



Kỹ thuật điện tử

Nguyễn Duy Nhật Viễn



Nội dung

- Chương 1: Mở đầu.
- Chương 2: Diode và ứng dụng.
- Chương 3: BJT và ứng dụng.
- Chương 4: OPAMP và ứng dụng.
- Chương 5: Kỹ thuật xung cơ bản.
- Chương 6: Kỹ thuật số cơ bản.



Chương 1 Mở đầu



Nội dung

- Lịch sử phát triển
- Các linh kiện điện tử thông dụng
 - Linh kiện thụ động
 - Linh kiện tích cực
 - Linh kiện quang điện tử
- Điện áp, dòng điện và các định luật cơ bản
 - Điện áp và dòng điện
 - Nguồn áp và nguồn dòng
 - Định luật Ohm
 - Định luật điện áp Kirchoff
 - Định luật dòng điện Kirchoff

Lịch sử phát triển

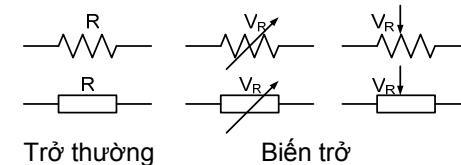
- 1884, Thomas Edison phát minh ra đèn điện tử
- 1948, Transistor ra đời ở Mỹ, 1950, ứng dụng transistor trong các hệ thống, thiết bị.
- 1960, mạch tích hợp (Integrated Circuit) ra đời.
- 1970, Tích hợp mật độ cao
 - MSI (Medium Semiconductor IC)
 - LSI (Large Semiconductor IC)
 - VLSI (Very Large Semiconductor IC)

Linh kiện điện tử thông dụng

Linh kiện thụ động

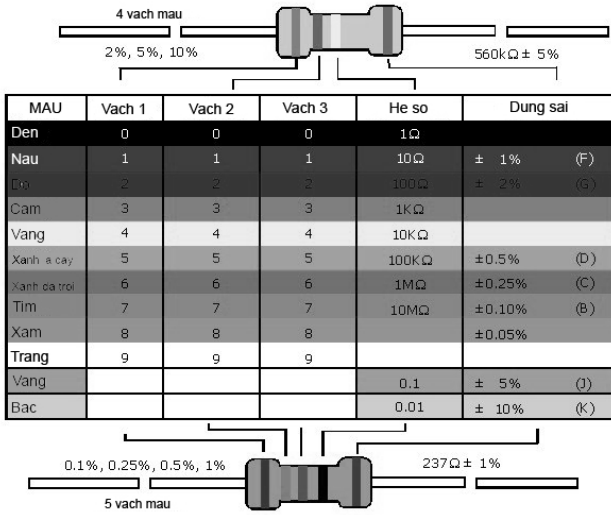
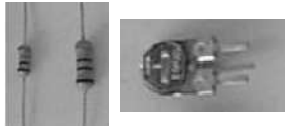
Điện trở

- Linh kiện có khả năng cản trở dòng điện
- Ký hiệu:



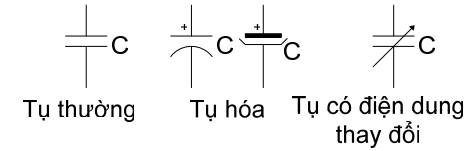
- Đơn vị: Ohm (Ω).
 - $1\text{k}\Omega = 10^3 \Omega$.
 - $1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$.

Điện trở



Tụ điện

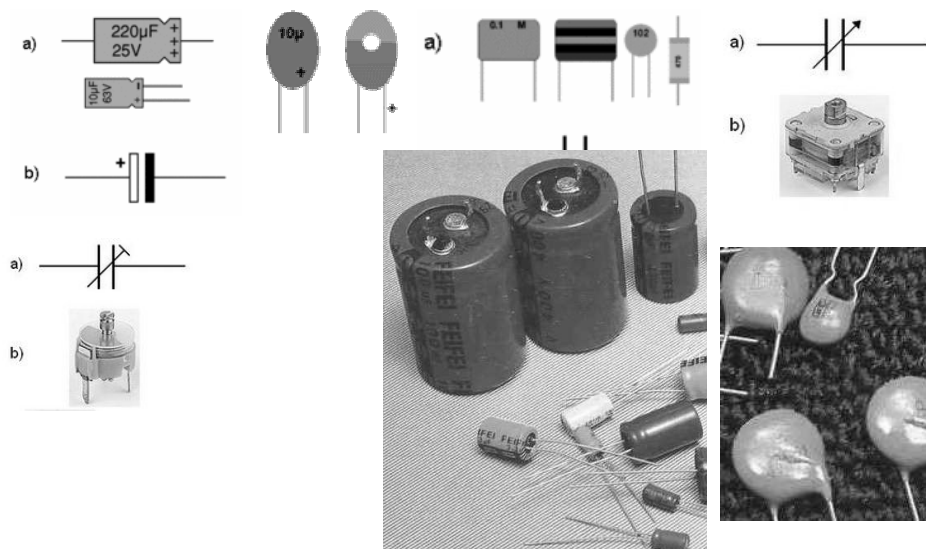
- Linh kiện có khả năng tích tụ điện năng.
- Ký hiệu:



- Đơn vị Fara (F)

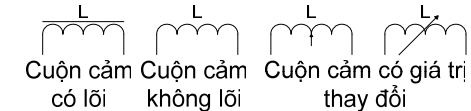
- $1\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$.
- $1\text{nF} = 10^{-9} \text{ F}$.
- $1\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$.

Tụ điện



Cuộn cảm

- Linh kiện có khả năng tích lũy năng lượng từ trường.
- Ký hiệu:

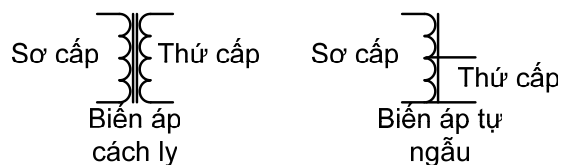


- Đơn vị: Henry (H)

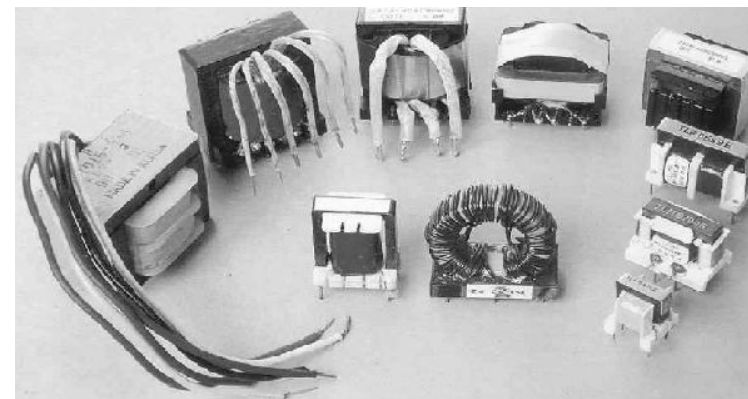
- $1\text{mH} = 10^{-3} \text{ H}$.

