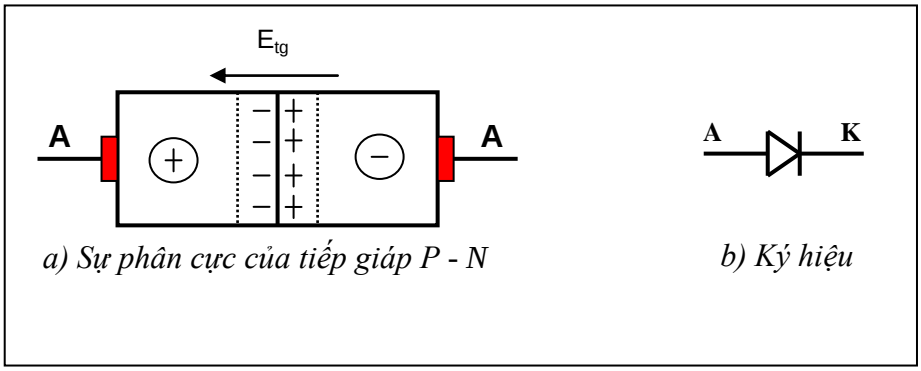
Chương 1

# CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT

| TT | Chuẩn đầu ra của chương | CĐR HP |
|---|---|---|
| 1 | Trình bày được những kiến thức cơ bản về các phần tử bán dẫn công suất và một số dạng mạch trợ giúp cho chúng đóng/mở trong các mạch điện một chiều và xoay chiều | **1** |
| 2 | Biết được cấu tạo, ký hiệu, hoạt động và thông số của các phần tử bán dẫn công suất. | **2** |
| 3 | Nhận dạng được các dạng mạch trợ giúp đã được đề cập. | **2** |

## 1.1 DIODE CÔNG SUẤT

### 1.1.1 Cấu tạo




***Hình 1.1:*** *Cấu tạo và ký hiệu của Diode*

***Hình 1.2:*** *Hình dạng của Diode*

Khi có hai lớp bán dẫn khác loại P và N tiếp xúc nhau thì giữa chúng hình thành tiếp giáp P – N.

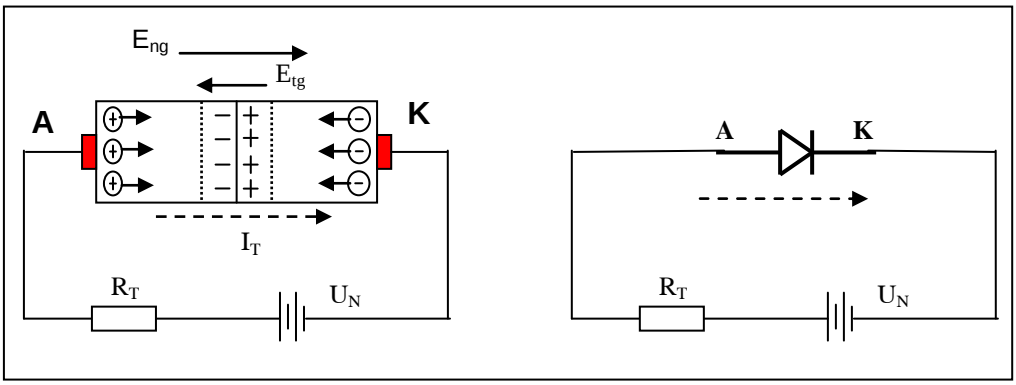
Ở bán dẫn P: mật độ lổ trống rất lớn so với mật độ điện tử. Ở bán dẫn loại N: mật độ điện tử rất lớn so với mật độ lổ trống, nên xảy ra hiện tượng khuếch tán điện tử từ

N → P và khuếch tán lổ trống từ P → N, nên xảy ra sự phân bố lại điện tích ⇒ hình thành tiếp giáp.

Chổ tiếp giáp có một điện trường gọi là điện trương tiếp giáp, còn gọi là hàng rào điện thế, hay điện thế vách ngăn.

Ở điều kiện bình thường sau khi tạo tiếp giáp tổng các dòng điện qua tiếp giáp bằng 0.

