



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



BÀI GIẢNG MÔN

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Giảng viên:

ThS. Trần Thúy Hà

Điện thoại/E-mail:

0912166577 / thuyhadt@gmail.com

Bộ môn:

Kỹ thuật điện tử- Khoa KTDT1

Học kỳ/Năm biên soạn:

Học kỳ 1 năm 2009

Giới thiệu môn học**Mục đích môn học:**

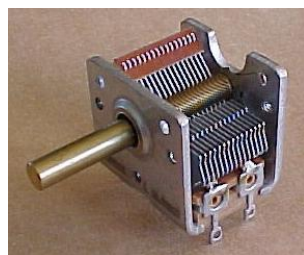
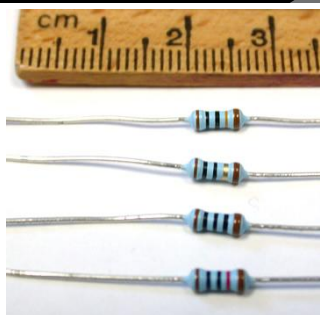
- Trang bị cho sinh viên những kiến thức về nguyên lý hoạt động, đặc tính, tham số và lĩnh vực sử dụng của các loại cấu kiện (linh kiện) điện tử để làm nền tảng cho các môn học chuyên ngành.
- Môn học khám phá các đặc tính bên trong của linh kiện bán dẫn, từ đó SV có thể hiểu được mối quan hệ giữa cấu tạo hình học và các tham số của cấu kiện, ngoài ra hiểu được các đặc tính về điện, sơ đồ tương đương, phân loại và ứng dụng của chúng.

Cấu kiện điện tử?

Là các phần tử linh kiện rời rạc, mạch tích hợp (IC) ... tạo nên mạch điện tử, các hệ thống điện tử.

Gồm các nội dung chính sau:

- + Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử.
- + Vật liệu điện tử
- + Cấu kiện thụ động: R, L, C, Biến áp
- + Diốt
- + Transistor lưỡng cực – BJT.
- + Transistor hiệu ứng trường – FET
- + Cấu kiện quang điện tử.



Giới thiệu chung về Cấu kiện điện tử

- Cấu kiện điện tử ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Nổi bật nhất là ứng dụng trong lĩnh vực điện tử - viễn thông, CNTT.
- Cấu kiện điện tử rất phong phú, nhiều chủng loại đa dạng.
- Công nghệ chế tạo linh kiện điện tử phát triển mạnh mẽ, tạo ra những vi mạch có mật độ rất lớn (Vi xử lý Intel COREi7 - khoảng hơn 1,3 tỉ Transistor...)
- Xu thế các cấu kiện điện tử có mật độ tích hợp ngày càng cao, có tính năng mạnh, tốc độ lớn...

Ứng dụng của cấu kiện điện tử

- Các linh kiện bán dẫn như diodes, transistors và mạch tích hợp (ICs) có thể tìm thấy khắp nơi trong cuộc sống (Walkman, TV, ô tô, máy giặt, máy điều hoà, máy tính,...). Chúng ta ngày càng phụ thuộc vào chúng và những thiết bị này có chất lượng ngày càng cao với giá thành rẻ hơn.
- PCs minh hoạ rất rõ xu hướng này.
- Nhân tố chính đem lại sự phát triển thành công của nền công nghiệp máy tính là việc thông qua các kỹ thuật và kỹ năng công nghiệp tiên tiến người ta chế tạo được các Transistor với kích thước ngày càng nhỏ → giảm giá thành và công suất.

Cấu trúc chương trình

Chương 1- Giới thiệu chung

Chương 2 – Vật liệu điện tử

Chương 3 - Cấu kiện thụ động

Chương 4 -Điốt

Chương 5 -Transistor lưỡng cực

Chương 6 - Transistor hiệu ứng trường

Chương 7 - Thyristor

Chương 8 - Cấu kiện quang điện tử

Tài liệu học tập**- Tài liệu chính:**

+ Bài giảng: Cấu kiện Điện tử - Đỗ Mạnh Hà, Trần Thục Linh, Trần Thúy Hà.

+ Slide bài giảng Cấu kiện Điện tử - Trần Thúy Hà

- Tài liệu tham khảo:

1. ***Electronic Devices and Circuit Theory***, Ninth edition, Robert Boylestad, Louis Nashelsky, Prentice - Hall International, Inc, 2006.
2. ***MicroElectronics, an Intergrated Approach***, Roger T. Home - University of California at Berkeley, Charles G. Sodini – MIT , 1997
3. ***Giáo trình Cấu kiện điện tử và quang điện tử***, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, 2002
4. ***Electronic Devices***, Second edition, Thomas L.Floyd, Merill Publishing Company, 1988.
5. ***Introductory Electronic Devices and Circuits***, conventional Flow Version, Robert T. Paynter, Prentice Hall, 1997.
6. ***Linh kiện bán dẫn và vi mạch***, Hồ văn Sung, NXB GD, 2005

CHƯƠNG 1.

GIỚI THIỆU CHUNG

Chương 1 – Giới thiệu chung

- 1.1 Khái niệm cơ bản
- 1.2 Phần tử mạch điện cơ bản
- 1.3 Phương pháp cơ bản phân tích mạch điện
- 1.4 Phương pháp phân tích mạch phi tuyến
- 1.5 Phân loại cấu kiện điện tử
- 1.6 Giới thiệu về vật liệu điện tử

1.1 Khái niệm cơ bản

- + Điện tích và dòng điện
- + DC và AC
- + Tín hiệu điện áp và dòng điện
- + Tín hiệu (Signal) và Hệ thống (System)
- + Tín hiệu Tương tự (Analog) và Số (Digital)
- + Tín hiệu điện áp và Tín hiệu dòng điện

Điện tích và dòng điện

- + Mỗi điện tử mang điện tích: -1.602×10^{-19} C (Coulombs)
- + $1\text{C} =$ Điện tích của 6.242×10^{18} điện tử (electron)
- + Ký hiệu điện tích: Q . Đơn vị: coulomb (C)

Dòng điện (Current)

- Là dòng dịch chuyển của các điện tích thông qua vật dẫn hoặc phần tử mạch điện
- Ký hiệu: $I, i(t)$
- Đơn vị: Ampere (A). $1\text{A} = 1\text{C/s}$
- Mối quan hệ giữa dòng điện và điện tích

$$i(t) = \frac{d}{dt} q(t)$$

$$q(t) = \int_{t_0}^t i(t) dt + q(t_0)$$

DC (Direct current): Dòng một chiều

- Dòng điện có chiều không đổi theo thời gian.
- Tránh hiểu nhầm: DC = không đổi,
- Ví dụ

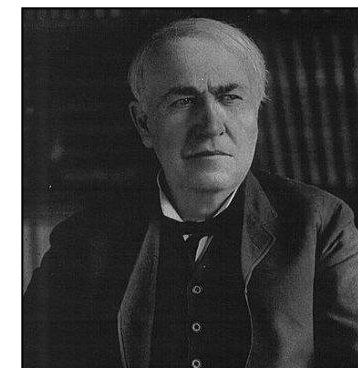
$$I=3A, i(t)=10 + 5 \sin(100\pi t) (A)$$

AC (Alternating Current): Dòng xoay chiều

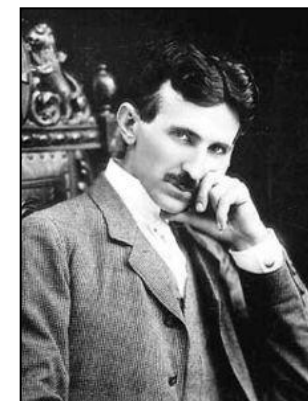
- Dòng điện có chiều thay đổi theo thời gian
- Tránh hiểu nhầm: AC = Biến thiên theo thời gian
- Ví dụ:

$$i(t) = 2 \cos(2\pi t);$$

$$i(t) = 5 + 12 \cos(200\pi t)$$



Thomas Edison
(1847 – 1931)



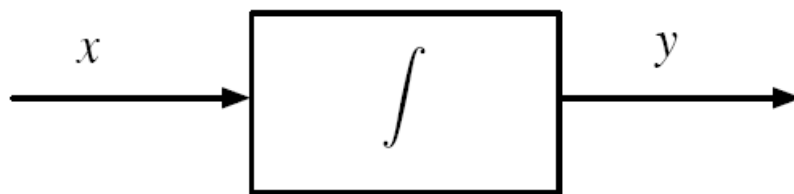
Nikola Tesla
(1856 – 1943)

Signal (Tín hiệu)

- Tín hiệu: là đại lượng vật lý mang thông tin vào và ra của hệ thống.
- Ví dụ
 - Tiếng nói, âm nhạc, âm thanh ...
 - Dao động từ các hệ thống cơ học
 - Chuỗi video và ảnh chụp
 - Ảnh cộng hưởng từ (MRI), Ảnh x-ray
 - Sóng điện từ phát ra từ các hệ thống truyền thông
 - Điện áp và dòng điện trong cấu kiện, mạch, hệ thống...
 - Biểu đồ điện tâm đồ (ECG), Điện não đồ
 - Emails, web pages

Hệ thống (Systems) và mô hình

- Mô hình (Model): Các hệ thống trong thực tế có thể mô tả bằng mô hình thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra của hệ thống.
- Một hệ thống có thể chứa nhiều hệ thống con.
- Mô hình hệ thống có thể được biểu diễn bằng biểu thức toán học, bảng biểu, đồ thị, giải thuật ...
- Ví dụ hệ thống liên tục:



$$y(t) = \int x(t - \tau)h(\tau) d\tau.$$

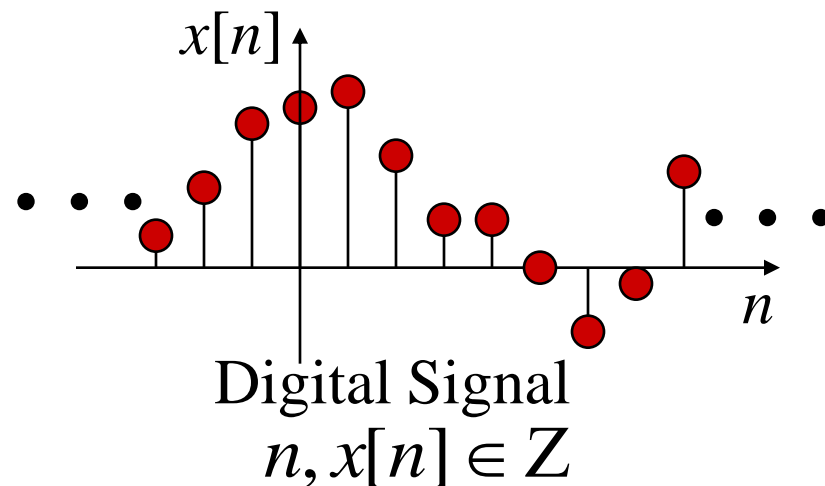
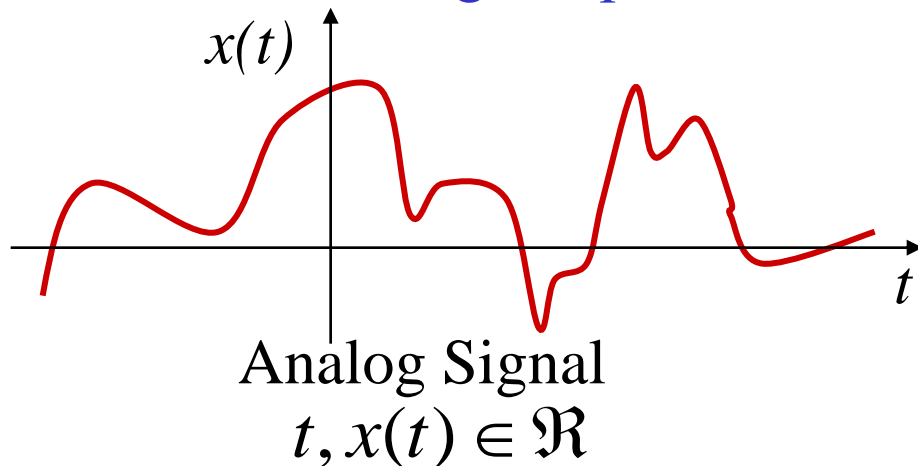
Tín hiệu Tương tự (Analog) và Số (Digital)

◆ Tương tự (Analog)

- ◆ Tín hiệu có giá trị biến đổi liên tục theo thời gian
- ◆ Hầu hết tín hiệu trong tự nhiên là tín hiệu tương tự

◆ Digital

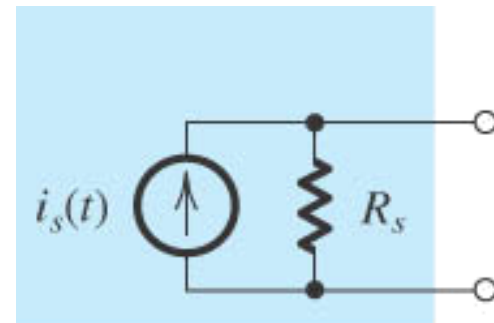
- ◆ Tín hiệu có giá trị rời rạc theo thời gian
- ◆ Tín hiệu lưu trong các hệ thống máy tính là tín hiệu số, theo dạng nhị phân



Tín hiệu điện áp và Tín hiệu dòng điện

Dòng điện (Current)

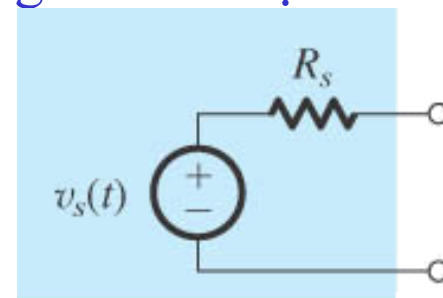
- Là dòng dịch chuyển của các điện tích thông qua vật dẫn hoặc phần tử mạch điện
- Ký hiệu: I , $i(t)$
- Đơn vị: Ampere (A). $1A=1C/s$
- *Nguồn tạo tín hiệu dòng điện: Nguồn dòng*



(b)

Điện áp (Voltage)

- Hiệu điện thế giữa 2 điểm
- Năng lượng được truyền trong một đơn vị thời gian của điện tích dịch chuyển giữa 2 điểm.
- Ký hiệu: $v(t)$, V_{in} ; U_{in} ; V_{out} ; V_1 ; U_2
- Đơn vị: Volt (V)
- *Nguồn tạo tín hiệu điện áp: Nguồn áp*



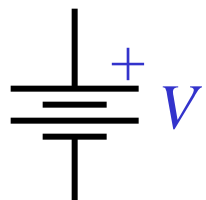
(a)

1.2 Các phần tử mạch điện cơ bản

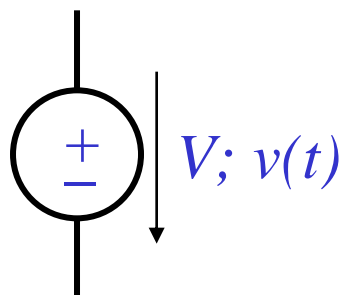
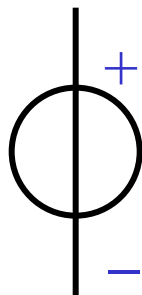
- + Nguồn độc lập
- + Nguồn có điều khiển
- + Phần tử thụ động
- + Ký hiệu các phần tử mạch điện trong sơ đồ mạch (Schematic)

Nguồn độc lập**Nguồn áp**

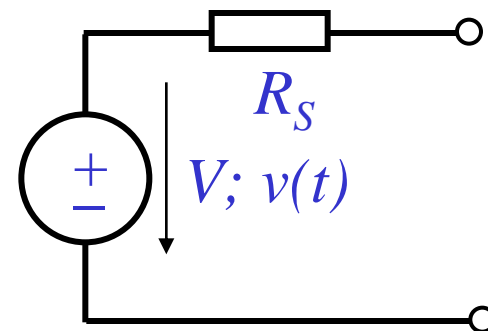
Nguồn Pin



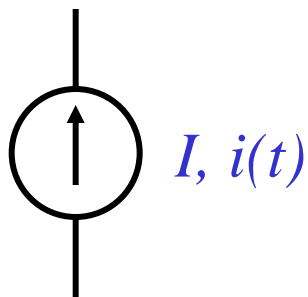
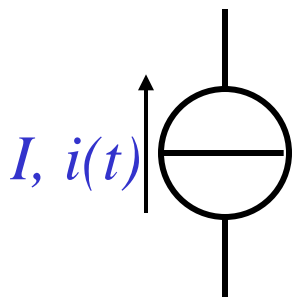
Nguồn áp độc lập lý tưởng



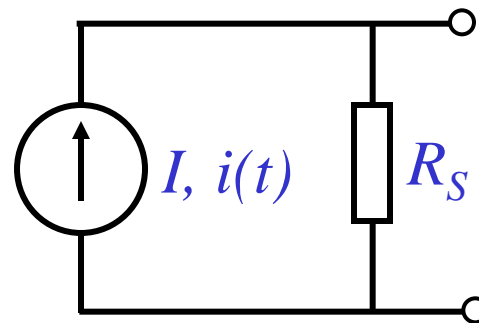
Nguồn áp độc lập không lý tưởng

**Nguồn dòng**

Nguồn dòng độc lập lý tưởng

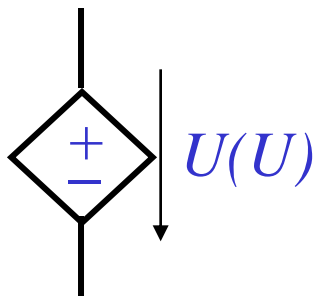
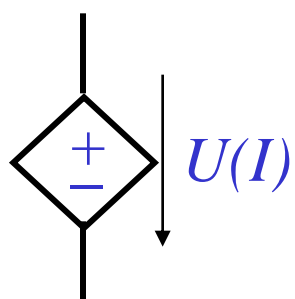


Nguồn dòng độc lập không lý tưởng

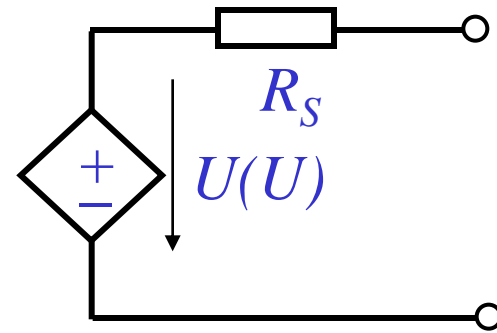
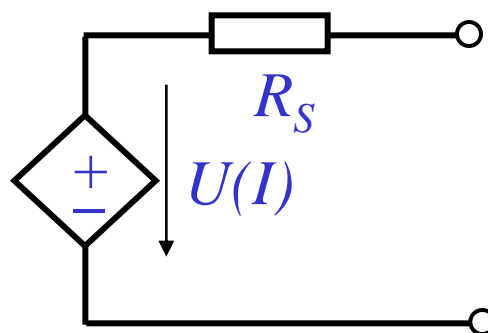


Nguồn có điều khiển**Nguồn áp**

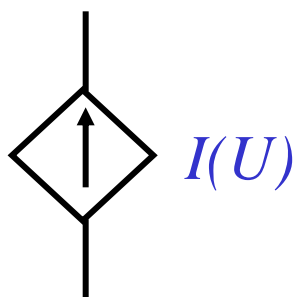
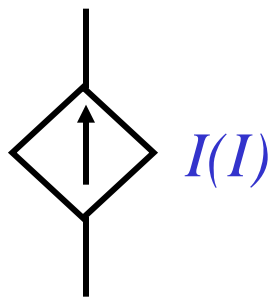
Nguồn áp có điều khiển lý tưởng



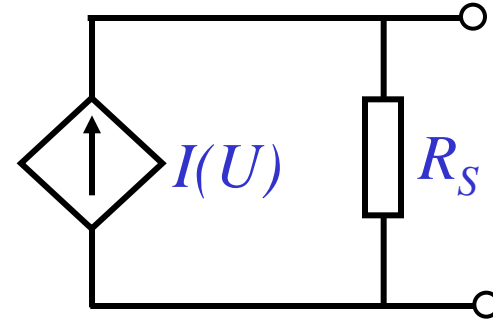
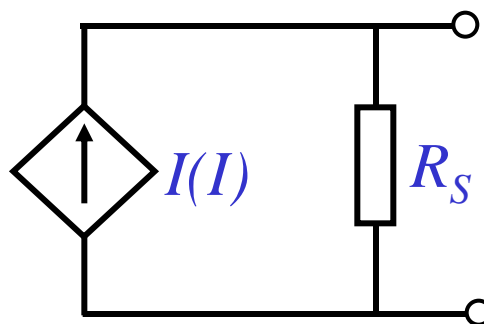
Nguồn áp có điều khiển không lý tưởng

**Nguồn dòng**

Nguồn dòng có điều khiển lý tưởng



Nguồn dòng có điều khiển không lý tưởng



1.3 Phương pháp cơ bản phân tích mạch điện

- + m1 (method 1) : Các định luật Kirchhoff : KCL, KVL
- + m2: Luật kết hợp (Composition Rules)
- + m3: Xếp chồng (Superposition)
- + m4: Biến đổi tương đương Thevenin, Norton

m1: Các định luật Kirchhoff : KCL, KVL

Mục tiêu: Tìm tất cả các thành phần dòng điện và điện áp trong mạch.

Các bước thực hiện:

1. Viết quan hệ V-I của tất cả các phần tử mạch điện
2. Viết KCL cho tất cả các nút
3. Viết KVL cho tất cả các vòng

Rút ra được hệ nhiều phương trình, nhiều ẩn \Rightarrow Giải hệ

Chú ý: Trong quá trình viết các phương trình có thể rút gọn ngay để giảm số phương trình số ẩn.

KCL - Kirchhoff's Current Law

Kirchhoff's current law (KCL)

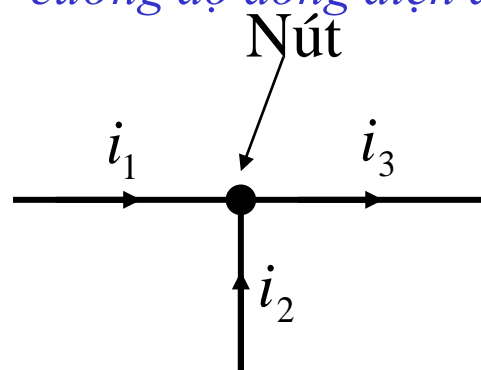
$$\sum_{n=1}^N a_n i_n(t) = 0$$

$a_n = 1$ Nếu $i_n(t)$ đi vào nút

$a_n = -1$ Nếu $i_n(t)$ đi ra khỏi nút

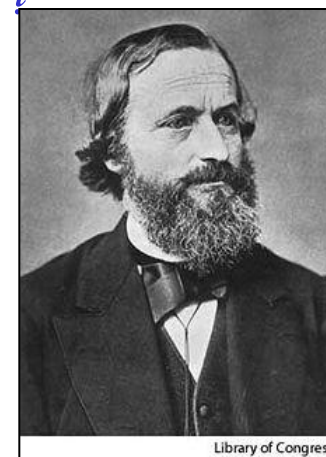
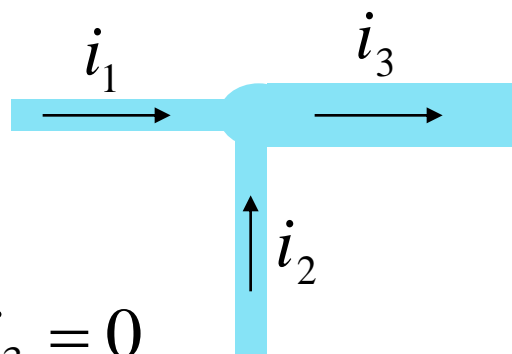
– Tổng giá trị cường độ dòng điện đi vào và ra tại một nút bằng không

– Tổng giá trị cường độ dòng điện đi vào nút bằng Tổng giá trị cường độ dòng điện đi ra khỏi nút.



$$i_1 + i_2 = i_3$$

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$



Gustav Kirchhoff
(1824 – 1887)

KVL - Kirchhoff's Voltage Law

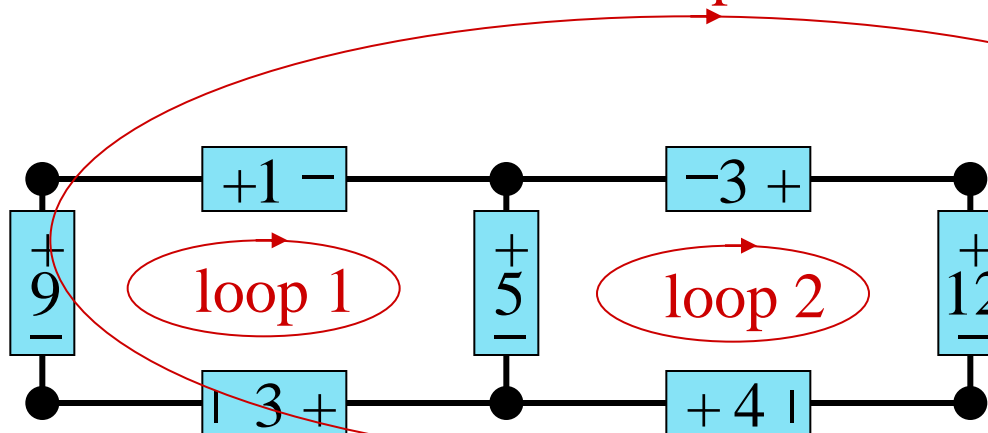
Kirchhoff's voltage law (KVL)

$$\sum_{n=1}^N b_n v_n(t) = 0$$

$b_n = 1$ Nếu $v_n(t)$ cùng chiều với vòng

$b_n = -1$ Nếu $v_n(t)$ ngược chiều với vòng

Tổng điện áp trong một vòng kín bằng không **loop 3**



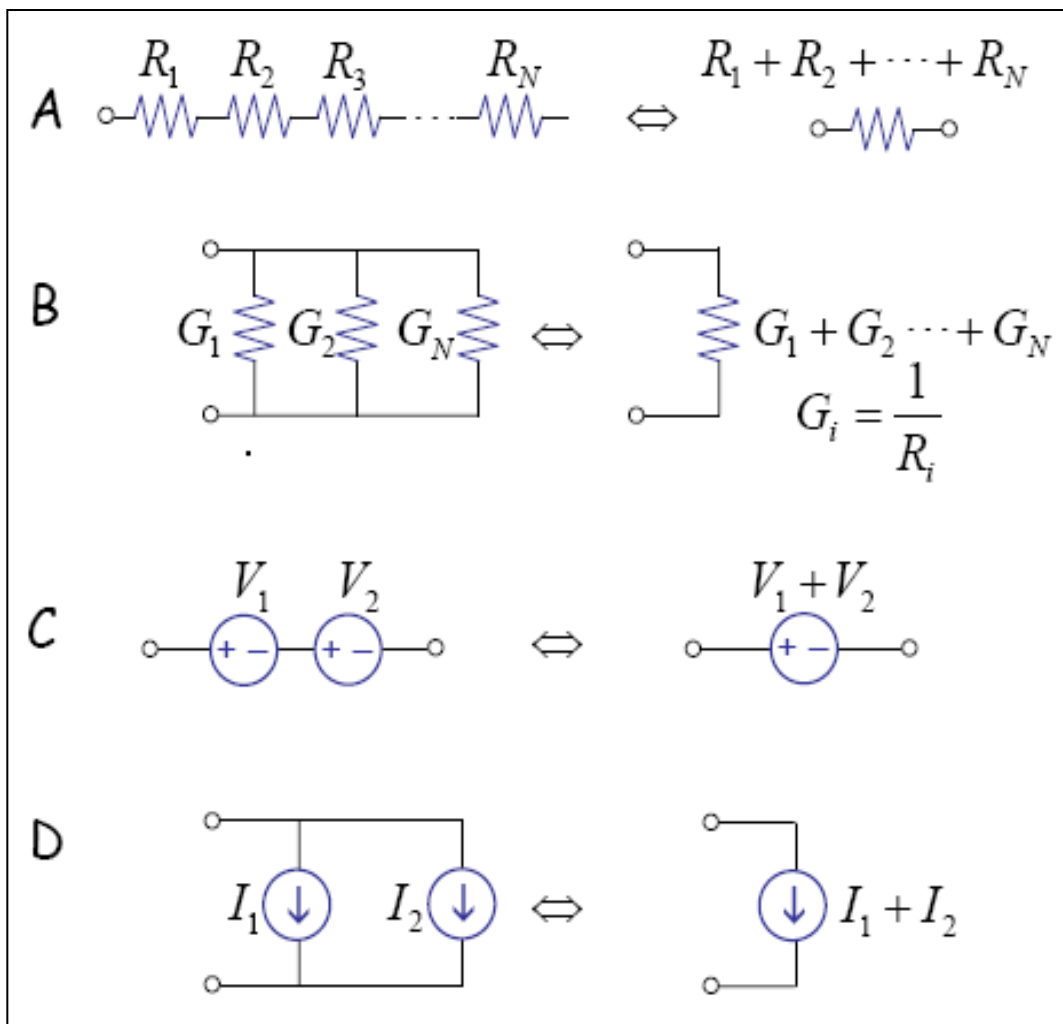
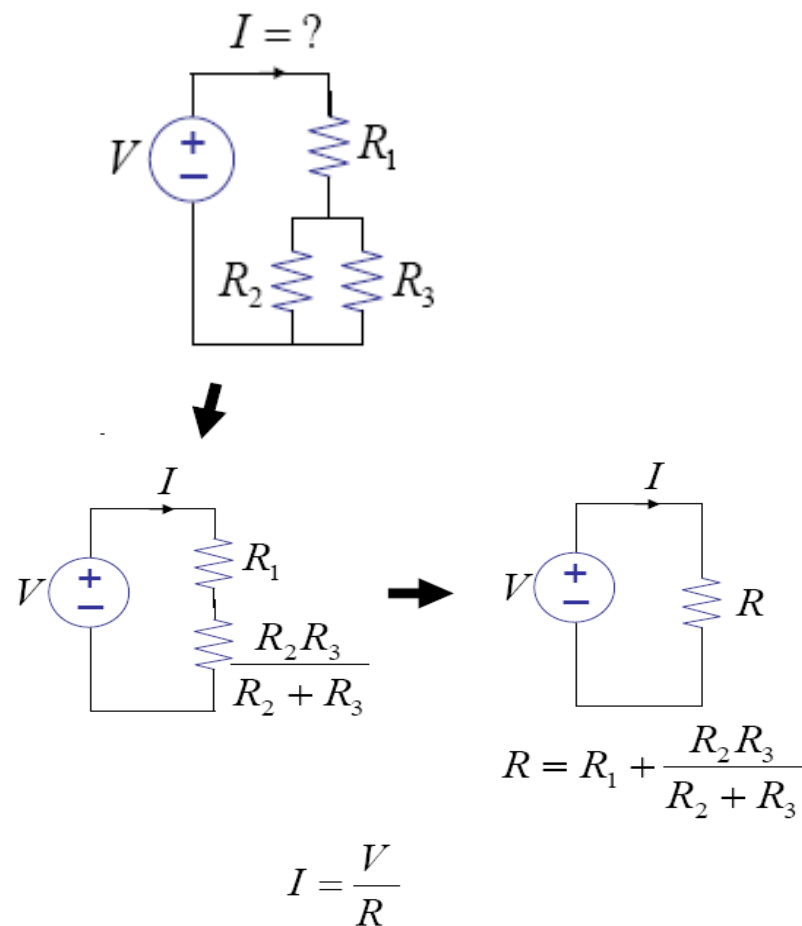
Ví dụ:

$$\text{Loop 1: } 1V + 5V + 3V - 9V = 0$$

$$\text{Loop 2: } -3V + 12V - 4V - 5V = 0$$

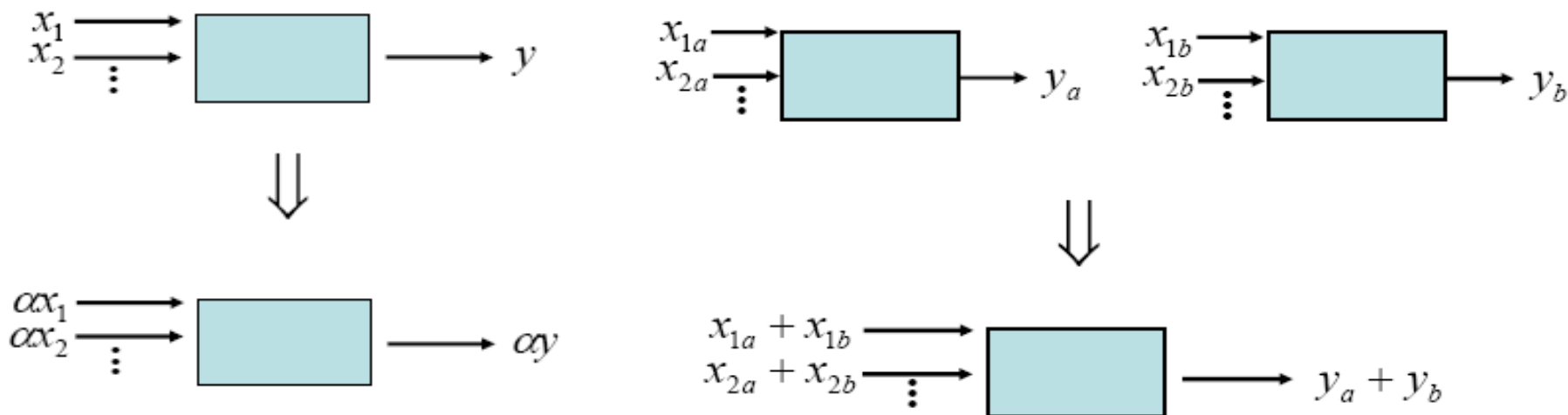
$$\text{Loop 3: } 1V - 3V + 12V - 4V + 3V - 9V = 0$$

m2: Luật kết hợp (Composition Rules)

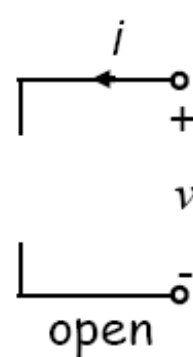
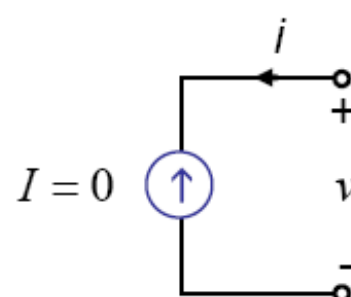
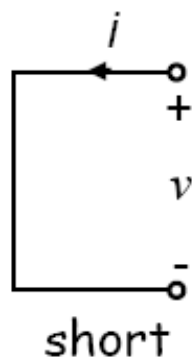
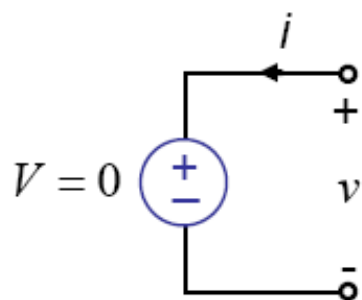
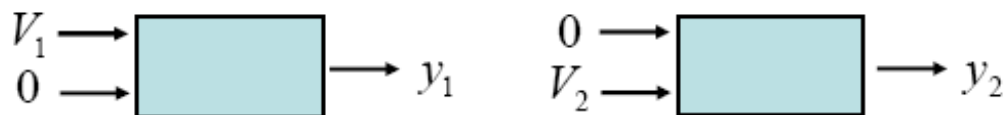
Ví dụ

+ m3: Xếp chồng (Superposition)

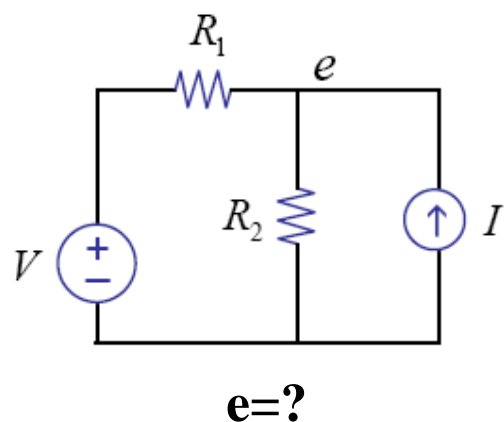
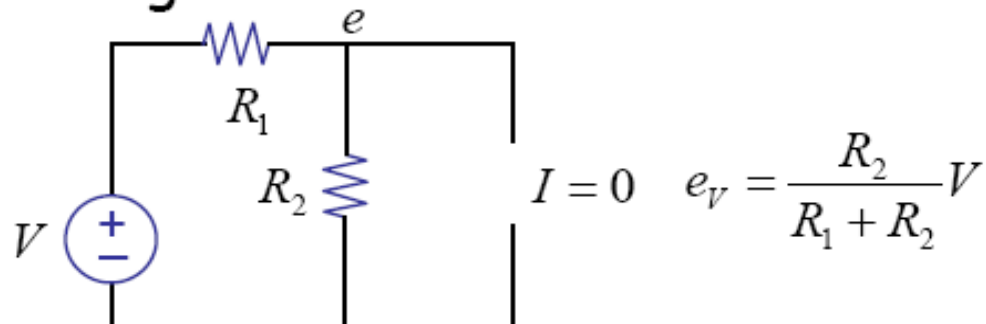
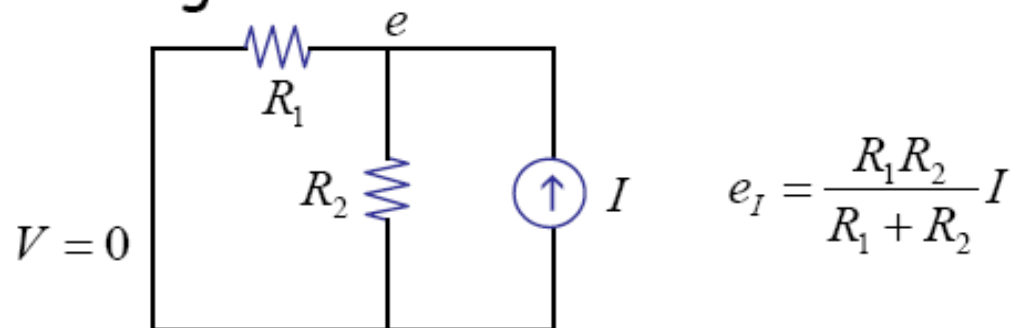
- Trong mạch tuyến tính (gồm các phần tử tuyến tính và nguồn độc lập hoặc nguồn có điều khiển) có thể phân tích mạch theo nguyên lý xếp chồng như sau:
 - + Cho lần lượt mỗi nguồn tác động làm việc riêng rẽ, các nguồn khác không làm việc phải theo nguyên tắc sau đây: Nguồn áp ngắn mạch, Nguồn dòng hở mạch.
 - + Tính tổng cộng các đáp ứng của mạch do tất cả các nguồn tác động riêng rẽ gây ra.



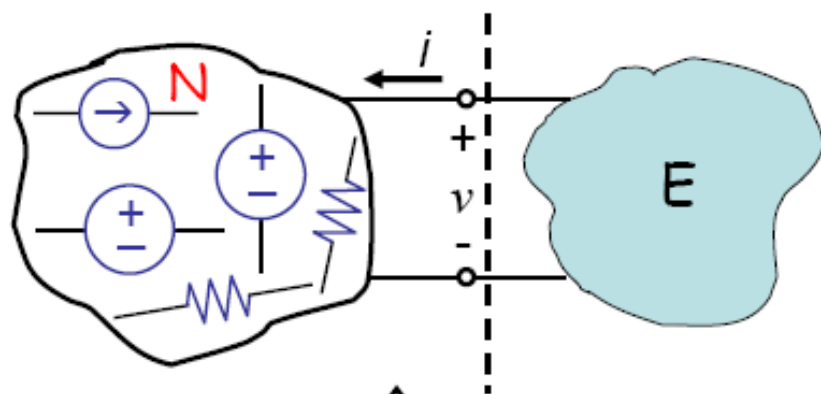
+ m3: Xếp chồng (Superposition)



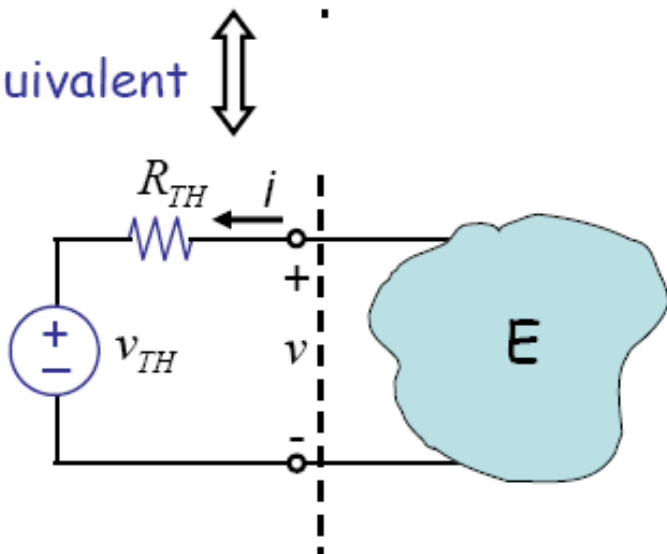
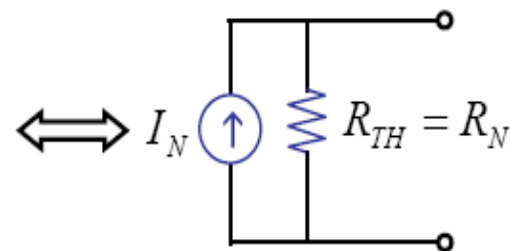
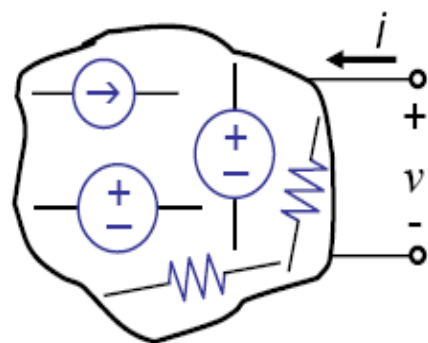
+ m4: Xếp chồng (Superposition)

 V acting alone I acting alonesum \longrightarrow superposition

$$e = e_V + e_I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

The Thévenin Method

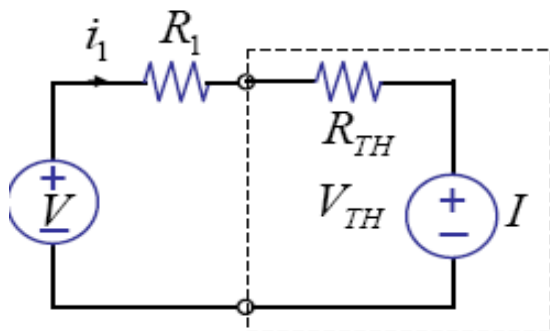
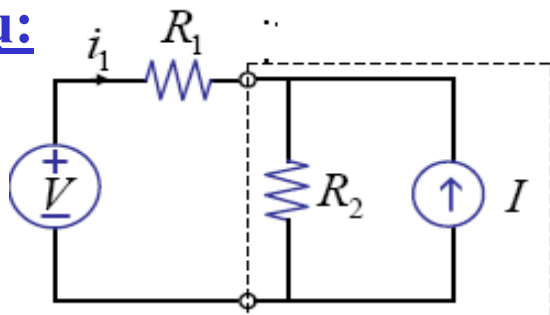
Thévenin equivalent

**The Norton Method**Norton
equivalent

$$I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$$

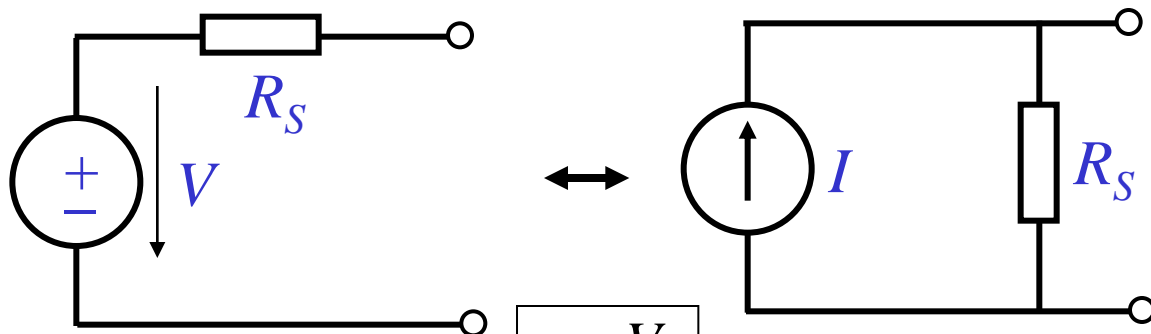
 V_{TH} : Điện áp hở mạch I_N : Dòng điện ngắn mạch

$$R_{TH} = R_N = V_{TH} / I_N$$

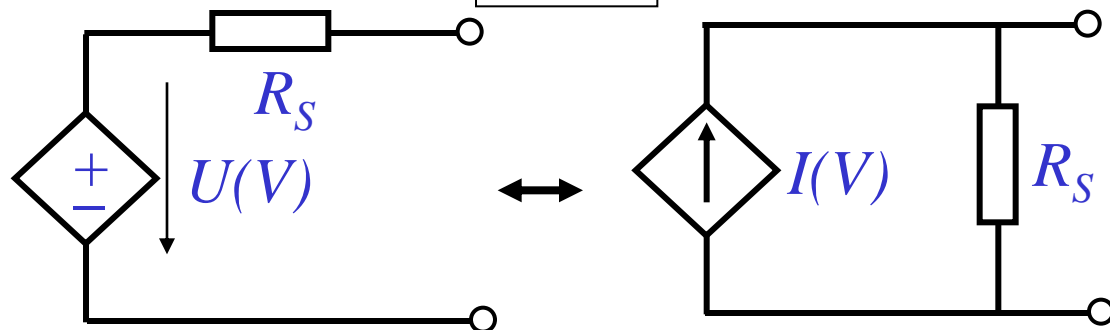
Ví dụ:

$$i_1 = \frac{V - V_{TH}}{R_1 + R_{TH}}$$

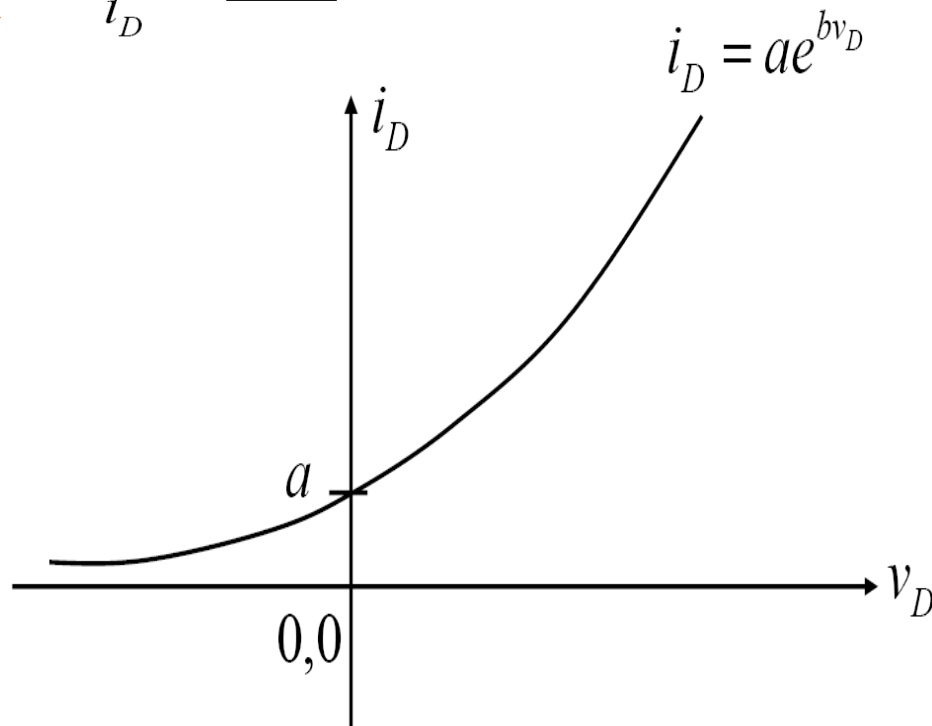
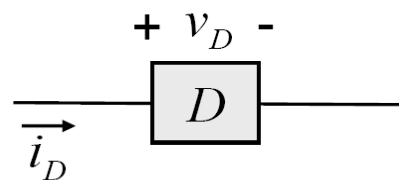
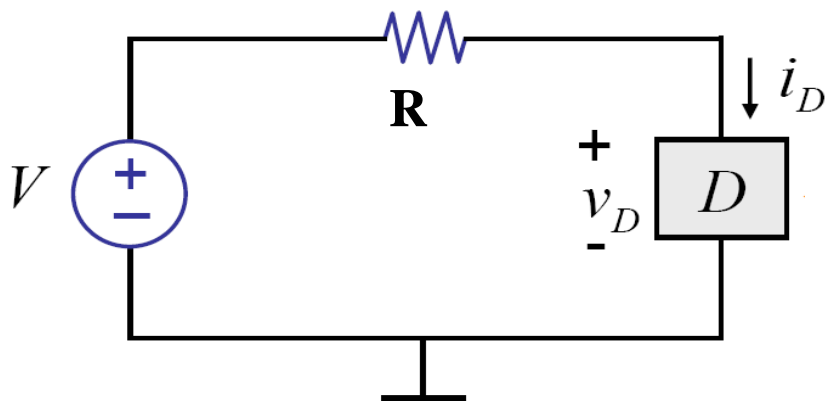
Biến đổi tương đương
Nguồn dòng ↔ Nguồn áp



$$I = \frac{V}{R_S}$$



$$I(V) = \frac{U(V)}{R_S}$$

1.4 Phương pháp phân tích mạch điện phi tuyến***Mạch điện có phần tử phi tuyến (D)*****- Phương pháp phân tích mạch phi tuyến**

+ Phương pháp phân tích: dựa vào m1, m2, m3

+ Phương pháp đồ thị

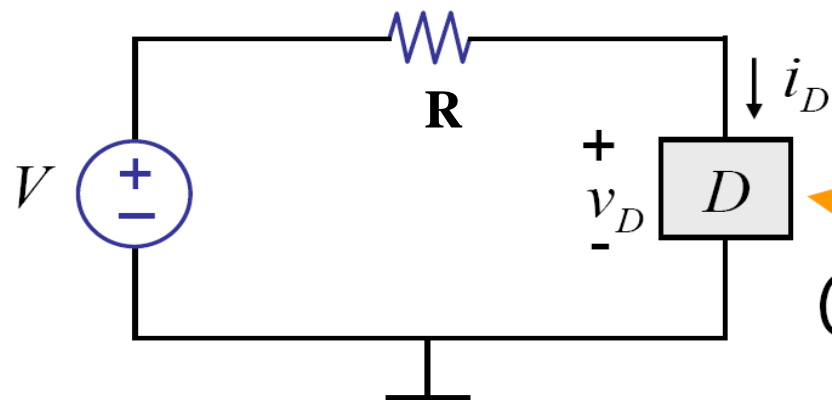
+ *Phân tích gia số (Phương pháp tín hiệu nhỏ - small signal method)*

Phương pháp phân tích

- Áp dụng phương pháp m1, m2, m3 cho các phần tử tuyến tính và phi tuyến, được hệ 2 phương trình, 2 ẩn i_D và v_D

$$\frac{v_D - V}{R} + i_D = 0 \quad (1)$$

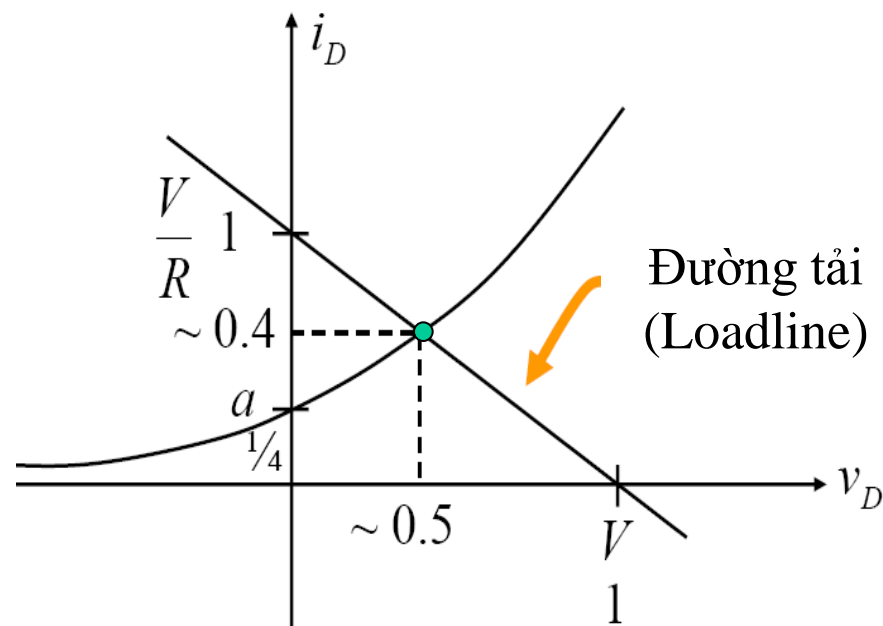
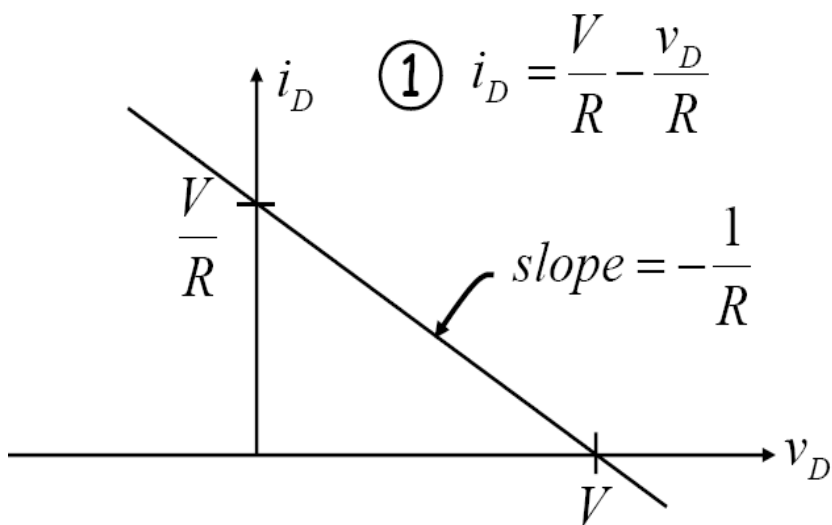
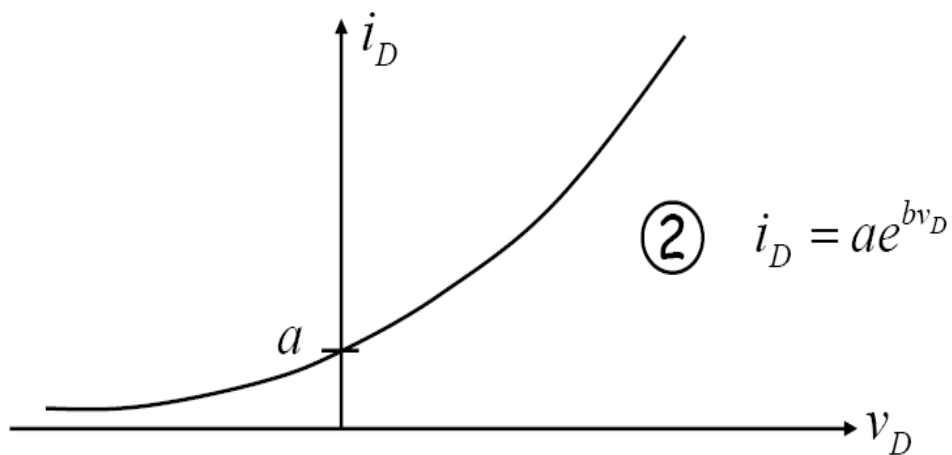
$$i_D = ae^{bv_D} \quad (2)$$



- Giải hệ phương trình:
 - + Dùng phương pháp thử sai
 - + Dùng phương pháp số
- => Việc giải hệ phương trình phức tạp

Phương pháp đồ thị

- Giải hệ 2 phương trình (1) và (2) bằng phương pháp đồ thị



Thực hiện theo các bước sau:

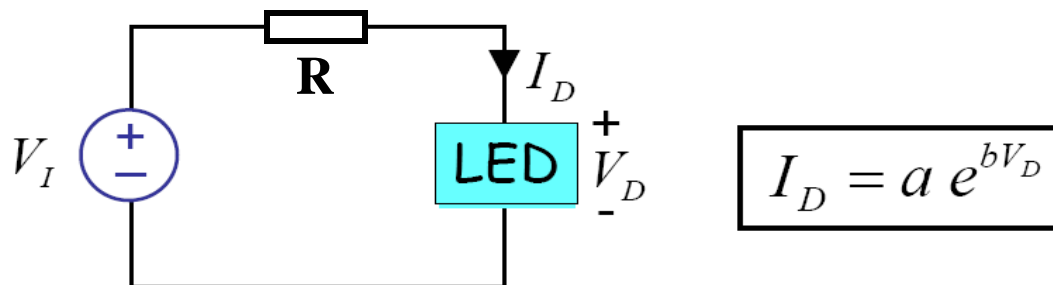
1. Xác định chế độ làm việc một chiều của mạch (I_D , V_D)
2. Xác định mô hình tín hiệu nhỏ của các phần tử phi tuyến tại điểm làm việc một chiều đã tính.
3. Vẽ mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của toàn mạch và tính toán các tham số tín hiệu nhỏ (i_d , v_d)
4. Viết kết quả của tham số cần tính trong mạch

$$i_D = I_D + i_d$$

total variable DC offset small superimposed signal

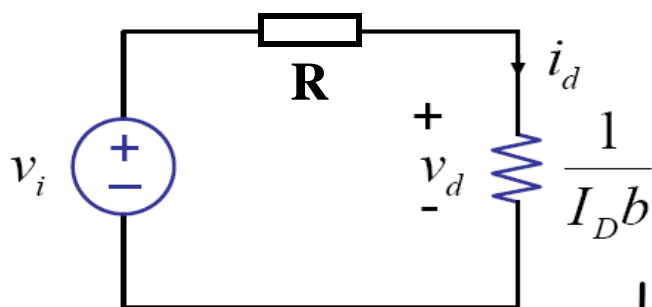
Mô hình hình tương đương của phần tử phi tuyến

- Chế độ một chiều:

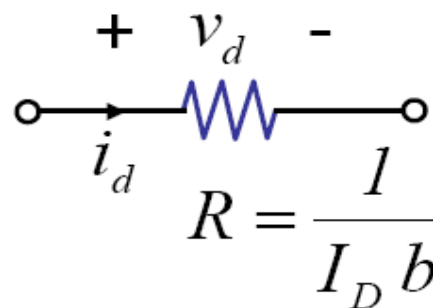


- Mô hình tín hiệu nhỏ của phần tử phi tuyến: $i_d = I_D b v_d$

- Sơ đồ mạch tương đương tín hiệu nhỏ:



Linear!



1.5 Phân loại cấu kiện điện tử

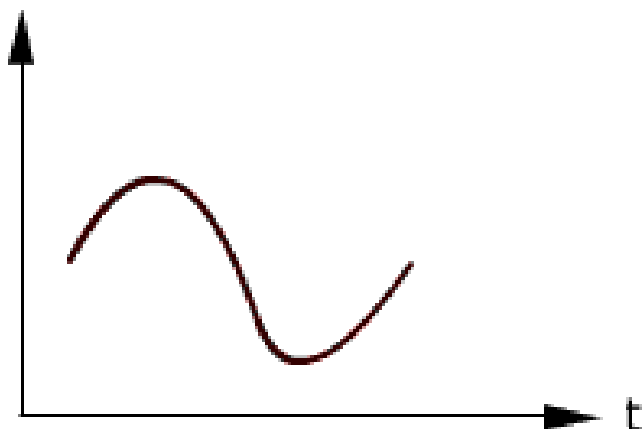
- Phân loại dựa trên đặc tính vật lý
- Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu
- Phân loại theo ứng dụng

Phân loại dựa trên đặc tính vật lý

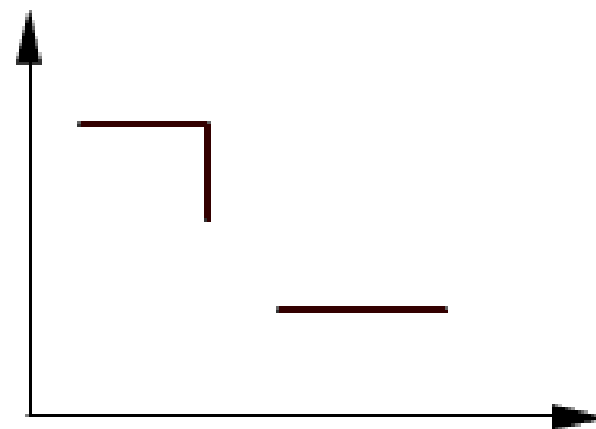
- **Linh kiện hoạt động trên nguyên lý điện tử và hiệu ứng bề mặt:** điện trở bán dẫn, DIOT, BJT, JFET, MOSFET, điện dung MOS... IC từ mật độ thấp đến mật độ siêu cỡ lớn UVLSI
- **Linh kiện hoạt động trên nguyên lý quang điện như:** quang trở, Photodiode, PIN, APD, CCD, họ linh kiện phát quang LED, LASER, họ linh kiện chuyển hoá năng lượng quang điện như pin mặt trời, họ linh kiện hiển thị, IC quang điện tử
- **Linh kiện hoạt động dựa trên nguyên lý cảm biến như:** Họ sensor nhiệt, điện, từ, hoá học, họ sensor cơ, áp suất, quang bức xạ, sinh học và các chủng loại IC thông minh trên cơ sở tổ hợp công nghệ IC truyền thống và công nghệ chế tạo sensor.
- **Linh kiện hoạt động dựa trên hiệu ứng lượng tử và hiệu ứng mới:** các linh kiện được chế tạo bằng công nghệ nano có cấu trúc siêu nhỏ như : Bộ nhớ một điện tử, Transistor một điện tử, giếng và dây lượng tử, linh kiện xuyên hầm một điện tử, cấu kiện dựa vào cấu trúc sinh học phân tử ...

Phân loại dựa trên loại tín hiệu làm việc

Cấu kiện điện tử
tương tự (Analog)



Cấu kiện điện tử số
(Digital)



Phân loại theo chức năng

Linh kiện thụ động: R,L,C...

Linh kiện tích cực: DIOT, BJT, JFET, MOSFET, IC, Thysistor,

Linh kiện thu quang, phát quang ...

(+ Linh kiện tích cực (**Active Devices**): là linh kiện có khả năng điều khiển điện áp, dòng điện và có thể tạo ra chức năng hoạt động chuyển mạch trong mạch "Devices with smarts!" ;

+ Linh kiện thụ động (**Passive Devices**) là linh kiện không thể có tính năng điều khiển dòng và điện áp, cũng như không thể tạo ra chức năng khuếch đại công suất, điện áp, dòng điện trong mạch, không yêu cầu tín hiệu khác điều khiển ngoài tín hiệu để thực hiện chức năng của nó “Devices with no brains!”)

CHƯƠNG 2.

VẬT LIỆU ĐIỆN TỬ

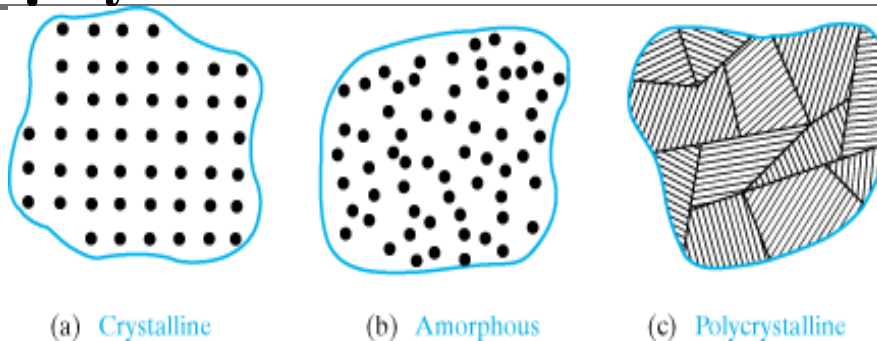
Giới thiệu về vật liệu điện tử

- Cơ sở vật lý của vật liệu điện tử
- Chất cách điện
- Chất dẫn điện
- Vật liệu từ
- **Chất bán dẫn**

2.1. Cơ sở vật lý của vật liệu điện tử

- Lý thuyết vật lý chất rắn
- Lý thuyết vật lý cơ học lượng tử
- Lý thuyết dải năng lượng của chất rắn
- Lý thuyết vật lý bán dẫn

a. Lý thuyết vật lý chất rắn



(a) Crystalline

(b) Amorphous

(c) Polycrystalline

- Vật liệu để chế tạo phần lớn các linh kiện điện tử là loại vật liệu tinh thể rắn
- **Cấu trúc đơn tinh thể:** Trong tinh thể rắn nguyên tử được sắp xếp theo một trật tự nhất định, chỉ cần biết vị trí và một vài đặc tính của một số ít nguyên tử chúng ta có thể dự đoán vị trí và bản chất hóa học của tất cả các nguyên tử trong mẫu.
- Tuy nhiên trong một số vật liệu có thể nhận thấy rằng các sắp xếp chính xác của các nguyên tử chỉ tồn tại chính xác tại cỡ vài nghìn nguyên tử. Những miền có trật tự như vậy được ngăn cách bởi bờ biên và dọc theo bờ biên này không có trật tự - **cấu trúc đa tinh thể**
- Tính chất tuần hoàn của tinh thể có ảnh hưởng quyết định đến các tính chất điện của vật liệu.

b. Lý thuyết vật lý cơ học lượng tử

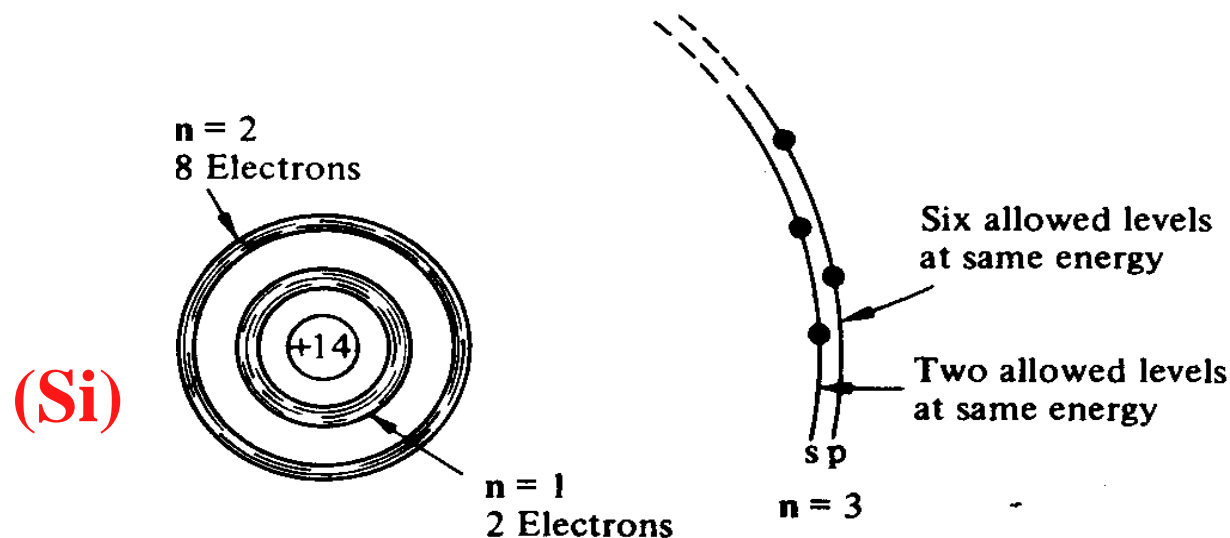
- Trong cấu trúc nguyên tử, điện tử chỉ có thể nằm trên các mức năng lượng gián đoạn nhất định nào đó gọi là các mức năng lượng nguyên tử.
- **Nguyên lý Pauli:** Mỗi điện tử phải nằm trên một mức năng lượng khác nhau.
- Một mức năng lượng được đặc trưng bởi một bộ **4 số lượng tử**:
 - + n – số lượng tử chính: 1,2,3,4....
 - + l – số lượng tử quỹ đạo: 0, 1, 2, (n-1) {s, p,d,f,g,h...}
 - + m_l – số lượng tử từ: 0, ± 1 , ± 2 , ± 3 ... $\pm l$
 - + m_s – số lượng tử spin: $\pm 1/2$
- n , l tăng thì mức năng lượng của nguyên tử tăng, e- được sắp xếp ở lớp, phân lớp có năng lượng nhỏ trước.

c. Sự hình thành vùng năng lượng (1)

- Để tạo thành vật liệu giả sử có N nguyên tử giống nhau ở xa vô tận tiến lại gần liên kết với nhau:
- + Nếu các NT cách xa nhau đến mức có thể coi chúng là hoàn toàn độc lập với nhau thì vị trí của các mức năng lượng của chúng là hoàn toàn trùng nhau (tức là một mức trùng chập).
- + Khi các NT tiến lại gần nhau đến khoảng cách cỡ A^0 , thì chúng bắt đầu tương tác với nhau thì không thể coi chúng là độc lập nữa. Kết quả là các mức năng lượng nguyên tử không còn trùng chập nữa mà tách ra thành các mức năng lượng rời rạc khác nhau. Ví dụ mức $1s$ sẽ tạo thành $2.N$ mức năng lượng khác nhau.
- Nếu số lượng các NT rất lớn và gần nhau thì các mức năng lượng rời rạc đó rất gần nhau và tạo thành một vùng năng lượng như liên tục
- Sự tách một mức năng lượng NT ra thành vùng năng lượng rộng hay hẹp phụ thuộc vào sự tương tác giữa các điện tử thuộc các NT khác nhau với nhau.

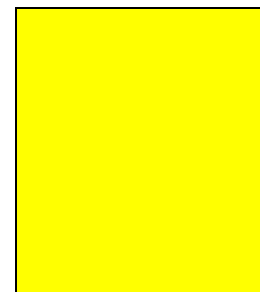
c. Sự hình thành vùng năng lượng (2)

C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$
Si	14	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Ge	32	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
Sn	50	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$



Minh họa sự hình thành vùng năng lượng (1)

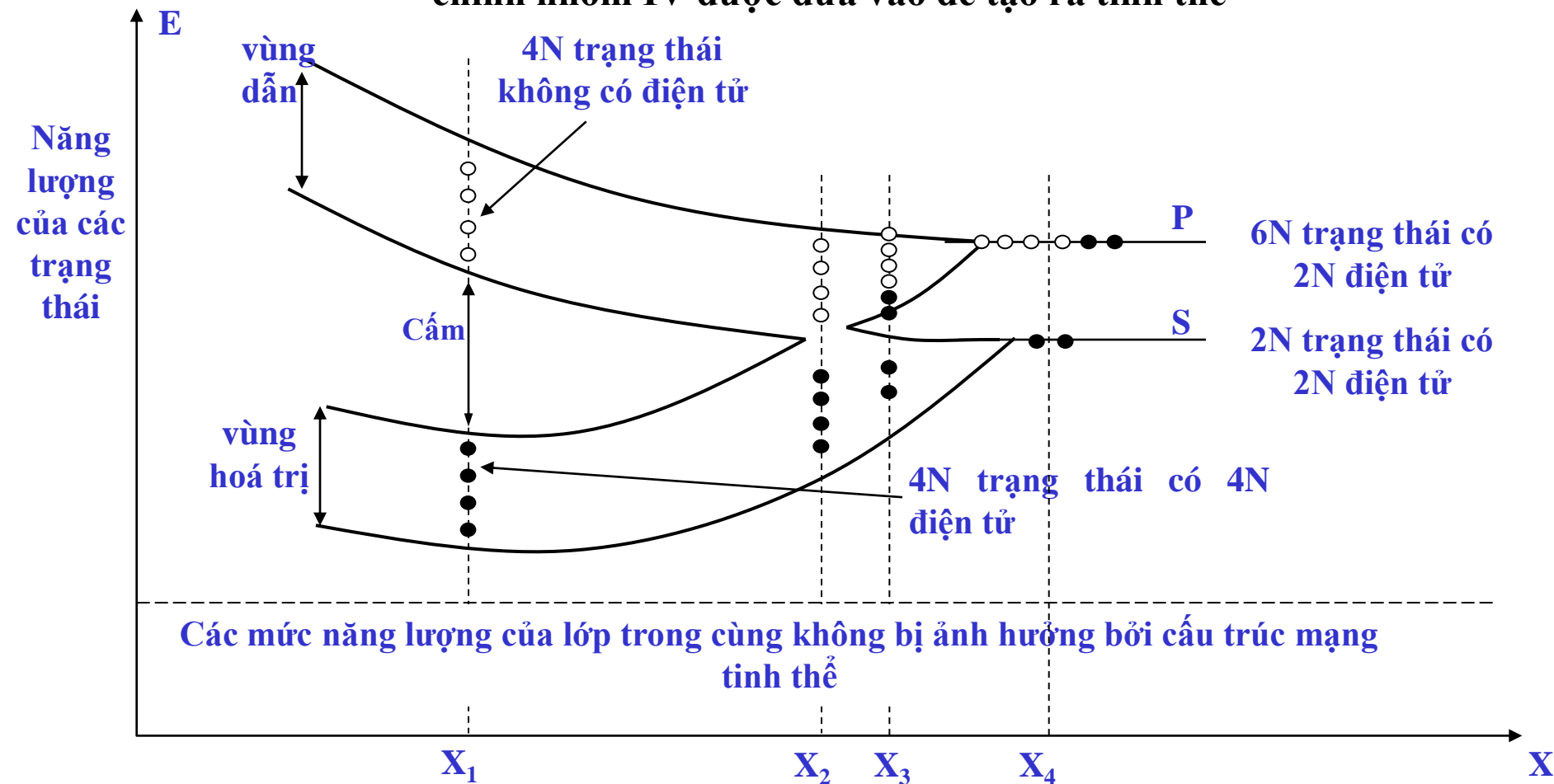
Mức	Số trạng thái	Số trạng thái	Số trạng thái	Số trạng thái
2p	6	12	12	6N
2s	2	4	4	2N
1s	2	4	4	2N
a. Một NT độc lập	b. 2 NT không tương tác	c. 2 NT tương tác	d. N Nguyên tử tương tác	



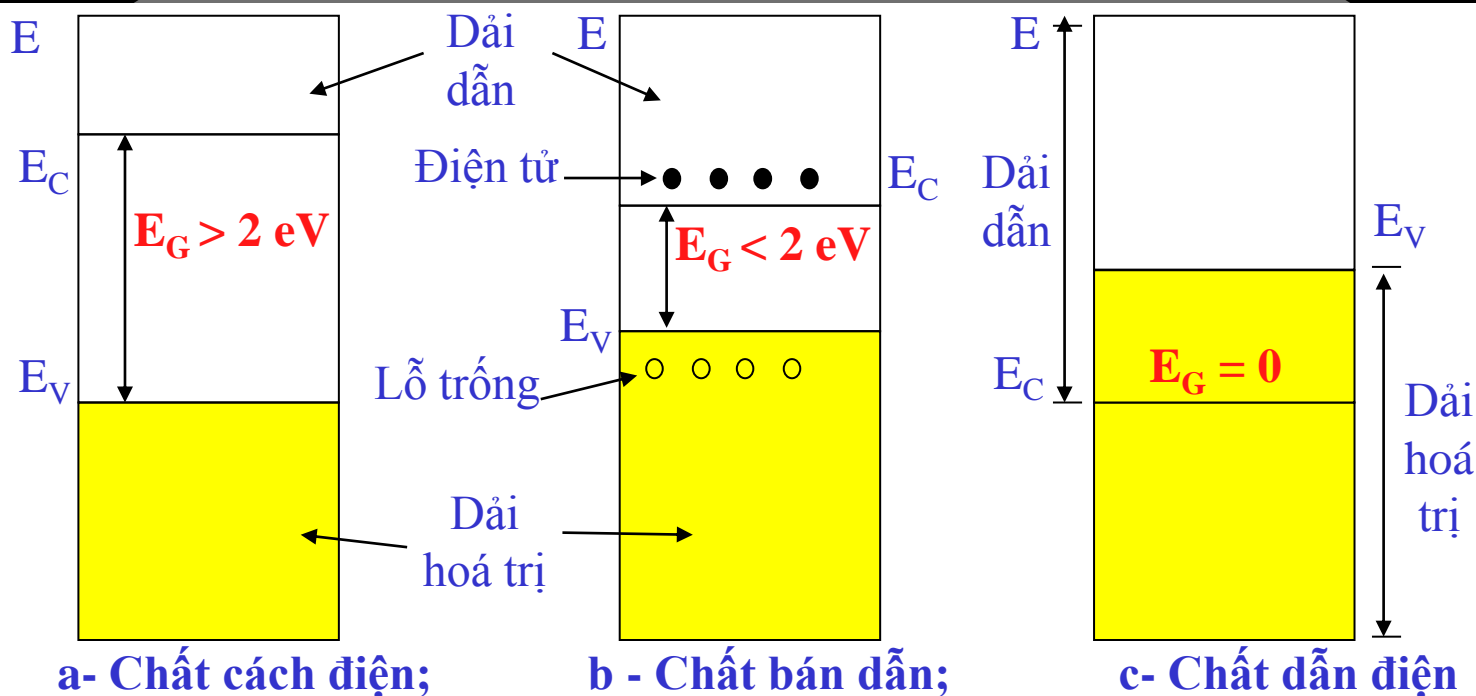
Minh họa sự hình thành vùng năng lượng (1)

- Các vùng năng lượng cho phép xen kẽ nhau, giữa chúng là vùng cấm
- Các điện tử trong chất rắn sẽ điền đầy vào các mức năng lượng trong các vùng cho phép từ thấp đến cao.
- Có thể có : vùng điền đầy hoàn toàn (thường có năng lượng thấp), vùng trống hoàn toàn (thường có năng lượng cao), vùng điền đầy một phần.
- Xét trên lớp ngoài cùng:
 - + Vùng năng lượng đã được điền đầy các điện tử gọi là “**Vùng hóa trị**”
 - + Vùng năng lượng trống hoặc chưa điền đầy ngay trên vùng hóa trị gọi là “**Vùng dẫn**”
 - + Vùng không cho phép giữa Vùng hóa trị và Vùng dẫn là “**Vùng cấm**”
- Tùy theo sự phân bố của các vùng mà tinh thể rắn có tính chất điện khác nhau: Chất cách điện – dẫn điện kém, Chất dẫn điện – dẫn điện tốt, Chất bán dẫn.

Minh họa sự tạo thành những vùng năng lượng khi các nguyên tử thuộc phân nhóm chính nhóm IV được đưa vào để tạo ra tinh thể



Cấu trúc dải năng lượng của vật chất



+ Độ dẫn điện của vật chất cũng tăng theo nhiệt độ

+ Chất bán dẫn: Sự mất 1 điện tử trong dải hóa trị sẽ hình thành một lỗ trống (Mức năng lượng bỏ trống trong dải hóa trị điền đầy, lỗ trống cũng dẫn điện như các điện tử tự do)

+ Cấu trúc dải năng lượng của kim loại không có vùng cấm, điện tử hóa trị liên kết yếu với hạt nhân, dưới tác dụng của điện trường ngoài các e này có thể dễ dàng di chuyển lên các trạng thái cao hơn tạo thành các e tự do, nên kim loại dẫn điện tốt.

2.2. Các loại vật liệu điện tử

Các vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện, điện tử thường được phân chia thành 4 loại:

- Chất cách điện (chất điện môi).
- Chất dẫn điện.
- Vật liệu từ.
- Chất bán dẫn

1. CHẤT CÁCH ĐIỆN (CHẤT ĐIỆN MÔI)**a. Định nghĩa**

- Là chất dẫn điện kém, là các vật chất có điện trở suất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega m$ ở nhiệt độ bình thường. Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu hữu cơ và một số vật liệu vô cơ.
- Đặc tính của vật liệu ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của linh kiện. Các đặc tính gồm: trị số giới hạn độ bền về điện, nhiệt, cơ học, độ cách điện, sự tổn hao điện môi... Các tính chất của chất điện môi lại phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm môi trường.

b. Các tính chất của chất điện môi.

b.1 Độ thẩm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi)

b.2 Độ tổn hao điện môi (P_a)

b.3 Độ bền về điện của chất điện môi ($E_{đ.t.}$)

b.4 Nhiệt độ chịu đựng

b.5 Dòng điện trong chất điện môi (I)

b.6 Điện trở cách điện của chất điện môi

b.1 Hằng số điện môi tương đối

- Hằng số điện môi tương đối của của 1 chất cách điện được xác định bằng tỷ số giữa điện dung của tụ điện có chất điện môi và điện dung của tụ điện có cùng kích thước nhưng là điện môi chân không

$$\varepsilon = \frac{C_d}{C_0}$$

Trong đó:

- + C_d là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi;
 - + C_0 là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.
- Do đó ε biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi. Chất điện môi dùng làm tụ điện cần có hằng số điện môi ε lớn, còn chất điện môi dùng làm chất cách điện có ε nhỏ.

b.2 Độ tổn hao điện môi (Pa)

Độ tổn hao điện môi là công suất điện tổn hao để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường, được xác định thông qua dòng điện rò.

$$P_a = U^2 \omega C \tan \delta$$

Trong đó:

U là điện áp đặt lên tụ điện (V)

C là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi (F)

ω là tần số góc đo bằng rad/s

$\tan \delta$ là góc tổn hao điện môi

- Nếu tổn hao điện môi trong tụ điện cơ bản là do điện trở của các bản cực, dẫn và tiếp giáp (ví dụ lớp bạc mỏng trong tụ mica và tụ gốm) thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương của tần số:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R$$

c.Độ bền về điện của chất điện môi (Eđ.t.)

- Nếu ta đặt một chất điện môi vào trong một điện trường, khi ta tăng cường độ điện trường lên quá một giá trị giới hạn thì chất điện môi đó mất khả năng cách điện - ta gọi đó là hiện tượng đánh thủng chất điện môi.
- Cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là **độ bền về điện của chất điện môi đó** ($E_{đ.t.}$).

$$E_{dt} = \frac{U_{dt}}{d} \quad [KV / mm; KV / cm]$$

Trong đó: $U_{đ.t.}$ - là điện áp đánh thủng chất điện môi

d - độ dày của chất điện môi

- Hiện tượng đánh thủng chất điện môi có thể do nhiệt, do điện và do quá trình điện hóa.

e. Dòng điện trong chất điện môi (I):

Khi đặt điện môi trong điện trường, trong điện môi diễn ra 2 hiện tượng cơ bản là: **Hiện tượng phân cực điện môi** (trên bề mặt điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu với điện tích trên bề mặt bản cực) và **Hiện tượng dẫn điện** của điện môi (trong điện môi xuất hiện sự chuyển dời của các điện tích tự do tạo thành dòng điện có trị số nhỏ giữa các bản cực. Có 2 thành phần dòng điện như sau:

- **Dòng điện chuyển dịch** $I_{C.M.}$ (hay gọi là dòng điện cảm ứng): Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi xảy ra cho đến khi đạt được trạng thái cân bằng sẽ tạo nên dòng điện phân cực hay còn gọi là dòng điện chuyển dịch trong chất điện môi $I_{C.M.}$
 - **Dòng điện rò** $I_{rò}$: được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường, tạo ra dòng điện chạy từ bản cực này sang bản cực kia. Nếu dòng rò lớn sẽ làm mất tính chất cách điện của chất điện môi.
- + Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là: $I = I_{C.M.} + I_{rò}$
- + Sau khi quá trình phân cực kết thúc thì chất điện môi chỉ còn dòng điện rò.

Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.

Phân loại: Chất điện môi thụ động và tích cực

- **Chất điện môi thụ động** còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện. Đây là các vật chất được dùng làm chất cách điện và làm chất điện môi trong các tụ điện như mi ca, gốm, thuỷ tinh, polyme tuyến tính, cao su, sơn, giấy, bột tổng hợp, keo dính,... Đối với vật liệu dùng để cách điện thì cần có độ thẩm thấu điện ϵ nhỏ, còn vật liệu dùng làm chất điện môi cho tụ điện cần có ϵ lớn.
- **Chất điện môi tích cực** là các vật liệu có ϵ thể điều khiển được bằng:
 - + Điện trường có gốm, thuỷ tinh,..
 - + Cơ học có chất áp điện như thạch anh
 - + Ánh sáng có chất huỳnh quang...

Loại điện môi này dùng trong các bộ tạo tín hiệu dao động, bộ lọc...

2. CHẤT DẪN ĐIỆN**a. Định nghĩa**

- Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất của nó nhỏ hơn so với các loại vật liệu khác. Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega\text{m}$.
- Trong tự nhiên chất dẫn điện có thể là chất rắn – Kim loại, chất lỏng – Kim loại nóng chảy, dung dịch điện phân hoặc chất khí ở điện trường cao.

b. Các tính chất của chất dẫn điện

b.1 Điện trở suất:

b.2 Hệ số nhiệt của điện trở suất (α):

b.3 Hệ số dẫn nhiệt : λ

b.4 Công thoát của điện tử trong kim loại:

b.5 Điện thế tiếp xúc:

b.1 Điện trở suất:

- Điện trở của vật liệu trong một đơn vị thiết diện và chiều dài:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad [\Omega.m] , \quad [\Omega.mm] , \quad [\mu\Omega.m]$$

- Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ: $\rho = 0,016 \mu\Omega.m$ (của bạc Ag) đến $\rho = 10 \mu\Omega.m$ (của hợp kim sắt - crôm - nhôm)

b.2 Hệ số nhiệt của điện trở suất (α):

- Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi $1^{\circ}C$.
- Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$$

b.3 Hệ số dẫn nhiệt : λ [w/ (m.K)].

- Hệ số dẫn nhiệt là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi gradien nhiệt độ bằng đơn vị.

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S_t$$

b.4 Công thoát của điện tử trong kim loại:

- Công thoát của kim loại biểu thị năng lượng tối thiểu cần cung cấp cho điện tử đang chuyển động nhanh nhất ở 0°C để điện tử này có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại. $E_W = E_B - E_F$

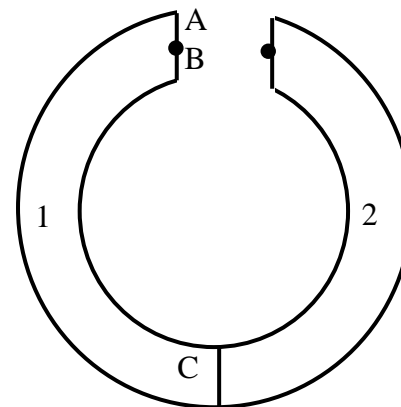
Trong đó E_B : năng lượng cần để điện tử thoát ra khỏi bề mặt kim loại

E_F : động năng của điện tử.

b.5 Điện thế tiếp xúc

- Sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa điểm A và B được tính theo công thức:

$$V_{AB} = E_{AB} = E_{W2} - E_{W1}$$



Phân loại: 2 loại

- Chất dẫn điện có điện trở suất thấp – Ag, Cu, Al, Sn, Pb... và một số hợp kim – Thường dùng làm vật liệu dẫn điện.
- Chất dẫn điện có điện trở suất cao như Hợp kim Manganin, Constantan, Niken-Crôm, Cacbon – thường dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

3. VẬT LIỆU TỪ (Magnetic material)**a. Định nghĩa.**

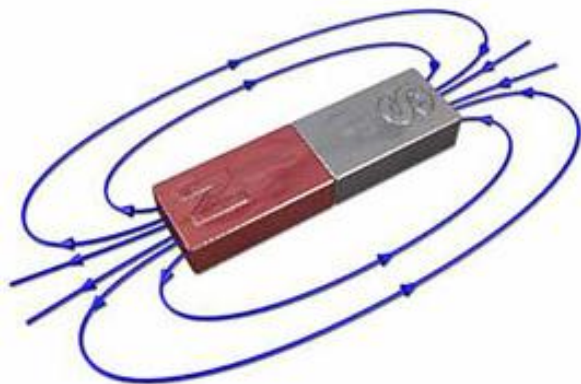
- Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ (bị từ hóa). **Ví dụ:** Thỏi sắt đặt cạnh nam châm, thỏi sắt sẽ bị nam châm hút, nghĩa là nó bị từ hóa và trở thành nam châm...

b. Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ

b.1 Từ trở và từ thẩm

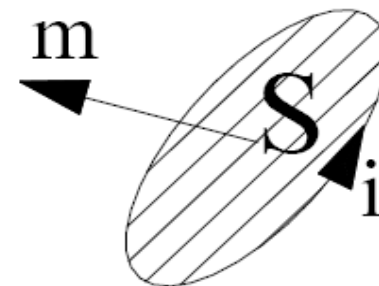
b.2 Độ từ thẩm tương đối (μ_r)

b.3 Đường cong từ hóa



Nguồn gốc của từ trường

- **Nguồn gốc của từ trường:** dòng điện là nguồn gốc của từ trường hay nói một cách bản chất, chuyển động của các điện tích là nguồn gốc của từ trường. Mỗi điện tích chuyển động sinh ra một từ trường, hay một lưỡng cực từ (tạo thành một mômen từ, xem hình vẽ). Mômen từ của một nguyên tử sinh ra có thể do 2 nguyên nhân:
 - + Chuyển động quỹ đạo của các điện tử (mômen quỹ đạo L)
 - + Chuyển động tự quay của các điện tử (mômen spin S). Spin là một đặc trưng của một hạt cơ bản.
- Mô men từ $m=i.S$, chiều của m xác định theo quy tắc vặn nút chai và hướng vuông góc với diện tích S .



- Vật liệu từ đặt trong từ trường nó bị từ hóa. Khi đó chúng trở nên có từ tính và sinh ra một từ trường phụ (từ trường riêng B'), do đó từ trường tổng hợp B trong chất bị từ hóa như sau:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Trong đó: B_0 : Vectơ cảm ứng từ của từ trường ban đầu (từ trường ngoài đặt vào).

- Tùy theo tính chất và mức độ từ hóa, phân biệt ba loại tính chất của vật liệu như sau:
 - **Nghịch từ:** B' ngược chiều với B_0
 - **Thuận từ:** B' cùng chiều với B_0
 - **Sắt từ:** B' cùng chiều với B_0 và lớn hơn B_0 ban đầu nhiều lần

Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ

$\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ - Trong đó H: cường độ từ trường ngoài.

Độ từ thẩm tương đối μ : $B = \mu B_0 = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$

- Trong đó μ : Độ từ thẩm tương đối của vật liệu
Từ trở:

- Từ điện trở, hay còn gọi tắt là từ trở, là tính chất của một số vật liệu, có thể thay đổi điện trở suất dưới tác dụng của từ trường ngoài ..

- Người ta thường dùng khái niệm tỉ số từ trở để nói lên độ lớn của hiệu ứng từ điện trở, cho bởi công thức:

$$MR(\%) = \frac{\rho(H) - \rho(0)}{\rho(0)} = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)}$$

Trong đó: $\rho(H), \rho(0), R(H), R(0)$ lần lượt là điện trở suất và điện trở tại từ trường H và từ trường H = 0.

Đường cong từ hóa

- **Đường cong từ hóa** (hay đầy đủ là *đường cong từ hóa ban đầu*) là đồ thị mô tả quá trình từ hóa vật từ từ trạng thái ban đầu chưa nhiễm từ (trạng thái khử từ), mà thể hiện trên đồ thị là sự thay đổi của tính chất từ (thông qua giá trị của từ độ, cảm ứng từ...) theo giá trị của từ trường ngoài. Ở phạm vi cấu trúc vi mô, quá trình từ hóa chính là sự thay đổi về cấu trúc từ thông qua các cơ chế khác nhau.

Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ

- **Vật liệu từ mềm** có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ (H_c nhỏ và μ lớn). để làm lõi biến áp, nam châm điện, lõi cuộn cảm... các loại sắt từ mềm thường gặp: Sắt thỏi chứa một lượng nhỏ tạp chất C, Mn, Si,...
- **Vật liệu từ cứng** có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao (H_c lớn và μ nhỏ).
- + Phân chia theo ứng dụng chia vật liệu từ cứng thành 2 loại:
 - Vật liệu để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
 - Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình, giữ âm thanh, v.v..
- + Phân chia theo công nghệ chế tạo, chia vật liệu từ cứng thành:
 - Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ nhất để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
 - Hợp kim lá từ cứng.
 - Nam châm từ bột.
 - Ferit từ cứng: Ferit Bari ($BaO.6Fe_2O_3$) để chế tạo nam châm dùng ở tần số cao.
 - Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm thanh.

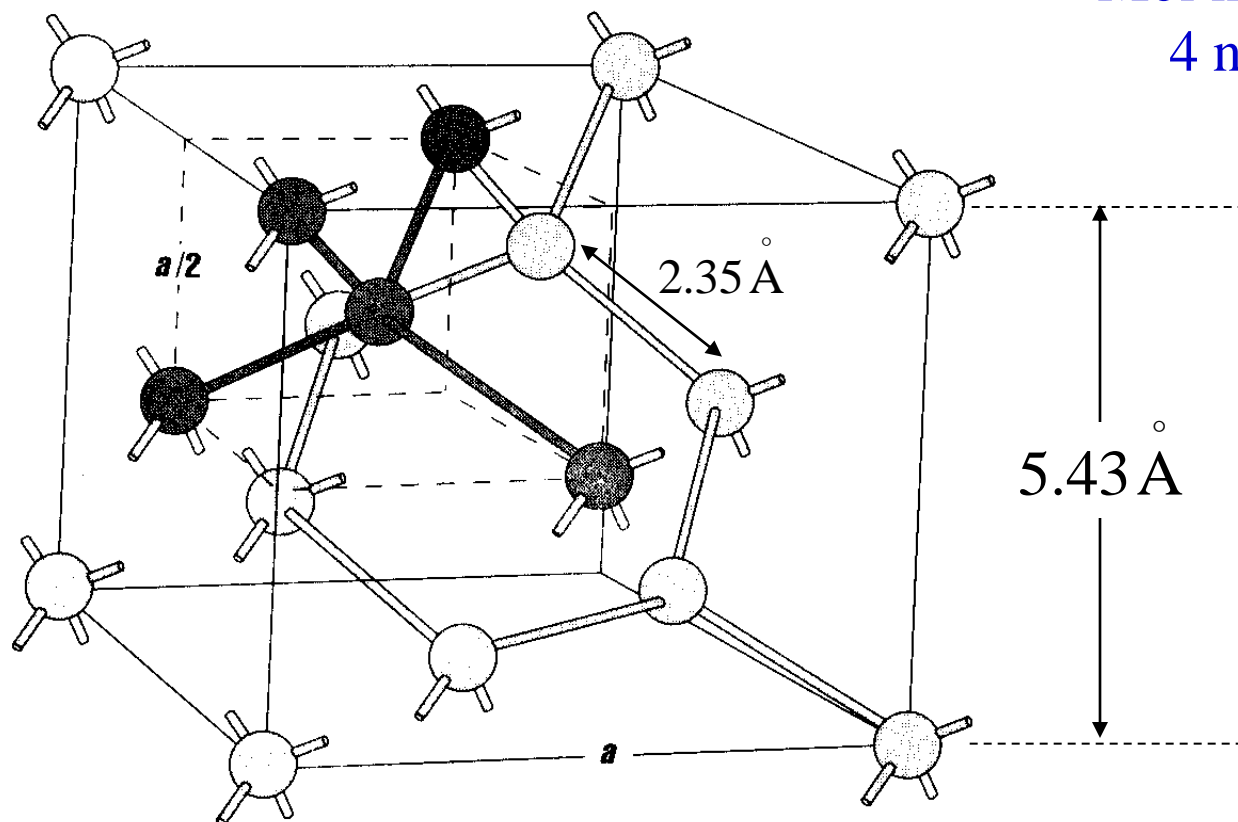
1.6.4.CHẤT BÁN DẪN

- 1. Định nghĩa chất bán dẫn**
- 2. Cấu trúc mạng tinh thể chất bán dẫn**
- 3. Chất bán dẫn thuần**
- 4. Chất bán dẫn không thuần**
- 5. Dòng điện trong chất bán dẫn**
- 6. Độ dẫn điện chất bán dẫn**

1.6.4.1. Định nghĩa

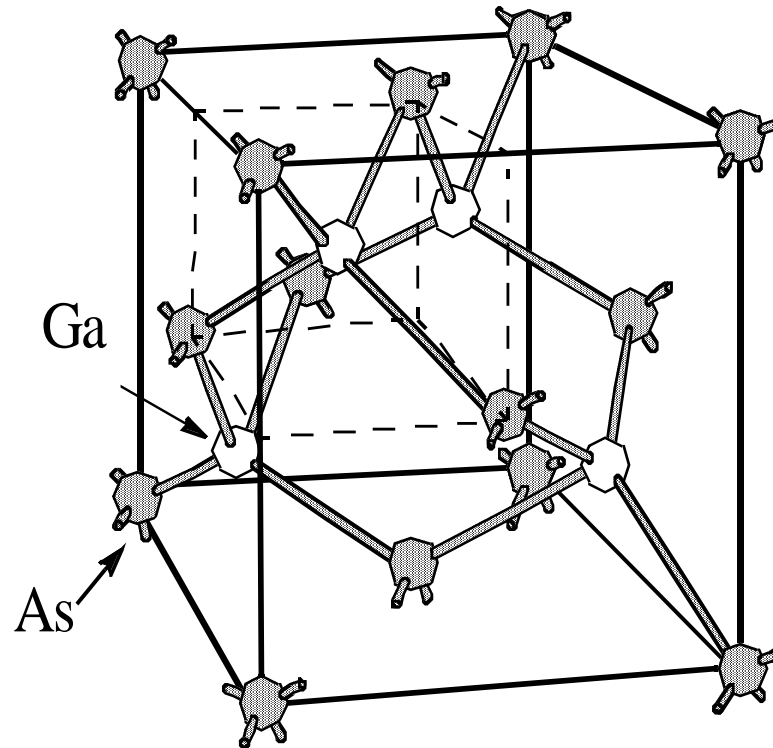
- Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm ở giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng, $\rho = 10^{-4} \div 10^7 \Omega.m$
- Chất bán dẫn là chất mà trong cấu trúc dải năng lượng có độ rộng vùng cấm là $0 < E_G < 2eV$.
- Chất bán dẫn trong tự nhiên: Bo (B), Indi (In), Gali (Ga) ở nhóm 3, Silic (Si), Gecmani (Ge) thuộc nhóm 4, Selen (Se), lưu huỳnh (S) ở nhóm 6, Asen (As) thuộc nhóm 5, v.v.. hoặc hợp chất như clorua đồng (CuCl), Asenic Canxi CaAs, Oxit đồng CuO, v.v..
- Trong kỹ thuật điện tử hiện nay sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể. Quan trọng nhất là hai nguyên tố Gecmani và Silic.

1.6.4.2. Cấu trúc mạng tinh thể chất bán dẫn đơn Si



Mỗi nguyên tử Si liên kết với
4 nguyên tử bên cạnh

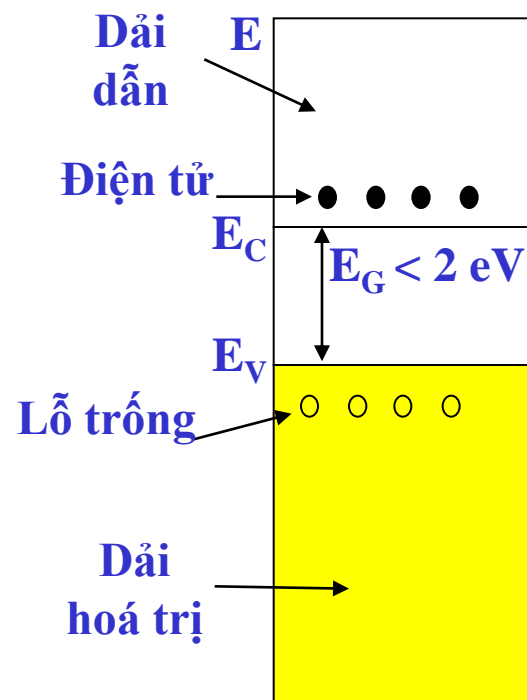
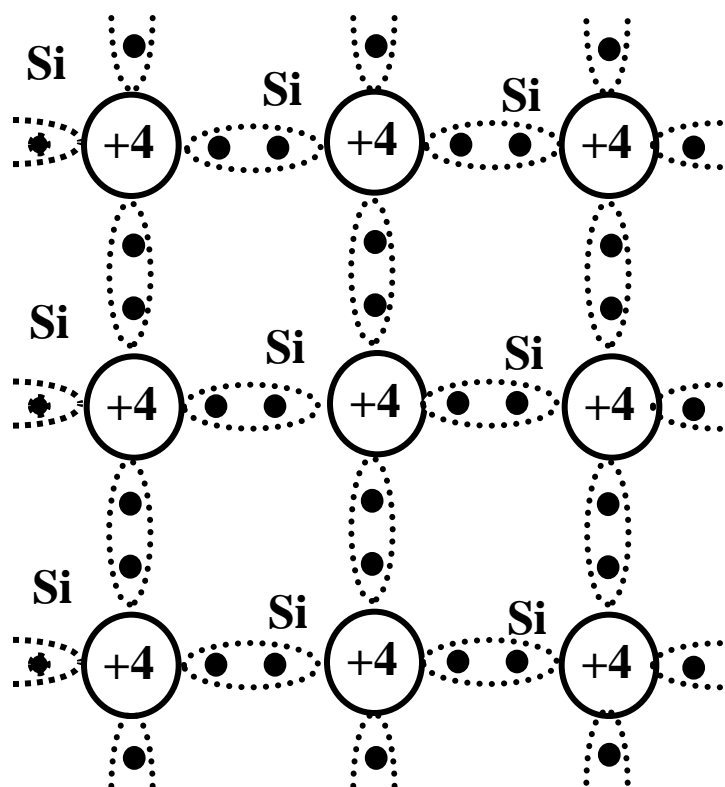
1.6.4.2. Cấu trúc mạng tinh thể của chất bán dẫn ghép



• **Chất bán dẫn ghép:** Hợp chất của các nguyên tử thuộc phân nhóm chính nhóm III và phân nhóm chính nhóm V: GaAs, GaP, GaN, ... quan trọng trong các cấu kiện quang điện và IC tốc độ cao

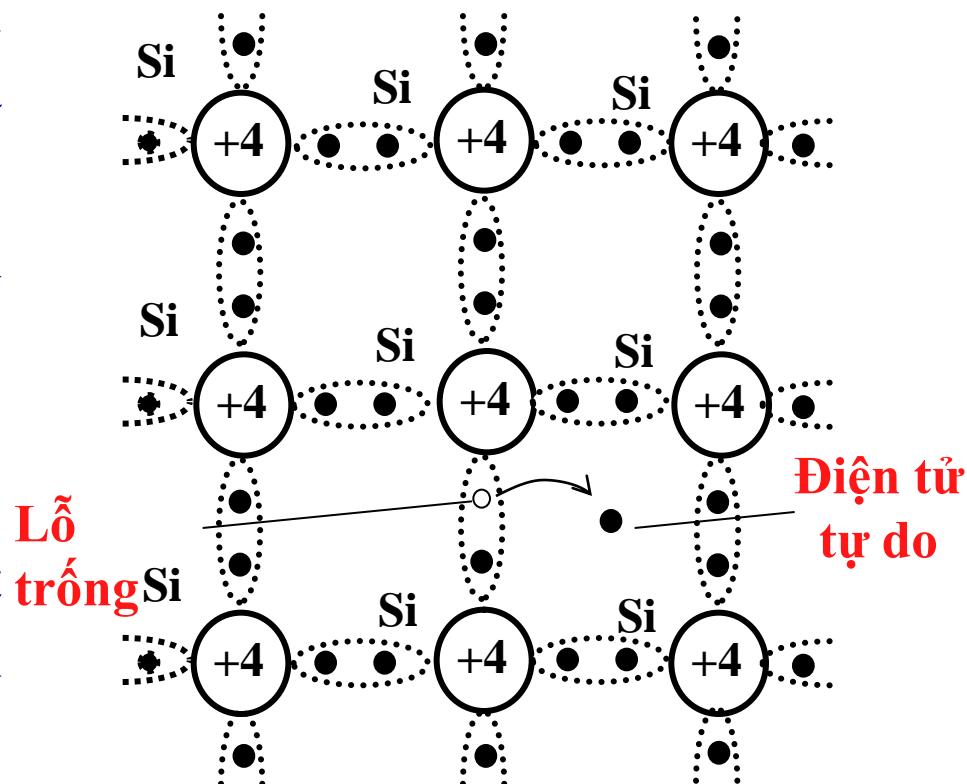
1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)

- Chất bán dẫn mà ở mỗi nút của mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố, ví dụ như các tinh thể Ge (geman) Si (silic) nguyên chất ...
- Ví dụ xét tinh thể Si, $E_G = 1,21\text{eV}$ (tại nhiệt độ 300K)



1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**Sự tạo thành lỗ trống và điện tử tự do**

- Ở nhiệt độ phòng một số liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ tạo ra **điện tử tự do** và **lỗ trống**.
- Lỗ trống cũng có khả năng dẫn điện như điện tử tự do, mang điện tích và có cùng độ lớn với điện tích điện tử.
- Bán dẫn thuần có nồng độ hạt dẫn lỗ trống và nồng độ hạt dẫn điện tử bằng nhau: **$p = n = p_i = n_i$**



1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)

Độ dẫn điện của chất bán dẫn σ

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = (n.\mu_n + p.\mu_p).q$$

μ_n - độ linh động của điện tử tự do

μ_p - độ linh động của lỗ trống

q – điện tích của điện tử $q=1,6.10^{-19}C$

+ Mật độ dòng điện khi chất bán dẫn đặt trong điện trường ngoài E :

$$J = \sigma.E = (n.\mu_n + p.\mu_p).q.E$$

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)

Quá trình tạo hạt tải điện và quá trình tái hợp

- Tốc độ tạo hạt tải điện phụ thuộc vào T nhưng lại độc lập với n và p - nồng độ của điện tử tự do và của lỗ trống :

$$G = G_{thermal}(T) + G_{optical}$$

- Trong khi đó tốc độ tái hợp lại tỷ lệ thuận với cả n và p

$$R \propto np$$

- Trạng thái ổn định xảy ra khi tốc độ tạo và tái hợp cân bằng

$$G = R \quad \Rightarrow \quad np = f(T)$$

- - Nếu trong trường hợp không có các nguồn quang và nguồn điện trường ngoài, trạng thái ổn định được gọi là trạng thái **cân bằng nhiệt “thermal equilibrium” hay định luật Mass-action:**

$$np = n_i^2(T)$$

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**Hàm phân bố Fermi-Dirac**

- Là cơ sở để xét sự phân bố hạt tải điện trong chất bán dẫn.
- Xét hệ gồm **N điện tử tự do** nằm ở trạng thái cân bằng nhiệt tại nhiệt độ T. Phân bố các điện tử đó tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli. Tìm phân bố của các điện tử theo các mức năng lượng?
- Nguyên lý loại trừ Pauli là hệ quả của một nguyên lý cơ bản hơn, đó là nguyên lý không phân biệt giữa các hạt giống nhau áp dụng vào trường hợp hệ gồm các hạt fermion (các hạt có spin là bội 1/2).
- Áp dụng nguyên lý năng lượng tối thiểu: “xác suất để một hệ gồm N hạt giống hệt nhau nằm trong trạng thái năng lượng E tỷ lệ nghịch với E theo hàm mũ exp, cụ thể là:

$$P_N(E) \sim \exp(-E/kT).$$

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**Hàm phân bố Fermi-Dirac**

- Bằng cách áp dụng nguyên lý trên kèm theo với nguyên lý loại trừ Pauli người ta đã tính toán ra lời giải là hàm phân bố Fermi-Dirac: *Xác suất mức năng lượng E [eV] bị điện tử lấp đầy tại nhiệt độ T tuân theo hàm phân bố Fermi-Dirac như sau:*

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

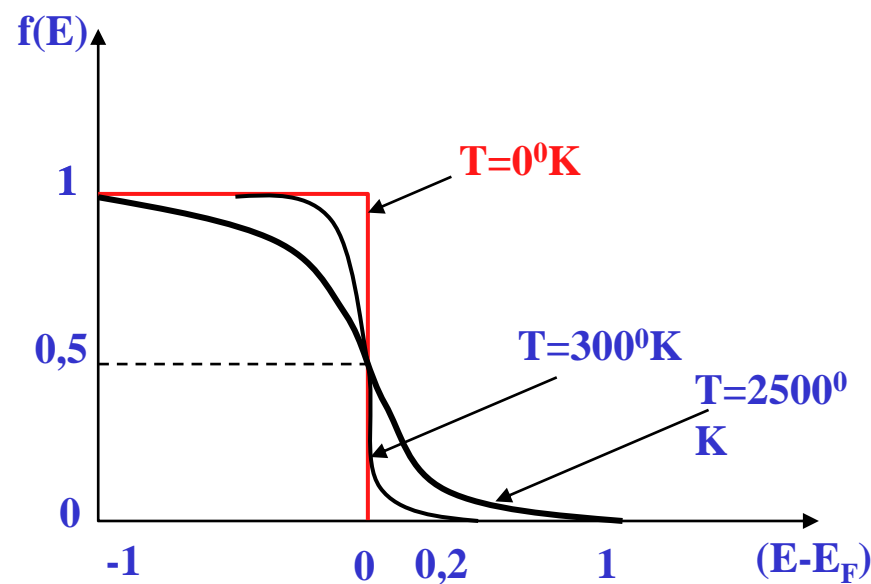
-Trong đó

K: Hằng số Boltzmann (eV/ °K)

K= $8,62 \times 10^{-5}$ eV/°K

T - Nhiệt độ đo bằng °K

E_F - Mức Fermi (eV)



- **E_F** : mức năng lượng Fermi là mức năng lượng lớn nhất còn bị e- lấp đầy tại nhiệt độ **$T=0^0$ K**

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**- Phân tích hàm Fermi-Dirac:**

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

$$T = 0^{\circ}\text{K}$$

$$E > E_F \Rightarrow f(E) = 0 \quad | \quad E < E_F \Rightarrow f(E) = 1$$

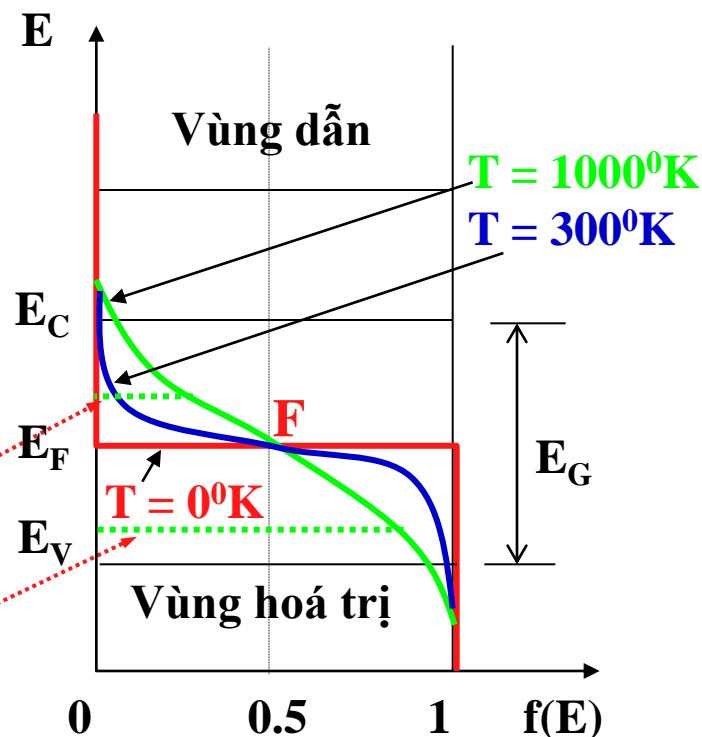
$$T > 0^{\circ}\text{K} \quad (T=300^{\circ}\text{K}; \quad KT=26.10^{-3}\text{eV})$$

$$E - E_F \gg KT \Rightarrow f(E) \approx e^{(E_F - E)/KT}$$

$$E - E_F \ll -KT \Rightarrow f(E) \approx 1 - e^{(E - E_F)/KT}$$

$$f(E_F) = \frac{1}{2} \quad \forall T$$

E_F [eV]- Mức năng lượng Fermi



E_C [eV]- Đáy của vùng dẫn

E_V [eV]- Đỉnh của vùng hóa trị

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**Nhận xét hàm phân bố Fermi-Dirac:**

- Tại 0^0K , $f(E) = 1$ khi $E < E_F$. Như vậy tất cả các mức năng lượng thấp hơn E_F đều bị điện tử chiếm đóng và tất cả các mức năng lượng cao hơn E_F đều trống rỗng.
- Xác suất các vùng chiếm đóng khi $T > 0^0\text{K}$ đều luôn bằng $1/2$ tại $E = E_F$, không phụ thuộc vào nhiệt độ.
- Hàm $f(E)$ đối xứng qua điểm F , do đó, xác suất điện tử chiếm đóng ở mức năng lượng $E_F + \Delta E$ bằng xác suất các mức năng lượng mà điện tử không chiếm đóng ở mức $E_F - \Delta E$.
- Xác suất mức năng lượng không bị điện tử chiếm đóng sẽ là:

$$1 - f(E) = 1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

- Trong chất bán dẫn, xác suất mức năng lượng E [eV] bị điện tử điền đầy cũng tuân theo hàm phân bố Fermi-Dirac.

