

## CHƯƠNG II. CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN CƠ BẢN

### 1. TỔNG QUAN

- Các linh kiện bán dẫn công suất trong lĩnh vực điện tử công suất có hai chức năng cơ bản: đóng và ngắt dòng điện đi qua nó. Trạng thái linh kiện dẫn điện (**đóng**) là trạng thái linh kiện có tác dụng như một điện trở rất nhỏ (gần bằng không). Trạng thái linh kiện không dẫn điện (**ngắt**) là trạng thái linh kiện có tác dụng trong mạch như một điện trở lớn vô cùng.

- Linh kiện bán dẫn hoạt động với hai chế độ làm việc **đóng** và **ngắt** dòng điện được xem là lý tưởng nếu ở trạng thái dẫn điện nó có độ sụt áp bằng không và ở trạng thái không dẫn điện (ngắt), dòng điện qua nó bằng không.

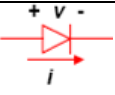
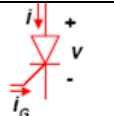







1. Phân loại linh kiện bán dẫn:

a. Linh kiện bán dẫn điều khiển được: Các linh kiện bán dẫn có thể chuyển đổi trạng thái làm việc của mình từ trạng thái không dẫn điện (**ngắt**) sang trạng thái dẫn điện (**đóng**) và ngược lại thông qua tác dụng kích thích của tín hiệu lên cổng điều khiển của linh kiện, gọi *linh kiện có tính điều khiển*. Tín hiệu điều khiển có thể tồn tại dưới dạng dòng điện hay điện áp. Ví dụ BJT, MOSFET, IGBT, GTO, IGCT, MCT, MT SCR, TRIAC.

- Linh kiện bán dẫn điều khiển hoàn toàn – linh kiện đóng ngắt cưỡng bức (**forced commutated device**): là linh kiện có thể điều khiển đóng ngắt hoàn toàn bằng tín hiệu điều khiển, ví dụ BJT, MOSFET, IGBT, GTO, IGCT, MCT, MT.

- Linh kiện bán dẫn điều khiển đóng: : là linh kiện chỉ có thể điều khiển đóng bằng tín hiệu điều khiển mà không điều khiển ngắt được: SCR, TRIAC

b. Linh kiện bán dẫn không điều khiển được: là những linh kiện không có cổng điều khiển và quá trình chuyển trạng thái làm việc của linh kiện xảy ra dưới tác dụng của nguồn công suất. Ví dụ: diode, diac.

Chiều dòng điện	Không điều khiển	Điều khiển đóng	Điều khiển đóng ngắt
Theo một chiều	 Diode	 Thyristor	Transistor 
			MOSFET* 
			GTO 
			IGBT 
			SIT, SITh, MCT, MTO, etc. 
Theo hai chiều		Triac 	Module 

Hình 2.1 Các linh kiện bán dẫn công suất cơ bản

- **Diode:** Dòng định mức của diode từ 1A đến 5000A. Điện áp định mức từ 10V đến 10kV. Thời gian đóng ngắt từ 20 ns cho đến 100 ms. Diode được ứng dụng trong bộ chỉnh lưu và các mạch biến đổi DC-DC: Zener, optoelectronic and Schottky diodes, and diacs

- **BJT (Bipolar Junction Transistor):** dẫn dòng Collector khi trên cực Base có dòng điện điều khiển đủ để BJT dẫn. Dòng định mức của BJT từ 0.5A đến 500 A; Điện áp từ 30V đến 1200V. Thời gian đóng ngắt của BJT 0.5ms đến 100 ms. BJT được ứng dụng trong mạch các bộ biến đổi DC-DC; kết hợp với diode sử

dụng trong các bộ biến tần. Tuy nhiên trong các bộ công suất lớn thì người ta thay thế BJT bằng MOSFET và IGBT.

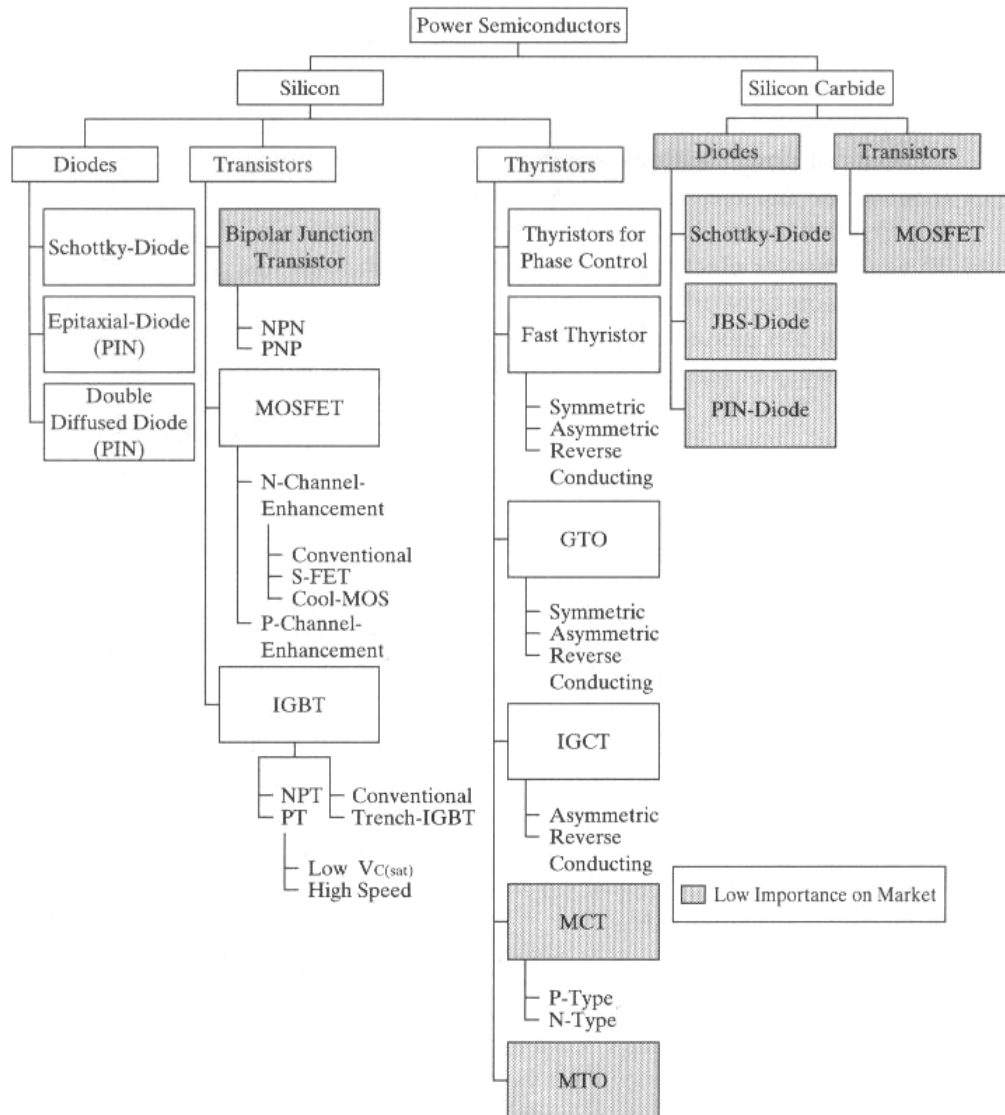
- **MOSFET (Metal Oxide Field Effect Transistor):** dẫn dòng Drain khi có điện áp vừa đủ trên cực điều khiển Gate. MOSFET được mắc song song với diode trong cấu trúc của nó. Dòng điện định mức từ 1 đến 100A, điện áp định mức từ 30 đến 1000V. Thời gian đóng ngắt rất nhỏ từ 50 đến 200ns. MOSFET ứng dụng cho bộ biến đổi DC-DC, và trong các bộ biến tần.

- **IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor):** đây là dạng đặc biệt kết hợp giữa BJT và MOSFET. Là linh kiện rất dễ sử dụng, thời gian đóng ngắt nhỏ hơn thời gian đóng ngắt của BJT. Dòng định mức từ 10 đến 600 A, điện áp định mức từ 600 đến 1700V. IGBT ứng dụng nhiều trong các bộ biến tần từ 1 đến 100kW và được ứng dụng rộng rãi trong điện tử công suất.

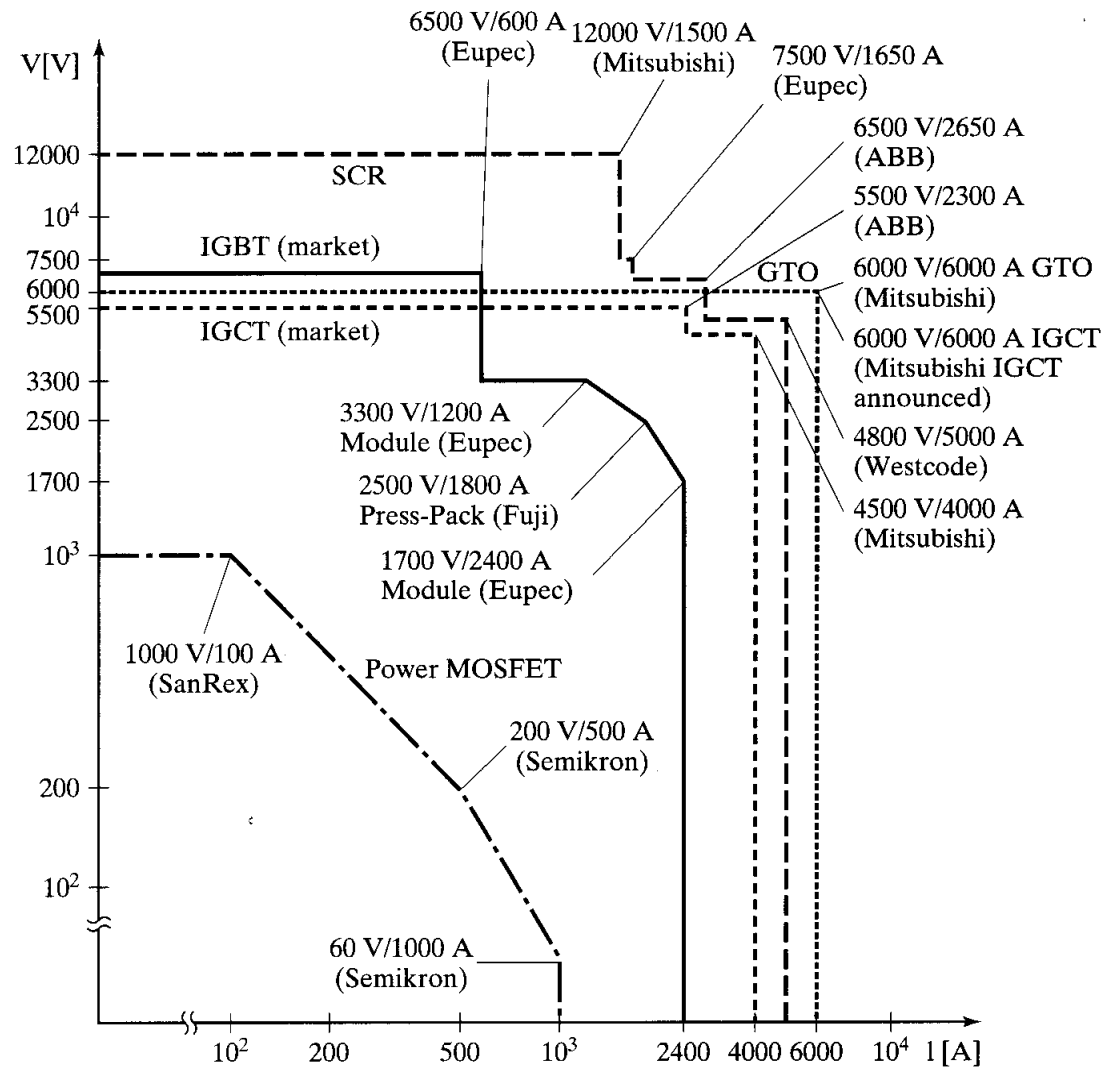
- **SCR (Silicon Controlled Rectifier):** Thyristor cũng giống như diode khi có xung trên cực Gate. SCR chỉ ngắt khi dòng qua nó bằng 0. Dòng định mức thay đổi từ 10 đến 5000A. Điện áp định mức thay đổi từ 200V đến 6 kV. Thời gian đóng ngắt từ 1 đến 200ms. SCR được ứng dụng rộng rãi trong bộ chỉnh lưu điều khiển và là linh kiện thuộc họ thyristor được ứng dụng rộng rãi nhất.

- **GTO (Gate Turn-Off Thyristor)** thuộc họ Thyristor và có khả năng điều khiển ngắt bằng xung âm trên cổng Gate. GTO có thể thay thế BJT khi cần ứng dụng trong các bộ công suất lớn, cần dòng và điện áp lớn. Dòng và điện áp định mức gần tương tự như SCR và nó được ứng dụng trong các bộ biến tần lớn hơn 100kW.

- **TRIAC (Triode for Alternating Current)** Là linh kiện có cấu trúc cấu tạo bởi hai SCR mắc đối song. Dòng điện định mức từ 2 đến 50A, điện áp định mức từ 200 đến 800V. TRIAC được sử dụng trong điều chỉnh ánh sáng, những thiết bị điện cầm tay...



Hình 2.2 Các linh kiện bán dẫn công suất trong công nghiệp



Hình 2.3 Điện áp và dòng điện định mức của các linh kiện bán dẫn công suất

Bảng 2.1 Thông số kỹ thuật cơ bản của linh kiện bán dẫn công suất

1.2 Ratings of Power Semiconductor Devices						
	Devices		Voltage/Current Rating	Upper Frequency (Hz)	Switching Time ( $\mu$ s)	On-State Resistance ( $\Omega$ )
Power diodes	General purpose		4000 V/4500 A	1 k	50–100	0.32 m
			6000 V/3500 A	1 k	50–100	0.6 m
			600 V/9570 A	1 k	50–100	0.1 m
			2800 V/1700 A	20 k	5–10	0.4 m
	High speed		4500 V/1950 A	20 k	5–10	1.2 m
			6000 V/1100 A	20 k	5–10	1.96 m
			600 V/17 A	30 k	0.2	0.14
			150 V/80 A	30 k	0.2	8.63 m
	Schottky					
	Bipolar transistors	Single	400 V/250 A	25 k	9	4 m
			400 V/40 A	30 k	6	31 m
			630 V/50 A	35 k	2	15 m
	Darlington		1200 V/400 A	20 k	30	10 m
MOSFETs	Single		800 V/7.5 A	100 k	1.6	1
	COOLMOS	Single	800 V/7.8 A	125 k	2	1.2 m
			600 V/40 A	125 k	1	0.12 m
			1000 V/6.1 A	125 k	1.5	2 $\Omega$
	IGBTs	Single	2500 V/2400 A	100 k	5–10	2.3 m
			1200 V/52 A	100 k	5–10	0.13
			1200 V/25 A	100 k	5–10	0.14
			1200 V/80 A	100 k	5–10	44 m
			1800 V/2200 A	100 k	5–10	1.76 m
	SITs		1200 V/300 A	100 k	0.5	1.2
Phase control thyristors	Line-commutated low speed		6500 V/4200 A	60	100–400	0.58 m
			2800 V/1500 A	60	100–400	0.72 m
			5000 V/4600 A	60	100–400	0.48 m
			5000 V/3600 A	60	100–400	0.50 m
			5000 V/5000 A	60	100–400	0.45 m
	Forced-turned-off thyristors	Reverse blocking high speed	2800 V/1850 A	20 k	20–100	0.87 m
			1800 V/2100 A	20 k	20–100	0.78 m
			4500 V/3000 A	20 k	20–100	0.5 m
			6000 V/2300 A	20 k	20–100	0.52 m
			4500 V/3700 A	20 k	20–100	0.53 m
	Bidirectional RCT		4200 V/1920 A	20 k	20–100	0.77 m
			2500 V/1000 A	20 k	20–100	2.1 m
		GATT	1200 V/400 A	20 k	10–50	2.2 m
		Light triggered	6000 V/1500 A	400	200–400	0.53 m
Self-turned-off thyristors	GTO		4500 V/4000 A	10 k	50–110	1.07 m
	HD-GTO		4500 V/3000 A	10 k	50–110	1.07 m
	Pulse GTO		5000 V/4600 A	10 k	50–110	0.48 m
	SITH		4000 V/2200 A	20 k	5–10	5.6 m
	MTO		4500 V/500 A	5 k	80–110	10.2 m
	ETO		4500 V/4000 A	5 k	80–110	0.5 m
	IGCT		4500 V/3000 A	5 k	80–110	0.8 m
TRIACs	Bidirectional		1200 V/300 A	400	200–400	3.6 m
MCTs	Single		4500 V/250 A	5 k	50–110	10.4 m
			1400 V/65 A	5 k	50–110	28 m

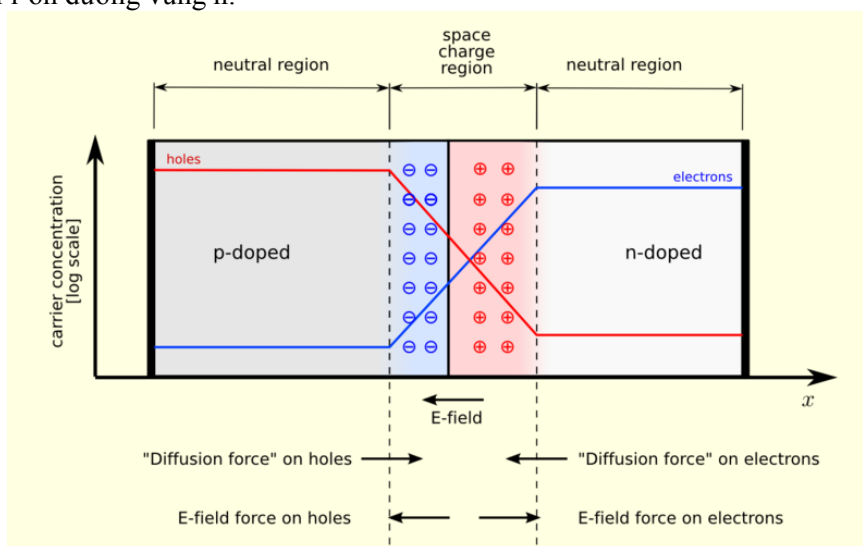
Bảng 2.2 Ký hiệu và đặc tính của linh kiện bán dẫn trong công nghiệp

TABLE 1.3 Characteristics and Symbols of Some Power Devices

Devices	Symbols	Characteristics
Diode		
Thyristor		
SITH		
GTO		
MCT		
MTO		
ETO		
IGCT		
TRIAC		
LASCR		
NPN BJT		
IGBT		
N-Channel MOSFET		
SIT		

