الکترونیک صنعتی

Power Electronic

ارزیابی

میان ترم – ۵ نمره

پایان ترم – ۱۰ نمره

تمرینات و کوئیز ۲ نمره

پروژه – ۳ نمره

و حضور در کلاس ۲ نمره

منابع

- الکترونیک قدرت مدارها، عناصر و کاربردها، نویسنده: محمد رشید، مترجم دکتر افجه ای یا دکتر قهرمان (ترجمه مرجع ۴)

فهرست

مقدمه

انواع الما نهای الکترونیک قدرت(عناصر نیمه هادی قدرت)

یکسوکننده ها

مبدل های dc به dc

اینورترها

کنترل دور موتورها

مقدمه

الکترونیک قدرت ترکیبی از قدرت، الکترونیک و کنترل است.

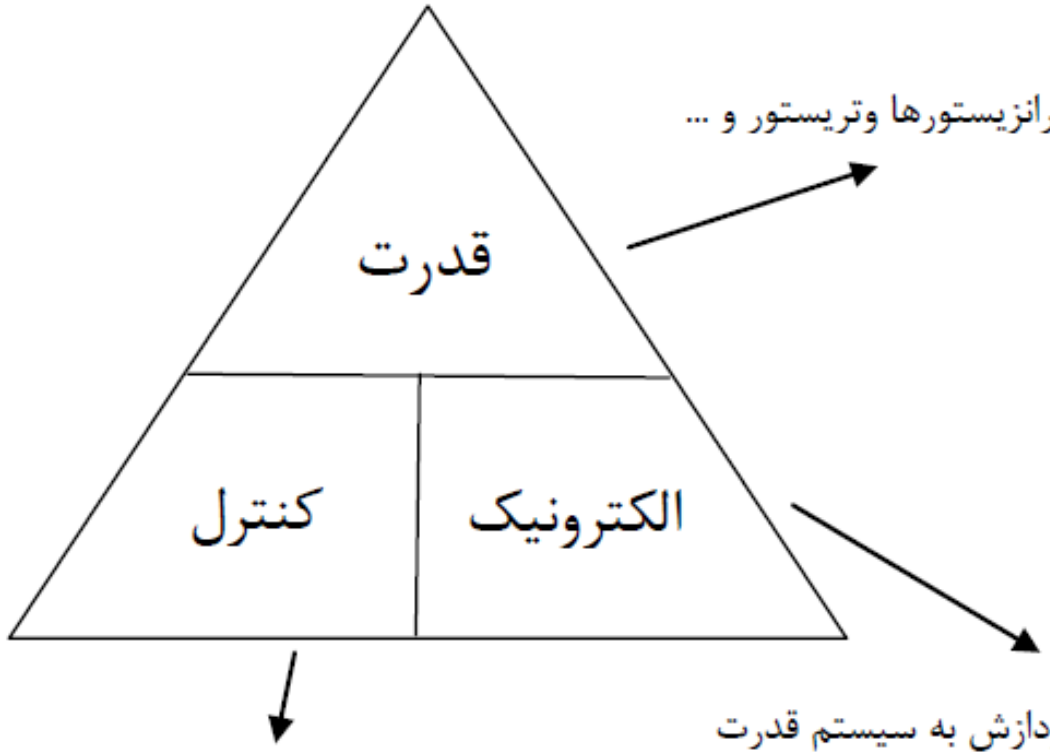
الکترونیک، مدارها ، وسایل پردازشگر یا پردازنده سیگنالها را بررسی میکند که برای بدست آوردن هدفهای کنترلی مطلوب مورد استفاده قرار میگیرد.

قدرت، وسایل قدرت استاتیک و گردنده را که در تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی به کار گرفته میشود بررسی میکند.

کنترل به بررسی مشخصه های دینامیک و حالت پایدار سیستمهای با حلقه بسته میپردازد.

الکترونیک براساس خاصیت کلید زنی عناصر نیمه هادی قدرت پایه گذاری شده است.

شکل بعد رابطه الکترونیک قدرت با قدرت، الکترونیک و کنترل را نشان میدهد.



بخش قدرت شامل دیود ها- ترانزیستورها وتریستور و ...

وظیفه انتقال سیگنال های کنترل و پردازش به سیستم قدرت

وظیفه تولید سیگنال های کنترل و الگوریتم کنترلی را بر عهده دارد

شکل (۱) : جایگاه الکترونیک قدرت در یک سیستم الکترونیکی

عناصر نیمه هادی

نیمه هادی ها اجسامی هستند که از نظر رسانایی بین هادی و عایق قرار دارند .

در وسایل الکترونیکی مثل دیود و ترانزیستور و... نیمه هادی های سیلیسیم و ژرمانیوم استفاده می شود .

- نیمه‌رساناهای به دو دسته تقسیم می‌شوند.

1. نوع P یا Possitive یا گیرنده الکترون آزاد (پذیرنده) که در آن تعداد حفره‌ها بیشتر است.
2. نوع N یا Negative یا دارنده الکترون آزاد (دهنده) که در آن تعداد الکترون‌ها بیشتر است.

عناصر نیمه هادی

۱)دیودهای نیمه هادی قدرت

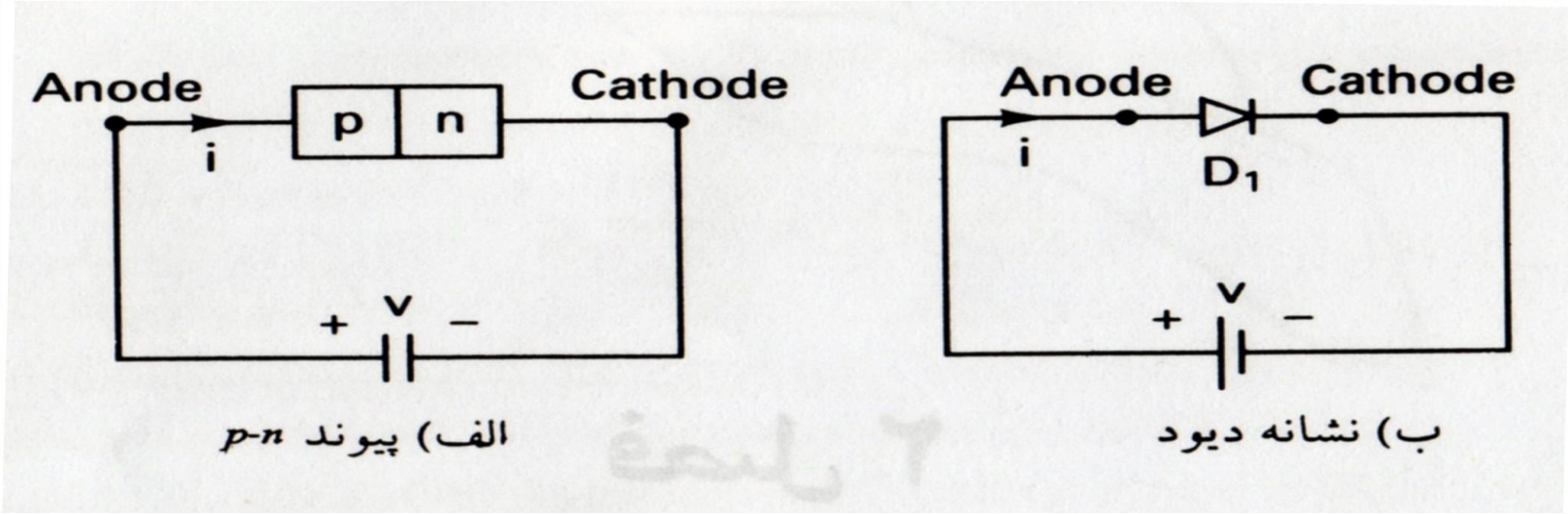
از پیوند نیمه هادی نوع N با نوع P عنصری به نام دیود بدست می‌آید که خاصیت یکسو سازی آن بیشترین کاربرد را درالکترونیک دارد.دیود یک عنصر نیمه هادی است که برای عبور جریان در یک جهت طراحی شده است.

دیودهای نیمه هادی قدرت نقش مهمی را مدارات الکترونیک قدرت ایفا میکنند.

دیود به عنوان کلیدی عمل میکند که کارهای بسیاری را از قبیل کلیدهای یکسوکننده، عمل هرزگردی در رگولاتورهای کلید زنی، معکوس سازی بار خازن و انتقال انرژی مابین اجزا، جداسازی ولتاژ، فیدبک انرژی از بار به منبع و آزاد سازی انرژی ذخیره شده را انجام میدهد.

هنگامی که پتانسیل آند نسبت به کاتد، مثبت باشد ، میگویند دیود بایاس مستقیم شده است و هدایت میکند.

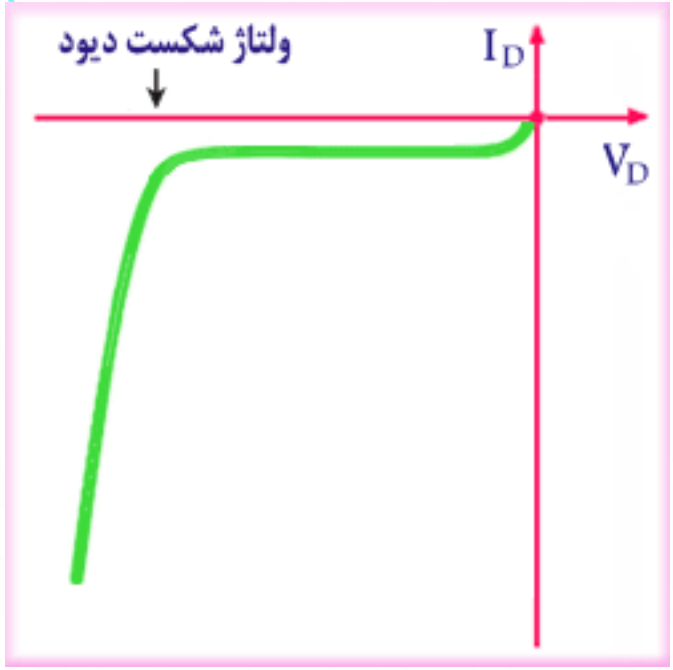
.



دیود از نوع سیلیسیم تا ولتاژ حدود ۰/۷ ولت عایق بوده و بعد از آن به یک رسانای خوب تبدیل می‌گردد. این ولتاژ آستانه تحریک، برای دیودهای مختلف متفاوت است و مثلا برای دیودهای ژرمانیومی حدود ۰/۲۵ ولت است؛ یعنی برای روشن شدن دیود سلیسیومی ۰/۷ ولت نیاز است ولی برای روشن شدن دیود ژرمانیومی ۰/۲۵ ولت لازم است و این مقدار، افت ولتاژ دوسر دیود نیز می باشد.

با اعمال یک ولتاژ معکوس به دیود(هنگامیکه پتانسیل کاتد نسبت به آند بیشتر باشد) جریان معکوس کوچکی (جریان نشتی) از آن می گذرد (در حد میکرو یا میلی آمپر) و اگر این ولتاژ معکوس بیشتر شود جریان نشتی نیز افزایش پیدا میکند.