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**Nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn****- Tính nồng độ điện tử tự do trong vùng dẫn n:**

+ Nồng độ hạt dẫn điện tử tự do nằm trong mức năng lượng từ E đến E+dE trong dải dẫn là dn [số điện tử/m³]: $dn=2.N(E).f(E).dE$

+ N(E) - là mật độ trạng thái trong dải dẫn (số lượng trạng thái/ eV/ m³).

$$N(E) = \gamma.(E - E_C)^{1/2} \quad \gamma = \frac{4\pi}{h^3} (2m_n)^{3/2} .(q_n)^{3/2}$$

$$n = \int_{E_C}^{\infty} 2.N(E).f(E).dE \cong \int_{E_C}^{\infty} 2.\gamma.(E - E_C)^{1/2} .e^{(E_F - E)/KT} dE$$

$$n = N_C . e^{(E_F - E_C)/KT}$$

$$N_C = 2 . \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng dẫn

m_n – Khối lượng hiệu dụng của điện tử tự do

k[J/⁰K] – Hằng số Boltzmann, h – hằng số Plank , T [⁰K]

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)**- Tính nồng độ lỗ trống trong vùng hóa trị p:**

+ Nồng độ hạt dẫn lỗ trống nằm trong mức năng lượng từ E đến E+dE trong dải hóa trị là dp [số lỗ trống/m³]:

$$dp = 2 \cdot N(E) \cdot (1 - f(E)) \cdot dE$$

+ N(E) - là mật độ trạng thái trong dải hóa trị (số lượng trạng thái/ eV/ m³).

$$N(E) = \gamma \cdot (E_V - E)^{1/2} \quad \gamma = \frac{4\pi}{h^3} (2m_p)^{3/2} \cdot (q_p)^{3/2}$$

$$p = \int_0^{E_V} 2 \cdot N(E) \cdot (1 - f(E)) \cdot dE \cong \int_0^{E_V} 2 \cdot \gamma \cdot (E_V - E)^{1/2} \cdot e^{(E - E_F)/KT} dE$$

$$p = N_V \cdot e^{(E_V - E_F)/KT} \quad N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng hóa trị

m_p – Khối lượng hiệu dụng của lỗ trống

k [J/°K] – Hằng số Boltzman, h – hằng số Plank, T [°K]

1.6.4.3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)

Xét tích:
$$n.p = N_C N_V . e^{-\frac{E_C - E_V}{KT}} = N_C N_V . e^{-E_G / KT}$$

$$n.p = n_i^2 = p_i^2 = A.T^3 . e^{-E_G / KT}$$

$$A = 4 . \left(\frac{2\pi . k}{h^2} \right)^3 . (m_n . m_p)^{3/2} =$$

Với bán dẫn thuần

$$n_i = p_i \Rightarrow E_{F_i} = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p}{m_n}$$

m_p, m_n là khối lượng hiệu dụng của hạt tải điện lỗ trống và điện tử tự do, chúng phụ thuộc vào cấu trúc dải năng lượng.

-Nếu $m_p \cong m_n$ thì mức Fermi E_{F_i} nằm giữa vùng cấm.

$$E_{F_i} = \frac{E_C + E_V}{2}$$

-Nếu $m_p \neq m_n$ mức Fermi chỉ nằm giữa vùng cấm khi $T=0^0K$

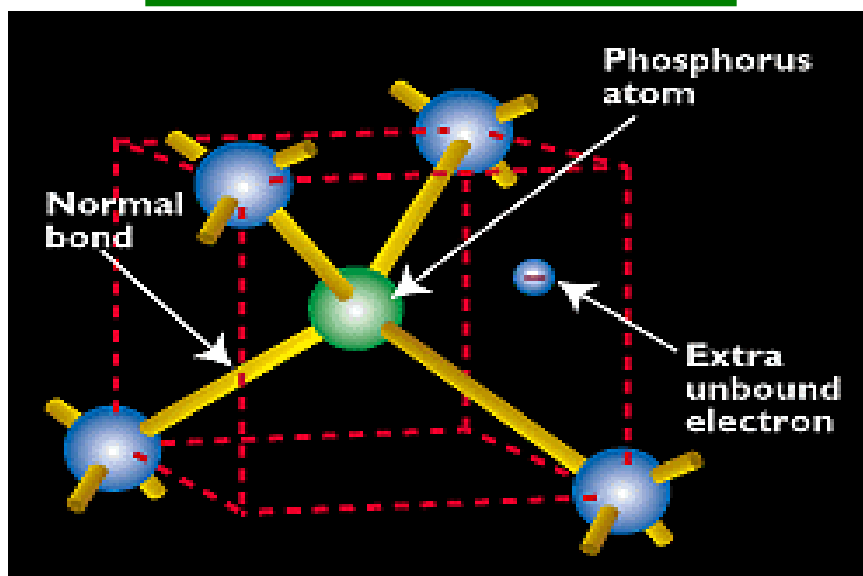
Nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần ở nhiệt độ phòng rất nhỏ, nên chất bán dẫn thuần có khả năng dẫn điện kém.

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-E_G / 2kT}$$

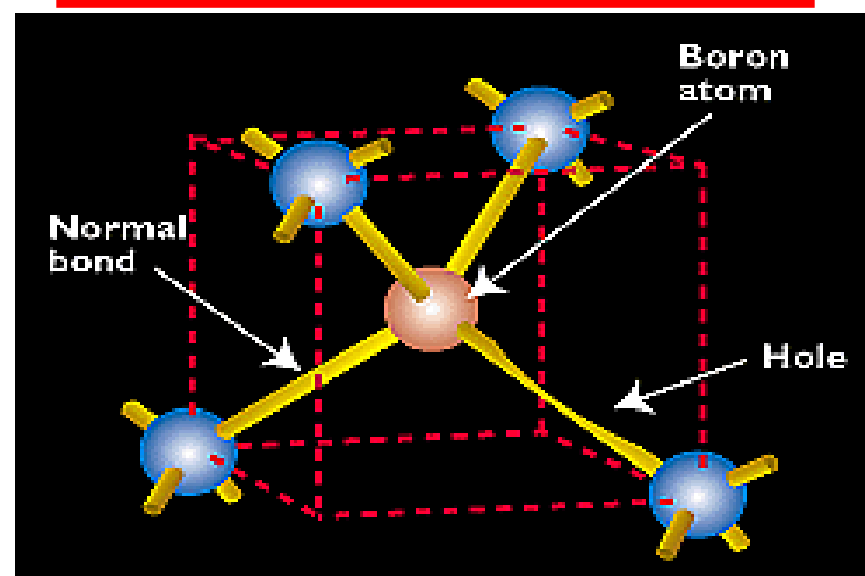
1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Chất bán dẫn mà một số nguyên tử ở nút của mạng tinh thể của nó được thay thế bằng nguyên tử của chất khác gọi là chất bán dẫn tạp.
- Có hai loại chất bán dẫn tạp:
 - + Chất bán dẫn tạp loại N – gọi tắt là Bán dẫn loại N (Donors)
 - + Chất bán dẫn tạp loại P – gọi tắt là Bán dẫn loại P (Acceptors)

Donors: P, As, Sb

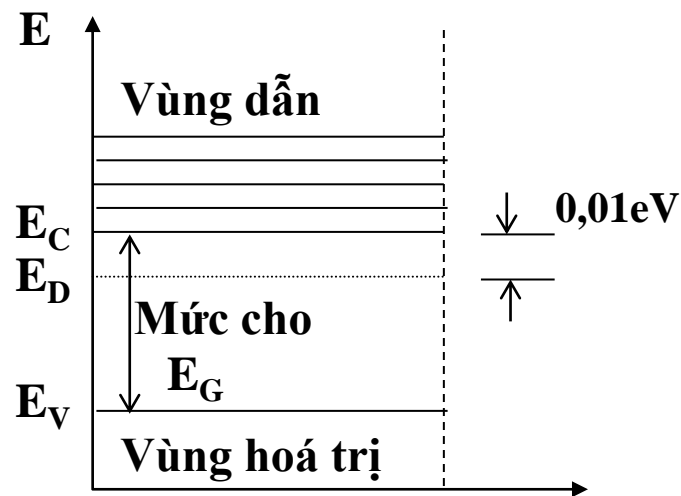
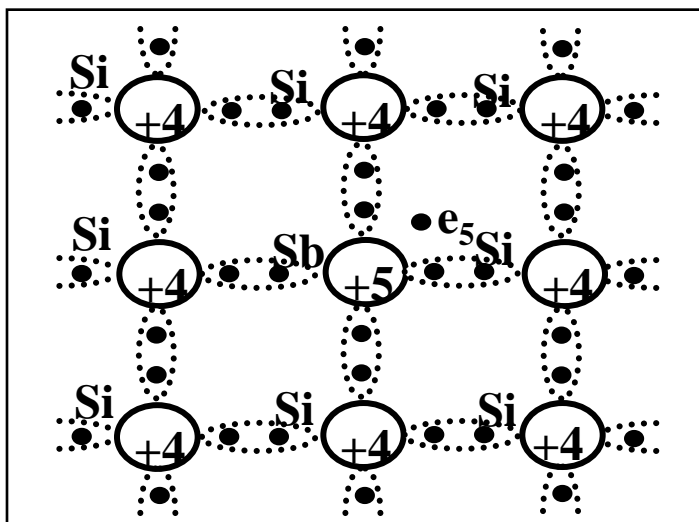


Acceptors: B, Al, Ga, In



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**a. Chất bán dẫn loại N (chất bán dẫn tạp loại cho)**

- Thêm một ít **tạp chất** là nguyên tố **thuộc nhóm 5**, thí dụ As, P, Sb... vào chất bán dẫn thuần Ge hoặc Si. Trong nút mạng nguyên tử tạp chất sẽ đưa 4 điện tử trong 5 điện tử hóa trị của nó tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh; còn điện tử thứ 5 sẽ thừa ra và liên kết của nó trong mạng tinh thể là rất yếu, ở nhiệt độ phòng cũng dễ dàng tách ra trở thành hạt tải điện - **điện tử tự do** trong tinh thể và nguyên tử tạp chất cho điện tử trở thành các **ion dương cố định**.



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Nồng độ điện tự tự do trong chất bán dẫn loại N **tăng nhanh**, nên tốc độ tái hợp tăng nhanh, do đó nồng độ lỗ trống **giảm xuống** nhỏ hơn nồng độ có thể có trong bán dẫn thuần.
- Trong chất bán dẫn loại N, nồng độ hạt dẫn điện tử (n_n) nhiều hơn nhiều nồng độ lỗ trống p_n và điện tử được gọi là **hạt dẫn đa số**, lỗ trống được gọi là **hạt dẫn thiểu số**.

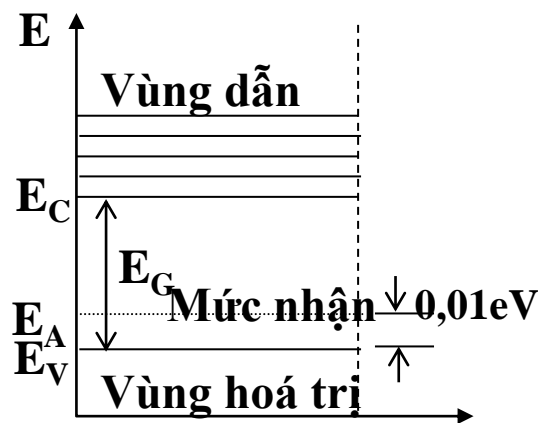
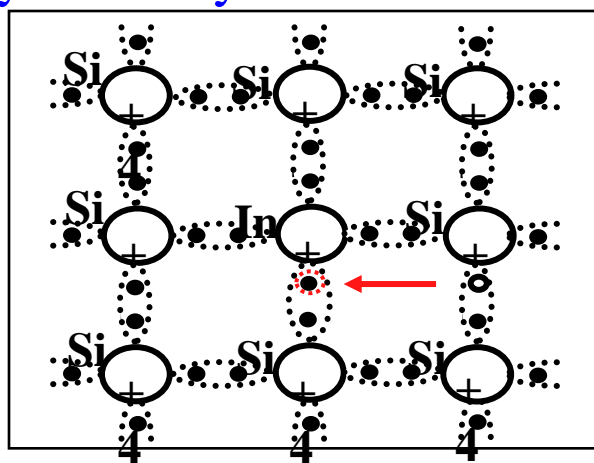
$$n_n \gg p_n$$

$$n_n = N_d + p_n \approx N_d$$

N_d – Nồng độ ion nguyên tử tạp chất cho (Donor)

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**b. Chất bán dẫn loại P (chất bán dẫn tạp loại nhận)**

- Thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc **nhóm 3**, thí dụ In, Bo, Ga... vào chất bán dẫn thuần Ge hoặc Si. Trong nút mạng nguyên tử tạp chất chỉ có 3 điện tử hóa trị đưa ra tạo liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh, mỗi liên kết thứ 4 để trống và tạo thành một lỗ trống. Điện tử của mỗi liên kết gần đó có thể nhảy sang để hoàn chỉnh mỗi liên kết thứ 4 còn để trống đó. Nguyên tử tạp chất vừa nhận thêm điện tử sẽ trở thành ion âm và ngược lại ở nguyên tử Ge/Si vừa có 1 điện tử chuyển đi sẽ tạo ra một **lỗ trống** và nguyên tử này sẽ trở thành **ion dương cố định**.



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn loại P **tăng nhanh**, nên tốc độ tái hợp tăng nhanh, do đó nồng độ lỗ điện tử tự do **giảm xuống** nhỏ hơn nồng độ có thể có trong bán dẫn thuần.
- Trong chất bán dẫn loại P, nồng độ hạt dẫn lỗ trống (p_p) nhiều hơn nhiều nồng độ điện tử tự do n_p và **lỗ trống** được gọi là hạt dẫn đa số, **điện tử tự do** được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$p_p \gg n_p$$

$$p_p = N_a + n_p \approx N_a$$

N_a – Nồng độ ion nguyên tử tạp chất nhận (Acceptor)

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

Nồng độ hạt tải điện trong bán dẫn tạp

Tổng quát trong chất bán dẫn ta có: (Định luật “mass-action”)

$$n.p = n_i^2 = p_i^2 = A.T^3 . e^{-E_G / KT} = 3,9.T^{3/2} e^{-E_G / 2KT} [cm^{-3}]$$

- Trong chất bán dẫn loại N:

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_d}$$

- Trong chất bán dẫn loại P:

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} = \frac{n_i^2}{N_a}$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Trong thực tế Silicon thường được pha tạp cả chất Donor và Acceptor. Giả sử nồng độ pha tạp tương ứng là N_d , N_a .
- Để tạo thành bán dẫn N thì $N_d > N_a$, Điện tử cho của nguyên tử Donor sẽ ion hóa tất cả các nguyên tử Acceptor để hoàn thành liên kết còn thiếu điện tử, nồng độ nguyên tử Donor tạo ra điện tử tự do là: $N_d - N_a$, quá trình như vậy gọi là quá trình bù “Compensation”. Điện tích trong chất bán dẫn N trung hòa nên: $N_d - N_a + p - n = 0$.

$$\rightarrow p = n - (N_d - N_a) = \frac{n_i^2}{n} \quad \rightarrow n^2 - (N_d - N_a).n - n_i^2 = 0$$

$$\rightarrow n = \frac{(N_d - N_a)}{2} + \frac{(N_d - N_a)}{2} \sqrt{1 + \frac{4n_i^2}{(N_d - N_a)^2}}$$

- Nếu $N_d \gg N_a$ nên $N_d - N_a \gg n_i$ thì có thể tính gần đúng nồng độ các loại hạt tải điện như sau:

$$n \cong N_d - N_a \quad p \cong \frac{n_i^2}{N_d - N_a}$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Tương tự để tạo thành bán dẫn P thì $N_a > N_d$, trong bán dẫn cũng xảy ra quá trình bù, tính toán tương tự ta có nồng độ lỗ trống trong trường hợp này được tính như sau:

$$p = \frac{(N_a - N_d)}{2} + \frac{(N_a - N_d)}{2} \sqrt{1 + \frac{4n_i^2}{(N_a - N_d)^2}}$$

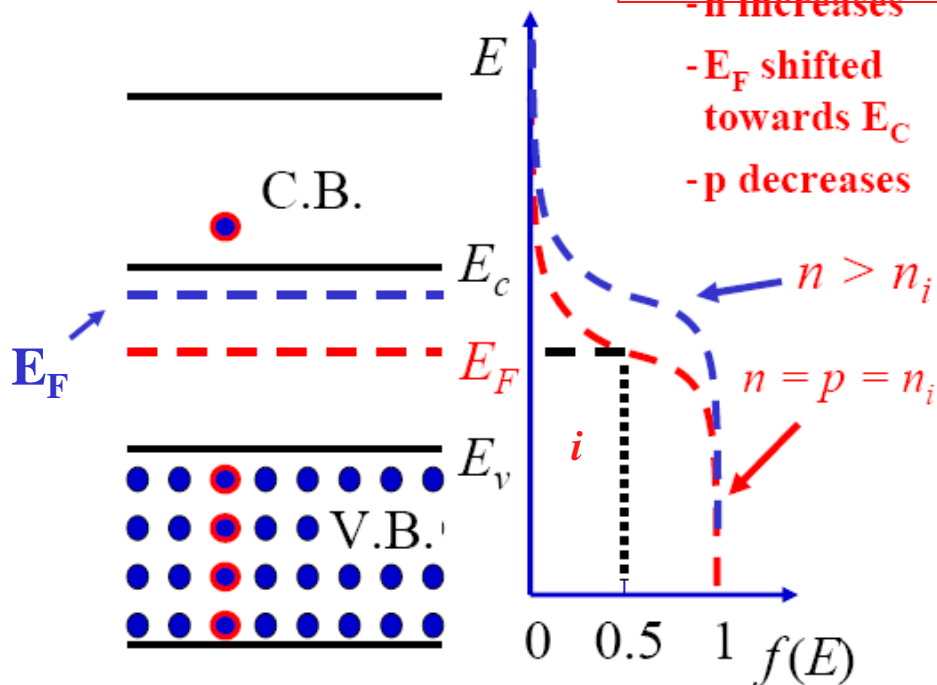
- Nếu $N_a \gg N_d$ nên $N_a - N_d \gg n_i$ thì có thể tính gần đúng nồng độ các loại hạt tải điện như sau:

$$p \cong N_a - N_d \quad n \cong \frac{n_i^2}{N_a - N_d}$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Mức Fermi trong chất bán dẫn tạp**

- Mức Fermi trong chất bán dẫn N (N_d càng tăng mức Fermi càng tiến gần tới đáy của dải dẫn):

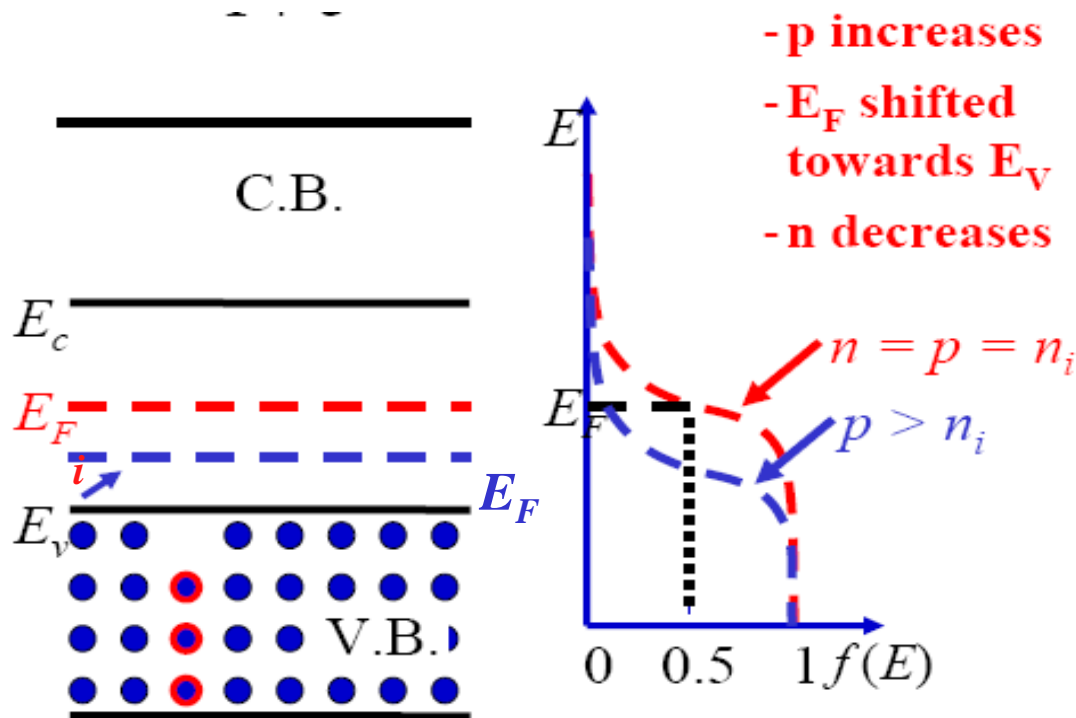
$$n_n = N_C \cdot e^{(E_F - E_C)/KT} = N_d \rightarrow E_F = E_C - KT \ln \frac{N_C}{N_d}$$



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

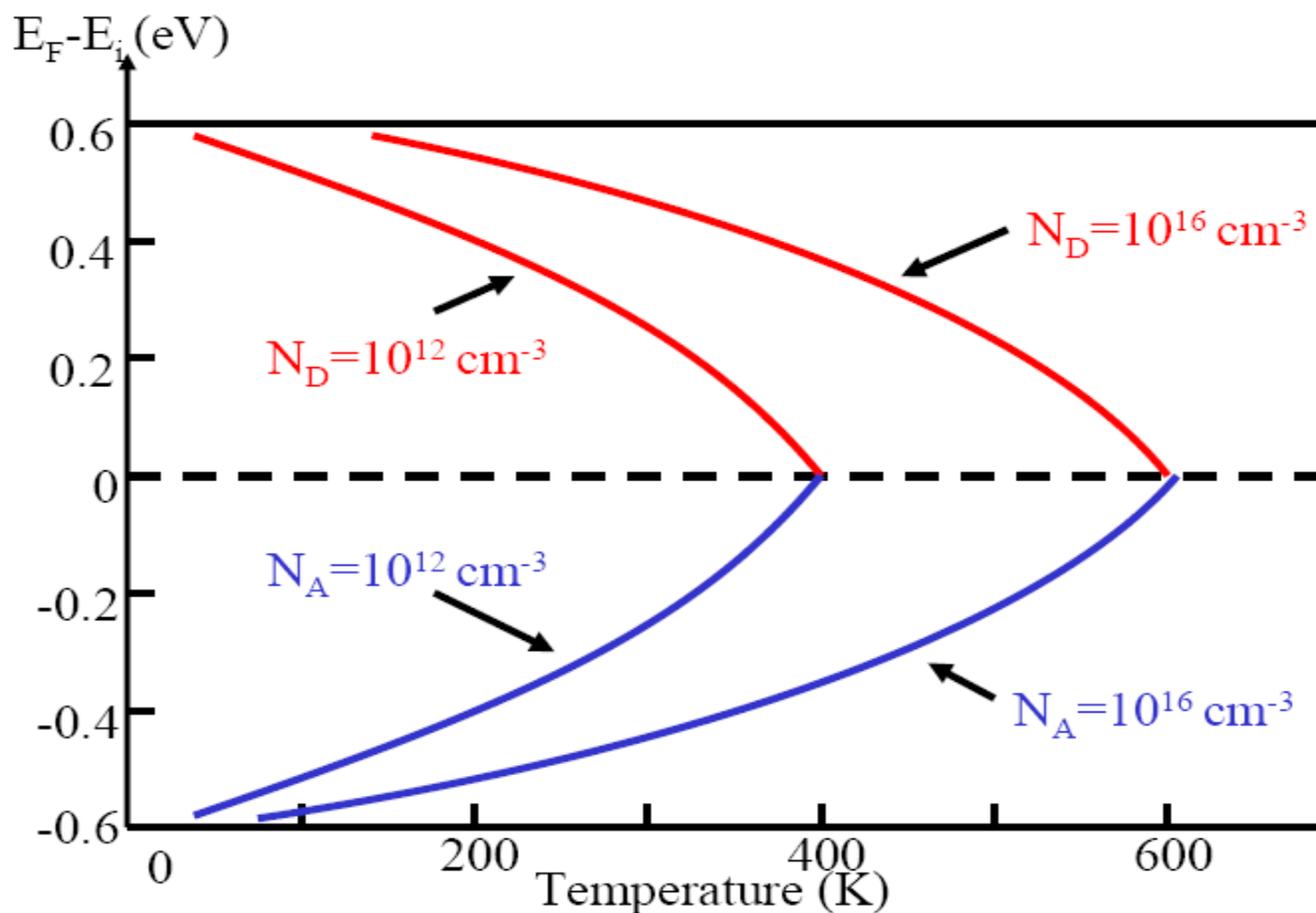
- Mức Fermi trong chất bán dẫn P (N_a càng tăng mức Fermi càng tiến gần xuống đỉnh của dải hóa trị):

$$p = N_V \cdot e^{(E_V - E_F)/KT} = N_a \rightarrow E_F = E_V + KT \ln \frac{N_V}{N_a}$$



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Mức Fecmi trong bán dẫn tạp là một hàm của nhiệt độ cho các giá trị nồng độ tạp chất khác nhau (Ví dụ với Si).



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Quan hệ nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn thuần và tạp**

-Giả sử mức mức Fermi của bán dẫn thuần là $E_F = E_{Fi}$

-Nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn thuần $n_i = p_i$:

$$n = n_i = N_c e^{-(E_c - E_{Fi})/kT}$$

$$p = p_i = N_v e^{-(E_{Fi} - E_v)/kT}$$

$$\Rightarrow N_c = n_i e^{(E_c - E_{Fi})/kT}$$

$$\Rightarrow N_v = p_i e^{(E_{Fi} - E_v)/kT}$$

- **Nồng hạt dẫn trong chất bán dẫn tạp là:**

$$n = N_c \cdot e^{(E_F - E_c)/kT} \rightarrow$$

$$n = n_i e^{(E_F - E_{Fi})/kT}$$

$$p = N_v \cdot e^{(E_v - E_F)/kT} \rightarrow$$

$$p = p_i e^{(E_{Fi} - E_F)/kT}$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Dòng điện trong chất bán dẫn**

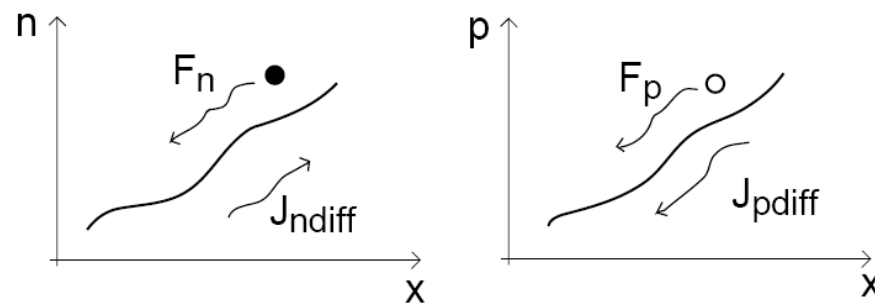
- **Dòng điện khuếch tán:** Dòng điện tạo ra do sự chuyển động **ngẫu nhiên** do nhiệt của các hạt tải điện (thông thường giá trị trung bình $=0$, nên bỏ qua) và **sự khuếch tán** các hạt tải điện từ vùng có **mật độ cao** sang vùng có **mật độ thấp** hơn:

$$J_{diff(n)} = q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad J_{diff(p)} = -q \cdot D_p \frac{dp}{dx}$$

- (D_p [m²/sec] - là hệ số khuếch tán của lỗ trống;

D_n - là hệ số khuếch tán của điện tử;

dP/dx , dn/dx gradient nồng độ lỗ trống và điện tử tự do)



- **Dòng điện trôi (Dòng điện cuốn):** Dòng chuyển dịch của các hạt tải điện do **tác động** của điện trường E :

$$J_{drift} = J_{drift(n)} + J_{drift(p)} = \sigma \cdot E = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Dòng tổng cộng trong chất bán dẫn:

$$J = J_{drift} + J_{diff} = J_n + J_p$$

$$J_n = J_{drift(n)} + J_{diff(n)} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}$$

$$J_p = J_{drift(p)} + J_{diff(p)} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx}$$

- **“Einstein Relation”**: Độ linh động μ và hệ số khuếch tán D được xác theo mô hình vật lý dựa trên cơ sở một số lượng lớn hạt tải chịu những chuyển động nhiệt ngẫu nhiên với sự va chạm thường xuyên, 2 hằng số này tỉ lệ với nhau theo **“Einstein Relation”** như sau:

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q}$$

Hằng số Boltzmann $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ [J/}^0\text{K]}$
 $q \text{ [C]} - \text{điện tích hạt tải, } T \text{ [}^0\text{K]}$

- Áp dụng công thức trên cho điện tử tự do và lỗ trống trong chất bán dẫn

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q}$$

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q}$$

$$\longrightarrow V_{th} = \frac{kT}{q}$$

- Điện áp nhiệt **“Thermal Voltage”**:

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Độ dẫn điện chất bán dẫn**

- Độ dẫn điện của chất bán dẫn khi có cả 2 hạt tải điện tham gia

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

- Với bán dẫn loại n, $n \gg p$, độ dẫn điện là:

$$\sigma_n = qN_D\mu_n \quad [(\Omega.m)^{-1}]$$

- Với bán dẫn loại p, $p \gg n$, độ dẫn điện là:

$$\sigma_p = qN_A\mu_p \quad [(\Omega.m)^{-1}]$$

- + Chất tạp càng nhiều thì điện trở suất càng giảm, tuy nhiên độ linh động μ_n và μ_p lại giảm khi nồng độ chất pha tạp tăng, như vậy cơ chế dẫn điện trong vùng pha tạp mạnh tương đối phức tạp

- Nồng độ giới hạn các nguyên tử tạp chất muốn đưa vào tinh thể bán dẫn được quyết định bởi giới hạn hòa tan của tạp chất ấy. Nếu vượt quá giới hạn này thì hiện tượng kết tủa sẽ xảy ra, khi đó tạp chất sẽ không còn có các tính chất như mong muốn nữa.

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

Tổng kết

- Chất bán dẫn thuần, không thuần.
- Hàm phân bố Fermi-Dirac, Mức Fermi...
- Nồng độ hạt tải trong chất bán dẫn:

$$n.p = n_i^2 = p_i^2$$

$$p = n_i e^{(E_{Fi} - E_F)/kT}$$

$$n = n_i e^{(E_F - E_{Fi})/kT}$$

- Nồng độ điện tử tự do và lỗ trống trong chất bán dẫn có thể thay đổi do: Pha tạp, Điện từ trường, Nhiệt độ, Chiếu sáng.
- Mức Fermi trong chất bán dẫn thay đổi theo nồng độ pha tạp
- Chất bán dẫn thuần có độ dẫn điện nhỏ, chất bán dẫn không thuần độ dẫn điện lớn.

$$\sigma = q(n.\mu_n + p.\mu_p)$$

$$J_n = J_{drift(n)} + J_{diff(n)} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}$$

$$J_p = J_{drift(p)} + J_{diff(p)} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx}$$

$$J = J_n + J_p$$

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q}$$

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q}$$

$$V_{th} = \frac{kT}{q}$$

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

Một số hằng số

- Electronic charge, $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Permittivity of free space, $\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$
- Boltzmann constant, $K = 8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$,
 $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- Planck constant, $h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
- Free electron mass, $m_0 = m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Thermal voltage $V_{th} = kT/q = 26 \text{ mV}$ (at $T = 300^\circ\text{K}$)

	Si	Ge	GaAs
m_n/m_0	0.26	0.12	0.068
m_p/m_0	0.39	0.30	0.50

at T= 300 K	Si	Ge	GaAs	InAs
$\mu_n \text{ (cm}^2/\text{V} \cdot \text{s)}$	1400	3900	8500	30000
$\mu_p \text{ (cm}^2/\text{V} \cdot \text{s)}$	470	1900	400	500

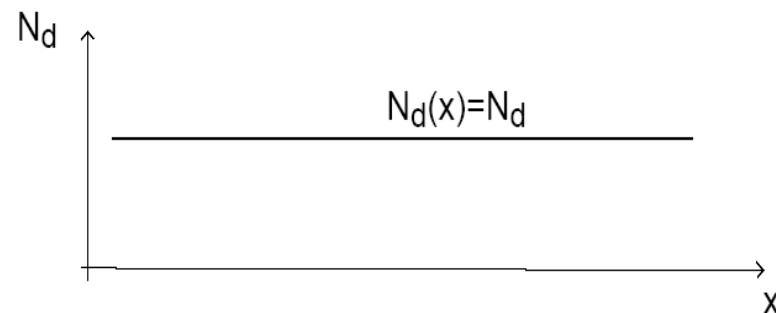
1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Trường tĩnh điện trong chất bán dẫn ở ĐK cân bằng nhiệt**

- Xác định mối quan hệ giữa điện trường, điện thế tĩnh điện, và mật độ điện tích trong các cấu trúc bán dẫn.
- Quan hệ giữa điện thế và nồng độ hạt tải điện trong điều kiện cân bằng nhiệt

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

Chất bán dẫn nồng độ pha tạp không đồng đều

- Xét chất bán dẫn n có nồng độ pha tạp đồng đều



+ Hạt tải điện đa số là điện tử, có rất ít lỗ trống, nồng độ điện tử đồng đều không phụ thuộc vào vị trí X : $n_0 = N_d$

+ Mật độ điện tích trong chất bán dẫn n: ρ [C/cm³]

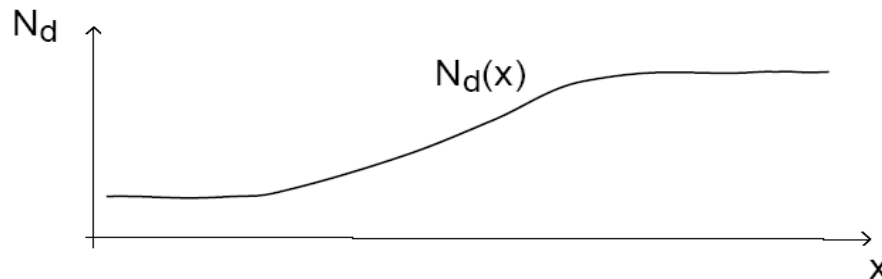
$$\rho = \rho_{(+)} - \rho_{(-)} = q \cdot N_d - q \cdot n_0$$

$$\rho = q \cdot (N_d - n_0) = 0$$

+ Như vậy không hình thành các vùng tích điện không gian trong bán dẫn có nồng độ pha tạp đồng đều.

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Xét chất bán dẫn n-Si có nồng độ pha tạp không đồng đều



- + Nồng độ điện tử trong bán dẫn xác định như thế nào ở điều kiện cân bằng nhiệt?
- Ban đầu mới hình thành do có sự chênh lệch về nồng độ hạt tải điện nên có dòng khuếch tán, sau đó chất bán dẫn đạt điều kiện cân bằng nhiệt và phân bố nồng độ điện tử trong trường hợp này $n_0(x) \neq N_d(x)$, như vậy trong chất bán dẫn sẽ tạo ra những vùng tích điện, vì vậy tạo ra trường tĩnh điện bên trong chất bán dẫn.
- Ở điều kiện cân bằng nhiệt: $J_n = 0$ và $J_p = 0$ ở bất kỳ vị trí x nào
$$J_n(x) = J_{\text{drift}(n)}(x) + J_{\text{diff}(n)}(x) = 0$$
- Vậy $n_0(x) = ?$ để thỏa mãn điều kiện trên?

1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- **Điện trường trong chất bán dẫn ?**

+ Phương trình Gauss: $\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_s}$

Trong đó: ϵ_s - hệ số điện môi tuyệt đối.

+ Điện trường trong chất bán dẫn được xác định:

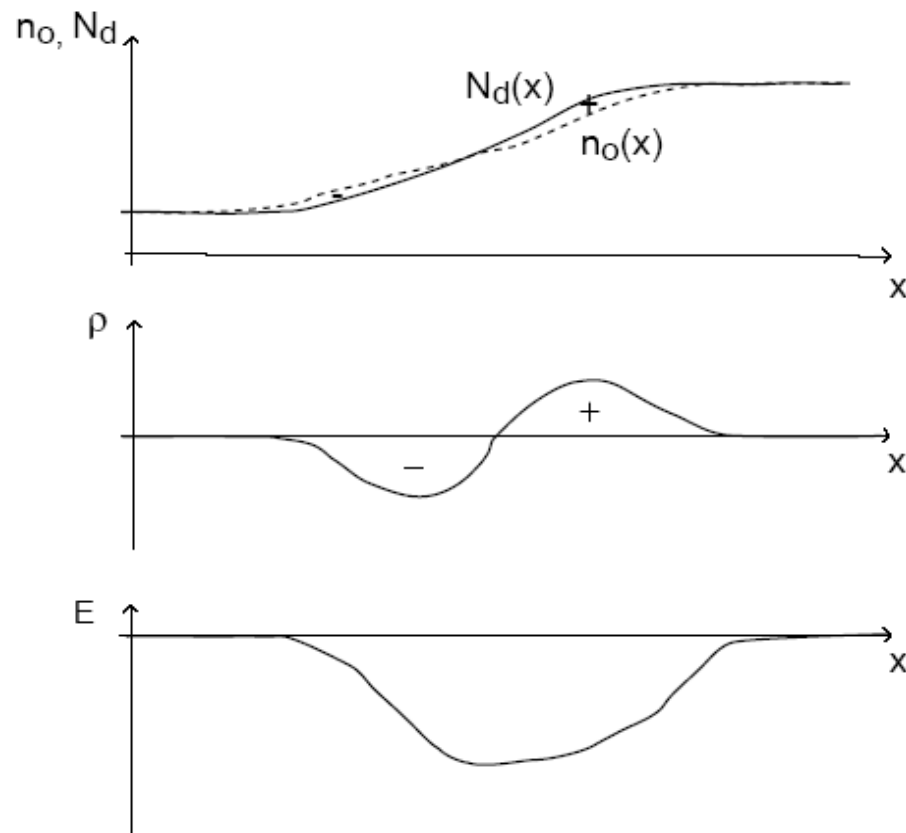
$$E(x) - E(0) = \frac{1}{\epsilon_s} \int_0^x \rho(x) dx$$

- **Điện thế tĩnh điện $\phi(x)$?**

$$\frac{d\phi}{dx} = -E$$

$$\rightarrow \phi(x) - \phi(0) = - \int_0^x E(x) dx$$

Đặt $\phi(0) = \phi_{\text{ref}}$



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

- Xác định $n_0(x)$, $\rho(x)$, $E(x)$, và $\phi(x)$?
- Xuất phát từ các PT:

$$J_n = qn_0\mu_n E + qD_n \frac{dn_0}{dx} = 0$$

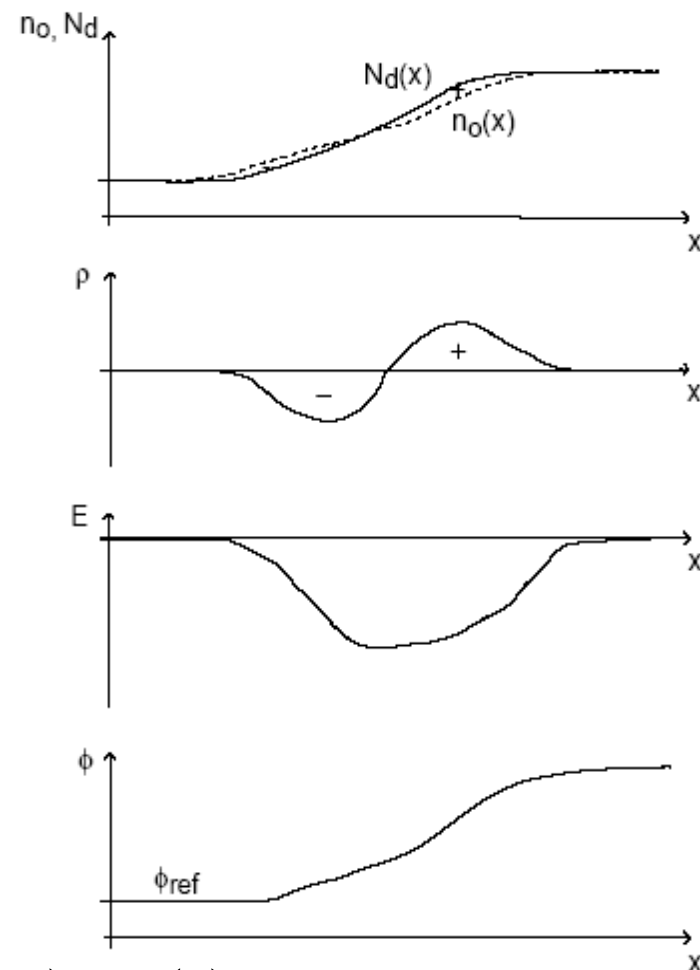
$$\frac{d\phi}{dx} = -E$$

$$\rightarrow \frac{d\theta}{dx} = \frac{D_n}{\mu_n} \frac{dn_0}{n_0} = \frac{D_n}{\mu_n} \frac{d \ln n_0}{dx} \quad (1)$$

$$\rightarrow \frac{dE}{dx} = \frac{-d^2\theta}{dx^2} = \frac{\rho}{\epsilon_s} = \frac{q}{\epsilon_s} (N_d - n_0) \quad (2)$$

- Thay (1) và (2) ta được

$$\frac{d^2 \ln n_0}{dx^2} = \frac{q^2}{\epsilon_s kT} (n - N_d) \quad (3)$$

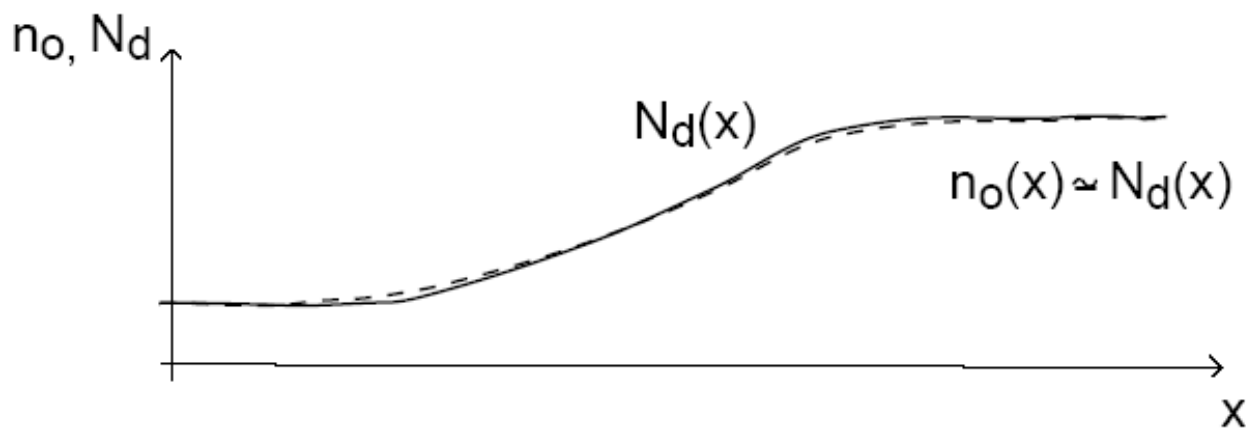


1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp

$$\frac{d^2 \ln n_0}{dx^2} = \frac{q^2}{\varepsilon_s k T} (n - N_d) \quad (3)$$

Giải phương trình trên sẽ xác định được $n_0(x)$ và các tham số còn lại.

- Tuy nhiên không tìm được cách giải chung cho hầu hết các trường hợp.
- Nếu $N_d(x)$ biến thiên rất nhỏ thì $n_0(x)$ cũng biến thiên rất nhỏ, do đó $d^2(\ln n_0)/dx^2$ rất nhỏ như vậy $n_0(x) \cong N_d(x)$, không xuất hiện các vùng điện tích không gian, trường hợp này gọi là **cận trung hòa**.



1.6.4.4. Chất bán dẫn tạp**Quan hệ Boltzman (Quan hệ giữa $\phi(x)$ và nồng độ hạt tải điện)**

Theo PT (1) $\frac{d\theta}{dx} = \frac{D_n}{\mu_n} \frac{d \ln n_0}{dx}$ Mà $\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{kT}{q} \rightarrow \frac{q}{kT} \frac{d\phi}{dx} = \frac{d(\ln n_o)}{dx}$

Tích phân 2 vế ta có:

$$\frac{q}{kT}(\phi - \phi_{ref}) = \ln n_o - \ln n_o(ref) = \ln \frac{n_o}{n_o(ref)}$$

$$\rightarrow n_o = n_o(ref) e^{q(\phi - \phi_{ref})/kT}$$

Mà chứng minh được: $\phi = \phi_{ref}$ khi $n_o = n_i$, Vậy ta có quan hệ Boltzman:

$$n_o = n_i e^{q\phi/kT} \rightarrow \phi = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_o}{n_i}$$

Tương tự với lỗ trống ta có:

$$p_o = n_i e^{-q\phi/kT} \rightarrow \phi = -\frac{kT}{q} \ln \frac{p_o}{n_i}$$

CHƯƠNG 3.

LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

- 1. Điện trở (Resistor)**
- 2. Tụ điện (Capacitor)**
- 3. Cuộn cảm (Inductor)**
- 4. Biến áp (Transformer)**

3.1. Điện trở (Resistors)

1.1. Định nghĩa

1.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở

1.3. Ký hiệu của điện trở

1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

1.5. Điện trở cao tần và mạch tương đương

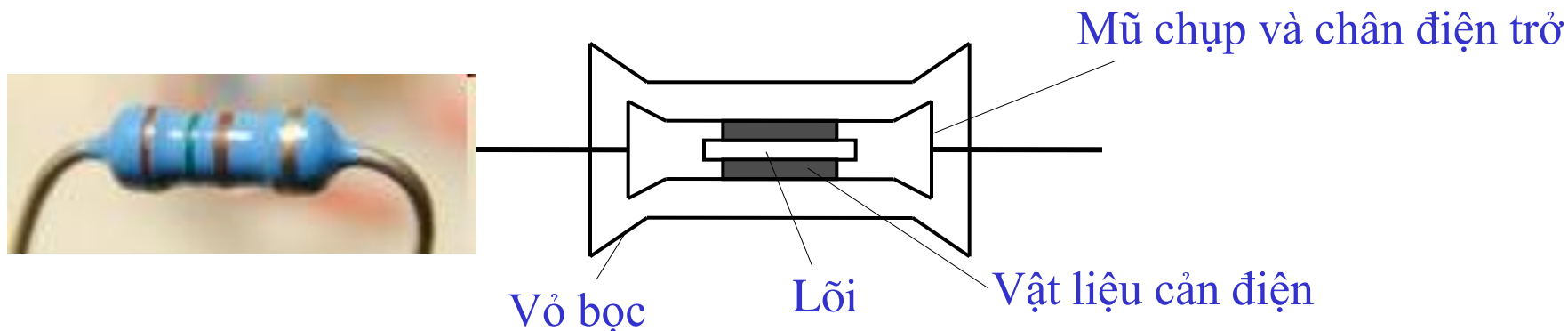
1.6. Phân loại

3.1.1 Định nghĩa

- Điện trở là phần tử có chức năng ngăn cản dòng điện trong mạch
- Mức độ ngăn cản dòng điện được đặc trưng bởi trị số điện trở R:

$$R=U/I$$

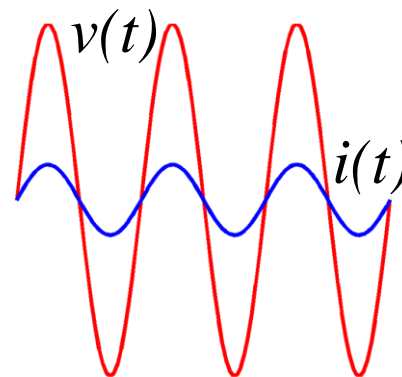
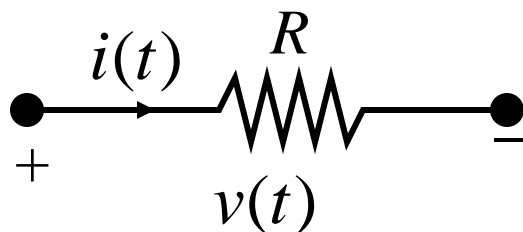
- Đơn vị đo: $\mu\Omega$, $m\Omega$, Ω , $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$, $T\Omega$
- Điện trở có rất nhiều ứng dụng như: định thiên cho các cấu kiện bán dẫn, điều khiển hệ số khuếch đại, cố định hằng số thời gian, phối hợp trở kháng, phân áp, tạo nhiệt ... Tùy theo ứng dụng, yêu cầu cụ thể và dựa vào đặc tính của các loại điện trở để lựa chọn thích hợp
- Kết cấu đơn giản của một điện trở thường:



3.1.1 Định nghĩa**Định luật Ohm**

Định luật Ohm

$$v(t) = i(t) R$$

Georg Ohm
(1789 – 1854)

Biểu thức định luật Ohm theo dòng điện

$$i(t) = v(t) G$$

Công suất tiêu tán tức thời trên điện trở:

$$p(t) = i(t) v(t) = i^2(t) R = \frac{v^2(t)}{R}$$

3.1.2. Các tham số kỹ thuật và đặc tính của điện trở

- Trị số điện trở và dung sai
- Hệ số nhiệt của điện trở
- Công suất tiêu tán danh định
- Tạp âm của điện trở



a. Trị số điện trở và dung sai

- Trị số của điện trở: (**Resistance [Ohm]-Ω**) được tính theo công thức:

Trong đó:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ - là điện trở suất của vật liệu dây dẫn cản điện

l - là chiều dài dây dẫn

S - là tiết diện của dây dẫn

- **Dung sai hay sai số (Resistor Tolerance)**: Biểu thị mức độ chênh lệch của trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

$$\frac{R_{t.t} - R_{d.d}}{R_{d.d}} 100 \quad [\%]$$

+ Tùy theo dung sai phân chia điện trở thành 5 cấp chính xác:

Cấp 005: có sai số $\pm 0,5 \%$

Cấp 01: có sai số $\pm 1 \%$

Cấp I: có sai số $\pm 5 \%$

Cấp II: có sai số $\pm 10 \%$

Cấp III: có sai số $\pm 20 \%$

b. Hệ số nhiệt của điện trở - TCR

- TCR (**temperature coefficient of resistance**): biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ, được tính như sau:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^{\circ}\text{C}]$$



$$\Delta R = \frac{R}{10^6} TCR \cdot \Delta T$$

- TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên 1°C (viết tắt là ppm/ $^{\circ}\text{C}$).
- Hệ số nhiệt của điện trở có thể âm hoặc dương tùy loại vật liệu:
 - + Kim loại thuần thường hệ số nhiệt dương.
 - + Một số hợp kim như constantin, manganin có hệ số điện trở nhiệt 0
 - + Carbon, than chì có hệ số điện trở nhiệt âm

c. Công suất tiêu tán danh định của điện trở ($P_{t.t.max}$)

- $P_{t.t.max}$ là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài không bị hỏng.

$$P_{t.t.max} = R \cdot I_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} \quad [W]$$

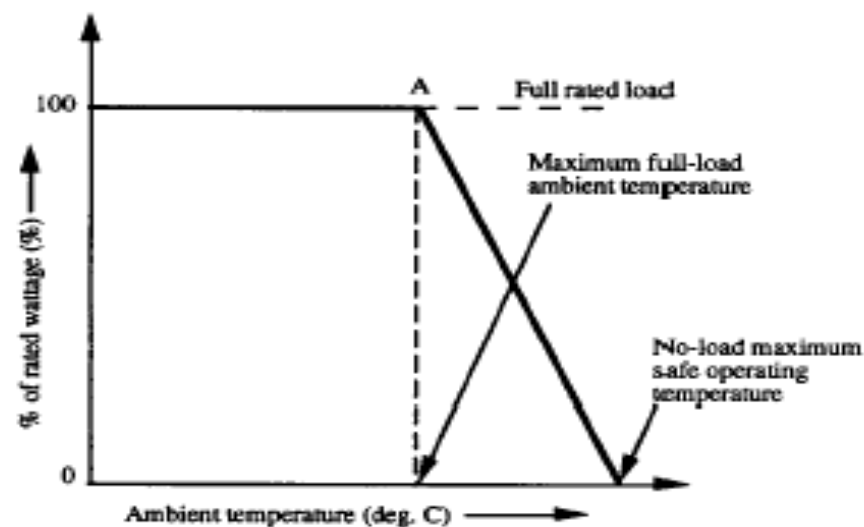


FIGURE 1.9 Typical derating curve for resistors.

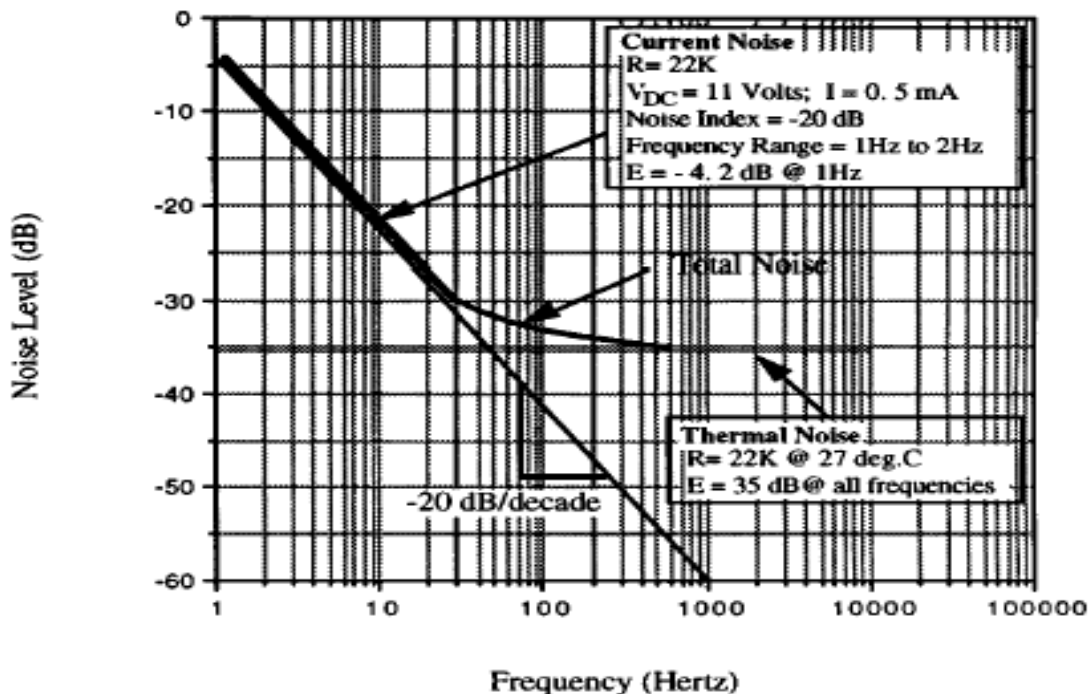
- Công suất tiêu tán danh định tiêu chuẩn cho các điện trở dây quấn nằm trong khoảng từ 1W đến 10W hoặc cao hơn nhiều. Để tỏa nhiệt phát sinh ra, yêu cầu diện tích bề mặt của điện trở phải lớn, do vậy, các điện trở công suất cao đều có kích thước lớn.
- Các điện trở than là các linh kiện có công suất tiêu tán danh định thấp, nằm trong khoảng 0,125W; 0,25W; 0,5W; 1W và 2W.

d. Tạp âm của điện trở

- Tạp âm của điện trở gồm:

+ **Tạp âm nhiệt (Thermal noise)**: sinh ra do sự chuyển động của các hạt mang điện bên trong điện trở do nhiệt độ

$$E_{RMS} = \sqrt{4.k.R.T.\Delta f}$$



E_{RMS} = the *Root-Mean-Square* or RMS voltage level

k = Boltzmann's constant ($1.38 \cdot 10^{-23}$)

T = temperature in Kelvin (Room temp = $27^\circ C = 300$ K)

R = resistance

Δf = Circuit bandwidth in Hz ($\Delta f = f_2 - f_1$)

d. Tạp âm của điện trở

+ **Tạp âm dòng điện (Current Noise)** : sinh do các thay đổi bên trong của điện trở khi có dòng điện chạy qua nó

$$E_{RMS} = U_{DC} \cdot 10^{NI/20} \sqrt{\log\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$NI = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{noise}}{U_{DC}} \right)$$

- Trong đó:

- + NI: Noise Index (Hệ số nhiễu).
- + U_{DC} : điện áp không đổi đặt trên 2 đầu điện trở
- + U_{noise} : điện áp tạp âm dòng điện
- + $f_1 \rightarrow f_2$: khoảng tần số làm việc của điện trở

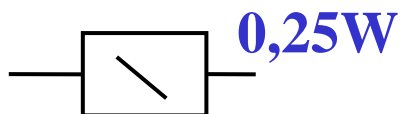
Mức tạp âm phụ thuộc chủ yếu vào loại vật liệu cản điện. Bột than nén có mức tạp âm cao nhất. Màng kim loại và dây quấn có mức tạp âm rất thấp.

3.1.3 Ký hiệu của điện trở trên các sơ đồ mạch

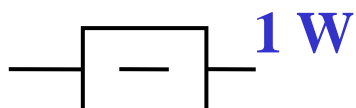
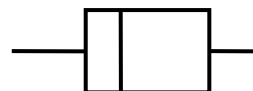
Điện trở thường



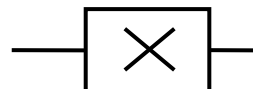
Điện trở công suất



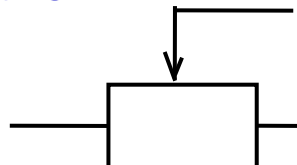
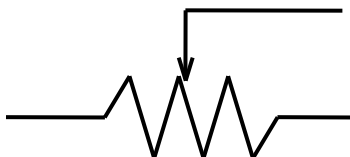
0,5W



10 W



Biến trở



1/2 watt



1 watt



2 watt (old style)



2 watt (new style)

3.1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

- **Cách ghi trực tiếp:** ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo trên thân của điện trở, ví dụ: 220KΩ 10%, 2W
- **Cách ghi theo quy ước:** có rất nhiều các quy ước khác nhau. Xét một số cách quy ước thông dụng:

+ **Quy ước đơn giản:** Không ghi đơn vị Ωm, R (hoặc E) = Ω,

$$M = M\Omega, K = K\Omega$$

Ví dụ: **2M**=2MΩ, **0K47**=0,47KΩ = 470Ω, **100K** = 100 KΩ,

$$220E = 220\Omega, R47 = 0,47\Omega$$

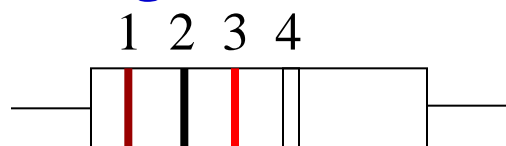
+ **Quy ước theo mã:** Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai qui ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

$$XYZ = XY * 10^Z \Omega$$

Ví dụ: **103F** = 10000 Ω ± 1% = 10K ± 1%

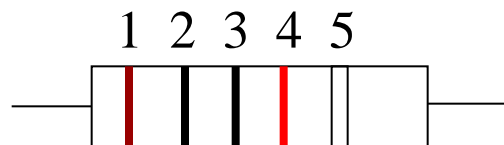
$$153G = 15000 \Omega \pm 2\% = 15 K\Omega \pm 2\%$$

$$4703J = 470000 \Omega \pm 5\% = 470K\Omega \pm 5\%$$

3.1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở**+ Quy ước màu:****- Loại 4 vòng màu:**

=> Vòng 1,2 chỉ trị số, Vòng 3 chỉ số số không thêm vào, Vòng 4: dung sai)

(Nâu-đen-đỏ-Không màu) =

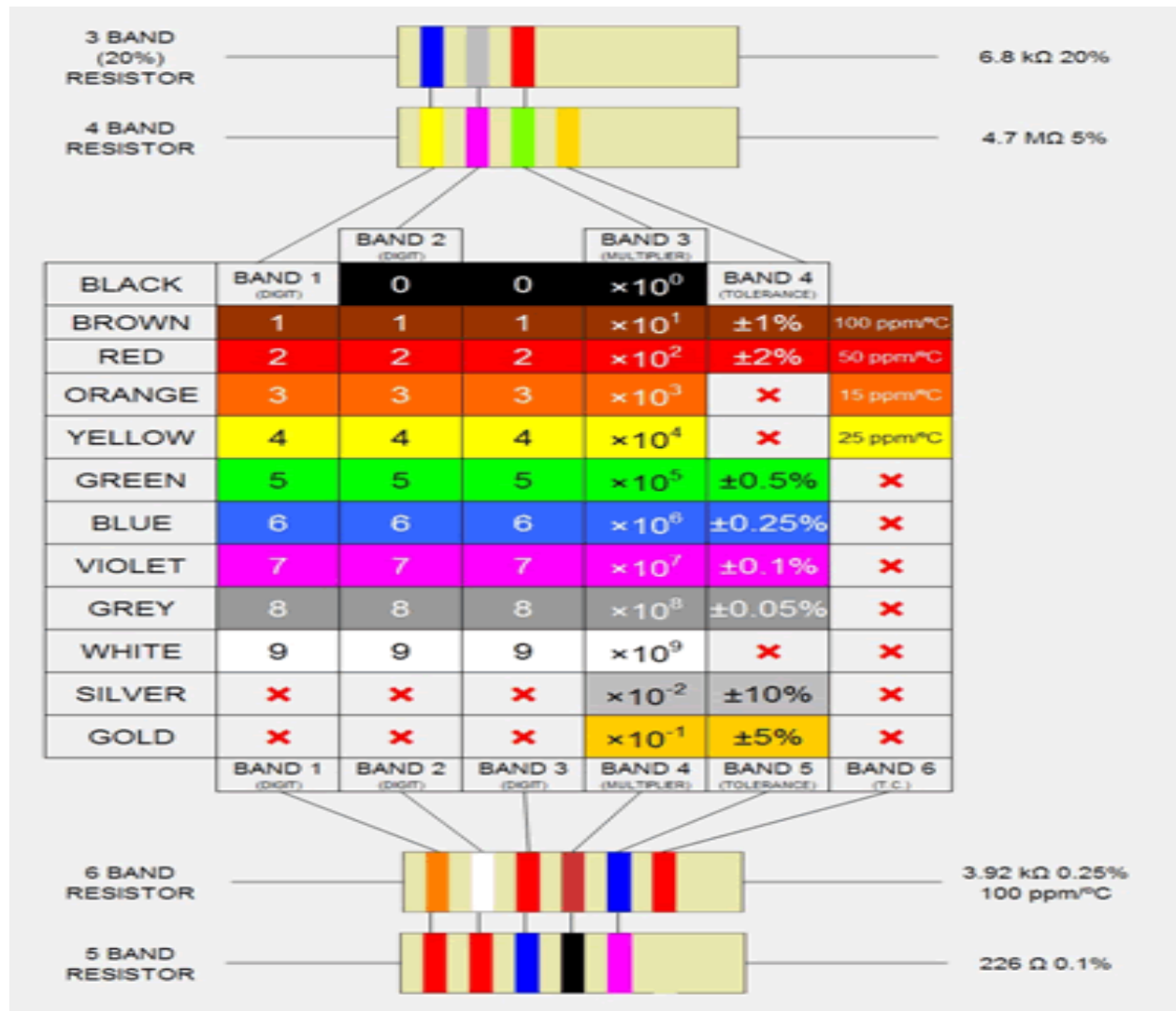
- Loại 5 vạch màu:

=> Vòng 1,2,3 chỉ trị số, Vòng 4 chỉ số số không thêm vào, Vòng 5: dung sai)

(Nâu-đen-đen-đỏ-Không màu) =

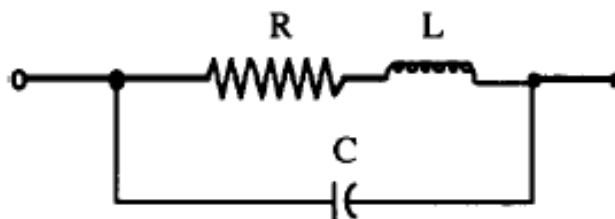
Màu	Giá trị
Đen	0
Nâu	1
Đỏ	2
Cam	3
Vàng	4
Lục	5
Lam	6
Tím	7
Xám	8
Trắng	9
Vàng kim	0,1 / 5%
Bạch kim	0,001 / 10%
Không màu	- / 20%

3.1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở



3.1.5 Điện trở cao tần và mạch tương đương

- Khi làm việc ở tần số cao điện cảm và điện dung ký sinh là đáng kể, Sơ đồ tương đương của điện trở ở tần số cao như sau:



- Tần số làm việc hiệu dụng của điện trở được xác định sao cho sự sai khác giữa trở kháng tương đương của nó so với giá trị điện trở danh định không vượt quá dung sai.
- Đặc tính tần số của điện trở phụ thuộc vào cấu trúc, vật liệu chế tạo... Kích thước điện trở càng nhỏ thì đặc tính tần số càng tốt, điện trở cao tần thường có tỷ lệ kích thước là từ 4:1 đến 10:1

3.1.6 Phân loại điện trở

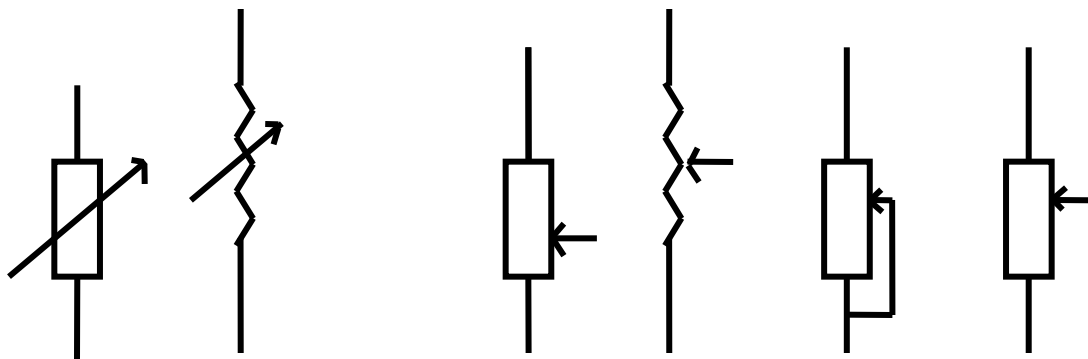
- + Điện trở có trị số cố định
- + Điện trở có trị số thay đổi

a. Điện trở cố định

- Thường được phân loại theo vật liệu cản điện
- + Điện trở than tổng hợp (than nén): cấu trúc từ hỗn hợp bột cacbon (bột than chì) được đóng thành khuôn, có kích thước nhỏ và giá thành rất rẻ.
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn
- + Điện trở màng hợp kim, màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng.
- + Điện trở cermet (gốm kim loại).
- Ngoài ra còn phân loại theo kết cấu đầu nối để phục vụ lắp ráp; phân loại theo loại vỏ bọc để dùng ở những môi trường khác nhau; phân loại theo loại ứng dụng....

3.1.6 Phân loại điện trở**b. Biến trở**

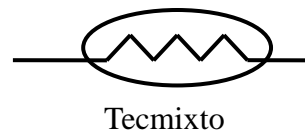
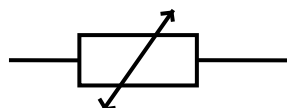
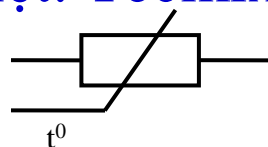
- Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn. Loại này ít gặp trong các mạch điện trở.
- Chiết áp. Cấu tạo của biến trở so với điện trở cố định chủ yếu là có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.



a. loại kiểm soát dòng b. loại chiết áp

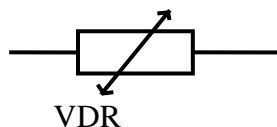
Một số điện trở đặc biệt

- Điện trở nhiệt: Tecmixto



Tcmixto

- Điện trở Varixto:



VDR

- Điện trở Mêgôm : có trị số điện trở từ $10^8 \div 10^{15}$.

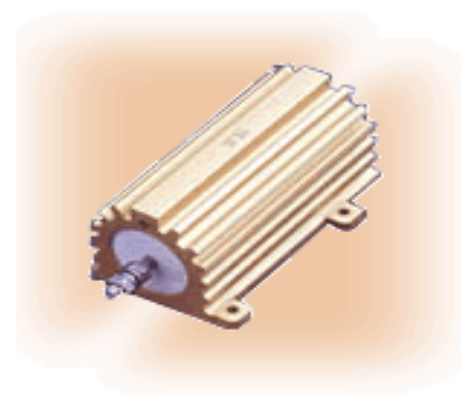
- Điện trở cao áp: Là điện trở chịu được điện áp cao từ 5 KV đến 20 KV.

- Điện trở chuẩn: Là các điện trở dùng vật liệu dây quấn đặc biệt có độ ổn định cao.

- Mạng điện trở: Mạng điện trở là một loại vi mạch tích hợp có 2 hàng chân. Một phương pháp chế tạo là dùng công nghệ màng mỏng, trong đó dung dịch chất dẫn điện được lắng đọng trong một hình dạng theo yêu cầu.

Hình ảnh của một số loại điện trở**Điện trở dây cuốn chính xác**

- Sai số nhỏ : 0,005%
- $TCR = 3\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
- Đáp ứng tần số tốt, tần số cộng hưởng cao, dùng nhiều trong ứng dụng tần số RF,
- Công suất nhỏ.
- Thường được dùng trong các thiết bị đo DC độ chính xác cao, điện trở chuẩn cho các bộ điều chỉnh điện áp, mạch biến đổi DAC.

**Chuẩn NIST (National Institute of Standards and Technology)**

- Sai số rất nhỏ : 0,001%
- $TCR = 3\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
- Đáp ứng tần số tốt, tần số cộng hưởng cao, dùng nhiều trong các thiết bị đo, kiểm chuẩn.

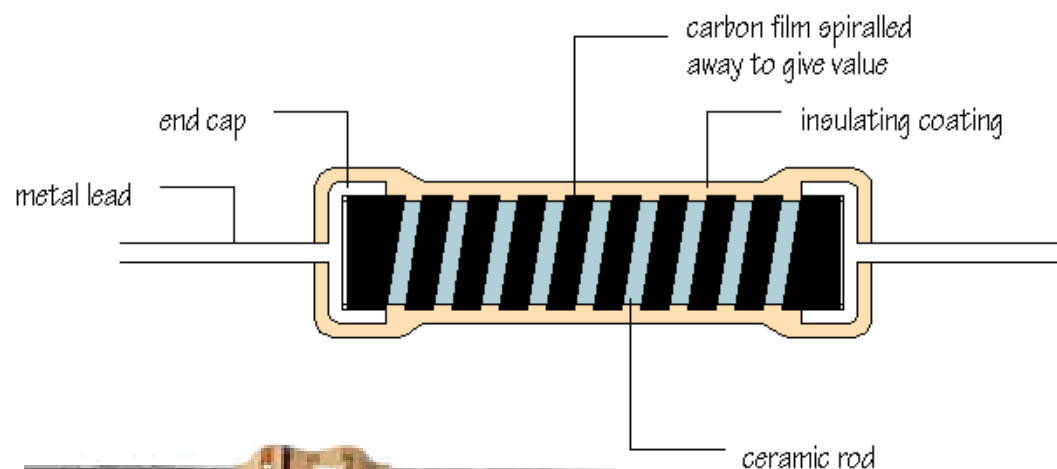


Hình ảnh của một số loại điện trở

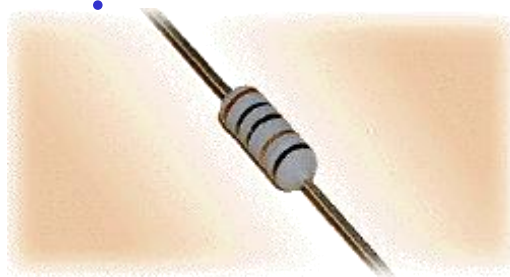
Điện trở dây cuốn công suất lớn



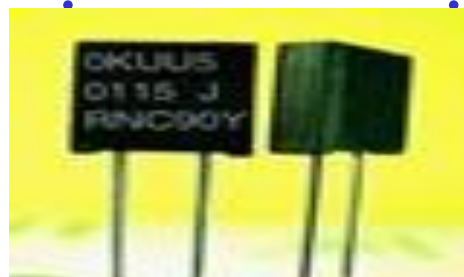
Điện trở film cacbon



Điện trở cầu chì



Điện trở lá kim loại

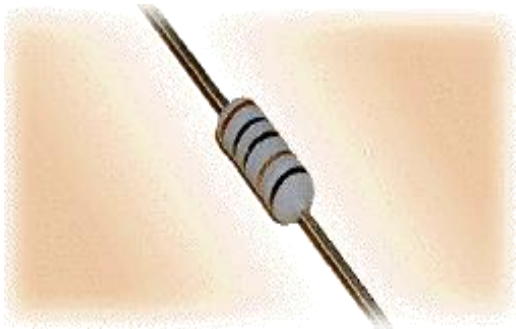


Điện trở film oxit kim loại



Hình ảnh của một số loại điện trở

Điện trở cầu chì



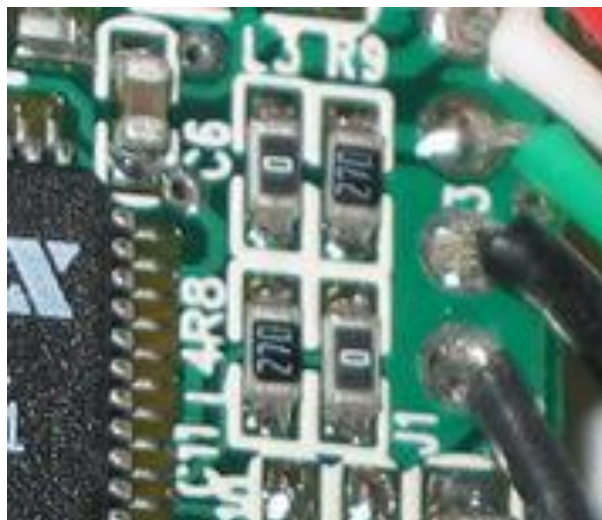
Điện trở lá kim loại



Điện trở film oxit kim loại

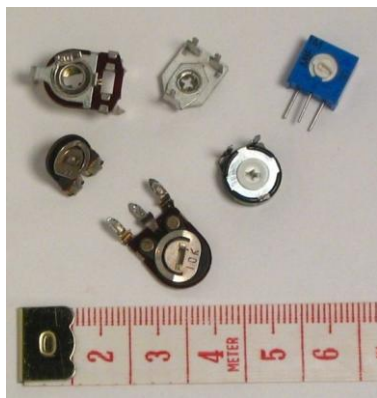


Điện trở SMD



Điện trở SMD (*surface mount devices*) - Loại linh kiện gắn trên bề mặt mạch in, sử dụng trong công nghệ SMT (Surface mount technology) # (through-hole technology).

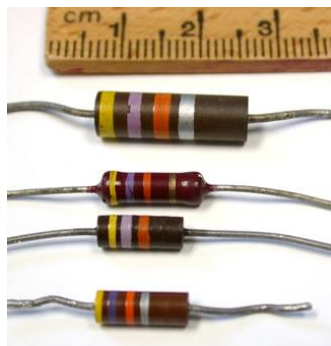
Hình ảnh của một số loại điện trở



Potentiometers, or
"trimpots"



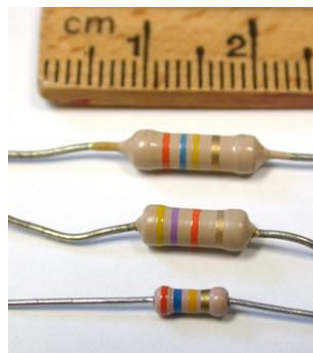
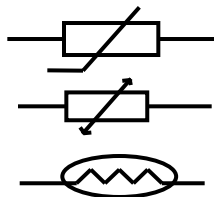
Surface Mount
Resistors (SMR)



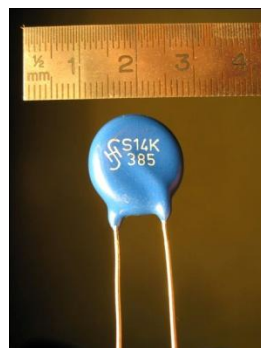
Carbon composition



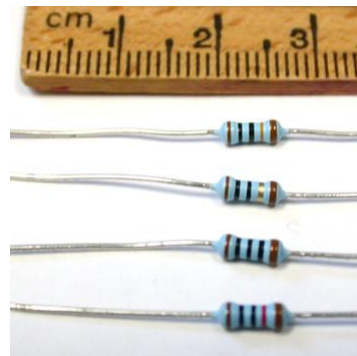
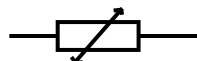
Thermistor



Carbon film



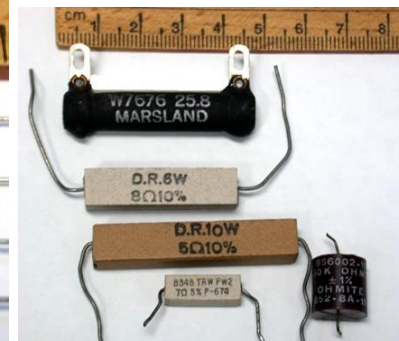
Varistor



Metal film

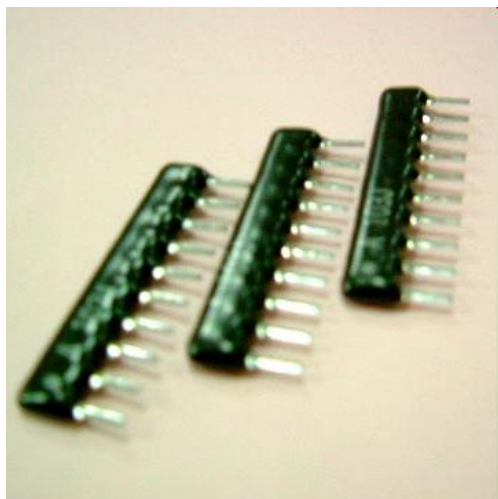


Light dependent
resistor (LDR)

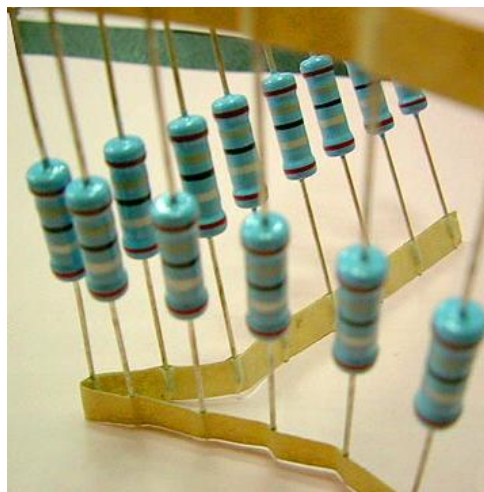


High Power
(wire wound; ceramic)

Hình ảnh của một số loại điện trở



Mạng điện trở Metal Film



Metal film



Metal Oxide Film



Cement Resistors



Resistance:1ohm;
Resistance
Tolerance:+/-1%;
Power Rating:25W;
Resistor Element
Material:Thick Film;

Biến trở (Variable Resistors)



3. 2. Tụ điện (Capacitors)

3.2.1. Định nghĩa

3.2.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

3.2.3. Ký hiệu của tụ điện

3.2.4 Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện

3.2.5. Sơ đồ tương đương

3.2.6. Phân loại

3.2.1 Định nghĩa

-Tụ điện là linh kiện dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt trên nó theo công thức:

$$Q = C \cdot U \quad [\text{culông}]$$

-Dung lượng của tụ điện C [F]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

ϵ_r - hằng số điện môi tương đối của chất điện môi

ϵ_0 - hằng số điện môi tuyệt đối của không khí

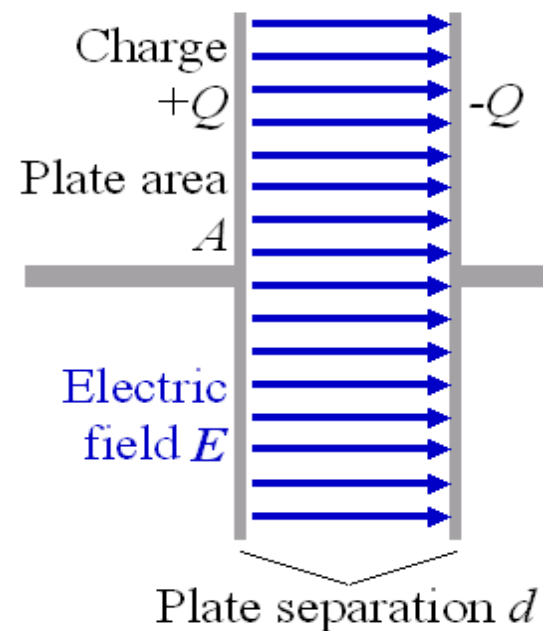
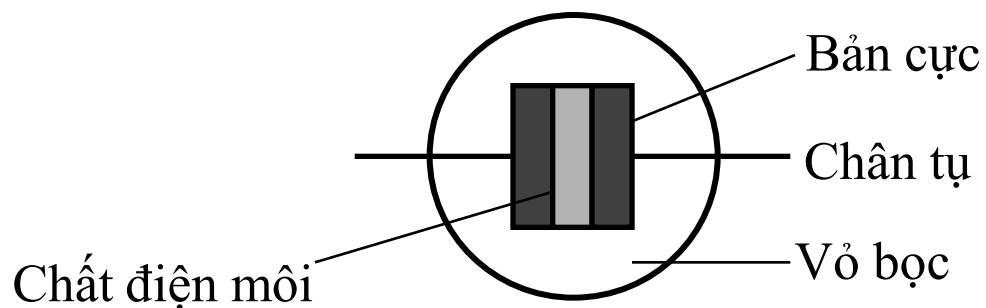
hay chân không

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8,84 \cdot 10^{-12}$$

S - diện tích hữu dụng của bản cực [m^2]

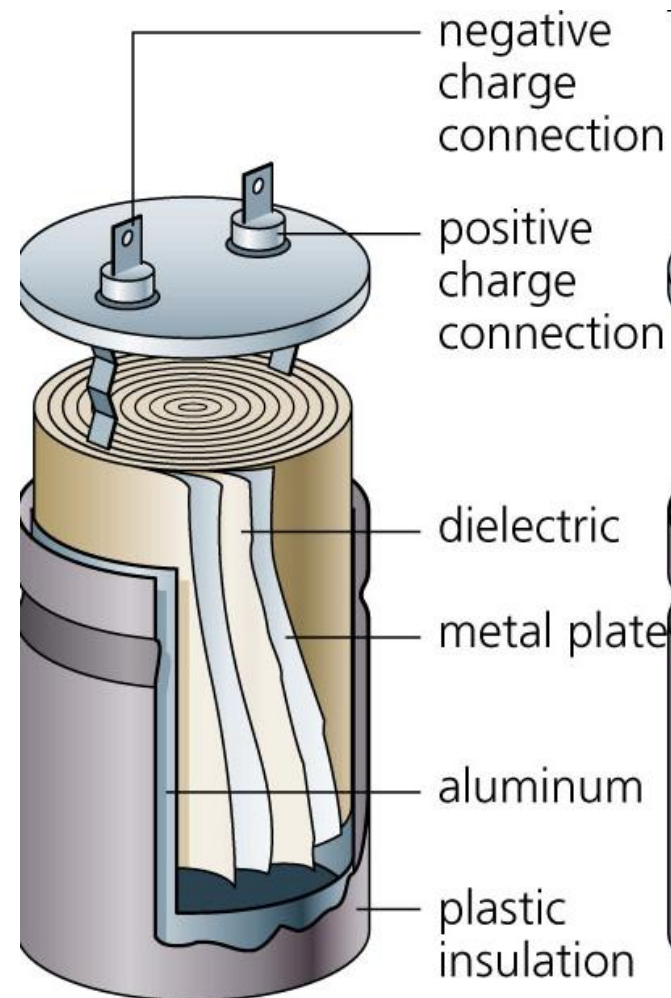
d - khoảng cách giữa 2 bản cực [m]

- Đơn vị đo C : F, μF , nF, pF ...



3.2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

- Trị số dung lượng và dung sai
- Điện áp làm việc
- Hệ số nhiệt
- Dòng điện rò
- Sự phân cực



3.2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

+ **Trị số dung lượng (C)**

+ **Dung sai của tụ điện:** Đây là tham số chỉ độ chính xác của trị số dung lượng thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai của tụ điện được tính theo công thức :

$$\frac{C_{t.t} - C_{d.d}}{C_{d.d}} . 100\%$$

+ **Điện áp làm việc:** Điện áp cực đại có thể cung cấp cho tụ điện hay còn gọi là "**điện áp làm việc một chiều**", nếu quá điện áp này lớp cách điện sẽ bị đánh thủng và làm hỏng tụ.

3.2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện**+ Hệ số nhiệt**

Mỗi một loại tụ điện chịu một ảnh hưởng với khoảng nhiệt độ do nhà sản xuất xác định. Khoảng nhiệt độ tiêu chuẩn thường từ:

-20⁰C đến +65⁰C; -40⁰C đến +65⁰C ; -55⁰C đến +125⁰C

- Để đánh giá sự thay đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi người ta dùng hệ số nhiệt TCC và tính theo công thức sau:

$$TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^{\circ}\text{C}]$$

- TCC thường tính bằng đơn vị phần triệu trên 1⁰C (viết tắt ppm/⁰C) và nó đánh giá sự thay đổi cực đại của trị số điện dung theo nhiệt độ.
- Khi giá trị điện dung thay đổi nhiều theo nhiệt độ, người ta dùng giới hạn cực đại thay đổi giá trị điện dung trên khoảng nhiệt độ làm việc và tính bằng %:

$$\% \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta T * TCC}{10^6} 100 \quad [\%]$$

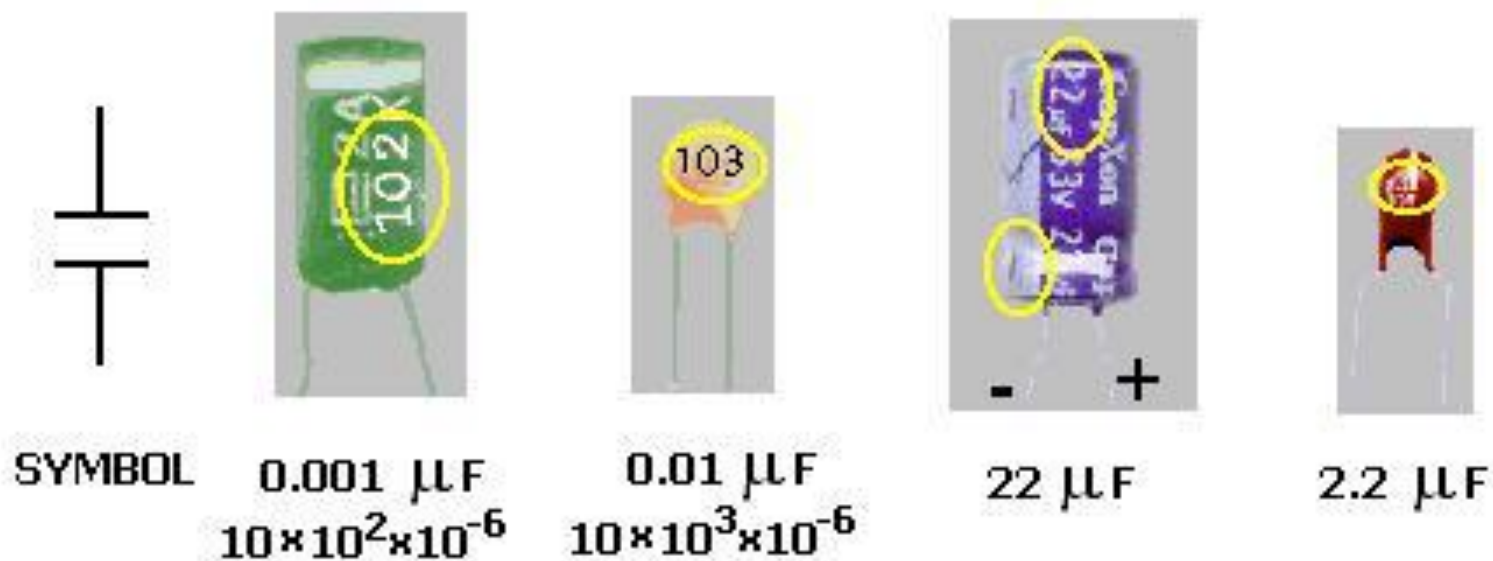
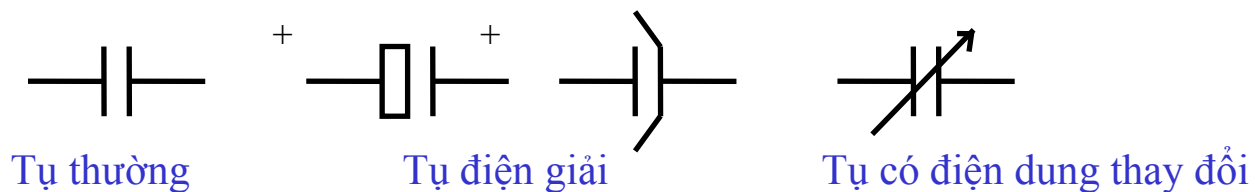
3.2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện**d. Dòng điện rò**

- Do chất cách điện đặt giữa 2 bản cực không lý tưởng nên sẽ có một dòng điện rò rất bé chạy qua giữa 2 bản cực của tụ điện. Trị số dòng điện rò phụ thuộc vào điện trở cách điện của chất điện môi.
- Đặc trưng cho dòng điện rò có thể dùng tham số điện trở cách điện của tụ (có trị số khoảng vài $M\Omega$ và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ) nếu tụ có dòng điện rò nhỏ
- Tụ điện màng Plastic có điện trở cách điện cao hơn $100000 M\Omega$, còn tụ điện điện giải thì dòng điện rò có thể lên tới vài μA khi điện áp đặt vào 2 bản cực của tụ chỉ 10 Vôn.
- Đối với điện áp xoay chiều, tổn hao công suất trong tụ được thể hiện qua hệ số tổn hao D:

$$D = \frac{1}{Q} = \frac{P_{th}}{P_{pk}}$$

3.2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện**e. Sự phân cực**

- Các tụ điện điện giải ở các chân tụ thường có đánh dấu cực tính dương (dấu +) hoặc âm (dấu -) gọi là sự phân cực của tụ điện. Khi sử dụng phải đấu tụ vào mạch sao cho đúng cực tính của tụ. Như vậy chỉ sử dụng loại tụ này vào những vị trí có điện áp làm việc không thay đổi cực tính.

3.2.3 Ký hiệu của tụ

Tụ điện lớn thường có tham số điện dung ghi trực tiếp, tụ điện nhỏ thường dùng mã: **XYZ** = **XY** * 10^Z pF

3.2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

- Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc (điện áp lớn nhất). Có 2 cách ghi cơ bản:
- **Ghi trực tiếp**: cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

Ví dụ 1: Trên thân một tụ mica có ghi: $5.000\text{PF} \pm 20\% \quad 600\text{V}$

- **Cách ghi gián tiếp theo qui ước :**

+ **Ghi theo qui ước số**: (Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen), Kiểu giá trị ghi bằng số nguyên thì đơn vị tương ứng là pF, nếu kiểu giá trị ghi bằng số thập phân thì đơn vị tương ứng là μF .

Ví dụ 2: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: tức giá trị điện dung là 47 pF, điện áp làm việc một chiều là 630 Vdc.

Ví dụ 3: Trên thân tụ có ghi 0.01/100: tức là giá trị điện dung là 0,01 μF và điện áp làm việc một chiều là 100 Vdc.

+ **Quy ước theo mã**: (Giống như điện trở, Các chữ cái chỉ dung sai qui ước như trang bên): **XYZ** = **XY** * 10^Z pF

$123\text{K}/50\text{V} = 12000 \text{ pF} \pm 10\%$ và điện áp làm việc lớn nhất 50 Vdc

3.2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

Table 2 Letter tolerance code	
Letter symbol	Tolerance of capacitor
B	+/- 0.10%
C	+/- 0.25%
D	+/- 0.5%
E	+/- 0.5%
F	+/- 1%
G	+/- 2%
H	+/- 3%
J	+/- 5%
K	+/- 10%
M	+/- 20%
N	+/- 0.05%
P	+100% , -0%
Z	+80% , -20%

3.2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

+ Ghi theo quy ước màu:

- Loại có 4 vạch màu:

Hai vạch đầu là số có nghĩa thực của nó

Vạch thứ ba là số nhân (đơn vị pF) hoặc số số 0 cần thêm vào

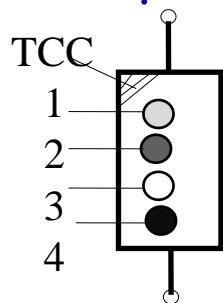
Vạch thứ tư chỉ điện áp làm việc.

- Loại có 5 vạch màu:

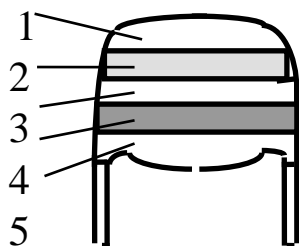
Ba vạch màu đầu giống như loại 4 vạch màu

Vạch màu thứ tư chỉ % dung sai

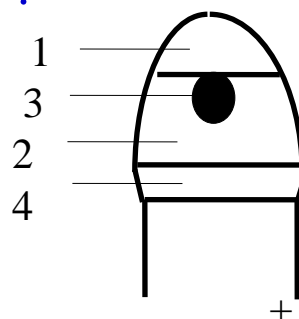
Vạch màu thứ 5 chỉ điện áp làm việc



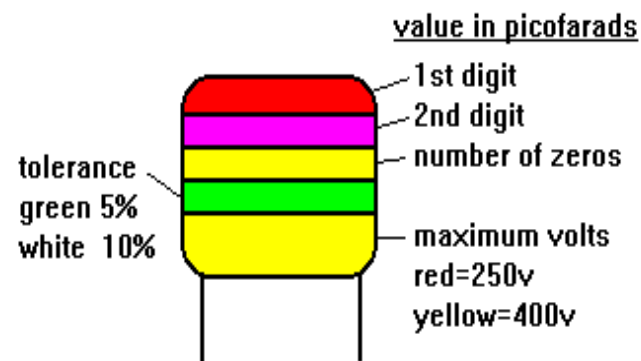
Tụ hình ống



Tụ hình kẹo



Tụ Tantan



3.2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

- Vạch màu chỉ TCC, đơn vị ppm/
°C:

Đỏ tím: TCC = 100

Vàng: TCC = 220

Đen: = 0

Xanh lá cây: = 330

Đỏ: = 75

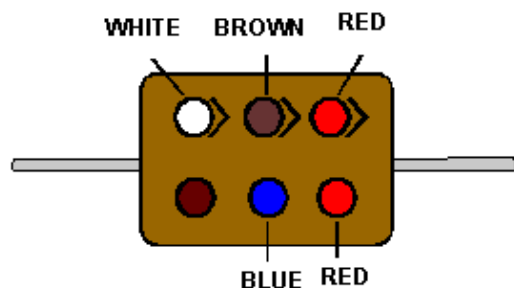
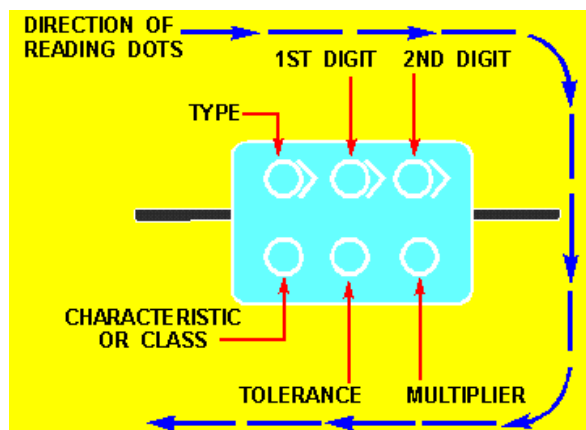
Xanh lam: = 430

Cam: = 150

Tím: = 750

3.2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

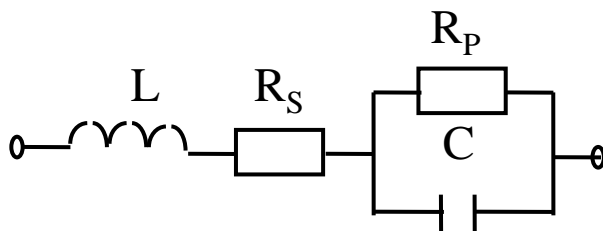
+ Cách ghi bằng chấm màu, sử dụng 3 hoặc 6 chấm màu, Cả 2 kiểu này đều như nhau nhưng kiểu 6 chấm màu nhiều thông tin hơn như: Hệ số nhiệt, dung sai...



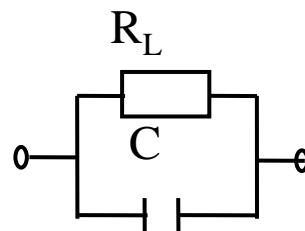
TITLE	COLOR	1ST DIGIT	2ND DIGIT	MULTIPLIER	TOLERANCE (PERCENT)	CHARACTERISTIC OR CLASS
JAN, MICA	BLACK	0	0	1.0	± 20	APPLIED TO TEMPERATURE COEFFICIENT OR METHODS OF TESTING
	BROWN	1	1	10		
	RED	2	2	100	± 2	
	ORANGE	3	3	1,000	± 3	
	YELLOW	4	4	10,000	± 4	
	GREEN	5	5	100,000	± 5	
	BLUE	6	6	1,000,000	± 6	
	VIOLET	7	7	10,000,000	± 7	
	GRAY	8	8	100,000,000	± 8	
EIA, MICA	WHITE	9	9	1,000,000,000	± 9	
MOLDED PAPER	GOLD			.1		
	SILVER			.01	± 10	
	BODY			.01	± 20	

= Tụ Mica, điện dung 1200 pF, dung sai 6%.

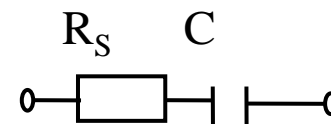
3.2.5 Sơ đồ tương đương của tụ



a. Sơ đồ tương đương
tổng quát



b. Sơ đồ tương đương
song song



c. sơ đồ tương đương
nối tiếp

L - là điện cảm của đầu nối, dây dẫn (ở tần số thấp $L \approx 0$)

R_S - là điện trở của đầu nối, dây dẫn và bản cực (R_S thường rất nhỏ)

R_P - là điện trở rò của chất cách điện và vỏ bọc.

R_L, R_S - là điện trở rò của chất cách điện

C - là tụ điện lý tưởng

3.2.6 Phân loại tụ điện

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. Tụ điện có trị số điện dung cố định:

+ *Tụ giấy*: chất điện môi là giấy, thường có trị số điện dung khoảng từ 500 pF đến 50 μ F và điện áp làm việc đến 600 Vdc. Tụ giấy có giá thành rẻ nhất so với các loại tụ có cùng trị số điện dung.

Ưu điểm: kích thước nhỏ, điện dung lớn.