Biến áp

- Linh kiện thay đổi điện áp
- Biến áp cách ly
- Biến áp tự ngẫu



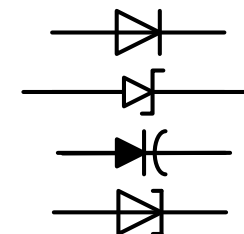
Biến áp



Linh kiện tích cực

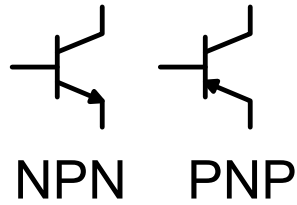
Diode

- Linh kiện được cấu thành từ 2 lớp bán dẫn tiếp xúc công nghệ
 - Diode chỉnh lưu
 - Diode tách sóng
 - Diode ổn áp (diode Zener)
 - Diode biến dung (diode varicap hoặc varactor)
 - Diode hầm (diode Tunnel)



Transistor lưỡng cực BJT

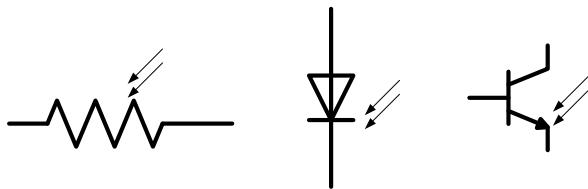
- BJT (Bipolar Junction Transistor)
- Linh kiện được cấu thành từ 3 lớp bán dẫn tiếp xúc liên tiếp nhau.
- Hai loại:
 - NPN
 - PNP



Linh kiện quang điện tử

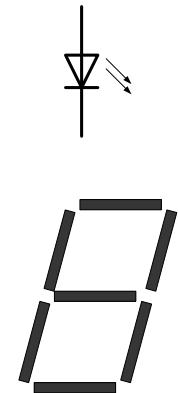
Linh kiện thu quang

- Quang trở
- Quang diode
- Quang transistor



Linh kiện phát quang

- Diode phát quang (Led : Light Emitting Diode)
- LED 7 đoạn



Điện áp, dòng điện và các định luật cơ bản

Điện áp và dòng điện

■ Điện áp:

- Hiệu điện thế giữa hai điểm khác nhau trong mạch điện.
- Trong mạch thường chọn một điểm làm điểm chung để so sánh các điện áp với nhau gọi là masse hay là đất (thường chọn là 0V).
- Điện áp giữa hai điểm A và B trong mạch được xác định: $U_{AB} = V_A - V_B$.
- Với V_A và V_B là điện thế điểm A và điểm B so với masse.
- Đơn vị điện áp: Volt (V).

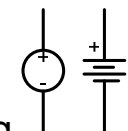
Điện áp và dòng điện

■ Dòng điện:

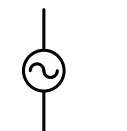
- Dòng dịch chuyển có hướng của các hạt mang điện trong vật chất.
- Chiều dòng điện từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp.
- Chiều dòng điện ngược với chiều dịch chuyển của điện tử.
- Đơn vị dòng điện: Ampere (A).

Nguồn áp và nguồn dòng

■ Nguồn áp

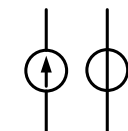


Nguồn áp một chiều



Nguồn áp xoay chiều

■ Nguồn dòng

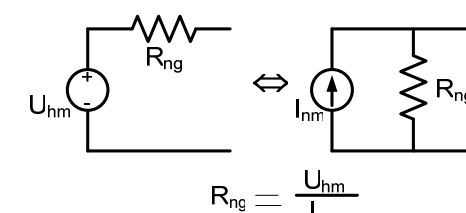


Nguồn dòng một chiều



Nguồn dòng xoay chiều

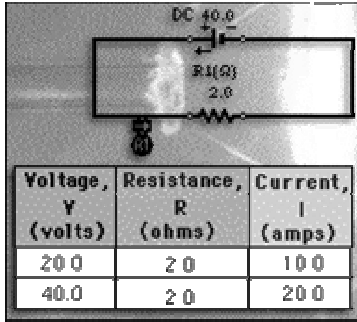
■ Định lý Thevenin & Norton



Định luật Ohm

- Mỗi quan hệ tuyến tính giữa điện áp và dòng điện:

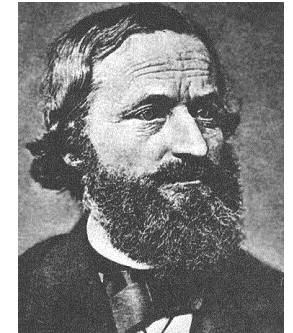
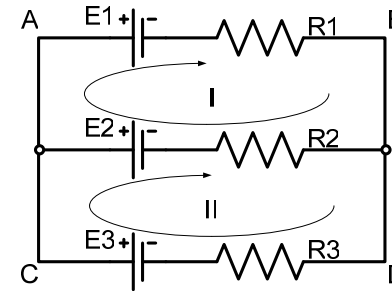
□ $U = I \cdot R$



Georg Ohm

Định luật điện áp Kirchoff

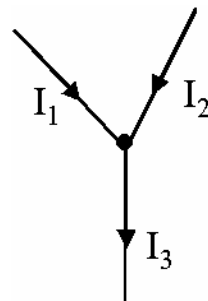
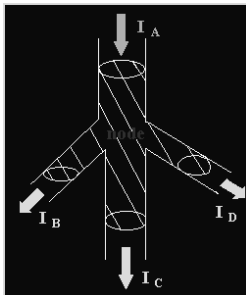
- Kirchoff's Voltage Law (KVL):
 - Tổng điện áp các nhánh trong vòng bằng 0.
 - $\sum V = 0$.



