



المان‌های الکترونیک صنعتی

دسته بندی المانهای قدرت

■ **غیر قابل کنترل**  **دیود** (روشن و خاموش شدن این المان تابع مداری است که در آن قرار میگیرد)

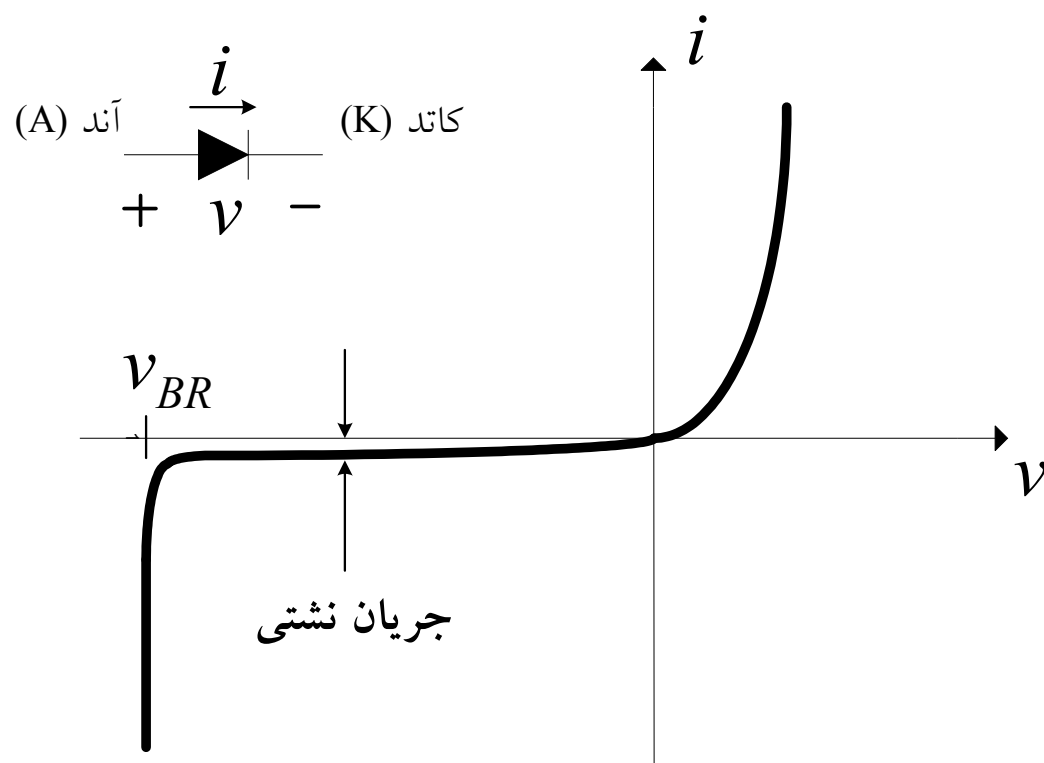
■ قابل کنترل

❖ نیمه کنترل شده  **تریستور** (روشن شدن با فرمان و خاموش شدن مانند دیود)

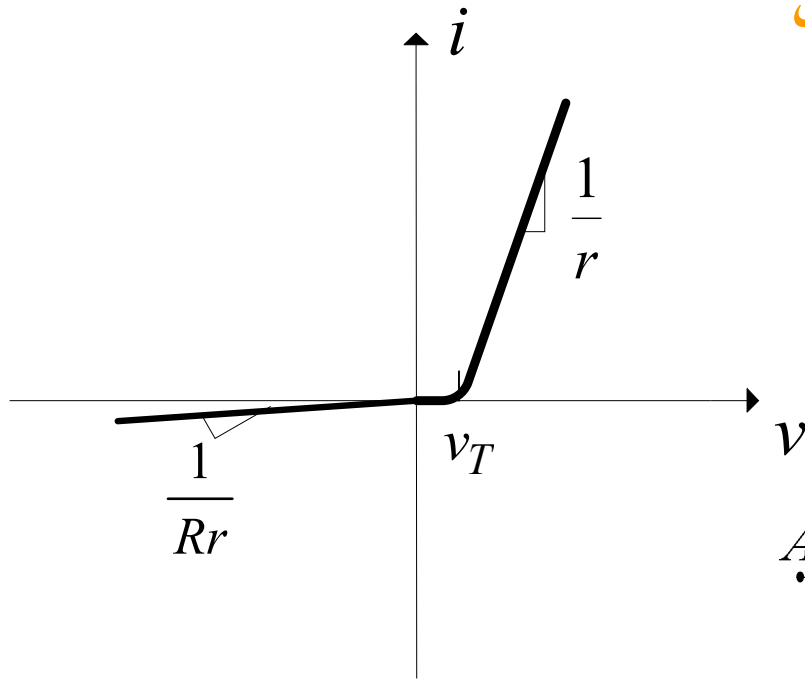
❖ تمام کنترل شده  **IGBT، BJT، MOSFET** (با فرمان هم روشن و هم خاموش میشوند)

دیود قدرت:

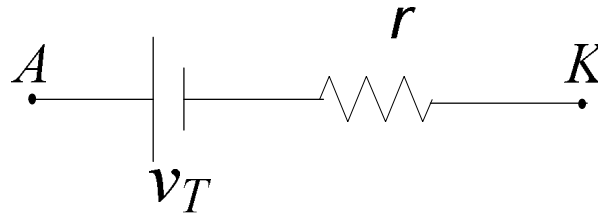
- ✓ قابلیت عبور جریان بالا (تا ۵ کیلو آمپر) (سطح مقطع بزرگتر)
- ✓ تحمل ولتاژ معکوس بالا (تا حدود ۵ کیلو ولت) (طول بیشتر)
- ✓ جریان نشتی بزرگتر



مدل تکه ای خطی



$$\begin{aligned} \text{on state: } v &= v_T + r.i \\ \text{off state: } v &= Rr.i \end{aligned}$$



تلفات زمان هدایت:

$$P = v.i \quad v = r_T i + V_T$$

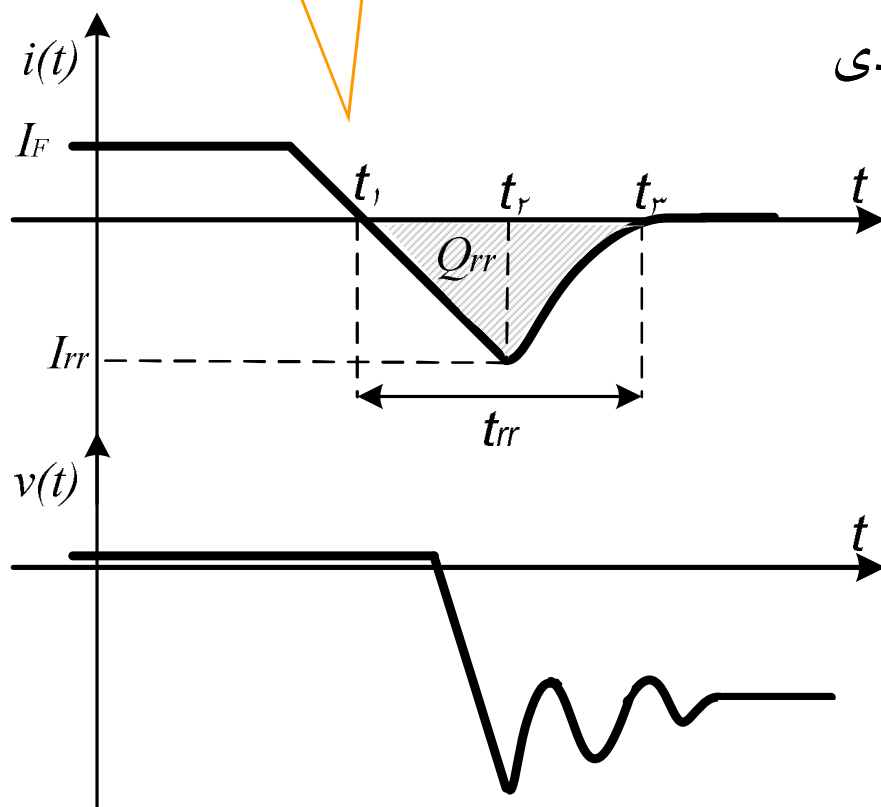
$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v.i dt = \frac{1}{T} \int_0^T (r_T i + V_T) i dt = r_T \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt + V_T \frac{1}{T} \int_0^T i dt$$

$$P_{av} = r_T I_{rms}^2 + V_T I_{av}$$

المان‌های الکترونیک صنعتی

مشخصه کلید زنی دیود قدرت

شکل موج زمان
خاموش شدن



← $(t_2 - t_1)$ زمان تخلیه حامل‌های اقلیت در ناحیه تخلیه

← $(t_3 - t_2)$ زمان تخلیه بارهای کل نیمه-هادی

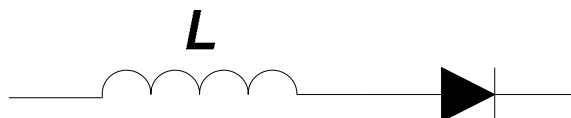
← t_{rr} زمان بازیابی معکوس

← I_{rr} جریان بازیابی معکوس

← Q_{rr} بار بازیابی معکوس

دیودهای سریع:
زمان بازیابی معکوس بسیار کوچک
(کمتر از یک میکروثانیه)

در عمل: وجود سلف سری با دیود



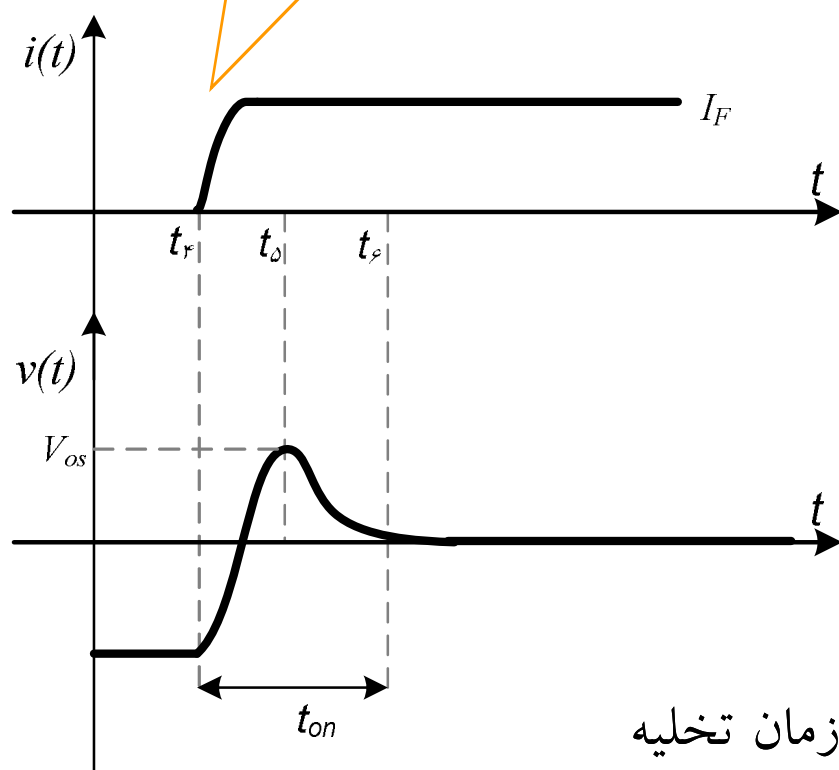
❖ هنگام خاموش شدن دیود:

جریان منفی باز یابی معکوس با شیب بسیار زیادی صفر میشود ⇨ تولید ولتاژ بسیار بالائی در سلف
سوختن دیود



مشخصه کلید زنی دیود قدرت

شکل موج زمان
روشن شدن



شارژ بارهای ناحیه تخلیه $(t_o - t_e)$

(چند صد نانو ثانیه)

افزایش توزیع حاملها در نیمه هادی $(t_f - t_o)$

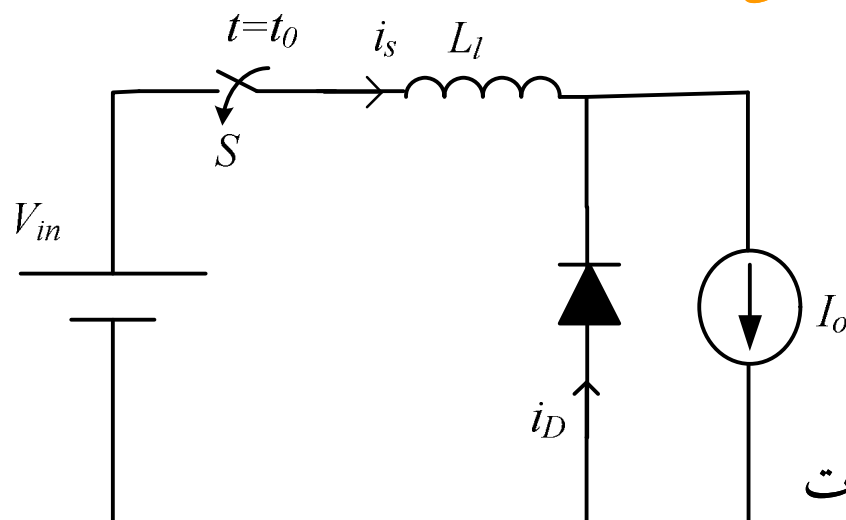
و کاهش مقاومت نیمه هادی

(چند میکرو ثانیه)

دیوذهای قدرت :

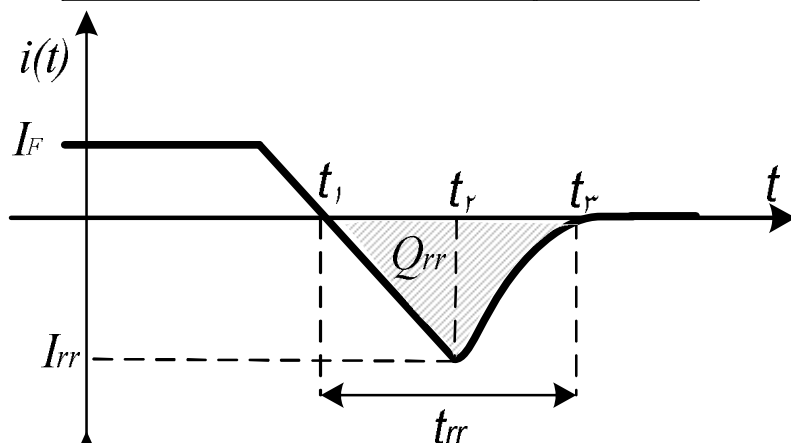
جریان عبوری زیادتر، ذخیره بار بیشتری در بدنه $\Rightarrow$ افزایش زمان تخلیه
 بزرگتر بودن خازن پیوند $\Rightarrow$ ثابت زمانی تخلیه بار بزرگتر

دیوذهای قدرت در مقایسه با دیوذهای معمولی دیوذهای کندتری هستند



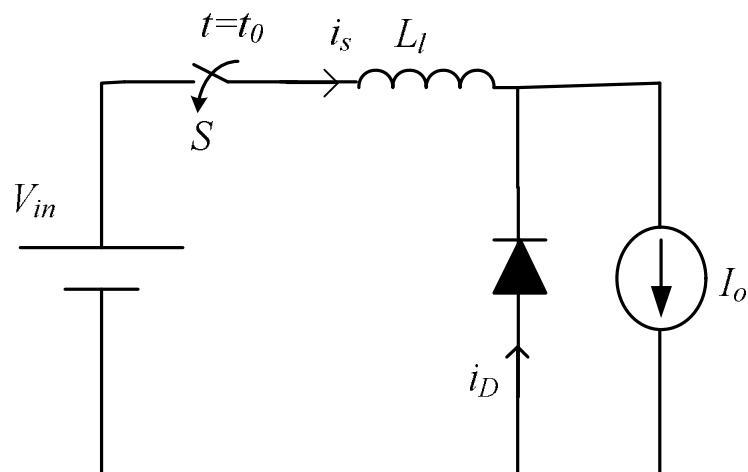
S: کلید ایده-آل (مدل کلیدهای تمام کنترل شده)
منبع جریان ثابت: مدل بار DC
سلف L_l : مدل اندوکتانس پراکنده مربوط به مدار قدرت

دیود: سریع بوده و بازه ی $(t_2 - t_3)$ حدود صفر



رابطه پیک جریان بازیابی معکوس (I_{rr}) را با زمان بازیابی معکوس (t_{rr}) بدست آورید.
 همچنین پیک جریان عبوری از کلید را بدست آورید.

