

# ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

## Tài liệu tham khảo

- Điện tử công suất – Lê Văn Doanh
- Giáo trình điện tử công suất – Nguyễn Văn Nhờ
- Điện tử công suất – Nguyễn Bính

[dqvinh@dng.vnn.vn](mailto:dqvinh@dng.vnn.vn)

0903 586 586

# CHƯƠNG 1

## MỞ ĐẦU – CÁC LINH KIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

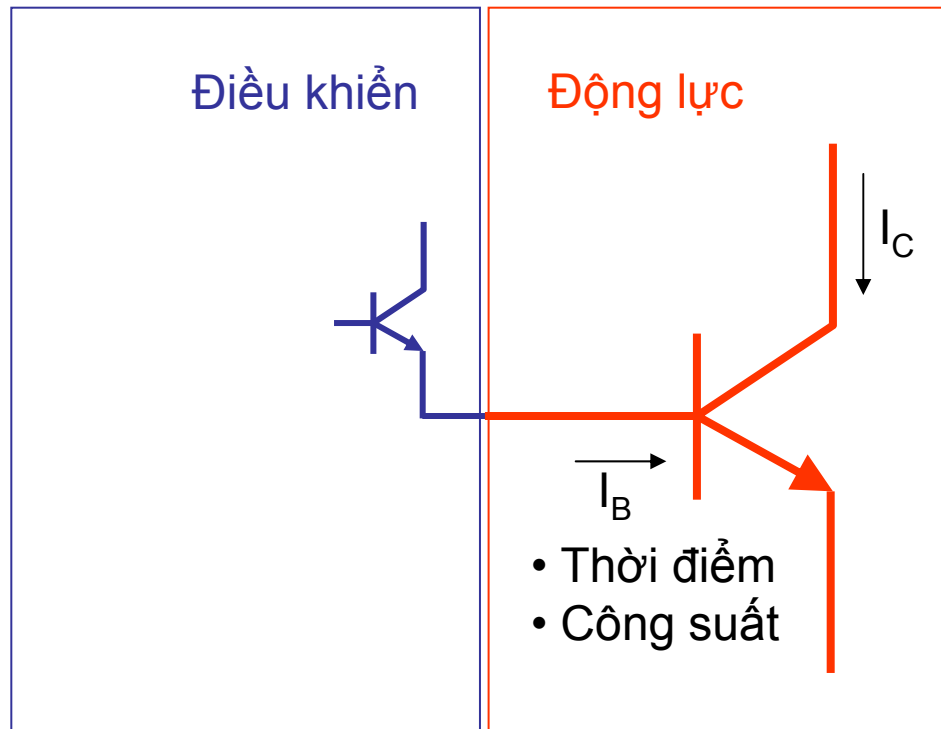
### 1.1 Khái niệm chung

Điện tử Công suất lớn

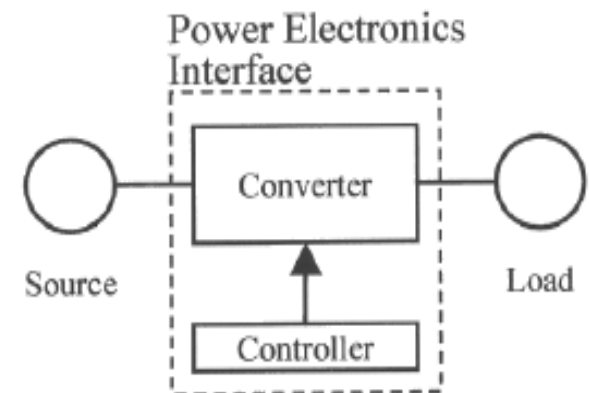
Các linh kiện điện tử công suất được sử dụng  
trong các mạch động lực – công suất lớn

## Sự khác nhau giữa các linh kiện điện tử ứng dụng (điện tử điều khiển) và điện tử công suất

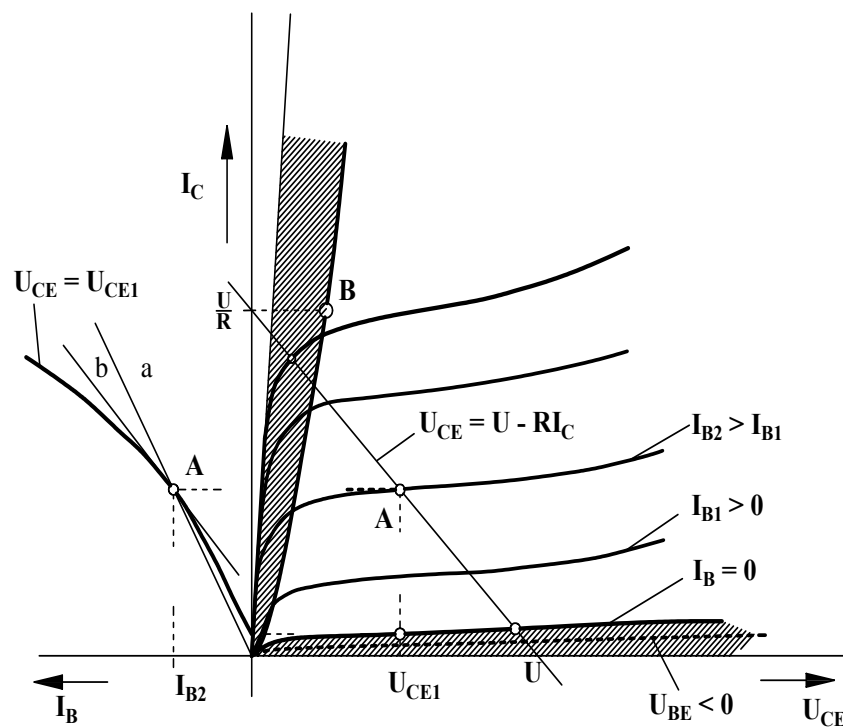
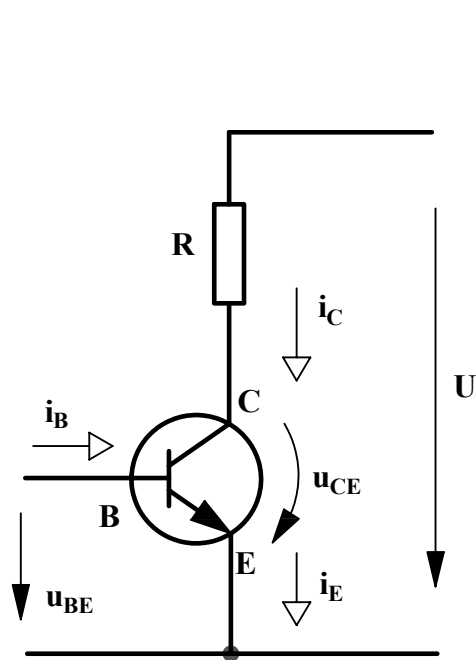
- Công suất: nhỏ – lớn
- Chức năng: điều khiển – đóng cắt dòng điện công suất lớn



**Các linh kiện điện tử công suất chỉ làm chức năng đóng cắt dòng điện – các van**

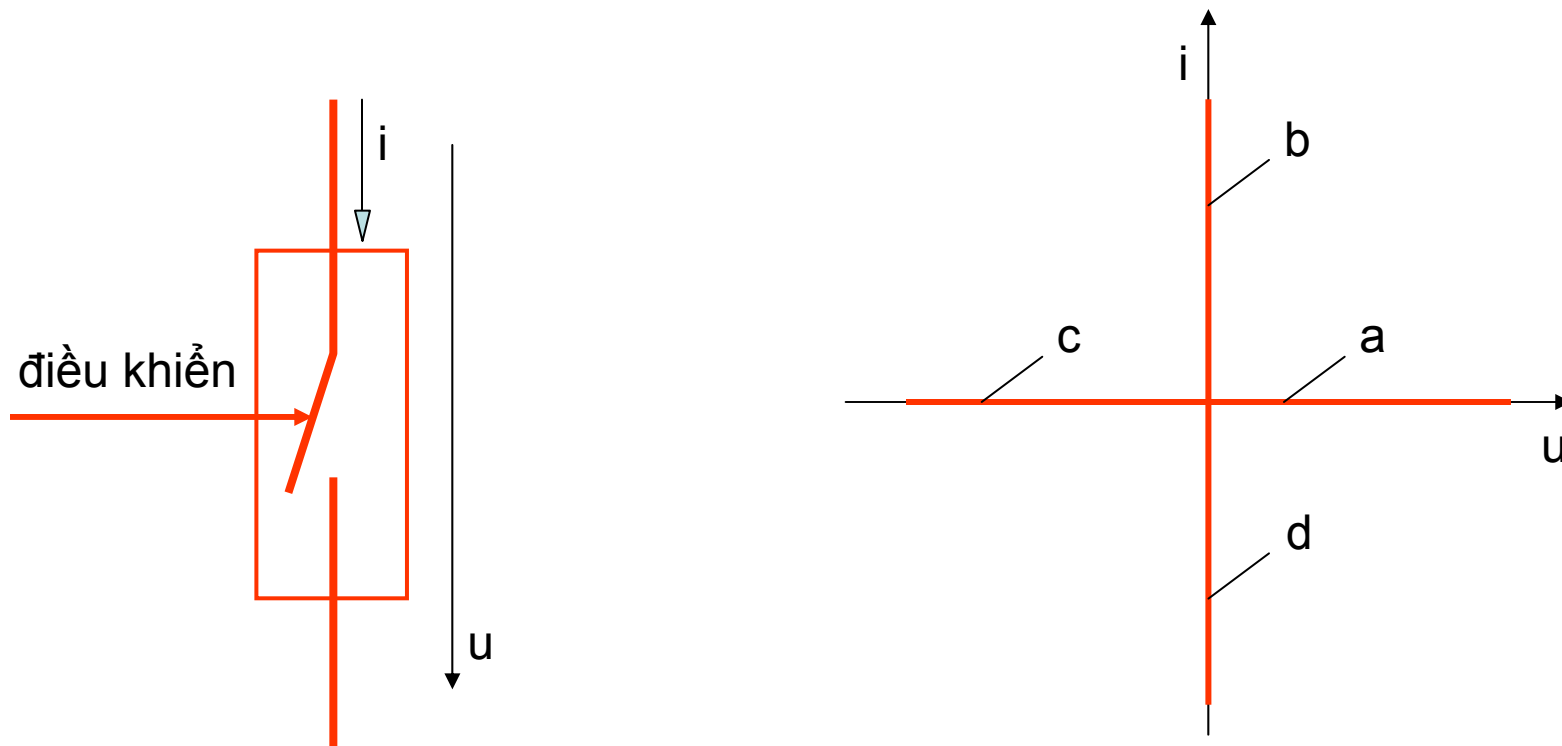


Transistor điều khiển: Khuếch đại



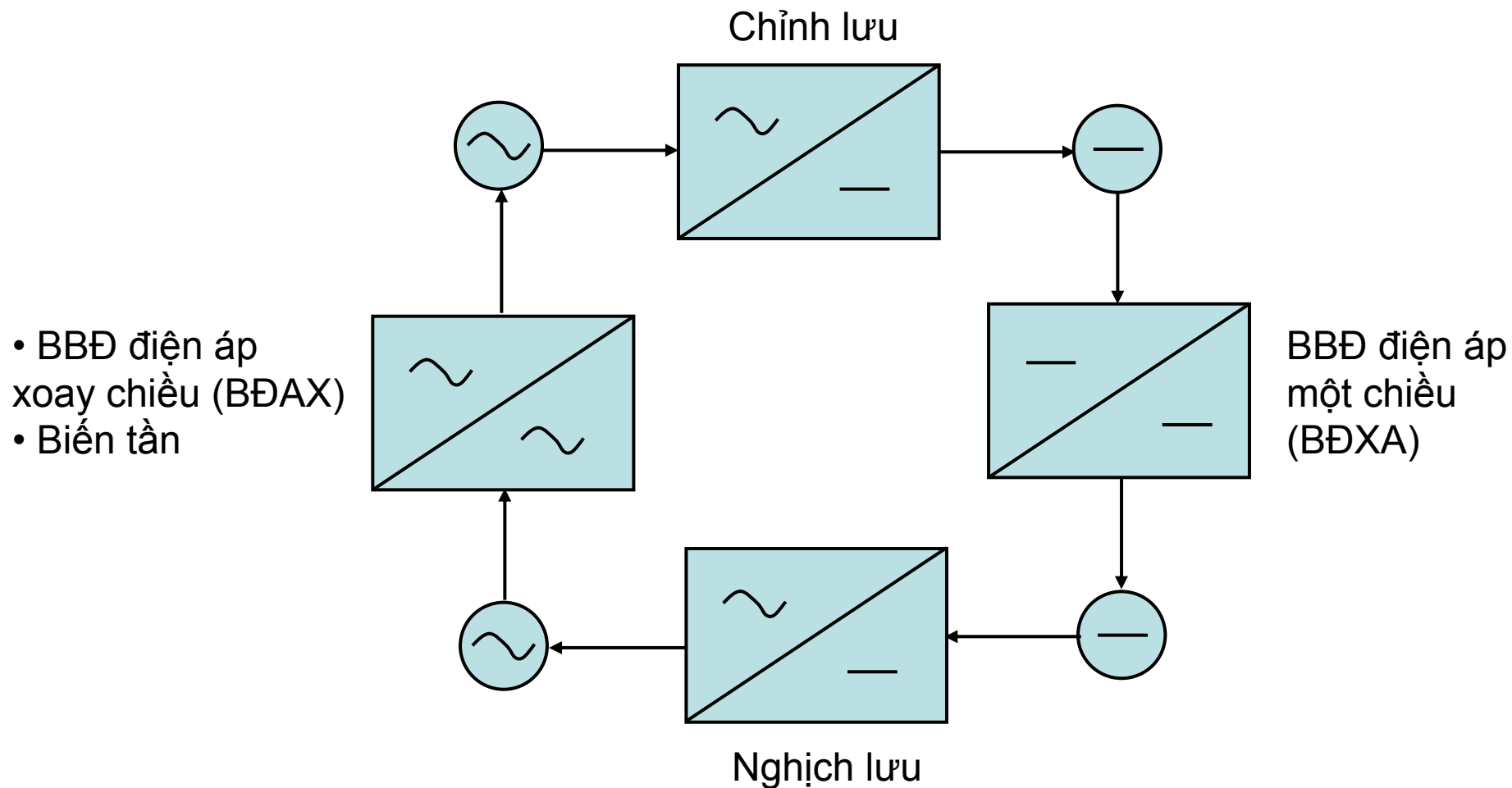
## Transistor công suất: đóng cắt dòng điện

## Đặc tính Volt – Ampe của van công suất lý tưởng



## Đối tượng nghiên cứu của điện tử công suất

- Các bộ biến đổi công suất
- Các bộ khóa điện tử công suất lớn



## 1. 2. Các linh kiện điện tử công suất

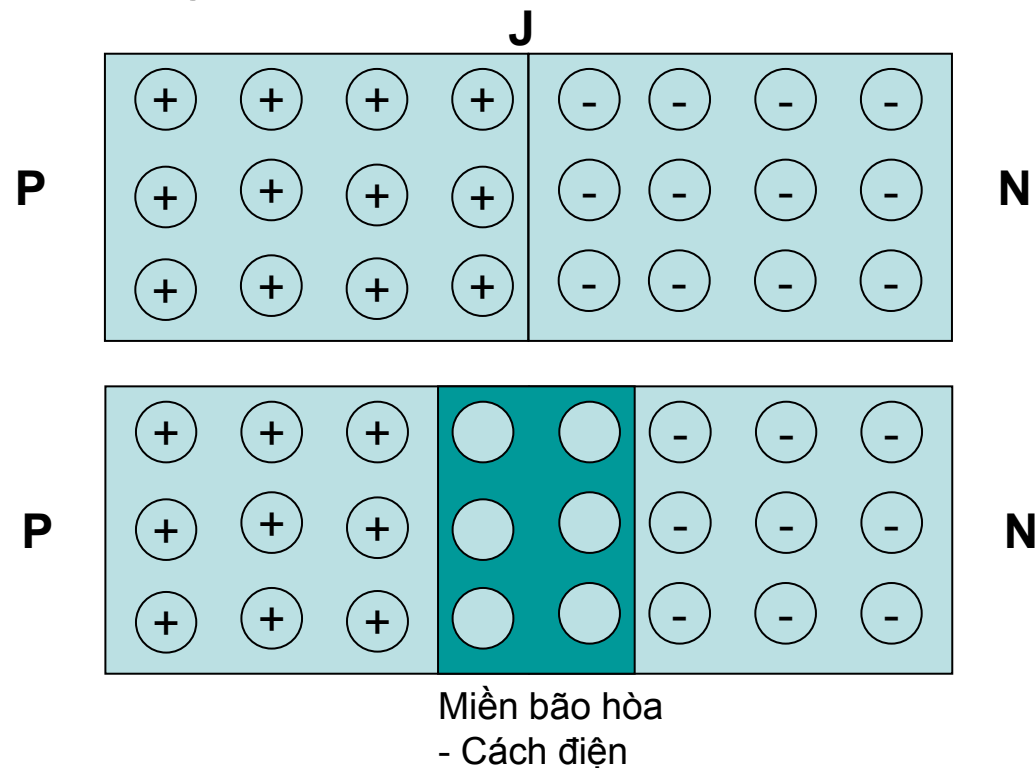
### 1.2.1 Chất bán dẫn - Lớp tiếp giáp P - N