Gustav Kirchoff

Định luật dòng điện Kirchoff

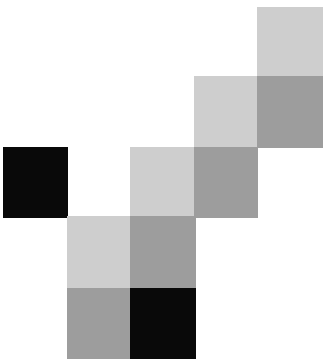
- Kirchoff's Current Law (KCL):
 - Tổng dòng điện tại một nút bằng 0.
 - $\sum I = 0$.





Kỹ thuật điện tử

Nguyễn Duy Nhật Viễn



Chương 2 Diode và ứng dụng



Nội dung

- Chất bán dẫn
- Diode
- Đặc tuyến tĩnh và các tham số của diode
- Bộ nguồn 1 chiều



Chất bán dẫn

Chất bán dẫn

- Khái niệm
- Vật chất được chia thành 3 loại dựa trên điện trở suất ρ :
 - Chất dẫn điện
 - Chất bán dẫn
 - Chất cách điện
- Tính dẫn điện của vật chất có thể thay đổi theo một số thông số của môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, áp suất ...

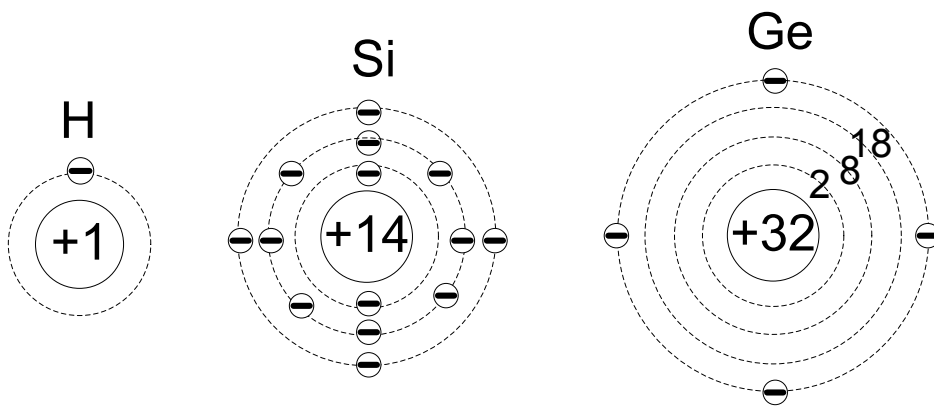
Chất bán dẫn

| | Chất dẫn điện | Chất bán dẫn | Chất cách điện |
|----------------------|---|---|---|
| Điện trở suất ρ | $10^{-6} \div 10^{-4} \Omega \text{cm}$ | $10^{-6} \div 10^{-4} \Omega \text{cm}$ | $10^{-6} \div 10^{-4} \Omega \text{cm}$ |
| $T^\circ \uparrow$ | $\rho \uparrow$ | $\rho \downarrow$ | $\rho \downarrow$ |

- Dòng điện là dòng dịch chuyển của các hạt mang điện
- Vật chất được cấu thành bởi các hạt mang điện:
 - Hạt nhân (điện tích dương)
 - Điện tử (điện tích âm)

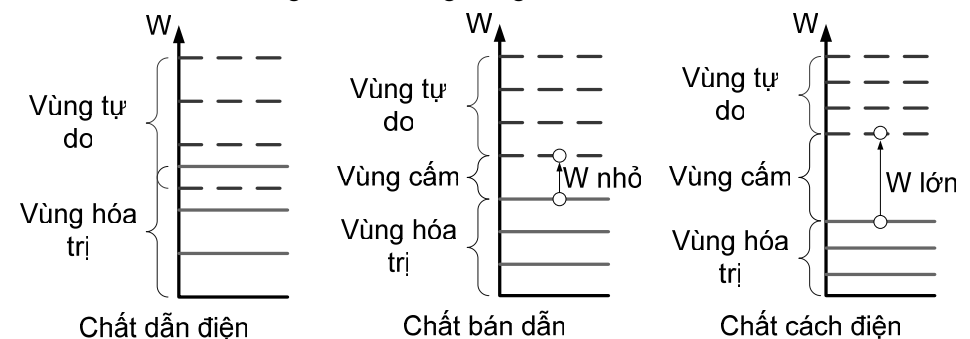
Chất bán dẫn

- Gồm các lớp:
 - K: 2; L: 8; M: 8, 18; N: 8, 18, 32...



Chất bán dẫn

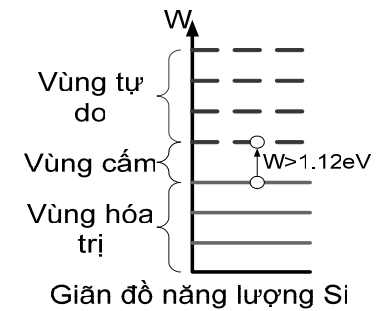
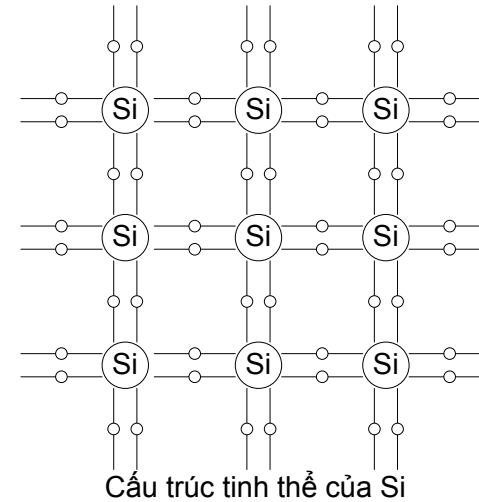
- Giãn đồ năng lượng của vật chất
 - Vùng hóa trị: Liên kết hóa trị giữa điện tử và hạt nhân.
 - Vùng tự do: Điện tử liên kết yếu với hạt nhân, có thể di chuyển.
 - Vùng cấm: Là vùng trung gian, hàng rào năng lượng để chuyển điện tử từ vùng hóa trị sang vùng tự do



Chất bán dẫn thuần

- Hai chất bán dẫn điển hình
 - Ge: Germanium
 - Si: Silicium
- Là các chất thuộc nhóm IV trong bảng tuần hoàn Mendeleev.
- Có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng
- Các nguyên tử liên kết với nhau thành mạng tinh thể bằng các điện tử lớp ngoài cùng.
- Số điện tử lớp ngoài cùng là 8 electron dùng chung

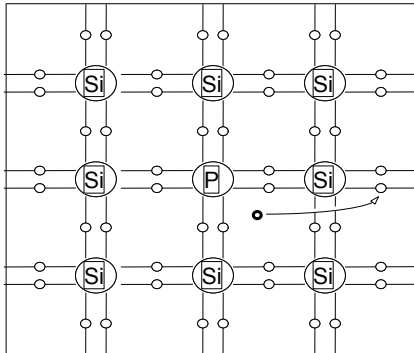
Chất bán dẫn thuần



Gọi n: mật độ điện tử, p: mật độ lỗ trống
Chất bán dẫn thuần: $n=p$.