## 2. LỚP TIẾP XÚC CÔNG NGHỆ P-N.

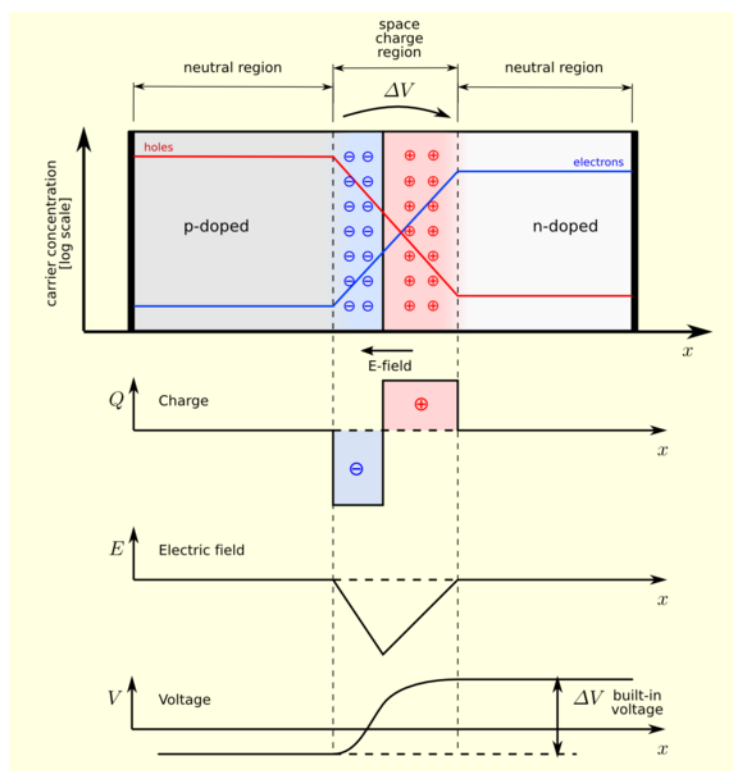
- Bằng các biện pháp công nghệ Epitaxi (Plana khuếch tán) người ta tạo ra được vùng chuyển tiếp tính dẫn điện từ loại p sang loại n gọi là tiếp xúc p-n. Đây là dạng tiếp xúc phi tuyến có tính dẫn điện không đối xứng theo hai chiều điện áp đặt vào. Chất bán dẫn có khả năng dẫn điện chủ yếu bằng điện tử gọi là chất bán dẫn tạp chất loại n. Chất bán dẫn có khả năng dẫn điện chủ yếu bằng lỗ hổng gọi là chất bán dẫn tạp chất loại p
- Bình thường khi chưa có tác động bên ngoài trong vùng tiếp xúc một phần điện tử từ loại n sẽ dịch chuyển sang loại p và ngược lại một phần phần tử lỗ hổng từ loại p sẽ dịch chuyển sang loại n. Điện tử và phần tử mang điện lỗ hổng bù lẫn nhau và tạo ra vùng mang điện thấp – quá trình này được gọi là quá trình tổ hợp lại và tồn tại cho đến khi điện tử từ vùng n bị đẩy bởi i-ôn âm vùng p và phần tử mang điện lỗ hổng vùng p bị đẩy bởi i-ôn dương vùng n.



Hình 2.4 Lớp p-n

- Các i-ôn dương vùng n và các i-ôn âm vùng p tạo lên điện trường cục bộ hướng từ vùng n sang p. Điện thế có giá trị cực đại tại trung tâm của vùng tiếp xúc. Giữa hai vùng tạo ra hiệu điện thế điện thế này phụ thuộc vào chất liệu bán dẫn: đối với German là 0.3V đối với Silicon là 0.7V.



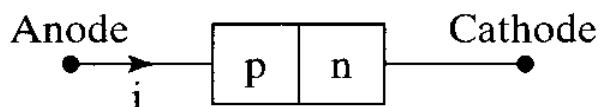


Hình 2.5 Giản đồ điện áp trên lớp p-n

### 3. DIODE CÔNG SUẤT

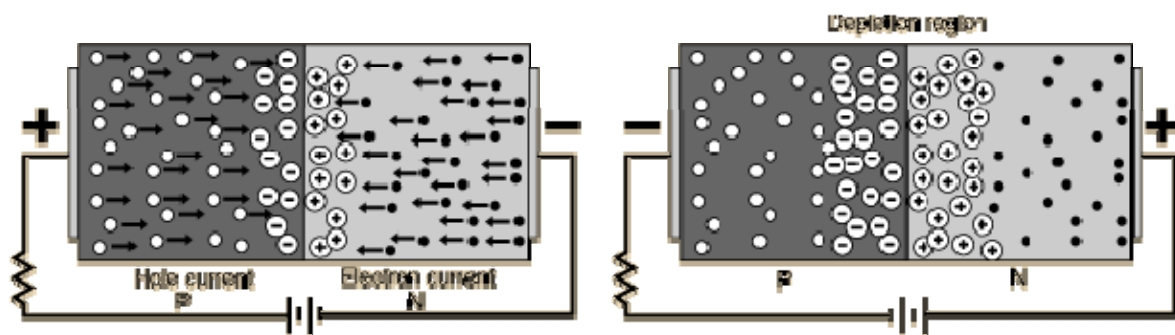
#### 1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

- Diode là linh kiện bán dẫn ứng dụng trong điện tử công suất (ĐTCS) có cấu tạo đơn giản nhất, bao gồm 2 điện cực Anode (A) và K (Cathode) và có chứa một lớp tiếp xúc *p-n*. Diode- 1 linh kiện bán dẫn **không điều khiển**. Khi điện thế cực Anode lớn hơn so với điện thế cực Cathode, lớp tiếp xúc phân cực thuận và dòng điện thuận  $I_F$  chạy theo chiều như hình vẽ, lúc này điện áp trên linh kiện sẽ có giá trị rất nhỏ ( $<1V$ ), đối với linh kiện lý tưởng giá trị này bằng 0. Ngược lại, khi điện thế cực Anode nhỏ hơn so với điện thế cực Cathode, diode phân cực ngược linh kiện không dẫn, dòng điện ngược chạy qua diode được gọi là **dòng rò**, đối với linh kiện lý tưởng giá trị này bằng 0



Hình 2.6 Ký hiệu diode

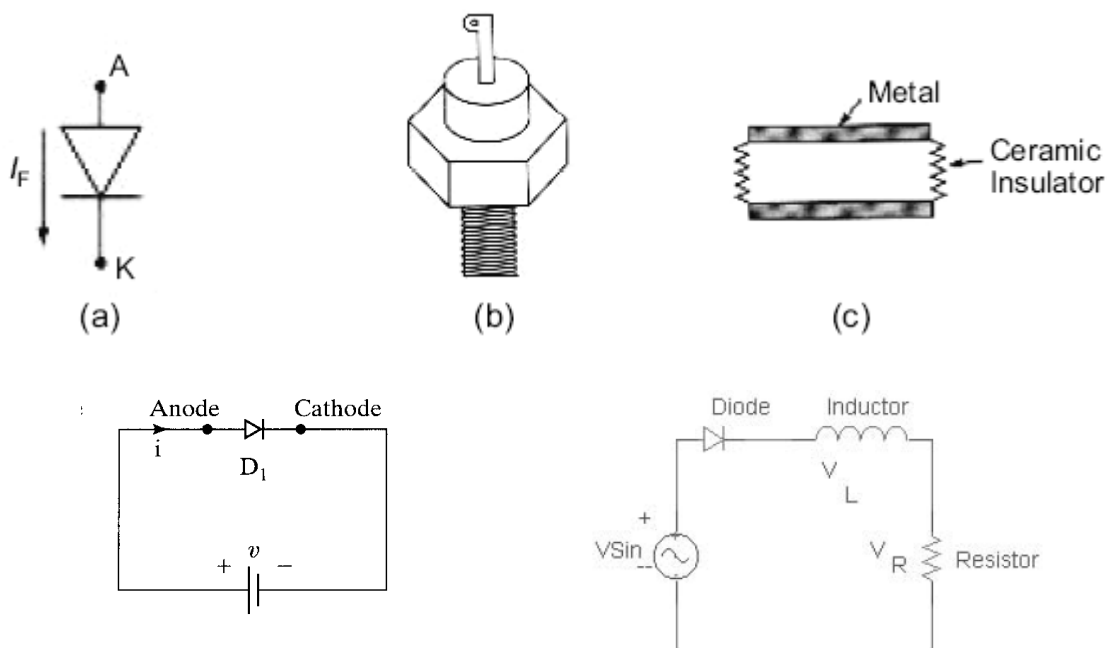
- Khi điện cực dương của nguồn điện được gắn vào cực Anode và cực âm- cực Cathode ta có tiếp xúc **phân cực thuận**. Điện tử từ cực âm vào vùng n, vùng tiếp xúc, một phần kết hợp với phân tử mang điện lỗ hổng phần còn lại qua vùng p tới cực dương của nguồn điện: **Diode dẫn**.



Hình 2.7 Cấu trúc diode

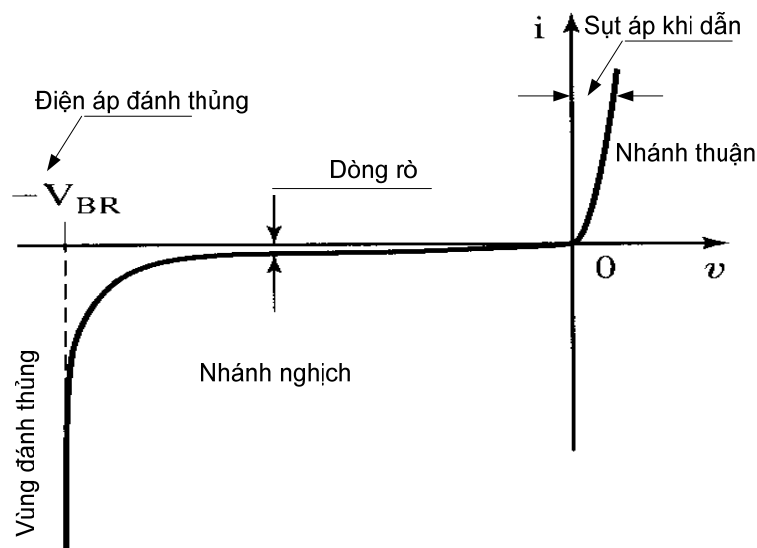
- Khi điện cực dương của nguồn điện được gắn vào cực Cathode và cực âm- cực Anode ta có tiếp xúc **phân cực ngược**. Chỉ có một số ít điện tử từ vùng p dịch chuyển qua vùng tiếp xúc, một phần kết hợp với phân tử mang điện lỗ hổng phần còn lại qua vùng n tới cực dương của nguồn: **Diode ngắt**.

## 2. Ký hiệu và sơ đồ kết nối



Hình 2.8 Sơ đồ kết nối diode.

## 3. Đặc tính Volt-Ampere của diode (VI): Đặc tính V-I của diode được chia làm 3 vùng

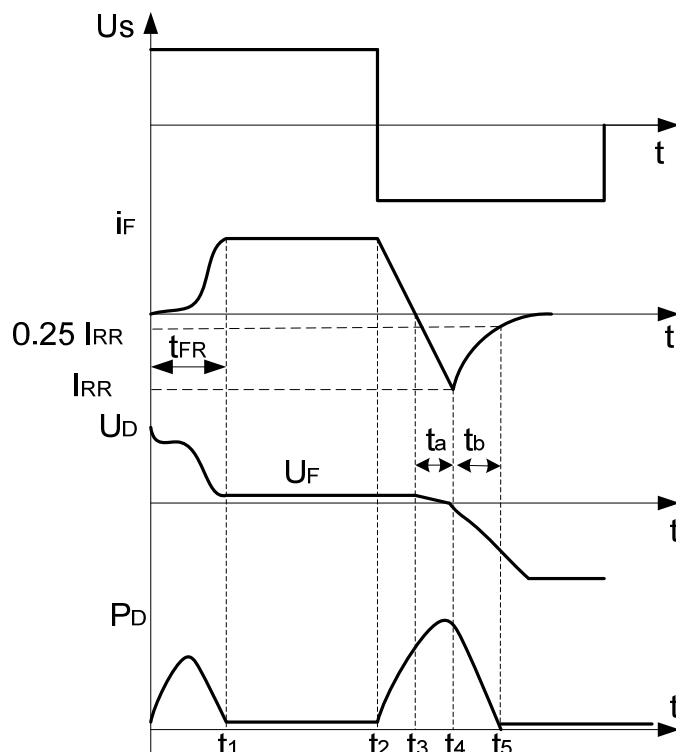


Hình 2.9 Đặc tính V-A của diode (a-diode thực, b-diode lý tưởng)

- **Vùng phân cực thuận:** Khi  $0 < V_D < V_{TD}$ : Diode bắt đầu dẫn dòng điện qua diode  $I_D$  rất nhỏ. Khi  $V_D > V_{TD}$  dòng điện tăng nhanh và diode đạt trạng thái dẫn điện ổn định.  $V_{TD}$  gọi là điện áp đóng.
- **Vùng phân cực ngược:** khi  $V_D < 0$ ; dòng điện qua diode giảm dần về 0, dòng điện qua diode không tắt ngay và tiếp tục dẫn theo chiều ngược lại với tốc độ giảm ban đầu. Sau một thời gian ngắn, khả năng dẫn điện theo chiều nghịch bị mất. Diode ngắt.
- **Vùng đánh thủng:** khi  $V_D < -V_{BR}$ : Trong đó  $V_{BR}$ - điện áp đánh thủng (Breakdown voltage), làm cho diode bị phá hủy

#### 4. Đặc tính động của diode:

- Khi diode dẫn tương đương như một công tắc đóng: điện áp rơi trên linh kiện  $U_F$  nhỏ, dòng điện thuận  $I_F$  qua linh kiện lớn.
- Khi diode ngắt tương đương như một công tắc ngắt: điện áp khóa trên linh kiện lớn, dòng rò qua linh kiện rất nhỏ.
- *Thời gian đóng diode - Forward recovery time  $t_{FR}$*  là thời gian cần thiết để diode có thể dẫn dòng tải khi điện áp thuận đặt trên hai đầu cực của diode.
- *Thời gian phục hồi tính nghịch - Reverse recovery time  $t_{RR}$*  là tổng khoảng thời gian từ  $t_a$  khi dòng điện qua diode cắt 0 cho đến khi dòng điện qua diode bằng dòng  $I_{RR}$  (dòng điện ngược lớn nhất), và khoảng thời gian  $t_b$  khi dòng điện qua diode giảm từ  $I_{RR}$  đến  $0.25I_{RR}$



Hình 2.10 Đặc tính động của Diodes

- Tại thời điểm  $t=0$ , điện áp nguồn tăng và đạt giá trị dương  $U_m$ . Do quán tính của quá trình khuếch tán dòng qua diode không xuất hiện một cách tức thời mà tăng dần trong khoảng thời gian  $t_1=t_{FR}$ . Cùng với việc tăng dòng điện qua diode, điện áp trên hai đầu cực của diode giảm, sau thời gian  $t_1$  đạt giá trị  $U_F$ . Tại thời điểm  $t_1$  dòng điện trong mạch xác lập, khi đó dòng qua diode bằng  $I_S$ .
- Trạng thái đó được giữ cho đến thời điểm  $t=t_2$  khi dấu của điện áp nguồn thay đổi. Tuy nhiên điện tích được tích tụ ở vùng tiếp xúc p-n giữ cho diode ở trạng thái đóng một thời gian, khi đó dòng điện giảm dần về 0, thực tế xảy ra hiện tượng dung giải điện tích.
- Đến thời điểm  $t_4$  điện áp trên diode bằng 0 sau đó tăng theo chiều âm, làm cho dòng điện ngược qua diode tăng đến giá trị  $I_{RR}$ , sau đó quá trình phục hồi tính nghịch của diode được tiếp tục đến thời điểm  $t_5$ , khi dòng điện qua diode giảm từ  $I_{RR}$  đến  $0.25I_{RR}$ . Quá trình ngắt diode kết thúc. Đến thời điểm đó dòng điện qua diode gần bằng 0 còn điện áp trên hai đầu cực đạt giá trị  $-U_m$ . Như vậy thời gian phục hồi tính nghịch được tính bằng công thức

$$t_{RR} = t_a + t_b; \quad I_{RR} = t_a \frac{di}{dt}$$

- Thời gian phục hồi tính nghịch thường nhỏ hơn  $1\mu s$ . Đại lượng này trở lên quan trọng cho các ứng dụng có tần số làm việc cao, như các bộ biến đổi DC/DC, AC/DC.
- Từ đồ thị hình 2.10 ta thấy tổn hao công suất trong diode sẽ tăng đột ngột khi đóng và đặc biệt khi ngắt diode. Để giảm những tổn hao đó và đảm bảo quá trình làm việc an toàn cho diode người ta sử dụng sơ đồ đặc biệt – mạch snubber. Mạch snubber đơn giản nhất là sơ đồ bao gồm điện trở  $R$  mắc nối tiếp với một tụ. Mạch này được gắn song song với anode và cathode.

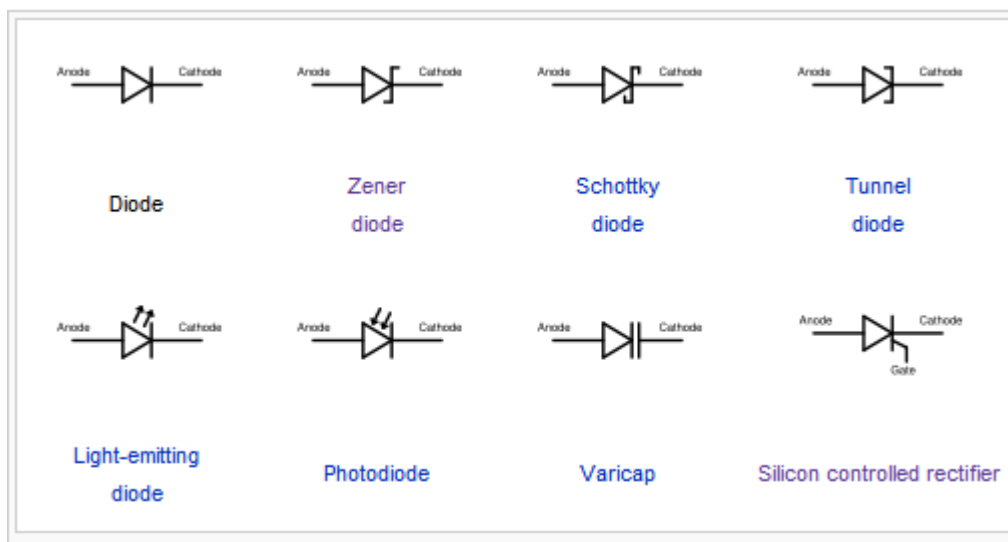
##### 5. Những thông số cơ bản của diode

- Dòng điện định mức  $I_{Fmax}$ : dòng điện thuận cực đại chạy qua diode mà không làm cho nhiệt độ của nó không vượt quá nhiệt độ cực đại cho phép.
- Điện áp định mức: là điện áp ngược cực đại mà diode chịu được  $V_{BR}$

- Điện áp thuận  $V_F$  (Forward voltage): là điện áp giữa hai đầu cực A-K khi diode dẫn.
- Điện áp đánh thủng  $V_{BR}$  (Breakdown voltage).
- Dòng điện ngược  $I_{RR}$ : dòng điện qua diode khi điện áp ngược nhỏ hơn điện áp đánh thủng.

