

دانشکده مهندسی برق

## فصل دوم

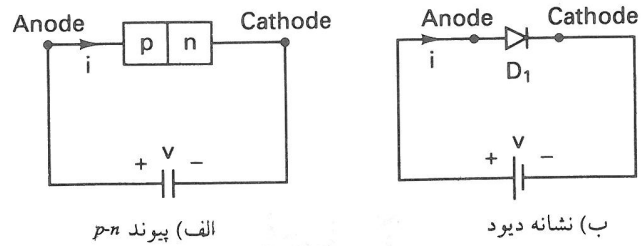
## شناخت عناصر الکترونیک صنعتی



# دیودهای قدرت



## دیودهای قدرت





## دیوهای قدرت

▪ دیوهای 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

۵

منبع و آزاد سازی انرژی ذخیره شده را انجام می‌دهد.



## دیوهای قدرت

مشخصه های دیود (معادله دیود شاکلی):

$$I_D = I_s (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

▪  $I_D$  : جریان دیود

▪  $V_D$  : ولتاژ دیود


▪  $I_s$  : جریان نشتی یا اشباع معکوس (عددی بین  $10e-6$  تا  $10e-15$ )

▪  $n$  : ثابت تجربی بنام ضریب گسیل (ایده آلی) مقدار آن از ۱ تا ۲

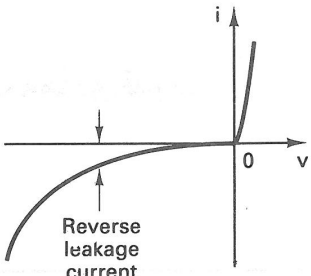
▪  $V_T$  : ثابتی به نام ولتاژ خروجی ( $V_T = kT/q$ )