المان‌های الکترونیک صنعتی



حل:

$$i_D = I_o - i_S$$

$$i_S(t) = \frac{V_{in}}{L_l} (t - t_1), \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

در زمان t_1 جریان دیود صفر شده و i_S برابر I_o شده :
(شیب جریان هم ثابت است)

$$t_2 - t_1 = \frac{L_l I_o}{V_{in}} \Rightarrow I_{rr} = -\frac{V_{in}}{L_l} (t_2 - t_1) \approx -\frac{V_{in}}{L_l} t_{rr}$$

پیک جریان کلید در زمان t_2 بوده و برابر:

$$I_{s,peak} = I_o + \frac{V_{in}}{L_l} t_{rr}$$

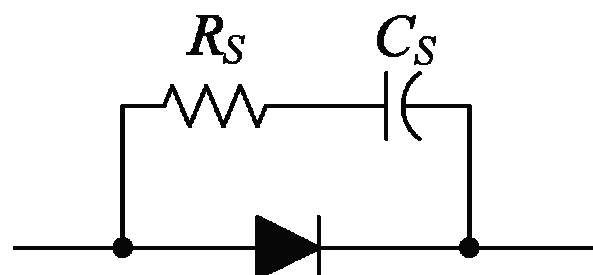
👉 در این زمان دیود خاموش شده و جریان سلف از مقدار پیک جریان کلید به جریان بار بصورت پله-ای کاهش می یابد

ایجاد ولتاژ منفی بسیار بزرگی دو سر سلف ⇨ ولتاژ معکوس بزرگ دو سر دیود ⇨ سوختن دیود

المان‌های الکترونیک صنعتی

✓ راه حل:

مدار ضربه-گیر (اسنابر) موازی



محدود کردن ولتاژ دو سر دیود (یا به تعبیر دیگر جذب انرژی اضافی ذخیره شده در سلف)

👉 مشکل دوم: سلف L_1 خیلی کوچک ⇨ ایجاد جریان بازیابی معکوس بزرگ ⇨ سوختن

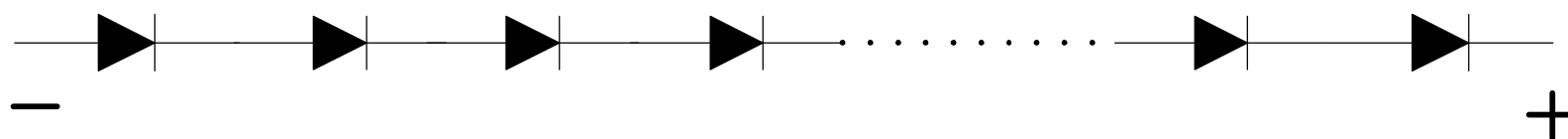
دیود

✓ راه حل:

استفاده از یک سلف سری (بعنوان ضربه گیر سری)
یا استفاده از دیود سریع با زمان بازیابی خیلی کوچک (کمتر از ۱۰۰ نانوثانیه)

المان‌های الکترونیک صنعتی

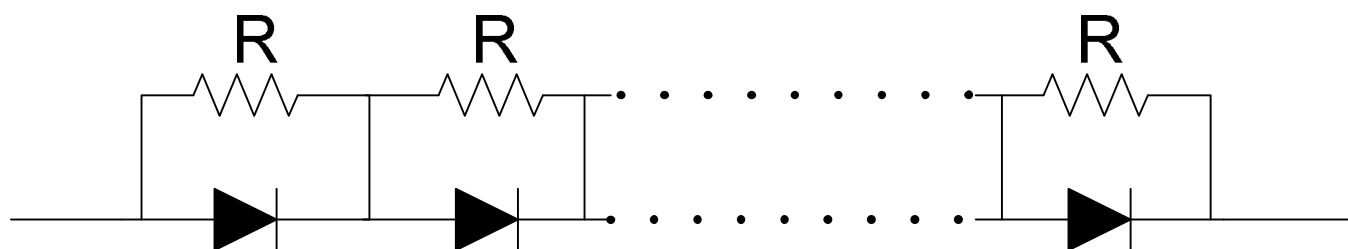
نیاز به دیود با تحمل ولتاژ بسیار بالا $\Rightarrow$ سری کردن دیودها



عدم برابری مقاومت معکوس $\Rightarrow$ عدم توزیع یکنواخت ولتاژ معکوس

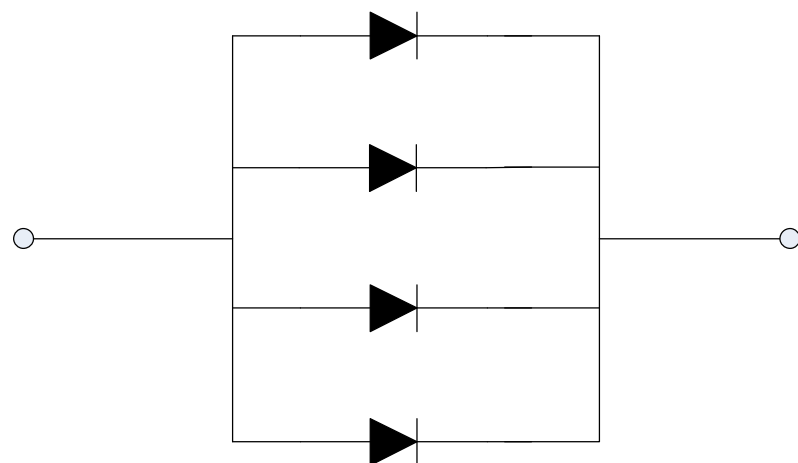
$\Rightarrow$ سوختن دیود دارای مقاومت معکوس بالاتر

راه حل: $R < R_r$ ✓



المان‌های الکترونیک صنعتی

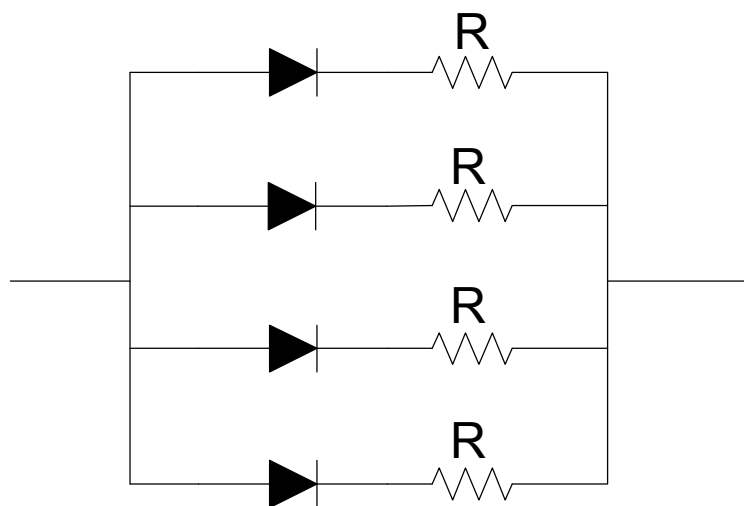
نیاز به دیود با تحمل جریان بسیار بالا $\Rightarrow$ موازی کردن دیودها



عدم برابری مقاومت مستقیم و ولتاژ آستانه

$\Rightarrow$ عدم توزیع یکنواخت جریان

✓ راه حل:



$$R > R_f$$

دiod شاتکی

ساختمان: اتصال یک لایه فلزی با یک نیمه هادی (معمولا از نوع n)

مشخصه: مشخصه ولتاژ- جریان مشابه diod معمولی

ویژگیها:

- افت ولتاژ کم در زمان هدایت (بطور معمول حدود 0.3 تا 0.4 ولت)
- سرعت بالاتر در زمان خاموش و روشن کردن
- جهش ولتاژ کمتر در زمان روشن شدن
- جریان بازتابی معکوس کوچکتر
- ولتاژ شکست معکوس کم (کمتر از 150 ولت) (عیب)



المان‌های الکترونیک صنعتی

جدول (۱-۱): مشخصات چند دیود قدرت

شماره قطعه	ماکزیمم ولتاژ معکوس (ولت)	متوسط جریان (آمپر)	افت ولتاژ زمان هدایت (ولت)	t_{rr} ماکزیمم
دیودهای با زمان بازیابی سریع				
1N3913	۴۰۰	۳۰	۱,۱	۴۰۰ ns
SD453N25S20PC	۲۵۰۰	۴۰۰	۲,۲	۲ μ s
دیودهای با زمان بازیابی خیلی سریع				
MUR815	۱۵۰	۸	۰,۹۷۵	۳۵ ns
MUR1560	۶۰۰	۱۵	۱,۲	۶۰ ns
RHRU100120	۱۲۰۰	۱۰۰	۲,۶	۶۰ ns
دیودهای شاتکی				
MBR6030L	۳۰	۶۰	۰,۴۸	بسیار کم
444CNQ045	۴۵	۴۴۰	۰,۶۹	بسیار کم
30CPQ150	۱۵۰	۳۰	۱,۱۹	بسیار کم

خلاصه



● وقتی دیود بصورت مستقیم بایاس شود (ولتاژ دو سر آن مثبت باشد)، روشن شده و از آن جریان عبور میکند. همچنین افت ولتاژ دو سر آن به مقدار ولتاژ مستقیم (بین ۰.۲ تا ۳ ولت) کاهش می‌یابد.

● وقتی دیود خاموش است (ولتاژ دو سر آن منفی است)، جریان کوچک نشتی (چند میکرو آمپر تا چند میلی آمپر) از آن عبور می‌نماید. البته ولتاژ معکوس نباید از V_{BR} بیشتر شود، چرا که وارد ناحیه شکست معکوس شده و در صورت عدم کنترل جریان، آسیب می‌بیند.

● در زمان قطع دیود، جریان آن در یک فاصله زمانی کوتاه t_{rr} (زمان لازم برای تخلیه حاملها و شکل گیری مجدد ناحیه تخلیه)، منفی و سپس صفر می‌شود. این پدیده باعث افزایش تلفات سویچینگ (تلفات مربوط به خاموش کردن) در دیود، افزایش ولتاژ معکوس دو سر آن و اضافه ولتاژ ناگهانی در دو سر اندوکتانسهای مسیر خواهد شد.



المان‌های الکترونیک صنعتی

• انواع دیودها:

۱. دیودهای معمولی:

- افت ولتاژ کم در حالت روشن بودن دیود (زیر یک ولت)
- t_{rr} بزرگ (حدود ۲۵ میکروثانیه)
- قابلیت عبور جریان بالا (تا ۵ کیلو آمپر) و تحمل ولتاژ معکوس بالا (تا حدود ۵ کیلو ولت)
- این نوع دیود معمولاً در فرکانس شبکه (۵۰ تا ۶۰ هرتز)، به عنوان یکسوکننده به کار می‌رود.

