

الالكترونيات الطاقة Power Electronic

6

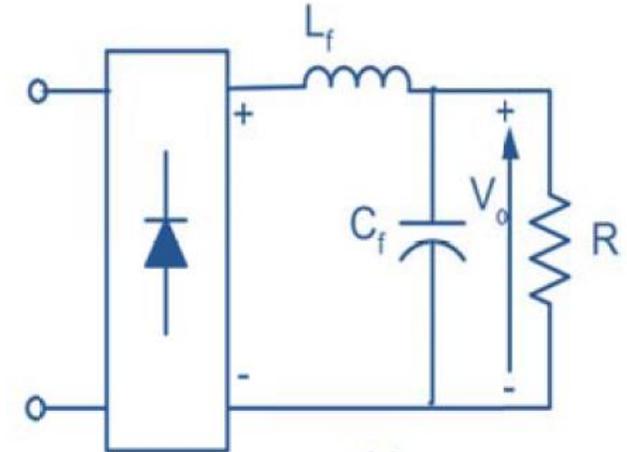
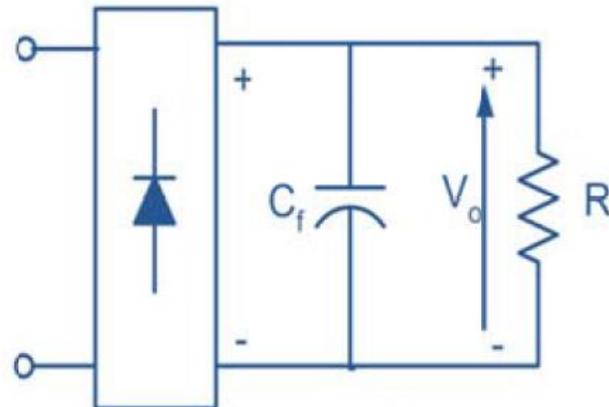
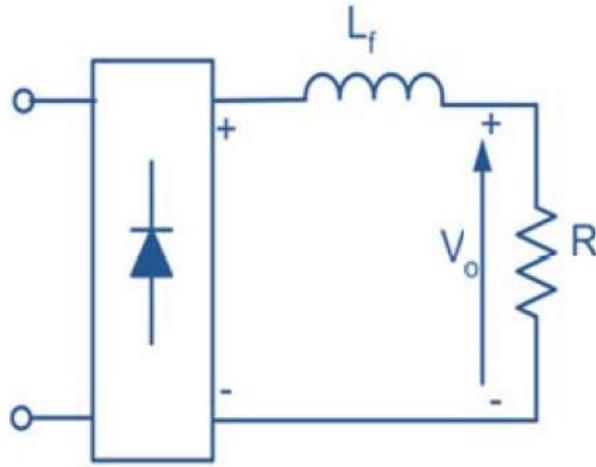
الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين

مفردات المقرر

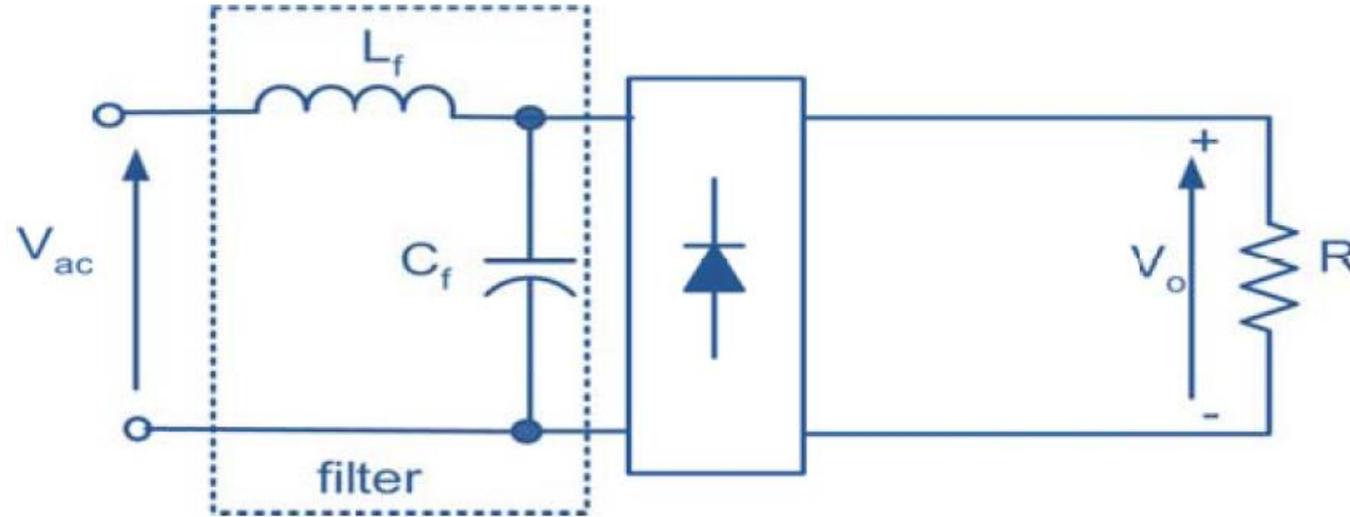
- ❖ مقدمة.
- ❖ عناصر الكترونيات القدرة، وخصائصها.
- ❖ عمل دارات المبدلات أحادية الطور على حمولة اومية.
- ❖ عمل دارات المبدلات أحادية الطور على حمولة تحريضية.
- ❖ عمل دارات المبدلات ثلاثية الأطوار على حمولة اومية.
- ❖ عمل دارات المبدلات ثلاثية الأطوار على حمولة تحريضية.
- ❖ مقطعات التيار المستمر/ مقطعات التقوية - التضعيف
- ❖ القالبات أحادية الطور Single- Phase Inverters .
- ❖ القالبات ثلاثية الأطوار Three-Phase Inverter .
- ❖ طرق التعديل المستخدمة في تنظيم جهد خرج القالبات.
- ❖ المبدلات الترددية الستاتيكية.
- ❖ حماية أنظمة القدرة وأجهزة عدم انقطاع التغذية UPS.

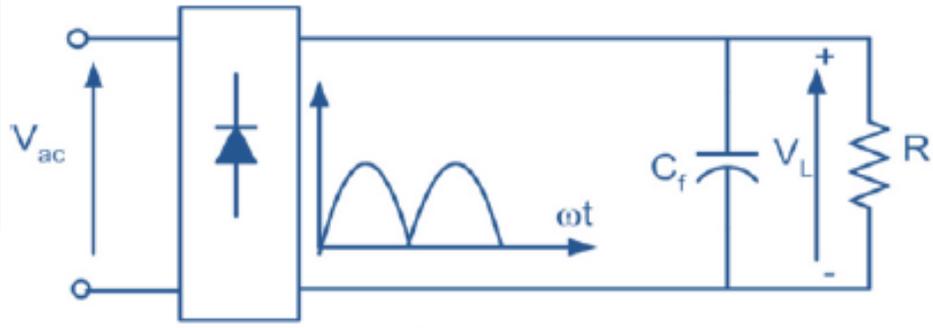
دارات التنعيم والتنقية :Filter Circuit

يتضح من دارات التقويم السابقة أن الجهد المقوم المطبق على الحمل يحتوي على تموجات (**Ripple**)، يعبر عنها عامل التموج وعامل شكل الموجه. وللحصول على جهد مستمر ثابت القيمة تستخدم دارات تنعيم وتنقية لمنع وصول التموجات إلى الحمل. تسمى هذه الدارات بدارات التنعيم أو المرشحات، وتستخدم لتنعيم الجهد المستمر المطبق على الحمل، ويطلق عليه اسم مرشح التيار المستمر (**DC-Filter**). يكون مرشح التيار المستمر عادة إما وشيعة **L** أو مكثف **C** أو وشيعة ومكثف **LC**، كما في الشكل.