۶

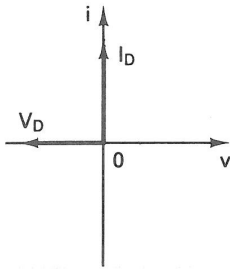
www.Ghaffarpour.ir



## دیوذهای قدرت



الف) عملی



ب) ایده آل

مشخصه ولت آمپر یک دیود

۷

www.Ghaffarpour.ir

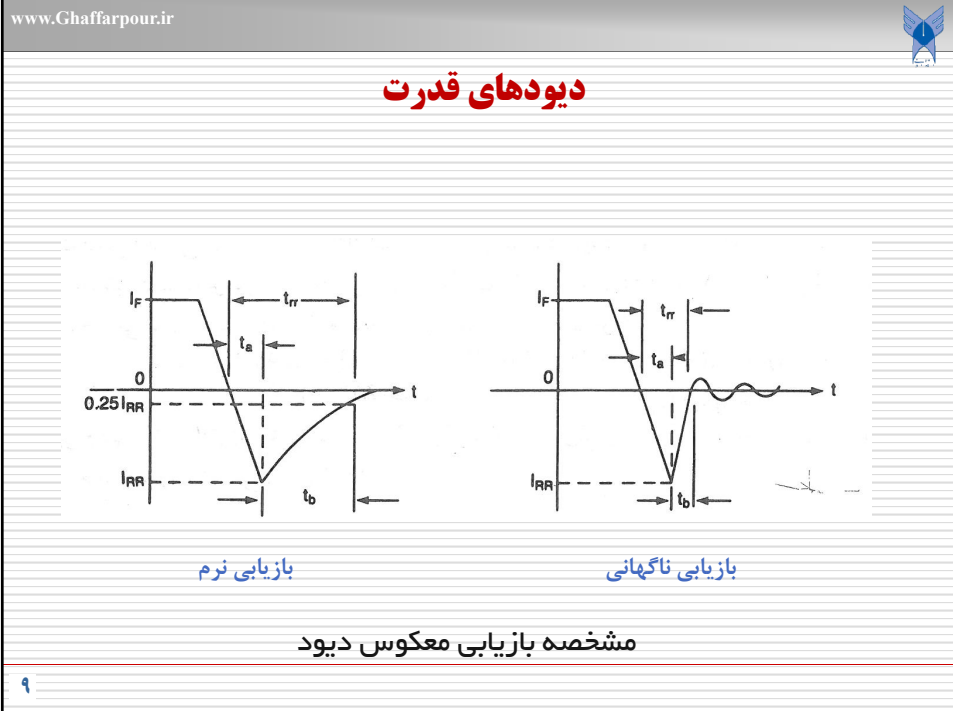


## دیوذهای قدرت

### نواحی کارکرد

- $v_d > 0$ 
◀
▪ ناحیه بایاس مستقیم
- $v_d < 0$ 
◀
▪ ناحیه بایاس معکوس
- $v_d < -V_{zk}$ 
◀
▪ ناحیه شکست

۸





## تریستورها



## تریستور

- تریستورها از مهمترین قطعات نیمه هادی قدرت هستند و در مدارهای الکترونیک قدرت زیاد بکار گرفته می‌شوند.
- این عناصر کلیدهای دو حالته‌ای هستند که از حالت قطع به وصل در می‌آیند.
- هنگامی که ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت تر باشد و گیت تریگر شود تریستور در بایاس مستقیم قرار گرفته و هدایت می‌کند. هدایت کردن این قطعه به وسیله جریان تریگر گیت کنترل می‌شود.



## تریستور


- تریستورها در مقایسه با ترانزیستورها از تلفات حالت روشن پایین تر و قابلیت کنترل توان بالاتری دارند.
- ترانزیستورها دارای عملکرد کلیدزنی بهتری بخصوص از نظر سرعت کلید زنی و تلفات کلیدزنی می باشند.
- اکثر کاربرد تریستورها در توان های بالا می باشد.



