١- مقدمة عامة

بعد أن قمنا بدراسة المقومات الالكترونية المتحكم بها في الكترونيات القدرة الكهربائية ١، سنتناول في هذا المقرر المبدلات الالكترونية (مقطعاتDC/DC، معرجاتDC/AC ، مدرجاتAC/AC، مبدل التردد AC/AC) من ناحية بنية هذه المبدلات وتركيبها ومبدأ عملها وتطبيقاتها. لدراسة نية المبدلات والقواطع الالكترونية المستخدمة فيها لا بد من البدء بدراسة أداء القاطع الثايرستوري أثناء التبديل ومقارنته مع القاطع الترانزستوري.

٢- الفرق بين الثايرستور والترانزستور والديود

تعد عناصر الثايرستور والترانزستور والديود من أنصاف النواقل وتستخدم في مبدلات القدرة الالكترونية بشكل كير ونورد فيمايلي الفروق الأساسية فيما بينها والتي تحدد المجال الأفضل لاستخدام كل منها

ديود	ثايرستور	ترانزستور
نصف ناقل	نصف ناقل	نصف ناقل
طقتان P-N	أربع طبقات P-N-P-N	ثلاث طبقات P-N-P أو N-P-N
وصلة واحدة P-N Junction	ثلاث وصلات P-N Junction	وصلتان P-N Junction
نهايتان A-K	ثلاث نهايات A-K-G	ثلاث نهايات C-E-B
غير متحكم به	التحكم عبر نبضة البوابة	التحكم عبر تيار القاعدة IB
مجال واسع من الاستطاعة	يعمل عند استطاعات أعلى من رتبة KW.الثايرستور الأحدث 8.5kV, 400A	استطاعة صغيرة ومتوسطة من رتبة W
	ترددات منخفضة	ترددات عالية
شروط الوصل: توتر المصعد أكثر ايجابية من توتر المهبط	شروط الوصل: ١- توتر المصعد أكثر ايجابية من توتر المهبط مرور تيار أكبر من تيار الاستمرار في الاشعال Holding Current Ih تطيق نبضة القدح على البوابة	شروط الوصل: نبضة مستمرة على البوابة
شروط الفصل: توتر المصعد أقل	شروط الفصل: نفي الشروط	شروط الفصل: حذف نبضة

ايجابية من توتر المهبط	الثلاث السابقة	القاعدة
	زمن وصل وفصل بطيء	زمن وصل وفصل سريع
	ضياعات داخلية أقل	ضياعات داخلية أكبر من الثايرستور
	تكلفة عالية	تكلفة أقل
	حجم أكبر	حجم أصغر

٣- التبديل في مجموعات التقويم والتعريج

التبديل هو عملية انتقال التيار في المبدل الالكتروني (مقطع-معرج-مقوم) من ذراع إلى أخر، خلال عملية التبديل هناك نصف ناقل (قاطع ساكن) يبدأ التوصيل ونصف ناقل أخر ينتقل إلى حالة الفصل.

تختلف عملية التبديل تبعاً لطبيعة المنبع وأحيانا لطبيعة الحمل وسندرس هنا عملية التبديل في عناصر الثايرستور.

حالات الثايرستور في الدارة:

١. الوصل الأمامي Th: on :Forward Conduction State
٢. الحجز الأمامي Th: off :Forward Blocking State
٣. الحجز العكسي Th: off :Backward Blocking State