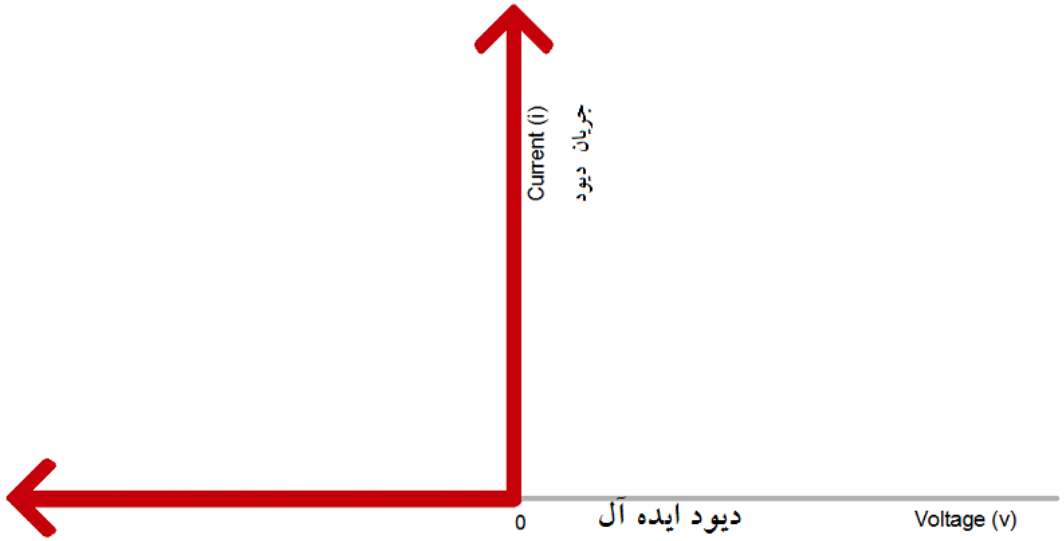
اگر ولتاژ معکوس اعمالی به حد کافی بزگ باشد تا به ولتاژ شکست یا بهمنی(V_{BR}) برسد ، سرانجام دیودمی شکند و اجازه می دهد که جریان در جهت عکس هم هدایت شود. ولتاژ شکست دیودها به نوع ساخت و پیوندها بستگی دارد و برای هر دیود میتواند متفاوت باشد و مقدار آن را از روی DATA SHEET دیود میتوان بدست آورد.

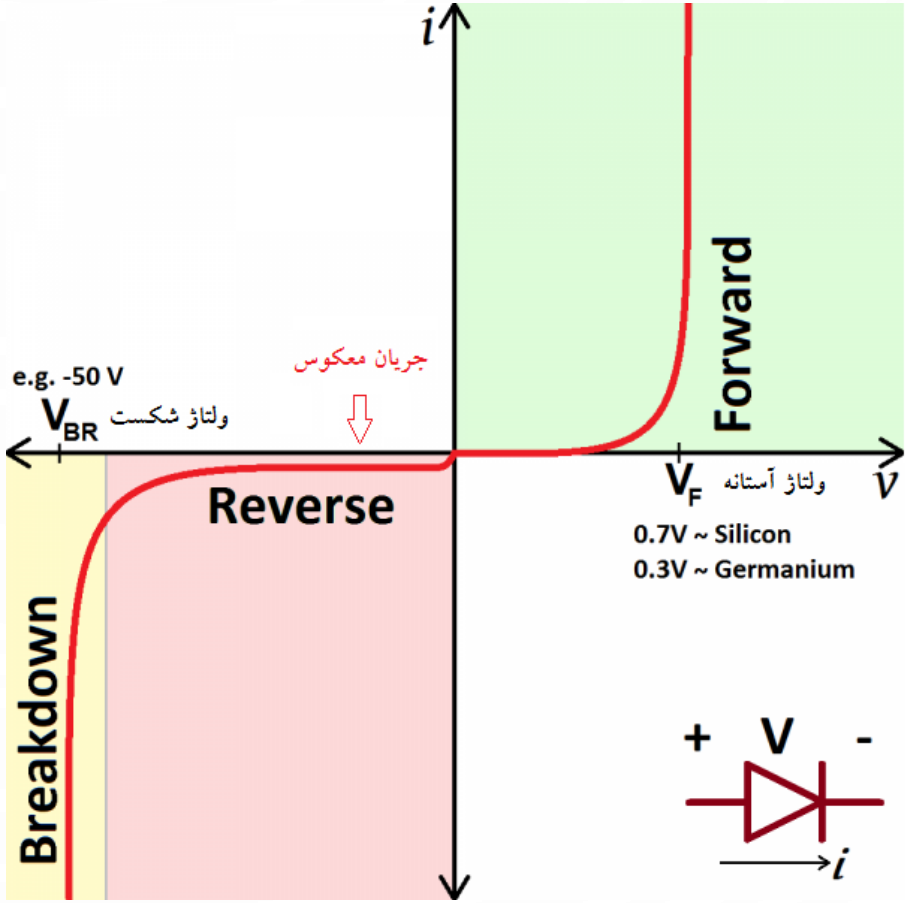


منحی مشخص دیود ولت- آمپر

نواحی کارکرد دیود

۱)ناحیه بایاس مستقیم که ۲) $V_d>0$ ۲)ناحیه بایاس معکوس که $V_d<0$ ۳)ناحیه شکست که $V_d<-V_{BR}$





معادله مشخصه دیود

$$I_D = I_S\left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1\right)$$

معادله شاکلی نام دارد که در آن:

I_D: جریان دیود

V_D: ولتاژ دیود

I_S: جریان نشتی یا اشباع معکوس

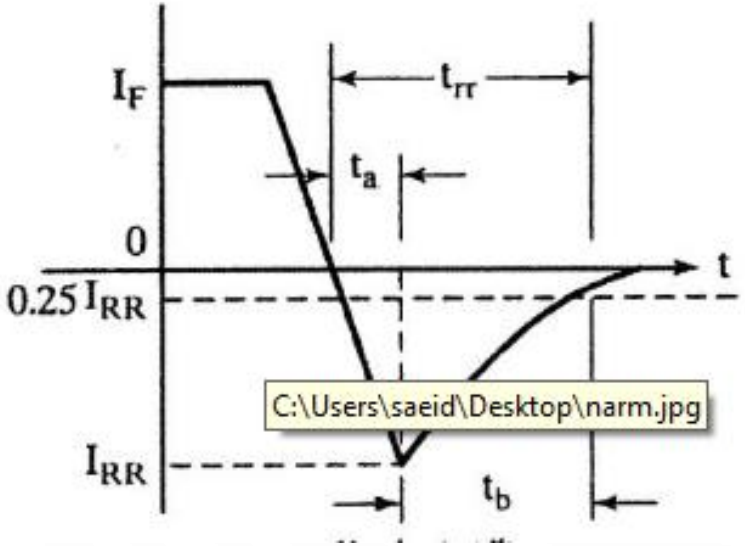
n: یک ثابت تجربی که ضریب گسیل یا ضریب ایده آلی نیز نام دارد و مقدار آن از ۱ تا ۲ متغیر است.

V_T: ثابتی است که ولتاژ حرارتی نام دارد وبا حرات محیط نسبت مستقیم دارد.

زمان بازیابی معکوس

در یک دیود با بایاس مستقیم جریان ناشی از اثر خالص حامل های اکثریت و اقلیت می باشد هنگامی که دیود در حالت هدایت مستقیم است وسپس جریان مستقیم آن به صفر کاهش می یابد دیود به خاطر وجود حامل های اقلیت که در پیوند p-n خود ماده نیمه هادی ذخیره شده اند، به هدایت ادامه می دهد. حامل های اقلیت برای ترکیب شدن با بارهای مخالف و خنثی شدن به زمان مشخصی نیاز دارند که این زمان ، زمان بازیابی معکوس دیود نام دارد . شکل زیر مشخصه بازیابی معکوس را برای دیودهای پیوندی نشان می دهد .

t_{rr} زمان بازیابی معکوس : از لحظه شروع عبور جریان از صفر تا زمانی که مقدار آن به 25% پیک جریان معکوس می رسد



t_a: ناشی از تخلیه باردر ناحیه تخلیه پیوند

t_b : ناشی از ذخیره بار در نیمه هادی است.

انواع دیودهای قدرت:

۱- استاندارد یا همه منظوره
۲- بازیابی سریع
۳- شاتکی schottky

دیود های همه منظوره

دیودهای یکسو کننده زمان بازیابی معکوس نسبتاً زیادی دارند که در حدود ۲۵μ s است و در کاربردهای سرعت پایین بکار می روند که زمان بازیابی چندان اهمیتی ندارد . یکسو کننده ها و مبدلهای دیودی در کاربردهای با فرکانس ورودی کم(کمتر از 1KHz) محدوده جریان این دیودها از کمتر از یک آمپر تا چند هزار آمپر و محدوده ولتاژ 50V تا حدود 5 Kv می باشد .

