

ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

ThS Nguyễn Lê Tường
Bộ môn Cơ điện tử
ĐH Nông Lâm Tp. HCM

Nội dung

Chương 1: Vật liệu bán dẫn

Chương 2: Diode và các mạch ứng dụng

Chương 3: Transistor BJT

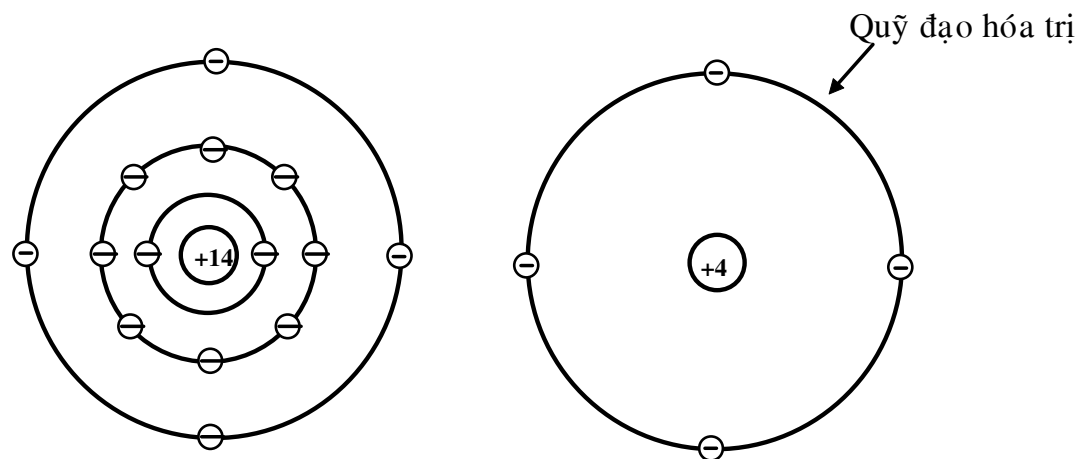
Chương 4: Mạch khuếch đại thuật toán

Chương 1

VẬT LIỆU BÁN DẪN

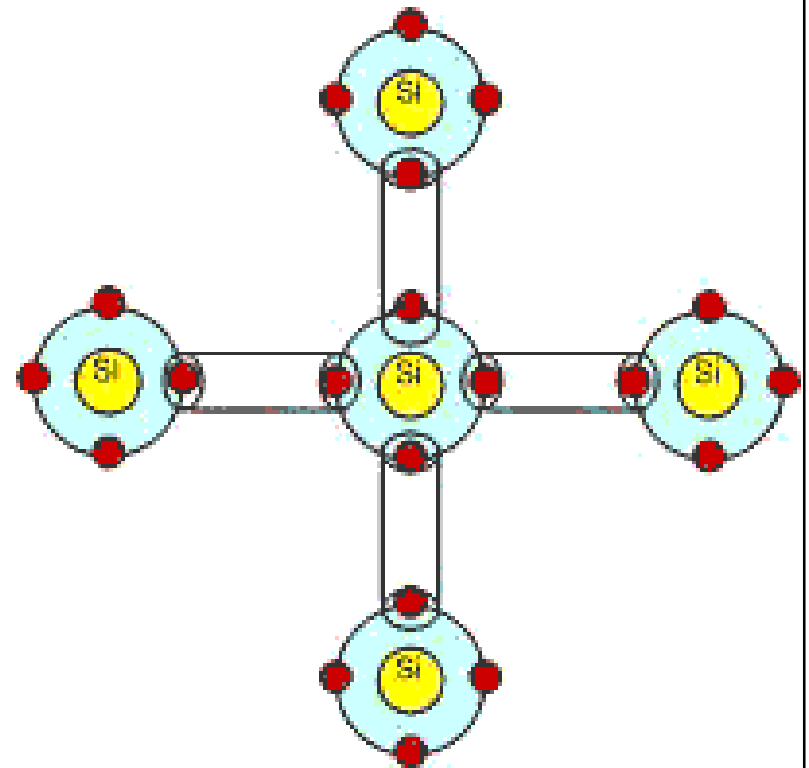
Chất bán dẫn

- Một bán dẫn là một nguyên tố hoá học có đặc tính dẫn điện nằm giữa chất dẫn điện và chất cách điện, có bốn electron hóa trị.
- Các chất bán dẫn phổ biến trong tự nhiên là Si, Ge, As, Te, Se
- Si là nguyên tố rất phổ biến, có trong cát