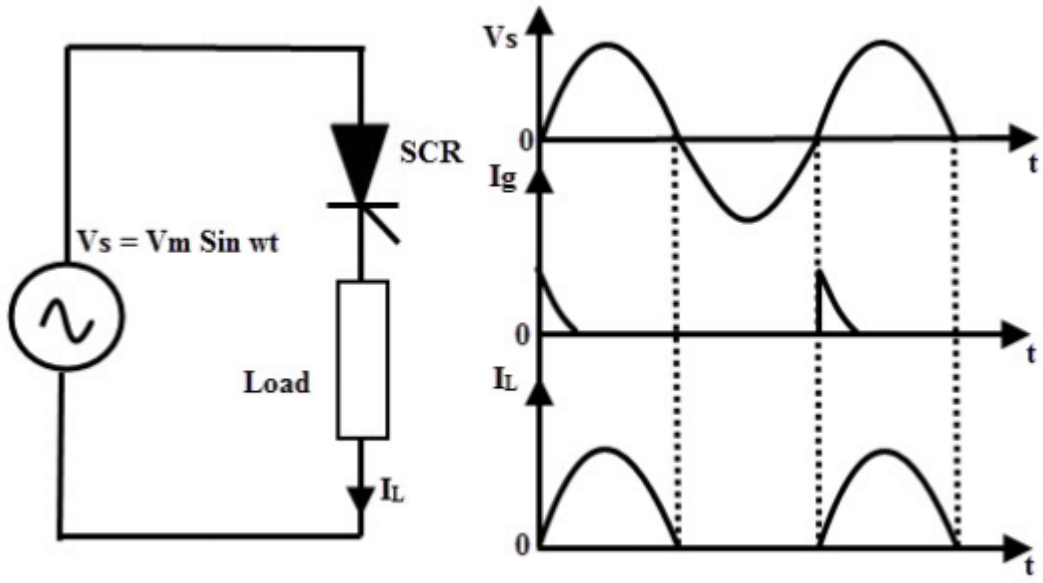
يوجد تقنيات مختلفة لفصل الثايرستور تدعى Thyristor Commutation Techniques، تقوم على نقل الثايرستور من حالة الوصل الأمامي إلى حالة الحجز الأمامي.

شروط الفصل: مرور تيار أقل من تيار الاستمرار بالإشعال، حذف نبضة القدح، توتر المصعد أقل ايجابية من توتر المهبط.

تبعا لطبيعة المنبع يوجد طريقتين لحجز الثايرستور: تبديل طبيعي عندما يكون المنبع متناوب مثل (المقومات والمدرجات ومبدلات التردد). تبديل القسري عندما يكون المنبع مستمر مثل (المقطعات والمعرجات).

٣-١ التبديل الطبيعي

التبديل الطبيعي لا يحتاج تجهيزات خارجية ويتم عن طريق طبيعة المنبع لأنه يتم عندما تحقق شروط الوصل لأحد عناصر الدارة وتحقق شروط الفصل للعنصر الأخر (كما يحدث في مجموعات التقويم المدروسة في الفصل السابق).



لنأخذ كمثال مجموعة تقويم ثلاثية الطور تفرعية بسيطة . قبل اللحظة $t=\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}=150°$

يكون العنصر Th_1 في حالة وصل والعنصر Th_2 في حالة فصل وعند اللحظة t، يجب أن يفصل Th_1 وينتقل Th_2 للتوصيل، لكن Th_1 لا يمكن أن يحجز التوتر أو أن يقطع التيار المار به بشكل لحظي لأن ذلك يسبب عدم استمرار التيار في ملفات المحول والمحارضة تمانع انقطاع التيار المفاجئ تبعاً لقانون لينز.

عندما يبدأ Th_2 بالتوصيل يبدأ التيار بالمرور به، كما أنه في الوقت نفسه لايزال هناك تيار يمر في Th_1، الذي يحاول الخروج من التوصيل.

أطلقنا سابقاً على هذه الفترة **فترة التطابق**، والتي تسبب عادة هبوط توتر في التوتر المقوم الناتج وتتعلق بشكل مباشر بمحارضة الشبكة والمحول منسوبة إلى الطرف الثانوي للمحول وبتيار الحمل.