Chất bán dẫn:

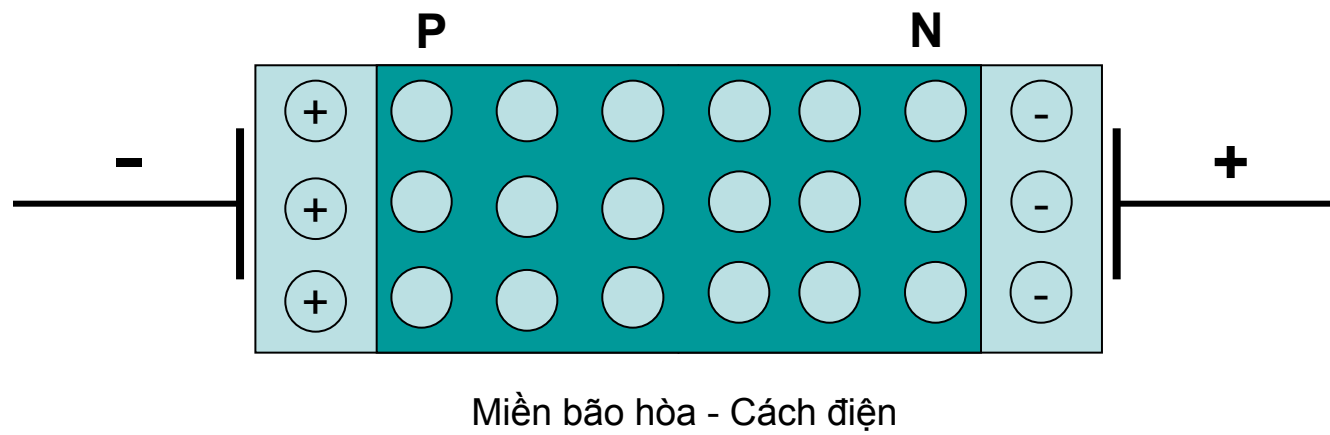
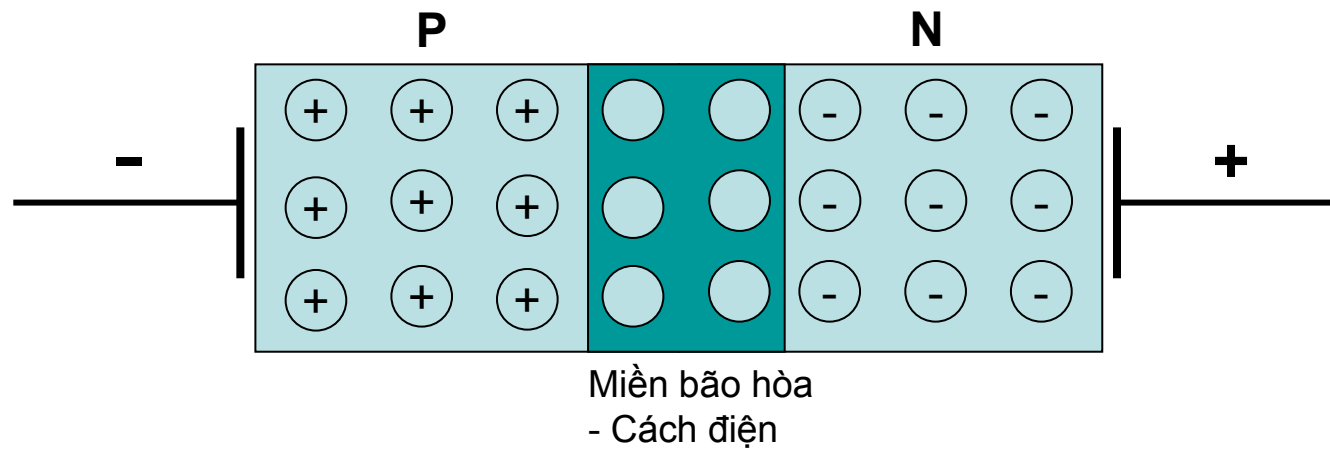
Ở nhiệt độ bình thường có độ dẫn điện nằm giữa chất dẫn điện và chất cách điện

Loại P: phần tử mang điện là lỗ trống – mang điện tích dương

Loại N: phần tử mang điện là các electron – mang điện tích âm

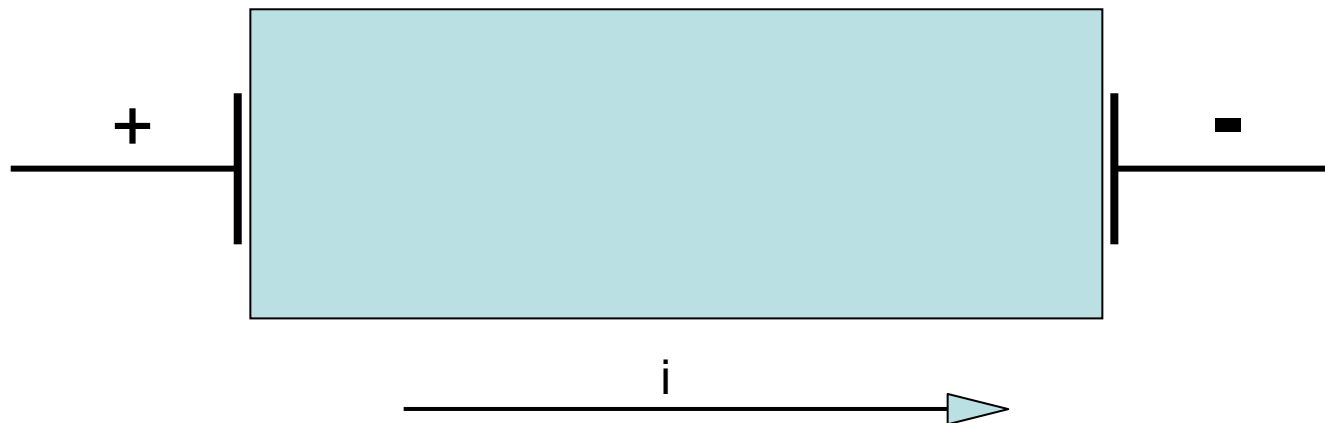
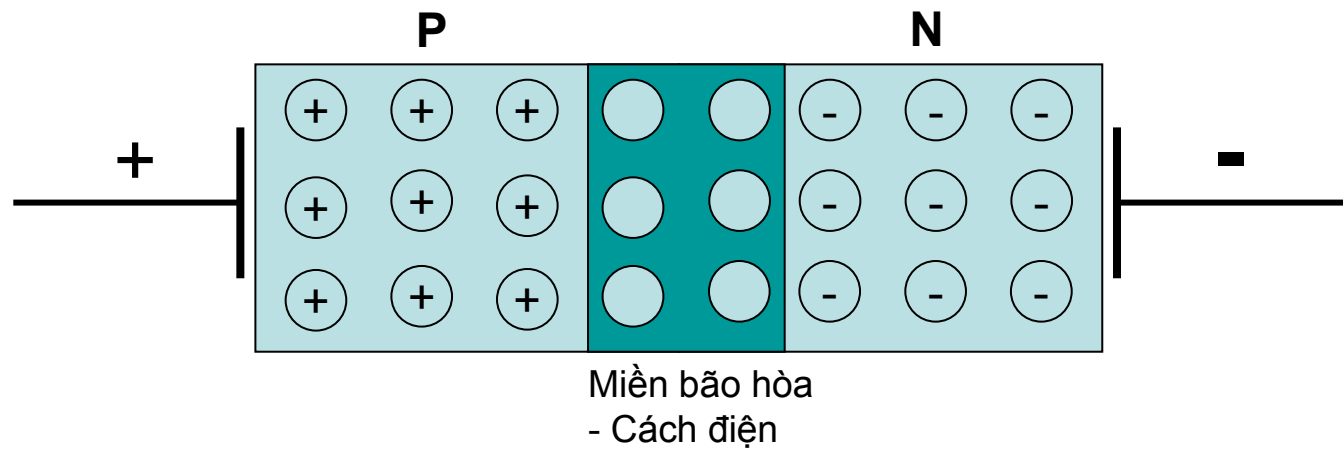


## Phân cực ngược



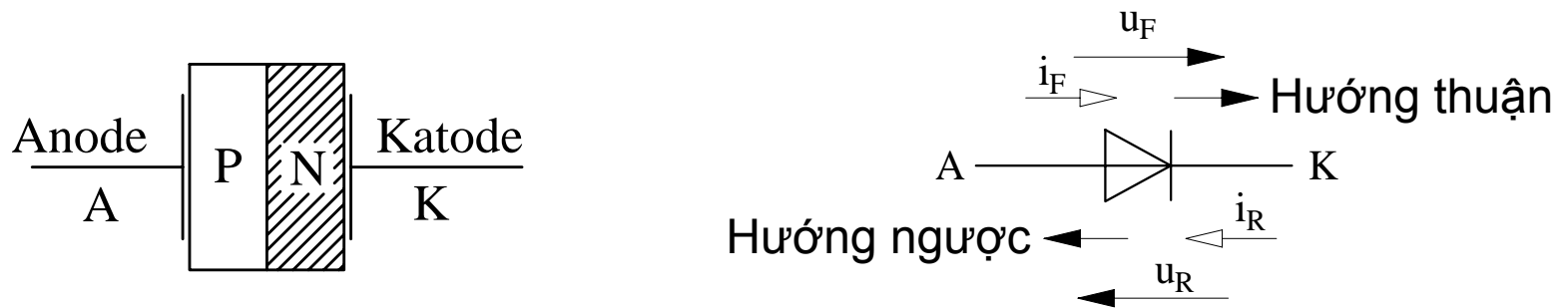


## Phân cực thuận



## 1.2.2 Diode

### Cấu tạo, hoạt động



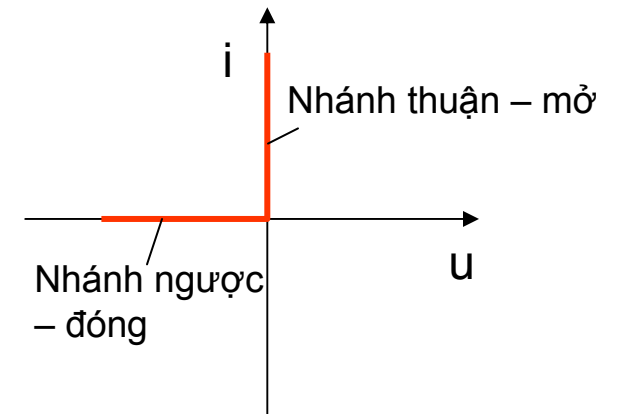
R: reverse – ngược  
F: forward – thuận

## Đặc tính V – A

Diode lý tưởng

Hai trạng thái: mở – đóng

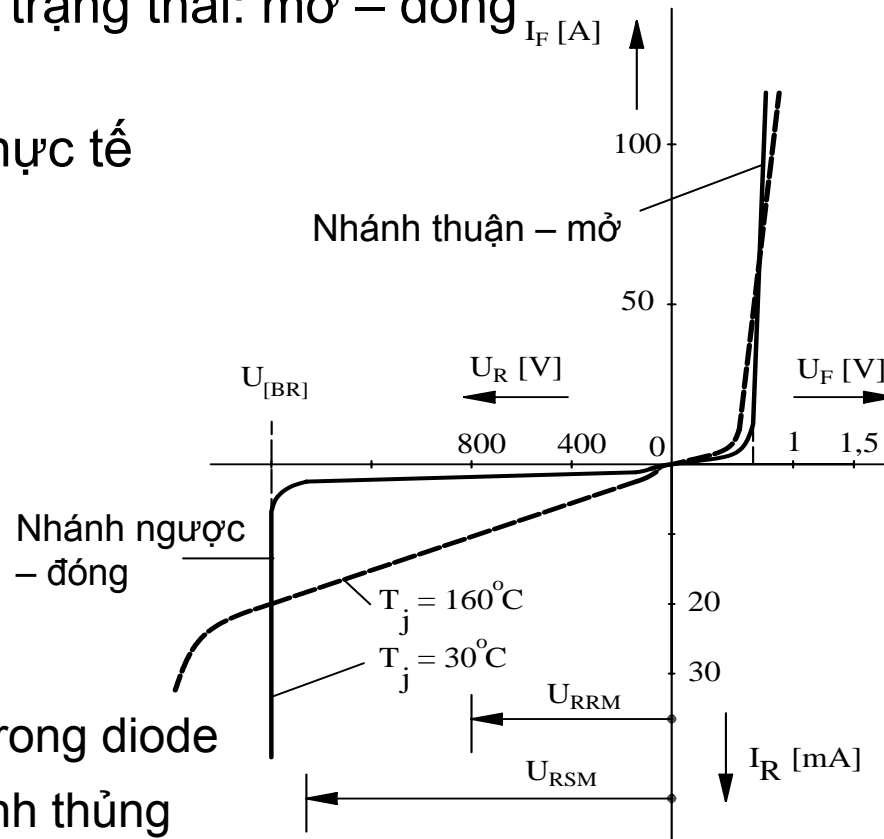
Diode thực tế



$$r_R = \frac{dU_R}{dI_R}$$

điện trở ngược trong diode

$U_{BR}$ : điện áp đánh thủng



$U_{TO}$ : điện áp rơi trên diode

$$r_F = \frac{dU_F}{dI_F}$$

điện trở thuận trong diode

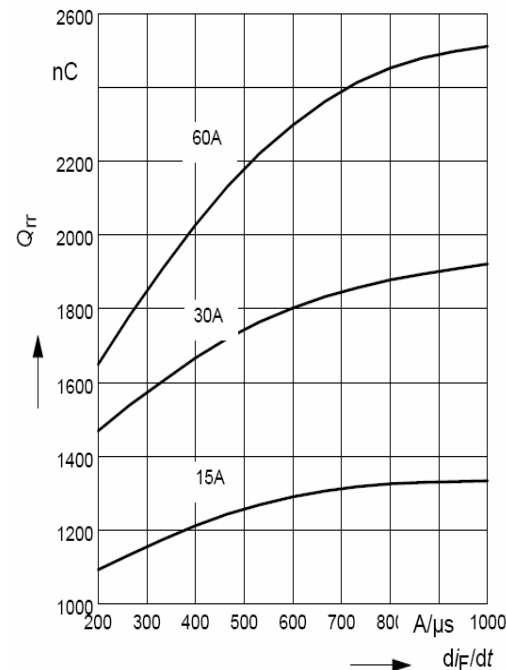
## Đặc tính động của diode

- $U_K$ : Điện áp chuyển mạch
- $t_{rr}$ : Thời gian phục hồi khả năng đóng
- $i_{rr}$ : Dòng điện chuyển mạch – phục hồi