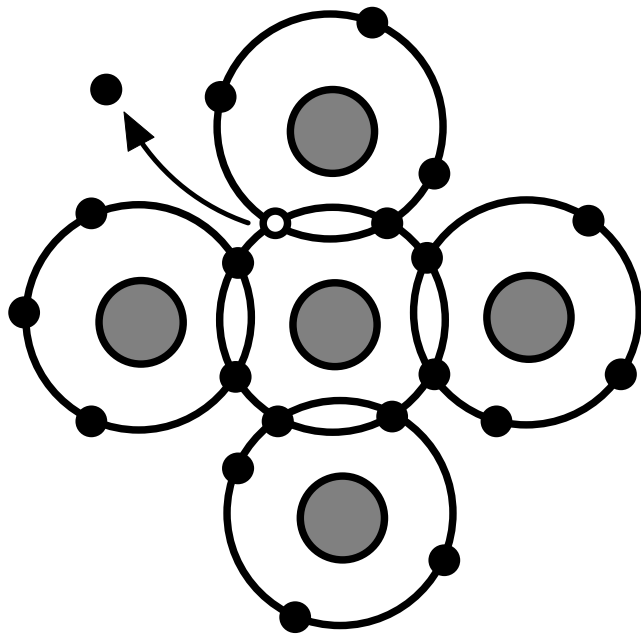


Tinh thể Silicon

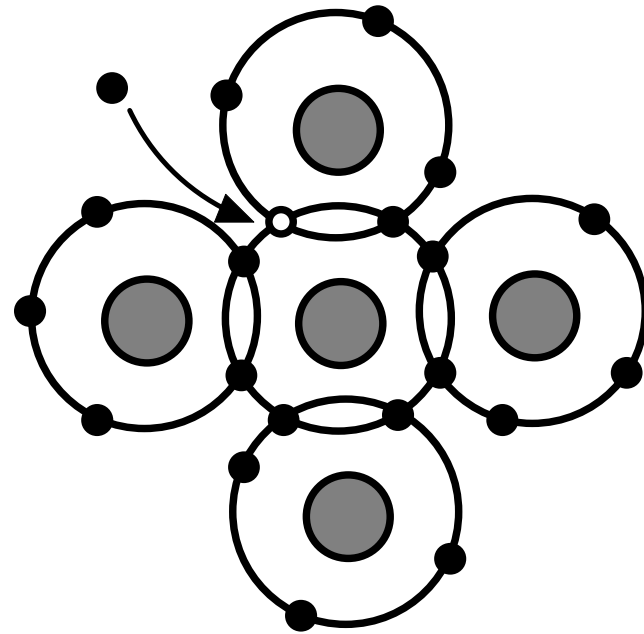
- Khi các nguyên tử Si liên kết nhau tạo thành khối Si, chúng tự sắp xếp theo một trật tự có hình dáng nhất định gọi là tinh thể.
- Các electron góp chung của hai nguyên tử Si ở gần sẽ tạo thành một liên kết cộng hoá trị.
- Ở nhiệt độ phòng (25oC) tinh thể Si hoàn toàn là chất cách điện.



Lỗ trống và sự tái hợp



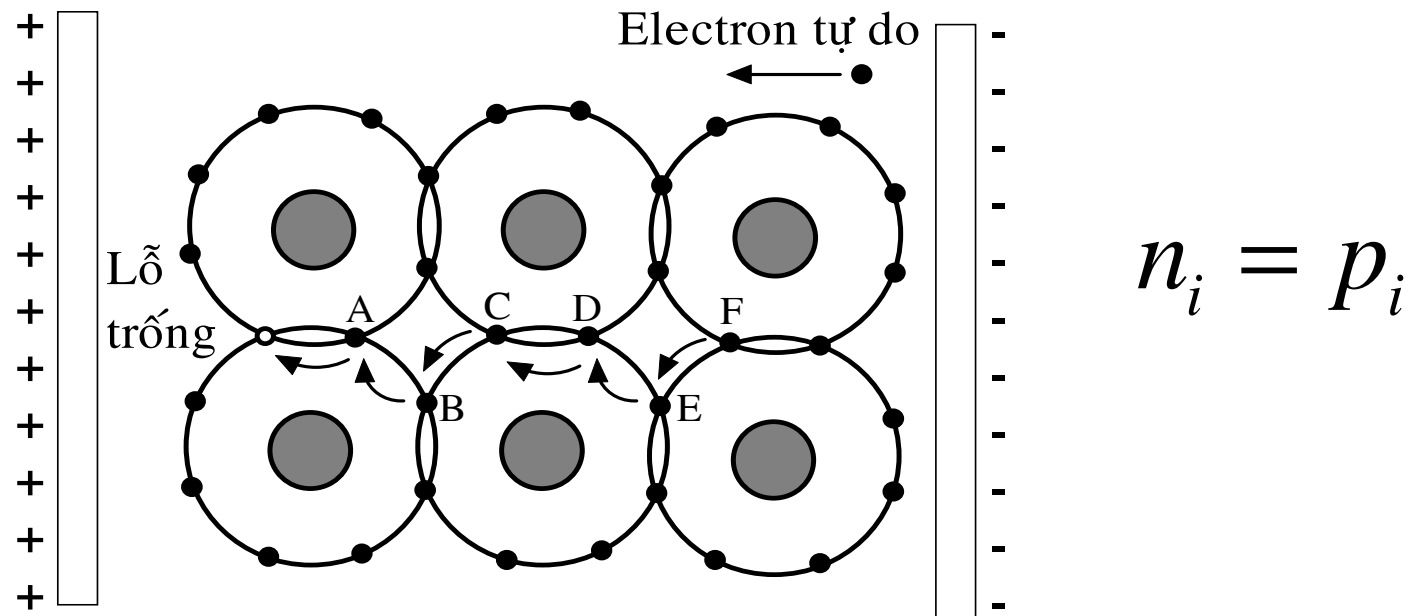
(a)



(b)

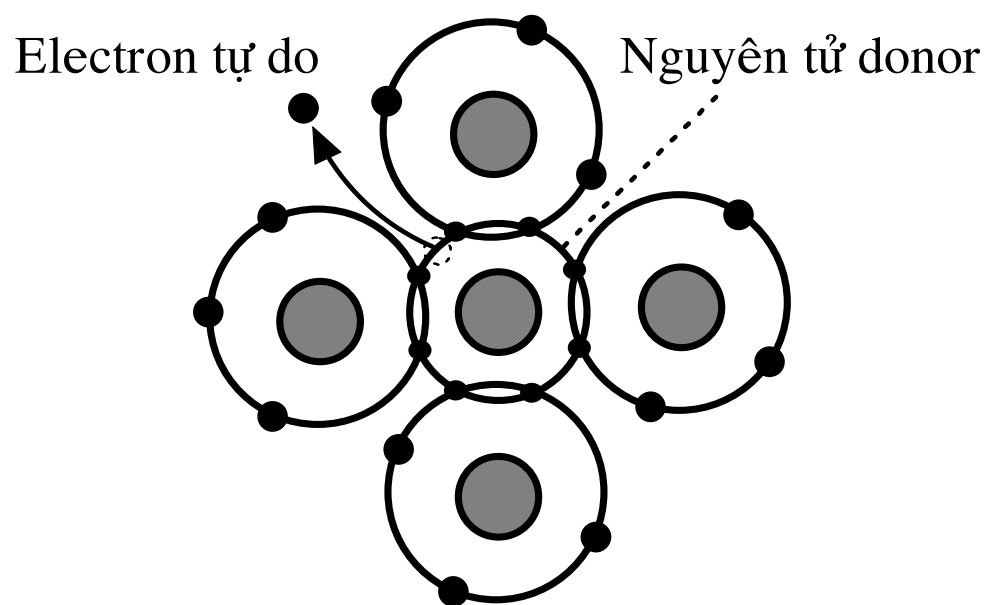
Bán dẫn tinh khiết – loại i

- Bán dẫn loại i là loại bán dẫn tinh khiết không chứa bất kỳ một nguyên tử tạp chất nào trong tinh thể. Ở nhiệt độ phòng, bán dẫn loại i giống như một vật liệu cách điện vì chúng có rất ít electron tự do và lỗ trống sinh ra bởi nhiệt năng