التوتر المقوم خلال فترة التطابق: $U_C+\frac{V_1+V_2}{2}$

زاوية التطابق $1-Cos\mu=\frac{L_2.\omega.I_C}{V_m.Sin\frac{\pi}{q}}$

هبوط التوتر الناتج عن التطابق: $\Delta_1 U_C=\frac{q}{2\pi}V_m.Sin\frac{\pi}{q}[1-Cos\mu]=\frac{q}{2\pi}L_2\omega.I_C$

عند وجود زاوية ازاحة: $\Delta_1 U_C=\frac{q}{2\pi}V_m.Sin\frac{\pi}{q}[Cos\psi-Cos(\psi+\mu)]$

في نهاية الفترة يستمر Th_2 بالتوصيل، وينتقل Th_1 إلى الحجز.

٣-٢ التبديل القسري

عندما يكون المنبع مستمر (مقطعات ومعرجات)، لا يمر التوتر بالنقطة صفر، لذلك يبقى توتر مصعد الثايرستور أكثر ايجابية من توتر المهبط، لذلك تستخدم دارات حجز قسري، تتطلب تجهيزات خارجية من محارضات وسعات تجبر تيار المصعد على الهبوط بشكل قسري تحت قيمة تيار الاستمرار بالإشعال.

يوجد خمس تقنيات مختلفة للحجز القسري يمكن استخدامها في المبدلات الالكترونية

A: حجز ذاتي أو تبديل عن طريق الحمل

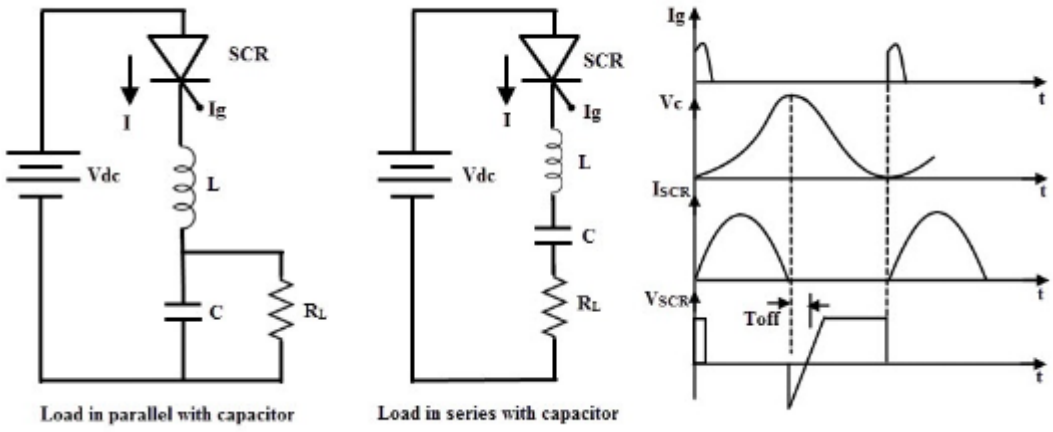
B: تبديل عن طريق نبضة دارة مهتزة Resonant Pulse Commutation