المان‌های الکترونیک صنعتی

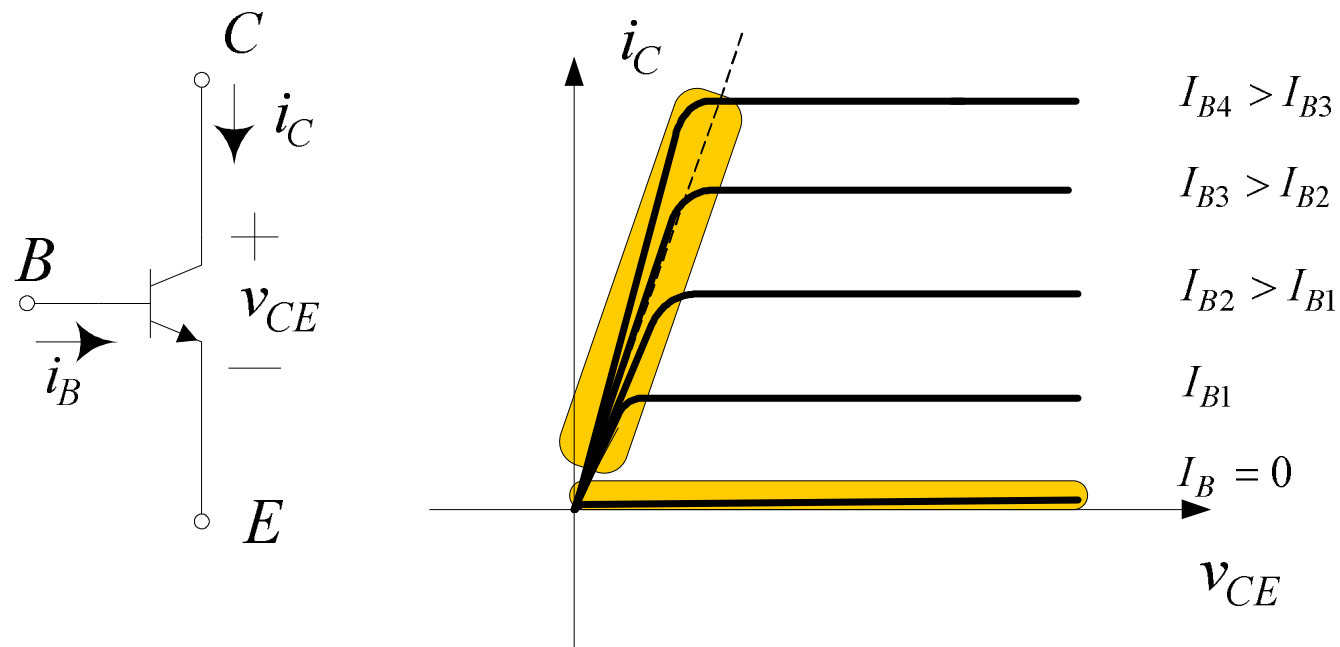
۲. دیودهای با قابلیت بازیابی سریع^۱:

- t_{rr} بسیار کوچک (کمتر از یک میکروثانیه)
- قابلیت عبور جریان تا چند صد آمپر و تحمل ولتاژ تا چند صد ولت
- این نوع دیود معمولاً در مدارهای با فرکانس کلیدزنی بالا استفاده می‌شود.

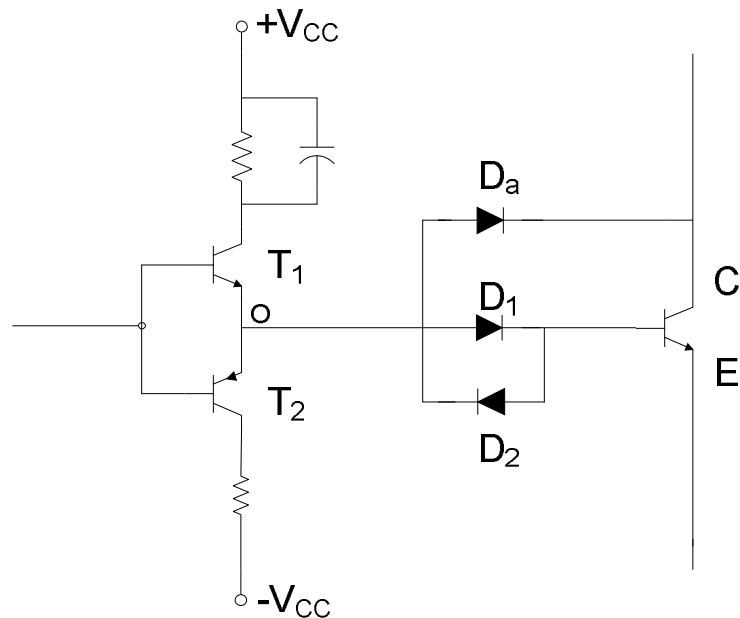
۳. دیود شاتکی^۲:

- افت ولتاژ خیلی کم در حالت روشن بودن (حدود ۰,۳ ولت)
- محدودیت تحمل ولتاژ معکوس (بین ۵۰ تا ۱۰۰ ولت)
- این نوع دیود معمولاً در کاربردهایی که سطح ولتاژ پایین ولی جریان و فرکانس کلیدزنی بالا می‌باشد، مانند منابع تغذیه سویچینگ، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ترانزیستور دو قطبی (Bipolar Junction Transistors)



■ بعنوان سویچ فقط در نواحی اشباع یا قطع استفاده می گردد و ناحیه اکتیو یا فعال کاربردی ندارد



مدار درایو بیس:

$$V_{Da} + V_{CE(on)} = V_{D\backslash} + V_{BE(on)}$$

$$V_{CE(on)} = V_{BE(on)}$$

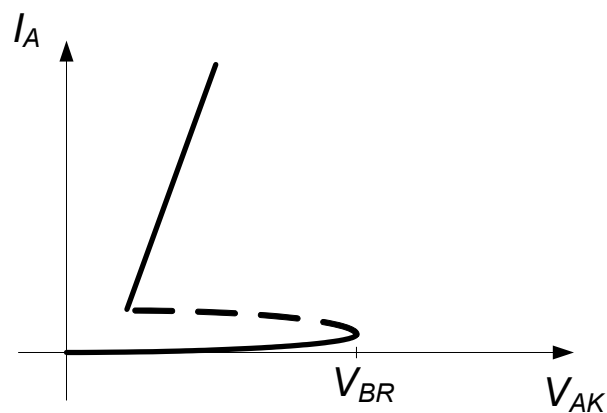
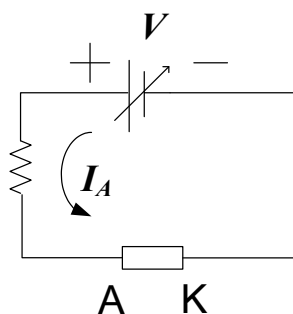
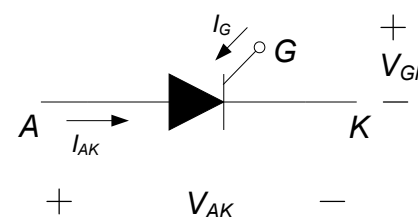
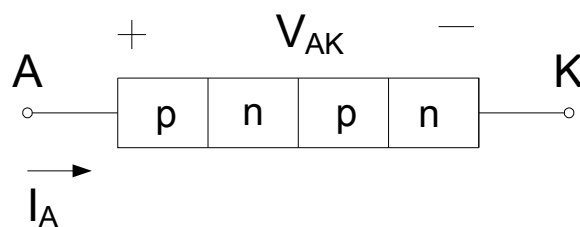
ترانزیستور عمیقاً اشباع نشده است و در مرز اشباع و اکتیو قرار دارد .
یک بده بستان بین فرکانس سوئیچینگ و راندمان یا تلفات وجود دارد

المان‌های الکترونیک صنعتی

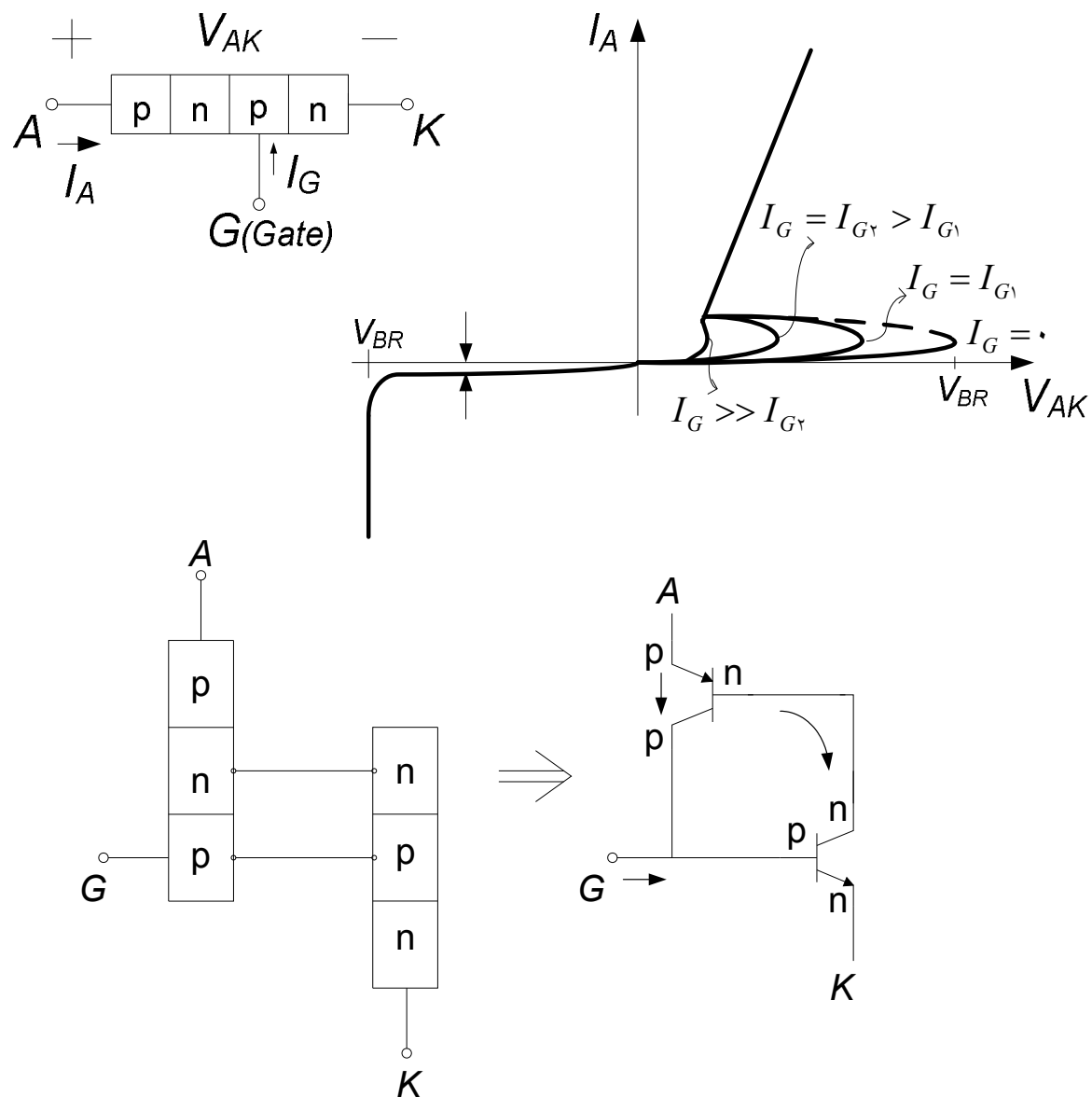
بطور خلاصه:

- در BJT ولتاژ معکوس قابل تحمل (V_{CE}) کمتر از ۱۰۰۰ ولت و جریان مستقیم عبوری (I_C) کمتر از ۴۰۰ آمپر و فرکانس کلیدزنی تا (۵ KHZ) بوده و افت ولتاژ دو سر المان در زمان روشن بودن ($V_{CE(sat)}$) بین ۲ تا ۳ ولت می باشد.
- بهره جریان (β) در زمان روشن بودن ترانزیستور پایین بوده (به دلیل اشباع آن) و طبعاً برای روشن نگه داشتن آن به جریان بیس قابل توجه نیاز است که باعث پیچیدگی و افزایش هزینه مدار درایو آن خواهد شد.
- امروزه BJT با توجه به مشخصات آن کاربرد محدودی به عنوان کلید (سوییچ) دارد.

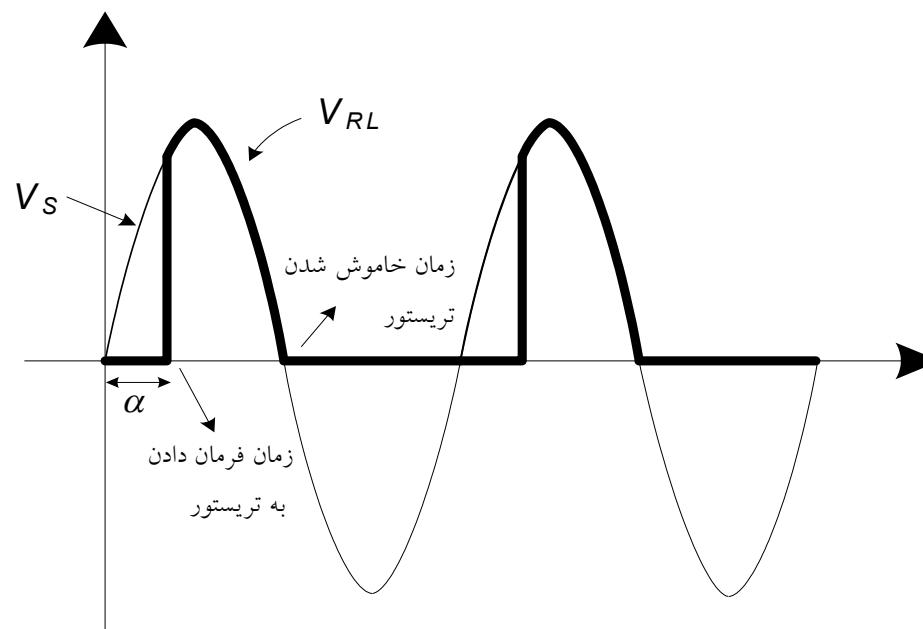
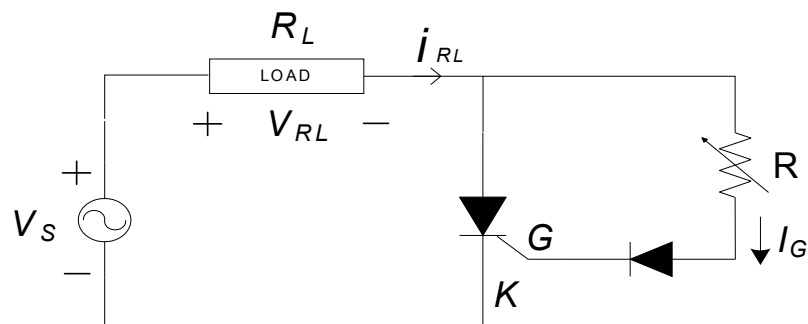
تریستور (SCR / Thyristor)