Nhược điểm: Tổn hao điện môi lớn, TCC lớn.

+ *Tụ màng chất dẻo*: chất điện môi là chất dẻo, có điện trở cách điện lớn hơn 100000 M Ω . Điện áp làm việc cao khoảng 600V. Dung sai tiêu chuẩn của tụ là $\pm 2,5\%$; hệ số nhiệt từ 60 đến 150 ppm/ $^{\circ}$ C

Tụ màng chất dẻo nhỏ hơn tụ giấy nhưng đắt hơn. Giá trị điện dung của tụ tiêu chuẩn nằm trong khoảng từ 5 pF đến 0,47 μ F.

3.2.6 Phân loại tụ điện

+ Tụ mi ca: chất điện môi là mi ca, tụ mi ca tiêu chuẩn có giá trị điện dung khoảng từ 1 pF đến 0,1 μ F và điện áp làm việc cao đến 3500V tùy.

Nhược điểm: giá thành của tụ cao.

Ưu điểm: Tổn hao điện môi nhỏ, Điện trở cách điện rất cao, chịu được nhiệt độ cao.

+ Tụ gốm: chất điện môi là gốm. Màng kim loại được lắng đọng trên mỗi mặt của một đĩa gốm mỏng và dây dẫn nối tới màng kim loại. Tất cả được bọc trong một vỏ chất dẻo.

Giá trị điện dung của tụ gốm tiêu chuẩn khoảng từ 1 pF đến 0,1 μ F, với điện áp làm việc một chiều đến 1000 Vdc

Đặc điểm của tụ gốm là kích thước nhỏ, điện dung lớn, có tính ổn định rất tốt, có thể làm việc lâu dài mà không lão hoá.

+ Tụ dầu: chất điện môi là dầu

Tụ dầu có điện dung lớn, chịu được điện áp cao

Có tính năng cách điện tốt, có thể chế tạo thành tụ cao áp.

Kết cấu đơn giản, dễ sản xuất.

3.2.6 Phân loại tụ điện

- + Tụ điện giải nhôm: Cấu trúc cơ bản là giống tụ giấy. Hai lá nhôm mỏng làm hai bản cực đặt cách nhau bằng lớp vải mỏng được tẩm chất điện phân (dung dịch điện phân), sau đó được quấn lại và cho vào trong một khối trụ bằng nhôm để bảo vệ.

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400 Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 μF . Điện áp làm việc thấp và dòng rò tương đối lớn

- + Tụ tantan: (chất điện giải Tantan) Đây là một loại tụ điện giải, Bột tantan được cô đặc thành dạng hình trụ, sau đó được nhấn chìm vào một hộp chứa chất điện phân. Dung dịch điện phân sẽ thấm vào chất tantan. Khi đặt một điện áp một chiều lên hai chân tụ thì một lớp oxit mỏng được tạo thành ở vùng tiếp xúc của chất điện phân và tantan.

Tụ tantan có điện áp làm việc lên đến 630 Vdc nhưng giá trị điện dung chỉ khoảng 3,5 μF .

3.2.6 Phân loại tụ điện

b. *Tụ điện có trị số điện dung thay đổi*

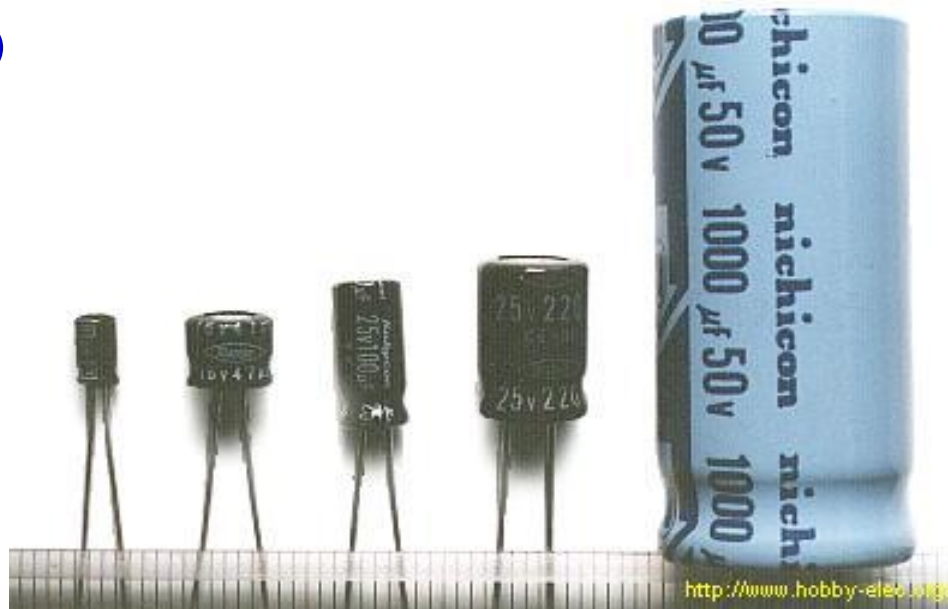
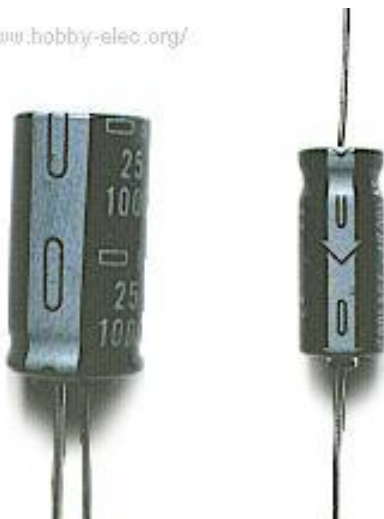
- + *Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay*: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh (lá giữ cố định) chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mica, màng chất dẻo, gốm, v.v..
- + *Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap)*, có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thuỷ tinh hình ống... Trong các loại Trimcap chuyên dùng, thường gặp nhất là loại chất điện môi gốm. Để thay đổi trị số điện dung ta thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh. Khoảng điều chỉnh của tụ từ 1,5 pF đến 3 pF, hoặc từ 7 pF đến 45 pF và từ 20 pF đến 120 pF tùy theo hệ số nhiệt cần thiết.

3.2.7. Ứng dụng

- + Tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều, nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là **tụ liên lạc**.
- + Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất (ví dụ như tạp âm), gọi là **tụ thoát**.
- + Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là **tụ cộng hưởng**.
- + Tụ dùng trong mạch lọc gọi là **tụ lọc**. Tụ dùng trong các mạch chia dải tần làm việc, tụ cộng hưởng v.v..Tụ dùng cho mục đích này thuộc nhóm chính xác.
- + **Các tụ trong nhóm đa dụng** dùng để liên lạc, lọc nguồn điện, thoát tín hiệu ... ngoài ra tụ còn dùng để trữ năng lượng, định thời...
- + Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân.

Một số hình ảnh của Tụ điện**Tụ hoá (Electrolytic Capacitors)**

<http://www.hobby-elec.org/>



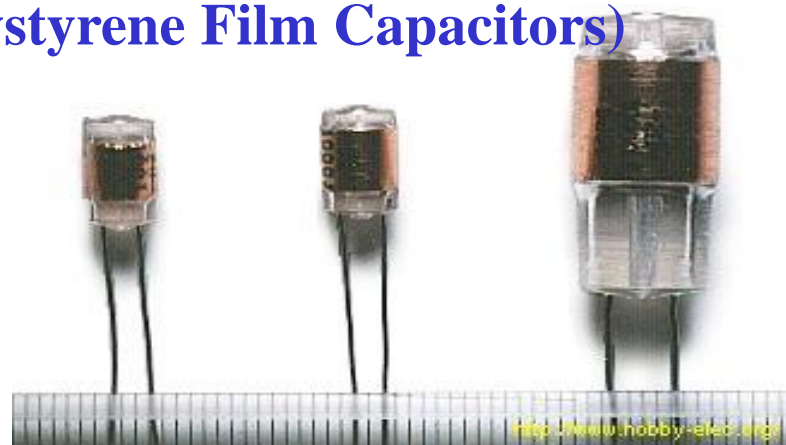
<http://www.hobby-elec.org/>

Tụ Tantan (Tantalum Capacitors)

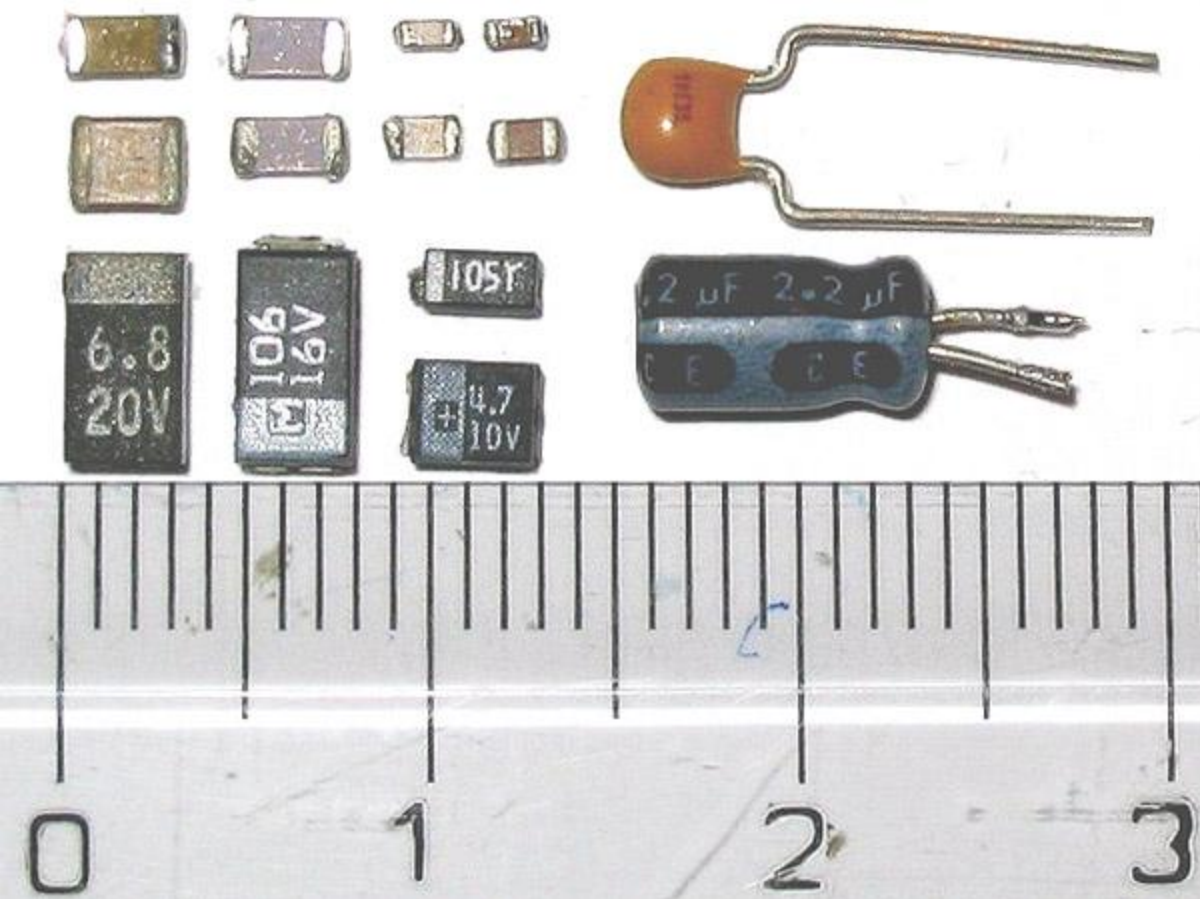
<http://www.hobby-elec.org/>



<http://www.hobby-elec.org/>

Một số hình ảnh của Tụ điện**Tụ gốm (Ceramic Capacitors)****Tụ gốm nhiều tầng (Multilayer Ceramic Capacitors)****Tụ film nhựa (Polystyrene Film Capacitors)**<http://www.hobby-elec.org/>**Tụ Mica**

Một số hình ảnh của Tụ điện



Capacitors: SDM ceramic at top left; SMD tantalum at bottom left; through-hole tantalum at top right; through-hole electrolytic at bottom right. Major scale divisions are cm.

Surface mount technology (SMT)

Một số hình ảnh của Tụ điện

Various types of capacitors.



tantalum
capacitor



Polypropylene
Capacitor



Polyester
capacitor



High
Voltage/power
Capacitors



Multilayer Chip
Ceramic Capacitor



Motor Running &
Start Capacitors



Variable
Capacitor



Tuning/Air
Variable
Capacitor

3.3. Cuộn cảm (Inductor)

3.3.1. Định nghĩa

3.3.2 Ký hiệu của cuộn dây.

3.3.3 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn dây

3.3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn dây


3.3.5. Mạch tương đương


3.3.6. Phân loại


3.3.1 Định nghĩa

- Cuộn cảm là phần tử sinh ra hiện tượng tự cảm khi dòng điện chạy qua nó biến thiên. Khi dòng điện qua cuộn cảm biến thiên sẽ tạo ra từ thông thay đổi và một sức điện từ được cảm ứng ngay trong cuộn cảm hoặc có thể cảm ứng một sức điện từ sang cuộn cảm kề cận với nó.
- Mức độ cảm ứng trong mỗi trường hợp phụ thuộc vào độ tự cảm của cuộn cảm hoặc sự hồ cảm giữa hai cuộn cảm. Các cuộn cảm được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định.
- Cuộn cảm cũng có thể đấu nối tiếp hoặc song song. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng.

3.3.2. Ký hiệu của cuộn cảm

L

Cuộn dây lõi Ferit

L

Cuộn dây lõi sắt từ

L

Cuộn dây lõi không khí



3.3.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm

- **Độ tự cảm (L)**
- **Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q)**
- **Tần số làm việc giới hạn ($f_{g.h.}$)**

3.3.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm**a. Độ tự cảm (L)**

$$L = \mu \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}$$

Trong đó: S - là tiết diện của cuộn dây (m²)

N - là số vòng dây

l - là chiều dài của cuộn dây (m)

μ - độ từ thẩm tuyệt đối của vật liệu lõi (H/ m)

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

- Đơn vị đo: ... μ H, mH, H...

- Độ từ thẩm tuyệt đối của một số loại vật liệu

Chân không: $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

Không khí: 1.257×10^{-6} H/m

Nickel 7.54×10^{-4} H/m

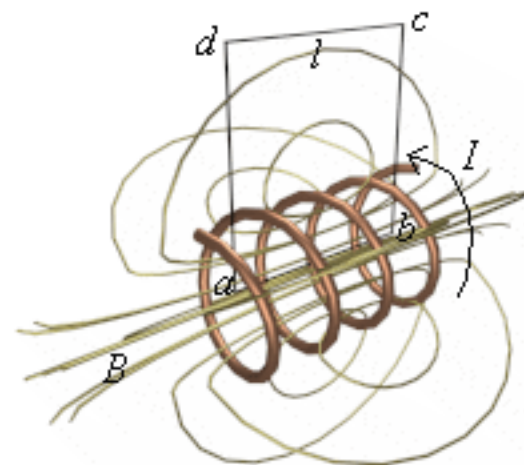
Silicon GO steel 5.03×10^{-2} H/m

Ferrite T38 1.26×10^{-2} H/m

Ferrite U M33 9.42×10^{-4} H/m

Iron 6.28×10^{-3} H/m

supermalloy 1.26 H/m

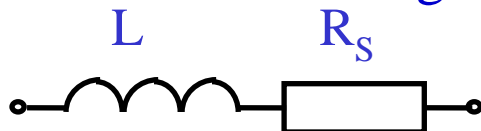


3.3.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm**b. Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q)**

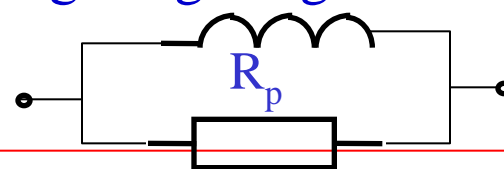
- **Dung sai của độ tự cảm:** Đây là tham số chỉ độ chính xác của độ từ cảm thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai được tính theo công thức :

$$\frac{L_{t.t} - L_{d.d}}{L_{d.d}} \cdot 100\%$$

- Một cuộn cảm lý tưởng không có tổn hao khi có dòng điện chạy qua, thực tế luôn tồn hao đó là công suất điện tổn hao để làm nóng cuộn dây. Tổn hao này được biểu thị bởi một điện trở tổn hao R_S .
- Để đánh giá chất lượng của cuộn cảm dùng Hệ số phẩm chất Q của cuộn cảm: (Cuộn cảm tổn hao nhỏ dùng sơ đồ tương đương nối tiếp, cuộn cảm tổn hao lớn dùng sơ đồ tương đương song song).



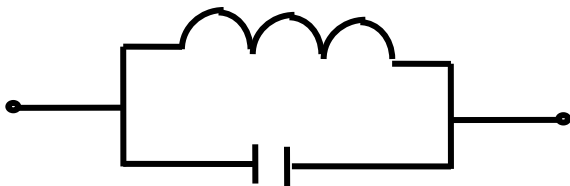
$$Q_{nt} = \frac{1}{D} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{X_L}{R_S} = \frac{\omega L}{R_S}$$



$$Q_{//} = \frac{1}{D} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{R_P}{X_L} = \frac{R_P}{\omega L}$$

3.3.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm**c. Tần số làm việc giới hạn ($f_{g.h.}$)**

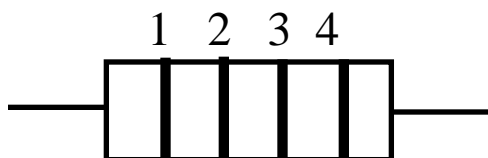
- Khi tần số làm việc nhỏ bỏ qua điện dung phân tán giữa các vòng dây của cuộn cảm, nhưng khi làm việc ở tần số cao điện dung này là đáng kể.
- Do đó ở tần số đủ cao cuộn cảm trở thành một mạch cộng hưởng song song. Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng song song này gọi là tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây f_0 .
- Nếu cuộn dây làm việc ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng riêng này thì cuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của nó.



$$f_{lv \max} < f_{gh} = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3.3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn cảm

- **Ghi trực tiếp**: cách ghi đầy đủ các tham số độ tự cảm L, dung sai, loại lõi cuộn cảm... Cách này chỉ dùng cho các loại cuộn cảm có kích thước lớn.
- **Cách ghi gián tiếp theo qui ước** :
 - + *Ghi quy ước theo màu*: Dùng cho các cuộn cảm nhỏ:
- **Loại 4 vạch màu**



Vòng màu 1: chỉ số có nghĩa thứ nhất hoặc chấm thập phân

Vòng màu 2: chỉ số có nghĩa thứ hai hoặc chấm thập phân

Vòng màu 3: chỉ số 0 cần thêm vào, đơn vị đo là μH

Vòng màu 4: chỉ dung sai %.

3.3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn cảm

Bảng mã màu dùng cho các cuộn cảm

Màu	Giá trị của các số	Dung sai
Đen	0	-
Nâu	1	-
Đỏ	2	-
Cam	3	-
Vàng	4	-
Xanh lá cây	5	-
Xanh lam	6	-
Tím	7	-
Xám	8	-
Trắng	9	-
Bạch kim	-	10%
Vàng kim	Chấm thập phân	5%
Không vạch màu	-	20%

3.3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn cảm

INDUCTOR COLOR GUIDE

Result Is In μH

4-BAND-CODE



$270\mu\text{H} \pm 5\%$

COLOR	1st BAND	2nd BAND	MULTIPLIER	TOLERANCE
BLACK	0	0	1	$\pm 20\%$
BROWN	1	1	10	Military $\pm 1\%$
RED	2	2	100	Military $\pm 2\%$
ORANGE	3	3	1,000	Military $\pm 3\%$
YELLOW	4	4	10,000	Military $\pm 4\%$
GREEN	5	5		
BLUE	6	6		
VIOLET	7	7		
GREY	8	8		
WHITE	9	9		
NONE				Military $\pm 20\%$
GOLD			0.1 / Mil. Dec. Pt.	Both $\pm 5\%$
SILVER			0.01	Both $\pm 10\%$

Military Identifier



$6.8\mu\text{H} \pm 10\%$

MILITARY CODE

Electronix Express / RSR
<http://www.elexp.com>

1-800-972-2225
In NJ 732-381-8020

- Dựa theo ứng dụng:

- + *Cuộn cộng hưởng* – cuộn cảm dùng trong các mạch cộng hưởng LC.
- + *Cuộn lọc* – cuộn cảm dùng trong các bộ lọc một chiều.
- + *Cuộn chặn* dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..

- Dựa vào loại lõi của cuộn cảm:

+ *Cuộn dây lõi không khí*: Loại cuộn dây không lõi hoặc cuốn trên các cột không từ tính, thường dùng là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao. Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:

- Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
- Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
- Điện dung riêng nhỏ.
- Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
- Bền chắc, kích thước và giá thành phải hợp lý.

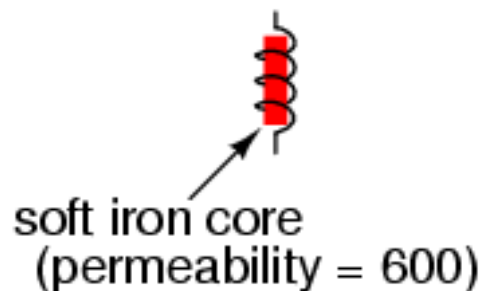
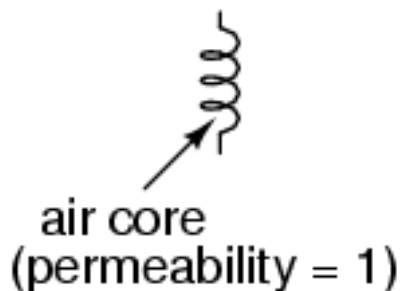
3.3.5 Phân loại và ứng dụng

- + *Cuộn cảm lõi sắt bụi*: Dùng bột sắt nguyên chất trộn với chất dính kết không từ tính là lõi cuộn cảm, thường dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt từ.
- + *Cuộn cảm lõi Ferit* : thường là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và trung tần. Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nôi, hạt đậu, v.v.. Dùng lõi hình xuyên để tạo điện cảm cao, tuy vậy lại dễ bị bão hòa từ khi có thành phần một chiều.
- + *Cuộn cảm lõi sắt từ*: Lõi của cuộn cảm thường hợp chất sắt - silic, hoặc sắt- niken Đây là các cuộn cảm làm việc ở tần số thấp. Dùng dây đồng đã được tráng men cách điện quấn thành nhiều lớp có cách điện giữa các lớp và được tẩm chống ẩm.

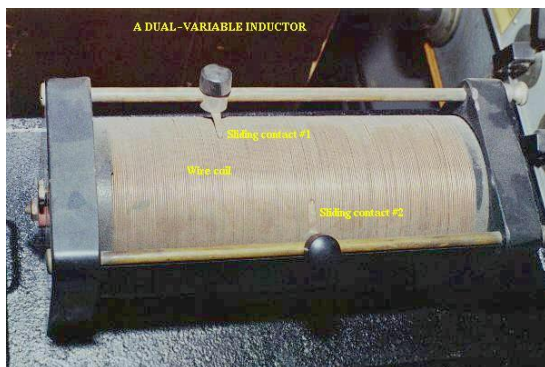
3.3.6 Một số hình ảnh của cuộn cảm

less inductance

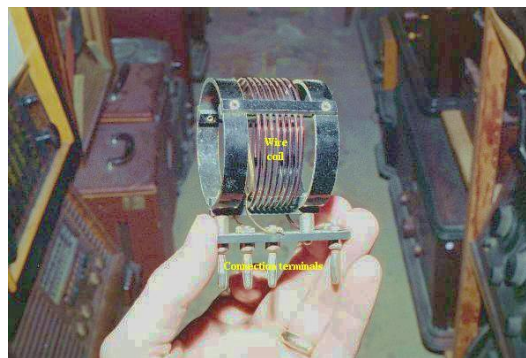
more inductance



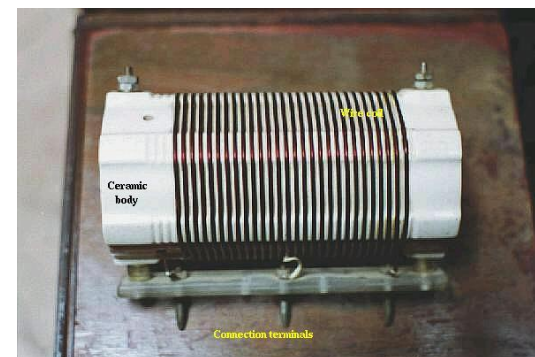
A core material with greater magnetic permeability results in greater magnetic field flux for any given amount of field force (amp-turns).



Variable inductors: providing a way to vary the number of wire turns in use at any given time, or by varying the core material (a sliding core that can be moved in and out of the coil).



Fixed-value inductor: another antique air-core unit built for radios. The connection terminals can be seen at the bottom, as well as the few turns of relatively thick



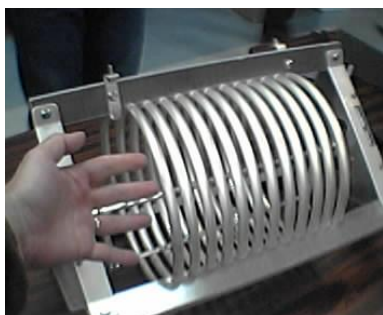
Inductor (of greater inductance value), also intended for radio applications. Its wire coil is wound around a white ceramic tube for greater rigidity

3.3.6 Một số hình ảnh của cuộn cảm

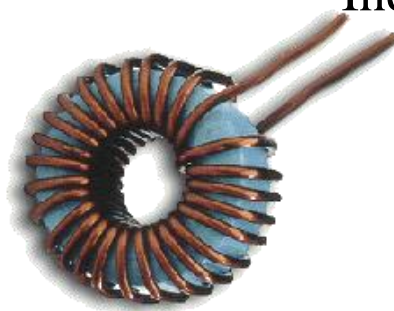
Ferrite Rod Inductor



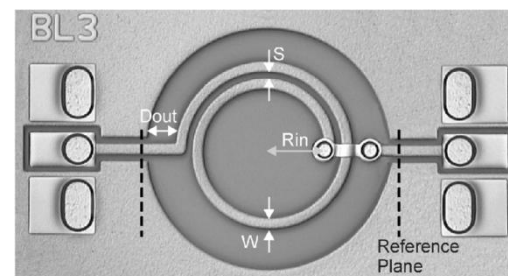
SMD Wound Chip Inductor



Roller inductor for FM diplexer



DC filter choke Inductor



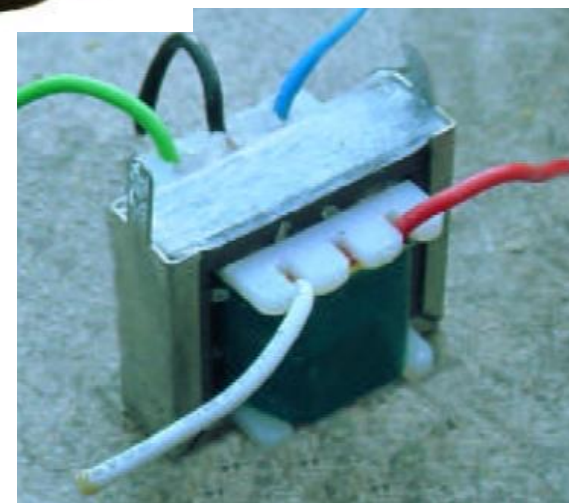
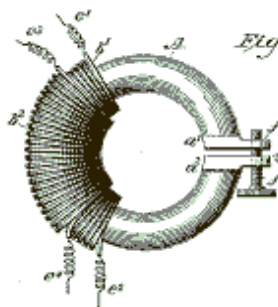
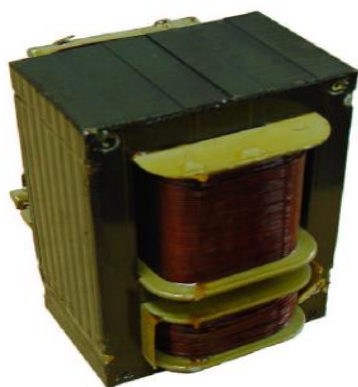
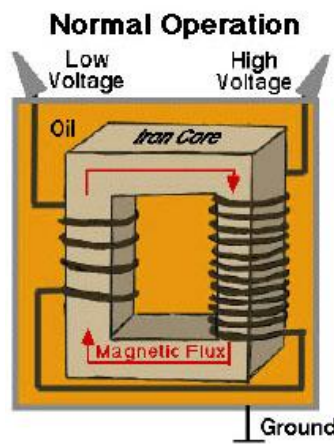
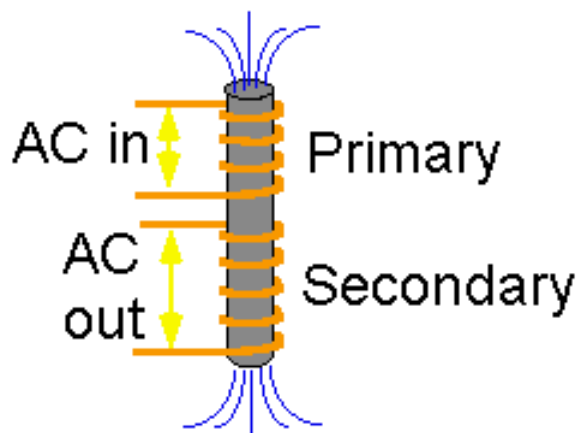
Spiral inductor with $N=1.5$ turns, $W=20\ \mu\text{m}$, $S=10\ \mu\text{m}$ and $R_{in}=100\ \mu\text{m}$ (area= $0.14\ \text{mm}^2$).
(called On-chip inductor)

3.4. Biến áp (Transformer)

- 3.4.1. Định nghĩa
- 3.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp
- 3.4.3. Ký hiệu của biến áp
- 3.4.4. Phân loại và ứng dụng

3.4.1. Định nghĩa

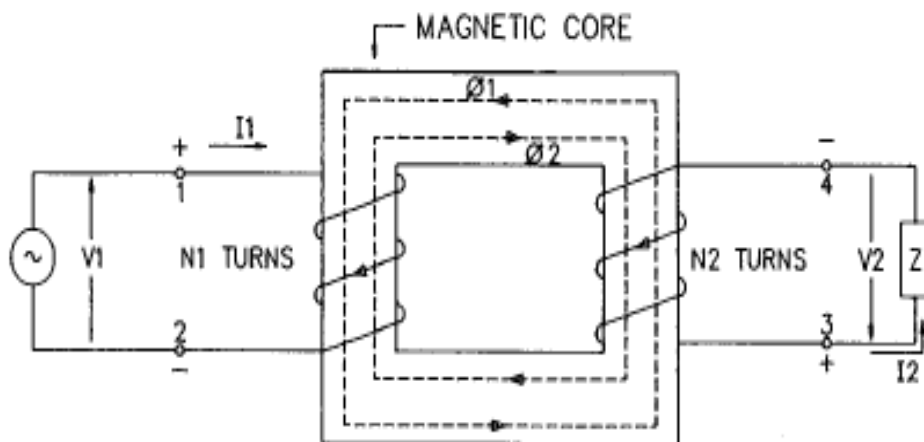
- Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải gọi là cuộn thứ cấp.



Nguyên lý hoạt động của biến áp

- Hoạt động dựa theo nguyên lý cảm ứng điện từ.
- Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp, thứ cấp:

$$L_1 = \mu \cdot N_1^2 \frac{S}{l} \quad L_2 = \mu \cdot N_2^2 \frac{S}{l}$$



- Khi dòng điện I_1 biến thiên tạo ra từ thông biến thiên, từ thông này liên kết sang cuộn sơ cấp và tạo ra điện áp cảm ứng e_L trên cuộn thứ cấp theo hệ số tỉ lệ gọi là hệ số hồ cảm M . Lượng từ thông liên kết giữa cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp được đánh giá bằng hệ số ghép biến áp K .

$$M = \frac{e_L}{\Delta i_1 / \Delta t} \quad [H] \quad e_L = \frac{\Delta \Phi_2 \cdot N_2}{\Delta t}; \quad \Delta \Phi_2 = K \cdot \Delta \Phi_1 = K \cdot \mu \cdot \Delta i_1 \cdot N_1 \cdot \frac{S}{l}$$

$$\rightarrow M = K \cdot N_1 N_2 \cdot \mu \cdot \frac{S}{l} = K \cdot \sqrt{L_1 L_2} \rightarrow K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

3.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp

- Hệ số ghép biến áp K
- Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp
- Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp
- Hiệu suất của biến áp

3.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp

a. Hệ số ghép biến áp K

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

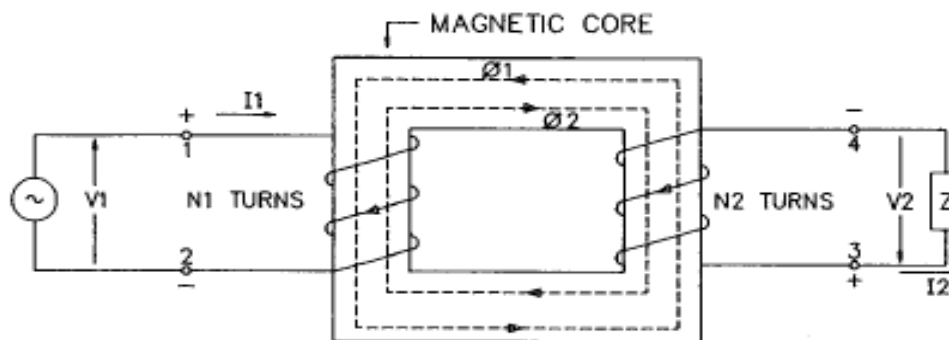
M - hệ số hồ cảm của biến áp

L_1 và L_2 - hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp tương ứng.

- Khi $K = 1$ là trường hợp ghép lý tưởng, khi đó toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại.
- Trên thực tế sử dụng, khi $K \approx 1$ gọi là hai cuộn ghép chặt
khi $K \ll 1$ gọi là hai cuộn ghép lỏng

3.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp

b. Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp



- Điện áp cảm ứng ở cuộn sơ cấp và thứ cấp quan hệ với nhau theo tỉ số:

$$\frac{U_2}{U_1} = K \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

- $\frac{N_2}{N_1}$ Hệ số biến áp

+ $N_1 = N_2$ thì $U_1 = U_2$ ta có biến áp 1 : 1

+ $N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ ta có biến áp tăng áp

+ $N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ ta có biến áp hạ áp

3.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp

c. Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp

- Quan hệ giữa dòng điện ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp theo tỉ số:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = K \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

d. Hiệu suất của biến áp

- Các biến áp thực tế đều có tổn thất, do đó để đánh giá chất lượng dùng thông số hiệu suất của biến áp. Hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo %:

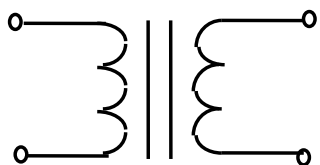
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn thất}}} \cdot 100\%$$

Trong đó P_1 - công suất đưa vào cuộn sơ cấp

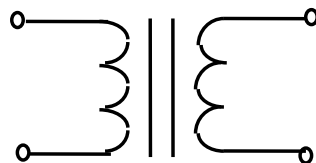
P_2 - công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn thất}}$ - Công suất điện mất mát do tổn thất của lõi và tổn thất của dây cuộn.

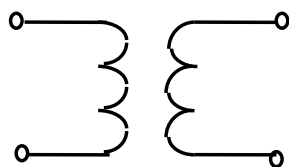
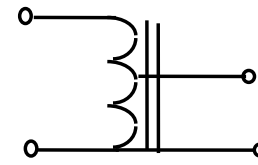
- Muốn giảm tổn hao năng lượng trong lõi sắt từ, dây đồng và từ thông rò người ta dùng loại lõi làm từ các lá sắt từ mỏng, có quét sơn cách điện, dùng dây đồng có tiết diện lớn và ghép chặt.

3.4.3. Ký hiệu của biến áp

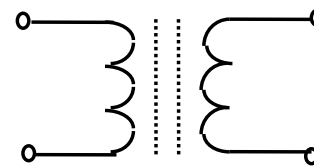
a. Biến áp âm tần



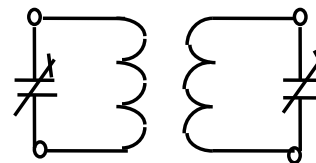
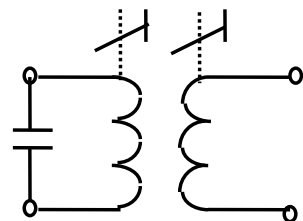
b. Biến áp nguồn lõi sắt và biến áp tự ngẫu



c. Biến áp cao tần không lõi



d. Biến áp lõi Ferit



e. Biến áp trung tần

3.4.4 Phân loại và ứng dụng

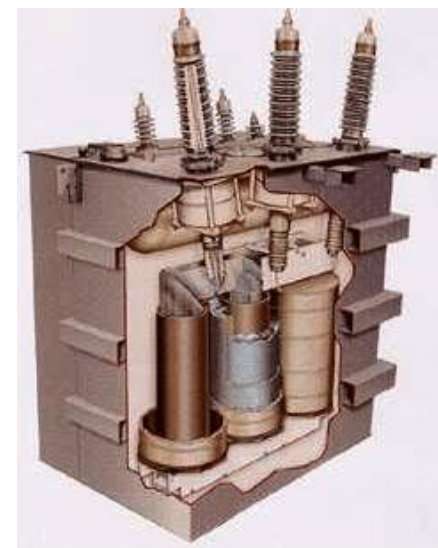
- Ứng dụng để biến đổi điện áp xoay chiều.
- Dùng để cách ly giữa mạch các mạch điện, dùng loại biến áp có hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với nhau.
- Biến đổi biến đổi tổng trở, dùng biến áp ghép chặt
- Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc, dùng loại ghép lỏng.

...

- Tùy theo ứng dụng cụ thể mà biến áp có những yêu cầu khác nhau và thường được phân loại theo ứng dụng:
 - + ***Biến áp cộng hưởng*** : Đây là biến áp trung tần hoặc cao tần có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit, ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi...

3.4.4 Phân loại và ứng dụng

- + **Biến áp cấp điện (biến áp nguồn)** : Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi khỏi nguồn điện. Các yêu cầu chính:
- Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
 - Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
 - Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt (chọn vật liệu lõi và bề dày lá thép thích hợp).
 - Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.
 - Kết cấu bên ngoài có thể dùng:
 - Loại hở có tấm (giá thành thấp)
 - Loại bọc kín có tấm (bảo vệ cơ học tốt)
 - Loại hàn kín, đổ dầu (thích hợp với khí hậu nhiệt đới, dễ sửa chữa)
 - Loại đổ khuôn nhựa (thích hợp với khí hậu nhiệt đới, không sửa chữa được)



3.4.4 Phân loại và ứng dụng

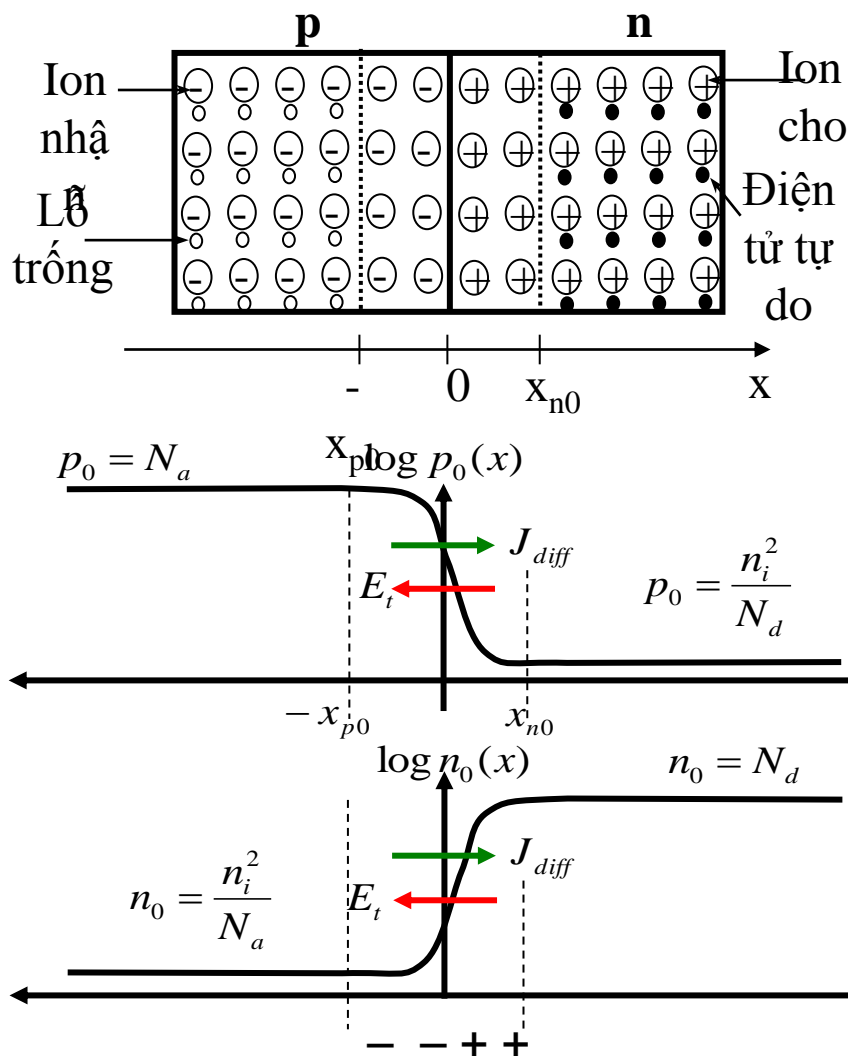
- + ***Biến áp âm tần*** : là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz, yêu cầu biến đổi điện áp không được gây méo dạng sóng trong cả dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..
 - Biến áp âm tần phải làm việc trên dải tần số âm thanh khá rộng và phải đáp ứng nhiều mục đích khác nhau nên yêu cầu cao hơn biến áp cấp điện.
- + ***Biến áp xung*** : Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất. Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt động tốt ở cả tần số thấp và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.
 - Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

CHƯƠNG 4.

ĐIÔT (DIODE)

Nội dung

- 4.1 Lớp tiếp xúc P-N
- 4.2 Cấu tạo chung và phân loại Điốt bán dẫn
- 4.3 Điốt chỉnh lưu
- 4.4 Điốt ổn áp
- 4.5 Điốt biến dung Varicap

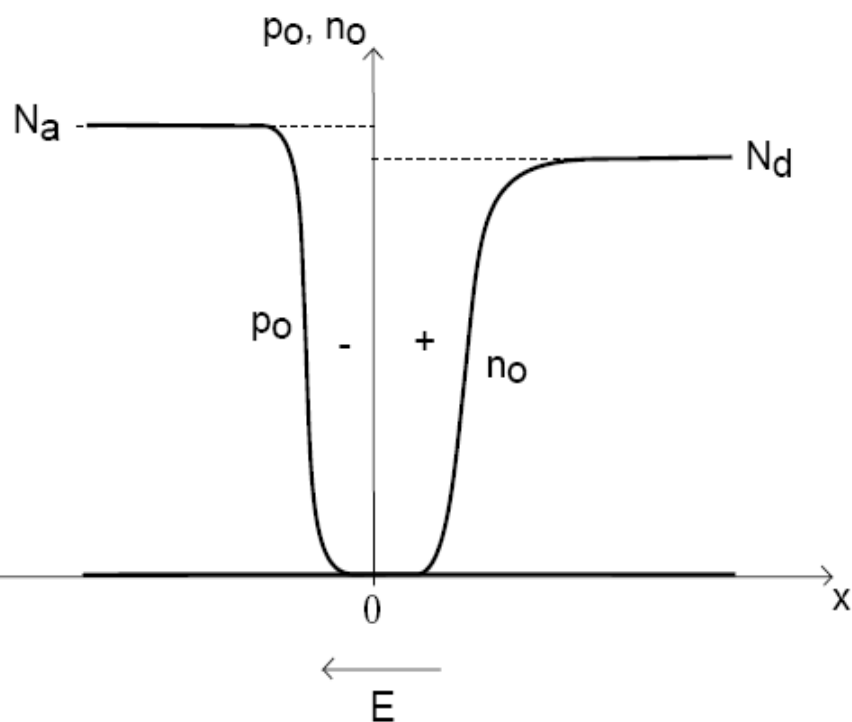
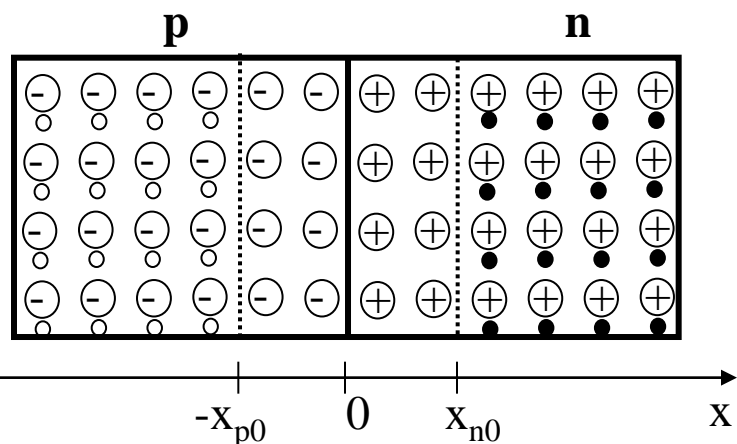
4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

- Khi tiếp xúc pn được mới được hình thành, do sự chênh lệch nồng độ nên sẽ có sự khuếch tán điện tử và lỗ trống qua bề mặt tiếp xúc và chúng tái hợp với nhau.

- Miền lân cận mặt tiếp xúc mất đặc tính trung hòa về điện, bên bán dẫn n tích điện +, bên bán dẫn p tích điện -, tạo thành **miền điện tích không gian** và hình thành một điện trường nội E_t

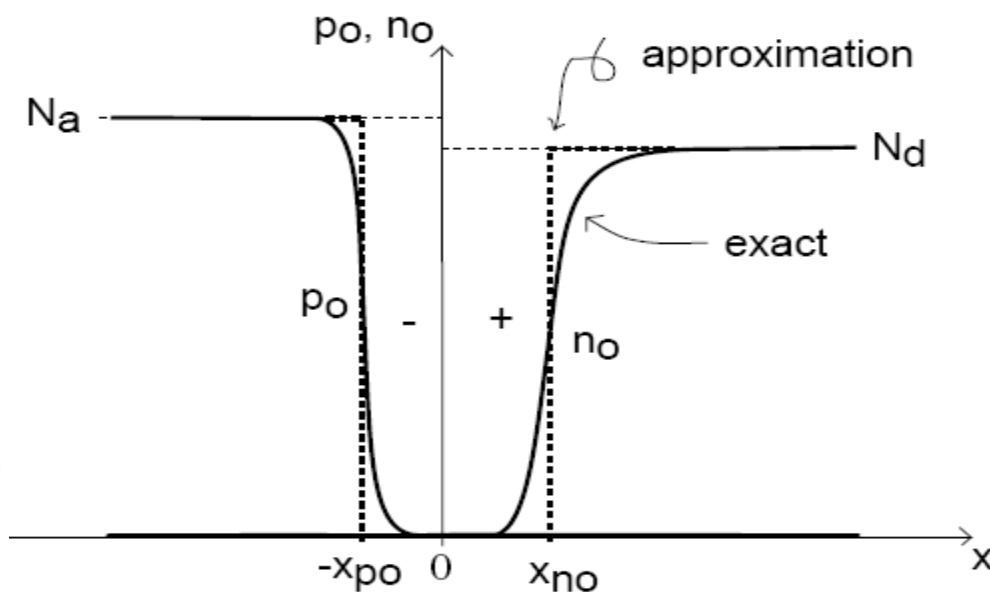
- E_t lại làm tăng sự cuốn của các hạt dẫn thiếu số của 2 lớp bán dẫn qua tiếp giáp tạo ra dòng điện trôi.

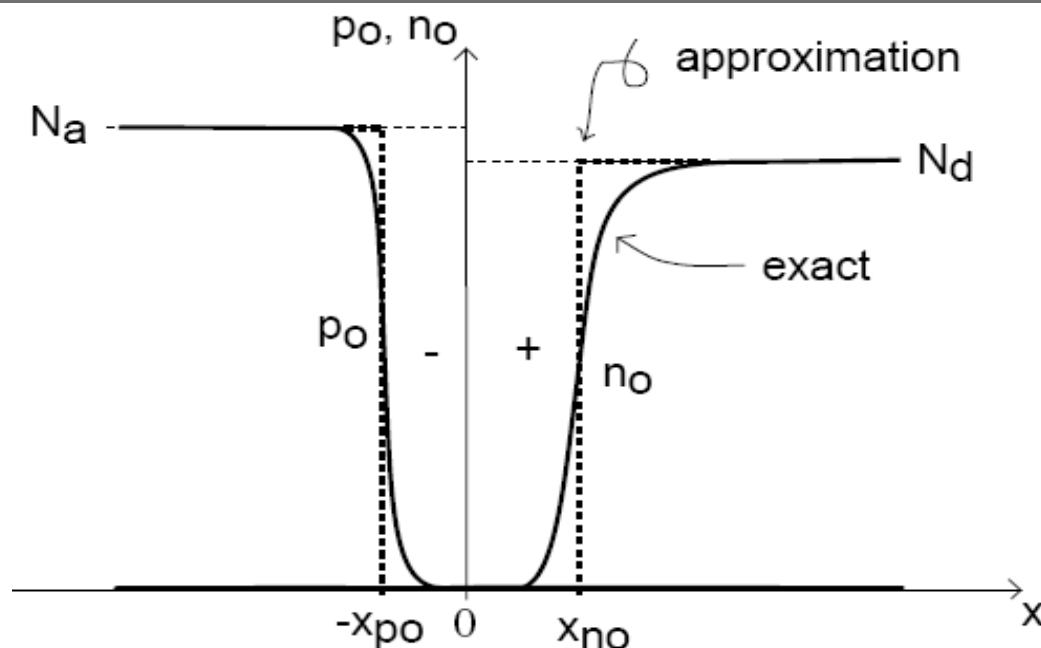
- Chuyển tiếp PN đạt trạng thái cân bằng khi dòng khuếch tán J_{diff} bằng dòng trôi J_{drift} .

4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

Vậy trong tiếp giáp PN hình thành 3 vùng:

- 1 vùng điện tích không gian
- 2 vùng bán dẫn n, p cận trung hòa
- Xác định $n_0(x)$, $p_0(x)$, $\rho(x)$, $E(x)$, và $\phi(x)$?
- Để đơn giản hơn ta **xấp xỉ chuyển tiếp** như sau:



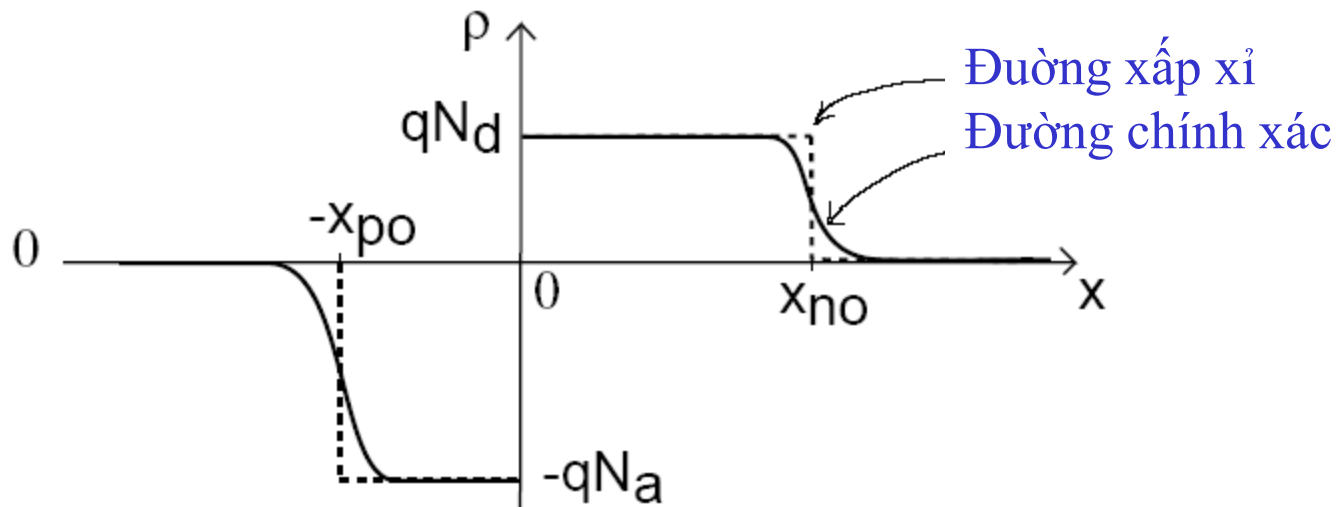
4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

- $x < -x_{po}$ $p_o(x) = N_a, \quad n_o(x) = \frac{n_i^2}{N_a}$
- $-x_{po} < x < 0$ $p_o(x), \quad n_o(x) \ll N_a$
- $0 < x < x_{no}$ $n_o(x), \quad p_o(x) \ll N_d$
- $x_{no} < x$ $n_o(x) = N_d, \quad p_o(x) = \frac{n_i^2}{N_d}$

4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

+ *Mật độ điện tích không gian:*

$$\rho(x) = q[N_d(x) - n_0(x) + p_0(x) - N_a(x)]$$



$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & x < -x_{p0} \\ -qN_a & -x_{p0} < x < 0 \\ qN_d & 0 < x < x_{n0} \\ 0 & x_{n0} < x \end{cases}$$

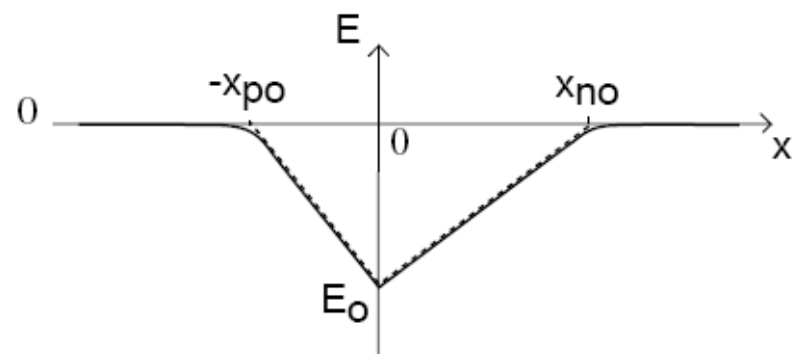
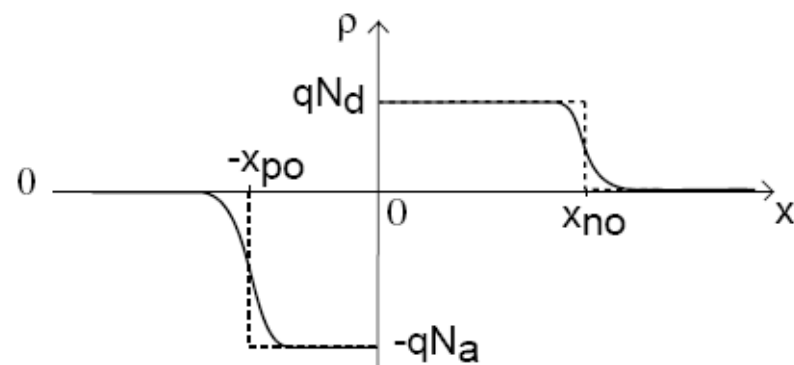
4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

+ *Điện trường trong chuyển tiếp PN:*

$$E(x_2) - E(x_1) = \frac{1}{\epsilon_s} \int_{x_1}^{x_2} \rho(x) dx$$

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & x < -x_{p0} \\ -qN_a & -x_{p0} < x < 0 \\ qN_d & 0 < x < x_{n0} \\ 0 & x_{n0} < x \end{cases}$$

$$E(x) = \begin{cases} 0 & \text{khi } x < -x_{p0} \\ \frac{-qN_a}{\epsilon_s} (x + x_{p0}) & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \frac{qN_d}{\epsilon_s} (x - x_{n0}) & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \\ 0 & \text{khi } x_{n0} < x \end{cases}$$



4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt**+ Điện thế tĩnh điện trong tiếp giáp PN**

- Như đã xác định ở phần trước, theo quan hệ Boltzman, điện thế tĩnh điện trong bán dẫn n, p là:

$$\phi = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_o}{n_i} \qquad \phi = -\frac{kT}{q} \ln \frac{p_o}{n_i}$$

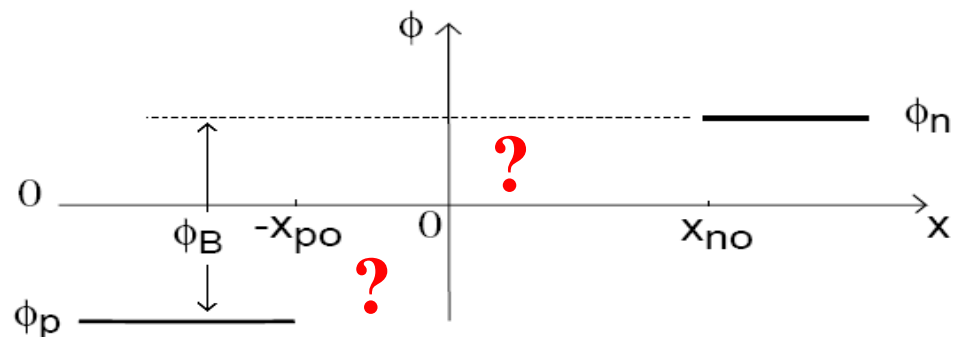
- Trong vùng bán dẫn p cận trung hòa:

$$p_o = N_a \Rightarrow \phi_p = -\frac{kT}{q} \ln \frac{N_a}{n_i}$$

- Trong vùng bán dẫn n cận trung hòa:

$$n_o = N_d \Rightarrow \phi_n = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d}{n_i}$$

$$\phi_B = \phi_n - \phi_p = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2}$$



ϕ_B – Hiệu điện thế tiếp xúc trong chuyển tiếp PN (Hàng rào thế năng).

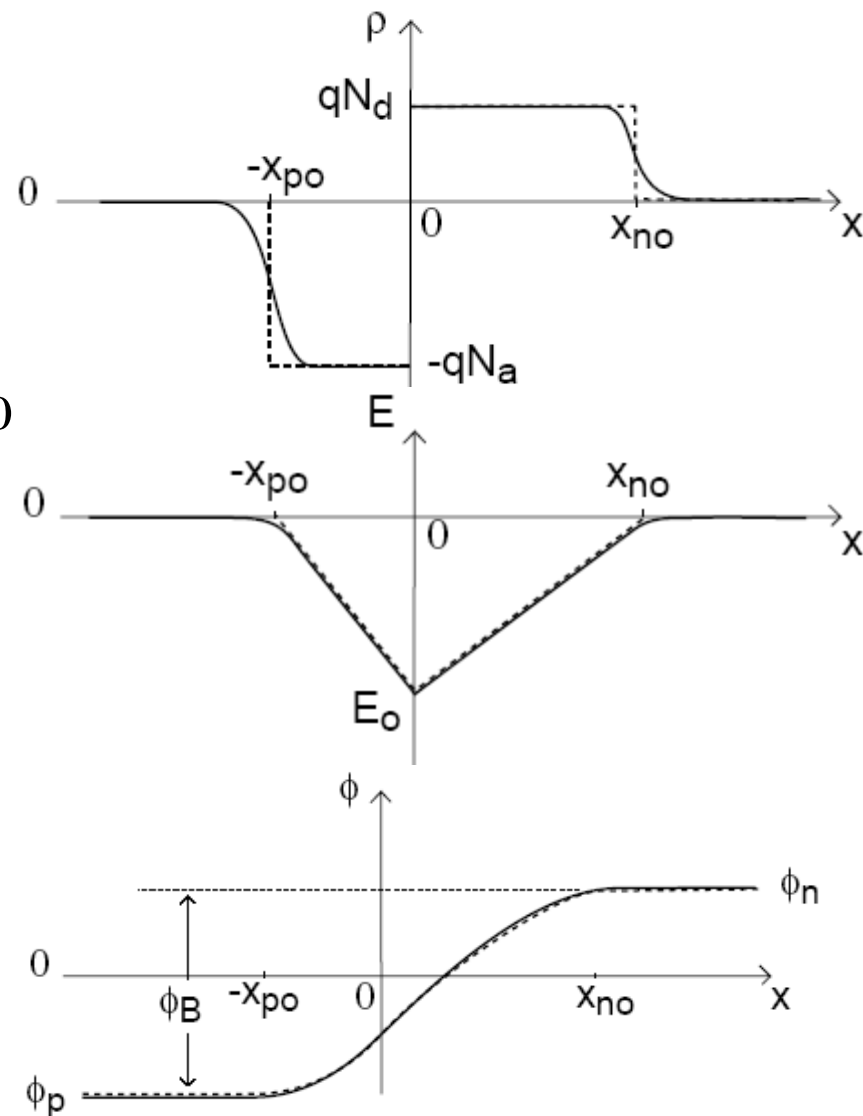
4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

- Xác định điện thế tĩnh điện trong vùng chuyển tiếp PN (xấp xỉ chuyển tiếp)?

$$\phi(x_2) - \phi(x_1) = - \int_{x_1}^{x_2} E(x) dx$$

$$E(x) = \begin{cases} \frac{-qN_a}{\epsilon_s} (x + x_{p0}) & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \frac{qN_d}{\epsilon_s} (x - x_{n0}) & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \end{cases}$$

$$\phi(x) = \begin{cases} \phi_p & \text{khi } x < -x_{p0} \\ \phi_p + \frac{qN_a}{2\epsilon_s} (x + x_{p0})^2 & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \phi_n - \frac{qN_d}{2\epsilon_s} (x - x_{n0})^2 & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \\ \phi_n & \text{khi } x_{n0} < x \end{cases}$$



4.1.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

+ *Xác định độ rộng của chuyển tiếp PN: x_{p0} và $x_{n0} = ?$*

- Trong cả vùng chuyển tiếp PN có tính trung hòa về điện:

$$qN_a x_{p0} = qN_d x_{n0}$$

- Điện thế $\phi_B(x)$ cũng liên tục tại $x=0$ do đó:

$$\phi_p + \frac{qN_a}{2\epsilon_s} x_{p0}^2 = \phi_n - \frac{qN_d}{2\epsilon_s} x_{n0}^2$$

- Giải hệ 2 PT ở trên ta có:

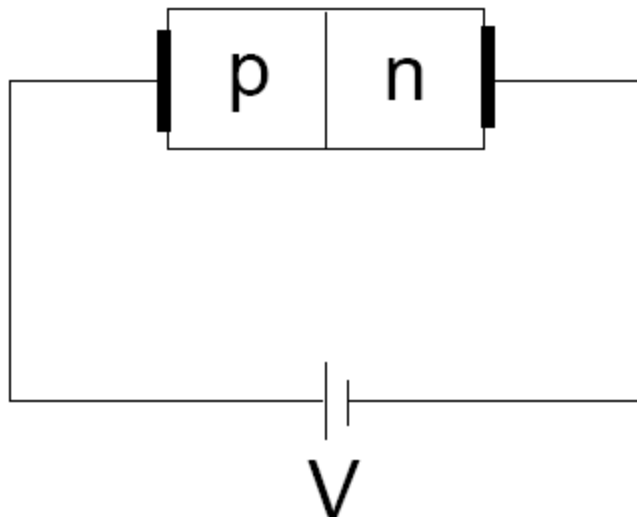
$$x_{n0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \phi_B N_a}{q(N_a + N_d)N_d}} \quad x_{p0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \phi_B N_d}{q(N_a + N_d)N_a}}$$

- Độ rộng của vùng điện tích không gian:

$$x_{do} = x_{n0} + x_{p0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \phi_B (N_a + N_d)}{qN_a N_d}}$$

4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

- Điều gì sẽ xảy ra đối với trường tĩnh điện trong chuyển tiếp PN khi có điện áp ngoài đặt qua 2 đầu vào?

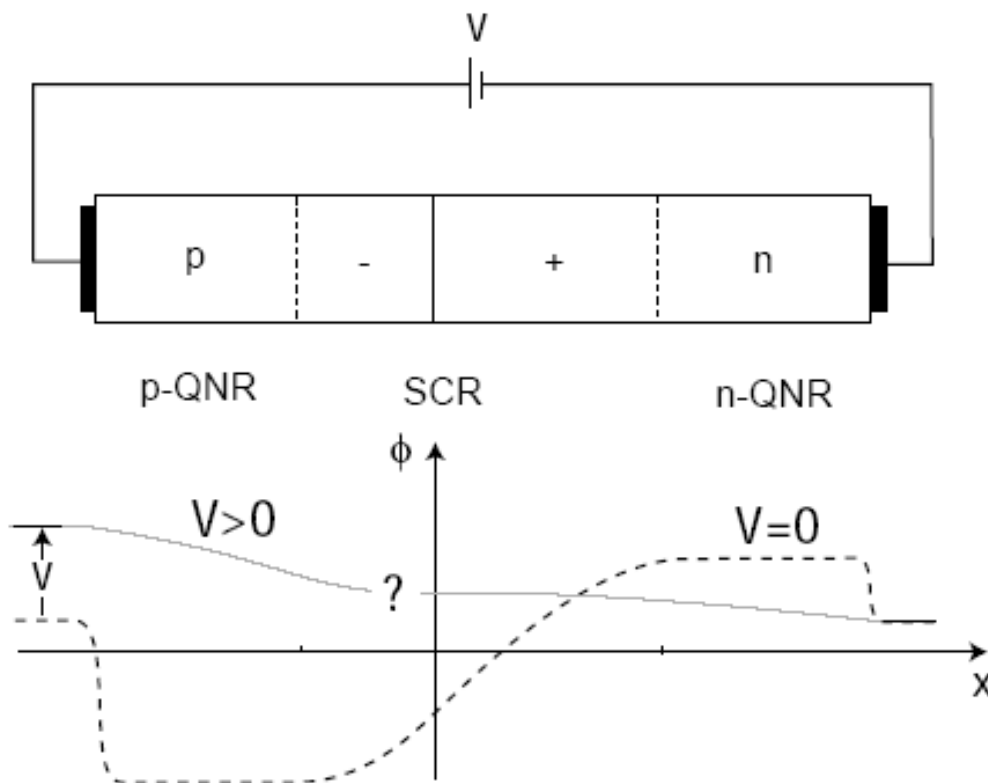


$V > 0$ – phân cực thuận

$V < 0$ – phân cực ngược

4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

- Khi có điện áp phân cực đặt vào 2 đầu của tiếp giáp PN, phân bố điện thế trong tiếp giáp thay đổi ?



- Điện áp rơi trên 5 vùng như thế nào?

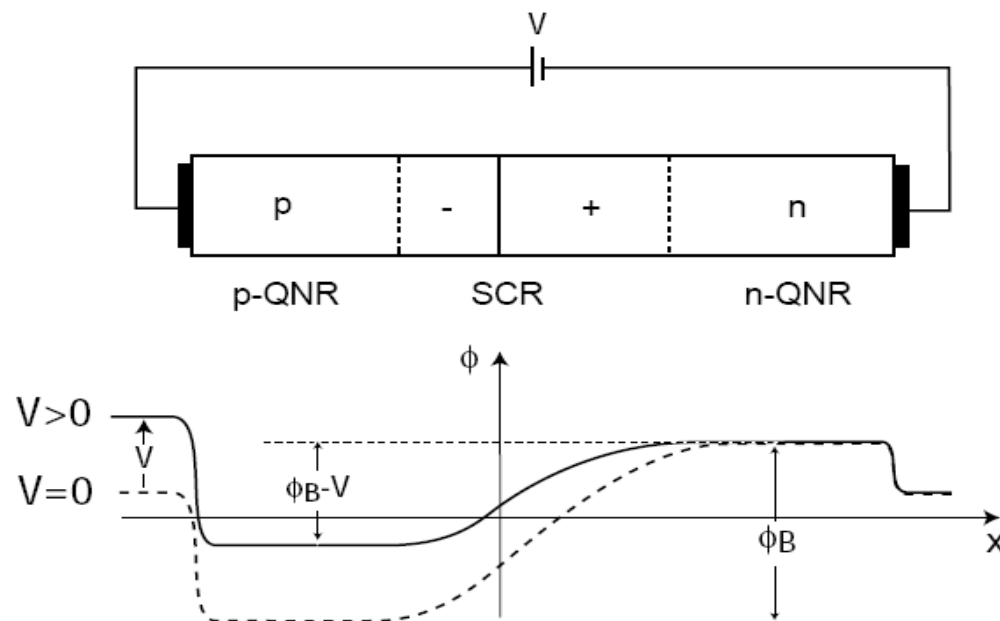
4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

- Điện áp ngoài chủ yếu được đặt nên vùng chuyển tiếp PN (SCR).
- Hiệu điện thế đặt lên chuyển tiếp PN gọi là hàng rào điện thế:

$= \phi_B$: Trong điều kiện cân bằng nhiệt

$= \phi_B - V < \phi_B$: Trong trường hợp phân cực thuận

$= \phi_B - V > \phi_B$: Trong trường hợp phân cực ngược

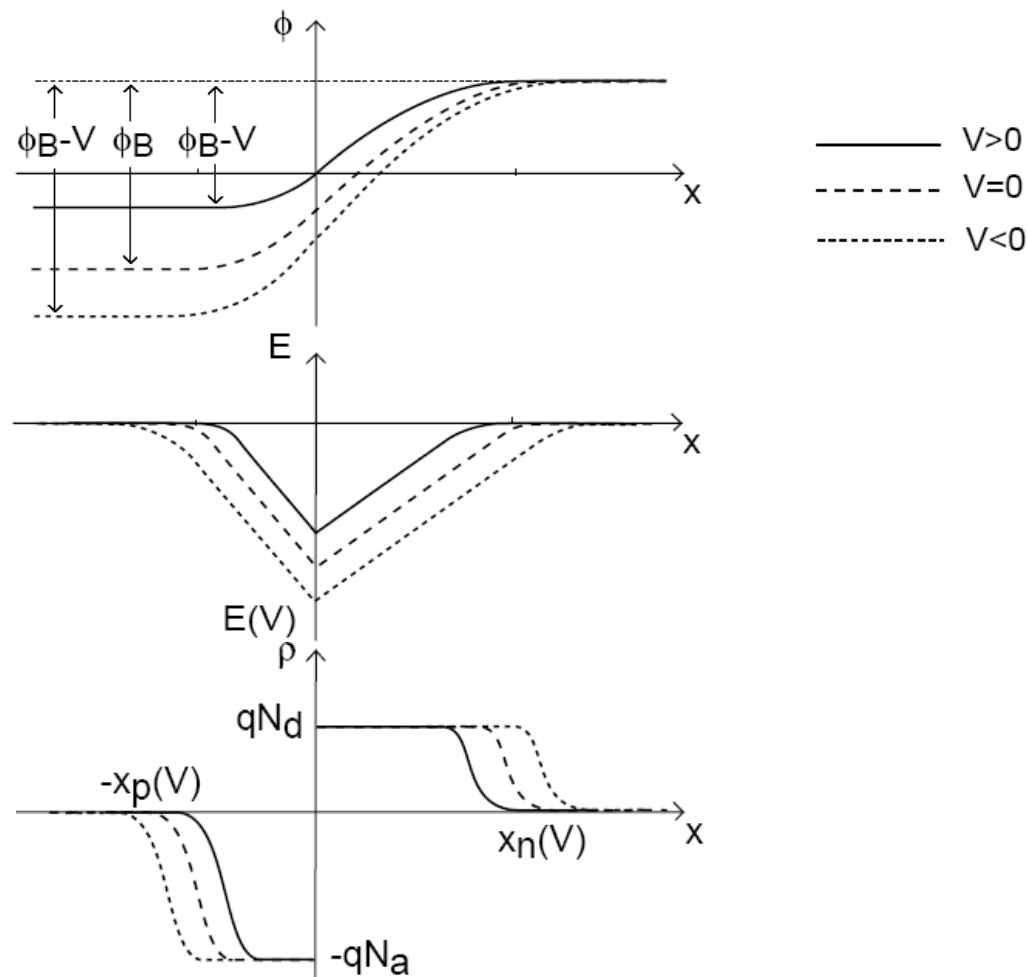


4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực**+ Phân cực thuận:**

- Điện thế tiếp xúc trong giảm.
- Điện trường tiếp xúc giảm.
- Độ rộng vùng điện tích không gian giảm

+ Phân cực ngược:

- Điện thế tiếp xúc trong tăng.
- Điện trường tiếp xúc tăng.
- Độ rộng vùng điện tích không gian tăng.



4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

Chuyển động của các hạt tải điện khi có điện áp phân cực:

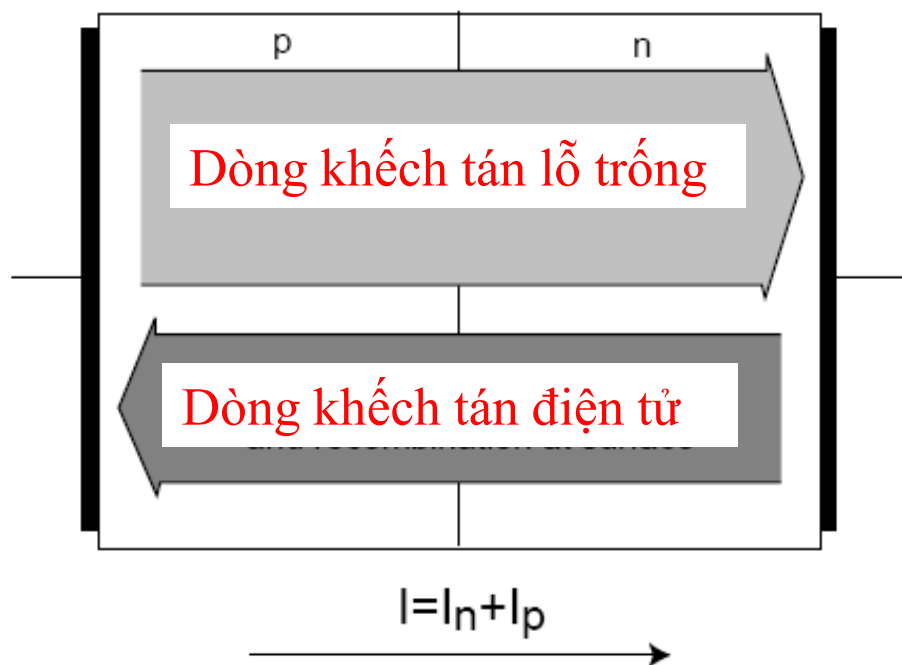
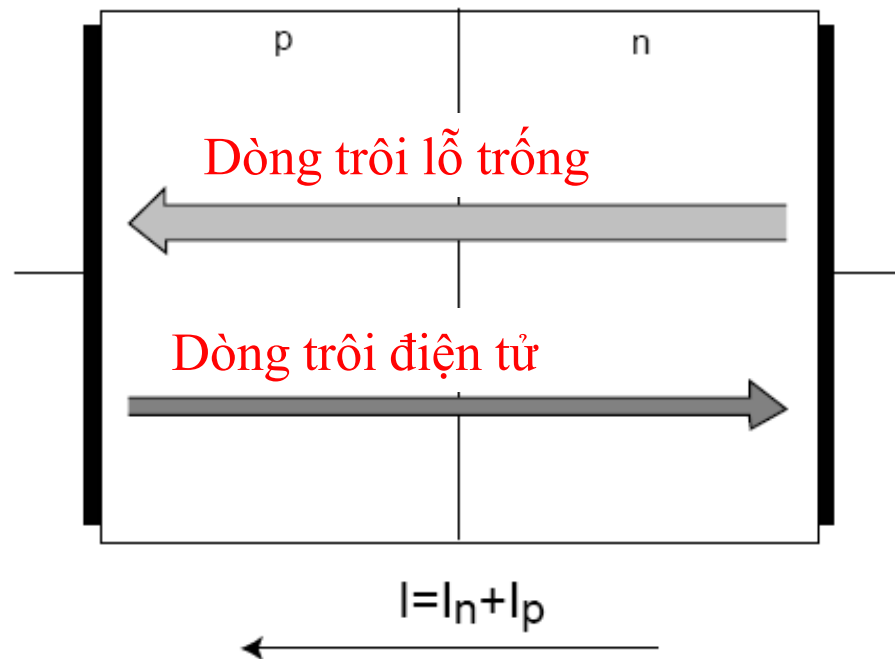
- **Khi đặt điện áp phân cực thuận** $V > 0, \phi_B - V \downarrow \Rightarrow |E_{SCR}| \downarrow \Rightarrow |J_{drift}| \downarrow$
- Cân bằng dòng điện bị phá vỡ $|J_{drift}| < |J_{diff}|$
- + Phần lớn các hạt dẫn đa số có năng lượng đủ lớn dễ dàng khuếch tán qua CT P-N. Kết quả là dòng điện qua CT P-N tăng lên và đây là thành phần dòng điện khuếch tán. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận I_{th} .
- + Những hạt dẫn đa số sau khi vượt qua lớp tiếp xúc P-N vào các phần bán dẫn P và N thì chúng trở thành các hạt dẫn thiểu số của các chất bán dẫn này, như vậy có hiện tượng “**phun**” các hạt dẫn thiểu số qua vùng điện tích không gian.
- + Khi tăng điện áp thuận lên, tiếp xúc P-N được phân cực thuận càng mạnh, hiệu điện thế tiếp xúc càng giảm, hàng rào thế năng càng thấp xuống, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N càng nhiều nên dòng điện thuận càng tăng và nó tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp ngoài.

4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

- **Khi đặt điện áp phân cực ngược** $V < 0, \phi_B - V \uparrow \Rightarrow |E_{SCR}| \uparrow \Rightarrow |J_{drift}| \uparrow$
- Cân bằng dòng điện bị phá vỡ $|J_{drift}| > |J_{diff}|$
- Do điện trường của lớp tiếp xúc tăng lên sẽ thúc đẩy quá trình chuyển động trôi của các hạt dẫn thiểu số qua chuyển tiếp PN, tạo nên **dòng điện trôi** có chiều từ bán dẫn N sang bán dẫn P và được gọi là dòng điện ngược $I_{ngược}$.
- Nếu ta tăng điện áp ngược lên, hiệu điện thế tiếp xúc càng tăng lên làm cho dòng điện ngược tăng lên. nhưng do nồng độ các hạt dẫn thiểu số rất nhỏ, nên dòng điện ngược nhanh chóng đạt giá trị bão hòa nào đó vì thế nó còn được gọi là dòng điện ngược bão hòa I_s có giá trị rất nhỏ.

4.1.2. Chuyển tiếp PN ở trạng thái phân cực

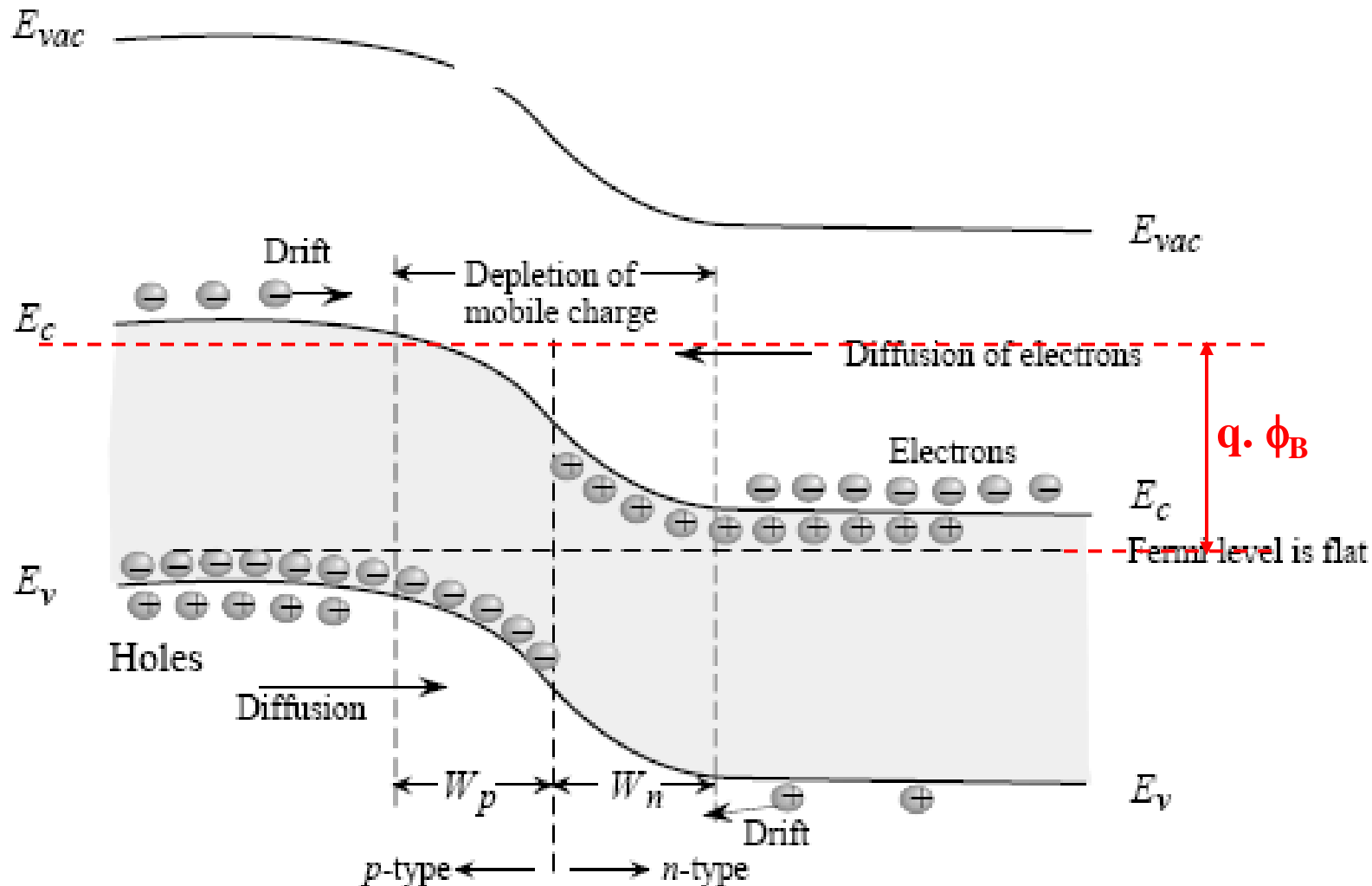
- Minh họa dòng dịch chuyển của các hạt tải điện qua chuyển tiếp PN

+ Phân cực thuận**+ Phân cực ngược**

- Như vậy chuyển tiếp PN có tính chất chỉnh lưu dòng điện, cho phép dòng điện qua theo một chiều nhất định.

Phân bố dải năng lượng của tiếp giáp PN

- Phân bố dải năng lượng của tiếp giáp PN trong điều kiện cân bằng nhiệt:



4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

- Để xác định được phương trình đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN cần thực hiện tính toán theo các bước sau (Bỏ qua sự tái hợp của điện tử và lỗ trống ở chuyển tiếp):
- + Tính mật độ hạt dẫn thiểu số tại biên của vùng điện tích không gian.
- + Tính toán dòng khuếch tán hạt thiểu số trong mỗi vùng bán dẫn cận trung hòa: I_n, I_p , với giả thiết hàm phân bố của các hạt thiểu số của các miền đó là tuyến tính.
- + Tính tổng dòng khuyến tán điện tử và lỗ trống: $I = I_n + I_p$

1. Tính mật độ hạt dẫn thiểu số tại biên của vùng điện tích không gian SCR:

- Trong điều kiện cân bằng nhiệt $|J_{drift}| = |J_{diff}|$ và

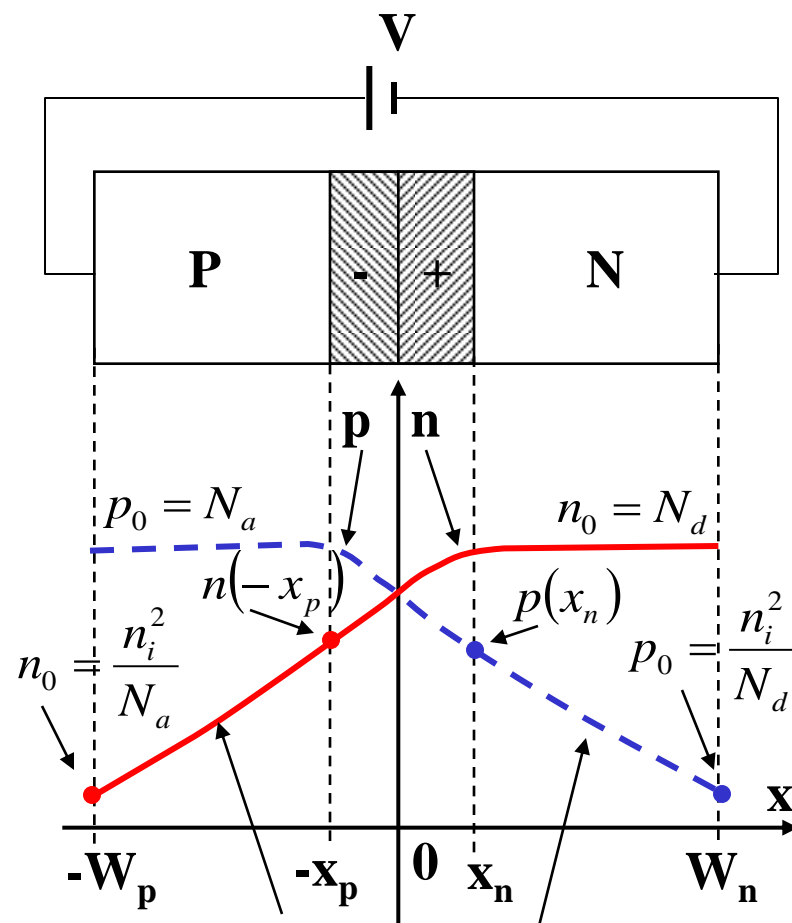
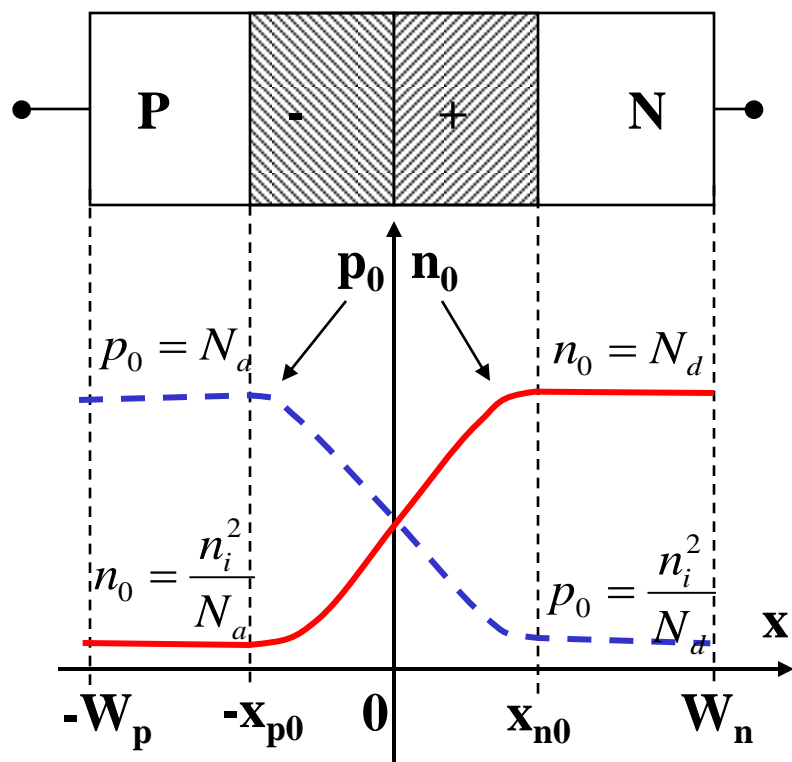
$$\frac{n_o(x_1)}{n_o(x_2)} = \exp \frac{q[\phi(x_1) - \phi(x_2)]}{kT} \quad \frac{p_o(x_1)}{p_o(x_2)} = \exp \frac{-q[\phi(x_1) - \phi(x_2)]}{kT}$$

4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

Phân bố của điện tử và lỗ trống trong tiếp giáp PN

Trong điều kiện phân cực thuận

Trong điều kiện cân bằng nhiệt



Giả sử tuyến tính

4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

- Nhưng $p(-x_p) \simeq N_a$ và $n(x_n) \simeq N_d$ điều này có nghĩa là xấp xỉ sự phun hạt dẫn thiểu số qua chuyển tiếp ở mức thấp.

- Thay vào ta được:

$$n(-x_p) \simeq N_d \exp \frac{q(V - \phi_B)}{kT}$$

$$p(x_n) \simeq N_a \exp \frac{q(V - \phi_B)}{kT}$$

- Thay: $\phi_B = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d N_a}{n_i^2}$ vào 2 biểu thức trên, rút gọn :

$$\rightarrow n(-x_p) \simeq \frac{n_i^2}{N_a} \exp \frac{qV}{kT}$$

$$\rightarrow p(x_n) \simeq \frac{n_i^2}{N_d} \exp \frac{qV}{kT}$$

4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

2. Tính toán dòng khuếch tán điện tử

trong vùng điện tích không gian phía p:

$$J_n = qD_n \frac{dn}{dx} \quad (*)$$

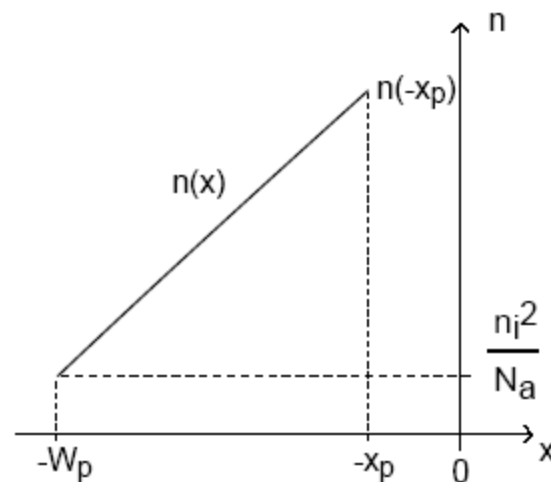
- Áp dụng điều kiện biên:

$$n(x = -W_p) = n_o = \frac{n_i^2}{N_a} \quad n(-x_p) = \frac{n_i^2}{N_a} \exp \frac{qV}{kT}$$

- Giải thiết $n(x)$ thay đổi tuyến tính thì viết được phương trình của $n(x)$ và thay vào phương trình (*)

- Tính được

$$J_n = q \frac{n_i^2}{N_a} \frac{D_n}{W_p - x_p} (\exp \frac{qV}{kT} - 1)$$



4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

Tương tự:

$$J_p = q \frac{n_i^2}{N_d W_n - x_n} \frac{D_p}{kT} (\exp \frac{qV}{kT} - 1)$$

3. Dòng tổng cộng

$$J = J_n + J_p = q n_i^2 \left(\frac{1}{N_a W_p - x_p} \frac{D_n}{kT} + \frac{1}{N_d W_n - x_n} \frac{D_p}{kT} \right) (\exp \frac{qV}{kT} - 1)$$

- Dòng điện tổng cộng trong điốt:

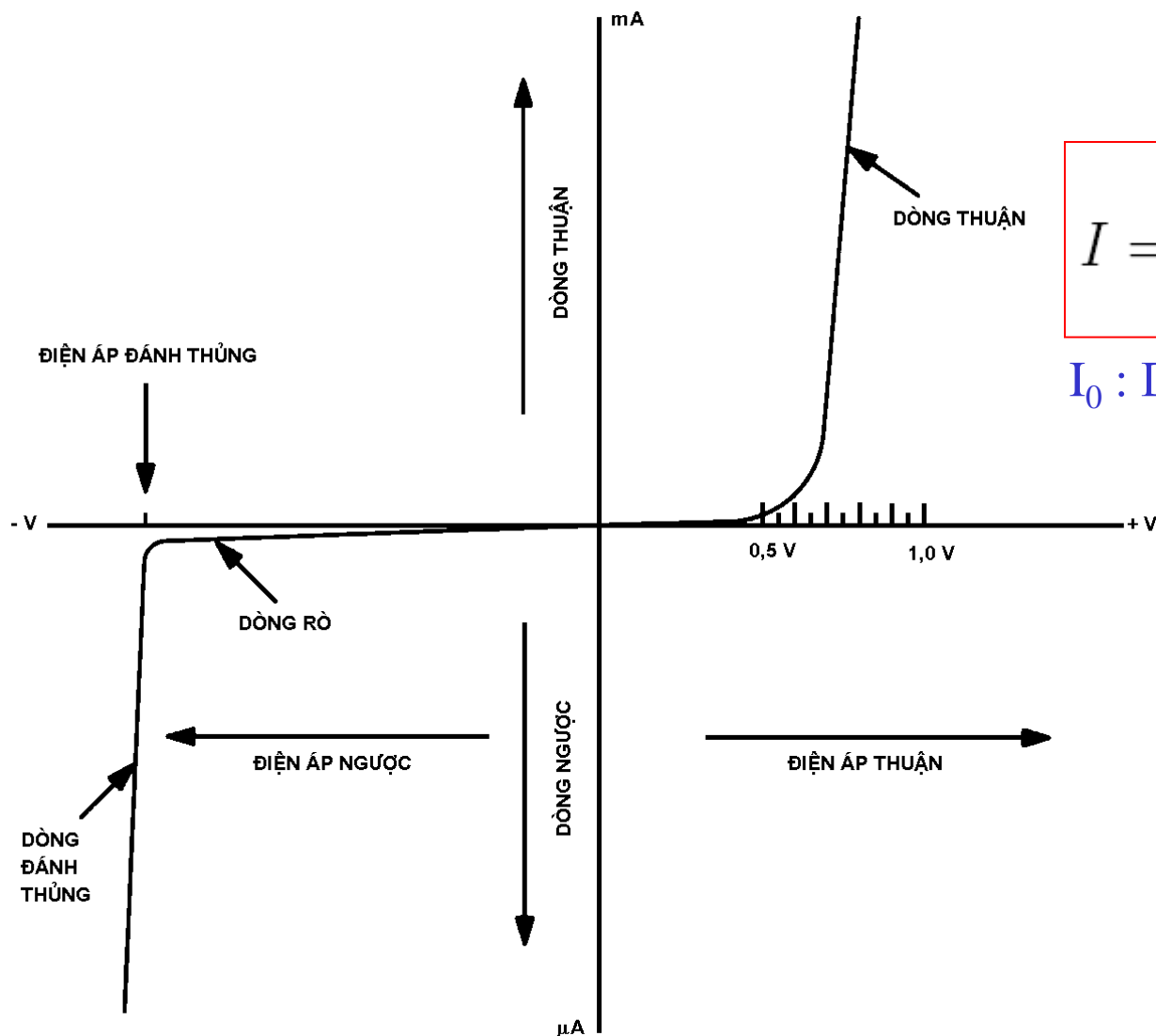
$$I = q A n_i^2 \left(\frac{1}{N_a w_p - x_p} \frac{D_n}{kT} + \frac{1}{N_d w_n - x_n} \frac{D_p}{kT} \right) (\exp \frac{qV}{kT} - 1)$$



$$I = I_o (\exp \frac{qV}{kT} - 1)$$

I_o : Dòng bão hòa

4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN



$$I = I_o \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right)$$

I_o : Dòng bão hòa ngược

4.1.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

- Hiệu chỉnh phương trình đặc tuyến khi tính đến sự tái hợp của điện tử và lỗ trống tại chuyển tiếp PN, phương trình đặc tuyến của tiếp giáp PN như sau:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta V_{th}}} - 1 \right)$$

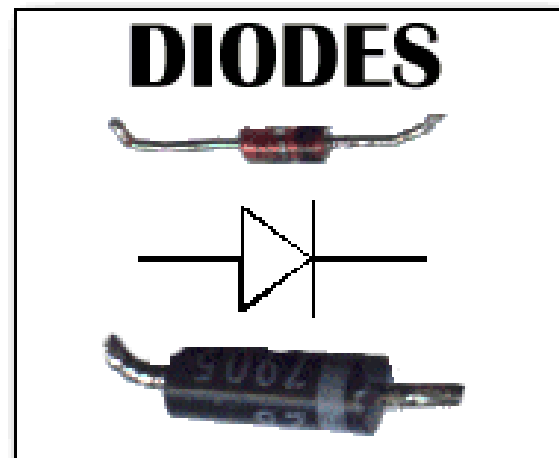
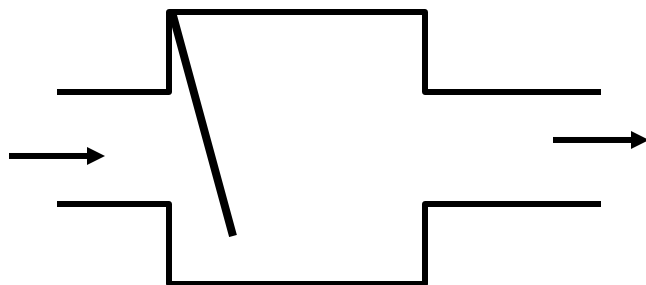
- Trong đó: I_0 - dòng bão hòa; V_{th} - điện áp nhiệt; η - hệ số phát xạ:
 - + $\eta=1\div 2$ đối với tiếp giáp PN dùng Si.
 - + $\eta \approx 1$ đối với tiếp giáp PN dùng Ge, và GaAs
 - + η cũng phụ thuộc vào độ rộng của chuyển tiếp PN và như vậy cũng phụ thuộc vào điện áp làm việc của tiếp giáp PN...
 - + Thông thường không có ghi chú thì thường chọn $\eta=1$

4.1.4. Cơ chế đánh thủng trong chuyển tiếp PN

- Dòng phân cực ngược rất nhỏ, nhưng khi điện áp ngược đặt trên chuyển tiếp PN tăng vượt qua một giá trị nhất định dòng ngược sẽ tăng đột ngột – đó là hiện tượng đánh thủng, hiện tượng này có thể làm hỏng linh kiện nhưng có một số loại linh kiện hoạt động dựa trên cơ chế này.
- Hai cơ chế đánh thủng chuyển tiếp PN là:
 - + **Cơ chế thác lũ:** Khi điện áp ngược tăng, điện trường trong miền điện tích không gian tăng, hạt dẫn thiểu số bị cuốn qua điện trường có động năng ngày càng lớn, khi chuyển động chúng va đập với các nguyên tử làm bắn ra điện tử lớp ngoài của chúng, số điện tử tự do mới phát sinh do va chạm này cũng được điện trường mạnh gia tốc, chúng tiếp tục đập vào các NT mới làm bắn ra điện tử tự do. Hiện tượng này xảy ra liên tục và nhanh, khiến số hạt dẫn trong bán dẫn tăng đột ngột, điện trở suất chuyển tiếp giảm đi, dòng qua chuyển tiếp PN tăng đột ngột.
 - + **Cơ chế xuyên hầm:** Khi điện trường ngược tăng lên, còn cung cấp năng lượng cho các điện tử lớp ngoài cùng của NT bán dẫn, nếu các điện tử này có năng lượng đủ lớn chúng tách ra khỏi NT tạo thành điện tử tự do, NT bị ion hóa. Nếu điện trường ngược đủ lớn hiện tượng ion hóa xảy ra nhiều dẫn đến số lượng hạt dẫn trong bán dẫn tăng đột ngột, làm cho dòng ngược tăng nhanh.

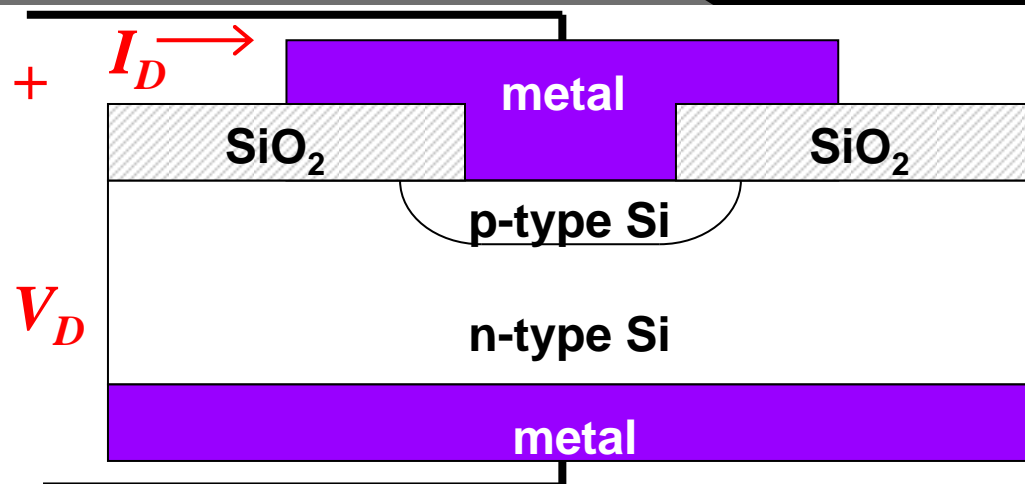
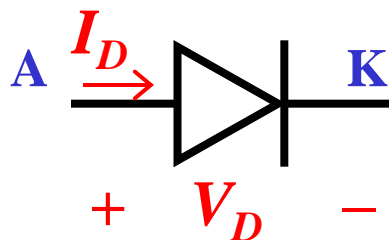
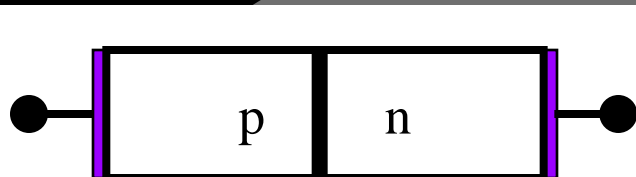
4.1.4. Cơ chế đánh thủng trong chuyển tiếp PN

- Trong thực tế 2 cơ chế đánh thủng xảy ra rất phức tạp, khó phân biệt,
- + Đánh thủng xuyên hầm xảy ra gần như tức thời và do điện trường trên miền điện tích không gian quyết định, không phụ thuộc vào diện tích miền điện tích không gian.
- + Đánh thủng thác lũ đòi hỏi phải có quá trình gia tốc cho các hạt dẫn để chúng có động năng đủ lớn, phụ thuộc nhiều vào độ rộng của miền điện tích không gian.
- Bằng thực nghiệm người ta phân biệt được, đối với bán dẫn Si, chuyển tiếp PN bị đánh thủng ở điện áp $< 4V$ chủ yếu là do cơ chế xuyên hầm, nếu $> 6V$ thì chủ yếu là do cơ chế thác lũ, còn lại là do cả 2 cơ chế này gây ra.
- Điện áp đánh thủng phụ thuộc vào loại bán dẫn, giảm tuyến tính theo nồng độ pha tạp, điện áp đánh thủng của chuyển tiếp PN có nồng độ pha tạp tuyến tính cao hơn chuyển tiếp PN có phân bố đột biến, nếu chuyển tiếp có sự pha tạp tuyến tính biến đổi càng chậm thì điện áp đánh thủng càng cao...

4.2. Điôt - 4.2.1. Giới thiệu chung

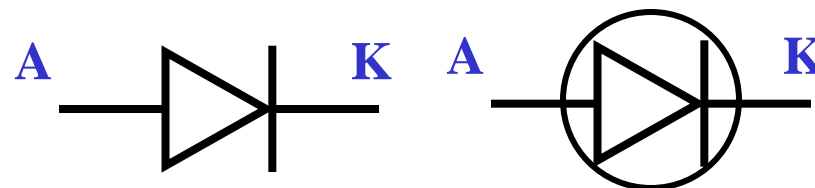
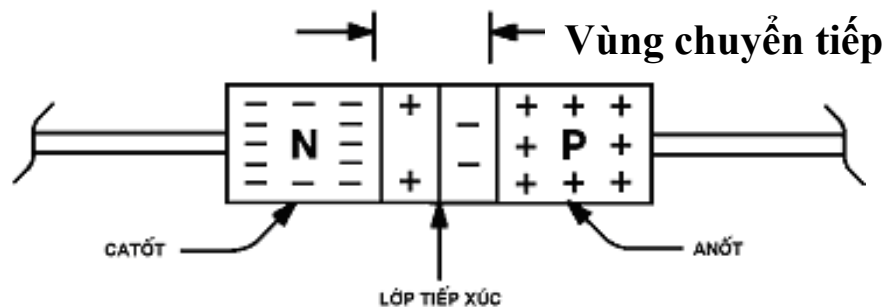
- Điốt (*diode*) là từ ghép mang nghĩa "hai điện cực" (với *di* là hai, và *ode* bắt nguồn từ *electrode*, có nghĩa là điện cực) là các linh kiện điện tử tích cực và phi tuyến cho phép dòng điện đi qua nó theo một chiều mà không theo chiều ngược lại.