Bán dẫn loại n

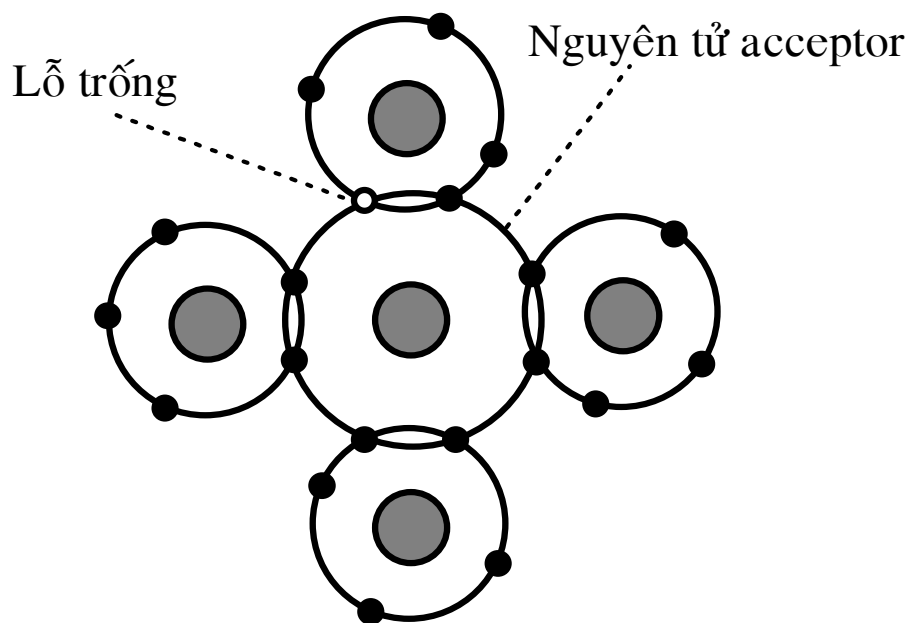
- Để gia tăng số lượng electron tự do cũng như gia tăng khả năng dẫn điện của bán dẫn người ta thêm vào bán dẫn tinh khiết các nguyên tử tạp chất thuộc nhóm năm như Arsenic (As), Antimony (Sb) và Phosphorus (P)



$$n_n = n_d + n_i \approx n_d$$

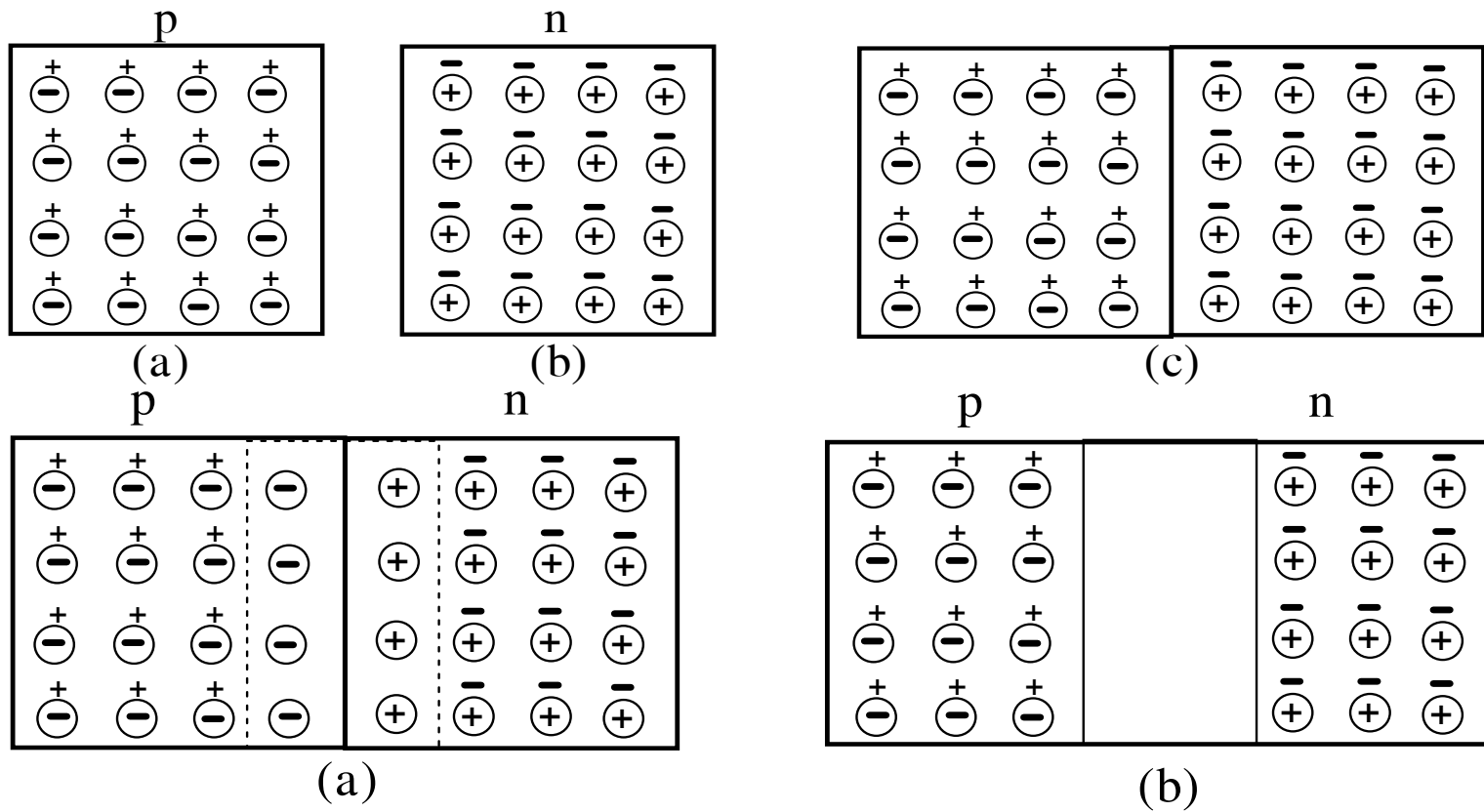
Bán dẫn loại p

- Để gia tăng khả năng dẫn điện người ta cũng có thể gia tăng số lượng lỗ trống. Số lượng lỗ trống trong bán dẫn được gia tăng bằng cách thêm các nguyên tử tạp chất nhóm ba như Aluminum (Al), Boron (Bo) hay Gallium (Ga) vào bán dẫn tinh khiết