دیود های بازیابی سریع

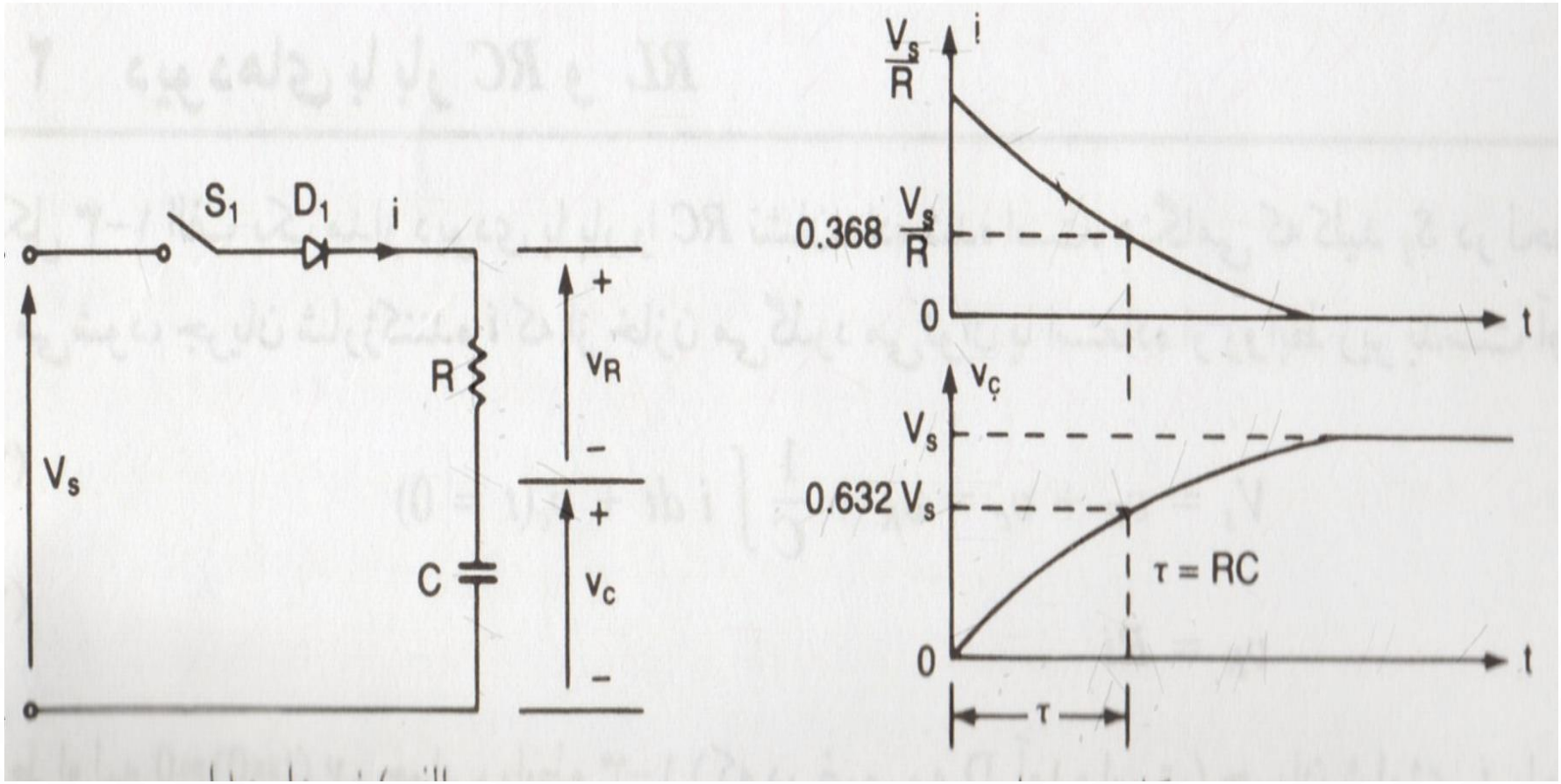
دیودهای بازیابی سریع زمان بازیابی کوچکی به طور معمول کمتر از $5\ \mu s$ دارند این دیودها در مدارهای مبدل dc به dc و dc به ac که سرعت بازیابی اغلب اهمیت بحرانی دارد بکار می روند . محدوده جریانی کارکرد این دیودها از کمتر از یک آمپر تا چند صد آمپر و محدوده ولتاژشان از 50v تا حدود 3KV است .

دیود های شاتکی

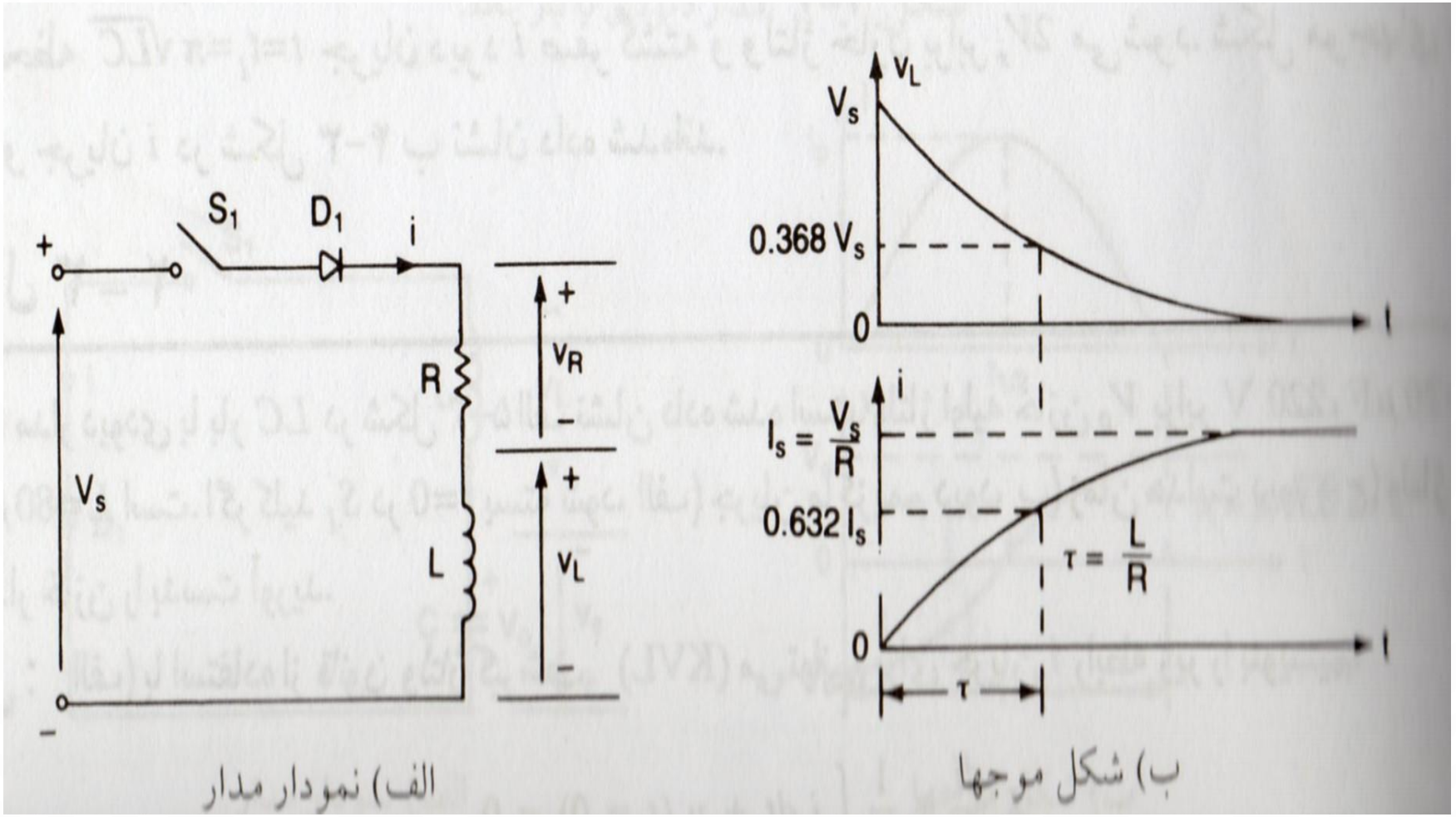
یک دیودنیمه هادی با افت ولتاژ پایین در حالت بایاس مستقیم و سرعت کلید زنی بسیار سریع می‌باشد. هنگام عبور جریان الکتریکی از دیود مقداری افت ولتاژ در دو سر دیود ظاهر می‌شود. در دیودهای سیلیکونی معمولی مقدار افت ولتاژ حدود ۰،۶ تا ۰،۷ ولت است در حالی که در دیود شاتکی افت ولتاژ حدود ۰،۱۵ الی ۰،۴۵ ولت است. به دلیل افت ولتاژ پایین در این نوع دیود می‌توان مدارهایی با سرعت کلید زنی بالا و کارایی بهتری طراحی کرد.

مدارهای دیودی و یکسوکننده

شکل زیر یک مدار دیودی با بار RCرا نشان میدهد



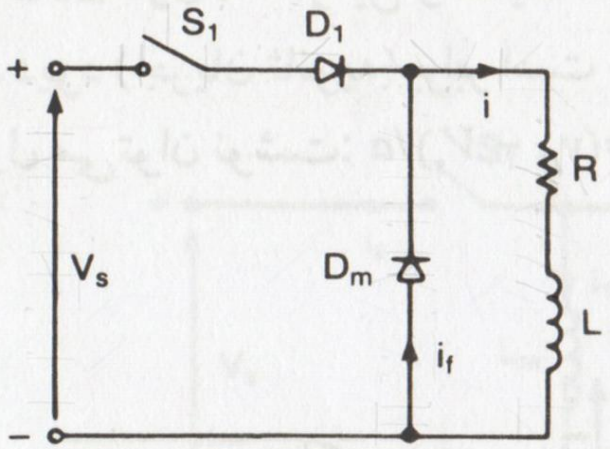
شکل زیر یک مدار دیودی با بار RLرا نشان میدهد



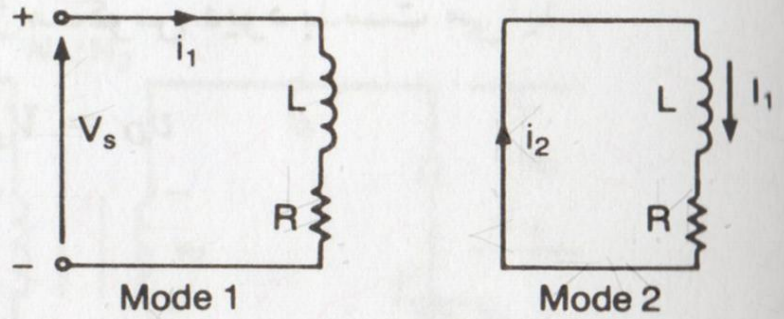
دیودهای هرزگرد

اگر در یک مدار دیودی با بار RL (مانند مدار شکل قبل) کلید برای مدت زمان مشخصی بسته باشد جریان از بار (سلف) میگذرد با باز شدن کلید باید مسیری برای جریان سلف فراهم گردد تا این جریان بازگشتی به مدار آسیبی وارد نکند که این عمل توسط دیود هرزگرد انجام میشود.

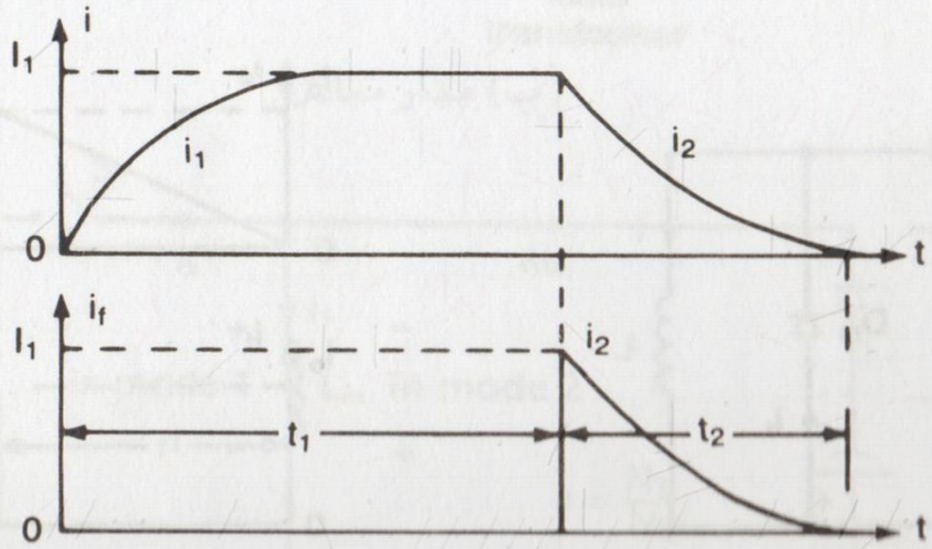
در شکل صفحه بعد، مدار با دیود هرزگرد به همراه شکل موجهای آن نشان داده شده است. (در مرحله اول کلید بسته و در مرحله دوم کلید باز است)