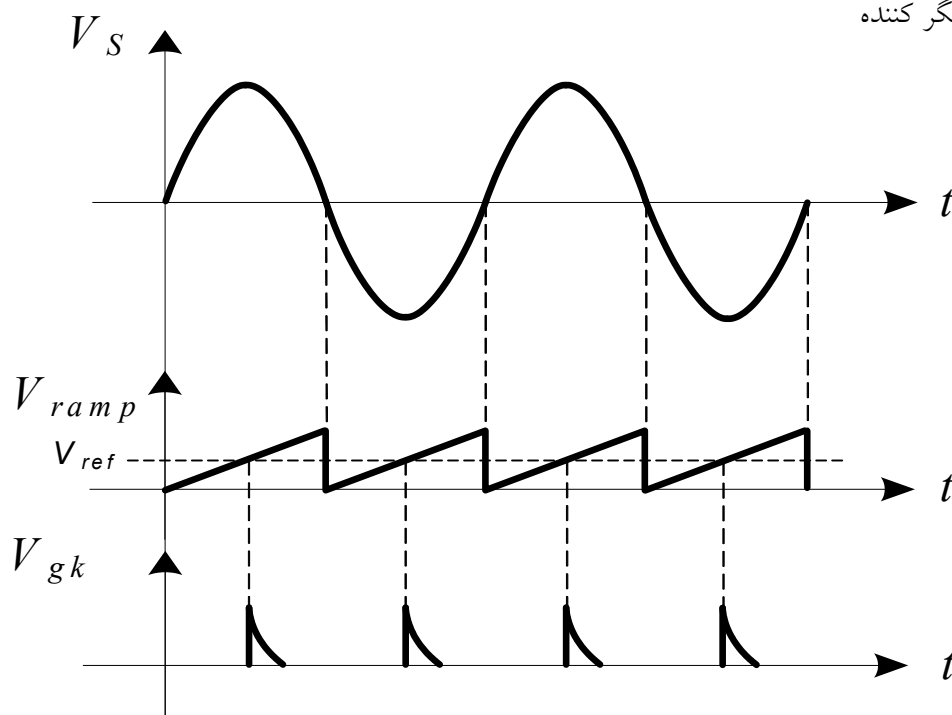
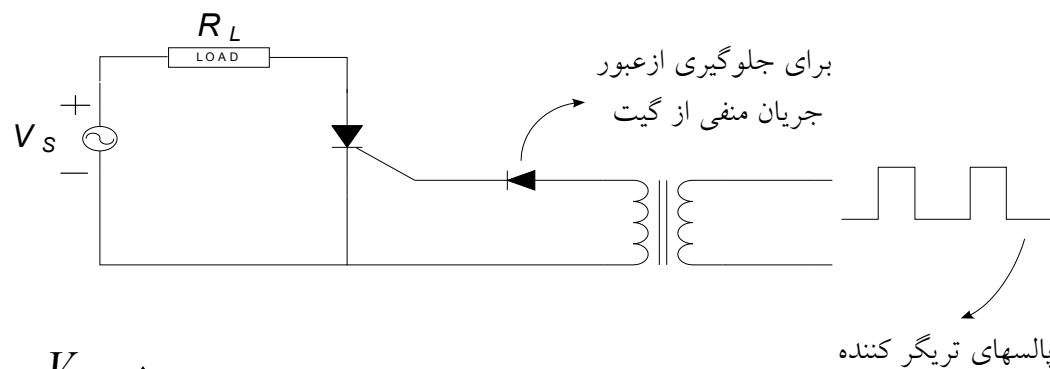
المان‌های الکترونیک صنعتی



المان‌های الکترونیک صنعتی

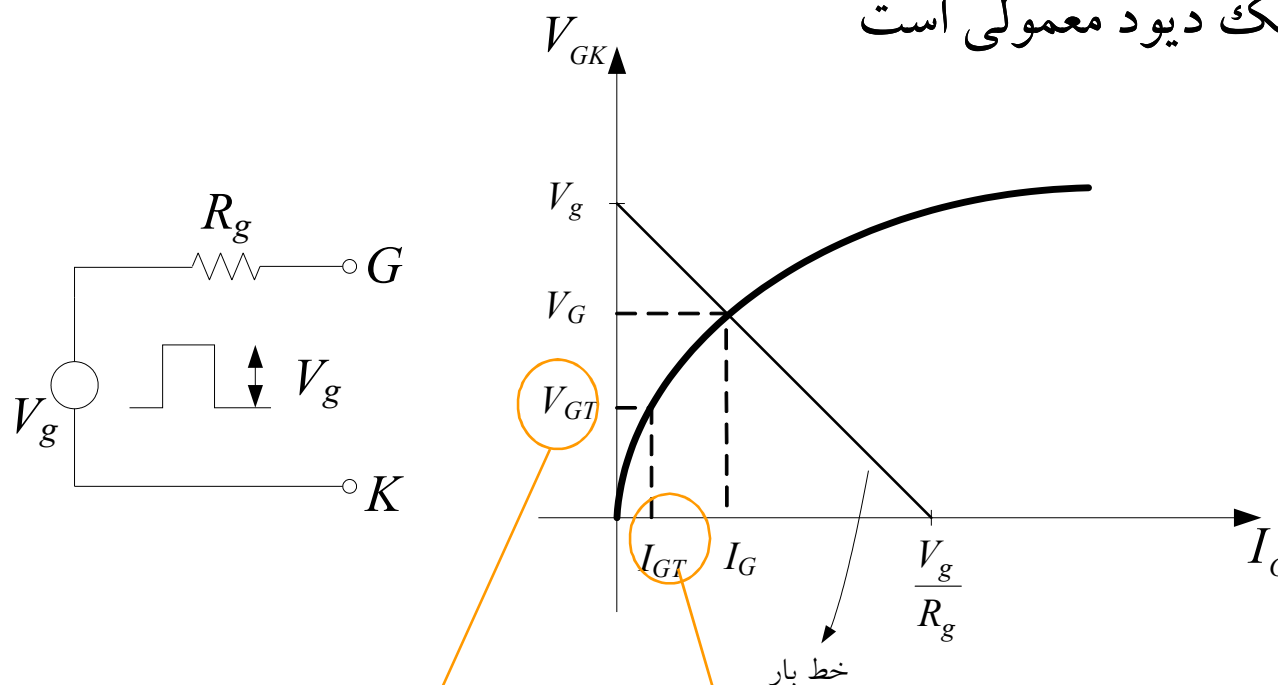


المان‌های الکترونیک صنعتی



مشخصه گیت - کاتد

■ گیت - کاتد، اتصال pn یا اتصال بیس - امیتر یک ترانزیستور می‌باشد که در جهت مستقیم مانند یک دیود معمولی است



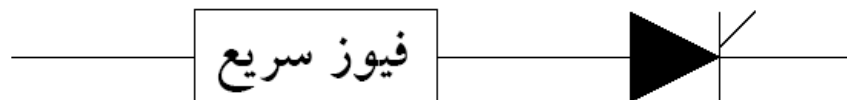
می‌نیمم ولتاژ و جریانی هستند که تضمین می‌کنند که ترانزیستور روشن خواهد شد

عرض $20\mu s - 200\mu s$ و دامنه حدود ۲ ولت

مشخصات مهم ترستور

۱- حداکثر جریان قابل تحمل آند-کاتد برای ترستور

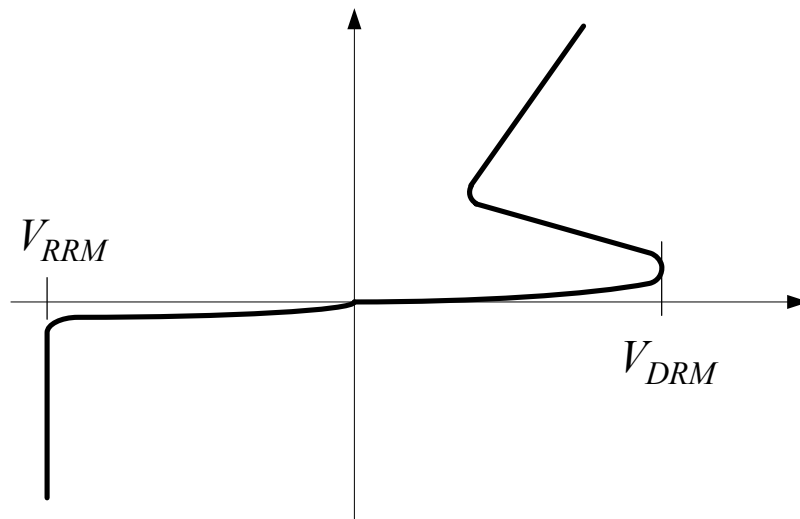
$I_{T(AV)}$	Average on-state current
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current
I^2t	I^2t for fusing



$$(I^2t)_{Fuse} < (I^2t)_{Thyristor}$$



۲- حداکثر ولتاژ قابل تحمل ترستور



مشخصات مهم ترستور

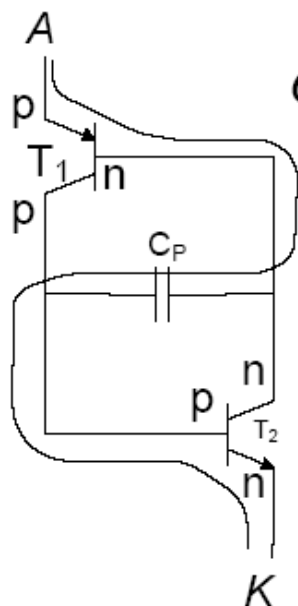
۳- حداقل ولتاژ و جریان گیت که حتماً ترستور را روشن می‌کند (I_{GT} و V_{GT})

۴ - حداکثر توان، ولتاژ و جریان گیت-کاتد

I_{GM}	Peak gate current
V_{GM}	Peak gate voltage
V_{RGM}	Peak reverse gate voltage
P_{GM}	Peak gate power
$P_{G(AV)}$	Average gate power

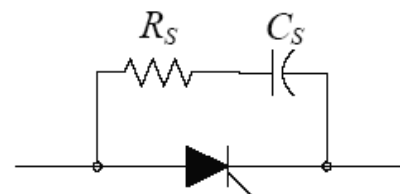
مشخصات مهم ترستور

۵- نرخ بحرانی تغییرات ولتاژ $(\frac{dv}{dt})_{cr}$



$$C_P = C_{\mu 1} + C_{\mu 2}$$

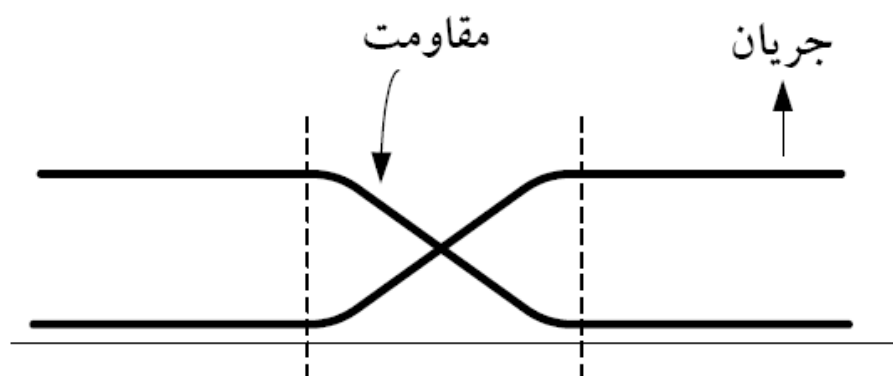
در واقع در لحظات اول که $\frac{dv}{dt}$ بسیار زیاد است، خازن C_S بصورت اتصال کوتاه عمل می‌نماید لذا ولتاژ دو سر ترستور در حد کوچکی خواهد ماند. مقاومت R_S و خازن C_S را می‌توان از روی جداول کارخانه سازنده ترستور تعیین کرد. به صورت نوعی R_S را حدود ۱۰۰ اهم و C_S را بین ۱۰ nF تا ۱۰۰ nF در نظر می‌گیرند. این مدار محافظ موازی با ترستور یا اسنابر موازی نامیده می‌شود.



مشخصات مهم ترستور



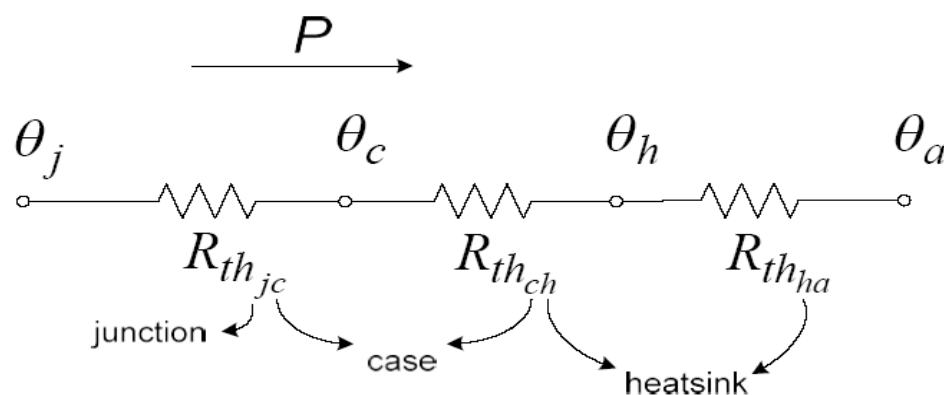
۶- نرخ بحرانی تغییرات جریان $(\frac{di}{dt})_{Cr}$



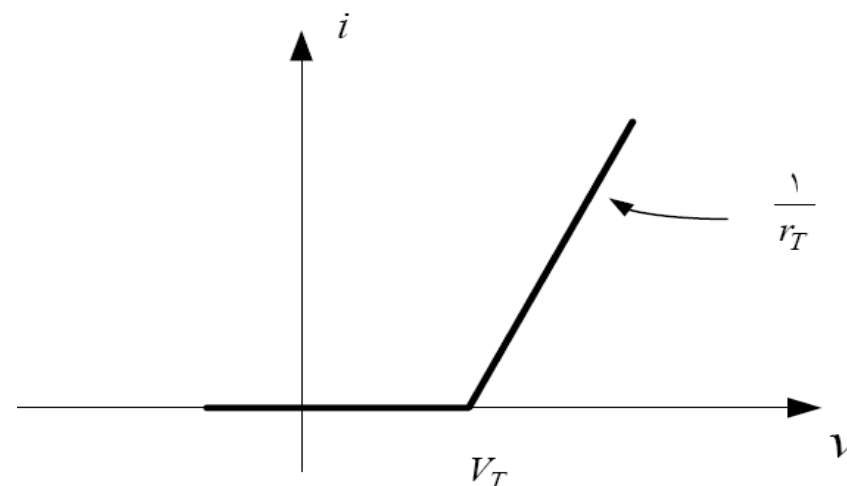
تغییرات مقاومت و جریان المان در حالت گذر از خاموشی به روشن شدن

مشخصات مهم ترستور

۷- حداکثر درجه حرارت پیوند ($\theta_{j\max}$)