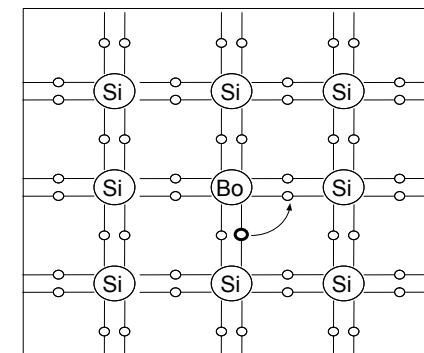
Chất bán dẫn tạp

- Chất bán dẫn tạp loại N:
 - Pha thêm chất thuộc nhóm V trong bảng tuần hoàn Mendeleev vào chất bán dẫn thuần, ví dụ Phospho vào Si.
 - Nguyên tử tạp chất thừa 1 e lớp ngoài cùng liên kết yếu với hạt nhân, dễ dàng bị ion hóa nhờ một năng lượng yếu
 - $n > p$



Chất bán dẫn tạp

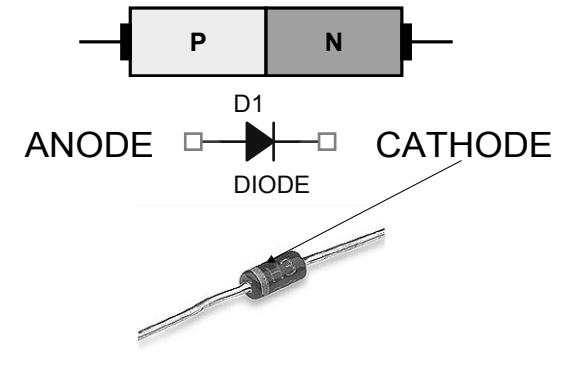
- Chất bán dẫn tạp loại P:
 - Pha thêm chất thuộc nhóm III trong bảng tuần hoàn Mendeleev vào chất bán dẫn thuần, ví dụ Bo vào Si.
 - Nguyên tử tạp chất thiếu 1 e lớp ngoài cùng nên xuất hiện một lỗ trống liên kết yếu với hạt nhân, dễ dàng bị ion hóa nhờ một năng lượng yếu
 - $p > n$



Diode

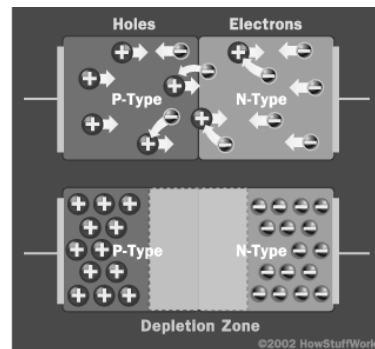
Cấu tạo

- Cho hai lớp bán dẫn loại P và N tiếp xúc công nghệ với nhau, ta được một diode.



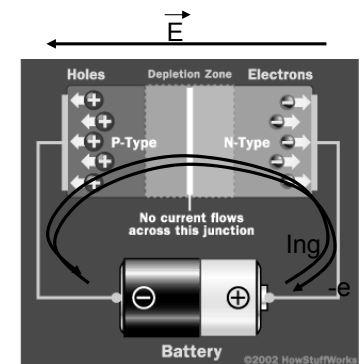
Chưa phân cực cho diode

- Hiện tượng khuếch tán các e^- từ N vào các lỗ trống trong P \rightarrow vùng rỗng khoảng $100\mu\text{m}$.
- Điện trường ngược từ N sang P tạo ra một hàng rào điện thế là U_{tx} .
 - Ge: $U_{\text{tx}}=V_{\gamma}\sim 0.3\text{V}$
 - Si: $U_{\text{tx}}=V_{\gamma}\sim 0.6\text{V}$



Phân cực ngược cho diode

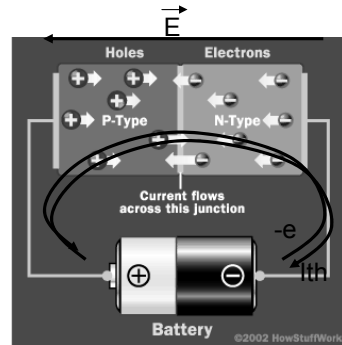
- Âm nguồn thu hút hạt mang điện tích dương (lỗ trống)
- Dương nguồn thu hút các hạt mang điện tích âm (điện tử)
- Vùng trống càng lớn hơn.
- Gắn đúng: Không có dòng điện qua diode khi phân cực ngược.
- Nguồn 1 chiều tạo điện trường E như hình vẽ.
- Điện trường này hút các điện tử từ âm nguồn qua P, qua N về dương nguồn sinh dòng điện theo hướng ngược lại



- Dòng điện này là dòng điện của các hạt thiểu số gọi là dòng trôi.
- Giá trị dòng điện rất bé.

Phân cực thuận cho diode

- Âm nguồn thu hút hạt mang điện tích dương (lỗ trống)
- Dương nguồn thu hút các hạt mang điện tích âm (điện tử)
- Vùng trống biến mất.



- Nguồn 1 chiều tạo điện trường E như hình vẽ.
- Điện trường này hút các điện tử từ âm nguồn qua P, qua N về dương nguồn sinh dòng điện theo hướng ngược lại
- Dòng điện này là dòng điện của các hạt đa số gọi là dòng khuếch tán.
- Giá trị dòng điện lớn.