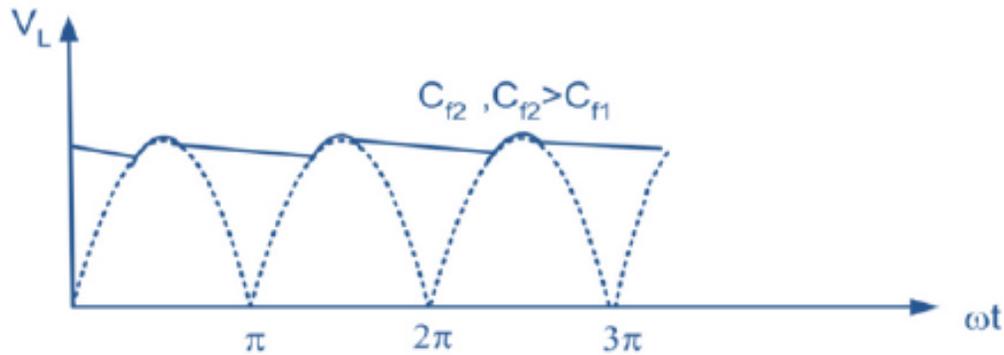
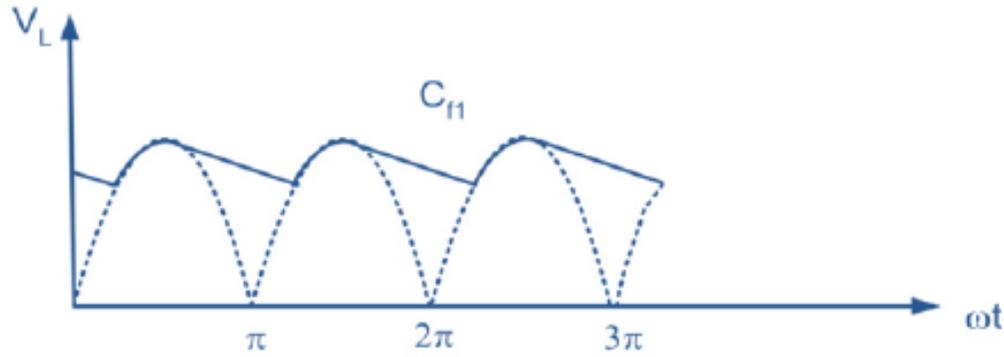


يمكن استخدام مرشح تيار متناوب (AC-Filter) من جهة منبع التيار، حيث يمكن أن يتشوه جهد المنبع نتيجة عملية التقويم. يبين الشكل مرشح تيار متناوب من نوع وشيعة ومكثف LC.





(a) circuit diagram



(b) waveforms for full-wave rectifier

يستخدم مرشح تيار مستمر من نوع المكثف عادة في دارات التقويم سواء أكانت نصف موجة أو موجة كاملة.

يوضح الشكل استخدام مرشح تيار مستمر مع دائرة تقويم موجة كاملة، حيث يظهر من الشكل تأثير تغير قيمة المكثف على شكل موجة الخرج. فكلما ازدادت قيمة سعة المكثف كلما قل التعرج (التموج) في موجة الخرج، حيث $C_{f2} > C_{f1}$ ، وبذلك يثبت شكل موجة الخرج ويقترب من قيمة ثابتة.

انطلاقاً من ذلك نجد إمكانية تحويل الجهد المقوم إلى جهد مستمر بمفهومه المعروف، خاصة عند استخدام منظم (مثبت) جهد، وذلك للحصول على قيمة ثابتة من الجهد المستمر V_{dc} .

$$V_{r(pp)} = \frac{V_m}{2 \cdot f \cdot R \cdot C_f}$$

يمكن حساب قيمة جهد التمرج من القيمة إلى القيمة كما يلي:

حيث: f قيمة التردد للموجة المقومة، وهي ضعف تردد المنبع في حالة دارات تقويم الموجة الكاملة، ويساوي تردد المنبع في حالة دارات تقويم نصف الموجة.

$$V_{AC} = \frac{V_m}{4\sqrt{2} \cdot f \cdot R \cdot C_f}$$

وبالتالي القيمة الفعالة لجهد التمرج:

تحتسب القيمة المتوسطة لجهد الحمل، من العلاقة:

$$V_{av} = V_m - \frac{V_{r(pp)}}{2} = V_m - \frac{V_m}{4 \cdot f \cdot R \cdot C_f} = V_m \left(1 - \frac{1}{4 \cdot f \cdot R \cdot C_f}\right)$$

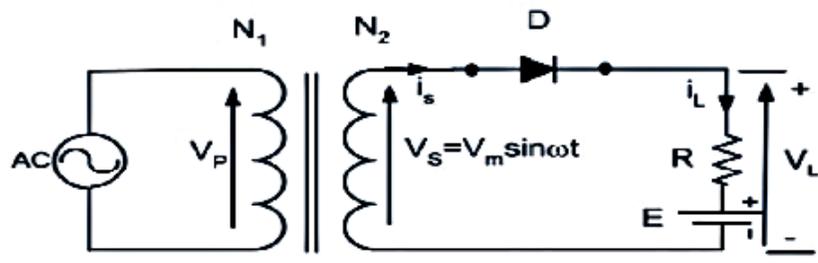
توضح المعادلة الأخيرة أن قيمة الجهد المتوسط تزداد بزيادة قيمة السعة للمكثف C_f .

$$RF = \frac{V_{AC}}{V_{av}} = \frac{1}{\sqrt{2}(4 \cdot f \cdot R \cdot C_f - 1)}$$

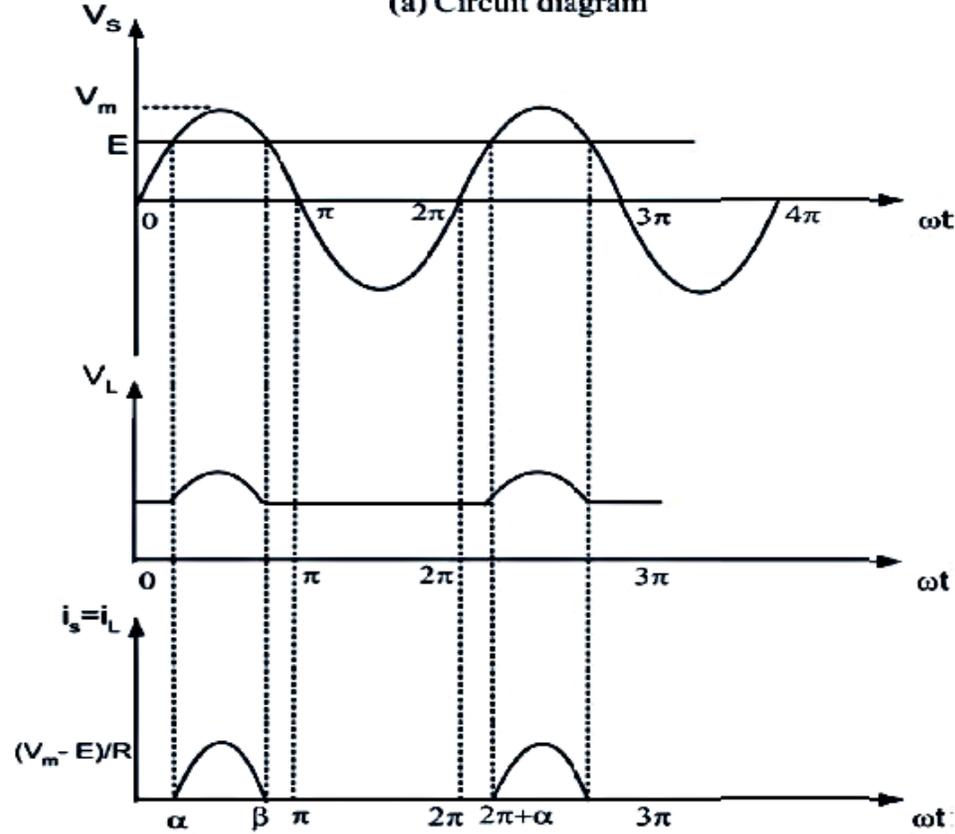
يمكن حساب عامل التمرج لجهد الحمل بالعلاقة:

تطبيقات Applications :

من أهم دارات التقويم استخدامها كشاحن للبطاريات. وتستخدم دارات التقويم لتغذية محركات التيار المستمر، حيث يتم تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر مناسب لتغذية هذه المحركات. كما تستخدم أيضاً كمرحلة مهمة في دارات التحكم بسرعة المحركات التحريضية، حيث تغذي عاكسات التيار التي تحول التيار المستمر إلى تيار متناوب متغير الجهد والتردد، إضافة لذلك تستخدم دارات التقويم لشحن بطاريات أجهزة الـ **UPS**، وكذلك أجهزة إنارة الطوارئ.



(a) Circuit diagram



(b) waveforms

دائرة شحن بطارية

يبين الشكل دائرة مقوم نصف موجة لشحن بطارية ذات جهد E . يقوم الدايمود بتمرير التيار عندما يكون جهد المصدر أكبر من جهد المهبط، أي عندما يكون جهد الملف الثانوي V_S أعلى من جهد البطارية E . وتكون فترة التوصيل من الزاوية α إلى الزاوية β .

يمكن حساب الزاويتين α و β كما يلي:

$$E = V_m \cdot \sin(\alpha)$$

هذه المعادلة تعطي قيمة الزاوية α كتابع لجهد البطارية وجهد منبع التغذية:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{E}{V_m} \right)$$

عندما يصبح جهد الملف الثانوي V_S أقل من جهد البطارية، يُطفىّ الدايمود وذلك عند الزاوية β التي يمكن حسابها من العلاقة:

$$\beta = \pi - \alpha$$

وفقاً لذلك يمكن حساب تيار الشحن من العلاقة التالية:

$$i_L(t) = \frac{V_S(t) - E}{R} = \frac{V_m \cdot \sin(\omega t) - E}{R}$$

يمثل التيار i_L القيمة اللحظية لتيار الحمل.

تحتسب زاوية التوصيل للدايمود بالعلاقة:

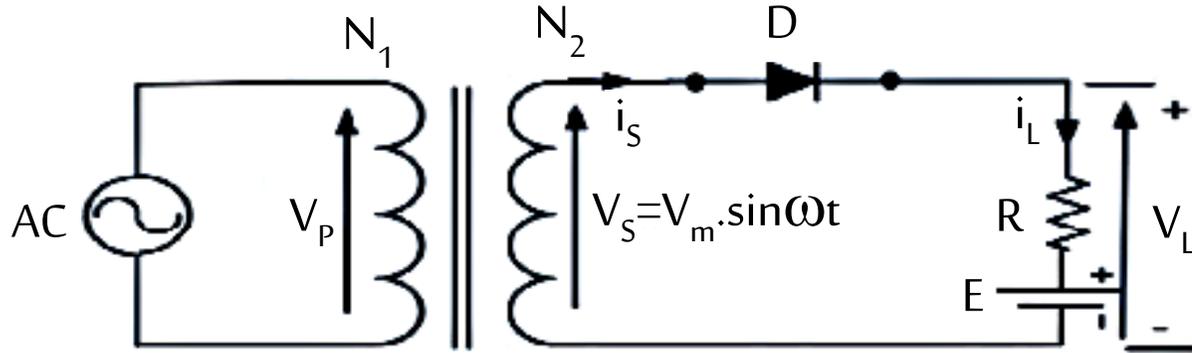
$$\delta = \beta - \alpha$$

يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الشحن (تيار الحمل المتوسط) من العلاقة:

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

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

يبين الشكل دائرة شحن بطارية بمقوم نصف موجة. فإذا كان جهد البطارية $12V$ وسعتها $100Wh$ ، والقيمة المتوسطة لتيار الشحن $5A$ ، وجهد المنبع $120V$ ، ونسبة التحويل للمحول $1:2$. المطلوب حساب:



1. زاوية التوصيل للدايود.
2. قيمة مقاومة تحديد التيار.
3. الطاقة الحرارية المستهلكة في المقاومة.
4. زمن شحن البطارية.
5. مردود (كفاءة) دائرة التقويم.
6. أقصى جهد عكسي يتحمله الدايمود.

1. زاوية التوصيل للدايود δ .

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{E}{V_m} \right) \quad V_m = \sqrt{2} \cdot V_S$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{2}{1} \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2} \quad \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_S = \frac{V_P \times N_2}{N_1} = \frac{120 \times 1}{2} = 60V$$

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

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

$$\beta = \pi - \alpha = 180 - 8.13 = 171.87^\circ$$

$$\delta = \beta - \alpha = 171.87 - 8.13 = 163.74^\circ$$

2. قيمة مقاومة تحديد التيار.

يتم حساب قيمة المقاومة اللازمة لتحديد قيمة التيار عند **5A** من علاقة القيمة المتوسطة لتيار الشحن:

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

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

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

$$P_R = I_{rms}^2 \times R$$

3. الطاقة الحرارية المستهلكة في المقاومة. **تحسب من العلاقة:**

يتم حساب القيمة الفعالة لتيار الشحن من العلاقة:

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

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi R^2} \left[\left(\frac{V_m^2}{2} + E^2 \right) \cdot (\pi - 2\alpha) + \frac{V_m^2}{2} \sin 2\alpha - 4V_m \cdot E \cdot \cos \alpha \right]} = 8.2A$$

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

4. زمن شحن البطارية.

$$t = \frac{100}{P_0}$$

يحسب من العلاقة:

يتم حساب القيمة المتوسطة للاستطاعة (استطاعة الشحن) من العلاقة:

$$P_{0(av)} = E \times I_{av} = 12 \times 5 = 60W$$

$$t = \frac{100}{P_0} = \frac{100}{60} = 1.66h$$

5. مردود (كفاءة) دائرة التقويم.

$$\eta = \frac{P_{0(av)}}{P_{in}} \times 100 = \frac{P_{0(av)}}{P_{0(av)} + P_R} \times 100 = \frac{60}{60 + 286.4} \times 100 = 17.32\%$$

6. أقصى جهد عكسي مطبق على الدايمود.

$$PIV = V_m + E = 84.85 + 12 = 96.85V$$

دارات التقويم المقادة

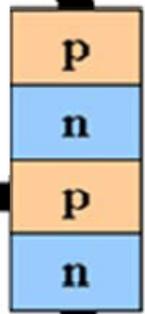
تستخدم دارات التقويم المقادة للتحويل من تيار متناوب إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم بقيمته، ويتم ذلك باستخدام عناصر التقويم المقادة (الثايرستورات).

