام للوحدة: دراسة دوائر الموحدات المحكومة أحادية وثلاثية الأوجه والتعرف على أنواعها وتطبيقاتها.

الأهداف التفصيلية :

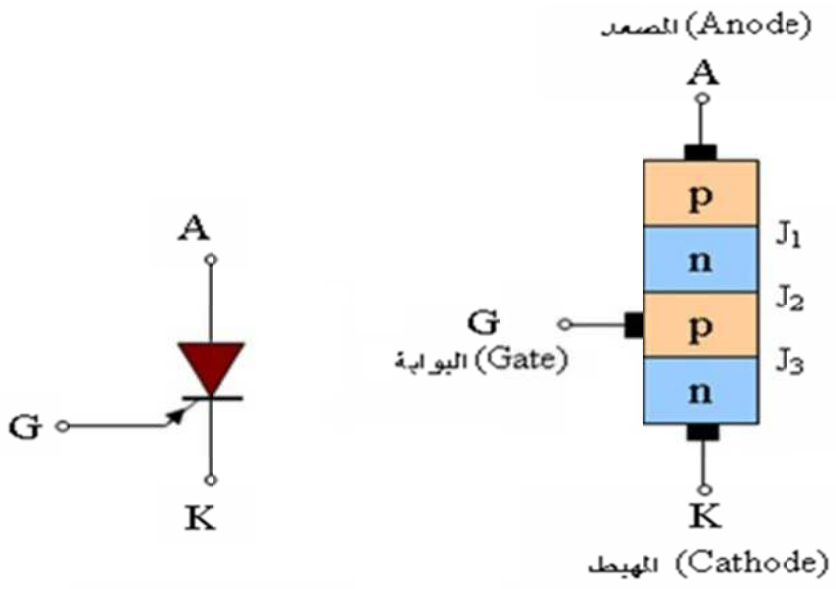
١. أن يتعرف المتدرب على العنصر الإلكتروني المستخدمة في دوائر الموحدات المحكومة .
٢. أن يتعرف المتدرب على الخواص الكهربائية للثايرستور.
٣. أن يتعرف المتدرب على طرق إشعال الثايرستور وطرق حمايته.
٤. أن يتعرف المتدرب على الأنواع المختلفة لدوائر الموحدات المحكومة.
٥. أن يرسم المتدرب أشكال موجات التيار والجهد لكل نوع من دوائر التوحيد المحكومة.
٦. أن يحسب المتدرب القيمة المتوسطة للجهد والتيار في دوائر التوحيد المختلفة.
٧. أن يحدد المتدرب تأثير الحمل الحثي على عملية التوحيد .
٨. أن يتمكن المتدرب من التحكم في الجهد الخارج من دوائر التوحيد المحكومة.
٩. أن يتعرف المتدرب على أهم تطبيقات دوائر التوحيد المحكومة في مختلف المجالات الصناعية والتطبيقية.
١٠. أن يشخص المتدرب الأعطال لدوائر التوحيد.

٢,١. الثايرستور Thyristor

يعتبر الثايرستور أحد أهم عناصر إلكترونيات القدرة، إذ يستخدم بكثرة في العديد من دوائر إلكترونيات القدرة. ويمثل في الدوائر بمفتاح إما أن يوصل تيار أو يكون في حالة عدم توصيل. ويمكن اعتباره في هذه الحالة مفتاحاًمثالياً، كما يطلق عليه اسم الموحد السليكوني المحكوم Silicon Controlled Rectifier(SCR). وفي الواقع هناك بعض القيود والخصائص التي يجب أن تراعى عند التشغيل الفعلي في الدائرة.

٢,١,١. تركيب الثايرستوروتشغيله Thyristor Construction and Operation

يتكون الثايرستور من أربع طبقات من أشباه الموصلات Semiconductorsمرتبة على هيئة PNPN ومكونة من ثلاث وصلات Junctions هي J_1 , J_2 , J_3، كما هو مبين في شكل(٢- ١أ) . ولثايرستور (Thyristor) ثلاثة أطراف هي الأنود ويرمز له بالحرف Aوالكاثود ويرمز له بالحرف K والبوابة(Gate) و يرمز لها بالحرف G والتي تتصل بالطبقة الموجبة P الداخلية ويوضح شكل (2-1ب) الرمز الإلكتروني للثايرستور والمستخدم في الدوائر الإلكترونية.



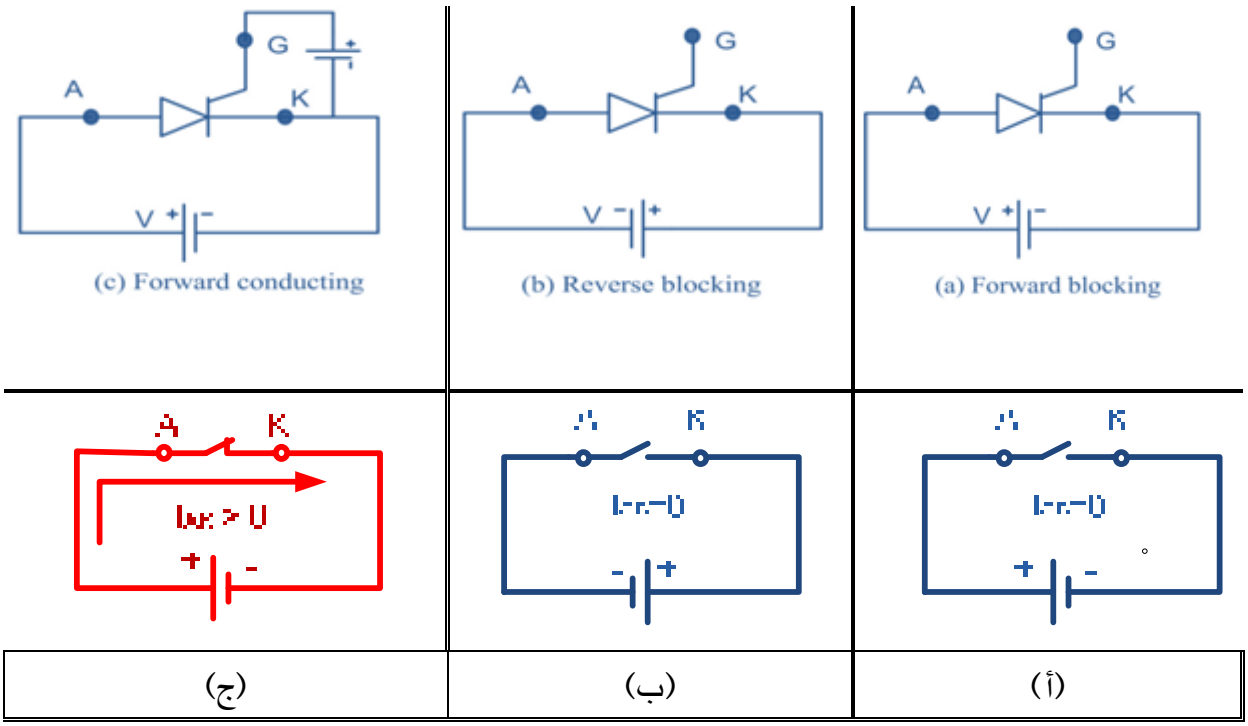
(أ) (ب)

الشكل(2-1) تركيب الثايرستور ورمزه الإلكتروني

عندما يكون جهد الأنود موجباً بالنسبة لجهد الكاثود كما في شكل(2-2أ) ، تصبح الوصلتان J_1,J_3 في حالة انحياز أمامي (Forward Bias) ، أما الوصلة J_2 فتكون في حالة انحياز عكسي (Reverse Bias) وبذلك لايمر تيار في الثايرستور باستثناء تيار ذي قيمة صغيرة جداً يسمى تيار التسرب (Leakage Current). وفي هذه الحالة يقال إن الثايرستور معاق أماميا (Forward Blocking). وفي هذه الحالة لا يوصل الثايرستور طالما أن الجهد بين الأنود والكاثود أقل من جهد الانهيار الأمامي (وهذه قيمة خاصة بتصنيع الثايرستور) .

عندما يكون جهد الأنود سالباً بالنسبة لجهد الكاثودكما مبين في شكل (2-2ب) ، تكون الوصلة J_2 في حالة انحياز أمامي ولكن الوصلتين J_1,J_3 تكونان في حالة انحياز عكسي. وبذلك يصبح الثايرستور في حالة إعاقة عكسية (Reverse Blocking) ولا يمر تيار من خلال الثايرستور، سوى تيار صغير جداً يسمى تيار التسرب العكسي .

يمكن أن يوصل الثايرستور تياراً أمامياً إذا كان الجهد الأمامي V_{AK} أكبر من الصفر وأقل من جهد الانهيار الأمامي ،وتم تطبيق جهد موجب بين البوابة والكاثود، ويقال إن الثايرستور في هذه الحالة قد انتقل من حالة الإعاقة الأمامية إلى التوصيل الأمامي. وتسمى هذه الحالة بحالة التوصيل الأمامي (Forward Conducting) كما هو مبين في شكل(2-2جـ) .



الشكل(2-2) حالات التشغيل للثايرستور.

٢,١,٢. خواص الثايرستور Thyristor Characteristics

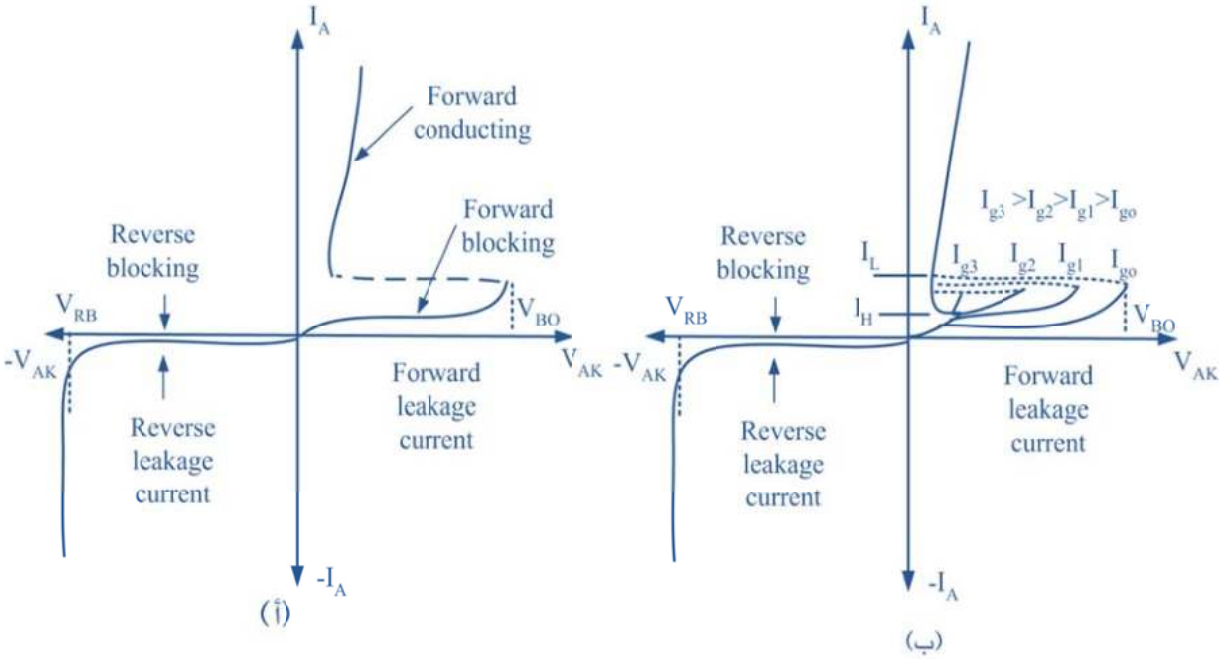
تتحدد خصائص الثايرستور الرئيسية بالعلاقة بين الجهد المسلط على الثايرستور V_{AK} والتيار المار فيه I_A في حالتي الانحياز الأمامي والانحياز العكسي. ويوضح شكل(2-3أ) خصائص الثايرستور عندما يكون تيار البوابة صفراً. فعندما يكون الجهد المسلط موجباً (الأنود موجب بالنسبة للكاثود) يمر تيار صغير جداً يسمى تيار التسرب. وعند زيادة الجهد تدريجياً فإن التيار لا يظهر زيادة ملحوظة إلى أن يصل الجهد إلى الحد الذي تبدأ فيه انهيارات داخلية نتيجة تحرك الشحنات الموجبة والسالبة داخل الطبقات الأربع PNPN، يزداد التيار بعد ذلك بسرعة، ويسمى هذا الجهد بجهد الانهيار الأمامي V_{Bo} ويسمى التيار I_{Bo} . ويصبح الثايرستور في حالة توصيل وتصبح الخواص مشابهة لخواص الدايود المنحاز أمامياً مع هبوط جهد في حدود 1V. والحالة التي يستطيع الثايرستورفيها تحمل الجهد الأمامي دون أن يتحول إلى حالة توصيل تسمى بمنطقة الإعاقة الأمامية.

عندما يكون الثايرستور في منطقة الإعاقة الأمامية أي وجود جهد على الأنود أعلى من الجهد على الكاثود بقيمة تقل عن جهد الانهيار الأمامي V_{Bo} ،فإنه يمكن إشعال الثايرستور وجعله في حالة توصيل باستخدام تيار البوابة I_g بقيم مختلفة كما سنوضح لاحقاً.

عندما يصبح الثايرستور موصلاً فإن التيار المار يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصلة بالدائرة. إذ بزيادة هذه المقاومة يقل التيار إلى أن يصل إلى حد أدنى يصبح الثايرستور بعده في منطقة الإعاقة الأمامية، ويسمى التيار عند هذا الحد تيار الإمساك(Holding Current) ويرمز له بالرمز I_H.

وعند عكس الجهد المسلط على الثايرستور تصبح الخواص مشابهة للدايود المنحاز عكسياً. وبزيادة الجهد العكسي يبقى التيار قليلاً حتى يصل إلى جهد الانهيار العكسي V_{BR} حيث يزداد التيار بسرعة كبيرة وبشكل حاد مع الجهد. وتسمى المنطقة التي يستطيع الثايرستورفيها تحمل الجهد العكسي دون حدوث انهيار بمنطقة الإعاقة العكسية.

بتوصيل جهد موجب بين البوابة والكاثود يمر تيار موجب في البوابة وتصبح خصائص الثايرستور كالموضحة في شكل(2-3ب)، عند قيم مختلفة لتيار البوابة، يمكن ملاحظة أن الزيادة في تيار البوابة تساعد على إشعال الثايرستور عند جهد أقل، ويسمى جهد التوصيل الأمامي. ولو زاد تيار البوابة بدرجة كافية لأصبحت الخصائص الأمامية مشابهة لخصائص الدايود إذ تختفي في هذه الحالة منطقة الإعاقة الأمامية.



الشكل (2-3) خواص الثايرستور

من خصائص البوابة كذلك إمكانية إشعال الثايرستور وجعله في حالة توصيل ، حتى ولو كان الجهد الأمامي أقل من جهد الانهيار الأمامي V_{Bo}ولكن بشرط أن يكون مصدر البوابة كافياً. لإنتاج تيار بوابة كافي لإشعال الثايرستور لتحقيق أغراض التحكم بإشعال الثايرستور عند قيم محددة من الجهد الأمامي، وهذه هي الطريقة المعتادة لإشعال الثايرستور. ويلاحظ كذلك أن التغيير في تيار البوابة ليس له أي تأثير طالما كان الثايرستور في حالة توصيل (أي أن وظيفة تيار البوابة هي إشعال الثايرستور عند جهد أمامي معين ولا يكون له أي تأثير بعد توصيل الثايرستور)، لذا يكفي أن يمر تيار البوابة فقط في المدة التي يتحول الثايرستور فيها إلى حالة التوصيل ويمكن إزالته بعدها. وتستعمل بصورة عامة تيارات نبضيه لإشعال الثايرستور. وكما ذكر سابقاً من أن تيار الأنود للثايرستور يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصلة في الدائرة فإن كانت هذه المقاومة كبيرة فقد لا يكفي تيار الأنود الابتدائي لإبقاء الثايرستور في حالة التشغيل ويسمى هذا التيار بتيار التعشيقI_L(Latching Current) . ويعرف بأنه أقل قيمة لتيار الأنود اللازم لإبقاء الثايرستور في حالة توصيل بعد الإشعال وإزالة تيار البوابة. ويعد تيار التعشيق هذا أكبر من تيار الإمساك I_H.

٢,١,٣. طرق إشعال الثايرستور Thyristor Firing

كما عرفنا فإن الثايرستور يصبح موصلاً إذا زاد تيار الأنود عن تيار التعشيق I_L في حالة الانحياز الأمامي، ويمكن أن يتم ذلك عن طريق عدة طرق. وتشمل الطرق العملية المستخدمة وكذلك الطرق غير المعتادة وغير المرغوبة التي يجب تجنبها والتخلص منها. إن دراسة طرق الإشعال مفيدة عند تصميم دوائر الثايرستور في اتخاذ التحفظات اللازمة لمنع حدوث الإشعال في غير توقيته.

- **الإشعال بالحرارة:**

إن الزيادة في درجة حرارة رقيقة القرص السليكوني، تؤدي إلى زيادة في معدل تولد حاملات الشحنات، فإذا كانت هذه الزيادة عالية عن حد معين، فإنها يمكن أن تؤدي إلى تشغيل الثايرستور. وعادة هذا التشغيل غير مرغوب فيه ،لذلك يجب تجنبه وذلك باستخدام وسيلة لإزالة الحرارة الزائدة المتولدة ، حيث يمكن أن تتولد هذه الحرارة نتيجة لزيادة التيار. ويمكن استخدام وسيلة لتبديد الحرارة مثل تثبيت الثايرستور على قطعة من المعدن تعمل على خفض الحرارة تسمى امتصاص الحرارة Heat Sink، كما في شكل(2-4).

الشكل(2-4) أشكال مختلفة لخافضات حرارة الثايرستور Heat sinks

- **الإشعال بالضوء:**

لو سلطت حزمة ضوئية على الوصلة J_2 لتولدت إلكترونيات وفجوات في رقيقة القرص السليكوني، وتتولد حاملات الشحنات ،وتصبح الوصلة J_2 في حالة توصيل ،ويتم إشعال الثايرستور بنفس الأسلوب الحراري. وبناء على تلك الفكرة تم تصنيع ثايرستور يعتمد إشعاله وتشغيله على الضوء يسمى بالموحد السليكوني المحكوم المثار بالضوء. (**L**ight **A**ctivated **S**ilicon **C**ontrolled **R**ectifier,-**LASCR**-).

- **الإشعال بالجهد الزائد:**

عرفنا أنه إذا زاد الجهد الأمامي عن جهد الانهيار الأمامي V_{Bo} فإن تيار التسرب لثايرستور(Leakage current) يكون كافياً لتحويل الثايرستور إلى حالة التوصيل الأمامي. وهذه الطريقة للإشعال تدمر الثايرستور، لذلك يجب تجنبها ولا يفضل استخدامها.

- **الإشعال بمعدل الجهد المسلط (dv/dt):**

من المفترض أن الجهد الأمامي المسلط يزداد بالتدريج. ولو سمح لهذا الجهد بالزيادة المفاجئة فقد تؤدي إلى إشعال الثايرستور من دون تسليط إشارة إلى البوابة أو زيادة الجهد الأمامي أكثر من مستوى الانهيار. إن هذا النوع غير المرغوب من الإشعال يمكن تجنبه بتحديد معدل تغير الجهد الأمامي (dv/dt). وتتراوح قيم التحديد هذه في الثايرستور التقليدي بين 20V إلى 200 V لكل 1 µs.

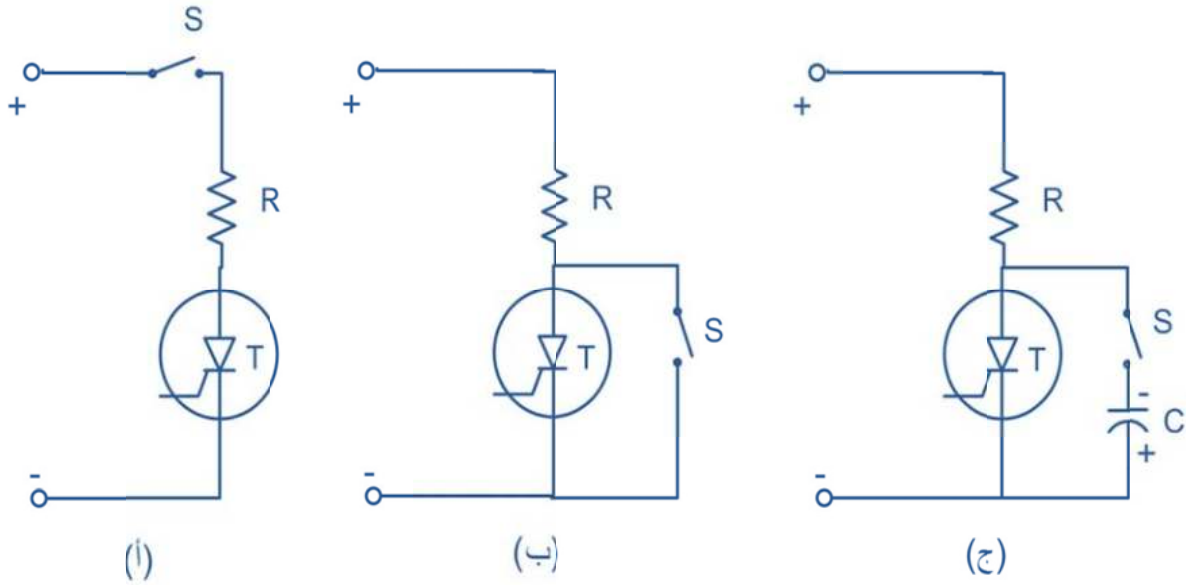
- **الإشعال بتيار البوابة:**

إذا سلطت إشارة موجبة على البوابة بتوصيل مصدر بين البوابة والكاثود فإن التيار المار بدائرة البوابة يؤدي إلى مرور فجوات من البوابة إلى الطبقة P_2 فتزيد حاملات الشحنة الموجودة وتصبح الوصلة J_2 في حالة توصيل ،مما يساعد في إشعال الثايرستور. وإن طريقة التشغيل بالبوابة هذه هي الطريقة الاعتيادية والشائعة في تشغيل الثايرستور، وعادة تكون الإشارة المسلطة على شكل نبضه تستغرق زمناً معيناً كافياً لتشغيل الثايرستور. وإذا تم إشعال وتوصيل الثايرستور فإنه يستمر مشتعلاً كذلك، ولا داعي لإبقاء تيار البوابة، وهذه الطريقة يتم بها التحكم في لحظة إشعال الثايرستور حسب متطلبات شروط التشغيل.

٢,١,٤. طرق إيقاف الثايرستور (الإخماد) Methods of Thyristor Turn-off

عندما يكون الثايرستور في حالة توصيل فإنه يحتوي على عدد كبير من حاملات الشحنة في طبقاته الأربع، وليس للبوابة أي سيطرة أو تأثير على الثايرستور وهو في هذه الحالة. ولإطفاء الثايرستور يجب أن تقل حاملات الشحنة في الوصلات إلى مستوى أقل من تيار التسرب. أو بتعبير آخر يجب أن يقل تيار الثايرستور إلى قيمة أقل من تيار الإمساك I_H لمدة تكفي لتحويله إلى عدم التوصيل. إن جعل الثايرستور في حالة عدم توصيل ليست صعبة في دوائر التيار المتردد ، حيث ينعكس الجهد كل نصف دورة. أما في دوائر التيار المستمر حيث يمر التيار باتجاه واحد ، يتطلب الأمر استعمال دائرة إضافية لإخماد وإيقاف توصيل الثايرستور، كما يوجد نوع خاص من الثايرستورات يتم إخماده عن طريق البوابة ذاتها.

- **الإخماد الطبيعي** : يمكن تقليل تيار الثايرستور إلى الصفر بفتح مفتاح موصل على التوالي مع الثايرستوركما هو موضح في الشكل (٢-٥أ) أو بجعل مسار تحويلي للتيار ، عن طريق غلق مفتاح موصل على التوازي مع الثايرستور كما في الشكل (٢-٥ب) ، ويجب إعادة المفتاح إلى حالته الأولى في كلتا الحالتين بعد إخماد الثايرستور، إلا أنه تتولد dv/dt عالية عبر الثايرستور ، مما قد يتسبب معها إلى إعادة تشغيل الثايرستور.



الشكل (2-5) طرق إخماد الثايرستور

- **الإخماد الإجباري (القسري):** في هذه الطريقة يسلط جهد عكسي عبر الثايرستور فيجبر التيار على الهبوط إلى الصفر، بل ويمر بالاتجاه العكسي لمدة قصيرة قبل أن يستعيد الثايرستور قابليته للإعاقة الأمامية. ويوضح شكل(2-5جـ) دائرة مبسطة لهذا النوع من الإخماد، فعند غلق المفتاح S يوصل المكثف المشحون مسبقا بالقطبية المبينة عبر الثايرستور، فيصبح منحازاًعكسياً ويتحول إلى حالة عدم التوصيل. إن هذا النوع من الإخماد كثير الاستعمال في دوائر الثايرستور.

تتبع دوائر التيار المتردد التي ينعكس فيها جهد الخط ذي الإخماد القسري ويسمى في هذه الحالة بالإخماد الطوري(Line Commutated).

٢,١,٥. حماية الثايرستور Thyristor Protection

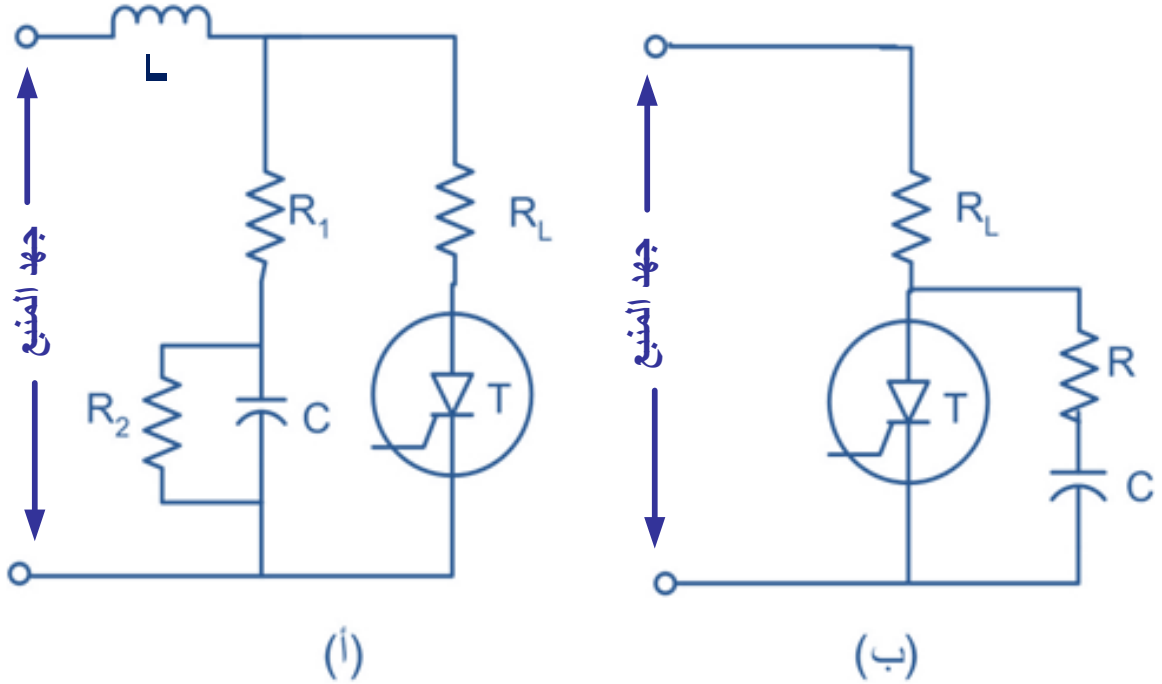
تميل درجة الحرارة المتولدة في وصلات الثايرستور إلى الارتفاع عند زيادة الجهد أو التيار وذلك بسبب صغر السعة الحرارية له. وإن استعمال طريقة للتخلص من درجة الحرارة الزائدة يحسن نوعاً ما من سعته الحرارية، ولكن ليس بالدرجة الكافية للتغلب على كل الاحتمالات. ومن أجل تشغيل جيد للثايرستوريجب عدم تعدى مقنناته (القيم التي تم تصميمه ليعمل عندها بأمان مثل قيمة الجهد والتيار ودرجة الحرارة...إلخ). وهذا ما يمكن تحقيقه باختيار ثايرستور ذي مقننات أعلى من مقننات الدائرة، وذلك لكي يتحمل التيارات الزائدة والجهود العابرة. أيضاً يمكن استخدام طرق حماية إضافية لضمان الحفاظ على تيارات وجهود الثايرستور ضمن الحدود الآمنة.

- **الحماية ضد الجهد الزائد:**

إن تسليط جهد زائد على الثايرستور في الاتجاه العكسي قد يسبب زيادة كبيرة في التيار العكسي الذي قد يتلف الثايرستور. وفي الاتجاه الأمامي يمكن أن يشعل الثايرستور، إما بزيادة الجهد المسلط بأكثر من جهد الانهيار، أو نتيجة لارتفاع الجهد المسلط في فترة زمنية محددة أي ارتفاع (dv/dt) ، وعموماً فإن أياً من الحالتين يسبب تشغيلاً غير مرغوب فيه للثايرستور ،مما يسبب خطراً له وللحمل المتصل معه على السواء.

قد يحدث الجهد الزائد ضمن الدائرة، وكذلك خارجها عن طريق الحالات العابرة التي تحدث في خط المصدر ويسببها الإعطاب والصواعق وعمليات الفتح والغلق. وتعد إمكانية التنبؤ بهذه الحالات صعبة، ولكن يمكن الحيطة منها بأخذ عامل أمان عند التصميم. تصمم أنظمة الحماية لامتصاص الطاقة الناجمة عن الجهود الزائدة والتي تسبب تلف للثايرستور أو تربك عمله. وتبدد هذه الطاقة في مقاومات أو تستعمل لشحن مكثفات موضوعة بصورة مناسبة في الدائرة. ويوضح شكل (2-6أ) استعمال دائرة حماية من الجهود العابرة باستخدام دائرة RC ناحية الدخل. ويعتمد حجم المكثف على الطاقة المطلوب امتصاصها وعلى قيمة الجهد العابر المتوقع. وتستخدم المقاومة R_1 لإخماد التذبذبات الناتجة من دائرة الرنين المشكلة من المكثف وأي ملف موجود في الدائرة. أما المقاومة R_2 فتستخدم لتفريغ المكثف. والدائرة المستخدمة تقلل أيضاً من معدل ارتفاع الجهد (dv/dt) المسلطة على الثايرستور.

و لحماية الثايرستور من ارتفاع **معدل الجهد المسلط**(dv/dt) والجهود الزائدة وخصوصاً تلك الناتجة عن فتح وغلق الثايرستور نستخدم تلك الدائرة الموضحة في شكل2-6 (ب) .

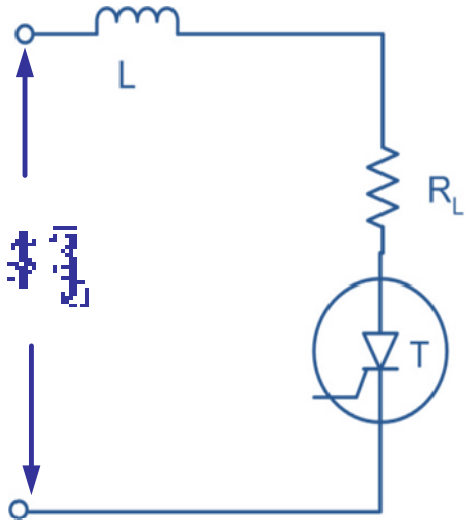


الشكل(2-6) طرق الحماية من الجهد الزائد ومن خطر dv/dt العالية.

- **الحماية ضد التيار الزائد:**

يسبب التيار الزائد ارتفاع عالي في درجة حرارة وصلات الثايرستور، وقد يسبب الارتفاع الحاد في التيار تسخيناً زائداً وتلفاً لحظياً. ففي مثل هذه الحالة يجب فصل الدائرة مباشرة ، لذلك عادةً تستخدم قواطع حرارية سريعة الفصل لتجنب تلف الثايرستور. وعند تعرض الثايرستور لأحمال زائدة أقل شدة ولكن بصورة متكررة، تحصل زيادة مضطردة في درجة الحرارة ،ويؤدي ذلك إلى تغير تدريجي لخصائص الثايرستور وتنتهي بتلفه . ولتجنب ذلك نستخدم قواطع حرارية أبطأ نسبياً .

أما لحماية الثايرستور ضد المعدل العالي لارتفاع التيار (di/dt) فتتم عادة بتوصيل ملف على التوالي مع الثايرستور، كما في شكل (2-7).



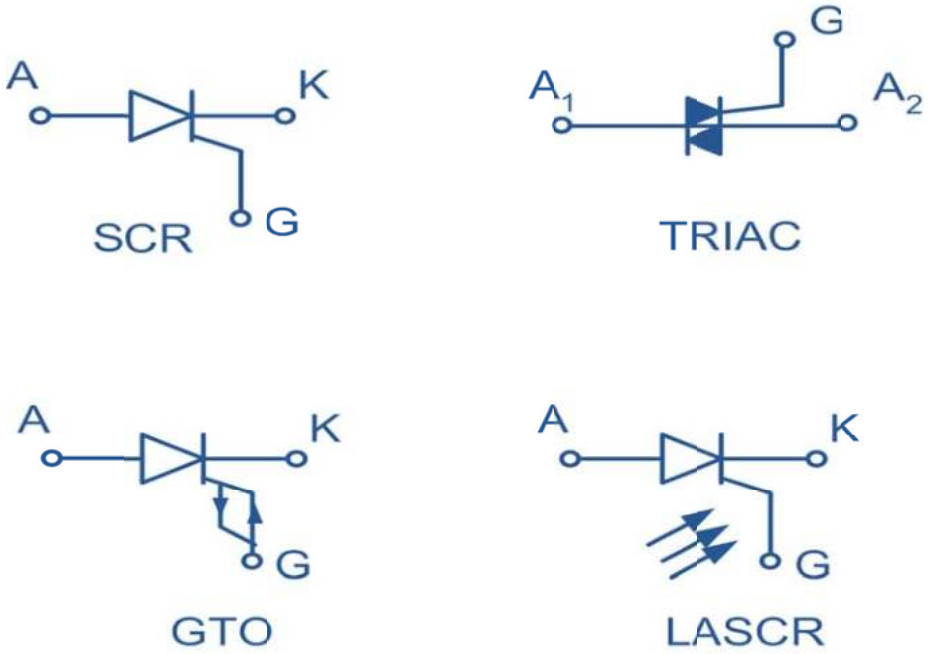
الشكل (2-7) حماية الثايرستور ضد di/dt .

٢,١,٦. أنواع الثايرستور Thyristor Types

يوجد عدة أنواع من الثايرستور تتفق في أن لكل منها ثلاثة أطراف ،وتختلف في كيفية تحويلها من حالة التوصيل إلى حالة الفصل. وكلها توصل التيار في اتجاه واحد فيما عدا الثايرستور المزدوج والذي يسمى بالترياك Triac ،فإنه يوصل تياراً في كلا الاتجاهين. وتسمى الثلاثة أطراف بالأنود والكاثود والبوابة ،فيما عدا الترياك فإن له أنودان وبوابة. وعادة يمكن تصنيف الأنواع الشائعة للثايرستور حسب التركيب وطريقة التشغيل إلى الأنواع التالية:

١. الثايرستور العادي Phase Controlled Thyristor(SCR)
٢. الثايرستور سريع الفتح والغلق Fast Switching Thyristor (SCR)
٣. الثايرستور ذي بوابة الفتح وبوابة الغلق Gate-turn-off Thyristor (GTO)
٤. الثايرستور المزدوج Bidirectional Triode Thyristor (TRIAC)
٥. الثايرستور الذي يتم إشعاله بالضوء Light Activated Silicon-*Controlled* Rectifier (LASCR)

تتشابه الأنواع المختلفة للثايرستور في الخواص الاستاتيكية ولكنها تختلف في الرمز والمسمى، وأشهر الأنواع وأكثرها شيوعاً هو الموحد السليكوني المحكوم(SCR) وهو الذي يحمل اسم ثايرستور، ويوضح شكل(٢- ٨) رموز بعض الأنواع السابق ذكرها. كما يوضح الشكل (2-9) أحجاماً وأشكالاً مختلفة للثايرستور.



الشكل(2-8) بعض أنواع الثايرستور.

الشكل(2-9) أشكال وأحجام مختلفة للثايرستور (من شركة بوركسPowerex).

تقوم الشركات المنتجة بإعداد نشرة بيانات خاصة (Datasheets)لكل منتج ،يحدد فيها الشكل الخارجي، والأطراف، والأبعاد، والمقننات اللازمة للتشغيل ،وكذلك الخواص الحرارية والكهربائية. ولكي يمكن استخدام أي نوع استخداماً سليماً يجب الحصول على نشرة البيانات الخاصة به. ويتوافر الثايرستور بمقننات تصل إلى 5000V و4000A، وتقل هذه المقننات كلما زادت إمكانيات الثايرستور في التحكم. أما الترياك فيتوفر بمقننات أقل بكثير.

٢,٢. 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 نتيجة لانعكاس جهد المنبع المتردد على الثايرستور 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 موجه جهد المنبع المتردد كما سيتم إيضاحه عند دراسة هذه الدوائر.

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:

- الموحدات أحادية الوجه
- والموحدات ثلاثية الأوجه

كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربعة أنواع هي:

- موحد نصف الموجه المحكوم Half-wave Controlled Rectifier
- موحد الموجه الكاملة نصف المحكوم Full-Wave Semi controlled Rectifier
- موحد الموجه الكاملة المحكوم Full-Wave Controlled Rectifier
- المغير المزدوج Dual Converter

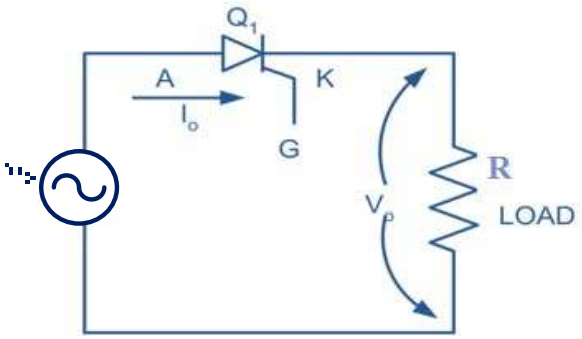
٢,٢,١موحد أحادي الوجه نصف الموجه المحكوم Single Phase Half-wave Rectifier

I. موحد أحادي الوجه نصف الموجه المحكوم مع حمل مادي :

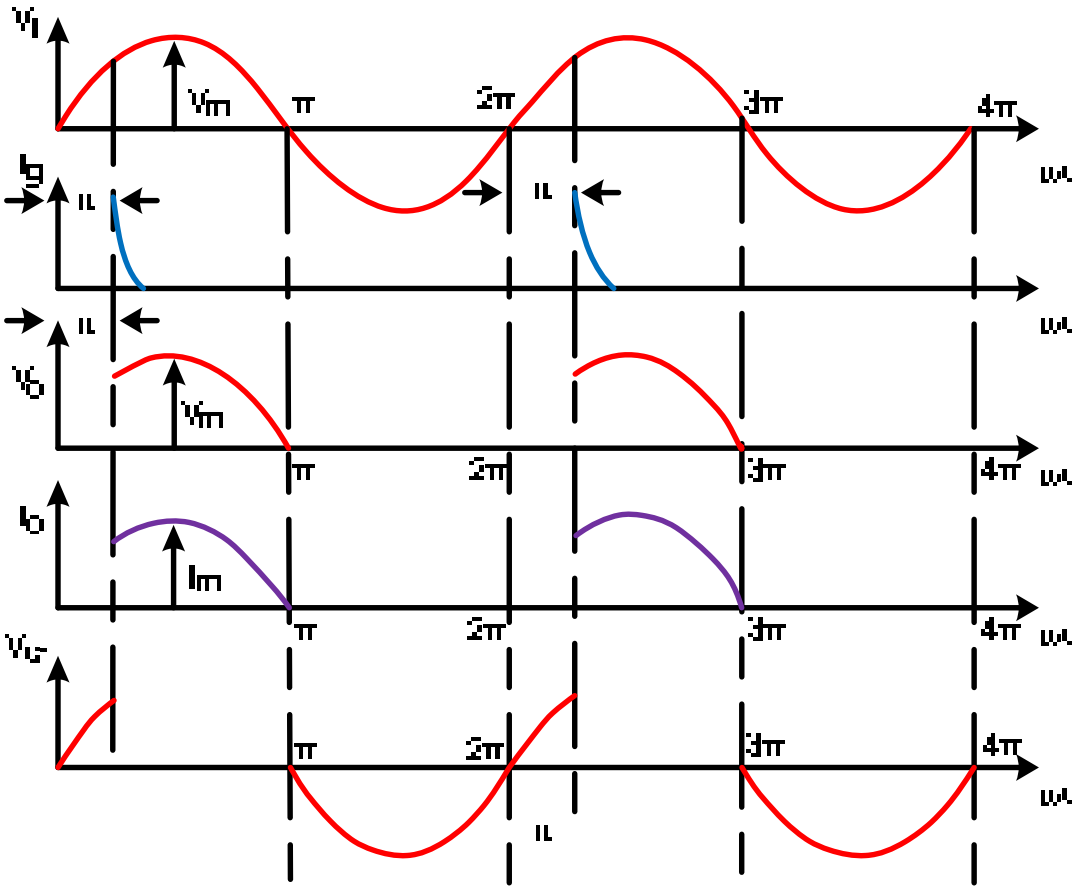
لمعرفة كيفية عمل الموحدات المحكومة فسنبدأ بدائرة بسيطة لموحد نصف الموجه المحكوم والتي تتكون من عنصر توحيد محكوم واحد فقط هو الثايرستور كما في شكل*(2-10)*.
ويستخدم هذا الموحد لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة.