الف مدار

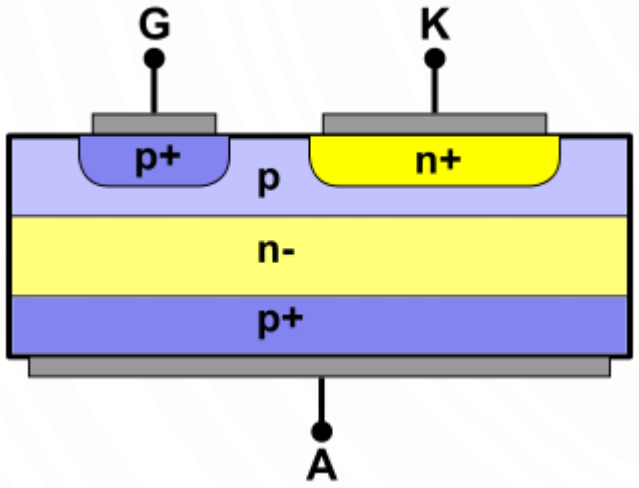


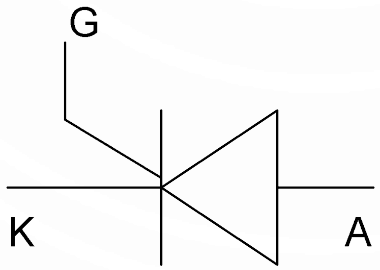
ب مدارهای معادل

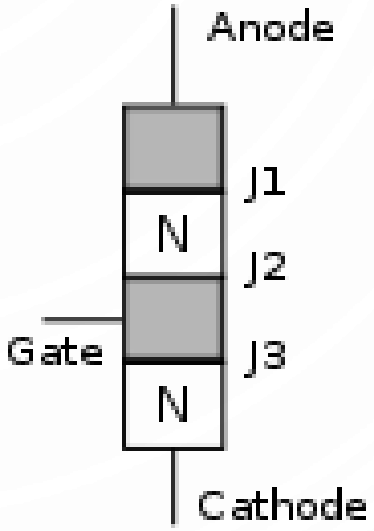


۲)تریستور Thyristor

تریستورها از مهمترین قطعات نیمه هادی قدرت هستند و بسیار زیاد در مدارهای الکترونیک قدرت بکار گرفته میشوند.تریستور به صورت یک قطعه چهار لایه‌ای P-N-P-Nساخته می‌شود. تریستورها ۳ پایانه آند، کاتد و گیت دارند.



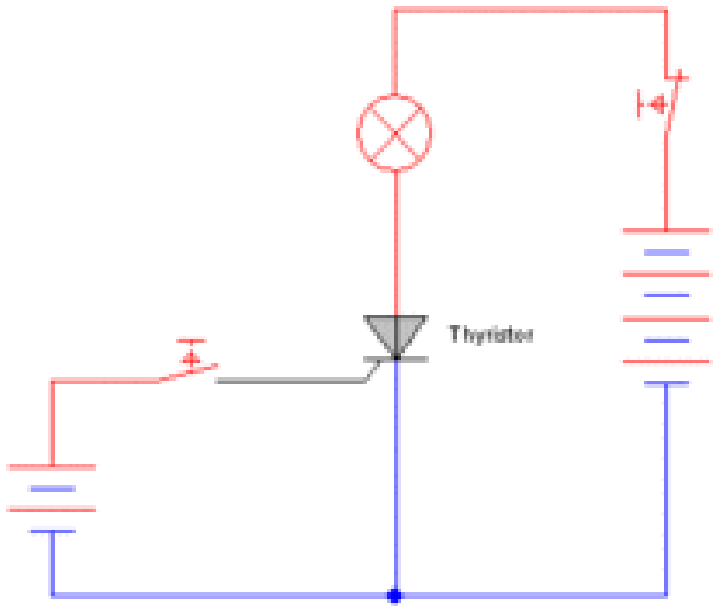




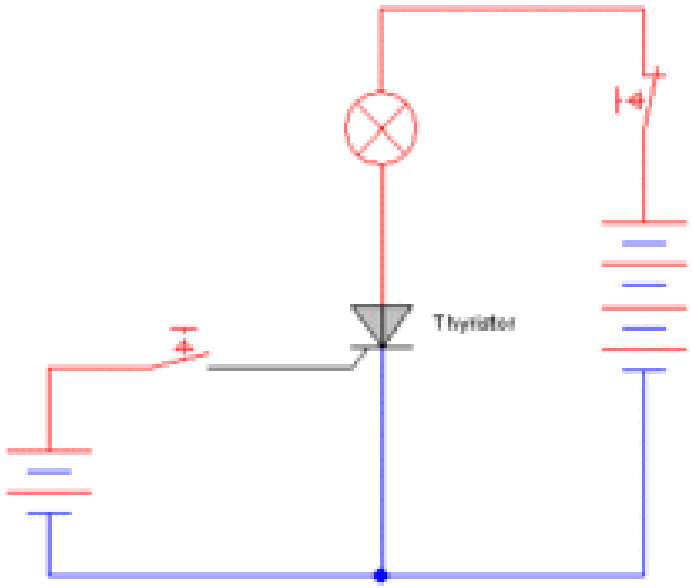
پایه آند با A ، کاتد با K و گیت (دروازه) با G نمایش داده می‌شوند که از این میان آند و کاتد به مدار قدرت متصل می‌شوند و گیت جریان کمتری دارد. تریستورها در دو حالت پایدار روشن و خاموش مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

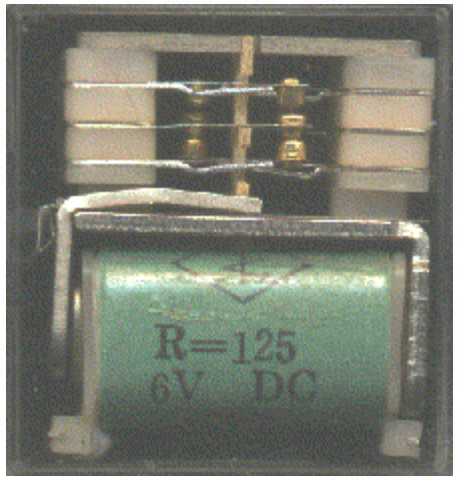
عملکرد تریستور به صورت کلید

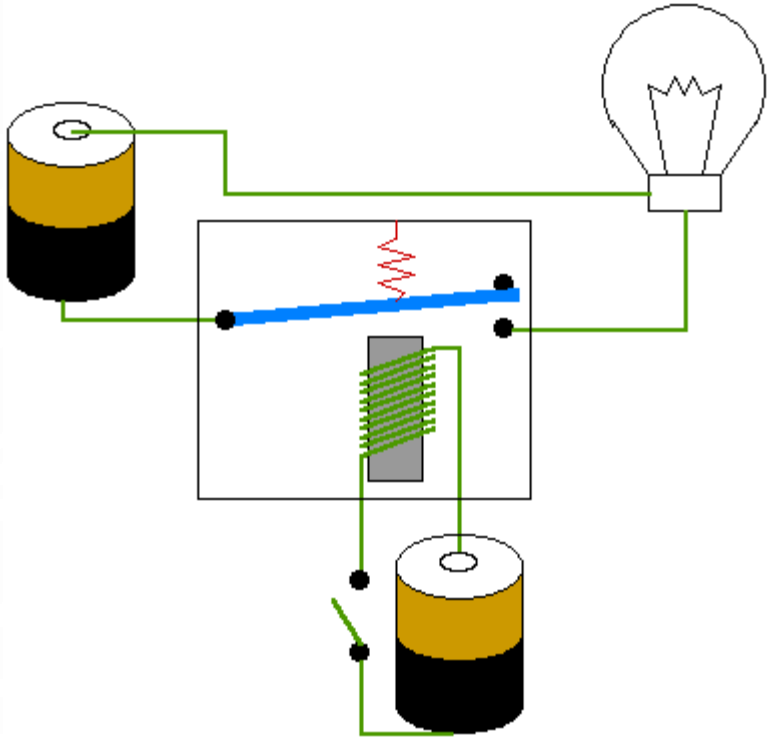
همانطور که گفته شد این قطعه به عنوان کلید قطع و وصل استفاده می شود. تریستورها مشابه رله عمل می‌کنند، همانگونه که در رله‌ها با اعمال ولتاژ به بوبین، کنتاکت باز رله بسته می‌شود، در تریستور نیز با اعمال ولتاژ به پایه‌های کاتد و گیت، جریان بین پایه‌های آند و کاتد برقرار می‌شود که به آن جریان آند می‌گویند.



از تفاوت‌های تریستور و رله این است که رله یک کلید الکترومکانیکی است اما تریستور یک کلید الکترونیکی که صدا و جرقه تولید نمی‌کند، تفاوت دیگر تریستور و رله در این است که بر خلاف رله‌ها که با قطع ولتاژ بوبین رله خاموش می‌شود، تریستور با قطع ولتاژ گیتش خاموش نخواهد شد.