الثايرستور Thyristor:

يعد **الثايرستور** أحد عناصر الكترونيات القدرة، إذ يستخدم بكثرة في العديد من الدارات، ويمثل بمفتاح يقوم بتمرير التيار في حالة الوصل وعدم تمريره في حالة الإغلاق أو الفصل. ويمكن اعتباره مفتاحاً مثالياً، ويسمى المقوم السيليكوني المقاد **Silicon Controlled Rectifier (SCR)**. في الواقع هناك بعض القيود والخصائص التي يجب أن تراعى عند التشغيل الفعلي في الدارة.

المصعد (Anode)

A



J1
J2
J3

G

البوابة (Gate)

K

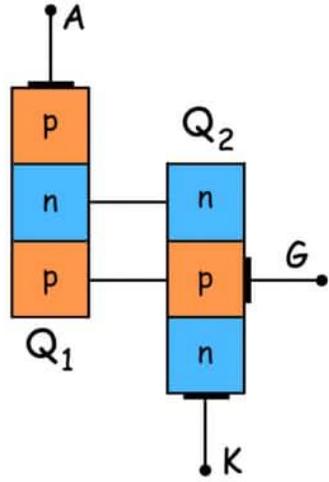
المهبط (Cathode)

A

G

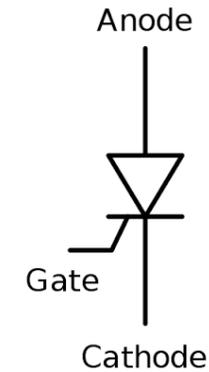
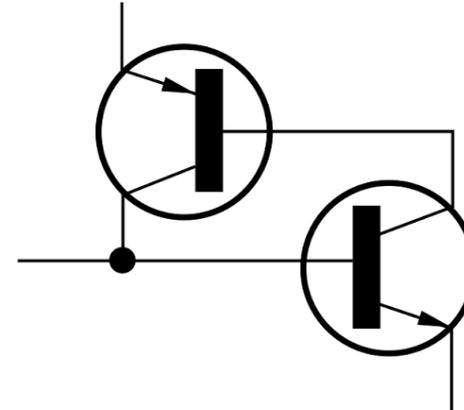
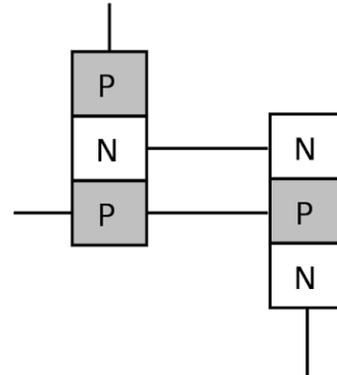
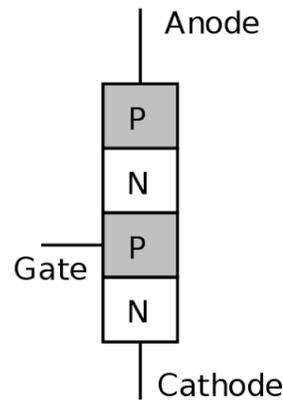
K

يتكون الثايرستور من أربع طبقات من أشباه النواقل Semiconductors مرتبة بشكل PNPN، ومكونة من ثلاث طبقات Junctions هي J1 , J2 , J3 كما هو مبين بالشكل. وللثايرستور ثلاثة أطراف هي المصعد (Anode) ويرمز له بالحرف A، والمهبط (Cathode) ويرمز له بالحرف K، والبوابة (Gate) ويرمز لها بالحرف G، والتي تتصل بالطبقة P الداخلية. يظهر بالشكل الرمز الإلكتروني للثايرستور والمستخدم في الدارات الإلكترونية



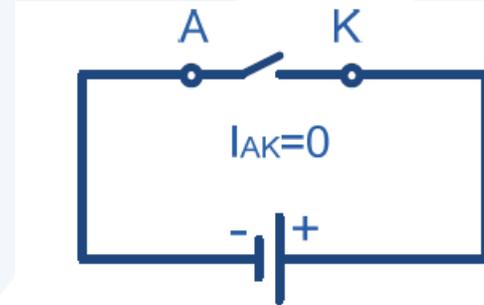
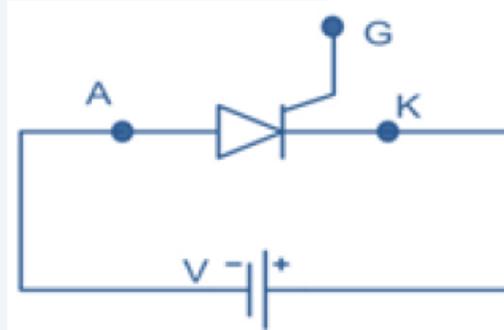
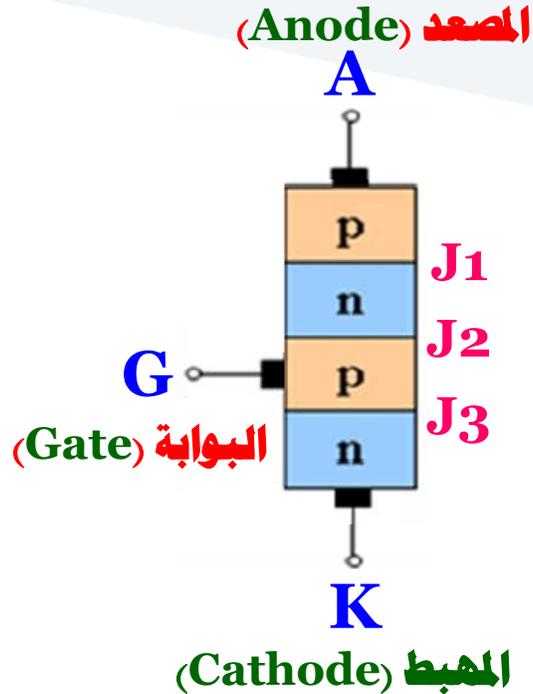
حالات انحياز الثايرستور :

1. حالة الانحياز العكسي.
2. حالة الانحياز الأمامي.
3. تشغيل الثايرستور بتطبيق تيار من المهبط إلى البوابة.



1. حالة الانحياز العكسي.