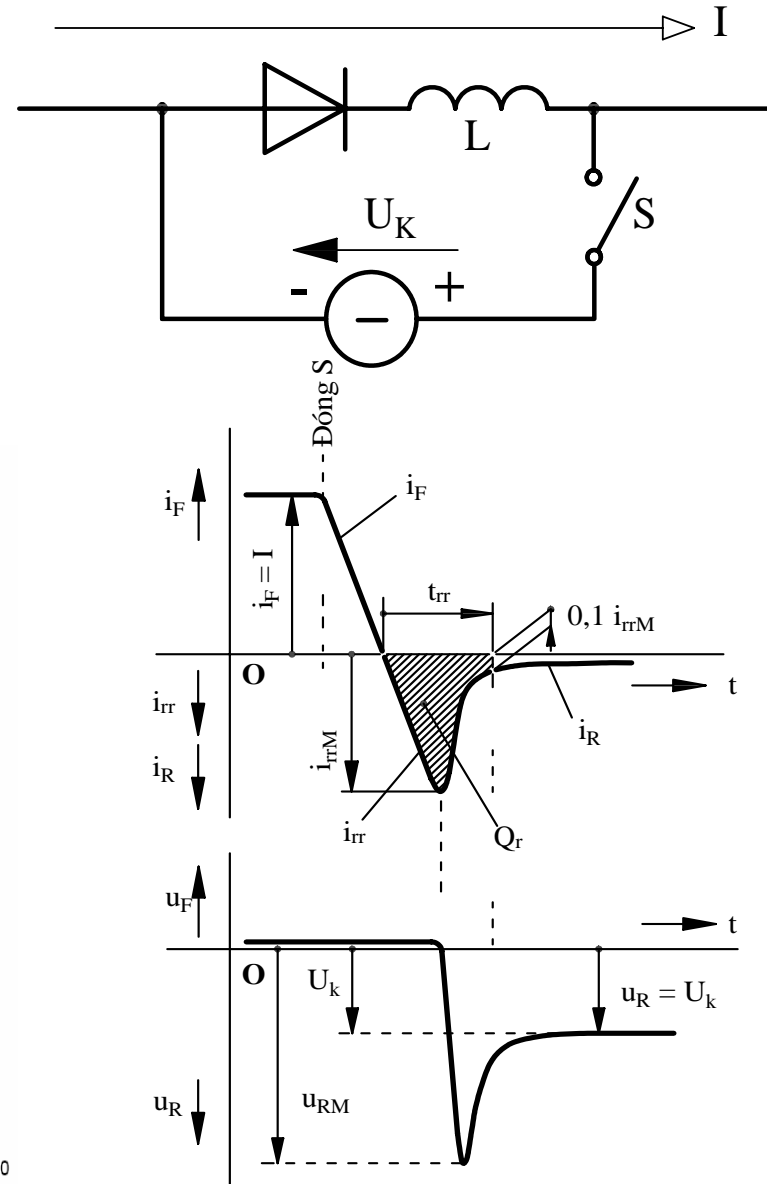
$$Q_r = \int_0^{t_{rr}} i_{rr} dt : \text{điện tích chuyển mạch}$$

$$Q_{rr} = f(di_F/dt)$$

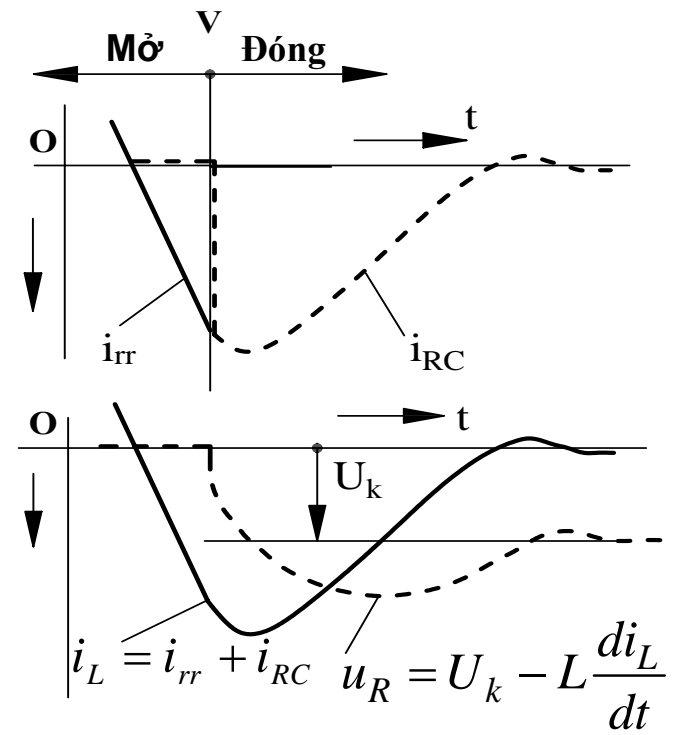
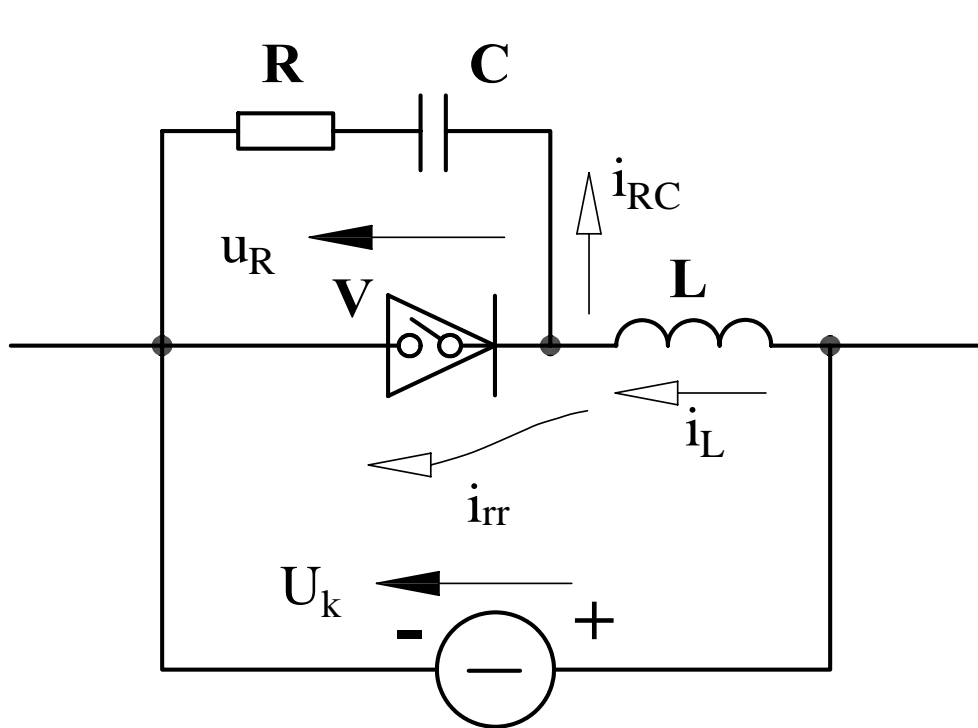
parameter:  $V_R = 400V$ ,  $T_j = 125^\circ C$



## Quá áp trong



## Bảo vệ chống quá áp trong



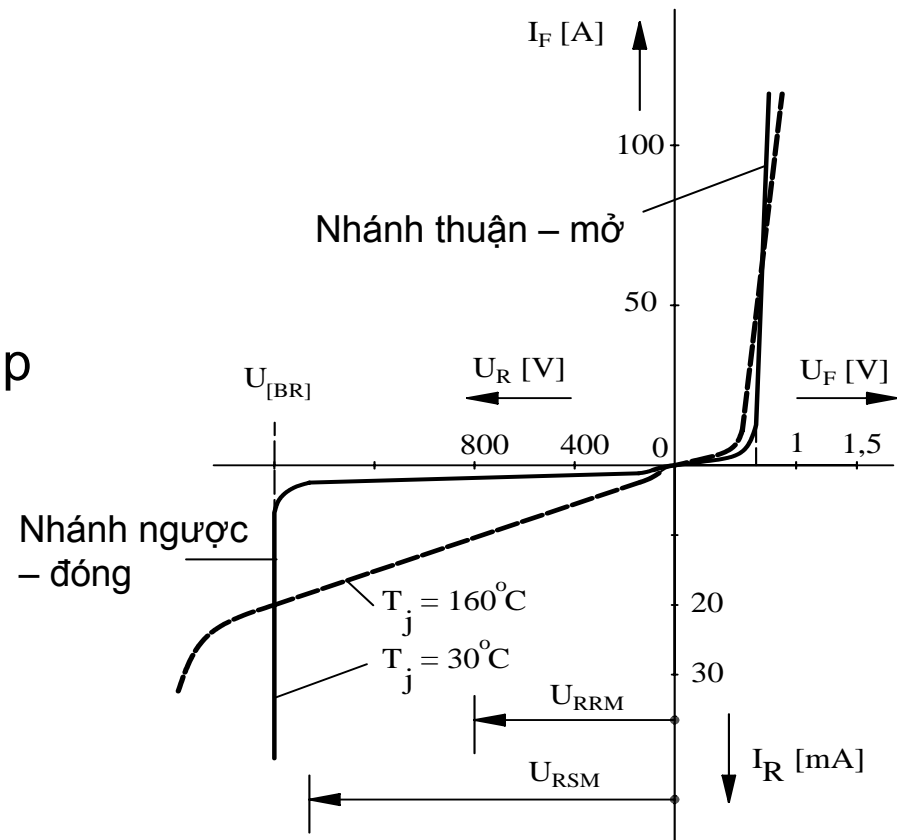
## Các thông số chính của diode

Điện áp:

- Giá trị điện áp đánh thủng  $U_{BR}$
- Giá trị cực đại điện áp ngược lặp lại:  $U_{RRM}$
- Giá trị cực đại điện áp ngược không lặp lại:  $U_{RSM}$

Dòng điện - nhiệt độ làm việc

- Giá trị trung bình cực đại dòng điện thuận:  $I_{F(AV)M}$
- Giá trị cực đại dòng điện thuận không lặp lại:  $I_{FSM}$

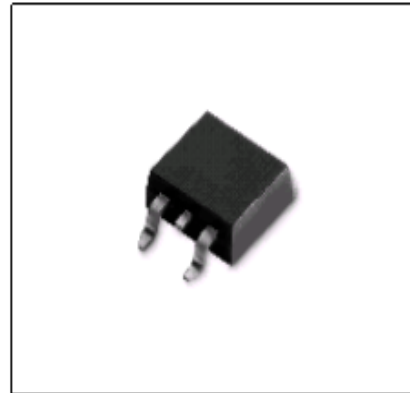


## Diode thực tế: IDB30E60 – Infineon Technologies

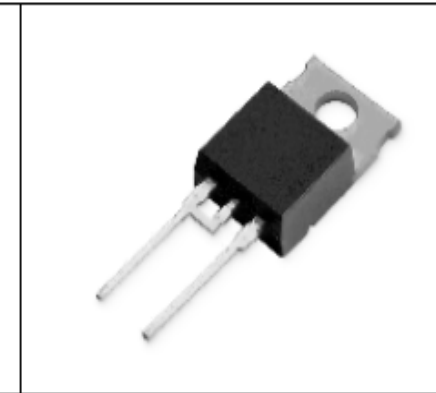
### Product Summary

$V_{RRM}$	600	V
$I_F$	30	A
$V_F$	1.5	V
$T_{jmax}$	175	°C

P-TO220-3.SMD



P-TO220-2-2.

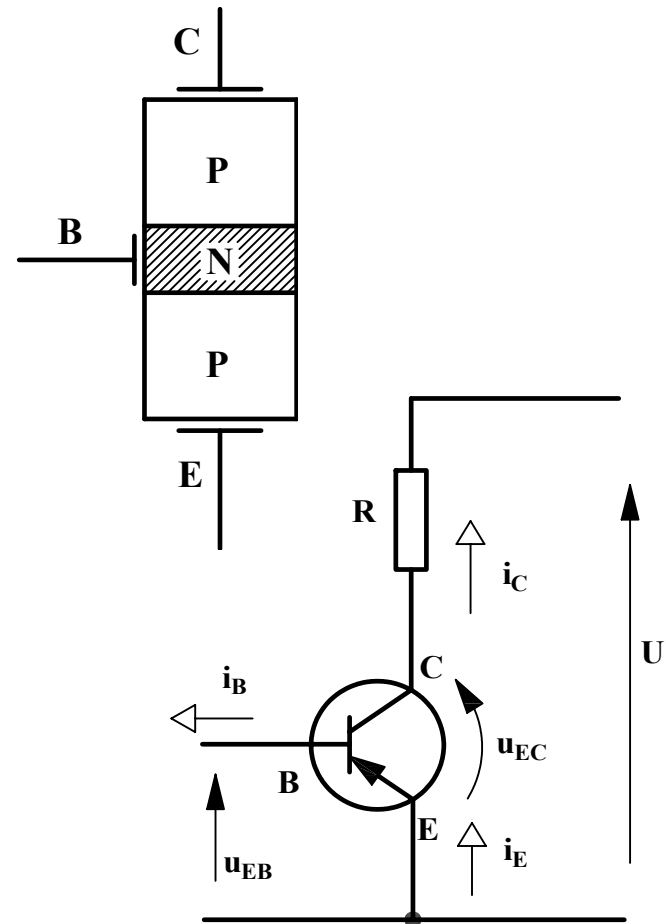
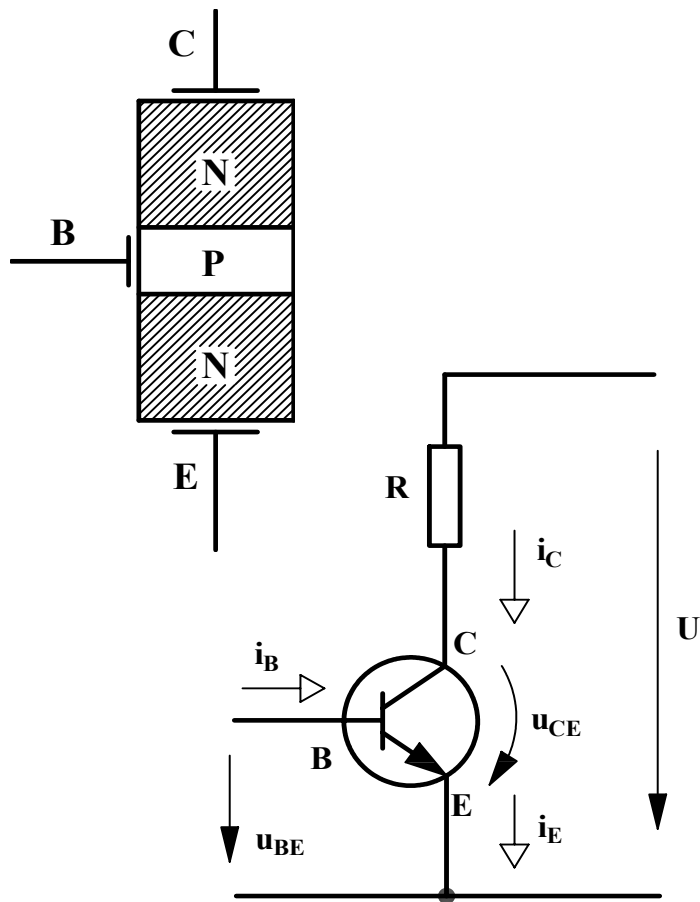


Type	Package	Ordering Code	Marking	Pin 1	PIN 2	PIN 3
IDP30E60	P-TO220-2-2.	Q67040-S4488	D30E60	C	A	-
IDB30E60	P-TO220-3.SMD	Q67040-S4376	D30E60	NC	C	A

## 1.2.3 Transistor lưỡng cực (BT)

(Bipolar Transistor)