4.2.1. Giới thiệu chung

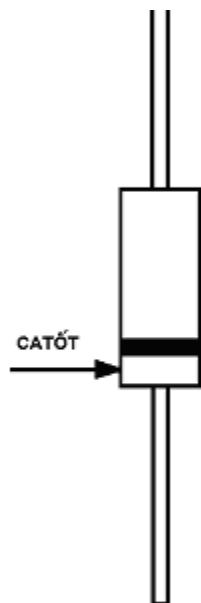


- Điốt bán dẫn được cấu tạo từ một chuyển tiếp p-n
- Nguyên lý làm việc dựa trên các hiệu ứng vật lý của chuyển tiếp PN:
 - + **Điốt chỉnh lưu:** Dựa vào hiệu ứng chỉnh lưu của chuyển tiếp PN
 - + **Điốt ổn áp Zener:** Dựa vào hiệu ứng đánh thủng thác lũ và đánh thủng Zener
 - + **Điốt ngược, Điốt tunen:** Dựa vào hiệu ứng xuyên hầm trên chuyển tiếp PN pha tạp nhiều
 - + **Điốt Varicap:** Dựa vào hiệu ứng điện dung của chuyển tiếp PN thay đổi khi điện áp phân cực ngược thay đổi
- Nguyên lý làm việc, đặc tuyến V-A, ứng dụng của mỗi loại điốt là rất khác nhau

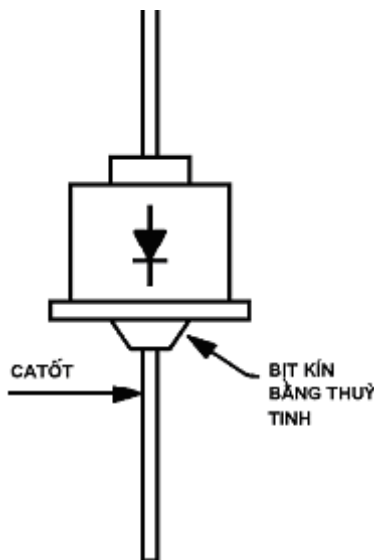
4.2.2 Cấu tạo của điốt chỉnh lưu và kí hiệu trong sơ đồ mạch



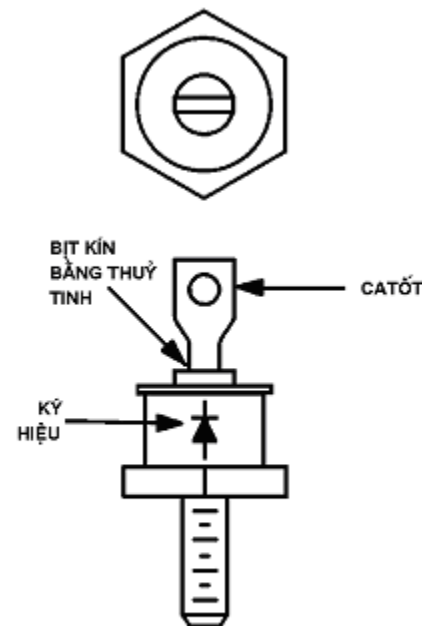
(a) CẤU TRÚC ĐIỐT



(a) ĐIỐT 1A VỎ NHỰA
ĐIỂN HÌNH

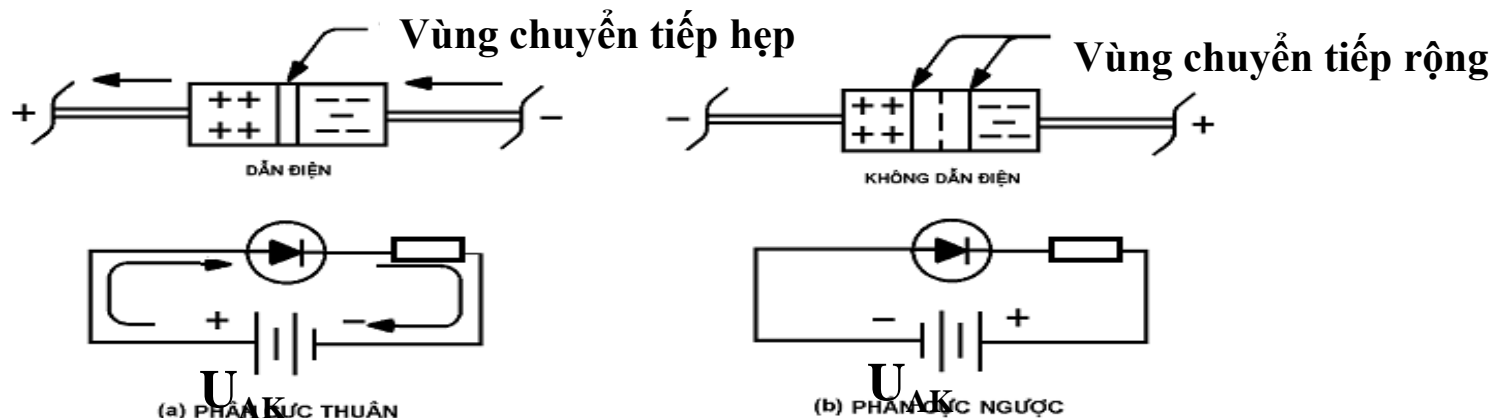


(b) ĐIỐT 3A VỎ KIM LOẠI
ĐIỂN HÌNH



(c) ĐIỐT 30A VỎ KIM LOẠI
ĐIỂN HÌNH

4.2.3. Nguyên lý hoạt động của điôt



- **Phân cực thuận ($U_{AK} > 0$):** thúc đẩy các e^- trong bán dẫn n và các lỗ trống trong bán dẫn p tái hợp với các ion gần đường bao của vùng chuyển tiếp và làm giảm độ rộng của vùng chuyển tiếp. Thông thường $U_{AK} < 1V$
- **Phân cực ngược ($U_{AK} < 0$):** số lượng các ion dương trong vùng chuyển tiếp của bán dẫn n tăng lên do một số lượng lớn các e^- tự do bị kéo về cực dương của điện áp cung cấp. Tương tự, số lượng các ion âm trong vùng chuyển tiếp của bán dẫn p tăng lên. Kết quả là vùng chuyển tiếp được mở rộng. Dòng điện tồn tại trong điều kiện phân cực ngược gọi là dòng bão hoà ngược I_s

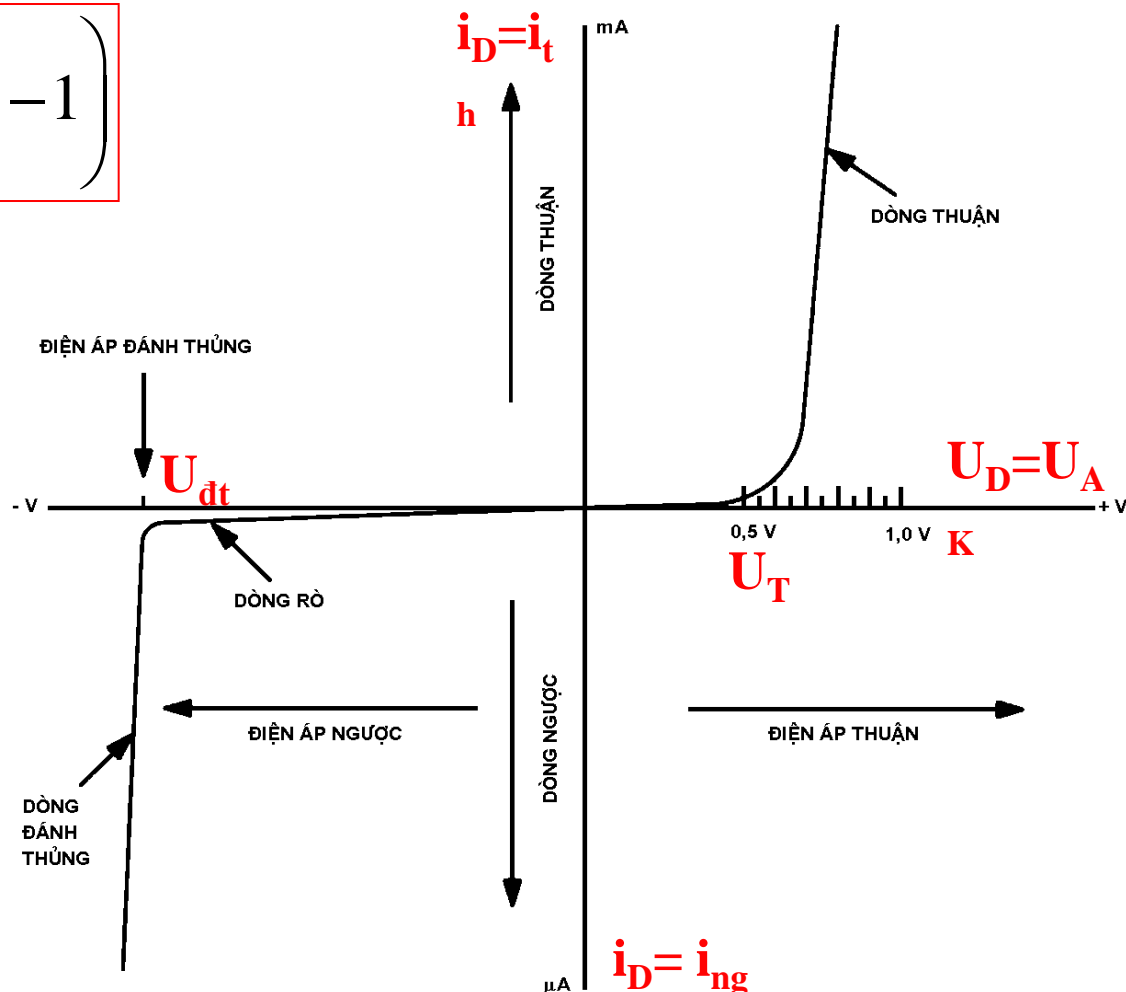
4.2.4. Đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt bán dẫn

$$I_D = f(U_{AK}) = I_S \left(e^{U_D / \eta U_{th}} - 1 \right)$$

+ U_T - Điện áp ngưỡng của điốt (Điện áp thông thuận)

$U_T = 0,5V-0,8V$ (điốt Si)
 $0,2-0,4V$ (điốt Ge)

+ U_{th} - điện áp nhiệt



4.2.5. Tham số cơ bản của điốt

a. Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh R_o

- Là điện trở của điốt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh (tại điểm làm việc tĩnh M trên đặc tuyến).

b. Điện trở động R_i :

$$R_o = \frac{U_M}{I_M} = \cot g \theta_1$$

$$R_i = \left. \frac{dU}{dI} \right|_M \rightarrow R_i = \frac{\eta V_T}{I_0 e^{\frac{U}{\eta V_T}}} = \frac{\eta V_T}{I_M + I_0}$$

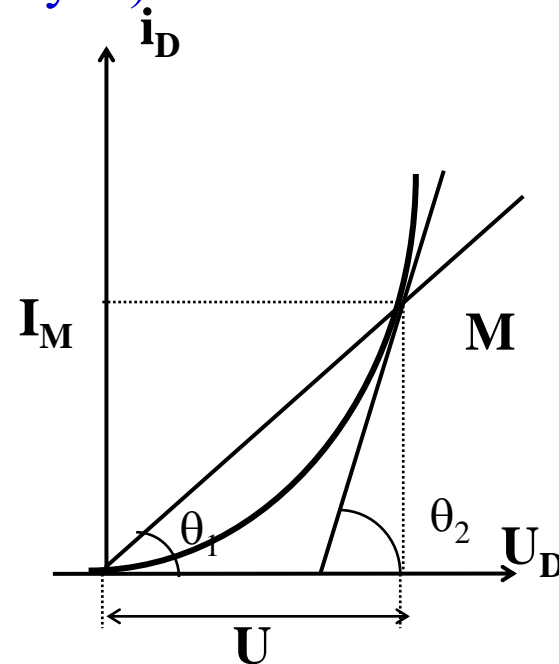
Do ở chế độ phân cực thuận $I_M \gg I_0$ và $\frac{U}{\eta V_T} \gg 1$

$$R_i = \frac{\eta V_T}{I_M}$$

c. Hệ số chỉnh lưu: k

- Là thông số đặc trưng độ phi tuyến của điốt và được xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0nguc}}{R_{0thuan}}$$



4.2.5. Tham số cơ bản của điốt

d. Điện dung chuyển tiếp C_0

- Điện dung chuyển tiếp PN khi phân cực ngược:

e. Điện dung khuếch tán

- Khi đặt điện áp thuận lên tiếp xúc P-N, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Quá trình "chích" các hạt dẫn thiểu số và mật độ các hạt thiểu số được chích vào giảm theo qui luật hàm mũ với khoảng cách. Sự thay đổi tỉ lệ mật độ các điện tích "chích" vào với điện áp đặt lên tiếp xúc P-N sẽ tạo ra sự gia tăng điện dung. Độ gia tăng điện dung này gọi là điện dung khuếch tán $C_{k.t.}$, và được xác định bằng công thức:

$$C_{k.t.} = \frac{\tau_p I_{Pn}}{\eta V_T} + \frac{\tau_n I_{np}}{\eta V_T} = C_{k.t.P} + C_{k.t.n}$$

f. Điện áp ngược cực đại cho phép: $U_{ng. \max}$

- Là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điốt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng $0,8U_{đ.t.}$
- Điện áp ngược cực đại $U_{ng. \max}$ phụ thuộc vào cấu tạo của điốt và nó nằm trong khoảng vài V đến 10 ngàn V.

4.2.5. Tham số cơ bản của điôt

g. Khoảng nhiệt độ làm việc:

- Là khoảng nhiệt độ đảm bảo điôt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điôt.

$$P_{ttmax} = I_{max} U_{AKmax}$$

$$P_{t\ tmax} = P_{max(20^0C)} \cdot \frac{t_{maxP-N}^0 - t_0^0}{t_{maxP-N}^0 - 20^0C}$$

Trong đó: t_{maxP-N}^0 - nhiệt độ cực đại cho phép của tiếp xúc P-N

t_0^0 - nhiệt độ môi trường

- Điôt Ge : - 60⁰C đến +85⁰C
- Điôt Si : - 60⁰C đến +150⁰C.

4.2.6. Tổng quan về các mô hình tương đương của cấu kiện bán dẫn

- Một mạch điện tử thường gồm nhiều cấu kiện tích cực và cấu kiện thụ động. Đặc tính điện áp- dòng điện của các cấu kiện tuyến tính thường được xác định bởi các quan hệ khá đơn giản, trong khi với cấu kiện phi tuyến thì đặc tính điện áp – dòng điện lại khá phức tạp.
- Như vậy để phân tích và thiết kế mạch dễ dàng hơn, cấu kiện phi tuyến thường được thay thế bởi mô hình mạch tương đương có cùng đáp ứng và đặc tính với cấu kiện thực.
- Mô hình mạch tương đương của các cấu kiện bán dẫn phi tuyến được ghép từ các cấu kiện thụ động tuyến tính, các nguồn dòng và nguồn áp không đổi hoặc có điều khiển *trong một điều kiện làm việc nào đó của cấu kiện phi tuyến*.
- Mô hình mạch tương đương thường được xây dựng dựa vào các phương trình, các công thức cơ bản miêu tả hoạt động cũng như đặc tính của cấu kiện.
- Mô hình mạch tương đương rất hữu ích để xây dựng các phần mềm phân tích, mô phỏng mạch điện.
- Một mô hình nổi tiếng dùng trong phần mềm thiết kế mạch điện tử và vi mạch là mô hình SPICE

4.2.6. Tổng quan về các mô hình tương đương của cấu kiện bán dẫn

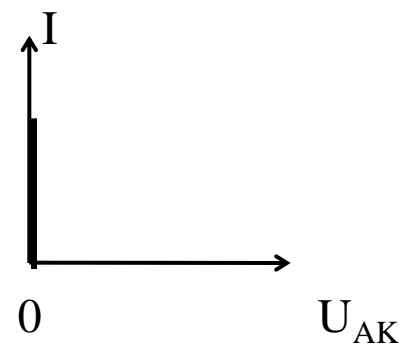
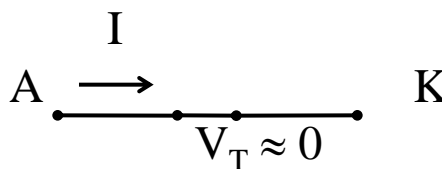
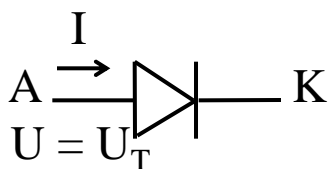
- Có nhiều mô hình tương đương cho mỗi cấu kiện tích cực tùy thuộc vào ứng dụng và các điều kiện tương ứng của thiết bị, ngoài ra còn phụ thuộc cả vào yêu cầu tốc độ tính toán, độ chính xác...
- Các loại mô hình mạch tương đương chính, phân loại theo độ lớn tín hiệu làm việc trong cấu kiện:
 - + **Mô hình mạch tương đương một chiều:** Dùng để tính toán cho phân cực một chiều và ứng dụng tần số rất thấp.
 - + **Mô hình mạch tương đương tín hiệu lớn:** Dùng cho các ứng dụng dòng hoặc điện áp làm việc có biên độ lớn.
 - + **Mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ:** Dùng cho các ứng dụng dòng hoặc điện áp làm việc có biên độ nhỏ, thay đổi rất ít quanh điểm làm việc 1 chiều.
- Tùy thuộc vào tần số làm việc mà còn sử dụng: Mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số cao, tần số thấp; Mô hình mạch tương đương tín hiệu lớn tần số cao, tần số thấp, mô hình tương đương hỗn hợp...

4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

Các mô hình tương đương của điốt phân cực thuận

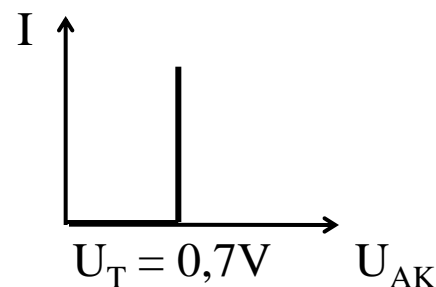
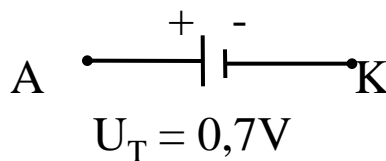
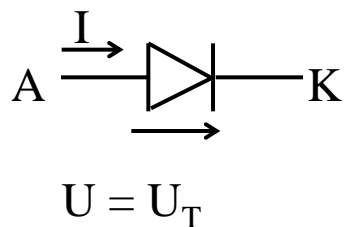
1. Sơ đồ một khóa điện tử ở trạng thái đóng: Điốt làm việc ở **điện áp lớn, tần số nhỏ**. Điện áp phân cực thuận có thể bỏ qua vì $U_T = 0,6V$ cho điốt Si, và $U_T = 0,2V$ cho điốt Ge là quá nhỏ. Đặc tuyến Vôn- Ampe lúc này coi như trường hợp ngắn mạch.

Đặc tuyến Vôn-Ampe là đường thẳng trùng với trục I.



4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

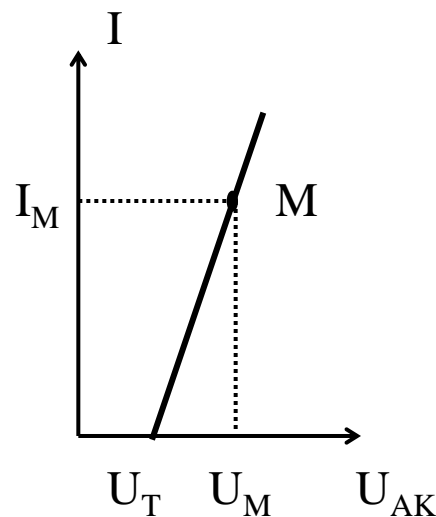
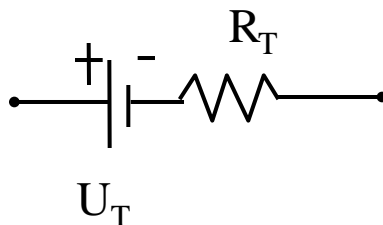
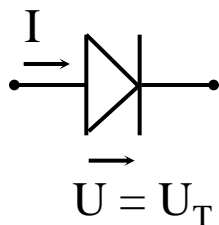
2. Sơ đồ một nguồn áp lý tưởng :



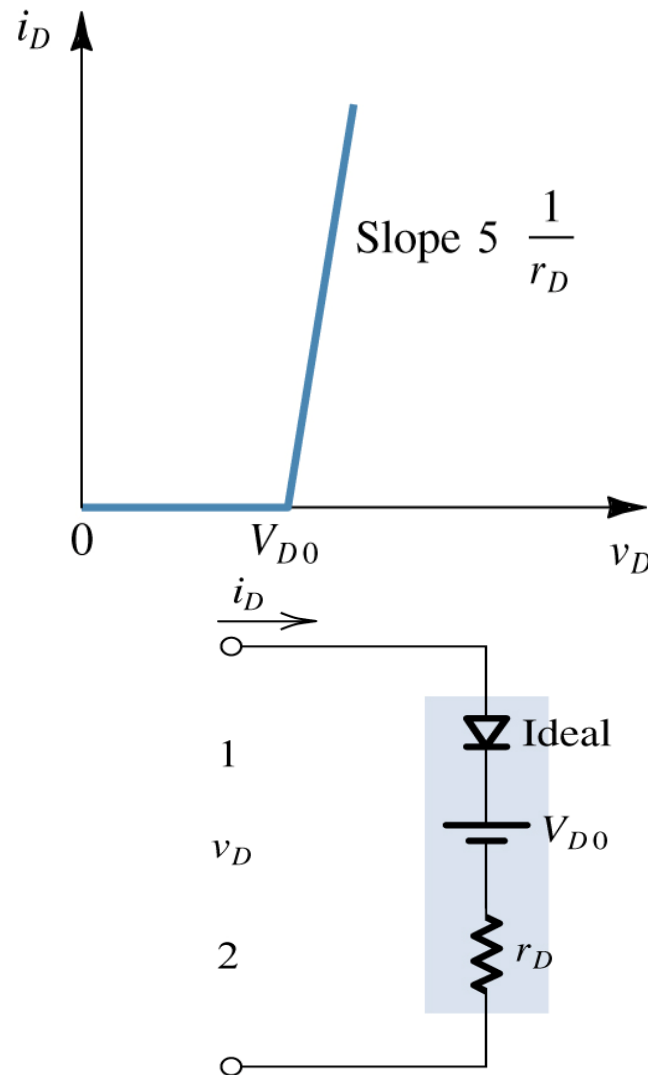
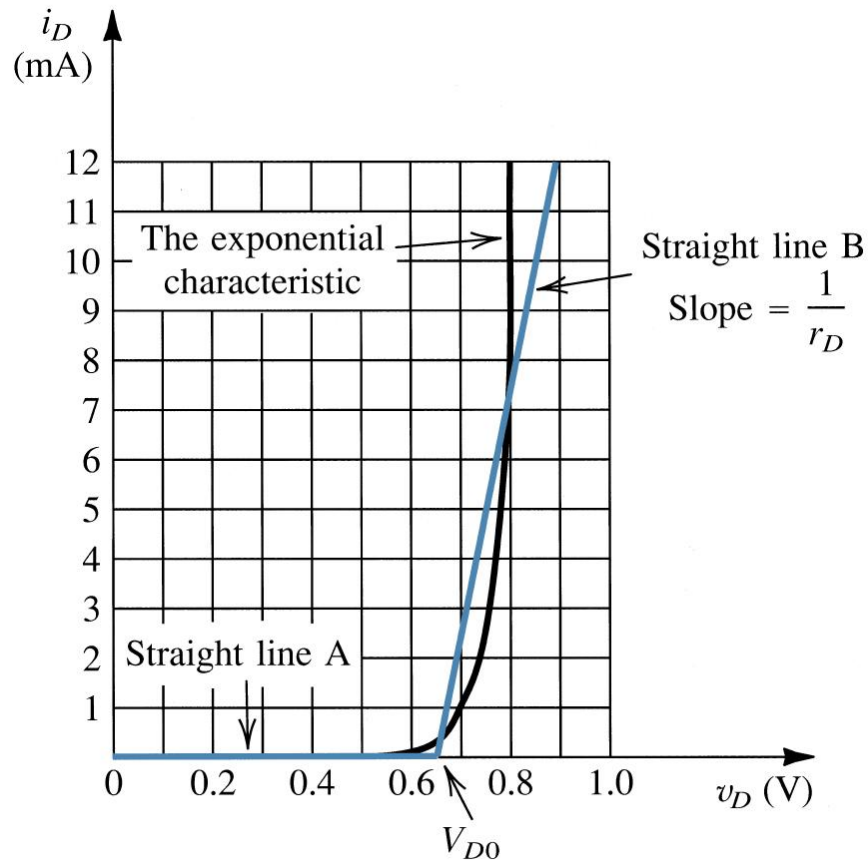
4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

3. *Sơ đồ một nguồn điện áp thực* : Trong trường hợp này điốt được coi như một nguồn điện áp thực gồm có nguồn điện áp và nội trở của nó chính là R_T (điện trở trong của điốt và nó là điện trở thuận). .

$$R_T = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} = \frac{U_M - U_T}{I_M}$$



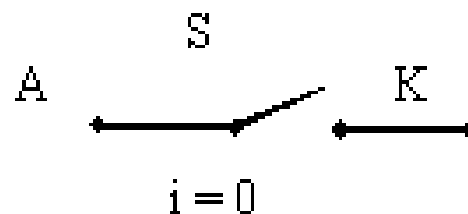
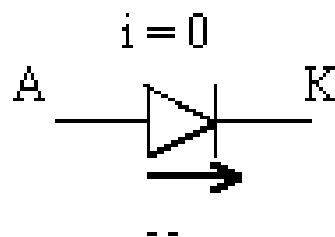
4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt



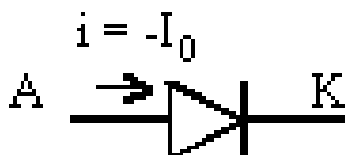
4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

Các mô hình tương đương của điốt phân cực ngược

- Sơ đồ một khóa ở trạng thái hở



- Sơ đồ một nguồn dòng lý tưởng

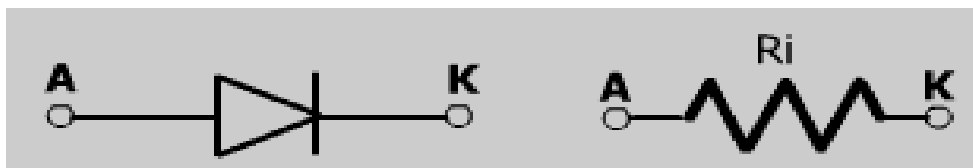


4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

Các mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

a. *Sơ đồ một điện trở động R_i ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp:* Trong trường hợp này Điốt luôn phân cực thuận, đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ đáp ứng của điốt được coi như một phần tử tuyến tính:

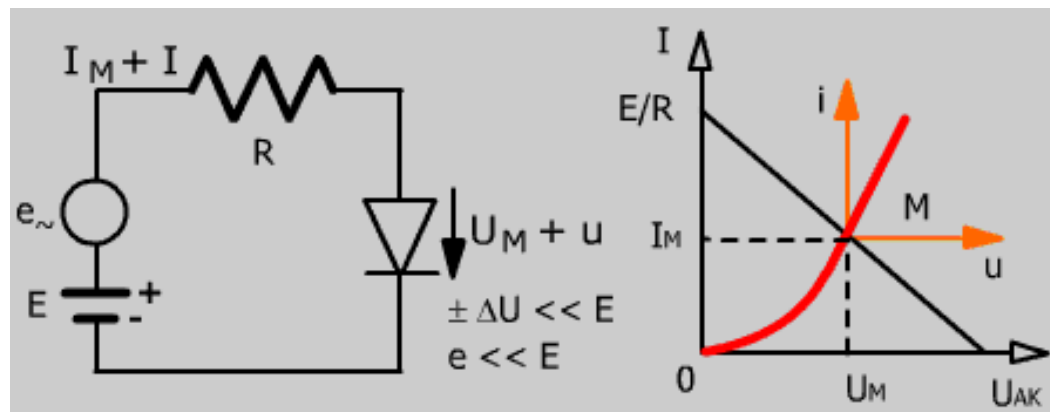
$$u = R_i i = R_i \frac{e}{R + R_i}$$



$$R_i = \left. \frac{dU}{dI} \right|_M$$

$$R_i = \frac{\eta V_T}{I_0 e^{\frac{U}{\eta V_T}}} = \frac{\eta V_T}{I_M + I_0}$$

$$R_i \approx \frac{\eta V_T}{I_M}$$

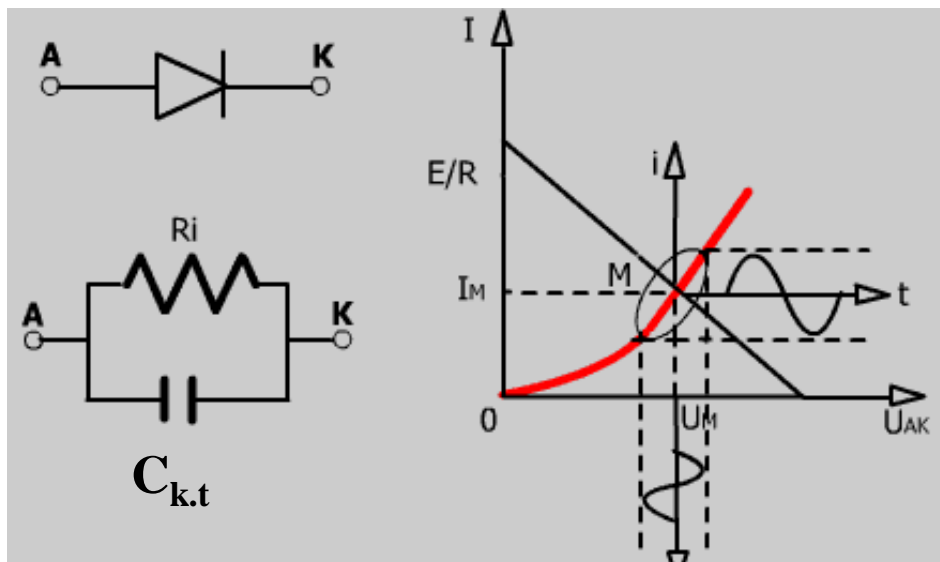


4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

Các mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

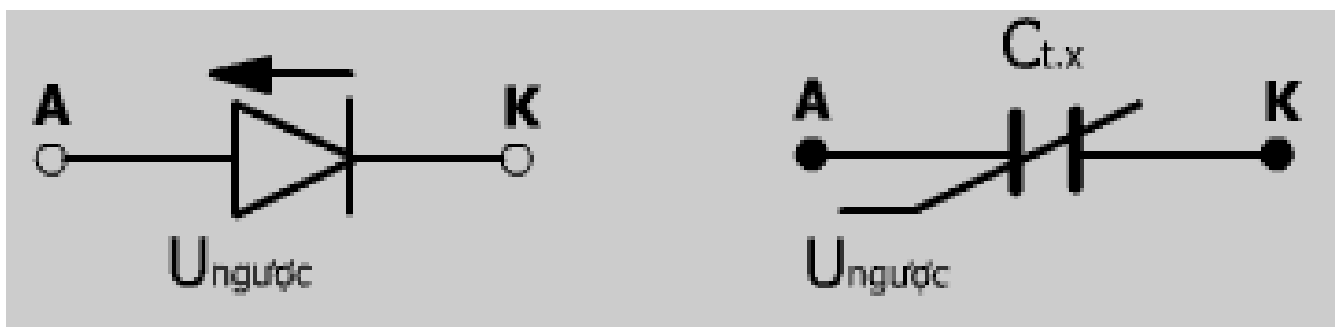
b. Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao: Ở chế độ này điốt được coi như một điện trở thuận R_i mắc song song với một điện dung khuếch tán $C_{k.t.}$. $C_{k.t.}$ xuất hiện trong khoảng thời gian τ là khoảng thời gian lệch pha giữa i và u . $C_{k.t.}$ là điện dung khuếch tán của tiếp xúc P-N và được xác định:

$$C_{k.t} = \frac{\tau}{R_i}$$



4.2.7. Các mô hình tương đương của điốt

c. Sơ đồ một điện dung chuyển tiếp ở chế độ tín hiệu nhỏ (Phân cực ngược)



$$C_{tx} = \frac{C_0}{\left| V_{nguoc} \right|^{\frac{1}{n}}}$$

4.2.8 Phân loại điốt (1)

Điốt chỉnh lưu: Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều.



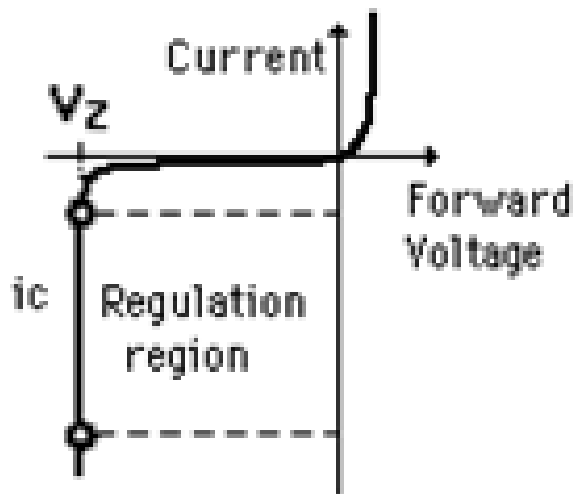
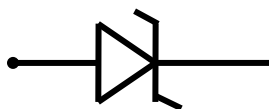
Điốt xung: Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" khi điện trở của điốt rất nhỏ và "khóa" khi điện trở của nó rất lớn. Yêu cầu thời gian chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác phải thật nhanh. Thời gian chuyển trạng thái xác định tốc độ hoạt động của điốt và do đó xác định tốc độ làm việc của thiết bị.

Các điốt xung có các loại điốt hợp kim, điốt mêza, điốt Sôtky. Trong đó điốt Sôtky được dùng rộng rãi nhất. Điốt Sôtky sử dụng tiếp xúc bán dẫn - kim loại. Trong điốt Sôtky không có quá trình nạp hoặc xả điện tích trong miền nền. Do đó tốc độ làm việc chủ yếu của điốt Sôtky chỉ phụ thuộc vào điện dung rào thế của tiếp xúc P- N rất nhỏ. Thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt Sôtky có thể đạt tới 100psec. Điện áp phân cực thuận cho điốt Sôtky khoảng $U_D = 0,4V$, tần số làm việc cao đến 100 GHz.



4.2.8 Phân loại điốt (2)

Điốt ổn áp: Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Điốt ổn áp được chế tạo từ bán dẫn Silíc vì nó bảo đảm được đặc tính kỹ thuật cần thiết. VD: điốt Zener



Điốt biến dung (varicap): Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp. Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của tiếp xúc P-N với điện áp ngược đặt vào nó.



4.2.8 Phân loại điốt (3)

Điốt tunen (hay điốt xuyên hầm): Điốt được chế tạo từ chất bán dẫn có nồng độ tạp chất rất cao thông thường $n = (10^{19} \div 10^{23})/\text{cm}^3$. Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược.

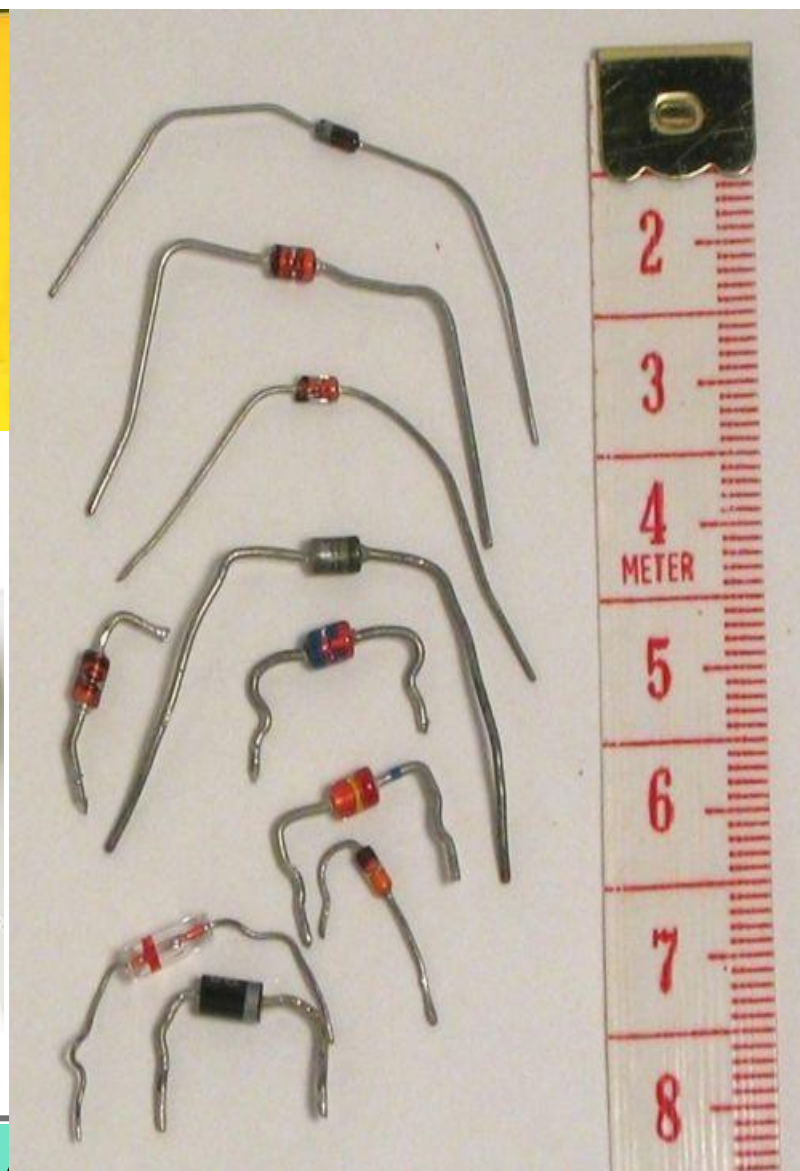


Điốt cao tần: Dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

- Điốt tách sóng.
- Điốt trộn sóng.
- Điốt điều biến

Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm.





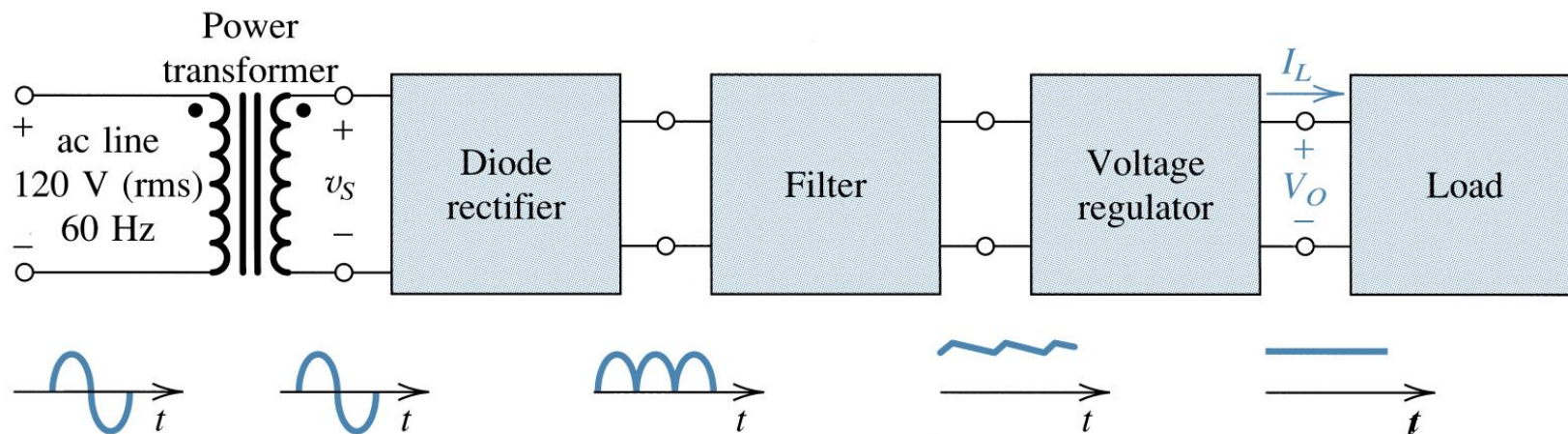
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

- Điốt được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau. Ví dụ một số ứng dụng đơn giản như sau:
 - + Mạch chỉnh lưu điện áp xoay chiều
 - + Mạch nhân đôi điện áp
 - + Mạch ghim và mạch hạn biên
 - + Mạch ổn áp
 - + Mạch tách sóng
 - + Mạch logic
 -

4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

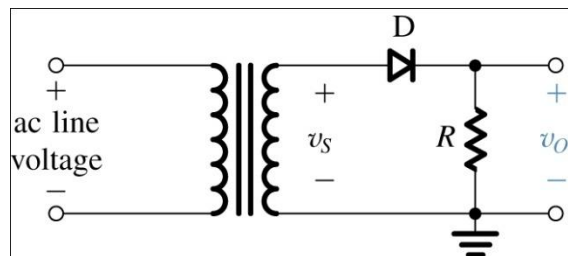
Mạch chỉnh lưu

Sơ đồ khối của khối nguồn một chiều

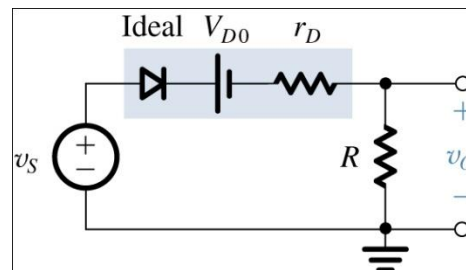


4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

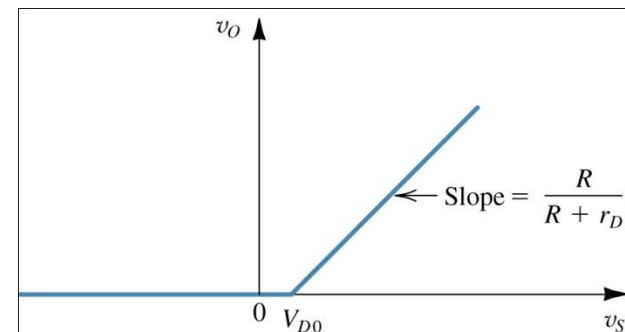
Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ



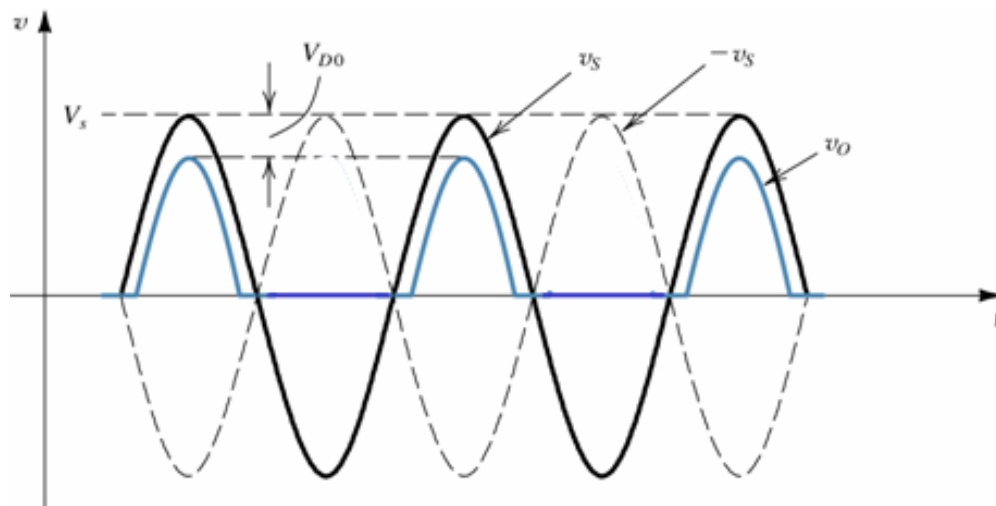
(a)



(b)



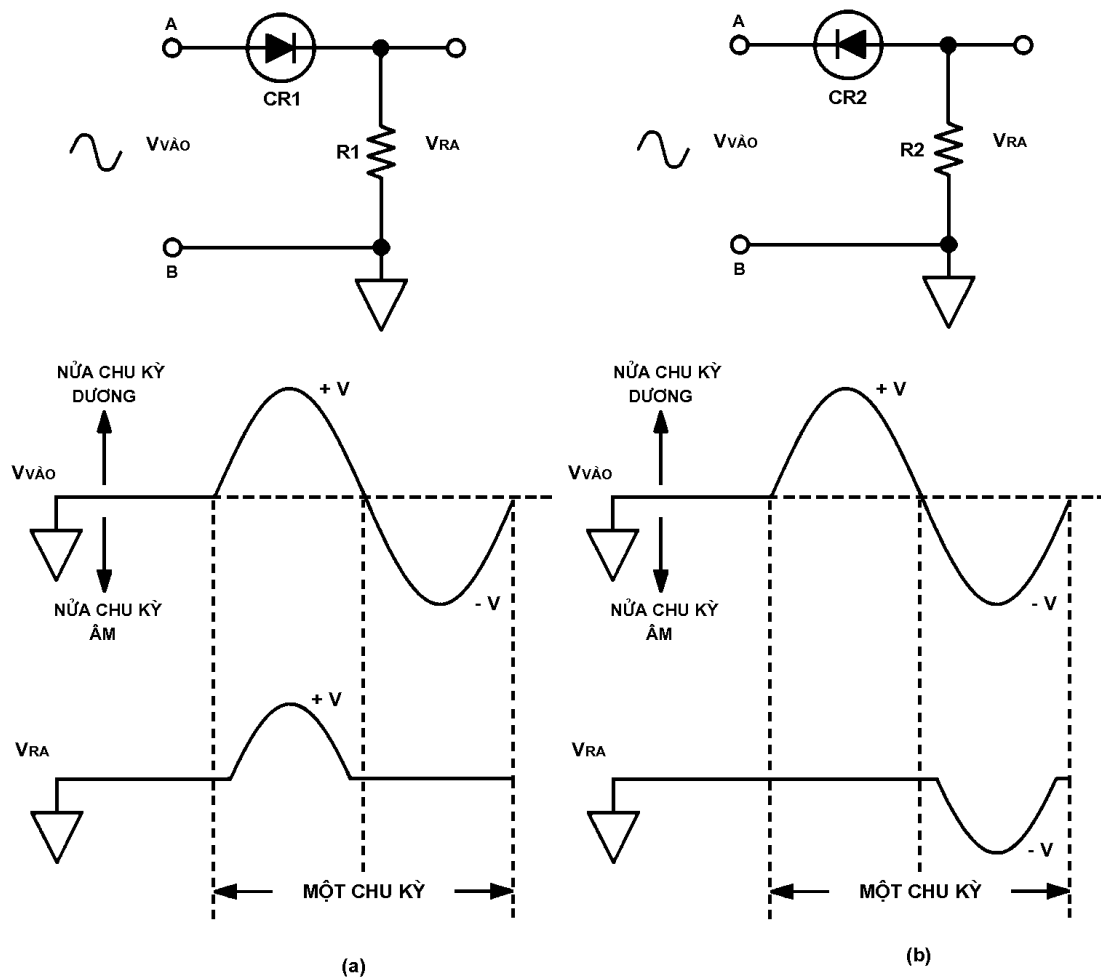
(c)



(c)

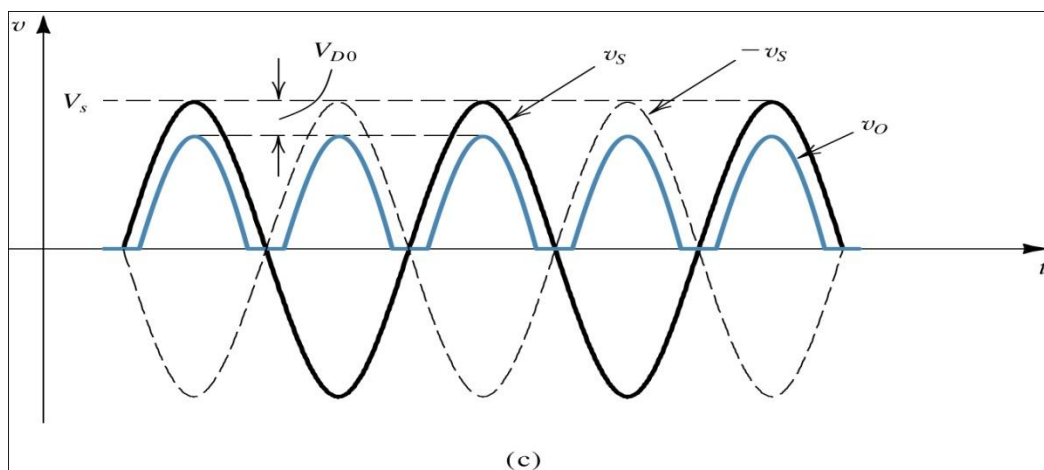
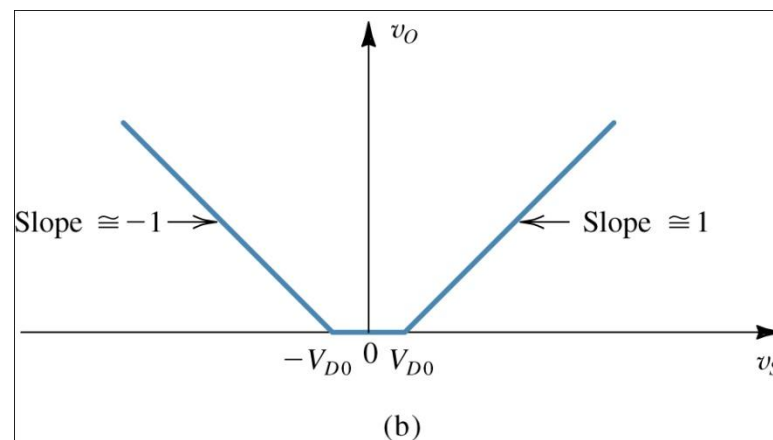
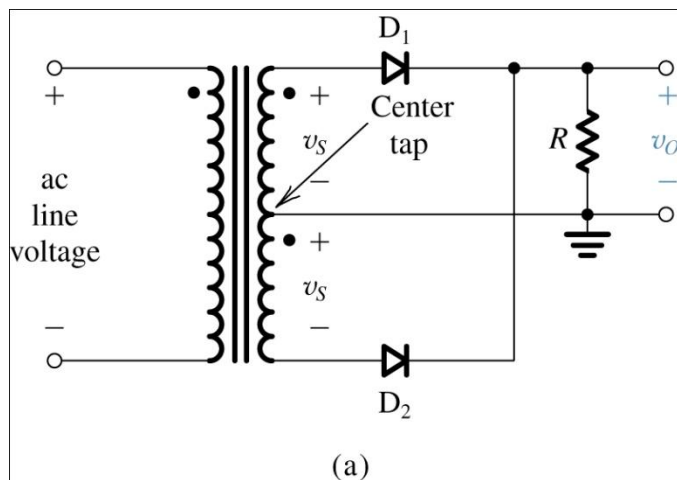
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ



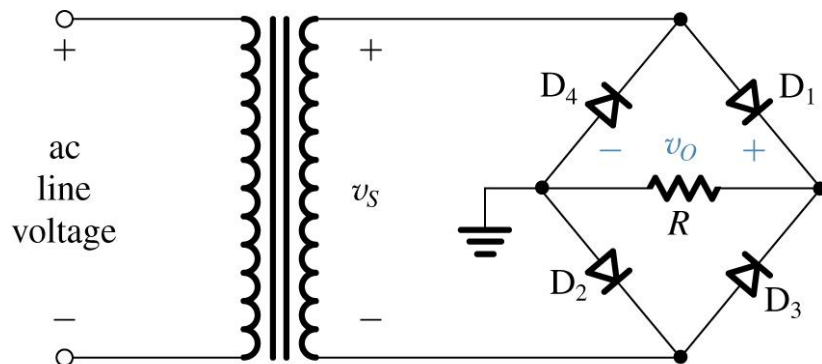
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

Mạch chỉnh toàn sóng

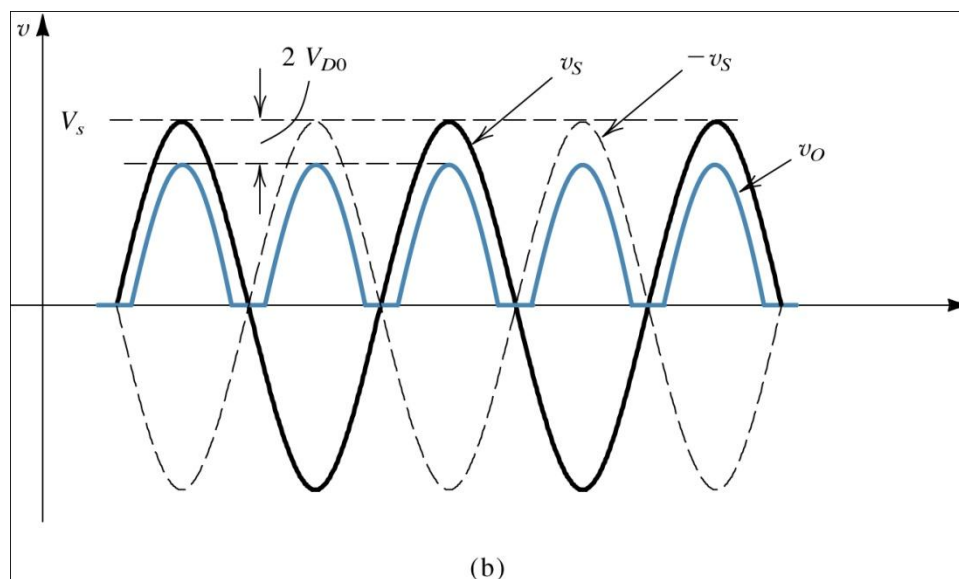


4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

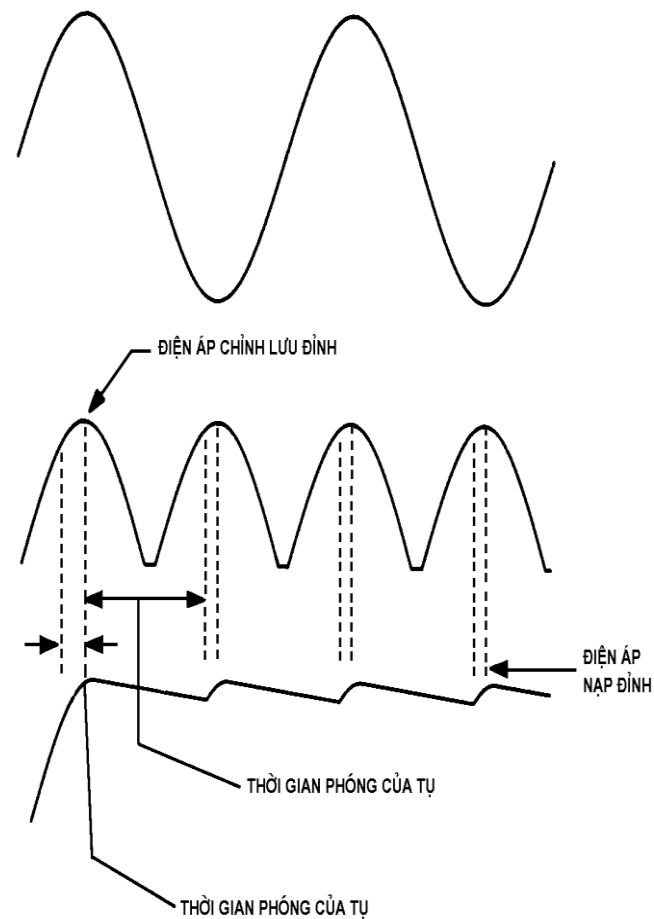
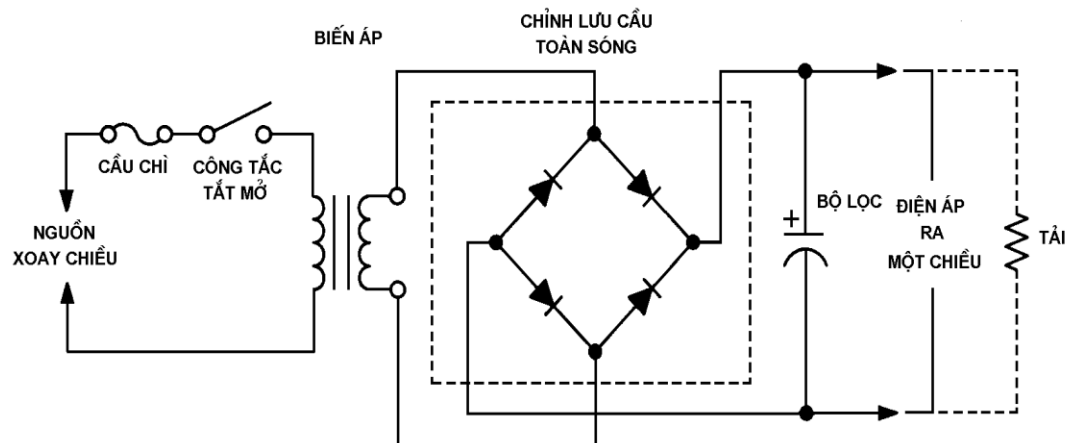
Cầu chỉnh lưu toàn sóng



(a)

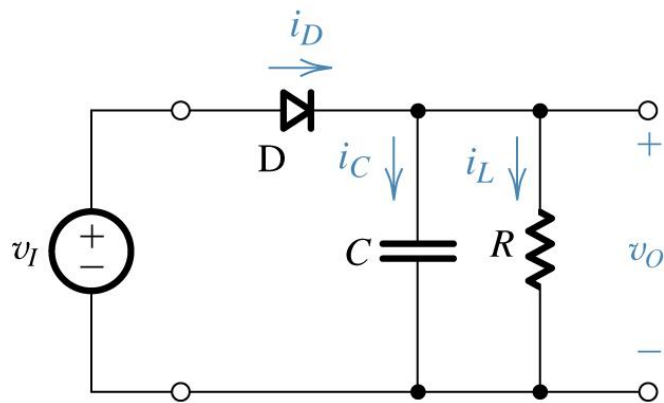


(b)

4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt**Mạch chỉnh lưu cả chu kỳ**

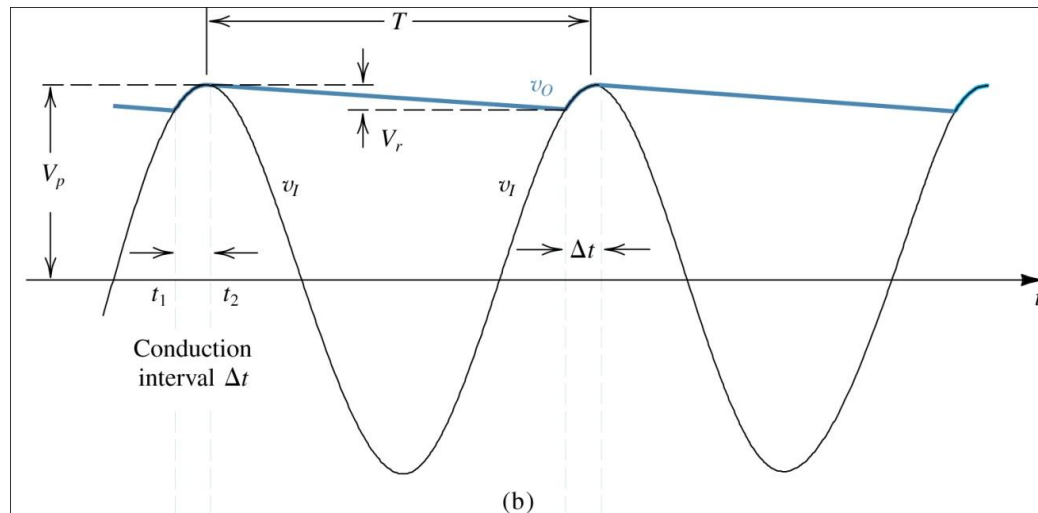
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

Mạch chỉnh lưu khi có tụ lọc

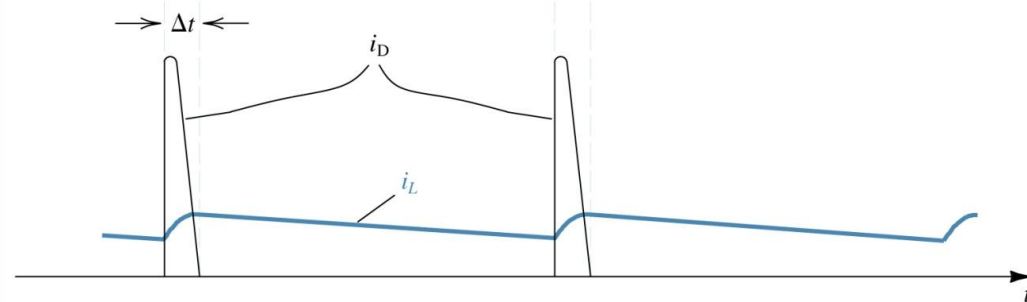


(a)

- Dạng sóng của điện áp và dòng điện ứng với $CR \gg T$.
- Giả sử điốt là lý tưởng.



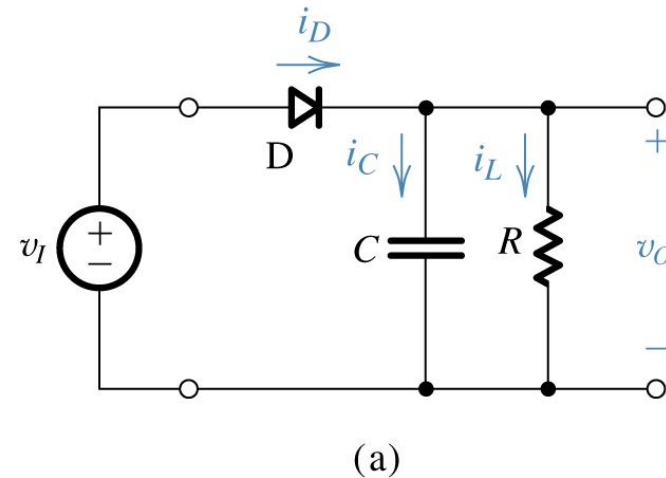
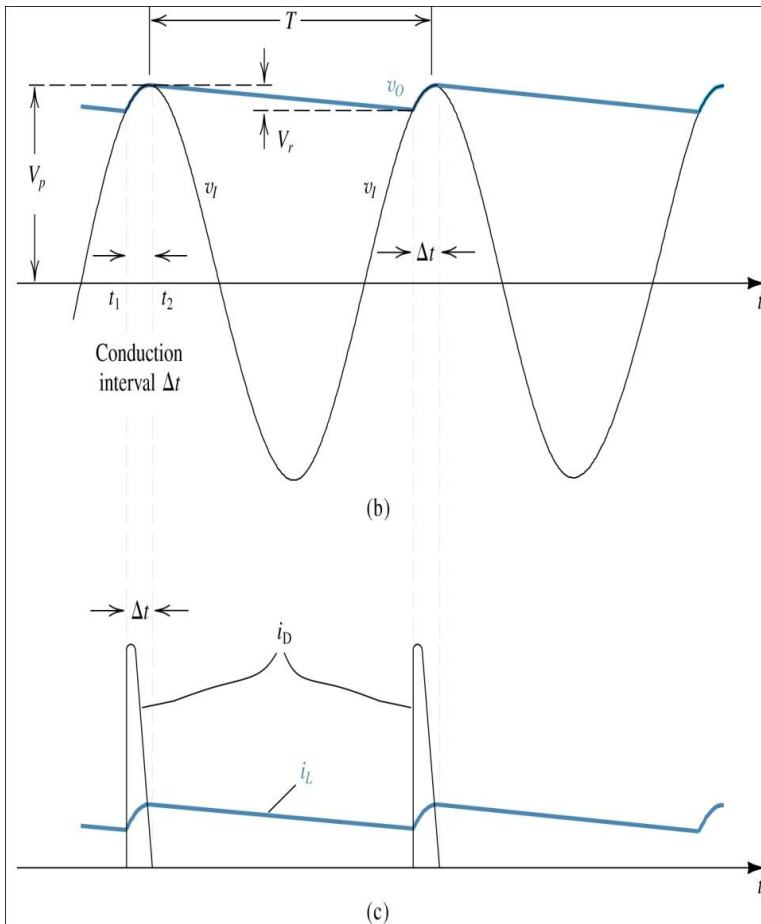
(b)



(c)

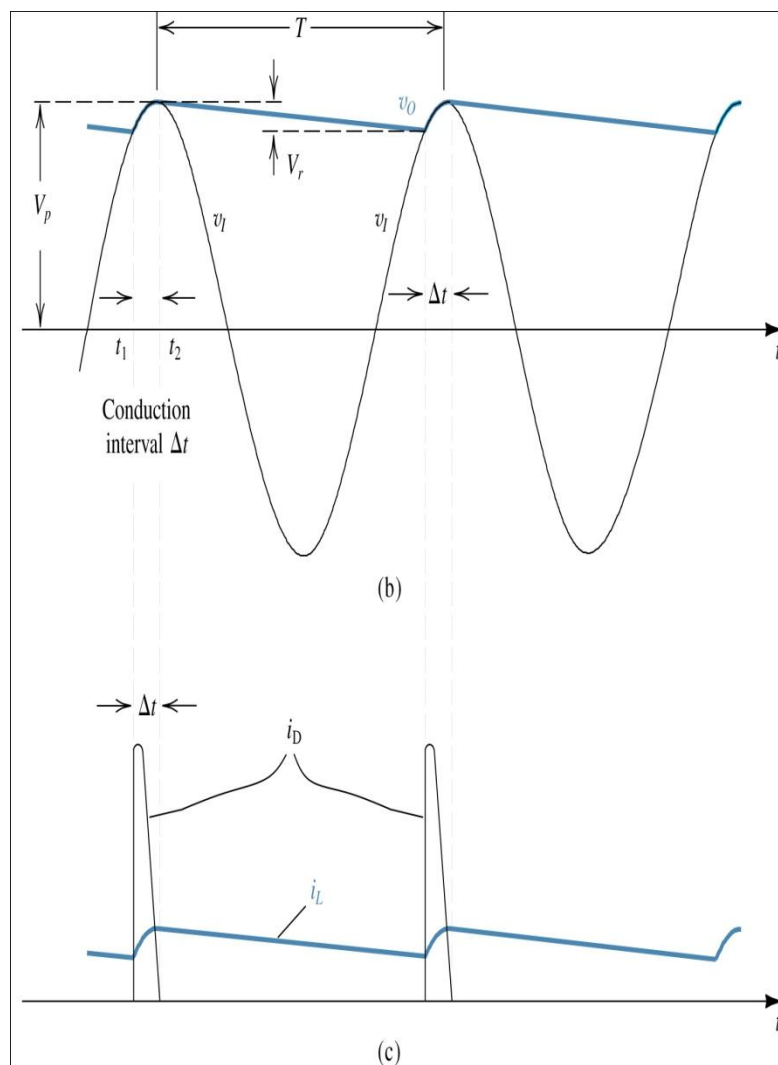
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

Mạch chỉnh lưu khi có tụ lọc



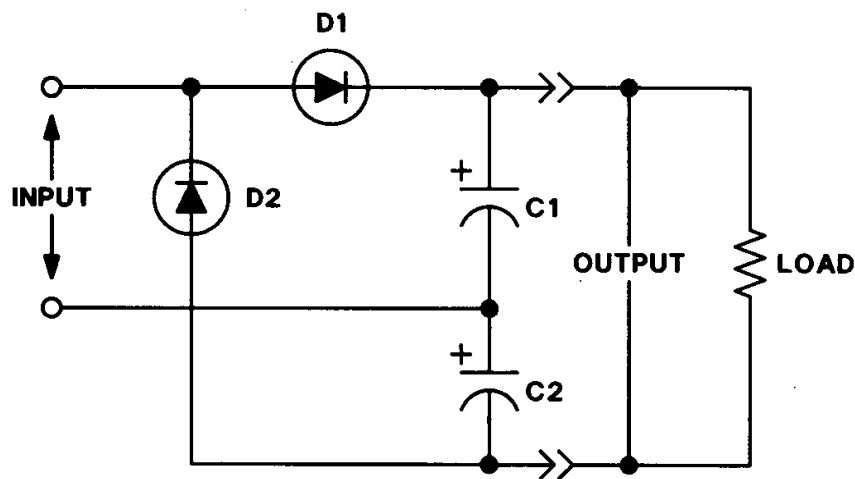
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

Mạch chỉnh lưu khi có tụ lọc



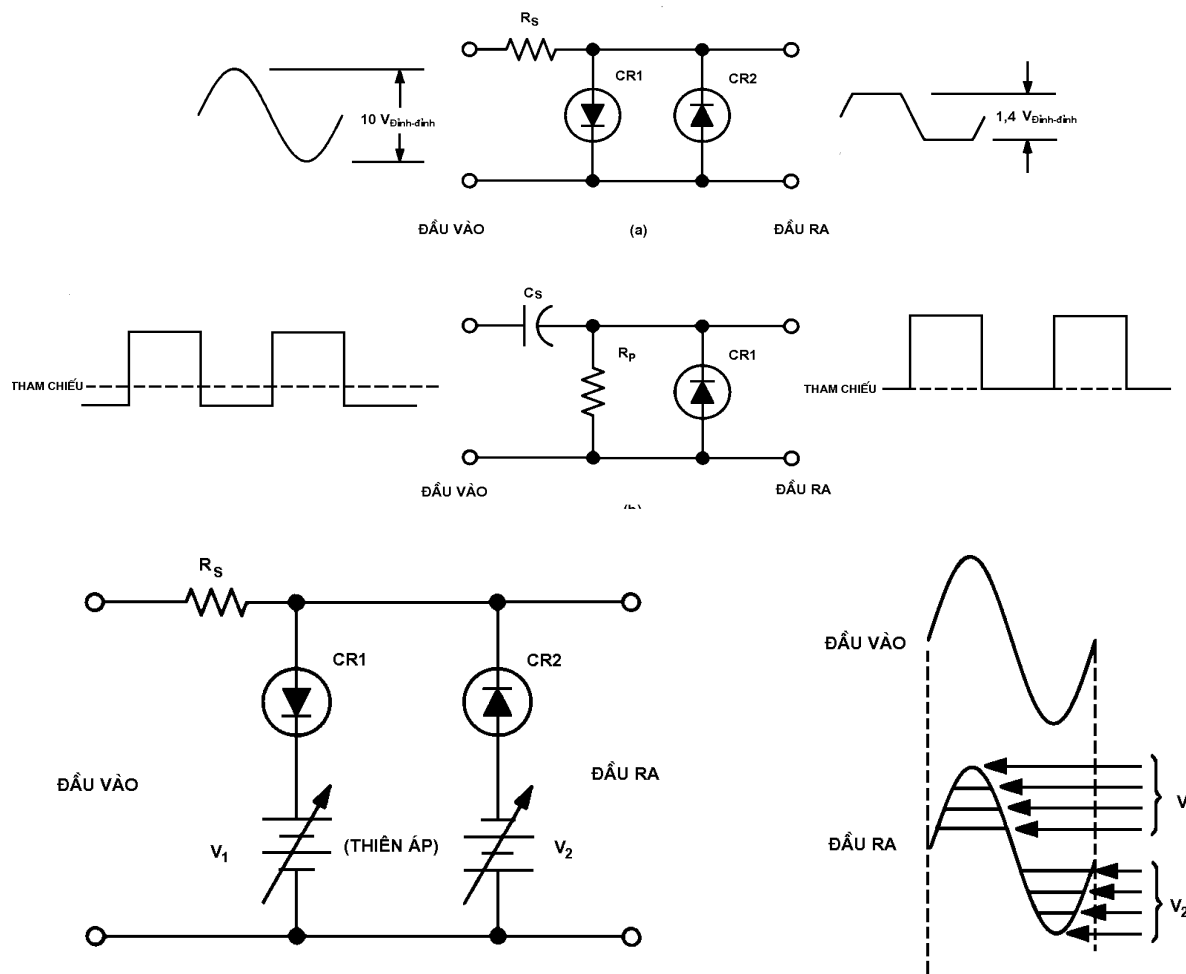
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

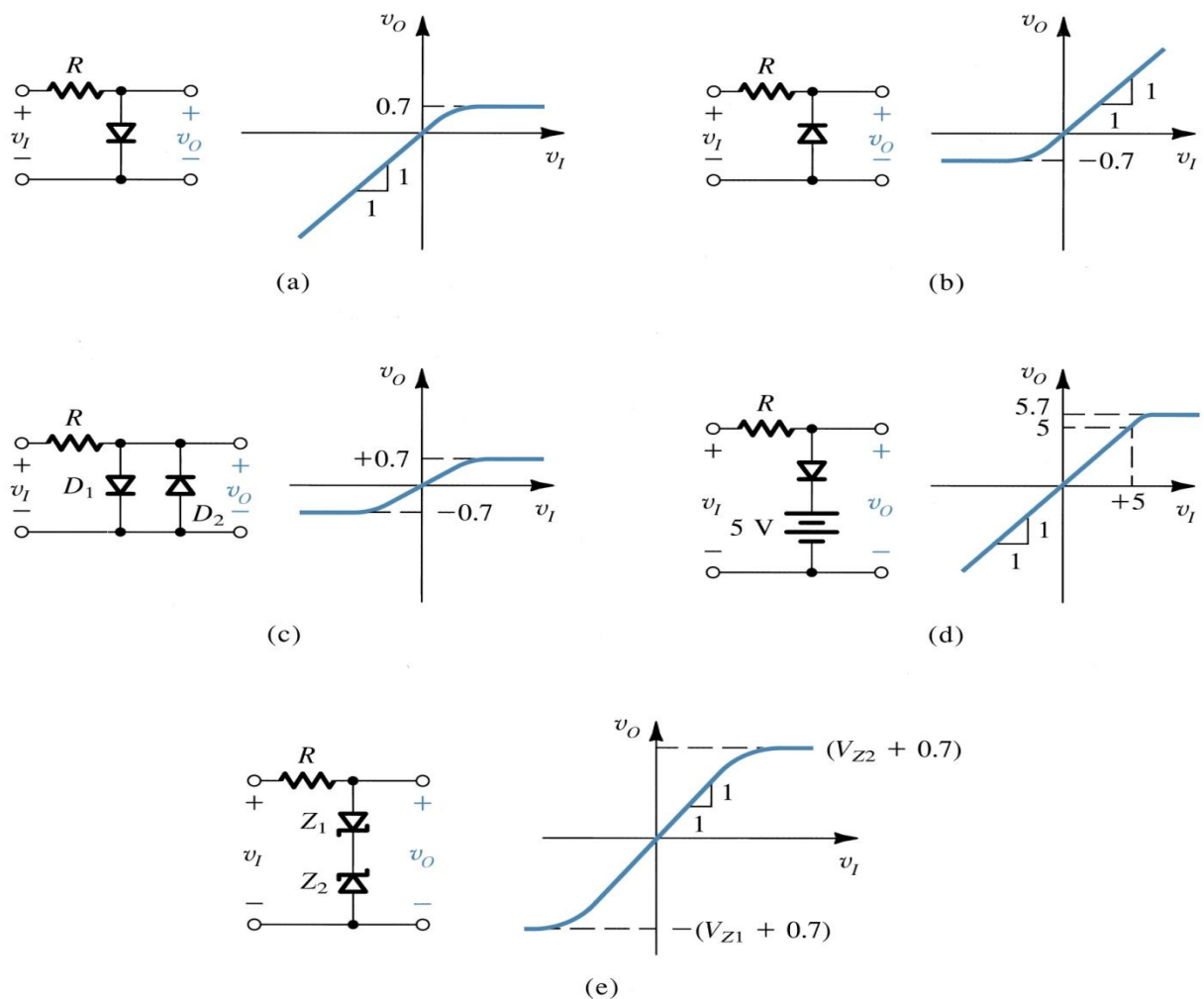
Mạch nhân đôi điện áp



4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

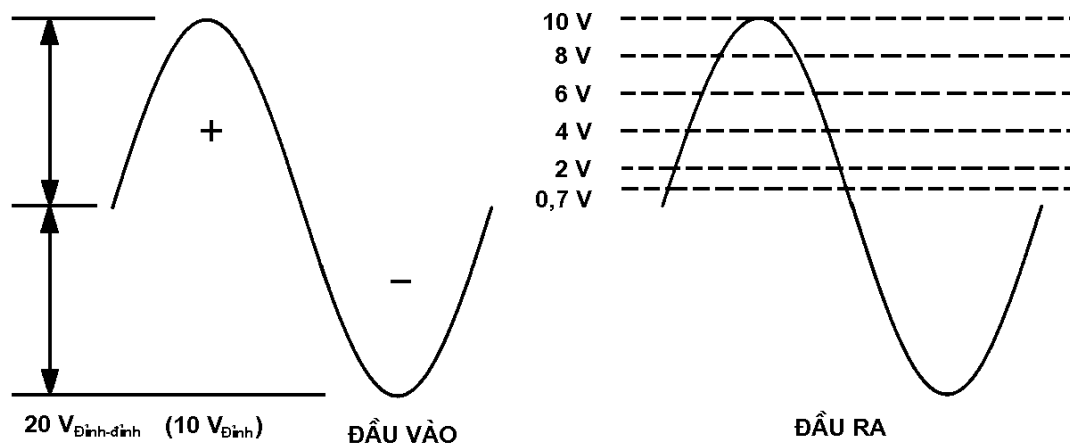
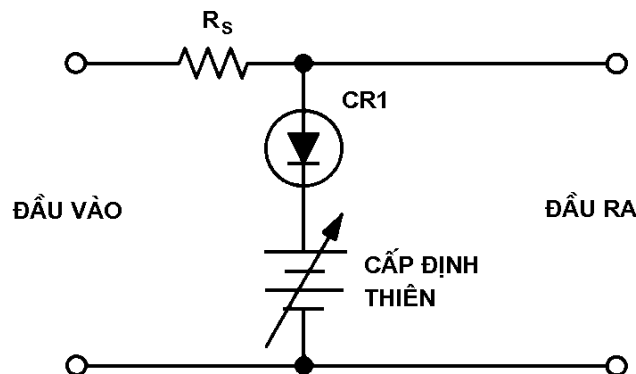
- Mạch ghim (dịch mức) và mạch hạn chế (ghim đỉnh)



4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt**Mạch hạn biên**

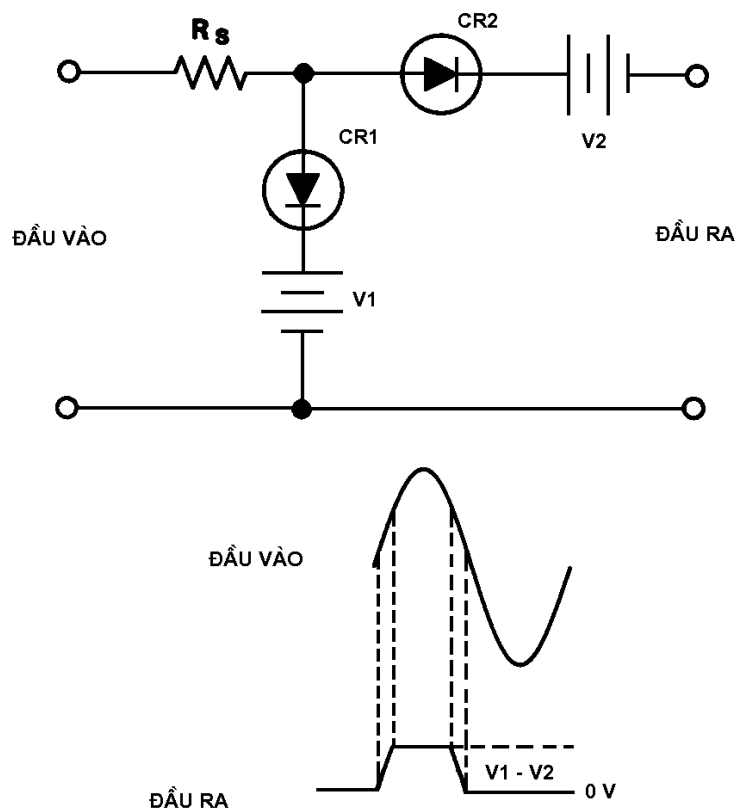
4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

- Mạch hạn biên



4.2.9. Một số ứng dụng của Điốt

- Mạch giới hạn biên độ 2 phía



- Vùng Zener được dùng để thiết kế điốt Zener
- Điện áp Zener (V_Z): là điện áp phân cực ngược mà tại đó dòng điện có xu hướng tăng đột biến trong khi điện áp tăng không đáng kể.
- Điện áp Zener rất nhạy cảm đối với nhiệt độ làm việc.

$$T_C = \frac{\Delta V_Z / V_Z}{T_1 - T_0} \cdot 100\% / ^\circ C$$

V_Z - điện áp Zener danh định ở 25°C

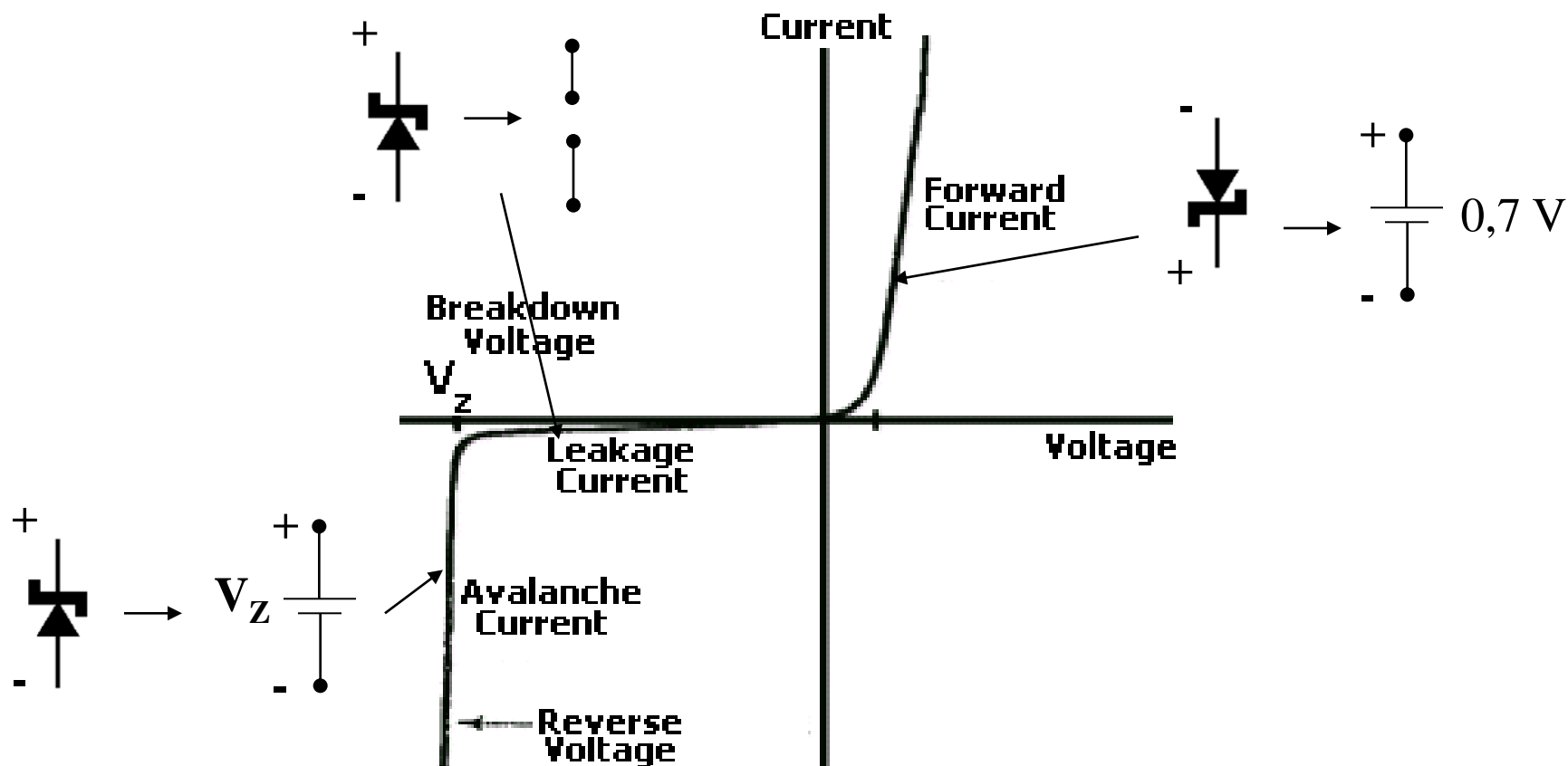
T_0 - nhiệt độ phòng (25°C)

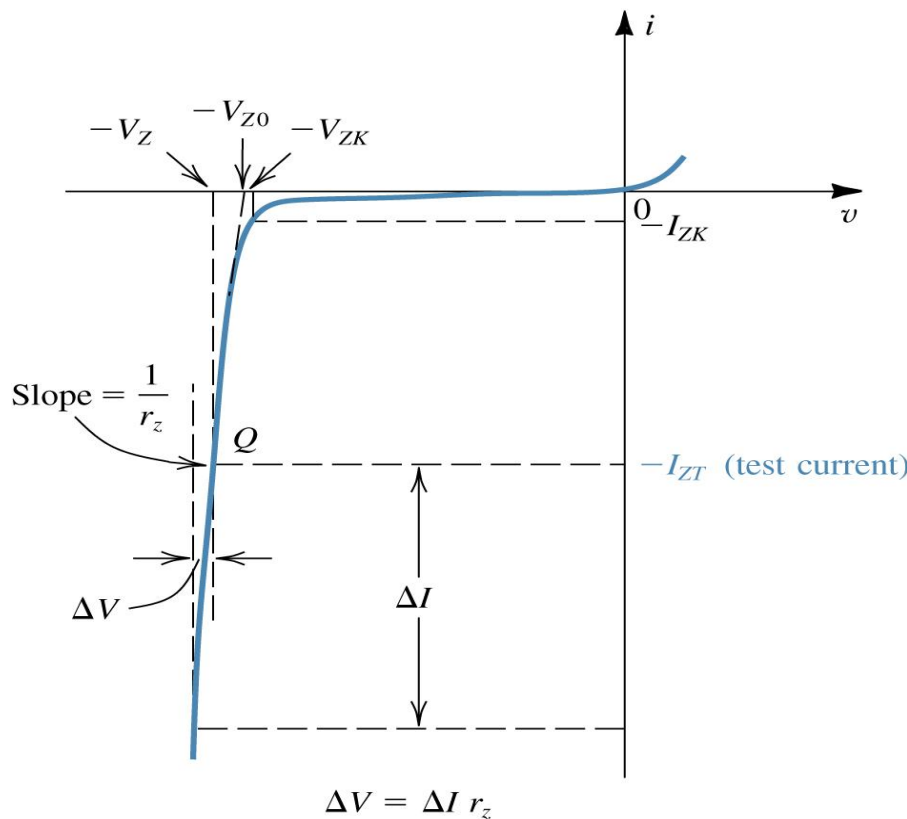
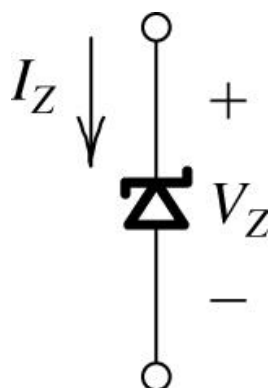
T_1 - nhiệt độ mới

T_C - hằng số nhiệt độ, thông thường ở 25°C : $T_C = +0,072\% / ^\circ\text{C}$

VD: cho một điốt Zener có $V_Z = 10\text{V}$ ở nhiệt độ phòng, hãy tính điện áp Zener mới của điốt đó khi nhiệt độ tăng lên đến 100°C

- Các đặc tính của diốt Zener với mô hình tương đương ở mỗi vùng



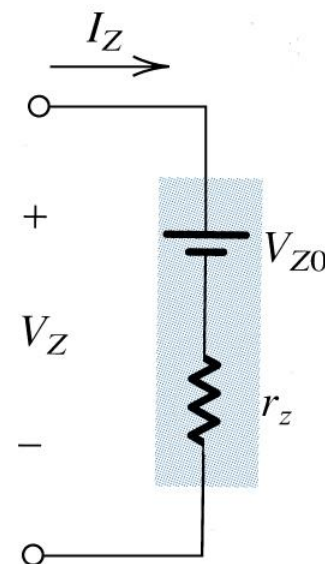


6.8 -V, 10mA

0.5W, 6.8-V, 70mA

$$V_Z = V_{Z0} + r_Z I_Z$$

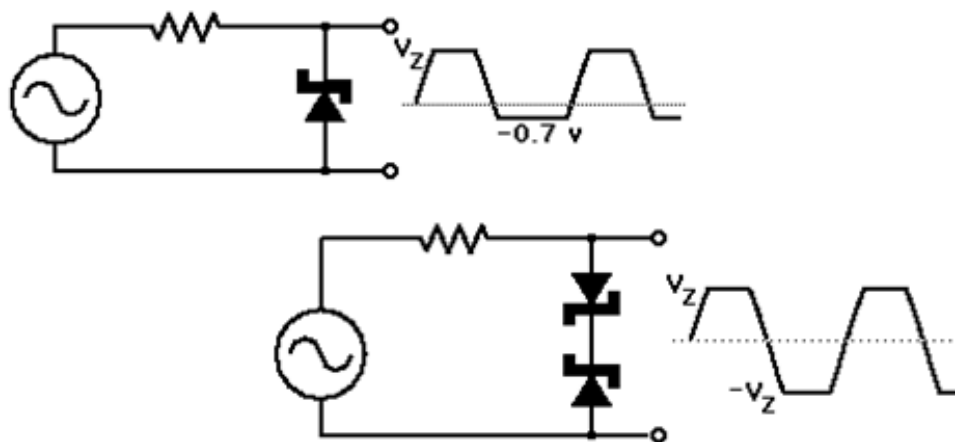
$V_Z > V_{Z0}$



- Mạch hạn chế dòng điốt Zener (Zener Limiter):

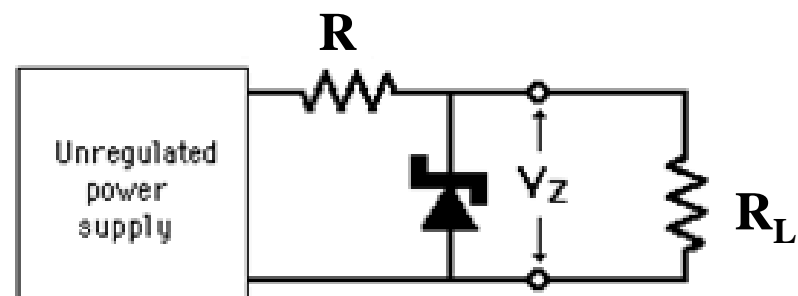
Một điốt Zener có thể hạn chế 1 phía của một sóng sin tới điện áp Zener (V_Z), trong khi đó ghim phía kia tới gần giá trị 0.

Với hai điốt Zener mắc ngược nhau (hình), sóng sin có thể bị hạn chế cả 2 phía tới điện áp Zener



- Mạch ổn áp dòng điốt Zener (Zener Regulator):

Điện áp ngược không đổi (V_Z) của điốt Zener được dùng để ổn định điện áp ra chống lại sự thay đổi của điện áp đầu vào từ một nguồn điện áp thay đổi hay sự thay đổi của điện trở tải. I chạy qua điốt Zener sẽ thay đổi để giữ cho điện áp nằm trong giới hạn của ngưỡng của vùng làm việc của điốt Zener



CHƯƠNG 5.

TRANSISTOR LƯỜNG CỰC - BJT

5.1. Cấu tạo và ký hiệu của lưỡng cực trong các sơ đồ mạch

5.1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn,

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

5.1.3. Mô hình Ebers-Moll

5.2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng

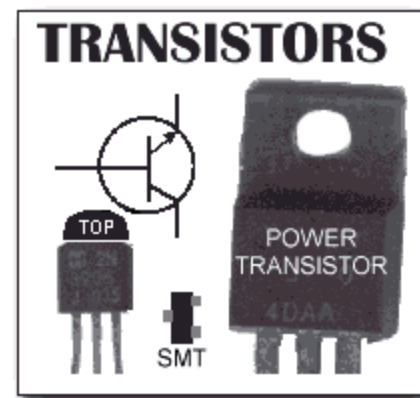
5.3. Phân cực cho BJT

5.4. Chế độ chuyển mạch

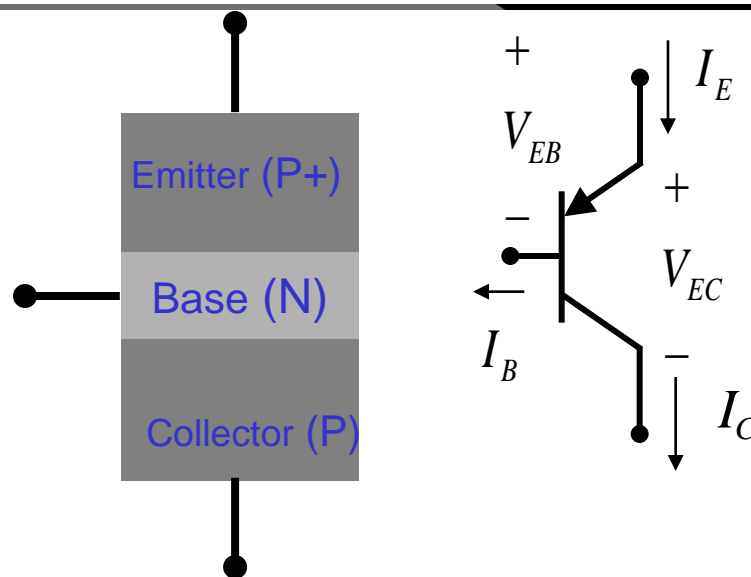
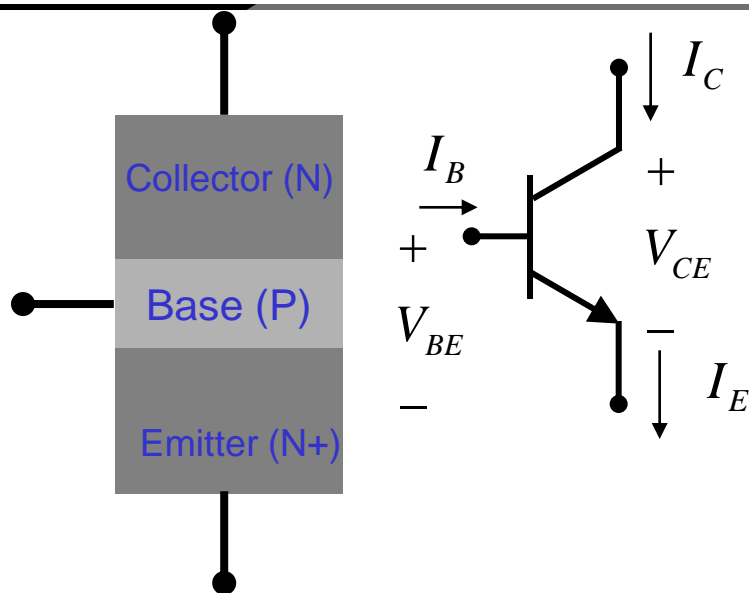
5.5. Các mô hình tương đương của BJT.

Chương 5: BJT**Giới thiệu chung về Transistor**

- Transistor = (Transfer Resistor)
- Transistor là một linh kiện bán dẫn thường được sử dụng như một thiết bị khuếch đại hoặc một khóa điện tử. Transistor là khối đơn vị cơ bản xây dựng nên cấu trúc mạch ở máy tính điện tử và tất cả các thiết bị điện tử hiện đại khác. Vì đáp ứng nhanh và chính xác nên các Transistor được sử dụng trong nhiều ứng dụng tương tự và số, như khuếch đại, đóng cắt, điều chỉnh điện áp, điều khiển tín hiệu, và tạo dao động. Transistor cũng thường được kết hợp thành mạch tích hợp (IC), có thể tích hợp tới một tỷ Transistor trên một diện tích nhỏ.

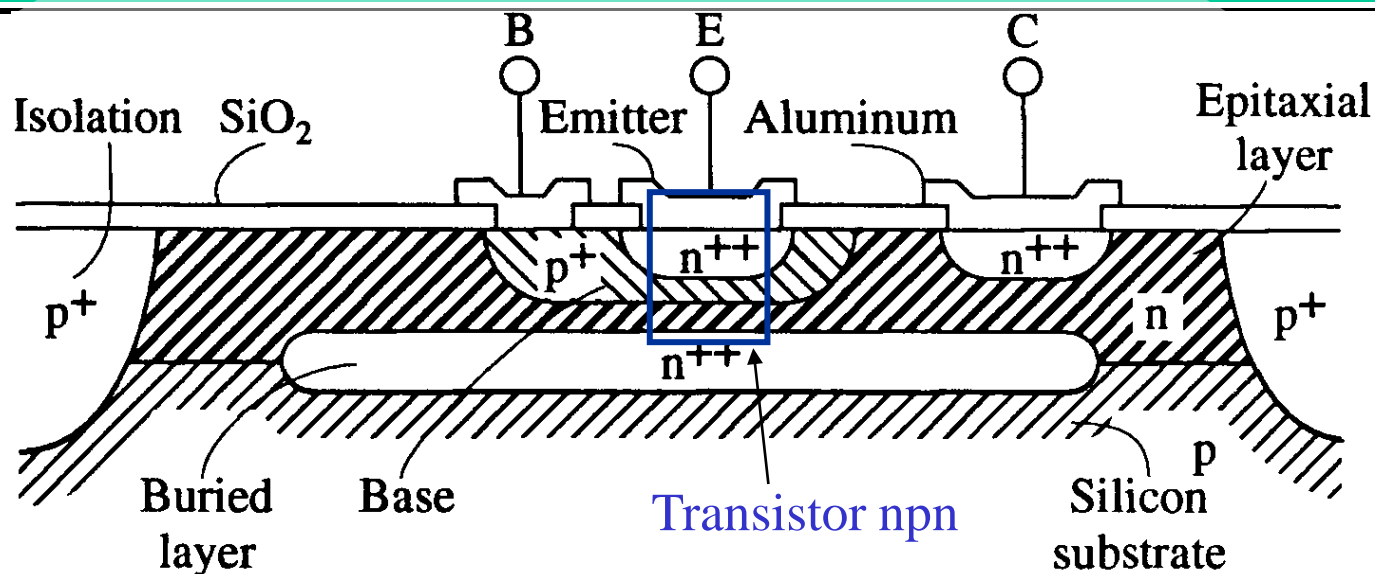


5.1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn



- Cấu tạo Transistor gồm có 2 tiếp giáp PN do 3 lớp tương ứng 3 miền phát, gốc, góp và có 3 điện cực nối tới 3 miền: Cực Phát-E (Emitter), Cực Gốc - B (Base), Cực Góp-C (Collector). BJT thuận có 3 miền PNP, BJT ngược có 3 miền NPN
- Chuyển tiếp PN giữa miền E-B là chuyển tiếp Emitter T_E , giữa B-C là chuyển tiếp collector T_C

5.1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn

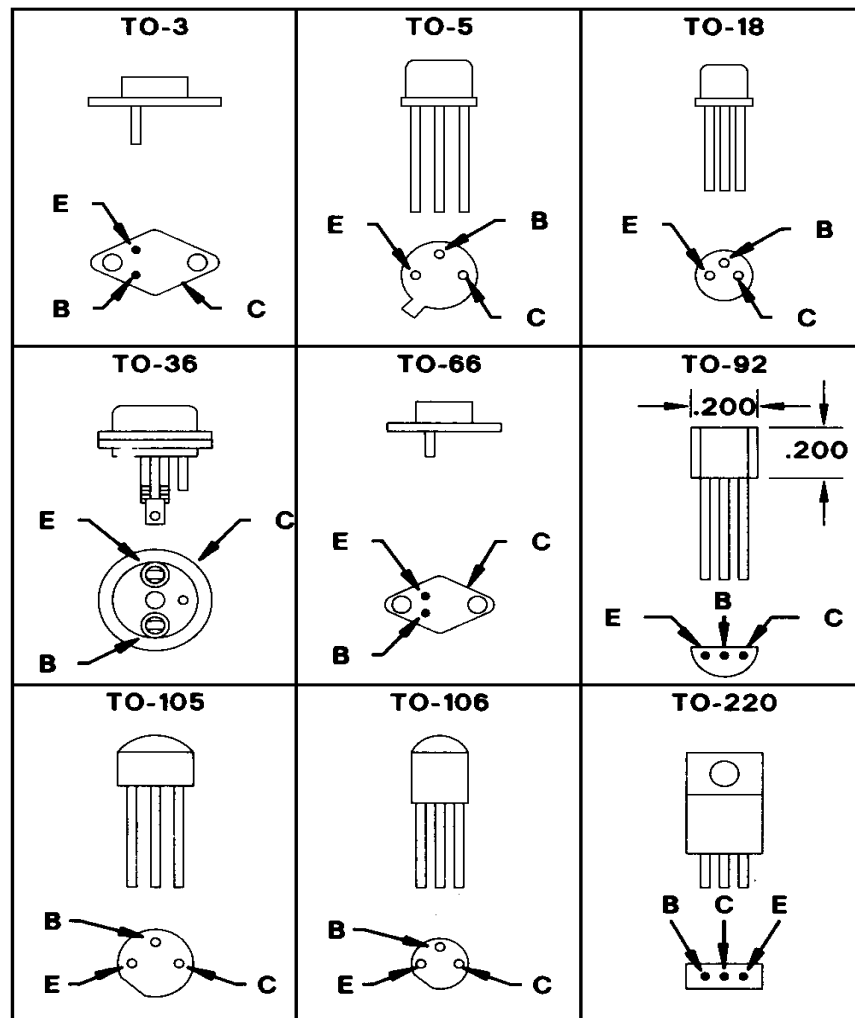
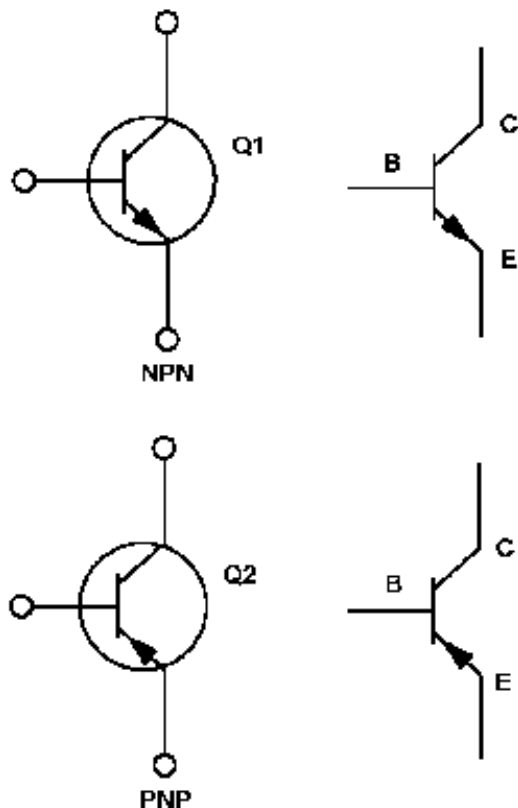


Conventional npn transistor

- Nồng độ pha tạp của miền E là khá cao, Miền B có nồng độ vừa phải kích thước khá mỏng, miền C có nồng độ pha tạp thấp. Miền phát có khả năng phát xạ các hạt dẫn sang miền gốc B, miền góp có khả năng thu nhận tất cả các hạt dẫn được phát xạ từ miền phát E qua miền gốc B tới.
- Miền C thường được nuôi trên phiên bán dẫn để, có lớp bán dẫn vùi sâu có nồng độ cao (Buried layer n++) để giảm trị số điện trở nối tiếp.
- Độ rộng của miền B nhỏ hơn độ dài khuếch tán trung bình rất nhiều

5.1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn

Kí hiệu trên sơ đồ và các dạng đóng vỏ khác nhau của BJT



5.1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn**Đặt tên và ký hiệu cho BJT**

- BJT thường được ký hiệu là A..., B..., C..., D... Ví dụ A564, B733, C828, D1555 trong đó các Transistor ký hiệu là A và B là Transistor thuận PNP còn ký hiệu là C và D là Transistor ngược NPN. các Transistor A và C thường có công xuất nhỏ và tần số làm việc cao còn các Transistor B và D thường có công xuất lớn và tần số làm việc thấp hơn.
- Transistor do Mỹ sản xuất. thường ký hiệu là 2N... ví dụ 2N3055, 2N4073 vv...
- Transistor do Trung quốc sản xuất : Bắt đầu bằng số 3, tiếp theo là hai chữ cái. Chữ cái thứ nhất cho biết loại bóng : Chữ A và B là BJT thuận , chữ C và D là BJT ngược, chữ thứ hai cho biết đặc điểm : X và P là BJT âm tần, A và G là BJT cao tần. Các chữ số ở sau chỉ thứ tự sản phẩm. Thí dụ : 3CP25 , 3AP20 vv..