## شکل ظاهری تریستور

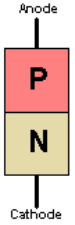


www.Ghaffarpour.ir

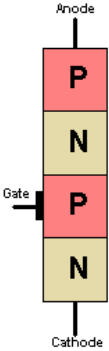


### ساختمان نیمه هادی تریستور

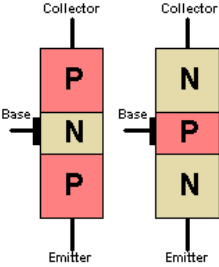
**Diode**

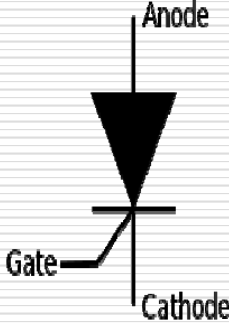


**Thyristor**




**Bipolar Transistors**





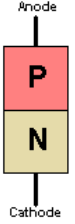
۱۵

www.Ghaffarpour.ir

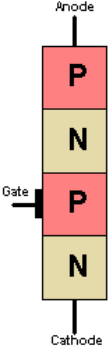


### ساختمان نیمه هادی تریستور

**Diode**




**Thyristor**



J1

J2

J3

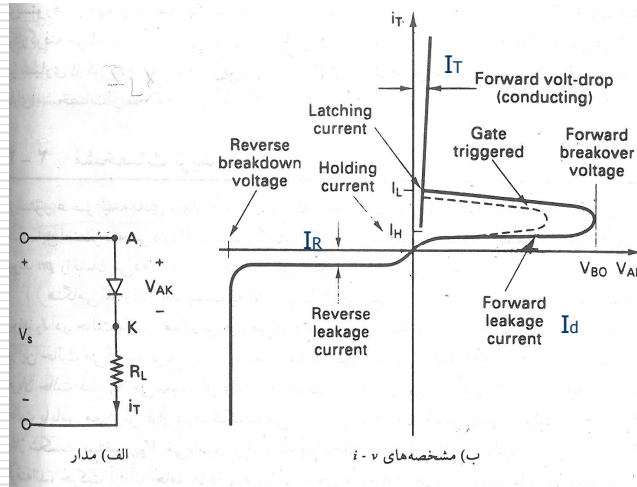


۱۶

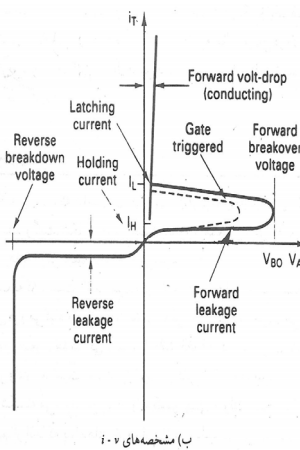




### منحنی مشخصه تریستور



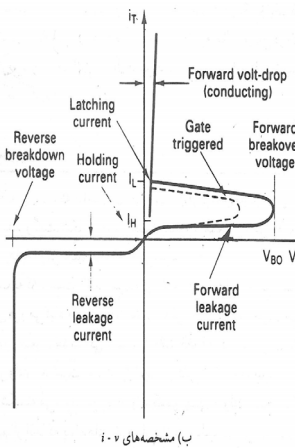
### منحنی مشخصه تریستور



- **جریان نشتی مستقیم:** هنگامی که ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد، پیوندهای **J1** و **J3** بایاس مستقیم و پیوند **J2** بایاس معکوس است. جریان نشتی از آند به کاتد جاری است. (**I<sub>D</sub>**)
- **ولتاژ شکست مستقیم:** اگر ولتاژ آند نسبت به کاتد به قدر کافی زیاد شود پیوند **J2** که در بایاس معکوس است شکسته می‌شود. (**V<sub>BO</sub>**)
- **جریان تریستور (جریان متوسط و موثر):** با شکسته شدن پیوند تریستور در حالت هدایت قرار می‌گیرد و حرکت آزاد حامل‌ها در سه پیوند، منجر به برقراری جریات قابل ملاحظه مستقیم می‌شود. (**I<sub>T</sub>**)
- **ولتاژ حالت روشن (افت ولتاژ مستقیم):** به خاطر مقاومت اهمی چهار لایه، افت ولتاژی در حدود ۱-۱/۵ ولت مشاهده می‌شود. (**V<sub>T</sub>**)