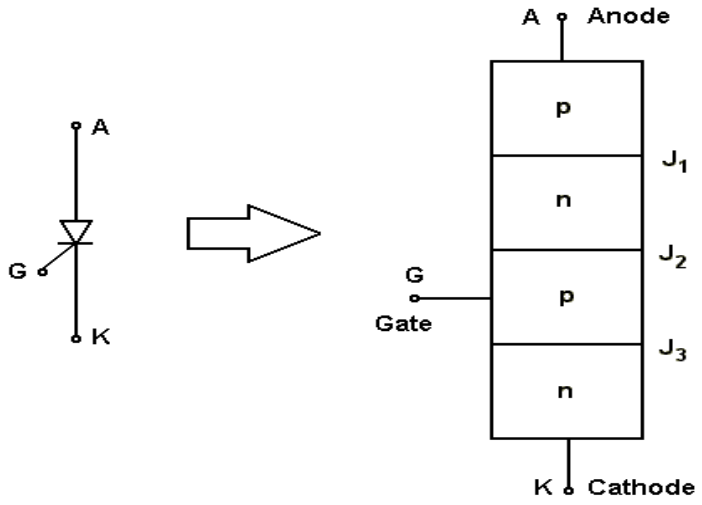






عملکرد تریستور

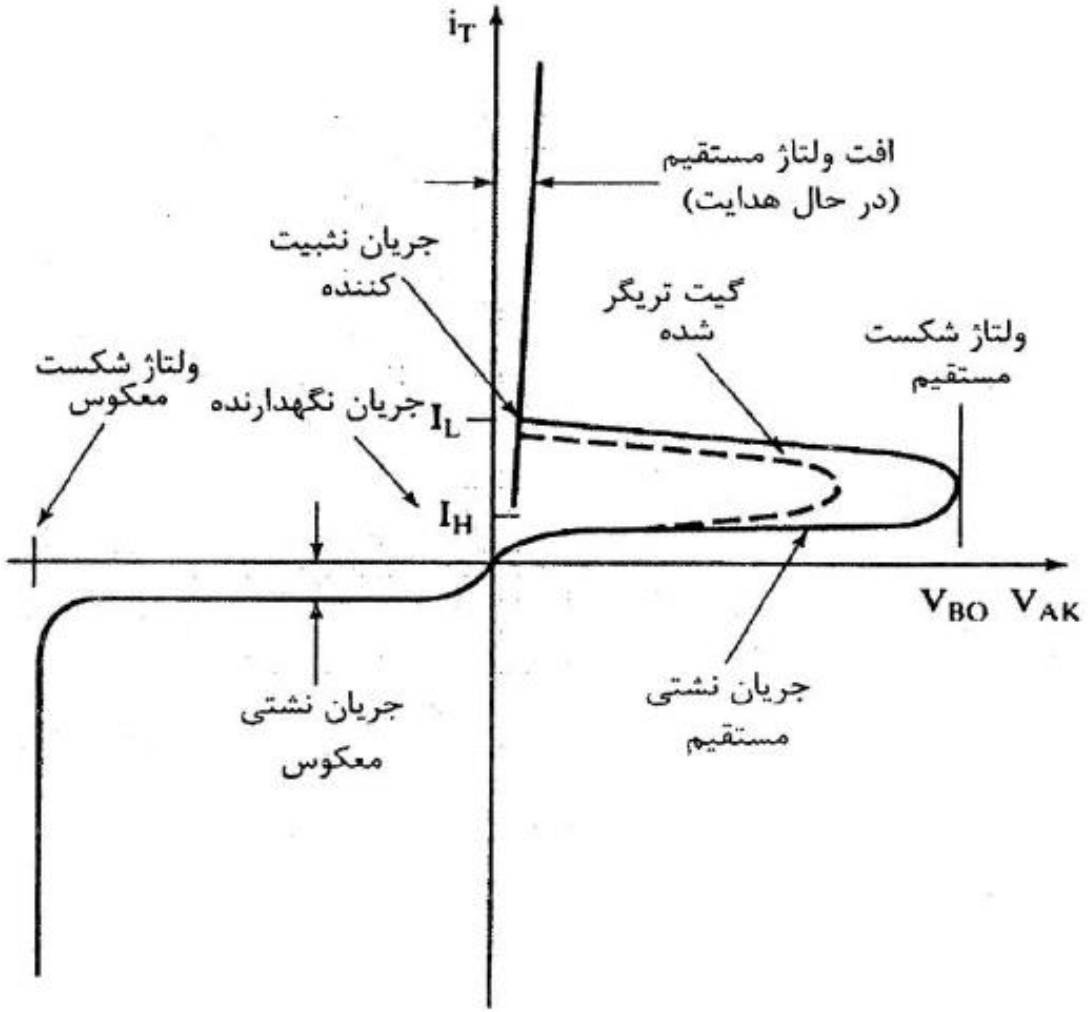
همانطور که در شکل مشاهده می کنیم تریستورها دارای سه پیوند J3 ، J2 ، J1 هستند؛ که پیوند J1,J3 دارای بایاس مستقیم و پیوند J2 دارای بایاس معکوس است. از همینجا مشخص است که تریستور برای هدایت جریان باید پیوند J2 (که دارای بایاس معکوس است) را بشکند .حداقل جریان لازم برای شکستن پیوند J2 جریان تثبیت کننده I_L یا (LATCHING CURRENT)نام دارد . همچنین جریانی که لازم است J2را شکسته نگه دارد جریان نگهدارندهI_H یا (HOLDING CURRENT) نامیده می شود. به طوری که اگر جریان آند به مقداری کمتر از جریان نگه دارنده (و یا صفر) برسد تریستور خاموش می شود .



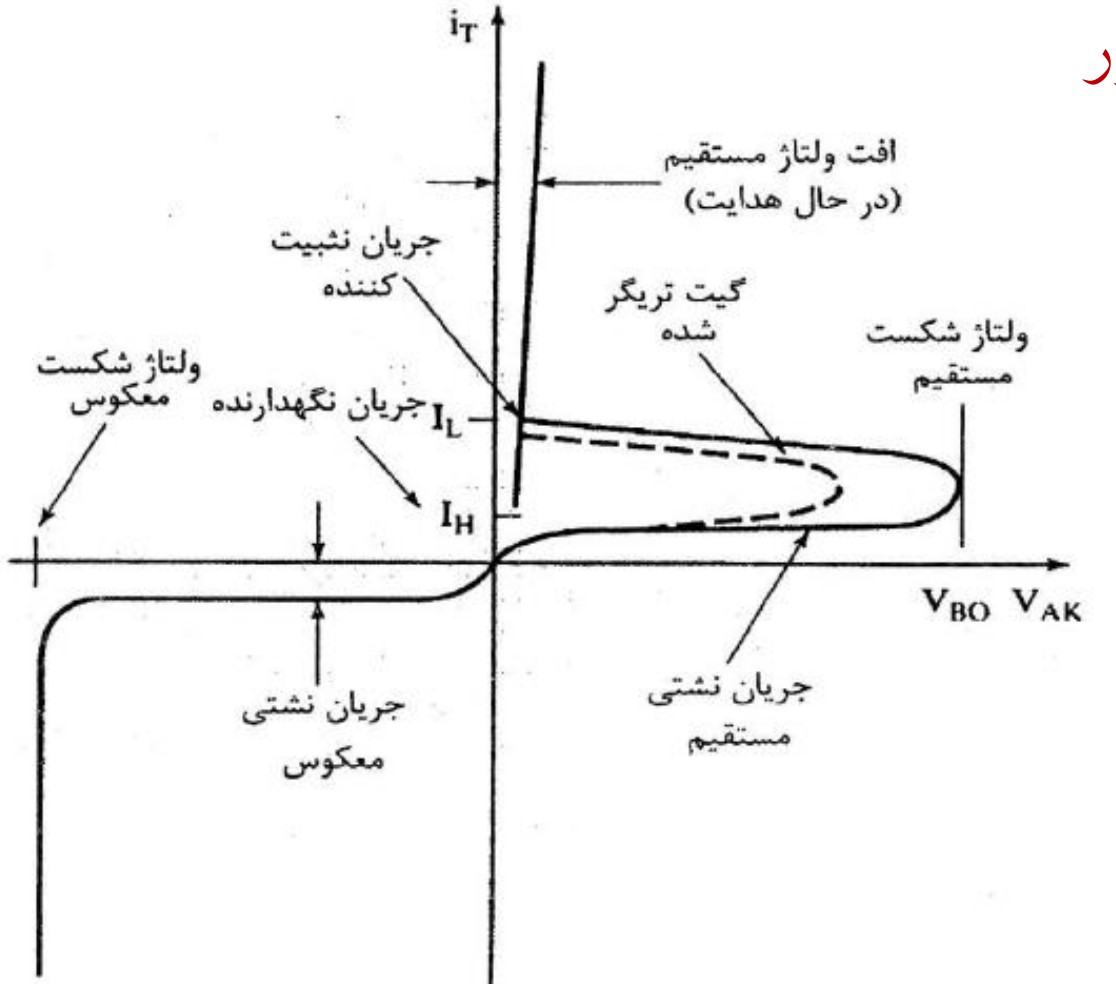
مشخصات تریستور

برای اینکه بتوان وسیله های الکترونیکی را با کیفیت کافی مورد استفاده قرار داد و از آنها محافظت کرد بایستی مشخصات و خواص آنها کاملا معلوم شوند . مشخصات تیریستور را می توان با ملاحظه سه حالت مختلف اصلی این وسیله تعیین کرد :

- بایاس مستقیم و هدایت(روشن شدن تریستور)
- شرایط بایاس معکوس
- بایاس مستقیم و مسدود



نمودار مشخصه تریستور



I_L :(جریان تثبیت کننده) حداقل جریانی که باید از تریستور عبور کند تا روشن شود.

I_H: (جریان نگهدارنده) حداقل جریانی که باید از تریستور عبور کند تا روشن بماند

*روشن کردن تریستور(بایاس مستقیم)

برای اینکه تریستور در وضعیت هدایت قرار بگیرد باید شرایط زیر برقرار باشد:

1. ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد
2. گیت، یک پالس مثبت دریافت کند در واقع جریان به گیت تزریق می شود (ولتاژ گیت بیشتر از ولتاژ کاتد شود)
3. برای روشن‌ماندن تریستور جریان آند باید به اندازه کافی زیاد باشد(بزرگتر از جریان نگهدارنده).

مدار آتش

مداری که پالس جریان گیت را تولید می‌کند *مدار آتش* می‌نامند. پس از روشن‌شدن تریستور ولتاژ آند کاتد بسیار ناچیز خواهد شد به طوری که در مقاصد عملی $V_{AK} \approx 0$ در نظر می‌گیرند و می‌توان گفت که تریستور در هنگام هدایت تقریباً مانند یک اتصال کوتاه عمل می‌کند. تریستور بسیار سریع روشن می‌شود، به مدت‌زمان لازم برای روشن‌سازی تریستور *زمان روشن‌سازی* می‌گویند که با t_{on} نمایش داده می‌شود و حدود ۱ تا ۳ میکرو ثانیه است. پهنای پالس اعمالی به جریان گیت که برای روشن‌شدن تریستور استفاده می‌شود حدود ۱۰ تا ۵۰ میکروثانیه است و دامنه‌ای حدود ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌آمپر دارد

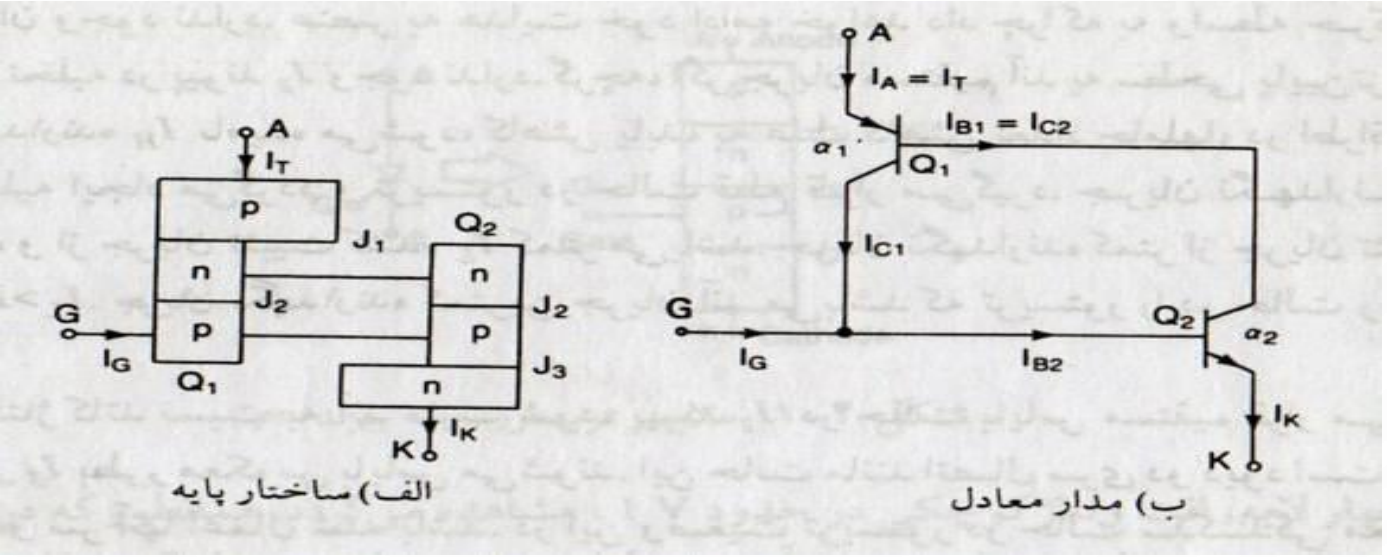
مدل دوتراتزیستوری تریستور

عمل تثبیت کنندگی به واسطه فیدبک مثبت را میتوان با مدل دوترانزیستوری تریستور توجیه کرد.