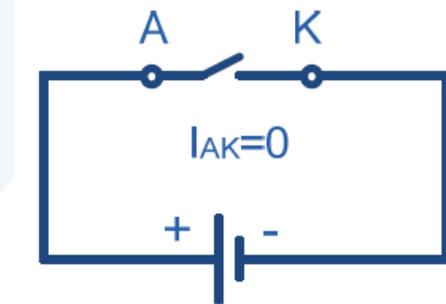
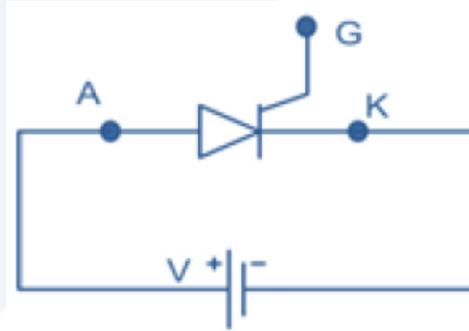
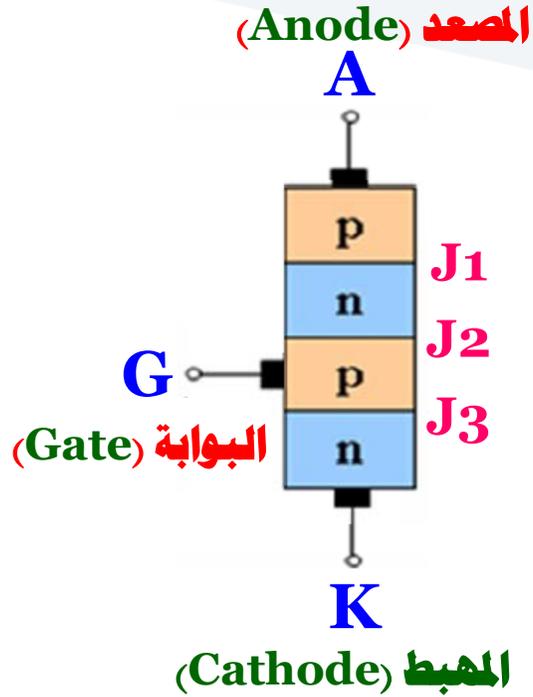
عندما يكون جهد المصدر سالباً بالنسبة لجهد المهبط تكون الوصلة J_2 بحالة انحياز أمامي، أما الوصلتان J_1 و J_3 فتكونان بحالة انحياز عكسي، لذلك لا يمر تيار من المصدر إلى المهبط (يكون الثايرستور بحالة إعاقة عكسية (Reverse Blocking))، باستثناء تيار صغير جداً من المهبط إلى المصدر يسمى تيار التسريب العكسي. إذا ازداد الجهد السالب بين المصدر والمهبط عن جهد الانحياز العكسي فسيمر تيار عالي من المهبط إلى المصدر، ويتلف الثايرستور.



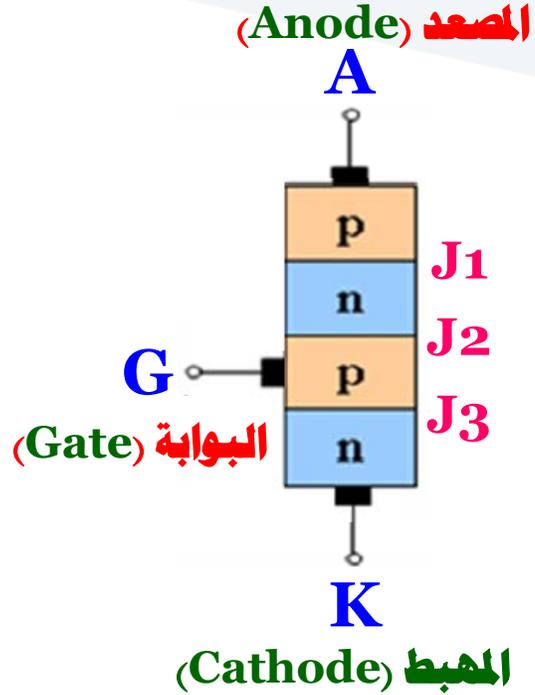
Reverse Blocking

2. حالة الانحياز الأمامي (Off state).

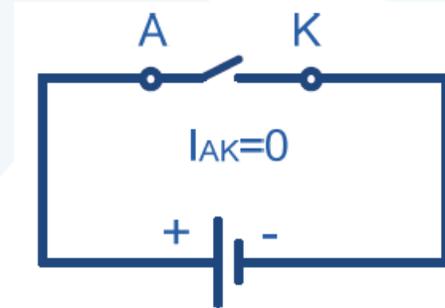
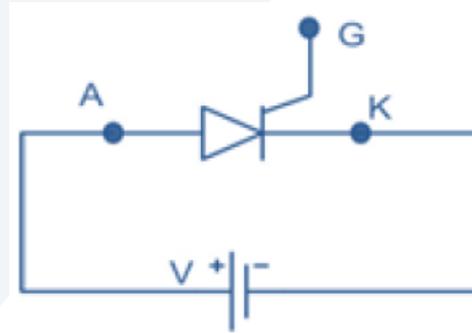
عندما يكون جهد المصدر موجياً بالنسبة لجهد المهبط تكون الوصلتان J_1 و J_3 بحالة انحياز أمامي (Forward Bias)، أما الوصلة J_2 فتكون بحالة انحياز عكسي (Reverse Bias)، وبالتالي لن يمر تيار من المصدر إلى المهبط (الثايرستور أنه مغلق أو معاق أمامياً) (Forward Blocking)، باستثناء تيار صغير جداً يسمى تيار التسريب الأمامي (Leakage Current).



Forward Blocking



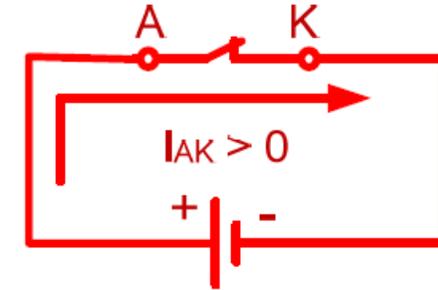
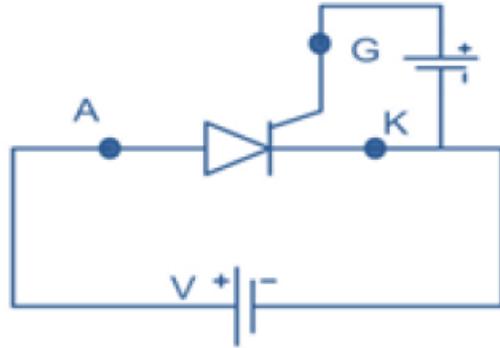
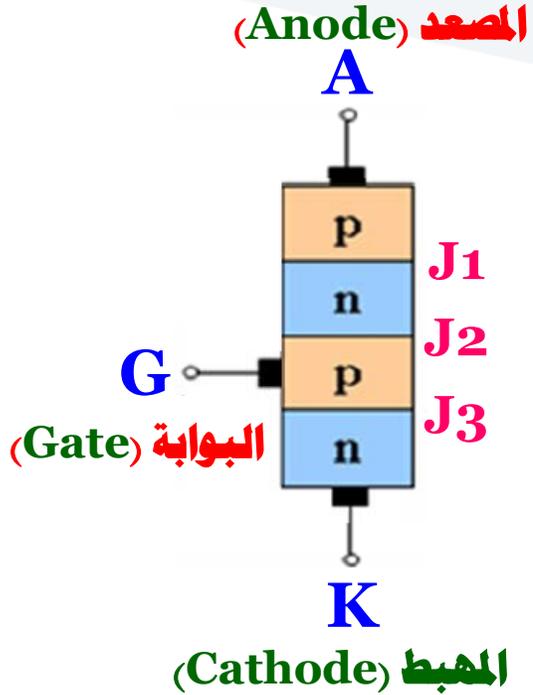
إذا زاد الجهد بين المصعد والمهبط إلى قيمة كبيرة فإن الوصلة **J2** تنكسر. يسمى هذا الجهد بجهد الانهيار الأمامي (**Forward Breakdown voltage V_{Bo}**). في هذه الحالة يمر تيار عالي من المصعد إلى المهبط، ويتحول عندها الثايرستور إلى حالة التوصيل، وتصبح مقاومة الثايرستور قليلة، ويصبح هبوط الجهد عليه قليل، والذي يحد من قيمة التيار في هذه الحالة هو الحمل. إذا كانت مقاومة الحمل قليلة يمكن أن يؤدي التيار العالي إلى تلف الثايرستور. وهذه الطريقة في تشغيل الثايرستور تؤدي إلى تلفه السريع، لذلك لا يفضل استخدامها. لا يكون الثايرستور في حالة وصل طالما أن الجهد بين المصعد والمهبط أقل من جهد الانهيار الأمامي (وهذه قيمة خاصة بتصنيع الثايرستور).