شکل (۱-۳۰): مدار معادل حرارتی نیمه هادی



شکل (۱-۳۱): نمودار ولتاژ-جریان المان

$$v = r_T i + V_T$$

$$P = v.i$$

$$\theta = P.R_{th}$$

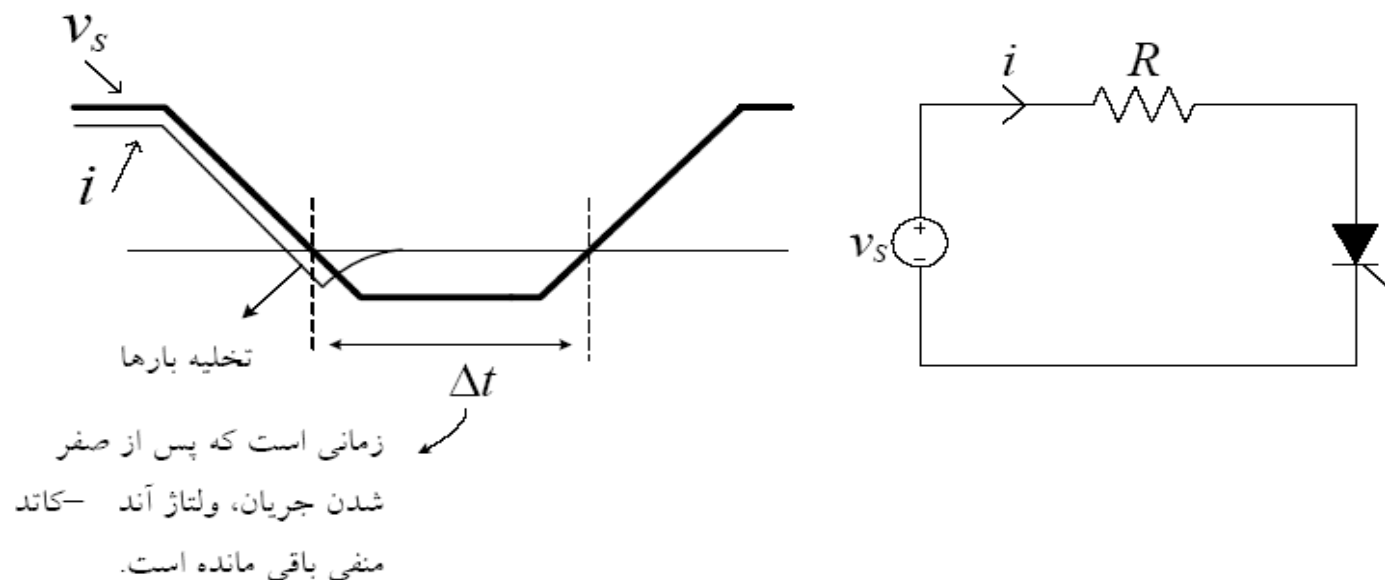
$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v.i dt = \frac{1}{T} \int_0^T (r_T i + V_T) i dt = r_T \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt + V_T \frac{1}{T} \int_0^T i dt$$

$$P_{av} = r_T I_{rms}^2 + V_T I_{av}$$

مشخصات مهم ترستور

زمان خاموش شدن ترستور (t_q)

■ **زمان خاموش شدن:** حداقل زمانی است که لازم است پس از صفر شدن جریان ترستور، ولتاژ دو سر آن کاتد منفی بماند تا ترستور در حالت خاموش (قطع) پایدار قرار گیرد. در غیر این صورت ترستور مجدداً بدون نیاز به جریان گیت روشن خواهد شد. در واقع مدت زمانی است که لازم است تا بارها کاملاً تخلیه شوند و ترستور با مثبت شدن مجدد ولتاژ، دوباره بصورت **خودبخود روشن** نگردد.



مشخصات مهم ترستور

جریان نگهدارنده^۱ و جریان قفل کننده^۲

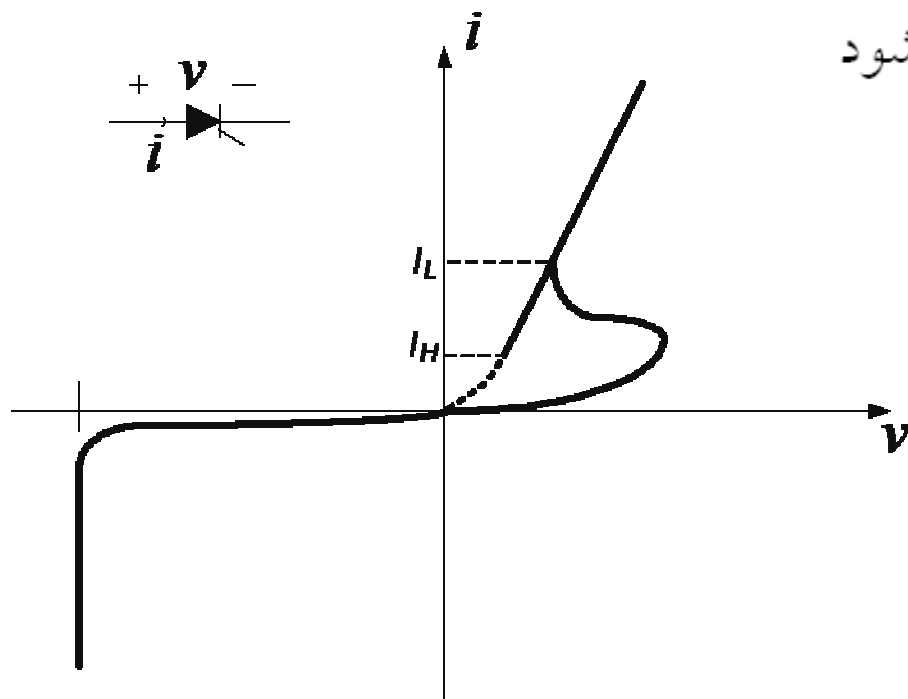
۱-Holding Current

۲-Latching Current

I_H حداقل جریانی است که وقتی SCR روشن است آنرا روشن نگه می‌دارد.

جریان قفل کننده به حداقل جریانی که برای روشن کردن SCR لازم است اطلاق می‌شود

اگر از SCR جریانی کمتر از I_L بگذرد روشن نمی‌شود





المان‌های الکترونیک صنعتی

مثال (۱-۲) :



المان‌های الکترونیک صنعتی

المان‌های الکترونیک صنعتی



راه حل



المان‌های الکترونیک صنعتی

مقایسه:

المان‌های الکترونیک صنعتی



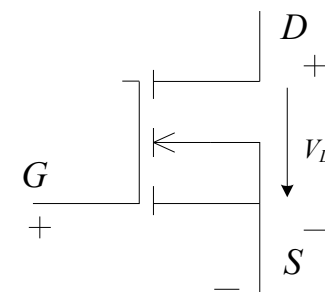
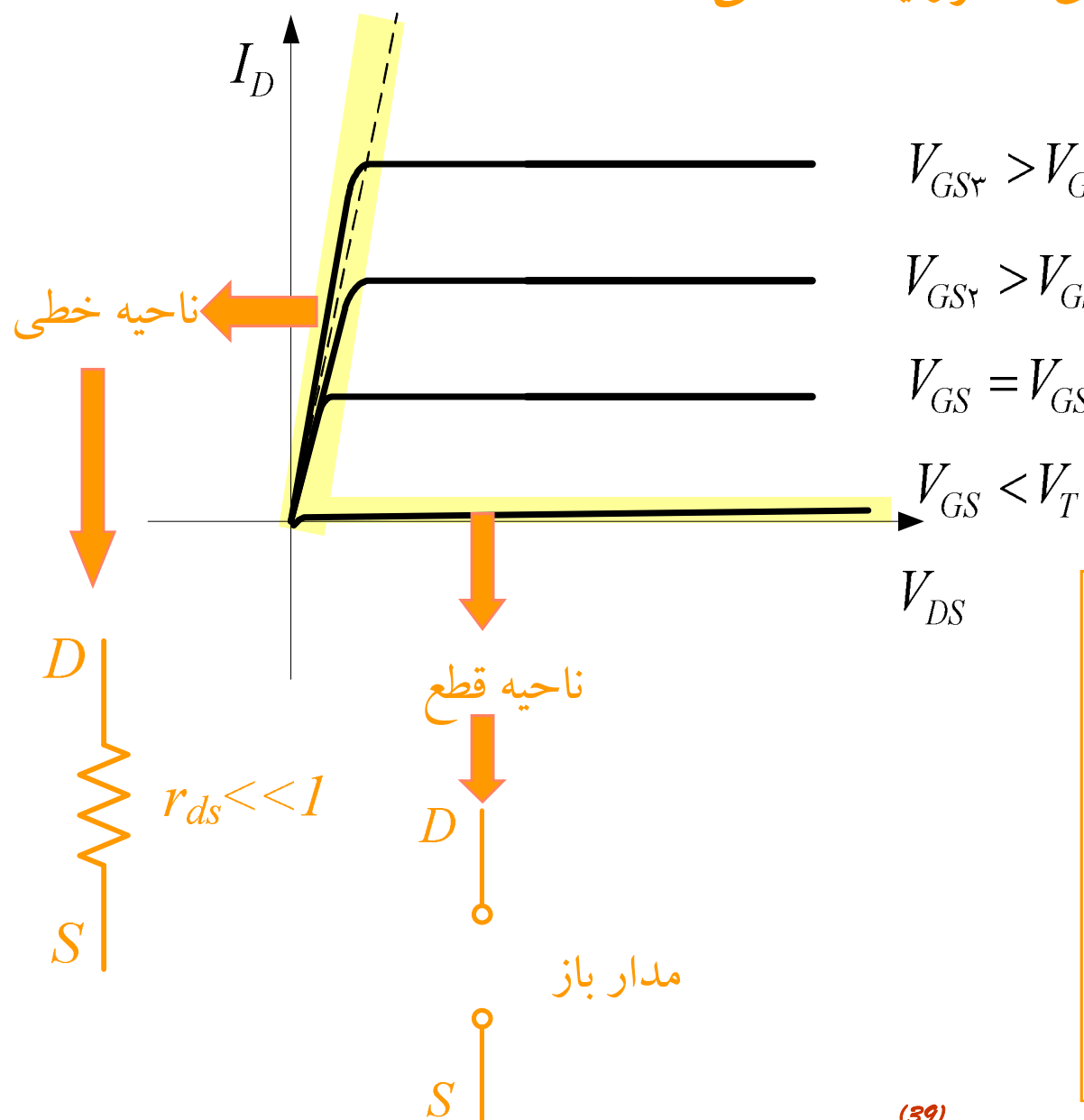
دانشگاه کاشان
گروه مهندسی برق

بطور خلاصه:

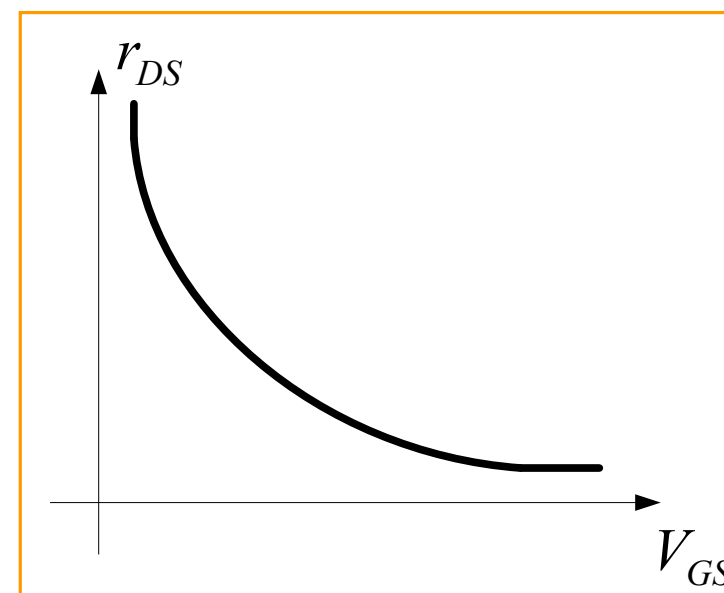


المان‌های الکترونیک صنعتی

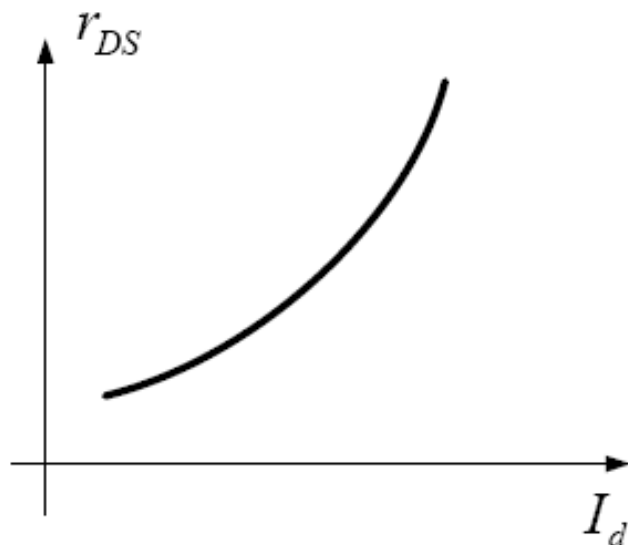
MOSFET قدرت



■ مشخصه



قدرت *MOSFET*

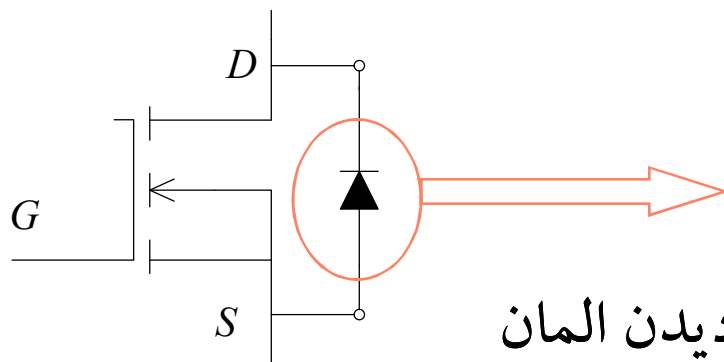


 تغییرات مقاومت r_{ds} بر حسب جریان درین

■ با افزایش جریان درین، مقاومت r_{ds} افزایش می‌یابد که علت آن مثبت بودن ضریب حرارتی *MOSFET* است

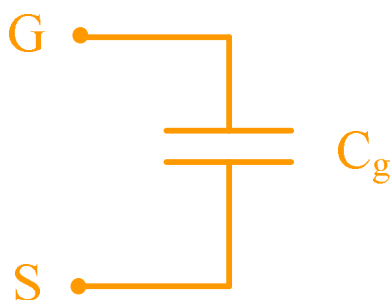
■ مشکل تقسیم جریان هنگام موازی کردن *MOSFET* ها وجود ندارد

قدرت *MOSFET* ➡



➡ دیود ذاتی موازی معکوس

➡ عبور جریان معکوس بدون آسیب دیدن المان



➡ مشخصه گیت

● با $V_{GS} = 15\text{ (v)}$ المان روشن و با $V_{GS} = 0\text{ (v)}$ المان خاموش میگردد.