### 1.1.2 Phân cực thuận cho Diode



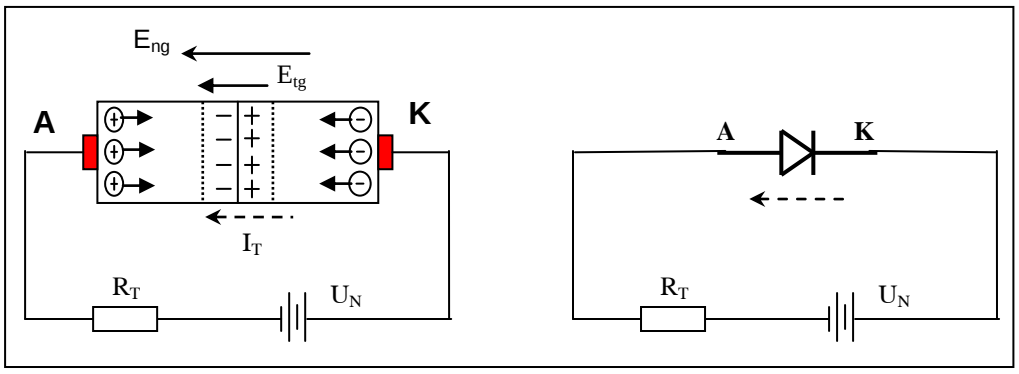

***Hình 1.3:****Phân cực thuận cho diode*

Đặt tiếp giáp P – N vào điện áp ngoài sao cho cực dương của nguồn nối với P, cực âm nối với N ⇒ Điện áp phân cực thuận.

Điện áp này tạo ra điện trường ngoài hướng từ P → N. Tức là ngược chiều điện trường tiếp giáp và triệt tiêu điện trường tiếp giáp. Làm cho các phần tử dẫn điện đa số là lổ trống di chuyển từ P → N, còn điện tử di chuyển từ N → P.

Qua tiếp giáp này có dòng điện thuận có trị số lớn, điện trở thuận nhỏ.

### 1.1.2 Phân cực ngược cho Diode



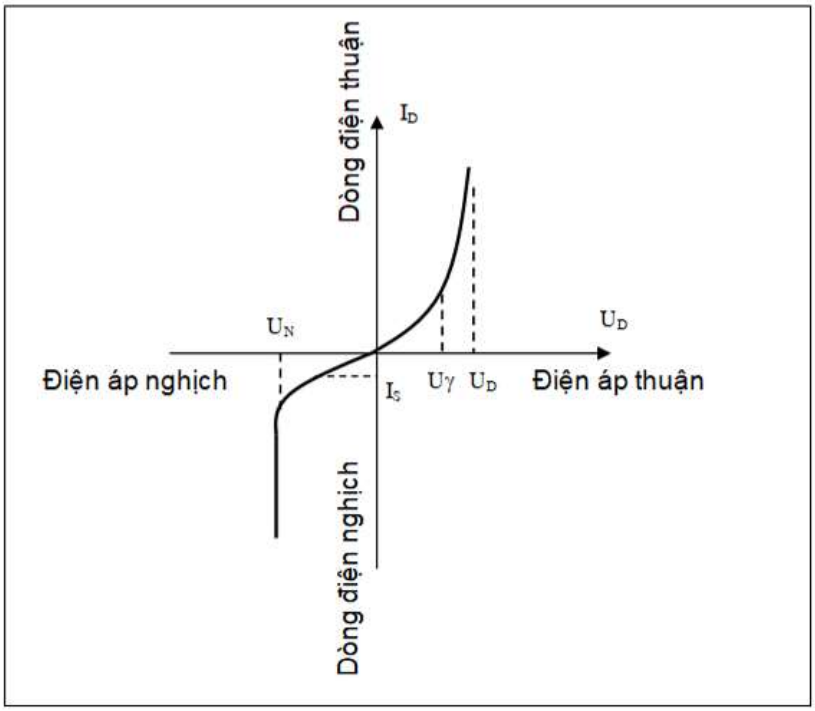

***Hình 1.4:****Phân cực ngược cho diode*

Đặt tiếp giáp P – N vào điện áp ngoài sao cho cực dương của nguồn nối với N, cực âm nối với P ⇒ Điện áp phân cực thuận.

Điện áp này tạo ra điện trường ngoài hướng từ N → P. Tức là cùng chiều điện trường tiếp giáp và làm tăng điện trường tiếp giáp. Ngăn cản sự di chuyển của các phần tử dẫn điện đa số  qua tiếp giáp.

Dòng điện của các phần tử cơ bản sẽ bằng 0, lúc này dòng điện qua diode có trị số rất nhỏ gọi là dòng điện ngược và đgl dòng điện của các phần tử dẫn điện thiểu số đi từ N → P.

### 1.1.4 Đặc tính Volt – Ampere của Diode




***Hình 1.5:*** *Đặc tính Volt – Ampere của Diode*

$$I_D = I_S.(e^{\frac{q.U_D}{K.T}} - 1)$$

$I_D$ : dòng điện thuận của Diode (A)

$I_S$ : dòng điện bảo hoà ngược (A)

$U_D$ : điện áp thuận của Diode (V)

$U_\gamma$ : điện áp ngưỡng của Diode (V)

T : nhiệt độ tuyệt đối (oK)

K = 1,38.10-23 (J/K) ( hằng số Bosman

q = $1,6.10^{-19}$ (C)

$U_D$ = 0,6 ÷ 0.7 (V)→ Diode chế tạo từ Silic

$U_D$ = 0,2 → Diode cchế tạo từ Gecmani

$\mathbf{I_D = I_S.(e^{\frac{U_D}{26mV}} - 1)}$ → ở $27^oC$ (T = $300^oK$)