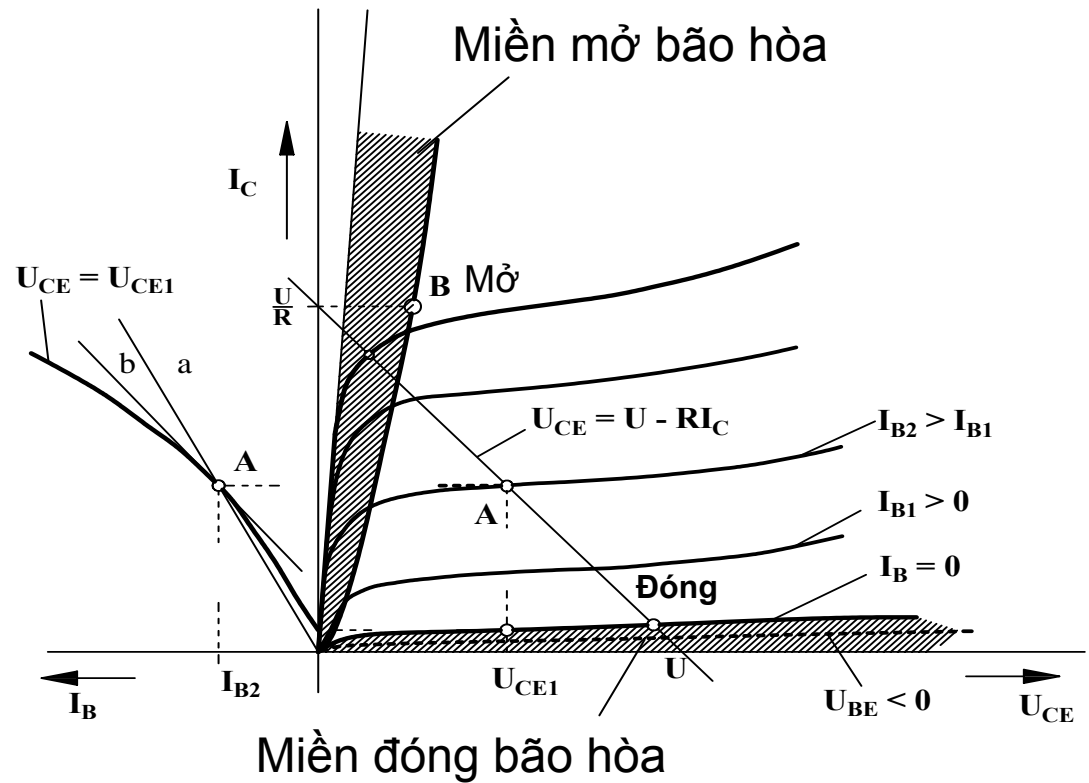
### Cấu tạo, hoạt động

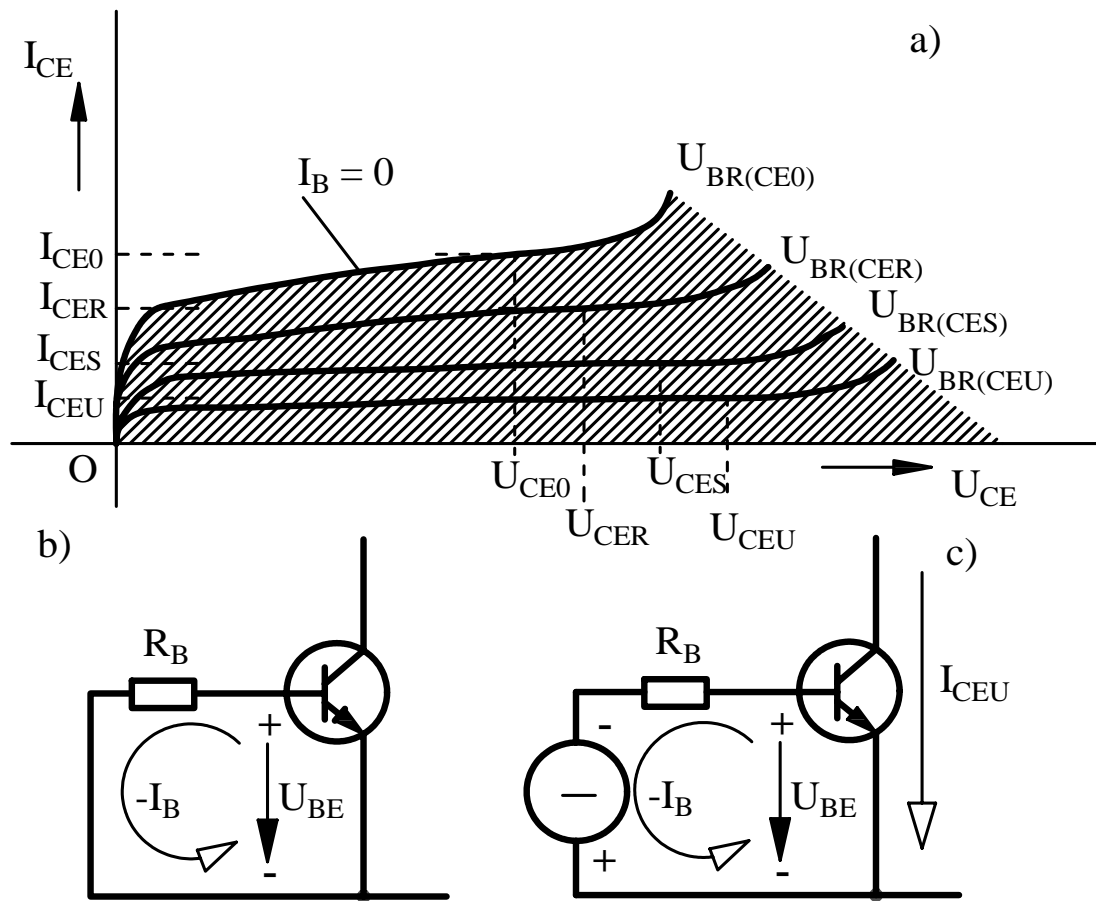




## Đặc tính Volt – Ampe

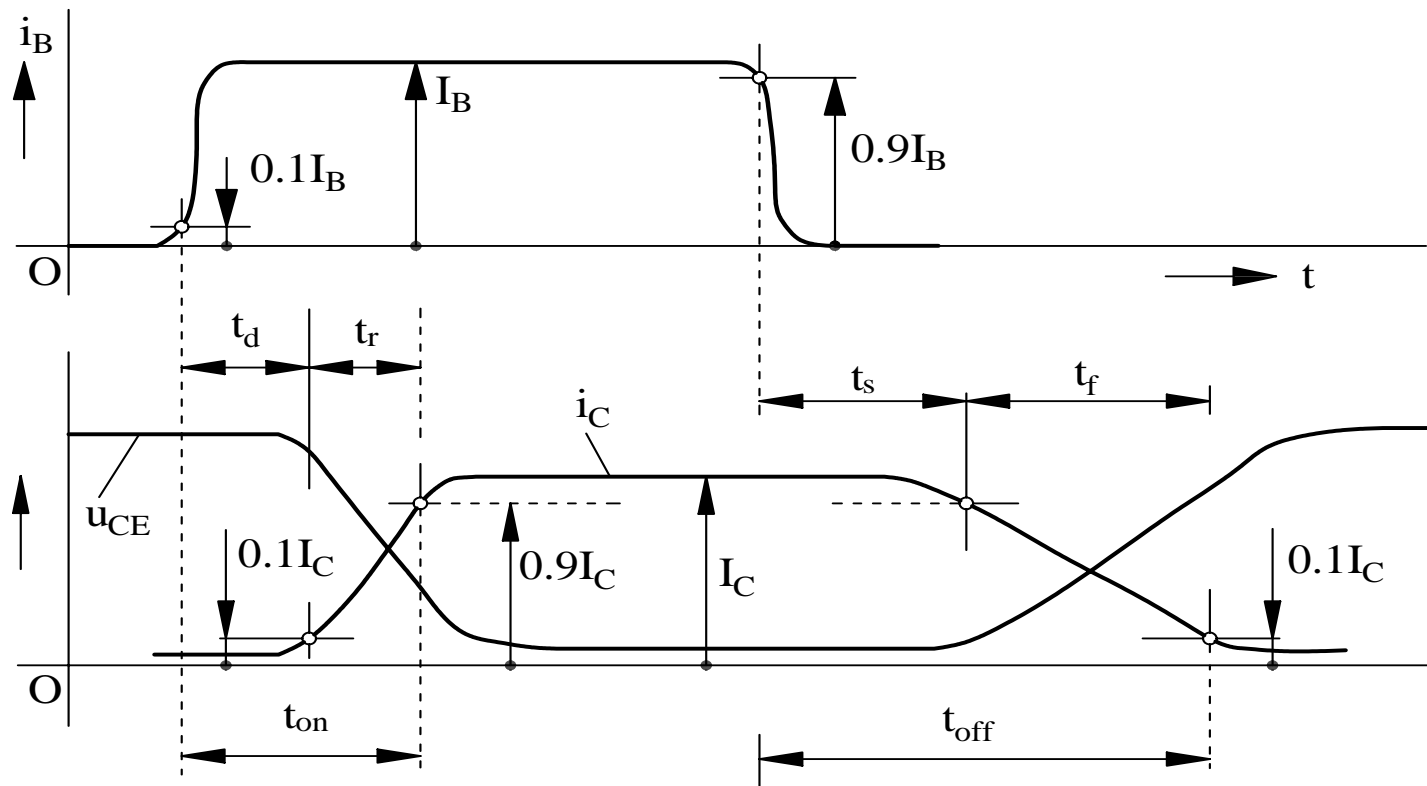
- Đặc tính ngoài  $I_C = f(U_{CE})$
- Đặc tính điều khiển  $I_C = f(I_B)$



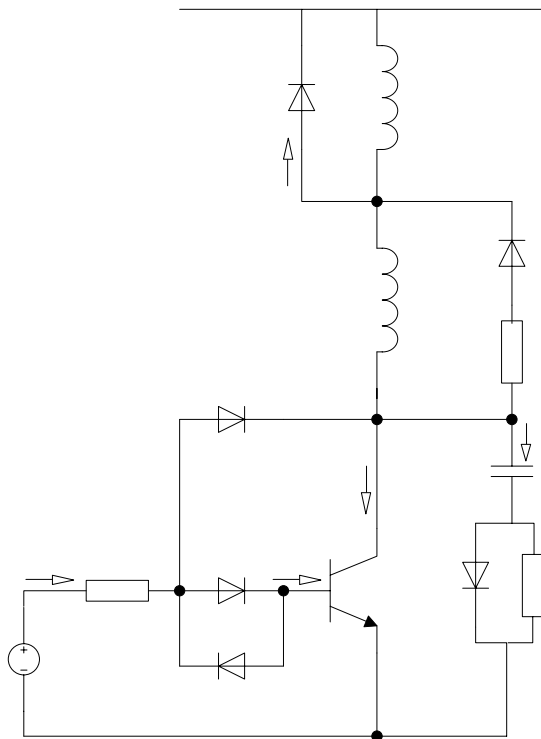


- 0 ... Hở mạch B – E ( $I_B = 0$ )
- R ... Mạch B – E theo hình b)
- S ... Ngắn mạch B – E ( $R_B \rightarrow 0$ )
- U ... Mạch B – E theo hình c)

## Quá trình quá độ của transistor



## Mạch trợ giúp đóng mở



(Điện tử công suất – Nguyễn Bính)

## Các thông số chính

### Điện áp:

- Giá trị cực đại điện áp collector – emitter  $U_{CE0M}$  khi  $I_B = 0$
- Giá trị cực đại điện áp emitter – bazơ  $U_{EB0M}$  khi  $I_C = 0$

**Dòng điện:** Giá trị cực đại của các dòng điện  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$

DAS

$L_2$

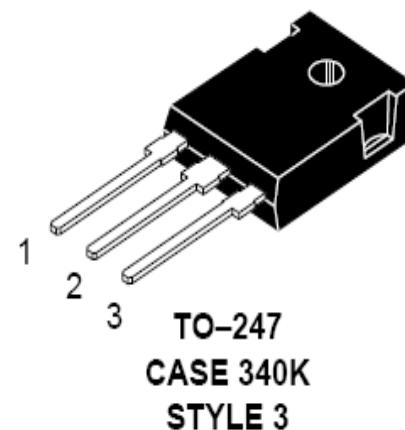
$D_2$

$R_2$

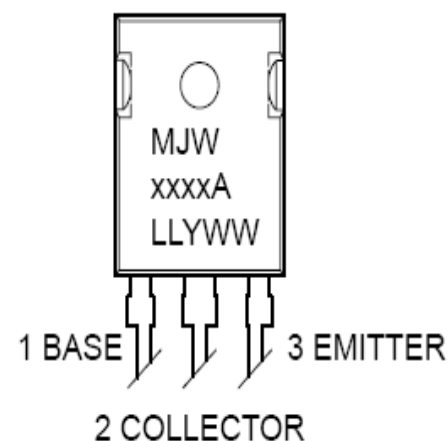
# Transistor thực tế - MJW3281A (NPN) – ON Semiconductor

## MAXIMUM RATINGS ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	230	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CBO}$	230	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0	Vdc
Collector–Emitter Voltage – 1.5 V	$V_{CEX}$	230	Vdc
Collector Current – Continuous – Peak (Note 1)	$I_C$	15 25	Adc
Base Current – Continuous	$I_B$	1.5	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate Above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	200 1.43	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	$-65$ to $+150$	$^\circ\text{C}$

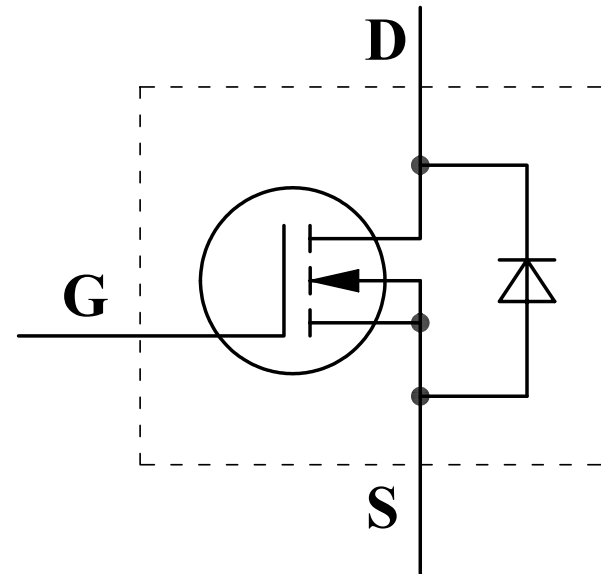
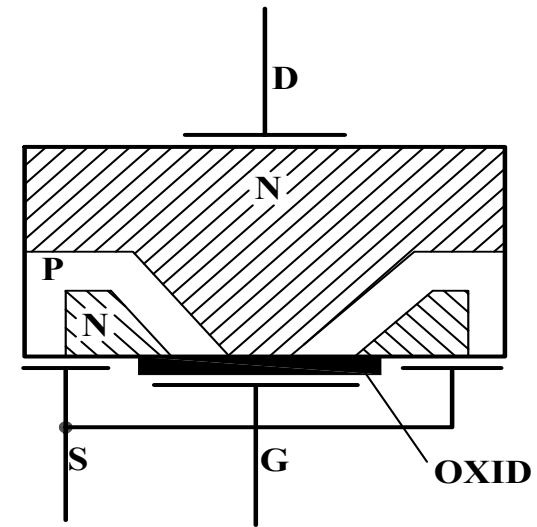
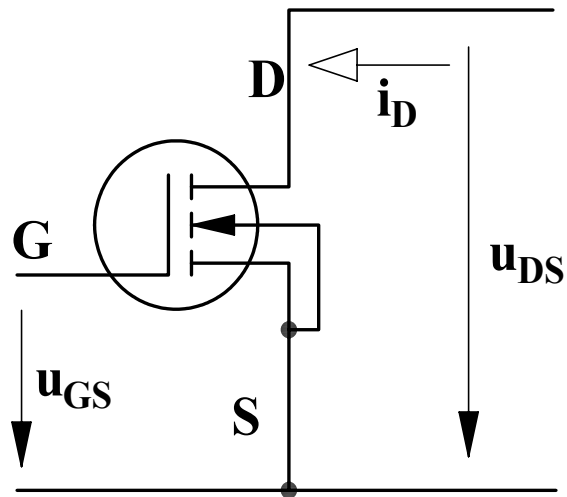
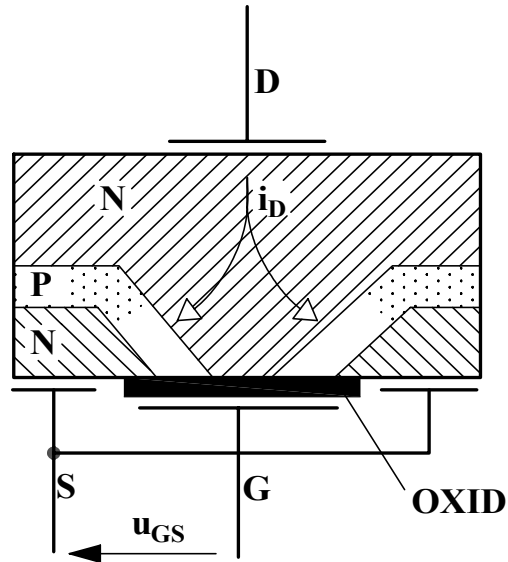


## MARKING DIAGRAM

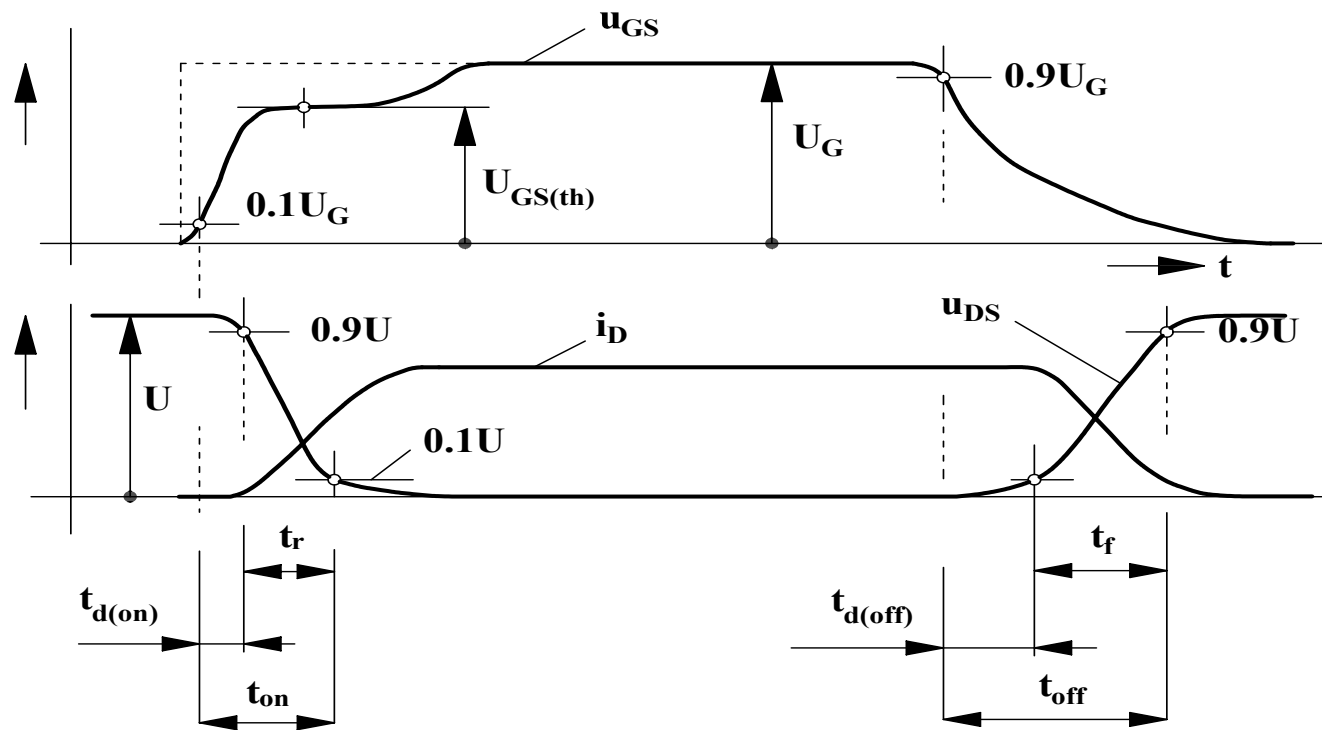
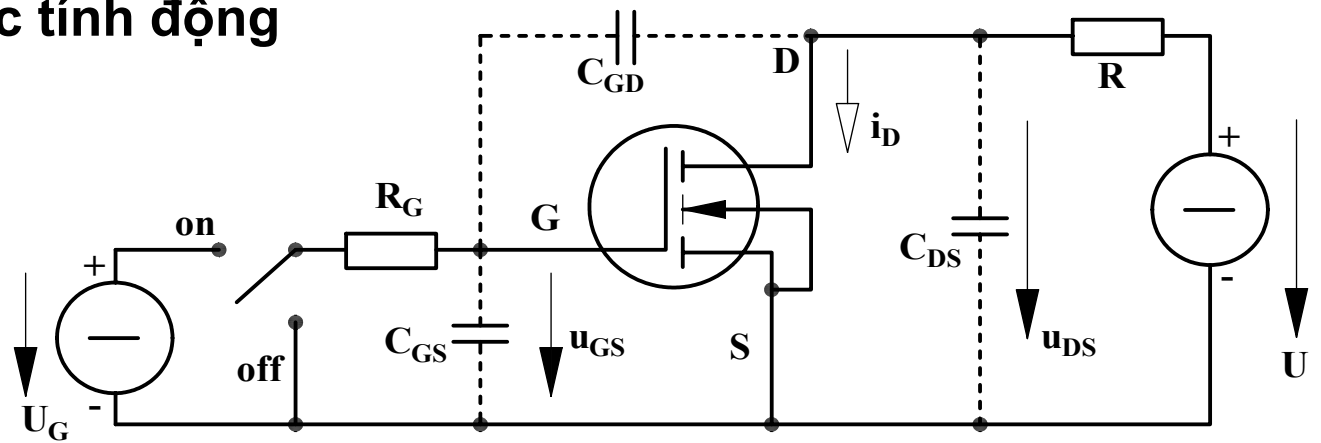