■ Q_g (بار گیت) مقدار باری است که مدار درایو گیت باید به ترانزیستور تزریق نماید تا ولتاژ گیت از صفر به یک مقدار مشخص (معمولا ۱۰ ولت) برسد

■ مقدار Q_g می‌تواند شاخصی برای بیان سرعت کلیدزنی ترانزیستور باشد.

MOSFET قدرت

مشخصات چند *MOSFET* قدرت از نوع n کانال

شماره قطعه	ماکزیمم ولتاژ (ولت)	متوسط جریان (آمپر)	$R_{on} (\Omega)$	$Q_g(nc)$
IRFZ48	60	50	0.018	110
IRF510	100	5.6	0.04	8.3
IRF540	100	28	0.077	72
APT10M25BNR	100	75	0.025	171
IRF740	400	10	0.05	63
MTM15 N40E	400	15	0.3	110
APT 5025 BN	500	23	0.25	83
APT 1001 RBNR	1000	11	1	150

***MOSFET* قدرت**

■ برای ولتاژهای زیر ۵۰۰ ولت از بین سوئیچ‌های قدرت موجود بهترین گزینه *MOSFET* خواهد بود

■ در این شرائط (ولتاژ زیر ۵۰۰ ولت) افت ولتاژ مستقیم این المان از افت ولتاژ سایر المان‌ها کمتر بوده و سرعت کلیدزنی آن به مراتب از بقیه بالاتر است.

■ معمولاً زمان کلیدزنی این نوع ترانزیستور بین 50 ns تا 200 ns می‌باشد.

■ برای ولتاژ بالاتر از ۵۰۰ ولت المانهایی مانند *IGBT* افت ولتاژ مستقیم کمتری داشته و بر *MOSFET* ترجیح داده می‌شوند.

MOSFET قدرت

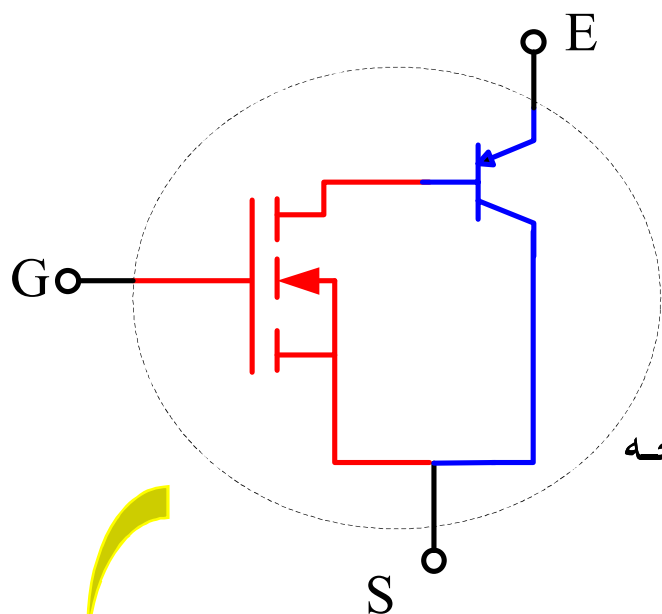
بطور خلاصه:

■ بدلیل ساختار گیت *MOSFET* خاموش و روشن کردن آن خیلی ساده است.

■ مقادیر نامی آن برای ولتاژ درین – سورس کمتر از ۵۰۰ ولت و جریان درین کمتر از ۳۰۰ آمپر و فرکانس کلیدزنی بالای چندصد کیلوهرتز میباشد.

■ مقاومت بین درین و سورس در حالت روشن، عامل محدود کننده استفاده از این المان بوده و عمده تلفات المان مربوط به این مقاومت است.

المان‌های الکترونیک صنعتی

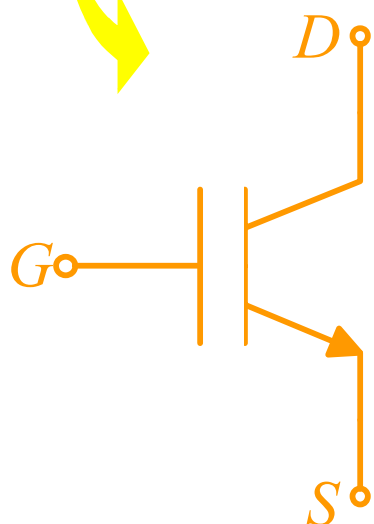


■ $MOSFET$ و BJT هر دو مزایا و معایبی هستند.

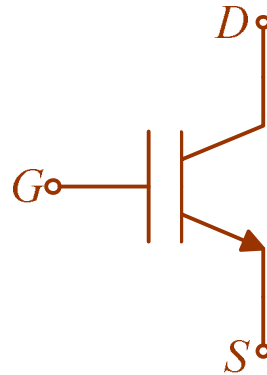
■ مزیت BJT : افت ولتاژ کم در زمان هدایت (روشن شدن) و در نتیجه کاهش تلفات زمان هدایت

■ مزیت $MOSFET$: فرمان گیت با ولتاژ (سادگی مدار فرمان) و سرعت بالای سوییچینگ

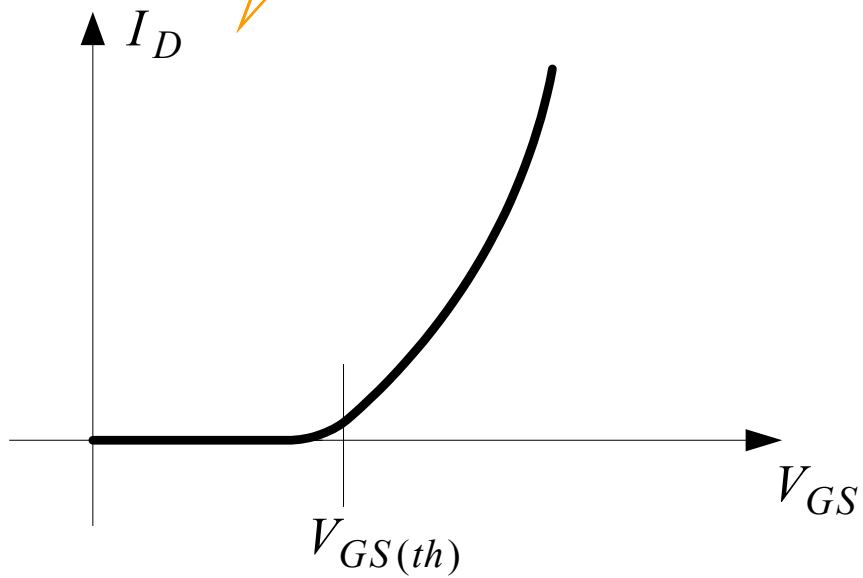
■ می‌خواهیم المانی داشته باشیم که ترکیبی از هر دو باشد و خواص خوب هر دو را یکجا داشته باشد: ترکیب دارلینگتونی، شامل $MOSFET$ و $BJT \Leftarrow Insulated Gate Bipolar Transistor$ $IGBT$



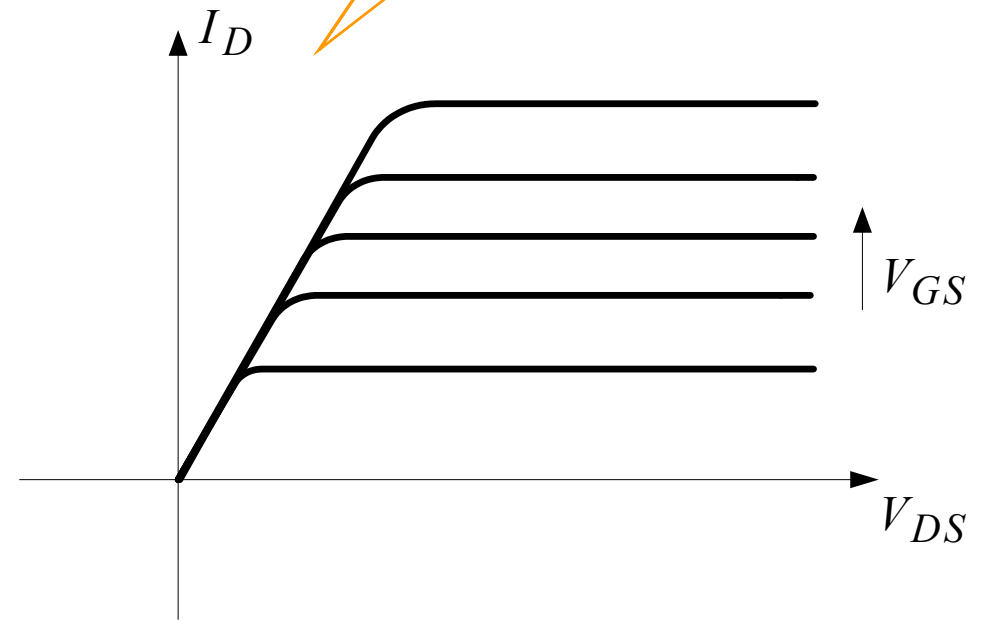
IGBT ➡



مشخصه ورودی



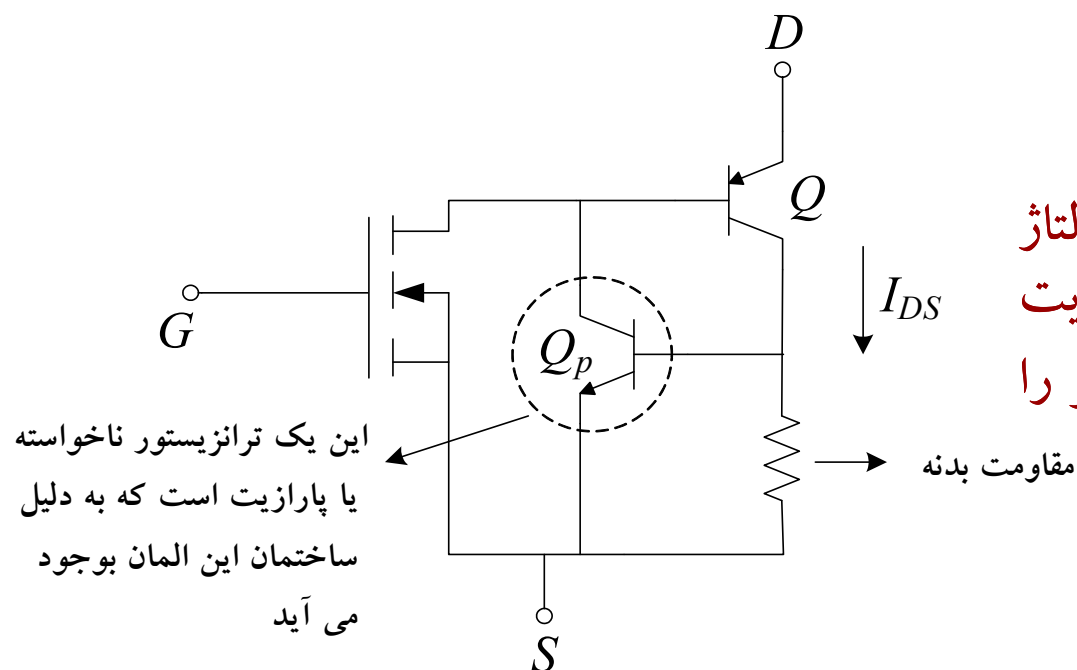
مشخصه خروجی



■ یک المان قابل کنترل که با V_{GS} مثبت هدایت کرده و با V_{GS} صفر (منفی) خاموش میشود.

■ اما دیده می شود که در بعضی مواقع اگر جریان I_{ds} از حد معمول بالاتر باشد، حتی اگر V_{GS} منفی شود بازهم به هدایت خود ادامه می دهد.

■ مدل کامل تر $IGBT$:



جریان I_{ds} اگر از حدی بیشتر شود چون افت ولتاژ روی مقاومت بدنه زیاد می شود، ترانزیستور پارازیت روشن خواهد شد و دو ترانزیستور BJT همدیگر را روشن نگه میدارند .

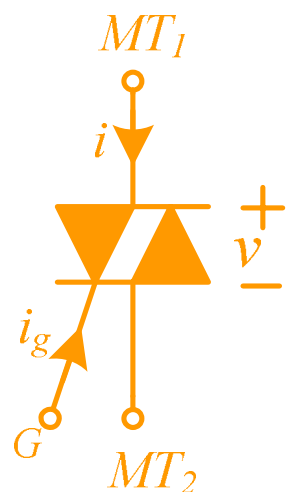
جدول (۱-۳): مشخصات چند IGBT

شماره قطعه	ماکزیمم ولتاژ معکوس (ولت)	متوسط جریان (آمپر)	افت ولتاژ زمان هدایت (ولت)	t_r ماکزیمم
HGTG32N60E2	۶۰۰	۳۲	۲,۴	$0.62 \mu s$
HGTG32N120D2	۱۲۰۰	۳۰	۳,۲	$0.58 \mu s$
CM400HA-12E	۶۰۰	۴۰۰	۲,۷	$0.3 \mu s$
CM300HA-24E	۱۲۰۰	۴۰۰	۲,۷	$0.3 \mu s$

این المان ترکیبی از BJT و $MOSFET$ میباشد. گیت آن مشابه گیت $MOSFET$ بوده و بهمین دلیل، المان براحتی خاموش و روشن میشود. از طرف دیگر بدلیل افت ولتاژ کم بین درین - سورس در حالت روشن (بین ۲ تا ۳ ولت) مشابه BJT دارای تلفات توان کم میباشد.

مقادیر نامی برای ولتاژ درین - سورس کمتر از $3/3$ کیلوولت و جریان درین کمتر از $2/1$ کیلوآمپر و فرکانس کلیدزنی بین ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز می باشد. حداکثر فرکانس کلیدزنی ۱۰۰ کیلوهرتز است.