C: التبديل المتكامل Complementary Commutation

D: التبديل عن طريق نبضة داخلية Impulse

E: التبديل عن طريق نبضة خارجية

A: حجز ذاتي أو تبديل عن طريق الحمل



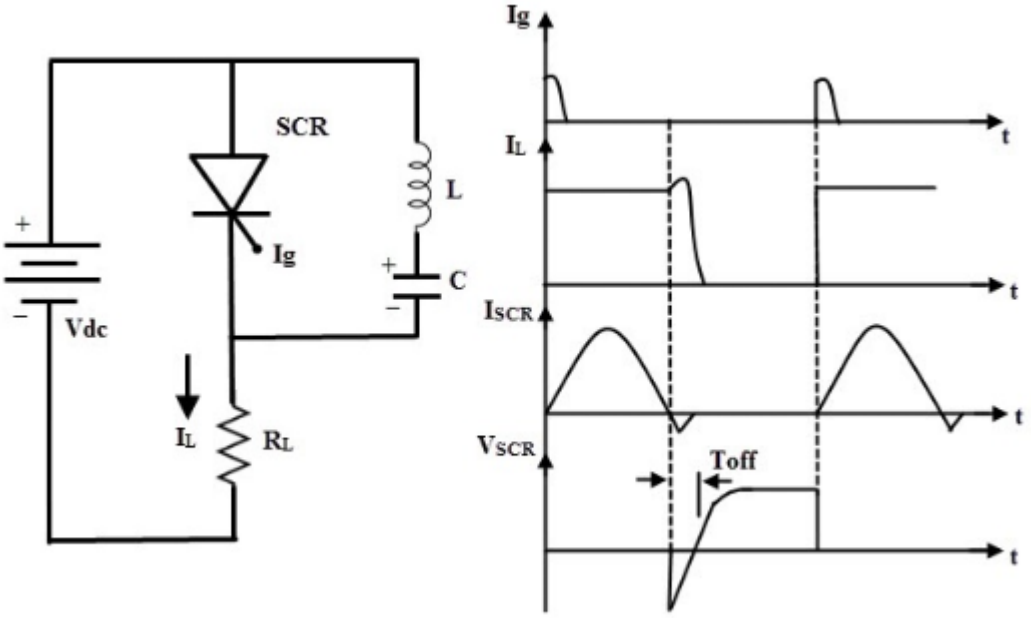
وهي التقنية الأكثر استخداماً، في الدارة المجاورة لا يمر تيار في الحمل حتى إعطاء نبضة قدح للثايرستور، عندها ينتقل الثايرستور للوصل ويمر التيار عبر المحارضة ويتم شحن المكثف بالقطبية المبينة بالشكل إلى القيمة العظمى أو إلى قيمة مساوية لتوتر المنبع.

عند إتمام شحن المكثف تنعكس قطبية الملف بسبب ذلك ويبدأ بمعاكسة تدفق التيار في الثايرستور، نتيجةً لذلك يبدأ تيار الخرج بالانخفاض ليصل إلى القيمة صفر.

عندما يصبح تيار الثايرستور أقل من قيمة تيار الاستمرار بالإشعال ينتقل الثايرستور إلى الحجز حيث أن شحن المكثف أدى إلى تطبيق توتر موجب على مهبط الثايرستور وبالتالي تحقق شروط الفصل الثلاث.

ملاحظة: زمن شحن المكثف هو من يحدد في هذه الحالة فترة عمل الثايرستور لذا يجب حساب قيم الملف والمكثف ليناسبا فترة عمل الثايرستور المطلوبة.