ففي خلال النصف الموجب من موجه جهد المصدر 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 موجه جهد المصدر فإن جهد الأنود A سيكون أقل من جهد الكاثود K ويكون الثايرستور في حالة انحياز عكسي ،بمعنى أنه لا يمكن إشعاله خلال تلك الفترة، ويستمر الوضع كذلك حتى تبدأ الموجه الموجبة مرة أخرى ،ويتم إشعال الثايرستور مرة أخرى . ويتكرر ذلك مع كل دورة ،وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل*(2-11)*.



الشكل (2-10) موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم مع حمل مادي.



الشكل (2-11) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم مع حمل مادي

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر على الحمل V_{av} من عملية التوحيد ،وذلك بإيجاد تكامل شكل موجه الحمل (الخرج) V_o خلال الفترة الزمنية *0-2π* كما يلي:

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \times \sin(\omega t)\cdot d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}(1+\cos\alpha) \qquad 1\text{-}2$$

وكما هو واضح من المعادلة *(1-2)* فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال α .

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل بالعلاقة التالية :

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{V_m}{2\pi \times R}(1+\cos\alpha) \qquad 2\text{-}2$$

ويمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}(V_m \sin(\omega t))^2 d\omega t}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2}\sqrt{\left(1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right)} \qquad 3\text{-}2$$

كما يمكن حساب القيمة الفعالة لتيار الحمل كما يلي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{2R}\sqrt{\left(1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right)} \qquad 4\text{-}2$$

وبالرجوع إلى أشكال موجات التيار والجهد نجد أن التيار في الحمل الناتج من استخدام هذا الموحد يكون متقطعاً ،وهذا غير مرغوب فيه في التطبيقات الصناعية المختلفة، لذا من النادر استخدام مثل هذا الموحد، ويقتصر استخدامه على القدرات الصغيرة جداً.

مثال٢ -١

موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم موصل بمصدر جهد متردد قيمته $208v$ وتردده $60Hz$ وذلك لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها $10\,\Omega$ ، المطلوب إيجاد ما يلي :

١. القيمة المتوسطة لتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45°.
٢. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار $6A$.
٣. أقصى قيمة يمكن الحصول عليها لتيار الحمل .
٤. أقصى جهد عكسي على الثايرستور PIV .
٥. أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة .

الحـــل :-

١- تيارالحمل

$$V_m = V_{rms} \times \sqrt{2} = 208 \times \sqrt{2} = 294.156\,v$$

$$V_{av} = \frac{V_m}{2\pi} \times (1 + \cos(\alpha)) = 46.816 \times (1 + \cos 45^\circ) = 79.92\ v$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 7.992\ A$$

٢. زاوية الإشعال للحصول على تيار $6A$

$$V_{av} = I_{av} \times R = 6 \times 10 = 60\ A$$

بالتعويض في المعادلة $(3\text{-}1)$ عن قيمة V_{av} يمكن إيجاد الزاوية α

$$60 = \frac{294.156}{2\pi}(1 + \cos\alpha)$$

$$\alpha = 73.64^\circ$$

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

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

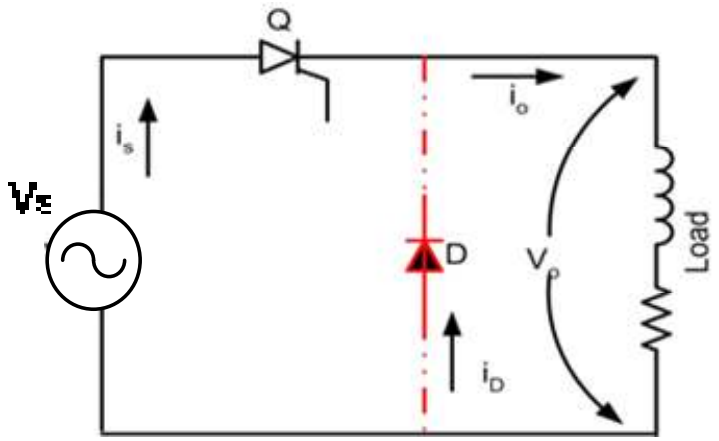
$$I_{av(max)} = \frac{V_{av\max}}{R} = \frac{93.63}{10} = 9.36\ A$$

٤. $PIV = V_m = 294.156\ v$

٥ . أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة كما في الشكل $(2\text{-}11)$

II. الموحد الأحادي الوجه نصف الموجه المحكوم 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 الموحدات المحكومة. الشكل *(2-12)* يوضح موحد أحادي الوجه نصف موجه مع حمل عبارة عن مقاومة وممانعة حثية، بينما يوضح الشكل (*2-12*أ) أشكال موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحد. ونلاحظ أنه عندما يتم إشعال الثايرستور 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 الموجه السالبة ،فإن التيار المار في الثايرستور له قيمة أعلى من الصفر ،ولذلك لا يتم إطفاء الثايرستور ويظهر جزء من الموجه السالبة على أطراف الحمل، ويستمر الوضع كذلك حتى يصل التيار المار في الثايرستور إلى الصفر عند الزاوية β والتي تتحدد قيمتها بناء على قيمة كل من المقاومة والمحاثة. ويستخدم أحيانا دايود المسار الحر *D (Freewheeling diode)* للتخلص من الجزء السالب من الجهد ويساعد ذلك على تقليل عدم الاتصال في موجه التيار المار بالحمل، حيث سيمر في الثايرستور المناظر للجزء الموجب من موجه الجهد في الفترة من α إلى π ويمر في دايود المسار الحر الجزء المناظر للجزء السالب من موجه الجهد في الفترة من π إلى β كما هو واضح في الشكل*(2-12*ب *)*الذي يعرض أشكال موجات التيارات والجهود لهذا الموحد في حالة استخدام دايود المسار الحر، ويمكن ملاحظة أن التيار لازال يعاني من عدم الاتصال ، لذلك معظم التطبيقات تستخدم أحياناً ملف تنعيم مع الحمل ومع ذلك فإن هذا الموحد قليل الاستخدام في الصناعة.



الشكل (2-12)موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم مع حمل مادي وحثي و دايود المسار الحر

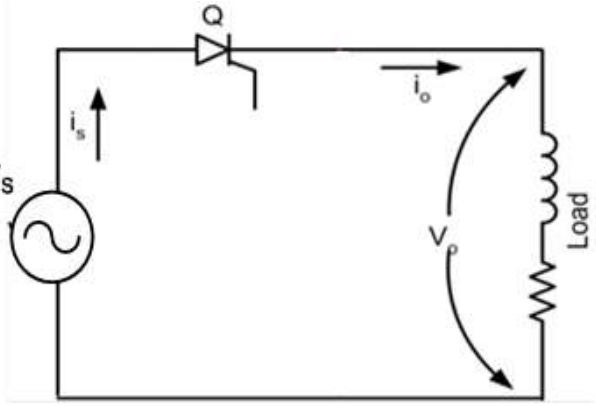
ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة لجهد الحمل V_{av} في حالة عدم وجود دايود المسار الحر وذلك بإيجاد تكامل شكل موجه الخرج V_o في الفترة الزمنية من 0 الي 2π كما يلي:

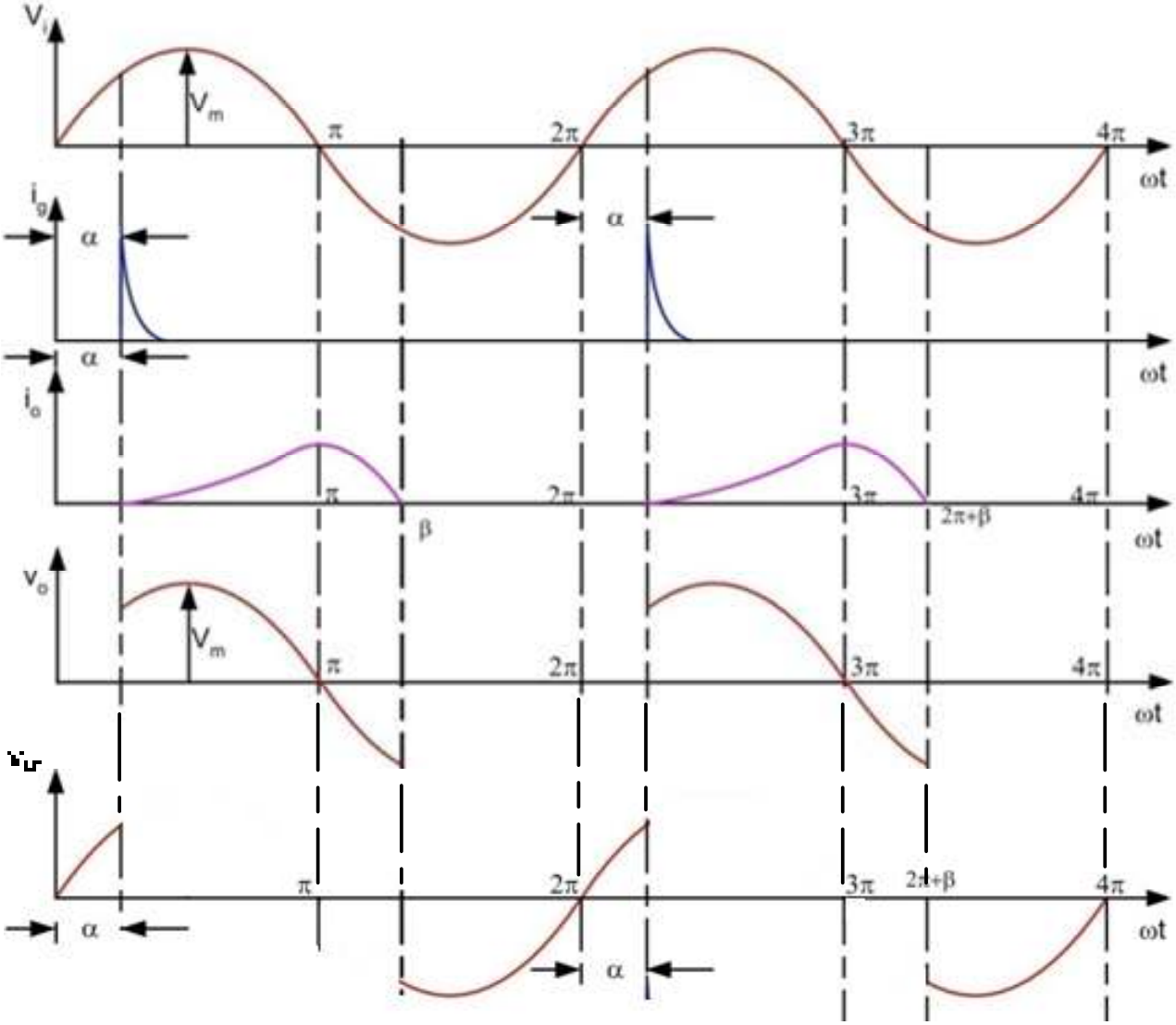
$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}\left(\cos(\alpha) - \cos(\beta)\right) \qquad 5\text{-}2$$

حيث β زاوية إطفاء الثايرستور أو بمعنى أدق هي الزاوية التي يصل فيها تيار الحمل إلى الصفر. أما في حالة استخدام دايود المسار الحر فيكون الجهد المتوسط طبقاً للمعادلة *(1-2)*. ويمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل كما يلي:

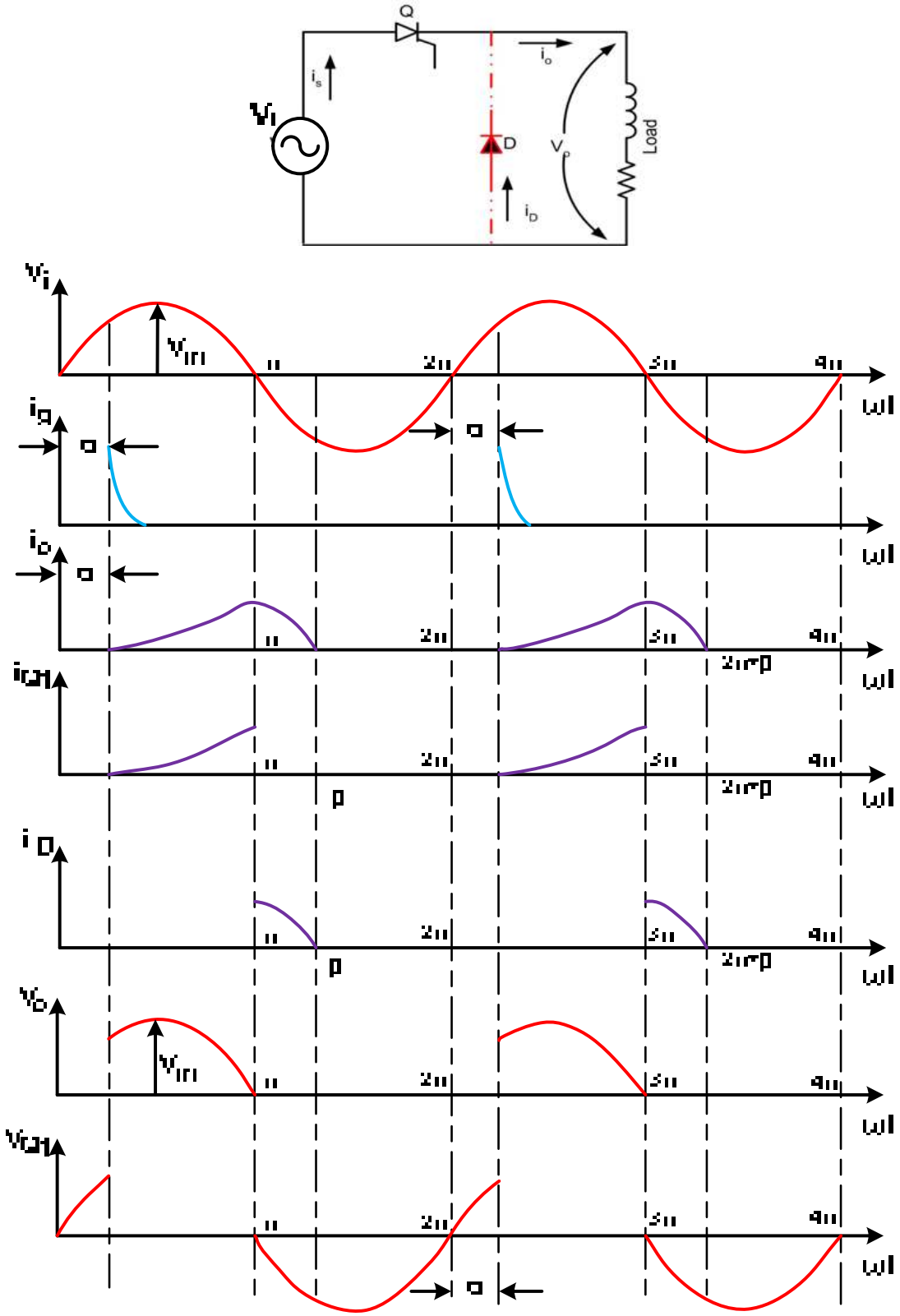
$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} \qquad 6\text{-}2$$

ونتيجة لأن معظم التطبيقات الصناعية تحتوي على أحمال مادية وحثيه، وتحتاج دائماً إلى تيار متصل فسنكتفي في دراسة دوائر الموحدات المحكومة في الجزء المتبقي من هذه الوحدة بحالات الأحمال ذات المحاثة العالية.





الشكل (2-12أ)موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم مع حمل مادي وحثي فقط



الشكل(2-12ب) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم مع حمل مادي وحثي ودايود المسار الحر

٢,٢,٢. موحد أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم

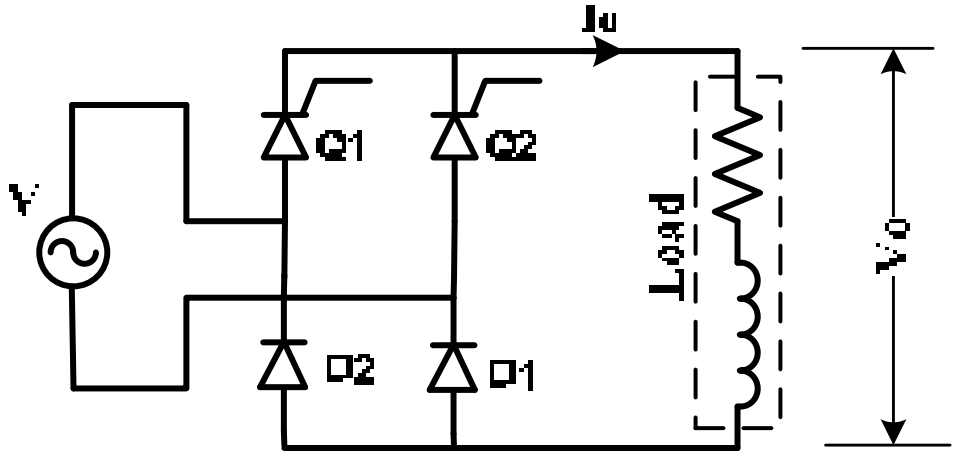
Single Phase Full-wave Semi Controlled Rectifier

يتكون الموحد نصف المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد هي ثايرستوران Q_1, Q_2 ودايودان D_1, D_2 كما في شكل(*13-2*)، وسوف نقتصر في دراساتنا على حالة الحمل ذو الممانعة الحثية العالية.

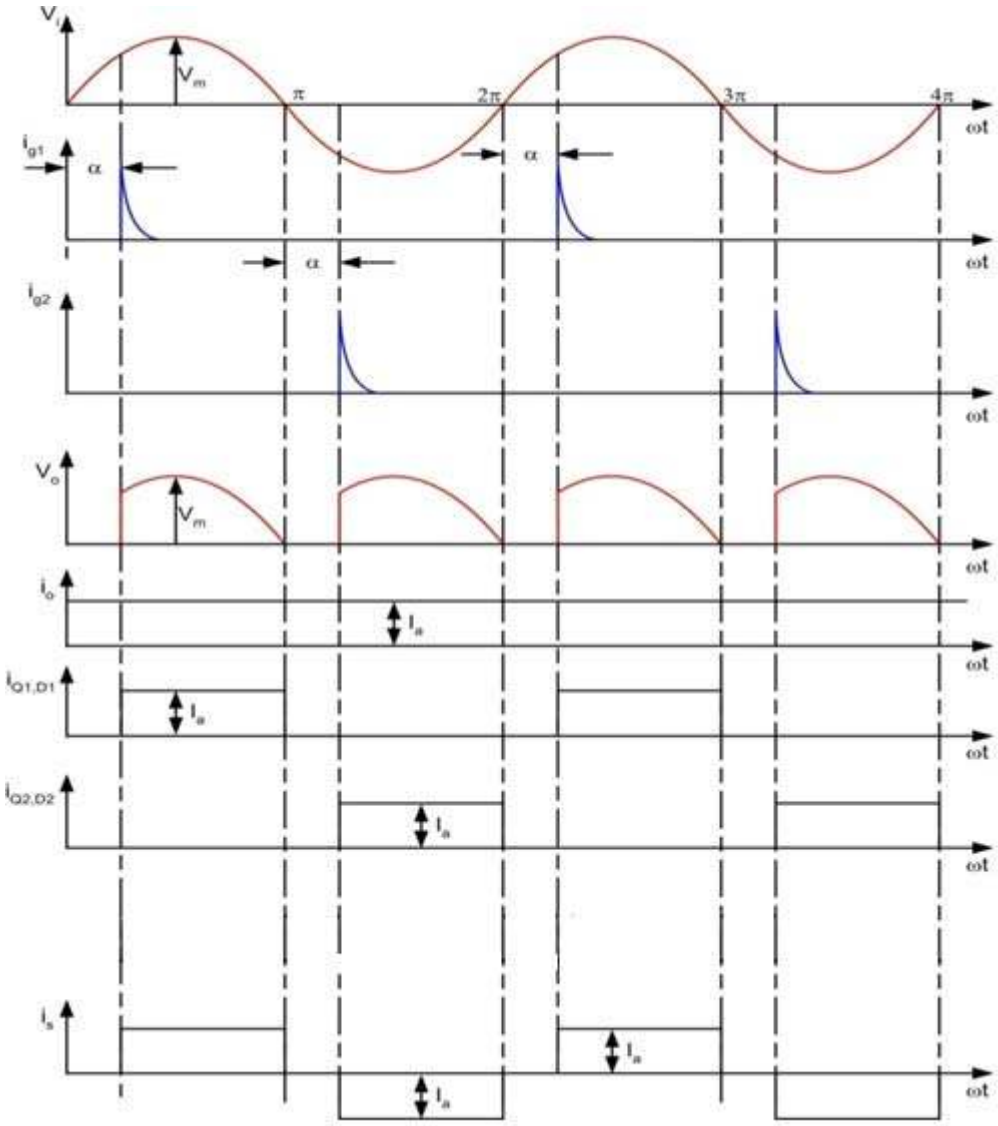
في النصف الموجب من موجه المصدر يتم إشعال الثايرستور Q_1 عند زاوية "α"ويمر التيار من خلاله إلى الحمل مروراً بالدايود D_1 ثم يعود مرة أخرى إلى المصدر ،ويستمر ذلك حتى يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند ($\omega t = \pi$) .

أما خلال الفترة ($2\pi > \omega t > \pi + \alpha$) فيتم إشعال الثايرستور Q_2 عند زاوية $(\pi+\alpha)$ ويمر التيار من خلاله إلى الحمل مروراً بالدايود D_2 ثم يعود إلى المصدر ويستمر ذلك حتى يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند $\omega t = 2\pi$.

ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (*14-2*) في حال اعتبرنا أن المحاثة عالية .



الشكل (2-13) موحد أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم



الشكل(*14-2*) موجات الجهد والتيار للموحد الأحادي الوجه نصف المحكوم مع حمل ذي محاثة عالية

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج V_{av} من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجه جهد الخرج V_o خلال الفترة الزمنية *(0-π)* كما يلي:

$$V_{av} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}\left(1 + \cos(\alpha)\right) \qquad 7\text{-}2$$

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل كما يلي:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{V_m}{\pi \times R}\left(1 + \cos\alpha\right) \qquad 8\text{-}2$$

وكما هو واضح من المعادلة (2- ٧) فإن جهد الحمل (الخرج) يمكن التحكم في قيمته عن طريق التحكم في قيمة زاوية الإشعال α ، ومن الواضح أيضاً أن جهد الخرج لهذا الموحد دائماً يكون موجباً وكذلك تيار الحمل. لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي لا تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد أو التيار (*One quadrant*).

مثال 2-2:

موحد أحادي الوجه كامل الموجه نصف محكوم موصل بمصدر تيار متردد $208V/60Hz$ لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها $15\ \Omega$ وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، المطلوب إيجاد ما يلي :

1. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60°.
2. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره $150V$.
3. أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل .

الحـــل :-

.1

$$V_m = V_{rms} \times \sqrt{2} = 208 \times \sqrt{2} = 294.156\ \text{v}$$

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} \times (1 + \cos\alpha) = 93 \cdot 633 \times (1 + \cos 60^\circ) = 140.4495\ \text{v}$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 9.3633\ \text{v}$$

2. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره $150\ v$.

بالتعويض في المعادلة $(2\text{-}7)$ عن قيمة V_{av} يمكن إيجاد الزاوية α

$$150 = \frac{294.156}{\pi}(1 + \cos(\alpha))$$

$$150 = 93.6328\ (1 + \cos(\alpha))$$

$$\alpha = 52.987^o$$

3. أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل.

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

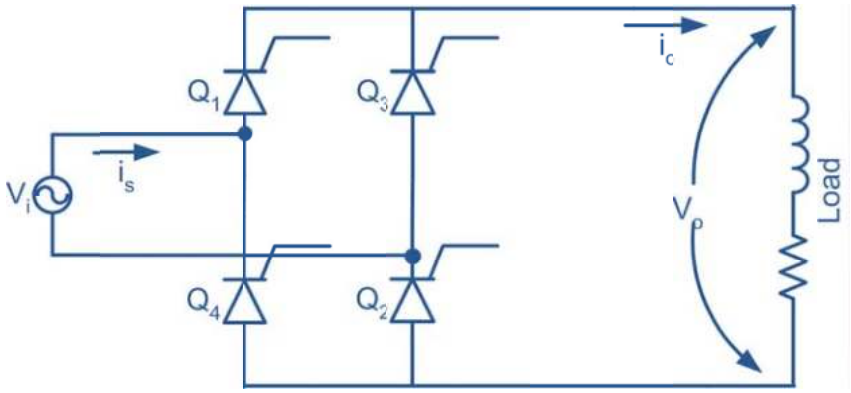
$$V_{o(\max)} = \frac{V_m}{\pi} \times (1 + \cos(\alpha)) = 93.633 \times (1 + \cos(0)) = 187.266\ \text{V}$$

٢,٢,٣. موحد أحادي الوجه موجه كاملة محكوم

Single Phase Full-wave Controlled Rectifier

يتكون الموحد المحكوم كامل الموجه من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد جميعها ثايرستور Q_1,Q_2,Q_3,Q_4. كما في شكل (2-15) وسوف نهتم هنا بحالة الحمل الذي يحتوي على ممانعة حثية عالية.

في النصف الموجب من موجه المصدر يكون كل من الثايرستور Q_1، Q_2 في حالة انحياز أمامي، لذلك عندما يتم إشعالهما عند زاوية α يمر تيار كهربائي من المصدر إلى الحمل خلال الثايرستورات 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 سالباً ،ويستمر ذلك حتى يتم إشعال 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 مرة أخرى عند زاوية $(2\pi+\alpha)$. ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (2-16).



الشكل(2-15) موحد أحادي الوجه موجه كاملة محكوم

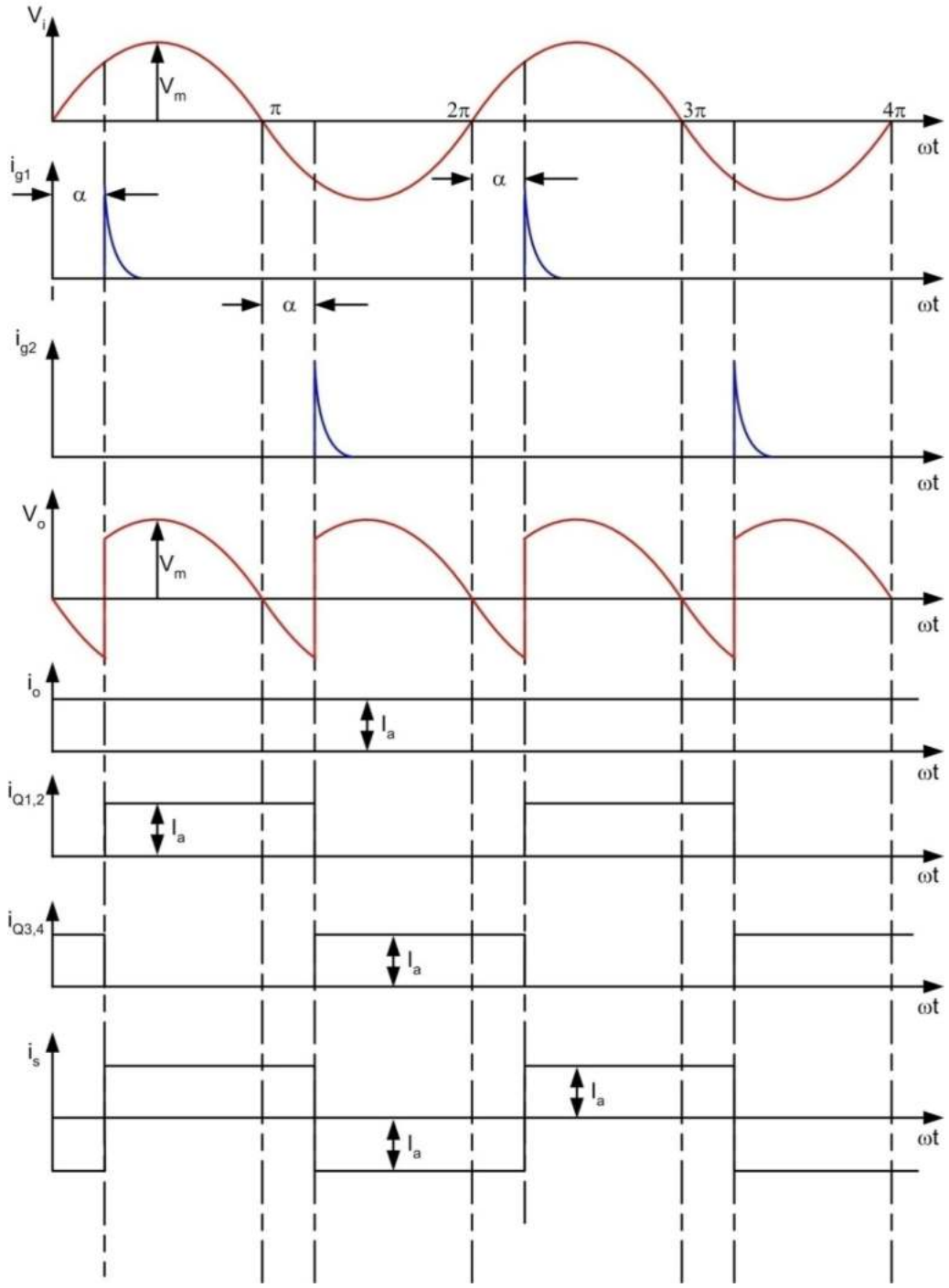
ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج V_{av} من عملية التوحيد وذلك بإيجاد تكامل شكل موجه جهد الخرج خلال الفترة الزمنية $(\alpha-(\alpha+\pi))$، وتكون طبقاً للمعادلة (2-9).

يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل من المعادلة (2-10)،وكما هو واضح من معادلة الجهد المتوسط فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال α ، كما أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً على حسب قيمة زاوية الإشعال ،فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90° يكون الجهد موجباً ،بينما يكون

سالباً إذا كانت زاوية الإشعال أكبر من 90° أما تيار الحمل فيكون دائماً موجباً ،لهذا يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد *(Two quadrant)*.

$$V_{av} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \times \sin(\omega t)d(\omega t) = \frac{2\times V_m \times \cos(\alpha)}{\pi} \qquad 9\text{-}2$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{2\times V_m \times \cos(\alpha)}{\pi \times R} \qquad 10\text{-}2$$



الشكل (2-16) موجات الجهد والتيار للموحد الأحادي الوجه المحكوم مع حمل ذي محاثة عالية

مثال *3-2* :

موحد أحادي الوجه كامل الموجه محكوم متصل بمصدر تيار متردد *208v/ 60Hz* لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها *12 Ω* وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، ، المطلوب إيجاد ما يلي :

1. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال *60°*.
2. القدرة المسحوبة من المصدر P_{in}.
3. القدرة المستردة إلى المصدر عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون *120°*.

الحـل :-

1. تيار الحمل.

$$V_m = V_{rms} \times \sqrt{2} = 208 \times \sqrt{2} = 294.156 \text{ v}$$

$$V_{av} = \frac{2 \times V_m \times \cos(\alpha)}{\pi} = \frac{2 \times 294.156 \times \cos(60^\circ)}{\pi} = 93.633 \ v$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 7.8 \text{ A}$$

ويمكن ملاحظة أن القيم المتوسطة للجهد الناتج من دائرة الموحد كامل الموجه المحكوم أقل من تلك الناتجة من الموحد كامل الموجه نصف المحكوم والذي يعمل عند نفس زاوية الإشعال ويغذى من نفس جهد المصدر. في حالة إهمال الفقد في القدرة على الثايرستورات تكون القدرة المسحوبة من المصدر تساوي القدرة المستهلكة في المقاومة .

$$P_{in} = P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = 93.633 \times 7.8 = 730.6 \ W$$

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون *120°* فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً، ويمكن حسابه من المعادلة *(3-9)*.

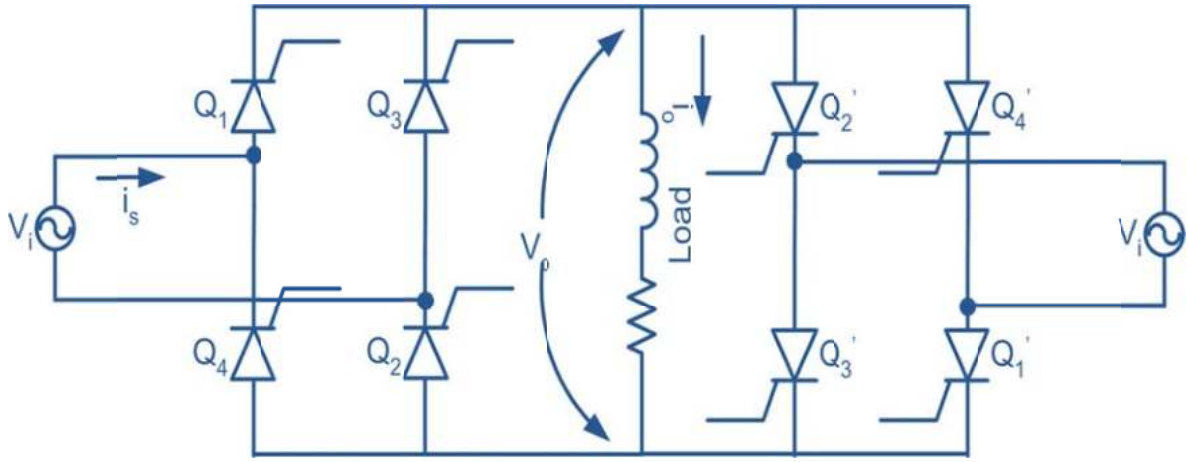
$$V_{av} = \frac{2 \times V_m \times \cos(\alpha)}{\pi} = 187.266 \times (\cos(120^\circ)) = -93.633 \text{ V}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر:

$$P_{in} = V_{av} \cdot I_{av} = -93.633 \times 7.8 = -730.6 \ W$$

٢,٢,٤. الموحد المزدوج الأحادي Single -Phase Dual Converter

يتكون الموحد المزدوج من الموحدين المحكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (*17-2*) ، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذلك عكس التيار المار في الحمل، ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.



الشكل (2-17)الموحد المزدوج الأحادي الوجه .

في حالة تشغيل الموحد الأول والمكون من Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 يكون الجهد على أطراف الحمل:

$$V_{av1} = \frac{2 \times V_m \times \cos \alpha_{a1}}{\pi} \qquad 11\text{-}2$$

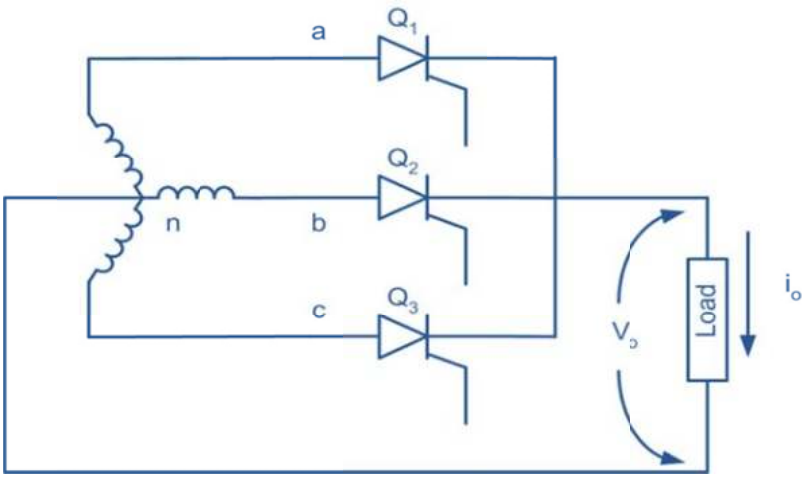
ولعكس اتجاه الجهد على الحمل يجب فصل الموحد الأول وتشغيل المحول الثاني وفي حالة تشغيل الموحد الثاني والمكون من Q_1', Q_2', Q_3', Q_4' يكون الجهد على أطراف الحمل:

$$V_{av2} = \frac{2 \times V_m \times \cos \alpha_{a2}}{\pi} \qquad 12\text{-}2$$

٢,٢,٥. موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه محكوم Three Phase Half-waveRectifier

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

يتكون الموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجه من ثلاث ثايرستورات Q_1, Q_2, Q_3 توصل بين المصدر والحمل، الذي يتكون من مقاومة مادية ومحاثة عالية كما في الشكل *(2-18)*. ويلاحظ من موجات جهد المصدر كما في الشكل (*2-18*) أن الثايرستور Q_1 يكون في حالة انحياز أمامي في الفترة $(\frac{\pi}{6} < \omega t < \frac{5\pi}{6})$ ، وبالتالي يمكن إشعاله خلال تلك الفترة ، بينما يكون الثايرستور Q_2 في حالة انحياز أمامي في الفترة $(\frac{5\pi}{6} < \omega t < \frac{3\pi}{2})$ ، ويمكن إشعاله في تلك الفترة، أما الثايرستور Q_3 فيكون في حالة انحياز أمامي في الفترة $(\frac{3\pi}{2} < \omega t < 2\pi + \frac{3\pi}{2})$ ،ويمكن إشعاله في تلك الفترة. على ذلك يمكن تلخيص عمل الموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجه كما يلي: عندما يكون الثايرستور في حالة انحياز أمامي ،ويتم 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 *(2-19)*.