### منحنی مشخصه تریستور

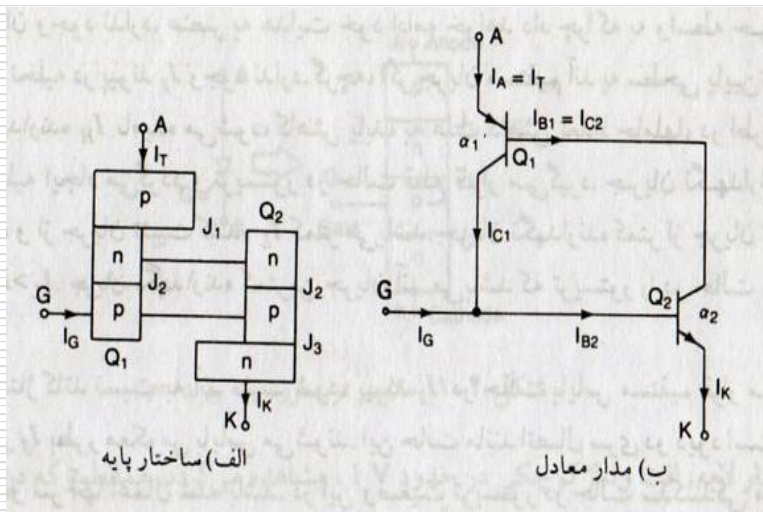


(ب) مشخصه‌های i-v

- جریان تثبیت کننده:** برای آنکه تعداد کافی از حامل‌ها در پیوند جریان یابد، جریان آند باید از یک حداقلی بیشتر باشد. (Latching Current) حداقل جریان آند کاتد تریستور بلافاصله پس از روشن شدن تریستور و قطع جریان گیت را می‌گویند برای اینکه تریستور در حال روشن قرار گیرد. ( $I_L$ )
- جریان نگهدارنده:** اگر جریان آند کاتد تریستور به سطحی پایین‌تر از جریانی به نام جریان نگه دارنده برسد، به علت کاهش تعداد حامل‌ها، در اطراف پیوند  $J_2$  یک ناحیه تخلیه ایجاد می‌شود و تریستور در حالت قطع قرار می‌گیرد. ( $I_H$ ) (Holding Current)
- جریان نشستی معکوس:** اگر ولتاژ آند کاتد منفی باشد پیوند  $J_2$  بایاس مستقیم و  $J_1$  و  $J_3$  بایاس معکوس هستند. تریستور در وضعیت سد کننده معکوس قرار دارد و جریان نشستی معکوس عبور می‌کند. ( $I_R$ )



### مدل دو ترانزیستوری تریستور



(الف) ساختار پایه

(ب) مدار معادل



## روش‌های روشن شدن 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 و باید از آن اجتناب شود.

### نور:

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

### ولتاژ زیاد:

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



## روش‌های روشن شدن تریستور

### $dv/dt$ :

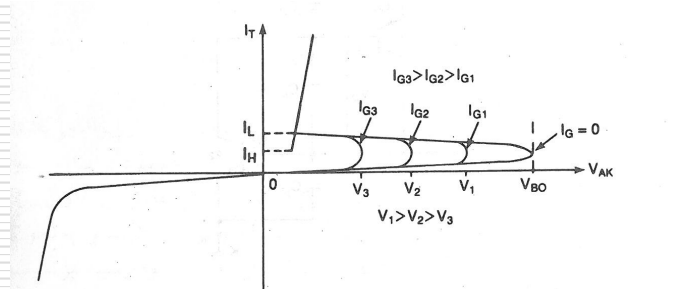
اگر نرخ افزایش ولتاژ آند به کاتد زیاد باشد، ممکن است شارژ پیوندهای خازنی به اندازه کافی بزرگ شده و منجر به روشن شدن تریستور شود. این جریان زیاد به تریستور آسیب می‌رساند و تریستور را باید در برابر این تغییرات حفاظت کرد.

### جریان گیت:

اگر تریستور در حالت بایاس مستقیم قرار داشته باشد، تزریق جریان به گیت منجر به روشن شدن تریستور خواهد شد. این کار با اعمال ولتاژ مثبت بین پایه‌های گیت و کاتد عملی می‌گردد.



## تأثیر جریان گیت بر منحنی مشخصه تریستور



با افزایش جریان گیت، ولتاژ شکست مستقیم کاهش پیدا می‌کند.



## نکات برای طراحی مدارهای فرمان تریستور

### نکته ۱:

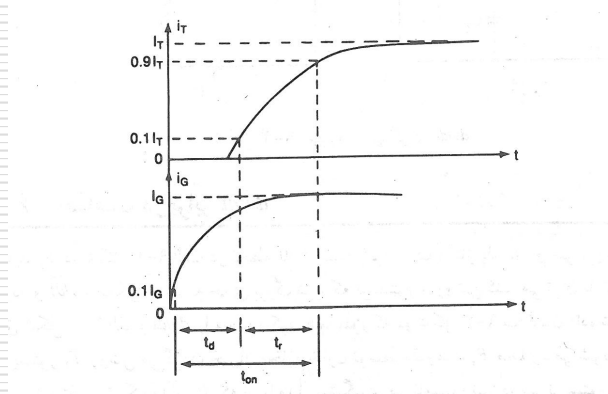
پس از روشن شدن تریستور، باید سیگنال از روی گیت برداشته شود. ادامه اعمال سیگنال به گیت، تلفات توان در پیوند گیت را افزایش می‌دهد.