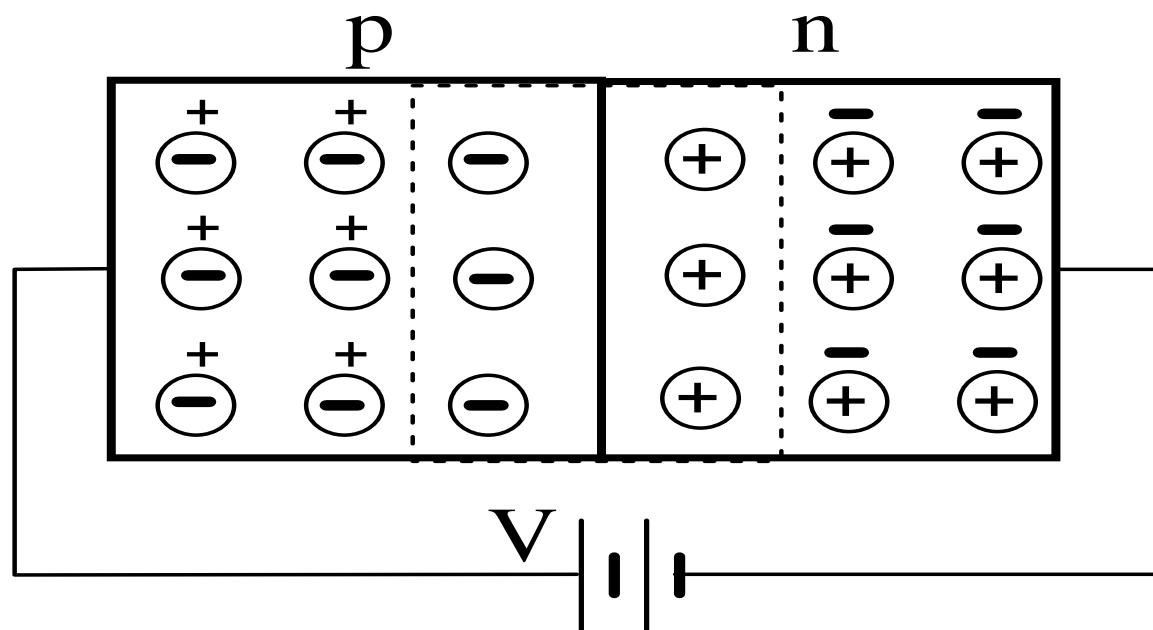
$$p_p = p_a + p_i \approx p_a$$

Tiếp xúc p-n không phân cực

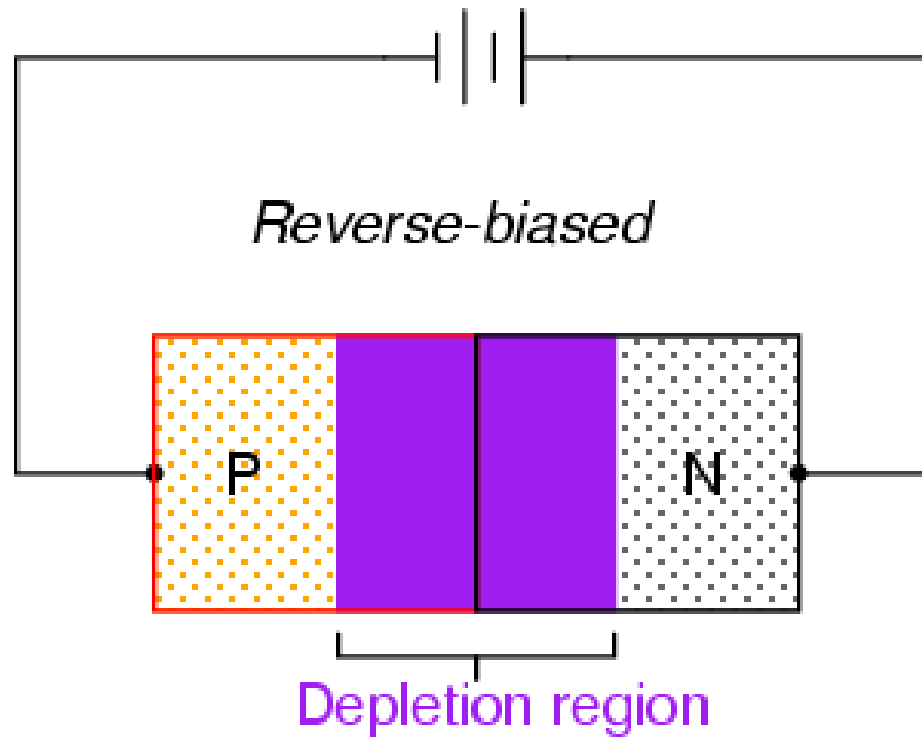


- Ở 25oC hàng rào điện thế của diode Ge khoảng 0.3V và của diode Si khoảng 0.7V
- Điện trường tồn tại trong vùng nghèo khi diode ở trạng thái cân bằng có chiều hướng từ n sang p.