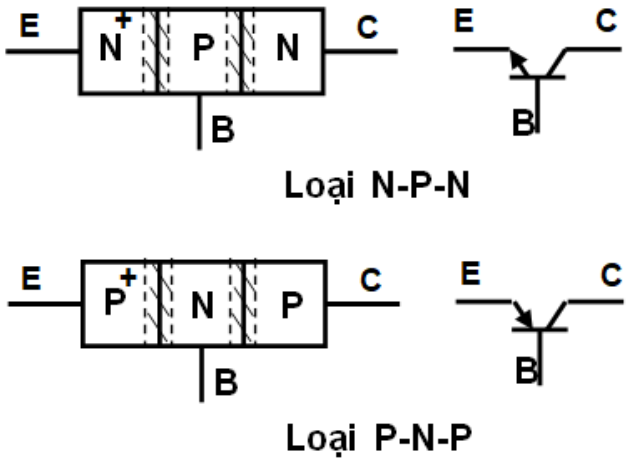
### 1.1.5 Thông số kỹ thuật cơ bản của Diode

- *Dòng điện định mức $I_{đm}$ (A):* là dòng điện mà Diode cho phép đi qua trong thời gian dài mà Diode không bị nóng và bị hư.
- *Điện áp ngược cực đại $U_z$ (V):* là giá trị điện áp lớn nhất đặt vào tiếp giáp P – N theo chiều phân cực ngược mà tiếp giáp không bị đánh thủng.
- *Điện áp rơi trên diode $U_D$ (V)*

## 1.2 TRANSISTOR LƯỠNG CỰC (BJT)

### 1.2.1 Cấu tạo

Transistor 2 cực tính, thường gọi tắt là BJT, là linh kiện bán dẫn 3 cực có khả năng khuếch đại tín hiệu hoặc hoạt động như một khoá đóng mở. Nó sử dụng cả 2 loại hạt dẫn: điện tử và lổ trống (hai cực tính).




***Hình 1.6:*** *Cấu tạo và ký hiệu của Transistor*

***Hình 1.7:*** *Hình dạng của Transistor*

- BJT được cấu tạo bởi 2 lớp chuyển tiếp P – N nằm gần nhau
- BJT có 3 lớp bán dẫn : N-P-N hoặc P-N-P
- Nồng độ tạp chất trong 3 lớp không giống nhau:

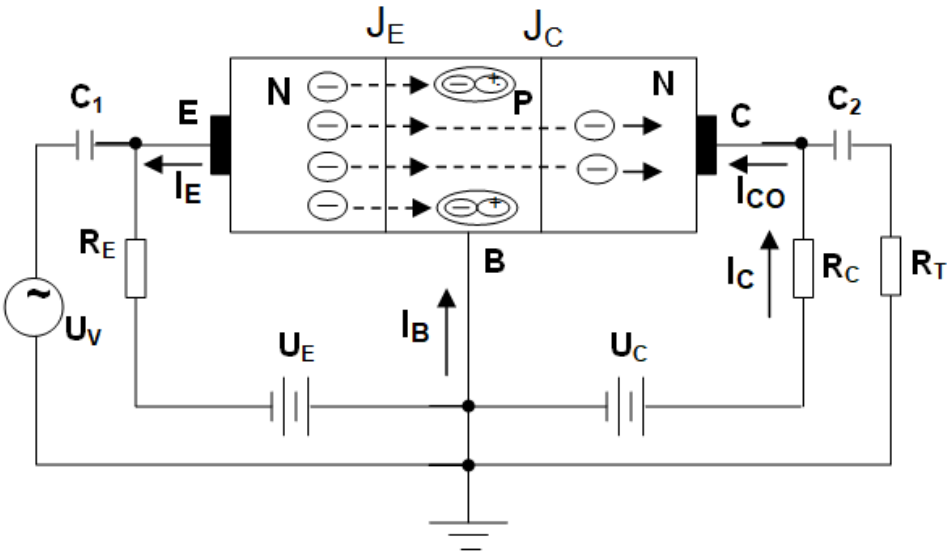
  * Lớp có nồng độ tạp chất cao nhất : $N^+$, $P^+$ có nồng độ hạt dẫn đa số lớn nhất → miền phát (Emitter).

* Lớp đối diện: N, P có nồng độ tạp chất thấp hơn → miền thu (Collector).

* Lớp giữa có nồng độ tạp chất rất thấp → miền gốc (Base).

  - Cực Emitter (E) → Cực phát
  - Cực Base (B) → Cực thu
  - Cực Collector (C) → Cực gốc

### 1.2.2 Nguyên Lý Hoạt Động




***Hình 1.8:*** *Nguyên lý hoạt động của Transistor loại NPN*

Đối với transistor chỉ cần tác dụng một điện áp nhỏ vào cực B sẽ làm thay đổi tương ứng điện trở giữa 2 cực còn lại:

- Transistor dẫn mạnh → nội trở giảm
- Transistor dẫn yếu → nội trở tăng

Nếu đặt $U_C$ vào BC theo chiều phân cực ngược, hàng rào điện thế vùng tiếp giáp tăng, tương tự như diode phân cực nghịch và qua tiếp giáp BC có một dòng điện rất nhỏ $I_{CO}$ là dòng điện cực góp ban đầu, làm dòng của các phần tử dẫn điện thiểu số tạo nên.