### نکته ۲:

در حالتی که تریستور در بایاس معکوس قرار دارد نباید به گیت آن سیگنال اعمال کرد. زیرا باعث افزایش جریان نشستی معکوس تریستور می‌شود.



## زمان روشن شدن تریستور



شکل موج جریان آند کاتد پس از اعمال سیگنال به گیت (مشخصه‌های روشن شدن)



## نکات برای طراحی مدارهای فرمان تریستور

### نکته ۳:

پهنای پالس گیت باید طولانی تر از زمان رسیدن جریان آند به کاتد به جریان تثبیت کننده باشد. یعنی در عمل پهنای پالس بیشتر از زمان روشن شدن تریستور باشد.

### نکته ۴:

معمولاً به جای یک پالس پیوسته از چند پالس گسسته برای گیت استفاده می‌شود که اصطلاحاً به آن **قطار پالس** گفته می‌شود.

www.Ghaffarpour.ir



## حفاظت تریستور

- حفاظت قدرت
- حفاظت فرمان

۲۷

www.Ghaffarpour.ir



## حفاظت تریستور

### حفاظت قدرت

- حفاظت در برابر تغییرات آنی جریان ( $di/dt$ )
- حفاظت در برابر تغییرات آنی ولتاژ ( $dv/dt$ )

۲۸

www.Ghaffarpour.ir

حفاظت تریستور

## حفاظت $di/dt$

۲۹

www.Ghaffarpour.ir

حفاظت تریستور

## حفاظت $dv/dt$

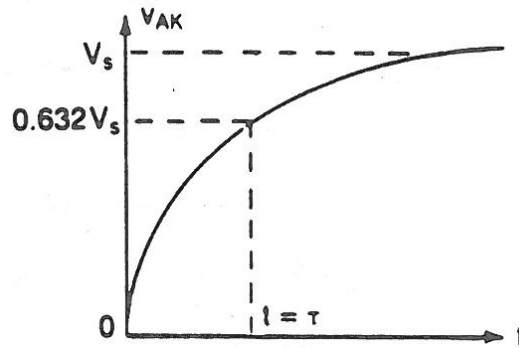
مدار اسنابر  
Snubber Circuit

۳۰



## حفاظت تریستور

# حفاظت $dv/dt$



## حفاظت تریستور

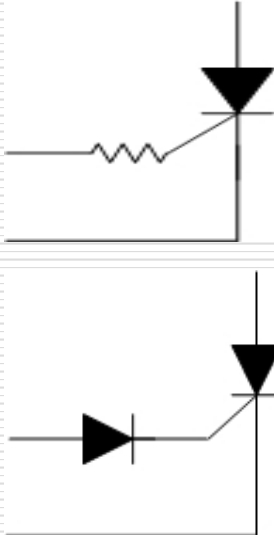
### حفاظت فرمان

- مقاومت سری
- دیود سری
- دیود موازی
- مقاومت موازی
- خازن موازی



www.Ghaffarpour.ir

حفاظت ترستور



■ مقاومت سری

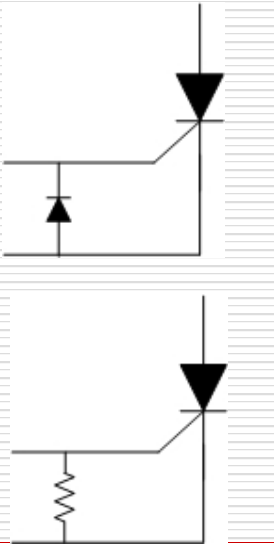
■ دیود سری

۳۳

Detailed description: This slide shows two circuit diagrams for thyristor protection. The top diagram shows a resistor connected in series with the gate terminal of a thyristor. The bottom diagram shows a diode connected in series with the gate terminal, with its cathode towards the gate. The text 'حفاظت ترستور' is at the top, and 'مقاومت سری' and 'دیود سری' are to the right of the diagrams. The website 'www.Ghaffarpour.ir' is in the top left, and the number '۳۳' is in the bottom left.