## 1.2.4 Transistor trường MOSFET

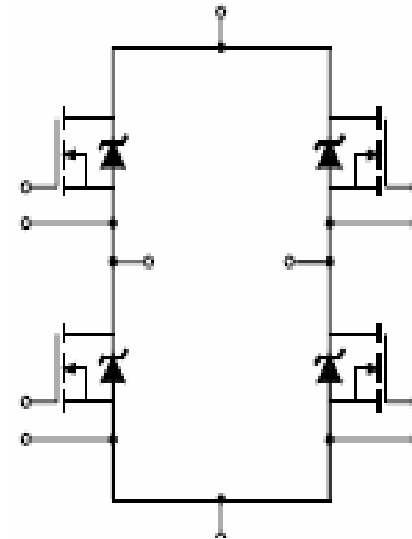
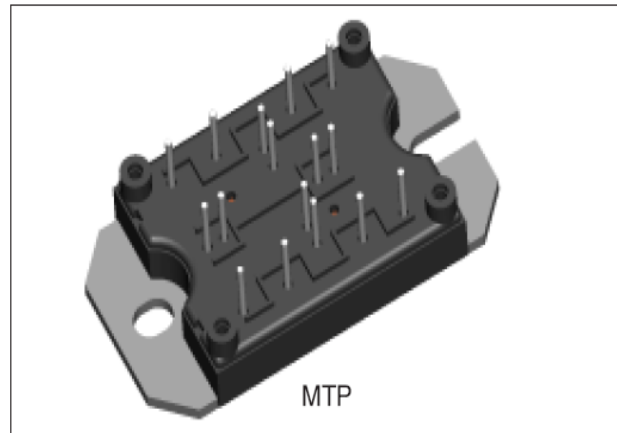
(Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor)



## Đặc tính động



## MOSFET thực tế - 19MT050XF – International Rectifier



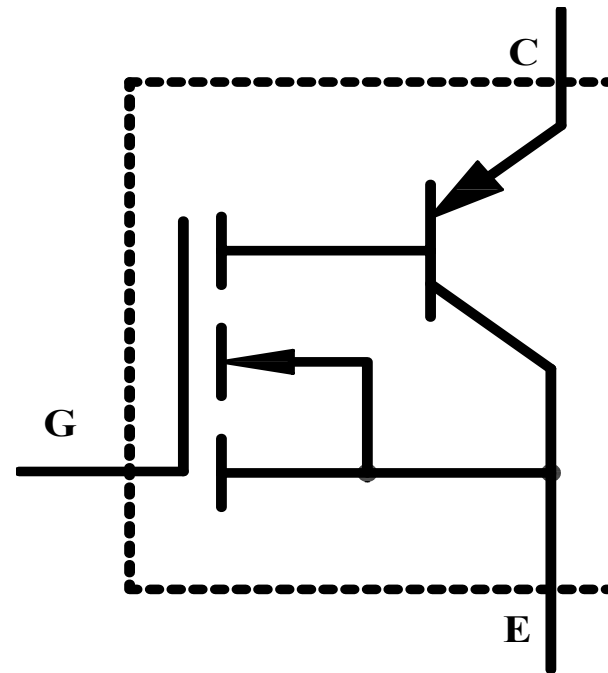
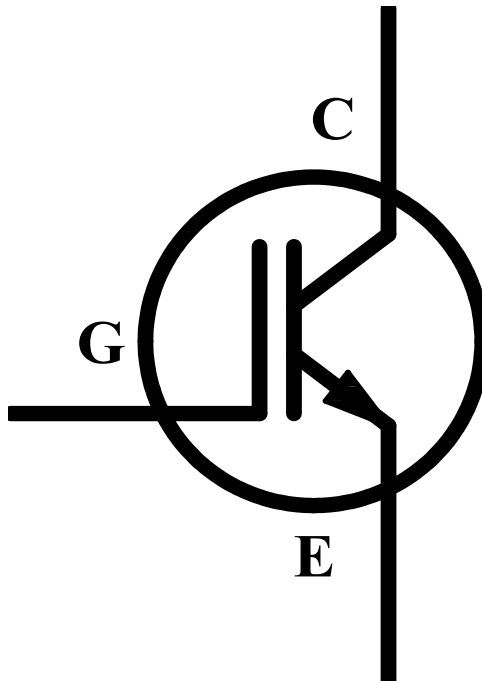
### Absolute Maximum Ratings

Parameters			Max	Units
$I_D$	Continuous Drain Current @ $V_{GS} = 10V$	@ $T_C = 25^\circ C$	31	A
		@ $T_C = 100^\circ C$	19	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current (1)		124	
$P_D$	Maximum Power Dissipation	@ $T_C = 25^\circ C$	1140	W
		@ $T_C = 100^\circ C$	456	
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage		$\pm 30$	V
$V_{ISOL}$	RMS Isolation Voltage, Any Terminal to Case, $t = 1 \text{ min}$		2500	
$dv/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ (3)		15	V/ ns

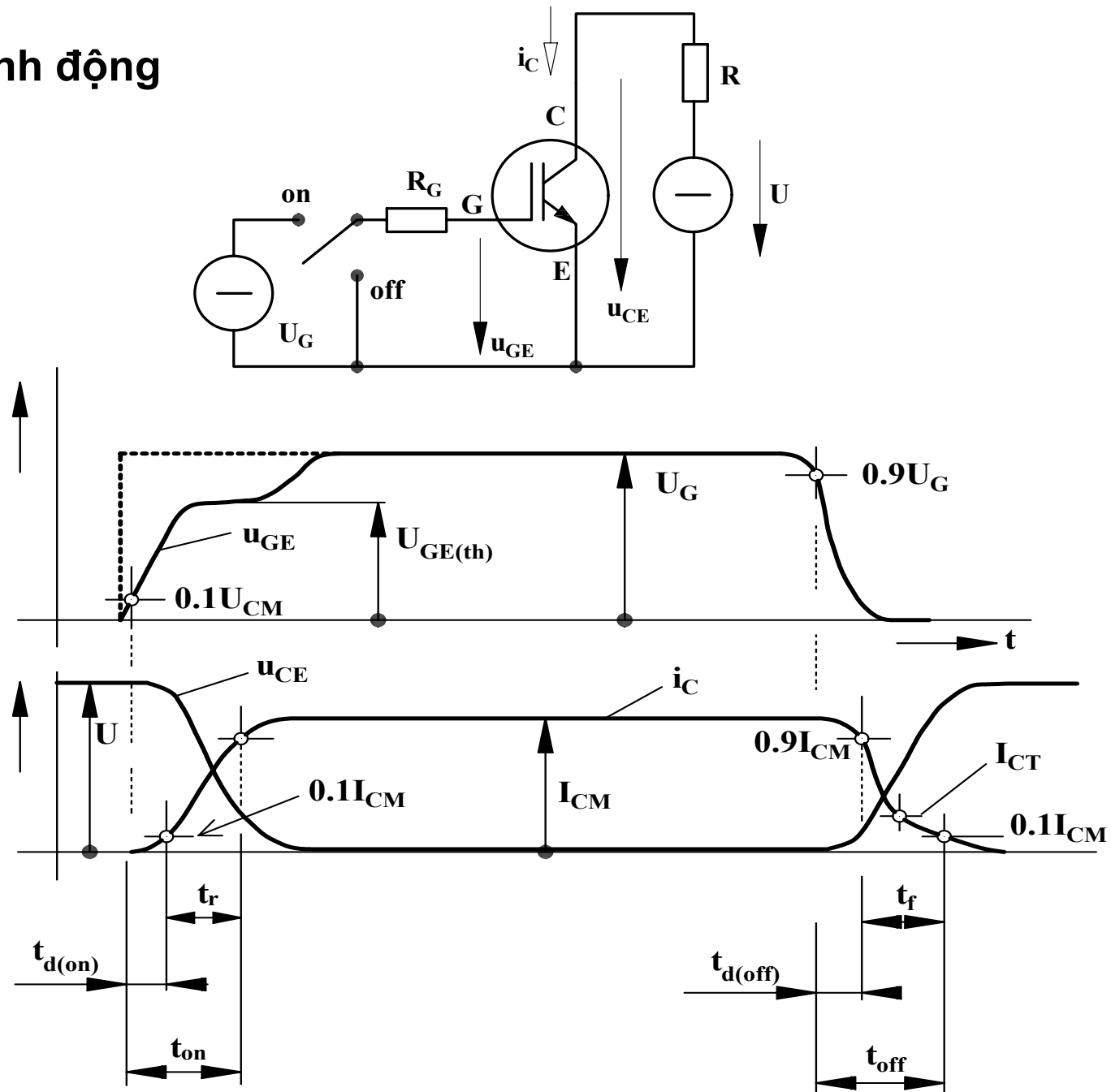


## 1.2.5 Transistor lưỡng cực cổng cách ly - IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistor

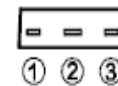
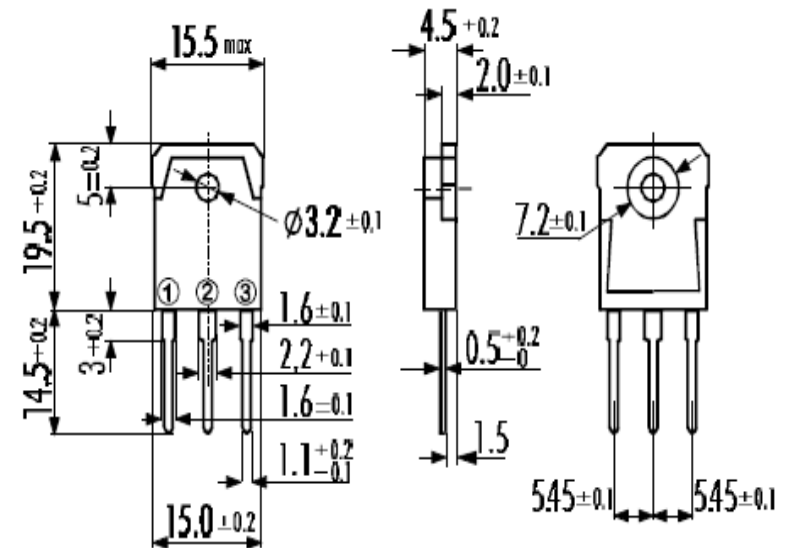


## Đặc tính động



# IGBT thực tế

## 1MB-30-060 – Fuji Electric



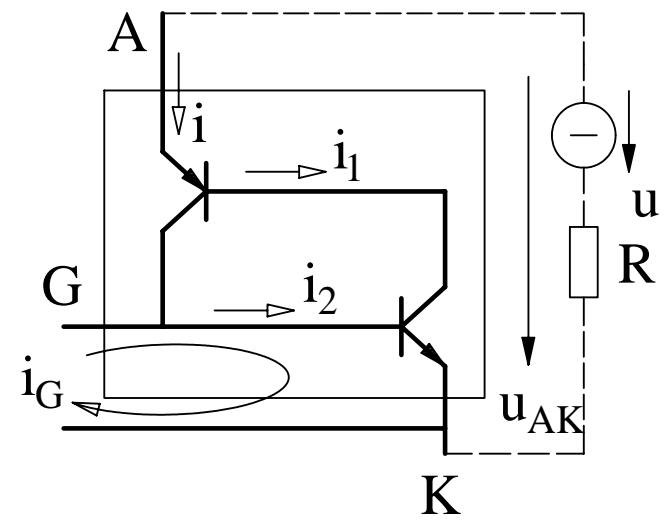
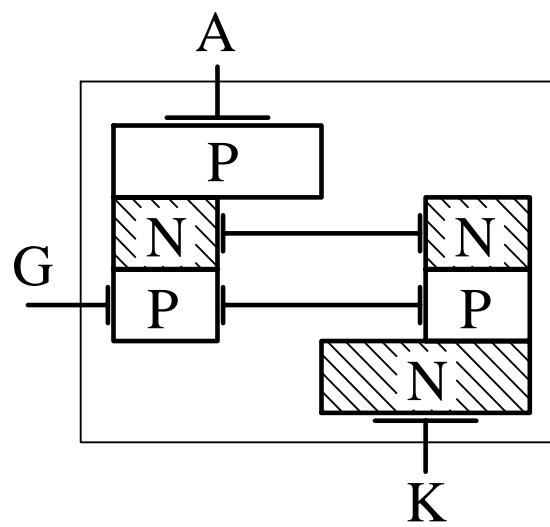
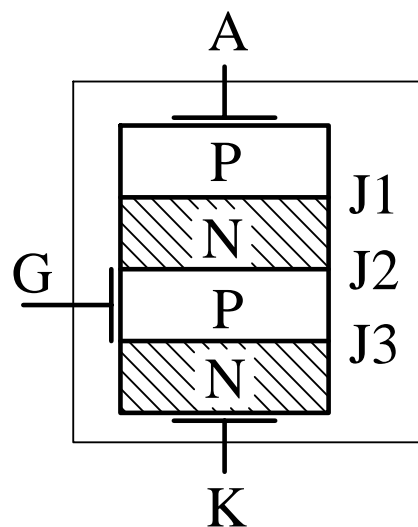
- ① Gate
- ② Collector
- ③ Emitter

### • Absolute Maximum Ratings ( $T_c=25^\circ\text{C}$ )

Items		Symbols	Ratings	Units
Collector-Emitter Voltage		$V_{CES}$	600	V
Gate -Emitter Voltage		$V_{GES}$	$\pm 20$	V
Collector Current	DC $T_c= 25^\circ\text{C}$	$I_{C25}$	48	A
	DC $T_c=80^\circ\text{C}$	$I_{C80}$	30	
	1ms $T_c= 25^\circ\text{C}$	$I_{CPULSE}$	192	
IGBT Max. Power Dissipation		$P_C$	180	W
Operating Temperature		$T_i$	+150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature		$T_{stg}$	-40 ~ +150	$^\circ\text{C}$
Mounting Screw Torque			50	Nm

## 1.2.6 Thyristor

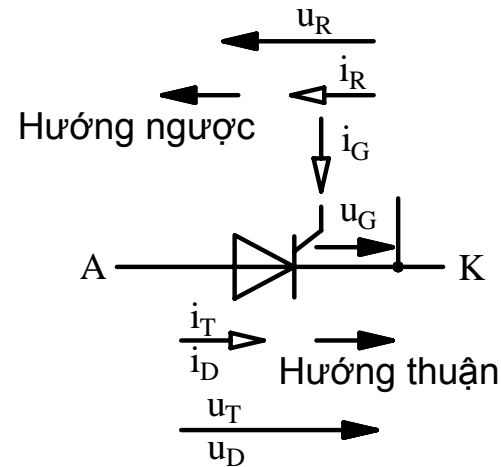
### Cấu tạo – Hoạt động



## Trạng thái:

- Mở
- Đóng
- Khóa

## Ký hiệu



- T: Thuận
- D: Khóa
- R: Ngược

## Điều kiện để mở Thyristor

- $U_{AK} > 0$
- Xung điều khiển đưa vào cực điều khiển.