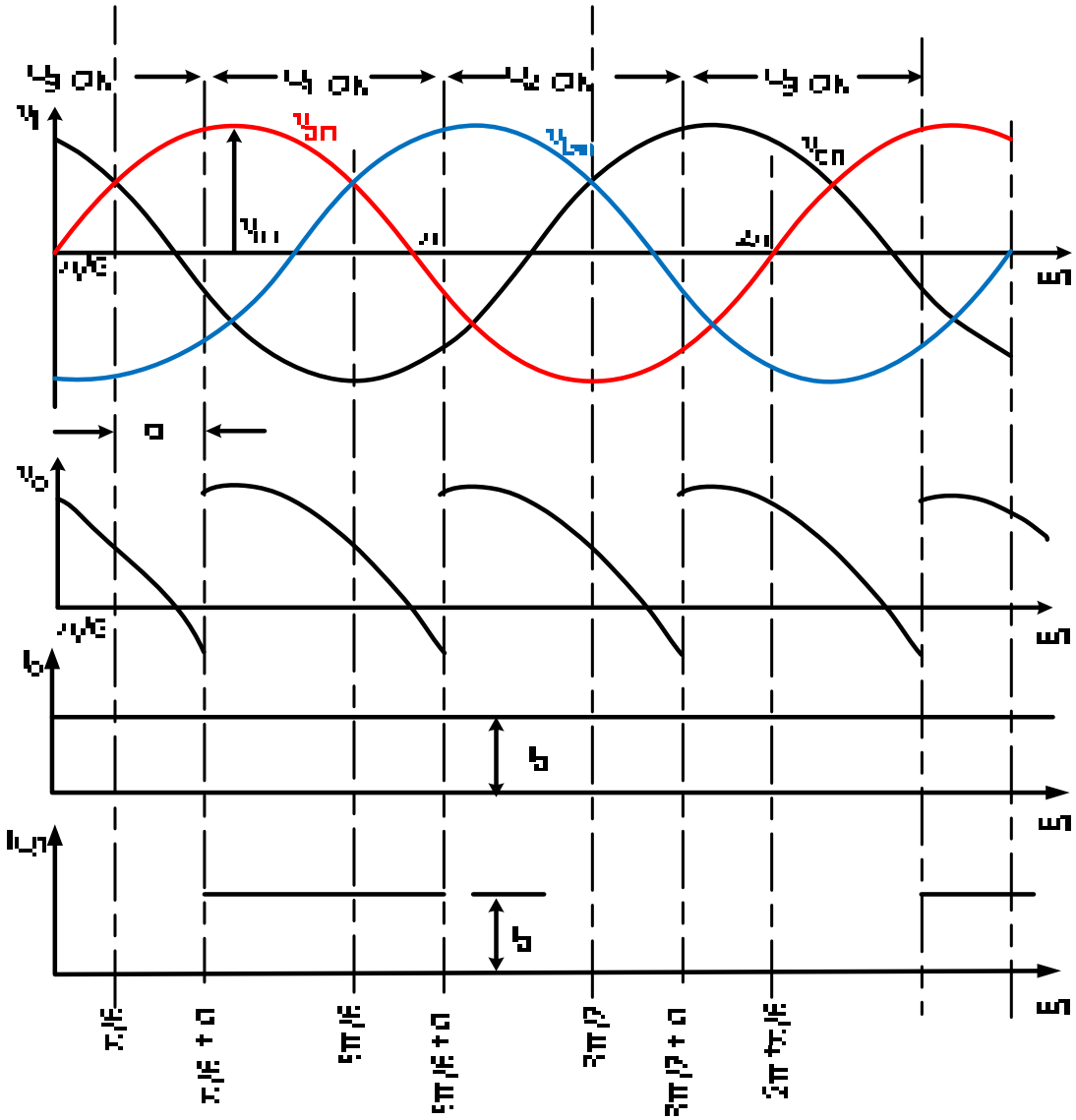
الشكل (2-18) الموحد نصف الموجه الثلاثي الأوجه المحكوم

ويمكن كتابة معادلات جهد المصدر الثلاثي الأوجه كما يلي:

$$V_{an} = V_m \times \sin(\omega \times t)$$

$$V_{bn} = V_m \times \sin(\omega \times t - 2\pi/3)$$

$$V_{cn} = V_m \times \sin(\omega \times t + 2\pi/3)$$



الشكل(2-19)موجات الجهد والتيار للموحد نصف الموجه الثلاثي الأوجه .

ويمكن ملاحظة أن عدد التذبذبات في موجه جهد الحمل (الخرج) أقل من الموحد الأحادي الوجه. ويمكن حساب القيمة المتوسطة لجهد الحمل بإجراء تكامل لشكل موجه جهد الحمل في الفترة من{ $(\pi/6 + \alpha)$ إلى $(5\pi/6 + \alpha)$ }، وعلى ذلك يمكن حساب هذا الجهد من المعادلة (*13-2*).

$$V_{av} = \frac{3}{2\pi}\int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\alpha+\frac{5\pi}{6}} V_m \times \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{3\times\sqrt{3}\times V_m}{2\pi}\cos(\alpha) \qquad 13\text{-}2$$

مثال2-4 :

موحد نصف موجه ثلاثي الأوجه محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها $10\ \Omega$وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية الثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده $208V$،احسب ما يلي :

1. القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30° .
2. القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60° .
3. القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 120° .
4. أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل.

الحــل :-

.1

$$V_m = \frac{V_{rms} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{208 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83\ \text{v}$$

$$\text{V}_{\text{av}} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times \text{V}_{\text{m}}}{2\pi}(\cos(\alpha)) = 140 \cdot 449 \times (\cos 30^\circ) = 121.633\ \text{v}$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 12.166\ \text{A}$$

.2

$$\text{V}_{\text{av}} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times \text{V}_{\text{m}}}{2\pi} \times (\cos(\alpha)) = 140 \cdot 449 \times (\cos 60^\circ) = 70.2245\ \text{v}$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 7\ \text{A}$$

.3

$$\text{V}_{\text{av}} = \frac{3 \times \sqrt{3 \times \text{V}_{\text{m}}}}{2\pi}(\cos(\alpha)) = 140 \cdot 449 \times (\cos 120^\circ) = -70.2245\ \text{V}$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = -7\ \text{A}$$

٤.أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل يحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر.

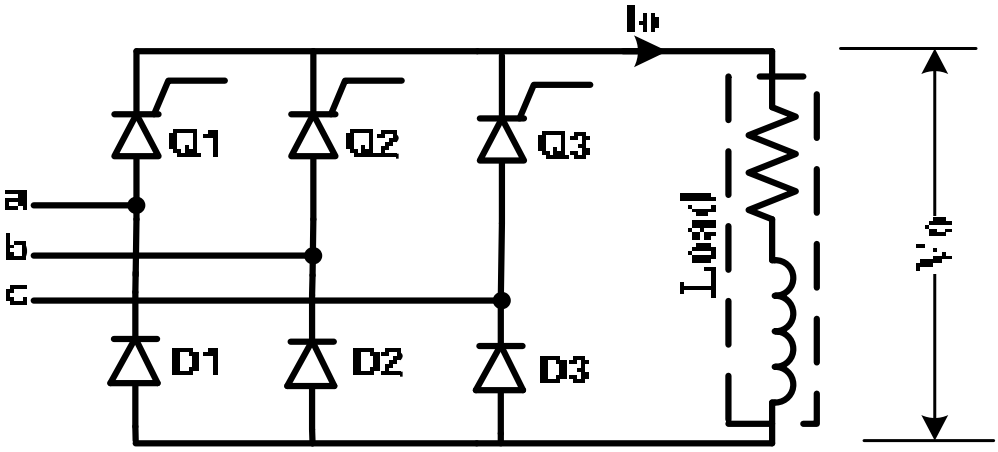
$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3 \times V_m}}{2 \times \pi}(\cos(\alpha)) = 140 \cdot 449 \times (\cos(0^\circ)) = 140.45\ \text{V}$$

٢,٢,٦. موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة نصف محكوم

Three Phase Semi controlled Rectifier

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات،يتم توزيعها على الشكل قنطرة كما في شكل(*2-20*) ،ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب أيضاً(*One Quadrant*) ، ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجه حيث يستخدم في التطبيقات التي تصل القدرة فيها إلى حوالي *120 kW* ويلاحظ أن معامل القدرة له يقل بزيادة زاوية الإشعال، ولكنه أعلى من معامل القدرة للموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجه ،ويكون الجهد المتوسط الناتج من الموحد ،مع اعتبار أن الحمل مادي وحثي ذو ممانعة حثية عالية القيمة طبقاً للمعادلة (*2-14*).

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \qquad 14\text{-}2$$



الشكل (2-20) موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة نصف محكوم

مثال2-5 :

موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها $10\ \Omega$ وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات ، وكان مصدر التغذية الثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده $208v$ ، المطلوب حساب ما يلي :

1. القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45° .
2. القيمة المتوسطة لجهد الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 75° .
3. القيمة المتوسطة لجهد الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 135° .
4. أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل.
5. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار مقداره $6\ A$.

الحـــل :-

١-

$$V_m = \frac{208 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83\ v$$

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{2\pi}(1 + \cos(\alpha)) = 140 \times 449 \times (1 + \cos 45^\circ) = 239.76\ v$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = 23.976\ A$$

٢-

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{2\pi}(1 + \cos(\alpha)) = 140 \times 449 \times (1 + \cos 75^\circ) = 176.8\ v$$

٣-

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{2 \times \pi} \times (1 + \cos(\alpha)) = 140 \times 449 \times (1 + \cos 135^\circ) = 41.136\ v$$

٤.أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل تحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر.

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{2 \times \pi} \times (1 + \cos(\alpha)) = 140 \cdot 449 \times (1 + \cos 0^\circ) = 280.898\ v$$

٥.للحصول على تيار $6\ A$ يجب أن يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل:

$$V_{av} = I_{av} \times R = 6 \times 10 = 60\ v$$

نعوض عن قيمة V_{av} في المعادلة (٢-١٤) للحصول على زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار $6A$:

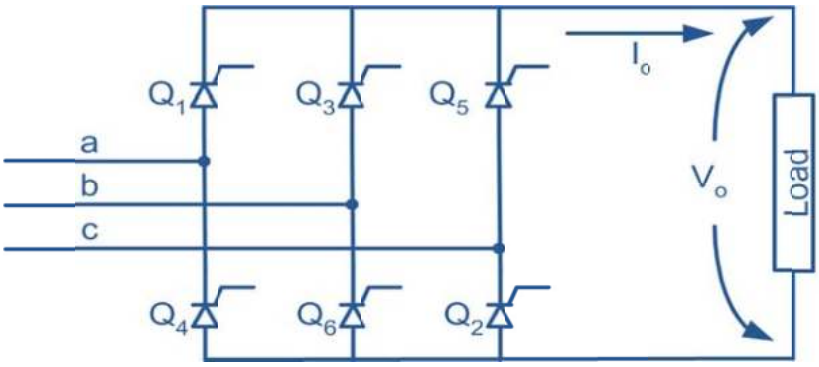
$$60 = \frac{3 \times \sqrt{3} \times 169\ .83}{2 \times \pi}(1 + \cos(\alpha))$$

$$\alpha = 125\ ^{\circ}$$

٢,٢,٧. موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة محكوم Three Phase Full-wave Rectifier

يتكون هذا الموحد من ست ثايرستورات يتم توزيعها على شكل قنطرة كما في شكل(*21-2*) ،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 الناتج طبقاً للمعادلة (*15-2*).

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{\pi} \times \cos(\alpha) \qquad 15\text{-}2$$



الشكل (2-21) موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة محكوم

مثال *6-2* :

موحد ثلاثي الأوجه موجه كاملة 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 الثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده $208\ V$. المطلوب حساب ما يلي :

1. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45° .
2. القدرة المسحوبة من المصدر P_s .
3. القدرة المستردة إلى المصدر عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135°.

الحـــل :-

١.

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

$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{\pi}(\cos(\alpha)) = 280.898 \times (\cos 45^\circ) = 198.625 \text{ v}$$

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{198.625}{10} = 19.86 \text{ v}$$

٢. في حالة إهمال الفقد في القدرة على الثايرستورات تكون القدرة المسحوبة من المصدر تساوي القدرة المستهلكة في المقاومة .

$$P_{in} = P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = 198.625 \times 19.86 = 3944.7\ W$$

٣. عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 135° فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً ويمكن حسابه من المعادلة *(3-15)*.

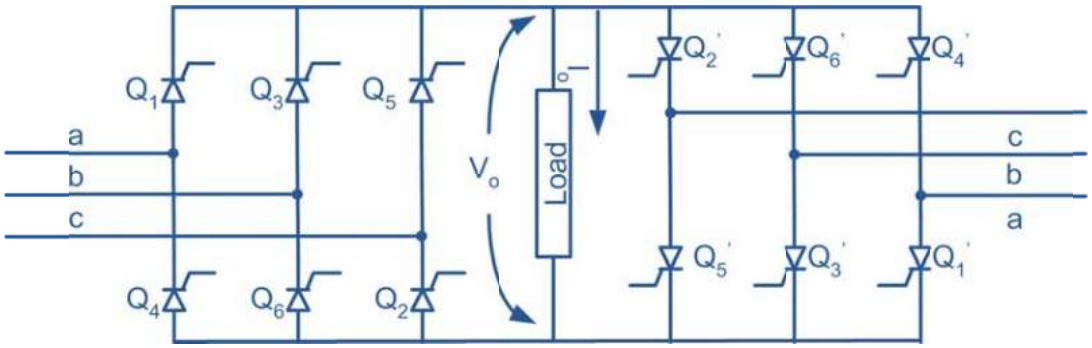
$$V_{av} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times V_m}{\pi}(\cos(\alpha)) = 280.898 \times (\cos 135^\circ) = -198.625 \text{ v}$$

وتكون القدرة المعادة للمصدر

$$P_s = V_{av} \times I_{av} = -198.625 \times 19.86 = -3944.7W$$

٢,٢,٨. موحد مزدوج ثلاثي الأوجه Three Phase DualConverter

يتكون الموحد المزدوج من الموحدين المحكومين ،يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل*(2-22)* ، وذلك حتى نتمكن 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



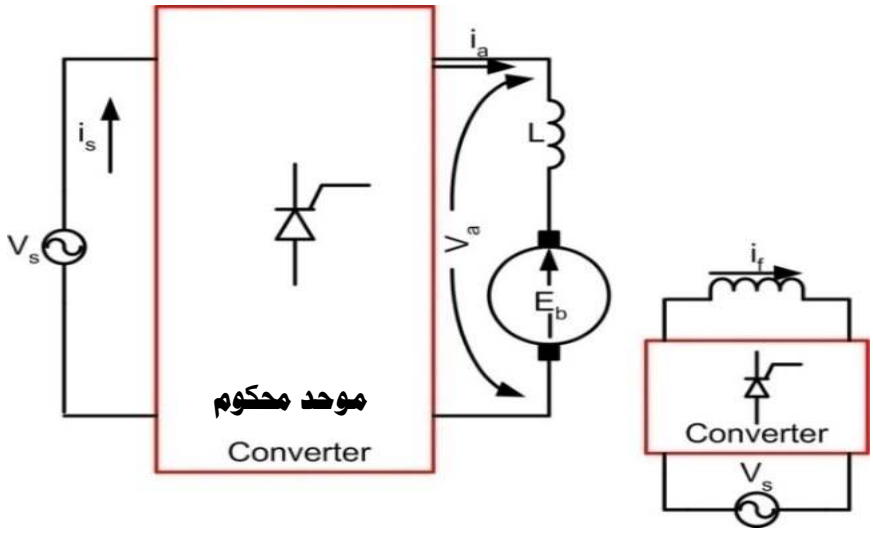
الشكل (2-22) موحد مزدوج ثلاثي الأوجه

٢,٣ 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، ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثايرستورات" ،حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثايرستور. ويوضح شكل (*2-23*) الدائرة الأساسية لكيفية استخدام دوائر الموحدات المحكومة للتحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة. وتتكون الدائرة من الموحدين المحكومين 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 عملياً على طريقتين رئيستين :

التحكم في جهد المنتج : حيث تتناسب السرعة طردياً مع جهد المنتج وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة ،ويتم تنفيذ ذلك عملياً 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 عكسياً مع تيار المجال وتتميز بإمكانية الحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة، ويتم تنفيذ ذلك عملياً 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.



الشكل(2-23) الدائرة الأساسية للتحكم في محركات التيار المستمر من خلال الموحدات المحكومة

مثال *2-7* :

محرك تيار مستمر منفصل التغذية قدرته *2.5 hp* ، يتم تغذيته من موحد أحادي الوجه موجه كاملة محكوم ومتصل بمنبع جهد *220V/60Hz* . التيار المقنن للمحرك *10A* عند السرعة المقننة *1500 rpm* المطلوب إيجاد ما يلي :

1. زاوية الإشعال عند السرعة المقننة.
2. زاوية الإشعال عند سرعة *500 rpm* .

مع العلم بأن مقاومة ملفات المنتج *0.2 Ω* .

الحـــل :-

بالرجوع إلى مقرر آلات التيار المستمر والمحولات ١١٠كهر، يمكن كتابة المعادلات التالية لمحرك التيار المستمر منفصل التغذية:

$$V_a = E_a + I_a R_a$$

$$E_a = K \times \omega$$

$$T = K \times I_a$$

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

القيمة المتوسطة للجهد الخارج من الموحد المحكوم :

$$V_{av} = \frac{2V_m \times \cos\alpha}{\pi}$$

$$V_m = 220\sqrt{2} = 311.13 \quad v$$

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

حساب زاوية الإشعال عند السرعة المقننة :

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{2.5 \times 746}{157.1} = 11.87 \quad N.m$$

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

$$E_a = K \times \omega = 1.187 \times 157.1 = 186.6 \quad v$$

$$V_a = E_a + I_a R_a = 186.6 + 10 \times 0.2 = 188.6 \quad v$$

وبما أن جهد خرج الموحد هو الجهد على أطراف المنتج $V_{av} = V_a$ إذاً :

$$\cos\alpha = \frac{V_{av} \times \pi}{2V_m} = \frac{188.6 \times \pi}{2 \times 311.13} = 0.9522$$

$$\alpha = 17.8^o$$

حساب زاوية الإشعال عند سرعة $500\ rpm$:

$$E_{a1} = K \times \omega_1 = 1.187 \times \frac{2\pi \times 500}{60} = 62.15\ v$$

$$V_{a1} = E_{a1} + I_a R_a = 62.15 + 10 \times 0.2 = 64.15\ v$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{V_{av1} \times \pi}{2V_m} = \frac{64.15 \times \pi}{2 \times 311.13} = 0.3238$$

$$\alpha_1 = 71.1^o$$

أسئلة الوحدة الثانية

١. ما الأنواع المختلفة للثايرستور؟
٢. ما الشروط اللازم توافرها لكي يوصل الثايرستور تياراً؟
٣. اذكر الطرق المختلفة لإشعال الثايرستور .
٤. كيف يتم إطفاء الثايرستور الموصل للتيار؟
٥. اشرح مع الرسم كيفية حماية الثايرستور .
٦. ما هي أنواع الموحدات المحكومة ؟
٧. ما سبب ندرة استخدام كل من الموحد الأحادي الوجه نصف الموجه المحكوم والموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجه؟
٨. ارسم دائرة موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم وارسم أشكال موجات الجهد والتيار عندما يكون الحمل عبارة عن مقاومة مادية فقط.
٩. كرر السؤال السابق عندما يكون الحمل مادياً وحثياً.
١٠. ارسم دائرة موحد أحادي الوجه نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل حثي يحتوي على مقاومة وملف عالي القيمة. ثم ارسم أشكال موجات التيار والجهد في دائرة هذا الموحد.
١١. كرر السؤال السابق مع وجود دايود المسار الحر.
١٢. ضع ✓أو ✗ أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

a. يستخدم الموحد الأحادي الوجه نصف الموجه للحصول على تيار وجهد موجبين. ☐
b. يستخدم الموحد الأحادي الوجه نصف المحكوم للحصول على تيار موجب وجهد سالب. ☐
c. يمكن استخدام الموحد المزدوج الأحادي الوجه في أربع حالات تشغيل مختلفة. ☐
d. يستخدم الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم للحصول على جهد موجب أو سالب وتيار موجب. ☐

١٣. ارسم دائرة لموحد محكوم ثلاثي الأوجه نصف موجه، وارسم أشكال موجات التيار والجهد عندما تكون محاثة الحمل عالية ،بحيث يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات.

١٤. كرر السؤال السابق مع الموحد الثلاثي الأوجه الموجه الكاملة نصف المحكوم.

١٥. موحد أحادي الوجه كامل الموجه محكوم ،يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 20 Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لان يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات ،وكان جهد مصدر التيار المتردد 208V فإذا كانت القدرة المستهلكة في المقاومة P_o مقدارها 2kW ، المطلوب إيجاد ما يلي : -

a. رسم الدائرة الكهربائية للموحد المستخدم .
b. رسم أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة .
c. القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل .
d. زاوية الإشعال .
e. أقصى قدرة يمكن الحصول عليها .

١٦. محرك تيار مستمر منفصل التغذية قدرته 3 hp، يغذى من موحد أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم ومتصل بمنبع جهد 220V/60Hz التيار المقنن للمحرك 12A عند السرعة المقننة 1500 rpm ، المطلوب حساب ما يلي :

a. زاوية الإشعال عند السرعة المقننة .
b. زاوية الإشعال عند سرعة *800 rpm* .
c. السرعة عند زاوية إشعال 150°.

مع العلم بأن مقاومة ملفات المنتج 0.2Ω .

الوحدة الثالثة

مقطعات التيار المستمر

الهدف العام للوحدة: دراسة دوائر مقطعات التيار المستمروالتعرف على أنواعها واستخداماتها وتطبيقاتها.

الأهداف التفصيلية:

١. أن يتعرف المتدرب على العناصر المستخدمة في مقطعات التيار المستمر .
٢. أن يتعرف المتدرب على كيفية تشغيل الترانزستور وطرق حمايته.
٣. أن يتمكن المتدرب من شرح فكرة عمل مقطعات التيار المستمر.
٤. أن يرسم المتدرب أشكال موجات التيار والجهد لمقطع التيار المستمر من النوع الخافض.
٥. أن يحسب المتدرب القيمة المتوسطة للجهد الناتج من مقطع التيار المستمر.
٦. أن يلم المتدرب بتأثير نسبة التشغيل على القيمة المتوسطة للجهد.
٧. أن يتعرف المتدرب على أهم تطبيقات مقطعات التيار المستمر في الصناعة.
٨. أن يتعرف المتدرب على كيفية التحكم في الجهد الخارج من دوائر المقطعات.

٣,١ ترانزستور القدرة Power Transistor

يستخدم الترانزستور بكثرة الآن في كثير من تطبيقات إلكترونيات القدرة ،حيث يمكن أن يصبح بديلاً للثايرستور لما يتميز به من مقدرة على الفصل والتوصيل من خلال تيار القاعدة ،وذلك على العكس من الثايرستور الذي يحتاج إلى دائرة مساعدة لكي يفصل التيار. ومع التطور التكنولوجي في صناعة أشباه الموصلات، تم تصنيع الترانزستور بمقننات عالية للجهد والتيار ،وبذلك أصبح منافساً قوياً للثايرستور الذي يتميز بهذه الخاصية. وفي معظم تطبيقات الترانزستور في دوائر إلكترونيات القدرة، فإنه يستخدم كمفتاح للتوصيل والفصل. ويوجد ثلاثة أنواع رئيسة للترانزستور في دوائر إلكترونيات القدرة وهي :

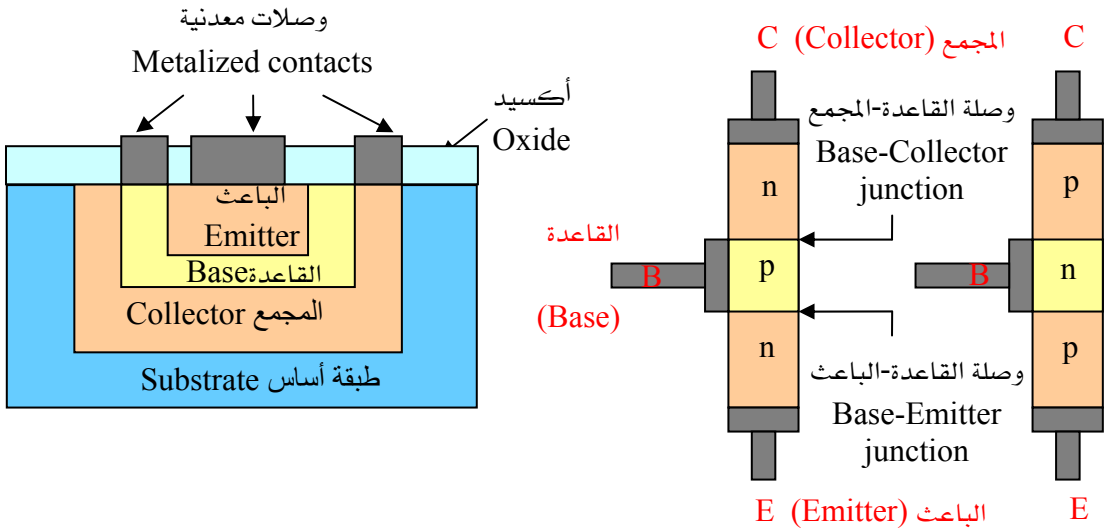
١- الترانزستور الثنائي القطبية **BJT** (**B**ipolar **J**unction **T**ransistor)

٢- ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة
MOSFET (**M**etal–**O**xide-**S**emiconductor **F**iled **E**ffect **T**ransistor)

٣- الترانزستور الثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة
IGBT (**I**nsulated **G**ate **B**ipolar Junction**T**ransistor)

٣,١,١ الترانزستور الثنائي القطبية BJT (Bipolar Junction Transistor)

يتركب الترانزستور ثنائي القطبية من ثلاث مناطق من شبه الموصل المطعم مفصولة بوصلتين من النوع p-n كما هو مبين في الشكل(٣- ١ أ). وتسمى هذه المناطق بالباعث(Emitter) والقاعدة (Base) والمجمع(Collector)، ويوجد نوعان من الترانزستور ثنائي القطبية وهما npn و pnp والشكل (٣- ١ ب) يبين التمثيل للرموز الطبيعية لهذه الأنواع من الترانزستور. الوصلة pn التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة الباعث تسمى وصلة القاعدة - الباعث (Base-Emitter Junction) والوصلة التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة المجمع تسمى وصلة القاعدة- المجمع (Base-Collector Junction) كما هو مبين في شكل (٣- ١ ب)، ويرمز اختصاراً للمشع بالحرف E، وللمجمع بالحرف C، وكذلك القاعدة بالحرف B . ويبين شكل (٣- ٢) الرمز القياسي الذي يستخدم في الدوائر الإلكترونية لكل من ترانزستور npn وكذلك ترانزستور pnp.



(أ) (ب)

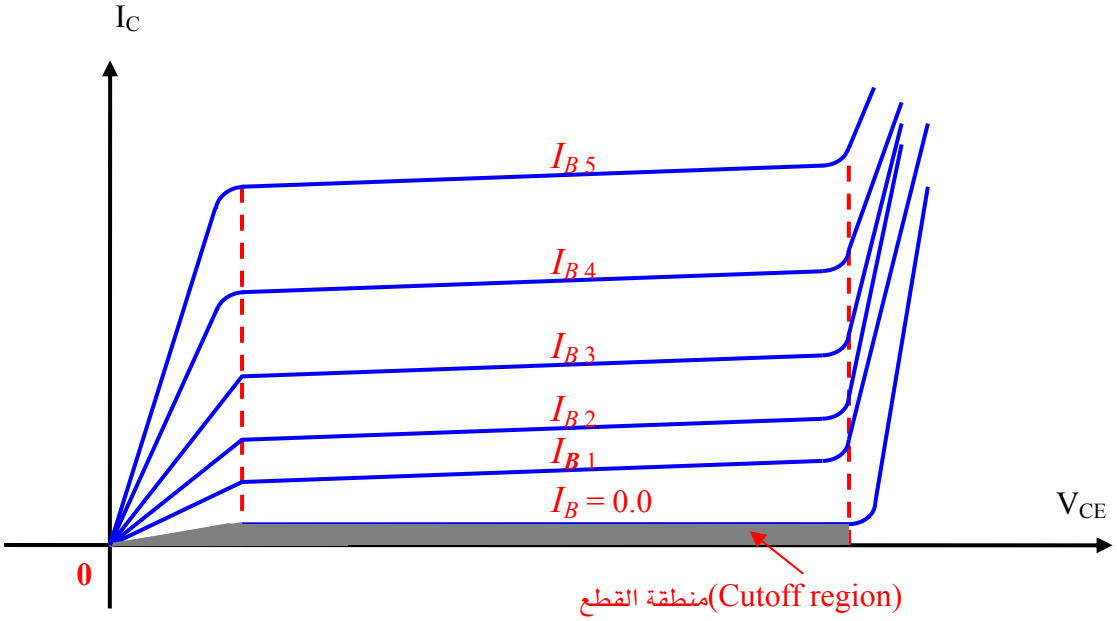
شكل (٣-١) البناء الأساسي للترانزستور ثنائي القطبية.

شكل(٣-٢) يوضح الرموز القياسية المستخدمة في الدوائر الإلكترونية

منحنيات خواص لترانزستور ثنائي القطبية

تمثل العلاقة بين تيار المجمع I_C وفرق الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند قيم ثابتة لتيار القاعدة I_B.

- يمكن الحصول على مجموعة من منحنيات الخواص للترانزستور كما هو مبين بشكل(٣- ٣) وذلك بتغيير قيمة تيار القاعدة عند قيم مختلفة.
- عندما يكون تيار القاعدة مساوياً الصفر يكون الترانزستور في هذه الحالة في منطقة القطع (Cut off Region) بالرغم من وجود تيار المجمع المتسرب الصغير جداً كما بشكل(٣- ٣).

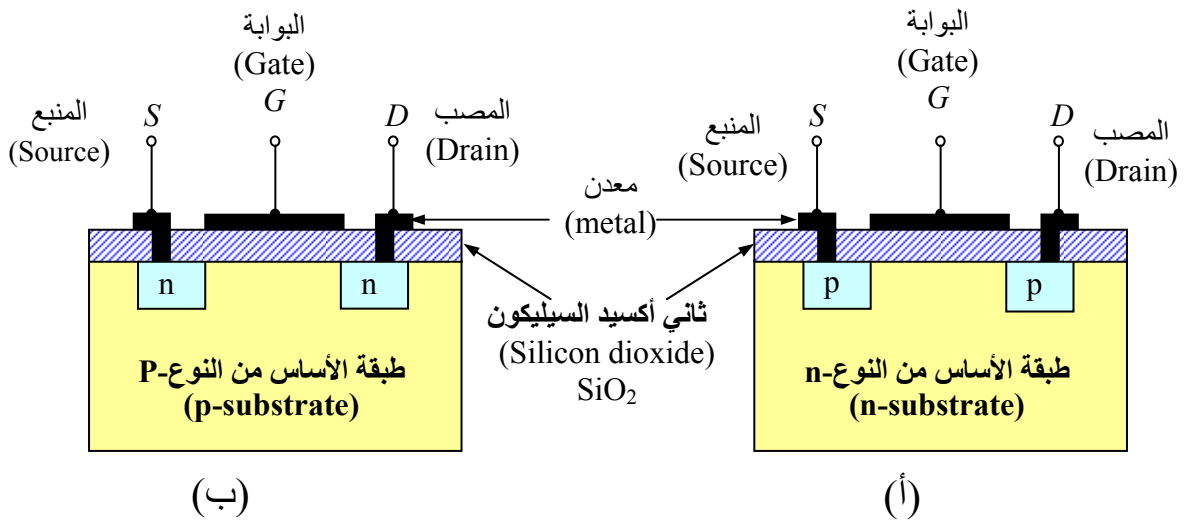


شكل(3- 3) يوضح مجموعة من منحنيات خواص المجمع للترانزستور ثنائي القطبية.

٣,١,٢ ترانزستور تأثير المجال أكسيد المعدن شبه الموصل MOSFET

بالإضافة لتسميته ترانزستور تأثير المجال المعدني الاكسيدي شبه الموصل (MOSFET) يسمى أيضا ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (Insulated Gate Field Effect Transistor) ويرمز له بالرمز IGFET. يمتاز هذا النوع على ترانزستور ثنائي القطبية BJT بأنه يعتمد على الجهد في تشغيله ،ولا يعتمد على التيار ،وبذلك لا يتأثر تشغيله بدرجة حرارة الوصلة ،ويكون أكثر استقرارا في التشغيل ،وله مقاومة دخل كبيرة ($10^{10}\Omega$ - $10^{15}\Omega$) نظراً لوجود الطبقة العازلة المتمثلة في طبقة ثاني أكسيد السيليكون.

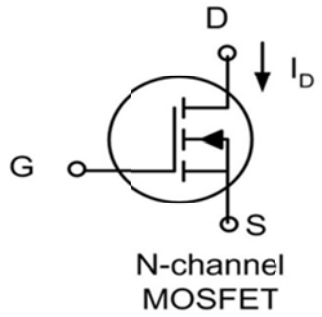
يتكون هذا النوع من الترانزستور من طبقة أساس (Substrate) من مادة شبه موصل ذات شوائب قليلة التركيز من النوع - n (في حالة القناة- P) أو النوع- p (في حالة القناة- n) بها منطقتان ذات شوائب من نوع معاكس لنوع طبقة الأساس وذات تركيز عالي يمثلان المنبع (Source) والمصرف (Drain) ويغطى السطح بطبقة رقيقة عازلة من مادة ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2). ثم تغطى الطبقة العازلة بطبقة موصلة معدنية لتمثل البوابة (Gate). بالإضافة لوجود وصلات معدنية خارجية لكل من المصرف والمنبع كما هو مبين بشكل (3- 4).



شكل (٣-٤) تركيب النوع التعزيزي لترانزستور MOSFET

(أ) ذو القناة-p (ب) ذو القناة-n

والشكل (٣- ٥) يبين الرموز المستخدمة لترانزستور MOSFET ذي القناة- n ويمكن استخدام نفس الرموز بالنسبة للترانزستور ذي القناة- p مع عكس اتجاه السهم المبين بكل رمز.

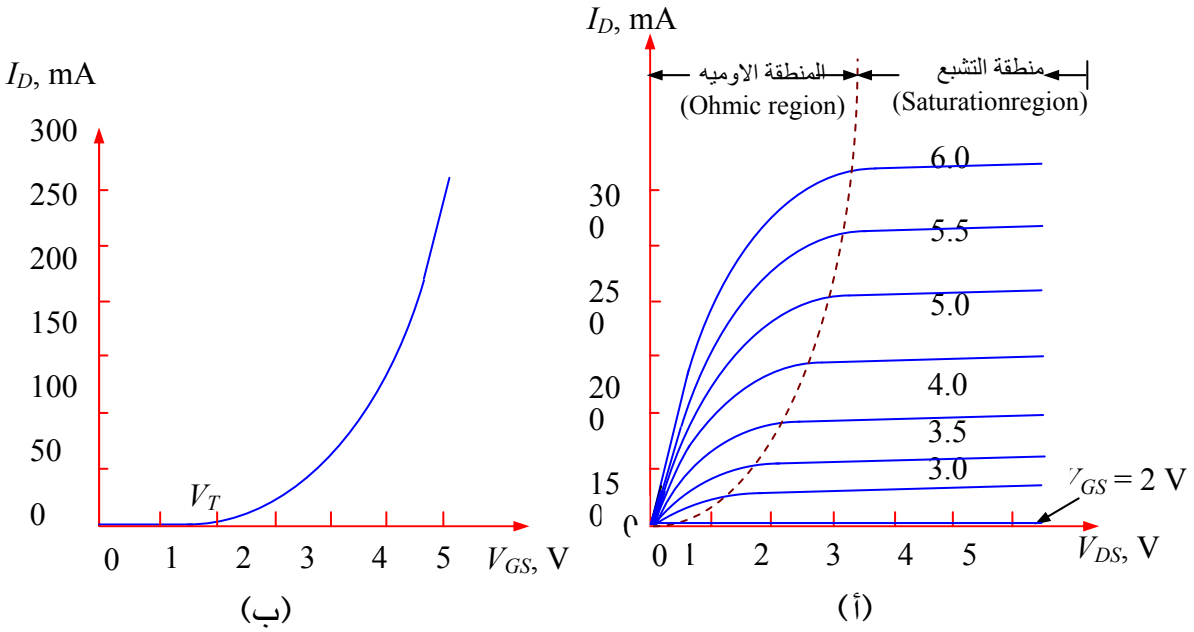


شكل (٣- ٥) رمز الموسفت ذو القناة السالبة n- channel

- **منحنيات خواص لترانزستور**MOSFET

شكل (٣- ٦) يبين منحنيات الخواص للنوع التعزيزى لترانزستور MOSFET ذي القناة- n. شكل (٣- ٦أ) يوضح منحنيات خواص المصرف أو الخرج، ونلاحظ منها أنه كلما زادت قيمة الجهد V_{GS} فإن قيمة التيار I_D تثبت تقريباً عند قيم أقل للجهد V_{DS}. يبين شكل (٣- ٦ب) منحنى التحويل ومنه نلاحظ أن قيمة التيار I_D تكون صغيرة جداً (بالنانو أمبير) إذا كانت قيمة جهد البوابة أقل من قيمة الجهد الفاصل، ولكن بعد الجهد الفاصل يزداد التيار بقيم كبيرة ولذلك يمكن استخدام هذا النوع من الترانزستور كمفتاح، حيث لا يمرر تيار كهربائي بقيم ملحوظة إلا إذا وصل الجهد إلى قيمة الجهد الفاصل.

منحنيات الخواص المبينة بالشكل (٣- ٦) تصلح للترانزستور ذي القناة- p مع عكس قطبية جميع الجهود والتيارات.

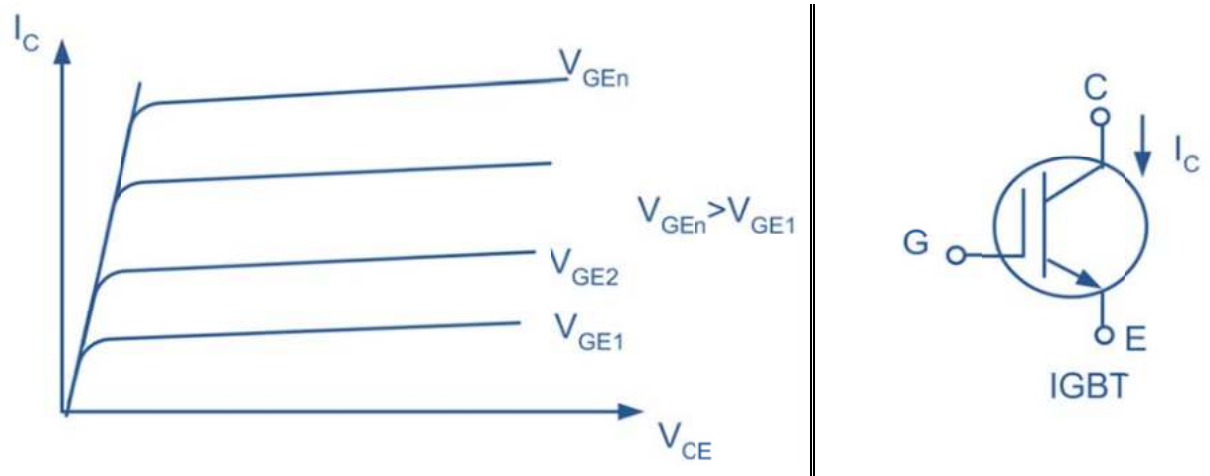


شكل (٣-٦) منحنيات خواص لترانستور MOSFET ذو القناة-n
(أ) خواص المصرف أو الخرج (Drain or Output characteristics)
(ب) خواص التحويل (Transfer characteristic)

٣,١,٣ الترانزستور الثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة IGBT

يقدم ترانزستور (IGBT) أداء مشابهاً لترانزستور (BJT) ويتم تشغيله بشكل مشابه لترانزستورالموسفت (MOSFET). ويمتاز بتمرير تيارات ذات كثافة عالية تفوق كثافة التيارات التي يمررها ترانزستور (BJT).

ويمتاز أيضاً بأن سرعة تبديله أسرع من (BJT) ولكن مازالت أقل من (MOSFET) حيث تصل إلى 40kHz. ويتوافر هذا النوع بمقننات تصل إلى 1600V للجهد و1000A للتيار. وله ثلاثة أطراف ، مجمع (Collector) ويرمز له بالحرف C ومشع (Emitter) ويرمز له بالحرف E وبوابة(Gate) ويرمز له بالحرف G. ويوضح شكل(3-7) رمز ومنحنى الخواص الاستاتيكية لترانزستور IGBT. ويستخدم هذا النوع بكثرة في دوائر التحكم في المحركات الكهربائية.