www.Ghaffarpour.ir

حفاظت ترستور



■ دیود موازی

■ مقاومت موازی

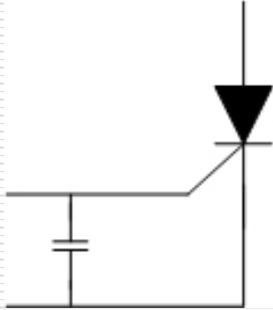
۳۴

Detailed description: This slide shows two circuit diagrams for thyristor protection. The top diagram shows a diode connected in parallel with the gate terminal, with its cathode towards the gate. The bottom diagram shows a resistor connected in parallel with the gate terminal. The text 'حفاظت ترستور' is at the top, and 'دیود موازی' and 'مقاومت موازی' are to the right of the diagrams. The website 'www.Ghaffarpour.ir' is in the top left, and the number '۳۴' is in the bottom left.

www.Ghaffarpour.ir

حفاظت ترستور

خازن موازی



۳۵

The diagram illustrates a protection circuit for a transistor. It shows a common input line that branches into two parallel paths. The first path contains a capacitor, and the second path contains a diode with its cathode pointing towards the input line. This configuration is used to protect the transistor's base-emitter junction from voltage spikes.

www.Ghaffarpour.ir

---

عناصر خانواده ترزیستور

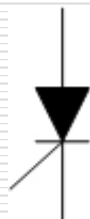
۳۶

The slide features a horizontal red bar above the title. The title is centered and written in a large, bold, red font.



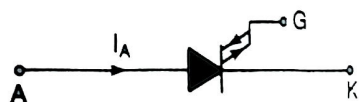
### عناصر خانواده تریستور

۱- تریستورهای کنترل فاز (Phase Control SCR)



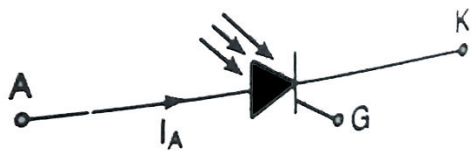
۲- تریستورهای کلیدزنی سریع (Fast Switching SCR)

۳- تریستورهای خاموش شونده با گیت (GTO)

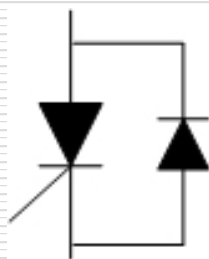


### عناصر خانواده تریستور


۴- تریستورهای فعال شونده با نور (LASCR)



۵- تریستورهای هدایت معکوس (RCT)

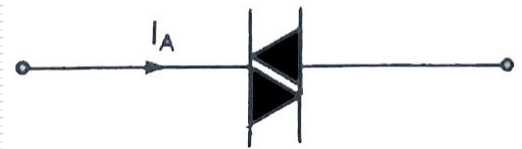


www.Ghaffarpour.ir




### عناصر خانواده تریستور

۶- دیاک (DIAC)



۷- تریاک (TRIAC)



۳۹

www.Ghaffarpour.ir



### عناصر خانواده تریستور

#### از کاربردهای تریاک

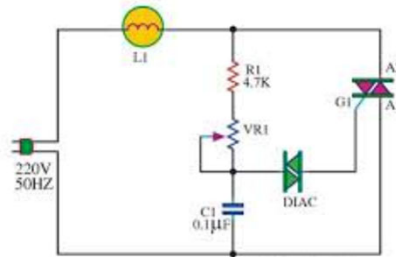
- تغییر نور لامپ ها و کنترل روشنایی (دایمر)
- تنظیم جریان در دستگاه‌های تکفاز مانند اجاق‌های برقی، وسایل گرم کننده الکتریکی و ....
- تغذیه استاتور موتورهای آسنکرون به منظور تنظیم سرعت
- جهت تثبیت ولتاژ و فرکانس شبکه با تزریق توان راکتیو