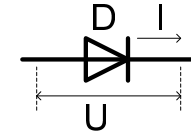
Dòng điện qua diode

- Dòng của các hạt mang điện đa số là dòng khuếch tán I_d , có giá trị lớn.

$$\square I_d = I_s e^{qU/kT}$$

□ Với

- Điện tích: $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.
- Hằng số Boltzmal: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$.
- Nhiệt độ tuyệt đối: $T \text{ (}^\circ\text{K)}$.
- Điện áp trên diode: U .
- Dòng điện ngược bão hòa: I_s chỉ phụ thuộc nồng độ tạp chất, cấu tạo các lớp bán dẫn mà không phụ thuộc U (xem như hằng số).



Dòng điện qua diode

- Dòng của các hạt mang điện thiểu số là dòng trôi, dòng rò I_g , có giá trị bé.

■ Vậy:

- Gọi điện áp trên 2 cực của diode là U .
- Dòng điện tổng cộng qua diode là:
 - $I = I_d + I_g$.

- Khi chưa phân cực cho diode ($I=0, U=0$):

- $I_s e^{q0/kT} + I_g = 0$.
- $\Rightarrow I_g = -I_s$.

Dòng điện qua diode

- Khi phân cực cho diode ($I, U \neq 0$):

$$\square I = I_s (e^{qU/kT} - 1) \quad (*)$$

- Gọi $U_T = kT/q$ là thế nhiệt thì ở 300°K , ta có $U_T \sim 25.5 \text{mV}$.

$$\square I = I_s (e^{U/U_T} - 1) \quad (**)$$

- (*) hay (**) gọi là phương trình đặc tuyến của diode.

Đặc tuyến tĩnh và các tham số của diode

Đặc tuyến tĩnh của diode

- Phương trình đặc tuyến Volt-Ampe của diode:

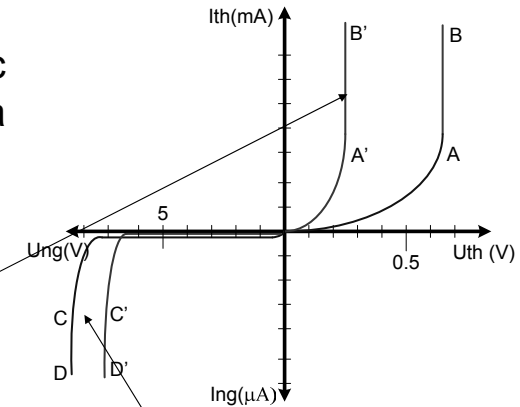
$$I = I_s (e^{qU/kT} - 1)$$

Đoạn AB (A'B'): phân cực thuận, U gần như không đổi khi I thay đổi.

Ge: $U \sim 0.3V$

Si: $U \sim 0.6V$.

Đoạn làm việc của diode chỉnh lưu



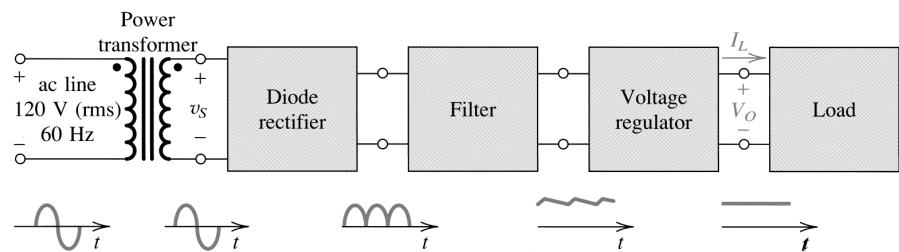
Đoạn CD (C'D'): phân cực ngược, U gần như không đổi khi I thay đổi.
Đoạn làm việc của diode zener

Các tham số của diode

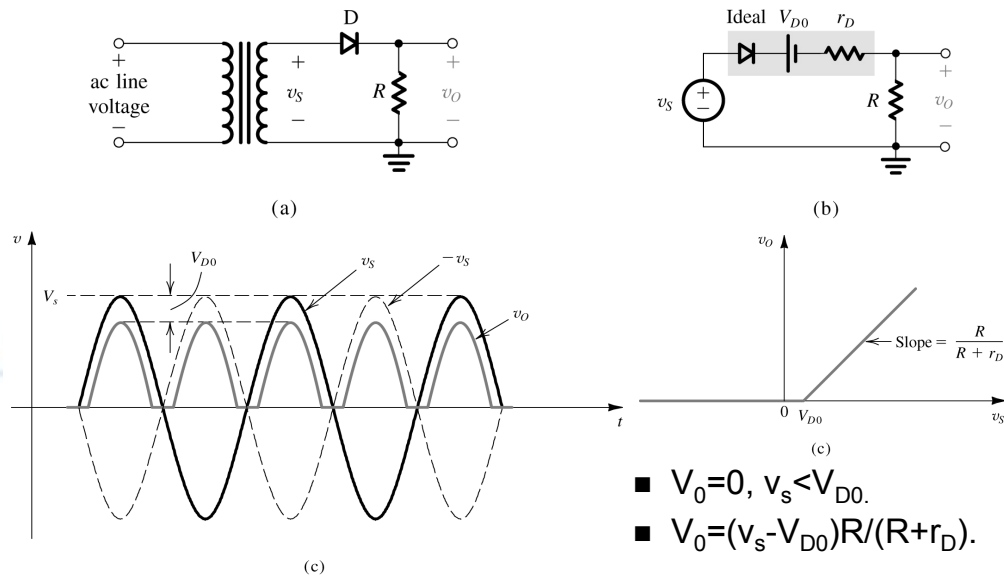
- Điện trở một chiều: $R_o = U/I$.
 - $R_{th} \sim 100-500\Omega$.
 - $R_{ng} \sim 10k\Omega-3M\Omega$.
- Điện trở xoay chiều: $r_d = \delta U / \delta I$.
 - $r_{dng} \gg r_{dth}$
- Tần số giới hạn: f_{max} .
 - Diode tần số cao, diode tần số thấp.
- Dòng điện tối đa: I_{Acf}
 - Diode công suất cao, trung bình, thấp.
- Hệ số chỉnh lưu: $K_{cl} = I_{th} / I_{ng} = R_{ng} / R_{th}$.
 - K_{cl} càng lớn thì diode chỉnh lưu càng tốt.