خواص الترانزستور IGBT | الرمز

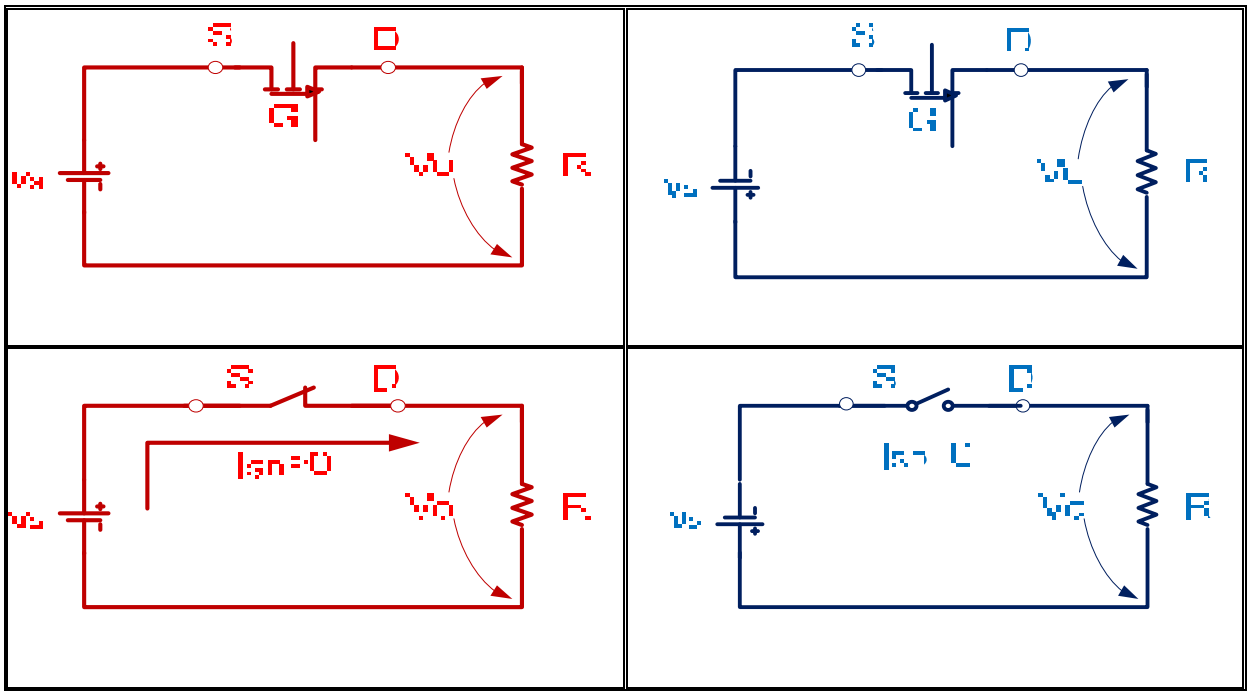
الشكل(3-7) الترانزستور IGBT.

٣,٢ مقطعات التيار المستمر DC Choppers

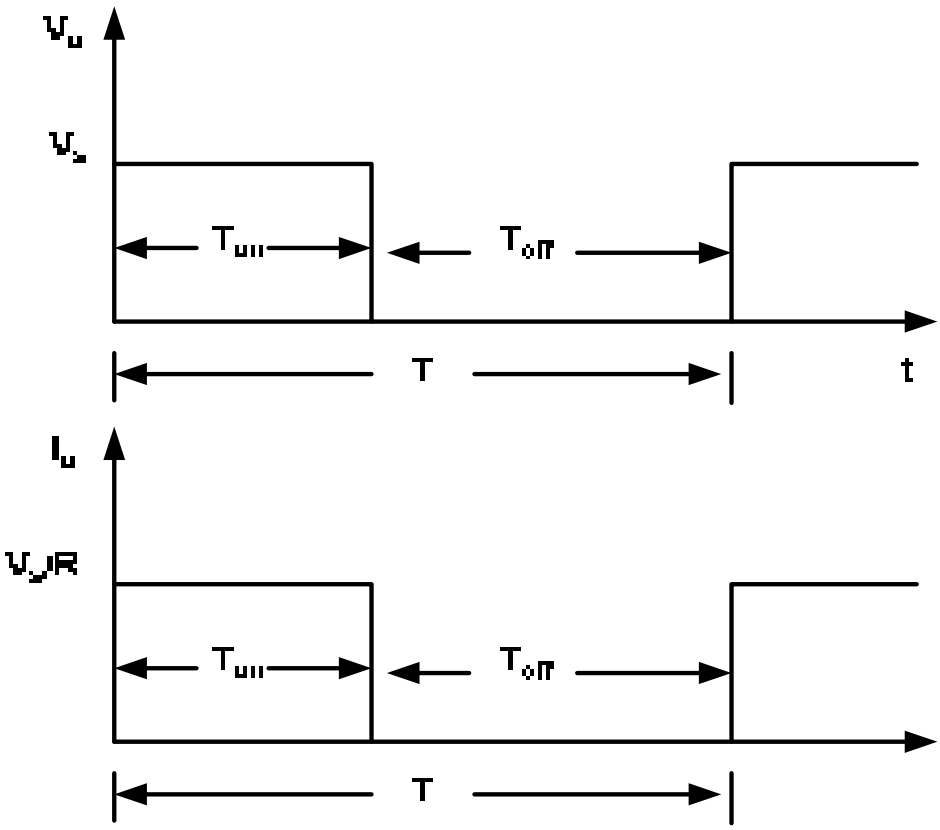
تستخدم مقطعات التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة ، وتستخدم مقطعات التيار المستمر على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية ،مثل القطارات الكهربائية ،والسيارات الكهربائية، وآلات الرفع والجر والأوناش.... إلخ، وتلعب مقطعات التيار المستمر دوراً مهما للتحكم في السرعة أو عمل الفرملة بإعادة التوليد، ويؤدي استخدامها إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية. سنتعرف في هذه الوحدة على أهم أنواع مقطعات التيار المستمر وكذلك فكرة عملها.

٣,٢,١ نظرية عمل مقطعات التيار المستمر Theory of Operation

يمكن فهم فكرة عمل مقطع التيار المستمر باستخدام الدائرة الموضحة بشكل(*3-8*) 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 للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (*3-9*) .



الشكل(*3-8*) دائرة مقطع التيار المستمر



الشكل (3-9) موجات الجهد والتيار

ويمكن حساب الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T_{on}} V_s \times dt = \frac{T_{on}}{T} \times V_s = k \times V_s \qquad 1\text{-}3$$

$$k = \frac{T_{on}}{T} \qquad ٣-٢$$

حيث أن :

V_s : جهد المصدر

T_{on} : زمن التوصيل

T_{off} : زمن الفصل

T : الزمن الكلي

V_{av} : القيمة المتوسطة لجهد الحمل (الخرج)

K : نسبة التشغيل

وتكون القدرة المستهلكة في المقاومة P_o مساوية للقدرة المسحوبة من المصدر P_s حيث إن الفقد في الجهد على المقطع يكون مساوياً للصفر عندما يكون في حالة توصيل ON ، ويمكن حساب هذه القدرة كما يلي:

$$P_s = P_o = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} v_s i_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} \frac{v_s^2}{R} dt = \frac{T_{on}}{T}\frac{V_s^2}{R} = k\frac{V_s^2}{R} \qquad 3\text{-}3$$

وتكون كفاءة المقطع في هذه الحالة 100% .

وتكون القيمة المتوسطة لتيار الحمل:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = k \times \frac{V_s}{R} \qquad 4\text{-}3$$

ويمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_{rms} = \sqrt{\left[\frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} V_s^2 dt\right]} = \sqrt{\frac{T_{on}}{T}} \times V_s = \sqrt{k} \times V_s \qquad 5\text{-}3$$

وواضح من المعادلة (1-3) 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 الإلكتروني المستخدم سريع الاستجابة ويسهل التحكم في عملية الغلق والفتح وغالباً ما يكون أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة BJT أو $IGBT$ أو $MOSFET$ أو GTO .....إلخ، ويلاحظ أن عناصر إلكترونيات القدرة التي تستخدم عمليا كمقطعات يكون عليها فقد صغير في الجهد يتراوح بين $0.5V$ و$2V$ ولكن هذا الفقد تم إهماله في استنتاج المعادلات من (1-3) إلى (5-3) أما إذا أخذ هذا الفقد في الجهد في الاعتبار فإن القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل تكون كما يلي:

$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} V_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} (V_s - V_d) dt = \frac{T_{on}}{T}(V_s - V_d) = k(V_s - V_d) \qquad 6\text{-}3$$

حيث V_d هو الفقد في الجهد على أطراف المقطع عندما يكون في حالة توصيل، وبالمثل

يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل:

$$V_{rms} = \sqrt{\left[\frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} (V_s - V_d)^2\, dt\right]} = \sqrt{\frac{T_{on}}{T}}(V_s - V_d) = \sqrt{k}\,(V_s - V_d) \qquad 7\text{-}3$$

كما يمكن حساب القدرة المسحوبة من المصدر كما يلي:

$$P_s = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} V_s I_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} \frac{V_s \times (V_s - V_d)}{R} dt = \frac{T_{on}}{T} \times \frac{V_s \times (V_s - V_d)}{R} = k \times \frac{V_s \times (V_s - V_d)}{R} \qquad 8\text{-}3$$

بينما يمكن حساب القدرة المستهلكة في الحمل كما يلي:

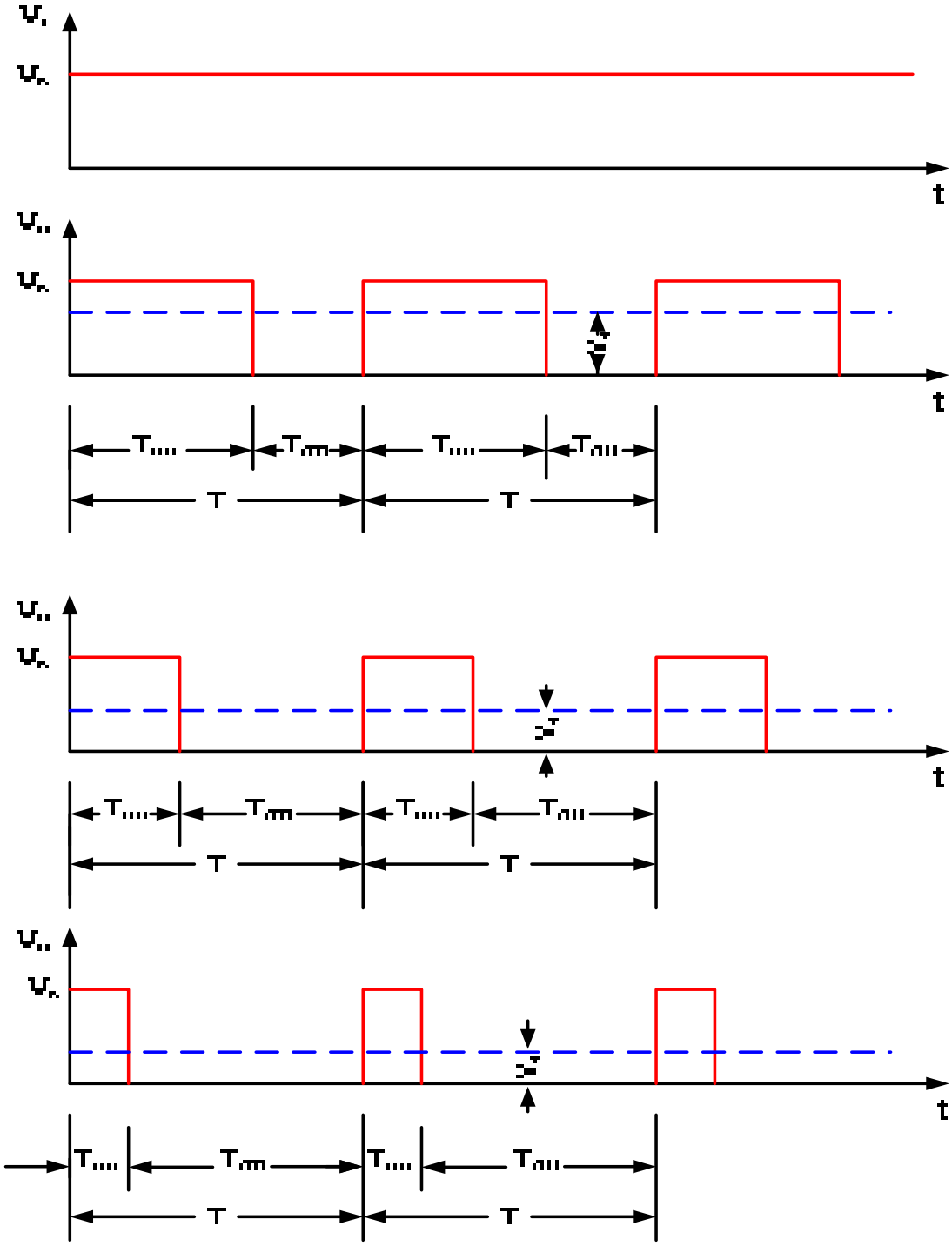
$$P_o = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} V_o I_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} \frac{(V_s - V_d)^2}{R} dt = \frac{T_{on}}{T} \times \frac{(V_s - V_d)^2}{R} = k \times \frac{(V_s - V_d)^2}{R} \qquad 9\text{-}3$$

٣,٢,٢ طرق التحكم بمقطعات التيار المستمر :

مما سبق يتضح لنا أن مقطع التيار المستمر يمكن استخدامه للتحكم في القدرة الكهربائية والتي يمكن أن تستخدم في التطبيقات الصناعية المختلفة، كما يمكن ملاحظة أن التحكم في القيمة المتوسطة للجهد يتم بتغيير نسبة التشغيل والتي يمكن التحكم فيها بطريقتين هما :

١- تعديل عرض النبضة *(PWM)* :

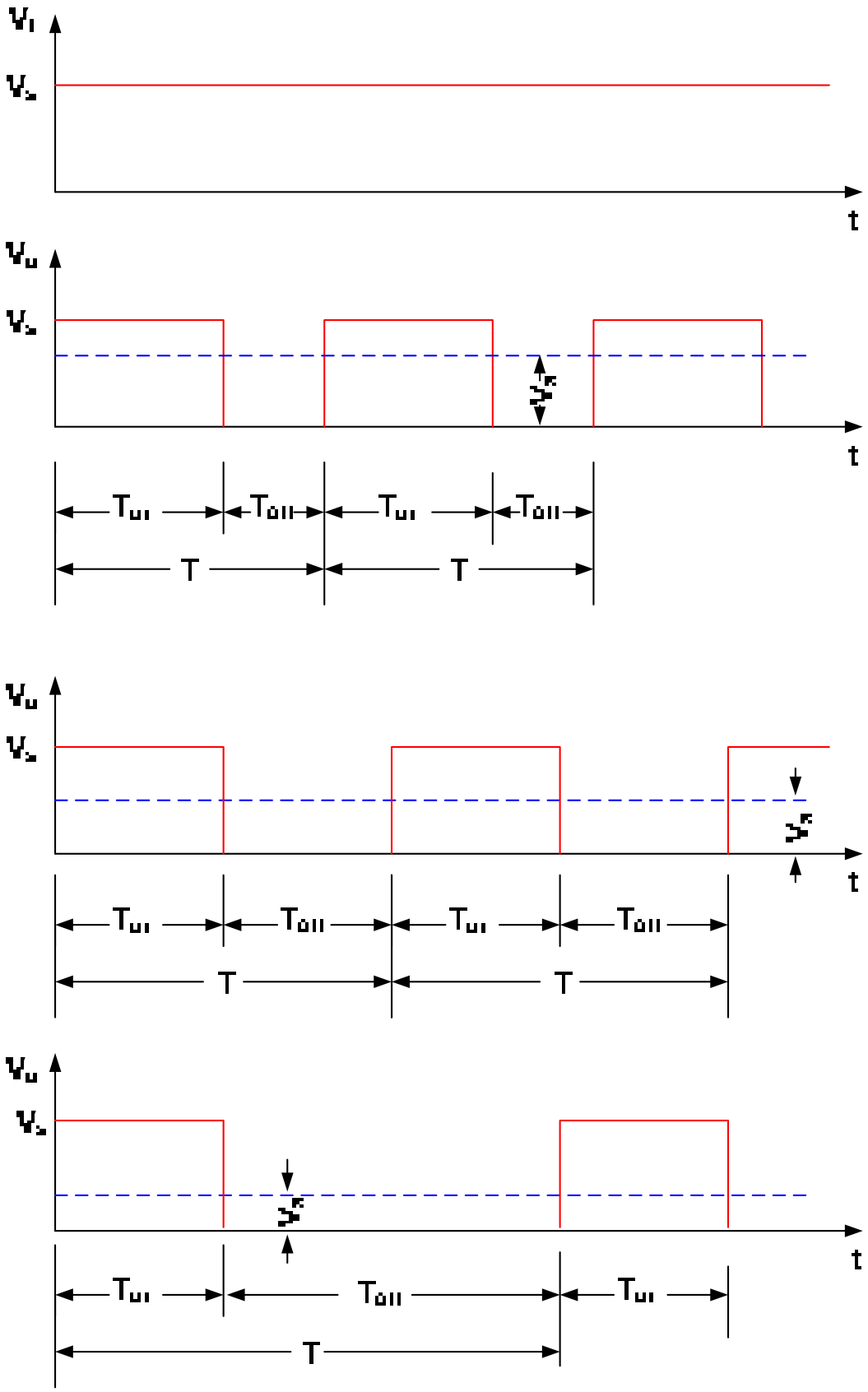
ويتم ذلك بتغيير فترة التوصيل T_{on} مع المحافظة على زمن الدورة T ثابتاً، أي ثبوت تردد فتح وغلق المقطع كما في الشكل(*3-10*).



الشكل (3-10)التحكم في جهد الخرج بتغيير فترة التوصيل مع ثبوت التردد

2- تغيير التردد (Frequency Modulation –FM-) :

ويتم ذلك بتغيير زمن الدورة T مع المحافظة على زمن التوصيل T_{on} ثابتاً ، أي بتغيير تردد فتح وغلق المقطع كما هو موضح في الشكل (3-11).



الشكل(3-11) التحكم في جهد الخرج بتغير التردد وثبوت فترة التوصيل

٣,٢,٣ أنواع مقطعات التيار المستمر

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

- المقطعات الثايرستورية:

ويستخدم فيها ثايرستور القدرة *(SCR)* كمفتاح، وتتميز بالقدرات العالية ،ولكنها تحتاج إلى دوائر إطفاء قسرية. كما يمكن استخدام ثايرستور من نوع *GTO* والذي يتميز بعدم حاجته إلى دوائر إطفاء قسرية ولكن قدراته محدودة.

- المقطعات الترانزستورية:

ويستخدم فيها ترانزستور القدرة *(BJT)* كمفتاح، وتمتاز بعدم حاجتها إلى دوائر إطفاء قسرية ،حيث يتم تشغيله بنبضة تيار على القاعدة وإطفاؤه يتم بنهاية نبضة تيار القاعدة، كما يتميز بالعمل عند الترددات العالية، 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 الموسفت*(MOSFET)* كمفتاح، وقد انتشرت بشكل ملحوظ في الصناعة، وذلك لما يتمتع به من بعض المميزات مثل:

- ترانزستور الموسفت*(MOSFET)* يتم التحكم فيه بإشارة جهد وليس بإشارة تيار ،حيث يحتاج لتيار صغير جداً لإشعاله.
- البوابة معزولة عن المصدر بمعنى أنه ليس هناك ارتباط بين تيار البوابة وتيار الحمل.
- يعمل عند الترددات العالية وهذا يسهل عملية تنعيم الخرج.

وعلى الجانب الآخر فإن قدراتها أقل من الثايرستور، ولكن يمكن التغلب على هذا العيب بتوصيل عدد منها على التوازي، حسب القدرة المطلوبة للحمل.

ويمكن تقسيم مقطعات التيار المستمر من حيث استخدامها إلى نوعين رئيسيين هما :

المقطعات الخافضة *Step-Down DC Choppers*

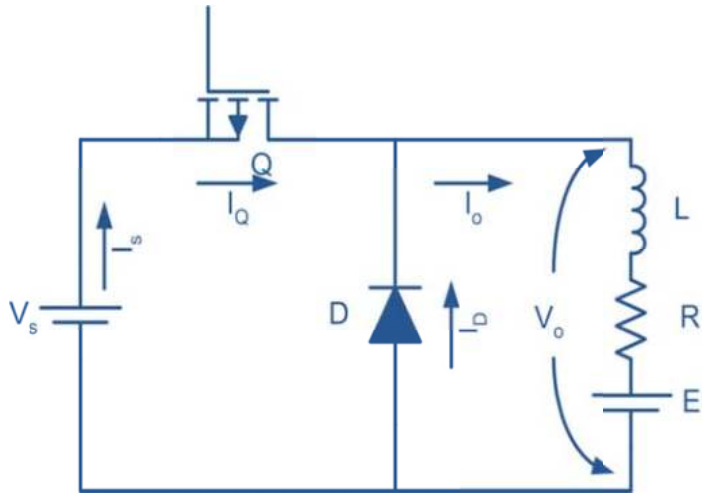
المقطعات الرافعة. *Step-Up DC Choppers*

٣,٢,٣,١المقطعات الخافضة Step Down DC Choppers

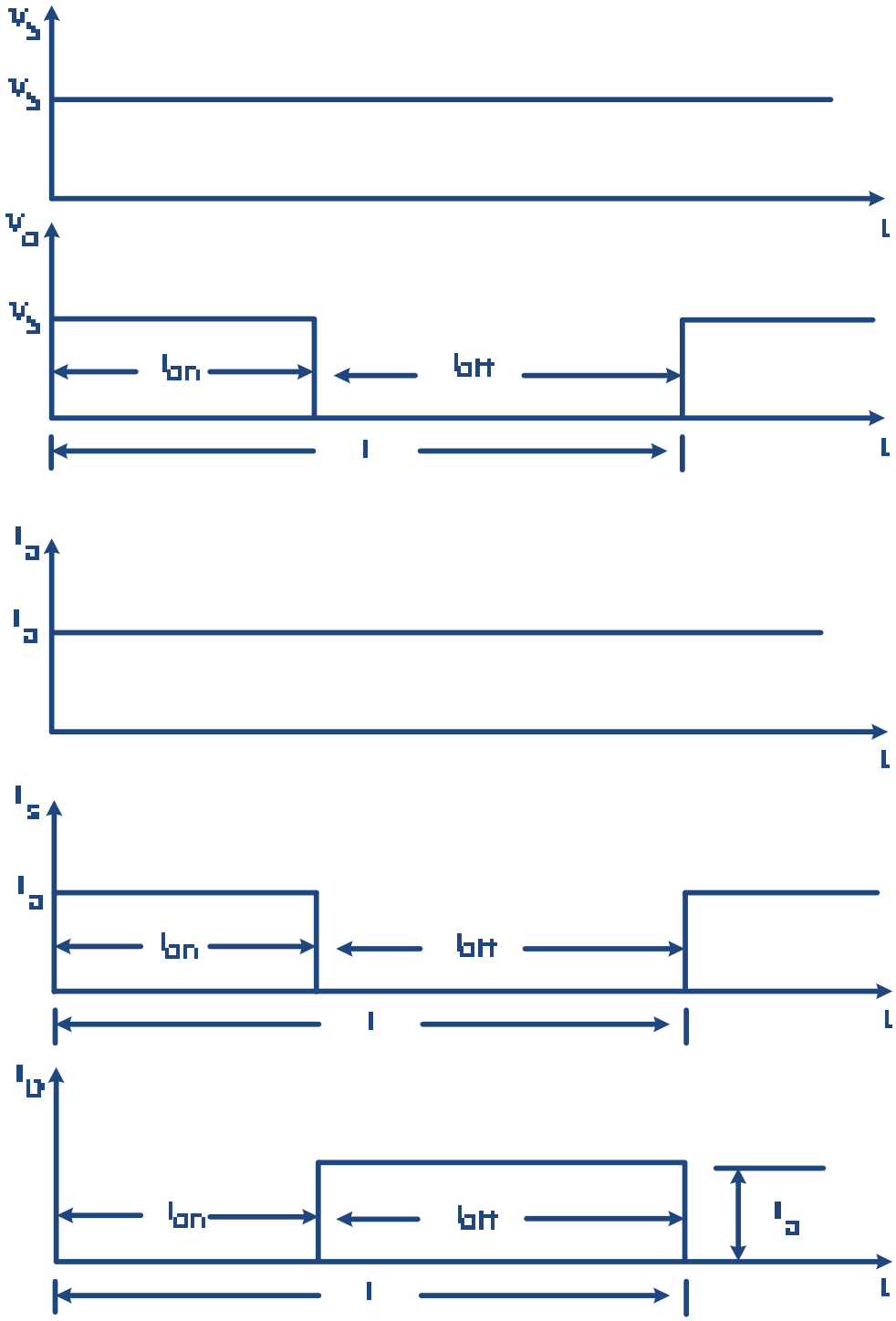
في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أقل من جهد المصدر، أي أن نسبة التشغيل أقل من واحد. ويبين شكل (*12-3*) مقطعاً خافضاً باستخدام الموسفت لتغذية حمل عبارة عن مقاومة وملف وبطارية، بينما يبين شكل (*13-3*) أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة باعتبار أن محاثة الملف عالية ،بحيث يكون تيار الحمل متصلاً وخالياً من التذبذبات.

يعتمد عمل المقطع على عنصر الموسفت ،ففي حالة وضع الموسفت على *On* يمر التيار من المصدر إلى الحمل من خلال الموسفت*Q* ويعود مرة أخرى إلى المصدر ولكن يبقى جزء منه مخزن في الملف.

أما في حالة وضع الموسفت على *Off* فإن التيار المخزن في الملف يفرغ عن طريق دايود المسار الحر *D* والمقاومة ويستمر ذلك حتى يتم تشغيل الموسفت *Q* مرة أخرى، وفي هذه الحالة يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما في المعادلة (*1-3*) حيث تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.



الشكل (*12-3*) دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض باستخدام الموسفت



الشكل (3-13) موجات التيار والجهد لدائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض مع حمل مادي وملف ذي محاثة عالية

مثال3-1 :

مقطع تيار مستمر من النوع الخافض يتم بواسطته التحكم في الجهد المسلط على حمل مادي مقاومته 15Ω وكان جهد المصدر $300V$ وتردد المقطع $1kHz$ ونسبة تشغيله 60%. فإذا كان الفقد في الجهد على المقطع في حالة توصيله $2V$. المطلوب حساب ما يلي :

١. الزمن الدوري و زمن التشغيل و زمن الفصل
٢. القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل
٣. القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل
٤. القدرة المستهلكة في المقاومة
٥. القدرة المسحوبة من المصدر
٦. كفاءة المقطع

الحـل :-

المعطيات : $R=15\,\Omega,\ V_s=300V,\ k=0.6,\ f=1\ kHz$

١.الزمن الدوري
$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{1000}=0.001\,\text{sec.}=1\text{ms}$$

٢.زمن التشغيل
$$T_{on}=k\cdot T=0.6\times 0.001=0.0006\ \text{sec.}=0.6\text{ms}$$

٣.زمن الإيقاف
$$T_{off}=(1-k)T=(1-0.6)\times 0.001=0.0004\,\text{sec.}=0.4\text{s}$$

٤.القيمة المتوسطة لجهد الحمل
$$V_{av}=k(V_s-V_d)=0.6(300-2)=178.8\ V$$

٥.القيمة الفعالة لجهد الحمل
$$V_{rms}=\sqrt{k}(V_s-V_d)=\sqrt{0.6}(300-2)=230.83\,V$$

٦.القدرة المستهلكة في الحمل
$$P_o=\frac{k(V_s-V_d)^2}{R}=\frac{0.6\times(300-2)^2}{15}=3552.16\ W$$

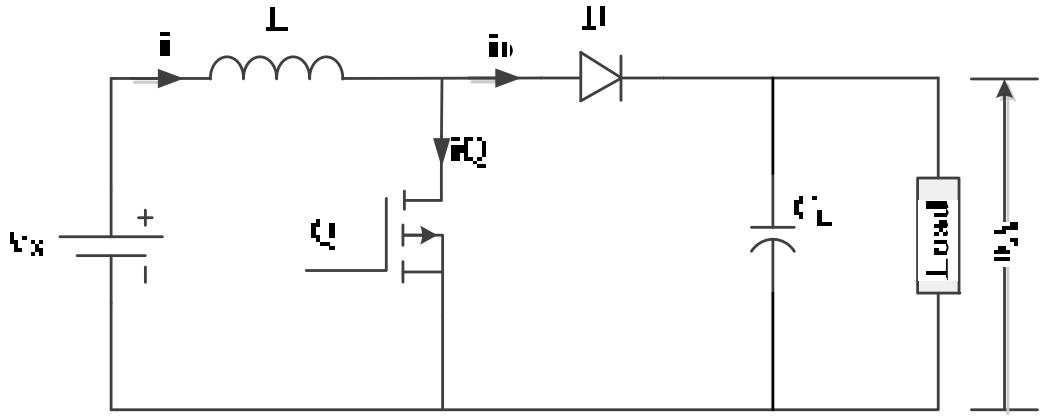
٧.القدرة المسحوبة من المصدر
$$P_s=\frac{k\cdot V_s(V_s-V_d)}{R}=\frac{0.6\times 300(300-2)}{15}=3576\ W$$

٨.كفاءة الدائرة
$$\eta=\frac{P_o}{P_s}\times 100=\frac{3552.16}{3576}\times 100=99.33\%$$

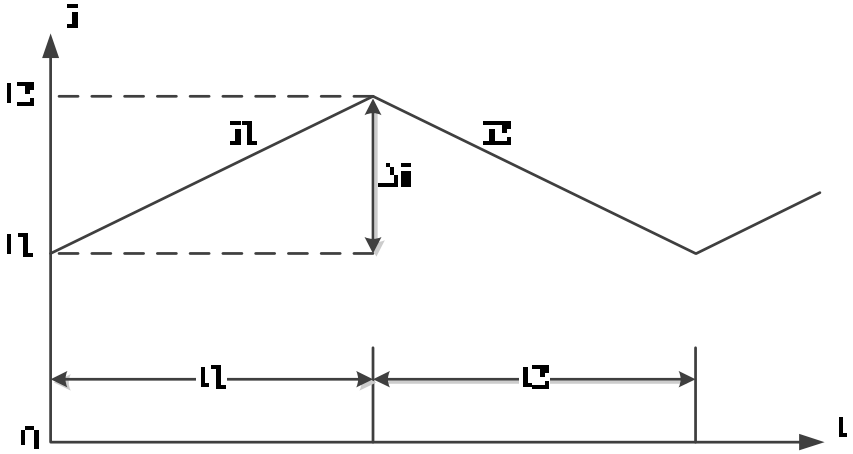
٣,٢,٣,٢ المقطعات الرافعة Step- Up DC Choppers

في هذه المقطعات تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أكبر من جهد المصدر. يوضح شكل(*3-14*) مثالاً للمقطعات الرافعة ،حيث يتكون من موسفت و ملف عالي القيمة ودايود تم تركيبها بالشكل المبين .

يعمل المقطع على مرحلتين المرحلة الأولى تكون عند تشغيل الموسفت حيث يمر تيار كهربائي من المصدر إلى الملف ،ومن ثم يمر خلال الموسفت ويعود مرة أخرى إلى المصدر ، وفي هذه الفترة يخزن الملف جزء من التيار المار به. أما في المرحلة الثانية يفصل الموسفت فيفرغ الملف التيار المخزن به في الحمل . ونلاحظ أن الجهد على أطراف الحمل هو مجموع جهد المصدر V_S وجهد الملف V_L . ويوضح شكل(*3-15*) منحنى تيار المقطع .



الشكل(*3-14*)دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الرافع باستخدام الموسفت



الشكل (*3-15*) منحنى تيار مقطع التيار المستمر من النوع الرافع

يمكن حساب جهد الخرج كما يلي:

$$V_o = V_s + L\frac{\Delta I}{t_2} = V_s(1+\frac{t_1}{t_2}) = V_s\frac{1}{1-k} \qquad 10 \text{ -٣}$$

حيث إن :

V_s : جهد المصدر .

ΔI : الفرق بين القيمة العظمى والصغرى للتيار نتيجة لعملية الفصل والتوصيل .

k : نسبة التشغيل .

وعند إضافة مكثف ذو سعة عالية في الدائرة C_L سيصبح الجهد على أطراف الحمل متصل ويصبح قيمة V_o هي القيمة المتوسطة لجهد الحمل .

ومن المعادلة *(3-9)* 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.

أسئلة الوحدة الثالثة

١. ما الفرق بين ترانزستور القدرة والثايرستور من حيث الإشعال والإطفاء؟

٢. ارسم منحنى الخواص الاستاتيكية لكل من الترانزستور ثنائي القطبية BJT، وترانزستور الموسفتMOSFET ذو القناة N .

٣. ما الفرق بين الترانزستور الثنائي القطبية وترانزستور IGBT؟

٤. اشرح فكرة عمل مقطع التيار المستمر.

٥. ما مميزات مقطعات الموسفت بالمقارنة بمقطعات الثايرستور ؟

٦. اذكر طرق التحكم في الجهد باستخدام مقطعات التيار المستمر .

٧. ما استخدامات مقطع التيار المستمر من النوع الخافض ؟

٨. ارسم دائرة لمقطع الخافض المستخدم لتغذية حمل يحتوي على محاثة عالية ثم ارسم أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة.

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

- 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. ☐

١٠. مقطع تيار مستمر من النوع الخافض يتم بواسطته التحكم في الجهد المسلط على حمل مادي مقاومته 15Ω وكان جهد المصدر 300Vوتردد المقطع 1kHz فإذا كان الفقد في الجهد على المقطع في حالة توصيله2V. وكانت القدرة المستهلكة في المقاومة مقدارها 5kW احسب:

- نسبة التشغيل
- زمن التشغيل
- زمن الفصل
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل
- القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل
- القدرة المسحوبة من المصدر
- كفاءة المقطع

١١. كرر السؤال الرابع إذا كان الفقد في الجهد على المقطع يساوي صفراً.

الوحدة الرابعة

حاكمات الجهد المتردد

الهدف العام للوحدة: التعرف على أنواع واستخدامات حاكمات الجهد المتردد

الأهداف التفصيلية:

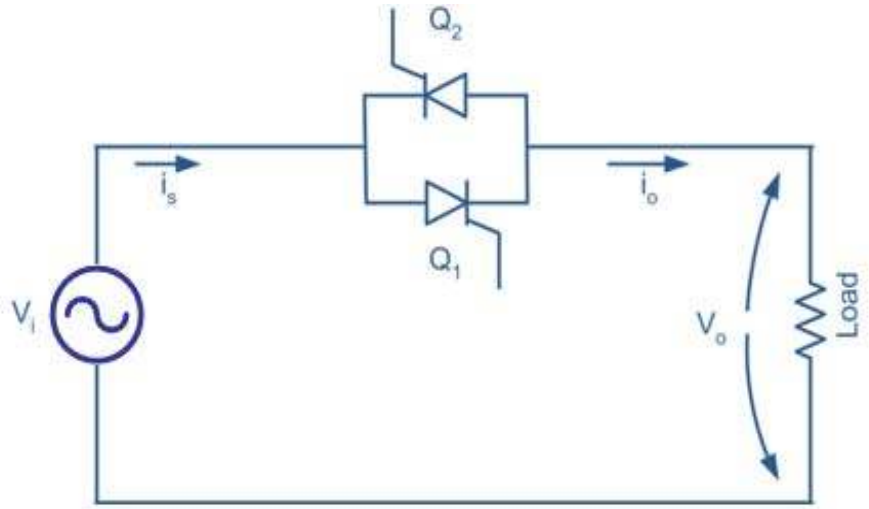
١. أن يتعرف المتدرب على على الأشكال الأساسية لدوائر حاكمات الجهد المتردد.
٢. أن يرسم المتدرب أشكال موجات التيار والجهد.
٣. أن يلم المتدرب بنظرية العمل ودراسة أداء حاكمات الجهد المتردد في حالة الحمل المادي والحثي.

حاكمات الجهد المتردد AC Voltage Controllers

في الوحدة السابقة تناولنا كيفية التحكم في الجهد المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر ،بينما تتناول هذه الوحدة كيفية السيطرة والتحكم في الجهد المتردد باستخدام حاكمات الجهد المتردد والتي تستخدم للتحويل من جهد متردد ثابت القيمة إلى جهد متردد متغير القيمة ، ويتم ذلك باستخدام عناصر إلكترونيات القدرة مثل الثايرستور أو الترياك لتحقيق هذا الغرض.

٣,١ فكرة عمل حاكمات الجهد المتردد Theory Of Operation

لمعرفة كيفية عمل حاكمات الجهد المتردد نبدأ بدراسة لدائرة بسيطة لحاكم جهد متردد أحادي الوجه يستخدم لتغذية حمل مادي كما في شكل (*1-4*)، وتتكون دائرة حاكم الجهد المتردد من ثايرستورين متعاكسين Q_1, Q_2 ، يتم إشعال أحدهما في النصف الموجب من موجه جهد المصدر، بينما يتم إشعال الآخر في النصف السالب من موجه جهد المصدر أي بعد مرور 180° من إشعال الثايرستور الأول .

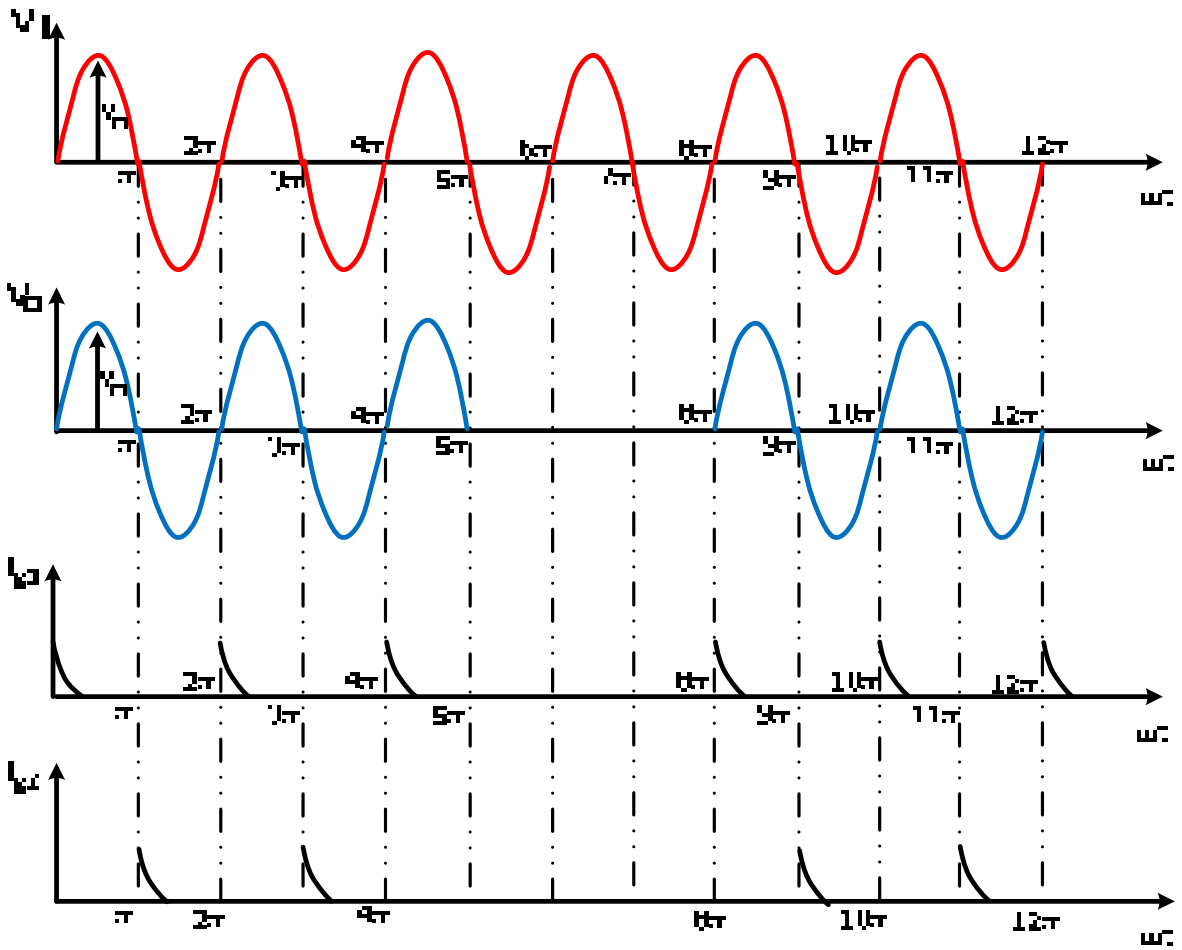


الشكل (1-4) دائرة حاكم الجهد المتردد أحادي الوجه مع حمل مادي

ويعتبر الهدف الأساسي لاستخدام حاكمات الجهد المتردد هو التحكم في القيمة الفعالة للجهد.وهناك طريقتان لتنفيذ هذا الهدف:

٣,١,١ التحكم في فترات التشغيل والإيقاف Control On-Off

وفي هذه الحالة يتم توصيل Q_1, Q_2 لعدد صحيح من الدورات ثم فصلها لعدد آخر كما في الشكل (2-4)، وهكذا يتم التحكم في القيمة الفعالة لجهد الخرج V_{rms} ، وتتميز هذه الطريقة بقلة التوافقيات الناتجة من عملية التوصيل والفصل للثايرستورات ،ويلاحظ أن إشعال الثايرستور Q_1 عن طريق i_{g1} وإشعال الثايرستور Q_2 يتم عن طريق i_{g2}.