Phân cực thuận tiếp xúc p-n



Phân cực nghịch tiếp xúc p-n



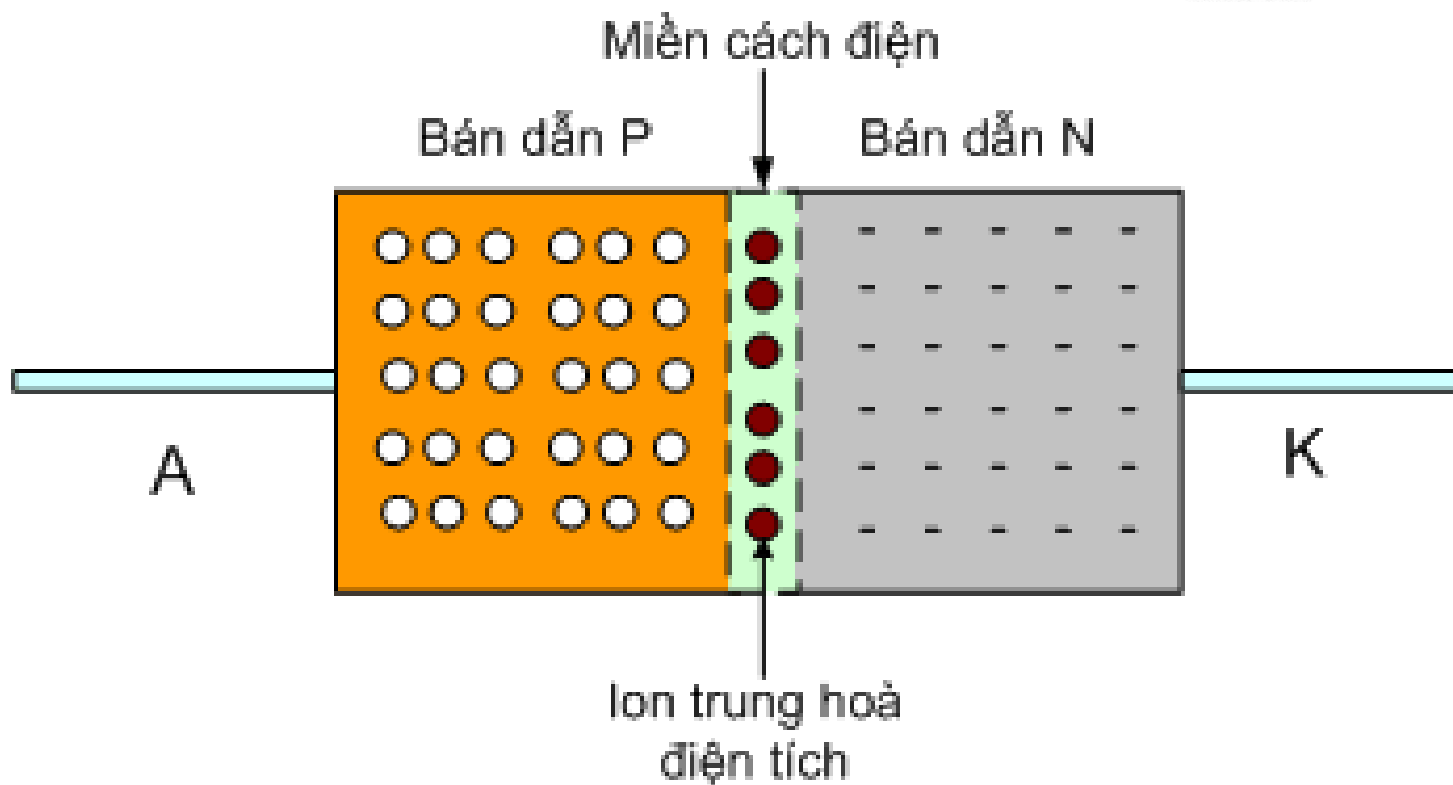
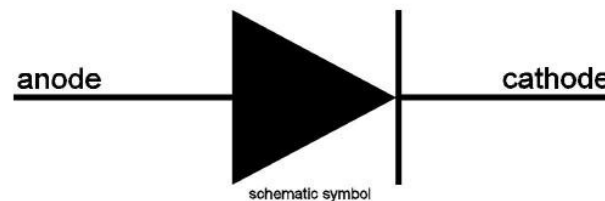
Hiện tượng đánh thủng

- Dòng điện ngược tăng vọt, chuyển tiếp p-n dẫn điện mạnh cả theo chiều nghịch, phá hỏng đặc tính van vốn có của nó => hiện tượng đánh thủng.
- **Nguyên nhân**
 - Do điện: có thể phục hồi đặc tính chỉnh lưu của chuyển tiếp p-n nếu có biện pháp hạn chế dòng ngược sao cho công suất tiêu tán chưa vượt quá giá trị cực đại cho phép.
 - Đánh thủng thác lũ
 - Đánh thủng xuyên hầm
 - Do nhiệt: phá hỏng vĩnh viễn đặc tính chỉnh lưu của chuyển tiếp p-n