## Điều kiện để đóng Thyristor

Đặt điện áp ngược lên A – K

## Đặc tính Volt - Ampe

Thyristor lý tưởng

Ba trạng thái: đóng – mở – khóa

Thyristor thực tế

$U_{BR}$ : điện áp ngược đánh thủng

$U_{BO}$ : điện áp tự mở của thyristor

$U_{TO}$ : điện áp rơi trên Thyristor

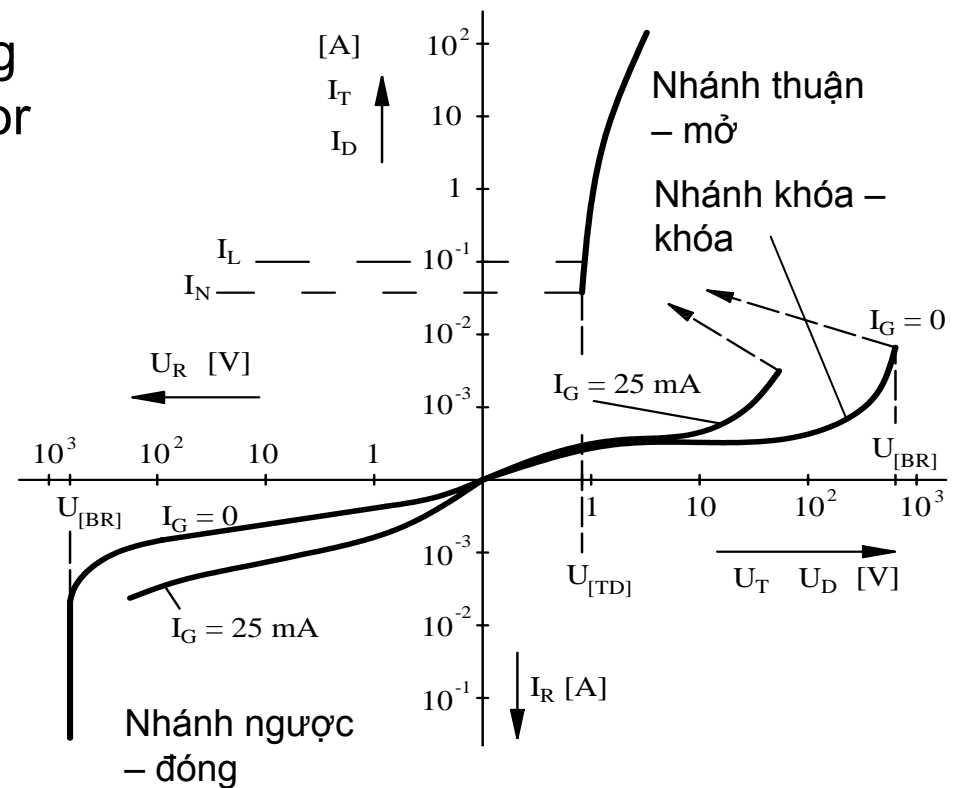
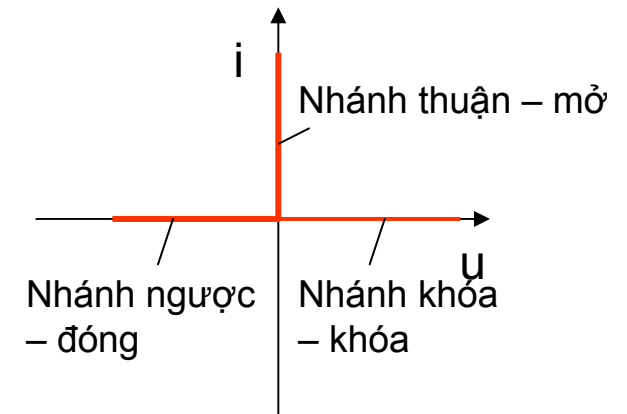
$I_H$ : Dòng duy trì (holding)

$I_L$ : Latching

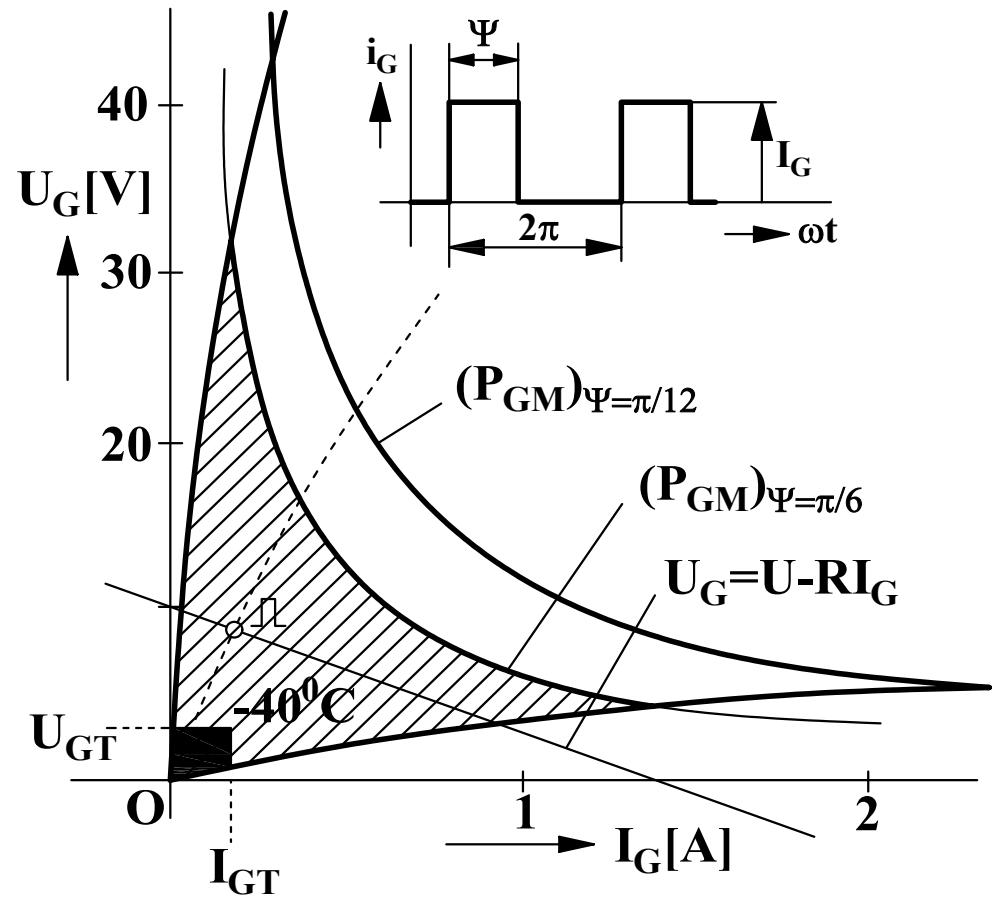
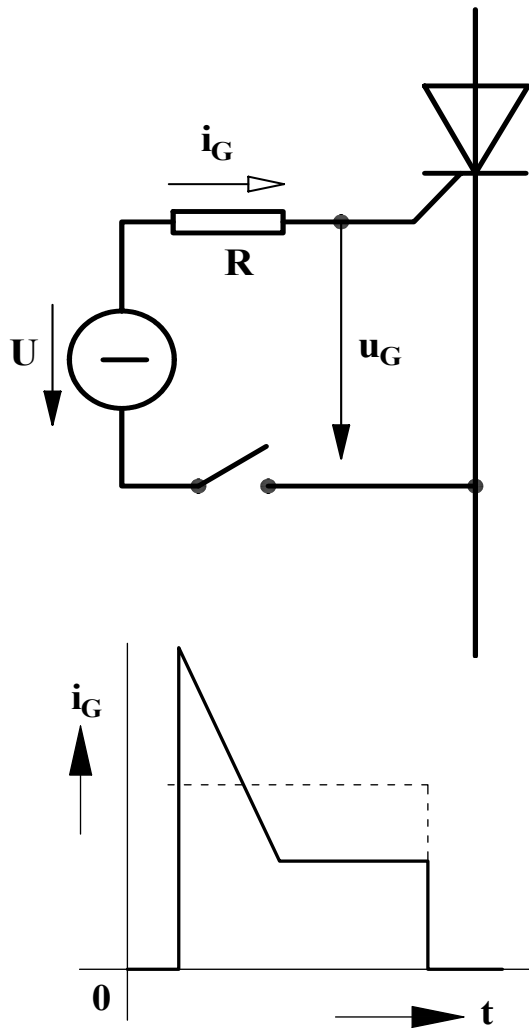
### Các thông số chính

Tương tự như diode.

$$U_{RRM} = U_{DRM}$$

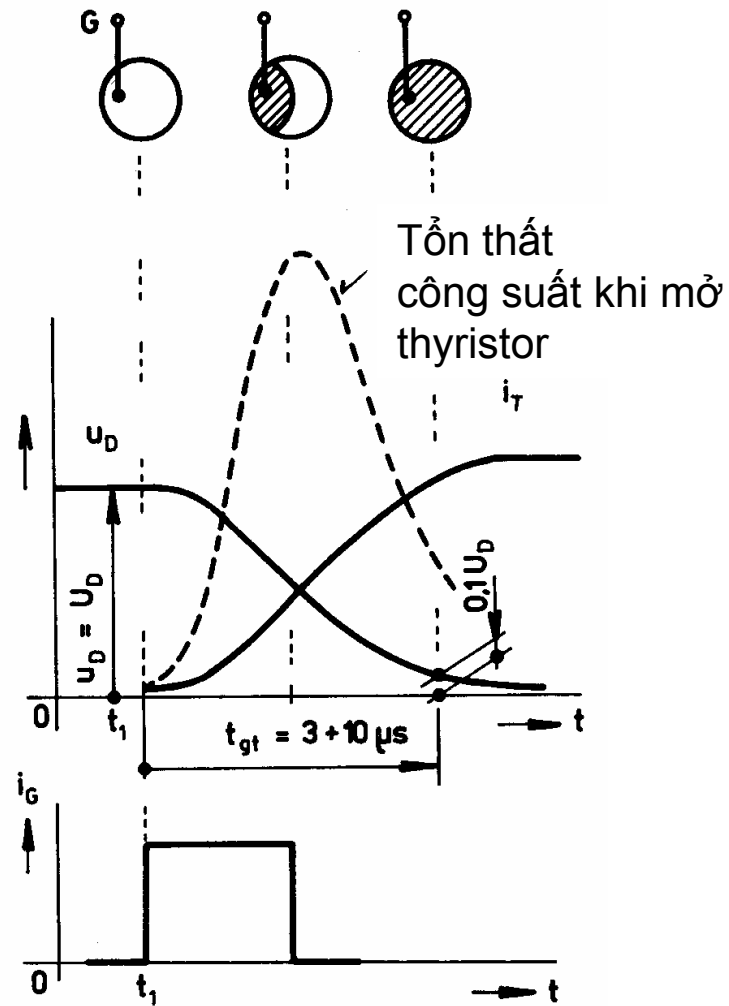


## Đặc tính điều khiển của thyristor:



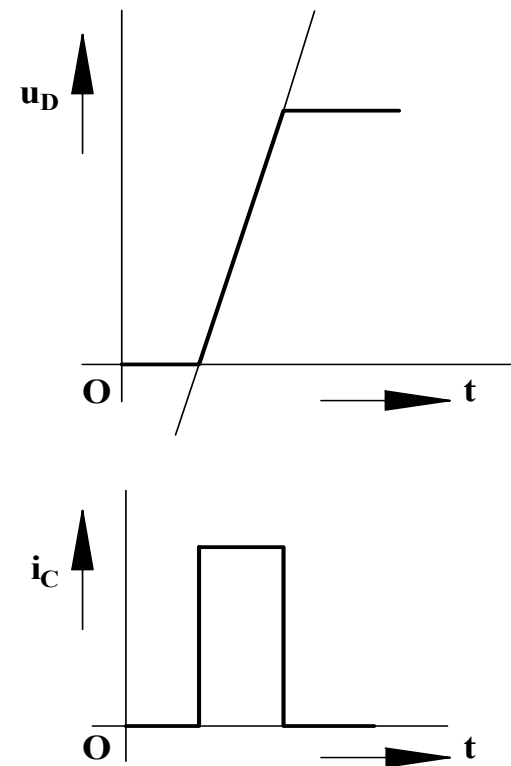
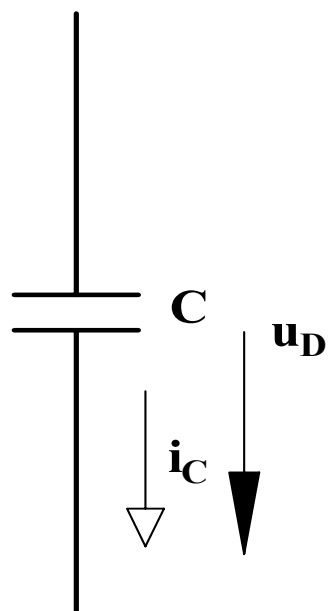
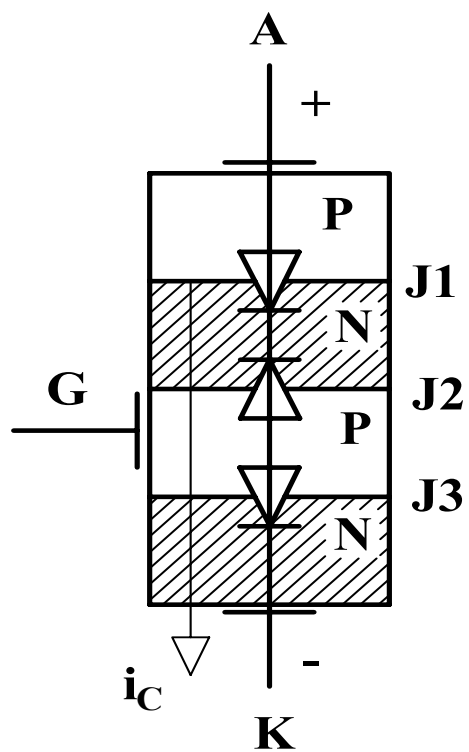
## Đặc tính động

Mở thyristor

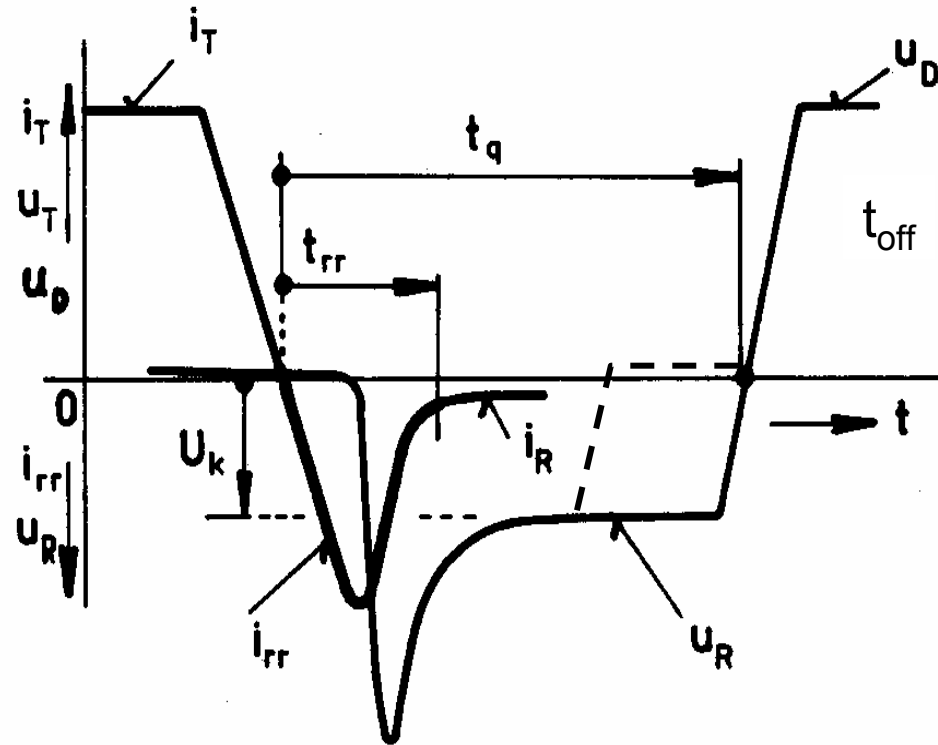




# Khóa thyristor



## Đóng thyristor



- Bảo vệ quá áp trong
- Thời gian đóng thyristor – Góc an toàn

# Thyristor thực tế - 22RIA SERIES – International Rectifier

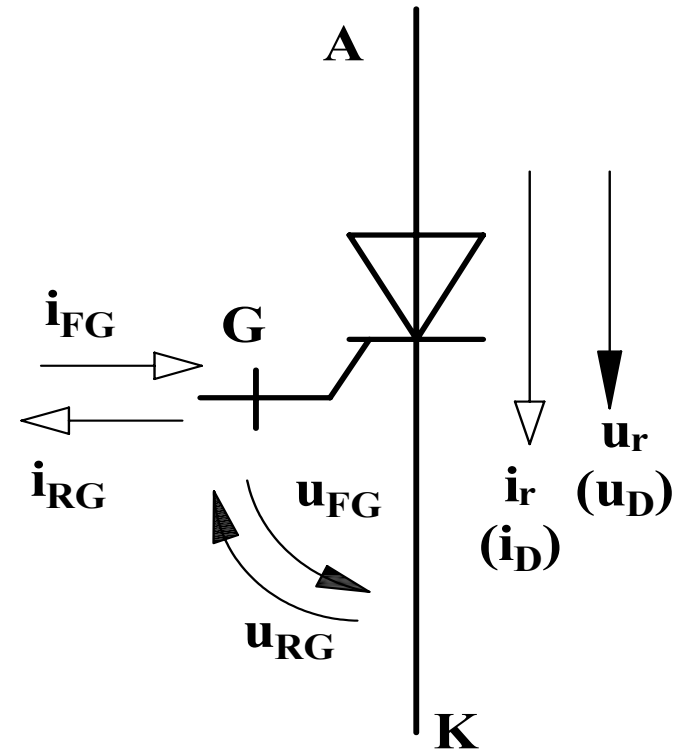
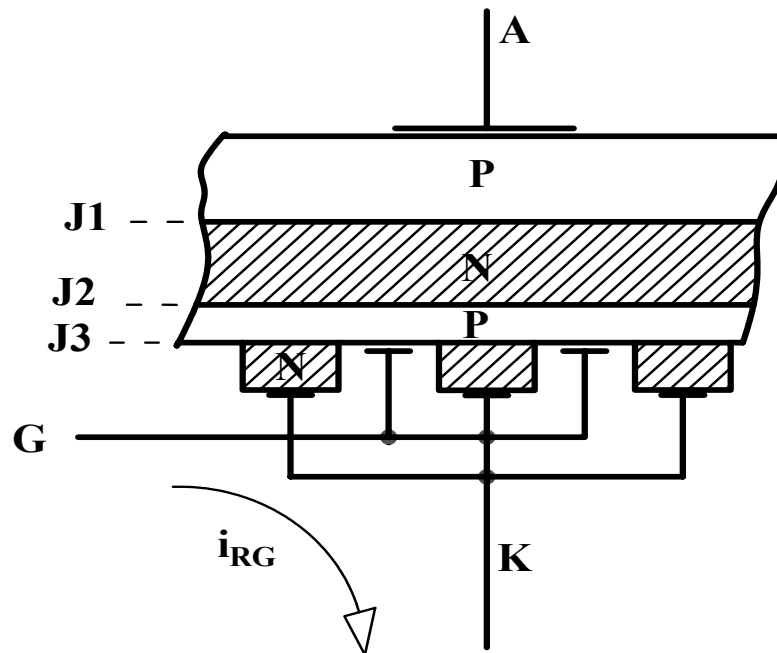
## Major Ratings and Characteristics