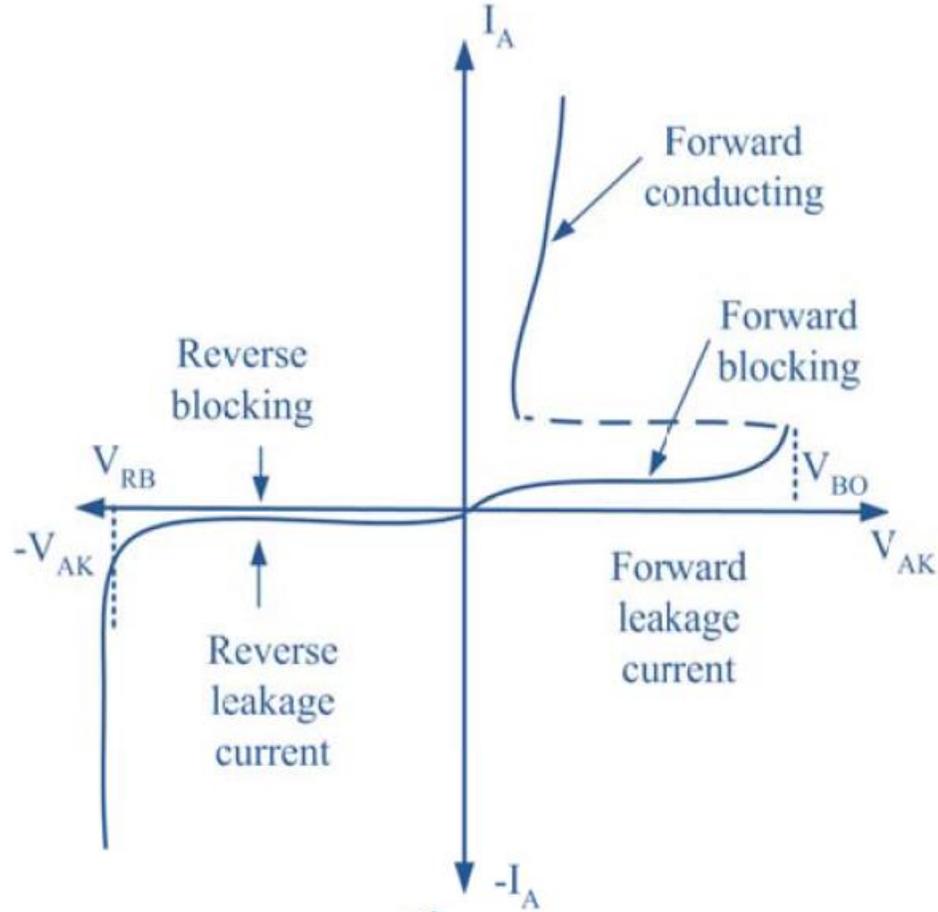
Forward Blocking

3. تشغيل الثايرستور بتطبيق تيار من المهبط إلى البوابة.

وهي الطريقة الآمنة والاعتيادية للتشغيل، وذلك من خلال طرف البوابة. فإذا كان الجهد V_{AK} بين المصعد والمهبط موجباً (أكبر من الصفر)، وأقل من جهد الانهيار الأمامي، وتم تطبيق جهد موجب بين المهبط والبوابة وتدفق التيار بينهما، يتحول الثايرستور من حالة الإعاقة الأمامية إلى حالة التوصيل، وهذه الطريقة هي المستخدمة عادة. التيار الذي يغذي الأحمال هو التيار المار من المصعد إلى المهبط، أما تيار البوابة فيعد تيار تحكم (إشارة تحكم).