۴۰



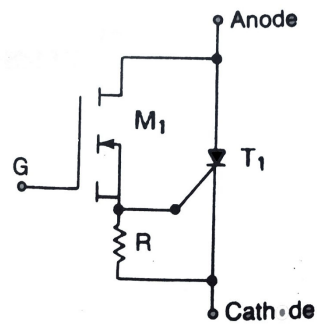
## عناصر خانواده تریستور

### مدار دایمر



## عناصر خانواده تریستور

### ۸- تریستورهای کنترل شده از نوع FET (FET-CTH)

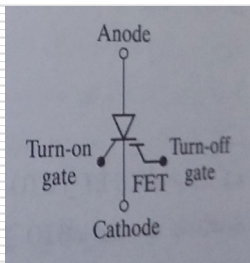
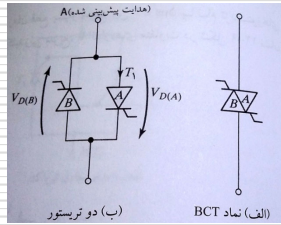




### عناصر خانواده تریستور

#### ۹- تریستورهای کنترل فاز دو جهته (BCT)

Bi-directional controlled Thyristor



#### ۱۰- تریستورهای خاموش شونده (MTO)

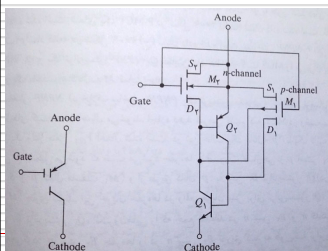
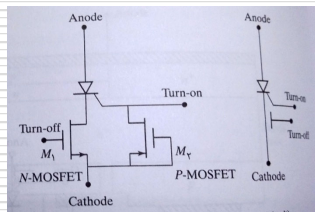
ترکیبی از MOSFET و GTO



### عناصر خانواده تریستور

#### ۱۱- تریستورهای خاموش شونده با امیتر (ETO)

Emitter turn off Thyristor



#### ۱۲- تریستورهای کنترل شده Mos (MCT)

MOS-Controlled Thyristor



## عناصر خانواده ترانزیستور




### عناصر خانواده ترانزیستور

۱- ترانزیستورهای پیوند دوقطبی **BJT**  
(Bipolar Junction Transistor)

۲- ترانزیستورهای اثر میدانی با اکسید فلز **MOSFET**  
(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)

۳- ترانزیستورهای دوقطبی با گیت عایق شده **IGBT**  
(Insulated Gate Bipolar Transistor)