B: تبديل عن طريق نبضة دارة مهتزة Resonant Pulse Commutation

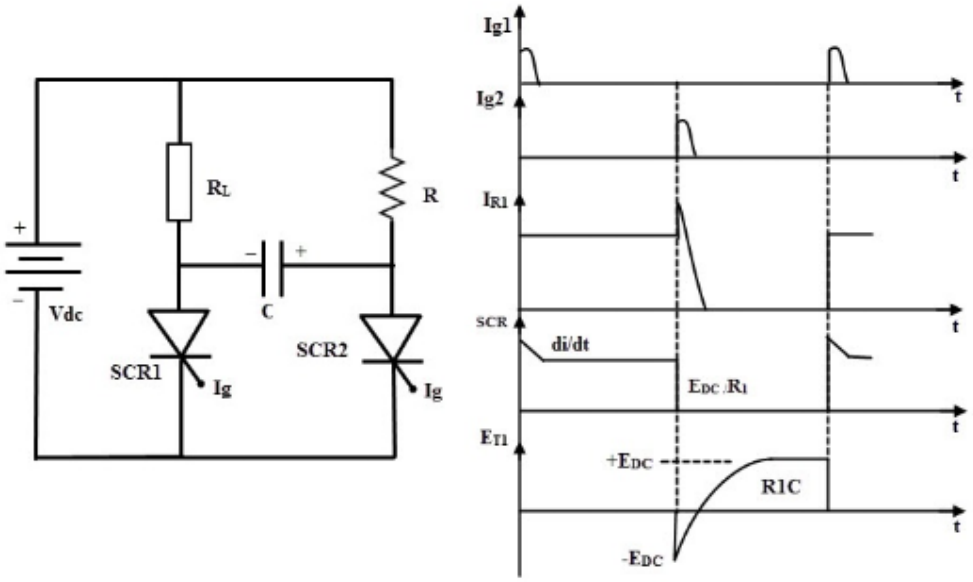


تختلف عن الدارة السابقة أن الدارة المهتزة LC توصل على التفرع مع الثايرستور.

عند وصل المنبع تبدأ المكثف الشحن لتصل إلى قيمة توتر المنبع Vs ويبقى الثايرستور حالة حجز حتى تعطى نبضة قدح للثايرستور.

عند تطبيق نبضة القدح ينتقل الثايرستور لحالة الوصل ويبدأ التيار بالتدفق من كلا الاتجاهين $I_L = I_C + I_A$، لكن بعدها ينقطع التيار I_C ، بسبب محارضتها الكبيرة، عندها يتدفق تيار جيبي (تيار الطنين) من دارة LC المهتزة ليشحن المكثف بشحنة معاكسة (تنعكس قطبية المكثف) ومنه يظهر توتر عكسي على الثايرستور (الشرط الأول). مما يسبب معاكسة التيار I_C لتيار المصعد I_A، نتيجةً لهذا التيار المعاكس يصبح تيار المصعد أقل من تيار الاستمرار بالإشعال مما يؤدي إلى فصل الثايرستور.

C: التبديل المتكامل Complementary Commutation



نحتاج في هذه الدارة إلى ثايرستورين Th_1 الثايرستور الرئيسي و Th_2 الثايرستور المساعد.

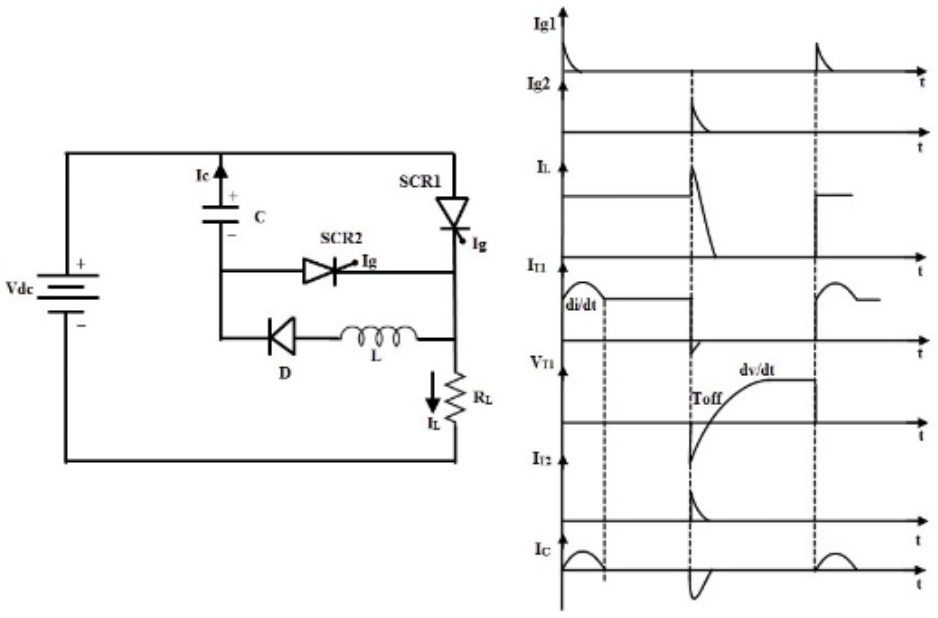
قدح Th_2 يؤدي إلى شحن المكثف بالقطبية المبينة بالشكل.