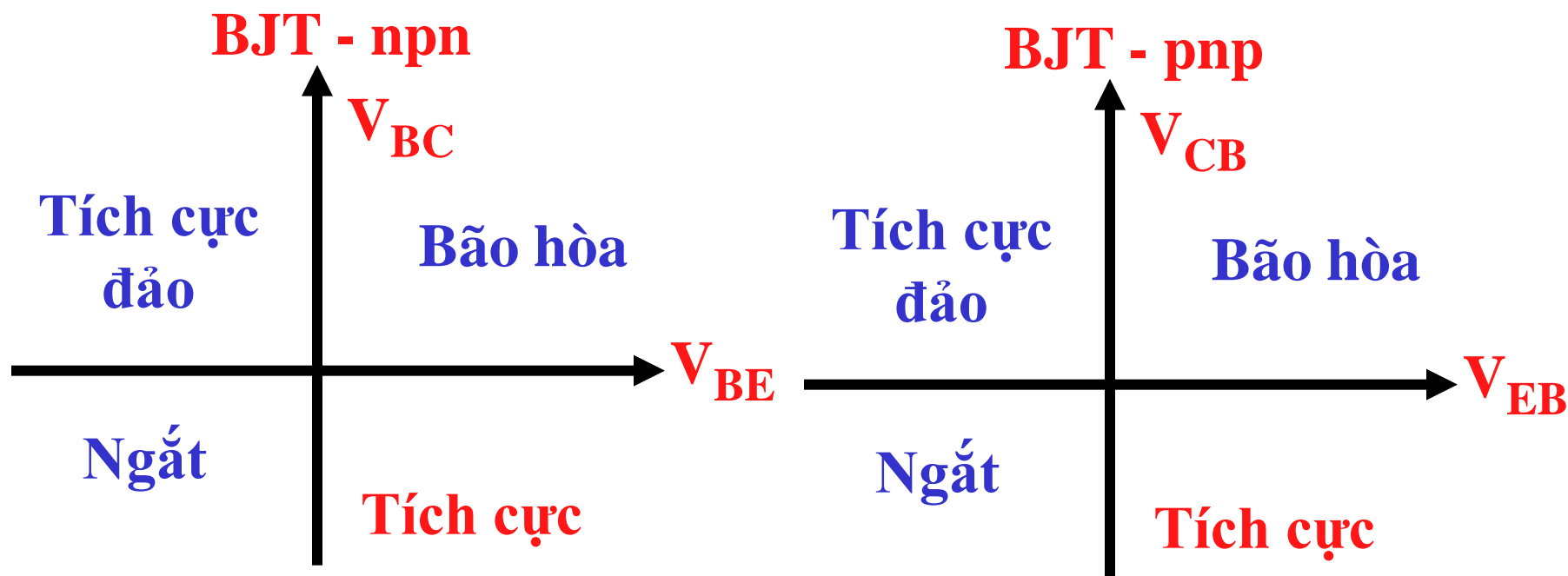
5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

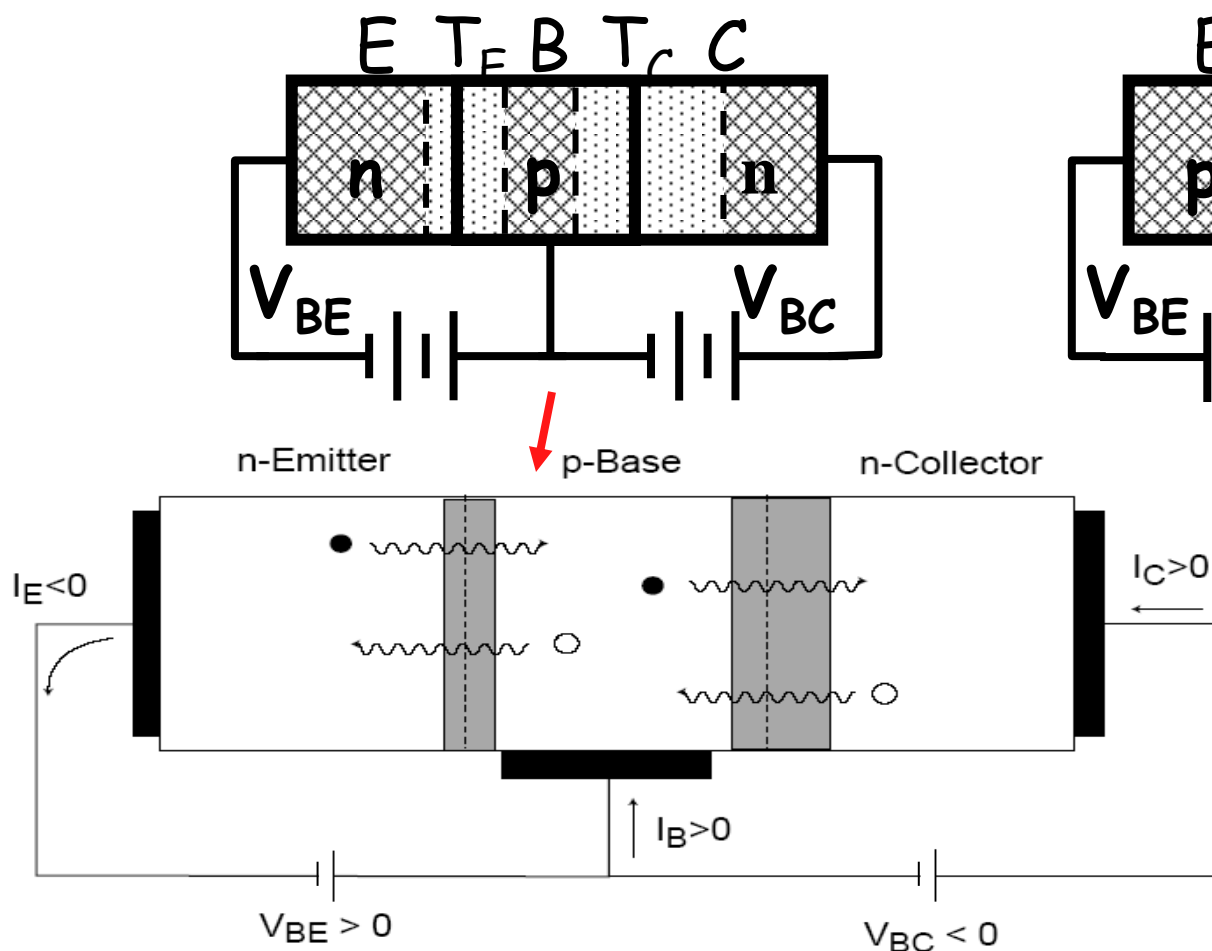
- Ở trạng thái cân bằng nhiệt, dòng điện qua các cực = 0.
- Muốn cho Transistor làm việc ta phải cung cấp một điện áp một chiều thích hợp cho các chân cực. Tùy theo điện áp đặt vào các cực mà Transistor làm việc ở các chế độ khác nhau:
 - + **Chế độ ngắt:** Hai tiếp giáp PN đều phân cực ngược. Transistor có điện trở rất lớn và dòng điện qua các cực rất nhỏ.
 - + **Chế độ dẫn bão hòa:** Cả hai tiếp giáp PN đều phân cực thuận. Transistor có điện trở rất nhỏ và dòng điện qua nó là rất lớn.
 - + **Chế độ tích cực:** Tiếp giáp BE phân cực thuận, tiếp giáp BC phân cực ngược, Transistor làm việc như một phần tử tích cực, có khả năng khuếch đại, phát tín hiệu... Đây là chế độ thông dụng nhất của Transistor.
 - + **Chế độ tích cực đảo (Chế độ đảo):** Tiếp giáp BE phân cực ngược, tiếp giáp BC phân cực thuận, đây là chế độ không mong muốn
- Cả hai loại Transistor pnp và npn đều có nguyên lý làm việc giống hệt nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau. Chỉ cần xét với BJT npn, với loại BJT pnp tương tự.

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

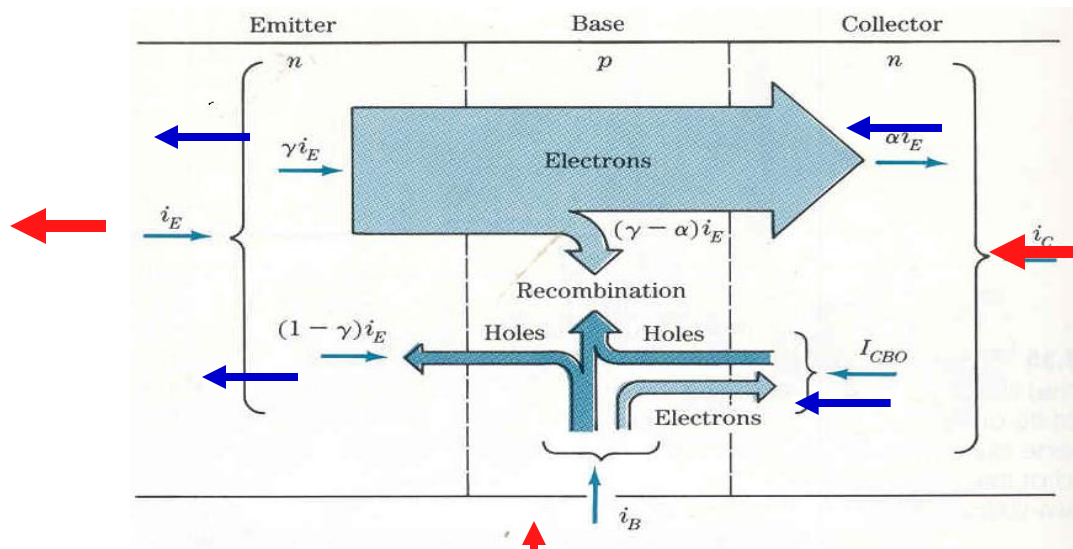
- Ở chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, BJT làm việc như một phần tử tuyến tính trong mạch điện. Trong BJT không có quá trình điều khiển dòng điện hay điện áp. Transistor làm việc ở chế độ này như một khóa điện tử và nó được sử dụng trong các mạch xung, các mạch logic.

- **Các vùng làm việc của BJT:**



5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)**

- Tiếp giáp BE phân cực thuận.
- Tiếp giáp BC phân cực ngược.

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)**

- T_E phân cực thuận nên hạt dẫn đa số là điện tử từ miền E được khuếch tán sang miền B qua chuyển tiếp T_E , trở thành hạt dẫn thiểu số, do sự chênh lệch nồng độ chúng tiếp tục khuếch tán đến miền chuyển tiếp T_C , tại đây nó được cuốn sang miền C (vì điện trường của tiếp giáp T_C có tác dụng cuốn hạt thiểu số).

- Hạt dẫn đa số là lỗ trống tại miền B cũng khuếch tán ngược lại miền E nhưng không đáng kể so với dòng khuếch tán điện tử do nồng độ lỗ trống ở miền B ít hơn rất nhiều (vì nồng độ pha tạp miền B ít hơn nhiều)

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)**

- Hiệu suất của cực phát: γ - là tỉ số giữa thành phần dòng điện của hạt đa số với dòng điện cực phát:

$$BJTnpn: \quad \gamma = \frac{I_{nE}}{I_E} = \frac{I_{nE}}{I_{pE} + I_{nE}} \approx 0,98 \div 0,995 \quad \gamma = \frac{I_{nE}}{I_{nE} + I_{pE}} = \frac{1}{1 + I_{pE} / I_{nE}}$$

- Hệ số chuyển dời: $\beta^* = \frac{\text{Dòng điện do các hạt dẫn k / tán qua } T_E \text{ đến được tiếp xúc } T_C}{\text{Dòng điện của các hạt dẫn được k/ tán qua tiếp xúc } T_E}$

$$BJTnpn: \beta^* = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} = 0,98 \div 0,995$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát tĩnh : $\alpha_F (\alpha_0)$ hay còn gọi là hệ số truyền đạt dòng điện cực phát :

$$\alpha_F = \alpha_0 = \frac{I_{nC}}{I_E} = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} \frac{I_{nE}}{I_E} = \beta^* \gamma$$

- Hệ số tái hợp:

$$\delta = \frac{I_{nE} + I_{pE}}{I_{nE} + I_R + I_{pE}} \approx \frac{I_{nE}}{I_{nE} + I_R}$$

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)**

- Dòng điện I_B chủ yếu gồm: dòng bão hòa ngược của tiếp giáp T_C , thành phần dòng phun các hạt thiểu số qua tiếp giáp T_E và các thành phần dòng điện do hiện tượng tái hợp trong lớp tiếp xúc phát và trong miền gốc tạo nên.

$$I_B = I_R + I_{pE} - I_{CB0} = I_{nE} - I_{nC}$$

$$I_B = I_{pE} - I_{nE} + I_{nC} - I_{CB0}$$

- Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong BJT trong chế độ 1 chiều:

$$I_C = I_{nC} + I_{CB0}$$

$$I_C = \alpha_0 I_E + I_{CB0}$$

$$I_B = (1 - \alpha_0) I_E - I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

Thực tế dùng hệ số khuếch đại dòng điện cực phát tín hiệu nhỏ hay còn gọi là hệ số truyền đạt vi phân dòng điện cực phát α :

$$\alpha = \frac{\partial I_C}{\partial I_E}$$

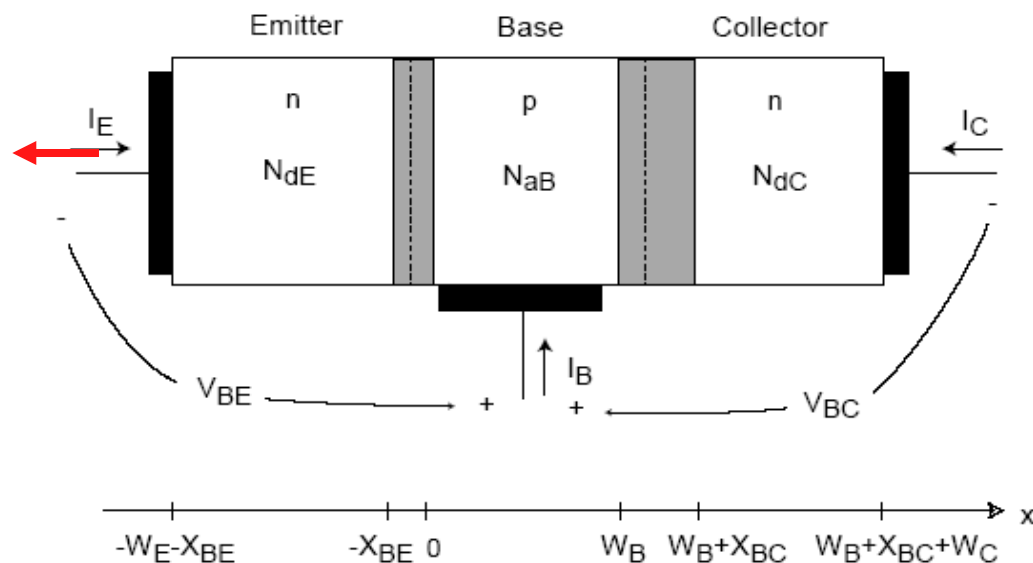
5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)**

- Hệ số khuếch đại dòng Emitter chung (tĩnh) một chiều β_F (β_0) :

$$\beta_0 = \frac{I_C}{I_B}, \text{ mà } I_E = I_B + I_C \Rightarrow \beta_0 = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}$$

- Hệ số khuếch đại dòng Emitter chung tín hiệu nhỏ: $\beta = \frac{\partial I_C}{\partial I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

- Mô hình kích thước đơn giản của BJT npn



5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

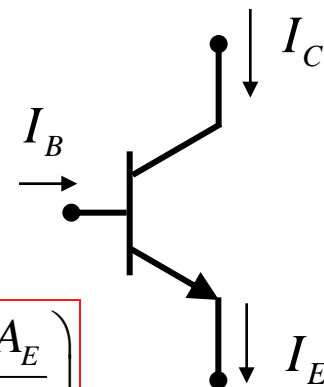
- Tóm lại trong chế độ làm việc tích cực, tiếp giáp BE phân cực thuận, tiếp giáp BC phân cực ngược.
- Quan hệ giữa các dòng điện trong BJT-npn là:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = I_S \exp \frac{qV_{BE}}{kT}$$

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_0} \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - 1 \right)$$

$$I_S = \left(\frac{qD_n n_{pB0} A_E}{W_B} \right)$$



- Trong chế độ tĩnh (chế độ 1 chiều) và bỏ qua dòng bão hòa ngược :

$$I_C = \alpha_F I_E = \alpha_0 I_E$$

$$I_C = \beta_F I_B = \beta_0 I_B = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} I_B$$

$$\beta_F = \frac{D_n N_{dE} W_E}{D_p N_{aB} W_B}$$

- Nếu tính đến dòng bão hòa ngược:

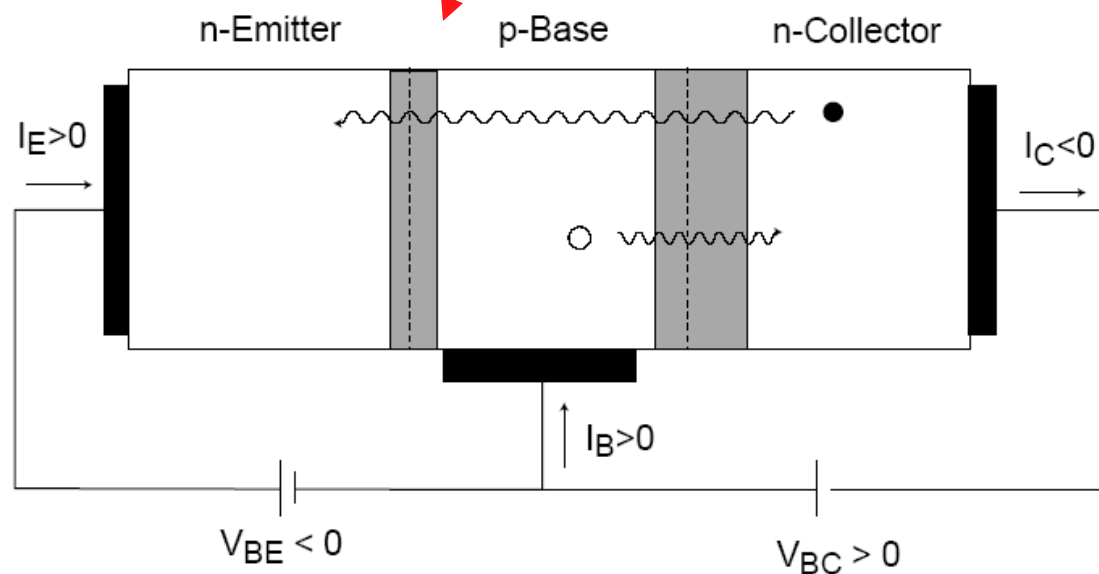
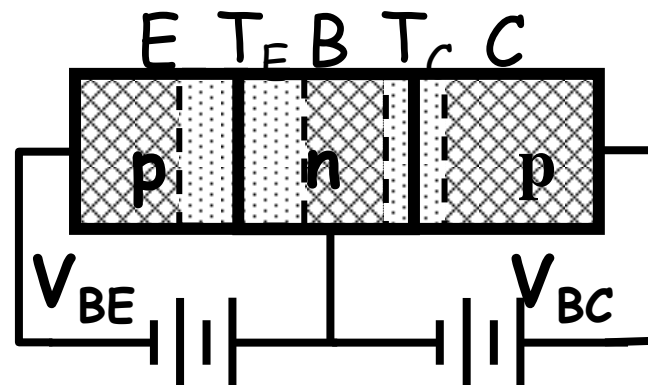
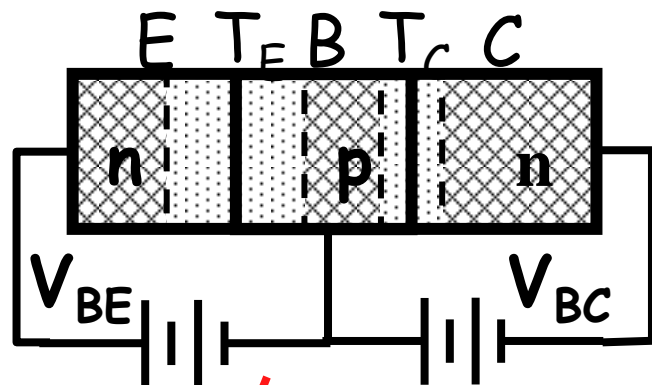
$$I_C = \alpha_0 I_E + I_{CB0}$$

$$I_B = (1 - \alpha_0) I_E - I_{CB0}$$

- Trong chế độ động:

$$\alpha = \frac{\partial I_C}{\partial I_E}$$

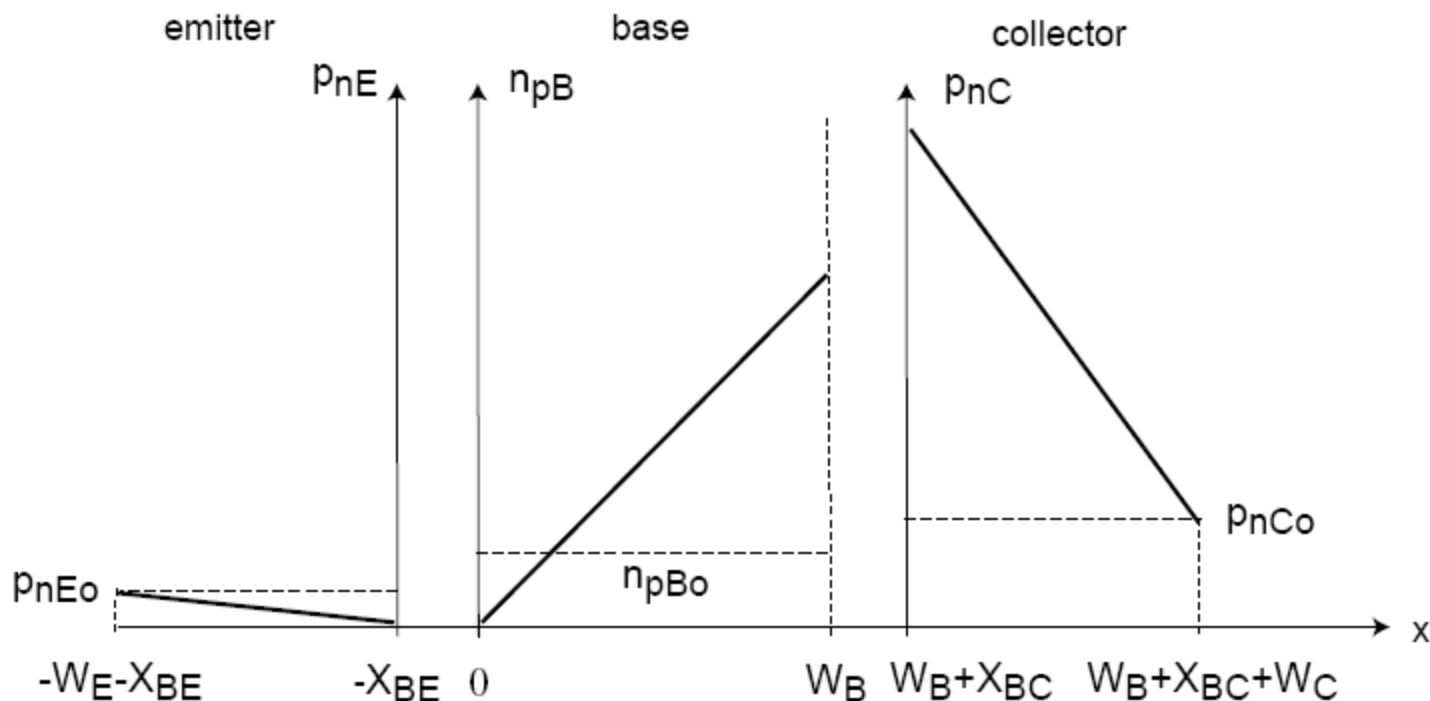
$$\beta = \frac{\partial I_C}{\partial I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**b. BJT làm việc trong chế độ đảo (Reverse)**

- Tiếp giáp BE phân cực ngược.
- Tiếp giáp BC phân cực thuận.

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

- Phân bố nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các miền của BJT ở chế độ đảo như hình vẽ:



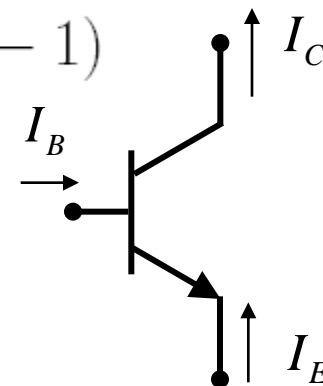
- Khi BJT npn ở chế độ đảo, miền C phun hạt dẫn đa số (điện tử) sang miền B, và chúng lại được thu gom bởi miền E.

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

- Tính toán tương tự như chế độ tích cực, dòng điện trên các cực được tính như sau:

$$I_E = I_S \exp \frac{qV_{BC}}{kT} \quad I_B = \frac{I_S}{\beta_R} \left(\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1 \right)$$

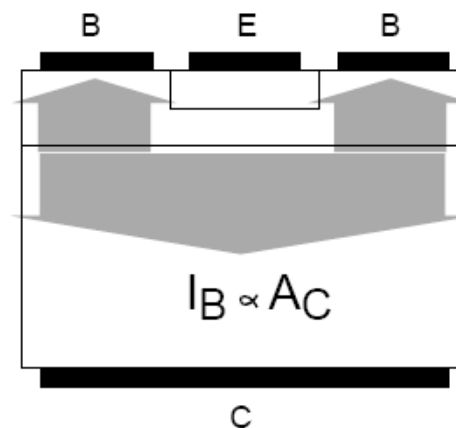
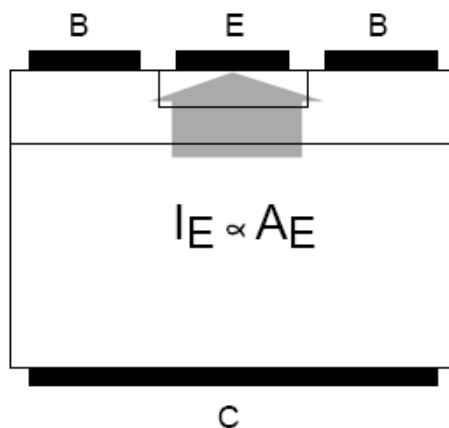
$$I_C = I_E + I_B = I_S \exp \frac{qV_{BC}}{kT} + \frac{I_S}{\beta_R} \left(\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1 \right)$$



- Hệ số khuếch đại dòng Collector tĩnh:

$$\beta_R = \frac{I_E}{I_B} = \frac{D_n N_{dC} W_C}{D_p N_{aB} W_B}$$

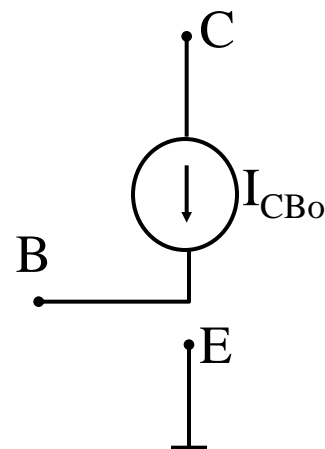
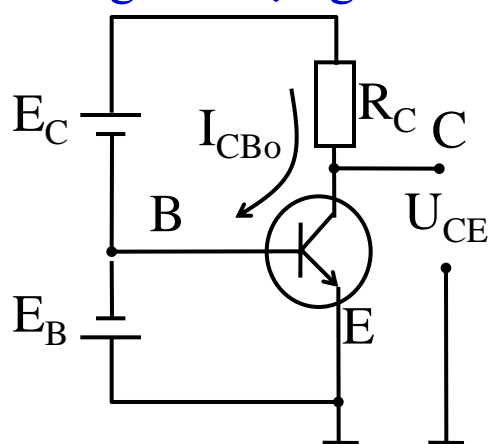
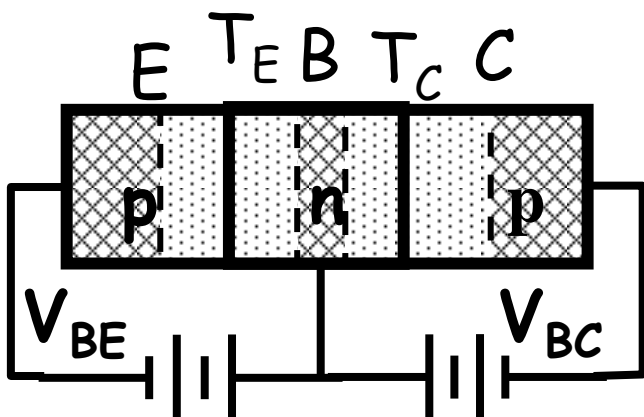
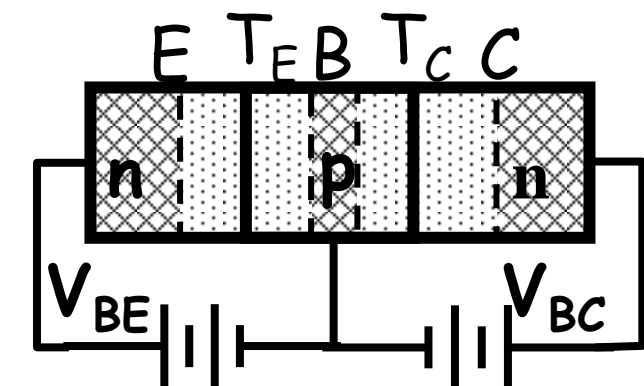
$$\beta_R \simeq 0.1 - 5 \ll \beta_F.$$



5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**c. BJT ở chế độ ngắt (Cut-off)**

Sơ đồ phân cực BJT npn trong chế độ ngắt

Sơ đồ tương đương đơn giản của BJT npn ở chế độ ngắt

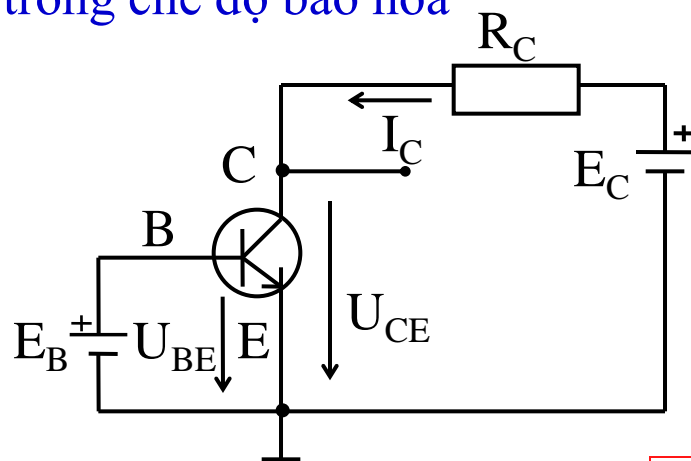
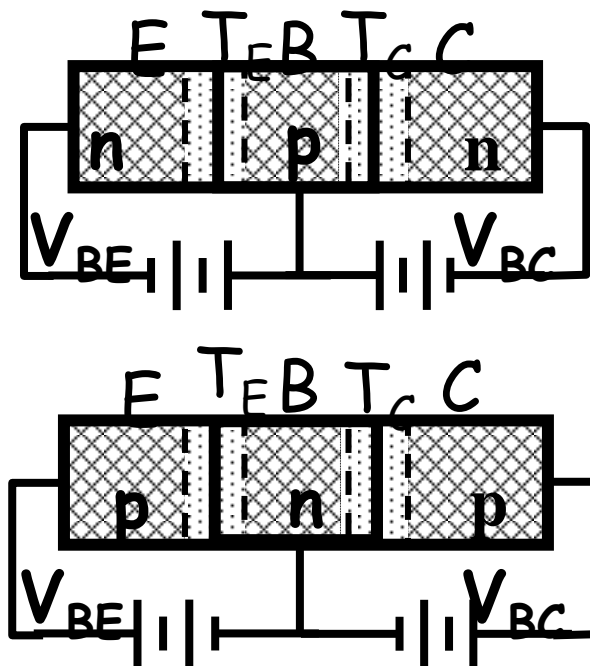


- Cung cấp nguồn sao cho hai tiếp xúc PN đều được phân cực ngược. Điện trở của các chuyển tiếp rất lớn, chỉ có dòng điện ngược bão hòa rất nhỏ của tiếp giáp góp I_{CB0} . Còn dòng điện ngược của tiếp giáp phát I_{EB0} rất nhỏ so với I_{CB0} nên có thể bỏ qua. Như vậy, mạch cực E coi như hở mạch. Dòng điện trong cực gốc B $I_B = -I_{CB0}$

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**d. BJT ở chế độ bão hòa (Saturation)**

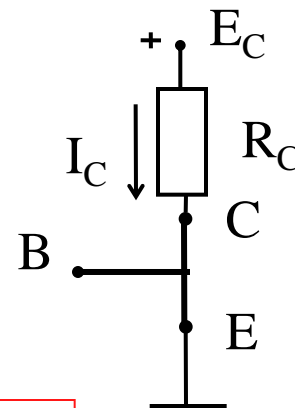
Sơ đồ phân cực BJT npn trong chế độ bão hòa

Sơ đồ tương đương đơn giản của BJT npn ở chế độ bão hòa



$$U_{CE} \approx 0V$$

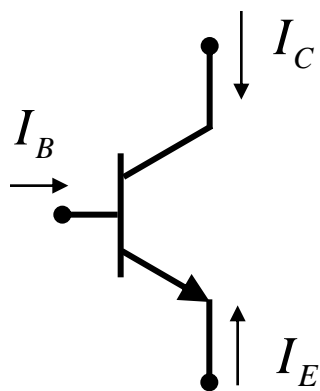
$$I_C \approx \frac{E_C}{R_C}$$



- Cung cấp nguồn điện một chiều vào các cực của Transistor sao cho hai tiếp xúc PN đều phân cực thuận. Khi đó điện trở của hai tiếp xúc phát T_E và tiếp xúc góp T_C rất nhỏ nên có thể coi đơn giản là hai cực phát E và cực góp C được nối tắt. Dòng điện qua Transistor I_C khá lớn và được xác định bởi điện áp nguồn cung cấp E_C và không phụ thuộc gì vào Transistor đang sử dụng, thực tế $U_{CE} \approx 0,2V$.

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**1.3 Mô hình Ebers-Moll**

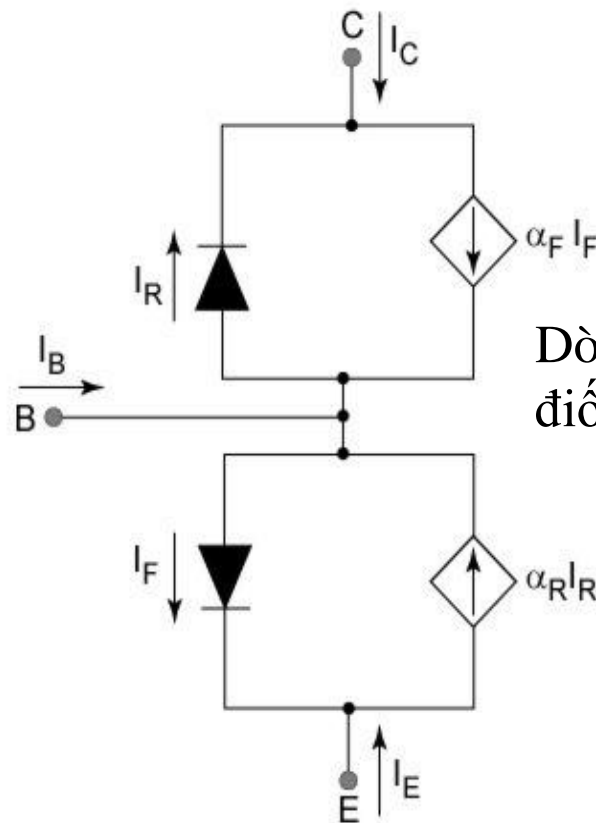
- Mô hình có thể sử dụng cho BJT ở cả 3 chế độ làm việc khác nhau: chế độ tích cực, chế độ ngắt, chế độ bão hòa.
- Thường dùng cho các trường hợp **một chiều** và trường hợp **tín hiệu lớn**.
- Được xây dựng trên từ hệ phương trình Ebers-Moll



$$I_S = \alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$I_E = -I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$



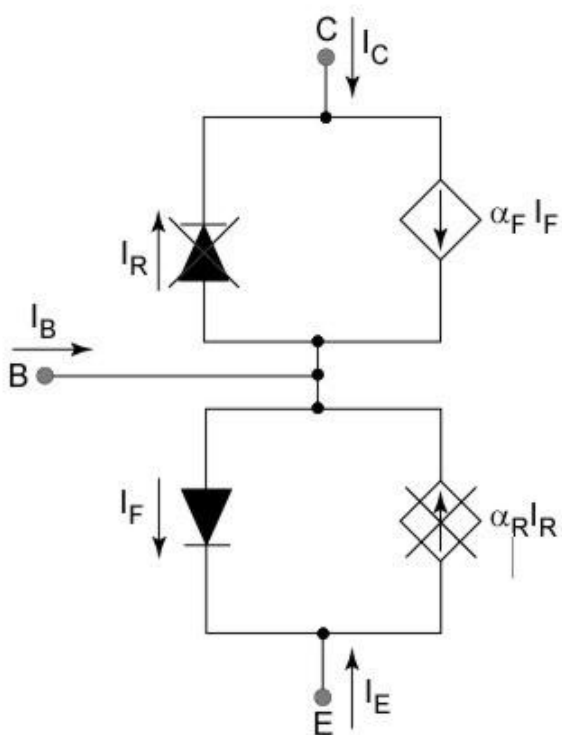
Dòng trên các
điốt

$$I_F = I_{ES} (e^{V_{BE}/V_{th}} - 1)$$

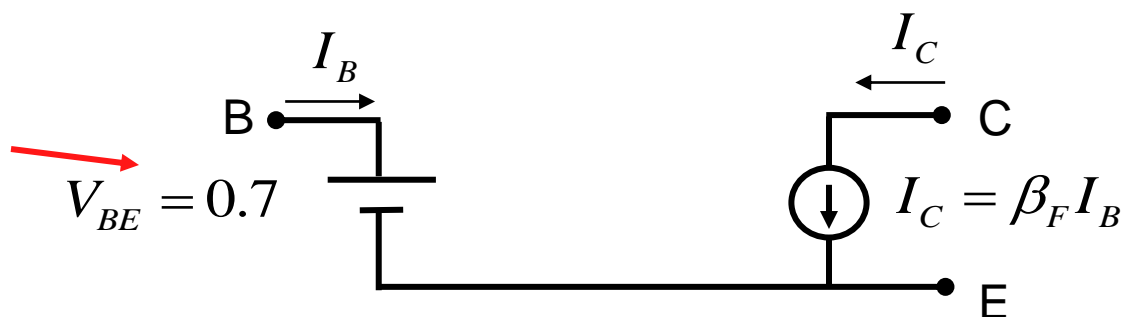
$$I_R = I_{CS} (e^{V_{BC}/V_{th}} - 1)$$

5.1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT**Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho các chế độ làm việc**

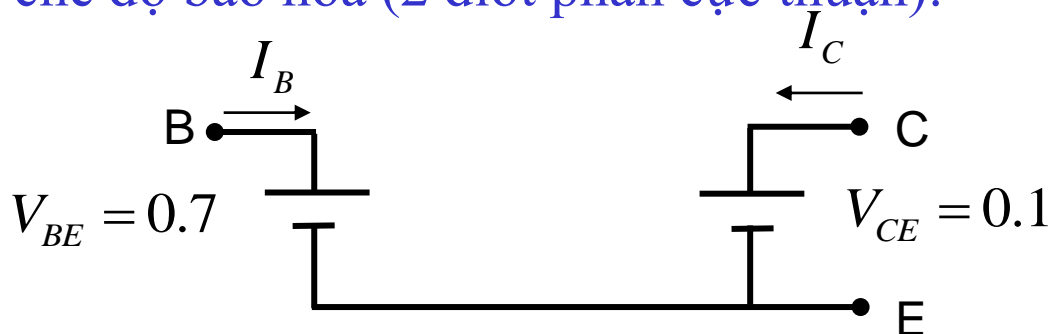
- Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho BJT npn trong chế độ tích cực:



$$V_{BE} = 0.7 \quad V_{CE} > 0.2$$

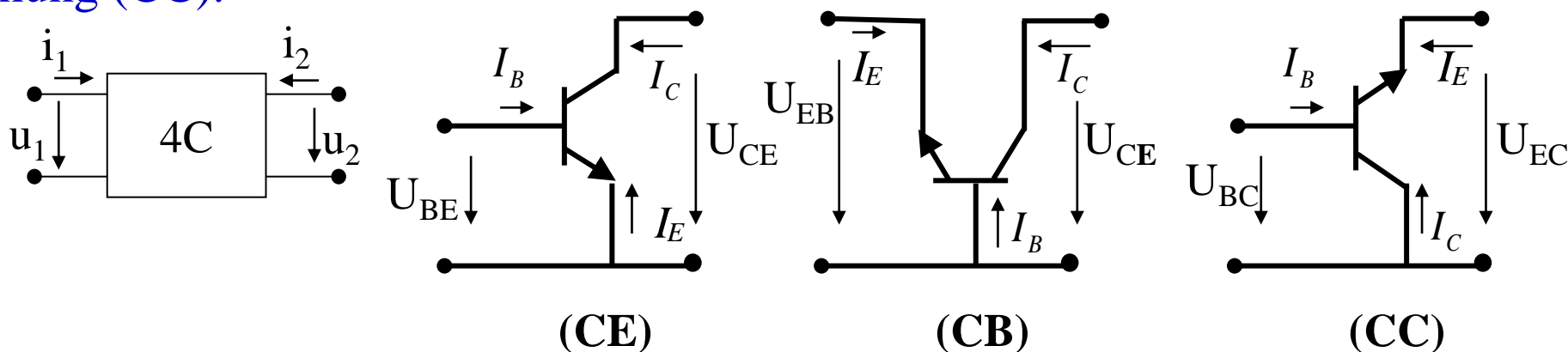


-Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho BJT npn trong chế độ bão hòa (2 điốt phân cực thuận):



5.2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng

- Trong các mạch điện, BJT được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào hai chân cực và tín hiệu lấy ra cũng trên hai chân cực
- BJT có 3 cực là E, B, C nên khi sử dụng ta phải đặt một chân cực làm dây chung của mạch vào và mạch ra. Ta có thể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào và mạch ra. Do đó, Transistor có 3 cách mắc cơ bản là mạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), và mạch cực góp chung (CC).



- Đặc trưng của mạng 4 cực dùng hệ phương trình trở kháng, dẫn nạp, hỗn hợp. Hệ phương trình hỗn hợp:

$$\begin{cases} u_1 = f(i_1, u_2) \\ i_2 = f(i_1, u_2) \end{cases}$$

5.2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE

- **Xác họ định đặc tuyến ra tĩnh:**

$$I_C = f(U_{CE})|_{I_B}$$

- + Giữ I_B ở một trị số cố định, thay đổi U_{CE} và ghi lại giá trị tương ứng của I_C , vẽ được đặc tuyến $I_C=f(U_{CE})$, Thay đổi I_B đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự kết quả thu được họ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CE.

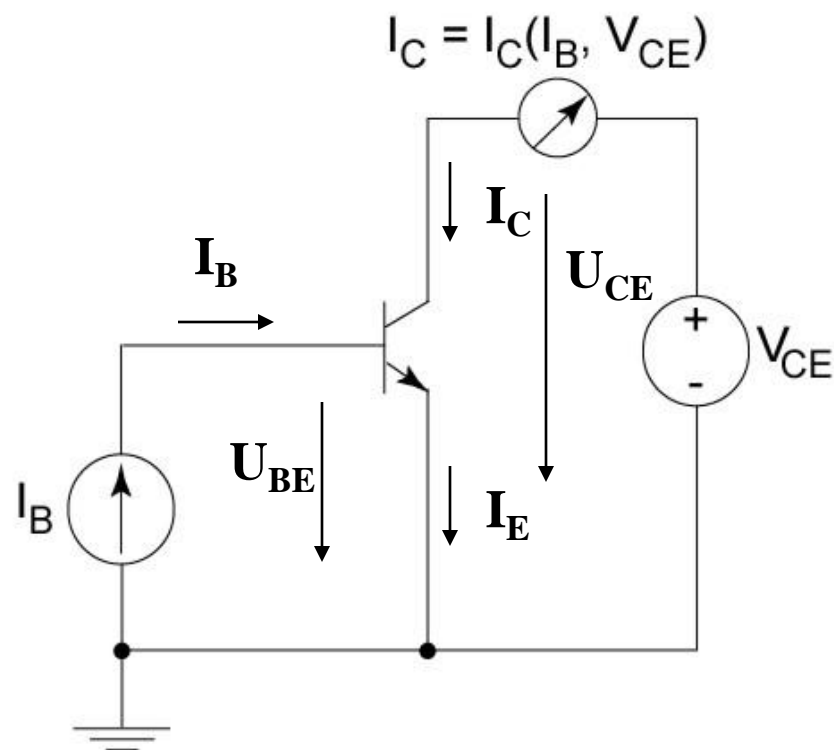
- **Xác họ định đặc tuyến vào tĩnh:**

$$U_{BE} = f(I_B)|_{U_{CE}}$$

- + Giữ U_{CE} ở một trị số cố định, thay đổi U_{BE} và ghi lại giá trị tương ứng của I_B , vẽ được đặc tuyến $I_B=f(U_{BE})$, Thay đổi U_{CE} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CE.

- **Xác định hệ số truyền đạt (đặc tuyến khuếch đại):** $I_C = f(I_B)|_{U_{CE}}$

- + Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.



5.2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE**Họ đặc tuyến vào tĩnh**

- Nhận xét đặc tuyến vào tĩnh:

+ Khi điện áp $U_{BE} < 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực ngược, trong lúc tiếp xúc góp phân cực ngược ($U_{CE} < 0$), nên Transistor làm việc ở chế độ ngắt, dòng điện phát $I_E = 0$, nên ta có: $I_B = -I_{CBo}$

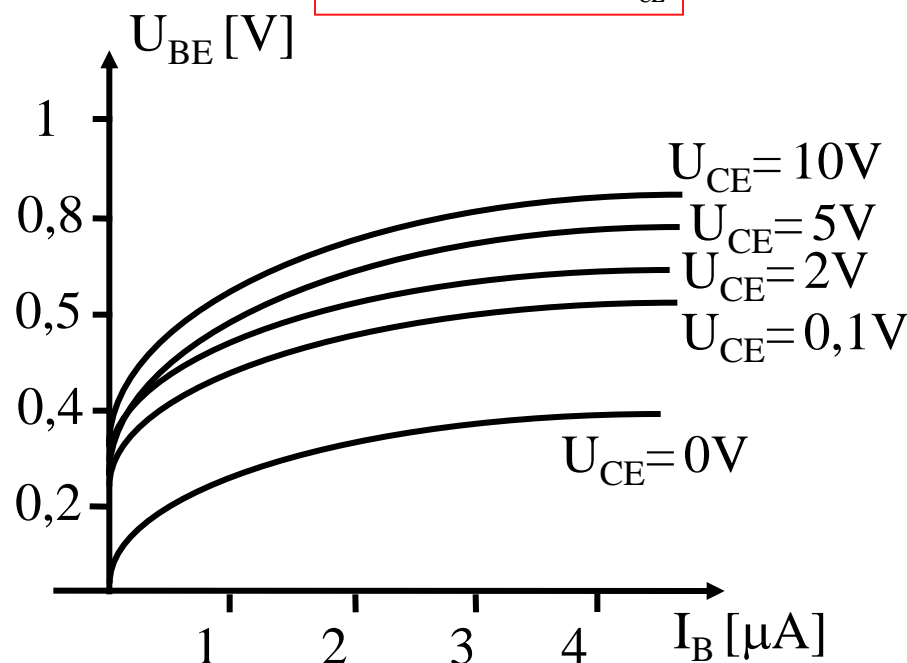
- Khi $U_{BE} > 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực thuận, đặc tuyến giống như đặc tuyến của chuyển tiếp PN phân cực thuận, vì dòng I_B là một phần của dòng I_E qua chuyển tiếp T_E phân cực thuận.

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CBo}$$

- I_E tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} nên dòng điện cực gốc I_B cũng sẽ tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} .

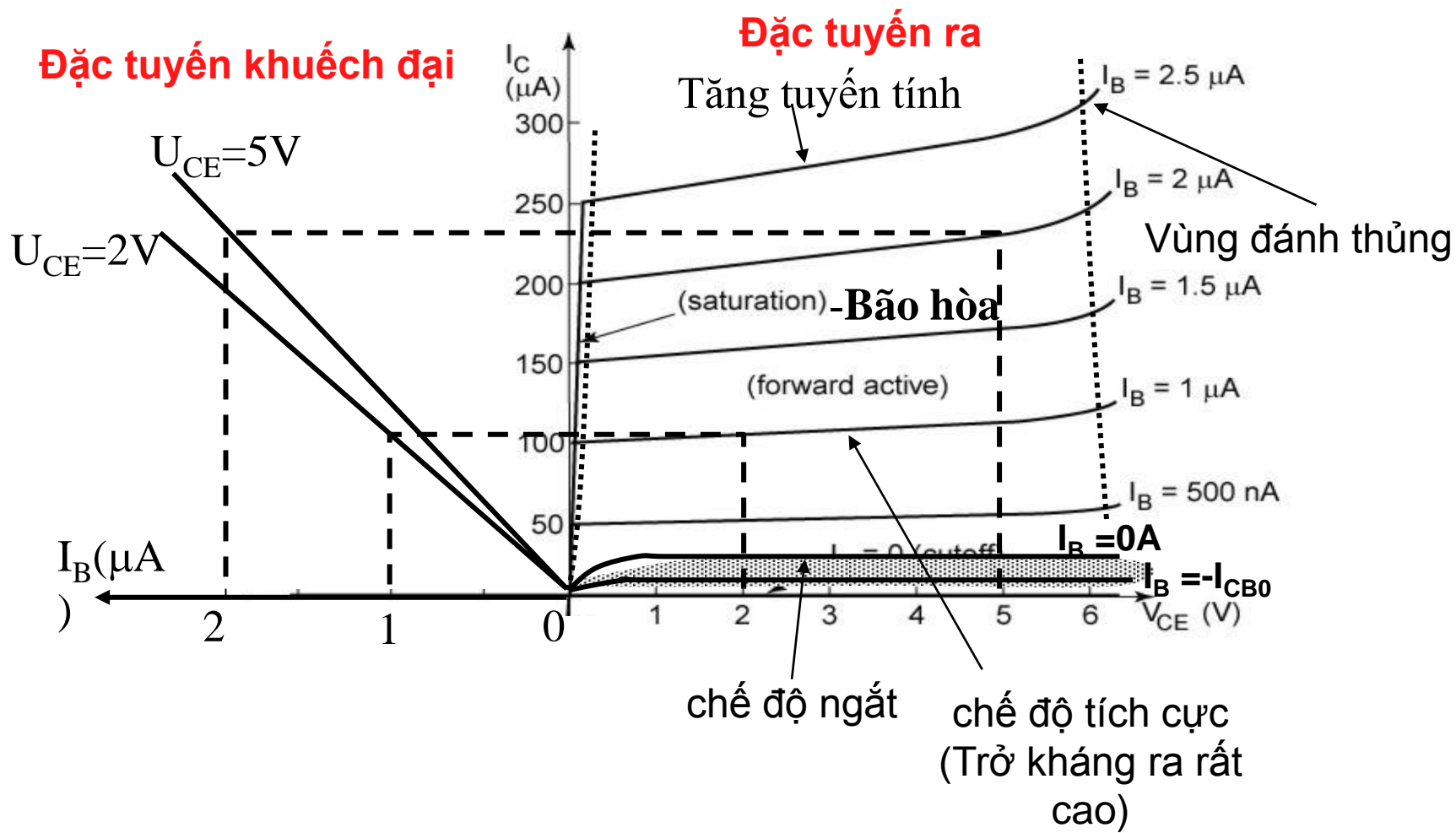
- Với giá trị U_{BE} nhất định, U_{CE} càng lớn thì dòng I_B càng nhỏ, vì U_{CB} tăng làm cho miền điện tích không gian của T_C càng rộng chủ yếu về phía miền B, nên số hạt dẫn bị cuốn đến miền C càng nhiều, số hạt dẫn bị tái hợp tại miền B càng nhỏ, nên dòng I_B càng nhỏ.

$$U_{BE} = f(I_B)|_{U_{CE}}$$



5.2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE

- Đặc tuyến ra và đặc tuyến khuếch đại



5.2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE**- Đặc tuyến ra và đặc tuyến khuếch đại****- Nhận xét đặc tuyến ra:**

- + Tại miền khuếch đại độ dốc của đặc tuyến khá lớn, khi U_{CE} tăng làm cho độ rộng hiệu dụng của miền B hẹp lại, làm cho số hạt dẫn được cuốn sang miền C càng nhiều, do đó dòng I_C tăng nhanh.
- + Khi U_{CE} giảm, đến điểm uốn của đặc tuyến khi đó $U_{CB}=U_{CE}-U_{BE}=0$, làm cho chuyển tiếp BC phân cực thuận, BJT chuyển sang chế độ làm việc bão hòa. Khi $U_{EC}=0$ thì điện áp phân cực thuận $U_{CB}=-U_{BE}$ đẩy hạt dẫn thiếu số ở miền C trở lại miền B do đó $I_C=0$, đặc tuyến cũng đi qua gốc tọa độ.
- + Khi U_{EC} tăng quá lớn, lúc đó U_{CB} quá lớn dẫn tới đánh thủng tiếp giáp T_C , làm cho dòng I_C tăng đột ngột.

- Nhận xét đặc tuyến truyền đạt:

- + Đặc tuyến truyền đạt biểu thị mối qua hệ giữa dòng ra I_C và dòng vào I_B khi giữ U_{CE} cố định. Đặc tuyến này có thể suy ra từ họ đặc tuyến ra.

5.2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE

Các tham số đặc trưng

- Độ hở dẫn S :

$$S = \frac{dI_{ra}}{dU_{Vao}} = \frac{dI_C}{dU_{BE}} \quad \text{khi } U_{ra} = U_{CE} = const$$

$$I_C = I_S \cdot e^{U_{BE}/V_{th}} \Rightarrow S = \frac{I_S}{V_{th}} e^{U_{BE}/V_{th}}$$

- Điện trở ra vi phân r_{ra} :

$$r_{ra} = r_{CE} = \frac{dU_{CE}}{dI_C} \quad \text{khi } I_{vào} = I_B = const$$

- Điện trở vào vi phân $r_{vào}$:

$$r_{vào} = r_{BE} = \frac{dU_{BE}}{dI_B} \quad \text{khi } U_{ra} = U_{BE} = const$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{i0}

$$K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_C}{I_B} = \beta_{DC} = h_{FE}$$

 K_{i0} khá lớn, mạch CE có thể khuếch đại dòng điện.

- Kiểm tra BJT làm việc ở chế độ bão hòa hay không? Khi tính toán hoặc đo được dòng I_B và I_C mà không phụ thuộc vào tham số của BJT, nếu $I_B > I_C/h_{FE}$, thì BJT làm việc ở chế độ bão hòa. Vậy khi thiết kế mạch dùng BJT ở chế độ chuyển mạch, khi đã có yêu cầu về dòng I_C (thông thường $I_C = E_C/R_{tải}$) thì cần phải tính toán mạch sao cho $I_B > I_C/h_{FE}$ để BJT có thể làm việc ở chế độ bão hòa.

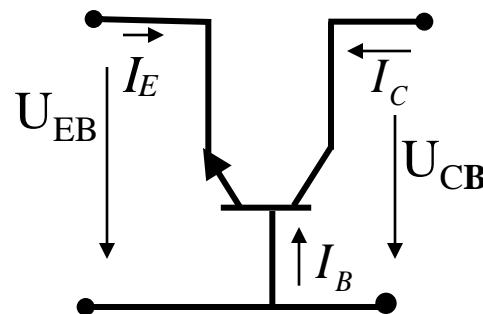
- Đặc điểm của mạch CE (Xem giáo trình).

5.2.2 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CB

- **Xác họ định đặc tuyến ra tĩnh:**

$$I_C = f(U_{CB})|_{I_E}$$

- + Giữ I_E ở một trị số cố định, thay đổi U_{CB} và ghi lại giá trị tương ứng của I_C , vẽ được đặc tuyến $I_C = f(U_{CB})$, Thay đổi I_E đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CB.



(CB)

- **Xác họ định đặc tuyến vào tĩnh:**

$$U_{EB} = f(I_E)|_{U_{CB}}$$

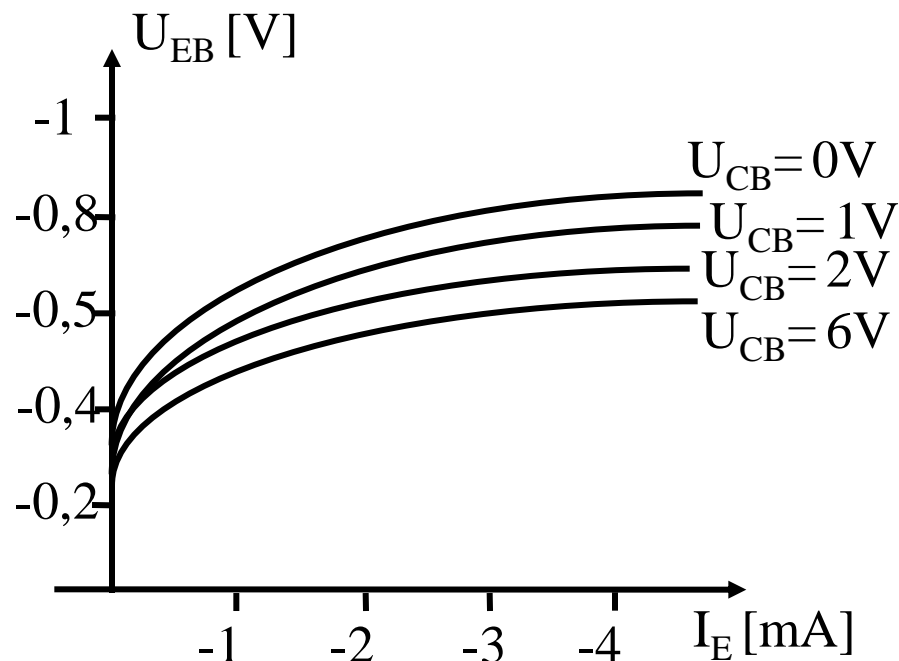
- + Giữ U_{CB} ở một trị số cố định, thay đổi U_{EB} và ghi lại giá trị tương ứng của I_E , vẽ được đặc tuyến $I_E = f(U_{EB})$, Thay đổi U_{CB} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CB.
- **Xác định hệ số truyền đạt** $I_C = f(I_E)|_{U_{CB}}$
- + Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.

5.2.2 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CB

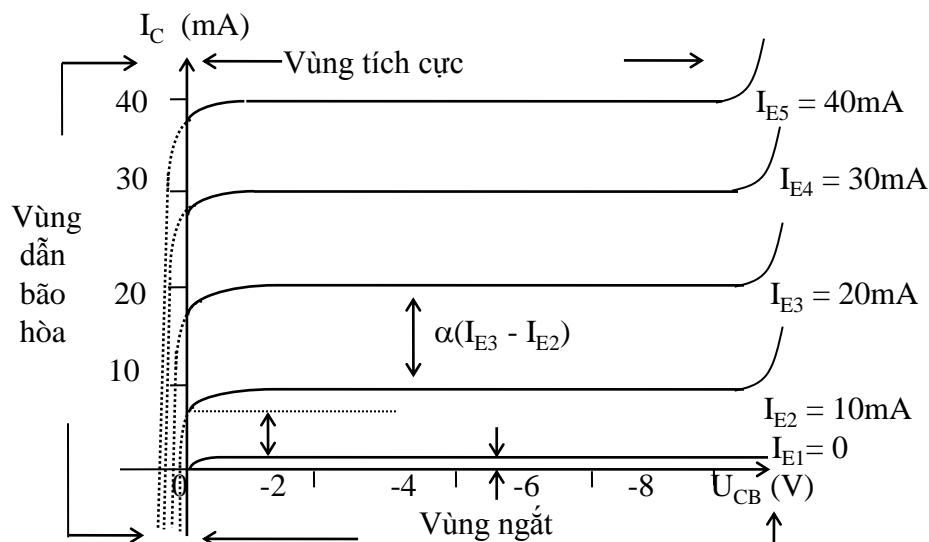
Họ đặc tuyến vào tĩnh

- Nhận xét đặc tuyến vào:

- + Chuyển tiếp EB luôn phân cực thuận nên đặc tuyến vào của mạch CB cơ bản giống như đặc tuyến thuận của diốt. Ứng với điện áp âm vào U_{EB} cố định dòng vào I_E càng lớn khi điện áp U_{CB} càng lớn, vì miền điện tích không gian của chuyển tiếp T_C phân cực ngược càng tăng, làm cho khoảng cách hiệu dụng giữa chuyển tiếp Emitter và Collector ngắn lại, do đó dòng I_E tăng lên.



5.2.2 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CB

- Đặc tuyến ra

- Đối với dòng I_E cố định, $I_C \approx I_E$, khi U_{CB} tăng lên, I_C tăng nhưng không đáng kể.
- Khác so với đặc tuyến ra của BJT mắc CE, khi điện áp U_{CB} giảm tới 0, I_C vẫn chưa giảm tới 0, do bản thân chuyển tiếp T_C vẫn còn điện thế tiếp xúc, chính điện thế tiếp xúc này đã cuốn những hạt dẫn từ miền B sang miền C làm cho dòng I_C tiếp tục chảy. Để $I_C = 0$ thì T_C phải được phân cực thuận. Miền đặc tuyến trong đó T_C phân cực thuận gọi là miền bão hòa.
- Khi U_{CB} tăng đến giá trị nào đó thì I_C tăng lên đột ngột do hiện tượng đánh thủng xảy ra.

5.2.2 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CB

Các tham số đặc trưng

- Độ hở dẫn S :
$$S = \frac{dI_{ra}}{dU_{Vao}} = \frac{dI_C}{dU_{EB}} \quad khi \quad U_{ra} = U_{CB} = const$$

$$I_C = I_S \cdot e^{U_{BE}/V_{th}} \Rightarrow S = -\frac{I_S}{V_{th}} e^{U_{BE}/V_{th}}$$

- Điện trở ra vi phân r_{ra} :
$$r_{ra} = r_{CB} = \frac{dU_{CB}}{dI_C} \quad khi \quad I_{vào} = I_E = const$$

- Điện trở vào vi phân $r_{vào}$:
$$r_{vào} = r_{EB} = \frac{dU_{EB}}{dI_B} \quad khi \quad U_{ra} = U_{CB} = const$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{i0}
$$K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_C}{I_E} = \alpha_0 < 1$$

$K_{i0} < 1$, mạch CB không thể dùng làm mạch khuếch đại dòng điện.

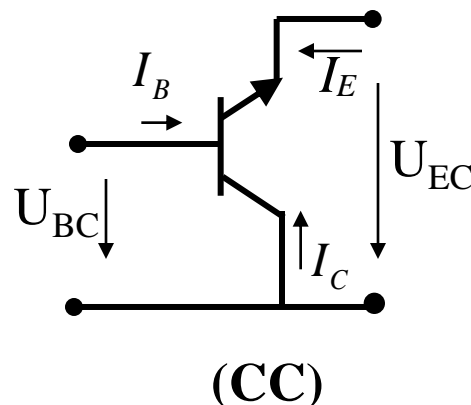
- Đặc điểm của mạch CB (Xem giáo trình).

5.2.3 Sơ đồ BJT npn mắc cực góp chung - CC

- **Xác hộ định đặc tuyến ra tĩnh:**

$$I_E = f(U_{EC})|_{I_B}$$

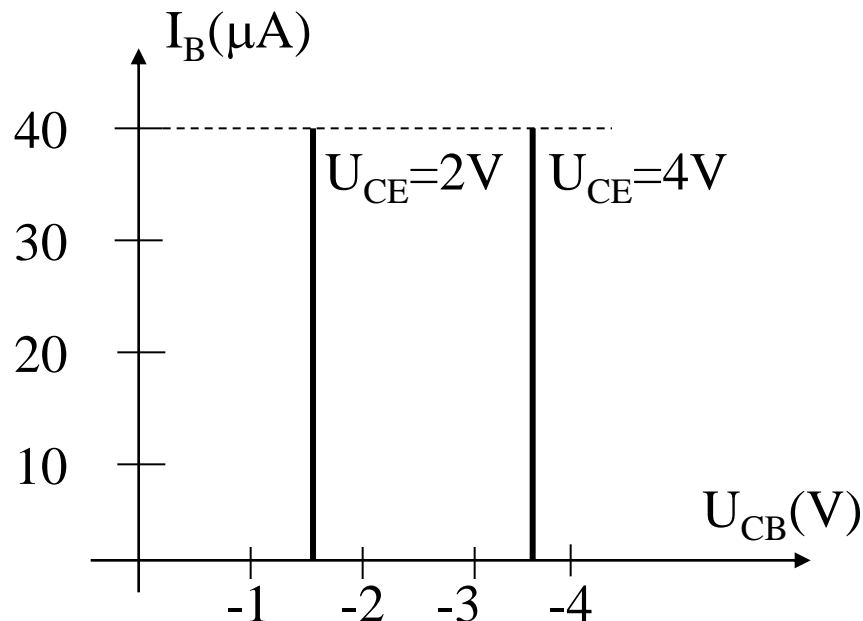
- + Giữ I_B ở một trị số cố định, thay đổi U_{EC} và ghi lại giá trị tương ứng của I_E , vẽ được đặc tuyến $I_E = f(U_{EC})$, Thay đổi I_B đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được hộ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CC.



- **Xác hộ định đặc tuyến vào tĩnh:**

$$U_{BC} = f(I_B)|_{U_{EC}}$$

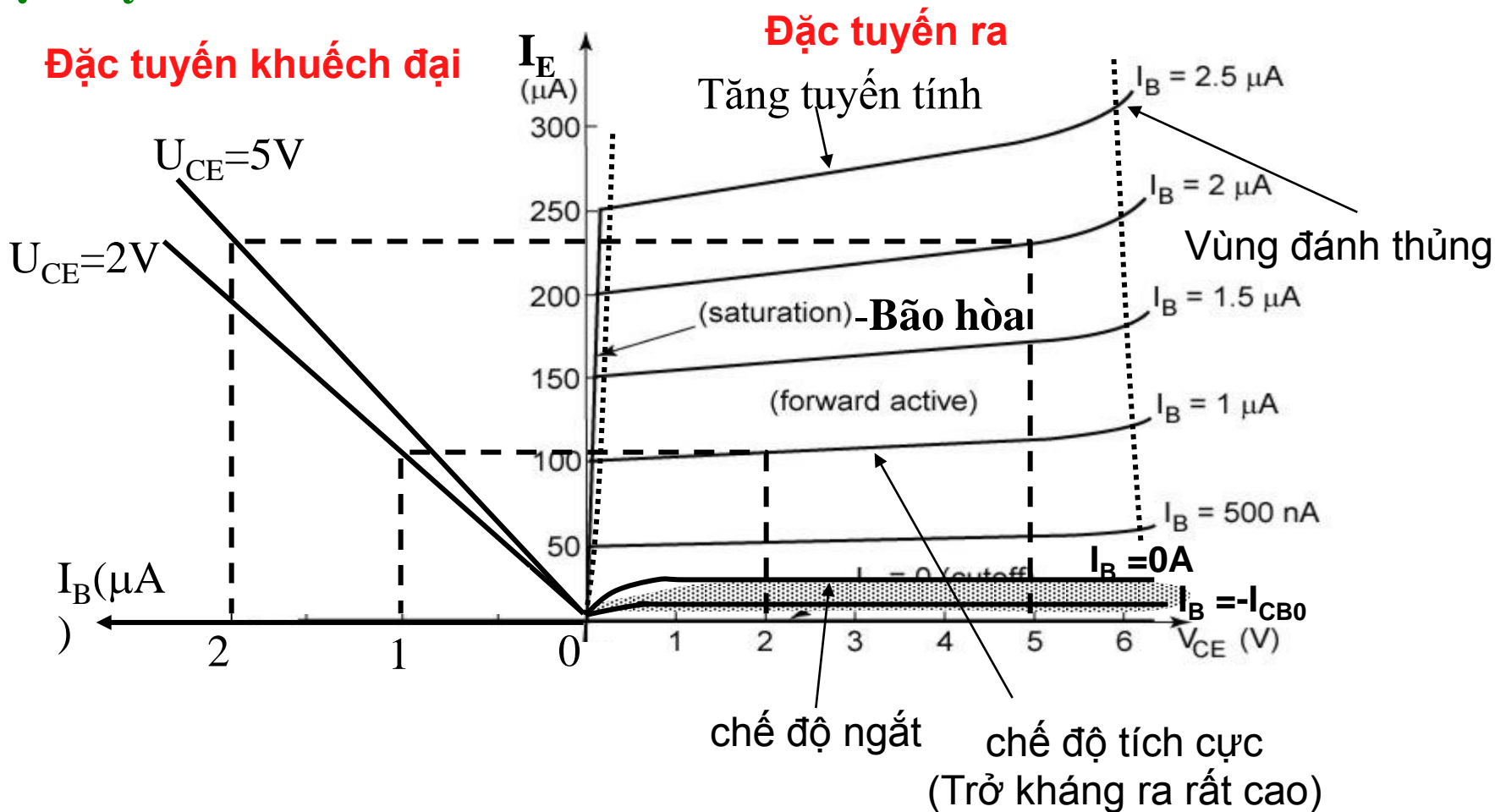
- + Giữ U_{EC} ở một trị số cố định, thay đổi U_{BC} và ghi lại giá trị tương ứng của I_B , vẽ được đặc tuyến $I_B = f(U_{BC})$, Thay đổi U_{EC} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được hộ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CC.
- **Xác định hệ số truyền đạt (đặc tuyến khuếch đại):** $I_E = f(I_B)|_{U_{EC}}$
- + Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.

5.2.3 Sơ đồ BJT npn mắc cực góp chung - CC**Đặc tuyến vào tĩnh**

- Đặc tuyến vào của mạch mắc CC khác hẳn với trường hợp mắc CE và CB. Trường hợp này điện áp vào U_{CE} phụ thuộc rất nhiều vào điện áp ra U_{CB} ,

5.2.3 Sơ đồ BJT npn mắc cực góp chung - CC

Đặc tuyến ra



5.2.3 Sơ đồ BJT npn mắc cực góp chung - CC

Các tham số đặc trưng

- Độ hở dẫn S :
$$S = \frac{dI_{ra}}{dU_{Vào}} = \frac{dI_E}{dU_{BC}} \quad \text{khi } U_{ra} = U_{EC} = const$$
- Điện trở ra vi phân r_{ra} :
$$r_{ra} = r_{EC} = \frac{dU_{EC}}{dI_E} \quad \text{khi } I_{vào} = I_B = const$$
- Điện trở vào vi phân $r_{vào}$:
$$r_{vào} = r_{BC} = \frac{dU_{BC}}{dI_B} \quad \text{khi } U_{ra} = U_{EC} = const$$
- Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{i0}
$$K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_E}{I_B}$$
- Hệ số khuếch đại điện áp :
$$K_U = \frac{dU_{ra}}{dU_{vào}}$$
- Đặc điểm của mạch CC (Xem giáo trình).

5.3. Phân cực cho BJT

- 5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT
- 5.3.2. Phân cực bằng dòng cố định
- 5.3.3. Phân cực bằng hồi tiếp âm
- 5.3.4. Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp
- 5.3.5. Mạch phân cực kiểu bù

5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

- Phân cực (định thiên – Biasing) cho BJT:

- + Muốn BJT làm việc như một phần tử tích cực thì các tham số của BJT phải thỏa mãn điều kiện thích hợp, những tham số này phụ thuộc nhiều vào điện áp phân cực các chuyển tiếp Collector và Emitter. Như vậy các tham số của BJT phụ thuộc nhiều vào điện áp định thiên ban đầu (điểm làm việc tĩnh) của nó.
- + Muốn BJT làm việc ở chế độ tích cực thì chuyển tiếp B-E phân cực thuận, chuyển tiếp B-C phân cực ngược (BJT npn: $U_E < U_B < U_C$, BJT pnp: $U_E > U_B > U_C$).

- Đường tải tĩnh, điểm làm việc tĩnh

- + Đường tải tĩnh (đường tải 1 chiều) được vẽ trên đặc tuyến ra tĩnh của BJT để nghiên cứu mối quan hệ giữa dòng điện ra và điện áp ra của BJT ở chế độ một chiều.
- + Điểm làm việc tĩnh (điểm phân cực 1 chiều) là điểm nằm trên đường tải tĩnh xác định dòng điện, điện áp 1 chiều trên BJT khi không có tín hiệu xoay chiều đặt vào.
- + Để minh họa xét ví dụ với mạch BJT npn mắc CE, xác định đường tải tĩnh và điểm làm việc của chúng.

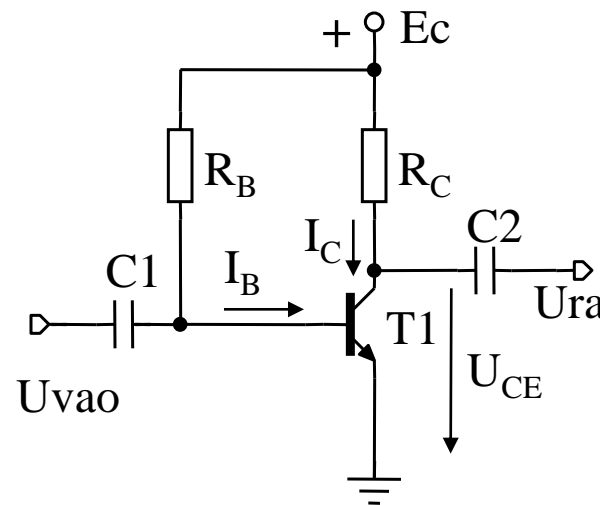
5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

- Để minh họa xét ví dụ với mạch BJTnpn mắc CE, xác định đường tải tĩnh và điểm làm việc của chúng.

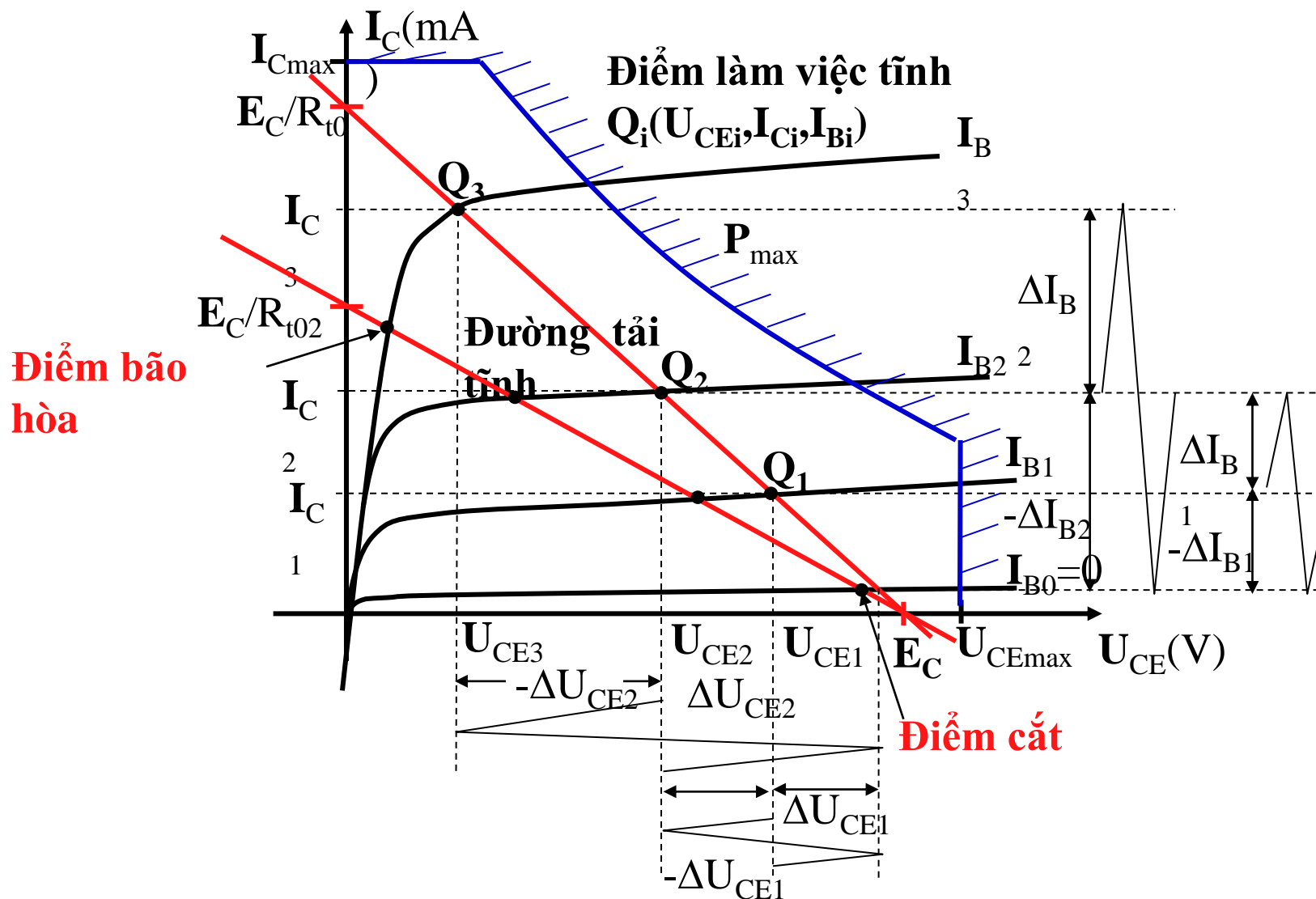
- Phương trình đường tải tĩnh:

$$U_{CE} = E_C - I_C \cdot R_C$$

(tải 1 chiều: $R_{t0} = R_C$), đồ thị như hình vẽ trang bên.



- Tùy theo các giá trị phân cực mà điểm làm việc tĩnh có tọa độ khác nhau, điểm làm việc tĩnh $Q_i(U_{CEi}, I_{Ci}, I_{Bi})$ là giao điểm của đường tải tĩnh và đặc tuyến ra tương ứng với dòng phân cực $I_B = I_{Bi}$.
- Khi có tín hiệu đặt vào, I_B biến đổi, dẫn tới I_C biến đổi, kết quả là điện áp ra trên tải biến đổi. Cần phải chọn điểm làm việc tĩnh Q để điện áp ra trên tải không bị méo. Thông thường để biên độ điện áp ra cực đại, không làm méo dạng tín hiệu, điểm làm việc tĩnh thường được chọn ở giữa đường tải tĩnh.

5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

Ổn định điểm làm việc tĩnh và ổn định nhiệt

- BJT rất nhạy cảm với nhiệt độ, nhất là U_{BE} và I_{CB0} , nên khi nhiệt độ thay đổi điểm làm việc tĩnh cũng thay đổi. Như vậy điểm làm việc cũng nhạy cảm với nhiệt độ.
- Để đánh giá độ ổn định của điểm làm việc theo nhiệt độ là sử dụng Độ ổn định nhiệt được định nghĩa như sau:

$$S = \frac{dI_C}{dI_{CB0}}$$

- Ta đã có $I_C = \alpha_0 I_E + I_{CB0} = \alpha_0 (I_B + I_C) + I_{CB0}$
 $\Leftrightarrow I_C = \alpha_0 I_B / (1 - \alpha_0) + I_{CB0} / (1 - \alpha_0),$
 $\Leftrightarrow I_C = \beta_0 \cdot I_B + I_{CB0} / (1 - \alpha_0),$

- Đạo hàm 2 vế phương trình trên theo I_C , rút gọn ta có:

$$S = \frac{1 + \beta_0}{1 - \beta_0 \cdot \frac{dI_B}{dI_C}}$$

5.3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT**Mô hình tương đương một chiều**

- Khi tính toán phân cực cho BJT có thể sử dụng mô hình tương đương một chiều. Thường sử dụng mô hình Ebers-Moll. Trong mỗi chế độ làm việc cụ thể sử dụng sơ đồ tương đương Ebers-Moll đơn giản.

- Tóm lại khi tính toán chế độ 1 chiều **để đơn giản** có thể sử dụng các công thức sau:

+ **Chế độ tích cực:**

$$I_C = I_B \beta_0$$

$$U_{BE} \approx \text{const}$$

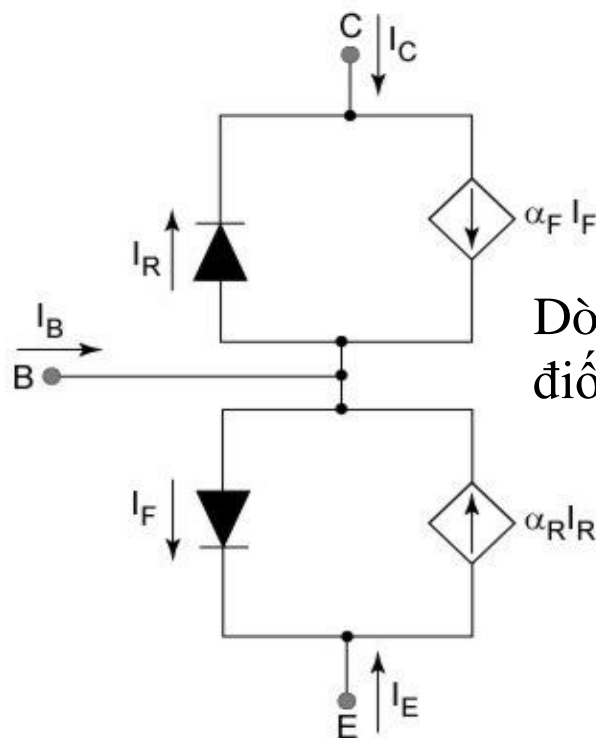
$$(\text{eg. } 0,7 - npnSi; -0,7 - pnpSi)$$

+ **Chế độ bão hòa:**

$$U_{CE} \approx 0 \quad I_B > \frac{I_C}{\beta_0}$$

+ **Chế độ ngắt:**

$$I_C \approx 0 \quad I_B \approx 0$$



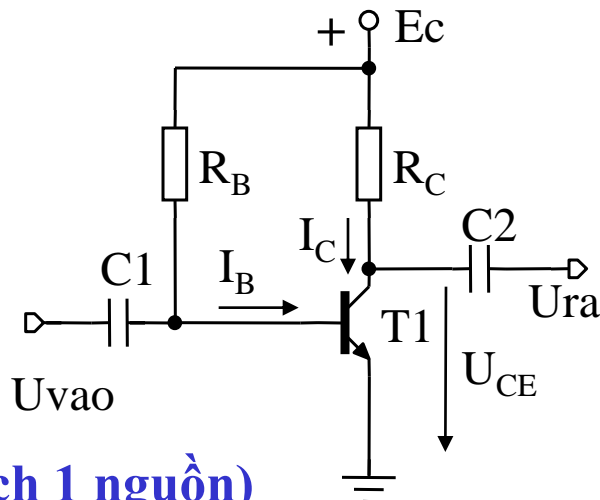
Dòng trên các
điốt

$$I_F = I_{ES}(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1)$$

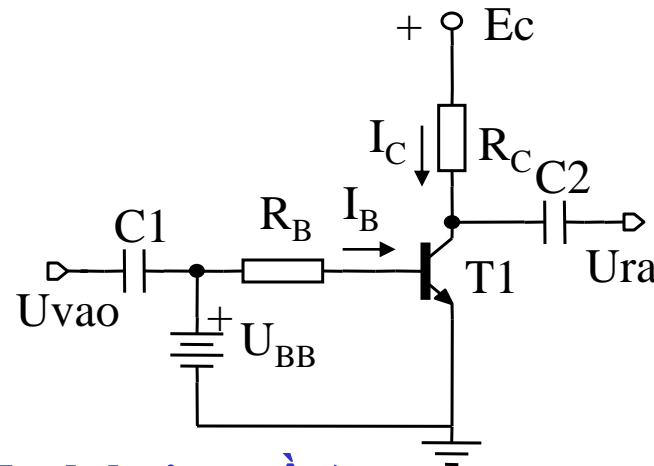
$$I_R = I_{CS}(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1)$$

5.3.2 Mạch định thiên bằng dòng cố định (Định thiên cực gốc)

- Dòng I_B từ nguồn một chiều cung cấp cho BJT không đối, có thể dùng mạch 1 nguồn một chiều E_C hoặc hai nguồn một chiều U_{BB} và E_C . Điện trở R_B đấu từ cực + của nguồn cung cấp về cực B sao cho tiếp giáp BE phân cực thuận..

**(a- Mạch 1 nguồn)**

$$I_B = (E_C - U_{BE}) / R_B \approx E_C / R_B$$

**(b – Mạch hai nguồn)**

$$I_B = (U_{BB} - U_{BE}) / R_B \approx U_{BB} / R_B$$

- + Phương trình đường tải: $E_C = I_C \cdot R_{t0} + U_{CE}$ ($R_{t0} = R_C$)
- + Mặc theo các sơ đồ trên $I_B = \text{const} \Rightarrow \Delta I_B / \Delta I_C = 0$
- + Hệ số ổn định nhiệt là: $S = \beta_0 + 1$, S phụ thuộc vào hệ số KĐ dòng Emitter tĩnh β , vậy S phụ thuộc vào từng loại BJT và thường lớn, độ ổn định kém nhất.

5.3.2 Mạch định thiên bằng dòng cố định (Định thiên cực gốc)

Ví dụ: BJTnpn loại Si có: $\beta_0 = 50$, phân cực bằng mạch định thiên cố định, $E_C = 15V$, điểm làm việc tĩnh có $I_B = 30\mu A$, $U_{BE} = 0,6V$. Tính toán mạch định thiên?

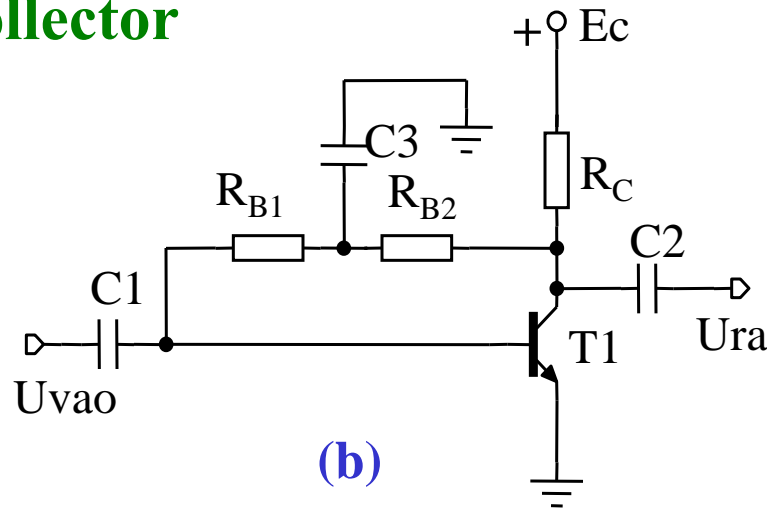
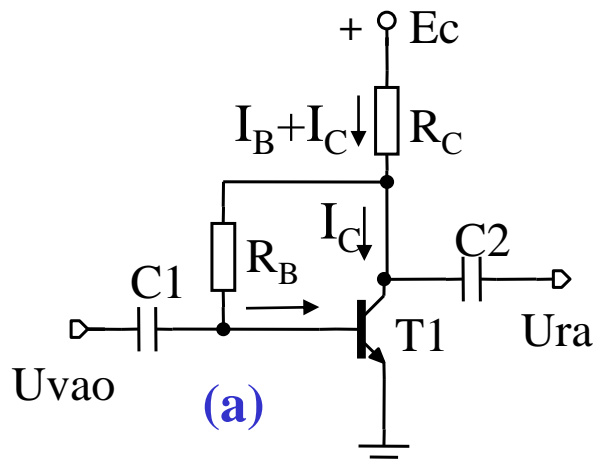
Đáp số: $R_B = 480k\Omega$; $U_{CE} = 7,5V$; $R_C = 5k\Omega$.

5.3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

- Khi tín hiệu đầu ra thay đổi cũng sẽ tác động đến đầu vào làm thay đổi tín hiệu đầu vào gọi là mạch có hồi tiếp.
- Nếu tín hiệu ra tăng lại làm tín hiệu đầu vào giảm thì gọi là hồi tiếp âm.
- Với mạch phân cực cho BJT nếu giả sử khi nhiệt độ thay đổi làm cho dòng điện ra I_C và I_E tăng lên, sự tăng này nếu làm giảm điện áp đặt trên tiếp giáp BE hoặc CE thì sẽ làm cho I_B giảm, như vậy I_C và I_E giảm, điểm làm việc được ổn định.
- Tùy theo phương pháp dùng hồi tiếp âm điện áp mà có các loại mạch phân cực hồi tiếp âm khác nhau:
 - a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector.*
 - b. Mạch định thiên hồi tiếp âm Emitter.*
 - c. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector và Emitter.*

5.3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector



- Mạch định thiên cố định có độ ổn định nhiệt không cao, và khi dòng I_C tăng làm điện áp U_{CE} giảm, có thể dùng đặc tính này làm cho dòng I_B giảm do đó ổn định được dòng I_C bằng cách dùng điện trở hồi tiếp R_B từ cực C về B, ta có mạch Collector-Feedback Bias (CFB) hình (a).

- Ta có: $E_C = (I_C + I_B)R_C + U_{CE} = (\beta_0 I_B + I_B)R_C + I_B R_B + U_{BE}$

$$\rightarrow I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{(\beta_0 + 1)R_C + R_B} \quad I_C = \frac{\beta_0 (E_C - U_{BE})}{(\beta_0 + 1)R_C + R_B}$$

- Phương trình đường tải tĩnh: $E_C = (I_C + I_B)R_C + U_{CE} = I_C R_C (\beta_0 + 1) / \beta_0 + U_{CE}$

5.3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector

- Mặt khác:

$$I_B = \frac{E_C - I_C R_C - U_{BE}}{R_C + R_B} \Rightarrow \frac{dI_B}{dI_C} = -\frac{R_C}{R_C + R_B}$$

- Hệ số ổn định nhiệt:

$$S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_C}{R_B + R_C}}$$

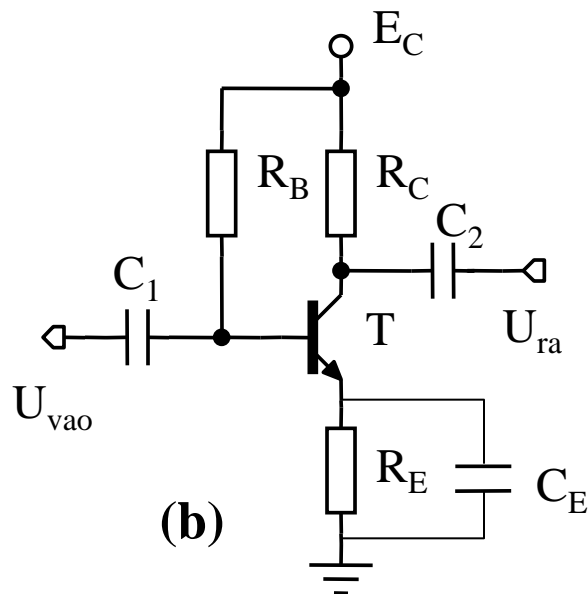
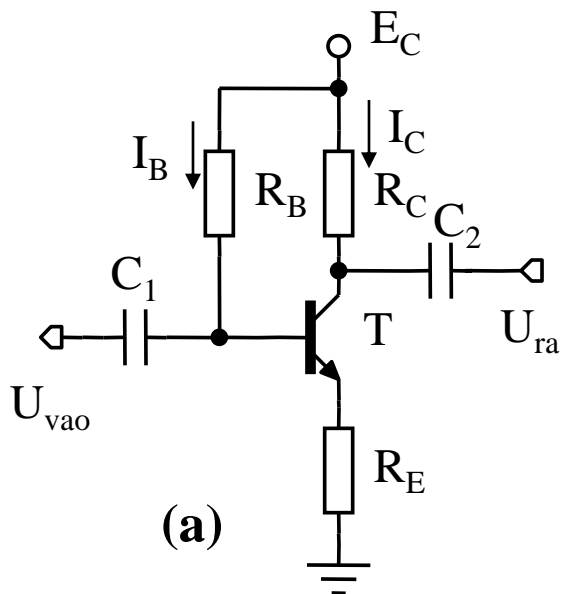
- Như vậy $S < \beta_0 + 1$, đã cải thiện được tính ổn định nhiệt.- Nếu chọn $R_B \ll R_C$ thì $S \rightarrow 1$.

- Điện áp phản hồi âm qua R_B trong mạch phân cực làm tăng độ ổn định nhiệt đồng thời lại làm giảm hệ số khuếch đại tín hiệu xoay chiều, R_B giảm thì độ ổn định tăng nhưng hệ số khuếch đại giảm. Như vậy để khắc phục mâu thuẫn này R_B được chia thành 2 phần R_1 và R_2 và dùng tụ nối đất điểm nối giữa 2 điện trở này như hình (b). C hở mạch đối với tín hiệu định thiên 1 chiều nhưng ngăn mạch tín hiệu xoay chiều không cho phản hồi trở lại đầu vào.

- Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector vẫn không thể tăng được độ ổn định lên cao vì S và điểm công tác tĩnh phụ thuộc lẫn nhau.

5.3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

b. Mạch định thiên hồi tiếp âm Emitter



Dễ dàng tính được:
$$I_B = \frac{(E_C - U_{BE})}{R_E(\beta_0 + 1) + R_B} \quad I_C = \frac{\beta_0(E_C - U_{BE})}{R_E(\beta_0 + 1) + R_B}$$

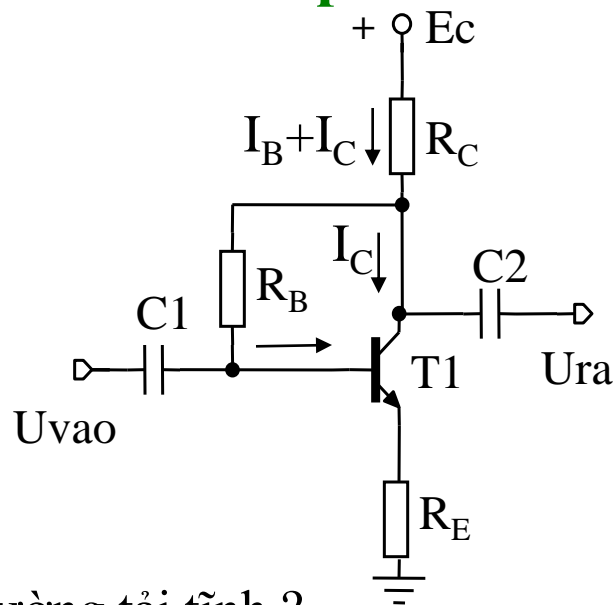
Phương trình đường tải tĩnh ?

$S = ?$

$U_{CE} = ?$

5.3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

c. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector và Emitter



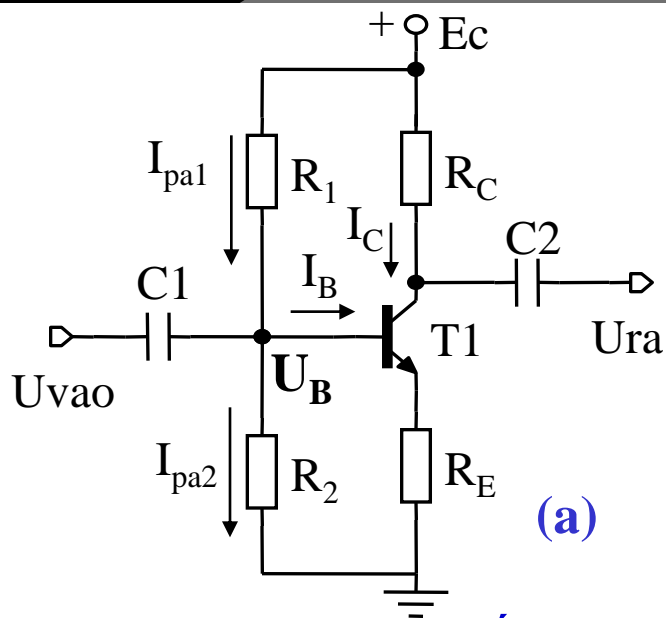
Phương trình đường tải tĩnh ?

$$I_B = ?$$

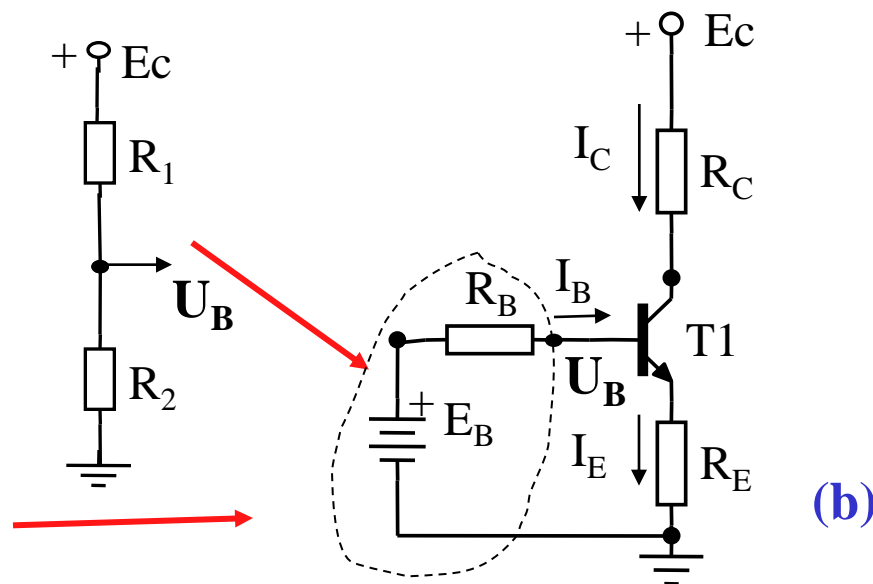
$$I_C = ?$$

$$S = ?$$

$$U_{CE} = ?$$

5.3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

(a)



(b)

- Mạch định thiên tự cấp (còn được gọi là mạch phân áp, mạch phân cực bằng dòng Emitter, mạch phân cực bằng hồi tiếp âm dòng điện) có sơ đồ như hình (a). Sơ đồ tương đương tĩnh như hình (b) (áp dụng biến đổi Norton, Thevenin với cơ cấu nguồn E_C và điện trở phân áp R_1, R_2).
- R_1, R_2 tạo thành mạch phân áp tạo điện áp U_B đặt vào cực B của BJT.
- R_E hồi tiếp âm dòng điện. $U_{ht} = U_E = I_E \cdot R_E$
- Giá trị của nguồn biến đổi tương đương:

$$E_B = \frac{R_2 \cdot E_C}{R_1 + R_2} \quad \text{và} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

5.3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

- Cần chọn R_1, R_2 thế nào để đảm bảo U_B ổn định và $U_B \ll E_C$, nhưng R_B không lớn hơn nhiều R_E , nếu không thì sự phân cực của mạch giống như trường hợp phân cực dòng cố định. (Thông thường chọn $R_B = R_E$).

$$E_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_C + I_B) R_E = U_{BE} + I_B (R_B + (\beta_0 + 1) R_E)$$

- Trong trường hợp này không được bỏ qua U_{BE} ,

- Tính toán điểm phân cực:

$$I_B = \frac{E_B - U_{BE}}{R_B + (\beta_0 + 1) R_E}; \quad I_C = \beta_0 I_B$$

- Ta có: $U_E = I_E R_E = (\beta_0 + 1) I_B R_E$

+ Phương trình đường tải tĩnh: $E_C = I_C (R_C + R_E) + U_{CE} + I_B R_E$ (bỏ qua $I_B R_E$)

$$E_C = I_C (R_C + R_E) + U_{CE}$$

- Xác định hệ số ổn định nhiệt: $S = ?$

$$E_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_C + I_B) R_E \quad (E_B \text{ và } U_{BE} \text{ không phụ thuộc vào dòng } I_B)$$

$$\Rightarrow dI_B / dI_C = - R_E / (R_E + R_B)$$



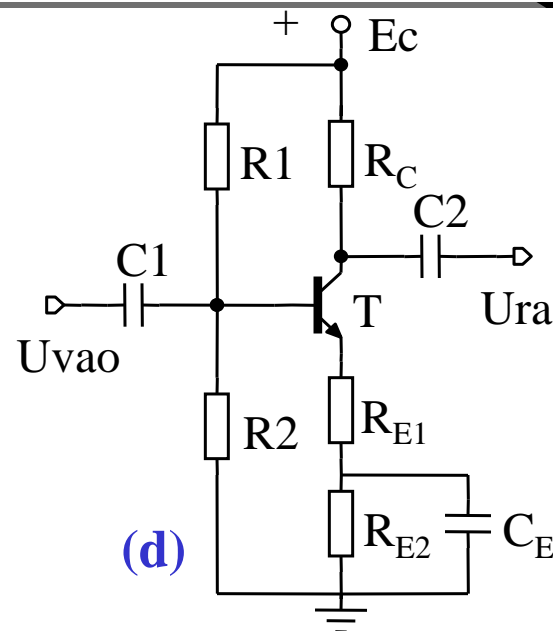
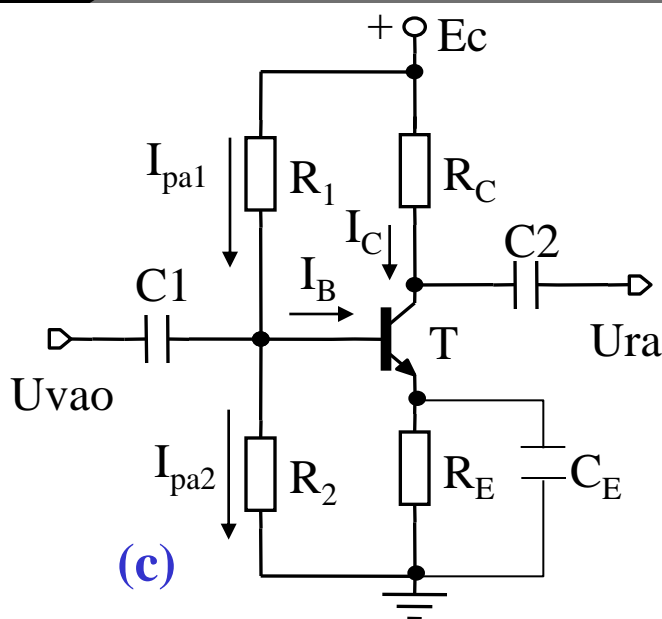
$$S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta_0) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta_0 + \frac{R_B}{R_E}}$$

5.3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

$$S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta_0) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta_0 + \frac{R_B}{R_E}}$$

- + $S \rightarrow 1$ khi $R_B \ll R_E$, và $S \rightarrow 1 + \beta_0$ khi $R_B \gg R_E$
- + S không phụ thuộc vào $R_{t0} = R_C$.
- Bản chất của sự ổn định nhiệt của mạch định thiên tự cấp chính là dòng phản hồi âm qua điện trở R_E . Tăng R_E nghĩa là tăng phản hồi âm, do đó làm giảm hệ số khuếch đại tín hiệu xoay chiều của mạch. Có thể loại trừ phản hồi âm của tín hiệu xoay chiều bằng cách mắc thêm tụ điện C_E ngắn mạch đối với tín hiệu xoay chiều như hình c, d.
- Trong thực tế β_0 cũng thay đổi theo nhiệt độ, do đó cũng ảnh hưởng đến độ ổn định của điểm làm việc tĩnh, để đánh giá sự ảnh hưởng này dùng công thức sau:

$$\frac{\Delta I_C}{I_C} = \frac{\Delta \beta \cdot S}{\beta_0 (\beta_0 + 1)}$$

5.3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

- Bài toán thiết kế (xác định các giá trị điện trở phân cực để BJT làm việc ở điểm làm việc tĩnh nào đó $Q(I_{B0}, U_{CE0}, I_{C0})$), **Cần chú ý một số luật sau:**

+ Tính R_1, R_2 sao cho $I_{pa1}, I_{pa2} \gg I_{B0} \Rightarrow I_{pa} \cong I_{pa1} \cong I_{pa2} \cong E_c / (R_1 + R_2)$

+ Thường chọn $I_{pa} \geq 20I_{B0}$ – **luật 20:1**.

+ Chọn $R_B \leq 0,01\beta_0 R_E \Rightarrow R_2 \leq 0,01\beta_0 R_E$ – **Luật 100:1**

+ Chọn $U_E = 0,1E_C$ – **Luật 10:1**

+ Dựa vào các điện trở đã được chọn theo luật chọn, tính các điện trở còn lại

5.3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

$$+ R_C = \frac{E_C - U_{CE0} - U_E}{I_{C0}}$$

$$+ R_E = U_E / (I_{B0} + I_{C0})$$

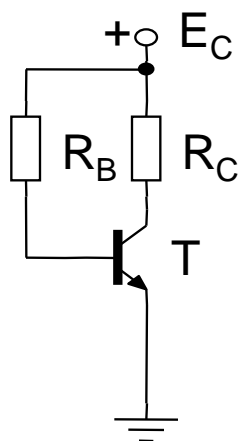
+ Chọn R_2 , tính R_1 dựa vào phương trình sau:

$$E_B = U_{BE} + U_E + I_{B0} [R_1 R_2 / (R_1 + R_2)] = E_C \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

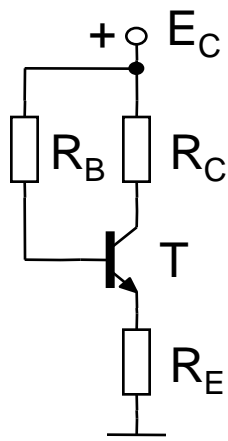
+ Kiểm tra lại xem có thỏa mãn điều kiện $I_{pa} \geq 20I_{B0}$ không?

(**Chú ý:** Khi tính toán nếu dữ kiện bài toán cho không đủ để tính chính xác các điện trở phân cực thì có thể dùng một số luật lựa chọn để chọn giá trị các điện nào đó, **tuy nhiên** càng dùng ít luật lựa chọn thì kết quả càng chính xác).