هر تریستور را میتوان بصورت دو ترانزیستور مکمل(یک ترانزیستور PNP و یک NPN) در نظر گرفت.

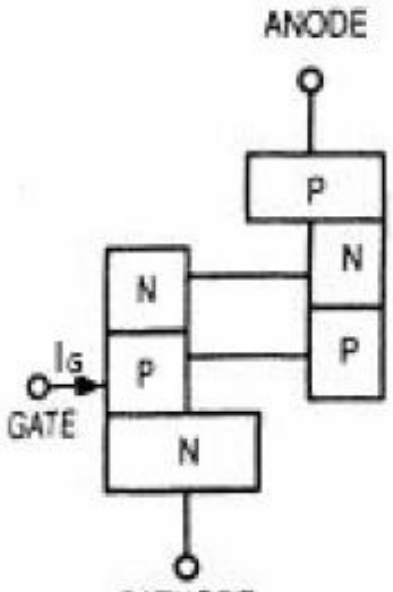
رابطه بدست آوردن IA:

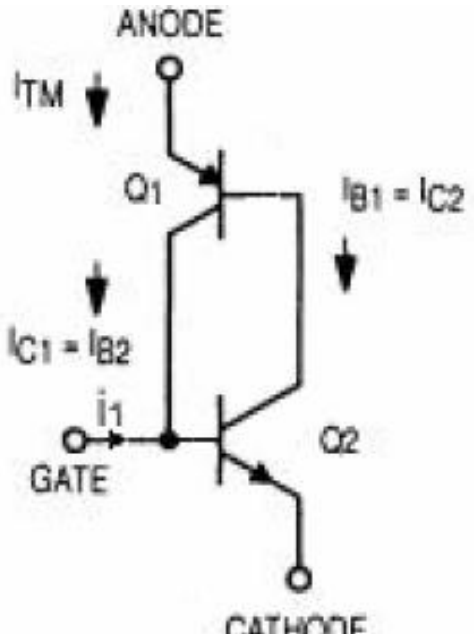
$$IA=A_2I_G+I_{CBO1}+I_{CBO2}/1-(A_1+A_2)$$



عملکرد

در شکل اگر به گیت G جریان ضعیف i_1 را (توسط مثبت تر کردن گیت Gنسبت به K) اعمال نمائیم در این صورت در ترانزیستور Q_2 بین بیس و امیتر جریانی عبور کرده و باعث ایجاد جریان بزرگتر I_{C2} در کلکتور Q_2 و در بیس ترانزیستور Q_1 خواهد بود. این جریان بیس ترانزیستوری Q_1 هم جریان کلکتور بزرگتر I_{C1} را به وجود خواهد آورد که این جریان هم به عنوان جریان بیس Q_2 اعمال خواهد شد در نتیجه به سرعت جریان هر دو ترانزیستور تا حد اشباع افزایش خواهد یافت. حال اگر سیگنال خارجی گیت را هم قطع نمائیم در این صورت SCR به هدایت خود ادامه خواهد داد تا موقعیکه پتانسیل مثبت اعمال شده به آند از بین رفته و یا جریان آند از حداقل I_H معمول کمتر شود.





روشهای دیگر روشن کردن تریستور

✓ **گرما:**

اگر دمای تریستور بالا رود تعداد زوجهای حفره- الکترون افزایش یافته در نتیجه جریان نشتی افزایش پیدا کرده و امکان دارد تریستور روشن شود که این روش باعث ناپایداری حرارتی شده وباید از آن اجتناب شود.

✓ **نور:**

اگر پیوندهای یک تریستور در معرض تابش نور قرار بگیرند، تعداد زوجهای حفره-الکترون افزایش یافته و ممکن است تریستور روشن شود.

✓ **ولتاژ زیاد(روشن کردن تریستور با ولتاژ شکست V_{BO}) :**

اگر ولتاژ آند به کاتد بیشتر از ولتاژ شکست مستقیم (V_{BO}) باشد تریستور روشن خواهد شد. این روش زیانبار است و باید از آن اجتناب کنیم.

ادامه روشهای دیگر روشن کردن تریستور

- ✓ **dv / dt تغییرات سریع ولتاژ نسبت به زمان :**

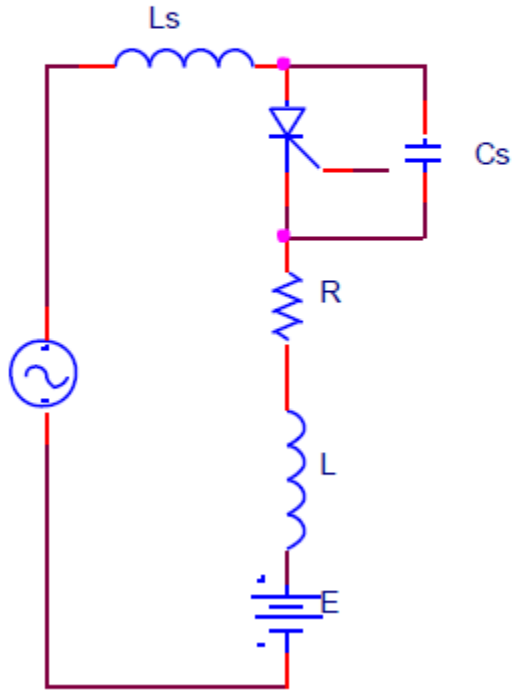
اگر نرخ افزایش ولتاژ آند به کاتد زیاد باشد، ممکن است شارژ پیوندهای خازنی به اندازه کافی بزرگ شده و منجر به روشن شدن تریستور شود.

میزان افزایش سریع ولتاژ مستقیم آند به کاتد سبب می شود که توسط خازنهای موجود بین آند – گیت و گیت – کاتد جریان گذرا در گیت ایجاد شود . ابن تغییر سریع ولتاژ می تواند تیریستور را روشن کند ولی بایستی از آن اجتناب ورزید.

- ✓ **di / dtتغییرات سریع جریان نسبت به زمان**

حفاظت در برابر dv/dt

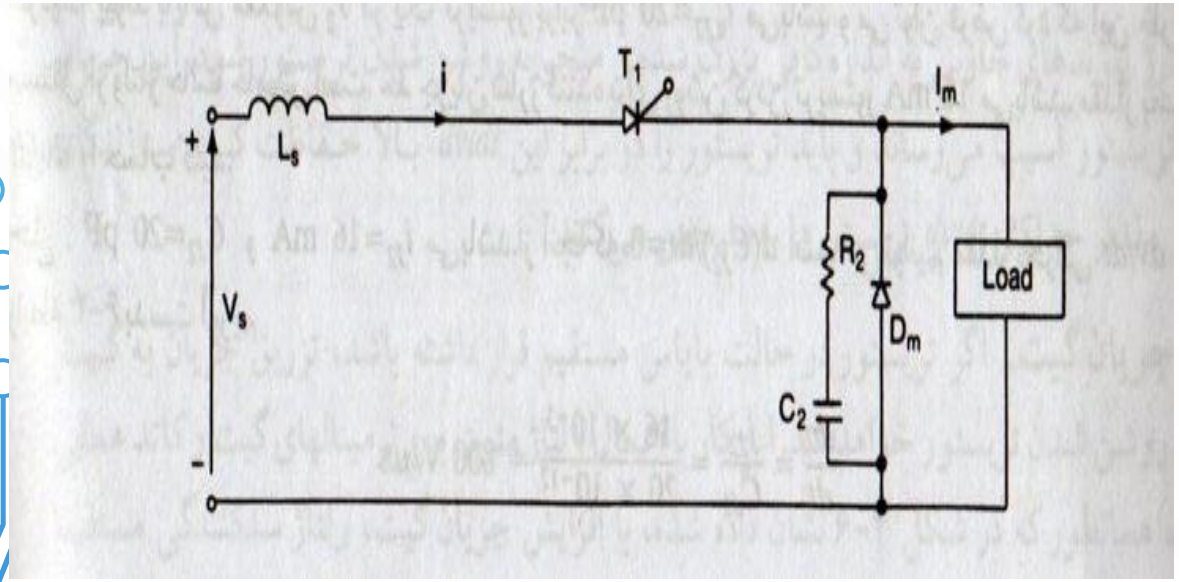
حفاظت در برابر $\frac{dv}{dt}$: تغییرات سریع ولتاژ نسبت به زمان موجب روشن شدن تریستور به صورت خود سرآنه خواهد شد. برای جلوگیری از این اتفاق از خازن Cs (C snuber) بصورت موازی با تریستور استفاده می شود.

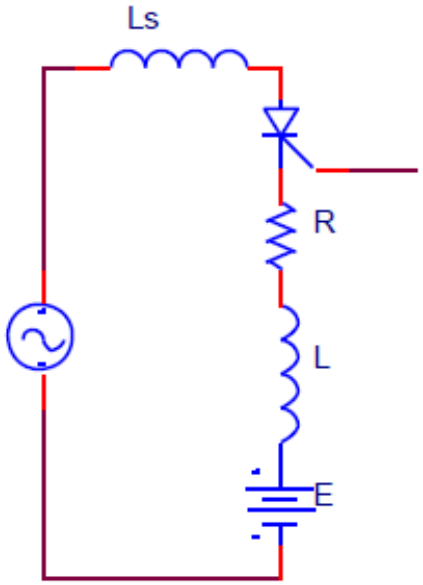


حفاظت در برابر di/dt

هر تریستور برای هدایت یکنواخت جریان از پیوندها نیاز به زمان حداقلی دارد.اگر نرخ افزایش جریان آند در مقایسه با سرعت گسترش فرآیند روشن شدن،خیلی سریع باشد بواسطه چگالی جریان زیاد یک نقطه داغ موضعی ایجاد میشود و ممکن است در اثر بالا رفتن دما قطعه آسیب ببیند. برای جلوگیری از این تغییرات ناگهانی یک سلف به نام سلف اسنابرLs (Snuber) در مدار قرار می دهیم .