Bộ nguồn 1 chiều

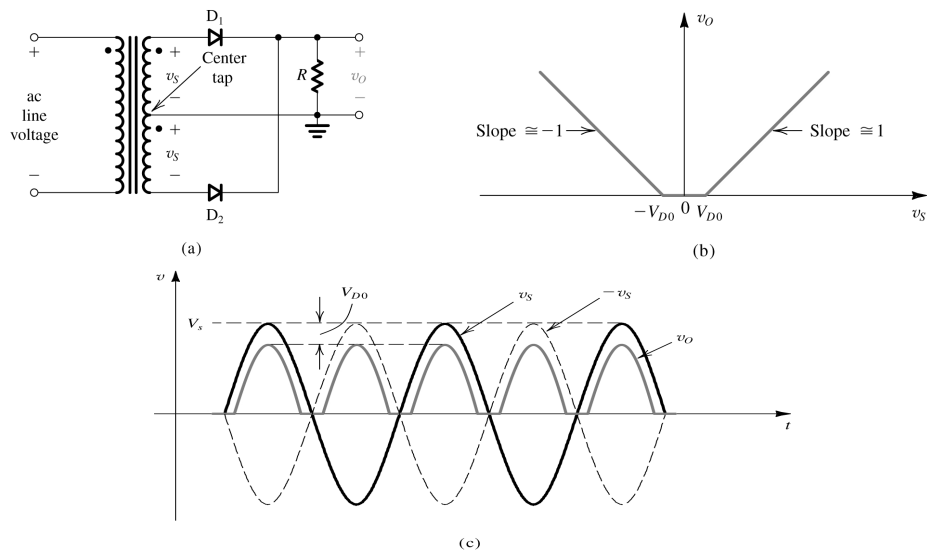
Sơ đồ khối



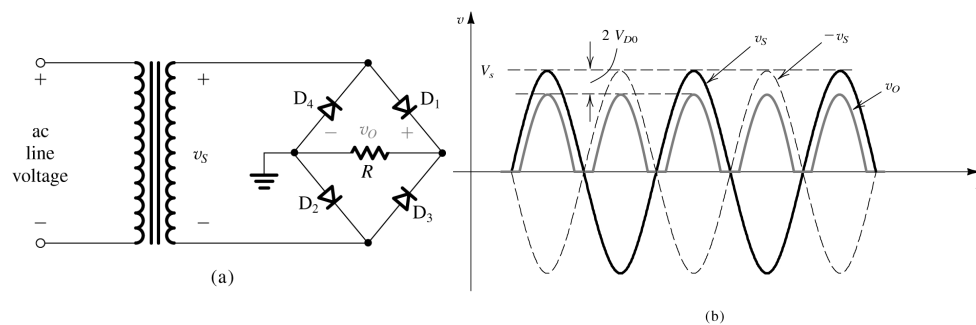
Chỉnh lưu bán kỳ



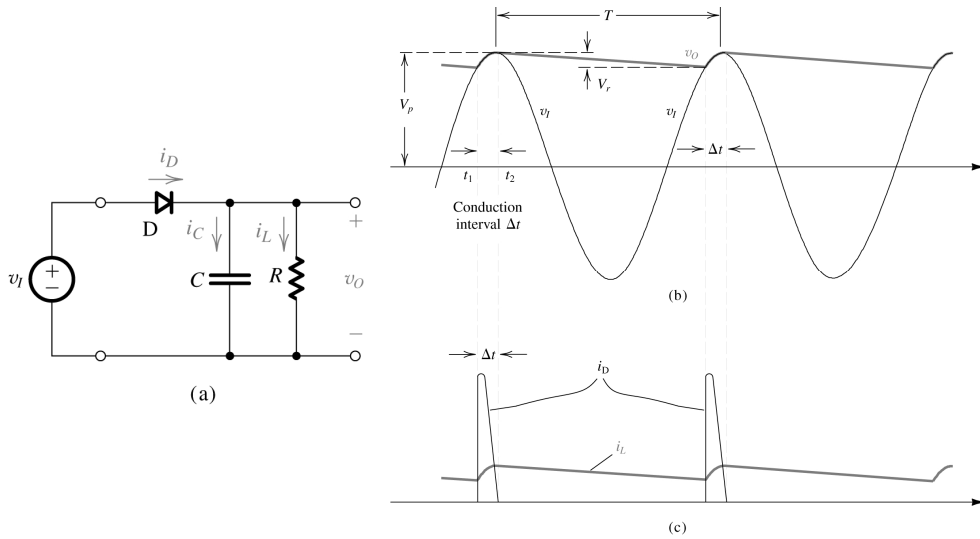
Chỉnh lưu toàn kỳ



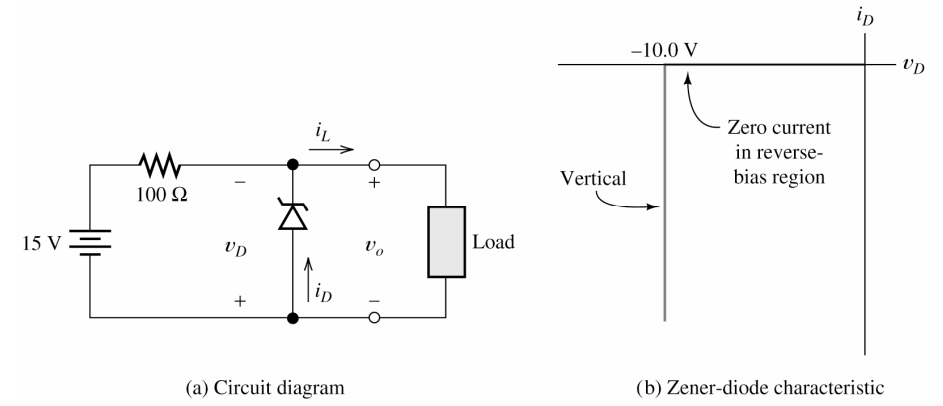
Chỉnh lưu cầu



Mạch lọc tụ C



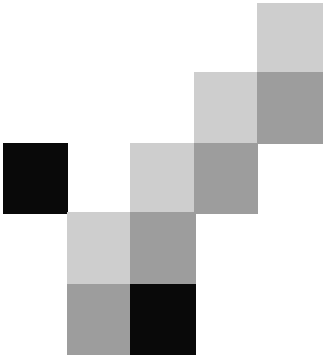
Ổn áp bằng diode zener





Kỹ thuật điện tử

Nguyễn Duy Nhật Viễn



Chương 3 BJT và ứng dụng



Nội dung

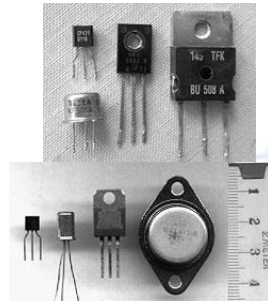
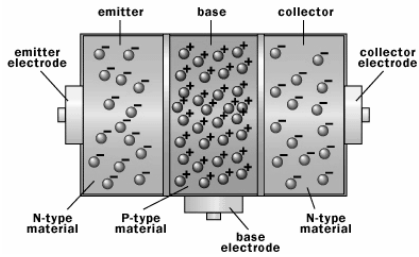
- Cấu tạo BJT
- Các tham số của BJT
- Phân cực cho BJT
- Mạch khuếch đại dùng BJT
- Phương pháp ghép các tầng khuếch đại
- Mạch khuếch đại công suất