الشكل(2-4) موجات الجهد لحاكم الجهد المتردد (التحكم في فترات التشغيل والإيقاف)

فإذا كانت القيمة الفعالة للمصدر V_s وعدد دورات التوصيل n وعدد دورات الفصل m فإن القيمة الفعالة للجهد يمكن حسابها كما يلي:

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\left[\frac{n}{2\pi(n+m)}\int_0^{2\pi} 2V_s^{\,2}\sin^2\omega t d(\omega t)\right]} = V_s\sqrt{\frac{n}{n+m}} = V_s\sqrt{k} \qquad 1\text{-}4$$

حيث k هي نسبة التشغيل ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$k = \frac{n}{T} = \frac{n}{n+m} \qquad ٤-٢$$

حيث إن T هي المجموع الكلي للدورات

ويمكن حساب القيمة الفعالة لتيار الحمل حسب قانون أوم كما يلي :

$$I_{o(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} \qquad ٤-٣$$

كما يمكن الحصول على القدرة المستهلكة بالحمل كما يلي :

$$P_o = I_{o(rms)}^2 \times R = V_{o(rms)} \times I_{o(rms)} \qquad ٤-٤$$

ويتضح من الشكل (٤- ١) أن تيار المصدر هو تيار الحمل (الخرج) أي أن :

$$I_{o(rom)} = I_s \qquad ٤-٥$$

لذلك يمكن الحصول على القدرة الظاهرية كما يلي :

$$S = V_s \times I_s \qquad ٤-٦$$

ونستطيع الحصول على معامل القدرة من القانون التالي :

$$PF = \frac{P_o}{S} = \sqrt{k} \qquad ٤-٧$$

ويمكننا ايجاد أقصى تيار يتحمله الثايرستور كما يلي :

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{\sqrt{2}\ \times V_{rms}}{R} \qquad ٤-٨$$

تستخدم هذه الطريقة في الأنظمة الصناعية ذات الاستجابة البطيئة مثل التحكم في المحركات الكهربائية كبيرة الحجم أو التدفئة الصناعية.

مثال *1-4* :

يستخدم حاكم جهد متردد لتغذية حمل مادي مقاومته ١٠ أوم وكانت القيمة الفعالة لجهد المصدر ١٢٧ فولت عند تردد ٦٠ هرتز، يتم تشغيل الثايرستورات لعدد ٢٥ دورة وفصلها لعدد ٧٥ دورة، احسب التالي:

١. نسبة التشغيل.
٢. القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل.
٣. التيار المار بالحمل.
٤. القدرة المستهلكة في الحمل .
٥. القدرة الظاهرية.
٦. معامل القدرة.
٧. أقصى تيار يتحمله الثايرستور.

الحل

نسبة التشغيل

$$k = \frac{n}{n+m} = \frac{25}{25+75} = 0.25$$

القيمة الفعالة لجهد الحمل

$$V_{o(rms)} = V_s \times \sqrt{k} = 127 \times \sqrt{0.25} = 63.5 \quad v$$

القيمة الفعالة لتيار الحمل

$$I_{o(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} = \frac{63.5}{10} = 6.35\,\text{A}$$

القدرة المستهلكة في الحمل

$$\mathrm{P_o = V_{o(rms)} \times I_{o(rms)} = 63.5 \times 6.35 = 403.225\,W}$$

القدرة الظاهرية

$$S = V_s \times I_s = 127 \times 6.35 = 806.45\ \text{W}$$

معامل القدرة

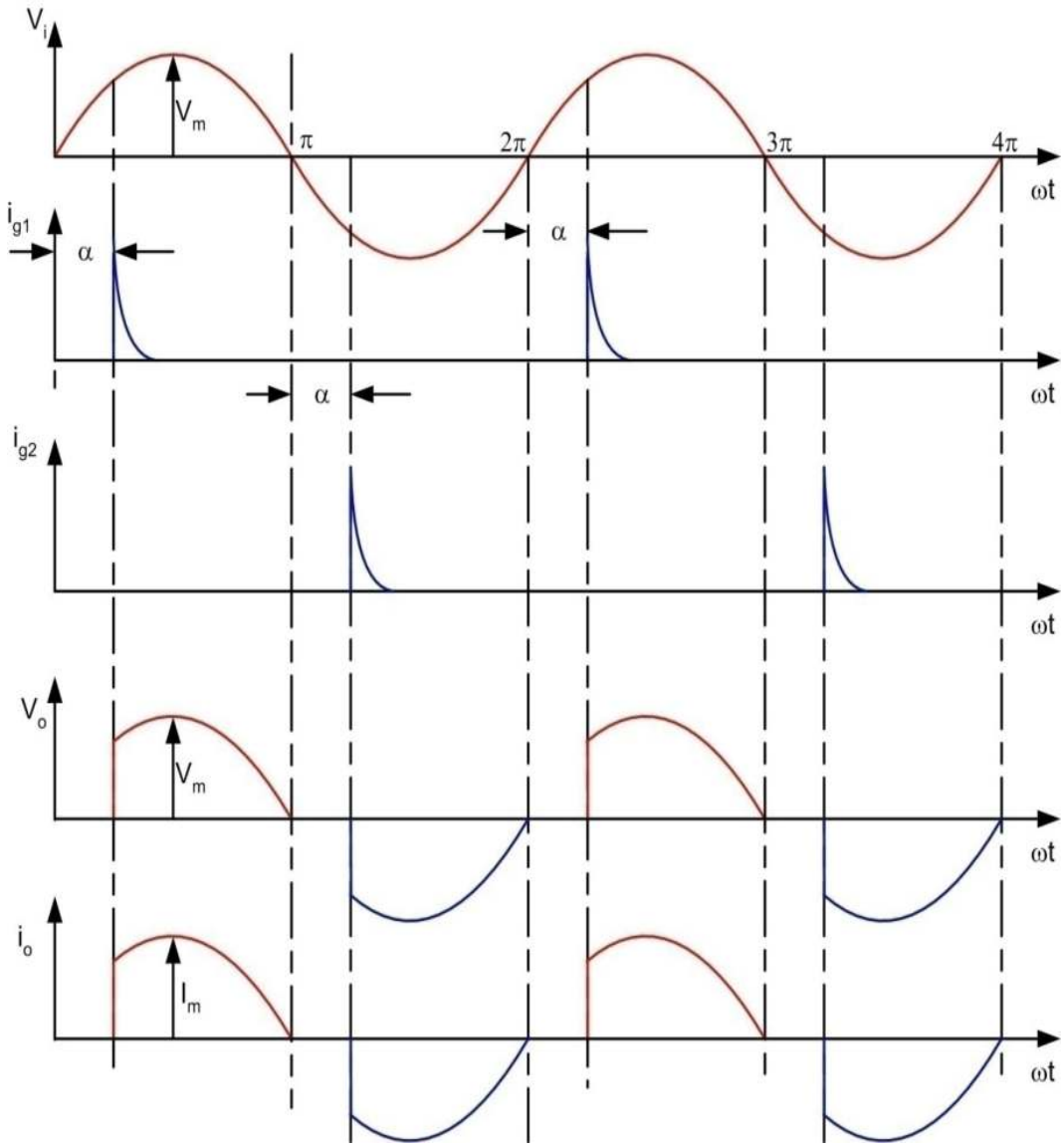
$$\mathrm{PF = \frac{P_o}{S} = \sqrt{k} = 0.5}$$

أقصى تيار يتحمله الثايرستور

$$\mathrm{I_m = \frac{V_m}{R} = 19.96\ A}$$

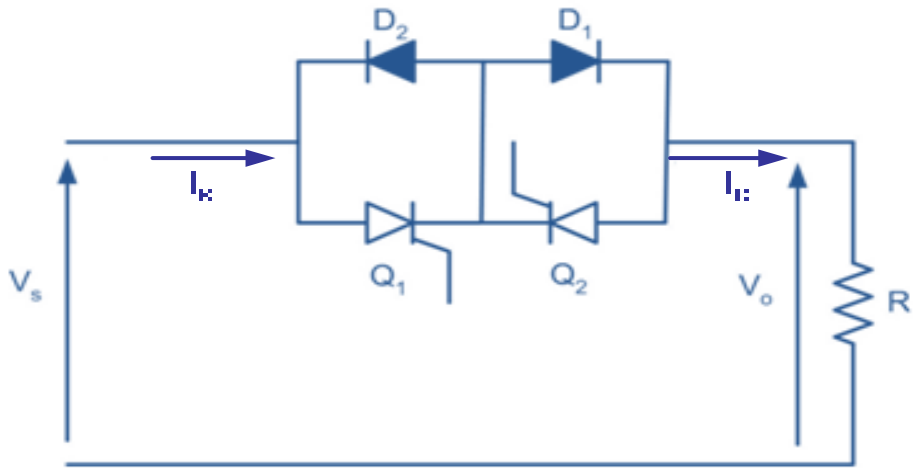
٤,١,٢ التحكم في زاوية إشعال الثايرستور Phase Angle Control

وهذه الطريقة هي الأكثر انتشاراً حيث يتم التحكم في زاوية إشعال كل من Q_1, Q_2 وتكون أشكال الموجات عند تغذية حمل مادي كما في الشكل (3-4). وبتغيير قيمة زاوية الإشعال من صفر إلى ١٨٠درجة لكل ثايرستور، تتغير القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل من V_s إلى صفر.



الشكل(3-4) موجات الجهد والتيار للحاكم الأحادي الوجه مع حمل مادي عن طريق التحكم في زاوية الإشعال

يمكن ملاحظة أن نبضات الإشعال للثايرستورات يجب أن تكون معزولة عن بعضها البعض ،مما يؤدي إلى ارتفاع تكلفة دوائر الإشعال حيث نحتاج إلى دائرتي عزل، ويمكن التخلص من هذا العيب باستخدام الدائرة المبينة في الشكل(4-4)، حيث يتم توصيل دائرة الكاثود المشترك للثايرستورين. في هذه الحالة يتم تشغيل كل من Q_1 وD_1 معا في النصف الموجب من الموجه المصدر، بينما يتم تشغيل كل من Q_2 وD_2 معا في النصف السالب من الموجه. وفي هذه الحالة سوف نحتاج إلى دائرة عزل واحدة ولكن ذلك على حساب الكفاءة حيث ستزداد المفقودات نتيجة لاستخدام الدايودين.



الشكل (٥- ٤) دائرة حاكم جهد متردد باستخدام الكاثود المشترك

ويمكن حساب الجهد الفعال على الحمل كمايلي:

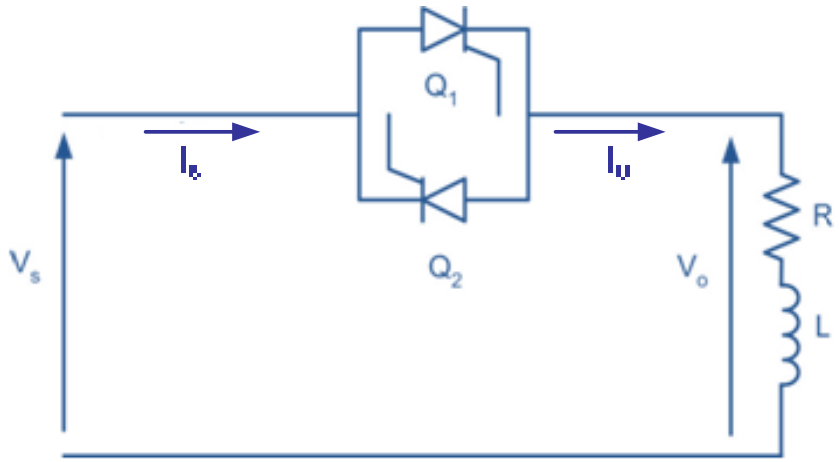
$$V_{orms} = \sqrt{\left[\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} 2V_s^{\,2}\sin^2 \omega t d(\omega t)\right]} = V_s\sqrt{\frac{1}{\pi}(\beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2})} \qquad 9\text{-}4$$

٣,٢ حاكم الجهد المتردد الأحادي الوجه مع حمل مادي وحثي

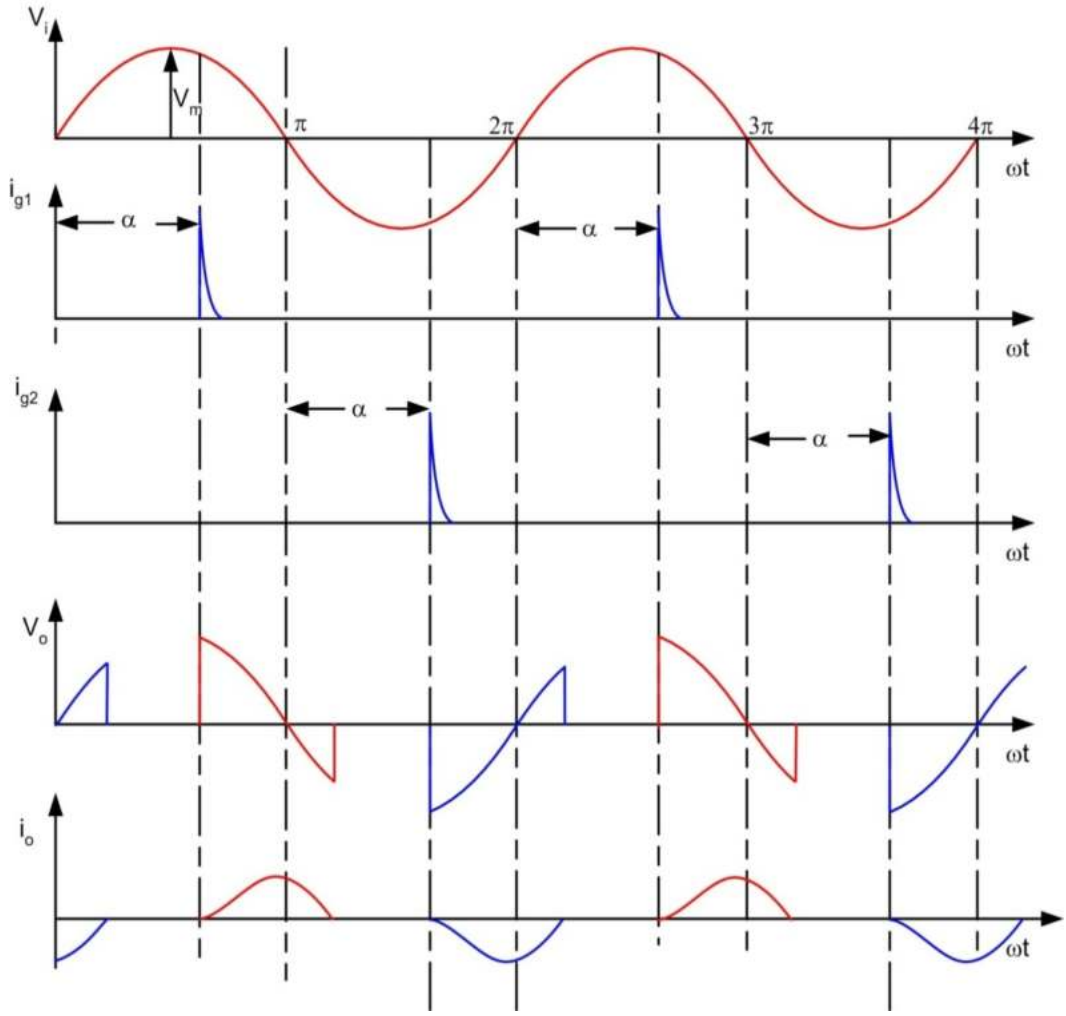
Single Phase Controller with inductive load

نتيجة لأن معظم الأحمال في الحياة العملية تحتوي على أحمال حثية فمن المناسب لنا دراسة أداء حاكم الجهد المتردد عندما يكون الحمل مادياً وحثياً. الشكل(*5-4*) يوضح دائرة لحاكم جهد متردد الأحادي الوجه يستخدم لتغذية حمل مكون من مقاومة وملف. وتعتمد أشكال موجات الجهد والتيار في هذه الحالة على زاوية الإشعال وزاوية الطور للحمل ،ويمكن تقسيمها إلى حالتين نتناولهما فيما يلي:

الحالة الأولى: زاوية الإشعال α تكون أكبر من زاوية الطورϕ وأقل من ١٨٠° ،$(\phi \leq \alpha \leq \pi)$ إذا فرض وتم إشعال الثايرستور Q_1 عند زاوية α وذلك في النصف الموجب من الموجه المصدر ، ونتيجة لذلك فإن التيار سيمر من المصدر إلى الحمل وذلك من خلال الثايرستور Q_1 ونتيجة لوجود الحمل الحثي فإن تيار الحمل لن يصل إلى صفر عند نهاية الموجه الموجبة وحتى مع بداية النصف السالب من الموجه ويستمر كذلك حتى يصل التيار المار في الثايرستور Q_1 إلى الصفر كما في الشكل (*6-4*). عندئذ يفصل الثايرستور Q_1 ويكون الجهد على أطراف الحمل مساويا للصفر ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال الثايرستور Q_2 عند زاوية $(\pi+\alpha)$ ويتكرر ما حدث في النصف الموجب من الموجه مع النصف السالب وهكذا يكون التيارفي هذه الحالة متقطعاً كما في الشكل (*6-4*) ، وتتم السيطرة على الجهد الناتج من حاكم الجهد المتردد عن طريق زاوية الإشعال.

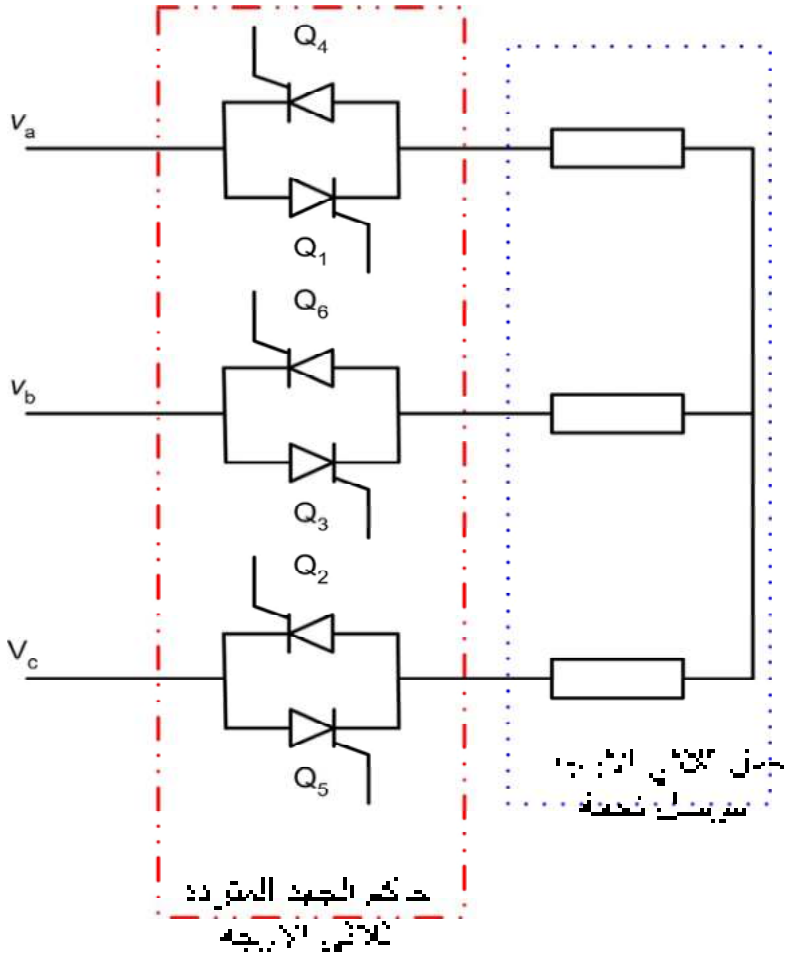


الشكل (*5-4*) دائرة حاكم الجهد المتردد الأحادي الوجه مع حمل مادي وحثي



الشكل (4-6) موجات الجهد والتيار لحمل مادي وحثي ($\phi \le \alpha \le \pi$)

الحالة الثانية: زاوية الإشعال α تكون أقل من زاوية الطورϕ ،وفي هذه الحالة يكون كل من التيار والجهد جيبي متصل حيث يكون المصدر موصلاً إلى الحمل من خلال الثايرستور Q_1 خلال الفترة من ϕ إلى (π+ϕ) والثايرستور Q_2 خلال الفترة من (π+ϕ) إلى(2π+ϕ) وبذلك يفقد حاكم الجهد المتردد السيطرة على الجهد الناتج. ويمكن تقسيم حاكمات الجهد المتردد إلى حاكمات الأحادية الوجه والتي سبق تناولها أو حاكمات الثلاثية الاوجه كما في الشكل (4-7).



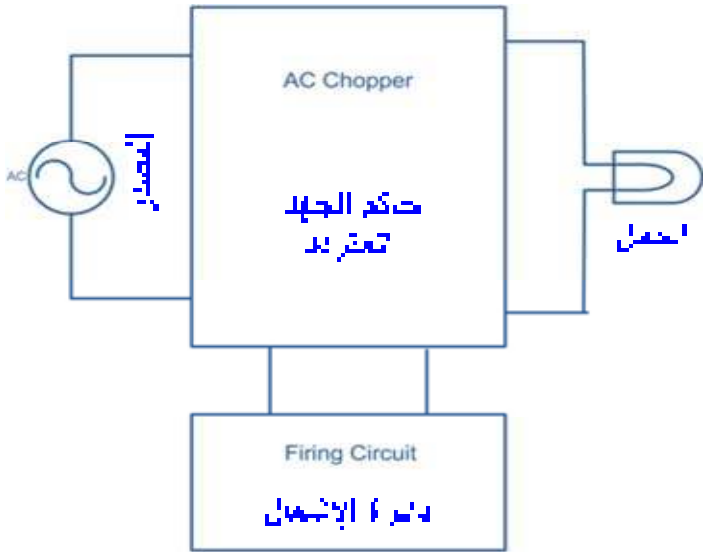
الشكل (4-7) دائرة حاكم الجهد المتردد الثلاثي الأوجه

٣,٣ تطبيقات

تستخدم حاكمات الجهد المتردد في العديد من التطبيقات الصناعية وسنتناول تطبيقين من هذه التطبيقات فيما يلي:

٣,٣,١ التحكم في شدة الإضاءة

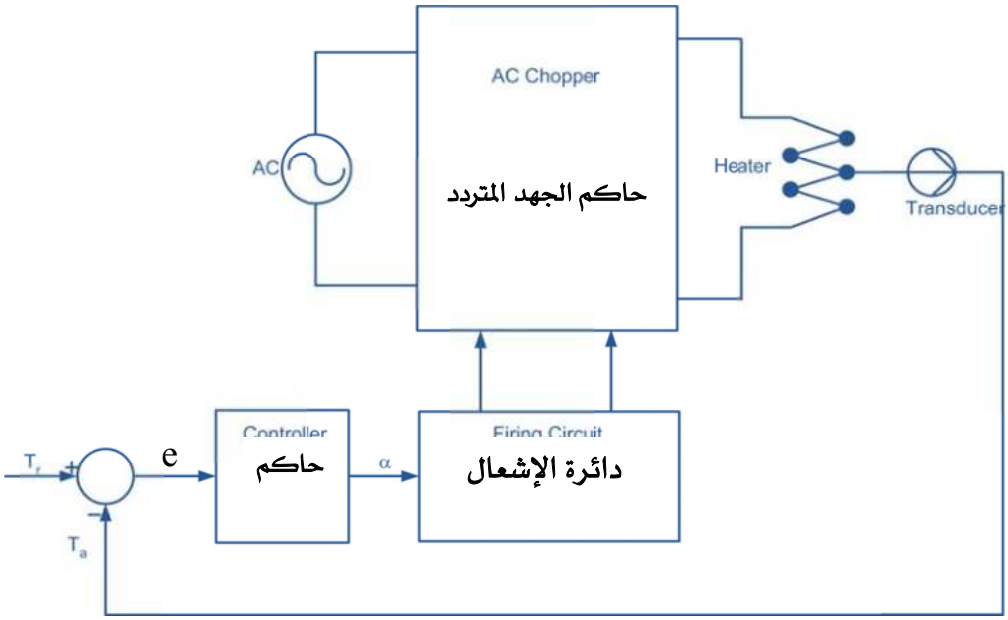
الشكل(*8-4*) يبين الرسم التخطيطي لكيفية استخدام حاكم الجهد المتردد للتحكم في شدة الإضاءة، حيث يستخدم حاكم الجهد المتردد أما ثايرستورين أو عنصر ترياك واحد، ويفضل أستخدم الترياك إن وجد ، حيث يوصل الترياك بين مصدر التيار المتردد والحمل (لمبات الإضاءة)، وبتغيير زاوية الإشعال للترياك يتم التحكم في القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل وبالتالي في شدة الإضاءة. ويعتبر التحكم بهذه الطريقة من نوع التحكم ذي الدائرة المفتوحة لعدم وجود تغذية راجعة تضبط شدة الإضاءة عند قيمة معينة.



الشكل (4-8) استخدام حاكم جهد متردد للتحكم في شدة الإضاءة .

٣,٣,٢ التحكم في درجة الحرارة

الشكل (9-4) يبين الرسم التخطيطي لكيفية استخدام حاكم الجهد المتردد في التدفئة الصناعية وذلك باستخدام نظام التحكم ذي الدائرة المغلقة، حيث تتم مقارنة درجة الحرارة المطلوبة T_r مع درجة الحرارة الفعلية T_a التي يتم قياسها باستخدام حساس لدرجة الحرارة، ويؤخذ الفارق بينهما من خلال الحاكم المستخدم وتحدد زاوية الإشعال المناسبة حيث يتم تشغيل حاكم الجهد المتردد بناء على زاوية الإشعال التي تم حسابها باستخدام الحاكم، فعندما يراد زيادة درجة حرارة المكان فإن T_r تزيد وبالتالي تزيد نسبة الخطأ $e=T_r - T_a$ وتقل زاوية الإشعال فتزيد القيمة الفعالة للجهد ويزيد التيار المار من خلال المدفأة فترتفع درجة الحرارة الناتجة، وعندما يراد تقليل درجة الحرارة فإن T_r تقل وبالتالي تقل نسبة الخطأ e وتزداد زاوية الإشعال، وبناء عليه تزداد القيمة الفعالة للجهد ويقل التيار المار من خلال المدفأة ،وبذلك تقل درجة الحرارة الناتجة.



الشكل (9-4) استخدام حاكم الجهد المتردد للتحكم في درجة الحرارة

أسئلة الوحدة الرابعة

١. اشرح فكرة عمل حاكم الجهد المتردد.
٢. ما طرق التحكم في القيمة الفعالة للجهد؟
٣. اشرح كيفية التحكم في القيمة الفعالة باستخدام فترات التشغيل والإيقاف.
٤. ارسم دائرة حاكم الجهد المتردد ذي الكاثود المشترك ووضح أهم مميزاتها.
٥. ارسم أشكال موجات الجهد والتيار لحاكم جهد متردد يغذي حملاً مادياً وحثياً علماً بأن زاوية الطور للحمل أقل من زاوية الإشعال.
٦. يستخدم حاكم جهد متردد لتغذية حمل مادي مقاومته 10Ω وكانت القيمة الفعالة لجهد المصدر 127V عند تردد 60Hz، يتم تشغيل الثايرستورات لعدد n دورة وفصلها لعدد m دورة، احسب نسبة التشغيل للحصول على تيار مقداره 6 A، ثم احسب:
   a. القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل.
   b. النسب n, m.
   c. القدرة المستهلكة في الحمل.
   d. القدرة الظاهرية.
   e. معامل القدرة.
   f. أقصى تيار يمر في الثايرستور.
٧. يستخدم حاكم جهد متردد لتغذية حمل مادي مقاومته 10Ω وكانت القيمة الفعالة لجهد المصدر200v عند تردد 60Hz يتم تشغيل الثايرستورات لعدد n دورة وفصلها لعدد m دورة ، المطلوب إيجاد ما يلي :
   a. نسبة التشغيل إذا كانت القدرة المستهلكة بالحمل 1000W .
   b. النسب n و m إذا كان مجموع الدورات الكلي ٨٠ دورة .
   c. القدرة الظاهرية .
   d. معامل القدرة .
   e. أقصى تيار يمر في الثايرستور .

٨. ارسم دائرة لتوضيح كيفية استخدام حاكم الجهد المتردد للتحكم في شدة الإضاءة.
٩. اشرح مع الرسم كيفية استخدام حاكم الجهد المتردد للتحكم في درجة الحرارة.
١٠. اقترح دائرة للتحكم في درجة حرارة غرفة يتم تبريدها باستخدام مكيف يتم تغذيته من خلال حاكم جهد متردد يعمل بنظام فترات الإيقاف والتشغيل.

الوحدة الخامسة

العواكس

الهدف العام للوحدة: التعرف على أنواع العواكس واستخداماتها.

الأهداف التفصيلية:

١. أن يرسم المتدرب الأشكال الأساسية للعواكس.
٢. أن يتمكن المتدرب من بناء العاكس الأحادي الوجه.
٣. أن يتمكن المتدرب من بناء العاكس الثلاثي الأوجه.
٤. أن يتمكن المتدرب من التحكم في جهد وتردد خرج العاكس.

مقدمة :

تستخدم العواكس *(Inverters)* للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار متردد ،يمكن التحكم في جهده أو تردده 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 (الموحدات المحكومة أو المقطعات) أو التحكم في الجهد المتردد الناتج بطريقة تغيير عرض النبضة*(PWM)* بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم في الدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في دائرة العاكس.

قد تم دراسة بعض دوائر الموحدات المحكومة أحادية الطور في الفصل السابق ،ووظيفة هذه الموحدات هي تحويل الجهد الجيبي المتناوب ذات القيمة الفعالة الثابتة إلى جهد مستمر متغير القيمة، ويتم التحكم في قيمته عن طريق التحكم في زاوية إشعال الثايرستور. وقد تم دراسة مقطعات التيار المستمر في الفصل الثالث، ووظيفة هذه المقطعات هي الحصول على جهد خرج متغير القيمة من جهد دخل ثابت القيمة عن طريق استخدام دائرة إلكترونية تعمل كمفتاح، وباستخدام هذه النوعية من المقطعات يمكن التحكم في سرعة محرك التيار المستمر عن طريق التحكم في دورة التشغيل.

وسوف يتم دراسة العواكس (Inverters) في هذا الفصل ،ووظيفة العاكس هي الحصول على جهد متناوب من جهد ثابت مستمر، ويمكن التحكم في جهد وتردد خرج العاكس عن طريق التحكم في المفاتيح الإلكترونية والخاصة بهذه العواكس، وعادة ما تكون هذه المفاتيح عبارة عن عناصر إلكترونية محكومة مثل الثايرستور، والموسفت، و IGBT.... الخ. وتعتبر العواكس دوائر استاتيكية ،حيث لا تحتوي دوائرها على أي أجزاء متحركة وتحول هذه العواكس قدرة المصدر المستمر إلى قدرة مصدر متناوب بالجهد والتردد المطلوب. وعاد ما تكون موجة خرج العاكس على شكل موجة غير جيبيه لزمن دوري معين، ويوجد أنواع عديدة من العواكس حيث يتم تقسيم العواكس تبعاً إلى:

- عدد الأوجه المتكون منها العاكس.
- نوعية أشباه الموصلات المستخدمة لبناء العاكس.
- مبدأ عمل إطفاء أشباه الموصلات المستخدمة.
- شكل موجات الخرج الخاصة بالعواكس.

وسوف يتم مناقشة ودراسة النوعين الرئيسين وهما:

١. عاكس مصدر الجهد **Voltage Source Inverter (VSI)**

ويتصف هذا العاكس بأن له جهد دخل ثابت مستمر.

٢. عاكس مصدر التيار **Current Source Inverter (CSI)**

ويتصف هذا العاكس بأن له تيار دخل ثابت مستمر.

٤,١ التطبيقات الصناعية للعواكس

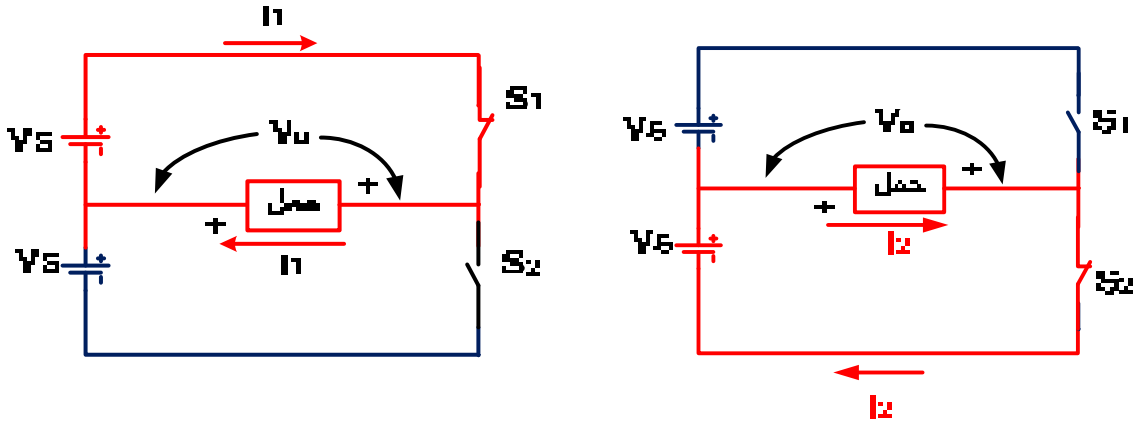
ويعتبر العاكس من الناحية العملية عاكساً مناسباً كلما كان الشكل الموجه الجهد الناتجة عنه أقرب إلى الموجه الجيبيه، لذا يوصل مرشح *(Filter)* مكون من مقاومة ومكثف وملف *(R-L-C)* على خرج العاكس للتخلص من التوافقيات غير المرغوب فيها، كما أن استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات السرعات العالية في بناء العواكس يقلل أيضاً من هذه التوافقيات. ويمكن تقسيم العواكس حسب نوع الجهد الناتج إلى عواكس أحادية الوجه وعواكس ثلاثية الأوجه ،نستخدم العواكس في العديد من التطبيقات الصناعية المهمة مثل :

- التحكم في سرعة المحركات الحثية (Induction Motors)
- التحكم في سرعة المحركات المتزامنة (Synchronous Motors)
- التسخين بطريقة الحث (Induction Heating)
- مصادر التغذية الخاصة بالطائرات (Aircraft Power Supplies)
- مصادر عدم انقطاع التيار (Uninterruptible Power Supplies UPS)
- نقل القدرة المستمرة ذات الجهد الفائق (High-voltage DC Transmission)
- مصادر التغذية الاحتياطية (Standby Power Supplies)

وعادة ما يكون مصدر جهد الدخل للعاكس عبارة عن بطارية (Battery) لها جهد ثابت مستمر أو عبارة عن خلية شمسية (Solar Cell) بينما تكون الأنواع الفعلية للعواكس ذات جهود خرج إما 220 v بتردد 60 Hz أو 220 v بتردد 400 Hz بينما للعواكس ثلاثية الأوجه ذات القدرة العالية تكون أنواع العواكس الفعلية إما 220 v/ 380 v بتردد 50 Hz أو 120 v/208 v فولت بتردد 60 Hz أو 115 v/200 v بتردد 400 Hz.

٤,٢ فكرة عمل العاكس

يبين الشكل (5-1) الدائرة الرئيسية لعاكس نصف قنطرة أحادي الوجه ويكون الهدف الرئيسي من استخدام هذه الدوائر هو توليد جهد متردد أحادي الوجه من مصدر جهد ثابت مستمر. تتكون الدائرة من مفتاحين إلكترونيين ،حيث يتم التحكم في غلقهما وفصلهما عن طريق نبضات بوابات هذه المفاتيح الآتية من دائرة الإشعال الخاصة بهما. وعادة يتم تصميم النبضات بحيث يتم إغلاق المفتاح S_1 بينما يكون المفتاح S_2 مفصولاً والعكس صحيح، ولتحقيق هذا لابد أن تكون النبضات الخاصة بالمفتاحين S_1 و S_2 لها الموجات المبينة بالشكل (5-2) بحيث عندما يكون جهد النبضة الخاصة بالمفتاح S_1 لها قيمة عالية تكون قيمة جهد النبضة الخاصة بالمفتاح S_2 لها قيمة منخفضة في نفس الفترة الزمنية والعكس صحيح ،وبالتالي يتم توصيل الحمل بمصدر الجهد الثابت المستمر V_s عن طريق المفتاحين S_1 و S_2 كل منهما على حدة.



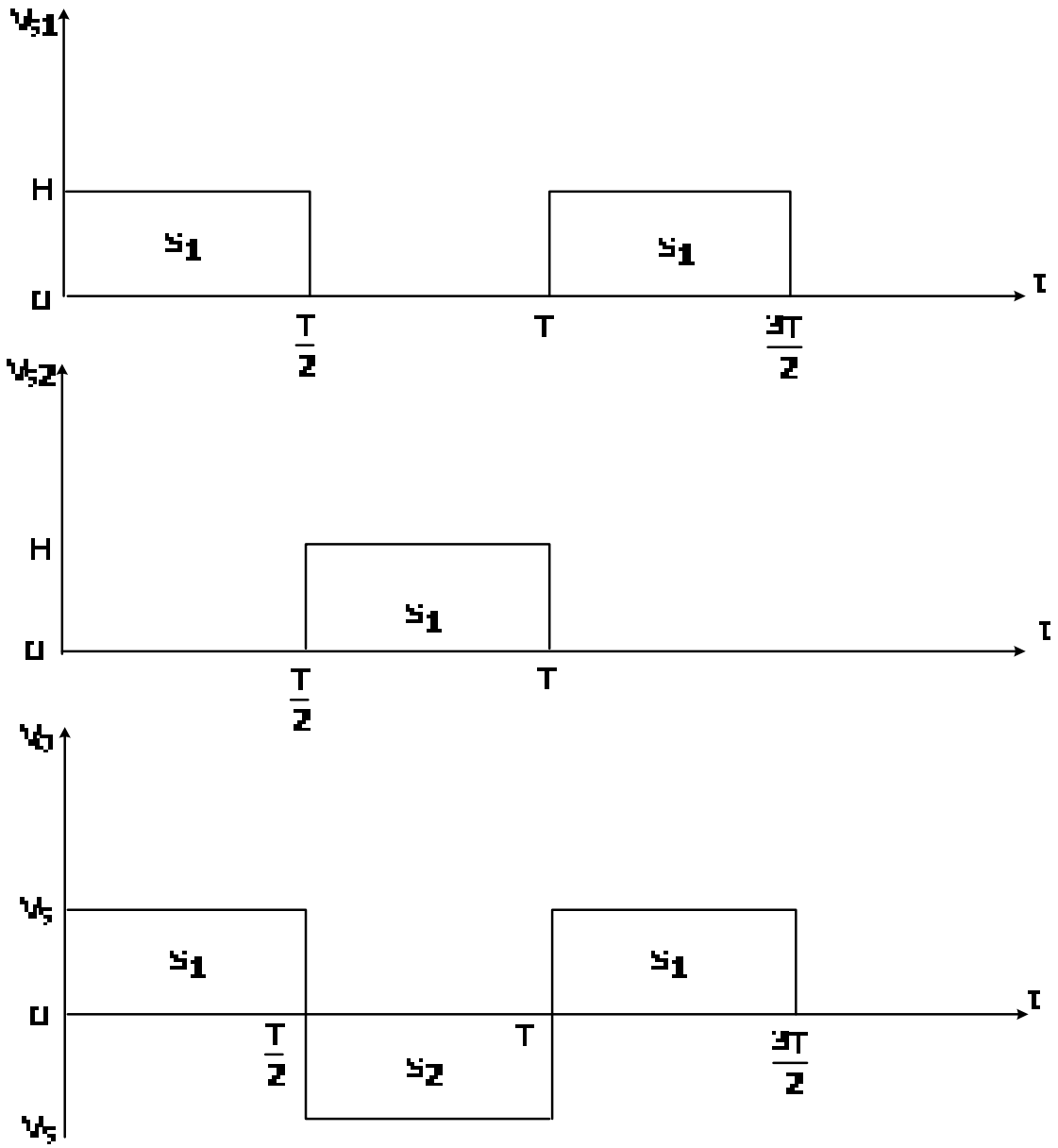
0 - T/2 T/2 - T

الشكل (5-1):الدائرة الرئيسية لعاكس نصف قنطري أحادي

فعندما يكون المفتاح S_1 مغلقا يكون المفتاح S_2 ،مفصولاً وبالتالي تكون قيمة الجهد الناشئ على طرفي الحمل لها قيمة جهد المصدر الثابت المستمر ،وفي حين يتم إغلاق المفتاح S_2 وفصل المفتاح S_1 تكون قيمة الجهد الناشئ على طرفي الحمل لها قيمة جهد المصدر الثابت وبإشارة سالبة في هذه الحالة وبالتالي يتم الحصول على موجة جهد متردد ذات موجة مستطيلة

زمنها الدوري T ويبين الشكل(5-2) موجة خرج العاكس ،ويمكن تعيين تردد موجة خرج العاكس 'f_0 ' عن طريق قيمة الزمن الدوري حيث إن:

$$f_0 = \frac{1}{T} \qquad 1\text{-}5$$



الشكل (5-2): موجتا نبضات المفتاحين S_2 و S_1 وجهد خرج العاكس نصف القنطرة أحادي الوجه.