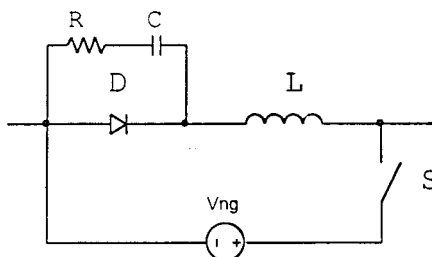
#### 6. Các dạng Diodes cơ bản:

- Small Signal Diode – diode loại nhỏ được sử dụng nhiều nhất trong những ứng dụng chung như linh kiện cho bộ chỉnh lưu, mạch ngưỡng, mạch tụ điện hay mạch tạo sóng.
- Silicon Rectifier Diode – Diode chỉnh lưu Silicon: diode này có khả năng mang dòng lớn đến vài trăm A với điện trở thuận nhỏ và điện trở ngược lớn đến MΩ. Những diode này được ứng dụng trong thiết kế các bộ nguồn, bộ lưu điện, bộ biến tần ... Khi dòng điện thuận lớn hơn dòng điện định mức, nhiệt độ của chúng tăng.
- **Schottky diode**: độ sụt áp theo chiều thuận thấp (khoảng 0,3V). Do đó, nó được sử dụng cho các mạch điện áp thấp. Điện áp ngược chịu được khoảng 50- 100V
- **Diode phục hồi nhanh**: được áp dụng trong các mạch hoạt động tần số cao. Khả năng chịu áp đến vài ngàn volt và dòng vài trăm amper, thời gian phục hồi  $t_{RR}$  nhỏ.
- **Diode tần số công nghiệp**: các diode tần số công nghiệp được chế tạo để đạt độ sụt áp thấp khi dẫn điện. Hệ quả, thời gian  $t_{RR}$  tăng lên. Khả năng chịu áp của chúng khoảng vài kV và dòng điện vài kA.
- Photodiode.
- Light-Emitting Diode (LED). ứng dụng trong các mạch công suất lớn sử dụng các thiết bị analog hoặc digital.



Bảng 2.2 Các thông số đặc trưng của một số diodes

7. **Mạch bảo vệ**: Để hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng quá áp và bảo vệ cho diode công suất ta mắc song song với diode mạch lọc RC. Để hạn chế quá dòng điện người ta mắc nối tiếp cuộn cảm L với diode.



Hình 2.8 Mạch bảo vệ diode

#### Lưu ý:

- Thông thường trong các diode công suất đã có chứa mạch RC tích hợp.

- Điện áp định mức là điện áp nghịch lớn nhất có thể lặp lại tuần hoàn trên diode. Để tăng khả năng chịu áp tải ta ghép nối tiếp các diode.
- Để tăng khả năng chịu dòng tải ta ghép song song các diode.

Bảng 2.1 Thông số của diodes trong datasheet của nhà sản xuất

TABLE 2.1 Diode election based on average forward current  $I_{F(av)}$ , and peak inverse voltage  $V_{RRM}$  [4]

$I_{F(av)}$ (A)	$V_{RRM}$ (V) Type	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	1300	1500
0.4	V30	–	–	–	–	–	–	–	yes	yes	yes	yes
1.0	H14	–	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	–	–
1.1	V06	–	–	yes	–	yes	–	yes	yes	–	–	–
1.3	V03	–	–	yes	–	yes	–	yes	yes	–	–	–
2.5	U05	–	yes	yes	–	yes	–	yes	yes	–	–	–
3.0	U15	–	yes	yes	–	yes	–	yes	yes	–	–	–

Used with permission, [7].

TABLE 2.3 Characteristics ( $T_L = 25^\circ\text{C}$ )

Item	Symbols	Units	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions
Peak Reverse Current	$I_{RRM}$	$\mu\text{A}$	–	0.6	10	All class Rated $V_{RRM}$
Peak Forward Voltage	$V_{FM}$	V	–	–	1.3	$I_{FM} = 0.4 \text{ A}$ , single-phase, half sine wave 1 cycle
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$\mu\text{s}$	–	3.0	–	$I_F = 22 \text{ mA}$ , $V_R = -15 \text{ V}$
Steady-State Thermal Impedance	$R_{th(j-a)}$					
	$R_{th(j-1)}$	$^\circ\text{C/W}$	–	–	80 50	Lead length=10 mm

TABLE 2.2 Details of diode for diode V30 selected from Table 2.1

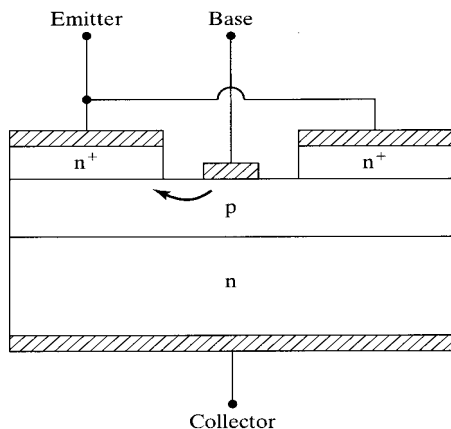
Absolute maximum ratings <sup>a,b</sup>						
Item	Type		V30J	V30L	V30M	V30N
Repetitive Peak reverse Voltage	$V_{\text{RRM}}$	V	800	1000	1300	1500
Nonrepetitive Peak Reverse Voltage	$V_{\text{RSM}}$	V	1000	1300	1600	1800
Average Forward Current	$I_{\text{F(AV)}}$	A	0.4 (Single-phase, half sine wave 180° conduction $T_L = 100^\circ\text{C}$ , Lead length = 10 mm)			
Surge(Nonrepetitive) Forward current	$I_{\text{FSM}}$	A	30 (Without PIV, 10 ms conduction, $T_j = 150^\circ\text{C}$ start)			
$I^2t$ Limit Value	$I^2t$	$\text{A}^2\text{s}$	3.6 (Time = 2 ~ 10 ms, 1 = rms value)			
Operating Junction Temperature	$T_j$	$^\circ\text{C}$	-50 ~ +150			
Storage Temperature	$T_{\text{stg}}$	$^\circ\text{C}$	-50 ~ +150			

## TRANSISTORS CÔNG SUẤT - POWER TRANSISTORS

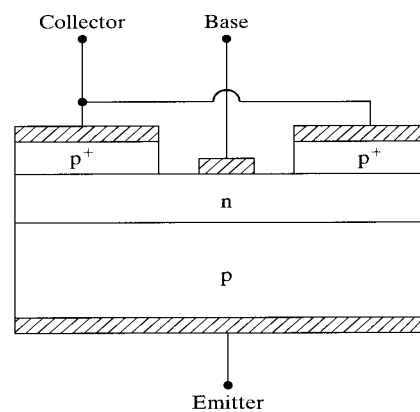
Transistor đầu tiên được phát minh vào năm 1948 do các nhà vật lý của phòng thí nghiệm và rất nhanh chóng nó trở thành linh kiện bán dẫn quan trọng nhất thời điểm đó.

### 3. BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR - BJT

#### 1. Cấu tạo cấu tạo và nguyên lý hoạt động:



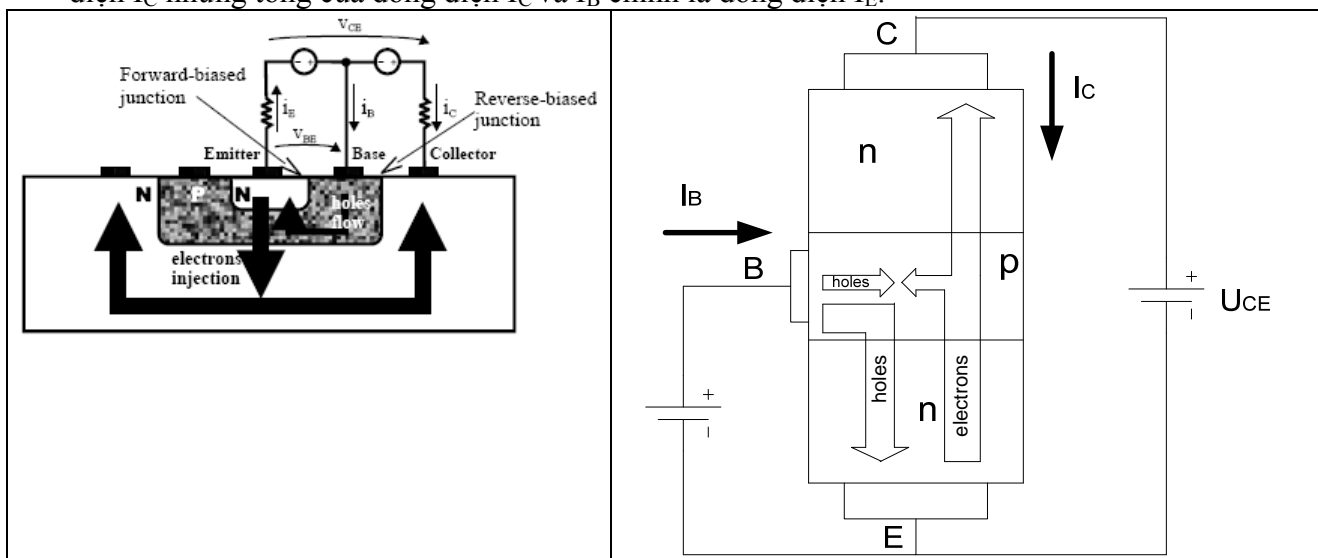
(a) NPN-transistor



(b) PNP-transistor

- Bipolar junction transistor (BJT) cấu trúc bởi ba lớp p-n-p hoặc n-p-n. Tuy nhiên dạng N-P-N được sử dụng nhiều hơn vì loại này có kích thước nhỏ hơn với cùng một mức điện áp và dòng điện. BJT có hai lớp tiếp xúc p-n: Collector – Base (CB) và Base – Emitter (BE). Lớp tiếp xúc B-E phân cực theo chiều thuận để kéo điện tử về vùng Base, Lớp tiếp xúc C-B phân cực theo chiều nghịch để thu điện tử về vùng Collector

- Hoạt động của nó cũng giống như diode, ở trạng thái bình thường lớp tiếp xúc p-n giữa Base và Emitter phân cực thuận  $V_{BE} > 0$ , nhờ đó điện tử dịch chuyển từ Emitter đến Base. Vì vùng Base có cấu trúc rất mỏng nên phần lớn điện tử sẽ chạy qua vùng này và đến vùng phân cực ngược Base – Collector  $V_{BC} < 0$  tại đó có vùng nghèo điện tích. Trong thời gian này điện tử qua vùng nghèo điện tích và kết nối với cực Collector làm BJT dẫn. Do điện tử dịch chuyển từ theo chiều âm từ E đến C, nên dòng điện có chiều có chiều từ C đến E. Lúc này trong lớp phân cực thuận B-E, phần tử điện tích lỗ hổng sẽ dịch chuyển từ B đến E. Mặc dù không đóng góp vào dòng điện  $I_C$  nhưng tổng của dòng điện  $I_C$  và  $I_B$  chính là dòng điện  $I_E$ .

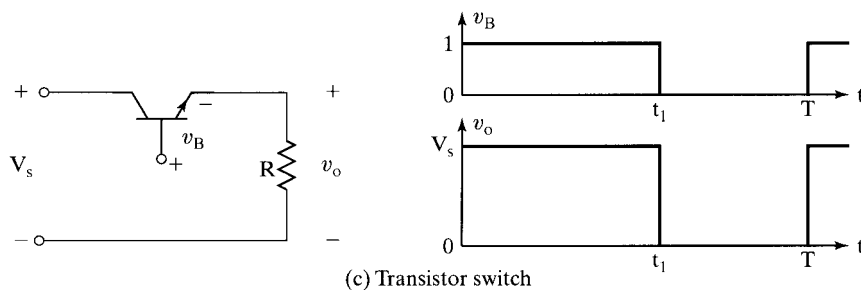
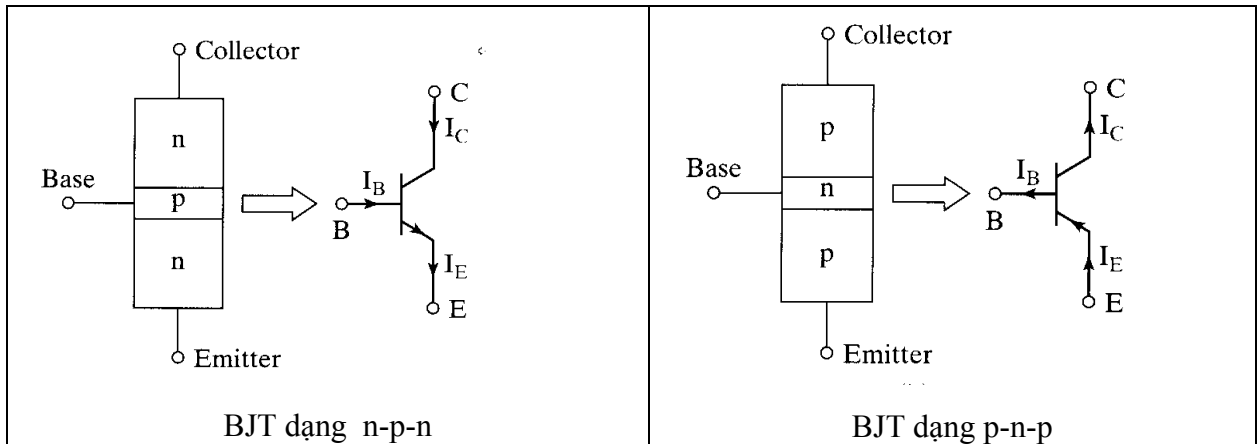


Hình 2.4 Sơ đồ biểu diễn nguyên lý hoạt động của BJT



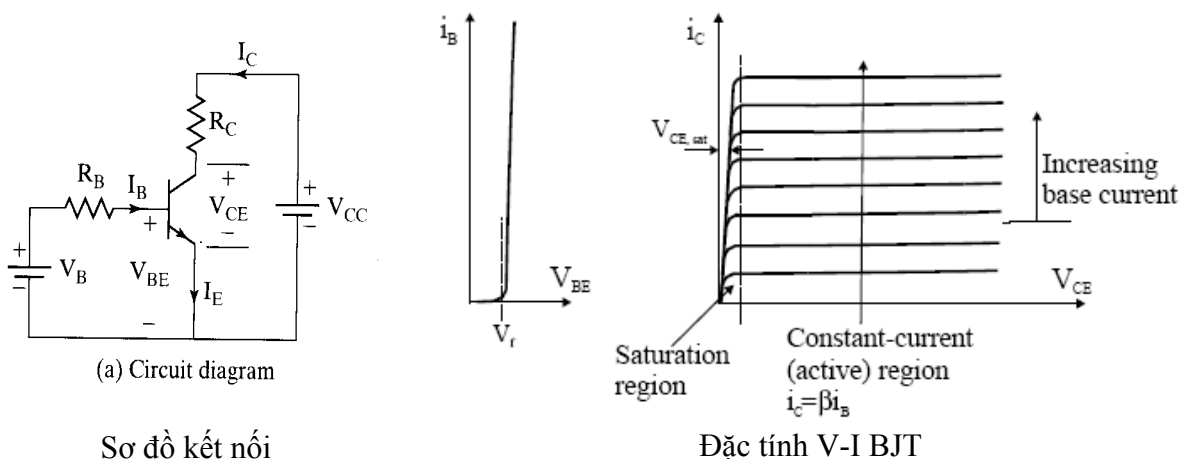
- BJT Có 3 điện cực Collector (C), Emitter (E) và Base (B) và được điều khiển hoàn toàn bằng dòng điện  $I_B$  thông qua cực B và E. Mạch công suất nối giữa 2 cực C và E.

## 2. Ký hiệu v sơ đồ kết nối



## 3. Đặc tính Volt-Amper BJT

Trong điện tử công suất, transistor BJT được sử dụng như khóa đóng ngắt các mạch điện và phần lớn được mắc theo dạng mạch có chung emitter. Đặc tính V-I của BJT được phân làm 3 vùng



- Trong vùng tích cực, dòng điện  $I_C$  không đổi với  $V_{CE}$  và dòng  $I_B$  cho trước, trạng thái này thường dùng cho các transistor nhỏ hoạt động như bộ khuếch đại. Mặt khác, ĐTCS đòi hỏi

các transistors phải làm việc ở vùng bão hòa với  $V_{CE}$  rất nhỏ hay vùng ngắt khi dòng điện qua linh kiện bằng 0. Dòng điện  $I_B$  điều khiển tải lớn giữa C và E.

a. **Active -Vùng tích cực hay vùng tuyến tính:** là vùng mà transistor hoạt động ở chế độ khuếch đại tín hiệu, tương ứng với các giá trị làm việc  $U_{CE} > U_{CESAT}$  và dòng  $I_C > I_{CO}$ .

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B$$

Trong đó:  $h_{FE}$  là hệ số khuếch đại dòng điện

**Một số tính chất của BJT ở chế độ tuyến tính:**

- Dòng điện  $I_C$  tỷ lệ với dòng  $I_B$ .
- Dòng  $I_C$  hầu như không phụ thuộc vào điện áp trên Collector.
- Điện áp trên Base không phụ thuộc vào điện áp trên Collector và hầu như không phụ thuộc vào dòng  $I_B$ .

**Từ những tính chất này có thể rút ra kết luận:**

- Ở chế độ tuyến tính BJT có thể thay thế bằng **nguồn dòng**  $I_C$ , điều khiển bằng dòng  $I_B$ . Khi đó nếu bỏ qua điện áp rơi giữa B-E thì có thể coi lớp tiếp giáp ngắn mạch

b. **Saturation -Vùng bão hòa:** Dòng điện Base  $I_B$  khá lớn với điện áp  $V_{CE}$  nhỏ mà BJT hoạt động như một khóa đóng. Cả hai lớp tiếp xúc đều phân cực thuận Collector – Base (C-B) và Base – Emitter (B-E).

- Để chuyển chế độ tuyến tính sang chế độ bão hòa cần phải tăng giá trị dòng  $I_B$  cho đến khi điện áp  $U_{CE}$  giảm đến giá trị mà ở đó lớp tiếp xúc C-B phân cực thuận. Ở chế độ bão hòa điện áp giữa C và E khá nhỏ nên BJT có thể thay thế bằng khóa đóng với điện áp rơi nhỏ.

- Tại điểm làm việc nằm trong vùng bão hòa, transistor sẽ đóng, dòng  $I_C$  dẫn và điện thế  $U_{CE} = U_{CESAT} = 1-2 \text{ V}$ . BJT có thể thay thế bằng khóa đóng ngắt với điện áp rơi nhỏ. Do dòng điện  $I_B > I_{B\_SAT}$ , dòng điện qua collector  $I_C$  hầu như không thay đổi.