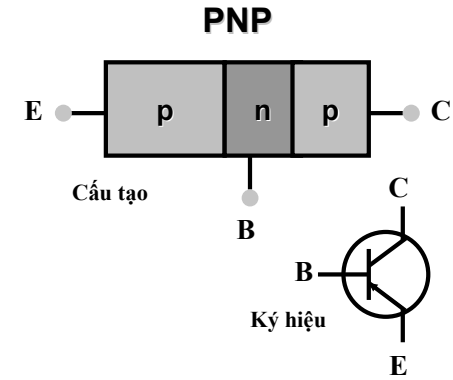
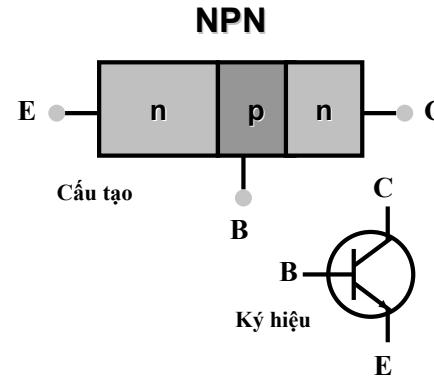
Cấu tạo BJT

BJT (Bipolar Junction Transistors)

- Cho 3 lớp bán dẫn tiếp xúc công nghệ liên tiếp nhau.
- Các cực E: Emitter, B: Base, C: Collector.
- Điện áp giữa các cực dùng để điều khiển dòng điện.

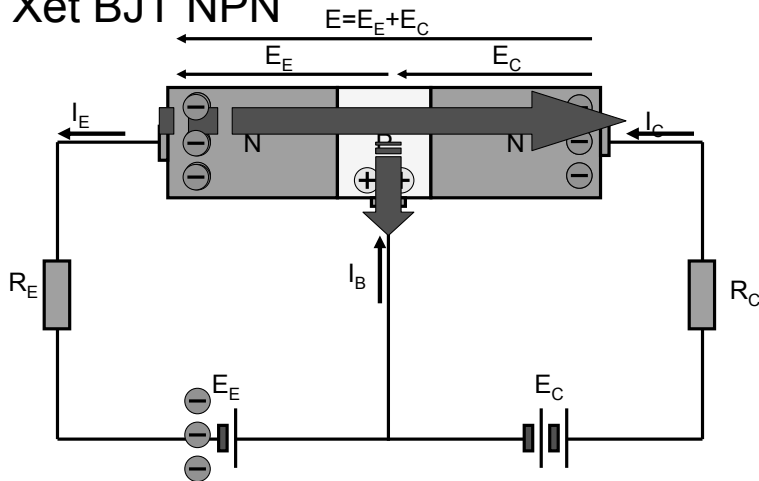


Hai loại BJT



Nguyên lý hoạt động

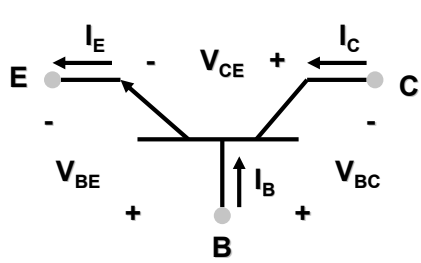
■ Xét BJT NPN



Nguyên lý hoạt động

- Từ hình vẽ:
 - $I_E = I_B + I_C$
- Định nghĩa hệ số truyền đạt dòng điện:
 - $\alpha = I_C / I_E$
- Định nghĩa hệ số khuếch đại dòng điện:
 - $\beta = I_C / I_B$
- Như vậy,
 - $\beta = I_C / (I_E - I_C) = \alpha / (1 - \alpha)$;
 - $\alpha = \beta / (\beta + 1)$.
- Do đó,
 - $I_C = \alpha I_E$;
 - $I_B = (1 - \alpha) I_E$;
 - $\beta \approx 100$ với các BJT công suất nhỏ.

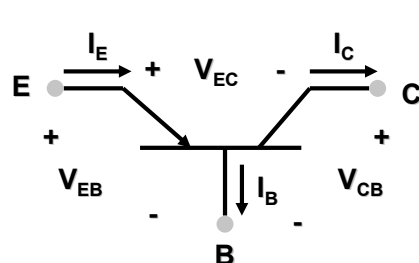
Chiều dòng, áp của các BJT



npn

$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{CE} = -V_{BC} + V_{BE}$$



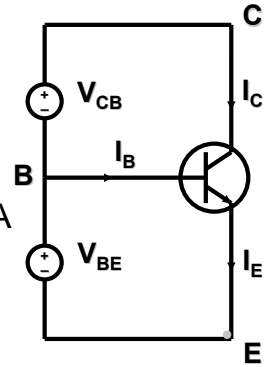
pnp

$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{EC} = V_{EB} - V_{CB}$$

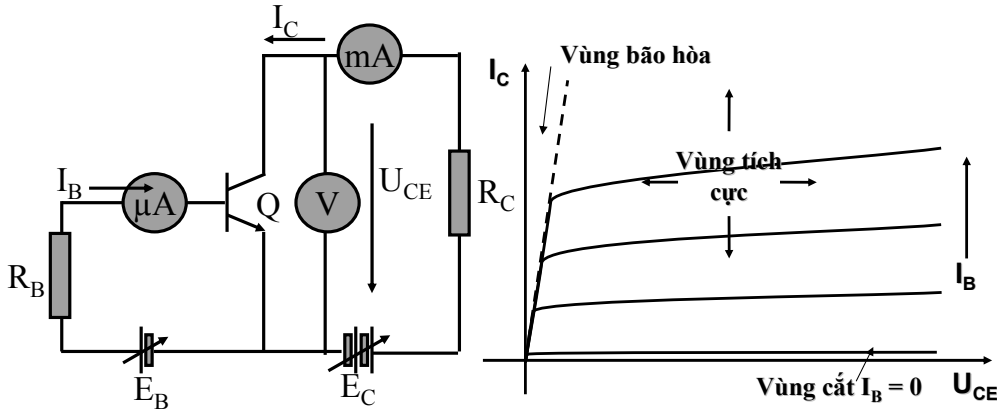
Ví dụ

- Cho BJT như hình vẽ.
- Với $I_B = 50 \mu A$, $I_C = 1 \text{ mA}$
- Tìm: I_E , β và α