ويمكن التحكم في قيمة تردد جهد الخرج عن طريق التحكم في زمن فتح وغلق المفاتيح الإلكترونية S_1 و S_2. وعادة ما تكون موجة خرج الجهد المستطيلة للعاكس مناسبة لبعض التطبيقات غير المهمة، بينما تكون موجة جهد خرج جيبي هي الموجة المثالية المطلوبة للعديد من التطبيقات.

ولجعل موجة خرج العاكس موجة جيبيه ،أو موجة أقرب للموجة الجيبيه ،يمكن تحقيق ذلك باستخدام طريقتين:

الطريقة الأولى تتحقق بوضع مرشح ' filter' عند خرج العاكس وغالبا عند تصميم هذا المرشح يراعى أن هذا المرشح لابد أن يتحمل قدرة خرج العاكس ولذلك يكون حجم هذا المرشح ضخما تبعا لحجم قدرة العاكس، وبالتالي تكون تكلفة ووزن هذا المرشح كبيرة إلى حد ما وأيضاً كفاءة العاكس سوف تقل نتيجة للفقد الموجود في المرشح.

والطريقة الثانية يمكن أن تتحقق باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة PWM.

وكما ذكر من قبل في الفصل السابق بأن هذه الطريقة تعتمد على فتح وفصل المفاتيح الإلكترونية وتعتمد على شكل النبضات الواصلة من دوائر إشعال هذه المفاتيح وباستخدام هذه الطريقة يمكن تعديل شكل خرج العاكس و تحويله إلى أقرب موجة جيبيه .

٤,٣ عاكس مصدر الجهد Voltage Source Inverter (VSI)

يعتبر عاكس مصدر الجهد أكثر الأنواع السائدة والمستخدمة لأنواع العواكس ،ويكون مصدر تغذية الجهد المستمر له قيمة ثابتة، ولا يعتمد على تيار الحمل المسحوب ،ويمكن الحصول على مصدر تغذية الجهد الثابت المستمر من مصدر مستقل مثل البطارية أو من موحد محكوم، و يوضع عادة مكثف كبير السعة عبر مصدر التغذية المستمر و وظيفة هذا المكثف المحافظة على عدم حدوث أي تغيير لقيمة مصدر التغذية المستمر للعاكس، حيث شحن وتفريغ المكثف يحافظ على استقرار قيمة مصدر التغذية، ويحول العاكس جهد التغذية المستمر إلى موجة خرج مربعة متناوبة. وينقسم عاكس مصدر الجهد إلى عاكس نصف قنطرة، وعاكس قنطرة كاملة، وسنتحدث عنهما بالتفصيل .

٤,٣,١ عاكس نصف قنطرة أحادي الوجه

Single-Phase Half-Bridge Inverter(VSI)

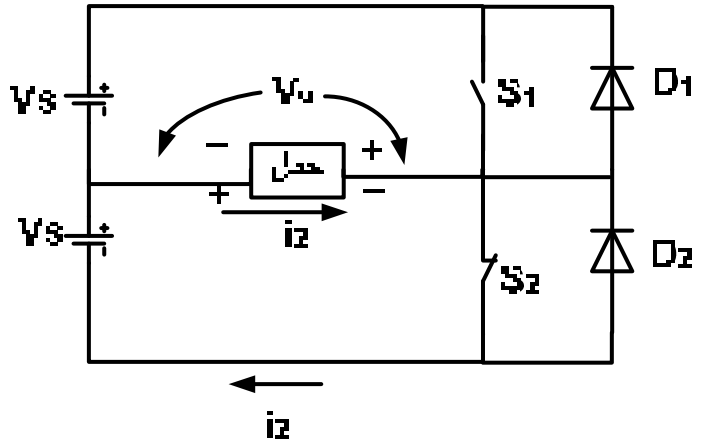
يتم استخدام دائرة عاكس نصف القنطرة في تطبيقات القدرة المتخصصة ويبين الشكل (5-3) دائرة العاكس نصف القنطرة أحادي الوجه ،وتتكون هذه الدائرة من مفتاحين إلكترونيين S_1 وS_2 ومصدري تغذية جهد مستمر لهما نفس قيمة الجهد V_s و دايودان يقومان بوظيفة دايود الحذافة وذلك في حالة وجود حمل حثي ،ويمكن أن تكون المفاتيح الإلكترونية المستخدمة عبارة عن ترانزستورات القدرة أو الموسفت(MOSFET)أو ثايرستورات (Thyristors) ...الخ .

٤,٣,١,١ حالة الحمل المادي Case of a Resistive load R

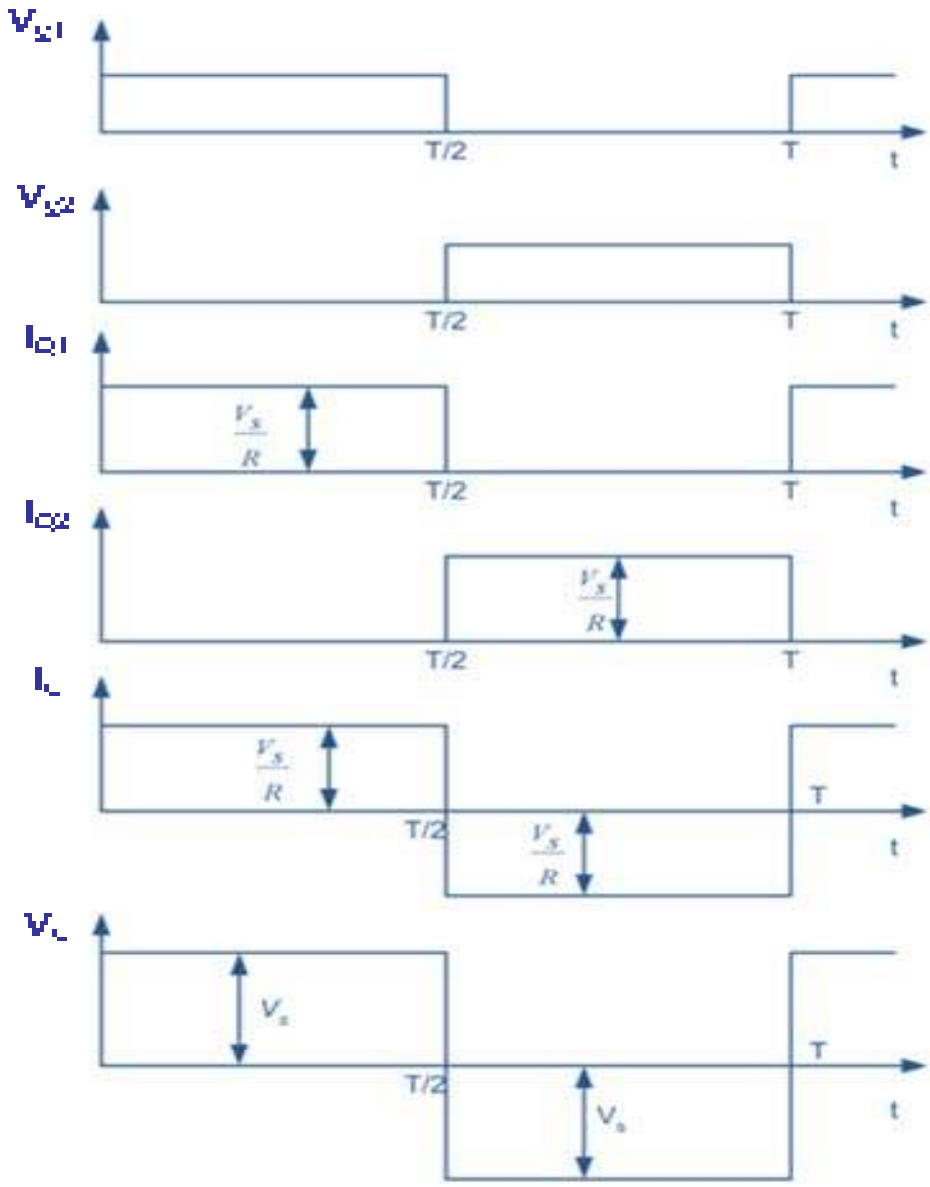
يتم إغلاق وفصل المفاتيح الإلكترونيةS_1 وS_2 للدائرة المبينة بالشكل (3-5) في حالة وجود حمل مادي R بحيث عندما يتم إغلاق المفتاحS_1 يكون المفتاح S_2 مفصولاً وذلك خلال الفترة الزمنية$(0 \le t \le T/2)$وتكون قيمة جهد خرج الحمل المادي لها قيمة ثابتة قيمتها V_s ،حيث يمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من مصدر الجهد المستمر الثابت والحمل المادي والمفتاح S_1 وتكون قيمة تيار الخرج هي نفسها تيار الحمل وقيمته i_1 .

عند إغلاق المفتاح S_2 يكون المفتاح S_1 مفصولاًخلال الفترة الزمنية$(T/2 \le t \le T)$حيث يتم فصل المفتاح S_1 عند اللحظة الزمنية $t = T/2$ وتكون قيمة جهد خرج الحمل المادي لها قيمة ثابتة$(-V_s)$في هذه الفترة حيث يمر التيارi_2 خلال الدائرة المغلقة والمكونة من مصدر الجهد الثابت المستمر والحمل المادي والمفتاح S_2 ويكون اتجاه مرور التيارi_2 عكس مرور التيار i_1 يبين الشكل (4-5) موجة جهد الخرج في حالة وجود حمل مادي R حيث إن هذه الموجة ترددها f وتكون قيمة هذا التردد (1/T) ويمكن التحكم في قيمة تردد خرج العاكس بالتحكم في قيمة الزمن الدوري لموجة جهد الخرج.

ويجب مراعاة أن لا يحدث إغلاق لكلا المفتاحين الإلكترونيين عند أي لحظة ما، حيث سيُحدث هذا دائرة قصر على أطراف مصدري الجهد المستمر الثابت V_s .



الشكل (3-5) دائرة عاكس نصف القنطرة أحادي الوجه



الشكل (٥- 4) موجات التيار والجهد لعاكس نصف القنطرة أحادي الوجه مع حمل مادي

٤،٣،١،٢ حالة الحمل الحثي

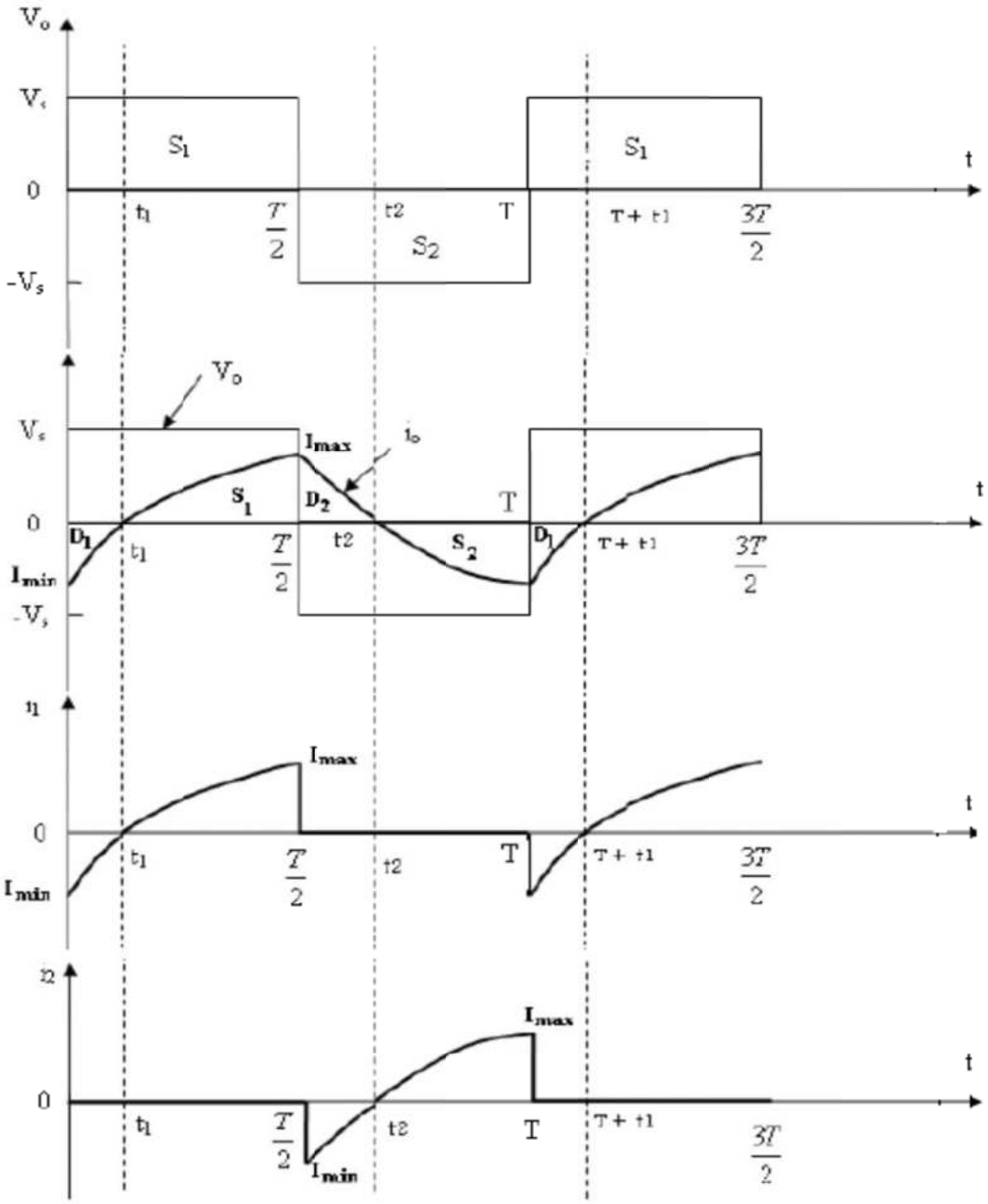
كما سبق دراسته في الفصول السابقة فانه في حالة وجود أحمال حثية فان تيار الخرج i_o لايمكن أن يعكس اتجاها عند نفس اللحظة التي تتغير فيها جهد الخرجV_Oقطبيته، وفي تلك الحالة لابد من استخدام دايود الحذافة، والذي يسمح بمرور تيار الحمل خلاله بنفس الاتجاه المار لتيار الخرج، ويبين الشكل (5-5)موجات كل من جهد الخرج وتيار الخرج ،بالإضافةإلى كل من تياري المصدرين ،ويمكن إيجاز عمل هذه الحالة تحت حالة الحمل الحثي كالآتي:

خلال الفترة الزمنية $(0 \le t \le T/2)$ يكون جهد الخرجV_o موجباً وبالتالي خلال هذه الفترة الزمنية يكون المفتاح الإلكترونيS_1 أو دايود الحذافةD_1 في حالة توصيل . ويكون تيار الخرجi_0 له قيمة سالبة نتيجة وجود الحمل الحثي، والذي يؤدي لتأخير تيار الحمل .

وخلال الفترة الزمنية$(0 \le t \le t_1)$ يمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من دايود الحذفة D_1 والحمل الحثي ومصدر الجهد المستمرالثابت V_sبينما خلال الفترة الزمنية $(t_1 \le t \le T/2)$ يكون تيار الخرج موجباً، وبالتالي يمر التيار خلال الدائرة المغلقة و المكونة من المفتاح الإلكترونيS_1 ومصدر الجهد الثابت المستمر، والحمل الحثي مع ملاحظة أن النبضة اللازمة لفتح المفتاحS_1 سوف تعطى له خلال الفترة الزمنية $(0 \le t \le T/2)$ ولكن هذا المفتاح سوف يوصل فقط خلال الفترة الزمنية $(t_1 \le t \le T / 2)$ حيث يكون تيار الخرج موجباَ .

كما سبق تفسيره وعند اللحظة الزمنية$t = T/2$سوف يتم فصل المفتاحS_1وبالتالي سوف يتحول تيار الخرج من الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل والمفتاحS_1 والمصدر الثابت المستمرV_sإلى الدائرة المكونة من الحمل والمصدر الثابت المستمر الموجود في الأسفل ودايود الحذافة D_2 خلال الفترة $(T/2 \le t \le t_2)$ وعند اللحظة الزمنية$t = t_2$ يتم فصل التيار عن دايود الحذافةD_2 حيث سيتحول التيار إلى قيمة سالبة بعد هذه اللحظة ،وبالتالي سوف يوصل المفتاح S_2 خلال الفترة الزمنية$(t_2 \le t \le T)$ ويمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من المصدر الثابت المستمر والحمل الحثي والمفتاح S_2 ونلاحظ أن المفتاح S_2 معطى له نبضة خلال الفترة الزمنية $(t_2 \le t \le T)$ حتى يتم قدحه خلال هذه الفترة الزمنية ،وسوف يتكرر عمل الدائرة كل فترة زمنها الدوريT.

يبين الشكل (5-5) العناصر الإلكترونية الموصلة خلال الفترات الزمنيةالمختلفة ونلاحظ بأن تيار الخرجi_0 يكون متأخراُ عن جهد الخرج ،حيث إن الحمل حثي ،وأيضا يتم توصيل الدايودات الحذافة عندما يكون جهد وتيار الخرج لهما قطبية عكسية كما هو مبين بالشكل (5-5) ويظهر الشكل تياري مصادر التغذية الثابتةi_1وi_2 ويمكن أيضاً الحصول على هذين التيارين من موجة تيار الخرجi_0 حيث يتم تغذية الحمل من الجزء العلوي لمصدر التغذية الثابت المستمر وذلك خلال الفترة الزمنية الموجبة لجهد الخرج $(0 \leq t \leq T/2)$ بينما يتم تغذية هذا الحمل من الجزء السفلي لمصدر التغذية المستمر خلال الفترة الزمنية السالبة لجهد الخرج$(T/2 \leq t \leq T)$.



الشكل (5-5): موجات جهد وتيار الخرج وتياري المصدرين.

القيمة الفعالة لجهد خرج دائرة العاكس نصف القنطرة أحادي الوجه :

يمكن تمثيل القيمة الفعالة لجهد الخرج العاكس نصف القنطرة أحادي الوجه رياضياً كالاتي:

$$V_{O(rms)} = V_S \qquad ٥-٢$$

المركبة الأولى الفعالة لجهد الخرج $V_{1(rms)}$:

يمكن تمثيل القيمة اللحظية لجهد خرج دائرة العاكس والمبينة بالشكل (3-5) باستخدام متسلسلة فورييرر رياضياً كالاتي:

$$v_O(t) = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{4\times V_S}{n\times\pi}\sin(n\omega t) \qquad 3\text{-}5$$

حيث إن n هي رتبة التوافقيات و ω هي قيمة التردد الزاوي لجهد الخرج ووحدتها red/s ويمكن تعيين القيمة الفعالة لمركبة التوافقيات الأولى لجهد خرج العاكس والتي لها n=1 كالاتي:

$$V_{1(rms)} = \frac{4 \times V_s}{\pi \times \sqrt{2}} = 0.9 \times V_s \qquad 4\text{-}5$$

ويمكن ايجاد قدرة الخرج كما يلي :

$$P_o = \frac{V_{o(rms)}^2}{R} \qquad 5\text{-}5$$

مثال 5-1 :

تتصل دائرة عاكس نصف القنطرة أحادي الوجه والمبينة بشكل (5-3) بحمل مادي 'R' قيمته 2.4 Ω ومصدر جهد ثابت مستمر 'V_s' قيمته 24 v. أوجد:

a. القيمة الفعالة لجهد الخرج $V_{o(rms)}$

b. القيمة الفعالة لتيار الخرج$I_{o(rms)}$

c. القيمة الفعالة لمركبة التوافقيات الأولى $V_{1(rms)}$

d. قدرة الخرج "P_o"

الحل :

يمكن إيجاد القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس نصف القنطرة باستخدام المعادلة (5-2) كالآتي :

$$V_{O(rms)} = V_S = 24 \text{ v}$$

ويمكن إيجاد القيمة الفعالة لتيار العاكس كالآتي :

$$I_{O(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} = \frac{24}{2.4} = 10 \text{ A}$$

كما يمكن أيضاً استنتاج القيمة لمركبة التوافقيات الأولى باستخدام المعادلة (5-4) كالآتي:

$$V_{1(rms)} = 0.9 \times V_s = 0.9 \times 24 = 21.6 \text{ v}$$

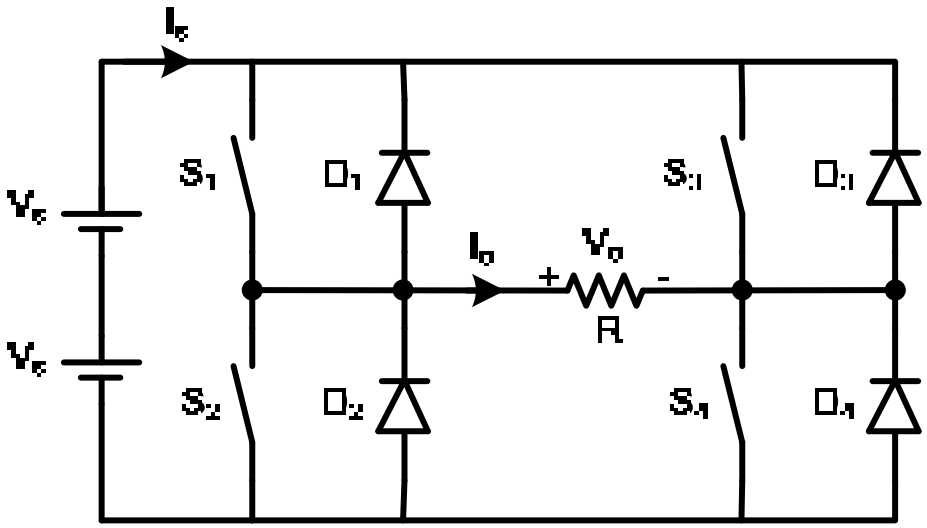
و يمكن حساب قدرة الخرج كالآتي :

$$P_O = \frac{V_{O(rms)}^2}{R} = \frac{24^2}{2.4} = 240 \text{ W}$$

٤,٣,٢ عاكس قنطرة أحادية الوجه Single -Phase Bridge Inverter

٥,٣,٢,١ حالة الحمل المادي R

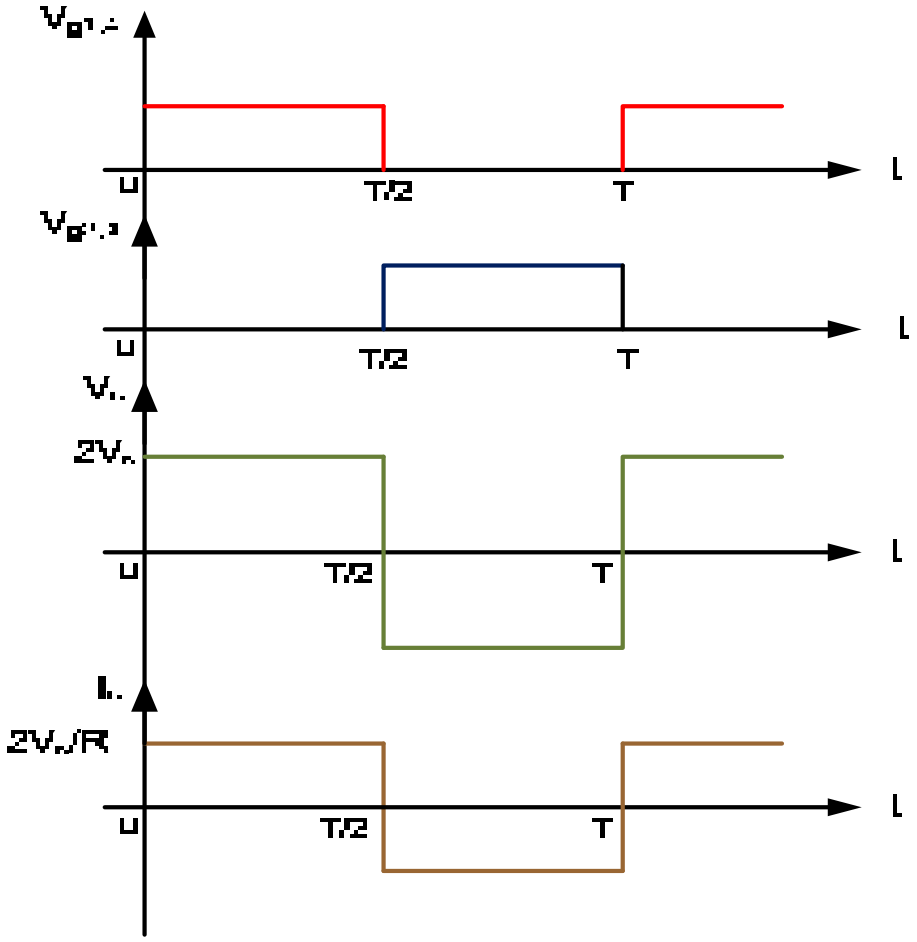
يتم بناء دائرة عاكس القنطرة أحادي الوجه باستخدام أربعة من المفاتيح الالكترونية المحكومة ،بالإضافة الى أربعة من الدايودات ،يتم تغذيتها من مصدر جهد ثابت كما هو موضح بالشكل (5-6) يتم الحصول على جهد الخرج المتردد عن طريق غلق وفصل المفاتيح الالكترونية لهذه الدائرة بطريقة قطرية، أي بمعنى عندما يتم اغلاق كل من المفتاحين S_4 وS_1يكون كل من المفتاحين S_3 وS_2 مفصولين بينما عند إغلاق المفتاحين S_3وS_2 يتم فصل المفتاحينS_4 وS_1 وهكذا ،وبالتالي سوف يصل كل من المفتاحين S_4 وS_1 أو المفتاحين S_3 وS_2 فترة زمنية قيمتها نصف قيمة الزمن الدوري T/2.



الشكل (5-6): دائرة عاكس قنطرة أحادي الوجه مع حمل مادي

ويمكن إيجاز فكرة عمل الدائرة كالتالي : يتم إغلاق المفتاحين S_4 وS_1 خلال هذه الفترة الزمنية$(0 \le t \le T/2)$ وذلك باعطاء نبضات كافية لقدحهما من دائرة الاشعال الخاصة بهما وخلال هذه الفترة الزمنية يظل كل من المفتاحين S_3 وS_2مفصولان وبالتالي سوف يمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من مصدر الجهد الثابت المستمر والحمل المادي والمفتاحان

S_4 وS_1 وبالتالي تكون قيمة جهد الخرج'V_O'هي نفسها قيمة جهد المصدر الثابت المستمر ' V_S' ويتم ايضا فصل المفتاحين S_1 وS_4 وإغلاق المفتاحين S_2 وS_3خلال الفترة الزمنية $(T/2 \leq t \leq T)$ وخلال هذه الفترة الزمنية يمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من مصدر الجهد الثابت المستمر والحمل المادي والمفتاحينS_3 وS_2 ويكون مرور التيار في اتجاه عكسي لمروره في الفترة الزمنية السابقة، و بالتالي تكون قيمة جهد الخرج هي نفسها قيمة جهد المصدر الثابت المستمر، ولكن بإشارة سالبة أي تكون قيمتها $-V_O$ وبالتالي سوف تكون شكل موجة جهد الخرج المبينة بالشكل (7-5) على هيئة موجة مربعة قيمتها العظمى V_S ،ونلاحظ بأن تردد موجة جهد الخرج يمكن التحكم فيها بالتحكم في زمن فتح وتوصيل المفاتيح الالكترونية ،حيث إن تردد موجه الخرج f_o تعتمد قيمتها على قيمة الزمن الدوري T حيث إن $f_o = 1/T$.



الشكل(7-5) : موجة جهد وتيار خرج عاكس القنطرة أحادي الوجه.

القيمة الفعالة لجهد خرج دائرة العاكس القنطرة أحادي الوجه $V_{O(rms)}$:

يمكن تمثيل معادلة الجهد الفعال لخرج دائرة عاكس القنطرة بالمعادلة(5-2) حيث إن موجة جهد خرج هذا العاكس لها نفس موجة دائرة العاكس نصف القنطرة .

المركبة الأولى الفعالة لجهد خرج عاكس القنطرة أحادي الوجه $V_{1(rms)}$:

كما سبق الإشارة إليه في الفقرة السابقة فيمكن تمثيل معادلتي القيمة اللحظية لجهد الخرج والقيمة الفعالة لمركبة التوافقيات الأولى لجهد الخرج والتي لها (n=1) بالمعادلات (5-3) و (5-4)على الترتيب .

مثال(5-2) :

تتصل دائرة عاكس قنطرة أحادي الطور والمبينة بالشكل (5-6) بحمل مادي 'R' قيمته 2.4 Ω ومصدر جهد ثابت مستمر V قيمته 48 v أوجد :

a. القيمة الفعالة لجهد الخرج $V_{O(rms)}$.

b. القيمة الفعال لتيار الخرج $I_{O(rms)}$.

c. القيمة الفعالة لمركبة التوافقيات الأولى $V_{1(rms)}$.

d. قدره الخرج P_O.

الحل:

بما أن الدائرة المستخدمة في هذا المثال مكافئة للدائرة المستخدمة في المثال السابق مثال (5-1) والقيمة المادية للحمل هي نفسها القيمة المستخدمة بالمثال السابق وقيمة جهد المصدر الثابت المستمر هي نفسها قيمة جهدي المصدرين الثابتين المستمرين بالمثال السابق وبالتالي يمكن استخدام نفس القوانين التي تم استخدامها في المثال السابق في حل هذا المثال كالآتي :

يمكن إيجاد القيمة الفعالة لجهد خرج عاكس القنطرة باستخدام المعادلة (5-2)كالآتي :

$$V_{O(rms)} = V_S = 48\ v$$

يمكن إيجاد القيمة الفعالة لتيار العاكس كالآتي :

$$I_{O(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} = \frac{48}{2.4} = 20\ A$$

يمكن أيضا استنتاج القيمة الفعالة لمركبة التوافقيات الأولى باستخدام المعادلة (5-4) كالآتي:

$$V_{1(rms)} = 0.9 \times V_s = 0.9 \times 48 = 43.2\ v$$

يمكن حساب قدرة الخرج كالآتي :

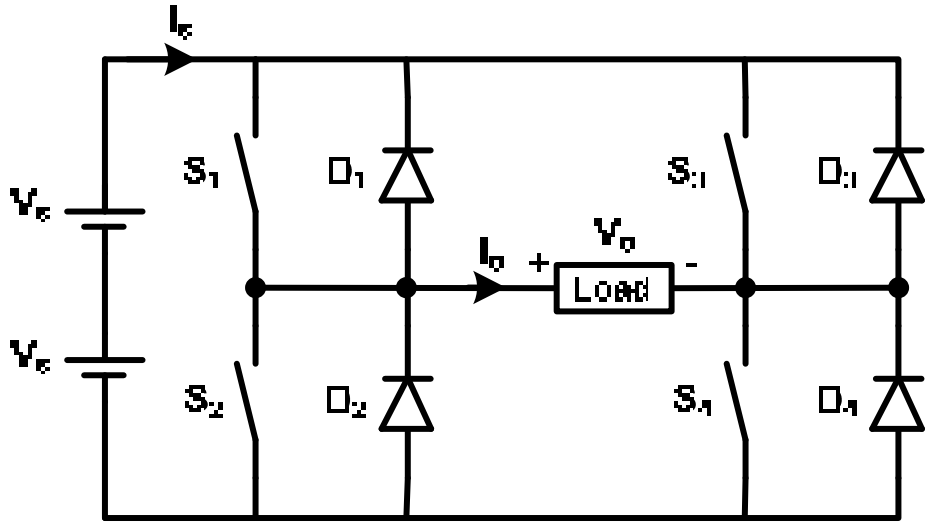
$$P_O = \frac{V_{O(rms)}^2}{R} = \frac{48^2}{2.4} = 960\ W$$

بمقارنة نتائج هذا المثال والمثال السابق نجد أن قيمة جهد خرج عاكس القنطرة ضعف قيمة جهد خرج العاكس نصف القنطرة ،وأيضاً قيمة قدرة الخرج للعاكس المستخدم هنا قيمته 4 أضعاف قدرة الخرج للعاكس نصف القنطرة .

وبالتالي يعتبر عاكس القنطرة أفضل للقدرة العالية، حيث تم استخدام مصدر جهد مستمر قيمته48v في المثال (5-2) بينما قد تم استخدام مصدر جهد مستمر قيمته24 v نصف قيمة مصدر الجهد المستمر المستخدم بالمثال (5-2).

٥,٣,٢,٢ حالة الحمل الحثي (R – L) Load case.

يبين الشكل (5-8) دائرة عاكس قنطرة أحادي الوجه والمتصل بحمل حثي (R -L) ونلاحظ أن الدائرة المستخدمة هي نفس الدائرة المستخدمة بالشكل (5-6) إلا أنه تم استبدال الحمل المادي R بحمل حثي (R-L) ويبين الشكل (5-9) موجات كل من جهد الخرج 'V_o' وتيار الخرج i_o وتيارات المفاتيح الإلكترونية (S_1 . S_2 . S_3 . S_4) وتيارات دايودات الحذافة (D_1 . D_2 . D_3 . D_4) بالإضافة إلى تيار مصدر الجهد الثابت المستمر 'I_s' ويمكن إنجاز مبدأ عمل الدائرة في حالة وجود الحمل الحثي كالآتي :

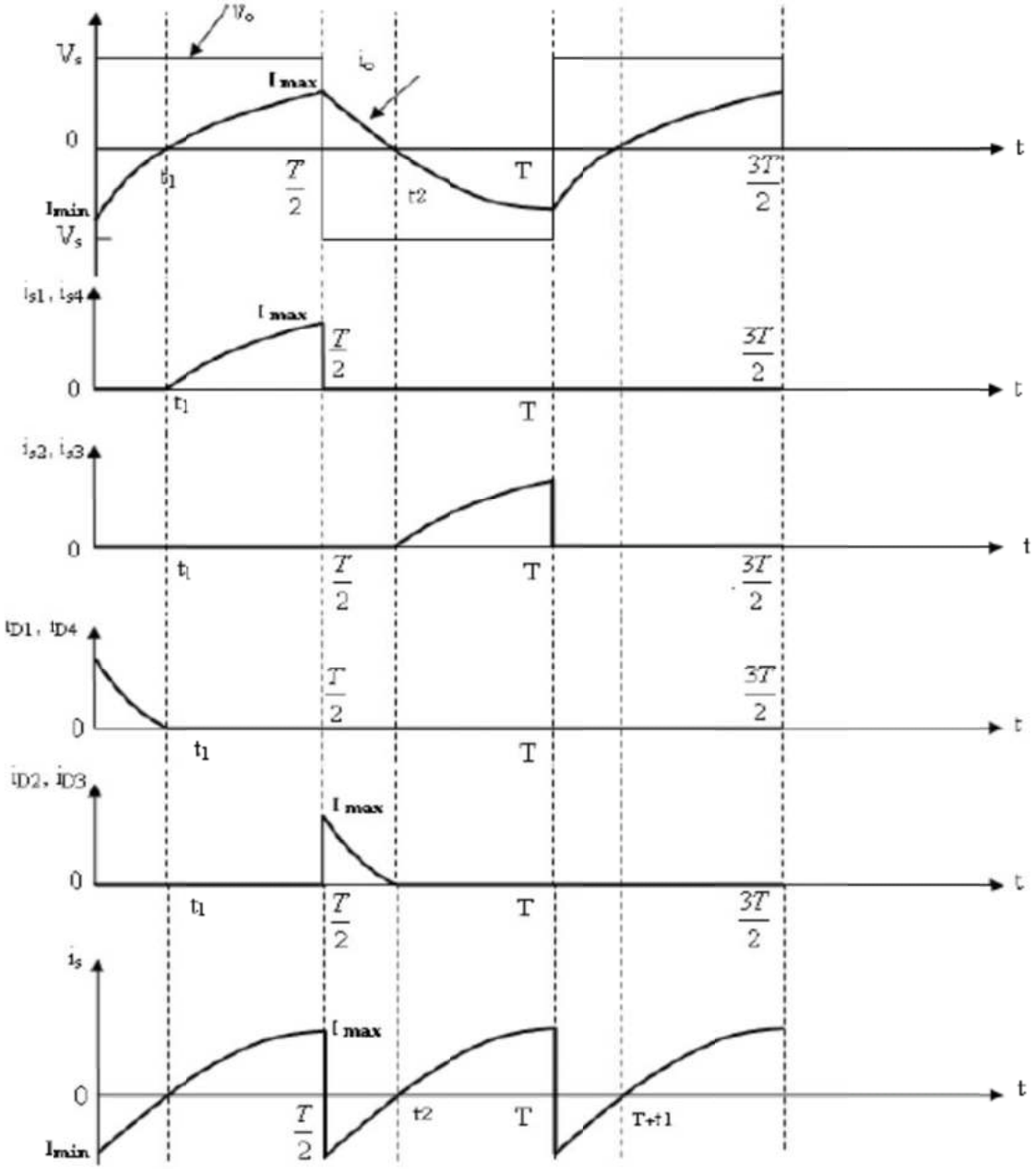


الشكل (5-8) : دائرة عاكس قنطرة أحادي الوجه والمتصل بحمل حثي

يكون تيار الخرج i_o والمبين بالشكل (5-9) متأخرا عن جهد الخرج V_o بسبب وجود الحمل الحثي ،وبالتالي لا يمكن حدوث قدح للمفتاحين S_4وS_1 خلال الفترة الزمنية $(0 < t < t_1)$ حيث إن t_1 هي اللحظة الزمنية التي يكون عندها قيمة تيار الخرج صفراً، وهذا بالرغم من إعطاء نبضة كافية لإشعالهما عن طريق دوائر الاشعال الخاصة بهما، ويعود السبب إلى أنه خلال هذه الفترة الزمنية سوف يكون كل من هذين المفتاحين في حالة انحياز عكسي ،وسوف يمر فيهما التيار ابتداء من اللحظة الزمنية $(t = t_1)$ حتى اللحظة الزمنية $(t = T/2)$.
وبالتالي خلال الفترة الزمنية $(0 < t < t_1)$ يمر التيار خلال الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل الحثي ودايودان الحذافةD_4و D_1 ومصدر الجهد الثابت المستمر V_s' ويمر التيار في الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل الحثي والمفتاحينS_1وS_4 ومصدر الجهد الثابت المستمر خلال الفترة الزمنية $(t_1 < t < T/2)$ ، حيث سيكون هذان المفتاحان في حالة انحياز إمامي وتكون قيمة جهد الخرج V_o هي نفسها قيمة مصدر الجهد الثابت المستمر خلال الفترة الزمنية $(0 < t < T/2)$. ونلاحظ نتيجة لوجود الحمل الحثي تكون قيمة تيار الخرج i_o ذات قيمة صفرية عند اللحظة الزمنية $(t=t_1)$ بينما تكون ذات قيمة لا صفرية إلى قيمة صفرية عند اللحظة الزمنية $t = T/2$ لوجود الحمل الحثي. وبالتالي سيتحول مسار تيار الخرج الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل الحثي والمفتاحين S_4وS_1 ومصدر الجهد الثابت المستمر إلى الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل الحثي ودايودان الحذافةD_3و D_2 ومصدر الجهد الثابت المستمر Vs خلال الفترة الزمنية $(T/2 < t < t_2)$. وتكون قيمة جهد الخرج هي نفسها قيمة المصدر الثابت المستمر ولكن بإشارة سالبة أي أن $(V_o = -V_s)$ ويرجع سبب وجود تيار خرج خلال هذه الفترة الزمنية لوجود طاقة مغناطيسية مختزنة في الملف الحثي وتصبح قيمة تيار الخرج i_o عند اللحظة الزمنية $(t = t_2)$ قيمة صفرية .