- Điều kiện bão hòa của BJT là  $U_{CB} = U_{CE} - U_{BE} = 0$ . Độ bão hòa đạt được khi thỏa mãn điều kiện  $U_{BE} > 0$ .

- Trong chế độ bão hòa dòng điện  $I_B$  bao giờ cũng có giá trị lớn hơn dòng điện cần thiết để tạo dòng  $I_C$  so với chế độ tuyến tính.

- Điều kiện  $U_{BE} = 0$  thường được gọi là chế độ giới hạn (biên giới), nghĩa là nó đặc trưng cho việc chuyển từ chế độ tuyến tính sang chế độ bão hòa.

c. **Cutoff - Vùng ngưng:** Đặc tính ra với thông số  $i_B = 0$  nằm trong vùng này. Transistor ở chế độ ngắt. Dòng Base không đủ lớn để đóng BJT. Cả hai lớp tiếp xúc đều phân cực ngược.

#### 4. Các thông số và đại lượng cơ bản BJT

a. **Ở vùng tuyến tính.**

- Dòng Emitter được xác định:

$$I_E = I_C + I_B$$

- Dòng điện  $I_C$  thay đổi tỷ lệ thuận với dòng điện  $I_B$

$$\beta_F = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

- Theo hình vẽ

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}; V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C; V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \text{ hay } V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

- Dòng Collector lớn nhất  $I_{CM}$  trong vùng tuyến tính được xác định từ phương trình điện áp  $V_{CB}=0$  và  $V_{BE}=V_{CE}$ .

$$I_{CM} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C}$$

- Dòng điện Base tương ứng sẽ là:

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{h_{FE}}$$

- b. Ở vùng bão hòa:**

$$I_{CSAT} = \frac{V_{CC} - V_{CESAT}}{R_C}$$

$$I_{BSAT} = \frac{I_{CSAT}}{h_{FE}}$$

Mạch kích phải tạo dòng  $I_B$  đủ lớn sao cho:

$$I_B > I_{BSAT} = \frac{I_{CSAT}}{h_{FE}}$$

Trong thực tế, độ lớn dòng kích được thiết lập với hệ số an toàn  $k_s$  sao cho

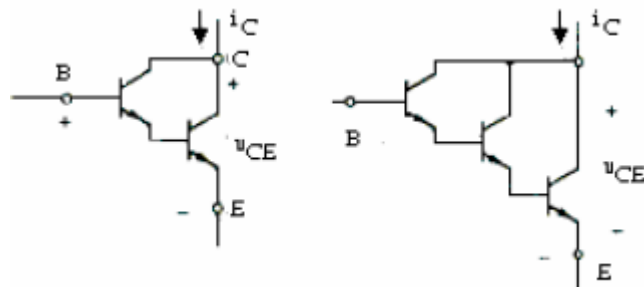
$$I_B = k_s I_{BSAT}$$

Hệ số  $k_s=2 \rightarrow 5$  được chọn để việc kích đóng an toàn khi xét đến điều kiện chế tạo thực tế. Việc đưa hệ số này đảm bảo các transistor đều đạt được trạng thái bão hòa.

- c. Tổn hao công suất trong BJT:**

$$P = V_{BE} I_B + V_{CE} I_C$$

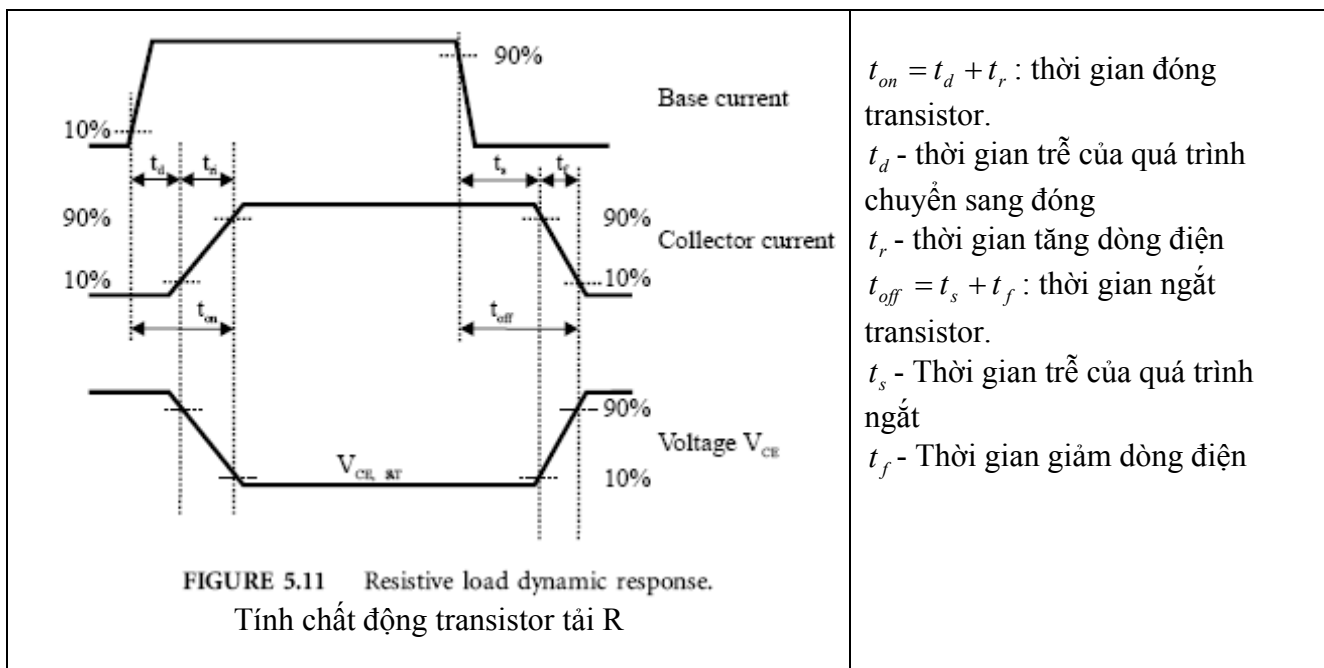
- d. Mạch Darlington:** Các transistor công suất lớn có hệ số  $h_{FE}$  chỉ khoảng 10- 20. Do đó, để giảm bớt dòng kích  $I_B$ , tức tăng  $h_{FE}$  có thể ghép nối tiếp các transistor công suất theo cấu hình Darlington. Bất lợi của cấu hình Darlington là độ sụt áp  $U_{CE}$  bị tăng lên và tần số đóng ngắt bị giảm.



**Ví dụ:** Nếu muốn điều khiển dòng điện  $I_C = 200A$  mà chỉ dùng một transistor với hệ số khuếch đại  $h_{FE} = 20$  thì dòng cổng Base  $I_B = 10A$  là rất lớn và khó thực hiện.

- Khi đó có hệ số khuếch đại của BJT Q1  $h_{FE1} = \frac{I_{C1}}{I_{B1}}$  hay  $I_{C1} = h_{FE1} I_{B1} = I_{B2}$ . Vậy dòng Collector transistor Q2 có giá trị  $I_{C2} = h_{FE2} I_{B2} = h_{FE2} h_{FE1} I_{B1}$ . Nếu ta muốn điều khiển dòng điện  $I_C = 200A$  ta chỉ cần hai BJT với hệ số khuếch đại  $h_{FE} = 20$  và  $I_B = 0,5A$ .

## 5. Đặc tính động của BJT



## 6. Các thông số cơ bản BJT

**a. Điện áp định mức:** phụ thuộc vào điện áp đánh thủng các lớp bán dẫn và xác định bởi giá điện áp cực đại đặt lên lớp collector-emitter  $U_{CEOM}$  khi  $I_B = 0$  và giá trị cực đại điện thế lớp emitter-base  $U_{EBOM}$  khi  $I_C = 0$ .

**b. Dòng điện định mức:** giá trị cực đại của dòng collector  $I_{CM}$ , dòng emitter  $I_{EM}$  và dòng kích  $I_{BM}$ . Đó là các giá trị cực đại tức thời của transistor khi đóng trong trạng thái bão hòa. Khi thiết lập chúng, ta xét đến ảnh hưởng của các mối tiếp xúc, dây dẫn tới điện cực và các giá trị  $h_{FESAT}$  và  $U_{CESAT}$ .

**c. Công suất tổn hao:** công suất tổn hao tạo nên trong hoạt động của transistor không được phép làm nóng bán dẫn vượt quá giá trị nhiệt độ cho phép  $T_M$  ( $T_M = 150^\circ C$ ). Vì thế, cần làm mát transistor và toàn bộ công suất tổn hao phải nhỏ hơn  $P_M$ . Giá trị  $P_M$  phụ thuộc vào phương pháp làm mát và nhiệt độ môi trường.

### d. Một số tính chất và thông số

- BJT là linh kiện bán dẫn điều khiển đóng ngắt bằng dòng điện Base  $I_B$ . Nếu muốn điều khiển dòng tải ( $I_C$ ) lớn cần phải tăng dòng điện  $I_B$ , làm cho tổn hao công suất và nhiệt độ linh kiện tăng.

- Transistor công suất là linh kiện bán dẫn được **điều khiển đóng và điều khiển ngắt**.
- Transistor công suất hoạt động ở vùng bão hòa vì vậy có điện áp khi đóng nhỏ, giống như khóa đóng ngắt.
- Tần số đóng ngắt của Transistor công suất lớn hơn gấp nhiều lần so với thyristors, tuy nhiên điện áp và dòng điện định mức của một số transistor công suất nhỏ hơn so với Thyristors, vì vậy có ứng dụng trong các bộ biến đổi công suất vừa và nhỏ.
- Ứng dụng trong các bộ biến đổi DC-DC, DC-AC với diode ngược để có thể cho dòng điện chạy cả hai chiều.
- Không có khả năng khoá áp ngược.
- Điện áp định mức đến 1200V.
- Dòng điện định mức đến 400A.
- Tần số định mức 10 kHz.
- Điện áp bão hòa hồ 1-2V

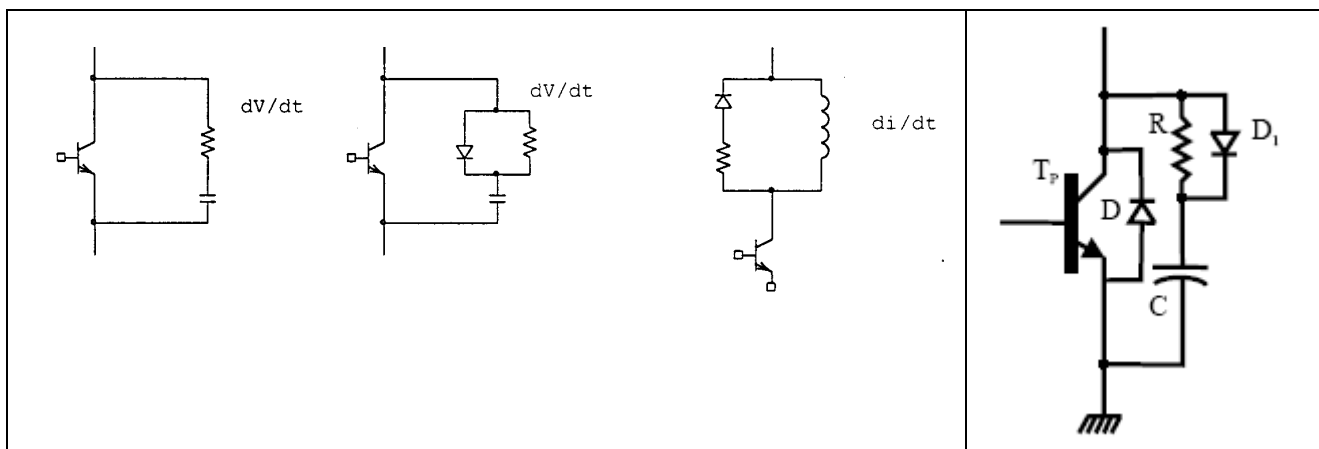
- Hệ số khuếch đại dòng  $h_{FE} = 15 \div 100$ .
- Dòng điều khiển  $I_B$  đến 10A và lớn hơn dòng điều khiển của Thyristor

### 7. Các trạng thái đóng ngắt.

- $U_{CE} > 0, I_B > I_{Bmin}$  BJT đóng
- $I_B \leq 0$  BJT ngắt

**8. Mạch bảo vệ:** Để bảo vệ quá áp trong quá trình đóng ngắt BJT ta có thể sử dụng các mạch dưới đây:

- Để giảm tốc độ tăng áp khoá  $du/dt$  trong quá trình ngắt ta mắc song song BJT với tụ (mạch Snubber RC v R, diode, C)
- Để giảm tốc độ tăng dòng  $di/dt$  khi đóng mạch ta dùng cuộn cảm mắc nối tiếp với BJT vì L có tác dụng giảm tốc độ tăng dòng, tích năng lượng, sau đó được xả qua mạch L, R.

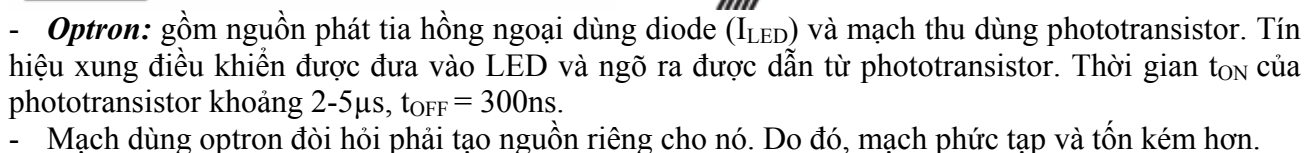


### 9. Mạch kích.

- Nguyên tắc thiết kế mạch sao cho BJT được đóng ngắt bởi dòng  $I_B$  thích hợp, và thay đổi được dòng  $I_C$  trong mọi điều kiện. Trong đó nhiệm vụ của mạch kích:
- Giảm thời gian chuyển trạng thái ( $t_{ON}, t_{OFF}$ ): bằng cách cho dòng kích  $I_B$  giai đoạn đầu khá lớn và sau đó giảm dần.
- Cách ly điện giữa mạch điều khiển và mạch công suất: dùng biến áp xung hoặc linh kiện quang điện tử (opton)

#### a. Mạch cách ly tín hiệu điều khiển và mạch kích:

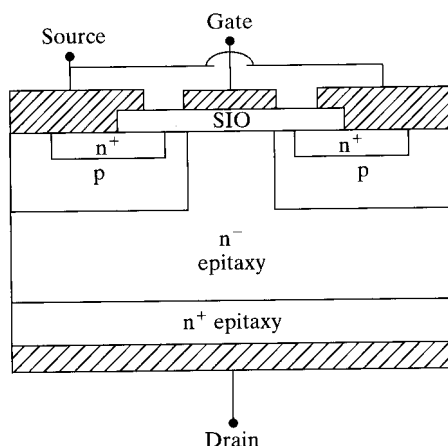
- Các mạch phát ra tín hiệu để điều khiển mạch công suất dùng bán dẫn thường yêu cầu cách ly về điện. Điều này có thể thực hiện bằng optron hoặc bằng biến áp xung.
- **Biến áp xung:** gồm một cuộn sơ cấp và có thể nhiều cuộn thứ cấp. Với nhiều cuộn dây phía thứ cấp, ta có thể kích đóng nhiều transistor mắc nối tiếp hoặc song song.
- Biến áp xung cần có cảm kháng tản nhỏ và đáp ứng nhanh. Trong trường hợp xung điều khiển có cạnh tác động kéo dài hoặc tần số xung điều khiển thấp, biến áp xung sớm đạt trạng thái bão hòa và ngõ ra của nó không thỏa mãn yêu cầu điều khiển.



Khác với BJT, MOSFET thuộc họ linh kiện đơn cực, vì chúng chỉ sử dụng phần lớn dịch chuyển khi dẫn. Việc sử dụng công nghệ metaloxide-semiconductor (MOS) trong mạch vi điện tử (microelectronic) mở ra hướng mới trong việc phát triển power metaloxide semiconductor field effect transistor (MOSFET) vào năm 1975.

## 1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

- MOSFET là linh kiện bán dẫn điều khiển hoàn toàn bằng áp ở công điều khiển Gate. MOSFET có hai loại PNP và NPN. Trên hình mô tả cấu trúc MOSFET loại n-p-n. Giữa lớp kim loại mạch cổng và các mối nối n+ và p có lớp điện môi silicon oxit SiO.
- MOSFET có 3 điện cực Drain (D), Source (S) và Gate (G). Mạch điều khiển gắn vào điện cực G-S và điện áp điều khiển U<sub>BE</sub>. Mạch công suất gắn vào điện cực D-S.