شـکل زیـر مـدار چـاپر بـا سـلف محدود کننده di/dt اسـت:





خاموش‌شدن تریستور(کموتاسیون)

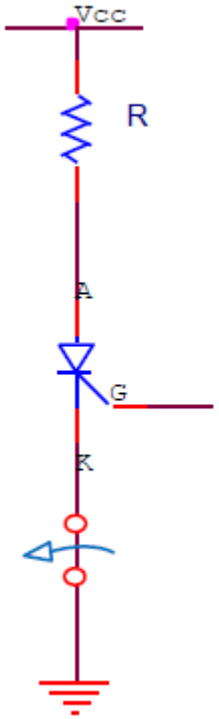
تریستور روشن شده، با صفرشدن جریان گیت تریستور خاموش نخواهد شد

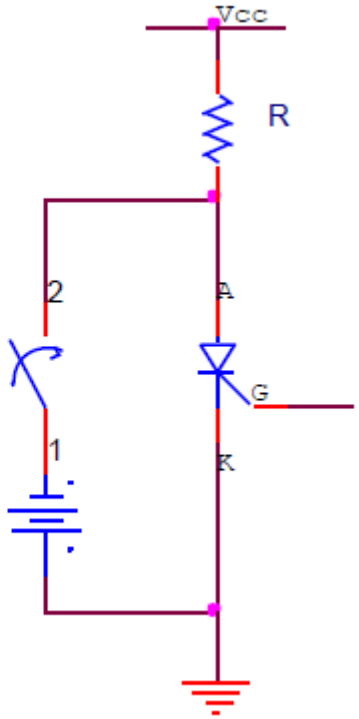
برای خاموش‌کردن تریستوری که روشن‌شده است باید یکی از شرایط زیر برقرار شود:

*ولتاژ آند نسبت به کاتد منفی شود.

*جریان عبوری از آند قطع شود (به کمتر از مقدار جریان نگهدارنده برسدIH برسد)

روشهای کموتاسیون به دو روش طبیعی و اجباری تقسیم میشوند.



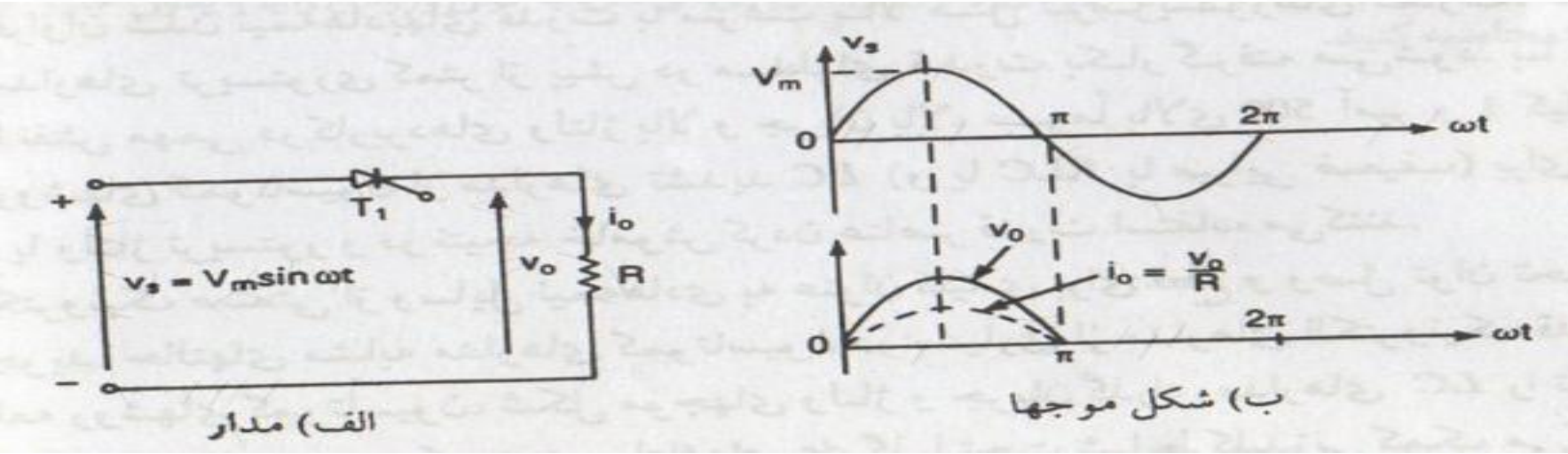


۱)کموتاسیون طبیعی

اگر منبع ولتاژ متناوب باشد جریان تریستور به طور طبیعی صفر شده ویک ولتاژ معکوس روی دو سر تریستور ظاهر گشته که باعث میشود عنصر به طور اتوماتیک بخاطر رفتار طبیعی منبع خاموش میگردد.

این پدیده کموتاسیون طبیعی یا خط نامیده میشود.

در این روش دو پیوند از سه پیوند تریستور در گرایش معکوس قرار می‌گیرند و پیوند سوم گرایش مستقیم خواهد داشت، در این حالت تریستور جریان نشتی کمی از خود نشان می‌دهد



۲)کموتاسیون اجباری :

روش دوم مناسب ورودی های DCاست (مثل چاپرها و اینورترها). در این حالت چون پلاریته ی ورودی تغییر نمیکنه، بنابراین تریستور خاموش نخواهد شد و با مدارات کموتاسیون آنها را خاموش می کنند. روشهای مختلفی برای خاموش کردن تریستور بصورت اجباری وجود دارد که در زیر اشاره میکنیم:

این طبقه بندی کموتاسیون اجباری بر اساس نحوه آرایش مدار کموتاسیون و همچنین شیوه ای که جریان تریستور صفر می گردد ، قرار دارد . مدارهای کموتاسیون عموماً شامل یک خازن ، یک سلف و یک یا چند تریستور و یا دیود می باشند .

انواع کموتاسیون اجباری:

۱- کموتاسیون خود به خود

۲- کموتاسیون ضربه

۳- کموتاسیون پالس تشدید شده

٤- کموتاسیون مکمل

۵- کموتاسیون پالس خارجی

۶- کموتاسیون در سمت بار

۷- کموتاسیون در سمت خط

کموتاسیون خود به خود self commutation

در این نوع کموتاسیون تریستور بنا به خواص طبیعی مدار خاموش میشود.در زیر مدار و شکل موجهای این نوع کموتاسیون آمده است.

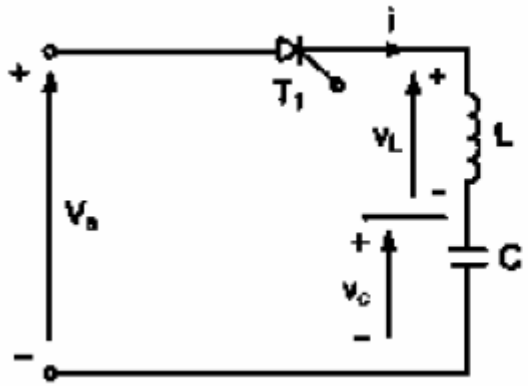
در این نوع کموتاسیون ، تریستور بنا به خواص طبیعی مدار خاموش می شود . با فرض اینکه خازن در ابتدا فاقد ولتاژ اولیه می باشد به مدار شکل زیر توجه کنید . وقتی که تریستور T_1 روشن می شود جریان شارژ کننده خازن i با رابطه زیر مشخص می شود .

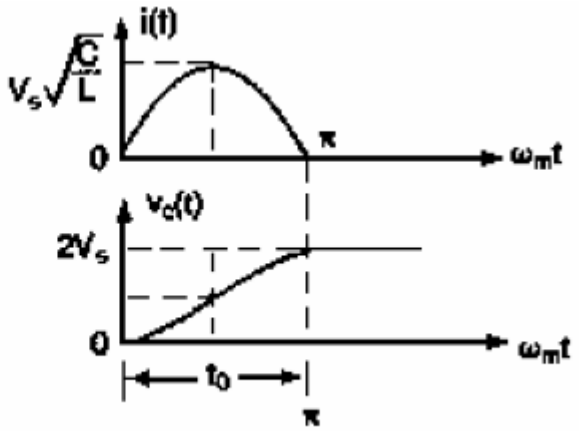
$$V_S = v_L + v_C = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt + v_C(t=0)$$

$$i(t) = V_S\sqrt{\frac{C}{L}}\sin\omega_m t$$

و جریان خازن برابر خواهد بود با

که در آن $\omega_m = 1/\sqrt{LC}$ می باشد

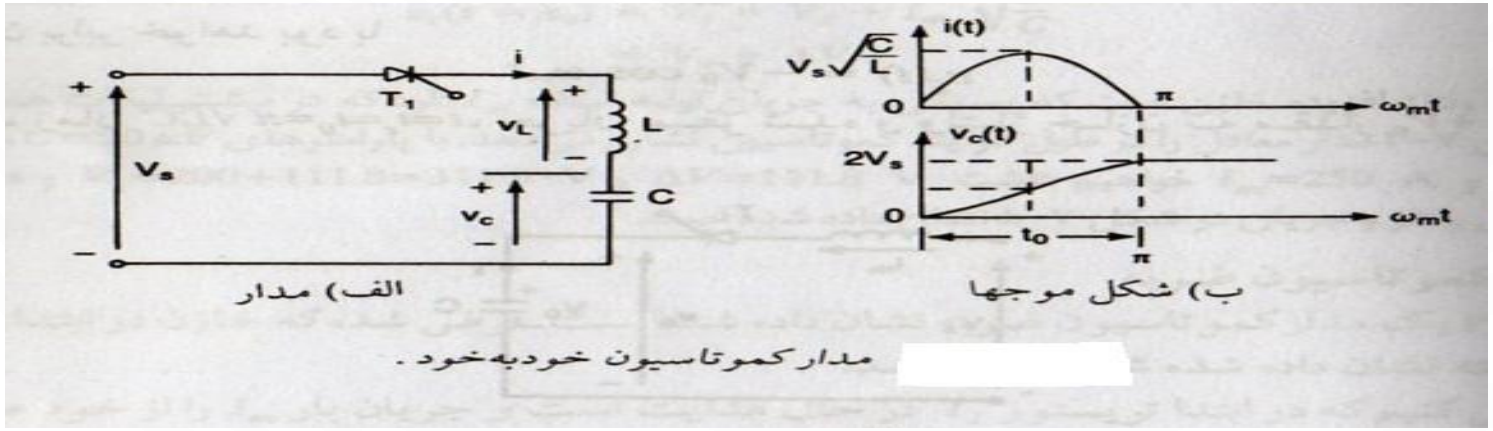




ادامه کموتاسیون خود به خود

برای خاموش شدن تریستور باید $i(t) = 0$. پس از مدت زمان $t_0 = \pi \sqrt{LC}$ ، جریان شارژ کننده صفر می شود و تریستور T_1 خود به خود خاموش می گردد . وقتی تریستور T_1 آتش می شود تا قبل از خاموش شدن آن تأخیری به اندازه t_0 ثانیه وجود دارد. این زمان را می توان زمان کموتاسیون مدار نامید .