نلاحظ أن كلا من المفتاحين S_3وS_2 يكون في حالة انحياز عكسي خلال الفترة الزمنية $T/2 < t < t_2$ بالرغم من وجود نبضات كافية لقدح هذين المفتاحين ،وهذه النبضات آتية من دوائر الإشعال الخاصة بهذه المفاتيح الإلكترونية ،وبالتالي سوف يعكس تيار الخرج i_o اتجاه في الفترة الزمنية $t_2 < t < T$ ، وسوف يوصل كل من المفتاحين S_3وS_2 لوجود النبضة الكافية لقدح كل منهما و يمر التيار في الدائرة المغلقة والمكونة من الحمل الحثي والمفتاحين S_3 وS_2 ومصدر الجهد الثابت المستمر V_s ،خلال هذه الفترة الزمنية وتكون أيضا قيمة جهد الخرج هي قيمة جهد المصدر ولكن بإشارة سالبة أي أن $(V_o = -V_s)$.

نلاحظ بأن تيار الخرج قيمته I_{min} عند اللحظة الزمنية t=T و t=0 بينما يكون تيار الخرج قيمته I_{max} عند اللحظة الزمنية (t=3T/2) و (t=T/2) حيث إن التيار I_{min} هي أقل قيمة يصل إليها تيار الخرج وفى حالتنا هذه تكون القيمة المطلقة العظمى والقيمة الصغرى لتيار الخرج لها قيمة متساوية .



الشكل (5-9) : موجات جهد وتيار الخرج وتيارات دايودات الحذافة والمفاتيح الإلكترونية والمصدر الثابت المستمر .

القيمة الفعالة لجهد خرج عاكس القنطرة :

حيث إن موجة خرج عاكس القنطرة لا تعتمد على طبيعة الحمل، سواء أكان حملاً مادياً أم حثياً ،و تأخذ شكل الموجة المربعة، وبالتالي يمكن التعبير عن القيمة الفعالة لجهد خرج عاكس القنطرة بالمعادلة (5-2).

القيمة اللحظة لتيار الخرج :

يمكن التعبير عن القيمة اللحظة لتيار خرج عاكس القنطرة بالمعادلة التالية :

$$i_O = \begin{cases} \frac{V_s}{R} + \left(I_{min} - \frac{V_s}{R}\right) e^{-t/\tau} & 0 \le t \le \frac{T}{2} \\ -\frac{V_s}{R} + \left(I_{max} + \frac{V_s}{R}\right) e^{-\left(t-\frac{T}{2}\right)/\tau} & \frac{T}{2} \le t \le T \end{cases} \qquad ٦\text{-}5$$

حيث إن:

τ : هي قيمة الثابت الزمني للملف الحثي و قيمته (L/R)

I_{min} : هي القيمة الصغرى لتيار الخرج .

I_{max} : هي القيمة العظمى لتيار الخرج .

علماً بأن القيمة الصغرى لتيار الخرج هي نفس القيمة العظمى لتيار خرج عاكس القنطرة ولكن بإشارة سالبة أي أن

$$I_{min} = -I_{max} \qquad ٧\text{-}5$$

يمكن إيجاد القيمة العظمى و الصغرى لتيار الخرج بالمعادلة التالية :

$$I_{max} = -I_{min} = \frac{V_s}{R}\left[\frac{1-e^{-T/2\tau}}{1+e^{-T/2\tau}}\right] \qquad ٨\text{-}5$$

مثال 5-3 :

تتصل دائرة عاكس قنطرة أحادي الوجه والمبينة بالشكل (5-8) بحمل حثي قيمته المادية ١٠ أوم وقيمة ملفه الحثي L = 25mH ومصدر جهد ثابت مستمر قيمته 100V. إذا علمت بأن تردد فصل وتوصيل المفاتيح الإلكترونية 60Hz، فأوجد معادلة تيار الخرج اللحظي .

ملاحظة هامة / يفضل استخدام برنامج الماتلابMATLAB لرسم منحنى التيار اللحظي .

الحل :

يمكن تعيين الزمن الدوري لجهد الخرج والثابت الزمني للملف الحثي كالآتي :

$$T = \frac{1}{f_o} = \frac{1}{60} = 0.0167\ s$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.025}{10} = 0.0025\ s$$

$$\therefore \frac{T}{2\tau} = \frac{0.0167}{2 \times 0.0025} = 3.34$$

يمكن تعيين القيمة الصغرى و العظمى لتيار الخرج باستخدام المعادلة (5-8) كالآتي :

$$I_{max} = -I_{min} = \frac{100}{10}\left[\frac{1-e^{-3.34}}{1+e^{-3.34}}\right] = 9.31\ A$$

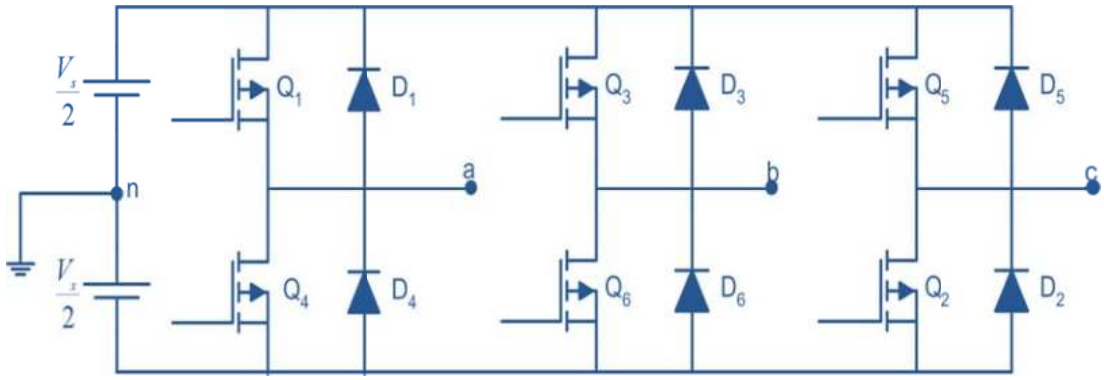
وبالتالي يمكن تعيين تيار الخرج اللحظي باستخدام المعادلة (5-6) كالآتي :

$$i_O(t) = \frac{100}{10} + \left(-9.31 - \frac{100}{10}\right)e^{-t/0.0025}$$
$$= 10 - 19.31e^{-t/0.0025} \qquad 0 \le t \le 0.0083s$$

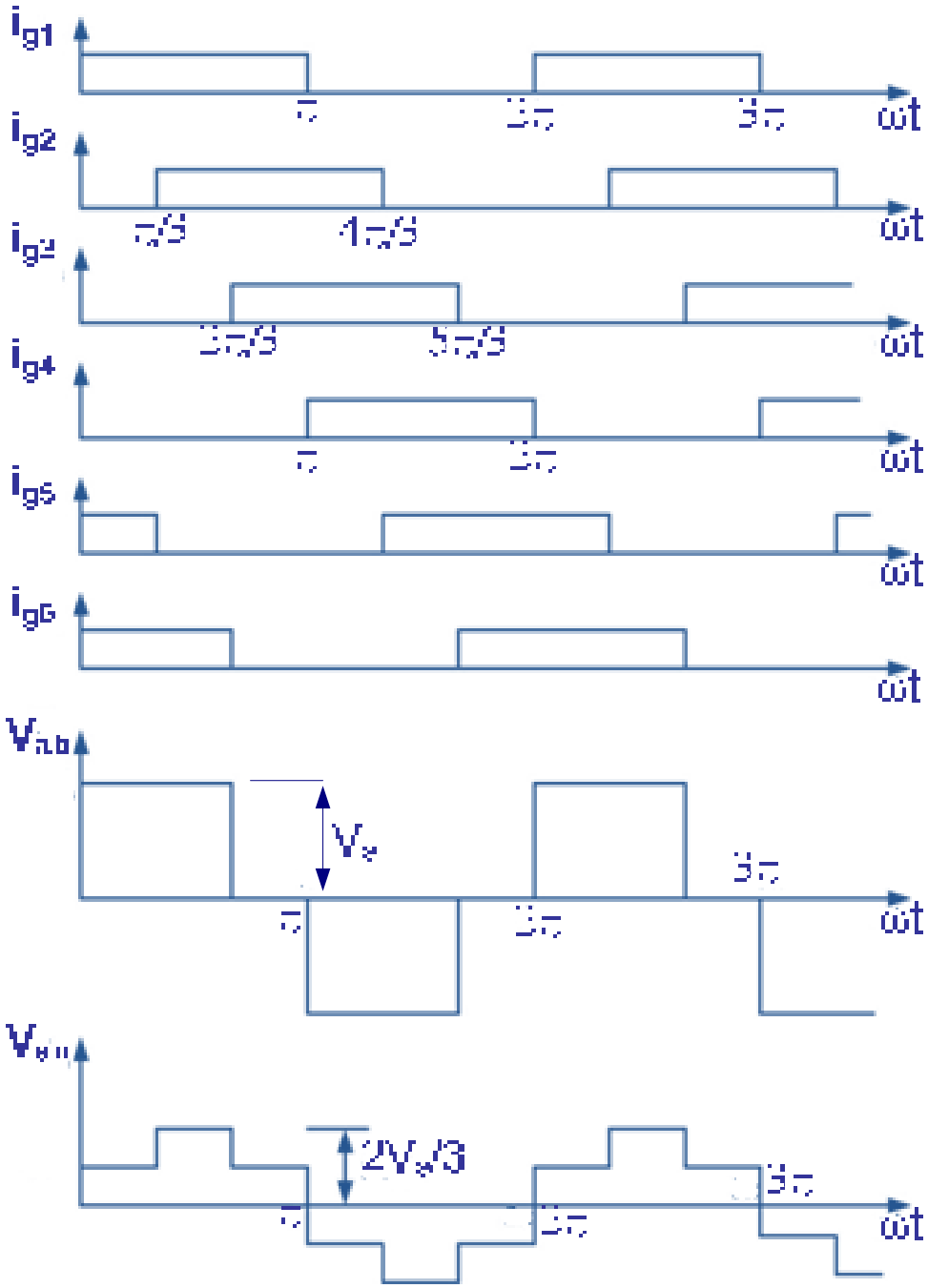
$$i_O(t) = -\frac{100}{10} + \left(9.31 + \frac{100}{10}\right)e^{-\frac{\left(t-\frac{0.0167}{2}\right)}{0.0025}}$$
$$= -10 + 19.31e^{-\frac{(t-0.00835)}{0.0025}} \qquad 0.0083s \le t \le 0.0167s$$

٥,٣,٣.عاكس القنطرة الثلاثي الأوجه Three- Phase Bridge Inverter

تستخدم العواكس الثلاثية الأوجه في التطبيقات ذات القدرات العالية، ومن الممكن أن نحصل على عاكس ثلاثي الأوجه بعدة طرق أهمها عاكس القنطرة الثلاثي الأوجه كما في الشكل (5-10). ويتكون من ست موسفات وستة دايودات حيث يتم إشعال كل موسفت لمدة 180° وفصله لمدة 180° أخرى ويتم ذلك بالتتابع كما في الشكل (5-11) .



الشكل(5-10) العاكس الثلاثي الأوجه



الشكل(5-11) موجات التحكم والجهد الناتج من العاكس الثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد

٤,٤ طرق التحكم في جهد خرج العاكس Inverter Voltage Control Techniques

معظم التطبيقات الصناعية تحتاج أن يكون جهد خرج العاكس المتردد متحكم به ، ويمكننا الحصول على جهد خرج متحكم به باستخدام أحد الطرق الثلاثة الرئيسية:

١. التحكم في قيمة جهد تغذية العاكس المستمر .
٢. التحكم في جهد خرج العاكس المتردد .
٣. التحكم في طريقة فصل وغلق المفاتيح الإلكترونية للعاكس .

تعتبر الطريقة الأولى أبسط أنواع التحكم في جهد خرج العاكس ،حيث إن جهد خرج العاكس يتناسب طردياً مع قيمة جهد الدخل المستمر للعاكس ،حيث يمكن التحكم في قيمة جهد دخل العاكس، عن طريق استخدام مقطع تيار مستمر عند دخل العاكس بدلاً من البطاريات الثابتة الموجودة عند الدخل، وبالتحكم في أزمنة إغلاق وفصل هذه المفاتيح الإلكترونية لمقطع التيار المستمر يمكن التحكم في قيمة دخل العاكس، ويمكن أيضا التحكم في قيمة جهد خرج العاكس المتردد، عن طريق وضع منظم جهد متناوب بين خرج العاكس والحمل ،ويمكن التحكم في قيمة جهد خرج العاكس بالتحكم في جهد هذا المنظم .

تعتبر الطريقة الثالثة هي أكثر الطرق الشائعة والمستخدمة في معظم التطبيقات العملية والصناعية ،وغالباً ما تسمى هذه الطريقة بطريقة تعديل عرض النبضة PWM ويفضل استخدام هذه الطريق ،حيث يمكن التحكم في موجة جهد خرج العاكس و الحصول على موجة خرج بأقل توافقيات ممكنة بهدف الحصول على موجة خرج أقرب إلى الموجة الجيبيه و يمكن إيجاز الأسلوب المتبع لطريقة تعديل عرض النبضة في الفقرة التالية .

٤,٤,١ تعديل عرض النبضة Pulse – Width Modulation PWM

تعتبر الطرق الثلاثة التالية أهم الطريق المستخدمة والمندرجة تحت مسمى تعديل عرض النبضة و هذه الطرق هي :

تعديل وحيد لعرض النبضة Single Pulse – Width Modulation

تعديل متضاعف لعرض النبضة Multiple Pulse-Width Modulation

تعديل جيبي لعرض النبضة Sinusoidal Pulse-Width Modulation

٤,٤,١,١ تعديل وحيد لعرض النبضة

يتم التحكم في قيمة جهد خرج العاكس بالتحكم في عرض النبضة الوحيدة والموجودة كل نصف دورة . يبين الشكل (5-12) جهد خرج العاكس ونبضات التحكم الخاصة بالمفتاحين الإلكترونيين (S_1 وS_2) والموجودين عند البوابة الخاصة بهما في حالة عاكس القنطرة أحادي الوجه المبين بالشكل (5-6) حيث يتم توليد هذه نبضات عن طريق مقارنة موجة مستطيلة مرجعية قيمتها A_r بموجة مثلثية حاملة قيمتها Ac.

يعين تردد الموجة المستطيلة المرجعية التردد الرئيسي (المركبة الأولى) لجهد خرج العاكس وبتغيير قيمة A_r من صفر الى A_c يتم الحصول على نبضة عرضها δ والتي يمكن التحكم في عرض النبضة من صفر حتى 180° .وتعرف نسبة A_r بالنسبة إلى A_c بمعامل التعديل "Modulation Index" وقيمة هذا المعامل هي :

$$M = \frac{A_r}{A_c} \qquad 5\text{-}٩$$

وتكون القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس 'Vo' في هذه الحالة هي :

$$V_O = V_S \times \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \qquad 5\text{-}١٠$$

حيث إن :

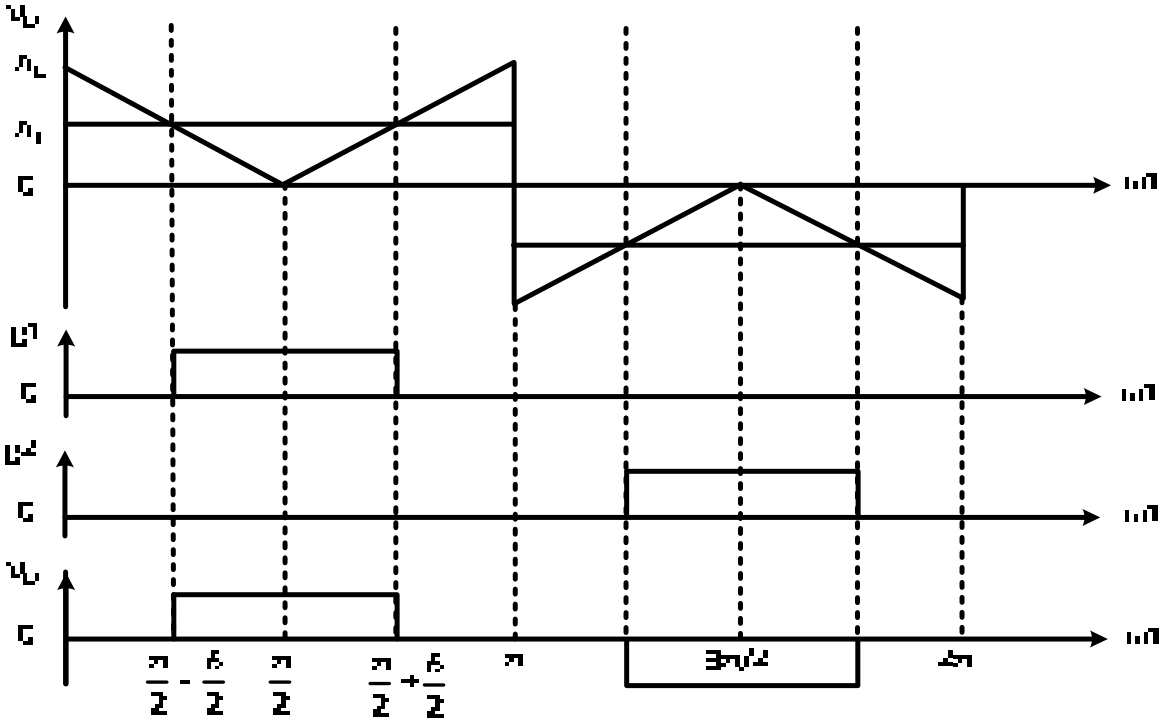
M: معامل التعديل .

V_o:قيمة موجة جهد المصدر الثابت المستمر .

A_r :قيمة الموجة المستطيلة المرجعية .

A_C: قيمة الموجه المثلثية الحاملة .

δ: قيمة عرض نبضة جهد الخرج.



الشكل (5-12) جهد خرج العاكس ونبضات التحكم الخاصة بالمفتاحين الالكترونيين S_1وS_2 لعاكس القنطرة احادي الوجه

٤,٤,١,٢ تعديل متضاعف لعرض النبضة :

يمكن تقليل التوافقيات المصحوبة مع موجة جهد خرج العاكس بزيادة عدد النبضات الموجودة في كل نصف دورة زمنية . ويتم توليد النبضات للمفاتيح الالكترونية عن طريق مقارنة موجة مستطيلة مرجعية بموجبة مثلثية حاملة . وتكون الموجة المستطيلة لها تردد قيمته f_o،وهذا التردد هو الذي يعين تردد خرج العاكس ،بينما الموجة المثلثية الحاملة لها تردد يحدد عدد النبضات الموجودة في كل نصف دورة زمنية عن طريق تردد الموجة الحاملة f_c.

يبين الشكل (5-13) الموجة المستطيلة المرجعية والموجة المثلثية الحاملة وموجة جهد خرج العاكس ،حيث إن عدد النبضات الموجودة كل نصف دورة يتم تعيينه من المعادلة التالية :

$$P = \frac{f_c}{2f_o} = \frac{m_f}{2} \qquad m_f = \frac{f_c}{f_o} \qquad 11\text{-}5$$

حيث إن :

P : عدد النبضات الموجودة كل نصف دورة .

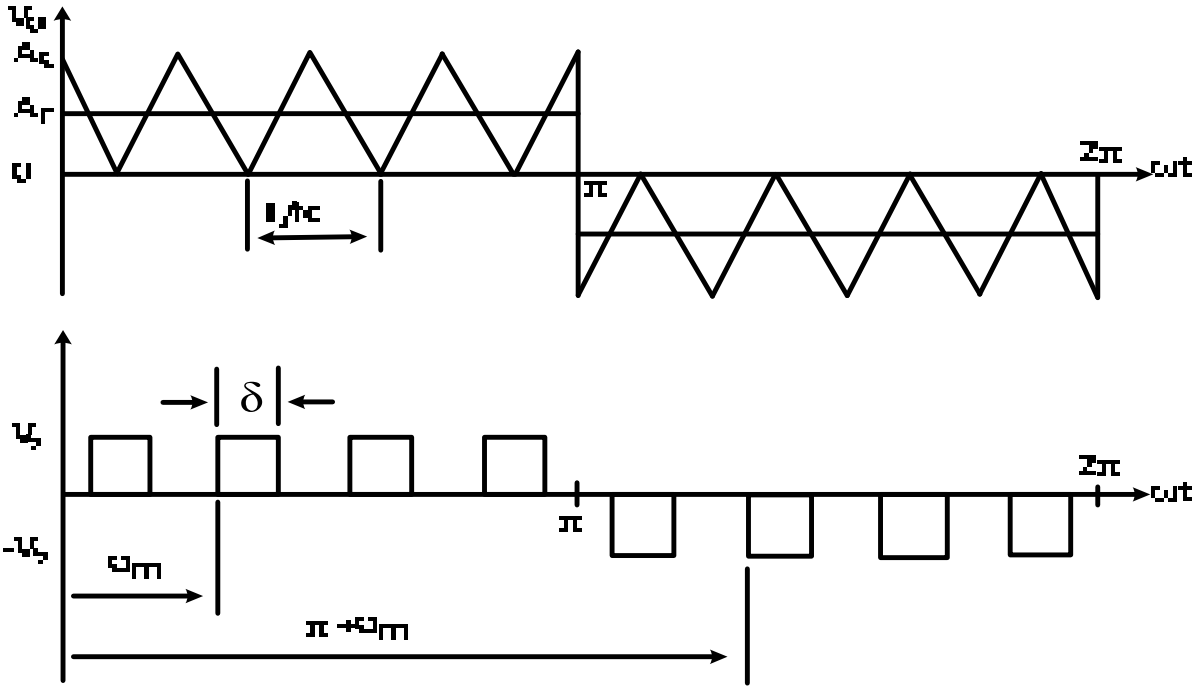
f_c : قيمة تردد الموجة المثلثية الحاملة .

f_o :قيمة تردد الموجة المستطيلة المرجعية .

m_f : قيمة نسبة تعديل التردد.

ويكن تغيير عرض النبضة بالتحكم في قيمة معامل التعديل M. وبالتحكم في قيمة M من صفر حتى ١ ، تتغير قيمة جهد خرج العاكس من صفر حتى V_s وتتغير قيمة عرض النبضة من صفر حتى π/P وتكون القيمة الفعالة لجهد خرج عاكس القنطرة أحادي الوجه في هذه الحالة كالآتي :

$$V_O = V_S \times \sqrt{\frac{\delta P}{\pi}} \qquad 12\text{-}5$$

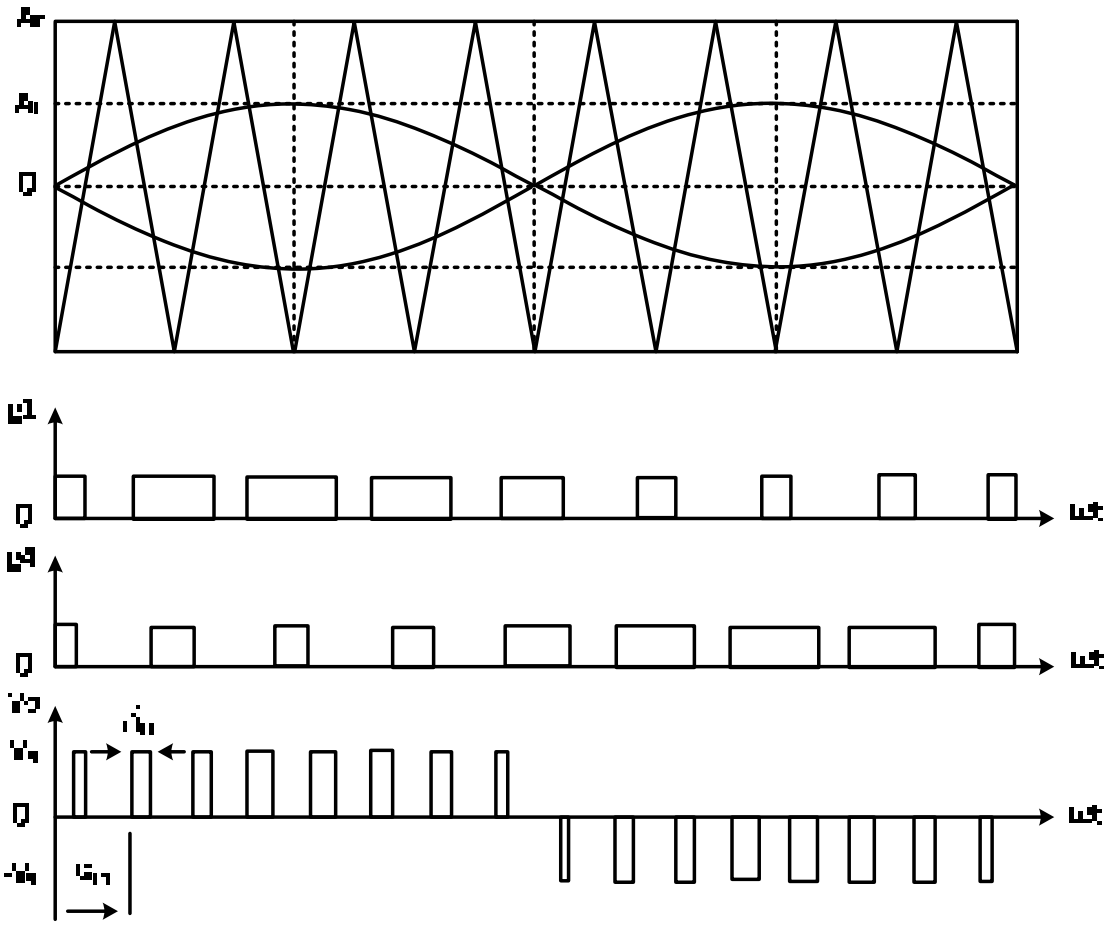


الشكل (5-13): الموجة المستطيلة المرجعية والموجة المثلثية الحاملة وموجة جهد خرج العاكس

٤,٤,١,٣ تعديل جيبي لعرض النبضة

يمكن الحصول على نبضات بعرض غير منتظم بدلاً من النبضات المنتظمة والتي لها عرض ثابت المتولدة بطريقة تعديل متضاعف لعرض النبضات، وذلك باستخدام طريقة التعديل الجيبي لعرض النبضة . يكون عرض النبضة متناسباً مع قيمة الموجة الجيبيه ،ويمكن تقليل التوافقيات وتحسين الشكل الموجي لجهد الخرج باستخدام هذه الطريقة.

يبين الشكل (5-14) نبضات المفتاحين S_1، S_2 والتي يمكن الحصول عليها بمقارنة موجة جيبيه مرجعية تردها f_o بموجة مثلثية حاملة ترددها f_c. وتستخدم غالبا هذه الطريقة في التطبيقات الصناعية ويحدد تردد الموجة الجيبيه المرجعية تردد جهد خرج العاكس وتتحكم القيمة الجيبيه القصوى في قيمة معامل التعديل M وبالتالي يمكن التحكم في القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس V_o ويبين أيضاً الشكل (5-14) القيمة اللحظية لجهد خرج العاكس .



الشكل (5-14) نبضات المفتاحين S_1 وS_2 والتي يمكن الحصول عليها بمقارنة موجة جيبيه مرجعية وموجة مثلثية حاملة وموجة جهد خرج العاكس .

يمكن تعيين القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس بالمعادلة الآتية :

$$V_O = V_S \sqrt{\sum_{m=1}^{P} \frac{\delta_m}{\pi}} \qquad 10\text{-}5$$

حيث إن :

P : هي عدد النبضات الموجودة في كل نصف دورة .

δ_m : هي عرض النبضة والقابلة للنبضة رقم m .

V_s : هي قيمة الجهد الثابت المستمر.

أسئلة الوحدة الخامسة :

١. ما وظيفة العاكس ؟
٢. أذكر بعض التطبيقات المهمة للعواكس ؟
٣. ما الأنواع المختلفة للعواكس ؟
٤. اشرح مع التوضيح بالرسم فكرة عمل العاكس.
٥. ما هي فوائد الدايودات المستخدمة في دوائر العواكس؟
٦. ما الفرق بين عاكس نصف القنطرة ووعاكس القنطرة؟
٧. ارسم دائرة عاكس قنطرة أحادي الوجه مع حمل مادي ثم ارسم أشكال موجات الجهد والتيار .
٨. كرر السؤال السابق لعاكس قنطرة ثلاثي الأوجه.
٩. ما الطرق المختلفة للتحكم في جهد خرج العاكس ؟
١٠. ضع(✓) أو (×) أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:
   a. تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر إلى تيار متردد □
   b. يمكن التحكم في الجهد الناتج من العاكس بينما لايمكن التحكم في التردد. □
   c. يمكن التحكم في تردد الجهد الناتج من العاكس. □
١١. ما هي الطرق الداخلية المختلفة للتحكم في جهد خرج العاكس ؟
١٢. ما الهدف من استخدام طريقة التعديل المضاعف لعرض النبضة؟
١٣. ما الهدف من استخدام طريقة تعديل عرض النبضة الجيبي ؟
١٤. ما عيوب طريقة التحكم في جهد خرج العاكس باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة ؟ وكيف يمكن التغلب على هذه العيوب؟
١٥. يتصل عاكس نصف قنطرة أحادي الوجه بمصدر جهد مستمر قيمته ٢٢٠V وحمل مادي قيمته ٢٠Ω. أوجد:
   a. القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس "V_o"
   b. القيمة الفعالة لجهد خرج العاكس والمناظر للمركبة الأولى"V_1"
   c. قيمة القدرة المغذاة للحمل.

١٦.أعد حل السؤال السابق عندما يكون العاكس قنطرة كاملة .

١٧.تتصل دائرة عاكس قنطرة أحادية الوجه والمبينة بالشكل (٥- ٨) بحمل حثي "R" قيمته المادية ١٠Ω وقيمة ملفه الحثي L=٥٠mH ومصدر جهد مستمر "Vs"قيمته ١١٠V. إذا علمت بأن تردد فصل و توصيل المفاتيح الإلكترونية ٦٠Hz ، فأوجد معادلة تيار الخرج اللحظي.

الوحدة السادسة

أجهزة الطاقة غير المنقطعة

الهدف العام للوحدة: دراسة مكونات أجهزة الطاقة غير المنقطعة بأنواعها المختلفة واستخداماتها

الأهداف التفصيلية:

١. أن يتعرف المتدرب على مكونات أجهزة الطاقة غير المنقطعة.
٢. أن يلم المتدرب بأنواع أجهزة الطاقة غير المنقطعة.
٣. أن يلم المتدرب بدوائر شحن البطاريات.

مقدمة :

تعرف مصادر الطاقة غير المنقطعة *Uninterruptable Power Supply* ، والمعروفة بـ *UPS* بأنها الأجهزة الكهربائية التي توفر الطاقة الكهربائية للأحمال الكهربائية المهمة مثل التحكم في العمليات الصناعية المهمة وأجهزة الحاسب وذلك في حالات الطوارئ عند انقطاع طاقة المصدر.

ويختلف جهاز *UPS* عن المولدات الاحتياطية لأنه سيوفر الحماية الفورية من انقطاع التيار الكهربائي عن طريق إدخال واحد أو أكثر من البطاريات المرفقة والدوائر الإلكترونية المرتبطة بها لمستخدمي الطاقة الرئيسيين، حتى يتم تشغيل المولدات الاحتياطية، وبالرغم من أن وقت تشغيل البطاريات في الغالب قصير نسبياً إلا أنه كافٍ لتشغيل المولدات الاحتياطية، وإتاحة الفرصة لإيقاف تشغيل المعدات المحمية بالشكل صحيح.

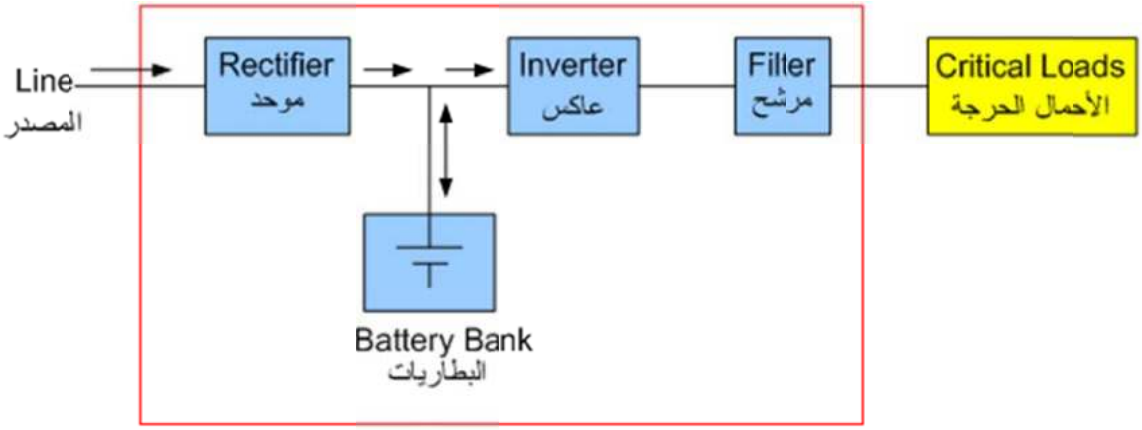
وتستخدم أجهزة *UPS* عادة لحماية أجهزة الكمبيوتر، ومراكز البيانات، ومعدات الاتصالات السلكية واللاسلكية والمعدات الكهربائية الأخرى، التي يمكن أن تتسبب فيها الاضطرابات غير المتوقعة في التيار الكهربائي في تلف بعض الأجهزة أو تعطلها أو فقدان البيانات، ويتراوح حجم وحدات *UPS* من وحدات صغيرة مصممة لحماية جهاز كمبيوتر (حوالي *200 VA*) إلى وحدات كبيرة لتوفير الطاقة الكاملة لمراكز البيانات، والمباني، أو حتى في المدن.

ويمكن لأجهزة *UPS* توفير الطاقة الكهربائية في الحالات التالية:

١. انقطاع التيار الكهربائي.
٢. زيادة الجهد.
٣. انخفاض الجهد.
٤. التشويش الناتج عن وجود ترددات عالية أو اهتزازات أضيفت للشبكة من بعض الأجهزة.
٥. عدم الاتزان في تردد المصدر.
٦. وجود التوافقيات .

٦,١ مكونات أجهزة الطاقة غير المنقطعة :

الشكل (٦- ١) يعرض المكونات الأساسية لمصادر القدرة غير المنقطعة والتي تشمل الموحد *(Rectifier)*والبطارية*(Battery)* والعاكس *(Inverter)* والمرشح *(Filter)* .



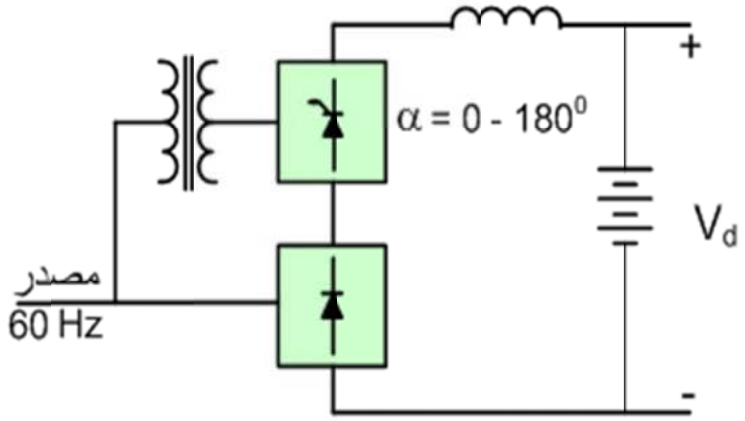
الشكل(6-1) مكونات جهاز الطاقة غير المنقطعة

ويستخدم الموحد لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ،حيث يستخدم في شحن البطارية، بينما يستخدم العاكس لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد يتم تنقيته من الاهتزازات باستخدام المرشح لتغذية الأحمال عند انقطاع مصدر القدرة الرئيسي، وسوف نتناول كلاً منها بالتفصيل.

٦,١,١ الموحد Rectifier

يستخدم الموحد لتحويل التيار من تيار متردد إلى تيار مستمر لتغذية العاكس وضمان المحافظة على أن تكون البطاريات مشحونة. ويمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه أو الثلاثي الأوجه حسب القدرة المطلوبة. وتوجد دوائر توحيد مختلفة من الممكن أن تستخدم لهذا الغرض نعرض بعضاً منها فيما يلي:

الشكل (٦- ٢) يعرض أحد الدوائر التي من الممكن أن تستخدم كالموحد في دائرة مصدر القدرة غير المنقطعة، حيث يوصل خرج دائرة الموحد غير المحكوم على التوالي مع الموحد المحكوم حتى يتم التحكم في جهد وتيار الشحن.

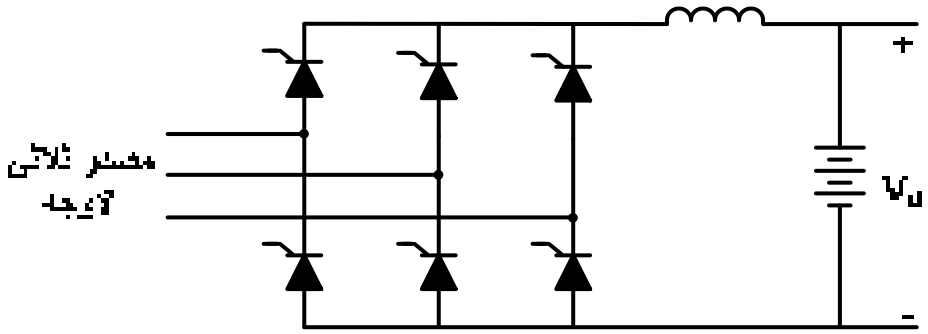


الشكل(6-2)دائرة الموحد لشحن البطارية في مصدر للقدرة غيرالمنقطعة

الشكل (٦- ٣) يقدم دائرة أخرى حيث يستخدم مقطع تيار مستمر من النوع الخافض للتحكم في الجهد المستمر ثابت القيمة الناتج من استخدام الموحد غير المحكوم

الشكل (٦- ٣) دائرة شحن تحتوى على الموحد ومقطع التيار المستمر

الشكل (٦- ٤) يقدم دائرة أخرى من دوائر الموحدات المستخدمة في الشحن، حيث يستخدم الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم ويتم التحكم في الجهد المستمر بالتحكم في زوايا إشعال الثايرستورات ، بينما يستخدم الملف للمحافظة على خلو موجه التيار من الاهتزازات، حيث إن هذه الاهتزازات غير مرغوب فيها في دوائر الشحن حتى لا تؤثر على أداء البطاريات.