Chương 2

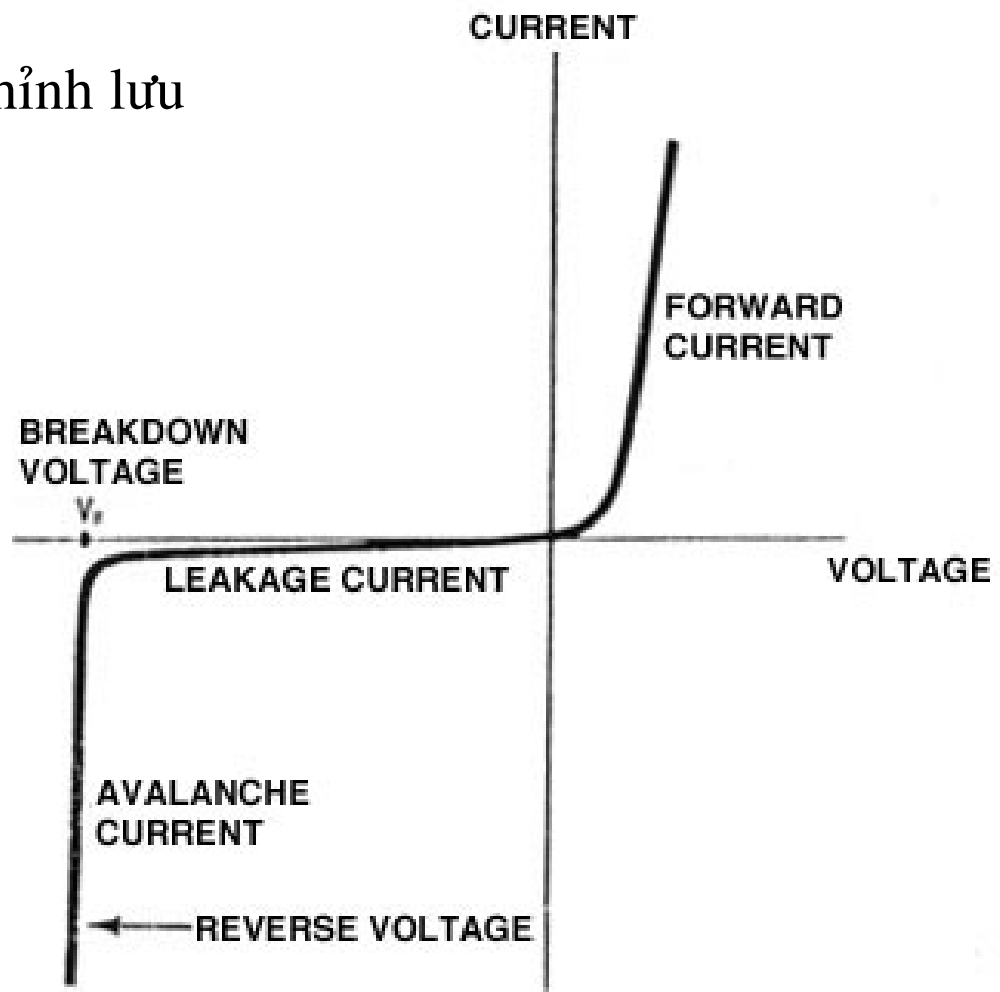
DIODE VÀ CÁC MẠCH ỨNG DỤNG

Diode chỉnh lưu



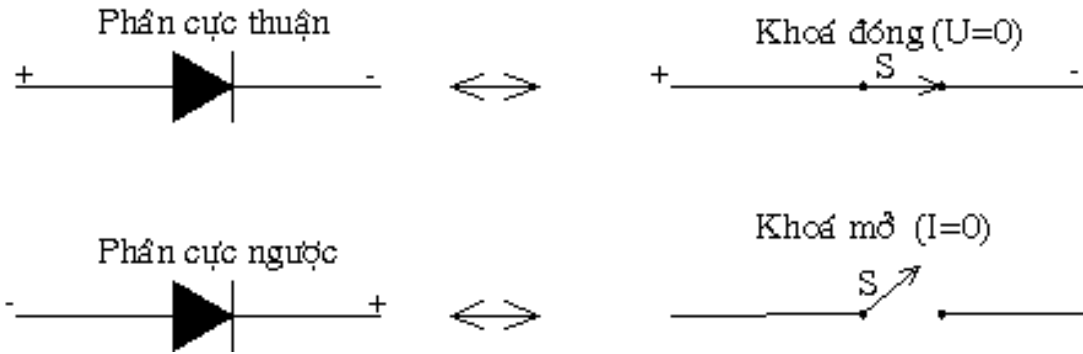
Diode chỉnh lưu

Đặc tính V-A của diode chỉnh lưu

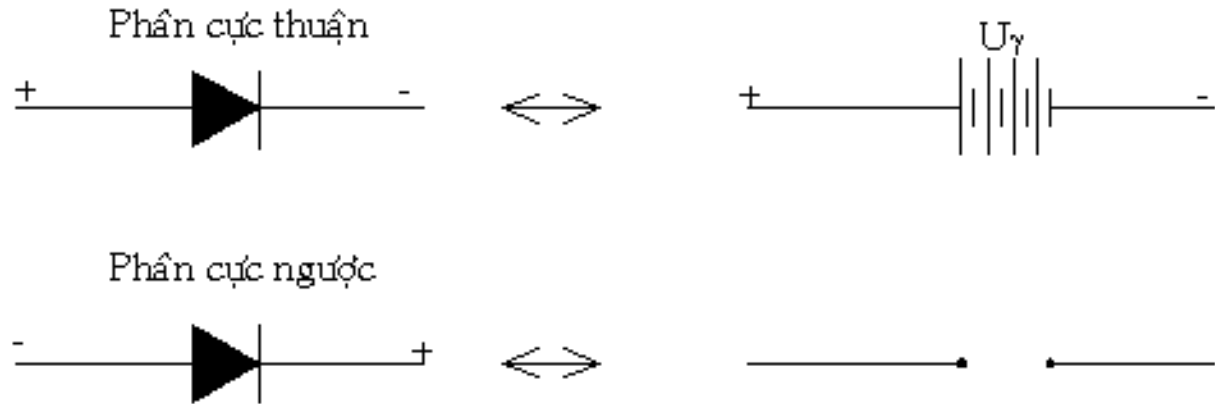


Mô hình tương đương

- Mô hình 1

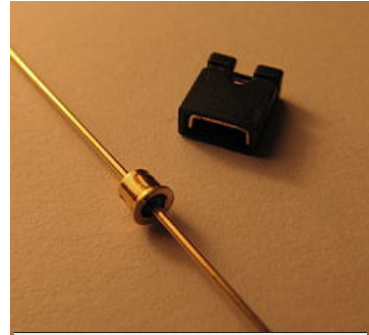


- Mô hình 2

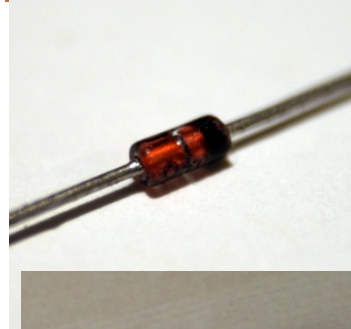


Các loại diode

- Diode Tunnel



- Diode Zener



- Diode Schottky

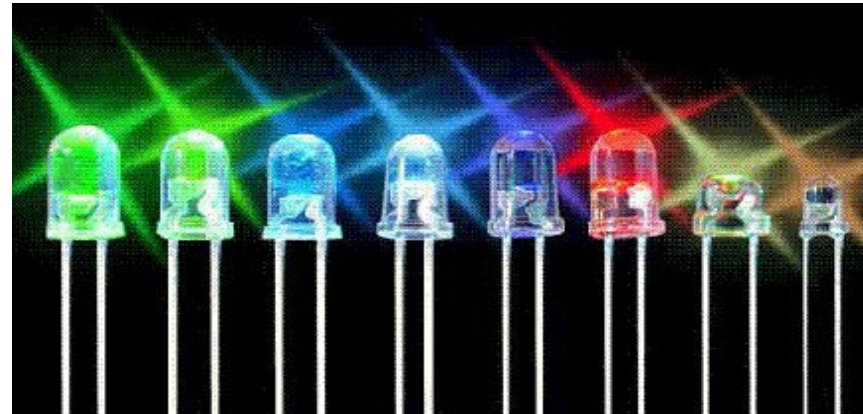


- Power diode

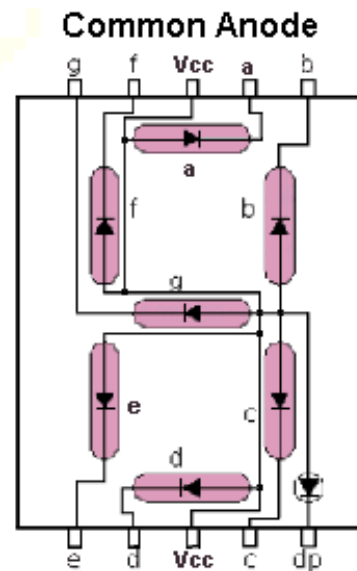
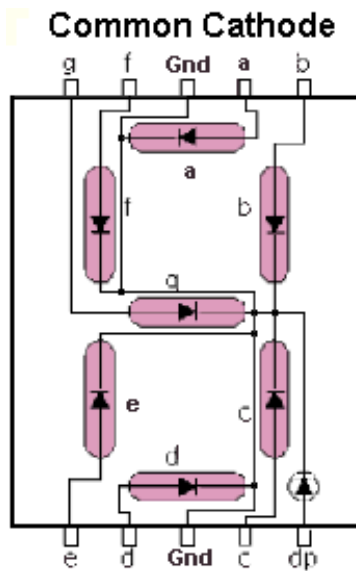