قدح Th_1 يؤدي إلى تفريغ المكثف ويعاكس تيار التفريغ التيار المار في Th_2 مما يؤدي لإلى إيقافه.

عمل Th_1 يؤدي إلى شحن المكثف بقطبية معاكسة

قدح Th_2 يؤدي إلى إيقاف Th_1، وبالتالي يعمل الثايرستوران بالتناوب.

D: التبديل عن طريق نبضة داخلية Impulse

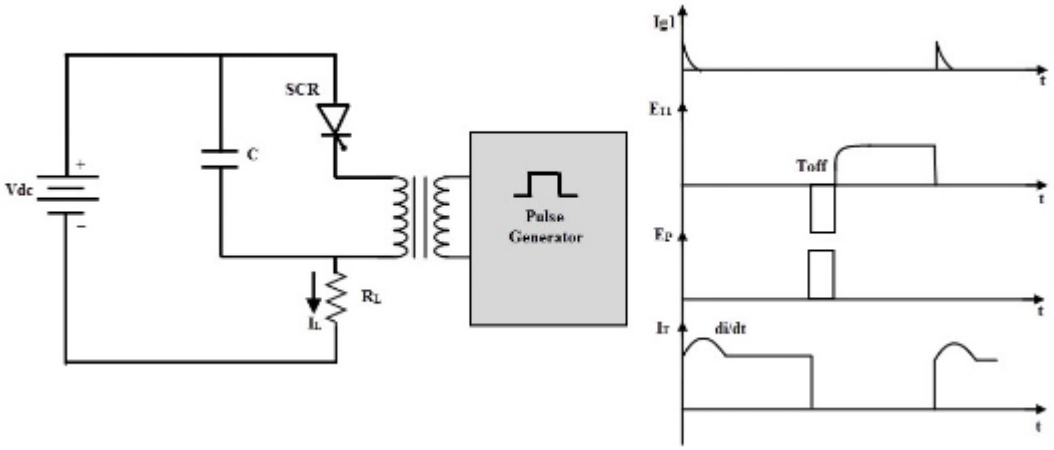


يدعى التبديل بنبضة داخلية أو التبديل عن طريق التوتر.

يتألف من ثايرستورين أيضاً Th_1 الثايرستور الرئيسي و Th_2 الثايرستور المساعد. حيث تتألف دارة الحجز من الثايرستور المساعد وملف وديود وسعة.

- الثايرستورين في حالة فصل وتوتر السعة معدوم
- عند قدح Th_1 يبدأ تيار الحمل بالمرور عبر Th_1 وتشحن المكثف a- و b+.
- عند قدح Th_2، الثايرستور المساعد ينتقل Th_1 لحالة الفصل Off بنفس الآلية في الدارة السابقة وتسحن المكثف بقطبية معاكسة.
- عندما ينتهي شحن المكثف تسبب فصل الثايرستور Th_2 لأن المكثف عندما يصل إلى شحنته العظمى لا يسمح بمرور التيار عبره.
- عندما ينعدم تيار الخرج يكون الثايرستوران في حالة فصل.
- في حالة الدارة يمكن قطع تيار المنبع ولا يعمل الثايرستورن بالتناوب.

E: التبديل عن طريق نبضة خارجية



– قدح الثايرستور ومرور التيار في الحمل.

– وظيفة المكثف الحماية من تغيرات dV/dt للثايرستور

– يتم فصل الثايرستور عبر تطبيق نبضة خارجية عبر المحولة النبضية من مولد النبضات.

– عند تقديم نبضة من المحولة النبضية يتدفق تيار معاكس باتجاه مهبط الثايرستور، هذا التيار يعاكس تدفق التيار في الثايرستور $I_{Th} = I_A - I_P$، وعندما يصبح $I_{Th} < I_h$ يفصل الثايرستور

I_A: تيار المصعد، و I_P: تيار النبضة.