- Lớp tiếp xúc p-n giữa p – cơ bản (nền) (có thể gọi là thân hay vùng chính) và vùng n – dịch chuyển đảm bảo khả năng khóa điện. Phần kim loại kết nối trực tiếp với lớp p qua lớp n cho phép giữ điện thế cố định với vùng p trong thời gian làm việc bình thường. Khi cực Gate (G) và Source (S) được đặt điện áp như nhau ( $V_{GS} = 0$ ), không có kênh nào được thiết lập trong vùng p, nghĩa là vùng kênh không được điều khiển. Dưới chất kích tạp vùng chuyển dịch n- cần phải đạt được điện áp khóa cổng Drain. Đối với dòng tải drain-source  $I_D$  để dẫn cần phải thiết lập đường giữa  $n^+$  và  $n^-$  qua vùng khuếch tán p.
- Khi MOSFET ở trạng thái dẫn (triode region), kênh của linh kiện như một điện trở không đổi tỷ lệ tuyến tính giữa  $v_{DS}$  và  $i_D$

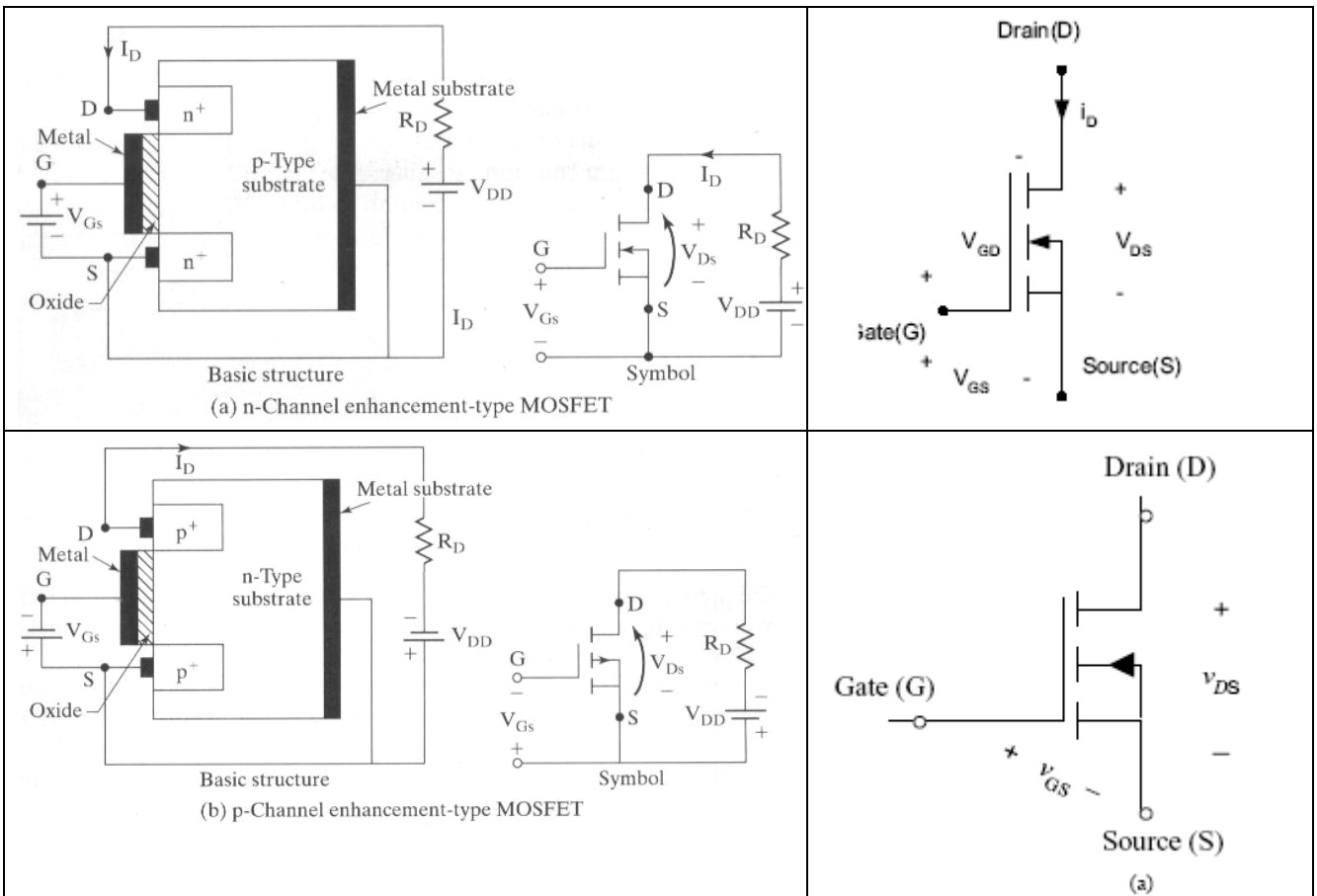
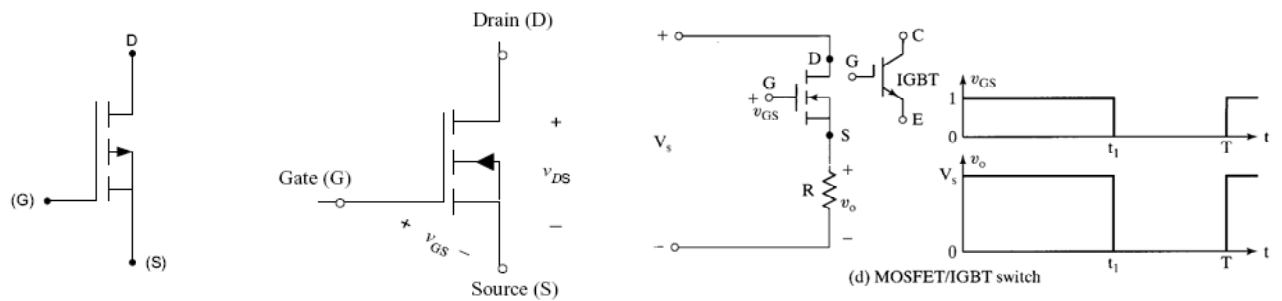
$$R_{DS(on)} = \left. \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} \right|_{v_{GS}=\text{Constant}} \quad (6.1)$$

Tổn hao công suất tổng khi dẫn với MOSFET có dòng thuận  $I_D$  và điện trở thuận  $R_{DS(on)}$  được tính:

$$P_{on,diss} = I_D^2 R_{DS(on)} \quad (6.2)$$

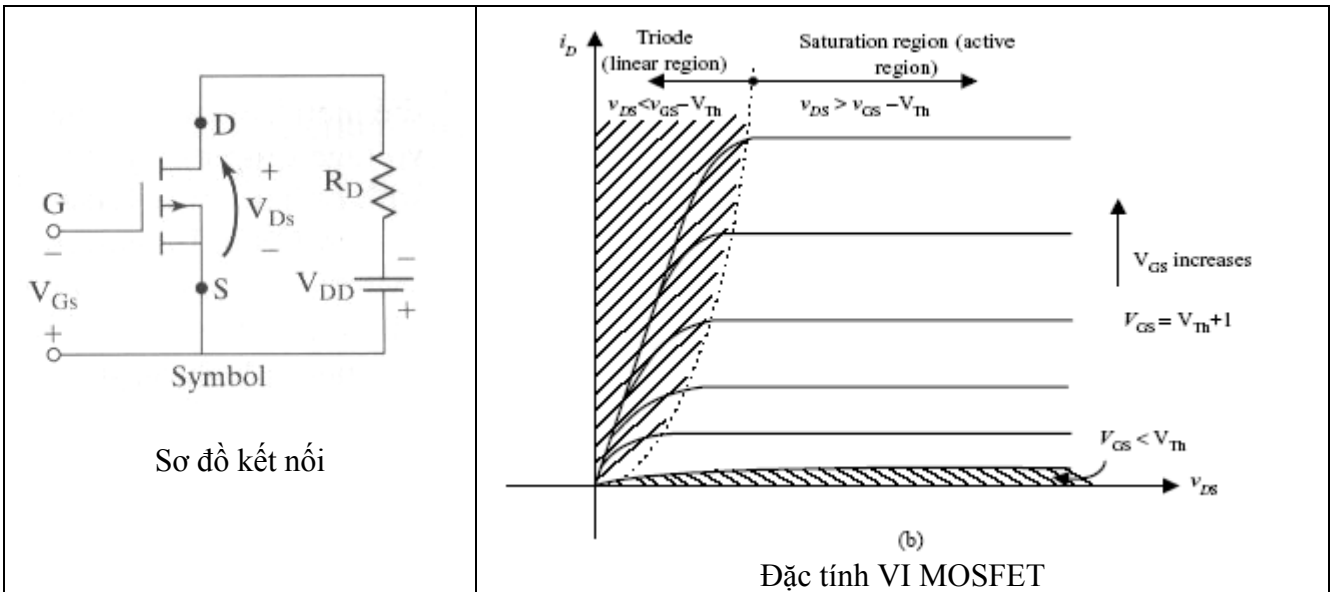
- Giá trị  $R_{DS(on)}$  có thể nhận giá trị từ 10 mΩ đến vài Ω tương ứng với điện áp thấp và điện áp cao. Ở trạng thái dẫn điện trở này là thông số quan trọng, vì nó xác định điện áp rơi trên linh kiện và tổn hao công suất. Khác với linh kiện điều khiển bằng dòng điện BJT, cần dòng điện Base để dẫn dòng điện tải, MOSFET là linh kiện điều khiển bằng áp và chỉ cần dòng điện (gate) rất nhỏ vì vậy công suất cần thiết nhỏ hơn BJT. Tuy nhiên đó không phải là dòng khóa giống BJT, nghĩa là điện áp kích luôn phải tồn tại. So sánh với BJT tần số đóng ngắt của MOSFET lớn hơn nhiều lần đến MHz, BJT có khả năng mang tải cao hơn MOSFET. MOSFET có điện trở khi dẫn lớn hơn BJT. Một số sự khác biệt, BJT nhạy cảm với nhiệt độ lớp tiếp xúc hơn,
- Khi điện áp cổng Gate có giá trị dương đủ lớn so với Source, điện tử từ lớp  $n^+$  sẽ dịch chuyển sang cổng p. Nó làm cho cổng gần với Gate và cho phép dòng điện chạy từ Drain đến Source. Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) sẽ cách điện giữa cổng và cả lớp tiếp xúc:  $n^+$  và p. Trên vùng cực Drain tạo lớp đệm  $n^+$  và lớp trôi  $n^-$ . Cực điều khiển và cực công suất bị cách ly.

## 2. Ký hiệu và sơ đồ kết nối



### 3. Đặc tính Volt-Ampere MOSFET

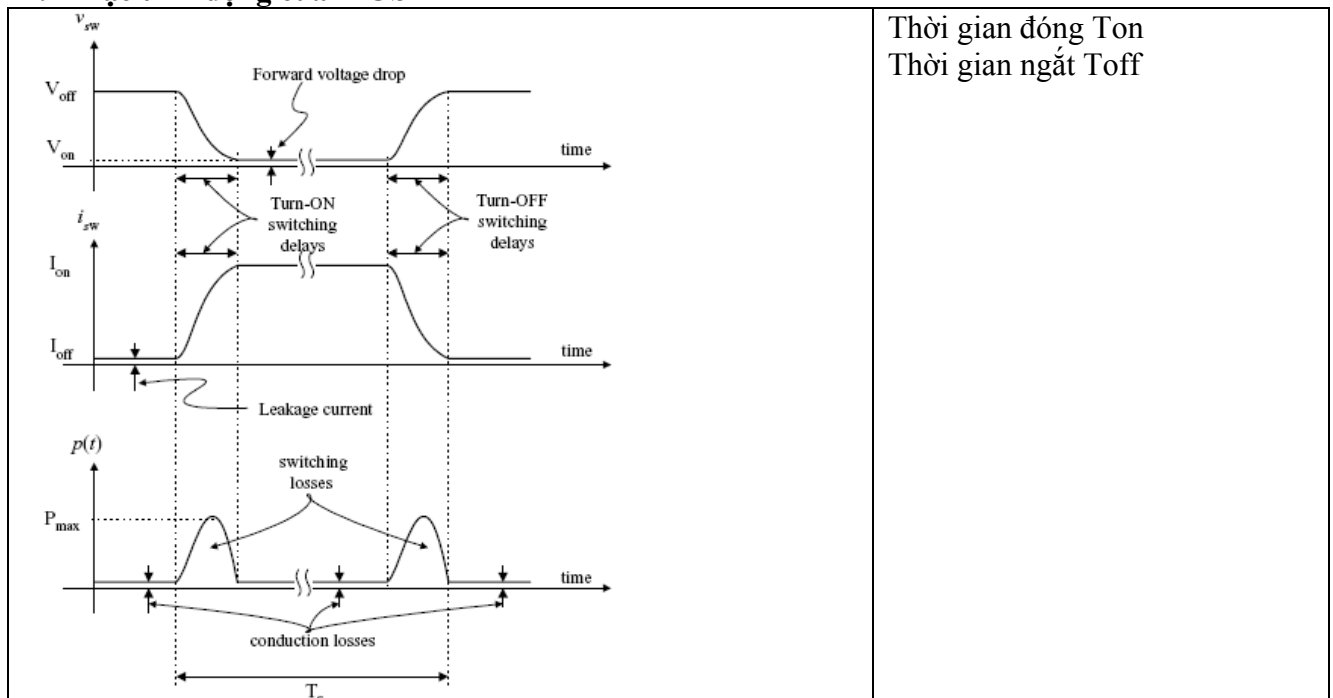




Đặc tính V-I của MOSFET được phân làm 3 vùng:

- **Cutoff mode - Vùng nghịch:**  $V_{GS} < V_{Th}$  đặc tính ra với thông số  $I_D = 0$ . Nằm trong vùng này. MOSFET ở chế độ ngắt. Trong đó  $V_{Th}$  là điện áp đóng của MOSFET
- **Triode mode or Linear Active - Vùng tích cực:**  $V_{DS} < V_{GS} - V_{Th}$ ;  $V_{GS} > V_{Th}$  là vùng mà MOSFET dẫn, dòng điện chạy từ cổng Drain đến cổng Source. Dòng  $I_D$  tỷ lệ với điện áp  $V_{DS}$ . Dòng điện  $I_D$  lớn và điện áp Drain – Source nhỏ, MOSFET hoạt động như khóa đóng ngắt.
- **Saturation - Vùng bão hòa:**  $V_{DS} > V_{GS} - V_{Th}$ ;  $V_{GS} > V_{Th}$  Dòng điện Drain  $I_D$  hầu như không đổi khi điện áp  $V_{DS}$  tăng và MOSFET hoạt động như một khâu khuếch đại.
- MOSFET trong ĐTCS chỉ sử dụng hai trạng thái **Triode mode** và **Cutoff mode**

#### 4. Đặc tính động của MOSFET



#### 5. Các thông số và tính chất cơ bản MOSFET

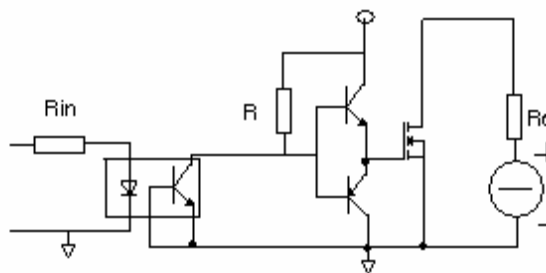
- Để MOSFET ở trạng thái đóng, đòi hỏi điện áp cổng tác dụng liên tục. Dòng điện đi vào mạch cổng điều khiển không đáng kể trừ khi mạch ở trạng thái quá độ, đóng hoặc ngắt dòng. Lúc đó xuất hiện dòng phóng và nạp điện cho tụ của mạch cổng.
- Thời gian đóng ngắt rất nhỏ, khoảng vài  $ns$  đến hàng trăm  $ns$  phụ thuộc vào linh kiện. Điện trở trong của MOSFET khi dẫn điện  $R_{D,ON}$  thay đổi phụ thuộc vào khả năng chịu áp của linh kiện. Do đó, các linh kiện MOSFET thường có định mức áp thấp tương ứng với trở kháng trong nhỏ và tổn hao ít.
- Do tốc độ đóng ngắt nhanh, tổn hao phát sinh thấp. Do đó, với định mức áp từ 300V- 400V MOSFET tỏ ra ưu điểm so với BJT ở tần số vài chục  $kHz$ .
- MOSFET có thể sử dụng đến mức điện áp 1000V, dòng điện vài chục amper và với mức điện áp vài trăm volt với dòng cho phép đến khoảng 100A. Điện áp điều khiển tối đa 20V (2V, 5V, 10V.. tùy theo loại), mặc dù thông thường có thể dùng áp đến 5V để điều khiển được nó.
- MOSFET là linh kiện bán dẫn điều khiển đóng ngắt bằng điện áp và đòi hỏi dòng điện nhỏ. Tần số đóng ngắt rất cao và thời gian đạt đến 100 kHz. Vì vậy MOSFET ứng dụng trong các bộ biến đổi công suất nhỏ và tần số cao. Tuy nhiên, linh kiện MOSFET khi kết hợp với công nghệ linh kiện GTO lại phát huy hiệu quả cao và chúng kết hợp với nhau tạo nên linh kiện MTO có ứng dụng cho các tải công suất lớn.
- MOSFET đòi hỏi công suất tiêu thụ ở mạch cổng kích thấp, tốc độ kích đóng nhanh và tổn hao đóng ngắt thấp. Tuy nhiên, MOSFET có điện trở khi dẫn điện lớn, do vậy công suất tổn hao khi dẫn điện lớn làm nó không thể phát triển thành linh kiện công suất lớn.
- Các linh kiện MOSFET có thể đấu song song để mở rộng công suất
- Ứng dụng cho các bộ biến đổi công suất nhỏ
- Tần số đóng cắt của MOSFET lên đến 100 kHz.
- Áp định mức của MOSFET đến 1000V
- Dòng định mức của MOSFET đến 50 A
- Mosfet có cấu trúc diode ngược lý sinh (do cấu trúc bán dẫn)
- Độ sụt áp trên MOSFET cao hơn so với BJT
- Điện trở khi dẫn (từ 0,1  $\Omega$  đến vài  $\Omega$ )
- Tổn hao trong MOSFET cao.

#### 6. Các trạng thái đóng ngắt.

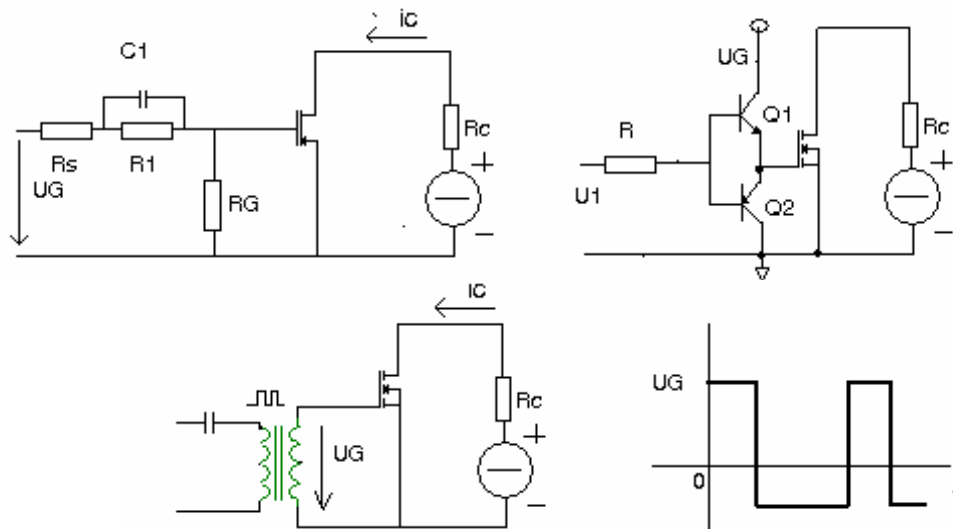
- $U_{DS} > 0, U_{GS} > 0$ : MOSFET đóng
- $U_{GS} \leq 0$ : MOSFET ngắt

#### 7. Mạch bảo vệ.

- Không cần bảo vệ nhiều như BJT nhưng ta có thể sử dụng mạch RC mắc song song với ngõ ra của linh kiện để hạn chế tác dụng của gai điện áp và các xung nhiễu dao động xuất hiện khi linh kiện đóng.



**8. Mạch kích.** Tương tự như BJT, mạch kích cổng G của MOSFET có thể được cách ly với mạch tạo tín hiệu điều khiển thông qua biến áp xung, optron hoặc diode quang.