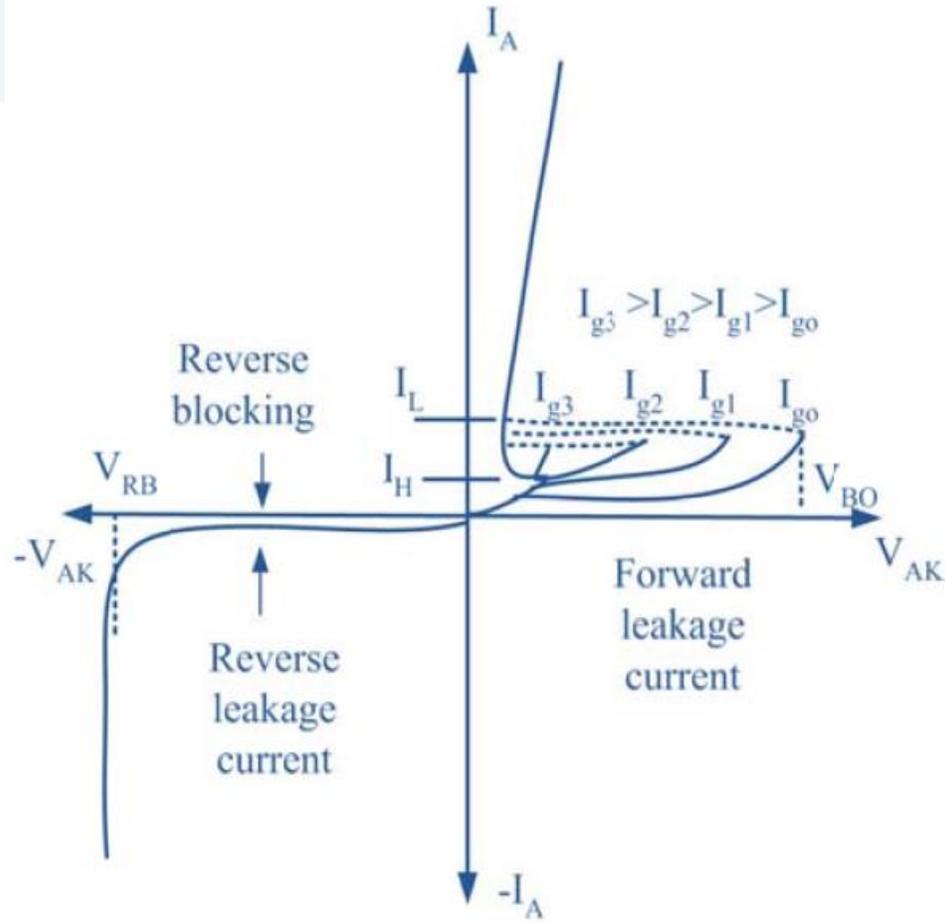


مميزات الثايرستور Thyristor Characteristics



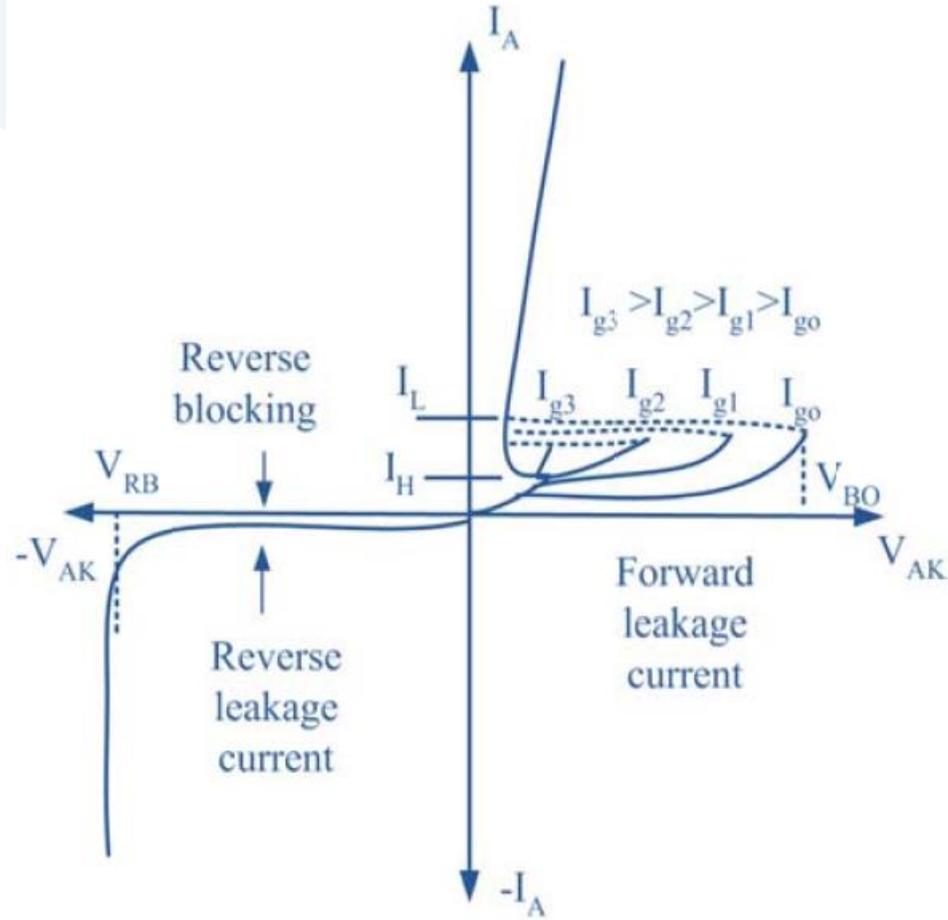
تمثل مميزات الثايرستور العلاقة بين الجهد المطبق عليه V_{AK} (فرق الجهد بين المصعد والمهبط) وبين التيار المار عبره من المصعد إلى المهبط I_A في حالتَي الانحياز الأمامي والانحياز العكسي. يبين الشكل مميزات الثايرستور عندما يكون تيار البوابة مساو للصفر.

عندما يكون الجهد المطبق موجباً (المصعد موجب بالنسبة للمهبط) يمر تيار صغير جداً يسمى تيار التسريب، 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 الإنهيار الأمامي V_{BO} ويسمى التيار I_{BO} ، ويصبح الثايرستور في حالة توصيل وتصبح المميزات مشابهة لمميزات الدايمود المنحاز أمامياً مع هبوط جهد بحوالي $1V$. الحالة التي يستطيع الثايرستور فيها تحمل الجهد الأمامي دون أن يتحول إلى حالة توصيل تسمى منطقة الإعاقة الأمامية.



عندما يكون الثايرستور في منطقة الإعاقة الأمامية، أي وجود جهد على المصدر أعلى من الجهد على المهبط بقيمة تقل عن جهد الإنهيار الأمامي V_{BO} ، فإنه يمكن إشعال الثايرستور وجعله في حالة توصيل باستخدام تيار البوابة I_g بقيم مختلفة.

عندما يصبح الثايرستور ناقلاً فإن التيار يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصولة بالدارة. إذ بزيادة هذه المقاومة يقل التيار إلى أن يصل إلى حد أدنى يصبح الثايرستور بعده في منطقة الإعاقة الأمامية، يسمى التيار عند هذا الحد تيار الإمساك أو الحجز (**Holding Current**)، ويرمز له بالرمز I_H . بعكس الجهد المطبق على الثايرستور تصبح المميزات مشابهة للدايود المنحاز عكسياً، وبزيادة الجهد العكسي يبقى التيار قليلاً حتى يصل إلى جهد الإنهيار العكسي V_{BR} حيث يزداد التيار بسرعة كبيرة وبشكل حاد مع الجهد. وتسمى المنطقة التي يستطيع الثايرستور فيها تحمل الجهد العكسي دون حدوث انهيار في منطقة الإعاقة العكسية.



بتوصيل جهد موجب بين البوابة والمهبط يمر تيار موجب في البوابة، وتصبح مميزات الثايرستور كما في الشكل.

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 المميزات الأمامية مشابهة لمميزات الدايمود، حيث تختفي منطقة الإعاقية الأمامية في هذه الحالة.

من خصائص البوابة أيضاً إمكانية إشعال الثايرستور وجعله في حالة توصيل، حتى ولو كان الجهد الأمامي أقل من جهد الإنهيار الأمامي V_{Bo} ولكن بشرط أن يكون منبع البوابة كافياً لإنتاج تيار بوابة مناسب لإشعال الثايرستور لتحقيق أغراض التحكم بإشعال الثايرستور عند قيم محددة من الجهد الأمامي، وهذه هي الطريقة المعتمدة لإشعال الثايرستور.

نلاحظ أيضاً 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 تمرير الثايرستور)، لذلك يكفي أن يمر تيار البوابة فقط في المدة التي يتحول الثايرستور فيها إلى حالة التمرير، ويمكن إزالته بعدها. وتستعمل بصورة عامة تيارات نبضية لإشعال الثايرستور. ومن المعلوم أن تيار المصدر للثايرستور يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصولة في الدارة، فإذا كانت هذه المقاومة كبيرة فقد لا يكفي تيار المصدر الابتدائي لإبقاء الثايرستور في حالة التشغيل، ويسمى هذا التيار بتيار الإغلاق (التعشيق) I_L (Latching Current). ويعرف هذا التيار بأنه أقل قيمة لتيار المصدر اللازمة لإبقاء الثايرستور في حالة توصيل بعد الإشعال وإزالة تيار البوابة، وهو أكبر من تيار الإمساك I_H .

طرق إشعال الثايرستور Thyristor Firing:

وجدنا مما سبق أن الثايرستور يصبح موصلاً إذا ازداد تيار المصدر عن تيار التعشيق I_L في حالة الانحياز الأمامي، ويمكن أن يتم ذلك بعدة طرق.

1. الإشعال بالحرارة:

زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة معدل توليد حاملات الشحنات، فإذا كانت هذه الزيادة عالية عن حد معين، فإنها يمكن أن تؤدي إلى تشغيل الثايرستور، وهذا التشغيل غير مرغوب فيه، لذلك يجب تجنبه باستخدام وسيلة لإزالة الحرارة الزائدة المتولدة، حيث يمكن أن تتولد هذه الحرارة نتيجة زيادة التيار، ويمكن استخدام وسيلة لتبديد الحرارة بتثبيت الثايرستور على قطعة من المعدن.

2. الإشعال بالضوء:

وذلك بتسليط حزمة ضوئية على الوصلة J_2 ، حيث تتولد حاملات الشحنات، وتصبح الوصلة J_2 في حالة توصيل، ويتم إشعال الثايرستور بنفس الأسلوب الحراري.

3. الإشعال بالجهد الزائد:

إذا زاد الجهد الأمامي عن جهد الانهيار الأمامي V_{Bo} فإن تيار التسريب للثايرستور يكون كافياً لتحويل الثايرستور إلى حالة التوصيل الأمامي، وهذه الطريقة للإشعال تدمر الثايرستور، لذلك يجب تجنبها ولا يفضل استخدامها.