الشكل(6-4) دائرة الشحن تحتوى على الموحدالثلاثي الأوجه المحكوم

٦,١,٢ البطاريةBattery:

تعتبر البطاريات العنصر الرئيسي في أجهزة القدرة غير المنقطعة ،حيث تخزن الطاقة المطلوب استخدامها في حالة الطوارئ. وتتحدد قدرة جهاز القدرة غير المنقطعة بقدرة البطارية المستخدمة.

توجد أنواع عديدة من البطاريات منها بطاريات الرصاص الحامضية، وهي الأكثر استخداماً في مصادر القدرة غير المنقطعة. وتشبه هذه البطارية تلك المستخدمة في السيارات وتختلف معها في عدة نقاط مهمة. يتم توليد القدرة الكهربائية في البطاريات المستخدمة في السيارات بالتفاعل الكيميائي بين حمض الكبريتيك وألواح الرصاص المعلقة في السائل، وهذه الأنواع لا تستخدم مع مصادر القدرة غير المنقطعة بسبب الضرر الناتج من إمكانية سكب الحامض ، بالإضافة إلى إمكانية حدوث انفجار لغاز الهيدروجين، لهذا فإن البطاريات المستخدمة في أجهزة القدرة غير المنقطعة هي بطاريات خاصة محكمة وتحتوي على صمام تنظيم *"Sealed, Valve-regulated Lead-acid"*. هذه البطاريات محكمة الإغلاق كما في الشكل (٦- ٥) لتجنب تسرب غاز الهيدروجين أو سكب للحامض. وللتأكد من تقليل فرص سكب الحامض توجد حصائر من الشعر أو الألياف الزجاجية تحتوي على الحامض. وتتميز هذه النوعية من البطاريات عن مثيلتها من النوع التقليدي بسهولة نقلها والتعامل معها ويعتبر العيب الرئيسي في هذه النوعية من البطاريات هو تكلفتها العالية حيث تبلغ ثلاثة أمثال تكلفة مثيلتها من النوع التقليدي.

الشكل(٦- ٥)Sealed lead-acid battery

ويتم تحديد قدرة البطارية بقيمة جهد البطارية بالفولت *"Volt"* وسعتها بالأمبير- ساعة *"Amp-Hour"*. ويمثل واحد أمبير- ساعة الطاقة الكهربائية اللازمة لتغذية حمل كهربائي بتيار مقداره (١) أمبير واحد لمدة ساعة عند الجهد المقنن للبطارية.

ومن المعروف أنه كلما زادت قيمة الأمبير- ساعة كلما زادت سعة البطارية. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أن سعة البطارية تعتمد على قيمة التيار المسحوب منها. فعلى سبيل المثال فإن بطارية سعتها *20Ah* وجهدها *12 V* تغذي حملاً كهربائياً عند جهد *12 V* بتيار *1A* لمدة ٢٠ ساعة ومن المفترض أن تغذي حملاً آخر عند جهد *12 V* بتيار *20 A* لمدة ساعة، ولكن عند الممارسة العملية نجد أن سعة البطارية تعتمد على سرعة سحب التيار من البطارية، لذلك فإن سعة البطارية بالأمبير ساعة تكون عند معدل تفريغ معين، فعلى سبيل المثال فالبطارية *20 Ah* تكون فقط *18 Ah* عندما يكون التيار المسحوب منها *5A* في الساعة وهذا يؤثر على وقت التشغيل لمصدر القدرة غير المنقطعة.

إن جميع البطاريات لها عمر افتراضي لذلك فبعض أجهزة القدرة غير المنقطعة تتنبأ بحالة البطارية إن كانت جيدة أم سيئة حتى يتم استبدالها. ويعتمد العمر الافتراضي للبطارية على كيفية الاعتناء بها. إن بطاريات الرصاص الحامضية هي الأكثر استخداماً في مصادر القدرة غير المنقطعة ويفضل أن تحفظ مشحونة ويراعى أن لا يتم تفريغها بالكامل ،حيث إن ذلك يقلل عمرها الافتراضي بشكل كبير.

وفي ما يلي بعض الاحتياطات التي تراعى عند استخدام بطاريات الرصاص الحامضية.

- عدم تعريض البطارية للصدمات .
- إعادة التدوير بالشكل المناسب وعدم إلقائها في المخلفات العادية .
- عدم حرق البطاريات التالفة لأنها من الممكن أن تنفجر .
- التأكد من عدم توصيل الطرف الموجب بالطرف السالب للبطارية بدون حمل (Short Circuit) لأن ذلك يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بشكل خطير كما يؤدي ذلك إلى انفجار البطارية.

٦,١,٢,١شحن البطاريات :

تلعب عملية شحن البطاريات دوراً مهماً ،حيث إن معظم البطاريات التي تتلف بسبب وسيلة الشحن بالإضافة إلى بعض الأسباب الأخرى ،حيث يجب مراعاة بعض العوامل لتتم عملية الشحن بأمان منها:

- إنهاء عملية الشحن في الوقت المناسب ،حيث إن عدم إنهاء عملية الشحن في الوقت المناسب (تمام شحن البطارية) يؤدي إلى زيادة درجات الحرارة وتوليد الغازات، مما يؤدي إلى تلف البطارية.
- زمن الشحن يجب أن يتناسب مع زمن التفاعل الكيميائي اللازم لتتم عملية الشحن .

إن عملية شحن البطارية الحمضية تعتمد على سعتها فمثلاً توصل البطارية مباشرة مع الشاحن عندما تكون سعة البطارية صغيرة، ومثال على ذلك يمكن توصيل خلية شمسية قدرتها ١٠ وات مباشرة مع بطارية سعتها ٣٠ أمبير- ساعة بينما يستخدم منظم للجهد بين الشاحن والبطارية في حالة شحن بطارية ذات سعة كبيرة وذلك حتى لا تتحول طاقة الشحن الزائدة إلى طاقة حرارية تحول الماء إلى غازات (أكسيجين وهيدروجين).

توجد عدة طرق لشحن البطاريات منها:

1. **الشحن بجهد ثابت**: وهذا النوع من الشواحن يتميز برخص التكلفة ويستخدم في شحن بطاريات السيارات .
٢. **الشحن بتيار ثابت**: في هذا النوع يكون الجهد المسلط على البطارية متغيراً بينما يكون تيار الشحن ثابت حتى يصل جهد البطارية للقيمة المطلوبة حيث يوقف الشحن. هذا الطريقة مناسبة للبطاريات من نوع النيكل كادميوم.
٣. **الشحن النبضي**: يتميز هذا النوع بأن تيار الشحن يكون على الشكل نبضات وتعتمد قيم تيار الشحن على عرض تلك النبضات. وفي الفترات البينية بين النبضات تسمح للتفاعل الكيميائي داخل البطارية بأن ينتهي مما يمكن من إضافة شحنات جديدة للبطارية وتمنع التفاعلات غير المرغوب فيها.

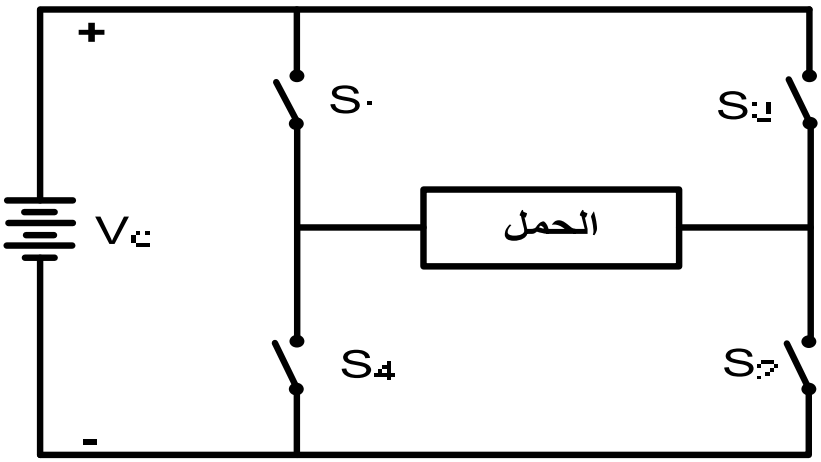
٤. **الشحن بتيار ثابت وجهد ثابت IUI**: في هذه الحالة يتم الشحن بتيار ثابت حتى يصل الجهد إلى قيمة المحددة سابقاً ثم يتم الشحن بجهد ثابت، ويبدأ تيار الشحن فى الاضمحلال حتى يصل إلى قيمة محددة سابقاً ،ثم يستكمل الشحن مرة أخرى بتيار ثابت ويبدأ جهد الشحن في الزيادة مرة أخرى حتى يصل إلى القيمة التي يتم إنهاء الشحن عندها.

٦,١,٣العاكس Inverter

تستخدم العواكس لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد. وتنقسم العواكس بناء على عدد الأوجه ،فمنها عواكس أحادية الوجه ،ومنها عواكس ثلاثية الأوجه. وسوف نتناول بداية نظرية عمل العاكس الأحادي الوجه والذي من الممكن أن يتم تطويره لعاكس ثلاثي الأوجه. ثم نتطرق إلى كيفية تحسين أشكال الموجات الناتجة من العاكس باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة

٦,١,٣,١ فكرة عمل العاكس:

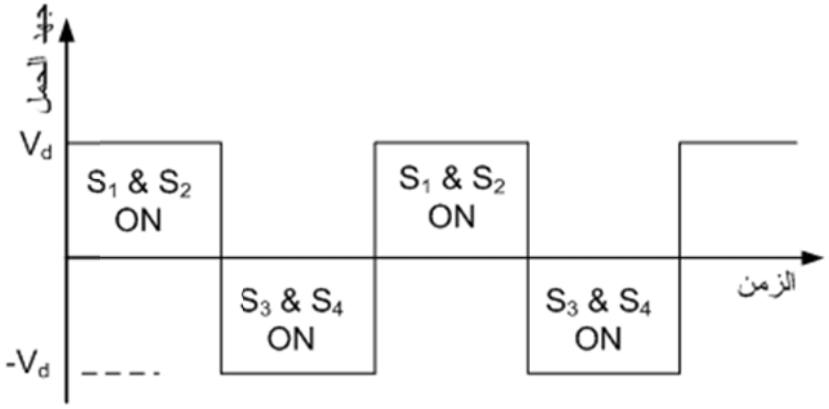
الشكل (٦- ٦) يعرض الدائرة الأساسية لشرح عمل العاكس ،حيث يتم التحويل من جهد مستمر إلى جهد متردد بالتحكم في توصيل وفصل المفاتيح الأربعة طبقاً للجدول (١) بينما يعرض الشكل (٦- ٧)موجات الجهد على الحمل عند تشغيل المفاتيح طبقاً للجدول (١):



الشكل(٦- ٦) فكرة عمل العاكس

S_1	OFF	ON	OFF	ON	OFF
S_2	OFF	ON	OFF	ON	OFF
S_3	OFF	OFF	ON	OFF	ON
S_4	OFF	OFF	ON	OFF	ON
Load Voltage	Zero	$+V_d$	$-V_d$	$+V_d$	$-V_d$

الجدول (١) كيفية توصيل المفاتيح لتحويل الجهد المستمر إلى جهد متردد



الشكل(٦- ٧) الجهد على الحمل عند تشغيل المفاتيح طبقاً للجدول (١)

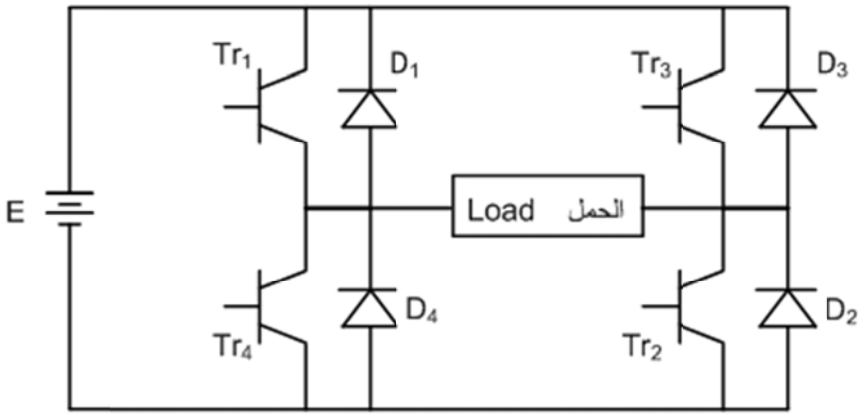
كما يمكن توصيل المفاتيح للحصول على جهد متردد بشكل مختلف كما هو موضح بالجدول (٢) للحصول على موجه جهد متردد كما في الشكل(٦- ٨)

S_1	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
S_2	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF
S_3	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
S_4	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
Load Voltage	Zero	$+V_d$	$+V_d$	Zero	$-V_d$	$-V_d$	Zero	$+V_d$	$+V_d$	Zero

الجدول (2) كيفية توصيل المفاتيح لتحويل الجهد المستمر إلى جهد متردد

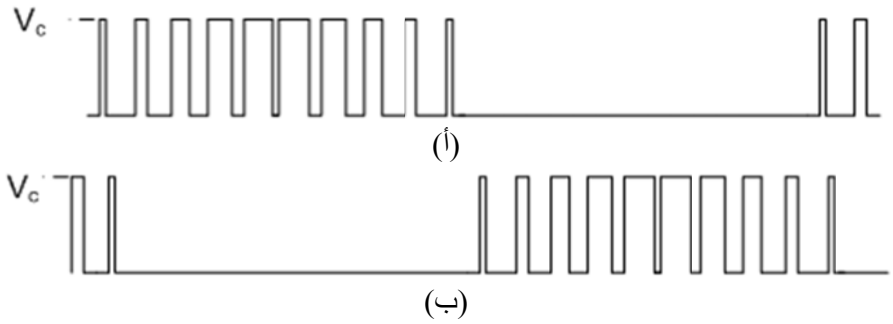
الشكل(٧- ٨) الجهد على الحمل عند تشغيل المفاتيح طبقاً للجدول (٢)

ويلاحظ من الشكل (٦- ٧) والشكل (٦- ٨) أنه يمكن التحكم في شكل الجهد الناتج من العاكس بالتحكم في زمن الفصل والتوصيل للمفاتيح المستخدمة. ويمكن توصيل دائرة العاكس فعلياً باستبدال المفاتيح الأربعة بأربعة ترانزستورات كما في الشكل (٦- ٩). ومن الجدير بالذكر أنه يجب توصيل دايود من النوع سريع الاستعادة على التوازي مع كل ترانزستور. وتجدر الإشارة إلى أنه عند الانتقال من حالة توصيل إلى أخرى يجب أن تكون هناك فترة زمنية قصيرة بين إطفاء الترانزستور الأول T_{r1} وإشعال الترانزستور الرابع T_{r4} حتى لا نتسبب في قصر الدائرة وكذلك T_{r2} ، T_{r3}

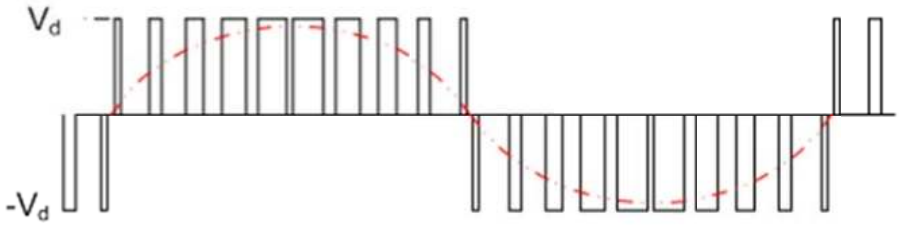


الشكل(٦- ٩)العاكس الأحادي الوجه

إن عملية الفصل والتوصيل للترانزستورات تحتل أهمية كبيرة ،حيث تؤثر في أداء العاكس لذا يوجد عدد من الأساليب لتنفيذ ذلك منها التحكم في عرض النبضة *(Pulse Width Modulation)* كما في الشكل (٦- ١٠) حيث تستخدم الموجات في الشكل (٦- ١٠- أ) كموجات تشغيل لكل من ترانزستور (١) وترانزستور (٢) بينما تستخدم الموجات في الشكل (٦- ١٠- ب) كموجات تشغيل لكل من ترانزستور (٣) وترانزستور (٤) وفي هذه الحالة يكون الجهد على الحمل كما في الشكل (٦- ١١).

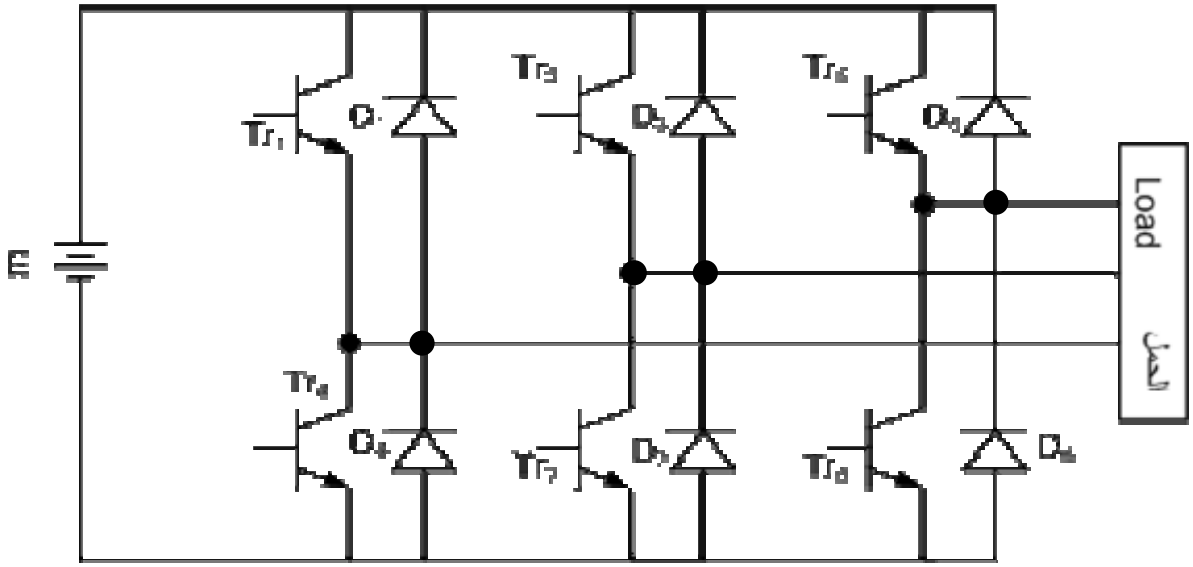


الشكل(٦- ١٠) موجات تشغيل الترانزستورات للعاكس الأحادي الوجه باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة



الشكل(٦- ١١)موجات الجهد على أطراف الحمل المغذى من العاكس الأحادي الوجه

يمكن تكوين عاكس ثلاثي الأوجه يعمل بنفس الفكرة باستخدام ستة ترانزستورات وستة دايودات كما في الشكل (٦- ١٢) .



الشكل٦- ١٢ العاكس الثلاثي الأوجه

٦,٢ أنواع أجهزة الطاقة غير المنقطعة :

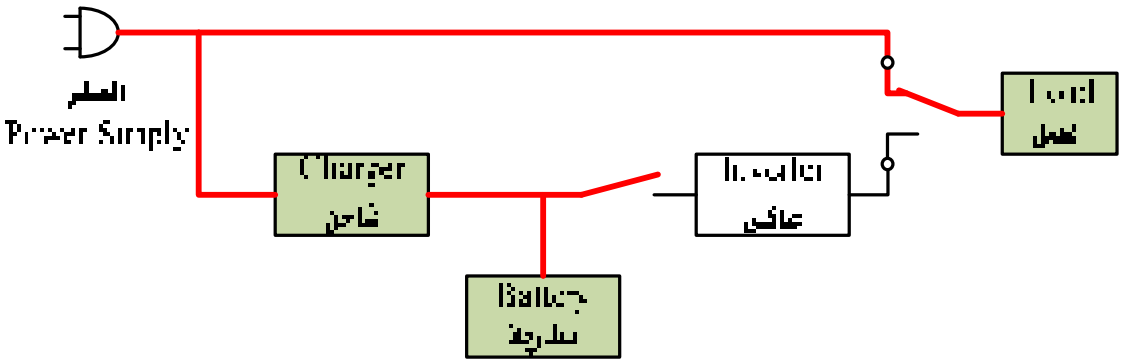
وتنقسم وحدات الطاقة غير المنقطة إلى نوعين أساسيين هما: الأحادي التغيير *(Single Conversion)* والمزدوج التغيير *(Double Conversion)* حيث يستخدم كل نوع بأشكال مختلفة سنتناولها فيما يلي:

٦,٢,١ الأحادي التغيير:

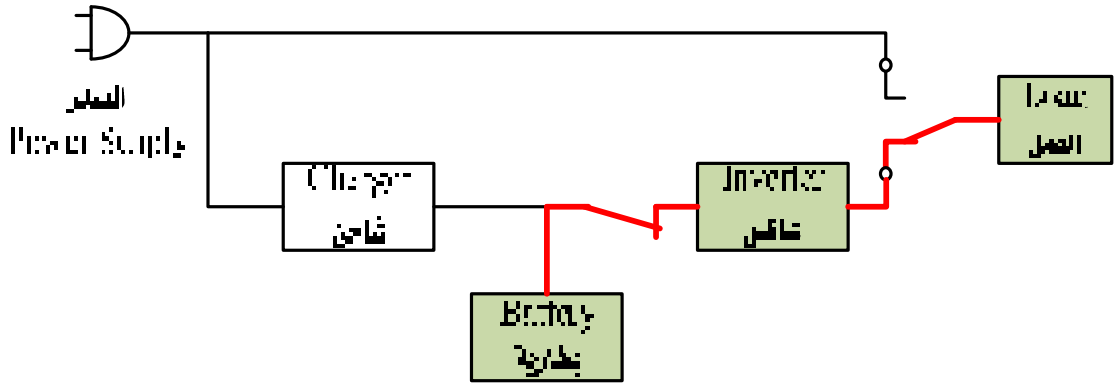
في هذا النوع حيث يتم تغذية الأحمال المهمة *(Critical Load)* مباشرة من المصدر أو من خلال محول ،بينما يتم شحن البطاريات من خلال الموحد ولا يتم تغذية الحمل من خلال العاكس ،إلا عند انقطاع المصدر الرئيسي. وينقسم هذا النوع بدوره إلى ثلاثة أنواع مختلفة :

٦,٢,١,١ وضع الاستعداد Stand By (Off line)

حيث يتم تغذية الحمل مباشرة من مصدر التيار المتردد، ولا يتم استدعاء دوائر التغذية الاحتياطية إلا عند انقطاع التيار. ويستخدم هذه النوع عندما تكون القدرة المطلوبة أقل من ١ كيلو فولت أمبير حيث تكون أقل تكلفة. الشكل(٦- ١٣- أ) يبين التوصيل في حالة توفر طاقة بالمصدر ويكون فيها الحمل موصل مباشرة على المصدر الرئيسي ويتم شحن البطارية من خلال دائرة الشحن وتجهيزها استعداداً لتغذية الحمل عند انقطاع التيار من المصدر الرئيسي كما في الشكل(٦- ١٣- ب).



(أ) الجهاز غير المنقطع القدرة في حالة التشغيل من المصدر الرئيسي

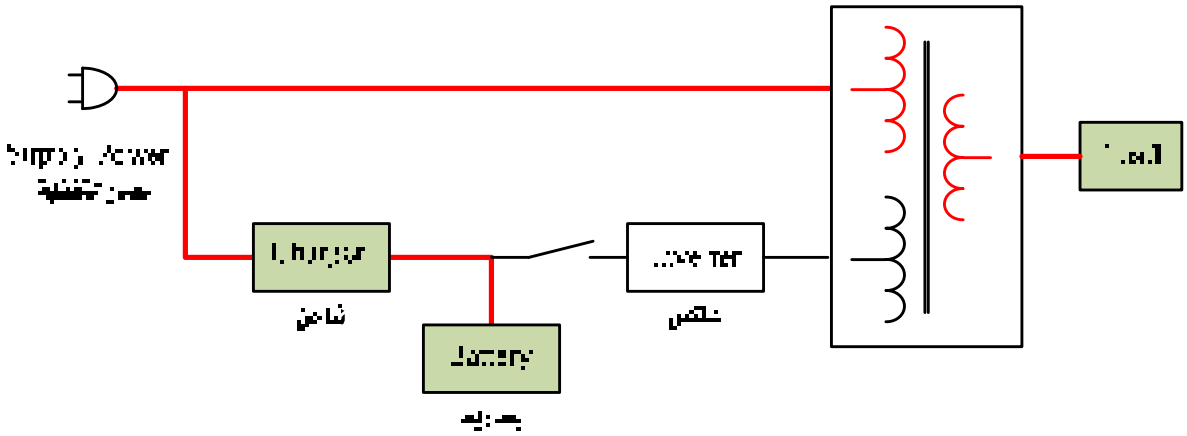


(ب) الجهاز غير المنقطع القدرة في حالة انقطاع المصدر والتغذية من البطاريات

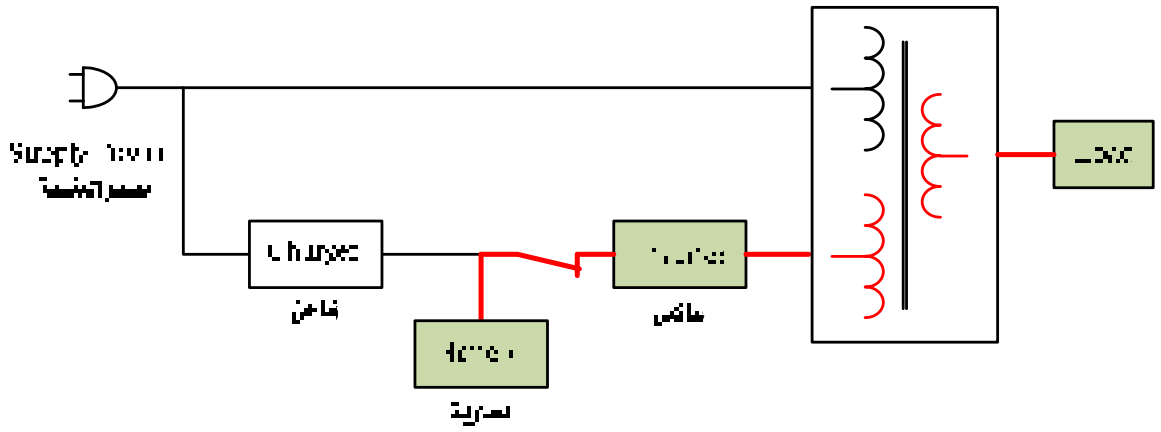
الشكل(٦- ١٣) جهاز القدرة غير المنقطعة في وضع الاستعداد

٦,٢,١,٢ وضع الاستعداد باستخدام محول الرنين Ferro Resonant Standby

يعتبر هذا النوع تطويراً على التصميم السابق ، حيث يتم تغذية الأحمال من مصدر التيار المتردد مباشرة، بينما تبقى دائرة العاكس في حالة استعداد إذا ما انقطع التيار من المصدر. أما الاختلاف الرئيسي فيكمن في استبدال مفتاح التحويل بين المصادر المختلفة تم استبداله بمحول من النوع *Ferro resonant* كما في الشكل(٦- ١٤).



(أ) جهاز غير منقطع القدرة في حالة التشغيل من المصدر الرئيسي

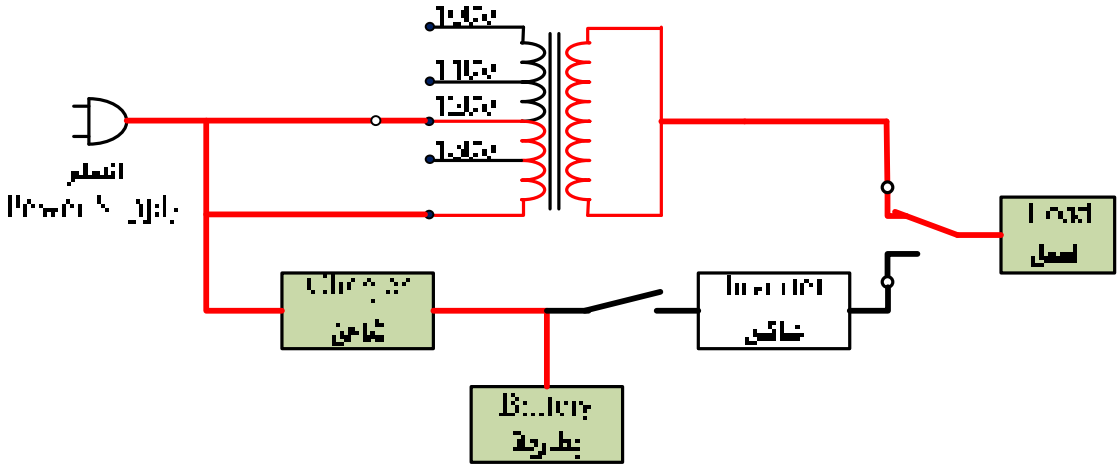


(ب) جهاز غير منقطع القدرة في حالة انقطاع المصدر والتغذية من البطاريات

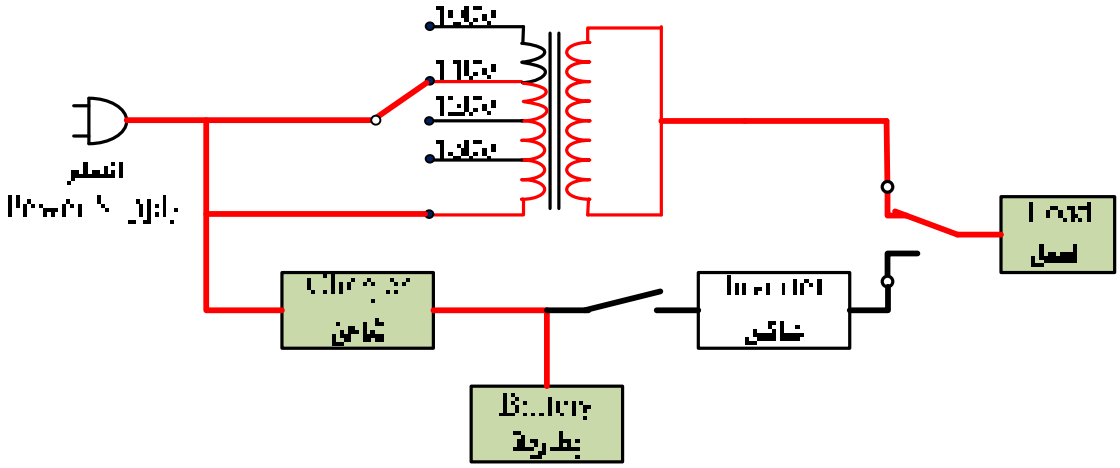
الشكل(٦- ١٤) جهاز القدرةغيرالمنقطعة (محول الرنين)

٦,٢,١,٣ التفاعلي Line Interactive

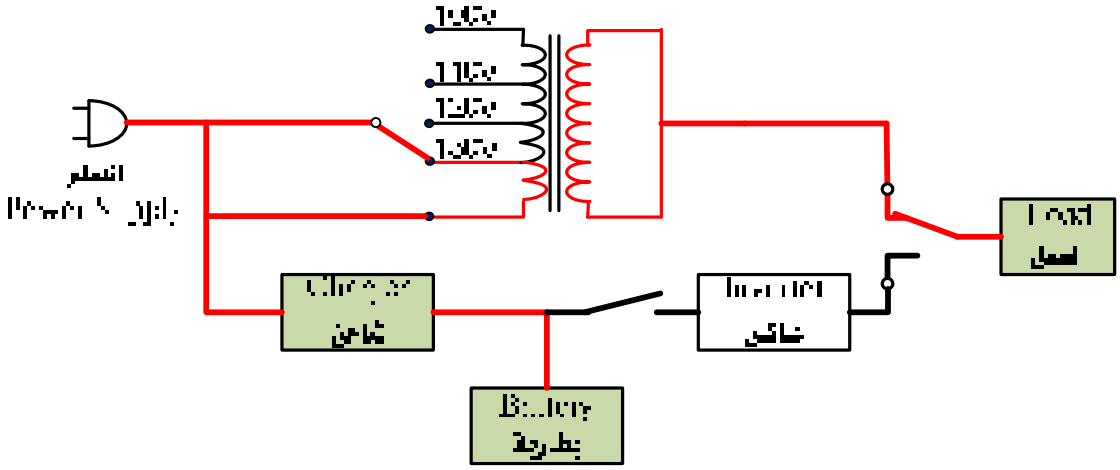
في هذا النوع يتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر باستخدام دائرة توحيد ليمر من خلال بطارية قابلة للشحن ،ثم تحويله مرة أخرى إلى تيار متردد (باستخدام دائرة العاكس) لتغذية المعدات المحمية. ويلاحظ أن دائرة العاكس تكون موصلة مع دائرة الحمل، بينما يتم إعادة توجيه تيار البطارية المستمر من حالة الشحن إلى حالة التغذية عند فقدان القدرة ،فيكمن في مفتاح التحويل بين المصادر المختلفة طبقاً لطبيعة الحالات الطارئة على مصدر التغذية كما في الشكل(٦- ١٥). الشكل(٦- ١٥ أ) يعرض الجهاز عند التشغيل العادي حيث يتم تغذية الحمل من المصدر مباشرة ويتم أيضاً شحن البطارية. يعرض الشكل(٦- ١٥ ب) والشكل(٦- ١٥ جـ) الجهاز عندما يحدث انخفاض أو ارتفاع خفيف في الجهد، حيث يتم تغيير نقطة توصيل المصدر بالمحول بما يتناسب مع جهد المصدر. الشكل(٦- ١٥ د) يعرض الجهاز عند التشغيل غيرالعادي مثل انخفاض الجهد أو ارتفاعه بقيم كبيرة أو انقطاع جهد المصدر تماماً ،حيث يتم تغذية الحمل من البطارية عن طريق العاكس.



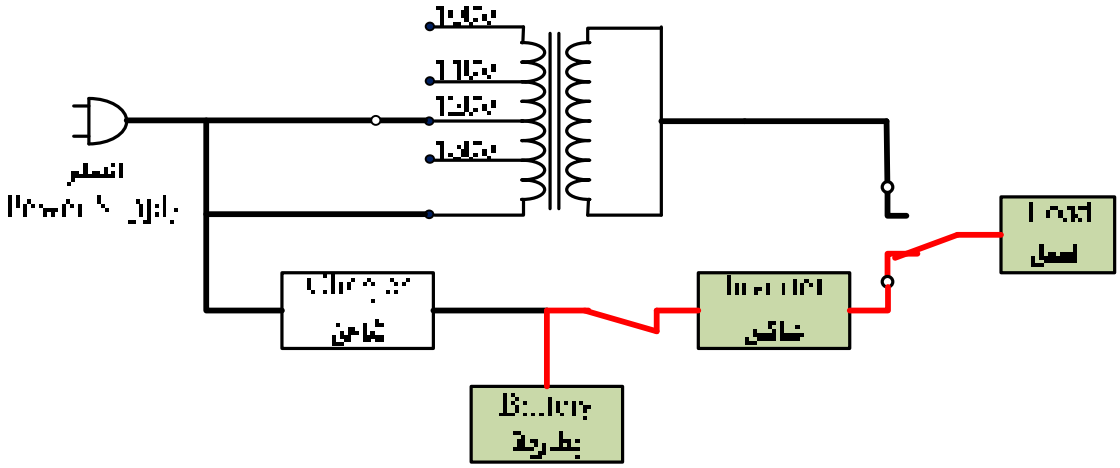
(أ) الجهاز غير منقطع القدرة في حالة التشغيل العادي



(ب) الجهاز غير المنقطع القدرة في حالة انخفاض الجهد انخفاضاً طفيفاً



(جـ) الجهاز غير المنقطع القدرة في حالة ارتفاع الجهد ارتفاعاً طفيفاً



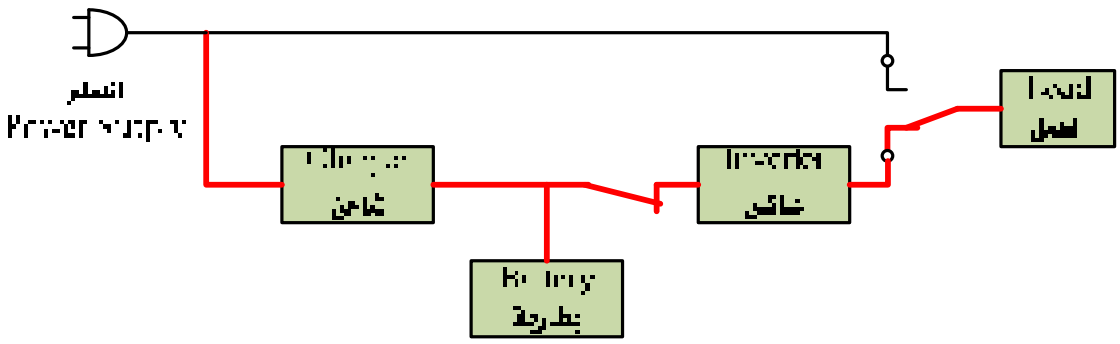
(د) الجهاز غير المنقطع القدرة في حالة انقطاع المصدر أو التذبذب العالي

الشكل٦- ١٥ جهاز القدرة غيرالمنقطعة من النوع التفاعلي

٦,٢,٢ المصدر المزدوج التغير *Double-Conversion On line UPS*

يعتبر هذا النوع هو الأفضل والأمثل للأحمال الكهربائية شديدة الحساسية للاهتزازات في مصادر القدرة الكهربائية، حيث يكون عزل الأحمال الكهربائية ضرورياً. وهذا النوع يعتبر الأعلى سعراً ولكنه ضرورة عندما يكون مصدر القدرة فيه تشوش، وعندما تكون الأحمال على درجة كبيرة من الأهمية مثل مراكز البيانات.

يتكون هذا النوع كما في الشكل (٦- ١٦) من نفس مكونات النوع الأول (الموحد – العاكس –البطارية) ولكنه يختلف عنه في التشغيل ،حيث إن المصدر الرئيسي لتشغيل الحمل في هذه الحالة هو البطارية والعاكس وليس مصدر القدرة، لذلك فإن دائرة الموحد والعاكس يتم تصميمها بحيث تكون موصلة طول الوقت. وبالرغم من أن هذا التغيير يبدو طفيفاً إلا أنه تغيير مهم ،حيث إنه في حالة التشغيل الطبيعي يتم تغذية الحمل من البطارية والعاكس ويتم شحن البطارية من مصدر التيار المتردد من خلال دائرة الشحن (الموحد) .



الشكل(٦- ١٦)جهاز القدرة غيرالمنقطعة من النوع المزدوج التغذية

أسئلة على الوحدة السادسة

١. ما المكونات الأساسية لجهاز الطاقة غير المنقطعة؟
٢. اذكر بعض أسباب الاحتياج إلى أجهزة الطاقة غير المنقطعة.
٣. اذكر أمثلة على استخدامات أجهزة الطاقة غير المنقطعة.
٤. ما الاحتياطات الواجب مراعاتها عند استخدام بطاريات الرصاص الحامضية؟
٥. ما العوامل الواجب مراعاتها لتتم عملية شحن البطارية بأمان؟
٦. ارسم دائرة مبسطة لموحد يمكن استخدامه في عملية شحن البطارية، واذكر فائدة كل جزء من أجزاء الدائرة .
٧. اذكر ثلاثة من طرق الشحن واشرح واحدة منها بالتفصيل .
٨. اذكر أنواع مصادر القدرة غير المنقطعة أحادية التغيير واشرح واحدة منها بالتفصيل .
٩. اشرح بالتفصيل مصدر القدرة غير المنقطعة المزدوجة التغيير .

المراجـع

المؤلف	اسم المرجع
Ashfaq Ahmed	Power Electronic for Technology, Prentice Hall,1999
M. H. Rashid	Power Electronic: Circuit, Devices, and Applications, Prentice-Hall 2004.
David A Bradley	Power Electronics, Nelson Thornes ,1995
Ned Mohan Tore M	Power Electronics Converters, Applicatin and Design ,John Wiley, 1995
M. H. Rashid Hasan M. Rashid	Spice For Power Electronics And Electric Power , Second Edition ,2006