- Giải:
- $I_E = I_B + I_C = 0.05 \text{ mA} + 1 \text{ mA} = 1.05 \text{ mA}$
- $\beta = I_C / I_B = 1 \text{ mA} / 0.05 \text{ mA} = 20$
- $\alpha = I_C / I_E = 1 \text{ mA} / 1.05 \text{ mA} = 0.95238$
- α còn có thể tính theo β .
- $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{20}{21} = 0.95238$

Đặc tuyến tĩnh của BJT

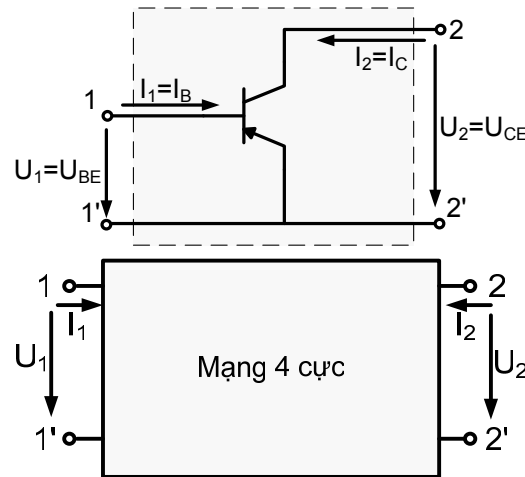


- Giữ giá trị I_B không đổi, thay đổi U_{CE} , xác định I_C , ta có:
- $I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{const}}$

Các tham số của BJT

BJT như một mạng 4 cực

■ Xét BJT NPN, mắc theo kiểu E-C



Tham số trở kháng z_{ik}

■ Hệ phương trình:

$$\begin{cases} U_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ U_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases}$$

■ Ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} z_{11} &= \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0}, & z_{12} &= \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \\ z_{21} &= \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}, & z_{22} &= \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0} \end{aligned}$$

■ z_{11} : Trở kháng vào của BJT khi hở mạch ngõ ra.

■ z_{12} : Trở kháng ngược của BJT khi hở mạch ngõ vào.

■ z_{21} : Trở kháng thuận của BJT khi hở mạch ngõ ra.

■ z_{22} : Trở kháng ra của BJT khi hở mạch ngõ vào.

Tham số dẫn nạp y_{ik}

■ Hệ phương trình:

$$\begin{cases} I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2 \\ I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2 \end{cases}$$

■ Ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$y_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{U_2=0}, \quad y_{12} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{U_1=0}$$

$$y_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{U_2=0}, \quad y_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{U_1=0}$$

■ y_{11} : Dẫn nạp vào của BJT khi ngắn mạch ngõ ra.

■ y_{12} : Dẫn nạp ngược của BJT khi ngắn mạch ngõ vào.

■ y_{21} : Dẫn nạp thuận của BJT khi ngắn mạch ngõ ra.

■ y_{22} : Dẫn nạp ra của BJT khi ngắn mạch ngõ vào.

Tham số hỗn hợp h_{ik}

■ Hệ phương trình:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{cases}$$

■ Ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$h_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0}, \quad h_{12} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_1=0}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_2=0}, \quad h_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{I_1=0}$$

■ h_{11} : Trở kháng vào của BJT khi ngắn mạch ngõ ra.

■ h_{12} : Hệ số hồi tiếp điện áp của BJT khi hở mạch ngõ vào.

■ h_{21} : Hệ số khuếch đại dòng điện của BJT khi ngắn mạch ngõ ra.

■ h_{22} : Dẫn nạp ra của BJT khi hở mạch ngõ vào.

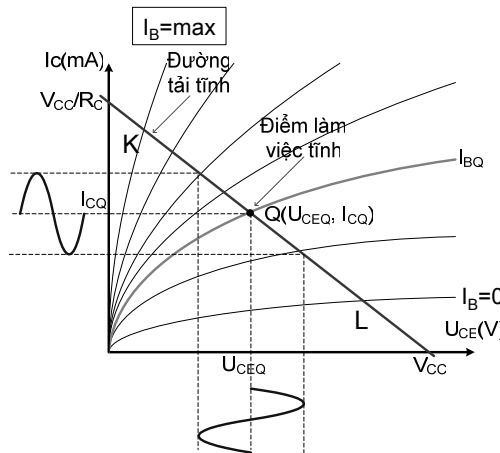
Phân cực cho BJT

Phân cực cho BJT

- Cung cấp điện áp một chiều cho các cực của BJT.
- Xác định chế độ hoạt động tĩnh của BJT.
- Chú ý khi phân cực cho chế độ khuếch đại:
 - Tiếp xúc B-E được phân cực thuận.
 - Tiếp xúc B-C được phân cực ngược.
- Vì tiếp xúc B-E như một diode, nên để phân cực cho BJT, yêu cầu $V_{BE} \geq V_{\gamma}$.
 - Đối với BJT Ge: $V_{\gamma} \sim 0.3V$
 - Đối với BJT Si: $V_{\gamma} \sim 0.6V$

Đường tải tĩnh và điểm làm việc tĩnh của BJT

- Đường tải tĩnh được vẽ trên đặc tuyến tĩnh của BJT. Quan hệ: $I_C = f(U_{CE})$.
- Điểm làm việc tĩnh nằm trên đường tải tĩnh ứng với khi không có tín hiệu vào (xác định chế độ phân cực cho BJT).
- Điểm làm việc tĩnh nằm càng gần trung tâm KL càng ổn định.



Phân cực bằng dòng cố định

- Xét phân cực cho BJT NPN
- Áp dụng KLV cho vòng I:
 - $I_B = (V_B - U_{BE}) / R_B$
- Áp dụng KLV cho vòng II:
 - $U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$