**Bảng 1.2 Các thông số đặc trưng của MOSFET**

Loại MOSFET	Điện áp định mức (V)	Dòng điện định mức (A)	Ron ( $\Omega$ )	
IRFZ48	60	<b>50</b>	0.018	
IRF510	100	5.6	0.54	
IRF540	100	28	0.077	
APT10M25BNR	100	75	0.025	
IRF740	400	10	0.55	
MTM15N40E	400	15	0.3	
APT5025BN	500	23	0.25	
APT1001RBNR	1000	11	1.0	

#### 4. IGBT - INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

- Insulated gate bipolar transistor (IGBT) – được phát minh vào đầu những năm 1980 và là linh kiện rất thành công với những đặc tính nổi trội. IGBT có cấu trúc 3 cực ứng dụng trong điều khiển năng lượng điện và nhiều ứng dụng khác không thể hiệu quả khi không có IGBT. Trước khi xuất hiện IGBT, BJT và MOSFET được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công suất vừa và nhỏ với tần số đóng ngắt cao mà ở đó GTO không thể sử dụng.
- IGBT có đặc tính tốt hơn so với các linh kiện còn lại do IGBT là mạch Darlington của BJT và MOSFET, vì vậy nó có điện trở khi dẫn nhỏ như BJT, cách ly cực điều khiển và cực công suất như MOSFET và điều khiển bằng điện áp.

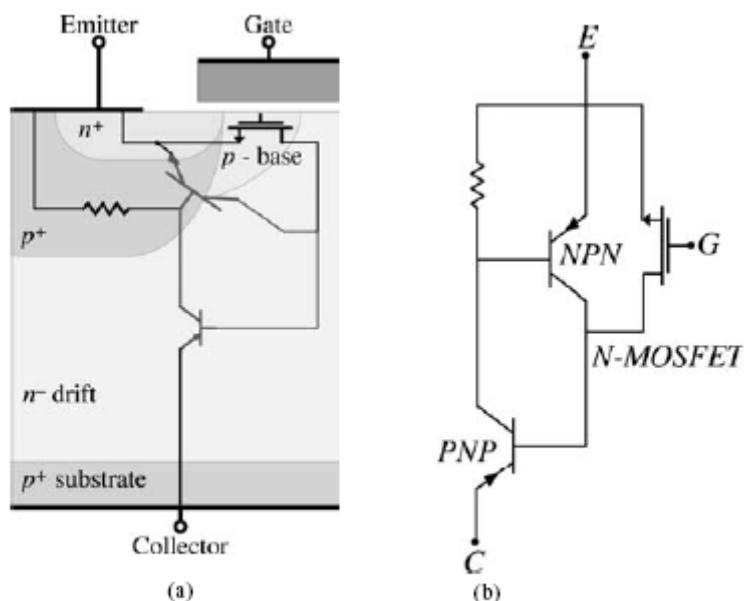
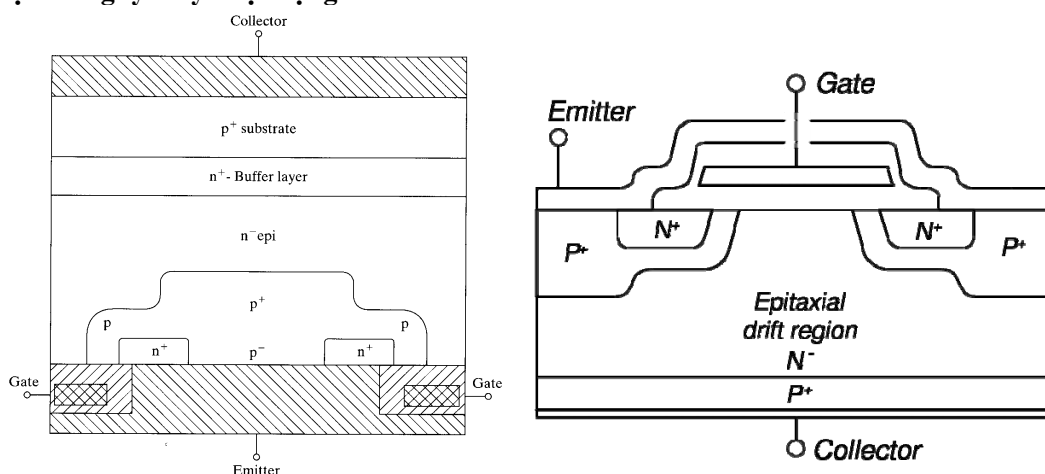


FIGURE 7.2 The IGBT (a) half-cell vertical cross section and (b) equivalent circuit model.

##### 1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



Lớp p cực Collector của IGBT kết hợp với lớp n vùng khuếch tán tạo tiếp xúc p-n, khi dẫn. Để đơn giản ta giả thiết cực Emitter là điện thế mát (ground potential).

Khi điện thế cực C âm, lớp tiếp xúc p-n khuếch tán phân cực ngược, ngăn không cho dòng điện tải chạy trong linh kiện – linh kiện ở trạng thái ngắt.

Khi cực G có điện áp mát (ground potential) mà điện áp dương trên cực C, tiếp xúc p-n khuếch tán cũng phân cực ngược, làm cho dòng điện tải không chạy trong linh kiện – linh kiện ở trạng thái chưa dẫn.

Khi cực G mang điện thế dương lớn hơn điện áp đóng  $V_{Th}$ , kênh n được hình thành cho phép điện tử dịch chuyển vào vùng n-khuếch tán. Lớp tiếp xúc p-n khuếch tán phân cực thuận và điện tích lỗ hổng dịch chuyển vào vùng khuếch tán. Trong vùng này điện tử kết hợp với điện tích lỗ hổng thiết lập khoảng trung hòa, các điện tích lỗ hổng còn lại kết nối với cực E, tạo dòng điện giữa hai cực E-C.

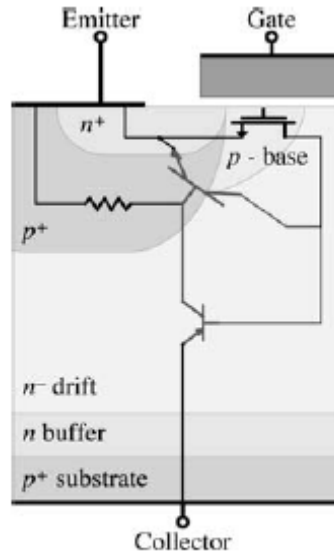
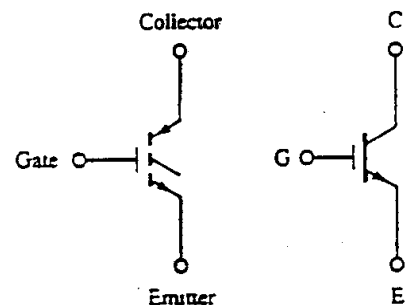
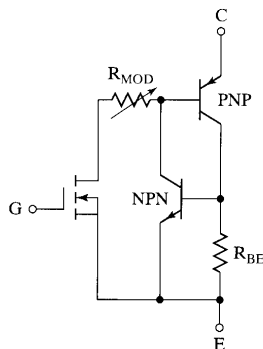
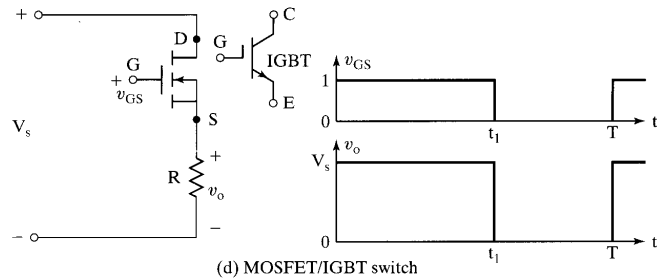


FIGURE 7.4 Punch-through (PT) IGBT.

- IGBT là transistor công suất hiện đại, chế tạo trên công nghệ VLSI, cho nên kích thước gọn nhẹ. Nó có khả năng chịu được điện áp và dòng điện lớn cũng như tạo nên độ sụt áp vừa phải khi dẫn điện.
- IGBT có cấu trúc gồm bốn lớp p-n-p-n. IGBT có cấu tạo gồm 3 cổng Gate (G), Collector (C), Emitter (E). Mạch điều khiển nối vào cổng GE, mạch công suất được nối giữa cổng C-E.
- IGBT được thực hiện từ sự kết hợp giữa IGBT đầu vào với cổng Gate cách ly và transistor dạng n-p-n đầu ra, nhờ đó mà IGBT tập hợp được những đặc tính của cả IGBT và IGBT. Cổng Gate của IGBT giống như cổng Gate của MOSFET, còn cực Collector và Emitter giống như BJT.
- Việc kích dẫn IGBT được thực hiện bằng xung điện áp đưa vào cổng kích G. Khi tác dụng lên cổng G điện thế dương so với Emitter để kích đóng IGBT, các hạt mang điện loại n được kéo vào kênh p gần cổng G làm giàu điện tích mạch cổng p của transistor n-p-n và làm cho IGBT dẫn điện. Để ngắt IGBT ta ngắt điện áp cấp cho cổng GE.

## 2. Ký hiệu v sơ đồ kết nối





### 3. Đặc tính Volt-Amper IGBT

- Đặc tính V-A của IGBT có dạng tương tự như đặc tính V-A của MOSFET.

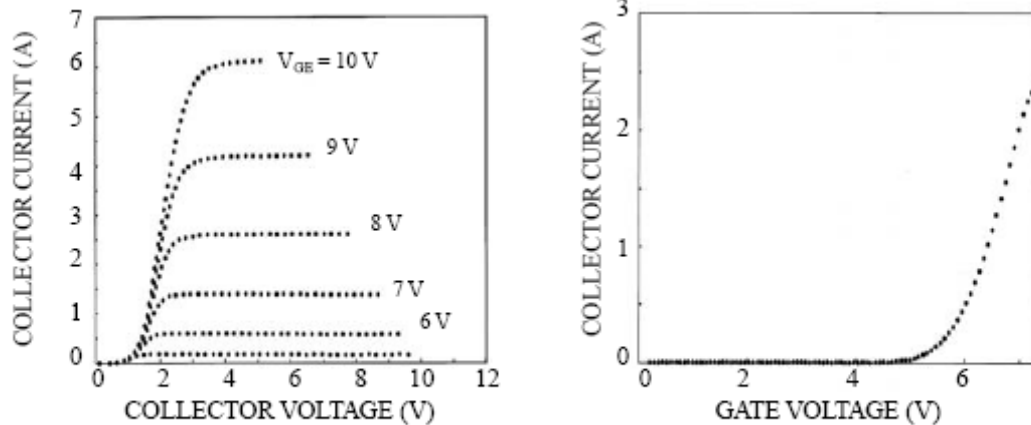
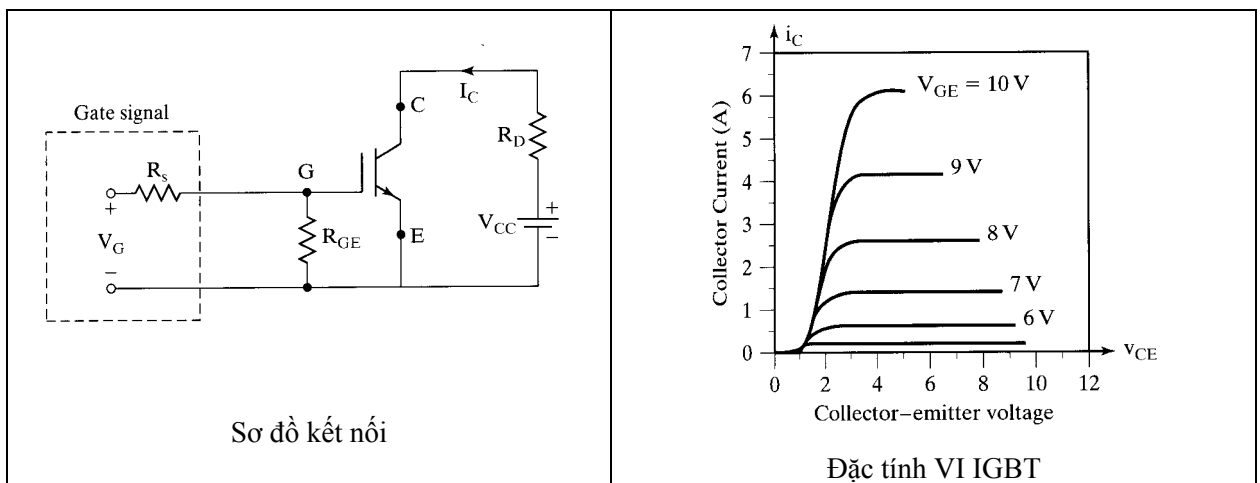


FIGURE 7.3 The IGBT (a) forward- and (b) transfer characteristics.

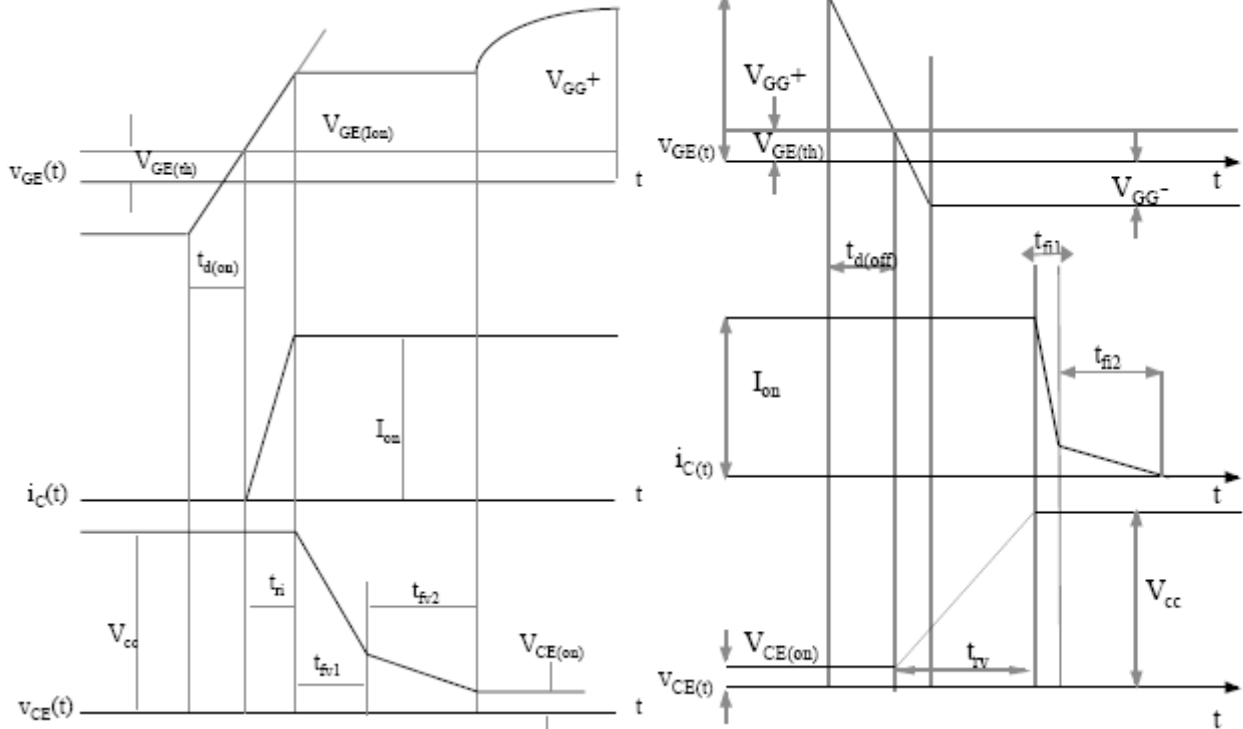


Đặc tính V-I của IGBT được phân làm 3 vùng:

- **Cutoff mode - Vùng nghịch:**  $V_{GE} < V_{Th}$  đặc tính ra với thông số  $I_D = 0$ . Nằm trong vùng này, IGBT ở chế độ ngắt. Trong đó  $V_{Th}$  là điện áp đóng của MOSFET
- **Triode mode or Linear Active - Vùng tích cực:**  $V_{CE} < V_{GE} - V_{Th}$ ;  $V_{GE} > V_{Th}$  là vùng mà IGBT dẫn, dòng điện chạy từ cổng Drain đến cổng Source. Dòng  $I_C$  tỷ lệ với điện áp  $V_{CE}$ . Dòng điện  $I_C$  lớn và điện áp C-E nhỏ, IGBT hoạt động như khóa đóng ngắt.
- **Saturation - Vùng bão hòa:**  $V_{CE} > V_{GE} - V_{Th}$ ;  $V_{GE} > V_{Th}$  Dòng điện  $I_C$  hầu như không đổi khi điện áp  $V_{CE}$  tăng và IGBT hoạt động như một khâu khuếch đại.

- IGBT trong ĐTCS chỉ sử dụng hai trạng thái **Triode mode** và **Cutoff mode**
- Để ngắt IGBT, cực G được nối tắt với cổng E làm cho dòng điện trong transistor p-n-p ngưng. Dòng IC đột ngột giảm nguyên nhân là vì kênh điện tử bị gỡ bỏ, đồng thời hạt điện tích dương dư thừa trong vùng n-khuếch tán bị suy giảm vì kết hợp lại với điện tử.

#### 4. Đặc tính động của IGBT



Thời gian chuyển sang trạng thái ON của IGBT lớn hơn so với MOSFET, trong thời gian  $t_{d(on)}$ , dòng kích nạp tụ theo sườn dốc điện áp Gate-Emitter đến giá trị điện áp ngưỡng  $V_{GE(th)}$ , trong thời gian  $t_{tr}$  dòng điện tải tăng đến giá trị ổn định, giá trị của thời gian này xác định sườn dòng điện. Khi điện áp Gate-Emitter đạt đến giá trị  $V_{GE(Ion)}$ , dòng điện Collector ổn định, điện áp collector-emitter bắt đầu giảm. Sau hai khoảng thời gian IGBT dẫn. Trong khoảng thời gian đầu  $t_{fv1}$  điện áp collector-to-emitter giảm nhanh, thời gian  $t_{fv2}$  cần để thiết lập điều kiện phun ở mức cao trong vùng khuếch tán. Điện áp Gate bắt đầu tăng lại chỉ sau khi transistor chuyển từ vùng bão hòa sang vùng tuyến tính, khi transistor dẫn hoàn toàn và điện áp collector-emitter đạt giá trị điện áp dẫn cuối cùng.

#### 5. Các thông số cơ bản IGBT

- IGBT kết hợp những ưu điểm của MOSFET và BJT.
- Ưu điểm của IGBT là khả năng đóng ngắt nhanh, làm nó được sử dụng trong các bộ biến đổi điều chế độ rộng xung tần số cao. IGBT hiện chiếm vị trí quan trọng trong công nghiệp với hoạt động trong phạm vi công suất đến 10MW hoặc cao hơn nữa.
- Công nghệ chế tạo IGBT phát triển tăng nhanh công suất của IGBT đã giúp nó thay thế dần GTO trong một số ứng dụng công suất lớn. Điều này còn dẫn đến các cải tiến hơn nữa công nghệ của GTO và tạo nên các dạng cải tiến của nó như MTO, ETO và IGCT.
- Giống như MOSFET, linh kiện IGBT có điện trở mạch cổng lớn làm hạn chế công suất tổn hao khi đóng và ngắt. Giống như BJT, linh kiện IGBT có độ sụt áp khi dẫn điện thấp ( $\sim 2 \rightarrow 3V$ ; 1000V định mức) nhưng cao hơn so với GTO. Khả năng chịu áp khóa tuy cao nhưng thấp hơn so với các thyristor. IGBT có thể làm việc với dòng điện lớn. Tương tự như GTO, transistor IGBT có khả năng chịu áp ngược cao.
- So với thyristor, thời gian đáp ứng đóng và ngắt IGBT rất nhanh, khoảng một vài  $\mu s$  và khả năng chịu tải đạt đến mức điện áp vài ngàn Volt ( $6kV$ ) và dòng điện vài ngàn Amper.