ترایاک (Triac)



■ ترایاک می‌تواند جریان را از هر دو طرف عبور دهد و در ضمن قابل کنترل هم می‌باشد.

■ معمولاً مرجع، MT_2 است و برای تریگر نمودن گیت، ولتاژ آن با سر MT_2 مقایسه می‌شود.

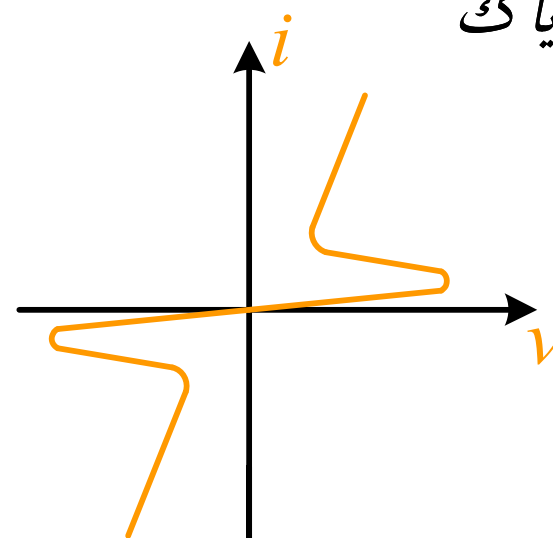
➡ مشخصه ترایاک

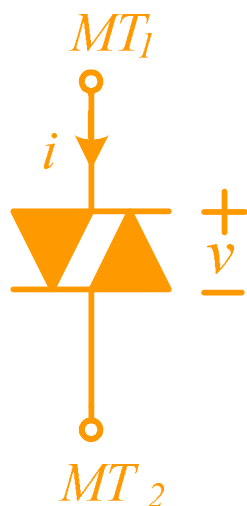
۱) $v > 0, i_g > 0$

۲) $v < 0, i_g < 0$

۳) $v > 0, i_g < 0$

۴) $v < 0, i_g > 0$



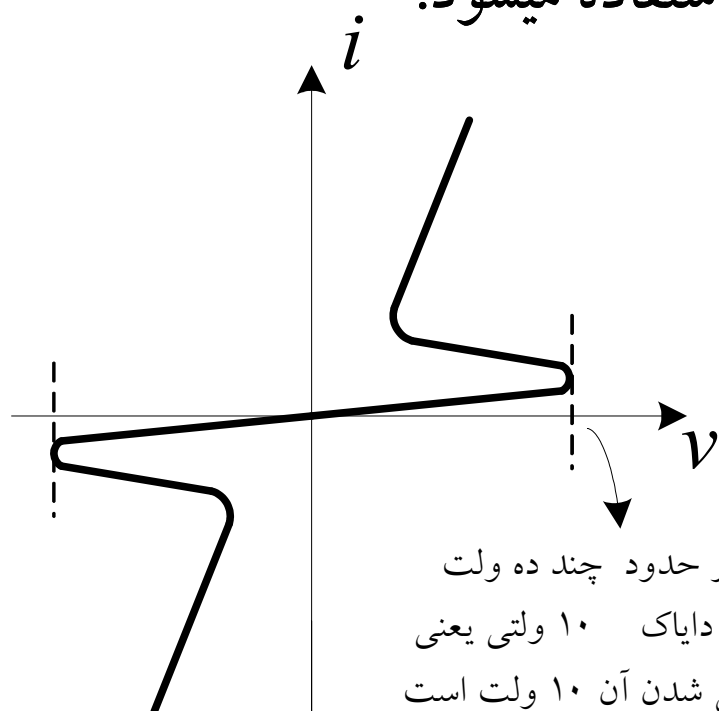


■ دایاک مانند ترایاک است اما گیت ندارد.

■ دایاک المان فرمان بوده که معمولاً با ترایاک با هم استفاده میشود.

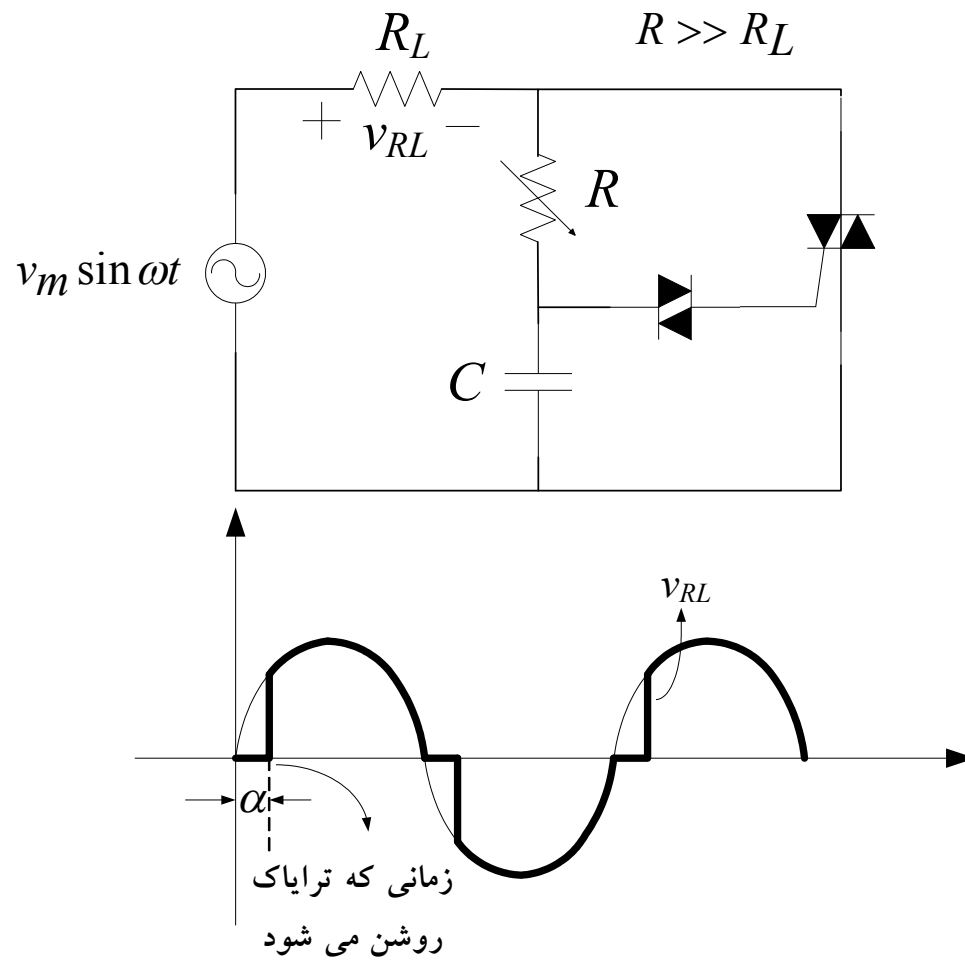
مشخصه دایاک

■ دایاک با ولتاژ شکست شناخته میشود (دایاک ۱۵ ولت و...)

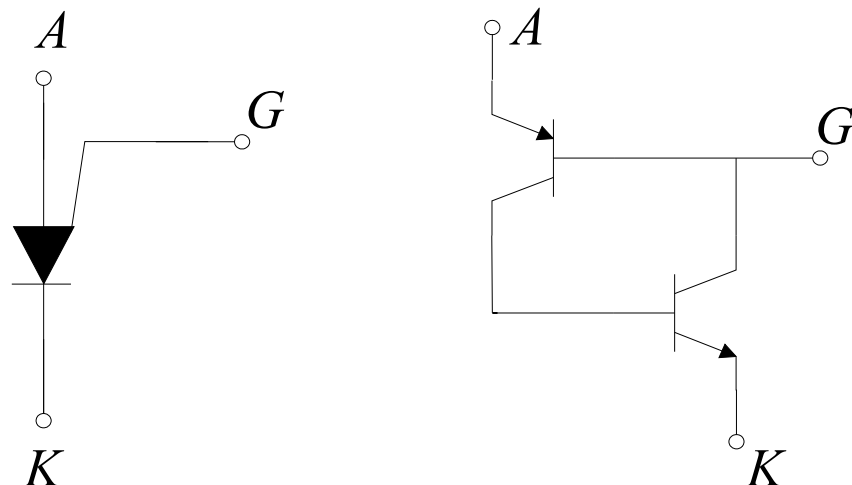


این ولتاژ در حدود چند ده ولت است. مثلاً دایاک ۱۰ ولتی یعنی ولتاژ روشن شدن آن ۱۰ ولت است

مثال



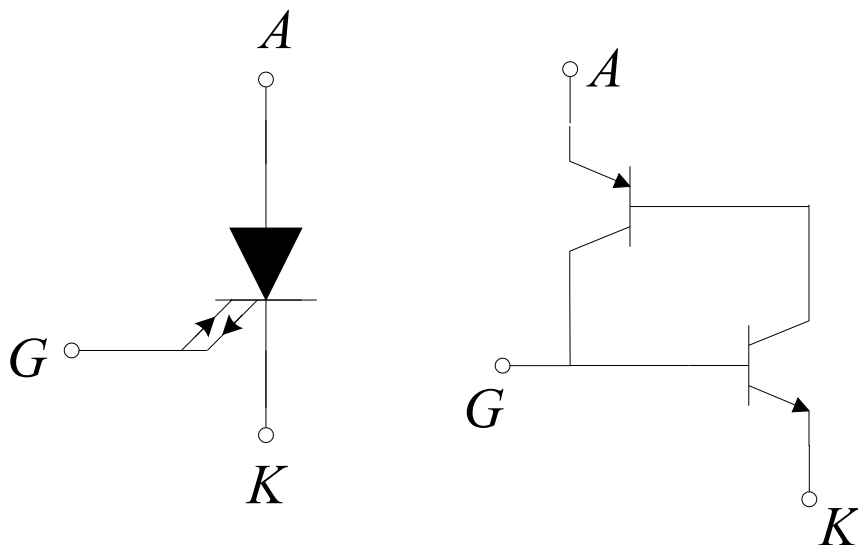
SCR مکمل



■ این المان شبیه SCR المان قدرت است ولی با جریان گیت منفی روشن می شود (باید از گیت جریان کشیده شود تا المان روشن شود)

■ حساسیت این المان از SCR کمتر است چون در SCR به گیت جریان داده می شود ولی در اینجا از گیت جریان کشیده می شود.

ترستور قابل خاموش شدن GTO



■ GTO یک المان چهار لایه و کاملاً شبیه SCR است.

■ این المان قابل کنترل بوده و بر عکس SCR که فقط می توانستیم آن را روشن کنیم، GTO را با فرمان (جریان مثبت) می توان روشن کرد و با کشیدن جریان منفی می توان آنرا خاموش کرد.

☞ ترستور قابل خاموش شدن GTO

☞ مدار فرمان

■ **فرمان روشن شدن:** ابتدا یک جریان گیت بزرگ I_G در حد ۱۰ آمپر در زمان ۱۰ میکروثانیه اعمال می شود و سپس یک جریان I_G پیوسته در حدود ۲ آمپر به گیت داده میشود.

■ **فرمان خاموش شدن:** در زمان خاموش کردن هم جریانی حدود یک سوم جریان آند با شیب بزرگ از گیت کشیده میشود .

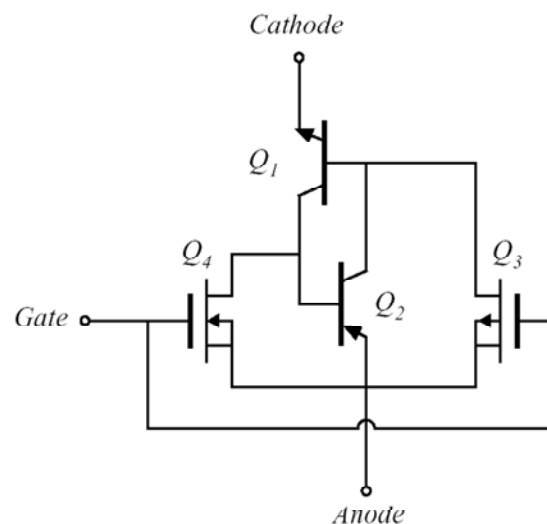
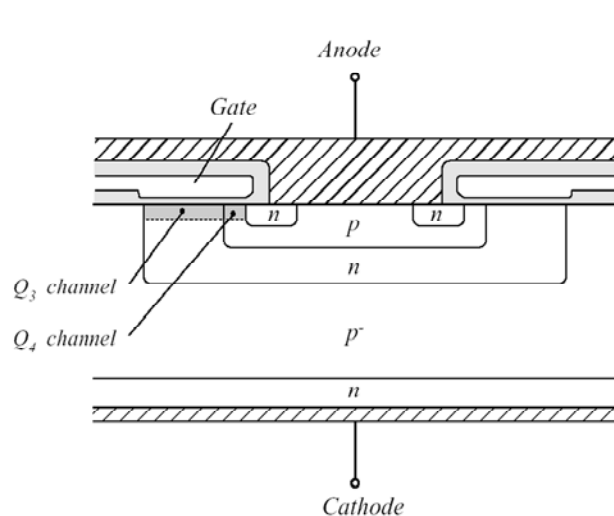
☞ ترستور قابل خاموش شدن GTO

■ بطور خلاصه

■ GTO شبیه SCR بوده ولی با جریان گیت میتوان آنرا خاموش کرد. گرچه بدلیل پیچیدگی مدار گیت خاموش کردن آن مشکل است.

■ مقادیر نامی برای ولتاژ آند-کاتد کمتر از ۵ کیلوولت و جریان آند کمتر از ۵ کیلوآمپر و فرکانس کلیدزنی کمتر از ۵ کیلوهرتز می باشد.