Nếu đặt $U_E$ vào BE theo chiều phân cực thuận, hàng rào điện thế vùng tiếp giáp $J_E$ giảm xuống, lớp phát sẽ phát ra các phần tử dẫn điện đa số là điện tử di chuyển về lớp gốc tạo nên dòng điện $I_E$ có trị số lớn tương tự như dòng điện thuận của diode.

Tại lớp gốc một phần nhỏ các điện tử sẽ tái hợp lổ trống ở đây và một phần nhỏ sẽ tái hợp với điện tích dương từ cực (+) của nguồn $U_E$ di chuyển tới lớp gốc tạo thành dòng điện $I_B$. Phần lớn các điện tử còn lại sẽ di chuyển qua lớp gốc sang lớp góp (thu), tại đây các điện tử sẽ bị điện trường của $U_C$ đẩy về phía cực C tạo nên dòng điện $I_C$ có trị số lớn.

Dựa vào quá trình vật lý nêu trên ta có:

$$I_E = I_B + I_C$$

Trị số $I_B << I_C$ và $I_E$ ($I_C = I_E$)

Ta thấy $I_E$ biến đổi thì $I_C$ biến đổi theo

Bây giờ đặt thêm nguồn tín hiệu xoay chiều $U_V$ có biên độ nhỏ thông qua tụ $C_1$ đặt vào cực E và B, nghĩa là xếp chồng lên điện áp có sẵn $U_E$ thì mức độ phân cực của $J_E$ sẽ thay đổi, một cách tuần hoàn theo chu kỳ tín hiệu. Do đó điện tử từ cực E tới cực C sẽ tăng giảm theo qui luật của $U_V$. Dòng này tạo trên $R_C$ một điện áp biến thiên cùng quy luật với $U_V$ nhưng với biên độ lớn hơn $U_V$ nhiều (vì $R_C$ khá lớn ) ➔ Transistor đã khuếch đại tín hiệu.

Có thể coi $I_C$ gồm 2 phần: không đổi (chỉ có $U_E$ và $U_C$ ) và thành phần biến thiên theo sự điều khiển của $U_V$

$I_C = I_{C\ DC} + I_{C\ AC}$

Tương ứng trên $R_C$ cũng là tổng 2 thành phần $I_{C\ DC}.R_C$ (1 chiều) $I_{C\ AC}.R_C$

Tụ $C_3$ chỉ cho phép riêng thành phần xoay chiều qua tải.

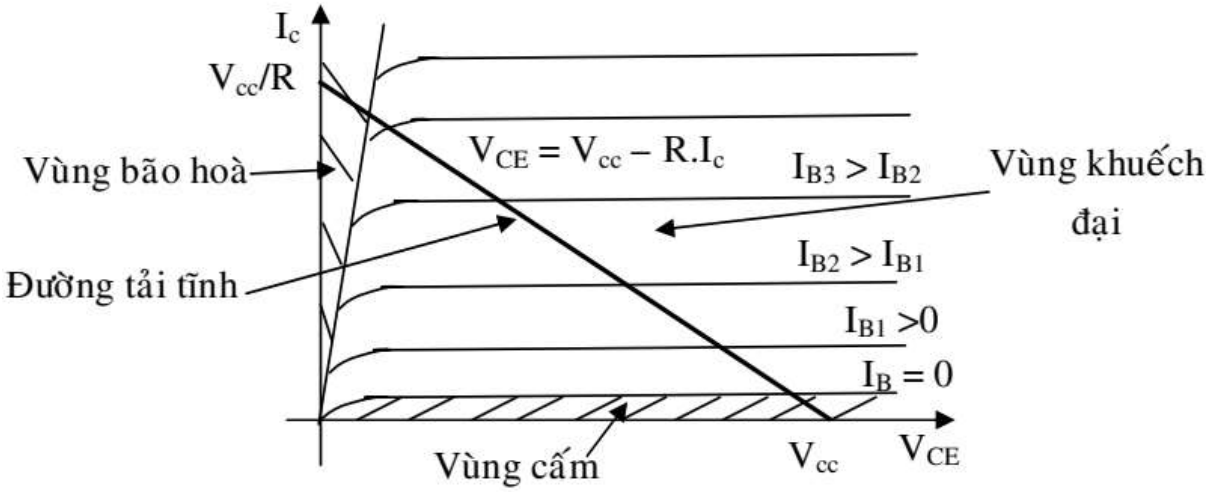
➔ Như vậy điện áp xoay chiều lấy ra trên $R_T$ chính là điện áp $U_V$ đã được khuếch đại.