١ – الخصائص الديناميكية لفصل الثايرستور Dynamic turn off SCR Characterizes

انتقال الثايرستور SCR من حالة التوصيل الأمامي إلى حالة الحجز الأمامي تدعى الفصل أو التبديل. كما نعلم عندما يبدأ الثايرستور بالتوصيل لا يمكن التحكم بالفصل عن طريق البوابة، ولنما لفصل الثايرستور يجب أن يهبط التيار المار به إلى قيمة أقل من قيمة تيار الاستمرار بالإشعال. لكن إذا طبق توتر أمامي بشكل مباشر بعد انخفاض تيار الثايرستور إلى الصفر مباشرةً، فإن الثايرستور يعود للتوصيل حتى في حال عدم وجود نبضة قدح، بسبب وجود حاملات الشحنة في الطبقات الأربعة للثايرستور.

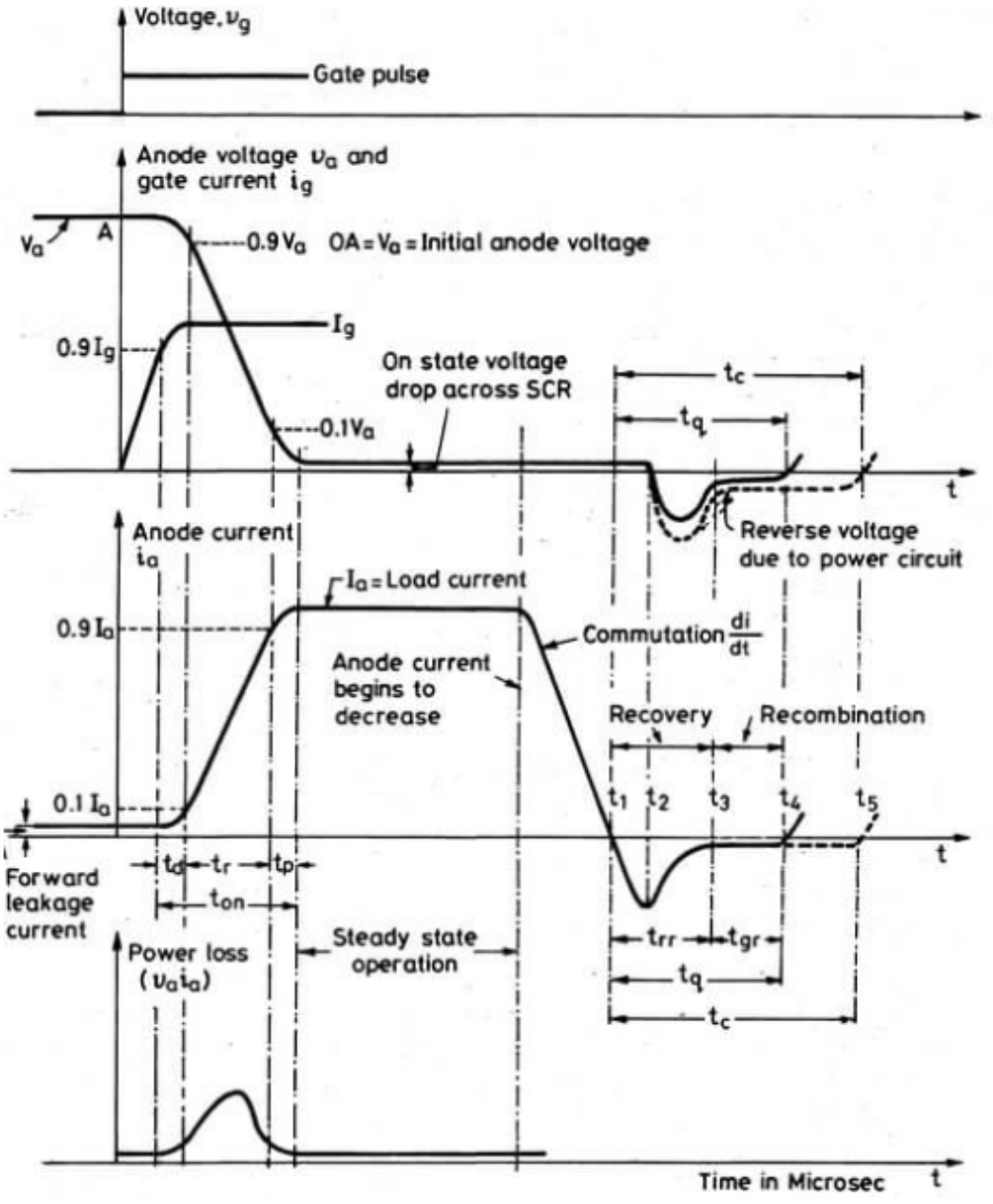
لذلك من الضروري تطبيق توتر عكسي على الثايرستور لفترة زمنية محددو لإزالة حوامل الشحنة. ومنه يعرف زمن لفصل بالزمن ين لحظة بلوغ تيار المصعد للصفر ولحظة قدرة الثايرستور على الرجوع لحالة الحجز الأمامي.