Parameters	22RIA		Units
	10 to 120	140 to 160	
$I_{T(AV)}$	22	22	A
@ $T_C$	85	85	°C
$I_{T(RMS)}$	35	35	A
$I_{TSM}$ @ 50Hz	400	340	A
@ 60Hz	420	355	A
$I^2t$ @ 50Hz	793	575	A <sup>2</sup> s
@ 60Hz	724	525	A <sup>2</sup> s
$V_{DRM}/V_{RRM}$	100 to 1200	1400 to 1600	V
$t_q$ typical	110		μs
$T_J$	- 65 to 125		°C



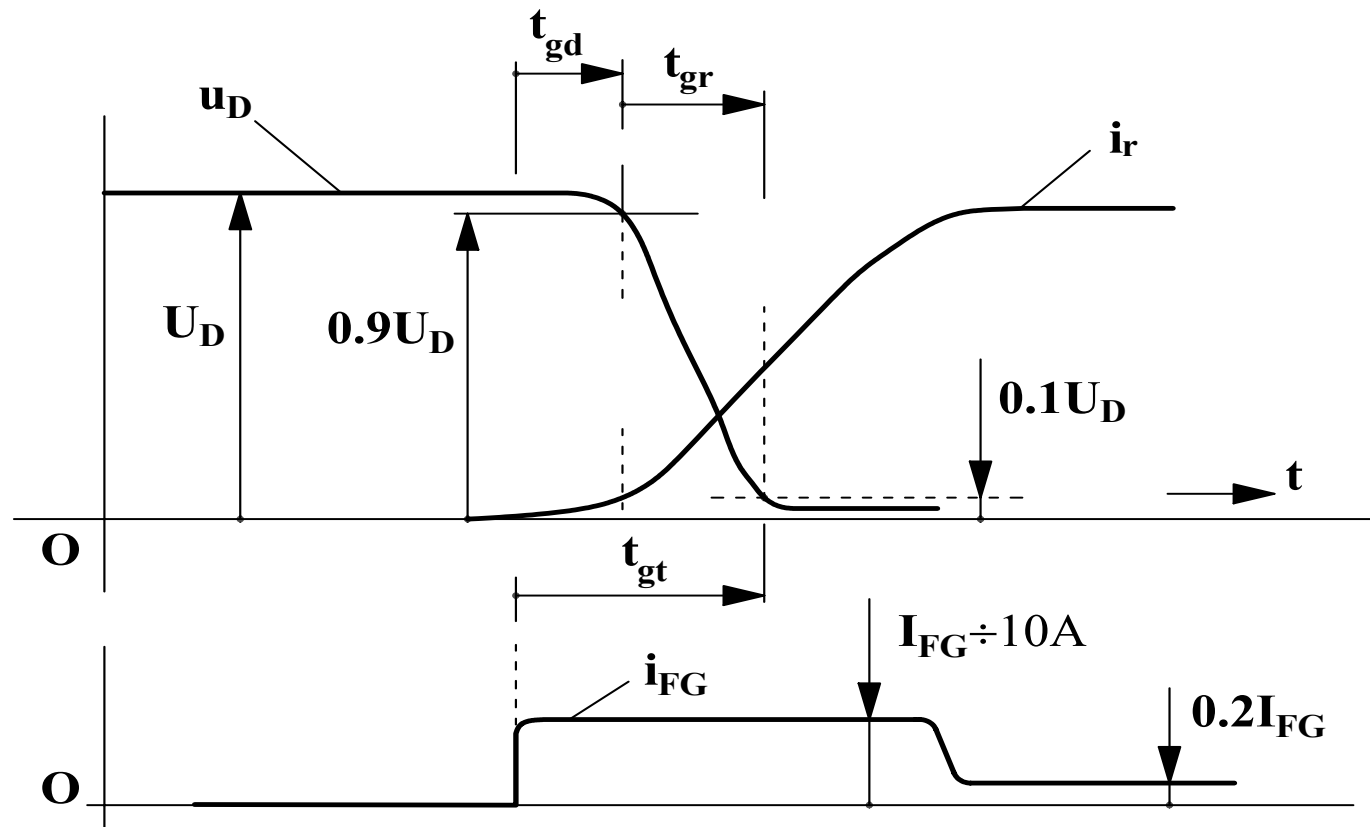
## 1.2.7 GTO

Gate Turn Off Thyristor

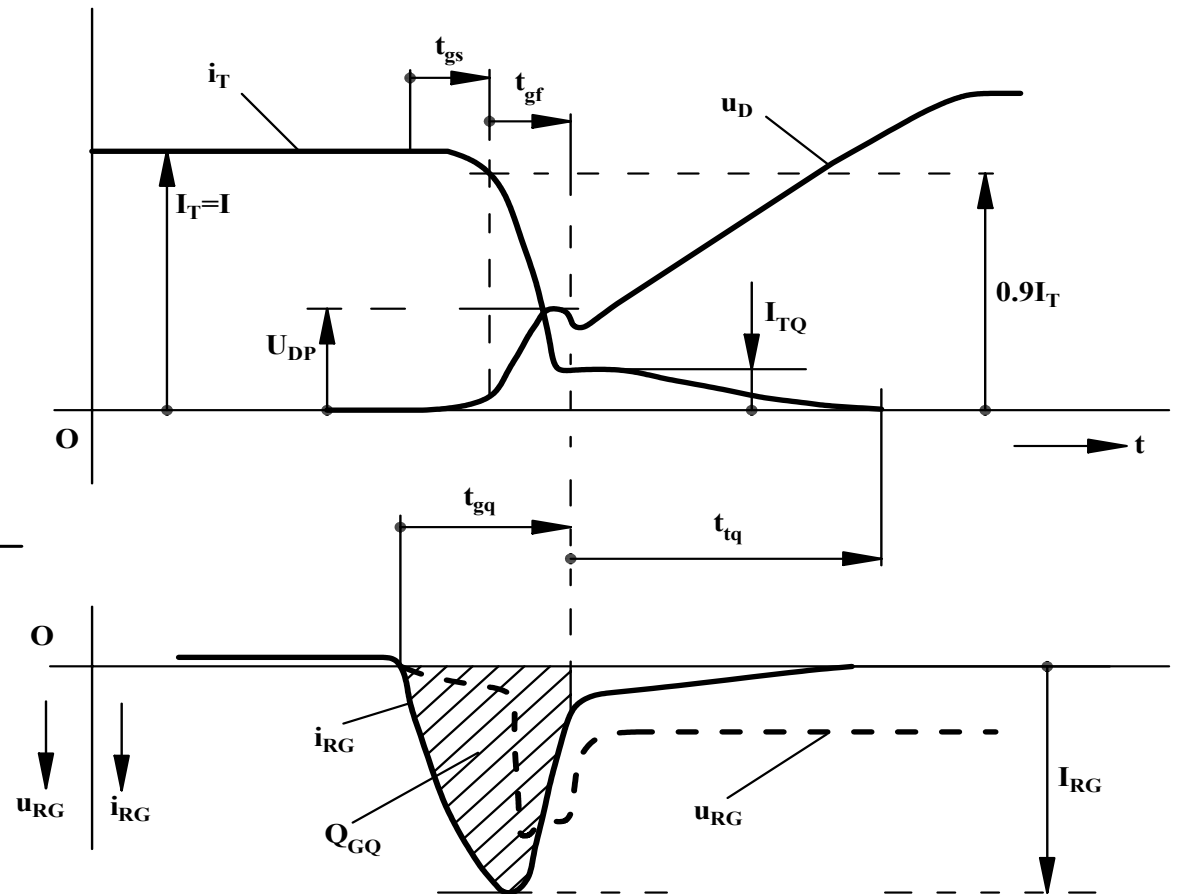
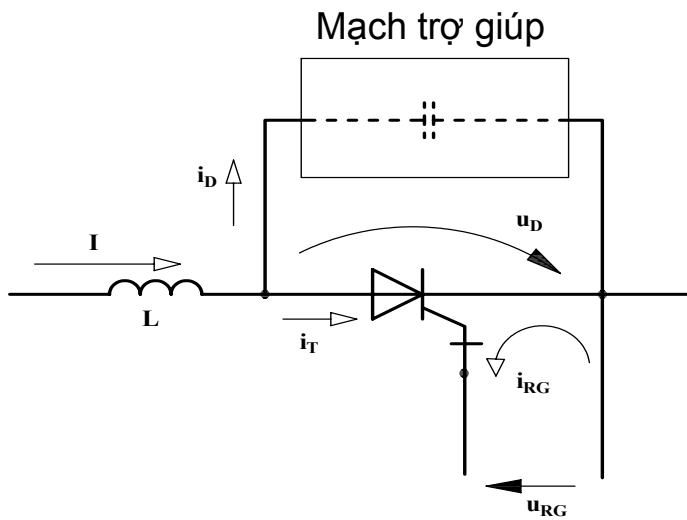


## Đặc tính động

### Mở GTO



## Đóng GTO



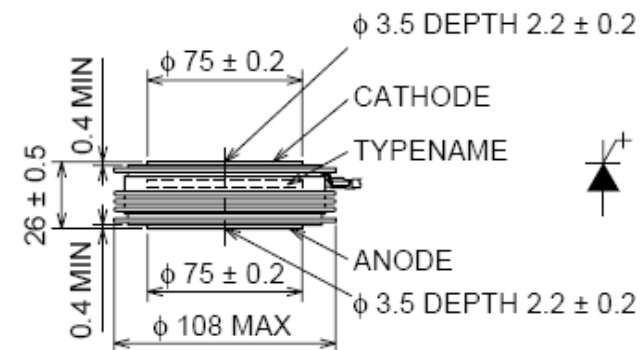
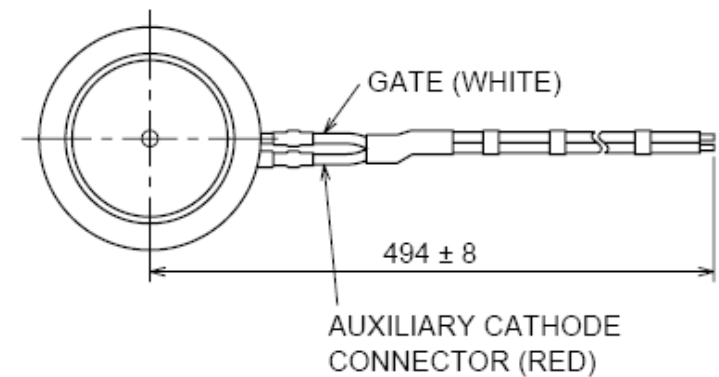
## GTO thực tế - FG3000FX-90DA – Misubishi Electric

# FG3000GX-90DA



## OUTLINE DRAWING

Dimensions in mm



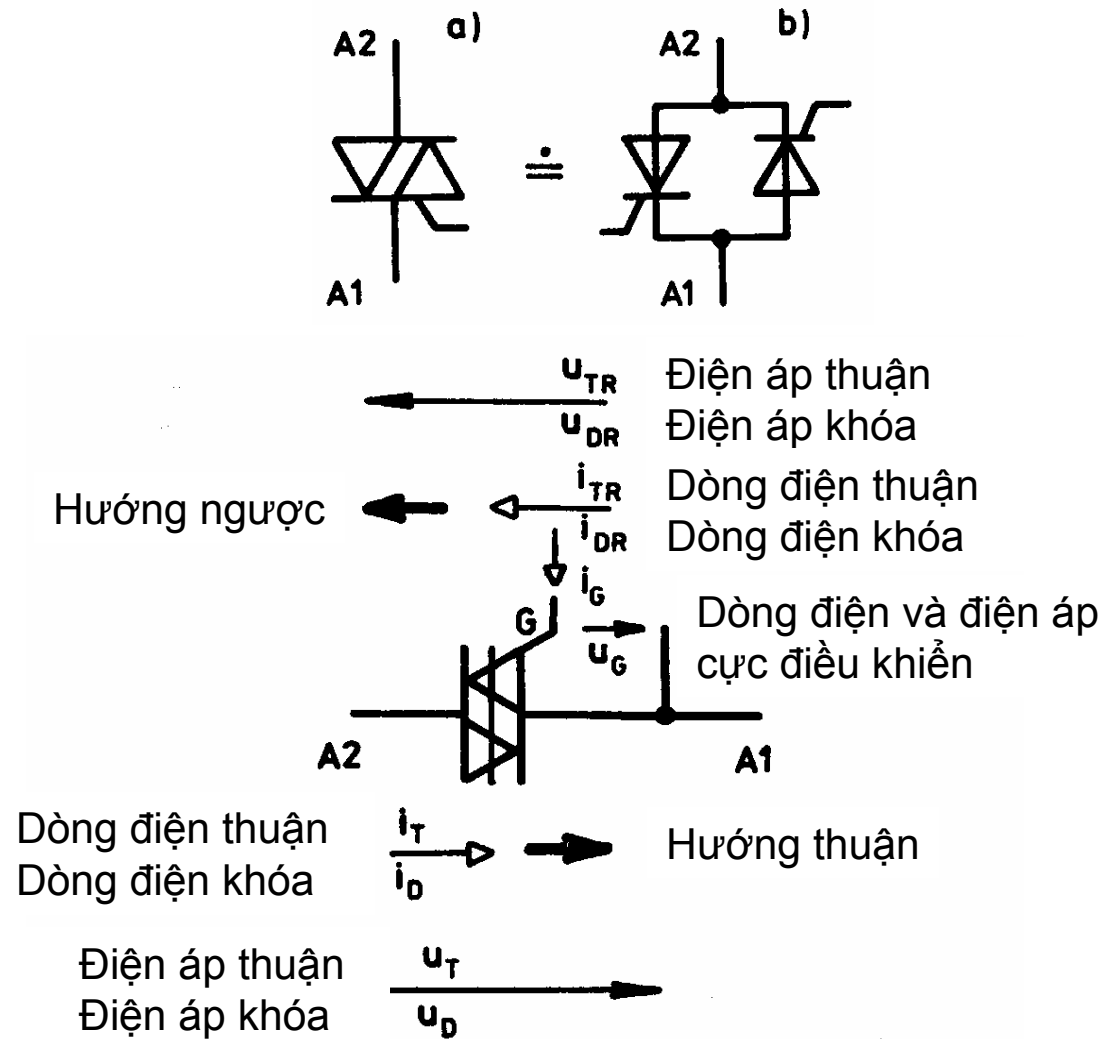
- ITQRM Repetitive controllable on-state current .....3000A
- IT(AV) Average on-state current .....1000A
- VDRM Repetitive peak off state voltage .....4500V
- Anode short type