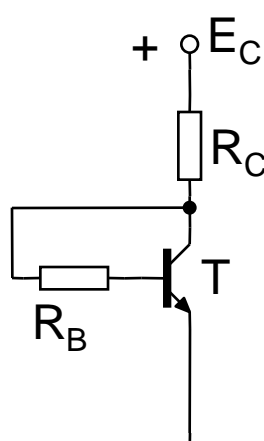
Tổng kết sự cải thiện các mạch định thiên cho BJT



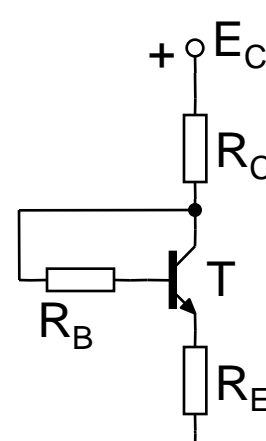
(1)



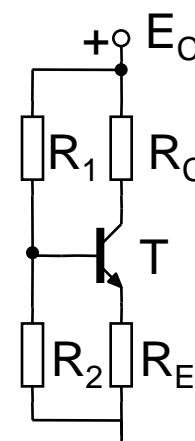
(2)



(3)



(4)



(5)

(1) : BB - Base Bias

(2) : EFB - Emitter-Feedback Bias

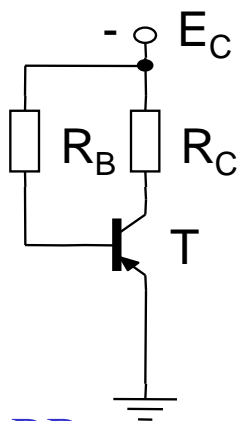
(3) : CFB - Collector-Feedback Bias

(4) : CEFB – Collector- and Emitter- Feedback Bias

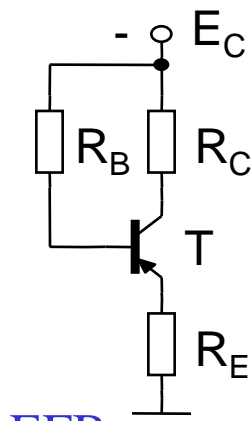
(5) : VDB – Voltage – Divider Bias

Độ ổn định tăng dần

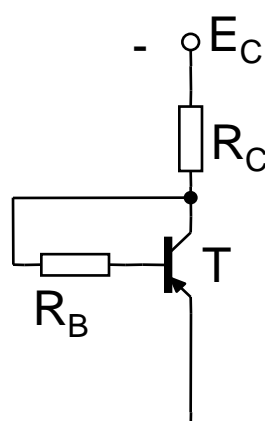
Mạch định thiên cho BJTpnp



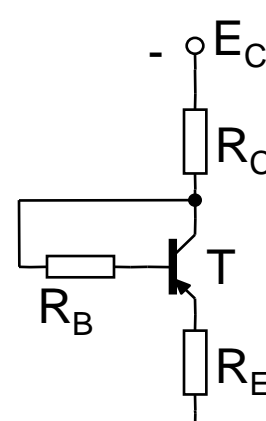
BB



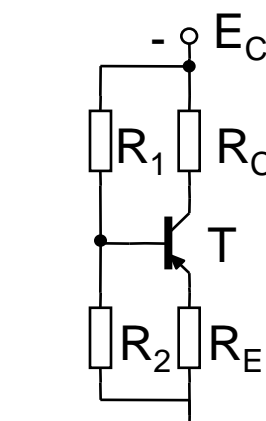
EFB



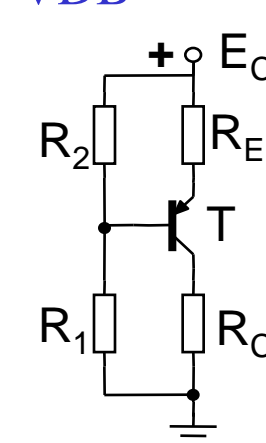
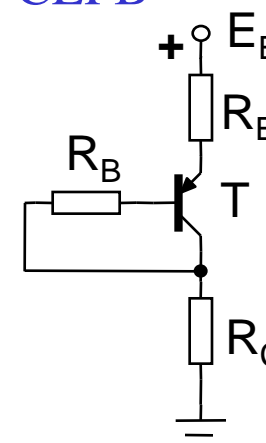
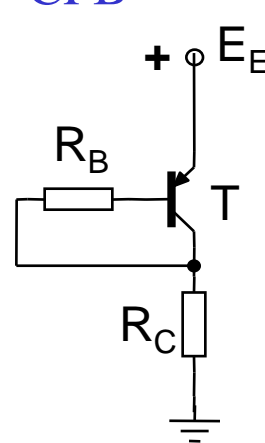
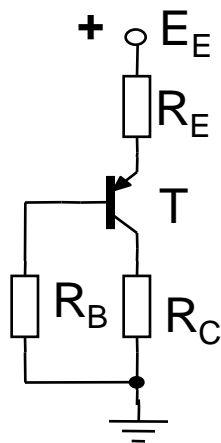
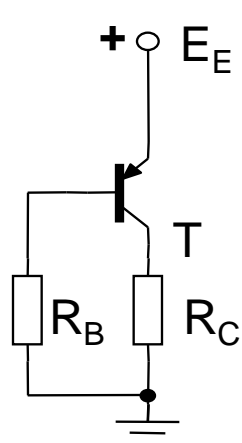
CFB



CEFB



VDB



5.4. BJT trong chế độ chuyển mạch (chế độ xung)

- Ví dụ BJT hoạt động trong các mạch xung, mạch số, mạch logic.
- BJT trong trường hợp này làm việc như một khóa điện tử, BJT làm việc ở 2 chế độ: đóng – chế độ ngắt (ngắt mạch không có dòng đi qua BJT), mở - chế độ dẫn bão hòa (nối mạch cho dòng đi qua BJT).
- Do đặc điểm hoạt động như vậy mà các tham số cũng như đặc tính của BJT chuyên dùng cho các ứng dụng này cũng có nhiều đặc tính khác so với BJT chuyên hoạt động chế độ tích cực. Đôi khi những BJT chuyên dụng này còn được gọi là BJT xung.
- Với những BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch này thì các tham số sau quan trọng nhất:
 - + **Điện áp thuận U_{BEbh}** : là điện áp U_{BE} khi BJT mắc CE ở trạng thái bão hòa.
 - + **Điện áp bão hòa U_{CEbh}** : là điện áp U_{CE} khi BJT mắc CE ở trạng thái bão hòa
 - + **Thời gian quá độ của BJT** : t_{on} - thời gian quá độ khi BJT chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ bão hòa, t_{off} – thời gian quá độ khi BJT chuyển từ chế độ bão hòa sang chế độ ngắt.
- Với những ứng dụng tần số xung thấp vẫn có thể sử dụng các BJT thông thường.

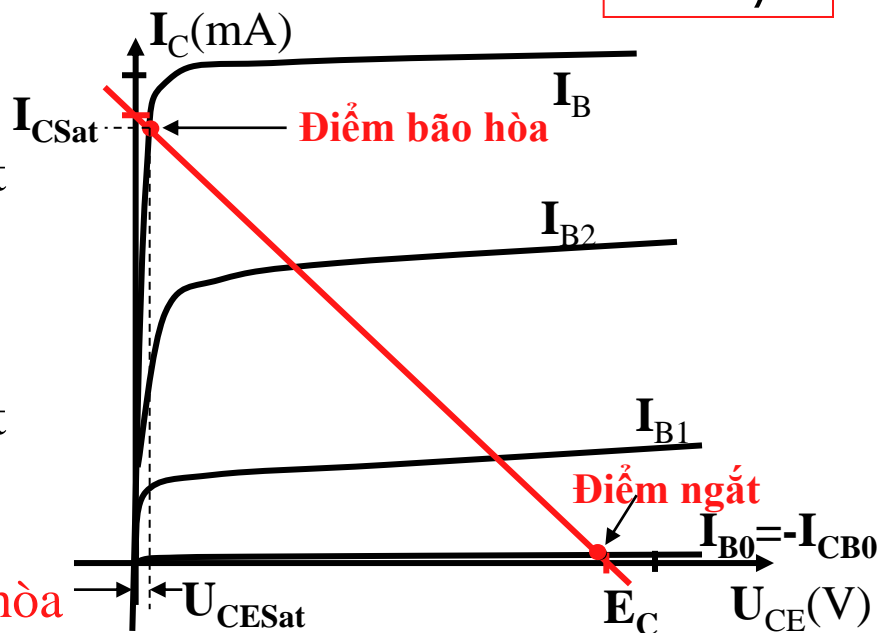
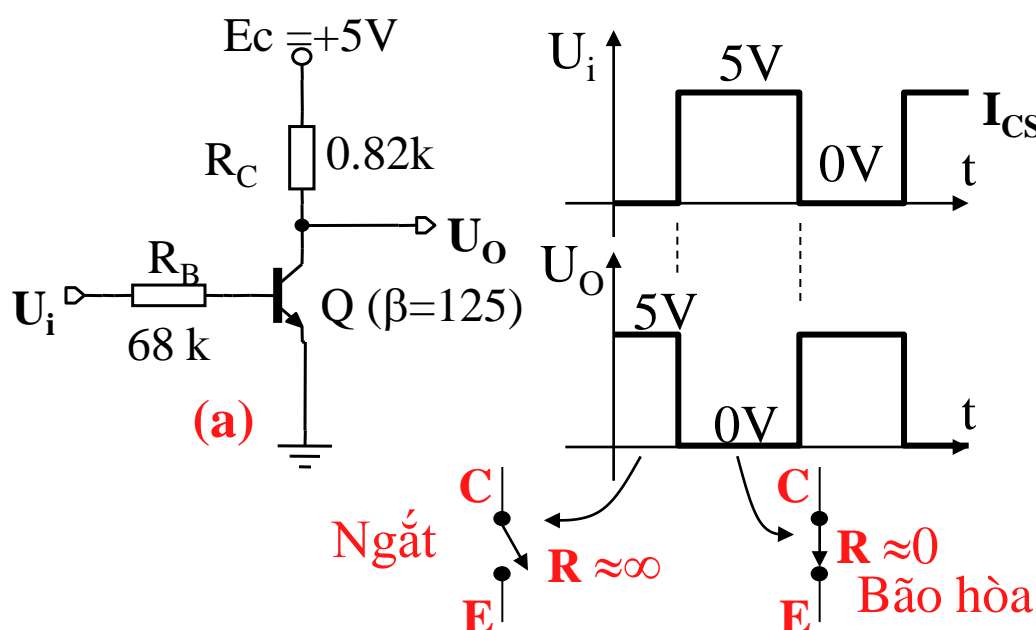
5.4. BJT trong chế độ chuyển mạch (chế độ xung)

- Ví dụ mạch BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch như hình (a), U_i là xung vào.
- + Khi $U_i = 0V \Rightarrow$ tiếp giáp BE, BC phân cực ngược, Q làm việc ở chế độ ngắt, $I_B = I_{B0} = -I_{CB0} \approx 0$, $I_C \approx 0 \Rightarrow U_O = E_C = 5V$
- + Khi $U_i = 5V$, chọn R_C , R_B sao cho Q làm việc ở chế độ bão hòa, Khi đó:
 $U_O = U_{CE} \approx 0V$. Như vậy BJT làm việc chuyển đổi giữa 2 điểm bão hòa và ngắt.

$$I_{CSat} = \frac{E_C - U_{CESat}}{R_C} \cong \frac{E_C}{R_C} \quad I_B = \frac{U_i - U_{BE}}{R_B}$$

Điều kiện để Q bão hòa:

$$I_B > \frac{I_{CSat}}{\beta}$$



Thời gian quá độ của BJT

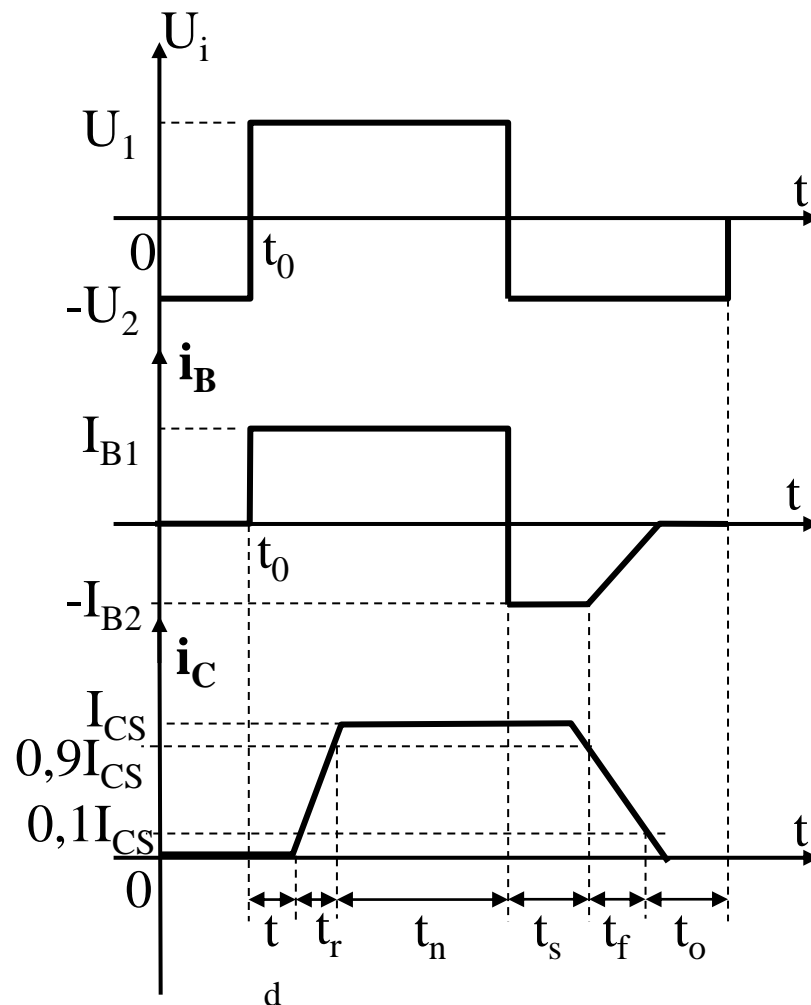
- Giảm đồ thời gian minh hoạt các thời gian quá độ của BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch.

- Trong đó: Ban đầu BJT ở trạng thái ngắt, tại thời điểm t_0 khi có xung dương đặt vào, chuyển tiếp BE được phân cực thuận BJT mở, tuy nhiên I_C vẫn rất nhỏ như ở trạng thái ngắt trong **thời gian trễ t_d** , sau đó mới bắt đầu tăng và sau **thời gian tăng t_r** mới đạt giá trị bão hòa I_{CS} , và ở trạng thái bão hòa trong khoảng thời gian t_n , sau đó đột ngột xung vào mất $U_i=0$, và dòng I_B chảy theo chiều ngược lại, dòng I_C không giảm nhỏ ngay mà tiếp tục duy trì giá trị bão hòa trong **thời gian tồn tích t_s** , sau đó mất **thời gian hồi phục t_f** mới giảm dần đến giá trị ban đầu như ở trạng thái ngắt.

Thời gian quá độ:

$$t_{on} = t_d + t_r$$

$$t_{off} = t_s + t_f$$



5.5. Mô hình tương đương của BJT

- Mô hình tương đương của BJT là mạch ghép của các phần tử thụ động, nguồn dòng, nguồn áp... xấp xỉ hoạt động thực của BJT trong điều kiện làm việc nào đó.
- Mô hình tương đương được thay thế cho BJT trong các phép xác định tham số nào đó của mạch.
- Các mô hình tương đương:
 - a. Mô hình tương đương một chiều
 - b. Mô hình tham số Hybrid (Hybrid parameter/h-Parameter Model)
 - c. Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π
 - d. Mô hình tương đương r_e
 - e. Mô hình tương đương tín hiệu lớn
 - d. Mô hình Spice

5.5. Mô hình tương đương của BJT

a. Mô hình tương đương một chiều

- Sử dụng mô hình Ebers-Moll

- Trong mỗi chế độ làm việc cụ thể sử dụng sơ đồ tương đương Ebers-Moll đơn giản (xem lại phần trước).

- Tóm lại khi tính toán chế độ 1 chiều để đơn giản có thể sử dụng các công thức sau:

+ Chế độ tích cực:

$$I_C = I_B \beta_0$$

$$U_{BE} \approx \text{const}$$

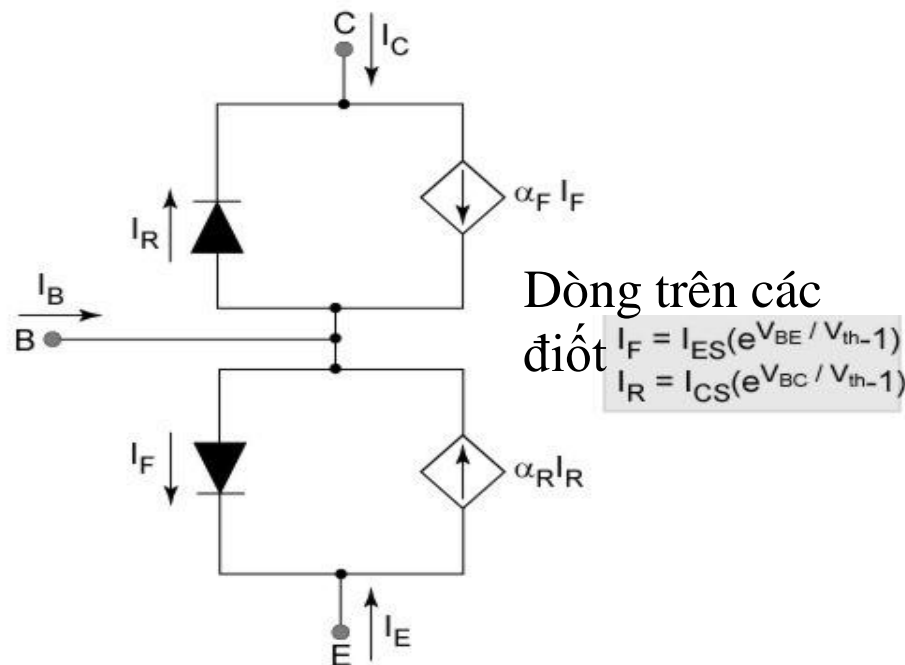
(eg. $0,7 - npnSi$; $-0,7 - pnpSi$)

+ Chế độ bão hòa:

$$U_{CE} \approx 0 \quad I_B > \frac{I_C}{\beta_0}$$

+ Chế độ ngắt:

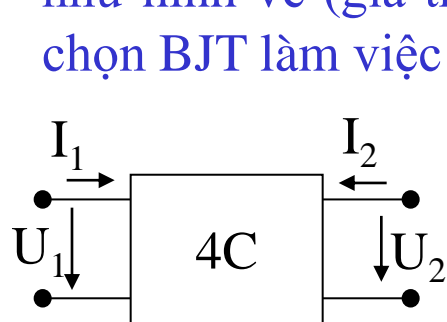
$$I_C \approx 0 \quad I_B \approx 0$$



5.5. Mô hình tương đương của BJT

b. Mô hình tham số Hybrid

- Mô hình tham số Hybrid được xác định từ ma trận tham số hỗn hợp H của mạng 4 cực là tham số của BJT trong điều kiện điểm làm việc một chiều.
- Từ hệ phương trình hỗn hợp H của 4C có thể suy ra mô hình tương đương của 4C như hình vẽ (giả thiết biên độ tín hiệu xoay chiều đủ nhỏ để tại điểm làm việc đã chọn BJT làm việc như một phần tử tuyến tính).



$$\begin{cases} u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2 \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2 \end{cases} \rightarrow$$

$$h_{11} = h_i = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0}$$

Trở kháng vào khi đầu ra ngắn mạch

$$h_{12} = h_r = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_2=0}$$

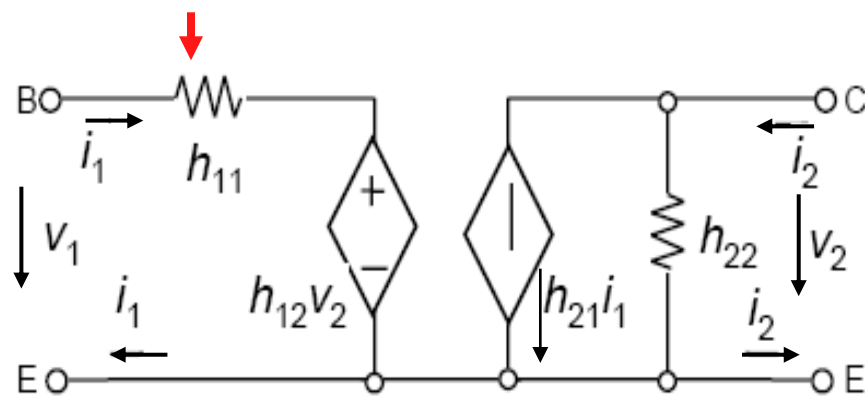
Độ khuếch đại điện áp ngược hở mạch

$$h_{21} = h_f = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0}$$

Hệ số khuếch đại dòng thuận ngắn mạch

$$h_{22} = h_o = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{i_1=0}$$

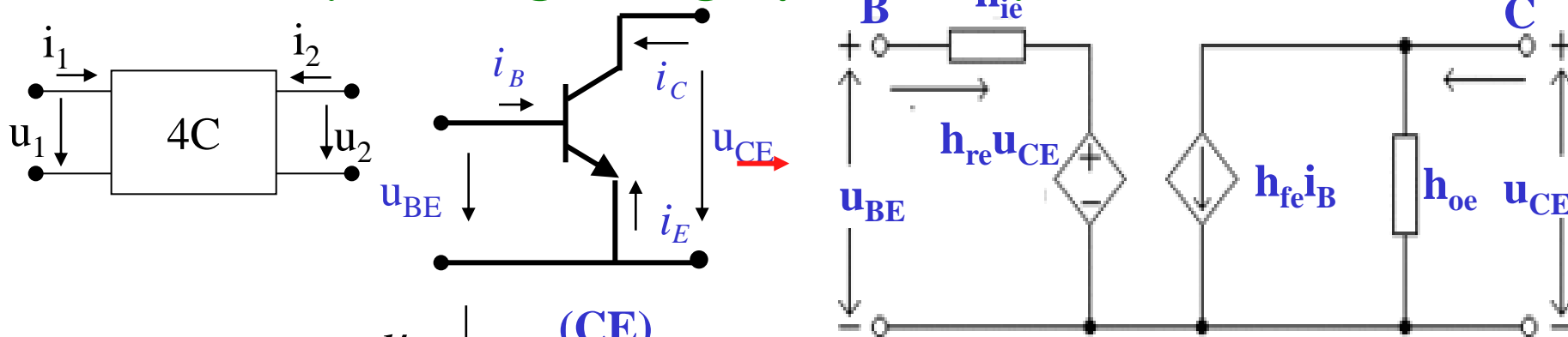
Độ dẫn ra khi đầu vào hở mạch



Tham số h sẽ được ký hiệu và tính theo mỗi cách mắc BJT khác nhau

5.5. Mô hình tương đương của BJT

b. Mô hình mạch tương đương Hybrid – mạch mắc CE



$$h_{11} = h_{ie} = \left. \frac{u_{BE}}{i_B} \right|_{u_{CE}=0} \quad (\text{CE}) = r_e$$

Trở kháng tiếp giáp emitter

$$h_{12} = h_{re} = \left. \frac{u_{BE}}{u_{CE}} \right|_{i_C=0}$$

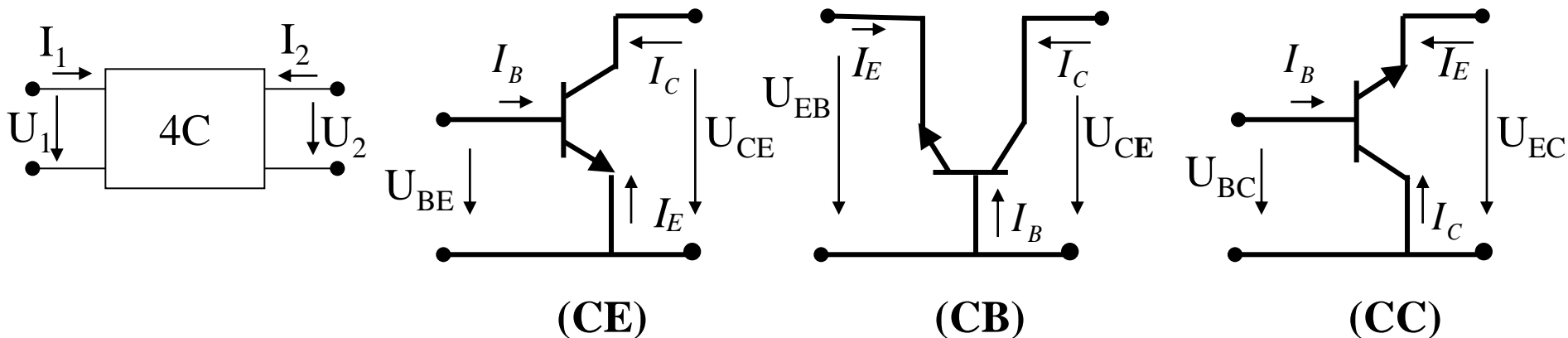
Chỉ sự phụ thuộc của u_{BE} vào u_{CE} ,
 h_{re} rất nhỏ thường bỏ qua

$$h_{21} = h_{fe} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{u_{CE}=0} = \beta_0$$

$$h_{22} = h_{oe} = \left. \frac{i_c}{u_{CE}} \right|_{i_B=0} = \frac{1}{r_{ce}} = \frac{1}{r_o} = g_o$$

5.5. Mô hình tương đương của BJT

b. Mô hình mạch tương đương Hybrid – mạch mắc CB, CC



Common-emitter
 h -parameters

Common-base
 h -parameters

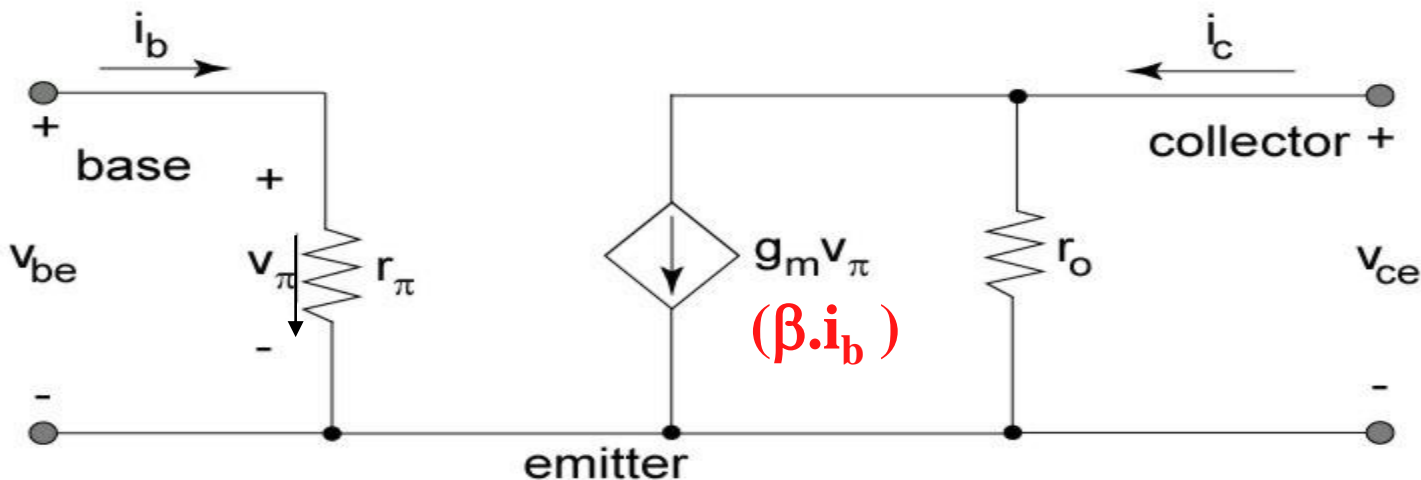
Common-collector
 h -parameters

h_{ie}	$h_{ib} = h_{ie} / (h_{fe} + 1)$	$h_{ic} = h_{ie}$
h_{re}	$h_{rb} = h_{ie} h_{oe} / (h_{fe} + 1) - h_{re}$	$h_{rc} = 1$
h_{fe}	$h_{fb} = -h_{fe} / (h_{fe} + 1)$	$h_{fc} = -h_{fe} - 1$
h_{oe}	$h_{ob} = h_{oe} / (h_{fe} + 1)$	$h_{oc} = h_{oe}$

5.5. Mô hình tương đương của BJT

c. Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π

- Dựa vào các phương trình đặc tính và tham số xác định trong chế độ tín hiệu nhỏ, nếu bỏ qua các thành phần tích điện, ta có thể xây dựng mô hình BJT chế độ tín hiệu nhỏ như hình vẽ sau (mô hình này thường dùng cho BJT hoạt động ở tần số thấp):



Tại điểm làm việc tĩnh: $Q(U_{BE}/I_B, U_{CE}, I_C)$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_{th}}{I_C}$$

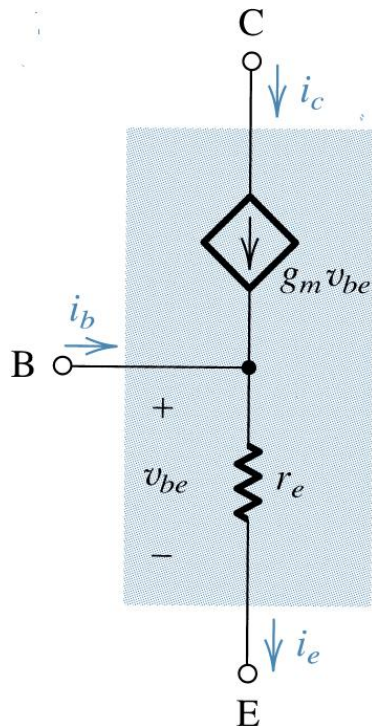
$$g_m = \frac{I_C}{V_{th}} = \frac{q}{kT} I_C$$

$$r_o = \frac{V_{An}}{I_C}$$

$$i_b = \frac{v_{be}}{r_{\pi}} = \frac{u_{\pi}}{r_{\pi}}$$

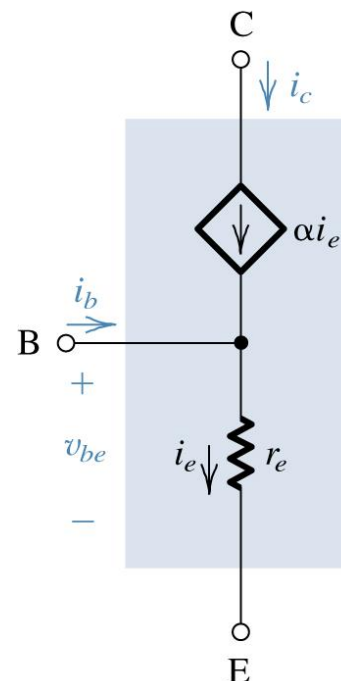
$$i_c = g_m v_{be} + \frac{1}{r_o} v_{ce}$$

5.5. Mô hình tương đương của BJT

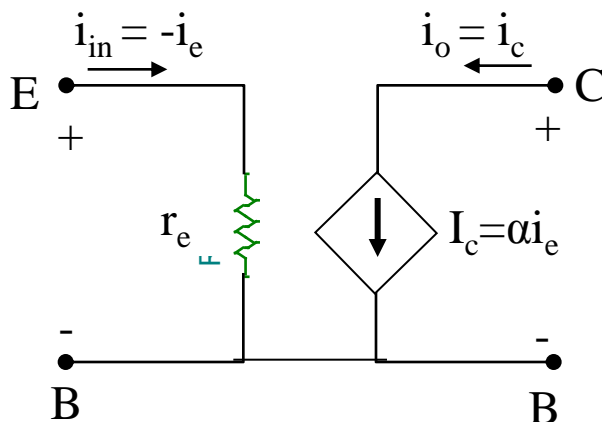
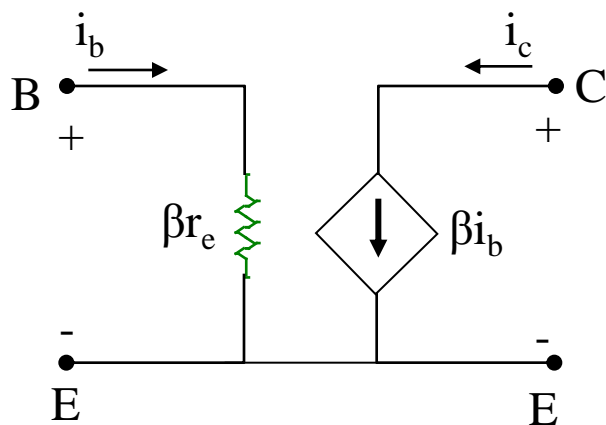
d. Mô hình tương đương r_e 

$$g_m = I_C / V_T$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



5.5. Mô hình tương đương của BJT

BJT npn
CEd. Mô hình tương đương r_e
CB

$$r_e = \frac{V_{Th}}{I_E}$$

Mối quan hệ giữa các tham số của các mô hình tương đương (mắc CE):

$$r_{\pi} = \beta r_e$$

$$g_m = \frac{1}{r_e}$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

CHƯƠNG 6.

TRANSISTOR TRƯỜNG - FET

Chương 6- FET (Transistor hiệu ứng trường)

6.1. Giới thiệu chung về FET

6.2. Transistor trường loại tiếp giáp – JFET

6.3. Cấu trúc MOS

6.4. Transistor trường loại cực cửa cách ly – IGFET

6.1. Giới thiệu chung về FET

- Transistor hiệu ứng trường **FET** (Field Effect Transistor) là một dạng linh kiện bán dẫn ứng dụng hiệu ứng điện trở suất của bán dẫn được điều khiển bằng điện trường, đây là một loại cấu kiện điều khiển bằng điện áp.
- **Nguyên lý hoạt động cơ bản** của Transistor trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện, điện trở suất hoặc nồng độ hạt dẫn thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó, do đó điều khiển được dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.
- Khác với BJT, FET chỉ có một loại hạt dẫn cơ bản tham gia dẫn điện.
- FET có ba chân cực là cực S, G, D.

BJT	FET		
E	S	Source	Cực nguồn: các hạt dẫn đa số đi vào kênh tạo ra dòng điện nguồn I_S .
B	G	Gate	Cực cửa: cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh
C	D	Drain	Cực máng: các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh tạo ra dòng I_D

6.1. Giới thiệu chung về FET

Phân loại chung về FET

- FET chia thành các loại theo cấu trúc của cực cửa và của kênh dẫn như sau:
- + JFET (*Junction FET*) : Transistor hiệu ứng trường điều khiển bằng chuyển tiếp PN, cực điều khiển G ngăn cách với kênh dẫn bằng vùng nghèo của chuyển tiếp PN phân cực ngược.
- + IGFET (*Isolated Gate FET*) : Transistor hiệu ứng trường cực cửa cách ly với kênh dẫn, điển hình là linh kiện MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor FET*) và MESFET (*Metal-Semiconductor FET*).
 - * **MESFET**: cực điều khiển cách ly với kênh dẫn bằng vùng nghèo của chuyển tiếp kim loại-bán dẫn.
 - * **MOSFET** cực điều khiển cách ly hẳn với kênh dẫn thông qua một lớp điện môi (SiO_2). Đây mới đúng là Transistor trường theo đúng nghĩa của thuật ngữ này, vì chỉ có loại này dòng chảy qua kênh dẫn mới được điều khiển hoàn toàn bằng điện trường, dòng điều khiển hầu như bằng không tuyệt đối, trong khi đó dòng rò của chuyển tiếp PN hoặc Schottky phân cực ngược, chưa hoàn toàn bằng không).
- Mỗi loại FET còn được chia thành loại kênh N và kênh P.

6.1. Giới thiệu chung về FET

* Một số ưu điểm của FET:

- FET là loại linh kiện một loại hạt dẫn (*unipolar device*).
- FET có trở kháng vào rất cao.
- Nhiều trong FET ít hơn nhiều so với Transistor lưỡng cực.
- FET không bù điện áp tại dòng $I_D = 0$, do đó nó là linh kiện chuyên mạch tuyệt vời.
- Có độ ổn định về nhiệt cao.
- Tần số làm việc cao.
- Kích thước của FET nhỏ hơn của BJT nên có nhiều ưu điểm trong IC.

* Một số nhược điểm:

- Nhược điểm chính của FET là hệ số khuếch đại điện áp thấp hơn nhiều so với BJT

6.2. Transistor trường loại tiếp giáp - JFET

6.2.1. Cấu tạo của JFET

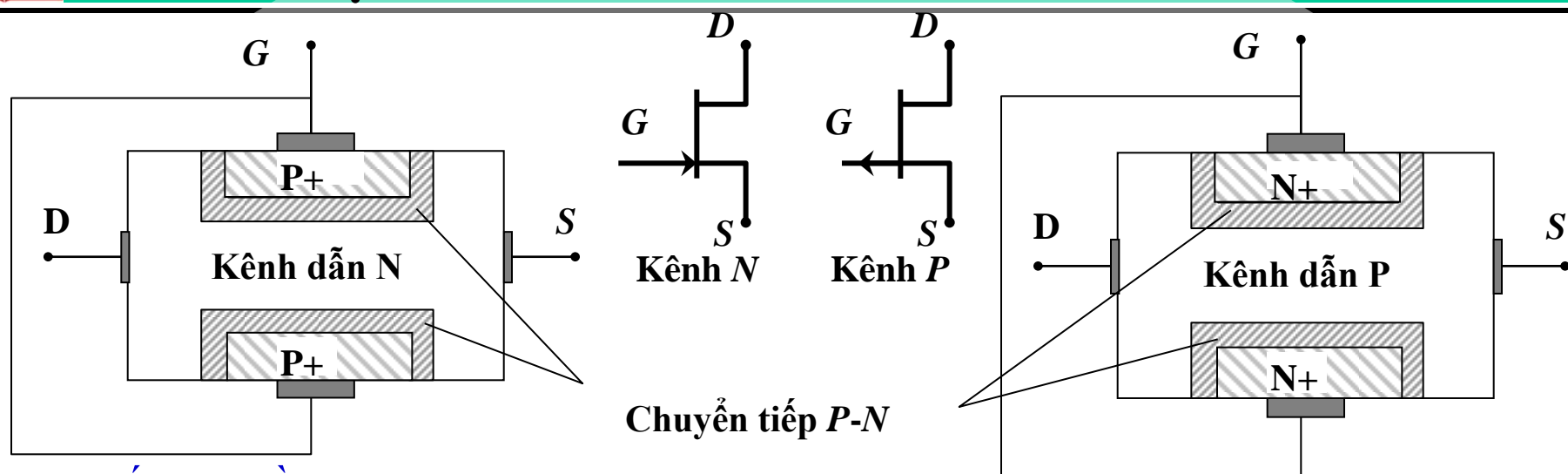
6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

6.2.3. Các cách mắc và họ đặc tuyến của JFET

6.2.4. Phân cực cho JFET

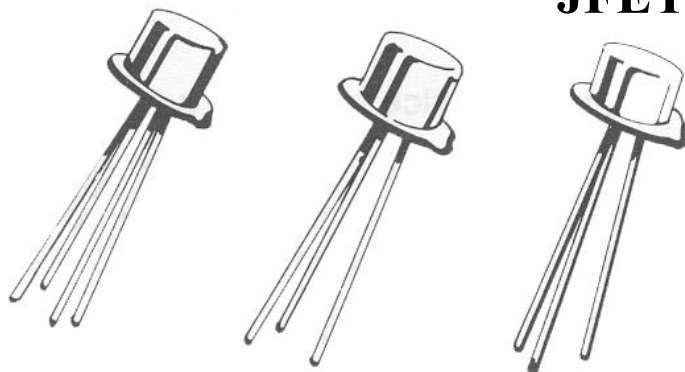
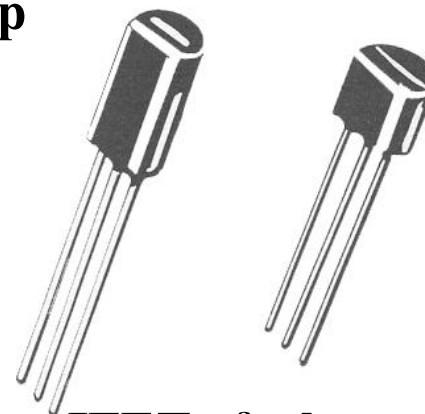
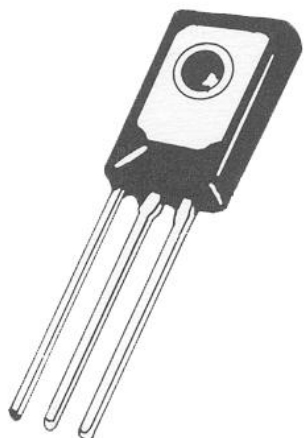
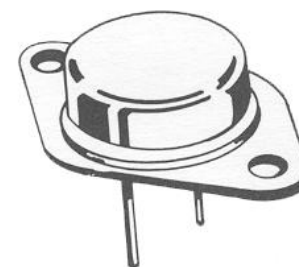
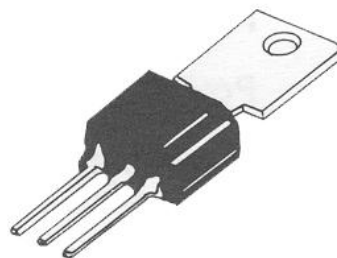
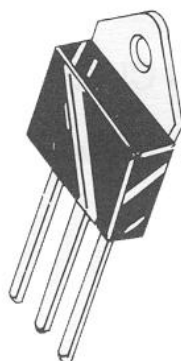
6.2.5. Các mô hình tương đương của JFET

6.2.6. Một số ứng dụng của JFET

6.2.1. Cấu tạo của JFET

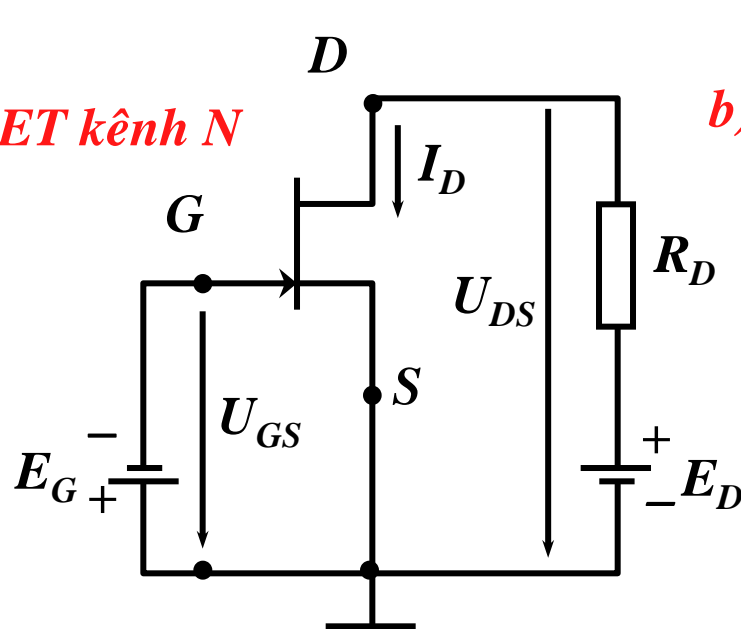
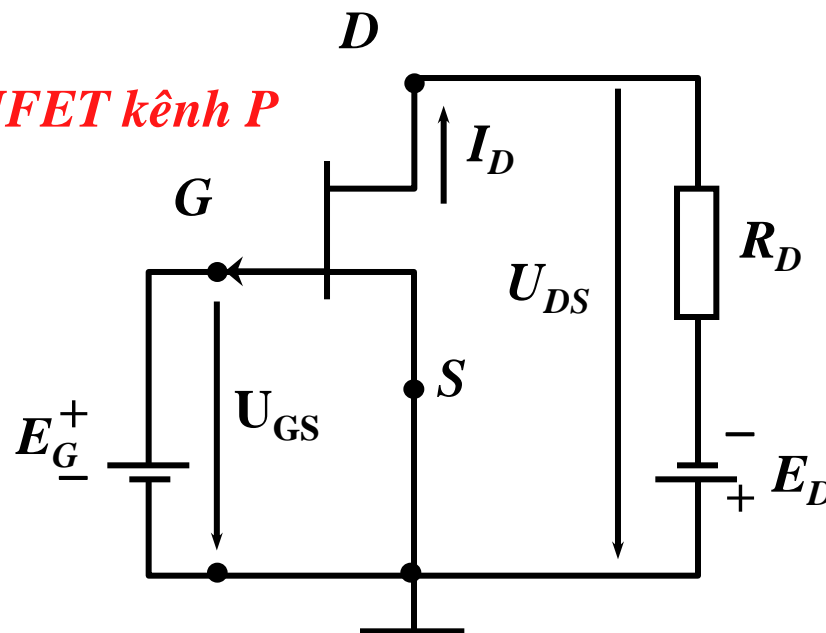
- JFET cấu tạo gồm:

- + Một kênh dẫn được làm từ bán dẫn N (JFET kênh dẫn N) hoặc P (JFET kênh dẫn P), có 2 điện cực 2 đầu là cực nguồn S và cực máng D.
- + Điện cực thứ 3 là cực cổng G, giữa cực này và kênh dẫn có một chuyển tiếp PN, trong đó miền bán dẫn cực cổng được pha tạp mạnh hơn nhiều so với kênh dẫn để vùng điện tích không gian (vùng nghèo) của chuyển tiếp PN lan chủ yếu về phía kênh dẫn.
- JFET hầu hết đều là loại đối xứng, có nghĩa là khi đầu trong mạch ta có thể đổi chỗ hai chân cực S và D cho nhau thì các tính chất và tham số của JFET không hề thay đổi

6.2.1. Cấu tạo của JFET**JFET công suất thấp****JFET vỏ kim loại****JFET vỏ nhựa****JFET công suất cao****JFET vỏ nhựa tổng hợp với đầu
nhiệt kim loại****JFET vỏ hoàn toàn bằng kim loại**

6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

- Nguyên lý hoạt động của JFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau.
- JFET được phân cực sao cho vùng chuyển tiếp PN bao quanh kênh dẫn luôn được phân cực ngược, và dòng các hạt dẫn đa số đi vào kênh tạo ra dòng I_S .
- Như vậy nguồn phân cực mắc sao cho: với JFET kênh n : $U_{DS} > 0$ và $U_{GS} < 0$ và với JFET kênh p : $U_{DS} < 0$; $U_{GS} > 0$.

a) JFET kênh N b) JFET kênh P 

6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

- Trong phần này chúng ta sẽ trình bày về nguyên lý hoạt động của **JFET kênh N**, sau đó suy ra nguyên lý hoạt động của JFET kênh P.
- Do tác dụng của các điện áp U_{GS} và U_{DS} , trên kênh dẫn xuất hiện 1 dòng điện (là dòng điện tử với JFET kênh N) hướng từ cực D tới cực S gọi là dòng điện cực máng I_D . Dòng I_D có độ lớn tùy thuộc vào các giá trị U_{GS} và U_{DS} vì độ phân cực ngược của chuyển tiếp PN phụ thuộc mạch vào cả 2 điện áp này nên độ dẫn điện của kênh phụ thuộc mạnh vào cả 2 điện trường này. Như vậy về cơ bản có thể nói rằng JFET là một điện trở có tiết diện thay đổi được, và tiết diện này được thay đổi bởi điện áp điều khiển.
 $I_D = f(U_{GS}, U_{DS})$
- Nếu xét riêng sự phụ thuộc của I_D vào từng điện áp khi giữ cho điện áp còn lại không đổi (coi là một tham số) ta nhận được hai quan hệ hàm quan trọng nhất của JFET là:

$$I_D = f_1(U_{DS})|_{U_{GS} = \text{const}}$$

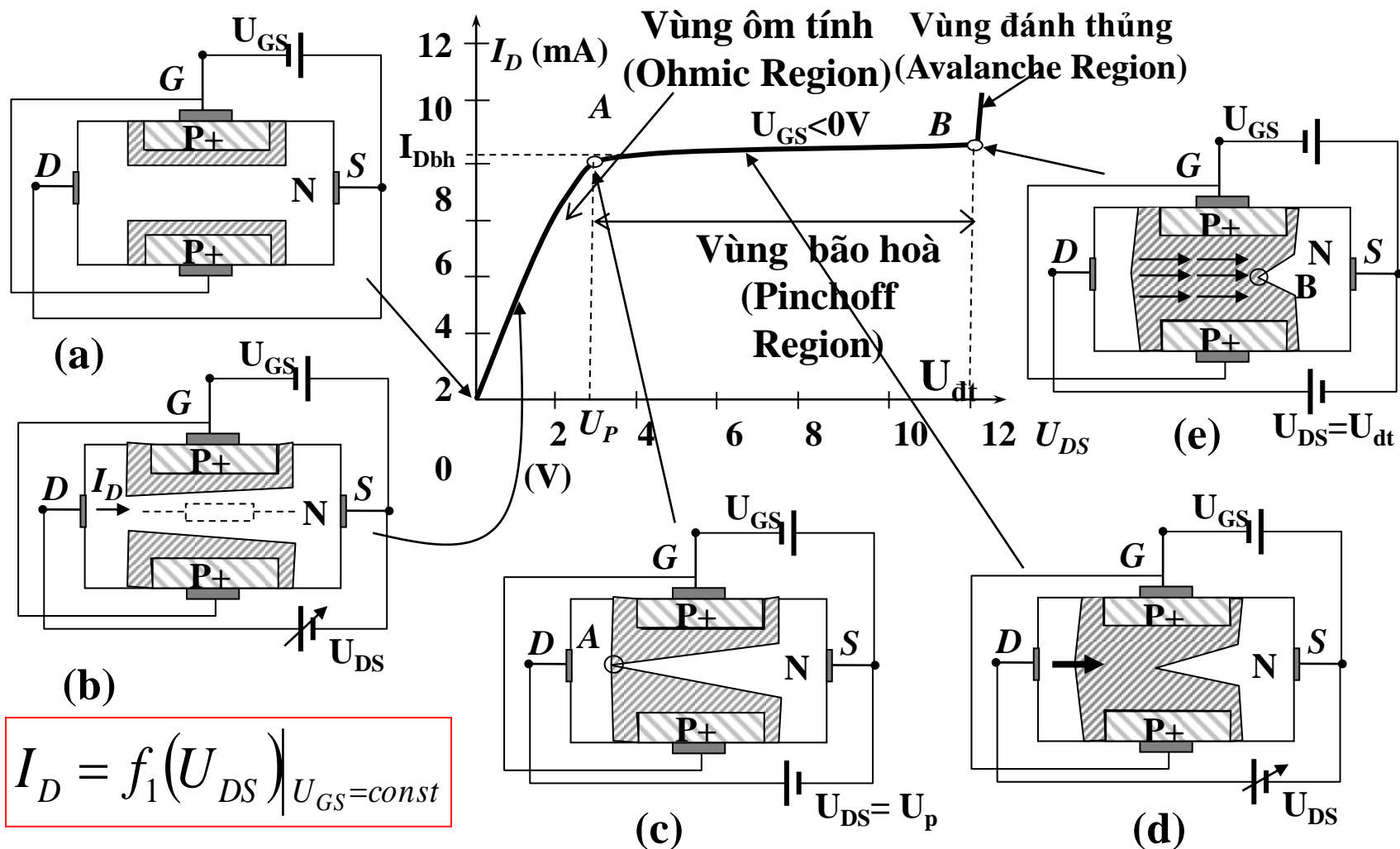
→ Đặc tuyến ra

$$I_D = f_2(U_{GS})|_{U_{DS} = \text{const}}$$

→ Đặc tuyến truyền đạt

6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

Đặc tuyến ra của nJFET



6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

- a/ Vùng ohmic (Vùng Triot): Khi U_{DS} tăng dần, I_D tăng dần, lúc đầu U_{DS} còn nhỏ, sụt áp của nó gây trên điện trở kênh ảnh hưởng không đáng kể đến độ rộng của miền điện tích không gian, nên I_D tăng tuyến tính theo U_{DS} , vùng được gọi là vùng ôm tính, và làm việc giống như điện trở thuần.
- b/ Điểm thắt A: Khi U_{DS} tăng lên làm cho I_D lớn đến mức sụt áp do dòng này gây ra trên kênh làm tăng đáng kể điện áp phân cực ngược chuyển tiếp PN giữa cực G và kênh, miền điện tích không gian lan sâu vào kênh, làm cho điện trở kênh tăng dần, do đó I_D tăng chậm lại, Nếu như tiếp tục tăng U_{DS} đến thời điểm $U_{DS}=U_P$, thì hầu như I_D không tăng mặc dù tiếp tục tăng U_{DS} . Điểm $U_{DS}=U_P$ được gọi là điểm thắt A, U_P là điện áp thắt của kênh, dòng điện I_D ứng với điểm thắt gọi là dòng bão hoà $I_{D_{bh}}$.
- c/ Vùng bão hoà (vùng làm việc tích cực): Khi U_{DS} tiếp tục tăng vượt qua điểm thắt A, $U_{DS}>U_P$, thì I_D hầu như không tăng, $I_D=I_{D_{bh}}$, do khi U_{DS} tăng vùng điện tích không gian càng lan sâu vào kênh và điện trở kênh càng tăng lên tỉ lệ với U_{DS} , do đó dòng không đổi. Nhưng giá trị dòng $I_{D_{bh}}$ lại tăng nhanh theo U_{GS} .

6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

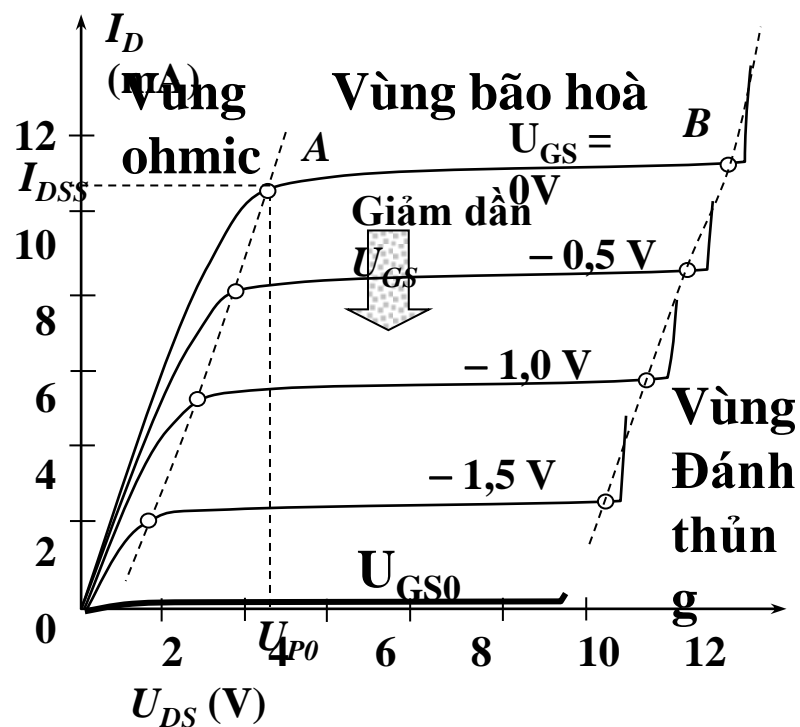
d/ **Điểm đánh thủng B:** Khi U_{DS} tăng quá lớn, điện áp phân cực ngược giữa G và kênh tăng mạnh, đến khi $U_{DS}=U_{dt}$ thì hiện đánh thủng theo hiệu ứng thác lũ xảy ra, do đó dòng I_D tăng đột ngột khi U_{DS} tăng, Điểm B gọi là điểm đánh thủng, vùng ngoài điểm B gọi là vùng đánh thủng của kênh.

- **Họ đặc tuyến ra của JFET** có dạng như hình vẽ bên:

+ Khi U_{GS} âm dần, thì sự phân cực ngược của G và kênh càng tăng, điện áp thắt U_P để kênh đạt tới điểm thắt càng nhỏ, đường đứt nét trên họ đặc tuyến nối các điểm thắt với nhau.

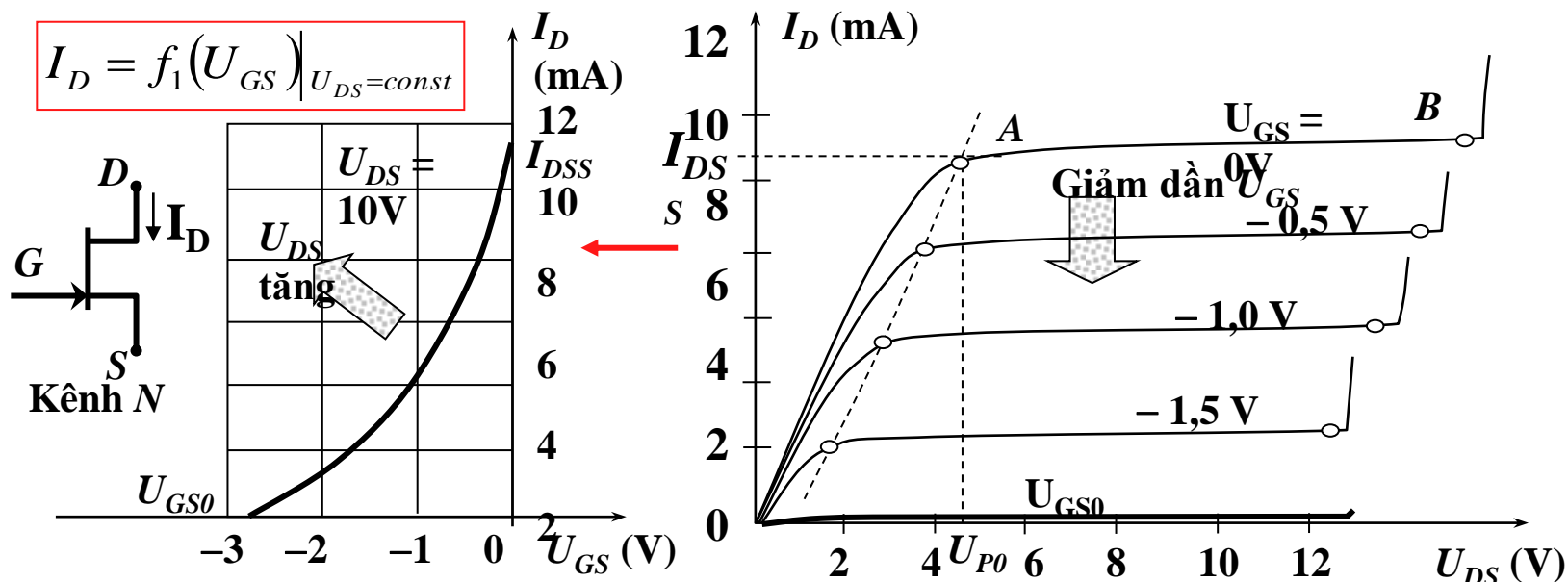
+ Tương tự, với điểm đánh thủng B, khi U_{GS} càng âm việc đánh thủng chuyển tiếp PN xảy ra sớm hơn, điện áp đánh thủng càng nhỏ hơn.

+ Khi $U_{GS} \leq U_{GS0}$ thì $I_D = 0$ mặc dù U_{DS} tăng, U_{GS0} - điện áp khóa kênh



6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

Đặc tuyến truyền đạt của nJFET

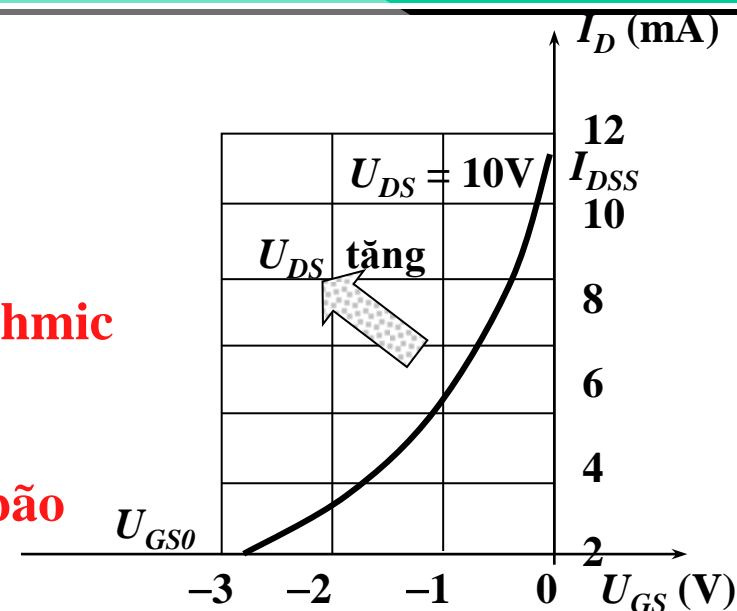


- Đặc tuyến truyền đạt của JFET mô tả mối quan hệ giữa I_D và điện áp U_{GS} ứng với một giá trị nhất định của U_{DS} . Dạng đặc tuyến truyền đạt khi JFET làm việc ở vùng bão hoà như hình bên trái. Đặc tuyến xuất phát từ một giá trị U_{GS0} , tại đó $I_D = 0$, gọi là *điện áp khoá*.. Khi tăng U_{GS} , I_D tăng gần như tỷ lệ do độ dẫn điện của kênh tăng theo mức độ giảm phân cực ngược của tiếp giáp PN. Lúc $U_{GS} = 0$, tại vùng bão hoà $I_D = I_{DSS}$, vậy I_{DSS} là dòng tĩnh cực máng bão hoà lớn nhất (khi $U_{GS}=0$).

6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

- Quan hệ giữa I_D và U_{GS} được xác định bởi phương trình Shockley:
- Phương trình Shockley:

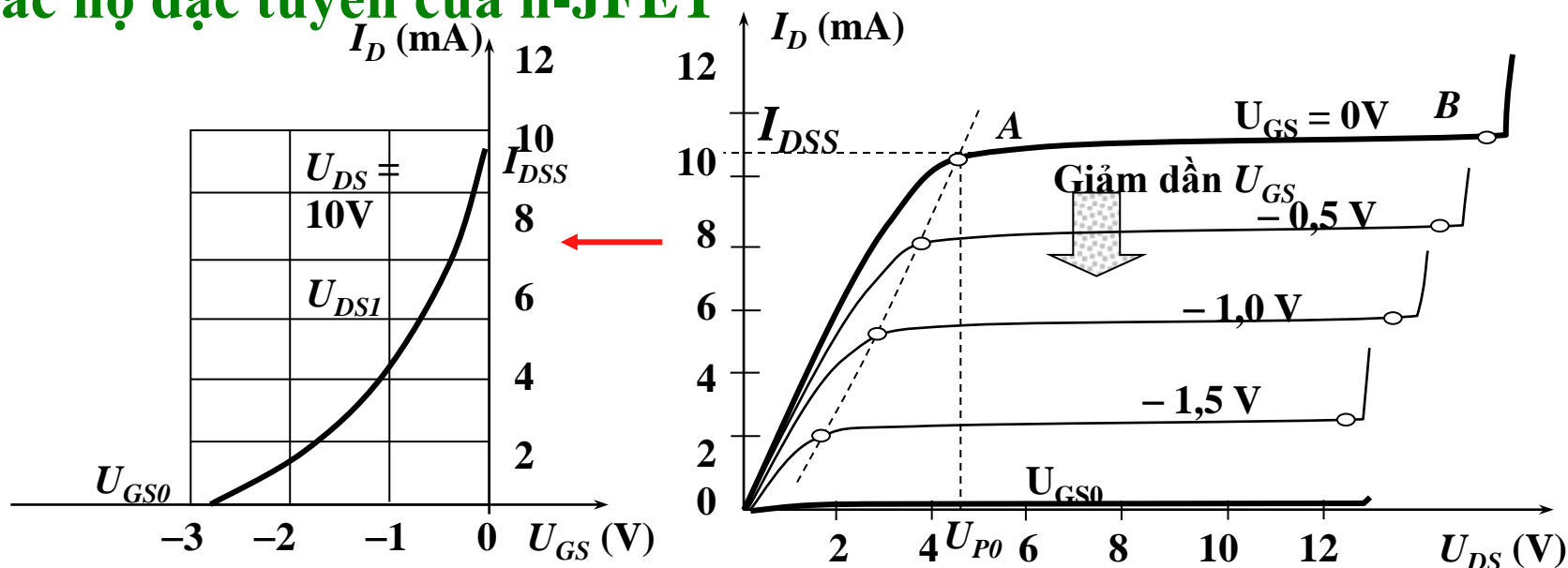
$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{khi } U_{GS0} \leq U_{GS} \leq 0 \rightarrow \text{Vùng bão hoà} \end{cases}$$



- Trong đó: I_{DSS} là dòng cực máng bão hoà khi $U_{GS}=0$, khi đó kênh mở rộng nhất và lúc này I_D đạt giá trị lớn nhất của nó, nên như vậy có nghĩa là I_{DSS} là dòng cực máng cực đại có thể đạt được của JFET
- U_{GS0} là điện áp khoá kênh hay điện áp ngắt kênh, vì $I_D=0$ khi độ rộng của kênh dẫn bằng 0, nên như vậy có nghĩa là U_{GS0} là thế áp đặt lên cực cổng làm cho JFET bắt đầu bị khoá lại hoàn toàn.
- I_{DSS} và U_{GS0} là 2 tham số quan trọng của JFET dùng nhiều khi thiết kế mạch.

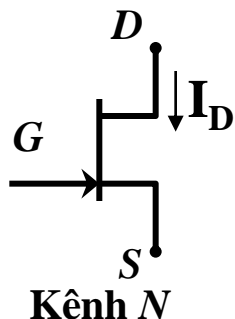
6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

+ Các họ đặc tuyến của n-JFET



$I_{DSS} > 0$ – Dòng $I_{D_{bh}}$ khi $U_{GS} = 0$ V

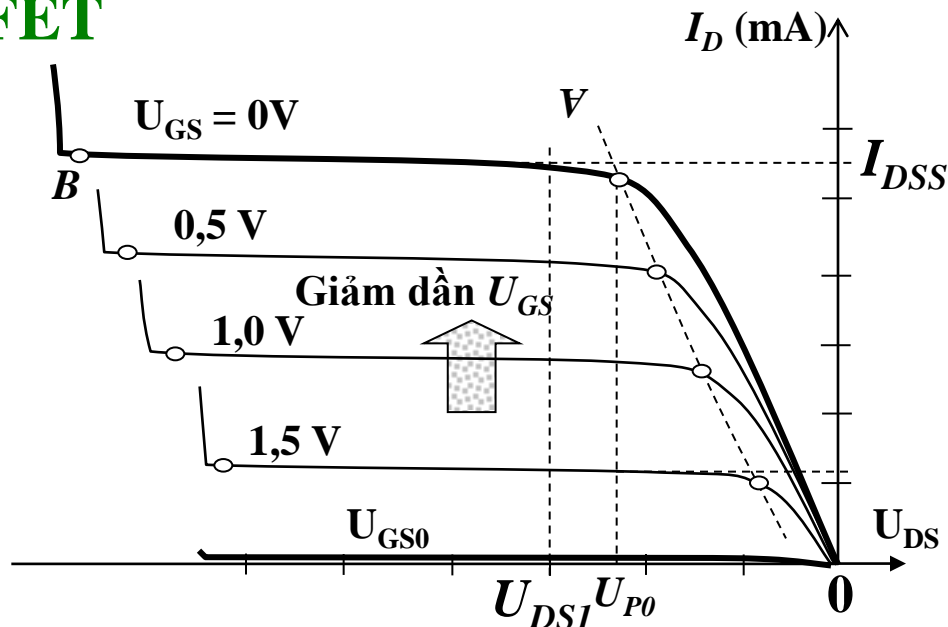
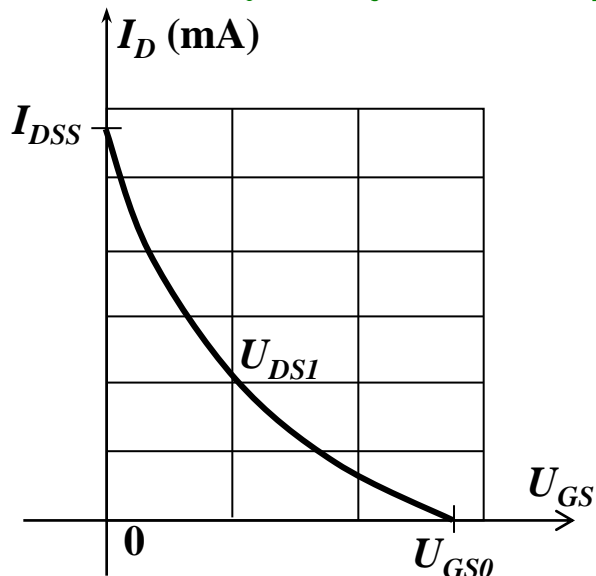
$U_{GS0} < 0$ - Điện áp khóa kênh



$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{khi } 0 \leq U_{GS} \leq U_{GS0} \rightarrow \text{Vùng bão hoà} \end{cases}$$

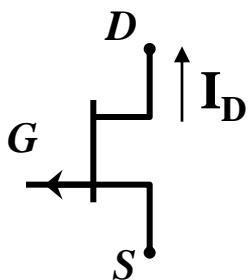
6.2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

+ Các đặc tuyến của p-JFET



$I_{DSS} > 0$ - Dòng $I_{D_{bh}}$ khi $U_{GS} = 0V$

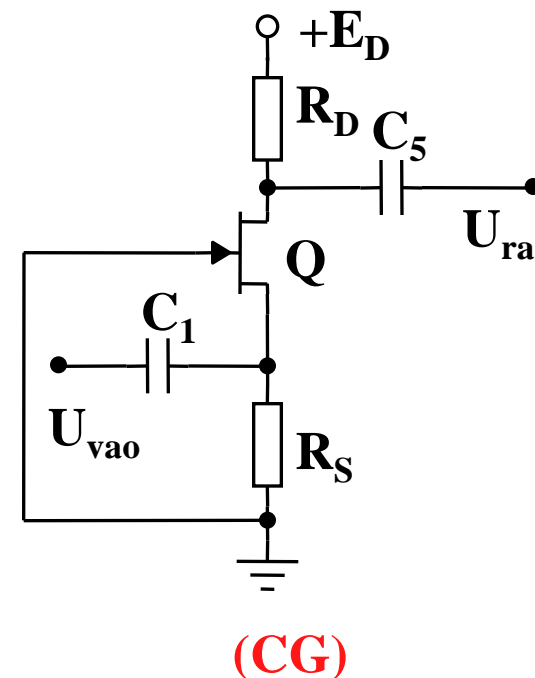
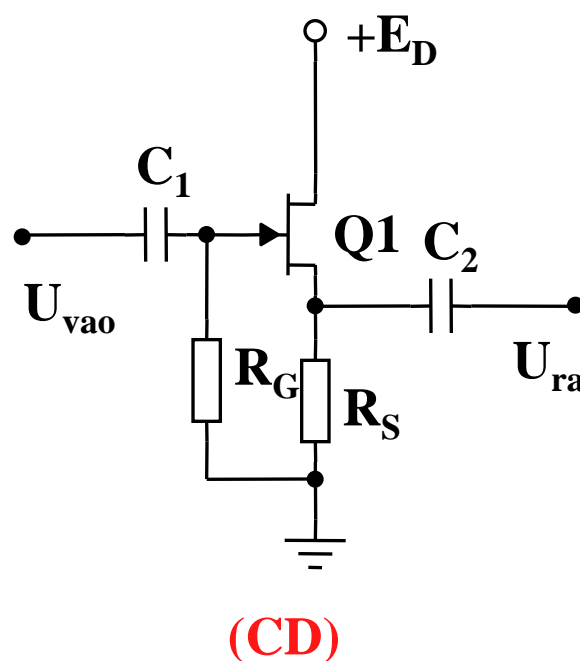
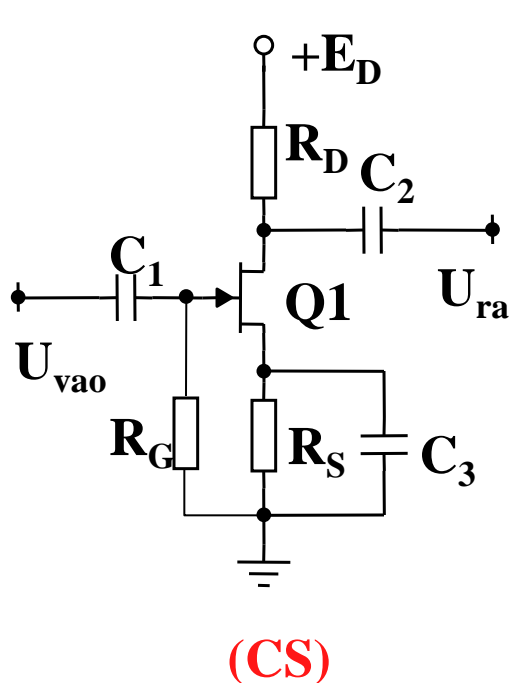
$U_{GS0} > 0$ - Điện áp khóa kênh



$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{khi } 0 \leq U_{GS} \leq U_{GS0} \rightarrow \text{Vùng bão hòa} \end{cases}$$

6.2.3. Các cách mắc mạch khuếch đại của JFET

- Cũng tương tự như BJT, JFET cũng có 3 cách mắc chủ yếu là: Chung cực nguồn (CS), chung cực máng (DC), và chung cực cửa (CG). Trong đó kiểu CS thường được dùng nhiều hơn cả vì kiểu mắc này cho hệ số khuếch đại điện áp cao, trở kháng vào cao. Còn các kiểu mắc CD, CG thường được dùng trong tầng khuếch đại đệm và khuếch đại tần số cao.



6.2.4. Phân cực cho JFET

- Đường tải tĩnh của JFET cũng được vẽ trên đặc tuyến ra của nó. Điểm làm việc cần xác định $Q(U_{GS}, U_{DS}, I_D)$. Điểm làm việc tích cực cần phải nằm trên vùng đặc tuyến bão hoà.
- Có nhiều kiểu mạch phân cực khác nhau, phân tích, tính toán mạch phân áp cho JFET sẽ được dựa trên các điều kiện sau:
 - + Dòng cực cổng rất nhỏ, bỏ qua, coi như cực cửa hở mạch
 - + Điện áp U_{DS} đủ lớn để JFET làm việc trong vùng bão hoà (*vùng pinch-off*), khi đó $I_D = I_{D_{bh}} \approx \text{const}$ ứng với mỗi giá trị U_{GS} xác định.
 - + Đặc tính truyền đạt sẽ được sử dụng để phân tích theo phương pháp đồ thị, kết hợp với các phương pháp phân tích mạch KVL, KCL.
 - + Sử dụng phương trình Shockley.

6.2.4. Phân cực cho JFET**a. Định thiên điện áp cực G cố định (Gate bias/Fixed bias)**

- Mạch định thiên như hình vẽ: Sử dụng nguồn áp E_G để phân cực ngược cho chuyển tiếp PN giữa cực G và kênh dẫn.

- Tham số của mạch: $E_G = -2V$; $E_D = +20V$

- Tham số của JFET: $U_{GS0} = -3,5V$; $I_{DSS} = 5mA$

- Tính điểm làm việc tĩnh để nó nằm giữa đường tải tĩnh.

Tính toán

- Do I_G rất nhỏ nên: $U_{GS} = E_G = -2V$.

- Đường tải tĩnh: $E_D - I_D \cdot R_D - U_{DS} = 0$

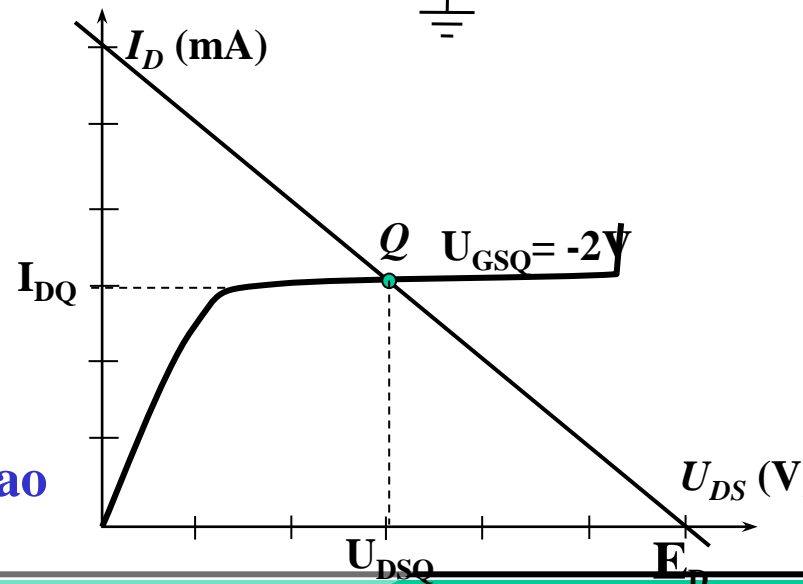
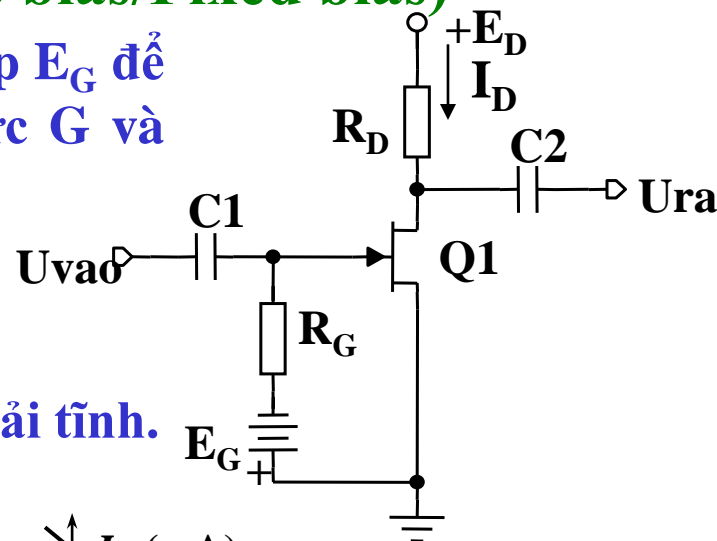
- Mặt khác theo phương trình Schockley :

$$I_{DQ} = I_{DSS} (1 - U_{GS}/V_{GS0})^2 = 0,92 \text{ mA}$$

- Q nằm giữa đường tải: $U_{DSQ} = E_D/2 = 10V$

- Vậy: $R_D = (E_D - U_{DSQ})/I_{DQ} = 10,8 \text{ k}\Omega$.

- Do phải dùng 2 nguồn và độ ổn định không cao nên mạch phân áp này ít được sử dụng.



6.2.4. Phân cực cho JFET

b. Mạch tự định thiên (Self bias)

- Mạch định thiên như hình vẽ: Sử dụng một điện trở thích hợp mắc nối tiếp với cực S để cung cấp điện áp cho cực G. $E_D = +20V$, Tham số của JFET: $U_{GS0} = -3,5V$; $I_{DSS} = 5mA$

- Tính toán điểm làm việc tĩnh nếu $U_{DSQ} = 10V$.

Tính toán

+ Do I_G rất nhỏ nên bỏ qua, $I_G = 0$, nên $I_S = I_D$.

+ $U_{RS} = I_S \cdot R_S = I_D \cdot R_S$

+ Áp dụng KVL ta có: $U_{GS} + I_D R_S + I_G \cdot R_G = 0$

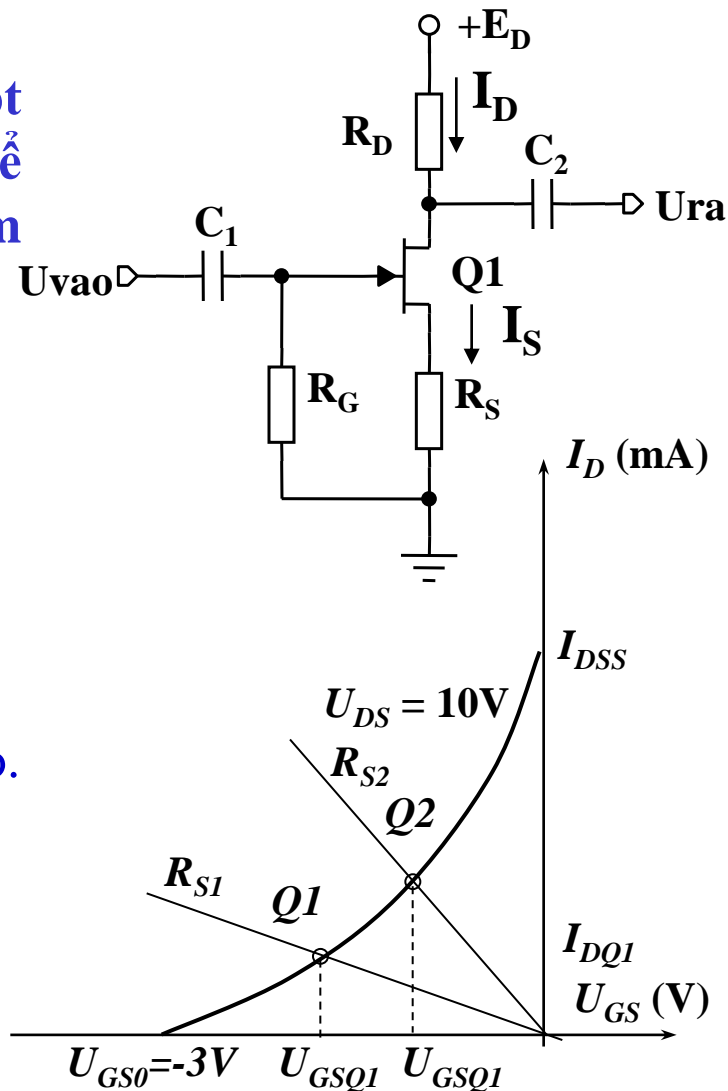
$\Rightarrow U_{GS} = -I_D R_S$ – Phương trình đường tải đầu vào.

+ Nếu chọn điểm làm việc Q1 có $U_{GSQ1} = -2V$.

$\Rightarrow I_{DQ1} = I_{DSS} (1 - U_{GSQ1}/U_{GS0})^2 = 0,92 \text{ mA}$.

$\Rightarrow R_S = -U_{GSQ1}/I_{DQ1} = 2,17 \text{ k}\Omega$.

$\Rightarrow R_D = (E_D - U_{DSQ})/I_{DQ1} - R_S = 8,63 \text{ k}\Omega$.



6.2.4. Phân cực cho JFET

c. Mạch định thiên tự cấp

- Sử dụng 2 điện trở phân áp R_1, R_2 tạo ra điện áp định thiên cho cực G. Cho $E_D = +20V$, Tham số của JFET:

$$U_{GS0} = -3,5V; I_{DSS} = 5mA$$

- Tính điểm làm việc tĩnh nếu $U_{DSQ} = 10V$

Tính toán

+ Do I_G rất nhỏ nên bỏ qua, $I_G = 0$, nên $I_S = I_D$.

$$\Rightarrow U_{RS} = I_S \cdot R_S = I_D \cdot R_S$$

$$\Rightarrow U_G = E_D \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

+ Áp dụng điện áp vòng KVL ta có :

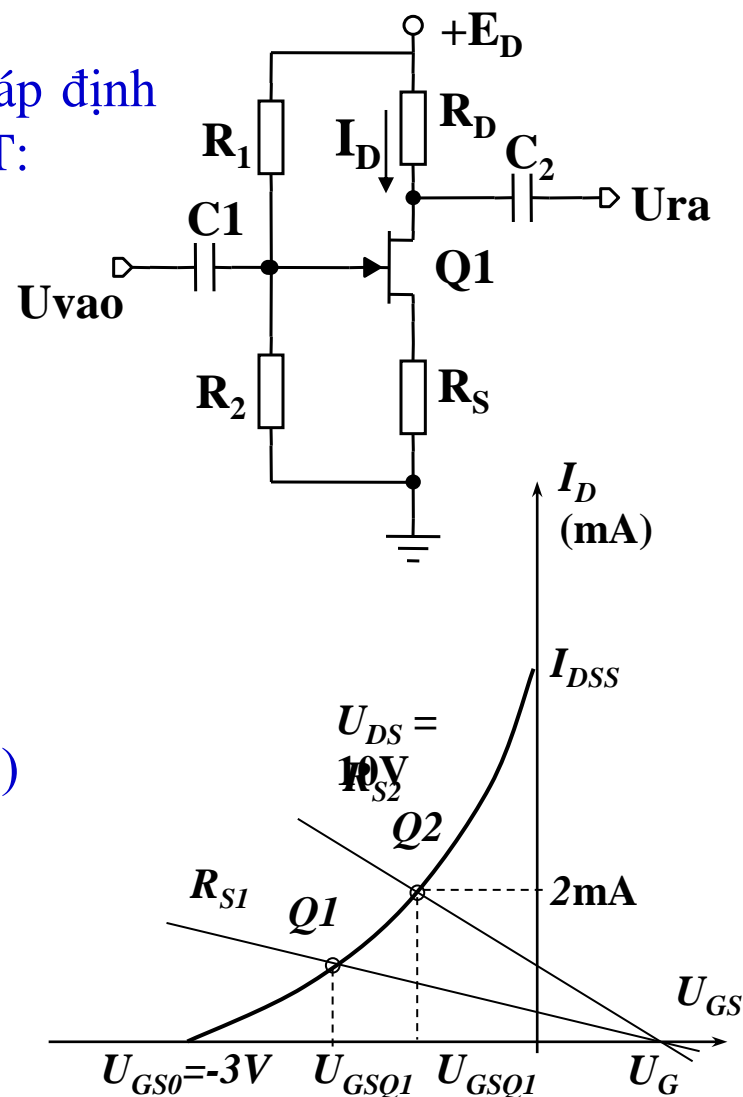
$$U_G - U_{GS} - I_D \cdot R_S = 0 \text{ (phương trình đường tải vào)}$$

+ Nếu chọn $I_D = 2mA$

$$\text{+ Mà } I_D = I_{DSS} (1 - U_{GS}/V_{GS0})^2$$

$$\Rightarrow U_{GS} = -1,28V, \text{ Chọn } U_{RS} \leq 0,1 \cdot E_D$$

$$\Rightarrow \text{Chọn } R_2 = 200k\Omega, \text{ tính tiếp các điện trở còn lại...}$$

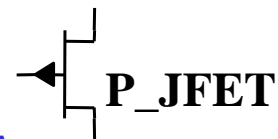


6.2.5 Mô hình tương đương của JFET

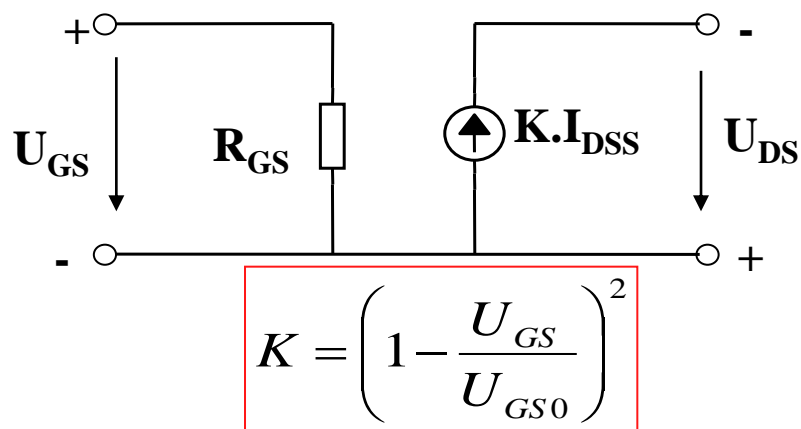
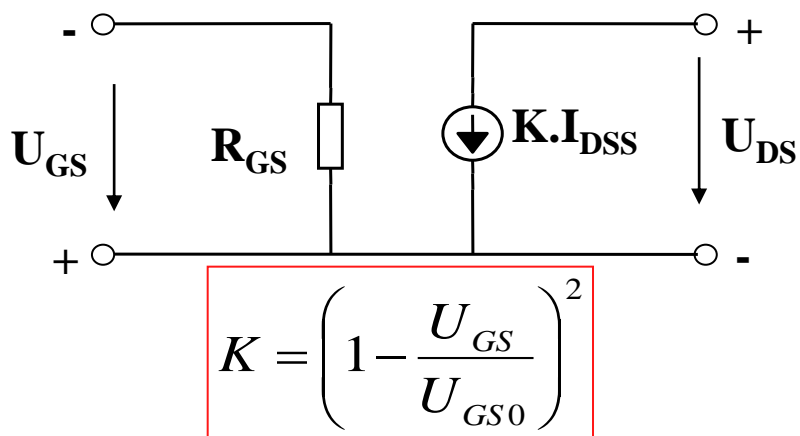
- a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn
- b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

6.2.5 Mô hình tương đương của JFET

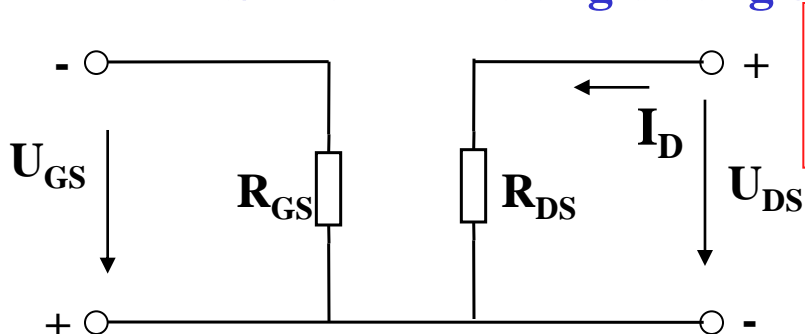
a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn



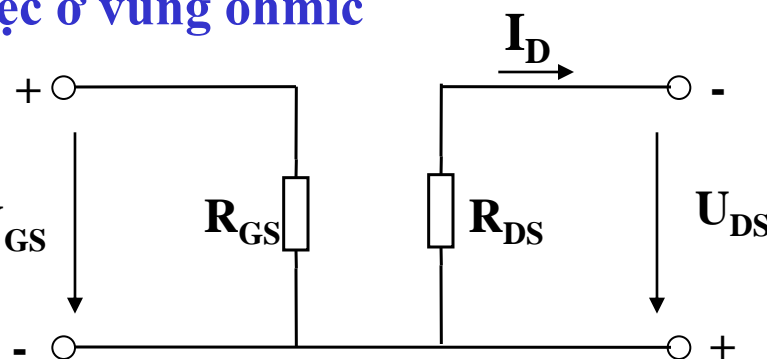
a/ Mô hình tương đương JFET làm việc ở vùng bão hoà



b/ Mô hình tương đương JFET làm việc ở vùng ohmic

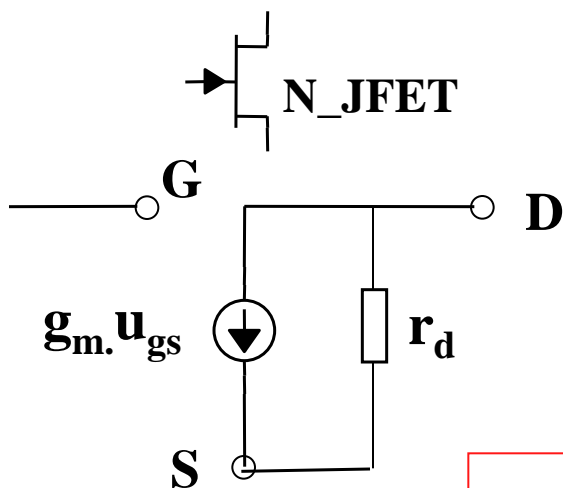


$$R_{DS} = \frac{|V_p|}{I_{Dbh}}$$



6.2.5 Mô hình tương đương của JFET

b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

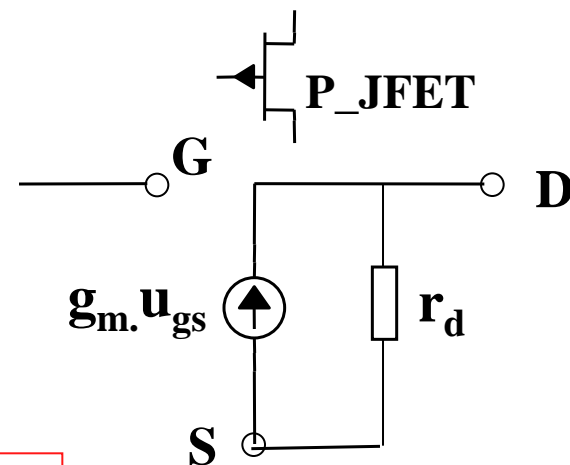


$$g_{m0} = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)$$

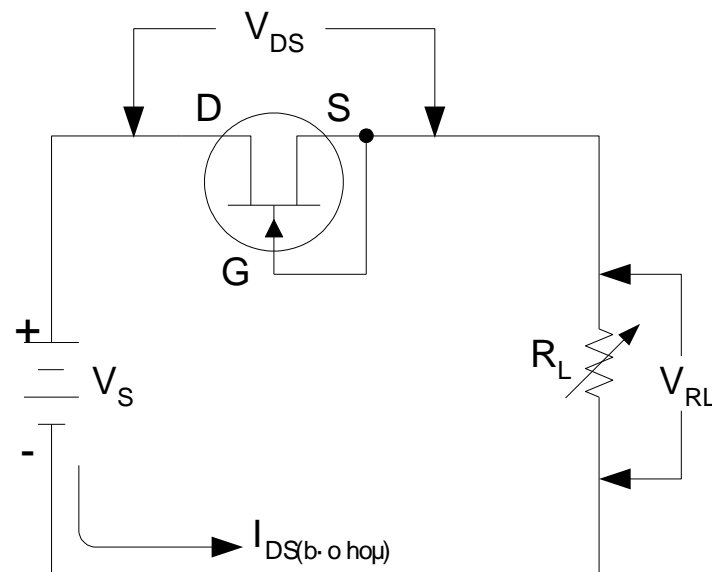
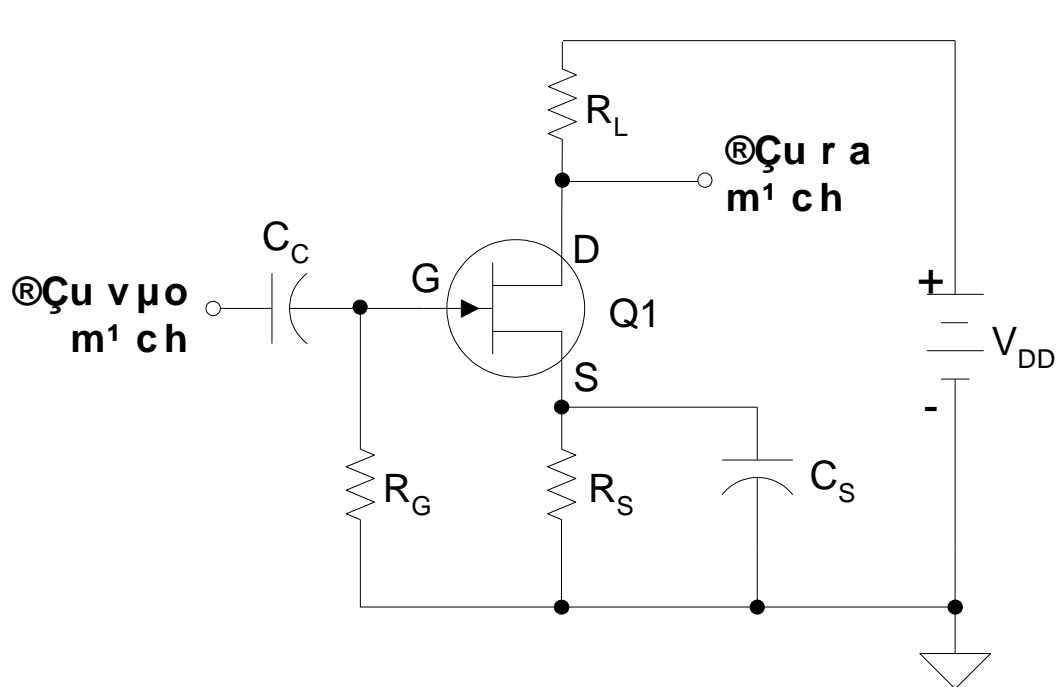
$$g_m = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) = \frac{2\sqrt{I_{DS} \cdot I_{DSS}}}{-U_{GS0}}$$

$$r_o = r_d = \frac{V_{An}}{I_D}$$

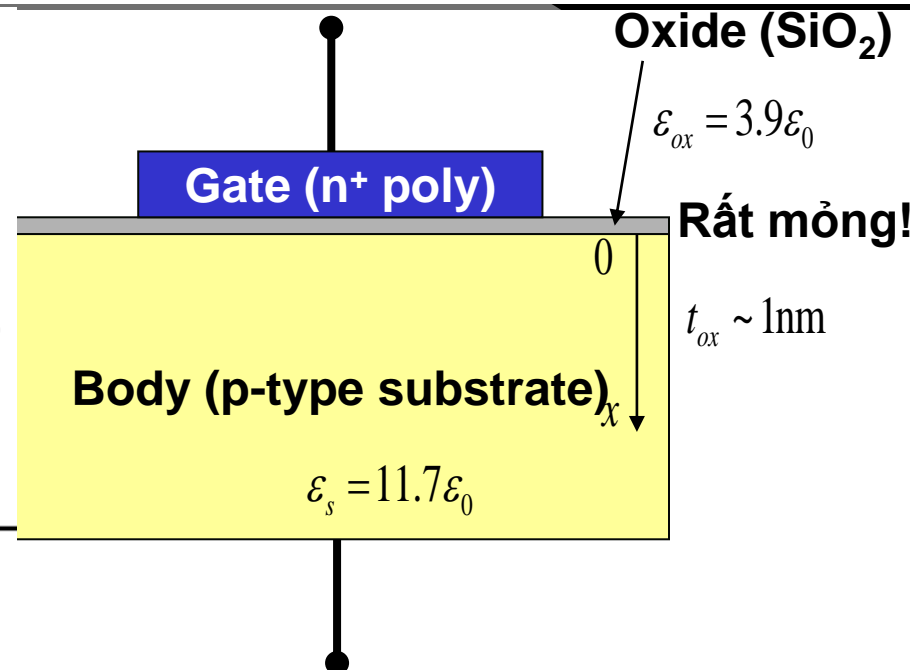
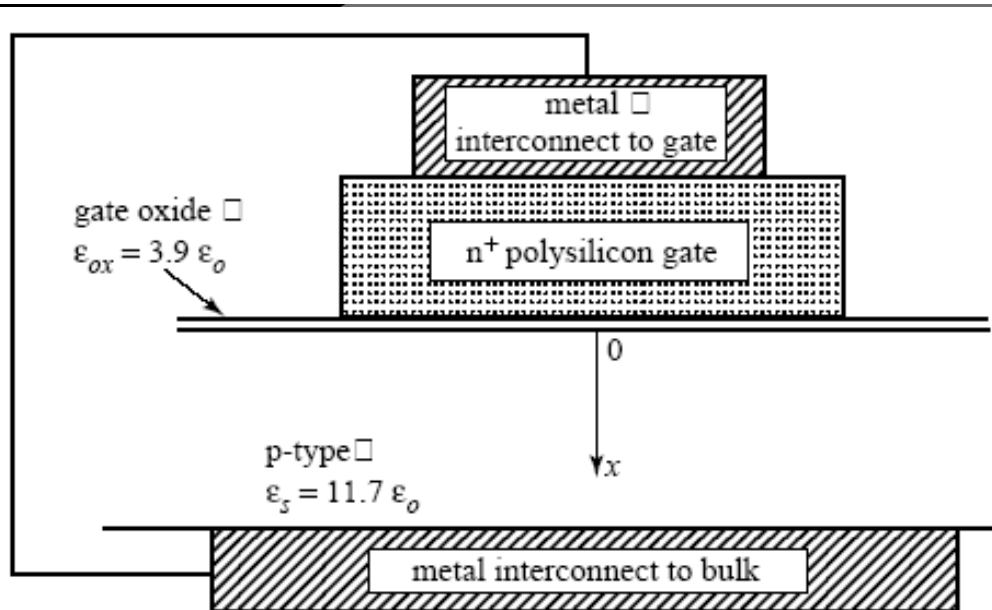


6.2.6 Một số mạch ứng dụng đơn giản của JFET

+ Bộ khuếch đại xoay chiều dùng JFET + Mạch ổn dòng dùng JFET



- 3.1 Cấu trúc MOS trong điều kiện cân bằng nhiệt
- 3.2 Cấu trúc MOS khi có điện áp phân cực
- 3.3. Đặc tuyến Q-V
- 3.4. Một số hiệu ứng bậc hai
- 3.5. Các mô hình dùng cho linh kiện MOS



- **MOS = Metal-Oxide-Semiconductor:** Cấu trúc tụ điện MOS gồm có lớp điện cực kim loại phủ nên lớp bán dẫn có nồng độ pha tạp rất cao (n+ hoặc p+) tương đương như lớp “Metal” (Miền Gate), và lớp bán dẫn nền (loại p hoặc n)-lớp Semiconductor (miền Body), giữa chúng có lớp cách điện rất mỏng dùng Oxide SiO₂.
- Lớp kim loại “Metal” thường dùng lớp bán dẫn pha tạp cao n+ hoặc p+.
- Lớp bán dẫn nền dùng loại p ta có cấu trúc **NMOS**, nếu dùng loại n ta

có cấu trúc **PMOS**.

GIẢNG VIÊN: ThS. TRẦN THÚY HÀ

6.3. Cấu trúc MOS

- Cấu trúc MOS đã và đang là công nghệ chủ đạo tạo ra cuộc cách mạng về lĩnh vực điện tử. Có rất nhiều ứng dụng dùng cấu trúc MOS:
- + Dùng trong nhiều vi mạch tương tự và số: MOSFET là phần tử cơ bản trong họ vi mạch CMOS.
- + Dùng nhiều trong các vi mạch nhớ: DRAM, EPROM...
- + Dùng có các thiết bị ảnh như camera CCD (Charge-Couple Device)
- + Dùng trong các loại màn hình chỉ thị như Màn hình ma trận tinh thể lỏng tích cực...

6.3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

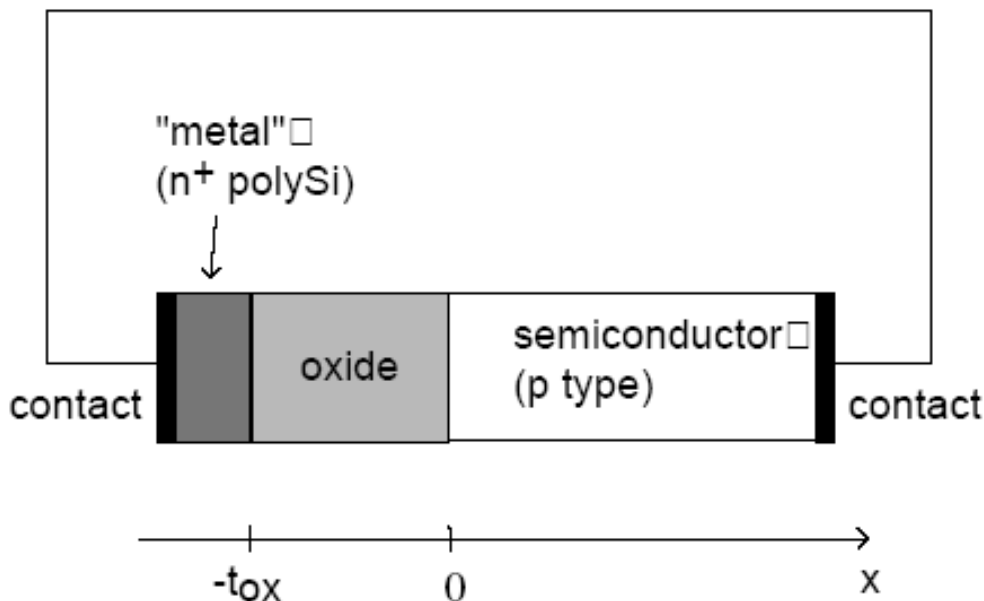
- Mô hình cấu trúc nMOS lý tưởng như hình vẽ.

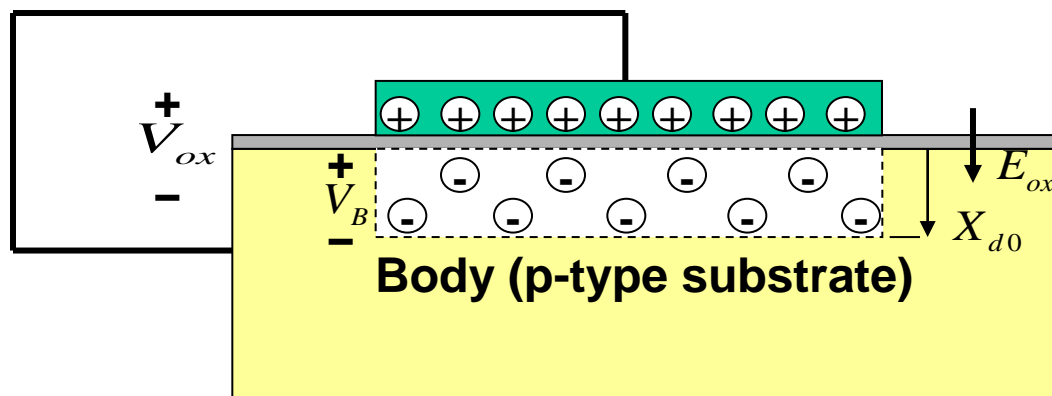
+ Miền kim loại “Metal” (Miền Gate) không tạo thành một vùng tích điện mà nó chỉ tích điện trên bề mặt.

+ Lớp oxide là chất điện môi, cách điện hoàn toàn, không tích điện.

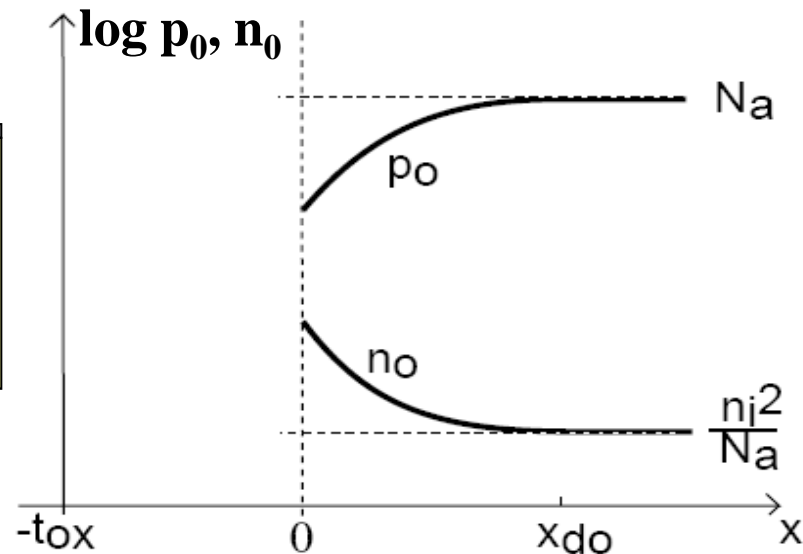
+ Vùng bán dẫn nền (Miền Body): có thể hình thành vùng điện tích không gian.

- Điều kiện cân bằng không thể được thiết lập thông qua lớp oxide nên cần phải có dây dẫn chuyển điện tích giữa lớp kim loại và lớp bán dẫn.