www.Ghaffarpour.ir



### عناصر خانواده ترانزیستور


۱- ترانزیستورهای پیوند دوقطبی BJT

نوع مثبت

نوع منفی

۴۷

www.Ghaffarpour.ir



### عناصر خانواده ترانزیستور

۱- ترانزیستورهای پیوند دوقطبی BJT

مشخصه ورودی

مشخصه خروجی

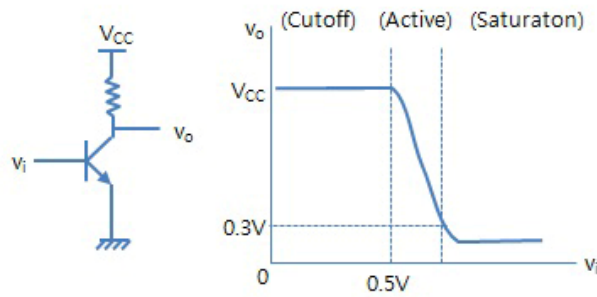
۴۸





## عناصر خانواده ترانزیستور

### ۱- ترانزیستورهای پیوند دو قطبی BJT



مشخصه انتقال

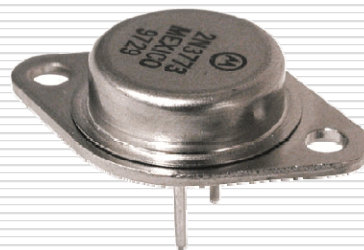


## عناصر خانواده ترانزیستور

### ۱- ترانزیستورهای پیوند دو قطبی BJT



Model: 2N3055 / 2N3771 / 2N3772 / 2N3773  
10 w ~ 250 w  
10 A ~ 30 A



www.Ghaffarpour.ir

**عناصر خانواده ترانزیستور**

**MOSFET - ۲**

Enhancement MOSFET  
channel construction

N-channel MOSFET      P-channel MOSFET

Enhancement Type  
(normally-off)

Depletion Type  
(normally-on)

۵۱

www.Ghaffarpour.ir

**عناصر خانواده ترانزیستور**

**MOSFET - ۲**

Mosfet

۵۲



## عناصر خانواده ترانزیستور

### مزایای MOSFET :

- عنصر کنترل شونده با ولتاژ
- امپدانس ورودی بسیار زیاد
- جریان ورودی بسیار کم
- سرعت کلید زنی بسیار بالا در حد نانو ثانیه
- کاربرد در مبدل‌های توان پایین و فرکانس بالا

عیب: حساسیت بالا نسبت به الکترواستاتیک و تلفات هدایتی زیاد



## عناصر خانواده ترانزیستور

### IGBT - ۳

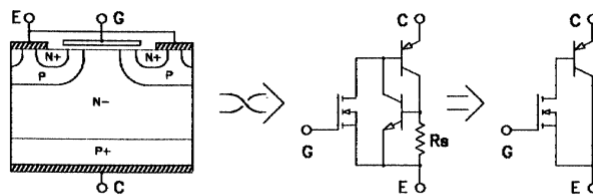
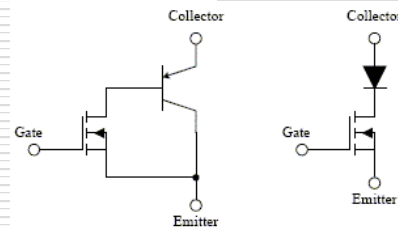


Figure 11  
Cross Section and Equivalent Circuit for an IGBT



www.Ghaffarpour.ir

www.Ghaffarpour.ir

عناصر خانواده ترانزیستور

IGBT - ۳



The image shows two IGBT components. On the left is a small TO-18 package with 'IGBT' printed on it. On the right is a larger Mitsubishi IGBT module, model CM50DY-12H, with part number S90AB7. The module has three main terminals labeled C2E1, E2, and C1. A label on the module includes a circuit diagram showing the internal structure of the IGBT with terminals E, C, and REF.

۵۵

www.Ghaffarpour.ir

www.Ghaffarpour.ir

عناصر خانواده ترانزیستور



The image shows a Mitsubishi IGBT module, model CM400HA-24H, with part number S30DA1 H. The module has three main terminals labeled E, C, and REF. A label on the module includes a circuit diagram showing the internal structure of the IGBT with terminals E, C, and REF.

MITSUBISHI IGBT Modules

۵۶



## عناصر خانواده ترانزیستور

### مزایای IGBT :

- مزایای MOSFET و BJT هر دو با هم
- عنصر کنترل شونده با ولتاژ
- امپدانس ورودی بسیار زیاد
- جریان ورودی بسیار کم
- سرعت کلید زنی بیشتر از BJT و کمتر از MOSFET
- تلفات حالت روشن کمتر



## عناصر خانواده ترانزیستور

### کاربردهای IGBT :

- راه اندازهای موتورهای ac و dc
- منابع تغذیه سوئیچینگ
- رله‌های حالت جامد
- اینورترها
- و ...

www.Ghaffarpour.ir



---

# پایان

---

۵۹