4. الإشعال بمعدل الجهد المطبق dv/dt :

من المفترض أن يزداد الجهد الأمامي المطبق بالتدريج، ولو سُمح لهذا الجهد بالزيادة المفاجئة، فقد تؤدي إلى إشعال الثايرستور من دون تطبيق إشارة على البوابة أو زيادة الجهد الأمامي أكثر من مستوى الانهيار. هذا النوع من الإشعال غير مرغوب به ويمكن تجنبه بتحديد معدل تغير الجهد الأمامي (dv/dt) . تتراوح قيم التحديد هذه في الثايرستور التقليدي بين $20V$ و $200V$ لكل $1\mu s$.

5. الإشعال بتيار البوابة:

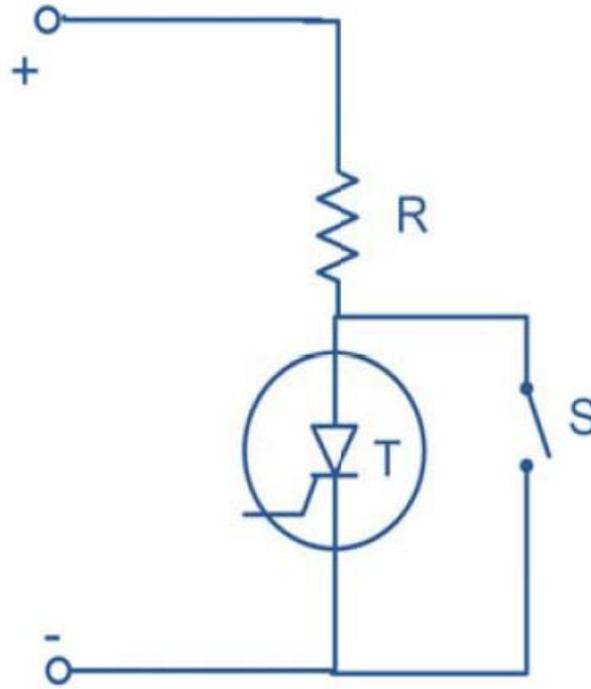
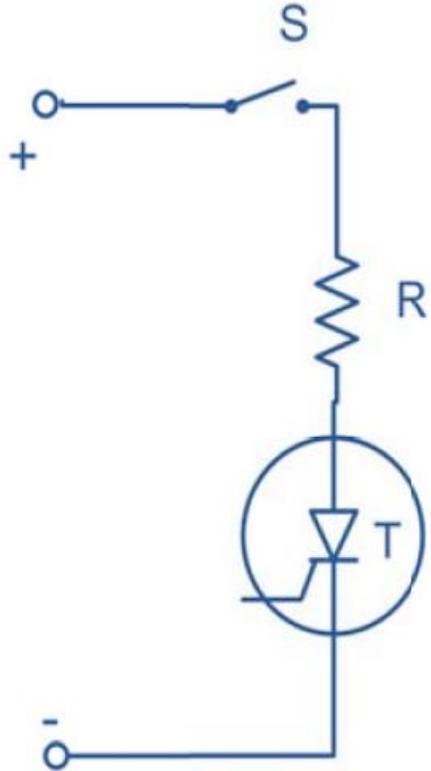
بتطبيق إشارة موجبة على البوابة (بوصل منبع جهد بين البوابة والمهبط) فإن التيار المار بدارة البوابة سيؤدي إلى مرور فجوات من البوابة إلى الطبقة P الثانية فتزيد حوامل الشحنة الموجودة وتصبح الوصلة J_2 ، في حالة توصيل، مما يساعد في إشعال الثايرستور. هذه الطريقة هي الأكثر شيوعاً في تشغيل الثايرستور، وعادة تكون الإشارة المطبقة على شكل نبضة تستغرق زمناً كافياً لتشغيل الثايرستور، وإذا تم إشعال وتوصيل الثايرستور فإنه يستمر مشتعل، ولا داعي لإبقاء تيار البوابة، ويتم بهذه الطريقة التحكم في لحظة إشعال الثايرستور حسب متطلبات شروط التشغيل.

طرق إخماد الثايرستور :Methods of Thyristor Turn-off

عندما يكون الثايرستور في حالة توصيل فإنه يحتوي على عدد كبير من حاملات الشحنة في طبقاته الأربعة، وليس للبوابة في هذه الحالة أي سيطرة أو تأثير على الثايرستور. لإخماد 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 كافية لتحويله إلى حالة عدم التوصيل.

إن جعل الثايرستور في حالة عدم توصيل ليست صعبة في دارات التيار المتناوب، حيث ينعكس الجهد كل نصف دور، أما في دارات التيار المستمر حيث يمر التيار باتجاه واحد، فإن الأمر يتطلب استخدام دائرة إضافية، ويوجد نوع خاص من الثايرستورات يتم إخماده عن طريق البوابة ذاتها.

طرق إخماد الثايرستور :Methods of Thyristor Turn-off

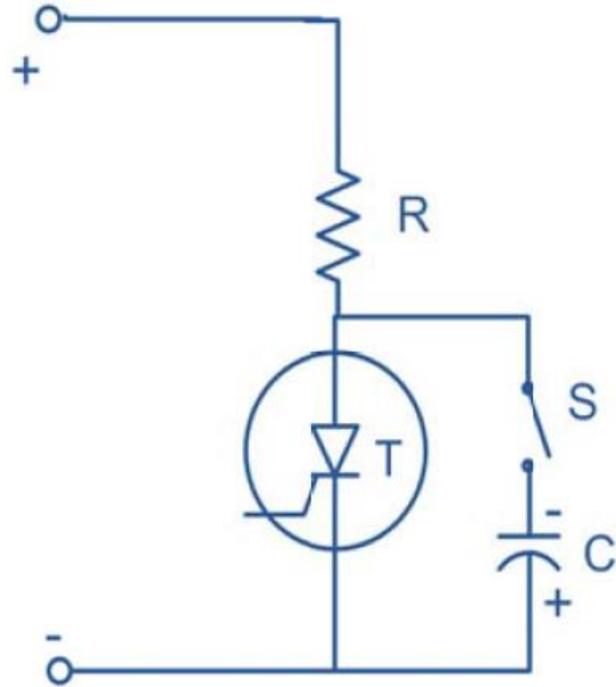


1. الإخماد الطبيعي:

يمكن تقليل تيار الثايرستور إلى الصفر بفتح مفتاح يتم وصله على التسلسل مع الثايرستور، أو بإنشاء مسار تفرعي للتيار مع الثايرستور، كما في الشكل. في الحالتين يجب إعادة المفتاح إلى حالته الأولى بعد إخماد الثايرستور، إلا أنه تتولد dv/dt عالية عبر الثايرستور، مما قد يتسبب معها إلى إعادة تشغيله.

طرق إخماد الثايرستور :Methods of Thyristor Turn-off

2. الإخماد القسري:



حيث يتم تطبيق جهد عكسي عبر الثايرستور، فيجبر التيار على الهبوط إلى الصفر، بل ويمر بالاتجاه العكسي لمدة قصيرة قبل أن يستعيد الثايرستور قابليته للإعاقة الأمامية. يبين الشكل دائرة مبسطة لهذا النوع من الإخماد. فعند إغلاق المفتاح **S** يوصل المكثف المشحون مسبقاً بالقطبية المبينة عبر الثايرستور، فيصبح منحازاً عكسياً، ويتحول إلى حالة عدم التوصيل. هذا النوع من الإخماد كثير الاستخدام في دارات الثايرستور. في دارات التيار المتناوب يمكن أن ينعكس جهد الخط، مما يسبب في إخماد الثايرستور، ويسمى الإخماد في هذه الحالة بالإخماد الخطي (**Line Commutated**).