Nguyên lý hoạt động của transistor PNP hoàn toàn tương tự chỉ khác là các nguồn $U_E$, $U_C$ phải đổi cực tính và ở lớp phát các phần tử dẫn điện đa số là lổ trống.

### 1.2.3 Đặc tính Volt – Amper

Đồ thị diễn tả mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT được gọi là đặc tuyến Volt – Amper (hay đặc tuyến tĩnh).

Đặc truyến V – A của transistor mắc Emitter chung như hình 1.9. Đặc tuyến V-A của transistor được chia ra làm 3 vùng: Vùng cấm, vùng khuếch đại và vùng bão hoà.




***Hình 1.9:*** Đặc truyến V – A của mạch E chung

Trong các ứng dụng của điện tử công suất lớn, người ta chỉ phân cực cho transistor ở vùng bão hoà ($I_B$ lớn) và vùng cấm ($I_B = 0$) mà không phân cực cho transistor ở vùng khuếch đại.

### 1.2.4 Các thông số của transistor công suất:

$I_C$: Dòng colector mà transistor chịu được

$U_{Cesat}$ là điện áp UCE khi transistor dẫn bão hòa

$U_{CEO}$: Điện áp $U_{CE}$ khi mạch bazơ để hở, $I_B = 0$

$U_{CEX}$: là điện áp $U_{CE}$ khi bazơ bị khóa bởi điện áp âm, $I_B < 0$

$t_{on}$: Thời gian cần thiết để $U_{CE}$ từ giá trị điện áp nguồn U giảm xuống $U_{CESat} \approx 0$

$t_f$: Thời gian cần thiết để $i_C$ từ giá trị $I_C$ giảm xuống 0

$t_S$: Thời gian cần thiết để $U_{CE}$ từ giá trị $U_{CESat}$ tăng đến giá trị điện áp nguồn U,

P: Công suất tiêu tán bên trong transistor.

Công suất tiêu tán bên trong transistor được tính theo công thức:

$$P = U_{BE}.I_B + U_{CE}.I_C.$$

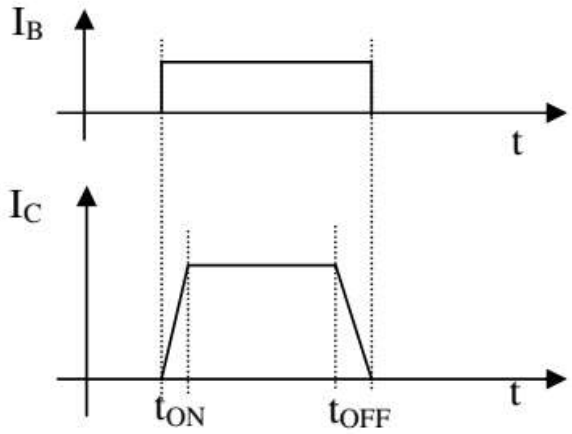
- Khi transistor ở trạng thái ngắt: $I_B = 0$, $I_C = 0$ nên P = 0.

- Khi transistor ở trạng thái dẫn: $U_{CE} = U_{CESat}$.

Các tổn hao chuyển mạch của transistor có thể lớn. Trong lúc chuyển mạch, điện áp trên các cực và dòng điện của transistor cũng lớn. Tích của dòng điện và điện áp cùng với thời gian chuyển mạch tạo nên tổn hao năng lượng trong một lần chuyển mạch. Công suất tổn hao chính xác do chuyển mạch là hàm số của các thông số của mạch phụ tải và dạng biến thiên của dòng điện gốc.

### 1.2.5 Tính chất động của transistor

Việc khảo sát các hiện tượng quá độ khi đóng ngắt của transistor có ý nghĩa quan trọng. Quá trình dòng colector khi kích dạng xung vuông cho transistor như hình 1.10