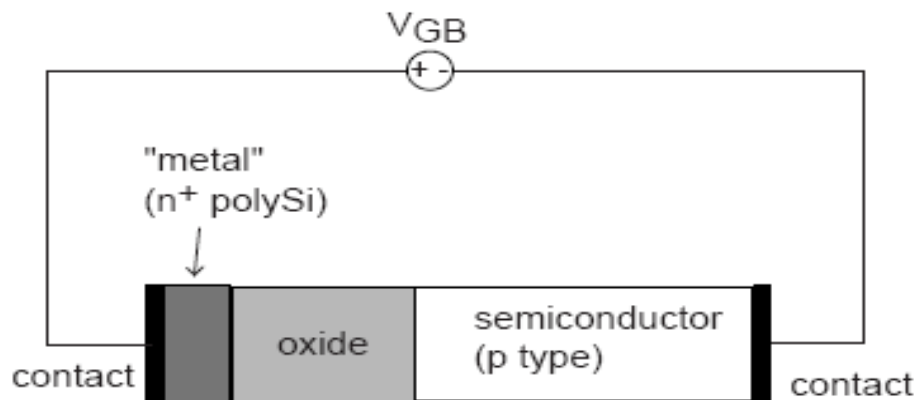
6.3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

⊕ **Ion Donor +**
 ⊖ **Ion Acceptor -**



- Qua dây dẫn sẽ có sự khuếch tán điện tử từ miền kim loại G sang miền bán dẫn B và lỗ trống từ miền B sang miền G, chúng tại hợp với nhau.
- Như vậy Miền B sẽ tích điện -, miền G tích điện +, giữa chúng hình thành điện trường E_{ox} hướng từ G sang B. Điện trường này làm hình thành lớp điện tích dương ngay dưới đáy của miền G và miền điện tích âm trong miền B ngay dưới lớp oxide (Do E_{ox} cuốn điện tử và lỗ trống ngược với dòng khuếch tán)
- Miền điện tích – trong miền bán dẫn tạo ra một **vùng chuyển tiếp** có độ rộng X_{d0} ngay sát lớp oxide.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực



- Khi có điện áp phân cực U_{GB} đặt vào nMOS, tùy theo giá trị điện áp phân cực U_{GB} vùng điện tích không gian thay đổi và có thể tồn tại ở các trạng thái khác nhau.
- Khi có điện áp phân cực, điện thế nội đặt qua cấu trúc MOS thay đổi từ :

$$\phi_B \rightarrow \phi_B + U_{GB}$$
- Do lớp oxide cách điện nên dòng điện tại bất kỳ vị trí nào trong các lớp bán dẫn $J=0$, như vậy $J_{drift} = -J_{diff}$.
- Tại biên giữa lớp oxide và bán dẫn, Điện trường phía lớp oxide E_{ox} và điện trường phía bán dẫn nền E_s luôn thỏa mãn điều kiện sau:

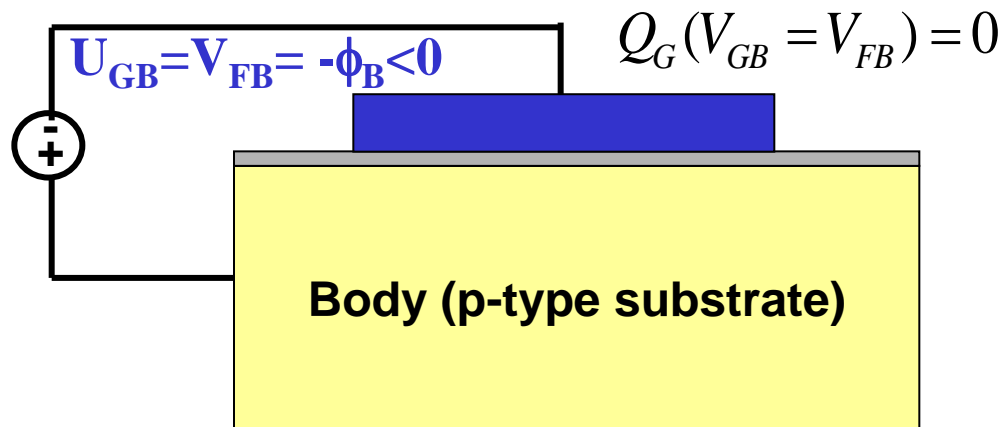
$$E_{ox}/E_s \approx 3$$

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

- Khi $U_{GB} > 0$, G “hút” điện tử tự do và “đẩy” lỗ trống, như vậy vùng chuyển tiếp sẽ được mở rộng.
- Ngược lại nếu $U_{GB} < 0$, cực G “đẩy” điện tử và “hút” lỗ trống, như vậy vùng chuyển tiếp sẽ thu hẹp
- Như vậy tùy theo điện áp phân cực mà cấu trúc MOS có thể tồn tại ở các trạng thái như sau:
 - + Trạng thái bằng phẳng (Flatband): $U_{GB} = U_{FB} = -\phi_B$
 - + Trạng thái tích lũy (accumulation): $U_{GB} < U_{FB}$
 - + Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $U_{FB} < U_{GB} < 0$
 - + Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $0 < U_{GB} < U_T$
 - + Trạng thái ngưỡng (threshold): $U_{GB} = U_T$
 - + **Trạng thái đảo (inversion): $U_{GB} > U_T$**

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

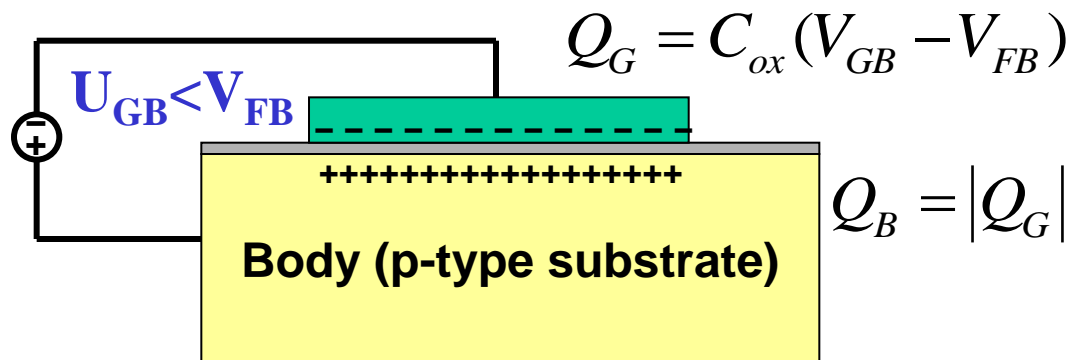
Trạng thái bằng phẳng (Flatband): $U_{GB} = U_{FB} = -\phi_B$



- Khi đặt điện áp phân cực $U_{GB} = V_{FB} = -\phi_B < 0$, điện áp phân cực bù với hiệu điện thế nội ϕ_B , có tác dụng cuốn điện tử từ miền B sang miền G, điện tích của các miền G và B giảm dần đến bằng 0, và các vùng tích điện biến mất.
- Với điện kiện phân cực như vậy MOS có dải năng lượng bằng phẳng “flatband”. Điện áp V_{FB} gọi điện áp flatband.
- Mật độ điện tích miền G: $Q_G(V_{FB}) = 0$.
- Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra ngược chiều và độ lớn bằng với dòng khuếch tán.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

+ **Trạng thái tích lũy (accumulation):** $U_{GB} < U_{FB}$



(+) **Lỗ trống**

(-) **Điện tử tự do**

- Nếu điện áp phân cực giảm nhỏ hơn V_{FB} , cấu trúc nMOS giống như tụ điện 2 bản cực song song. Miền G tích điện – (điện tích do điện tử tự do tạo ra), miền B tích điện + (điện tích do lỗ trống tạo ra)

- Mật độ điện tích của miền G:

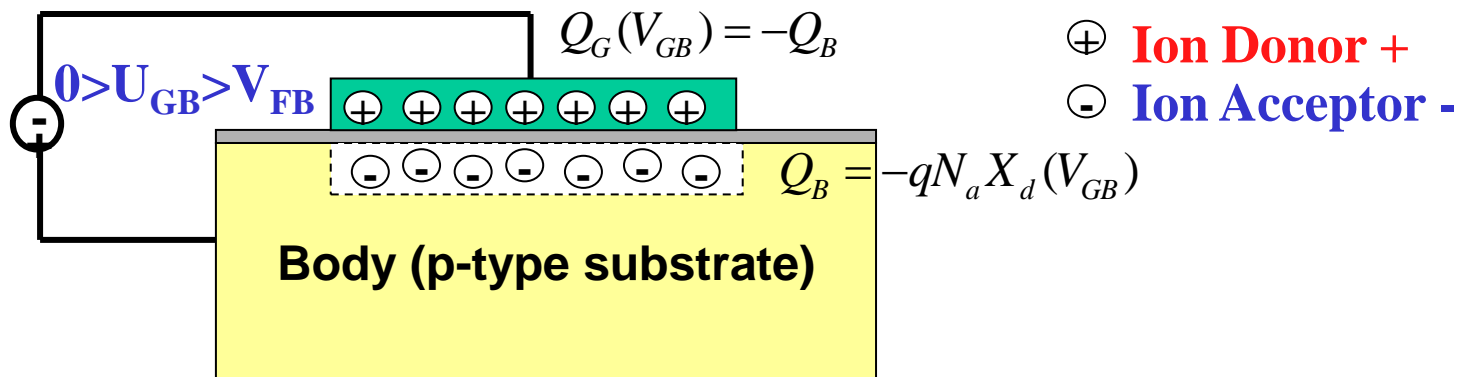
$$Q_G = C_{ox} (V_{GB} - V_{FB})$$

C_{ox} - mật độ điện dung của tụ MOS

- Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra lớn hơn và ngược chiều dòng khuếch tán.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

+ **Trạng thái chuyển tiếp (depletion):** $U_{FB} < U_{GB} < 0$

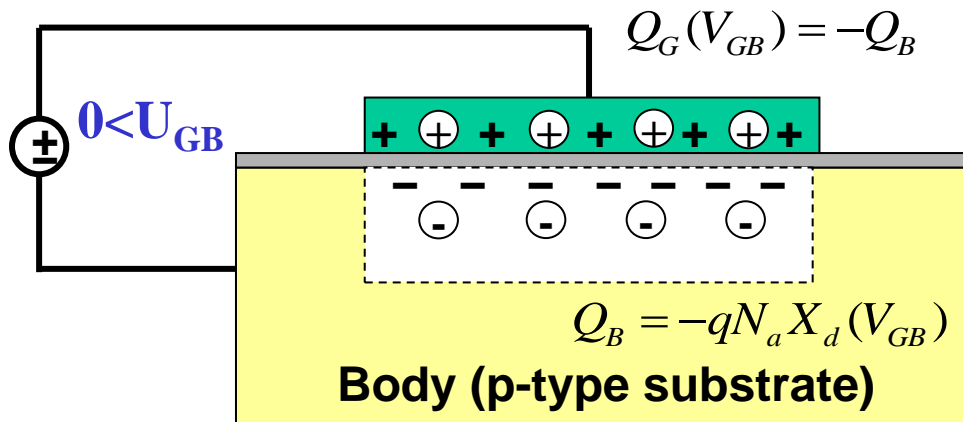


+ Tương tự như ở điều kiện cân bằng nhiệt, mặc dù $U_{GB} < 0$, nhưng do $U_{GB} > V_{FB}$ nên vẫn tồn tại dòng khuếch tán điện tử từ miền kim loại G sang miền bán dẫn B và lỗ trống từ miền B sang miền G qua dây dẫn và vượt qua điện thế của nguồn cung cấp. Như vậy Miền B sẽ tích điện +, miền G tích điện -, giữa chúng hình thành điện trường E_{ox} hướng từ G sang B. Điện trường này làm hình thành lớp điện tích dương ngay dưới đáy của miền G và miền điện tích âm trong miền B ngay dưới lớp oxide tạo ra một **vùng chuyển tiếp** có độ rộng x_d ngay sát lớp oxide

+ Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra ngược chiều và nhỏ hơn dòng khuếch tán.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

+ **Trạng thái chuyển tiếp (depletion) : $0 < U_{GB} < U_T$**



+ Khi $0 < U_{GB} < U_T$, tương tự như trường hợp $U_{FB} < U_{GB} < 0$, **Vùng chuyển tiếp** được hình thành ngay sát lớp oxide có độ rộng được mở rộng hơn. Miền tích điện + được hình thành phía đáy của miền G ngay sát lớp oxide và miền điện tích - được hình thành phía đỉnh của miền B ngay sát lớp oxide. Điện tích âm tạo ra do các Ion Acceptor – và nồng độ điện tử tự do tăng lên.

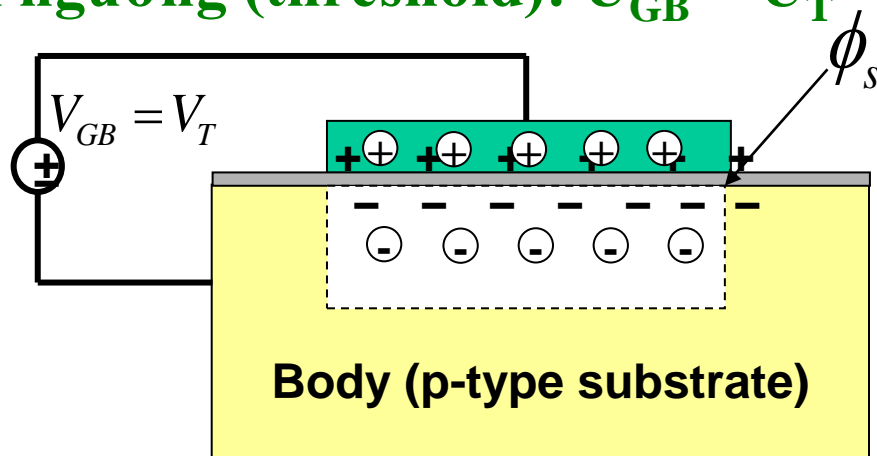
+ Khi U_{GB} tăng thì vùng chuyển tiếp cũng được mở rộng.

+ Tại vùng chuyển tiếp phía miền B – bán dẫn p, khi U_{GB} tăng nồng độ điện tử tăng dần, nồng độ lỗ trống giảm dần.

+ Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra cùng chiều với chiều dòng khuếch tán

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

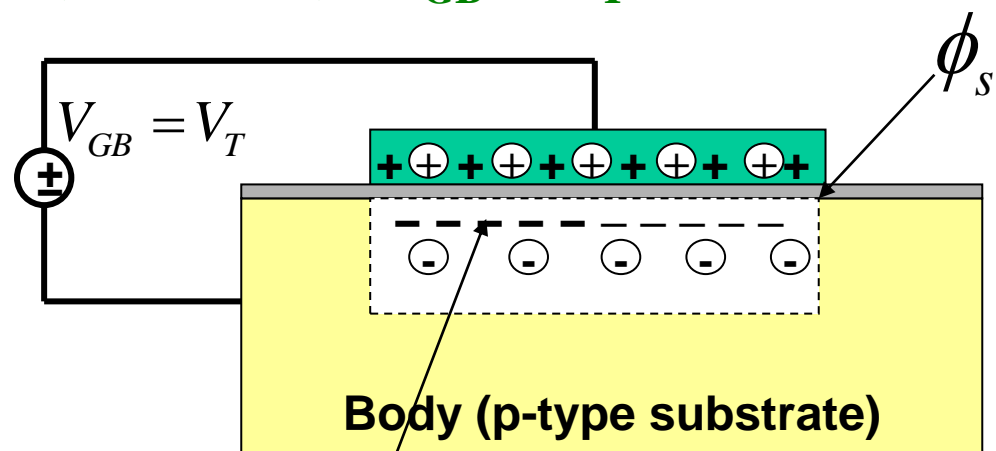
+ **Trạng thái ngưỡng (threshold): $U_{GB} = U_T$**



- Khi tăng U_{GB} , tại miền điện tích chuyển tiếp trên đỉnh miền B, nồng độ điện tử tăng dần, nồng độ lỗ trống giảm dần.
- Khi $U_{GB} = U_T$ tại đỉnh của miền B nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống ở vùng bán dẫn cận trung hoà $n(0) = N_a$, còn nồng độ lỗ trống bằng nồng độ điện ở vùng bán dẫn cận trung hoà $p(0) = n_i^2 / N_a$. Trạng thái này gọi là trạng thái ngưỡng - Bán dẫn đã bắt đầu chuyển từ loại p sang loại n.
- Điện áp U_T được gọi là điện áp ngưỡng.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

+ Trạng thái đảo (inversion): $U_{GB} > U_T$



(Lớp đảo hạt dẫn, tương đương bán dẫn n)

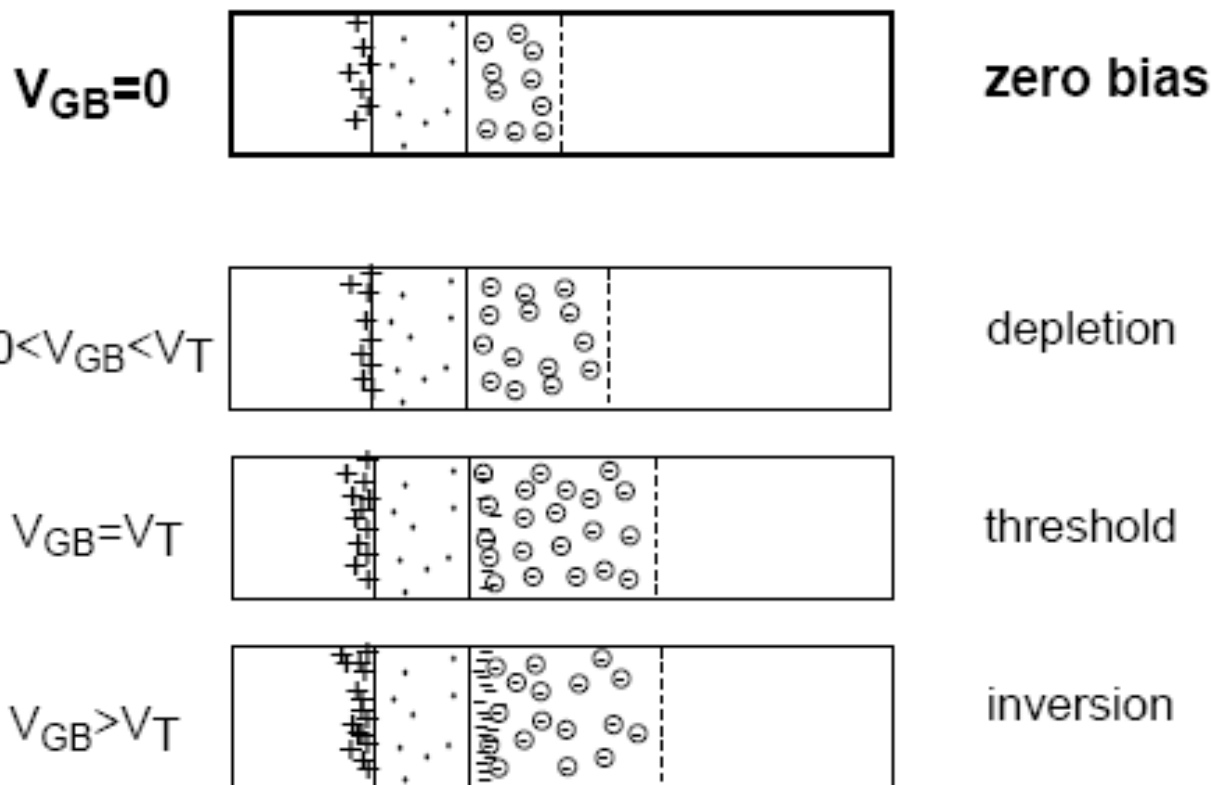
- Khi $U_{GB} > U_T$ nồng độ điện tử tự do tại bề mặt của miền bán dẫn B tiếp giáp với lớp oxide tăng lớn hơn N_a , trạng thái đảo hạt dẫn xảy ra. Lớp điện tử tại bề mặt được gọi là lớp đảo, bán dẫn tại đó tương đương bán dẫn n
- Nồng độ điện tử tự do tại bề mặt được điều chế theo điện áp U_{GB} , nếu U_{GB} tăng thì $n(0)$ tăng \Rightarrow điện tích của lớp đảo Q_n tăng.

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực**Tổng kết về các trạng thái của cấu trúc MOS**

	M	O	S (p-type)	
$V_{GB} < V_{FB}$				accumulation
$V_{GB} = V_{FB}$				flatband
$V_{FB} < V_{GB} < 0$				depletion
$V_{GB} = 0$				zero bias

6.3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

Tổng kết về các trạng thái của cấu trúc nMOS



6.4. Transistor trường loại cực cửa cách ly – IGFET

- 6.4.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET loại kênh đặt sẵn (Depletion Type MOSFET- DMOSFET)
- 6.4.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET loại kênh cảm ứng (Enhancement Type MOSFET- EMOSFET)
- 6.4.3. Các cách mắc và họ đặc tuyến của MOSFET
- 6.4.4. Phân cực cho MOSFET
- 6.4.5. Các mô hình tương đương của MOSFET
- 6.4.6. Một số ứng dụng của MOSFET

6.4.1 Cấu tạo của MOSFET

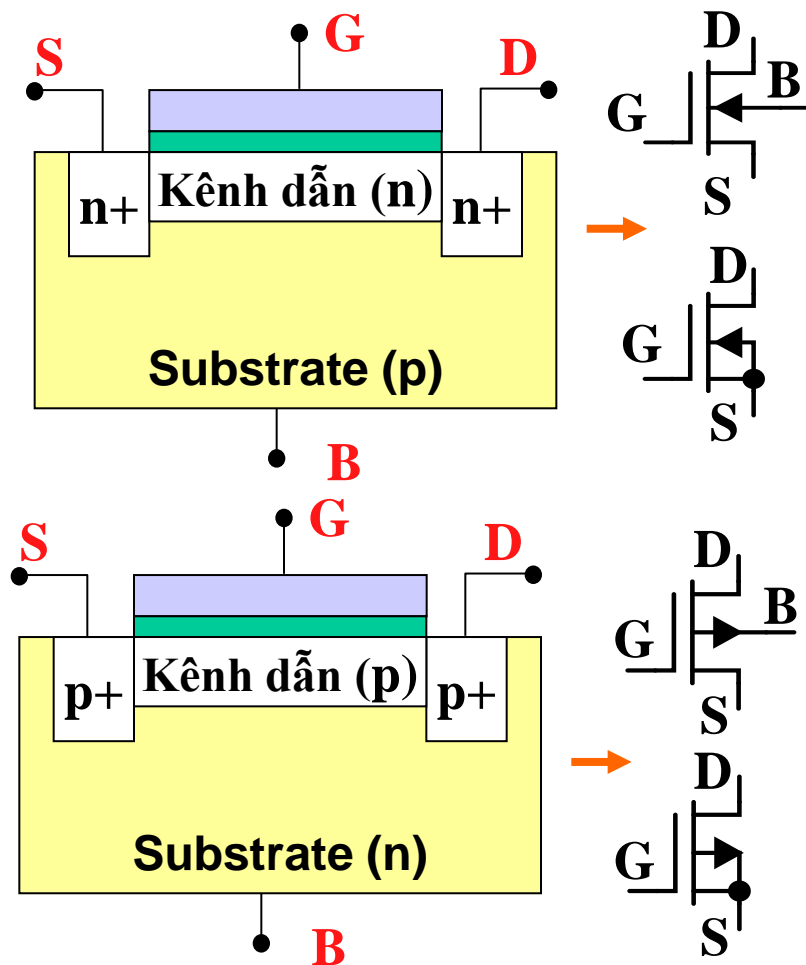
- MOSFET là loại linh kiện điển hình trong họ FET có cực cửa G cách ly. MOSFET về cơ bản có cấu tạo dựa trên cấu trúc MOS như sau:
- + Trên đế bán dẫn (bán dẫn nền B), người ta tạo ra 2 vùng bán dẫn khác với bán dẫn nền. Ví dụ loại nền loại p, thì tạo ra 2 vùng bán dẫn loại n+ cách nhau một khoảng nhất định, 2 vùng bán dẫn n này được dẫn ra ngoài thành 2 điện cực S và D.
- + Vùng bán dẫn giữa S và D hoặc bằng cách pha tạp (MOSFET kênh đặt sẵn) hoặc do thiên áp trong khi hoạt động (MOSFET kênh cảm ứng) bao giờ cũng có loại hạt dẫn đảo so với đế. Vùng này được gọi là vùng kênh dẫn, như vậy tức là bao giờ ta cũng có một chuyển tiếp p-n giữa đế và kênh dẫn.
- + Phía trên kênh dẫn người ta phủ lớp điện môi mỏng (SiO_2), và trên lớp điện môi này phủ tiếp lớp kim loại tạo ra điện cực G của MOSFET, G được cách ly hoàn toàn với kênh dẫn, tương tự như cấu trúc MOS.

6.4.1 Cấu tạo của MOSFET

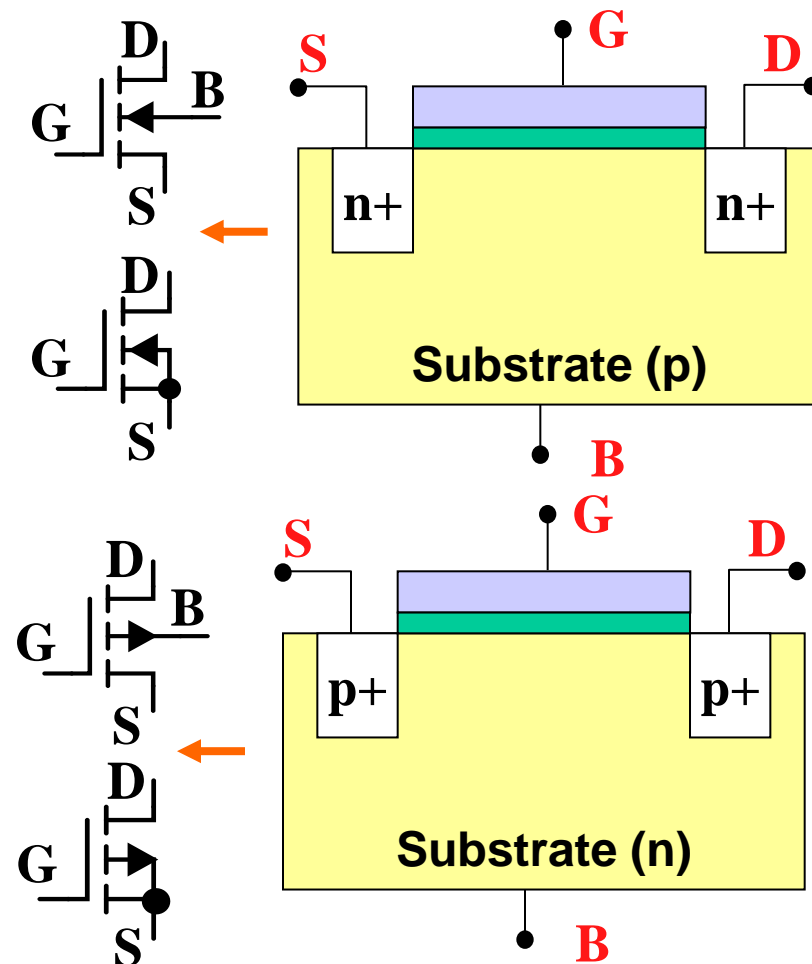
- + MOSFET thường có thêm điện cực thứ 4 gọi là cực đế B (substrate), cực đế (cực nền) ngăn cách với kênh dẫn bằng chuyển tiếp p-n nên cũng có thể dùng nó như một cực điều khiển nữa bên cạnh G. Tuy nhiên tích chất điều khiển của cực B thường không được sử dụng và nó thường được nối tắt với cực nguồn.
- Ngoài ra, MOSFET còn được phân loại theo cách tạo ra kênh dẫn như sau:
- + **D-MOSFET** (Depletion MOSFET): MOSFET kênh đặt sẵn (MOSFET kiểu làm nghèo). Kênh dẫn được chế tạo sẵn là loại bán dẫn khác với bán dẫn nền. Điện áp giữa cực G và cực S làm nghèo một phần kênh dẫn (tương tự như JFET).
- + **E-MOSFET** (Enhancement MOSFET): MOSFET kênh cảm ứng (MOSFET kiểu làm giàu), kênh dẫn chưa được chế tạo trước. Kênh dẫn sẽ được tạo ra khi điện áp đặt lên cực G thích hợp và có giá trị lớn hơn điện áp ngưỡng nào đó thì sẽ tạo lớp đảo hạt dẫn phía dưới cực cổng, lớp hạt dẫn đảo này tương tự như một kênh dẫn nối cực S và D.

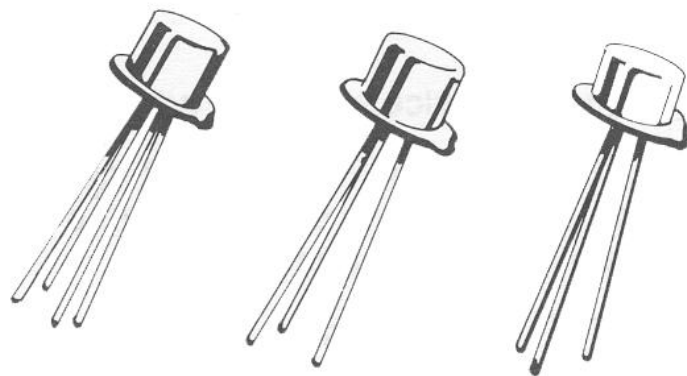
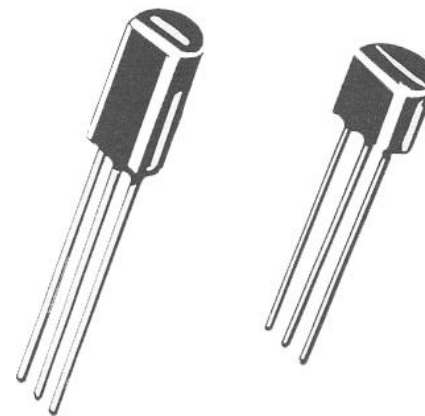
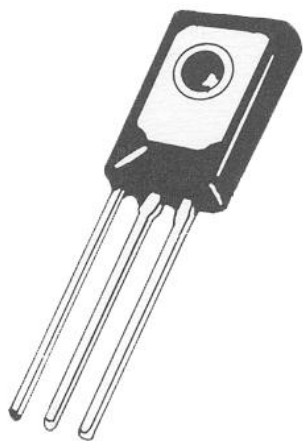
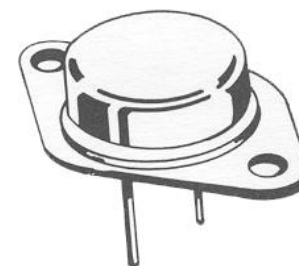
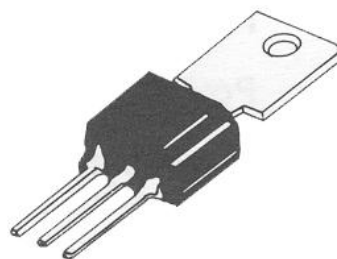
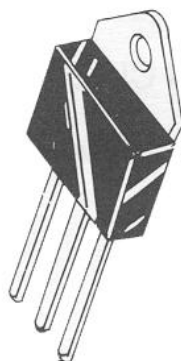
6.4.1 Cấu tạo của MOSFET

D-MOSFET



E-MOSFET



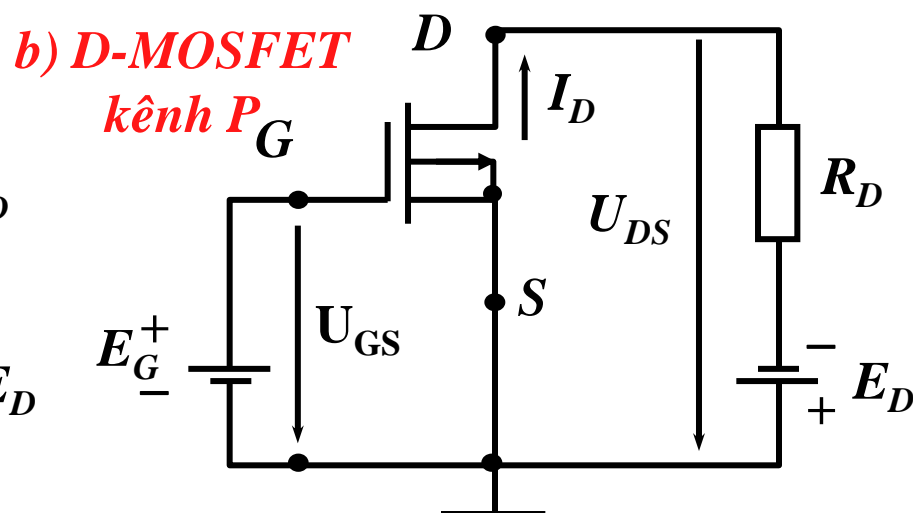
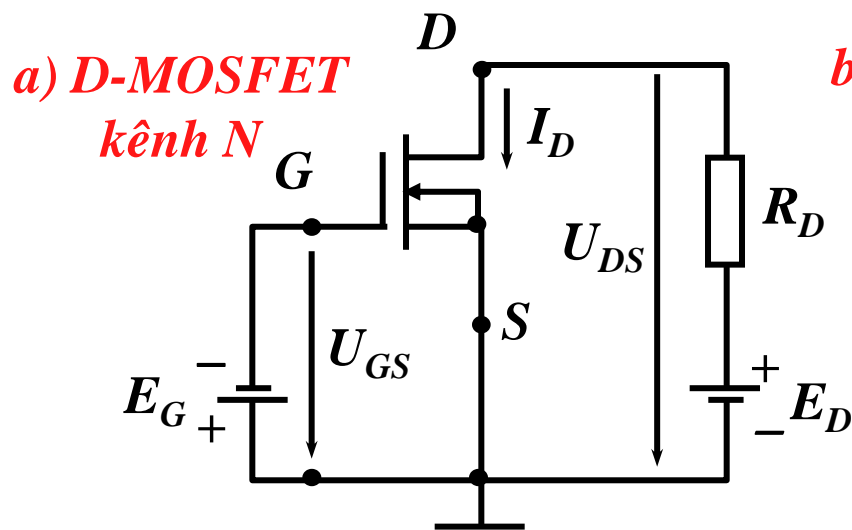
6.4.1 Cấu tạo của MOSFET**MOSFET vỏ kim loại****MOSFET vỏ nhựa****MOSFET vỏ nhựa tổng hợp với đầu nhiệt kim loại****MOSFET công suất cao****MOSFET vỏ hoàn toàn bằng kim loại**

6.4.2. Nguyên lý làm việc của MOSFET

- Nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau.
- MOSFET được phân cực sao giữa đế (cực B) và kênh tạo ra vùng chuyển tiếp nghèo bao quanh kênh dẫn, và dòng các hạt dẫn đa số đi vào kênh từ cực S và ra khỏi kênh từ cực D tạo ra dòng I_D .
- Nguyên lý hoạt động cơ bản của MOSFET là cực cổng G kết hợp với lớp điện môi nằm dưới nó và kênh dẫn bán dẫn nằm dưới lớp điện môi chính là cấu trúc tụ điện MOS. Điện áp điều khiển tác dụng lên cực cổng sẽ tạo ra một điện trường làm biến thiên nồng độ hạt tải tự do trong kênh dẫn, hoặc thiết diện của kênh dẫn, độ dẫn của kênh sẽ thay đổi. Dòng điện I_D phụ thuộc vào điện áp U_{GS} và U_{DS} . Đặc tuyến quan trọng của MOSFET cũng là đặc tuyến ra và đặc tuyến truyền đạt tương tự như JFET.
- Đặc tính của MOSFET về cơ bản tương tự đặc tính của JFET nhưng có nhiều điểm ưu việt hơn.

a/ Nguyên lý làm việc của D-MOSFET

- Trong D-MOSFET bằng công nghệ đã chế tạo sẵn kênh dẫn bên dưới cực G, điện áp cực G điều khiển dòng giữa cực nguồn và cực máng bằng cách làm nghèo một phần kênh đó (thiết diện của kênh bị thu hẹp), tương tự như JFET. Vì khi D-MOSFET hoạt động kênh dẫn đã có sẵn đóng dần lại nên D-MOSFET còn được gọi là MOSFET thường mở.
- Thông thường cực nền B được nối tắt với cực nguồn S. Nguồn phân cực sao cho chuyển tiếp PN giữa cực bán dẫn nền và kênh dẫn luôn phân cực ngược, dòng hạt đa số của kênh dẫn đi ra ở cực D.



a/ Nguyên lý làm việc của D-MOSFET

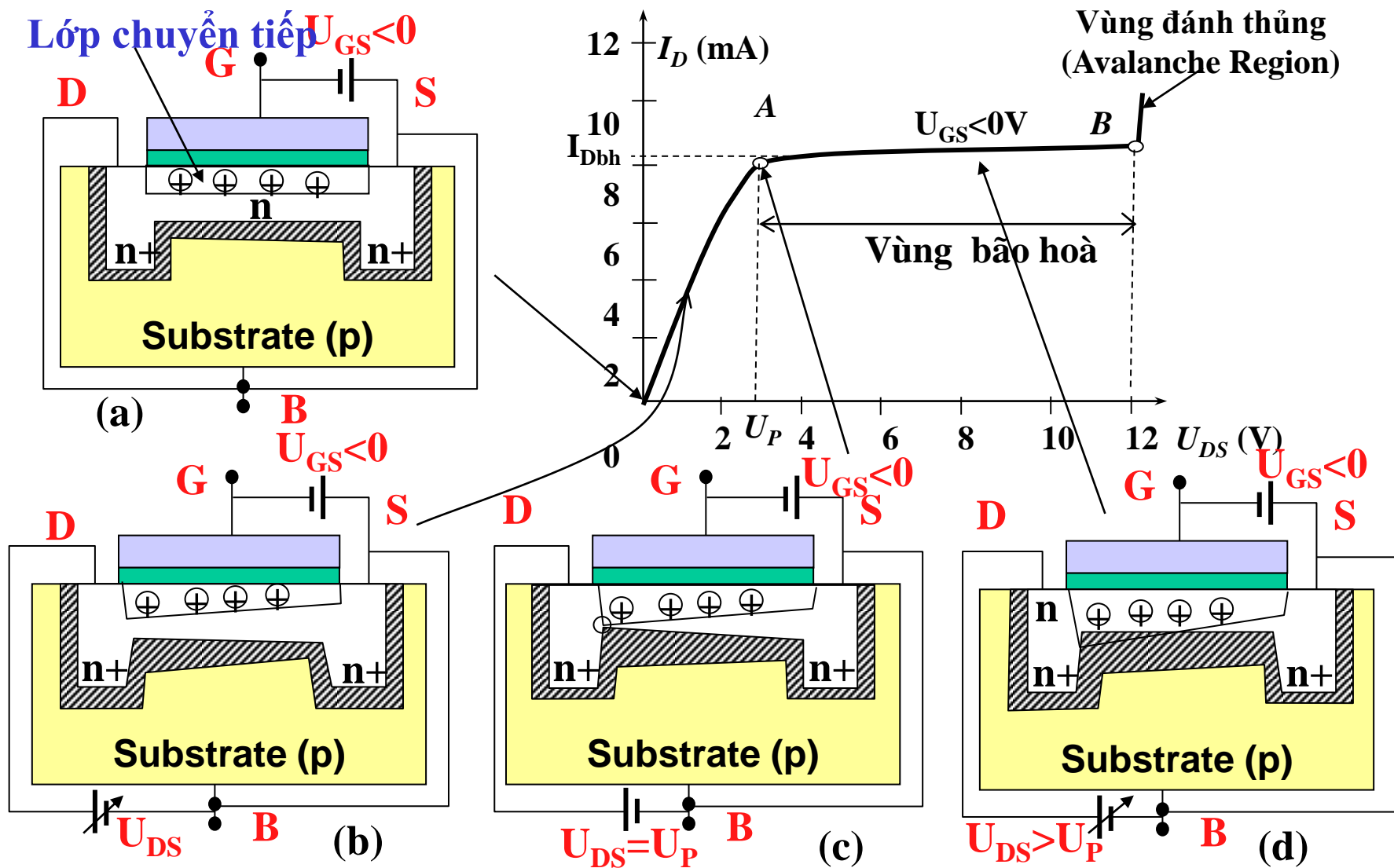
D-MOSFET kênh n làm việc theo 2 nguyên lý sau:

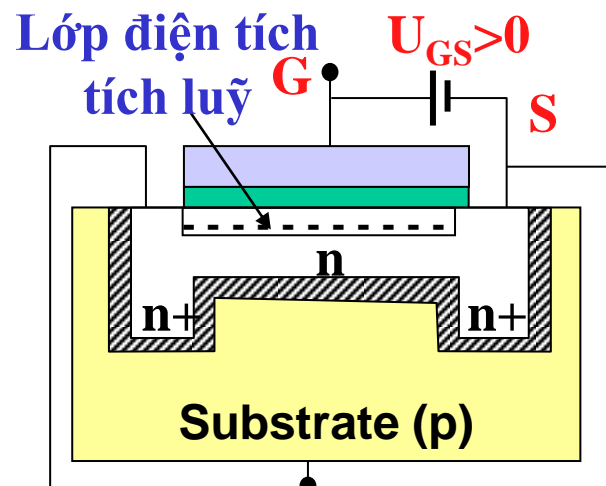
+ **Nguyên lý tổn hao:** Khi $U_{GS} \leq 0$, những điện tích dương sẽ được cảm ứng vào kênh dẫn n, những điện tích dương này trung hoà bớt điện tử trong kênh n và hình thành một vùng chuyển tiếp nghèo hạt dẫn tại kênh ngay phía dưới cực G làm cho điện trở của kênh tăng lên, dòng I_D giảm xuống. U_{GS} càng giảm thì vùng chuyển tiếp càng mở rộng và I_D càng giảm. Sự thay đổi điện trở kênh dẫn do các hạt dẫn mới cảm ứng ra bởi điện trường cực G đã trung hoà bớt hạt dẫn vốn có của kênh – do điện tích trái dấu nhau – nghĩa là làm tổn hao hạt dẫn.

Với $U_{GS} = \text{const}$, khi U_{DS} tăng dần thì vùng chuyển tiếp PN giữa B và kênh phân cực ngược lan sâu hơn vào kênh và vùng chuyển tiếp nghèo hạt dẫn cũng sẽ mở rộng, kênh sẽ bị thắt dần về phía cực D. Đặc tuyến ra của D-MOSFET cũng tương tự như của JFET. Cấu trúc MOS giữa G và kênh làm việc ở trạng thái chuyển tiếp

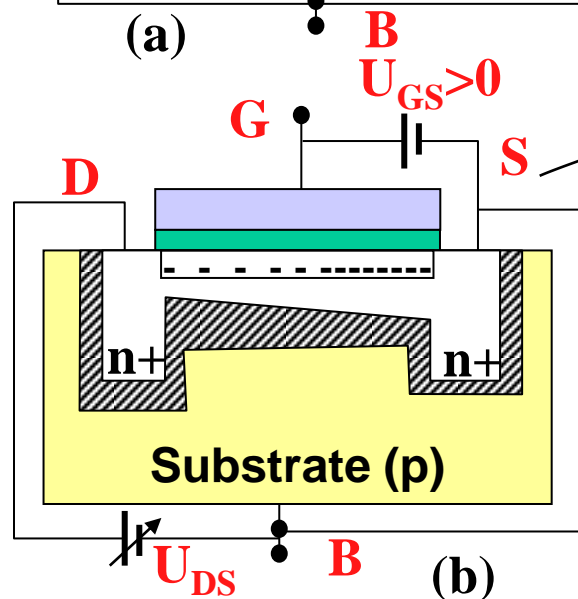
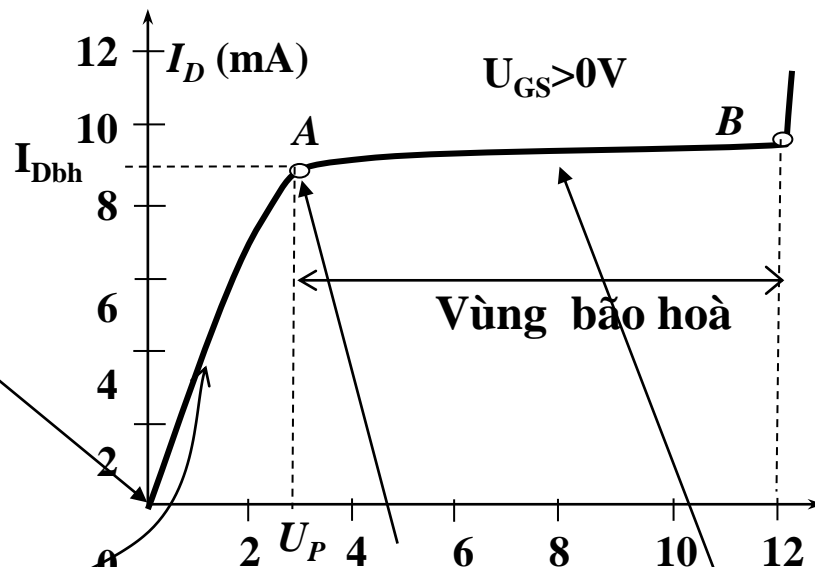
+ **Nguyên lý tăng cường:** Khi $U_{GS} > 0$, khi ấy dưới tác dụng của điện trường cực G các điện tử được cảm ứng vào kênh dẫn làm tăng nồng độ của điện tử trong kênh dẫn do đó làm giảm điện trở suất của kênh. Nếu U_{GS} tăng thì I_D cũng sẽ tăng. Cấu trúc MOS giữa G và kênh làm việc ở trạng thái tích lũy.

Với $U_{GS} = \text{const}$, khi U_{DS} tăng dần thì vùng chuyển tiếp PN giữa B và kênh phân cực ngược lan sâu hơn vào kênh, và nồng độ điện tử trong kênh cũng giảm dần về phía cực D, như vậy kênh cũng sẽ bị thắt dần về phía cực D.

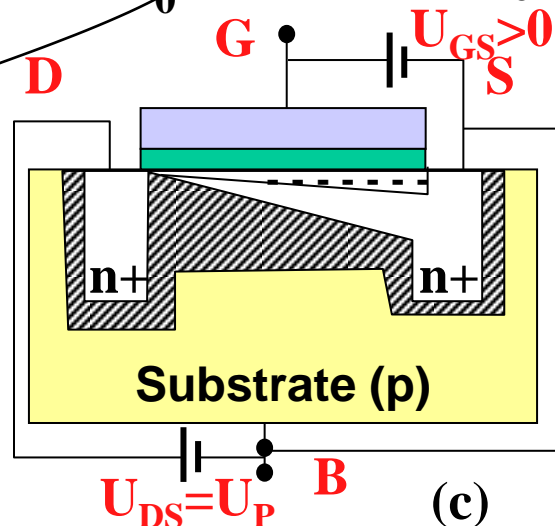




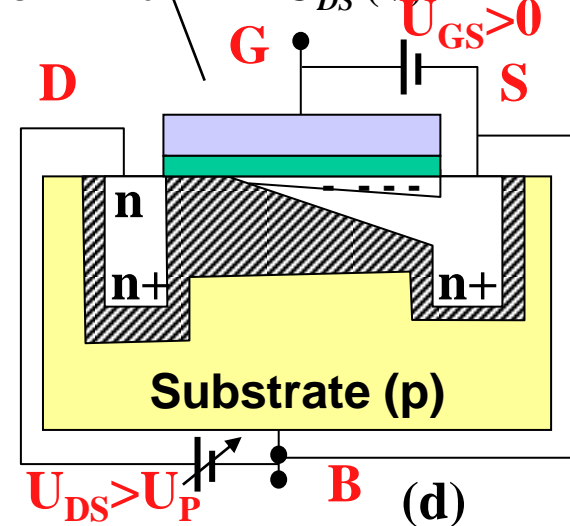
(a)



(b)

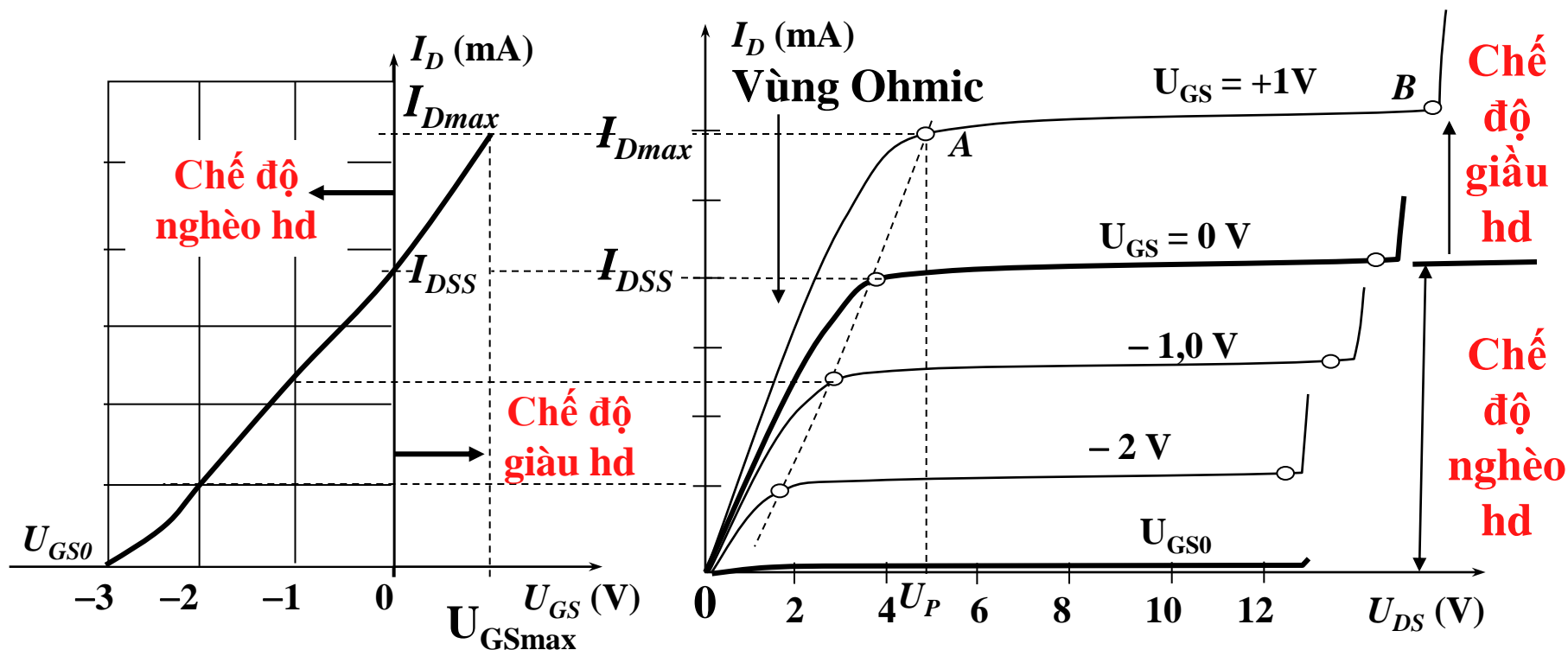


(c)



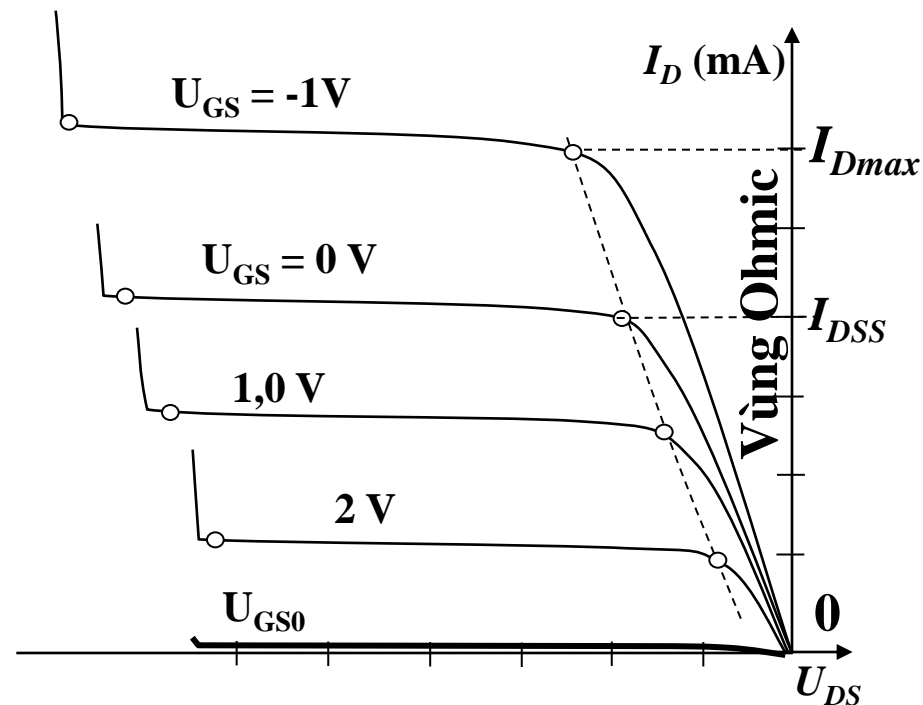
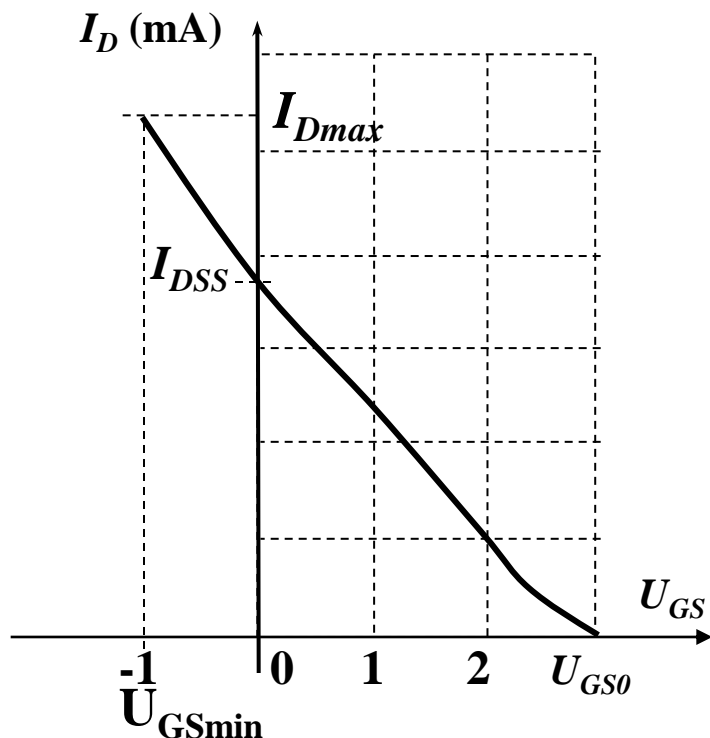
(d)

+ Các họ đặc tuyến của D-MOSFET kênh n



$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \text{ khi } U_{GS0} \leq U_{GS} \leq U_{GSmax}$$

→ **Vùng bão hòa**

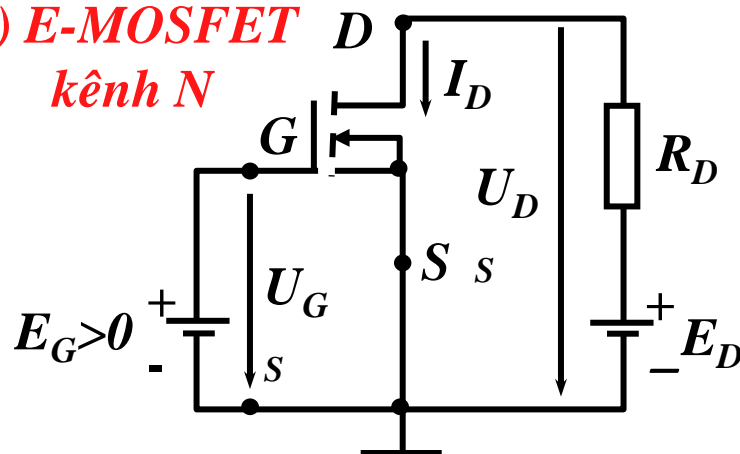


$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \text{ khi } U_{GSmin} \leq U_{GS} \leq U_{GS0} \rightarrow \text{Vùng bão hòa}$$

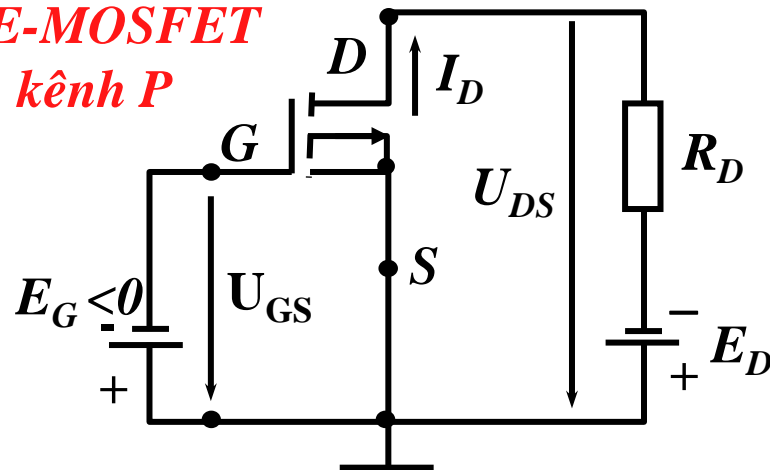
b/ Nguyên lý làm việc của E-MOSFET

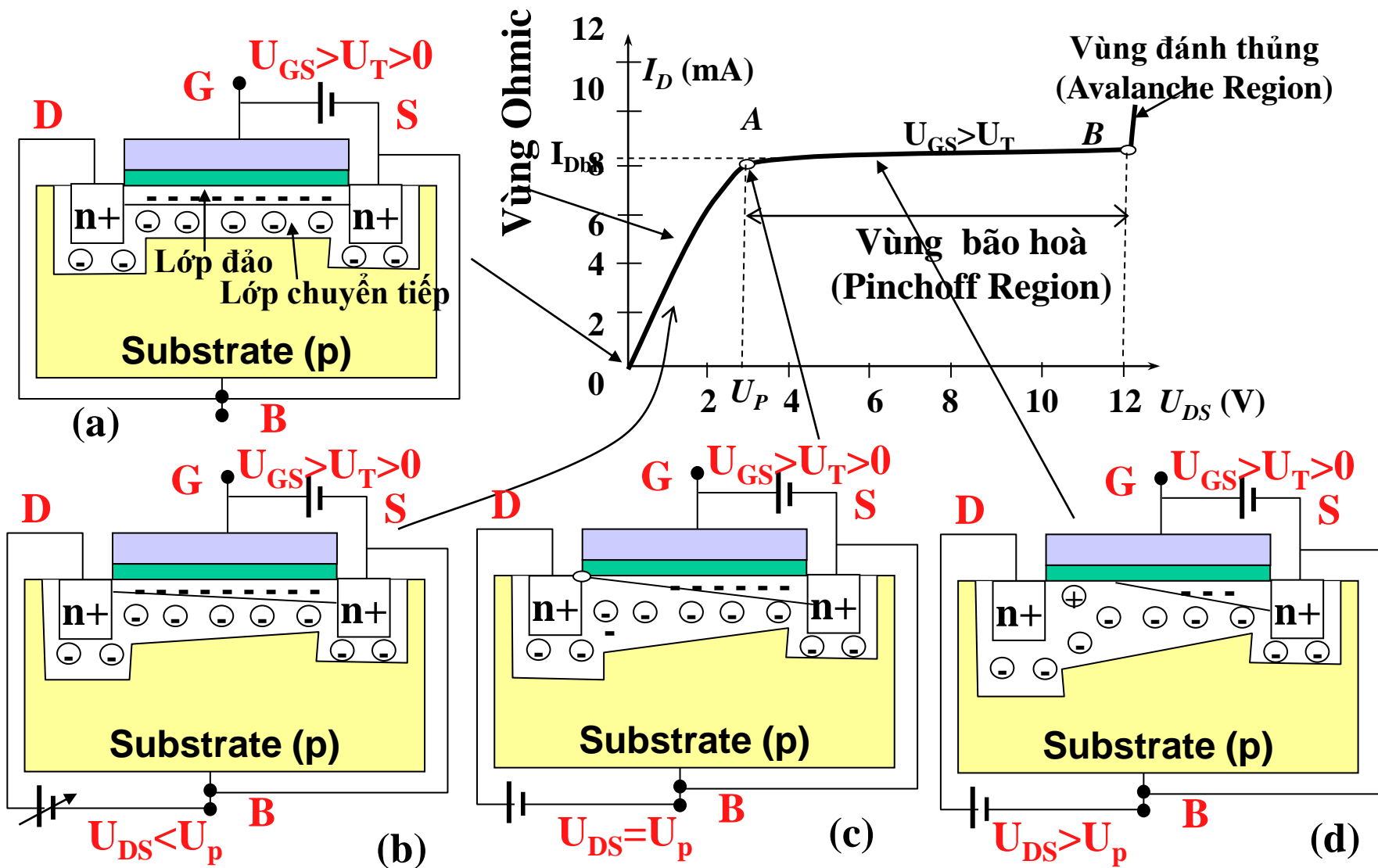
- Trong E-MOSFET (MOSFET kênh cảm ứng, MOSFET kiểu làm giàu hạt dẫn) không có sẵn kênh dẫn giữa S và D mà kênh dẫn này sẽ được tạo ra khi đặt điện áp lên cực cổng thích hợp lớn hơn giá trị điện áp ngưỡng nào đó U_T thì sẽ có sự tạo thành lớp đảo hạt dẫn ngay dưới cực cổng tạo thành kênh dẫn nối giữa S và D (tương tự như cấu trúc MOS trong trạng thái đảo). Vì kênh dẫn chỉ được tạo ra khi có điện áp trên cực G nên loại MOSFET này còn gọi là MOSFET thường mở.
- Thông thường cực nền B được nối tắt với cực nguồn S. Nguồn phân cực sao cho tạo thành lớp đảo hạt dẫn tại bán dẫn nền, dòng hạt đa số của kênh dẫn đi ra ở cực D.

a) **E-MOSFET**
kênh N

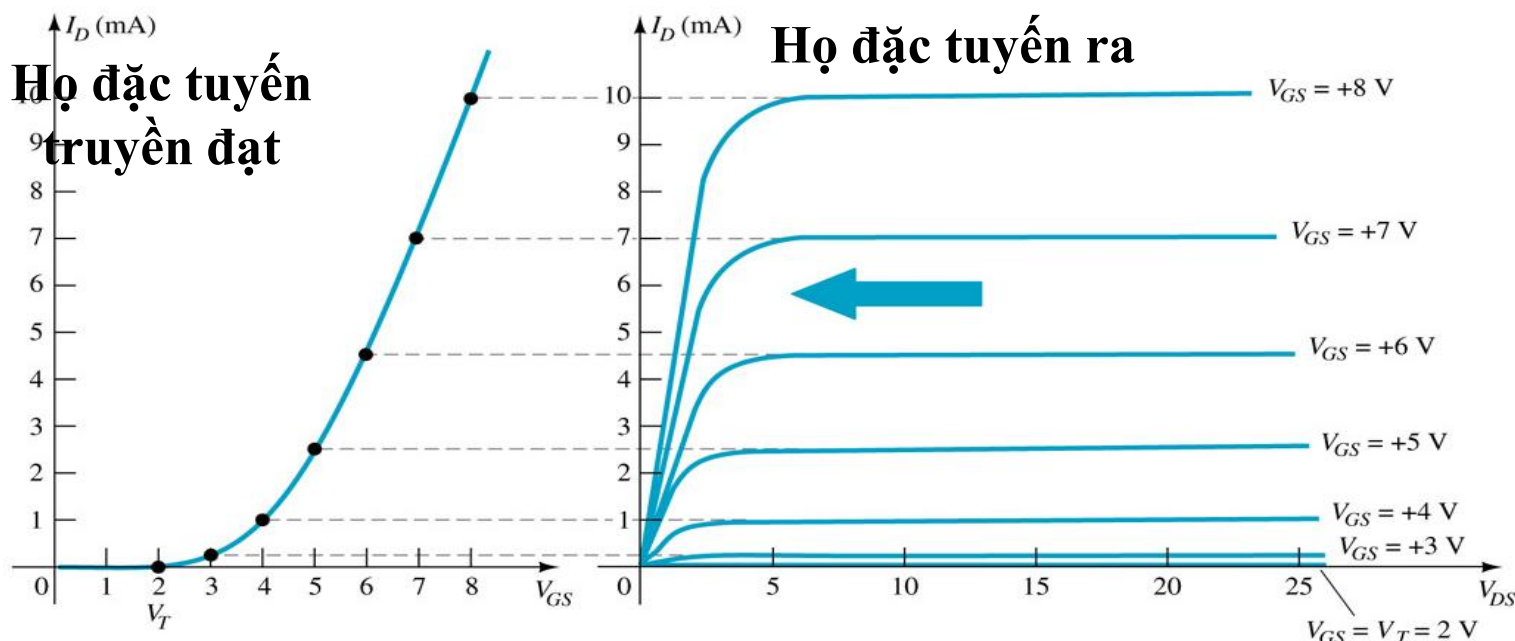


b) **E-MOSFET**
kênh P



+ Đặc tuyến ra của E-MOSFET kênh n


+ Các họ đặc tuyến của E-MOSFET kênh n



- + Khi $U_{GS} < U_T$ - điện áp ngưỡng, kênh bị khoá hoàn toàn (chưa hình thành kênh cảm ứng): $I_D = I_{D_{bh}} = 0$.
- + Khi $U_T < U_{GS} = \text{const}$, nếu $U_{DS} > U_p$ thì $I_D = I_{D_{bh}} = \text{const}$
- + Biểu thức tính I_D theo U_{GS} tại vùng bão hoà thường được tính như sau:

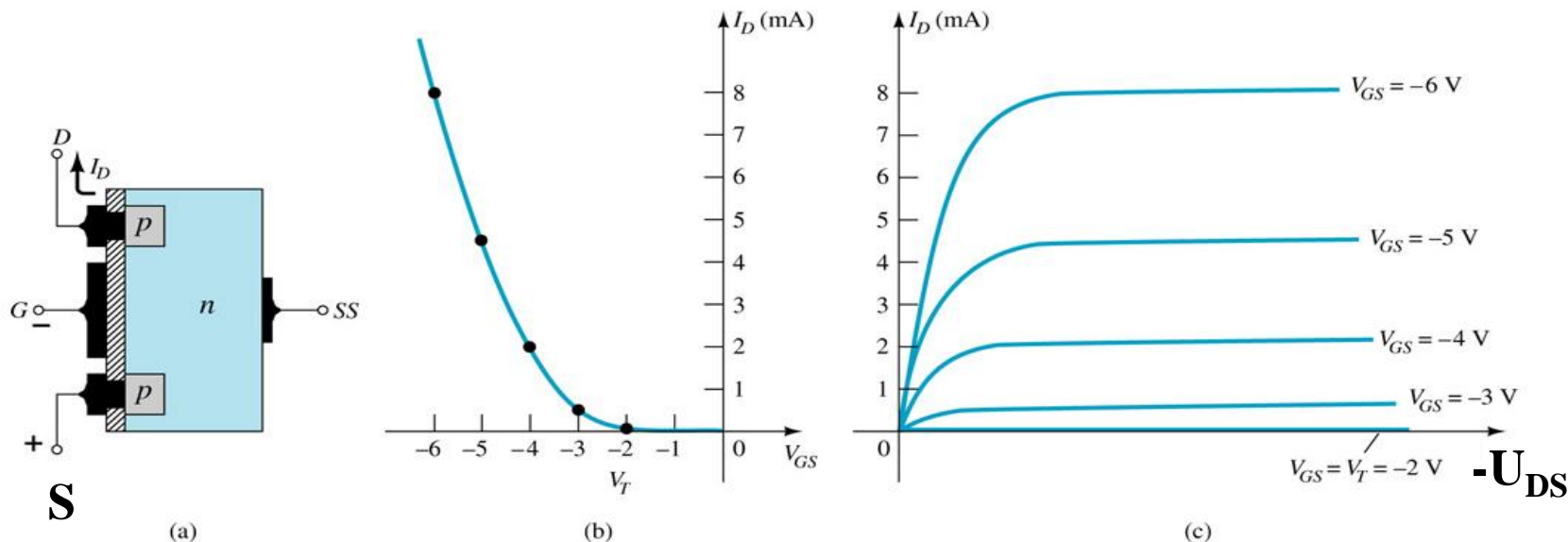
$$I_D = k \cdot (U_{GS} - U_T)^2$$

k: hằng số kênh.

$$k = \frac{W}{2 \cdot L} \mu_n C_{ox}$$

W, L độ rộng và chiều dài của G

+ Các họ đặc tuyến của E-MOSFET kênh p



- + Khi $U_{GS} > U_T$ - điện áp ngưỡng, kênh bị khoá hoàn toàn (chưa hình thành kênh cảm ứng): $I_D = I_{D_{bh}} = 0$.
- + Khi $U_{GS} < U_T < 0$, nếu $-U_{DS} > U_p$ thì $I_D = I_{D_{bh}} = \text{const}$
- + Biểu thức tính I_D theo U_{GS} tại **vùng bão hoà** thường được tính như sau:

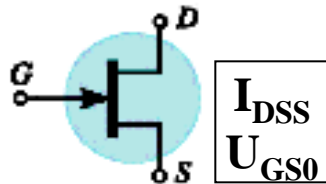
$$I_D = k \cdot (U_{GS} - U_T)^2$$

$$k = \frac{W}{2 \cdot L} \mu_p C_{ox}$$

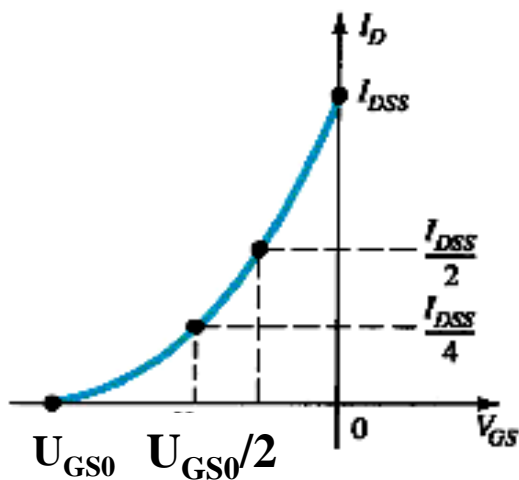
C_{ox} : Điện dung của MOS

Bảng so sánh đặc tuyến truyền đạt của các cấu kiện FET

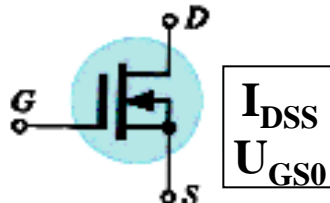
$$I_G = 0 \text{ A}, I_D = I_S$$



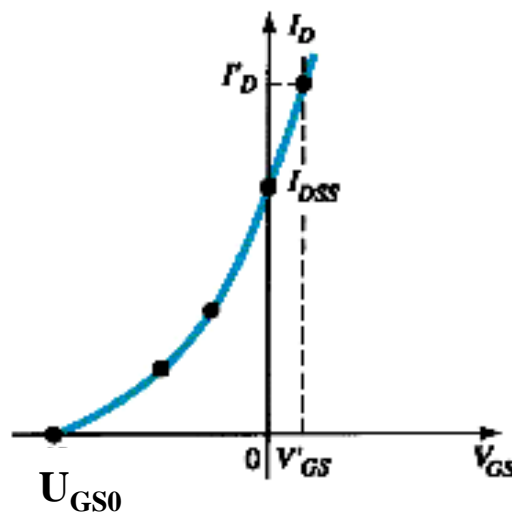
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2$$



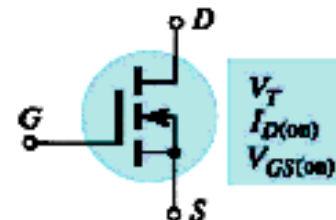
$$I_G = 0 \text{ A}, I_D = I_S$$



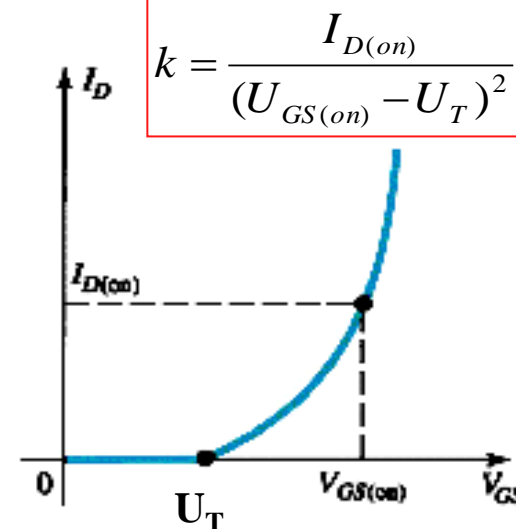
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2$$



$$I_G = 0 \text{ A}, I_D = I_S$$



$$I_D = k \cdot (U_{GS} - U_T)^2$$

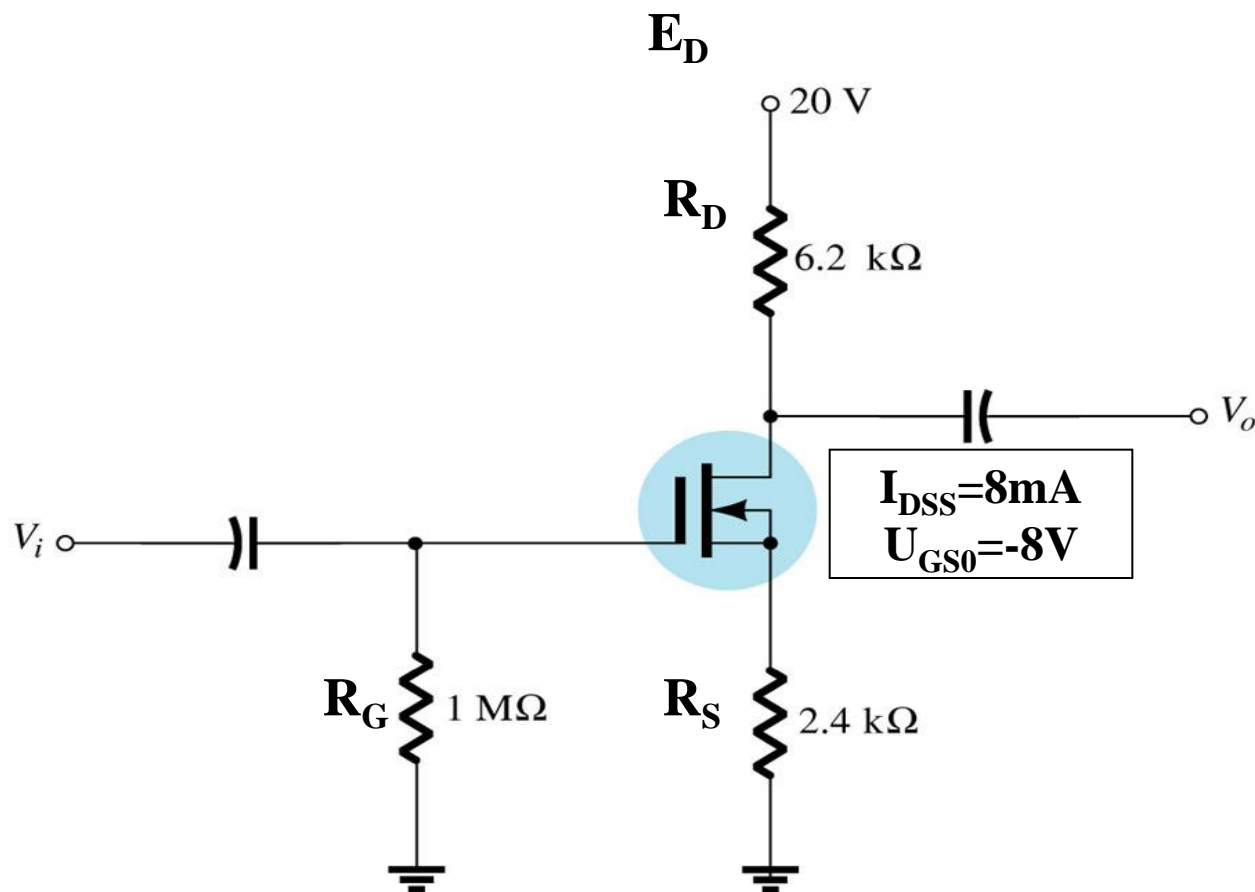


6.4.3 Định thiên cho MOSFET

- Với MOSFET làm việc ở chế độ xung số thường được phân áp để chúng làm việc ở vùng đặc tuyến khoá hoàn toàn và vùng ohmic hoặc gần bão hoà.
 - Khi MOSFET làm việc ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại tín hiệu) thì chúng được định thiên để làm việc ở vùng đặc tuyến bão hoà.
 - Trong phần này chủ yếu tính toán mạch định thiên để MOSFET làm việc ở chế độ tích cực.
 - Khi tính toán mạch định thiên sử dụng các giả thiết sau: $I_G=0$, Khi $U_{GS}=\text{const}$, dòng $I_D=I_{DSbh}=\text{const}$ mặc dù U_{DS} thay đổi.
- a. Các cách định thiên cho D-MOSFET:
- + a.1/ Tự định thiên
 - + a.2/ Định thiên cực cổng
 - + a.3/ Định thiên bằng mạch phân áp
- b. Các cách định thiên cho E-MOSFET
- + b.1/ Định thiên bằng mạch hồi tiếp
 - + b.2/ Định thiên bằng mạch phân áp

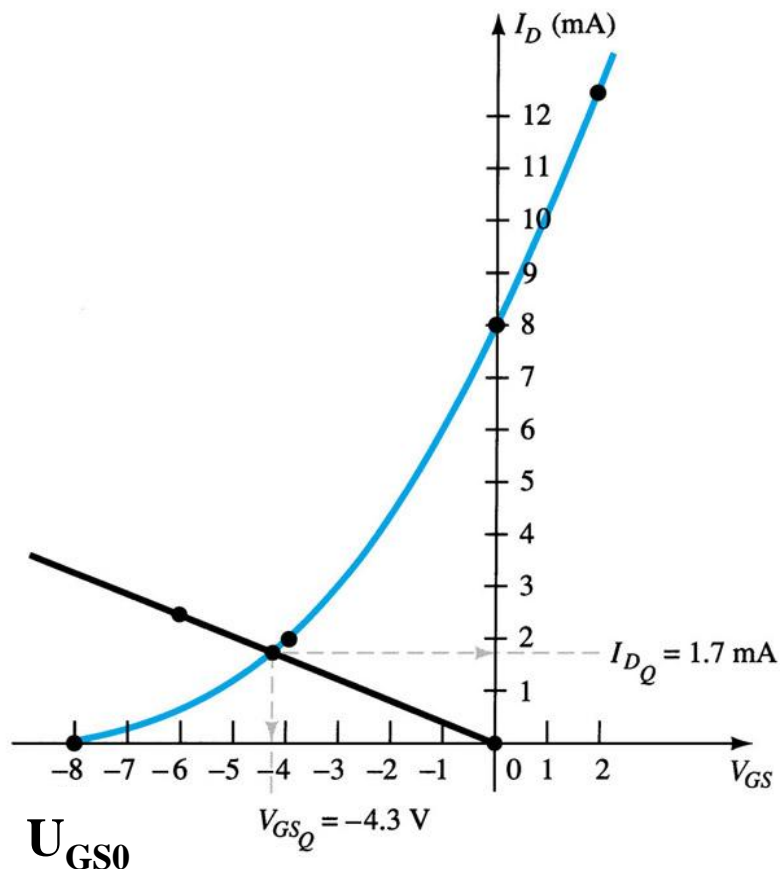
6.4.3 Định thiên cho MOSFET

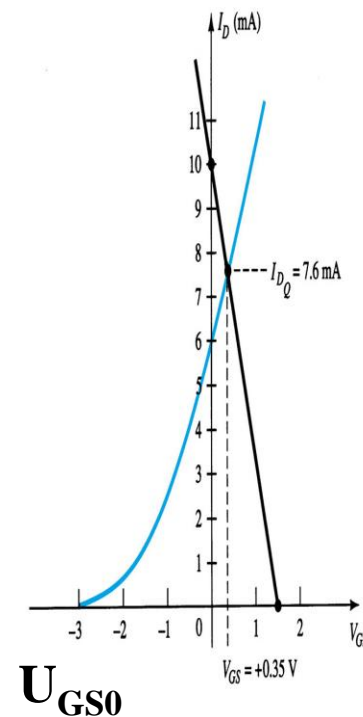
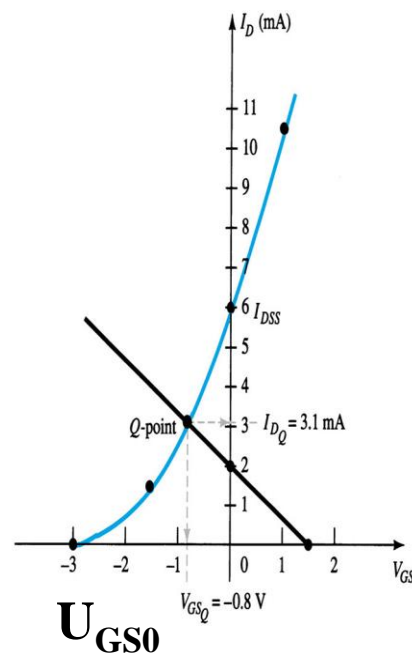
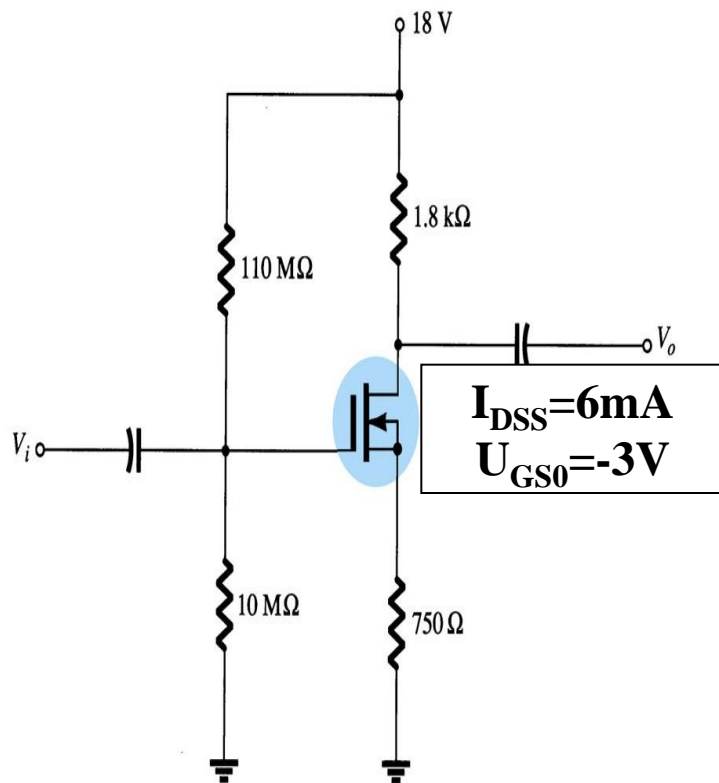
a.1/ Mạch tự định thiên D-MOSFET



6.4.3 Định thiên cho MOSFET

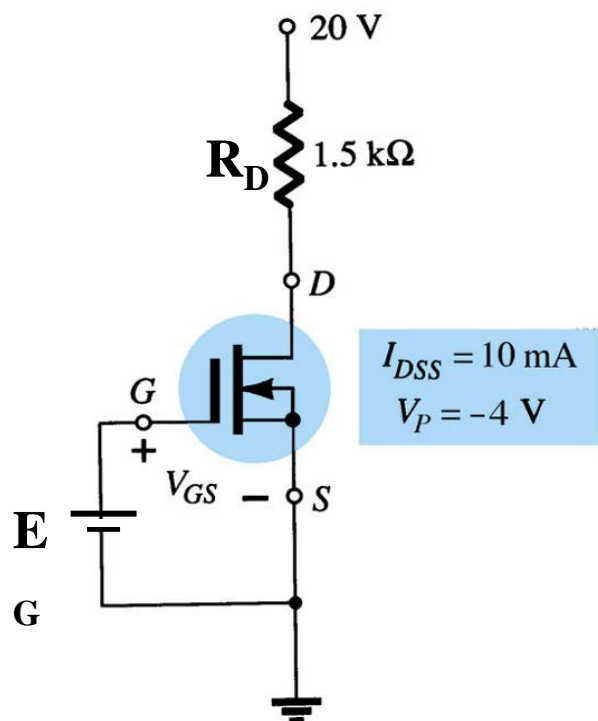
Xác định điểm làm việc Q



6.4.3 Định thiên cho MOSFET**a.2/ Định thiên bằng mạch phân áp cho D-MOSFET**

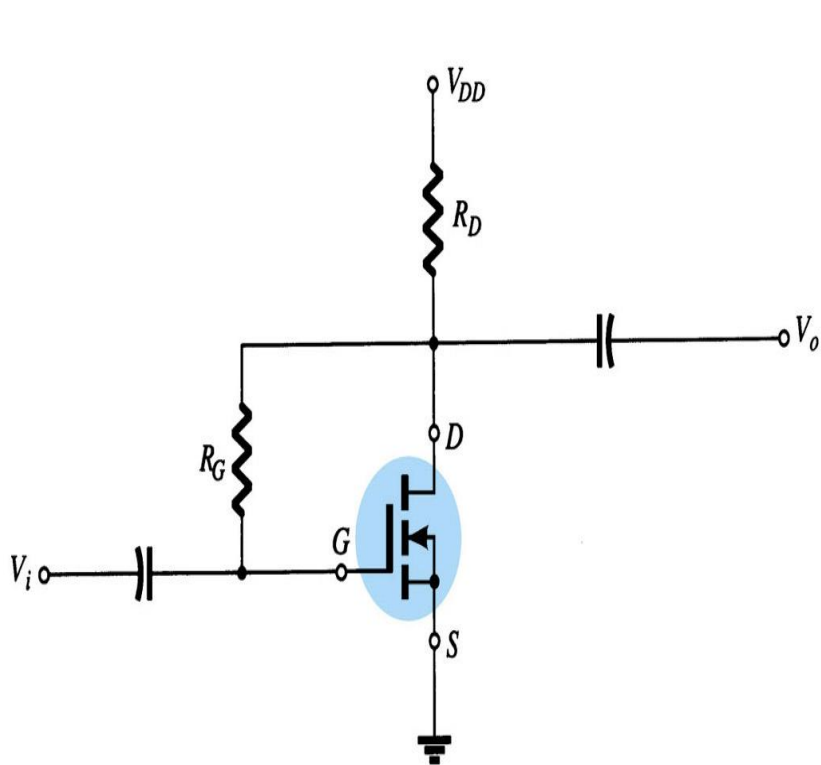
6.4.3 Định thiên cho MOSFET

a.3/ Định thiên cực G cố định



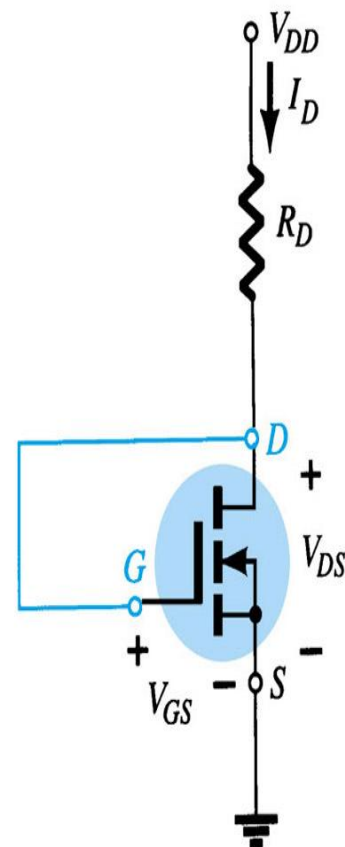
6.4.3 Định thiên cho MOSFET

b.1/ Định thiên cho E-MOSFET bằng mạch hồi tiếp



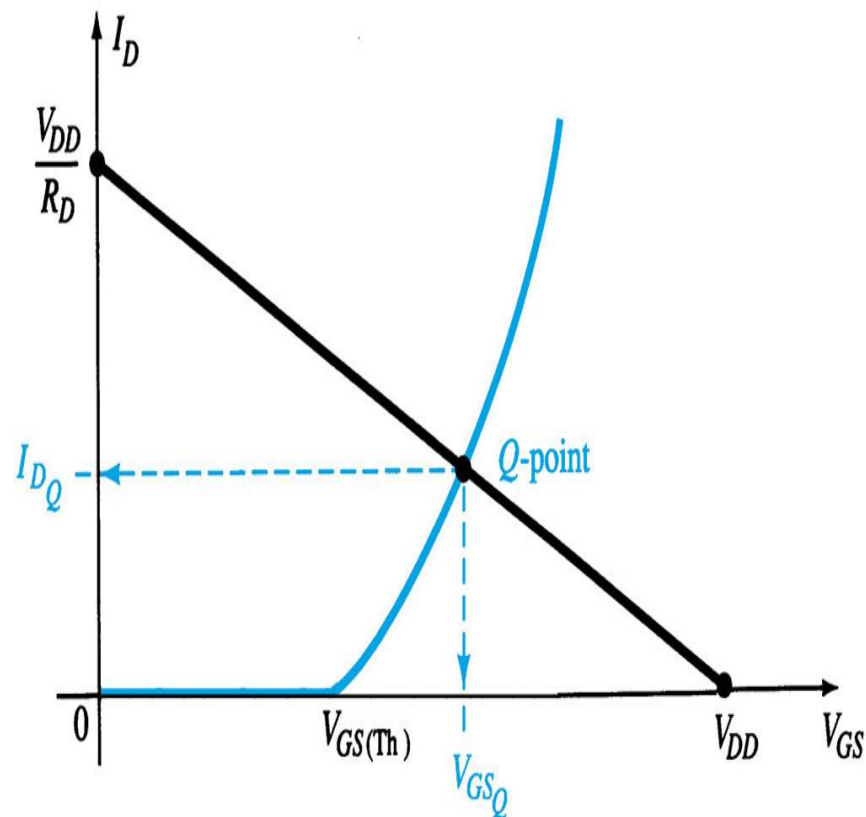
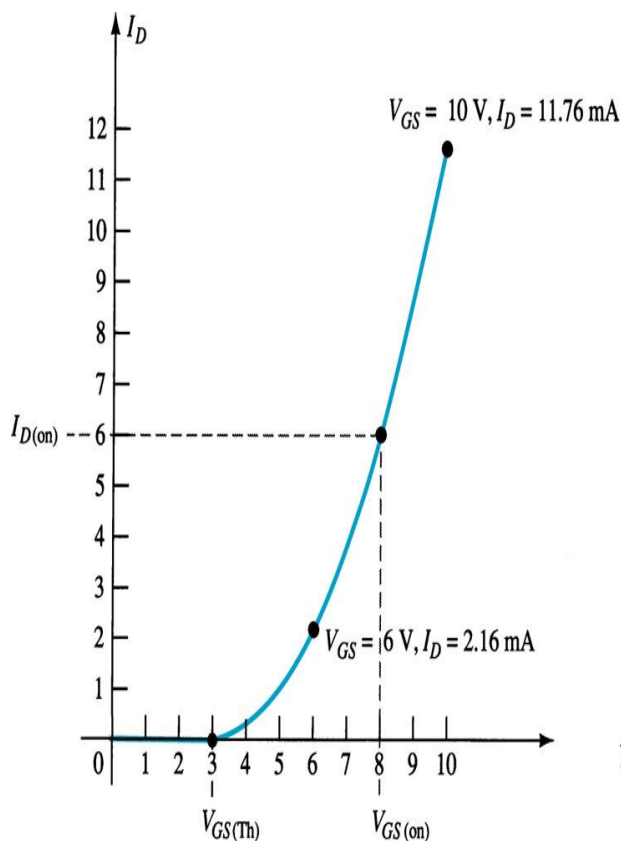
$$I_G = 0$$

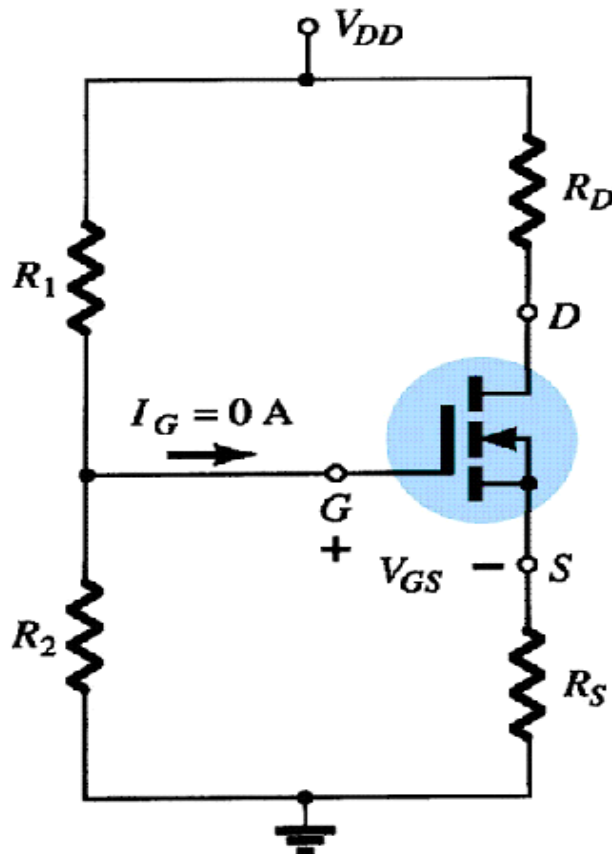
$$U_{GS} = U_{DS}$$



6.4.3 Định thiên cho MOSFET

+ Đặc tuyến truyền đạt

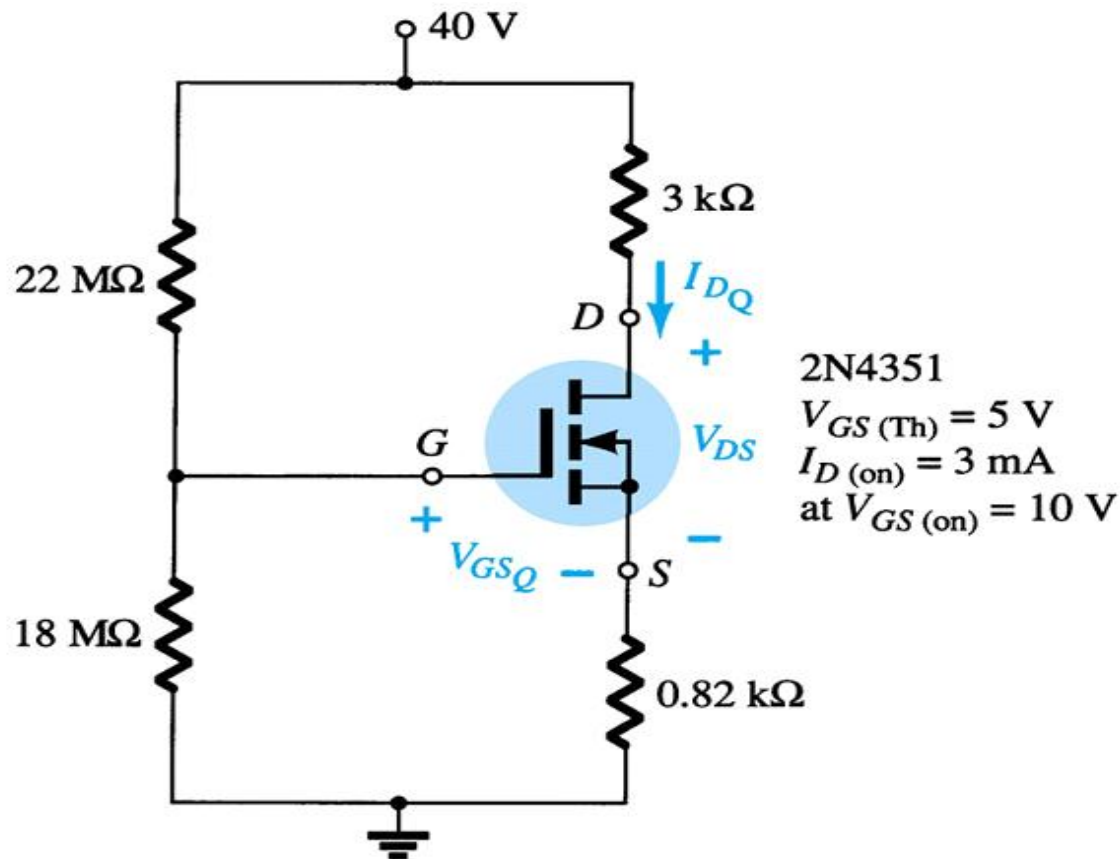


6.4.3 Định thiên cho MOSFET**b.2/ Định thiên cho N E-MOSFET dùng mạch phân áp**

$$V_G = V_{DD} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$k = \frac{I_{D_{on}}}{(V_{GS_{on}} - V_{GS_{TH}})^2}$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS_{TH}})^2$$

6.4.3 Định thiên cho MOSFET**b.2/ Định thiên cho N E-MOSFET dùng mạch phân áp**

6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

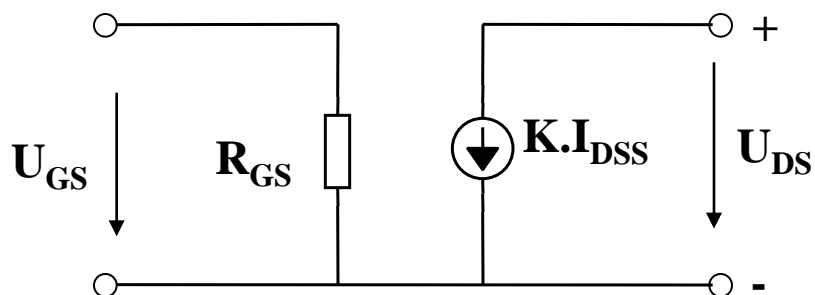
- a/ Mô hình tương đương một chiều và tín hiệu lớn
- b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

Xét trường hợp cực S và B nối tắt

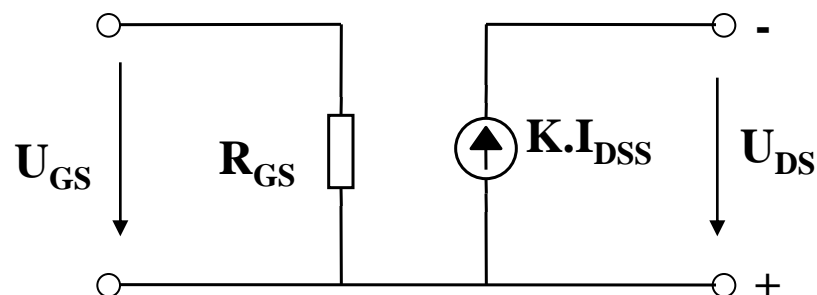
6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn

+ Mô hình tương đương D-MOSFET làm việc ở vùng bão hoà

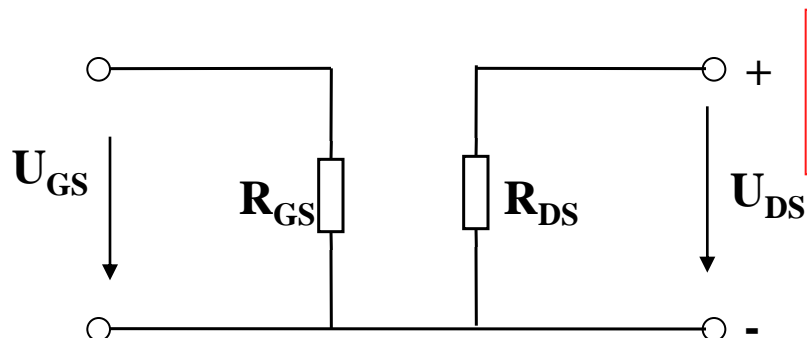


$$K = \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2$$

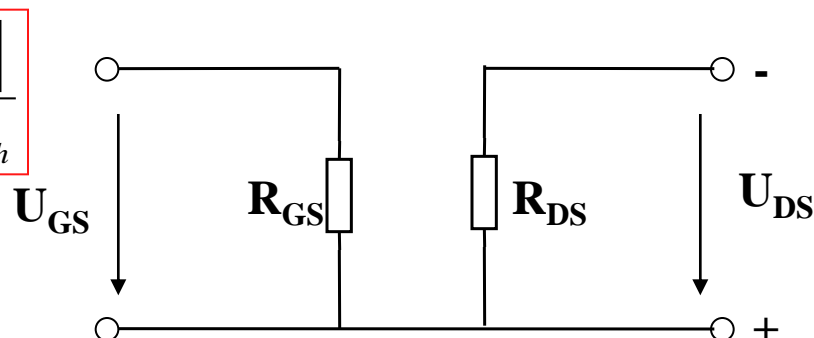


$$K = \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2$$

+ Mô hình tương đương D-MOSFET làm việc ở vùng ohmic



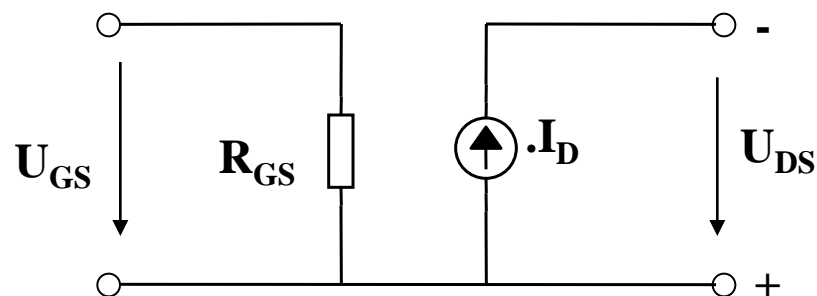
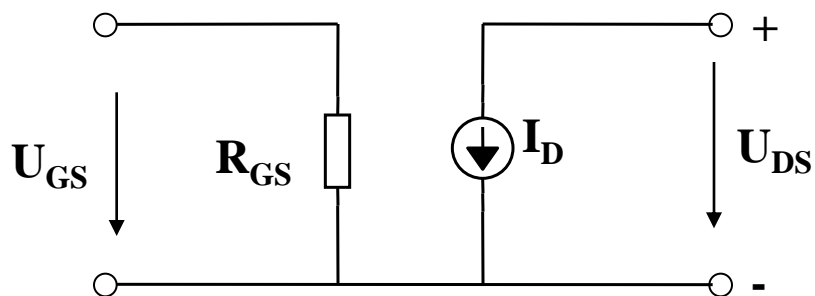
$$R_{DS} = \frac{|V_p|}{I_{Dbh}}$$



6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

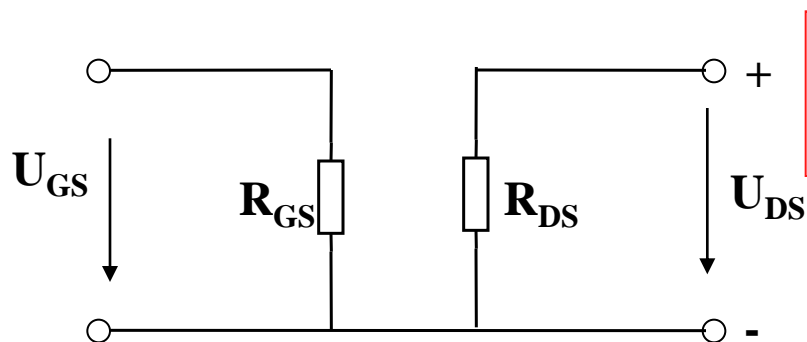
a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn

+ Mô hình tương đương E-MOSFET làm việc ở vùng bão hoà

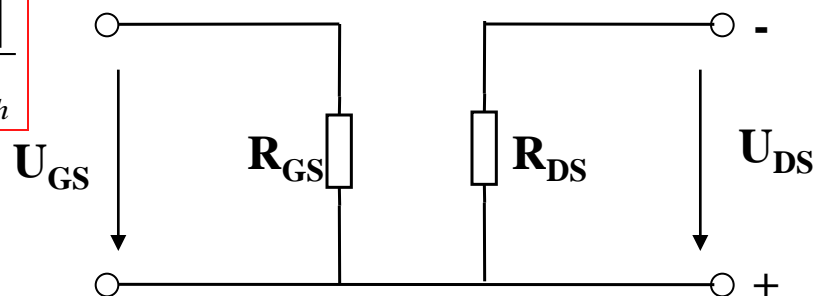


$$I_D = k.(U_{GS} - U_T)^2$$

+ Mô hình tương đương E-MOSFET làm việc ở vùng ohmic



$$R_{DS} = \frac{|V_p|}{I_{D_{bh}}}$$



6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của MOSFET xác định mối quan hệ giữa tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ trong JFET: i_d , u_{gs} .
- Các phương trình đặc tính tương ứng để xác định các mô hình tương đương của MOSFET:

+ Tổng quát :

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS}) = I_D + i_d = f(U_{GS} + u_{gs}, U_{DS} + u_{ds})$$

+ Giả sử điểm làm việc $Q(U_{GS}, U_{DS}, I_D)$

$$\Rightarrow i_d = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q u_{gs} + \left. \frac{\partial f}{\partial u_{DS}} \right|_Q u_{ds} = g_m u_{gs} + g_d u_{ds}$$

+ g_m - Độ hỗ dẫn vào, g_d - Độ hỗ dẫn ra

6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của D-MOSFET

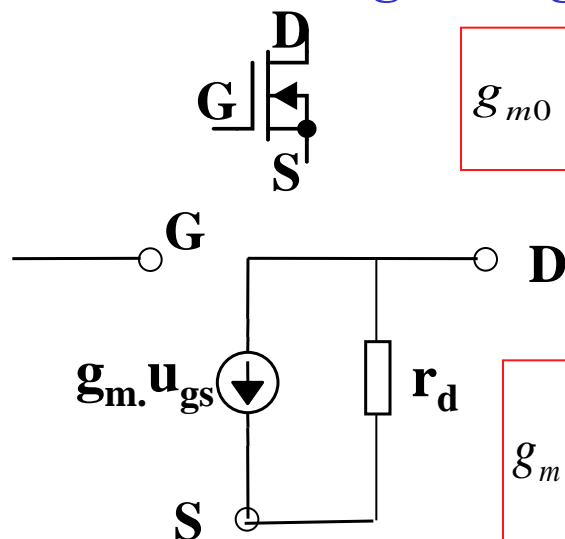
+ Độ hỗ dẫn ra :

$$g_d = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial u_{DS}} \right|_Q = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \bigg|_Q \frac{1}{V_{An}} = \frac{I_D}{V_{An}}$$

+ Điện trở vi phân đầu ra:

$$r_o = r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{g_d} = \frac{V_{An}}{I_D}$$

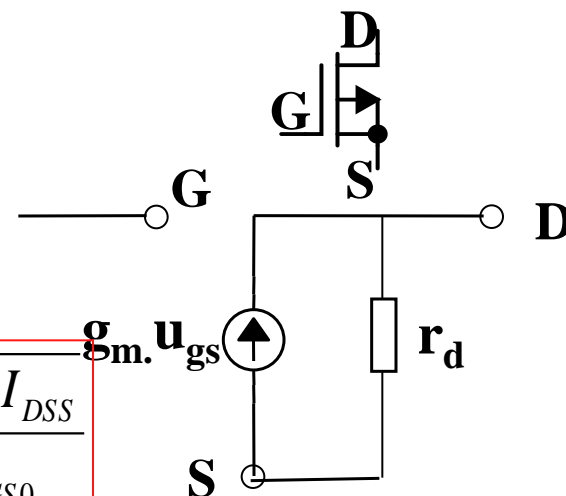
+ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của D-MOSFET



$$g_{m0} = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}}$$

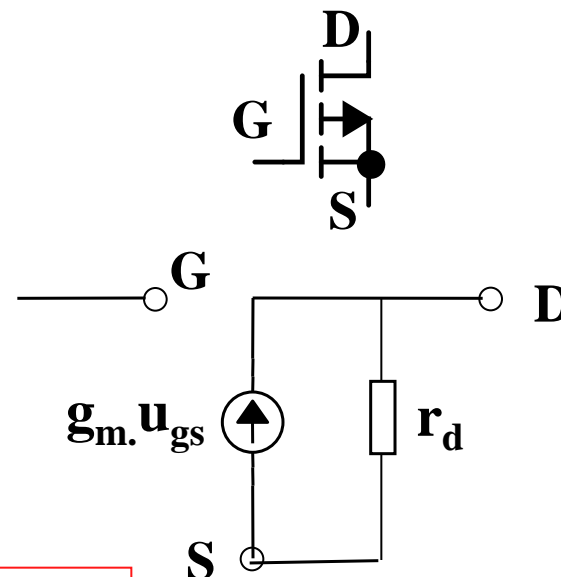
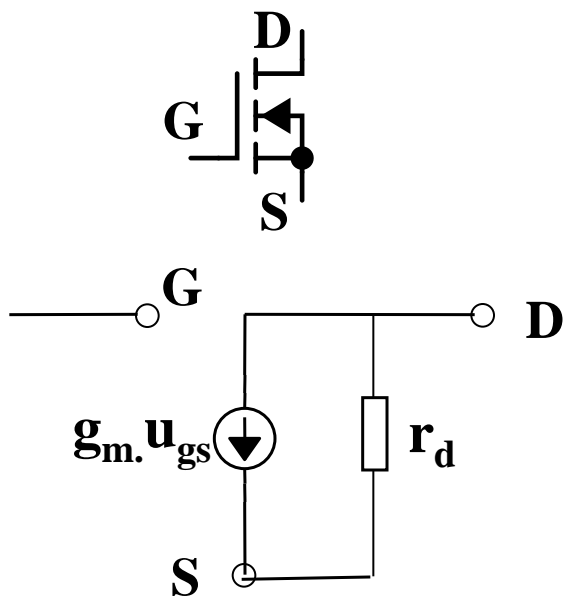
$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)$$

$$g_m = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) = \frac{2\sqrt{I_{DS} \cdot I_{DSS}}}{-U_{GS0}}$$



6.5. Mô hình tương đương của MOSFET

+ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của E-MOSFET



$$g_m = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q = \frac{2 \cdot I_D}{(U_{GS} - U_T)}$$

$$r_o = r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{g_d} = \frac{1}{\lambda \cdot I_D}$$

λ : Hệ số điều chế
chiều dài kênh

CHƯƠNG 7.