يجب أن تزول حوامل الشحنة من الطبقات الأربعة في نهاية عملية الفصل وتتم هذه العملية على مرحلتين. في المرحلة الأولى تتم إزالة حوامل الشحنات من الطبقتين الخارجيتين، وفي المرحلة الثانية تتم الإزالة من الطبقتين الداخليتين عبر إعادة الاتحاد Recombination.

ومنه يقسم زمن الفصل الكلي t_q إلى زمن الاستعادة العكسي t_{rr} Reverse Recovery Time، و زمن استعادة البوابة Gate Recovery Time tgr.

$$t_q = t_{rr} + t_{gr}$$

يبين الشكل خصائص التبديل للثايرستور خلال الوصل والفصل.



يمثل الزمن $t_1 \rightarrow t_3$ زمن الاستعادة العكسي، في اللحظة t_1 يكون تيار المصعد مساويا للصفر وينشأ تيار الاستعادة العكسي الاتجاه المعاكس، هذا التيار يزيل حوامل الشحنات من الطبقتين الخارجيتين خلال الزمن $t_1 \rightarrow t_3$.

في اللحظة t_3 تكون الوصلتان j1 و j3 قادرتان على حجز التوتر العكسي، لكن الثايرستور غير قادر على حجز التوتر الأمامي بسبب وجود حوامل الشحنة في الوصل j2، وهذه الشحنات تزول فقط عبر الاتحاد recombination، ويمكن تحقيق ذلك عبر تطبيق توتر

عكسي على الثايرستور ومنه خلال الزمن $t_3 \to t_4$ يحدث إعادة اتحاد الشحنات وفي اللحظة t_4 تكون الوصلة j2، انتهت من الاستعادة. يدعى هذا الزمن بفترة استعادة البوابة tgr.

زمن الفصل $t_1 \to t_4$، يتراوح بين $10 \to 100\mu\sec$.

الزمن المطلوب لدارة التبديل القسري لتطبيق توتر عكسي على الثايرستور يدعى t_c ويجب أن يكون أكبر من وزمن الفصل t_q من أجل تأمين هامش أمان أو من أجل الوثوقية لتجنب فشل التبديل.

يمكن تصنيف الثايرستورات تبعاً لزمن الفصل

$t_q = 50 \to 100\mu\sec$: ثايرستور بطيء يستخدم في دارات المقومات والمدرجات ومبدلات التردد (ترددات منخفضة ومنبع متناوب)

$t_q = 50 \to 100\mu\sec$: ثايرستور سريع يستخدم في دارات المقطعات والمعرجات (ترددات عالية ومنبع مستمر) وهي أكثر تكلفة.