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

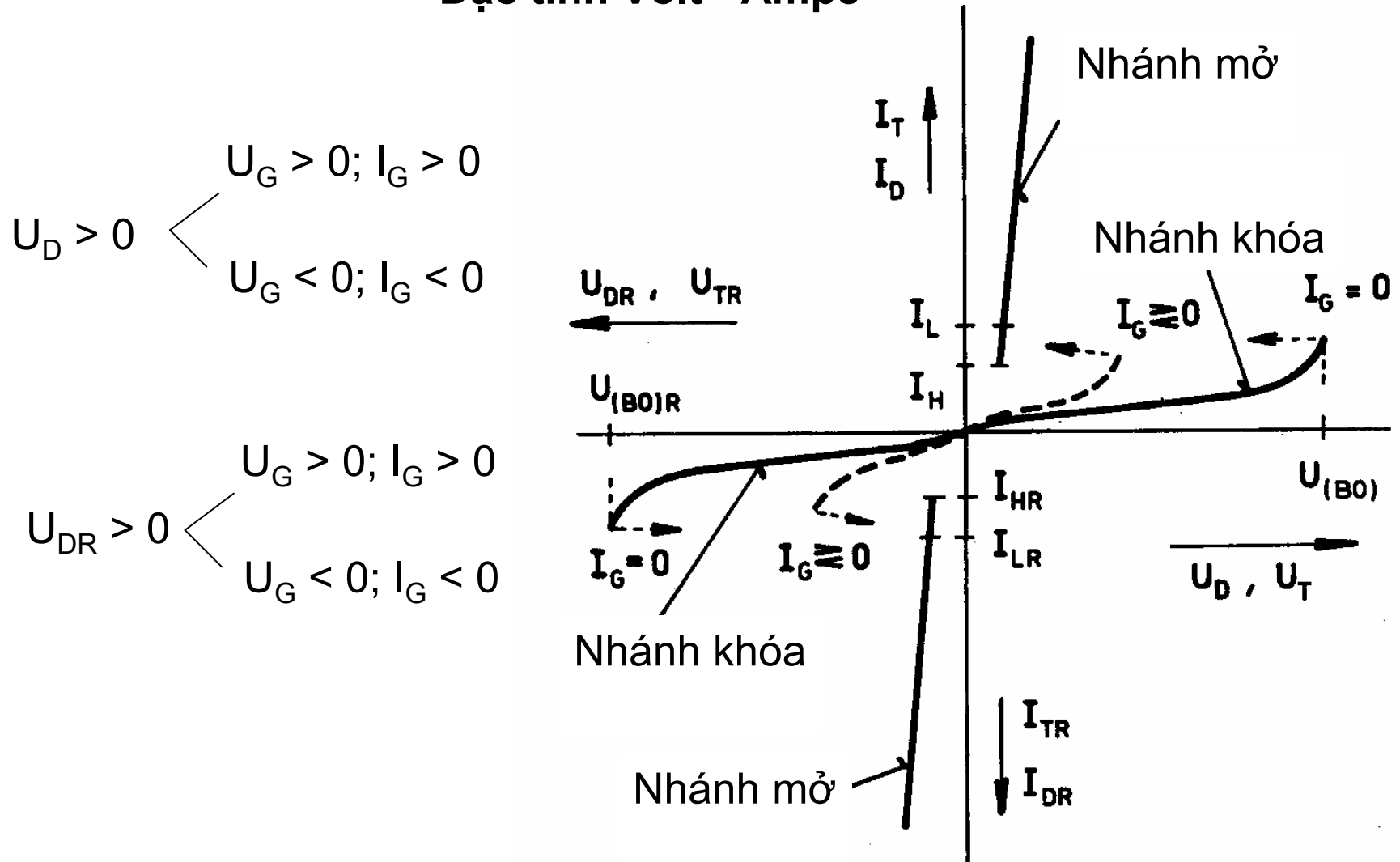
Symbol	Parameter	Test conditions	Limits			Unit
			Min	Typ	Max	
V <sub>TM</sub>	On-state voltage	T <sub>j</sub> = 125°C, I <sub>TM</sub> = 3000A, Instantaneous measurment	—	—	4.0	V
I <sub>RRM</sub>	Repetitive peak reverse current	T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>RRM</sub> Applied	—	—	10	mA
I <sub>DRM</sub>	Repetitive peak off-state current	T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>DRM</sub> Applied, V <sub>GK</sub> = -2V	—	—	100	mA
I <sub>RG</sub>	Reverse gate current	T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>RG</sub> = 17V	—	—	10	mA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>D</sub> = 2250V, V <sub>GK</sub> = -2V	1000	—	—	V/μs
t <sub>gt</sub>	Turn-on time	T <sub>j</sub> = 125°C, I <sub>TM</sub> = 3000A, I <sub>GM</sub> = 25A, V <sub>D</sub> = 3400V	—	—	8	μs
t <sub>gq</sub>	Turn-off time	T <sub>j</sub> = 125°C, I <sub>TM</sub> = 3000A, V <sub>DM</sub> = 4500V, diGQ/dt = -40A/μs V <sub>RG</sub> = 17V, C <sub>S</sub> = 3.0μF, L <sub>S</sub> = 0.25μH	—	—	30	μs
I <sub>GQM</sub>	Peak gate turn-off current		—	720	—	A
V <sub>GT</sub>	Gate trigger voltage	DC METHOD : V <sub>D</sub> = 24V, R <sub>L</sub> = 0.1Ω, T <sub>j</sub> = 25°C	—	—	1.5	V
I <sub>GT</sub>	Gate trigger current		—	—	2500	mA
R <sub>th(j-f)</sub>	Thermal resistance	Junction to fin	—	—	0.013	°C/W



## 1.2.8 Triac



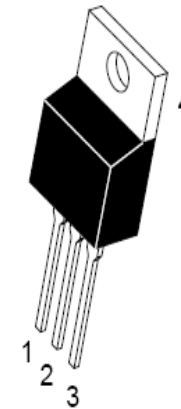
## Đặc tính Volt - Ampe



# Triac thực tế - 2N6344 - ON Semiconductor

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
*Peak Repetitive Off-State Voltage <sup>(1)</sup> ( $T_J = -40$ to $+110^\circ\text{C}$ , Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open) 2N6344 2N6349	$V_{\text{DRM}}$ , $V_{\text{RRM}}$	600 800	Volts
*On-State RMS Current ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ ) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz ( $T_C = +90^\circ\text{C}$ )	$I_{\text{T(RMS)}}$	8.0 4.0	Amps
*Peak Non-Repetitive Surge Current (One Full Cycle, Sine Wave 60 Hz, $T_C = +25^\circ\text{C}$ ) Preceded and followed by rated current	$I_{\text{TSM}}$	100	Amps
Circuit Fusing Consideration ( $t = 8.3$ ms)	$I^2t$	40	$\text{A}^2\text{s}$
*Peak Gate Power ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , Pulse Width = 2 $\mu\text{s}$ )	$P_{\text{GM}}$	20	Watts
*Average Gate Power ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , $t = 8.3$ ms)	$P_{\text{G(AV)}}$	0.5	Watt
*Peak Gate Current ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , Pulse Width = 2.0 $\mu\text{s}$ )	$I_{\text{GM}}$	2.0	Amps
*Peak Gate Voltage ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , Pulse Width = 2.0 $\mu\text{s}$ )	$V_{\text{GM}}$	10	Volts

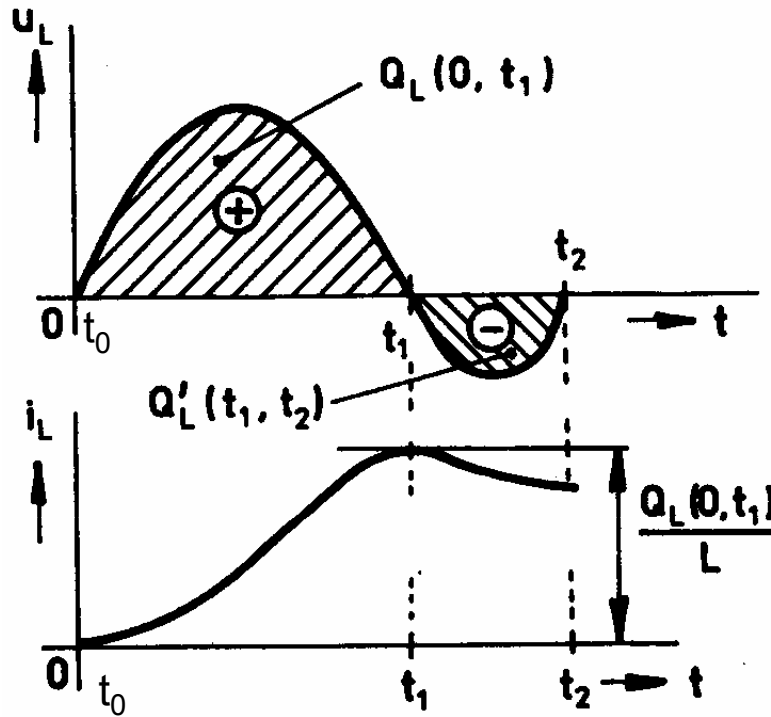


**TO-220AB  
CASE 221A  
STYLE 4**

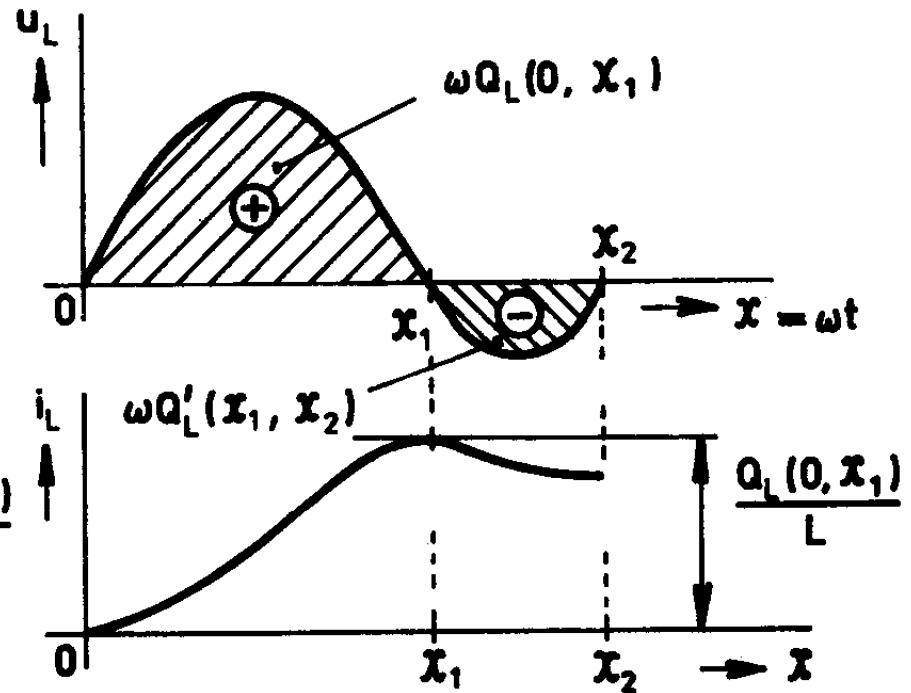
PIN ASSIGNMENT	
1	Main Terminal 1
2	Main Terminal 2
3	Gate
4	Main Terminal 2

## **CHƯƠNG 2: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**

## 2.1 Năng lượng tích lũy vào cuộn kháng và giải phóng từ cuộn kháng



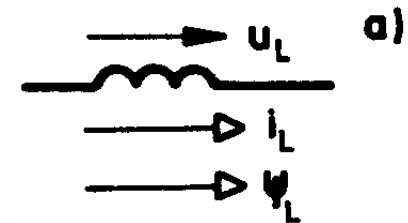
b)



c)

$$\int_{t_0}^{t_1} u_L dt = Q_L(t_0, t_1); \quad u_L = \frac{d\Psi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt}$$

$$Q_L(t_0, t_1) = \int_{\Psi_L(t_0)}^{\Psi_L(t_1)} d\Psi_L = L \int_{i_L(t_0)}^{i_L(t_1)} di_L = \Psi_L(t_1) - \Psi_L(t_0) = L[i_L(t_1) - i_L(t_0)]$$



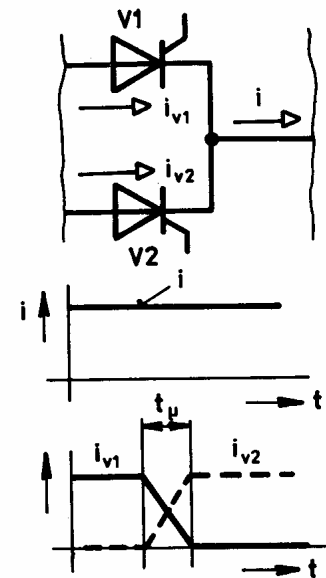
## 2.2 Nhịp và sự chuyển mạch

Nhánh chính – Nhánh phụ

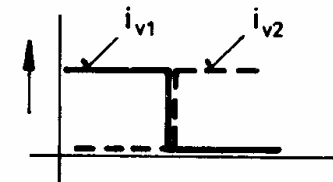
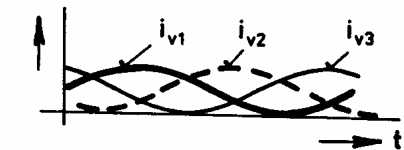
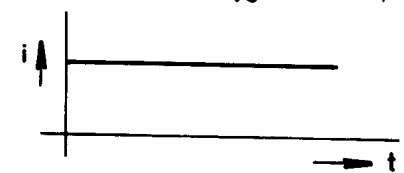
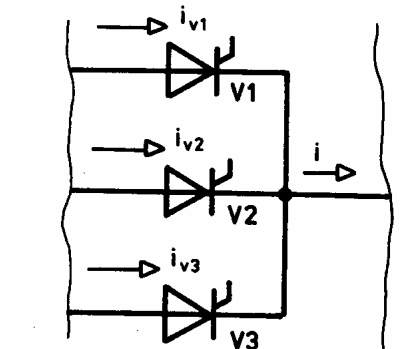
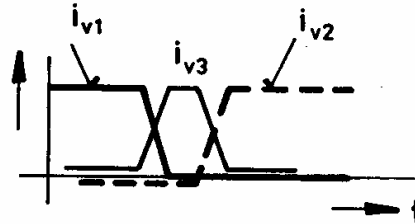
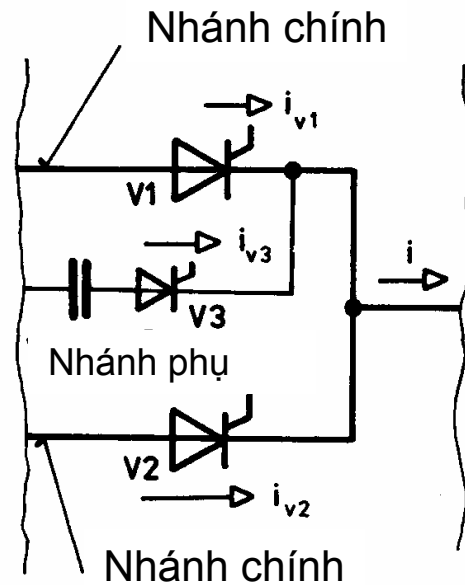
Linh kiện ĐTCS chính – Linh kiện ĐTCS phụ

Nhịp là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp thay đổi trạng thái của linh kiện điện tử công suất trong mạch. Tên của nhịp là tên của linh kiện đang dẫn điện.

Chuyển mạch là trạng thái điện từ xảy ra trong mạch bộ biến đổi, được đặc trưng bằng việc dòng điện trong một nhánh chuyển sang một nhánh khác trong khi dòng điện tổng chảy ra từ nút giữa hai nhánh vẫn không đổi.



- Điện áp chuyển mạch
- Chuyển mạch ngoài –  
Chuyển mạch tự nhiên
- Chuyển mạch trong
- Chuyển mạch trực tiếp
- Chuyển mạch gián tiếp
- Chuyển mạch nhiều tầng
- Thời gian chuyển mạch –  
Góc chuyển mạch
- Chuyển mạch tức thời



## 2.3 Các đường đặc tính

**Đặc tính ngoài (Đặc tính tải):** Mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và dòng điện đầu ra của bộ biến đổi

**Đặc tính điều khiển:** Mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và đại lượng điều khiển của bộ biến đổi

## 2.4 Hệ số công suất của bộ biến đổi

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad \dots \text{Hệ số công suất PF (Power Factor)}$$

P: Công suất hữu công

S: Công suất biểu kiến



$$P = mUI_{(1)}\cos\varphi_{(1)}$$

m: số pha

U: Giá trị hiệu dụng điện áp điều hòa của pha

$I_{(1)}$ : Giá trị hiệu dụng của thành phần bậc 1 dòng điện pha

$\varphi_{(1)}$ : Góc chậm pha của thành phần bậc 1 dòng điện pha so với điện áp

$$S = mUI$$

I: Giá trị hiệu dụng dòng điện pha

$$I^2 = \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2$$

$$S^2 = m^2 U^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2 = m^2 U^2 I_{(1)}^2 + m^2 U^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2$$

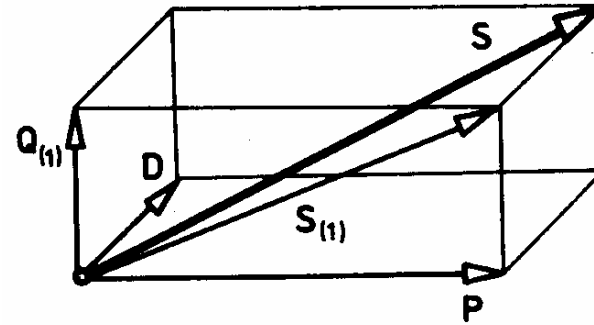
$$S_{(1)}^2 = m^2 U^2 I_{(1)}^2 = m^2 U^2 I_{(1)}^2 \cos^2 \varphi_{(1)} + m^2 U^2 I_{(1)}^2 \sin^2 \varphi_{(1)} = P^2 + Q_{(1)}^2$$

$mUI_{(1)}$ : Công suất biểu kiến của thành phần bậc 1

$Q_{(1)}$ : Công suất phản kháng của thành phần bậc 1

$$S^2 = P^2 + Q_{(1)}^2 + D^2$$

$$D = mU \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}$$



D: Công suất phản kháng biến dạng

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_{(1)}^2 + D^2}} = \nu \cos \varphi_{(1)} \quad \dots \text{Hệ số công suất PF (Power Factor)}$$

$$\nu = \frac{I_{(1)}}{I} \quad \dots \text{Hệ số méo dạng DF (Distortion Factor)}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \quad \dots \text{Độ méo dạng tổng THD (Total Harmonic Distortion)}$$