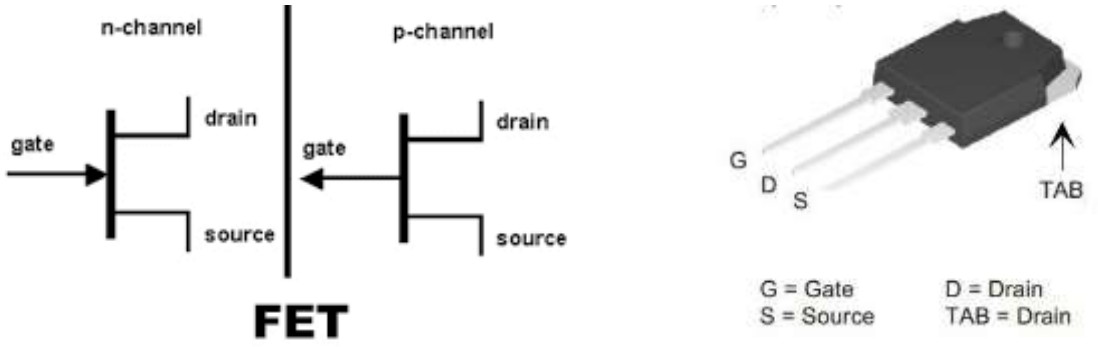



***Hình 1.10:*** *Đáp ứng của transistor khi kích bằng tín hiệu xung vuông.*

Thời gian đóng $t_{ON}$ và thời gian ngắt $t_{OFF}$ khoảng vài µs. Một hệ quả bất lợi của trong hiện tượng chuyển mạch của transistor là tạo nên công suất tổn hao khi chuyển mạch lớn do điện áp trên transistor khi chuyển mạch lớn và dòng điện chảy qua transistor lớn. Công suất tổn hao trên transistor khi chuyển mạch sẽ giới hạn tần số đóng ngắt của transistor.

## 1.3 TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FET)

### 1.3.1 Cấu tạo



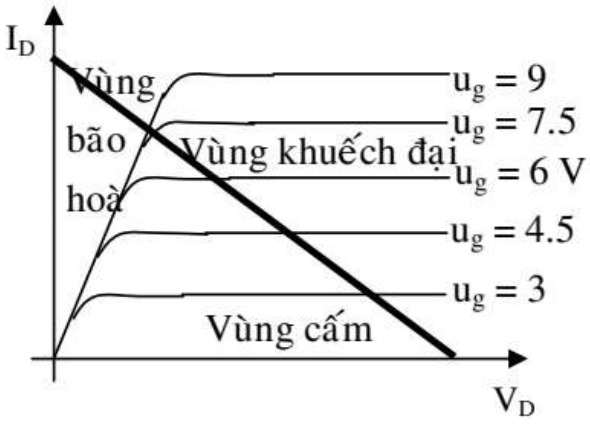

***Hình 1.11:*** *Ký hiệu và hình dạng của FET*

Transistor hiệu ứng trường FET (Field – Effect Transistor) được chế tạo theo công nghệ Mos (Metal – Oxid – Semiconductor), thường sử dụng như những chuyển mạch điện tử có công suất lớn. Khác với transistor lưỡng cực được điều khiển bằng dòng điện, FET được điều khiển bằng điện áp.

FET gồm các cực chính: cực máng (Drain), nguồn (Source) và cửa (Gate).

Dòng điện máng - nguồn được điều khiển bằng điện áp cửa – nguồn.

### 1.3.2 Đặc tuyến V – A




***Hình 1.12:*** *Đặc tuyến V – A*

FET ở trạng thái ngắt khi điện áp cực cổng $U_g < U_{thrd}$ (điện áp ngưỡng). Để FET ở trạng thái dẫn, đện áp đặt vào cực G phải liên tục và lớn hơn điện áp ngưỡng. Dòng

điện chảy trong cực cổng là không đáng kể ngoại trừ dòng điện ở trạng thái quá độ. Khi cho tín hiệu điều khiển mở và ngắt dòng qua FET, ở cực cổng sẽ xuất hiệu hiện tượng nạp và phóng điện cho tụ điện ở cực cổng. Thờ gian phóng và nạp tụ thường rất nhỏ (khoảng vài ns) tùy thuộc vào FET lớn hay nhỏ. Điện trở trong của FET khi dẫn điện thay đổi tuỳ vào khả năng chịu áp của FET do đó FET thường có định mức á thấp tương ứng với điện trở trong nhỏ, tổn hao ít. Tuy nhiên, do FET có tần số đóng ngắt cao (thời gian $t_{ON}$ và $t_{OFF}$ nhỏ ), nên ở định mức từ 300 ÷ 400 V, FET tỏ ra ưu điểm hơn so với BJT ở tần số vài chục KHz.

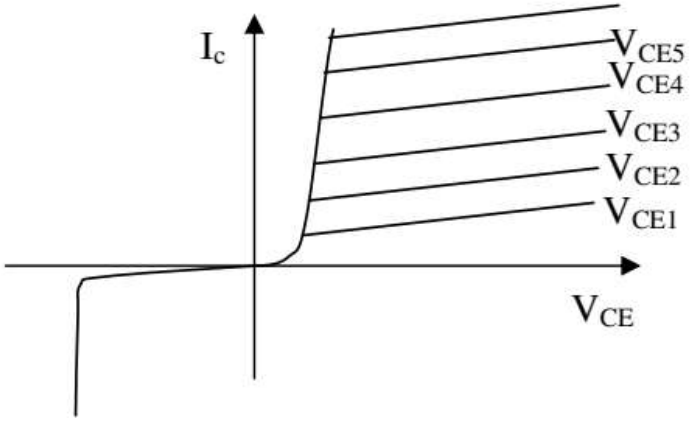
## 1.4 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

### 1.4.1 Cấu tạo

***Hình 1.13**: Ký hiệu và hình dạng IGBT*

Giống như MOSFET, IGBT có tổng trở ngõ vào rất lớn làm hạn chế công suất tổn hao khi đóng ngắt. Giống như BJT, IGBT có sụt áp khi dẫn thấp và khả năng chịu điện áp khóa cao và tương tự như GTO, IGBT có khả năng chịu được điện áp ngược cao. Tần số đóng ngắt của IGBT rất cao và khả năng chịu tải lớn.