MCT: Mos-Controlled Thyristor



ساختمان و مدار معادل

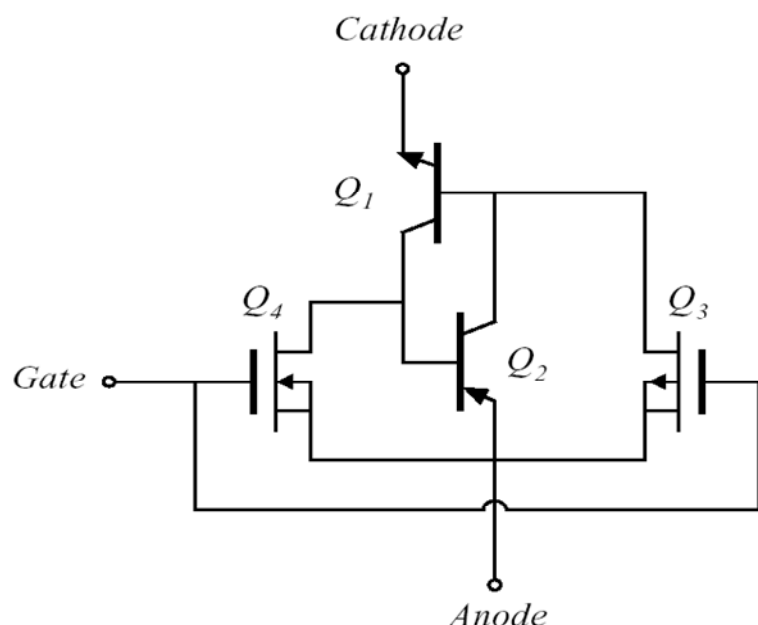
■ *MCT* نوع جدیدی از ادوات قدرت نیمه هادی است که قابلیت ولتاژ- جریان بالای تریستور را با قابلیت راحتی خاموش و روشن کردن *MOSFET* ترکیب کرده است.

■ از ویژگی‌های آن توان بالا، فرکانس کلیدزنی بالا و افت ولتاژ کم در زمان هدایت است.

■ در یک *MCT* واقعی حدود ۱۰۰۰۰۰ سلول مشابه شکل، با هم موازی می‌شوند.

***l*os-Controlled Thyristor :MCT**

نحوه خاموش و روشن شدن



■ پالس منفی ولتاژ گیت - آند باعث روشن شدن Q_3 شده و طبعا Q_1 و Q_2 در وضعیت روشن، قفل شده و در نتیجه MCT روشن می‌شود.

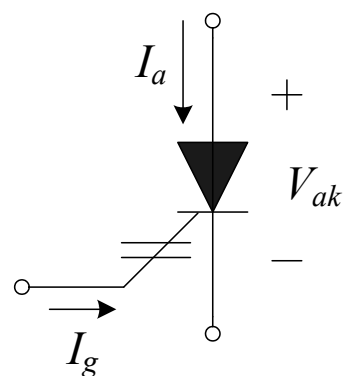
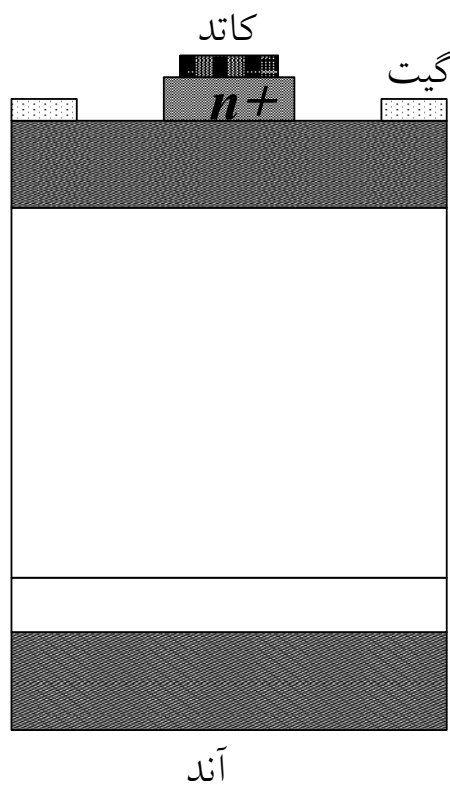
■ پالس مثبت ولتاژ گیت - آند باعث روشن شدن Q_4 شده و در نتیجه اتصال بیس - امیتر ترانزیستور Q_2 بایاس معکوس شده و خاموش می‌شود و MCT خاموش خواهد شد.

Mos-Controlled Thyristor :MCT

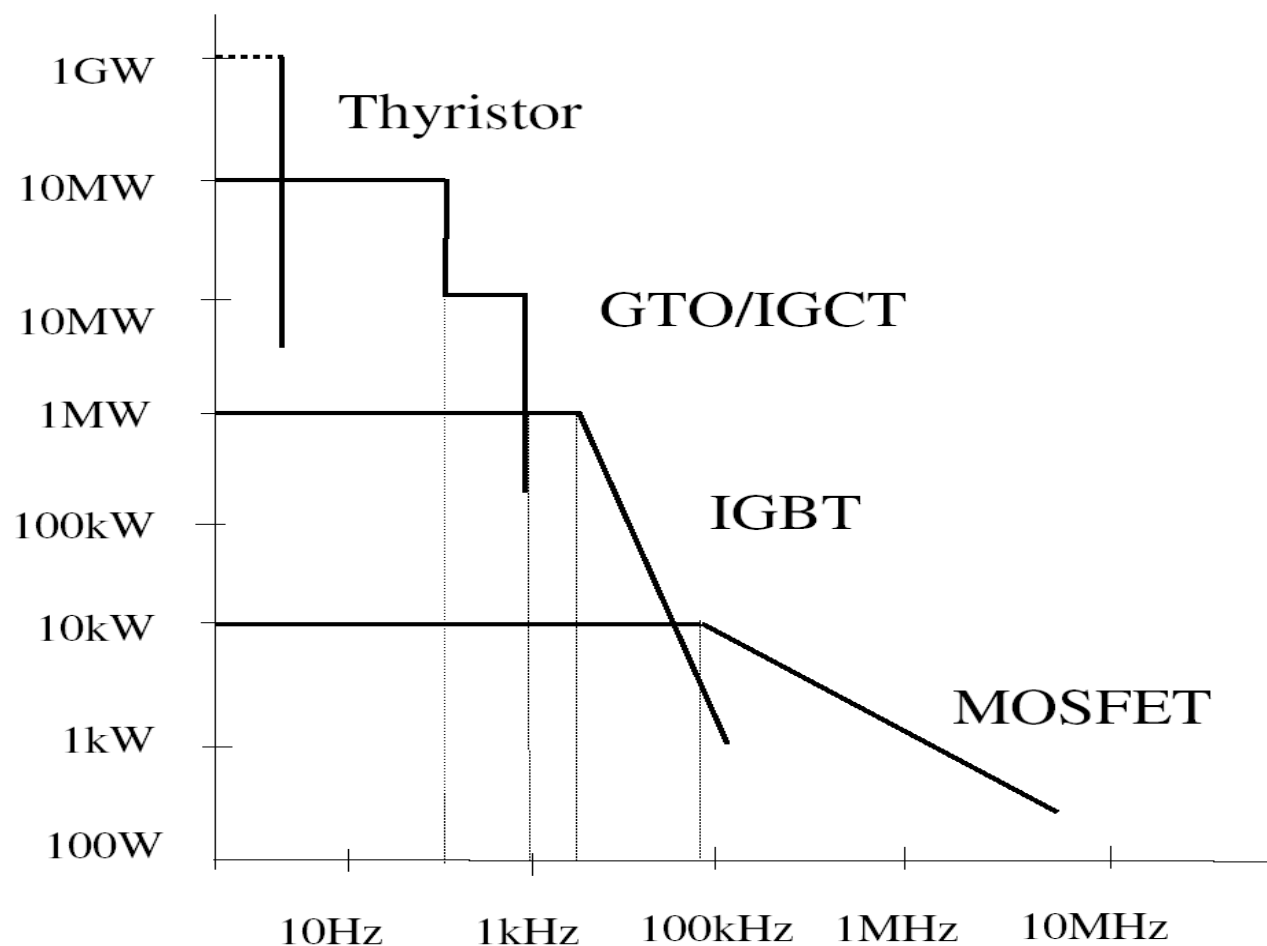
- MCT از نوع n از نظر عملی کاربرد وسیعتری دارد
- شرکت های سازنده در حال ساخت تجاری آن هستند.
- مزیت یک MCT بر IGBT افت ولتاژ کم آن در زمان هدایت می باشد. MCT دارای زمان کلیدزنی نسبتا پائین و عبور جریان با دانسیته بالا و قابلیت بلوکه نمودن ولتاژ در دو جهت می باشد.
- MCT را می توان مستقیما توسط گیت های منطقی درایو (روشن و خاموش) نمود.
- مقدار di/dt بحرانی بالا (حدود $2500 A/\mu Sec$) و dv/dt بحرانی بالا (حدود $20000 V/\mu Sec$) از ویژگی های MCT می باشند.
- بدلیل ویژگی های مناسب، پیش بینی می شود که MCT در آینده در کاربردهایی از قبیل درایو موتورهای الکتریکی، منابع تغذیه غیر قابل قطع (UPS)، جبران کننده های استاتیکی توان راکتیو (SVC) و فیلترهای اکتیو قدرت مورد استفاده قرار می گیرد.



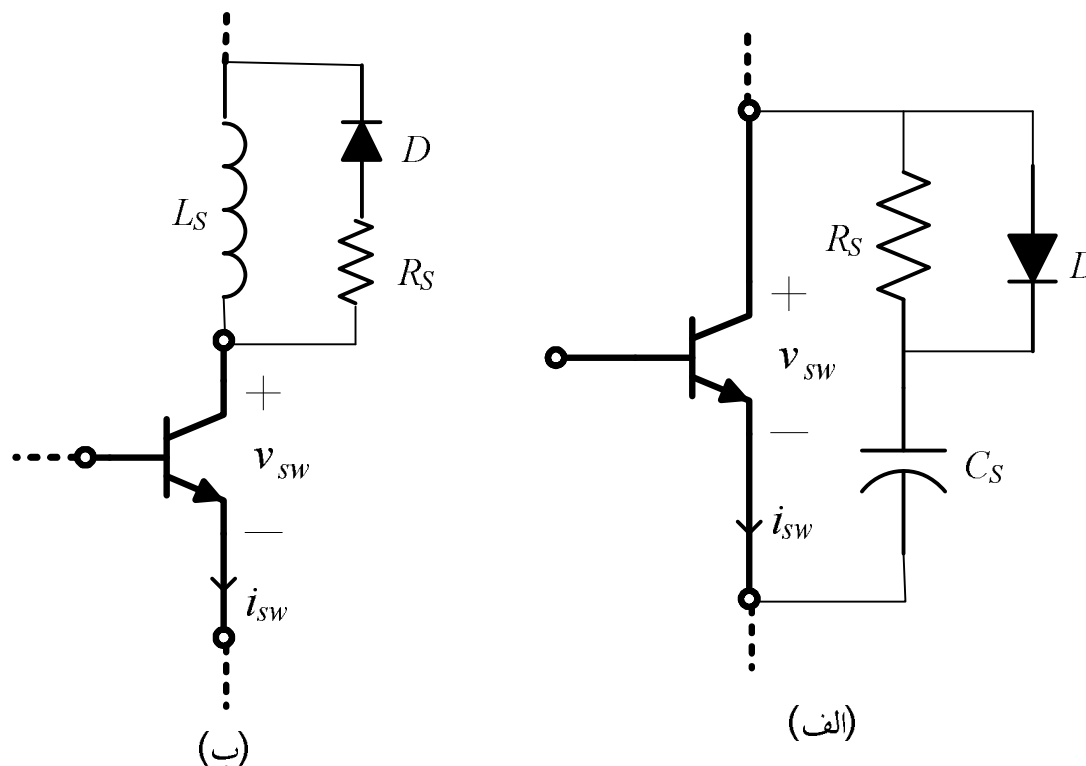
Insulated Gate-Commutated Thyristor :IGCT



مقایسه مشخصات ادوات نیمه هادی قدرت

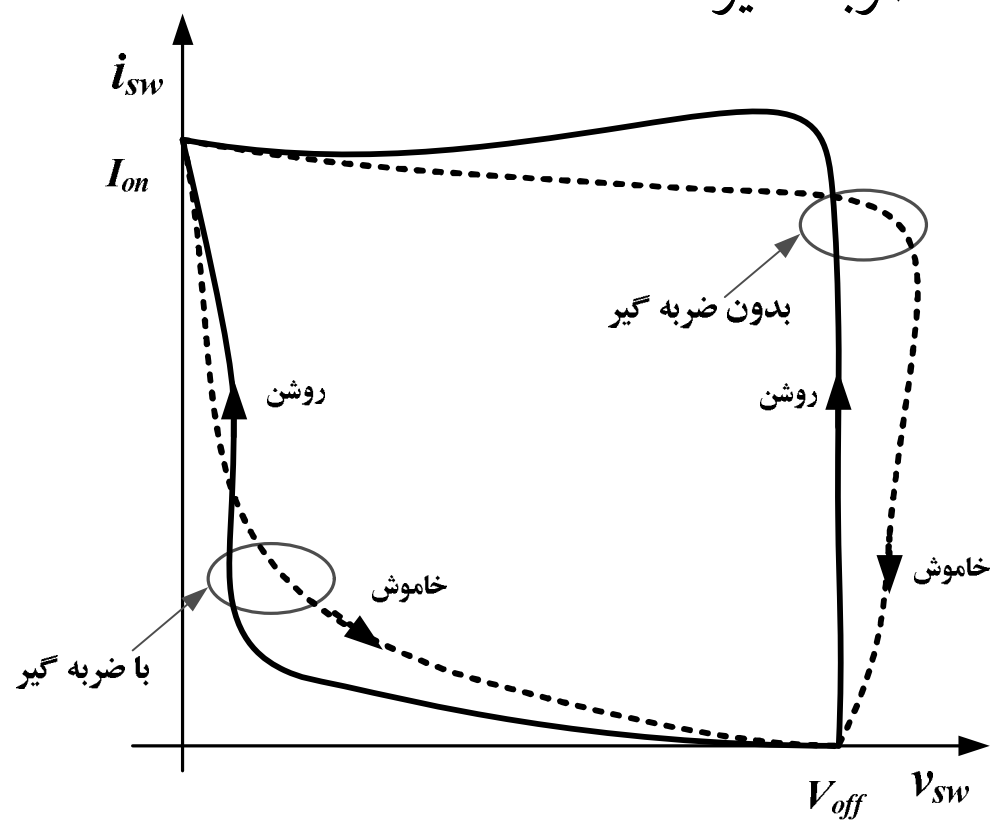


مدارات ضربه-گیر



مدارات ضربه-گیر، (الف) مدار ضربه-گیر حین خاموشی، (ب) مدار ضربه-گیر حین روشن کردن

مدارات ضربه-گیر



نحوه تغییرات ولتاژ و جریان سوییچ در حین کلیدزنی