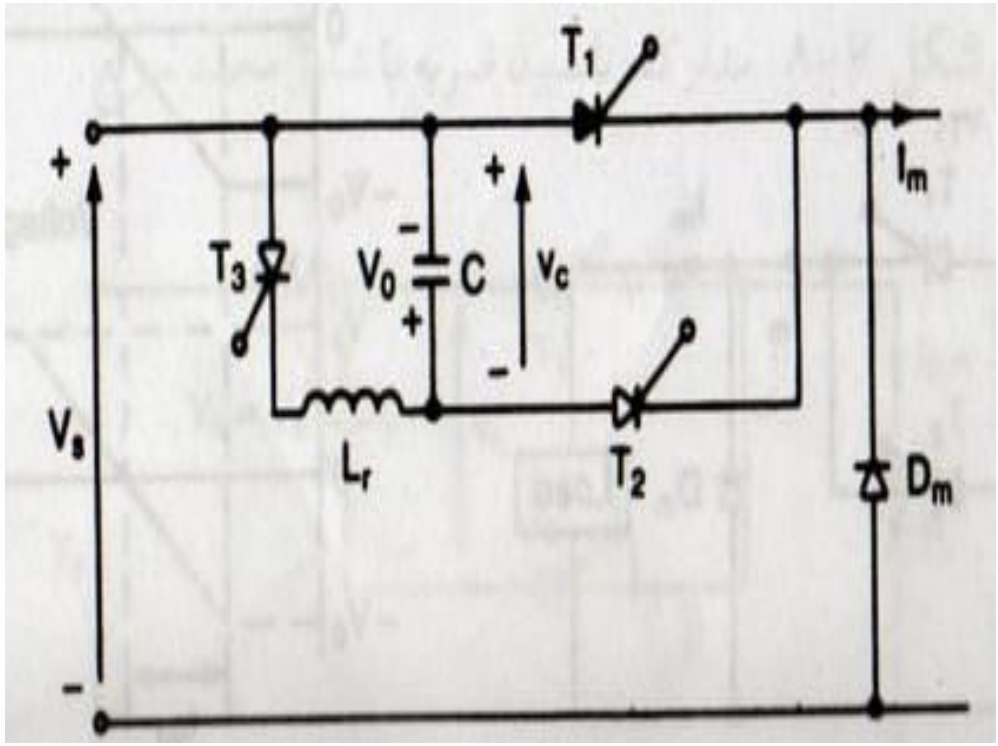
این روش خاموش کردن تریستور، کموتاسیون خود به خود نامیده می شود. وقتی جریان مدار صفر می شود ، ولتاژ خازن به $2V_s$ می رسد .



مدار کموتاسیون خودبه‌خود .

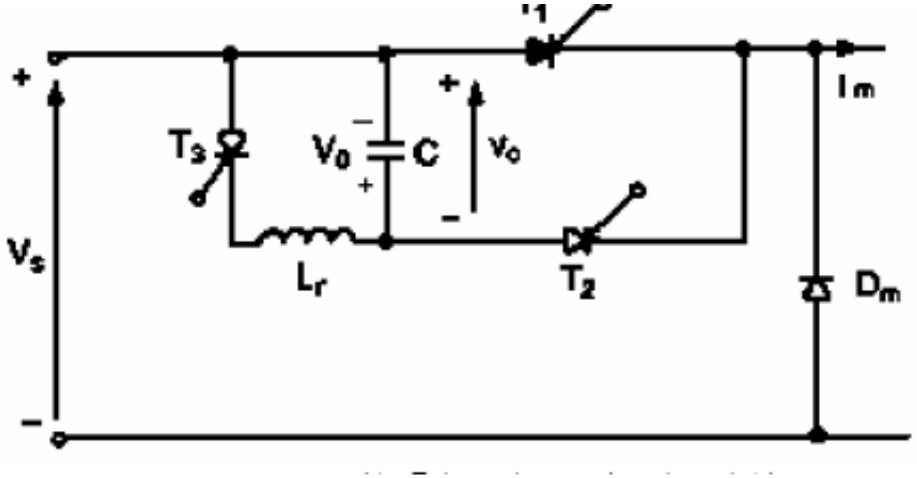
کموتاسیون ضربه

در زیر مدار کموتاسیون ضربه آمده است. تریستور اصلی که هدف خاموش کردن آن میباشد با رنگ سیاه مشخص شده است. در این مدار بلافاصله پس از آتش شدن تریستور T2 تریستور اصلی خاموش میشود و تریستور T3 که جهت معکوس کردن ولتاژ خازن استفاده میشود بصورت کموتاسیون خود به خود کار میکند.



عملکردکموتاسیون ضربه

فرض شده که خازن در ابتدا با ولتاژV_0- و طبق پلاریته نشان داده شده شارژ شده باشد .



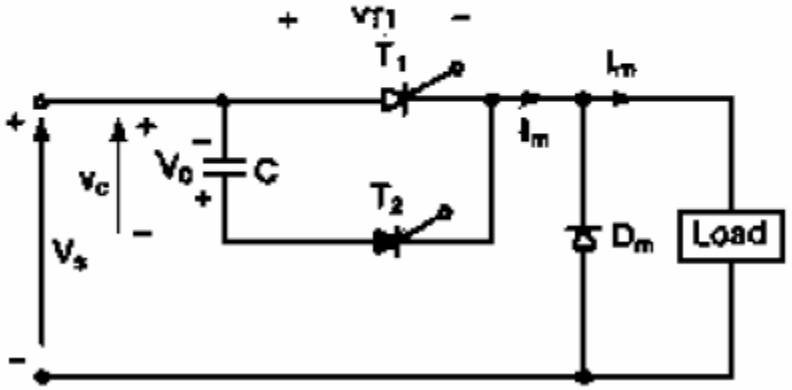
فرض کنیم که در ابتدا تریستور T_1 در حال هدایت است و جریان بار I_m را از خود عبور می دهد .

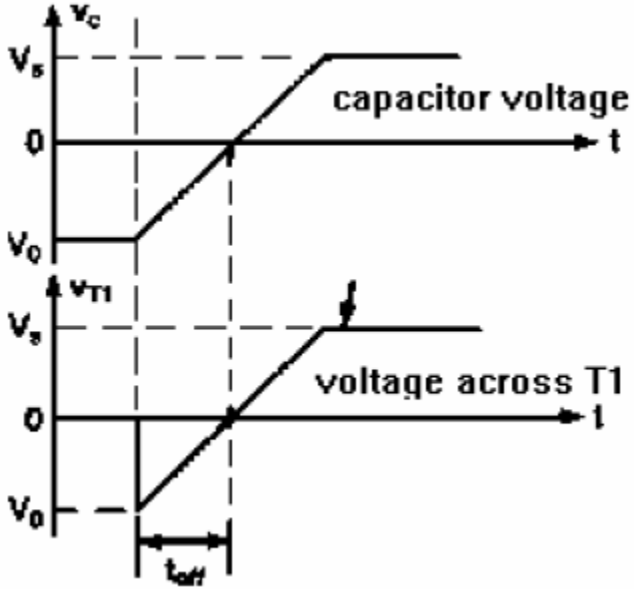
وقتی که تریستور کمکی T_2 آتش می شود ، تریستور T_1 توسط ولتاژ خازن به طورمعکوس با یاس گشته و خاموش می شود. جریان عبوری از T_1 متوقف شده و جریان بار از طریق خازن تأمین می شود.

با تخلیه خازن ولتاژ آن از V_0- به صفر میل می کند زمانی که جریان خازن به صفر تنزل یابد و T_2 خاموش شود خازن تا سطح ولتاژ ورودی V_s شارژ می گردد. سپس عمل معکوس کردن ولتاژ خازن از(V_s)= V_0 به V_0- از طریق آتش کردن تریستور T_3 صورت می گیرد. کموتاسیون تریستور T_3 مشابه مدار بطور خود به خود عمل می کند .

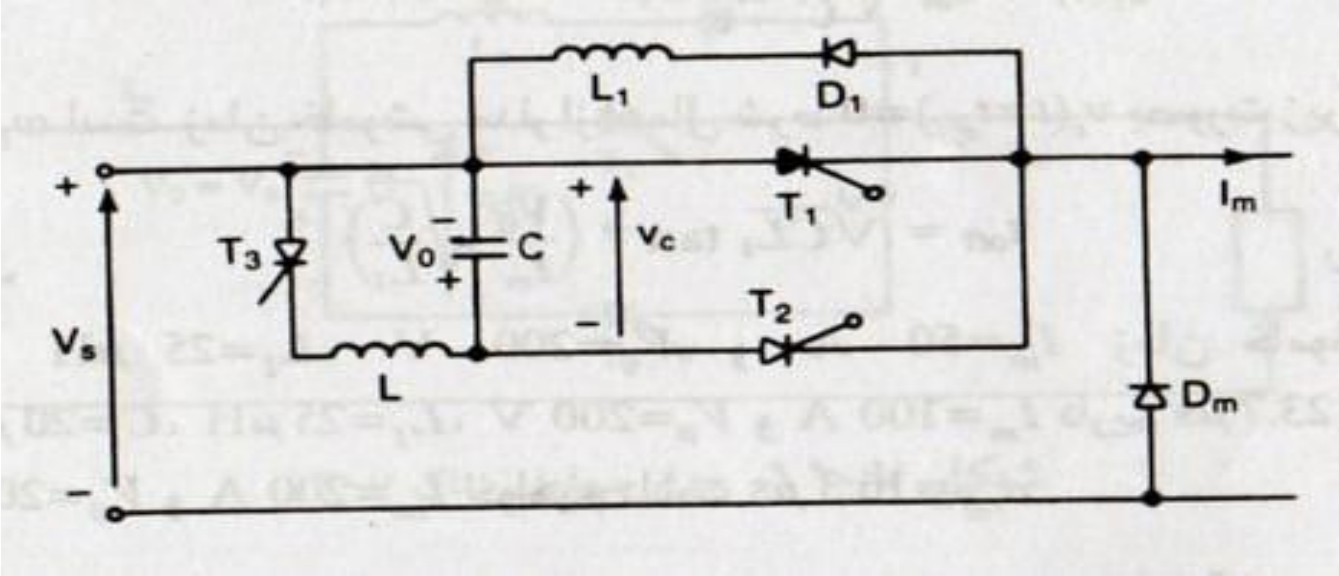
مدار معادل در طول دوره کموتاسیون وشکل موجهای ولتاژ خازن و تریستور در شکل زیر نشان داده شده است . زمان لازم برای تخلیه خازن از V_0- به صفر زمان خاموشی مدار ، t_{off} نامیده می شود و باید بزرگتر از زمان خاموشی تریستور ، t_q باشد . t_{off} زمان خاموشی مجاز نامیده می شود . زمان تخلیه بستگی به جریان بار دارد ، با فرض جریان بار ثابت I_m ، t_{off} از رابطه زیر به دست می آید .

$$Vo = \frac{1}{C}\int I_m dt = I_m \frac{t_{off}}{C} \qquad t_{off} = \frac{V_0 C}{I_m}$$





در مدار کموتاسیون ضربه با اضافه کردن یک دیود و سلف بـه صـورت مـوازی و معکـوس بـا تریستور اصلی میتوان سرعت تخلیه خازن را افزایش داد که در زیر مدار آن آمده است.



تمرین