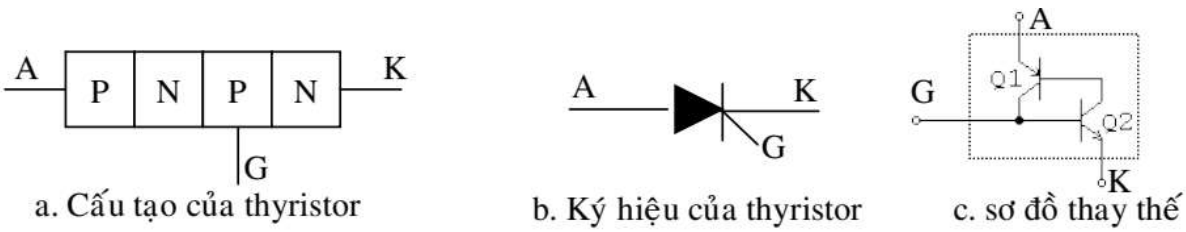
### 1.4.2 Đặc tuyến V – A




***Hình 1.14**: Đặc tuyến V – A của IGBT*

## 1.5 Thyristor (SCR)

### 1.5.1 Cấu tạo




***Hình 1.15:*** *Cấu tạo, ký hiệu và sơ đồ thay thế của thyristor*

Tiristor là linh kiện gồm 4 lớp bán dẫn PNPN liên tiếp tạo nên anode (A), kathode (K) và cực điều khiển (G).

Về mặt lý thuyết thì tồn tại 2 loại cấu trúc của thyristor là PNPN và NPNP. Tuy nhiên trong thực tế, người ta chỉ phát triển loại PNPN như hình vẽ. Thyristor gồm 1 đĩa Silic từ đơn thể loại N, trên lớp đệm loại bán dẫn P có cực điều khiển bằng dây nhôm, các lớp chuyển tiếp được tạo nên bằng kỹ thuật bay hơi của Gali. Lớp tiếp xúc giữa anốt và katốt là bằng đĩa môlip đen hay tungsen có hệ số nóng chảy gần bằng với Gali. Cấu tạo dạng đĩa kim loại để dễ dàng tản nhiệt.

***Hình 1.16****: Một số dạng của thyristor*

### 1.5.2 Nguyên lý làm việc

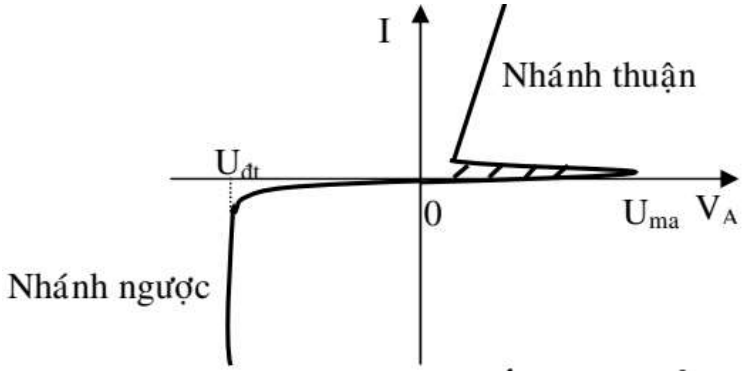
Từ sơ đồ thay thế của thyristor ta thấy, khi thyristor bị phân cực ngược (Điện áp âm đặt vào A, điện áp dương đặt vào K) thì Q1 và Q2 không thể dẫn nên không có dòng chảy qua thyristor, khi đó thyristor ngắt.

Khi được phân cực thuận nhưng chưa có dòng điện dưa vào cực G, Q2 do chưa có dòng điều khiển nên Q2 không dẫn khi đó chưa có dòng chảy qua thyristor khi đó

thyristor ở trạng thái sẵn sàng dẫn. Khi ta cho vào cực G một dòng điều khiển IG thì Q2 dẫn. Khi T2 dẫn, dòng điện chảy qua Q2 chính là dòng cực B của Q1 do đó Q1 dẫn. Khi Q1 dẫn, dòng $I_c$ của Q1 sẽ đưa vào cực B của Q2. Khi Q1 và Q2 dẫn thì dòng điện chảy qua colector của transistor này sẽ là dòng điện chảy vào bazơ của transistor kia vì thế chúng sẽ duy trì lẫn nhau làm cho thyristor dẫn dòng ngay cả khi tín hiệu điều kiển $I_G$ không còn.

Thyristor chỉ có thể ngắt khi dòng điện chảy qua thyristor bằng không hoặc đặt điện áp ngược lên thyristor vì vậy người ta gọi thyristor là linh kiện kích đóng.