Light-Emitting Diode

- LED đơn

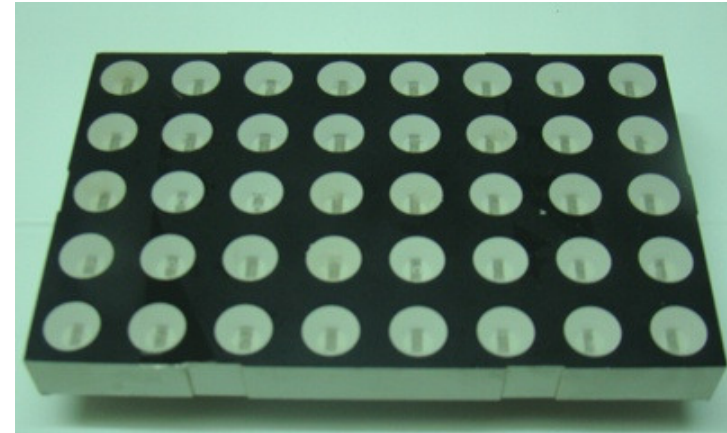
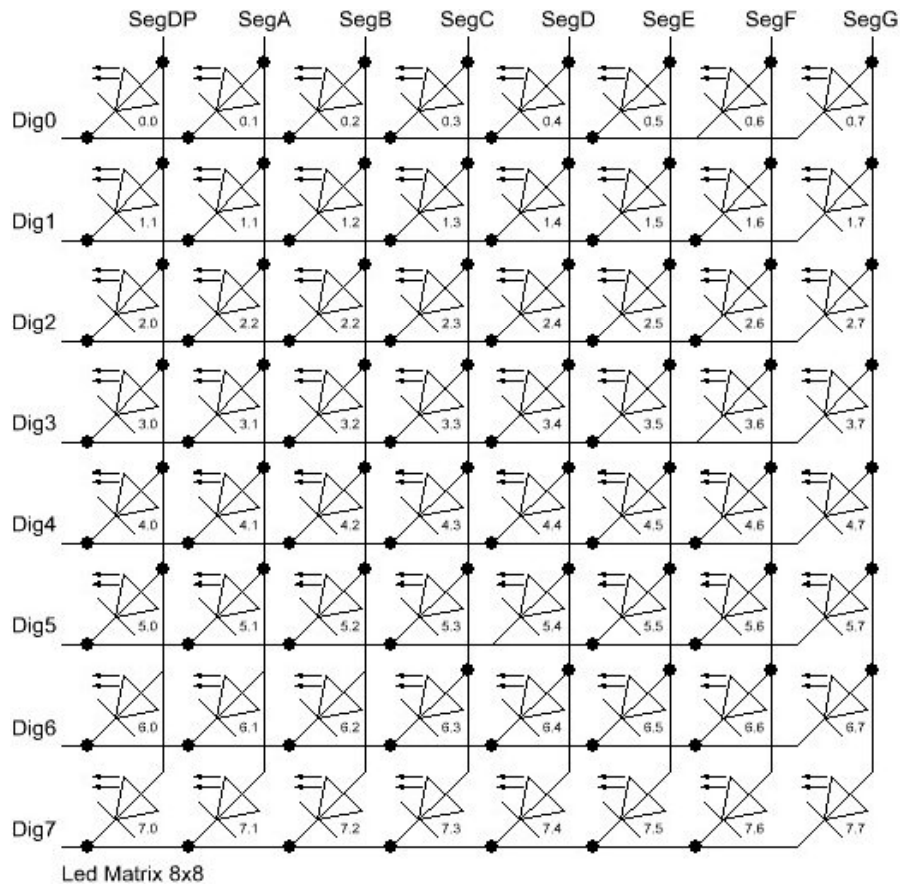


- LED 7 đoạn



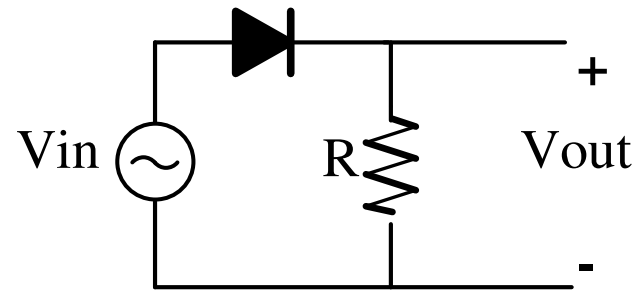
Light-Emitting Diode

- LED ma trận

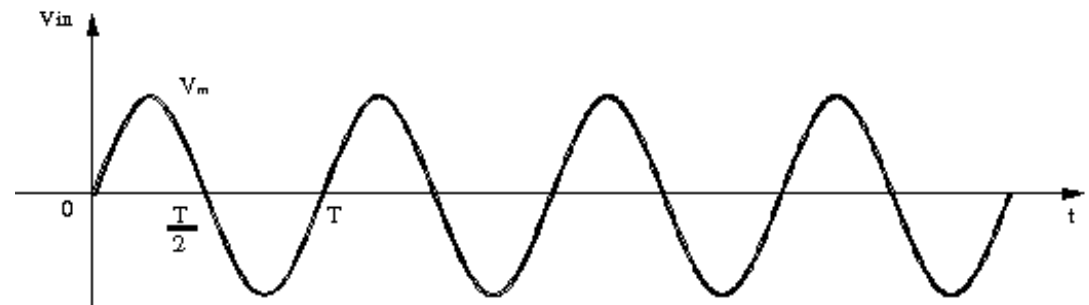
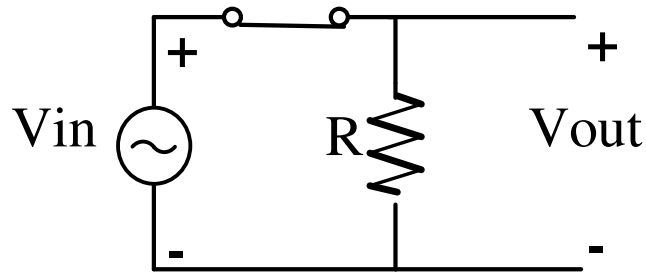