-Khả năng đóng cắt nhanh đến 100kHz

- Áp định mức đến 6.3 kV
- Dòng định mức đến 2,4 kA
- Điện trở linh kiện khi dẫn đến 50mΩ .
- Ứng dụng cho bộ biến đổi có công suất lớn đến 10MW
- Có khả năng chịu áp ngược cao.
- Sụt áp thấp 2-3V với áp định mức 1000V.

**6. Modul IGBT thông minh (Intelligent Power Modul):** được chế tạo bởi công nghệ tích hợp cao. Trên modul chứa đựng phần tử IGBT, mạch kích lái, mạch bảo vệ, cảm biến dòng điện. Các modul này đạt độ tin cậy rất cao.



**7. Các trạng thái đóng ngắt.**

- $U_{CE} > 0, U_{GE} > 0$ : IGBT đóng
- $U_{GE} \leq 0$ : IGBT ngắt

**8. Mạch bảo vệ:** IGBT có khả năng hoạt động tốt *không cần đến mạch bảo vệ*. Trong trường hợp đặc biệt, có thể sử dụng mạch bảo vệ của MOSFET áp dụng cho IGBT

**9. Mạch kích.** Mạch kích IGBT được thiết kế tương tự như mạch kích cho MOSFET. Do giá thành IGBT cao, và đặc biệt cho công suất lớn, mạch kích lái IGBT được chế tạo dưới dạng IC công nghiệp. Các IC này có khả năng tự bảo vệ chống quá tải, ngắn mạch, được chế tạo tích hợp dạng modul riêng (1,2,4,6 driver) hoặc tích hợp trên cả modul bán dẫn (hình thành dạng complex (bao gồm mạch lái, IGBT và mạch bảo vệ)

**Bảng 1.3 Các thông số đặc trưng của IGBT**



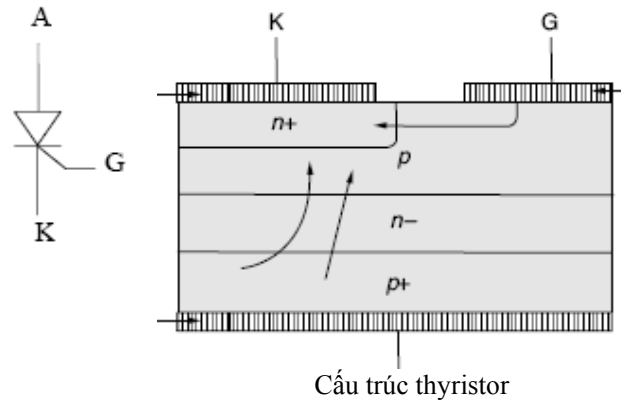
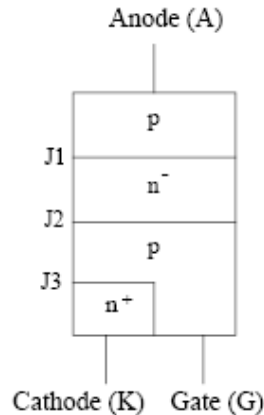
**Bảng 1.3** Các thông số đặc trưng của IGBT

Loại	Điện áp định mức lớn nhất	Dòng trung bình định mức	$V_{TM}$	$t_{on}$ (đặc trưng)
Linh kiện rời				
HGTG32N60E2	600V	32A	2.4V	0.62 $\mu s$
HGTG30N120D2	1200V	30A	3.2V	0.58 $\mu s$
Linh kiện dạng module				
CM400HA-12E	600V	400A	2.7V	0.3 $\mu s$
CM300HA-24E	1200V	300A	2.7V	0.3 $\mu s$
Module áp thấp				
	30V	60A	0.48V	
	45V	440A	0.69V	
	150V	30A	1.19V	

## 5. SCR - SILICON CONTROLER RECTIFIER

- Thyristors là linh kiện bán dẫn 4 lớp p-n và 3 cực, khác với transistor quan hệ giữa dòng điện tải và dòng điện điều khiển là lưỡng ổn định. Công điều khiển là Gate (G) có thể được tích hợp trong cấu trúc của linh kiện. Hai cổng còn lại anode (A) and cathode (K), cần chịu điện áp lớn và dẫn dòng điện chính qua linh kiện. Hai cổng này được nối tiếp với tải.
- Thyristor được sử dụng gần lý tưởng: khi đóng (dẫn) – không có điện áp rơi trên anode và cathode và khi ngắt (mở) không có dòng điện anode, để điều khiển công suất tải.

### 9. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.



Hoạt động của Thyristors được mô tả như sau:

Khi điện áp dương trên anode (so với cathode), thyristor ở trạng thái khóa thuận (forward-blocking state).

Lớp tiếp xúc J2 phân cực ngược. Trong chế độ này dòng kích gate

current bằng 0 (mạch hở). Trong thực tế, điện áp cổng gate có giá trị âm nhỏ (so với cathode) trên tiếp xúc phân cực ngược GK J3 và ngăn dịch chuyển điện tích vào lớp p. Trong điều kiện này chỉ có tác động nhiệt tạo dòng rò qua linh kiện và thường có giá trị gần bằng 0 (Giá trị thực tế dòng rò nhỏ hơn nhiều lần so với dòng điện thuận khi linh kiện dẫn). Nếu điện áp thuận không vượt quá giá trị cần thiết để tạo dịch chuyển nhân trong vùng nghèo điện tích J2 (hiệu ứng đánh thủng), thyristor vẫn ở trạng thái ngắt – khóa thuận (forwardblocking).

Nếu điện áp vượt quá điện áp điện áp thuận cực đại thyristor, thyristor chuyển sang trạng thái dẫn. Tuy nhiên chế độ đóng này có thể gây hư hỏng linh kiện vì vậy cần tránh.

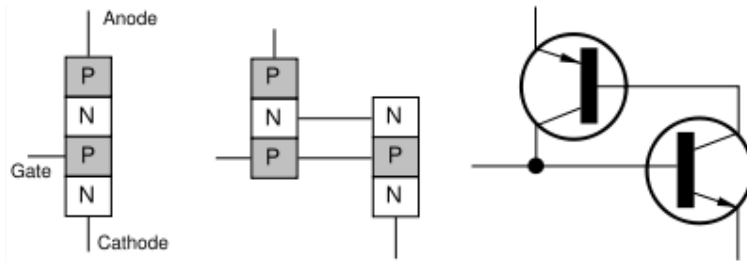
Khi dòng điện dương trên cổng gate tiếp xúc J3 trở nên dẫn thuận, điện tử từ lớp n chạy sang lớp p. Một số điện tử khuếch tán qua lớp p và được nối với lớp n, Do đó làm thay đổi điều kiện dịch chuyển của tiếp xúc J1. Sự thay đổi này làm cho điện tích lỗ hổng dương phun từ lớp p –emitter sang lớp n., những điện tích này khuếch tán qua lớp n và kết nối với lớp p-. điện tích bổ xung trong lớp p cũng là dòng gate. Toàn bộ quá trình này được tái sinh và là nguyên nhân làm cho lớp tiếp xúc J2 phân cực thuận và thyristor được chốt ở trạng thái dẫn (Dẫn thuận). Quá trình tái sinh này sẽ tồn tại khi dòng điện gate có giá trị và thời gian đủ. Phương pháp đóng thyristor bằng dòng điều khiển này là phương pháp phù hợp và mong muốn.

- Thyristor là linh kiện bán dẫn với cấu trúc gồm 4 lớp tiếp xúc n-p. Với ba cực Anode (A), Cathode (K), Gate (G).

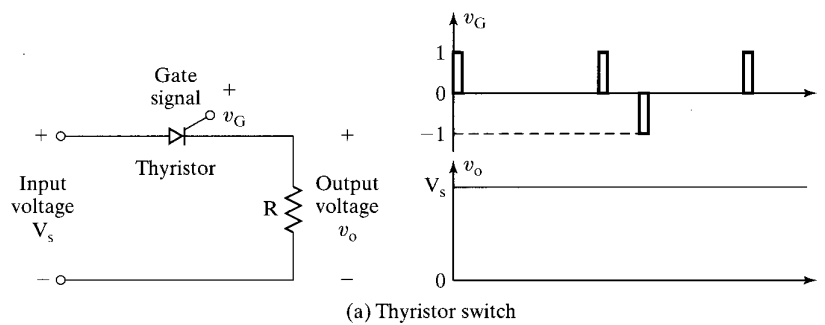
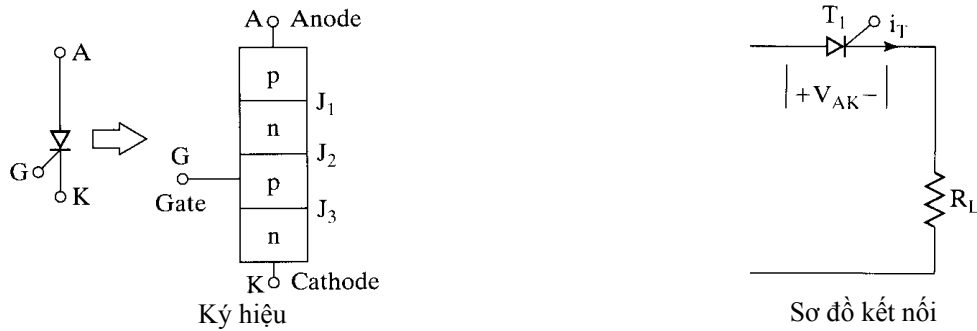
- Mạch điều khiển gắn vào cổng GK, mạch công suất gắn vào cổng AK.

- Về mặt cấu tạo Thyristor gồm một đĩa silic từ đơn tinh thể loại n, trên lớp đệm p có cực điều khiển bằng nhôm. Lớp Cathode là lớp bán dẫn loại n rất mỏng và mật độ điện tử rất cao. Nên nếu có dòng thuận qua sẽ tạo nên nhiều điện tử ở lớp điều khiển. Lớp điều khiển là bán dẫn loại p mỏng có mật độ trung bình, do đó hầu hết các điện tử ở lớp Cathode có thể tới được lớp điều khiển.

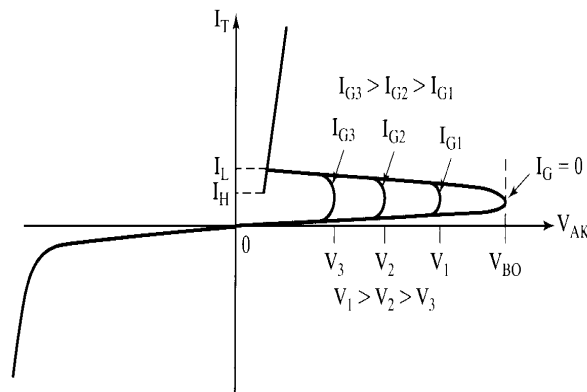
Hoạt động của Thyristor còn có thể giải thích tương tự hai transistor: hai transistor được kết nối dạng tái sinh sao cho tổng dòng điện thuận lớn hơn giá trị mà nó thể chuyển sang trạng thái bão hòa.



### 10. Ký hiệu và sơ đồ kết nối



### 11. Đặc tính Volt-Amper SCR $I_C = f(I_G, U_{AK})$



- **Nhánh thuận** :  $U_{AK} > 0$  và  $I_G > 0$ , Thyristor dẫn tương ứng với giá trị khác nhau của điện áp  $U_{AK}$  mà dòng điều khiển  $I_G$  có những giá trị khác nhau. Thyristor có thể dẫn với  $I_G = 0$  khi điện áp  $U_{AK}$  có giá trị khá lớn. Mạch tương đương của SCR gồm 2 Transistor mắc đối Collector và Base với nhau xung  $I_G$  làm 2 Transistor nhanh chóng dẫn bão hoà.

- **Nhánh nghịch** khi  $U_{AK} < 0$  Thyristor làm việc như một diode phân cực ngược và chỉ cho dòng điện rò khoảng vài mA chạy qua. Khi áp ngược đạt đến giá trị nhất định ( $U_{BR}$ ) – giá trị này phụ thuộc vào cấu trúc của Thyristor, dòng điện tăng đột ngột và Thyristor bị đánh thủng.
- Lúc SCR dẫn, trạng thái của nó giống diode nên dòng  $I_G$  không còn cần thiết nữa để duy trì trạng thái đóng của SCR.
- $V_{BO}$  (BO- Break Over) – áp thông dòng. Khi điện áp  $V_{AK}$  đủ dương để đóng SCR mà không cần tín hiệu điều khiển. Khi tăng dòng kích thì áp thông dòng giảm theo  $I_{G2} > I_{G1} > I_{G0} \rightarrow V_{B02} < U_{B01} < U_{B0}$ .
- $I_L$  (L- Latching) - Dòng chốt: Dòng điện anode nhỏ nhất để giữ cho thyristor ở trạng thái dẫn thuận mà có thể ngắt xung điều khiển.
- $I_H$  (H – Holding)- Dòng duy trì : trong quá trình dòng thuận SCR  $I_F$  thấp hơn dòng duy trì  $I_H$  thì SCR tự động chuyển sang trạng thái ngắt
- $V_{BR}$  – Áp đánh thủng SCR.

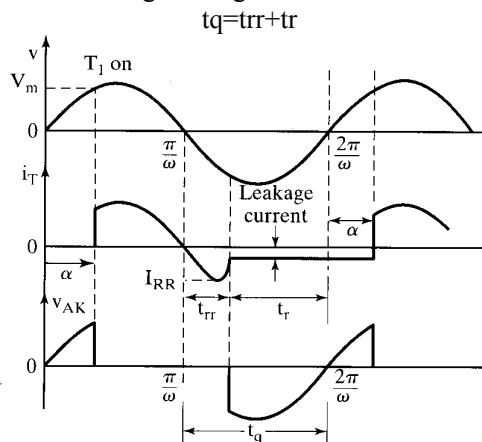
## 12. Đặc tính động của SCR

### a. Quá trình đóng SCR.

- Quá trình tăng dòng trong thyristor được bắt đầu sau một khoảng thời gian  $t_0$ , giá trị của thời gian này phụ thuộc vào biên độ dòng xung ban đầu  $I_{max}$  và dao động trong khoảng 0.1-2 mks. Trong khoảng thời gian ban đầu dòng qua thyristor tăng đến giá trị dòng chốt, dòng này thường có giá trị bằng 0,1Idm.
- Sau đó dòng điện tăng dần và đạt giá trị ổn định sau khoảng thời gian  $t_{00}$ . Sau khi thyristor dẫn xung dòng điện điều khiển có thể giảm.

### b. Quá trình ngắt SCR được tổng hợp từ 3 giai đoạn:

- Thời gian phục hồi tính nghịch trr
- $t_q$ - Thời gian ngắt an toàn của Thyristor: là khoảng thời gian từ khi dòng thuận trở về 0 cho đến khi xuất hiện điện áp khoá thuận mà SCR không bị đóng lại khi chưa có tín hiệu xung điều khiển.



- c. **Tổn hao công suất trong SCR:** bao gồm tổn hao khi dòng thuận chạy qua, tổn hao trong quá trình đóng ngắt và tổn hao trong mạch điều khiển. Tổn hao khi dòng thuận chạy qua được tính giống như ở diode. Còn tổn hao khi đóng ngắt và trong mạch điều khiển phụ thuộc vào phương pháp đóng và ngắt thyristor.

### d. Phương pháp ngắt thyristor:

- Phương pháp ngắt tự nhiên: các bộ chỉnh lưu có điều khiển, các bộ biến tần trực tiếp và bộ biến đổi điện áp xoay chiều.
- Phương pháp ngắt cưỡng bức - thường sử dụng nạp tụ

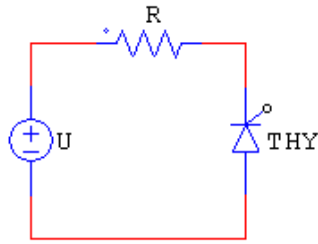
## 13. Các thông số cơ bản của SCR

- Sau khi thyristor dẫn cực điều khiển mất tính chất điều khiển vì thế không thể sử dụng nó để ngắt Thyristor. Thyristor có thể tự ngắt khi dòng điện qua nó nhỏ hơn dòng điện duy trì. Đối với Thyristor lý tưởng thì dòng duy trì bằng 0. Tuy nhiên đối với Thyristor thực tế thì giá trị này khác 0.
- Dùng cho mạch công suất lớn
- Mạch điều khiển được nối giữa cực G-K. Mạch công suất được nối giữa cực A-K
- Linh kiện điều khiển bằng dòng  $I_G$  kích đóng cho SCR
- Không có khả năng kích ngắt, SCR chỉ bị ngắt khi dòng qua nó nhỏ hơn dòng duy trì.
- Áp định mức SCR vài KV, dòng định mức vài kA

- Tín hiệu điều khiển là dòng điện, dòng điều khiển nhỏ hơn dòng điều khiển của BJT

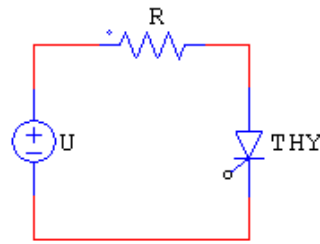
#### 14. Các trạng thái của SCR: SCR có 3 trạng thái:

- Trạng thái ngắt khi điện áp trên cực anode âm so với cực cathode.
- Trạng thái ngắt khi điện áp trên cực anode dương so với cực cathode.
- Trạng thái dẫn.



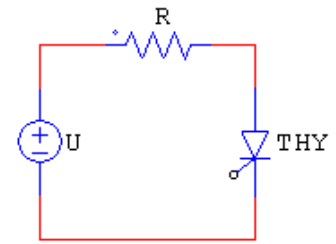
$U_{AK} < 0$  : SCR ngắt.

Khóa ngược



$U_{AK} > 0; I_G < 0$  : SCR ngắt

Khóa thuận



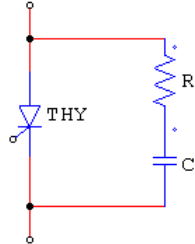
$U_{AK} > 0; I_G > 0$  : SCR dẫn

Dẫn thuận

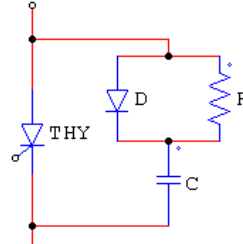
#### 15. Mạch bảo vệ

- Nếu  $dU/dt$  quá lớn dẫn đến SCR dẫn ngoài ý muốn. Vì thế người ta giới hạn tốc độ thay đổi điện áp khoá trong khoảng **10 – 100V/μs**

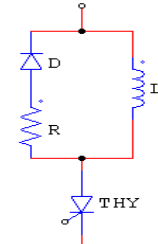
- Nếu  $dI/dt$  lớn quá sẽ làm tiết diện SCR bị quá tải ở chỗ nối với cổng làm hỏng SCR. Vì thế người ta giới hạn tốc độ tăng của dòng thuận trong khoảng 10-100A/μs.