### 1.5.3 Đặc tuyến V-A của thyristor

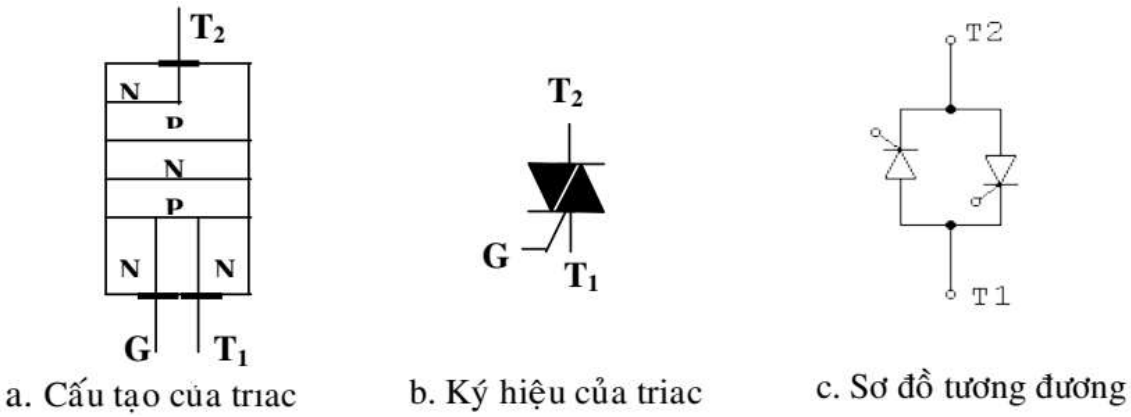



***Hình 1.17**: Đặc tuyến V – A của Thyristor*

Đặc tuyến V – A của thyristor gồm 2 nhánh: nhánh thuận và nhánh ngược. Ở nhánh nghịch thì đặc tuyến V – A tương tự như của diode. Ở nhánh thuận, khi $I_G = 0$ đặc tuyến V – A tương tự như nhánh ngược, khi điện áp đặt lên thyristor lớn hơn giá trị $U_{max}$, thì dòng điện chảy qua thyristor tăng nhanh, khi đó thiristor ở trạng thái mất điều khiển và có thể bị phá hỏng. Khi $I_G \neq 0$, tuỳ vào giá trị của $I_G$ mà điện áp khóa sẽ thay đổi, điện áp khóa sẽ giảm khi $I_G$ tăng và ngược lại.

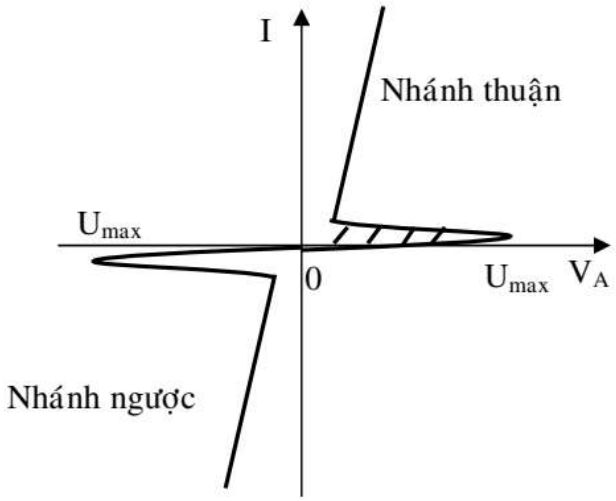
## 1.6 TRIAC

Triac là thiết bị bán dẫn ba cực, bốn lớp có đường đặc tính volt-ampe đối xứng, nhận góc mở  cho cả hai chiều. Triac được chế tạo để làm việc trong mạch điện xoay chiều, có tác dụng như 2 SCR đấu song song ngược nhau.




***Hình 1.18:*** *Cấu tạo và ký hiệu của triac*

Triac hoạt động tương tự như 2 thyristor nhưng cho dòng dẫn theo cả 2 chiều. Đặc tuyến V-A của triac như hình 3.18




***Hình 1.19:*** *Đặc tuyến V – A của triac*

## 1.7 Ứng Dụng Của Các linh kiện công suất

Các khoá điện tử được ứng dụng để làm thiết bị đóng cắt tần số cao trong các hệ thống điều khiển tuần tự như đóng ngắt các van trong hệ thống điều khiển dùng khí nén, đóng ngắt nguồn trong các hệ thống điều khiển nhiệt độ …

Ưu điểm khi dùng khoá điện tử so với khoá điện từ và khoá cơ là khoá điện tử không sinh hồ quang khi đóng ngắt và tần số đóng ngắt cao hơn. Đặc biệt, các khoá điện tử được dùng để làm các bộ biến đổi công suất để tạo ra các dạng nguồn công suất lớn cung cấp cho phụ tải như: Chỉnh lưu, nghịch lưu, biến đổi điện áp một chiều, biến đổi điện áp xoay chiều ….