THYRISTORS

7.1. Giới thiệu chung

- **Thyristors** là một họ cấu kiện bán dẫn công suất, được sử dụng nhiều trong lĩnh vực điện tử công suất, điều khiển công suất, điều khiển nguồn điện, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v...
- **Thyristors** là họ cấu kiện bán dẫn được cấu tạo từ bốn lớp bán dẫn, ví dụ như p-n-p-n, tạo ra ba lớp tiếp giáp p-n: J1, J2, J3 và có thể có 2, 3 hoặc 4 chân cực, có thể dẫn điện 1 chiều hoặc cả 2 chiều.
- Đây là loại cấu kiện hoạt động ở **trạng thái bền** là **khóa** và trạng thái **mở** tùy thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn p-n-p-n
- Họ Thyristor có nhiều loại cấu kiện khác nhau, điển hình như:
 - + **SCR** (The Silicon Controlled Rectifier): Cấu kiện chỉnh lưu Si có điều khiển.
 - + **TRIAC** (Triode Alternative Current): Cấu kiện chỉnh lưu 2 chiều.
 - + **DIAC** (Diode for Alternating Current).
 - + **GTO** (Gate turn-off thyristor).
 - + **FET-CTH** (FET-controlled Thyristor).
 - + **IGCT** (Integrated Gate Commutated Thyristor) .
 - + **MTO** (MOS turn-off Thyristor)
 - + **IGBT** (Insulated Gate Bipolar Transistor)...

7.2. SCR – Cấu kiện chỉnh lưu Si có điều khiển

7.2.1 Cấu tạo của SCR

7.2.2 Nguyên lý làm việc

7.2.3 Đặc tính của SCR

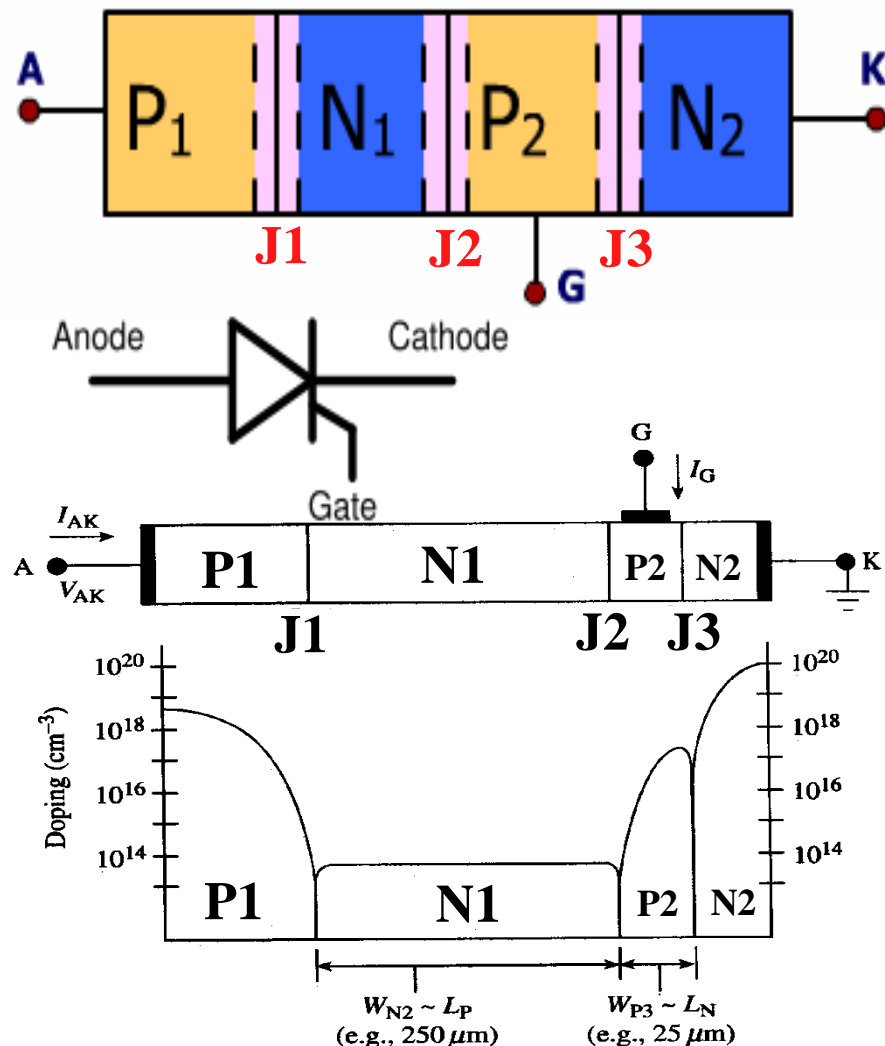
7.2.4 Ứng dụng

7.2.1 – Cấu tạo của SCR

- **SCR** là một cấu kiện quan trọng trong họ Thyristors, SCR hay còn được gọi là họ cấu kiện chỉnh lưu có điều khiển thường được làm từ vật liệu Si nên còn gọi là cấu kiện chỉnh lưu Si có điều khiển (SCR-The Silicon Controlled Rectifier Devices).

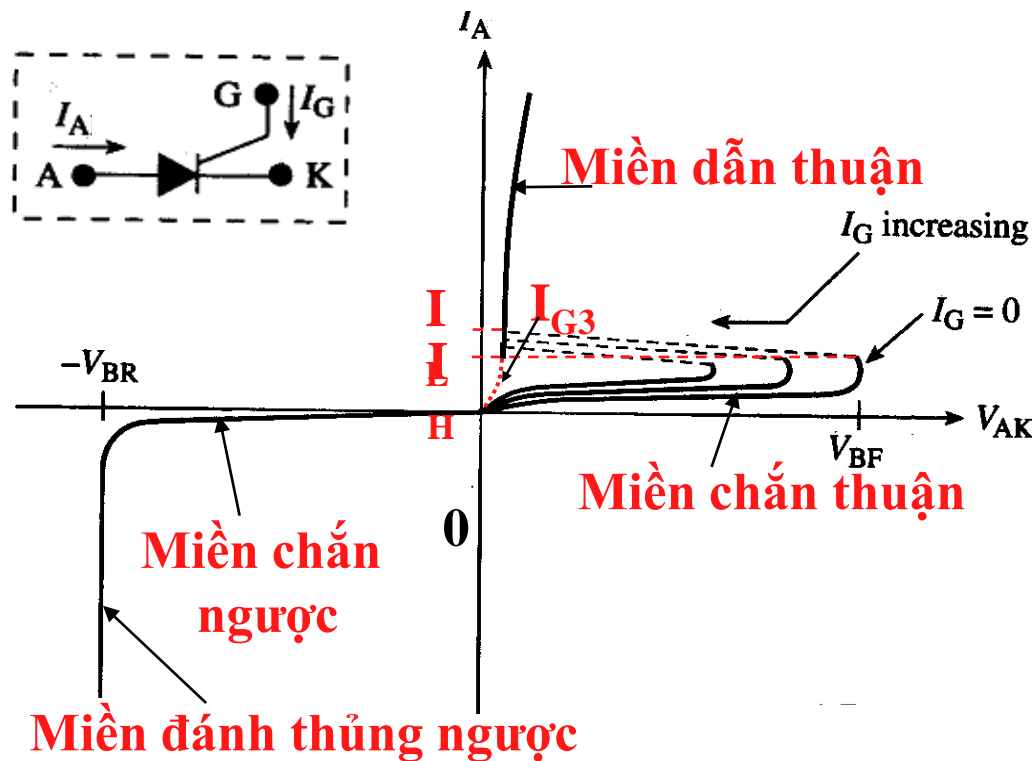
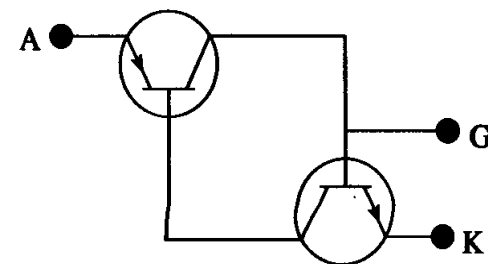
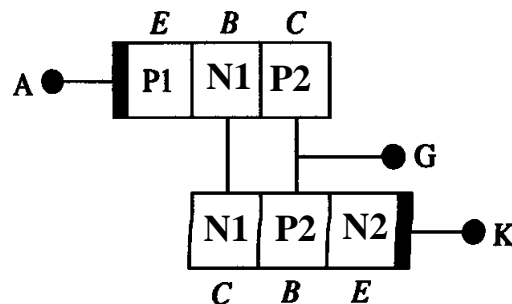
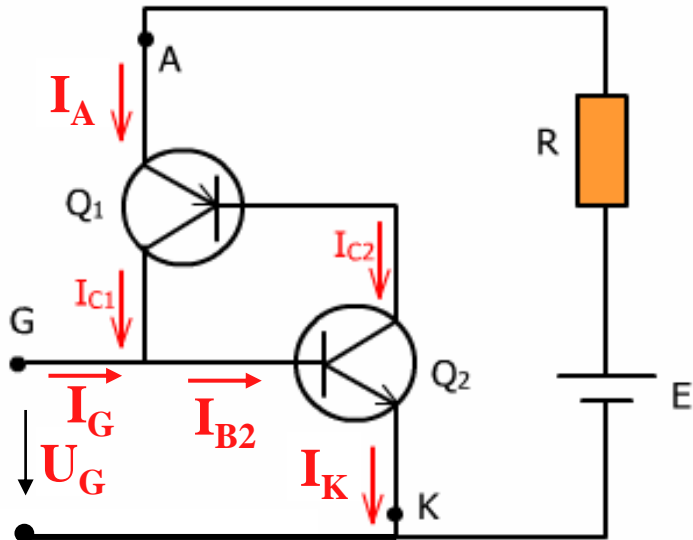
- SCR cấu tạo từ bốn lớp bán dẫn p-n-p-n (gọi là P1-N1-P2-N2), tạo ra ba lớp tiếp giáp p-n: J1, J2, J3, có ba cực: anode A, cathode K, cực cổng điều khiển G nối vào P2.

- Có 2 loại: SCR quy ước (Gọi tắt là SCR) và SCR kiểu bù (Cực G nối vào N1, loại này ít được dùng).



7.2.2 Nguyên lý làm việc

- SCR có thể được coi như tương đương 2 BJT: PNP và NPN mắc như hình vẽ.
- Để xét nguyên lý hoạt động của SCR, xét mạch như hình vẽ:



7.2.2 Nguyên lý làm việc

Đặc tuyến V-A thể hiện hoạt động của SCR như hình vẽ và được chia thành 4 vùng rõ rệt:

1. Phân cực ngược $U_{AK} < 0$, SCR có thể coi như là 2 điốt phân cực ngược mắc nối tiếp J1, J3. Khi U_{AK} càng giảm thì dòng qua SCR nhanh chóng bằng dòng bão hòa ngược (bằng dòng bão hòa ngược của các điốt), SCR làm việc ở “**Miền chặn ngược**” hay trạng thái khóa “OFF”.

Nếu giảm U_{AK} quá nhỏ ($U_{AK} < -U_{BR}$) thì 2 chuyển tiếp J1, J3 bị đánh thủng theo cơ chế thác lũ và xuyên hầm, dòng đánh thủng tăng vọt có thể làm hỏng SCR. Vùng làm việc này gọi là “**Miền đánh thủng ngược**”.

2. Phân cực thuận $U_{AK} > 0$, Xét các trường hợp sau:

a. Cực G hở, $I_G = 0$, J1, J3 phân cực thuận, J2 phân cực ngược, khi U_{AK} còn nhỏ dòng I_A, I_K nhỏ và được quyết định chủ yếu bởi dòng bão hòa ngược của J2, $I_D = I_A = I_K$ được gọi là dòng dò thuận, SCR làm việc ở “**Miền chặn thuận**” (hay SCR ở chế độ trở kháng cao, trạng thái khóa “OFF”).

7.2.2 Nguyên lý làm việc

- Nếu tăng dần U_{AK} lên đến điện áp đánh thủng tiếp xúc J_2 thì dòng điện qua SCR tăng vọt. Lúc này cả 3 tiếp xúc P-N đều coi như được phân cực thuận, điện trở của chúng rất nhỏ làm cho sụt áp trên SCR giảm hẳn xuống còn khoảng từ $1 \div 2$ V. Lúc này SCR đã chuyển từ trạng thái khóa sang trạng thái mở “ON”, hay trạng thái dẫn điện hoặc ở chế độ trở kháng thấp, miền làm việc của SCR gọi là “**Miền dẫn thuận**”. Phương pháp mở SCR bằng cách tăng điện áp phân cực thuận U_{AK} gọi là phương pháp kích mở.
- Trong trạng thái mở, dòng điện qua SCR được hạn chế nhờ điện trở mắc ở mạch ngoài và $I_A > I_L$ - dòng chốt (dòng điện nhỏ nhất trên Anốt yêu cầu để duy trì SCR ở trạng thái mở), như vậy khi SCR chuyển sang trạng thái mở thì không cần dòng điều khiển I_G . Trị số điện áp mà tại đó xảy ra đánh thủng tiếp xúc J_2 được gọi là điện áp đỉnh khuỷu U_{BF} - còn được gọi là điện áp kích mở.
- Như vậy, khi SCR đã dẫn điện thì dòng điện qua nó không thể điều khiển được nếu dòng I_A lớn.

7.2.2 Nguyên lý làm việc

- Theo sơ đồ tương đương, khi tăng U_{AK} tới giá trị nhất định làm dòng ngược I_{C1} tăng (khi J2 bắt đầu bị đánh thủng), mà $I_{B2} = I_{C1}$, khi I_{C1} lớn hơn dòng mở cho Q2 thì Q2 sẽ mở làm cho I_{C2} tiếp tục tăng, mà $I_{B1} = I_{C2}$, như vậy I_{C1} tiếp tục tăng, quá trình này xảy ra theo một vòng kín, kết quả là dù điều kiện gây ra sự đánh thủng J2 mất đi (khi U_{AK} giảm) thì quá trình cũng vẫn tự động dẫn tới Q1, Q2 mở hoàn toàn, nghĩa là SCR mở hoàn toàn.
- Khi SCR đã mở hoàn toàn thì nếu điện áp phân cực thuận U_{AK} giảm nhỏ hơn điện áp kích mở thì dòng I_A cũng giảm nhưng SCR vẫn mở, và SCR chỉ ngừng dẫn khi dòng điện I_A bị giảm xuống dưới trị số dòng điện I_H - gọi là dòng điện duy trì và tương ứng với dòng I_H ta có điện áp duy trì U_H .

7.2.2 Nguyên lý làm việc**b. Cực G có dòng điều khiển, $I_G \neq 0$:**

- Nếu điện áp thuận đặt vào SCR U_{AK} nhỏ hơn mức điện áp kích mở U_{BF} , và giữa cực G và K được đặt điện áp $U_G > 0$, tạo ra dòng I_G đủ lớn làm mở Q2, và quá trình xảy ra theo một vòng kín tương tự như trên và làm cho Q1 mở như vậy SCR được mở hoàn toàn.
- Điện áp mở SCR U_G thường là một xung có biên độ đủ lớn, sau khi SCR mở nó giữ nguyên trạng thái này cho dù xung mở U_G không còn nữa, muốn cho SCR chuyển từ trạng thái mở sang trạng thái khóa phải làm cho dòng I_{B1} , I_{B2} giảm nhỏ hơn dòng mở của Q1, Q2, điều này có thể thực hiện được bằng 2 cách sau:
 - + Giảm nhỏ điện áp thuận U_{AK} , do đó I_A sẽ giảm dẫn tới I_{B2} giảm nhỏ hơn dòng mở của Q2 làm cho Q2 khóa, dòng $I_{C2} = I_{B1}$ cũng giảm đi làm cho Q1 khóa, kết quả là SCR khóa hoàn toàn.
 - + Tạo điện áp $U_G < 0$, làm cho I_{B2} giảm làm cho Q2 khóa, dẫn tới Q1 cũng khóa, do đó SCR cũng khóa hoàn toàn.

7.2.2 Nguyên lý làm việc

- Nếu ta tăng dòng điều khiển $I_{G1} < I_{G2} < I_{G3}$ thì điện áp đỉnh khuỷu U_{BF} cũng giảm từ U_{BF1} đến U_{BF2} và khi $I_G = I_{G3}$ thì SCR dẫn điện như một điốt.
- Khi U_{AK} thuận tăng lên thì dòng điều khiển cần thiết để khởi động SCR sẽ giảm xuống.

Chú ý: Khi SCR khóa, muốn nó mở trở lại có thể thực hiện bằng 2 cách:

- + Tăng điện áp phân cực thuận U_{AK} vượt quá giá trị điện áp kích mở
- + Kích khởi bằng xung điều khiển mở $U_G > 0$.

7.2.2 Nguyên lý làm việc**- Tính dòng I_A , I_K trong trạng thái mở:**

+ Theo sơ đồ mạch tương đương của SCR ta thấy, khi SCR dẫn điện thì qua nó có dòng điện từ A đến K và giữa các tiếp xúc P-N của 2 BJT Q_1 và Q_2 có các dòng điện vào và ra:

$$I_{C1} = I_{B2} \text{ và } I_{C2} = I_{B1}$$

Mà dòng collector của mỗi BJT là : $I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CB01}$

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CB02}$$

Trong đó α_1 và α_2 là hệ số khuếch đại thác lũ alpha (số nhân thác lũ).

+ Dòng điện tổng qua SCR là:

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 I_A + \alpha_2 I_K + I_{CB01} + I_{CB02} \quad (1)$$

Trong đó ta có: $I_{CB01} + I_{CB02} = I_{CB0}$

I_{CB0} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp xúc J2.

+ Mặt khác $I_K = I_A + I_G$ thay vào (1) và rút gọn ta có:

7.2.2 Nguyên lý làm việc

$$I_A = (\alpha_2 I_G + I_{CB0}) / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)]$$

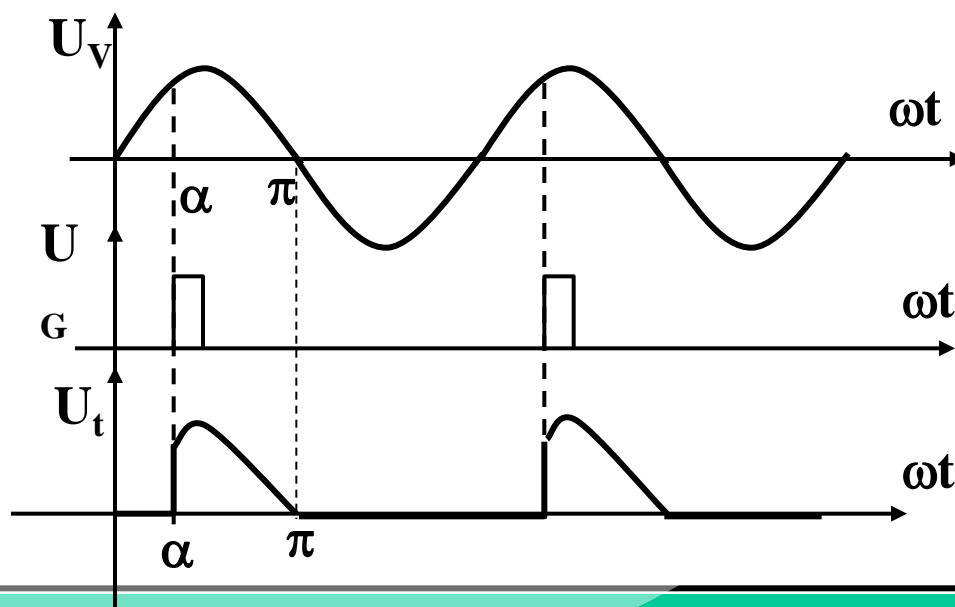
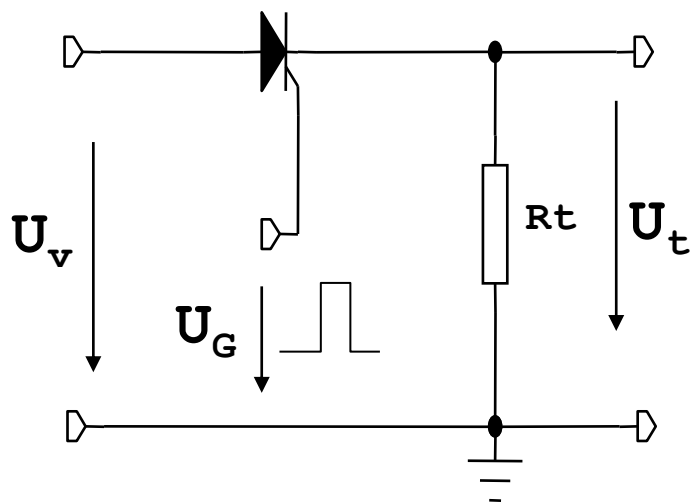
+ Nếu $I_G = 0$ ta có :

$$I_A = I_{CB0} / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)]$$

- + Hệ số khuếch đại của hai BJT hở nên nhỏ. Như vậy, trạng thái dẫn bền vững đạt được là do cả hai BJT rơi vào chế độ bão hoà để đạt được điều kiện $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$.
- + Như vậy, khi $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ thì dòng điện tăng vọt và không điều khiển được, nó tương ứng với tiếp xúc J_2 phân cực thuận. Lúc này, SCR dẫn điện và có nghĩa là cả hai BJT Q_1 và Q_2 đều dẫn bão hoà, tương ứng với SCR ở chế độ mở "ON".
- + Trên thực tế, khi đặt điện áp U_{AK} nào đó lên SCR thì chỉ có dòng điện ngược chạy qua SCR, còn dòng điều khiển I_G sẽ tạo ra một thành phần dòng điện mà khi tổng các hệ số khuếch đại kiểu thác lũ của dòng điện $\alpha_1 + \alpha_2 \rightarrow 1$ thì SCR sẽ khởi động.

7.2.2 Nguyên lý làm việc

- + Khi cho một dòng điện vào cực điều khiển G, nó có thể tăng hệ số α (hệ số tăng kiểu thác lũ) mà không phụ thuộc vào điện áp và dòng điện. Như vậy, dòng I_G có tác dụng gia tăng hạt dẫn thiểu số (điện tử) cho lớp bán dẫn P_2 để cho tiếp xúc J_2 bị thông sớm hơn. Tùy theo trị số của dòng I_G mà điện áp đánh thủng tiếp xúc J_2 và trị số dòng điện duy trì I_H thay đổi. Khi I_G có giá trị càng lớn thì U_{BF} càng nhỏ và I_H càng nhỏ.
- Ví dụ mạch chỉnh lưu có điều khiển pha minh họa hoạt động của SCR:



7.2.3 Đặc tính của SCR

- Thời gian mở và tắt rất nhanh (vài μ s đến chục μ s).
- Cường độ dòng cho phép cao (hàng nghìn Ampe).
- Điện áp làm việc cao (hàng nghìn Vôn).
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V).
- Khả năng điều khiển tốt.

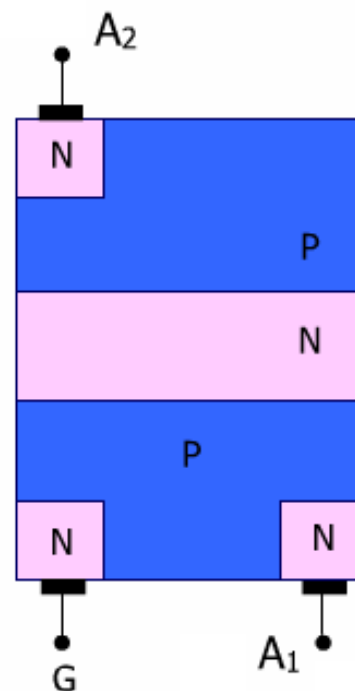
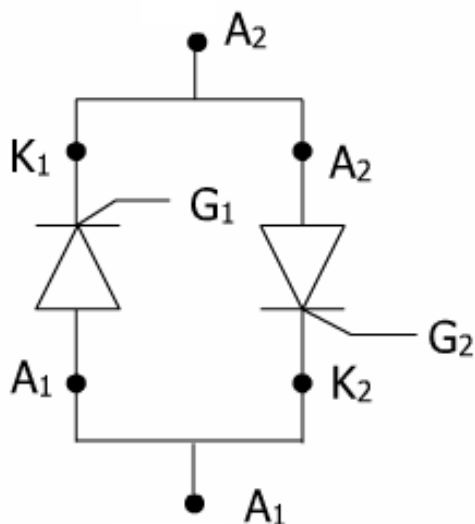
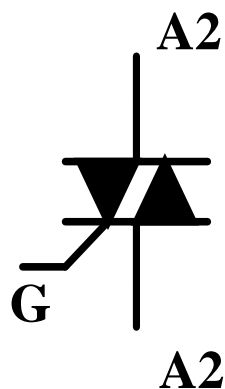
7.3. TRIAC – Triode Alternative Current

7.3.1 Cấu tạo của TRIAC

7.3.2 Nguyên lý làm việc

7.3.1 Cấu tạo của TRIAC

- **TRIAC** (*TRiode for Alternating Current*) là phần tử bán dẫn gồm năm lớp bán dẫn, tạo nên cấu trúc p-n-p-n như ở SCR theo cả hai chiều giữa các cực A1 và A2, do đó có thể dẫn dòng theo cả hai chiều giữa A1 và A2. TRIAC có thể coi tương đương với hai SCR mắc song song ngược nhau.



7.3.2 Nguyên lý làm việc

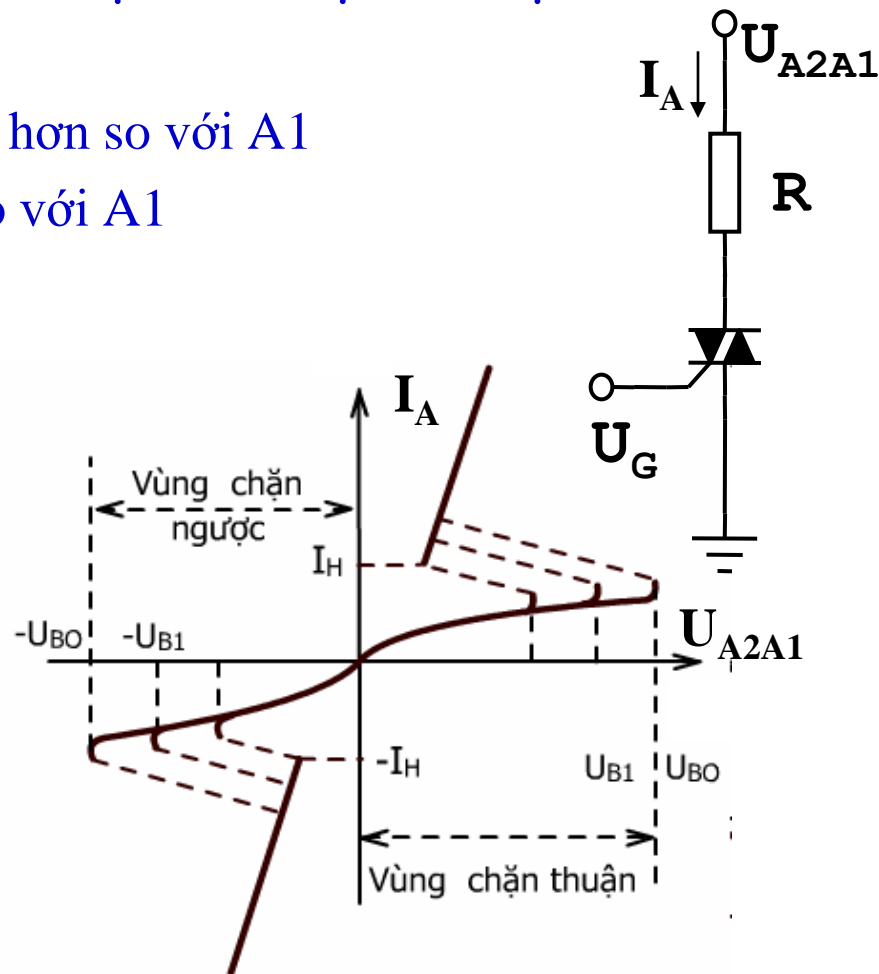
- Đặc tính Volt-Ampere của TRIAC bao gồm hai đoạn đặc tính ở góc phần tư thứ nhất và thứ ba, mỗi đoạn đều giống như đặc tính thuận của một SCR.

- **Phương pháp kích khởi cho TRIAC:**

+ Cực G dương và cực A2 dương hơn so với A1

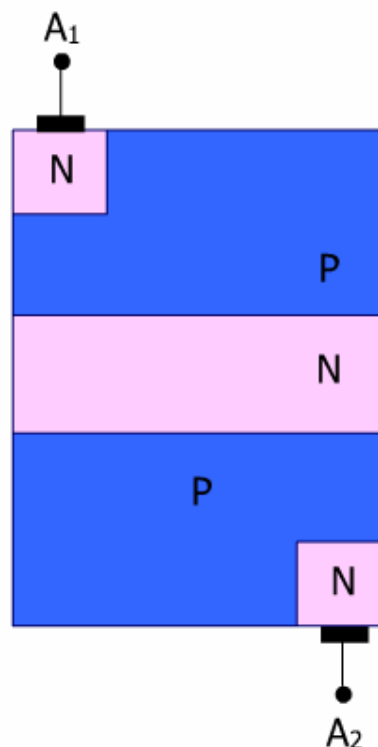
+ Cực G âm và cực A2 âm hơn so với A1

- **TRIAC cho qua 2 nửa chu kỳ của một điện áp xoay chiều và điều khiển bằng một cực điều khiển G.**



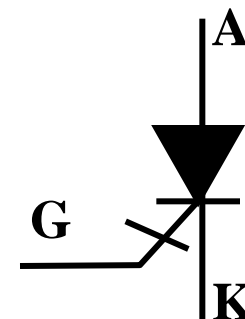
7. 4. DIAC – Diode for Alternating Current

- DIAC có cấu tạo hoàn toàn giống TRIAC nhưng không có cực điều khiển G.
- DIAC được kích mở bằng cách tăng điện áp đặt vào 2 cực.
- Đặc tuyến của DIAC tương tự của TRIAC trong trường hợp $I_G=0$.



7.5.GTO – (Gate turn-off thyristor)

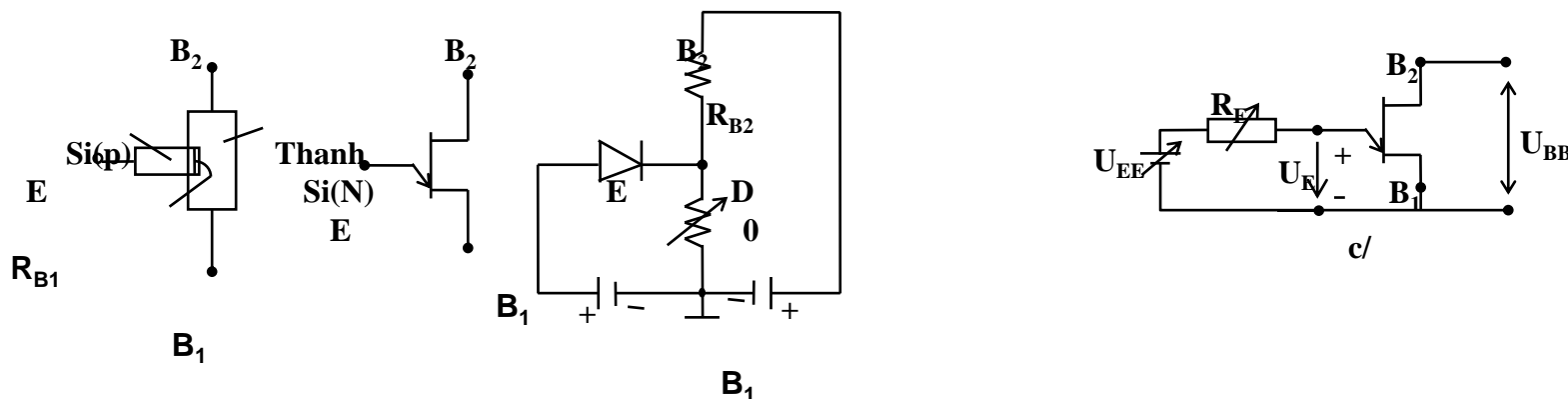
- GTO có cấu tạo tương tự như SCR, cũng có 4 lớp bán dẫn p-n-p-n, nhưng cấu tạo đặc biệt sao cho sơ đồ tương đương với 2 BJT Q1, Q2 có độ khuếch đại dòng β khá nhỏ.
- Vì GTO với cấu tạo 2 BJT có β khá nhỏ nên khi muốn kích cho GTO khóa thì phải tạo ra một điện áp phân cực âm trên G để kéo dòng I_{C2} từ cực cổng ra để làm khóa Q1, và kéo Q2 khóa theo.
- Nguyên tắc này chỉ áp dụng cho GTO mà không áp dụng cho SCR vì SCR được chế tạo với 2 BJT có β rất lớn nên dòng I_G kích mở có giá trị nhỏ nhưng dòng kích để SCR khóa cần I_G ngược khá lớn, điều này khó thực hiện trong mạch điều khiển.
- Đối với GTO để thực hiện được nguyên lý kích khóa người ta chỉ chế tạo các loại GTO công suất trung bình để có dòng I_A và I_G không lớn lắm. $G_{OFF} = I_A / I_{GOFF} \approx 10$



7.6. TRANSISTOR ĐƠN NỐI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)*Cấu tạo của transistor đơn nối.*

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 chân cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Silic loại N có gắn thêm 1 miếng bán dẫn Silic loại P để tạo thành một tiếp xúc P-N.

Chân cực nối với mẫu bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Silic loại N được đưa ra 2 chân cực gọi là Nền 1 (ký hiệu B1) và Nền 2 (ký hiệu B2).



Hình 6- 10: a) Cấu tạo; b) ký hiệu; c) Sơ đồ nguyên lý; d) sơ đồ tương đương của UJT ; e) bố trí chân cực của UJT

7.6. TRANSISTOR ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

Nguyên lý làm việc của UJT.

Trong sơ đồ tương đương, điốt được thay thế cho tiếp xúc P-N; R_{B1} là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R_{B2} là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

Để cho tranzito đơn nối hoạt động, cấp điện áp dương cho B_2 so với B_1 ($U_{BB} > 0$). Như vậy, nếu hở mạch cực phát thì R_{B1} và R_{B2} là bộ phân áp cho nguồn U_{BB} . Do đó, điện áp tại điểm O sẽ là:

$$U_0 = \frac{U_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta U_{BB} \quad \eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \eta \text{ gọi là hệ số thuần khiết}$$

- Nếu $U_E < \eta U_{BB}$ ($U_E < U_0$) thì tiếp xúc P-N (điốt D) được phân cực ngược và qua nó chỉ có dòng điện ngược I_{EO} rất nhỏ. Ta có vùng ngắt của đặc tuyến V-A

- $U_E > \eta U_{BB}$, tiếp xúc P-N được phân cực thuận, dòng I_E tăng dần. Khi $U_E > U_P$ (U_P gọi là điện áp kích khởi cho UJT hoạt động hay gọi là điện áp đỉnh) thì dòng I_E tăng nhanh. Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực phát E xuống Nền 1 (B_1), còn các điện tử chuyển động từ Nền 1 đến phần phát tạo nên dòng điện I_E . Do sự gia tăng ồ ạt của các hạt dẫn trong Nền 1 nên điện trở R_{B1} giảm trong khi dòng điện I_E tăng và điện áp U_E giảm nên ta có vùng điện trở âm của đặc tuyến vôn- ampe.

7.6.TRANSISTOR ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

Đặc tuyến Vôn- Ampe biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát I_E với điện áp trên cực phát U_E . Mỗi quan hệ này được biểu diễn bằng hàm $I_E = f(U_E)$

Nếu cực nền 2 (B_2) hở mạch, nghĩa là dòng $I_{B2}=0$ thì quan hệ V-A lối vào là đặc tuyến V-A của tiếp xúc P-N:

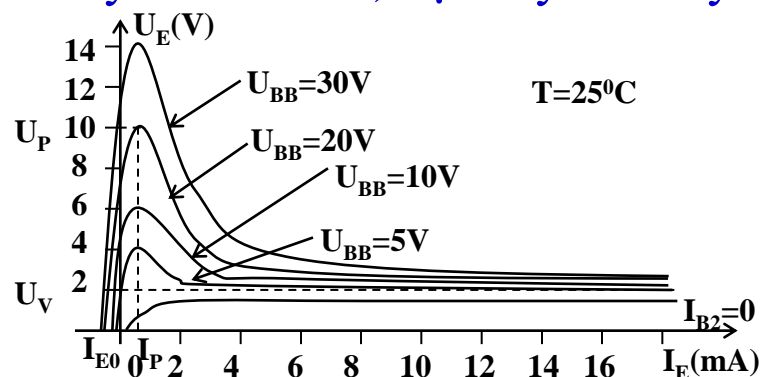
$$I_E = I_{E0} \left(e^{\frac{U_E}{V_T}} - 1 \right) \text{ và ta có đường đặc tuyến ứng với } I_{B2}=0 \text{ trong hình}$$

Qua hình 6-10 ta thấy, khi thay đổi điện áp đặt lên giữa nền 1 và nền 2 (U_{BB}) thì điện áp đỉnh (U_P) cũng thay đổi theo và đưa đặc tuyến dịch lên trên.

Tại vùng điện trở âm, dòng điện chỉ bị giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải bảo đảm để dòng điện $I_E < I_{E_{max}}$

Khi I_E tăng đến I_V , muốn tăng thêm dòng I_E lên nữa ta buộc phải tăng U_E vì số lượng lỗ trống và điện tử đã đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.

Hình 6-11: Đặc tuyến Vôn – Ampe của UJT



CHƯƠNG 8.

CẤU KIỆN QUANG

- 1 Giới thiệu chung**
- 2. Sự tương tác giữa vật chất và ánh sáng**
- 3. Vật liệu quang**
- 4. Các cấu kiện chuyển đổi điện - quang**
 - 4.1 Điốt phát quang (LED)**
 - 4.2 Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD)**
- 5. Các cấu kiện chuyển đổi quang - điện**
 - 4.1 Điện trở quang**
 - 4.2 Điốt quang**
 - 4.3 Transisto quang lưỡng cực**
- 6 Thyristor quang**
- 7. Tế bào quang điện và pin mặt trời**
- 8. Các sensor quang: Cấu kiện CCD, ...**

8.1. Giới thiệu chung

1. Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử.

a. Định nghĩa về kỹ thuật quang điện tử:

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động rất Cao(λ : khoảng 50nm đến khoảng 100 μ m).

Các bức xạ quang được chia ra thành ba vùng là:

- Vùng cực tím có $\lambda = 50\text{nm} \div 380\text{nm}$.
- Vùng ánh sáng nhìn thấy có $\lambda = 380\text{nm} \div 780\text{nm}$.
- Vùng hồng ngoại có $\lambda = 780\text{nm} \div 100\mu\text{m}$.

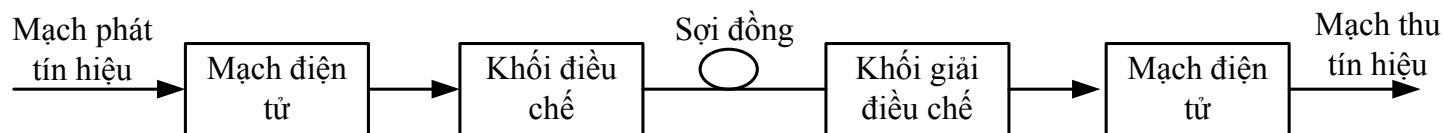
b. Phân loại linh kiện quang điện tử:

- Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.
- *Linh kiện bán dẫn quang điện tử*: là những linh kiện được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điôt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn, v.v..
- *Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử*: như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..

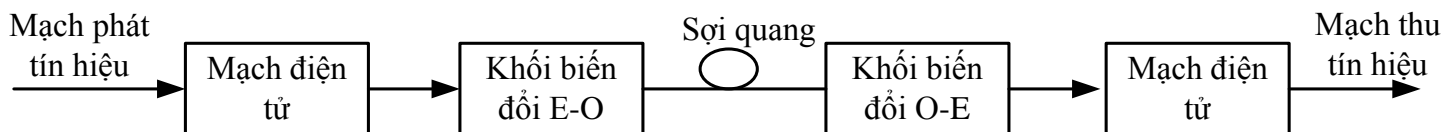
8.1. Giới thiệu chung

2. Hệ thống truyền dẫn quang

Sơ đồ khối của các hệ thống thông tin:



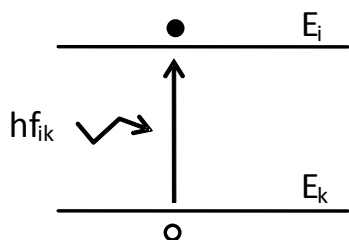
a) Hệ thống thông tin điện



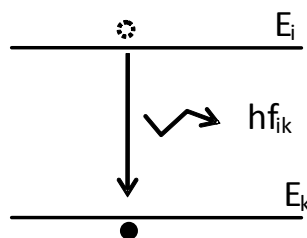
b) Hệ thống thông tin quang

8.2. CÁC CẤU KIẾN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)**8.2.1. Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất**

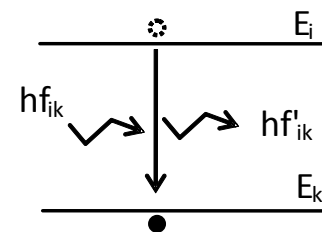
Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình phát xạ tự phát và quá trình phát xạ kích thích (Xem hình 8 2a,b,c).



a) Quá trình hấp thụ



b) Quá trình bức xạ tự phát



c) Quá trình bức xạ kích thích

$$hf = E_i - E_k$$

E_i : Mức năng lượng kích thích

8.2. CÁC CẤU KIẾN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)**- Quá trình hấp thụ:**

Quá trình hấp thụ (hình 8-2a) là quá trình mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản E_k sẽ nhận thêm năng lượng của photon (quang năng) và nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i .

- Quá trình phát xạ tự phát:

Bức xạ tự phát (hình 8-2b) là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát ra photon có năng lượng $h\nu$. Mỗi một phát xạ tự phát ta thu được một photon.

Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình phát xạ tự phát. Phát xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

- Quá trình phát xạ kích thích:

Nếu có một photon có năng lượng $h\nu$ tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích E_i , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng . Photon mới phát xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là phát xạ kích thích (hay phát xạ cảm ứng). Xem hình 8-2c.

8.2. CÁC CẤU KIẾN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)**8.2.2. Vật liệu bán dẫn quang**

- Vật liệu bán dẫn quang chủ yếu là các loại hợp chất bán dẫn 2 thành phần **nhóm III-V và nhóm II-V**, hợp chất bán dẫn 3 và 4 thành phần.
- **Chất bán dẫn 2 thành phần nhóm III-V**: được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng quang điện tử do nó là bán dẫn có vùng cấm trực tiếp (vùng cấm thẳng): Bán dẫn có đáy của vùng dẫn và đỉnh của vùng hóa trị cùng nằm trên một giá trị số sóng (trong không gian động lượng) Loại bán dẫn này có đặc tính quang tốt, điện tử tại gần đáy của vùng dẫn có thể dễ dàng tái hợp trực tiếp với lỗ trống gần đỉnh của vùng hóa trị, năng lượng tái hợp có thể được phát xạ ra photon ánh sáng (hiện tượng tái hợp bức xạ hay bức xạ tự phát).
- + Chất bán dẫn 2 thành phần nhóm II-V được hình thành bởi sự tổ hợp giữa nguyên tố nhóm III như Al, Ga, In với nguyên tố nhóm V như N, P, As, Sb. Có 9 loại hợp chất bán dẫn 2 thành phần phổ biến như sau: AlP, AlAs, AlSb, GaP, (**GaAs, GaSb, NnP, InAs, InSb**) – vùng cấm thẳng).

8.2. CÁC CẤU KIẾN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)

- + **Hợp chất bán dẫn 3 thành phần:** Được hình thành từ 2 nguyên tố của nhóm III với 1 nguyên tố nhóm V hoặc từ 1 nguyên tố nhóm III với 2 nguyên tố của nhóm V: ví dụ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (có tính chất nằm giữa AlAs và GaAs phụ thuộc vào tỉ lệ trộn các thành phần x – tỉ số của các nguyên tử Ga ở trong GaAs đã được thay thế bởi các nguyên tử Al).
- + **Hợp chất bán dẫn 4 thành phần:** Hợp chất được hình thành từ 2 nguyên tố nhóm III với 2 nguyên tố nhóm V, loại bán dẫn này có sự tổ hợp một cách dễ dàng, tốt hơn so với bán dẫn 3 thành phần, vì chúng cung cấp một độ tự do lớn hơn. Ví dụ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$, tỉ lệ trộn các thành phần x, y thay đổi giữa 0 và 1.
- Đồ thị biểu diễn hàng số mạng, năng lượng vùng cấm, tần số cắt của một số loại bán dẫn đơn, hợp chất 2 thành phần, 3 thành phần và 4 thành phần như trang bên:
- (Với bán dẫn có độ rộng vùng cấm là E_G thì tần số cắt (hoặc bước sóng cắt) là: $\lambda_c = hc/E_G$, trong đó c là vận tốc ánh sáng).

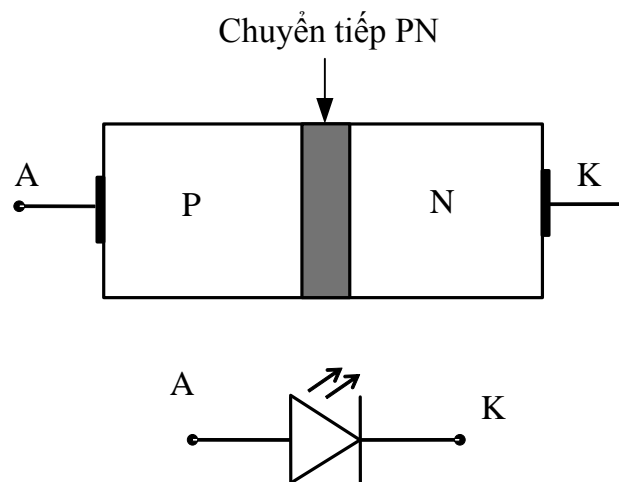
8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

- Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử. Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N.
- Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

Trong mục này ta sẽ trình bày trước hết về LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị. LED chỉ thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chỉ thị rất rõ khi trời tối. Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.

8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

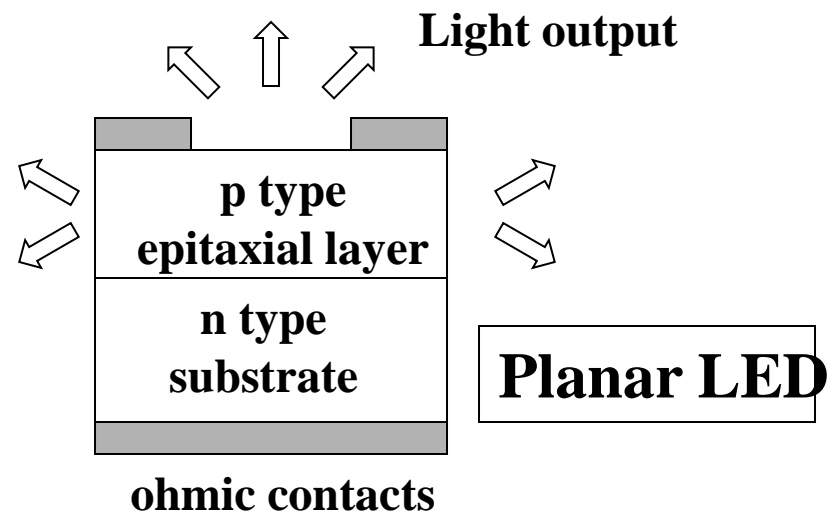
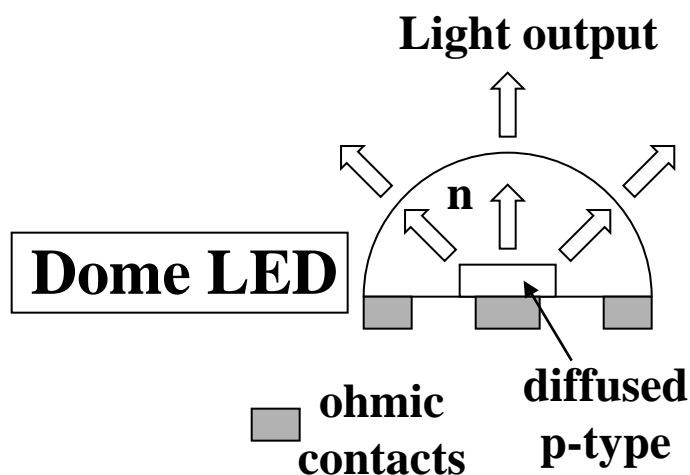
a. Cấu tạo và ký hiệu của LED:



Vật liệu chế tạo điốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP v.v.. Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

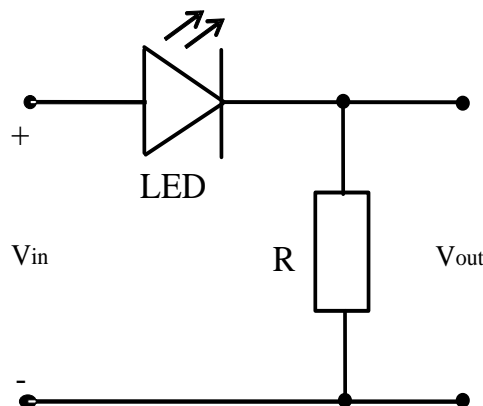
Các cấu trúc của LED:



- LED vòm và LED phẳng được sử dụng trong phần lớn các thiết bị hiển thị với lợi ích là rút được lượng ánh sáng cực đại từ thiết bị đó => ánh sáng được phát ra theo tất cả các hướng và sử dụng các ống kính được sắp xếp theo trật tự nhất định để hội tụ ánh sáng.
- Burrus LED và LED phát xạ cạnh chủ yếu được dùng trong các hệ thống thông tin sợi quang

8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

b. Nguyên lý làm việc:



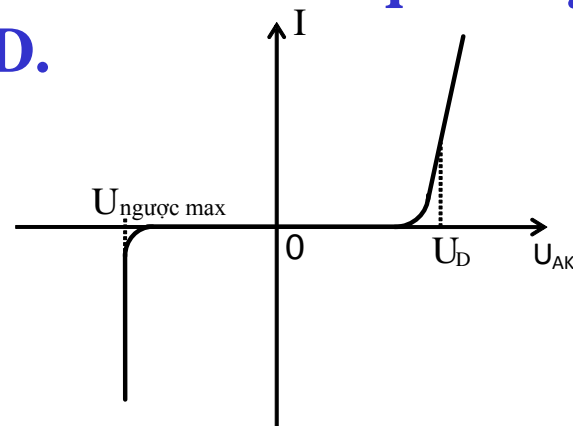
- Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh.
- Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn.
- Cường độ dòng điện của điốt tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua điốt

8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

- Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau.
- Tuy nhiên LED có điện áp phân cực thuận tương đối cao ($1,6 \text{ v} \div 3 \text{ v}$) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp ($3 \text{ v} \div 5 \text{ v}$)

Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED:

Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt phát quang biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện quang với điện áp đặt lên LED.

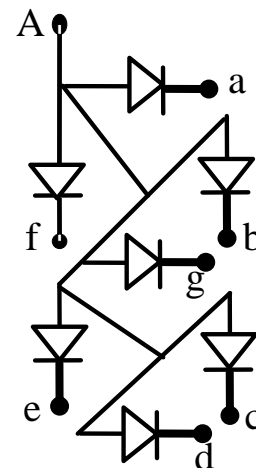
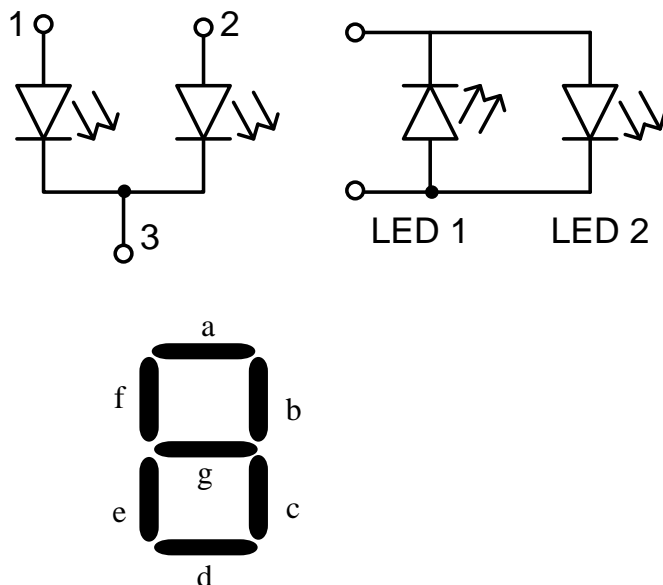


8.2.3. Điốt phát quang (LED) chỉ thị

Một số loại LED chỉ thị:

LED đơn: linh kiện một LED.

LED đôi: dùng cho những ứng dụng đặc biệt



a) Cấu trúc của LED 7 đoạn

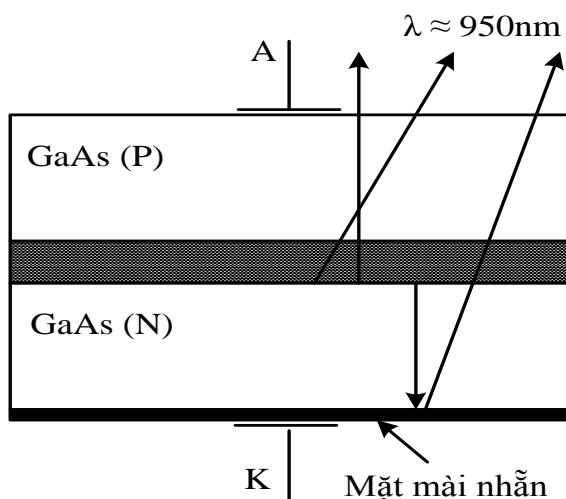
a) Cấu trúc của LED 7 đoạn A chung

8.2.4. LED hồng ngoại

Các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục μW thì các điốt phát quang bán dẫn thường là các nguồn sáng tốt nhất.

Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43 \text{ eV}$ tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

Hình 8- 8 mô tả cấu trúc của một LED hồng ngoại bức xạ ánh sáng 950nm.



-Do đặc điểm cấu tạo đặc biệt nên LED hồng ngoại tạo ra ánh sáng nằm trong vùng hồng ngoại. Ngoài ra, những tia có hướng đi vào trong lớp bán dẫn sẽ gặp gương phản chiếu và bị phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng một hướng. Việc này sẽ tăng hiệu suất một cách đáng kể cho LED.

Tia hồng ngoại có khả năng xuyên qua chất bán dẫn tốt hơn so với ánh sáng nhìn thấy nên hiệu suất phát của LED hồng ngoại cao hơn rất nhiều so với LED phát ánh sáng màu.

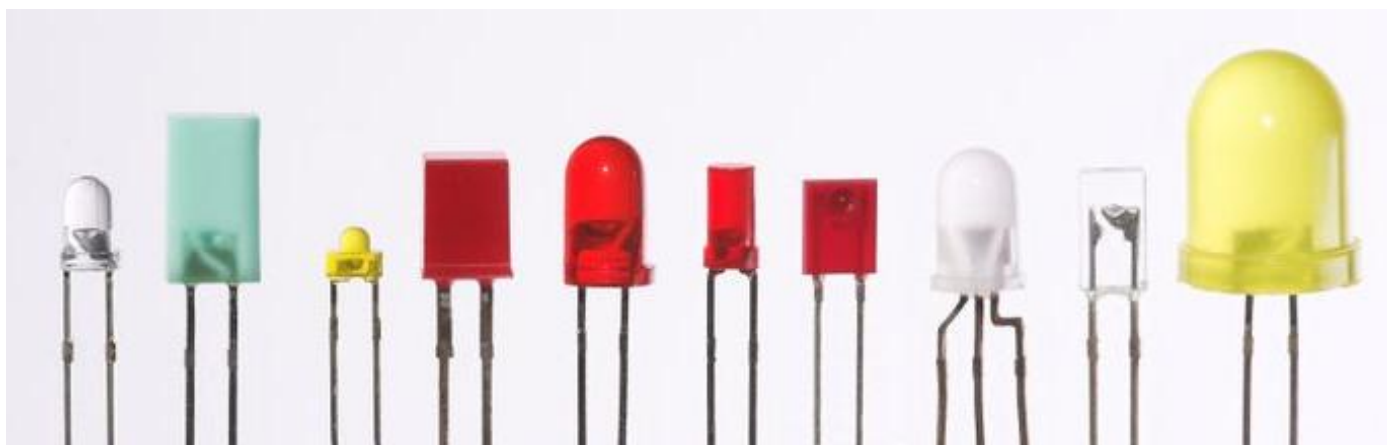
8.2.4. LED hồng ngoại

Nguyên lý làm việc:

Khi phân cực thuận cho điôt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu (mặt mài nhẵn) sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

Trong kỹ thuật thông tin và tự động hóa ánh sáng hồng ngoại gần được sử dụng rất rộng rãi. Lượng thông tin được truyền đi với sóng hồng ngoại lớn gấp nhiều lần so với sóng điện từ mà người ta thường dùng.

Một số hình ảnh của LED

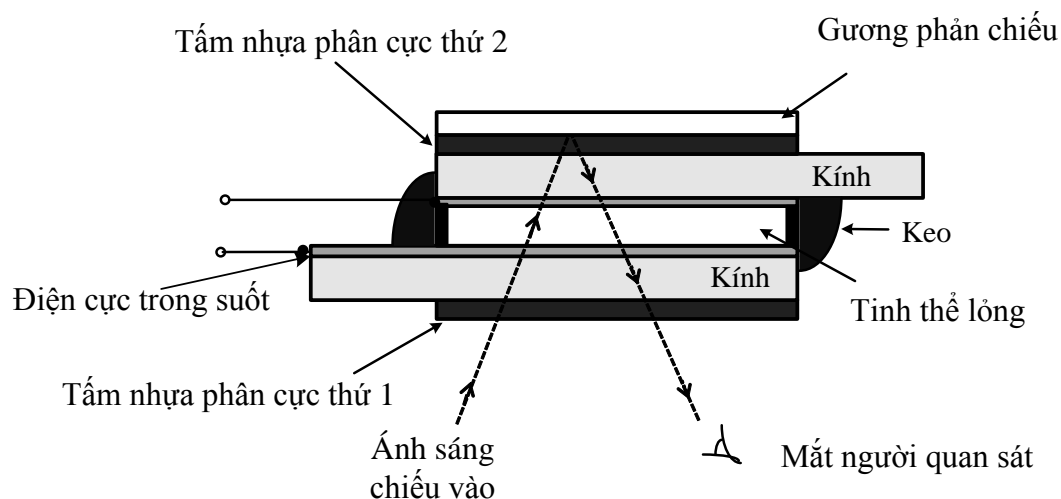


8.2.5. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display)

- ❖ Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ đặc biệt. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.
- ❖ Ở nhiệt độ thấp LCD ở trạng thái rắn, khi t^0 tăng lên đến nhiệt độ nóng chảy thì LCD chuyển sang trạng thái lỏng. Pha trung gian giữa hai trạng thái này là trạng thái tinh thể lỏng
- ❖ Mặt chỉ thị tinh thể lỏng- LCD- không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chấm- ma trận. LCD là cấu kiện thụ động, nó không phát sáng nên càng dễ đọc nếu xung quanh càng sáng
- ❖ LCD: dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính con, các thiết bị đo số, đồ chơi trẻ em, màn hình ti vi.

8.2.5. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display)**Cấu tạo của thanh LCD:**

- Gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng $10\mu\text{m}$. Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực.
- Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại.
- Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



8.2.5. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display)

Nguyên lý làm việc:

Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc, có nghĩa là không có điện áp đặt lên một điểm ảnh con thì phần tinh thể lỏng tại đó không bị tác động gì cả, ánh sáng sau khi truyền qua chỗ ấy vẫn giữ nguyên phương phân cực, và cuối cùng bị chặn lại hoàn toàn bởi kính lọc phân cực thứ hai. Điểm ảnh con này bị tắt và đối với mắt người quan sát thì đây là một điểm tối. Mặt chỉ thị trong suốt.

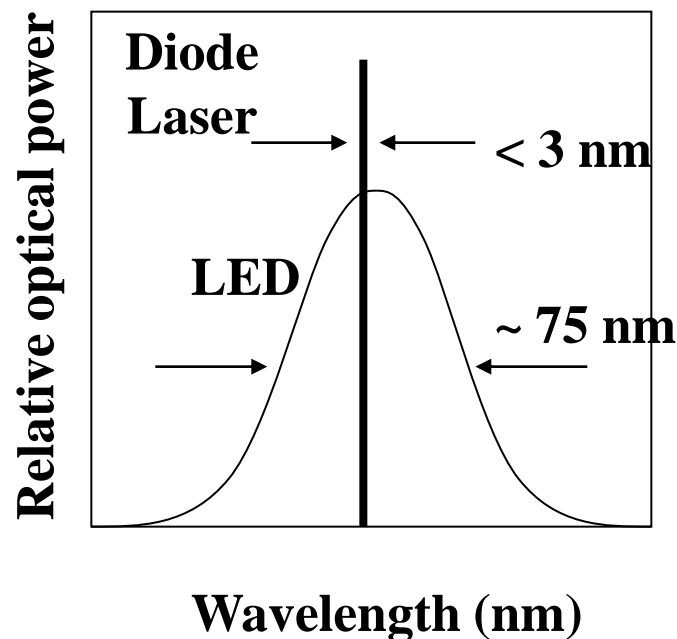
Khi có điện áp cung cấp cho thanh LCD nó làm thay đổi sự định hướng của các phân tử tinh thể lỏng tại đó và kết quả là ánh sáng sau khi truyền qua phần tinh thể lỏng ở chỗ điểm ảnh con này sẽ bị xoay phương phân cực đi, có thể lọt qua lớp kính lọc phân cực thứ hai, tạo ra một điểm màu trên tấm kính trước.

8.2.6. Laser bán dẫn

• Laser = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

• Đặc điểm:

- Phổ phát sáng hẹp
- Kích thước nhỏ
- Độ ổn định cao
- Có bước sóng ánh sáng trong các cửa sổ quang 1, 2, 3
- Điều chế trực tiếp có thể lên đến vài Gb/s
- Bán kính bức xạ nhỏ (ghép với sợi quang)

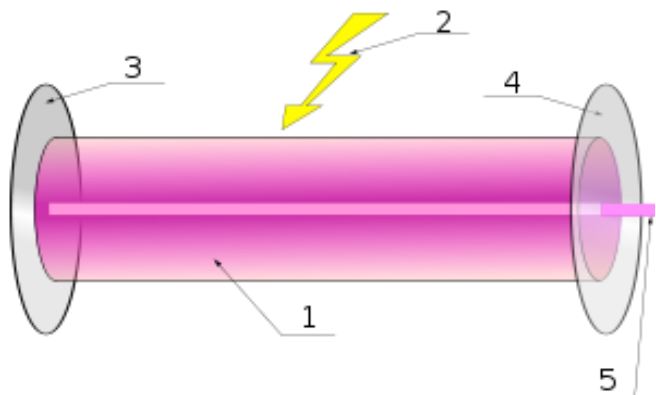


Hình 9-10

8.2.6. Laser bán dẫn***Định nghĩa về LASER:***

Như đã biết, LED có một lớp chuyển tiếp PN được chế tạo trên bán dẫn có vùng cấm thẳng với cấu trúc PN đơn hay dị thể. Nếu đặt điện áp thuận vào điốt đủ lớn thì số điện tử và lỗ trống trong miền chuyển tiếp có thể đạt nhiều đến mức tạo ra sự đảo lộn mật độ. Khi có photon tới với bức xạ kích thích mạnh hơn bức xạ hấp thụ thì linh kiện sẽ phát ra ánh sáng kết hợp. Lúc này điốt có lớp chuyển tiếp PN hoạt động như một khuếch đại laser.

Khuếch đại laser có thêm liên kết phản hồi quang được gọi là điốt laser.

8.2.6. Laser bán dẫn***Cấu trúc của điôt LASER***

- 1) Buồng cộng hưởng (vùng bị kích thích)
- 2) Nguồn nuôi (năng lượng bơm vào vùng bị kích thích)
- 3) gương phản xạ toàn phần
- 4) gương bán mạ
- 5) tia laser

Buồng cộng hưởng chứa hoạt chất laser, đó là một chất đặc biệt có khả năng khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ cưỡng bức để tạo ra laser. Khi 1 photon tới va chạm vào hoạt chất này thì kéo theo đó là 1 photon khác bật ra bay theo cùng hướng với photon tới. Mặt khác, buồng cộng hưởng có 2 mặt chắn ở hai đầu, một mặt phản xạ toàn phần các photon khi bay tới, mặt kia cho một phần photon qua một phần phản xạ lại làm cho các hạt photon va chạm liên tục vào hoạt chất laser nhiều lần tạo mật độ photon lớn. Vì thế cường độ chùm laser được khuếch đại lên nhiều lần. Tính chất của laser phụ thuộc vào hoạt chất đó, do đó người ta căn cứ vào hoạt chất để phân loại laser.

8.2.6. Laser bán dẫn

Hoạt động của diôt LASER

Cấp nguồn cho LD hoạt động phân cực thuận. Dưới sự tác động của hiệu điện thế cao, các electron di chuyển từ mức năng lượng thấp lên mức năng lượng cao tạo nên trạng thái đảo lộn mật độ của electron.

Ở mức năng lượng cao, một số electron sẽ rơi ngẫu nhiên xuống mức năng lượng thấp, giải phóng hạt ánh sáng được gọi là photon.

Các hạt photon này sẽ toả ra nhiều hướng khác nhau từ một nguyên tử, va phải các nguyên tử khác, kích thích electron ở các nguyên tử này rơi xuống tiếp, sinh thêm các photon cùng tần số, cùng pha và cùng hướng bay, tạo nên một phản ứng dây chuyền khuếch đại dòng ánh sáng.

Các hạt photon bị phản xạ qua lại nhiều lần trong vật liệu, nhờ các gương để tăng hiệu suất khuếch đại ánh sáng.

Một số photon ra ngoài nhờ có gương bán mạ tại một đầu của vật liệu. Tia sáng đi ra chính là tia laser.

8.2.6. Laser bán dẫn

Phân loại

+ Laser chất rắn

Có khoảng 200 chất rắn có khả năng dùng làm môi trường hoạt chất laser. Một số loại laser chất rắn thông dụng:

YAG-Neodym: hoạt chất là Yttrium Aluminium Garnet (YAG) cộng thêm 2-5% Neodym, có bước sóng 1060nm thuộc phổ hồng ngoại gần. Có thể phát liên tục tới 100W hoặc phát xung với tần số 1000-10000Hz.

Hồng ngọc (Rubi): hoạt chất là tinh thể Aluminium có gắn những ion chrom, có bước sóng 694,3nm thuộc vùng đỏ của ánh sáng trắng.

Bán dẫn: loại thông dụng nhất là diot Gallium Arsen có bước sóng 890nm thuộc phổ hồng ngoại gần.

+ Laser chất khí

He-Ne: hoạt chất là khí Heli và Neon, có bước sóng 632,8nm thuộc phổ ánh sáng đỏ trong vùng nhìn thấy, công suất nhỏ từ một đến vài chục mW.

Argon: hoạt chất là khí argon, bước sóng 488 và 514,5nm.

CO₂: bước sóng 10.600nm thuộc phổ hồng ngoại xa, công suất phát xạ có thể tới megawatt (MW). Trong y học ứng dụng làm dao mổ.

+ LASER chất lỏng

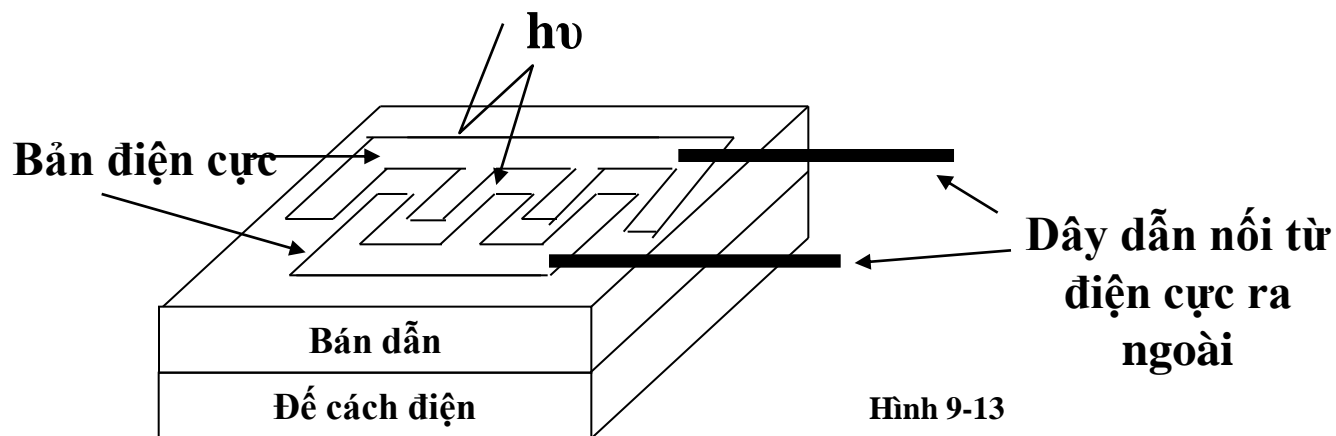
Môi trường hoạt chất là chất lỏng, thông dụng nhất là laser màu.

8.3. CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN

- Các bộ thu quang điện hoạt động dựa trên nguyên lý hiệu ứng chuyển đổi quang điện. Ở đó sự hấp thụ photon bởi vật liệu bán dẫn đã tạo ra các cặp điện tử-lỗ trống -> tạo ra tín hiệu quang điện dưới dạng dòng điện hay điện thế có thể đo được.
- Thiết bị quan trọng nhất là điốt quang bán dẫn (photodiode)
- Yêu cầu:
 - Độ nhạy cao
 - Nhiều trong nhỏ
 - Băng thông rộng

8.3.1. Quang trở (LDR-Light Dependent Resistor)**Cấu tạo- nguyên lý:**

- Là bộ thu tín hiệu quang đơn giản nhất. Quang trở thường được làm bằng chất Sunfit Cadimium (CdS), Selenid Cadimium (CdSe), Sunfit chì (PbS)... trong đó loại quang trở CdS có độ nhạy phổ gần với mắt người nên thông dụng nhất.
- Quang trở được chế tạo bằng cách tạo một màn bán dẫn trên nền cách điện nổi ra 2 đầu kim loại rồi đặt trong một vỏ nhựa, mặt trên có lớp thủy tinh trong suốt để nhận ánh sáng bên ngoài tác động vào.



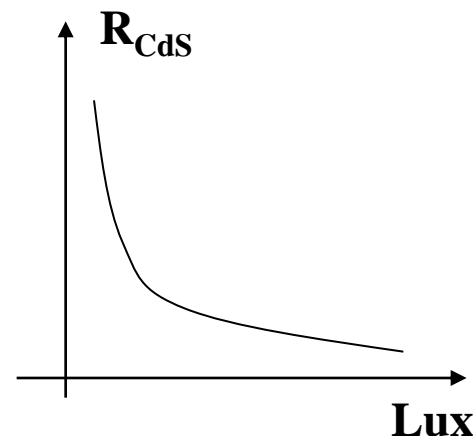
- Khi ánh sáng chiếu vào bề mặt quang trở, các cặp e-lỗ trống được sinh ra và được điện trường cuốn ra phía các điện cực. Phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng chiếu vào, dòng điện bên ngoài cũng thay đổi theo.

8.3.1. Quang trở (LDR-Light Dependent Resistor)

- Trị số điện trở của quang trở thay đổi theo độ sáng chiếu vào nó. Khi bị che tối thì quang trở có trị số điện trở rất lớn (vài $M\Omega$), khi được chiếu sáng thì điện trở giảm nhỏ (vài chục Ω ÷ vài trăm Ω).
- Ưu điểm của quang trở: có khuếch đại trong, nghĩa là dòng quang điện thu được có số điện tử (hay lỗ trống) lớn hơn số điện tử (hay lỗ trống) do photon tạo ra



Hình 9.14. Ký hiệu của quang trở



Hình 9.15. Đặc tính của quang trở

Ứng dụng: dùng trong các mạch thu tín hiệu quang, trong báo động, đóng ngắt các mạch điện, trong đo đạc, điều khiển và tự động hoá.

8.3.2. Điốt quang

Điốt thu quang có vai trò rất quan trọng trong hệ thống thông tin quang. Ở chế độ phân cực ngược nó dùng để thu tín hiệu quang. Ở chế độ này, điốt thu quang là linh kiện tiêu thụ năng lượng. Khi không phân cực, điốt quang làm việc ở chế độ pin quang điện, nó có thể biến năng lượng ánh sáng thành năng lượng điện. Ở chế độ này, điốt thu quang là linh kiện phát ra năng lượng.

Tuỳ theo chức năng và cấu trúc có thể chia điốt quang thành nhiều loại như sau:

Điốt quang loại chuyển tiếp P-N.

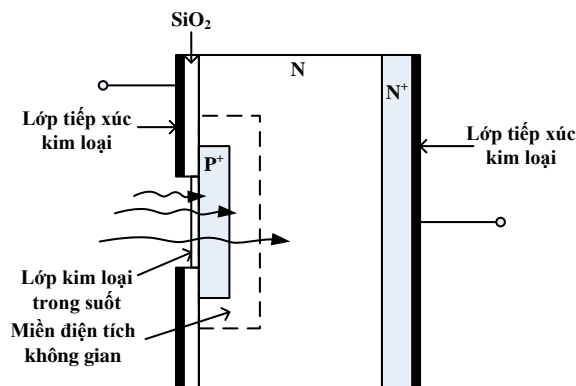
Điốt quang loại PIN.

Điốt quang thác (APD).

Một số đặc điểm của điốt quang là rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.

Điốt quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.

8.3.2.1. Điốt quang dùng chuyển tiếp PN

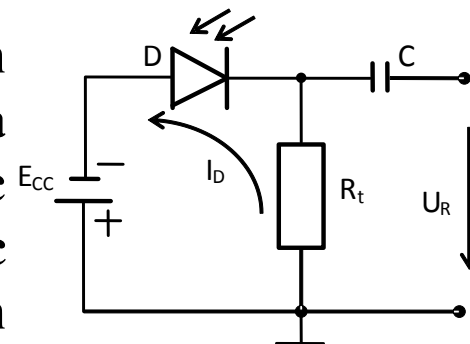


Điốt quang được cấu tạo giống như cấu trúc điốt P-N thông thường, nhưng khác là: lớp bán dẫn tạo ra bởi khuếch tán gần bề mặt có chiều dày cỡ $1\mu\text{m}$ đối với Si và có nồng độ pha tạp không quá cao để ánh sáng có thể xuyên sâu vào trong lòng chất bán dẫn (xuyên qua chuyển tiếp PN). Ngoài ra, điốt quang còn có một cửa sổ để chiếu ánh sáng vào. Hai chân anôt A và catôt K là kim loại được nối tới các phần bán dẫn. (Xem hình 8-18). Điốt quang luôn hoạt động ở chế độ phân cực ngược .

8.3.2.1. Điốt quang dùng chuyển tiếp PN

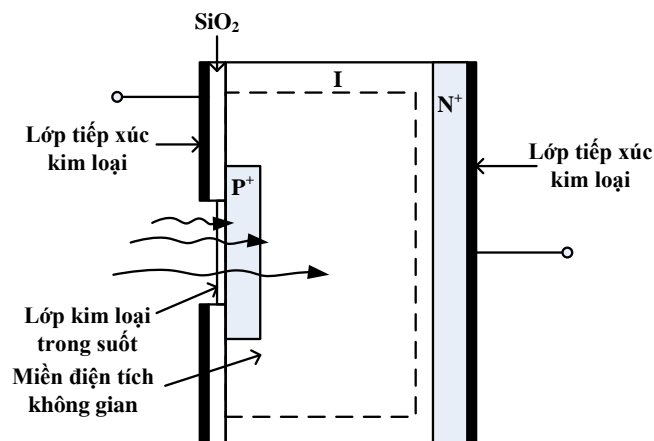
Nguyên lý làm việc:

Như trong sơ đồ hình 8-20, điốt quang được cấp nguồn E_{CC} sao cho chuyển tiếp P-N phân cực ngược để tạo ra một điện trường dịch chuyển các hạt dẫn thiểu số sẽ được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng. Do đó, khi chưa có tác dụng ánh sáng thì trong điốt thu quang chỉ có dòng điện ngược (dòng điện tối hay dòng rò) rất nhỏ.



Khi được chiếu sáng các photon tới được hấp thụ trong ba miền khác nhau của điốt quang sẽ hình thành các cặp điện tử và lỗ trống bằng kích thích quang học trong vùng này sẽ tạo thành dòng quang điện trong điốt quang. Dưới tác dụng của điện trường tại vùng này, các điện tử và lỗ trống sinh ra trong miền điện tích không gian bị quét ngay lập tức về phía miền P^+ và miền N. Các cặp điện tử và lỗ trống sinh ra trong vùng trung hòa (vùng P^+ và vùng N) sẽ tự khuếch tán và một số hạt sẽ bị tái hợp trong vùng này. Đối với một số hạt dẫn có thể khuếch tán đến biên giới của miền điện tích không gian thì chúng cũng bị điện trường của miền này quét đi. Các hạt quang tải điện khuếch tán này tạo thành dòng quang điện khuếch tán J_{ndiff} và J_{pdiff} .

8.3.2.2. PIN Diode (Photodiode có lớp bán dẫn thuần)



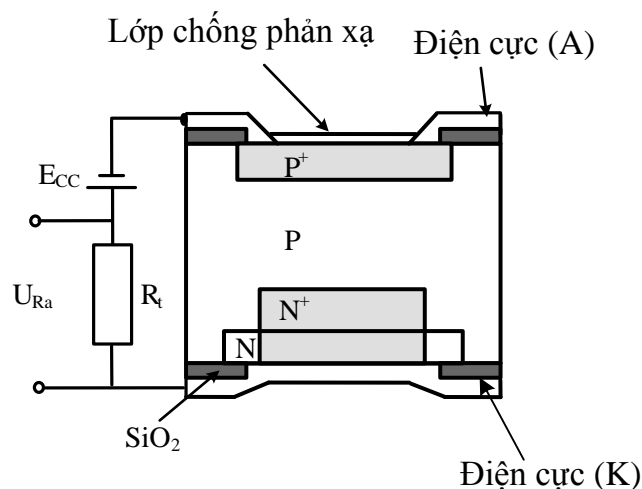
- Điốt PIN bao gồm lớp P, lớp I và lớp N. Lớp I là lớp bán dẫn thuần có điện trở rất cao để khi Điốt PIN được phân cực ngược, lớp nghèo có thể lan ra rất rộng trong lớp I để hướng phần lớn các photon rơi và hấp thụ trong đó.
- Trong lớp I có điện trường cuốn rất cao để cuốn hạt tải nhanh chóng về 2 cực tạo nên dòng quang điện ở mạch ngoài.

Nguyên lý hoạt động:

Nguyên lý hoạt động của điốt quang PIN tương tự như nguyên lý hoạt động của điốt quang PN

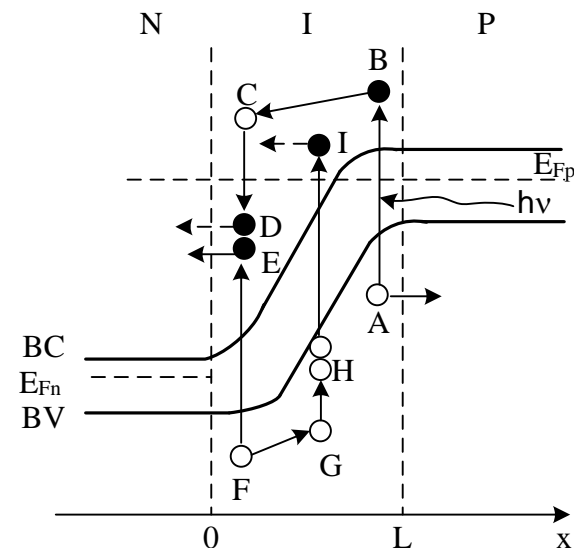
8.3.2.3. APD

Cấu tạo của APD cơ bản giống như điốt quang loại P-I-N. Lớp bán dẫn nguyên tính I trong điốt P-I-N được thay bằng một lớp bán dẫn P có nồng độ tạp chất thấp nằm giữa hai lớp bán dẫn có nồng độ tạp chất cao P^+ và N^+ . Như vậy, miền bán dẫn P tạo thành miền trôi và là nơi sinh ra các cặp điện tử- lỗ trống.



8.3.2.3. APD**Cơ chế nhân điện trong bộ chuyển tiếp PN**

Một photon hấp thụ tại điểm A tạo ra một cặp điện tử- lỗ trống bằng chuyển dịch điện tử $A \rightarrow B$ (điện tử B ở trong vùng dẫn, lỗ trống A ở trong vùng hóa trị). Hai hạt quang tải này được đặt trong một điện trường rất mạnh nên chúng lập tức được gia tốc. Với sự gia tốc này điểm B thu được một động năng lớn, do đó, năng lượng toàn phần của điện tử này lớn hơn năng lượng ở đáy của dải dẫn.

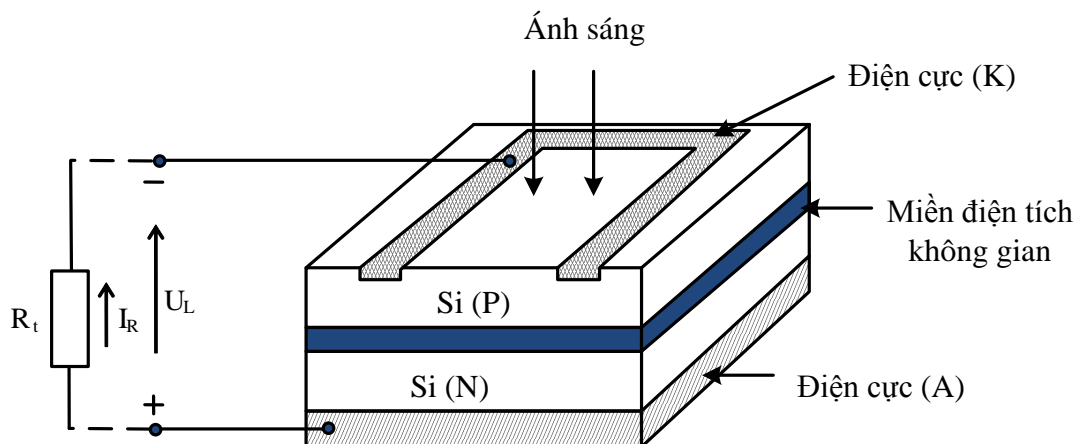


Trong quá trình di chuyển điện tử này bị va chạm ngẫu nhiên với mạng tinh thể, ví dụ điểm C. Ở điểm này, điện tử chia bớt một phần năng lượng cho mạng tinh thể, năng lượng chuyển giao này lớn hơn độ rộng vùng cấm và đủ sức để ion hóa nguyên tử, tạo nên chuyển dịch điện tử $F \rightarrow E$. Một cặp điện tử và lỗ trống thứ cấp được sinh ra, và đến lượt chúng bị gia tốc bởi điện trường, đồng thời với điện tử sơ cấp.

Điện tử sơ cấp này sau khi chuyển giao bớt năng lượng tại điểm C, ‘rơi’ xuống điểm D và tiếp tục được gia tốc trên lộ trình mới. Lỗ trống sinh ra ở điểm F được gia tốc theo chiều ngược lại và lại va chạm với mạng tinh thể ở điểm G tạo nên chuyển dịch điện tử $H \rightarrow I$ và lại sinh ra cặp điện tử và lỗ trống mới. Lần nữa, cặp hạt tải điện này lại được gia tốc dưới điện trường và tham gia vào quá trình ion hóa các nguyên tử bằng va chạm.

8.3.3. Tế bào quang điện

Pin năng lượng mặt trời (hay pin quang điện, tế bào quang điện), là thiết bị bán dẫn chứa lượng lớn các điôt PN, chuyển đổi ánh sáng mặt trời thành dòng điện. Sự chuyển đổi này gọi là hiệu ứng quang điện.



Hình 8-25. Cấu tạo của một tế bào quang điện

Cấu tạo:

Tế bào quang điện thường được chế tạo từ các vật liệu: Ge, Si, CdS, ZnS,... Cấu tạo của tế bào quang điện gồm phần nhạy quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho tín hiệu quang chiếu vào. Phía đối diện với lớp bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P. Tất cả được bọc trong vỏ bảo vệ với 2 điện cực dẫn ra ngoài.

8.3.3. Tế bào quang điện

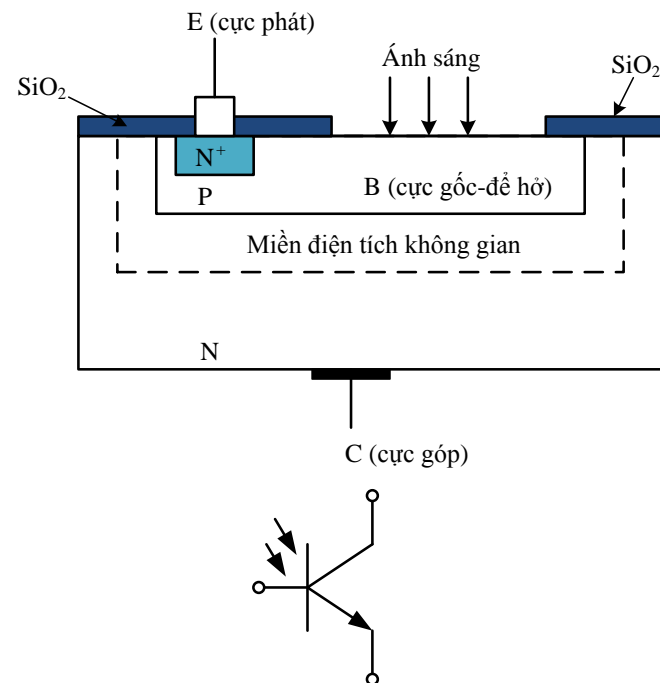
Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hóa sẽ sinh ra từng đôi điện tử - lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường trong miền chuyển tiếp PN, các lỗ trống sẽ di chuyển từ phần bán dẫn N sang bán dẫn P, còn các điện tử thì chuyển động về bề mặt của lớp bán dẫn N và làm xuất hiện ở hai đầu cực hiệu điện thế có hướng điện trường từ bán dẫn P sang bán dẫn N (E_F) và ngược chiều với chiều của điện trường tiếp xúc. Do đó, điện trường tiếp xúc giảm, hàng rào thế năng của tiếp xúc P-N giảm, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Hiện tượng này tiếp tục đến một trị số E_F nào đó mà trị số dòng điện do các lỗ trống chuyển động trôi và chuyển động khuếch tán bằng nhau, thì trạng thái cân bằng động trong tiếp xúc P-N được xác lập hiệu điện thế U_F ở hai đầu cực điện ổn định. Như vậy, tế bào quang điện đã chuyển năng lượng ánh sáng sang năng lượng điện.

5.3.4. Transistor quang

Về mặt cấu tạo, transistor quang cũng giống như transistor thường nhưng cực base để hở (hình 8-26). Transistor quang có một thấu kính trong suốt để tập trung ánh sáng vào nối P-N giữa collector và base.

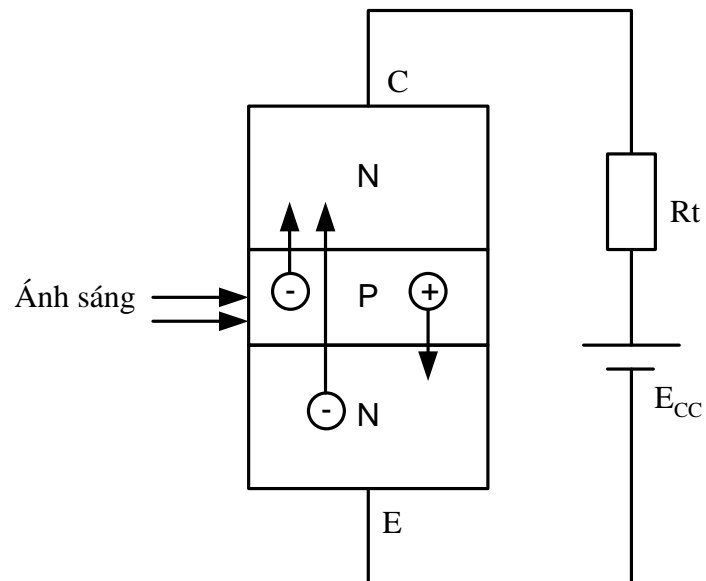
Khi cực base để hở, chuyển tiếp góc – phát được phân cực thuận (T_E) và chuyển tiếp góp – gốc (T_C) phân cực ngược nên transistor làm việc ở vùng tích cực.

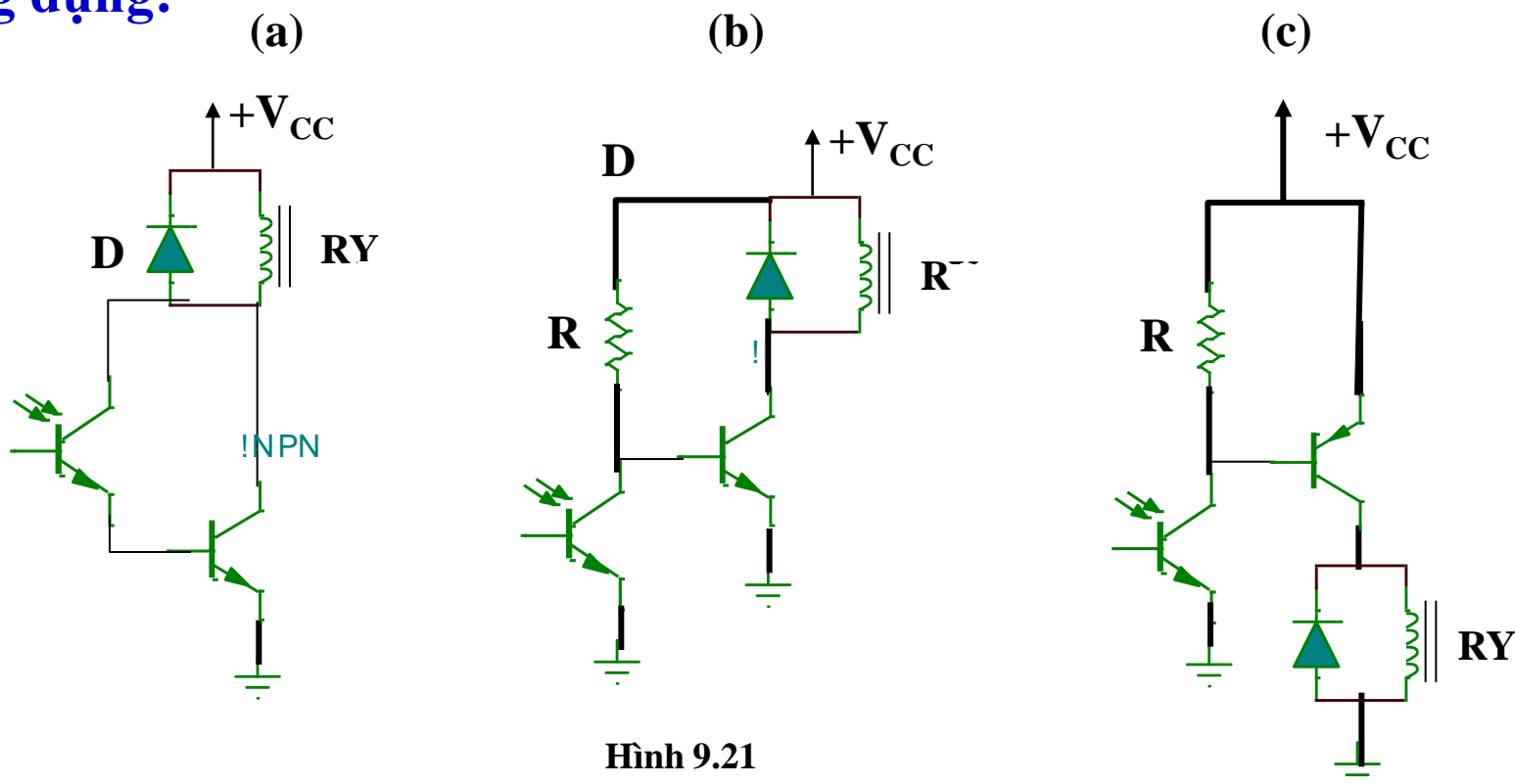
Transistor quang có 2 loại là P-N-P và N-P-N. Cực phát E là bán dẫn loại N^+ có nồng độ tạp chất cao, cực gốc B là bán dẫn loại P, và cực góp C là bán dẫn loại N có nồng độ tạp chất thấp. Cực gốc là bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ.



5.3.4. Transistor quang

- Khi Transistor quang ở chế độ hoạt động thì tiếp giáp BC được phân cực ngược còn tiếp giáp BE phân cực thuận
- Khi ánh sáng chiếu vào Transistor quang, các hạt tải được sinh ra và được khuếch tán tới tiếp giáp BC, tiếp giáp này sẽ tách điện tử và lỗ trống để góp phần tạo nên dòng quang điện.
- Tiếp giáp BC có vai trò như một điốt quang, các hạt tải từ phía tiếp giáp thuận BE được tiêm thích vào cực gốc B. Dòng quang điện trong miền B (dòng rò I_{CB}) sẽ trở thành dòng I_B và được khuếch đại lên $(\beta+1)$ lần ở collector.



5.3.4. Transistor quang**Ứng dụng:****Hình 9.21**

Mạch điện a) dùng transistor quang lắp Darlington với transistor công suất để điều khiển rơle RY. Khi được chiếu sáng transistor quang dẫn làm transistor công suất dẫn cấp điện cho rơle.

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

Mục đích: dùng để cách ly giữa các mạch có sự khác biệt lớn về điện áp.

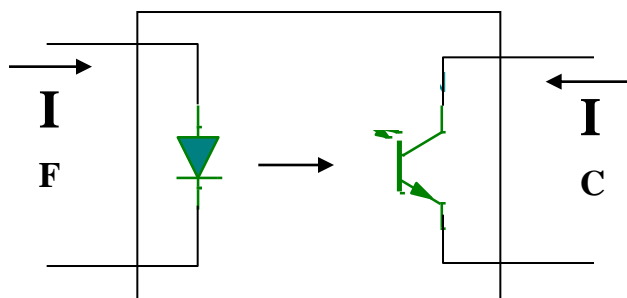
VD: mạch tự động điều khiển công suất có điện áp cao ($U = 200V \div 380V, 660V$ hay $1000V$); mạch điều khiển thường có điện áp thấp như các mạch logic, máy tính hay các hệ thống phải tiếp xúc với con người.

Cấu tạo:

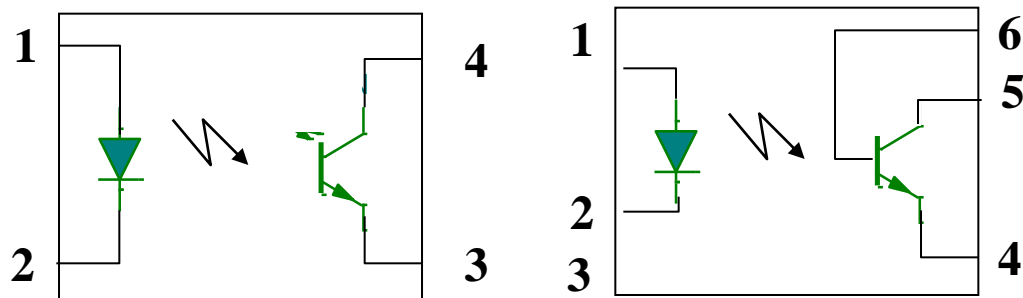
Bộ ghép quang gồm 2 thành phần gọi là sơ cấp và thứ cấp. Phần sơ cấp là một điốt loại GaAs phát ra tia hồng ngoại, phần thứ cấp là một Transistor quang loại Silic. Khi được phân cực thuận, điốt phát ra bức xạ hồng ngoại chiếu lên trên mạch của Transistor quang.

Nguyên lý: Phần sơ cấp là LED hồng ngoại biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu ánh sáng. Tín hiệu ánh sáng này sẽ được phần thứ cấp (Transistor quang) biến đổi lại thành tín hiệu điện

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)



Hình 9.22 Nguyên lý



Hình 9.23. Bộ ghép quang transistor

Đặc điểm:

- Điện áp cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp (vài trăm vôn ÷ hàng ngàn vôn)
- Bộ ghép quang có thể làm việc với I_{DC} hoặc I_{AC} có tần số cao
- Điện trở cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp có trị số rất lớn (vài chục $M\Omega$ ÷ vài trăm $M\Omega$) đối với I_{DC}
- Hệ số truyền đạt dòng điện (I_C/I_F): vài chục % ÷ vài trăm % tùy loại bộ ghép quang

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

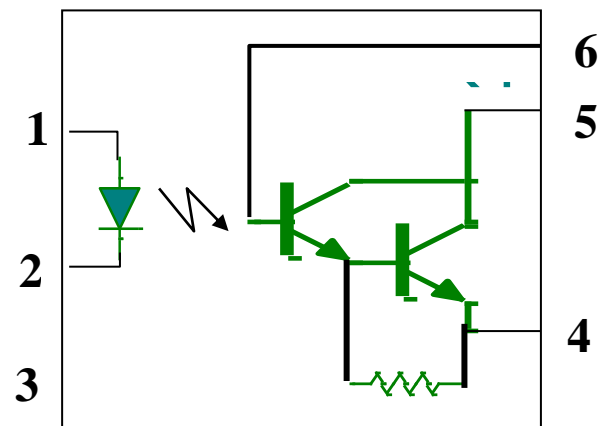
Các loại bộ ghép quang:

a) Bộ ghép quang Transistor:

Phần thứ cấp: Transistor loại Si. Đối với bộ ghép quang transistor có 4 chân thì transistor không có cực B, trường hợp bộ ghép quang transistor có 6 chân thì cực B được nối ra ngoài (hvẽ). Bộ ghép quang không có cực B có ưu điểm là hệ số truyền đạt lớn, nhưng có nhược điểm là độ ổn định nhiệt kém. Nếu nối giữa cực B và E một điện trở thì các bộ ghép quang transistor này làm việc khá ổn định với nhiệt độ nhưng hệ số truyền đạt bị giảm đi.

b) Transistor quang Darlington:

có nguyên lý như bộ ghép quang với quang transistor nhưng với hệ số truyền đạt lớn hơn vài trăm lần nhờ tính chất khuếch đại của mạch Darlington. Nhược điểm: ảnh hưởng bởi nhiệt độ rất lớn nên giữa chân B và E của transistor sau thường có điện trở để ổn định nhiệt.

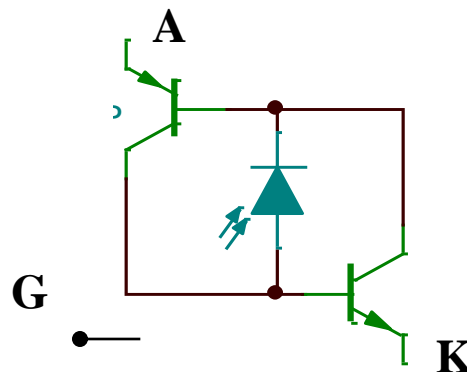
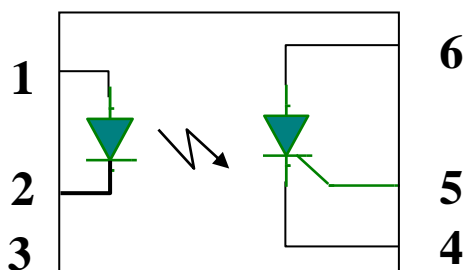


Hình 9.24 Transistor quang Darlington

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

c) Bộ ghép quang với quang Thyristor:

- Gồm một điốt quang và 2 transistor lắp theo nguyên lý của SCR.
- Khi có ánh sáng hồng ngoại do LED ở sơ cấp chiếu vào điốt quang thì sẽ có dòng điện I_B cấp cho transistor NPN và khi transistor NPN dẫn thì sẽ điều khiển transistor PNP dẫn điện. Như vậy thyristor quang đã được dẫn điện và sẽ duy trì trạng thái dẫn mà không cần kích liên tục ở sơ cấp.
- Để tăng khả năng chống nhiễu người ta nối giữa chân G và K bằng một điện trở từ vài $K\Omega$ ÷ vài chục $K\Omega$



Hình 9.25 Ký hiệu và cấu trúc bán dẫn tương đương của Thyristor quang

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

Ứng dụng:

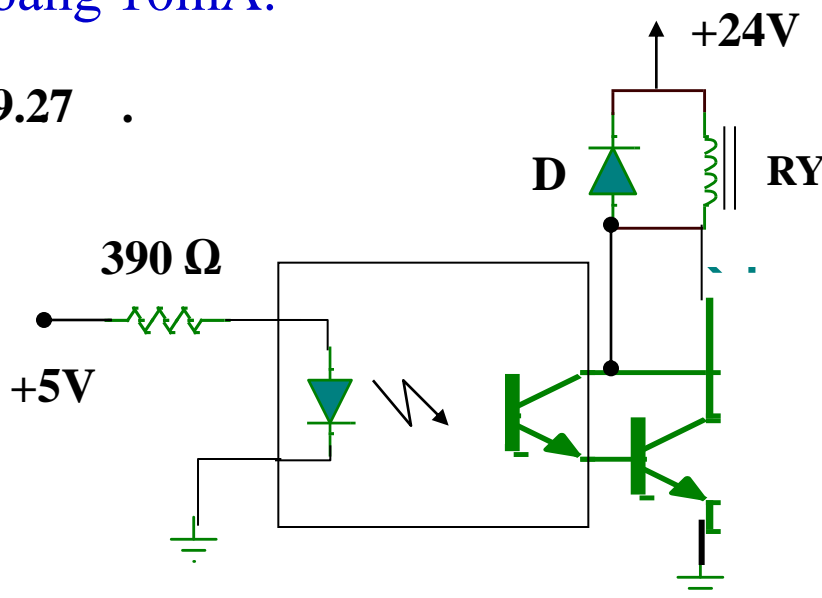
- Các loại bộ ghép quang có dòng điện ở sơ cấp cho LED hồng ngoại khoảng 10 mA.
- Đối với transistor quang khi thay đổi trị số dòng điện qua LED hồng ngoại ở sơ cấp sẽ làm thay đổi dòng điện ra I_C của transistor quang ở thứ cấp.
- Các bộ ghép quang có thể dùng thay cho role hay biến áp xung để giao tiếp với tải thường có điện áp cao và dòng điện lớn.

5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

* Mạch điện hình 9.27 là ứng dụng của transistor quang để điều khiển đóng ngắt role.

Transistor quang trong bộ ghép quang được ghép Darlington với transistor công suất bên ngoài. Khi LED hồng ngoại ở sơ cấp được cấp được cấp nguồn 5V thì transistor quang dẫn điều khiển transistor công suất dẫn để cấp điện cho role RY. Điện trở 390Ω để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA.

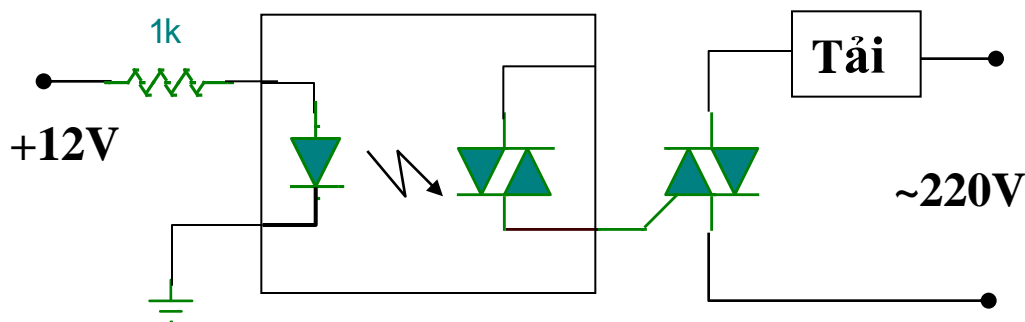
Hình 9.27 .



5.3.5. Các bộ ghép quang (Opto- Couplers)

* Mạch điện hình 9.28 là ứng dụng của OPTO- Triac để đóng ngắt điện cho tải dùng nguồn xoay chiều 220V.

Điện trở $1k\Omega$ để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA. Khi LED sơ cấp được cấp nguồn 12V thì triac quang sẽ được kích và dẫn điện tạo dòng kích cho triac công suất. Khi triac công suất được kích sẽ dẫn điện như một công tắc để đóng điện cho tải.



Hình 9.28