Mạch bảo vệ du/dt

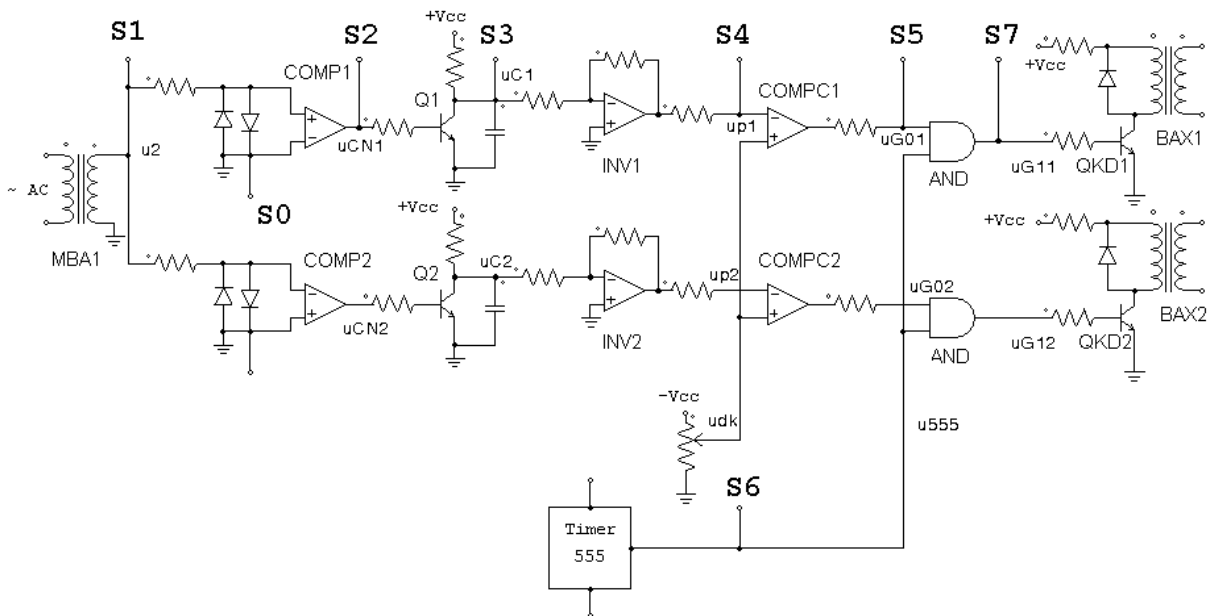


Mạch bảo vệ du/dt



Mạch bảo vệ di/dt

#### 16. Mạch kích SCR.



Thí dụ sơ đồ mạch kích thyristor

TABLE 3.3 Thyristor maximum ratings specified by manufacturers

Symbol	Description
$V_{RRM}$	Peak repetitive reverse voltage
$V_{RMS}$	Peak nonrepetitive reverse voltage (transient)
$V_{R(DC)}$	DC reverse blocking voltage
$V_{DRM}$	Peak repetitive forward off-state voltage
$V_{DSM}$	Peak nonrepetitive forward off-state voltage (transient)
$V_{D(DC)}$	DC forward blocking voltage
$I_{T(RMS)}, I_{F(RMS)}$	RMS forward on-state current
$I_{T(AV)}, I_{F(AV)}$	Average forward on-state current at specified case or junction temperature
$I_{TMS}, I_{F(TSM)}$	Peak one-cycle surge on-state current (values specified at 60 and 50 Hz)
$I_{TQ}$ (GTO)	Peak controllable current
$I^2t$	Nonrepetitive pulse overcurrent capability (8.3 ms)
$r$	Maximum power dissipation
$/t$	Critical rate of rise of on-state current at specified junction temperature, gate current, and forward blocking voltage
$P_{GM}/(P_{FGM}$ for GTO)	Peak gate power dissipation (reverse)
$P_{RGM}$ (GTO)	Peak gate power dissipation (reverse)
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation
$V_{FGM}$	Peak forward gate voltage
$V_{RGM}$	Peak reverse gate voltage
$I_{FGM}$	Peak forward gate current
$I_{RGM}$ (GTO)	Peak reverse gate current
$T_{STG}$	Storage temperature
$T_j$	Junction operating temperature
$V_{RMS}$	Voltage isolation (modules)

TABLE 3.4 Typical thyristor characteristic maximums and minimum specified by manufacturers

Symbol	Description
$V_{TM}, V_{FM}$	Maximum on-state voltage drop (at specified junction temperature and forward current)
$I_{DRM}$	Maximum forward off-state current (at specified junction temperature and forward voltage)
$I_{RRM}$	Maximum reverse off-state current (at specified junction temperature and reverse voltage)
$v/t$	Minimum critical rate of rise of off-state voltage at specified junction temperature and forward-blocking voltage level
$V_{GT}$	Maximum gate trigger voltage (at specified temperature and forward applied voltage)
$V_{GD}, V_{GDM}$	Maximum gate nontrigger voltage (at specified temperature and forward applied voltage)
$I_{GT}$	Maximum gate trigger current (at specified temperature and forward applied voltage)
$T_{\theta}$ (GTO)	Maximum turn-on time (under specified switching conditions)
$T$	Maximum turn-off time (under specified switching conditions)
$t$	Maximum turn-on delay time (for specified test)
$R_{\theta(j-c)}$	Maximum junction-to-case thermal resistance
$R_{\theta(c-s)}$	Maximum case-to-sink thermal resistance (interface lubricated)

### 5. GTO - GATE TURN OFF THYRISTOR

GTO là linh kiện bán dẫn công suất cấu trúc 3 cổng, 4 lớp p-n, thuộc họ Thyristor. Ngoài ra GTO thuộc dạng điều khiển hoàn toàn bằng dòng điện bằng cổng gate. Cấu trúc, cải tiến và hoạt động của GTO rất dễ hiểu nếu ta so sánh với thyristor thông thường. Tương tự như thyristor thông thường để đóng GTO cần một tín hiệu dương vào cổng Gate, tuy nhiên có điểm khác là để ngắt GTO cần một tín hiệu âm ở cổng Gate.

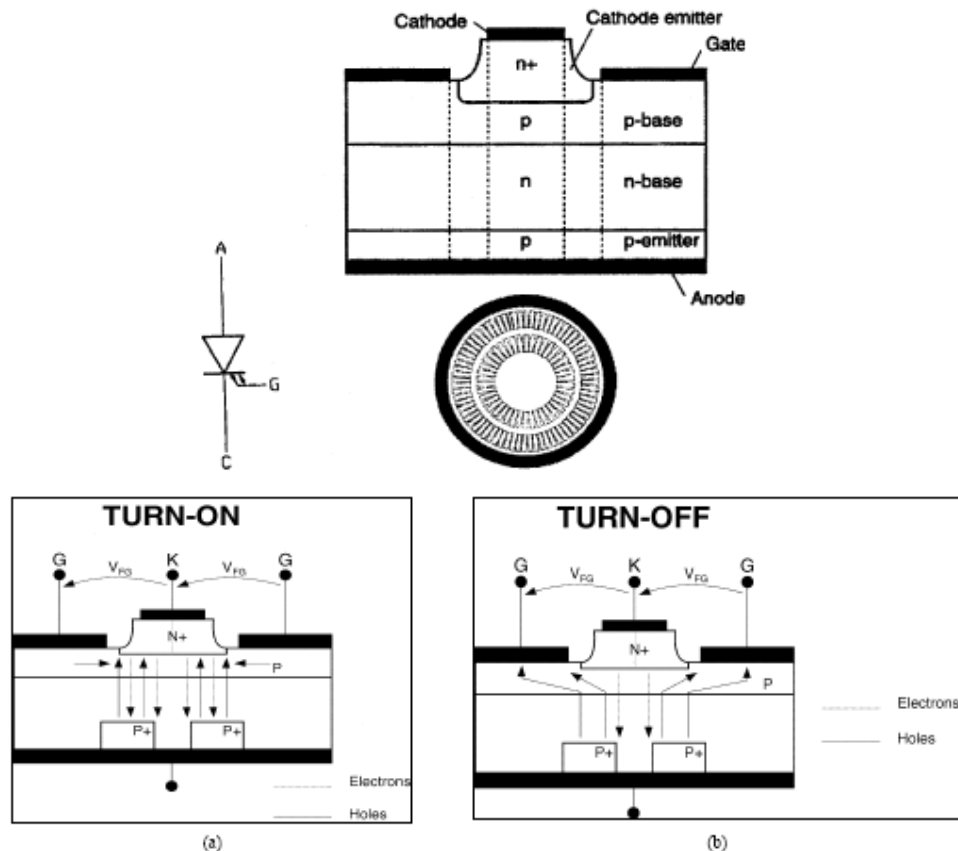
Có hai dạng GTO: không đối xứng và đối xứng, tuy nhiên loại không đối xứng được sử dụng nhiều hơn. Loại này mắc đối song với diode vì vậy khả năng khóa áp ngược là không có. Dẫn ngược được thực hiện bởi diode ngược đã được tích hợp trong linh kiện. GTO dạng đối xứng có khả năng dẫn thuận và dẫn ngược.

#### 17. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cấu trúc cơ bản của GTO tương tự như Thyristor thông thường, tuy nhiên GTO có một số thiết kế khác với thyristor để đóng và ngắt linh kiện bằng cách thay đổi dấu của tín hiệu điều khiển. Điểm khác biệt quan trọng nhất là GTO có chốt emitter hẹp bao quanh bởi điện cực gate và không đoàn mạch cathode.

Khi dẫn đặc tính của GTO tương tự thyristor, dòng các lỗ hổng phân cực thuận từ gate kết nối lớp liên kết p – cathode, làm phát xạ điện tử từ cathode. Các điện tử này chạy đến anode và tạo ra lỗ hổng bởi phát xạ anode. Sự dịch chuyển của các lỗ hổng và điện tử vào vùng base cho đến khi hiệu ứng khuếch tán làm cho GTO dẫn.

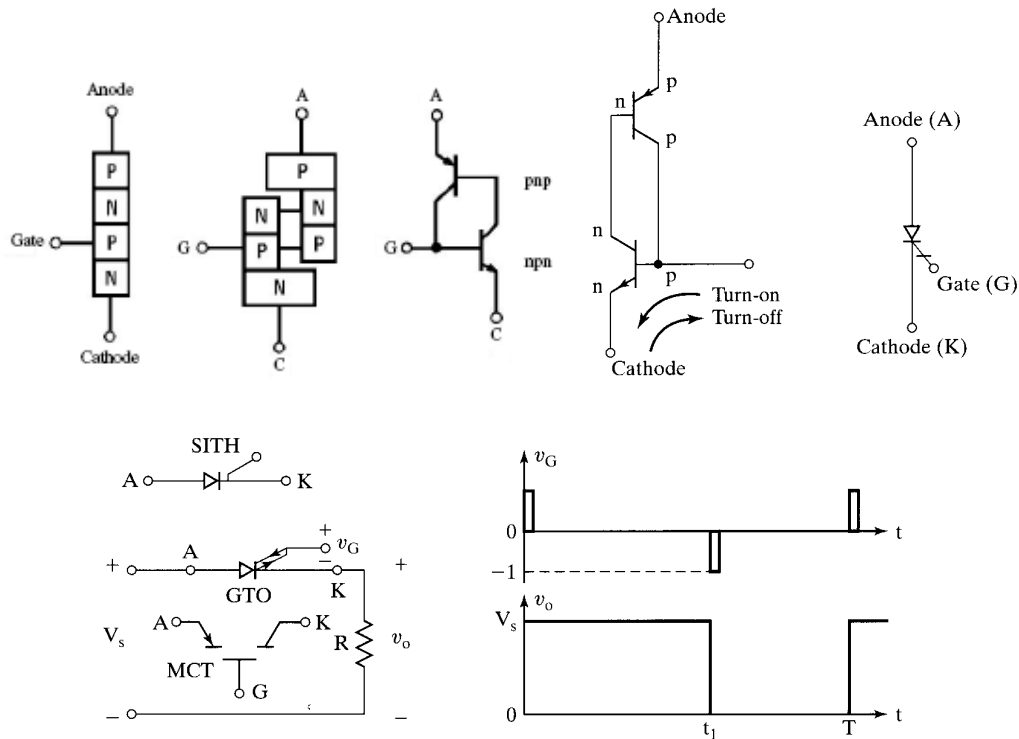
Cấu trúc của GTO gồm 4 lớp tiếp xúc n-p-n-p. Với ba cực Anode (A), Cathode (K), và Gate (G), trong đó cực Anode và Cathode được cấu tạo bởi nhiều phần tử công nghệ như những thyristor mắc song song, nhờ đó tạo khả năng ngắt từ cực điều khiển.



Tuy nhiên GTO được đóng dẫn rất nhanh và có thể chịu được tăng dòng cao ( $di/dt$ ).

Để ngắt GTO, cực gate phân cực ngược đồng thời tác động lên cathode, điện tích lỗ hổng từ anode tách khỏi lớp p. Kết quả là điện áp rơi tăng trong vùng p, và cuối cùng làm phân cực ngược tiếp xúc gate-cathode và ngắt sự dịch chuyển của điện tử. Do điện tích lỗ hổng tiếp tục bị tách ra nên lớp p trở thành vùng nghèo, bằng cách đó ép trạng thái dẫn. Dòng anode sau đó chạy qua vùng xa với cổng gate, tạo dòng điện mật độ cao. Đây là giai đoạn quyết định của quá trình ngắt GTO, do sợi mật độ cao làm tăng nhiệt, gây ra hư linh kiện nếu không dập tắt nhanh sợi này. Ứng dụng dòng điện âm giá trị lớn ở cổng gate có thể dập tắt sợi này nhanh. Tuy nhiên điện áp đánh thủng GTO làm hạn chế phương pháp này.

#### 18. Ký hiệu và sơ đồ kết nối

(b) GTO/MTO/ETO/IGCT/MCT/SITH switch (For MCT, the polarity of  $V_G$  is reversed as shown)

**19. Đặc tính Volt-Amper GTO:** Đặc tính V-A của GTO tương tự đặc tính của SCR. Ở trạng thái đóng GTO được đặc trưng bởi các thông số

- Điện áp ngưỡng  $U$
- Điện trở thuận.

## 20. Đặc tính động của GTO:

a. Quá trình đóng bao gồm thời gian trễ đóng và thời gian tăng dòng, mà trong thời gian đó điện áp trên GTO giảm đến giá trị 10% so với giá trị ban đầu. Tổng hai khoảng thời gian trên gọi là thời gian đóng. Để giảm thời gian đóng và giảm tổn hao khi đóng thì dòng điều khiển (trên cực điều khiển) ở thời điểm đầu cần phải có tốc độ thay đổi lớn  $di/dt > 5A/mks$ .

b. Quá trình ngắt GTO xảy ra khá chậm và bao gồm hai giai đoạn. Giai đoạn 1 dòng qua GTO giảm đến 10-20% giá trị dòng ban đầu. Giai đoạn hai dòng điện giảm khá chậm, thời gian kéo dài quá trình này lớn hơn khá nhiều so với thời gian của giai đoạn 1. Dòng trên cực điều khiển phải có giá trị âm và phải có biên độ khá lớn và gia tốc phải đạt giá trị  $di/dt > 20A/mks$ . Đối với GTO hiện tại biên độ dòng ngắt có giá trị bằng 30% biên độ dòng anode. Để giảm tổn hao khi đóng ngắt và bảo vệ GTO người ta cũng thường sử dụng mạch snubber.

## 21. Các thông số và tính chất cơ bản

- GTO có khả năng điều khiển ngắt bằng dòng cổng Gate giá trị âm. Vì vậy, GTO thích hợp cho một số ứng dụng khi yêu cầu điều khiển cả hai quá trình đóng và ngắt khoá bán dẫn.
- Định mức GTO : dòng vài kA , áp vài kA :
- Dùng cho mạch công suất rất lớn.

## 22. Các trạng thái đóng ngắt

GTO có 3 trạng thái:

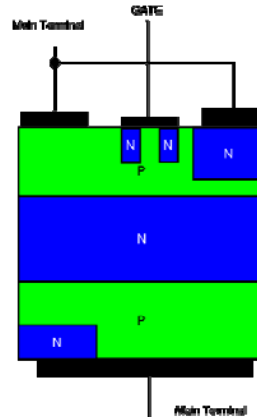
- Trạng thái ngắt khi điện áp trên cực anode âm so với cực cathode.
- Trạng thái ngắt khi điện áp trên cực anode dương so với cực cathode.
- Trạng thái dẫn.



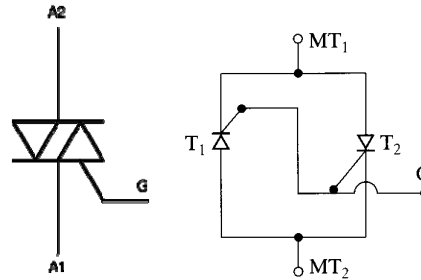
## 6. TRIAC - TRIOD ALTERNATIVE CURRENT

### 23. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:

- TRIAC được cấu tạo bởi hai Thyristor mắc đối song. Do đó linh kiện dẫn điện ở cả hai nửa chu kỳ.

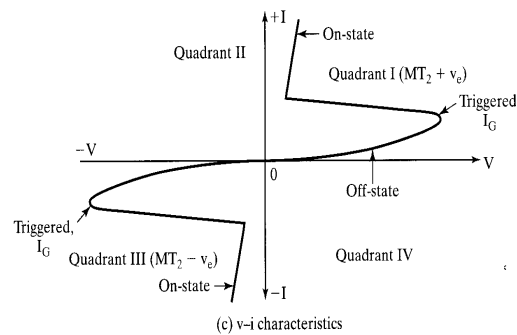


### 24. Ký hiệu và sơ đồ kết nối



### 25. Đặc tính Volt-Amper TRIAC

- Đặc tính Volt-Amper của TRIAC vẽ theo chiều quy ước của cực T1.
- Đặc tính Volt-Amper của TRIAC có tính đối xứng



### 26. Các thông số và tính chất cơ bản TRIAC

- Khái niệm Anode và Cathode không có ý nghĩa đối với TRIAC, ta đánh số T1 là cực gần cực điều khiển G.
- TRIAC chỉ bị khoá khi  $I_G = 0$  và điện áp đặt nhỏ hơn áp ngưỡng.
- Ưu điểm cơ bản của TRIAC là mạch điều khiển đơn giản. Nhưng công suất giới hạn không cao và nhỏ hơn Thyristor.
- TRIAC tự bảo vệ chống lại quá điện áp theo cả hai chiều.