Ứng dụng của diode chỉnh lưu

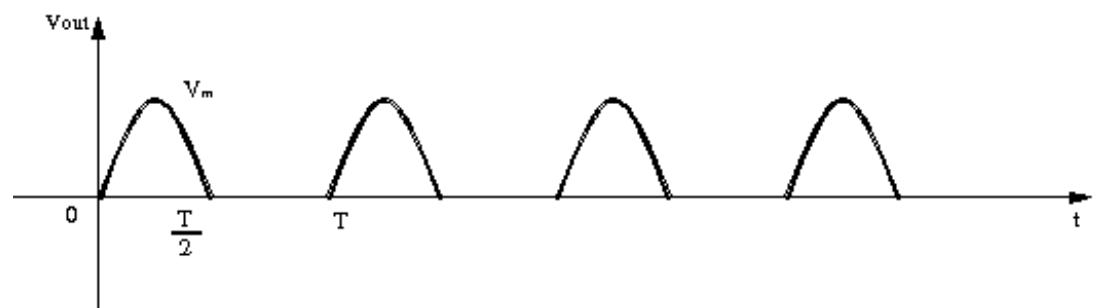
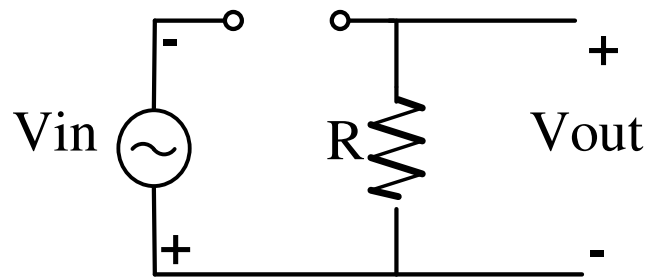
Mạch chỉnh lưu bán kỳ



- $0 < t < T/2$

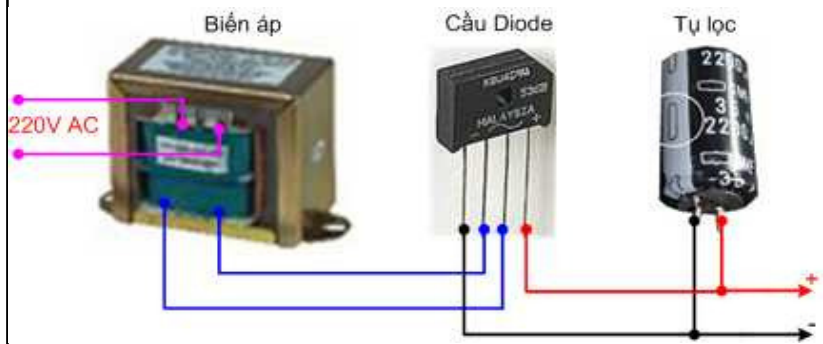
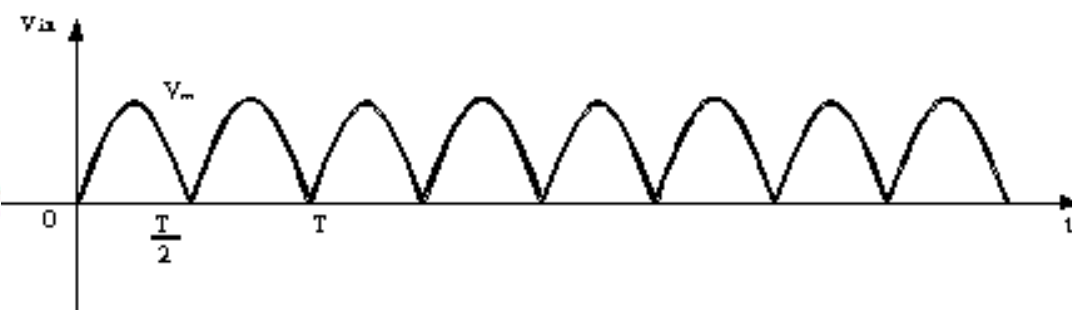
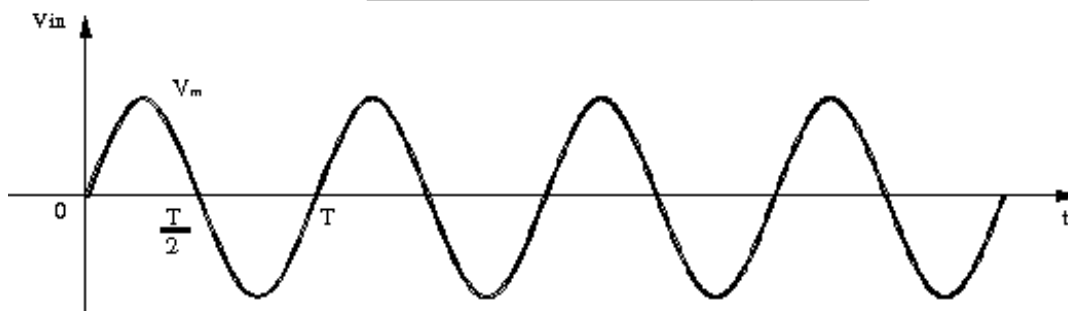
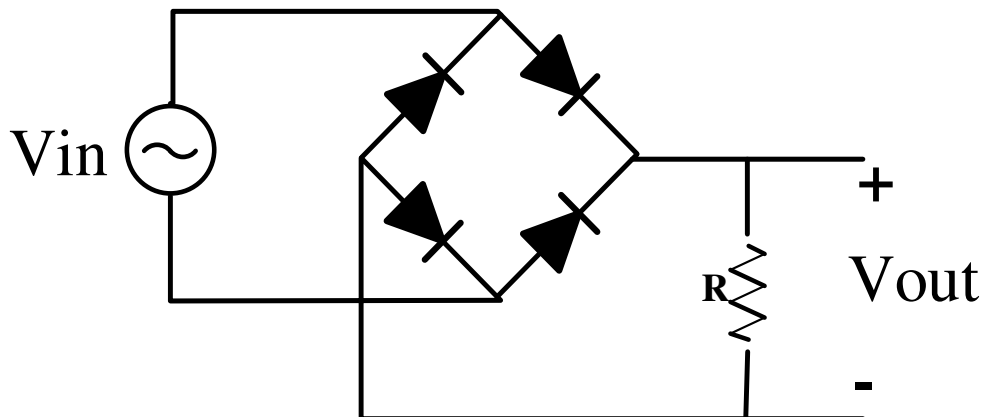


- $T/2 < t < T$



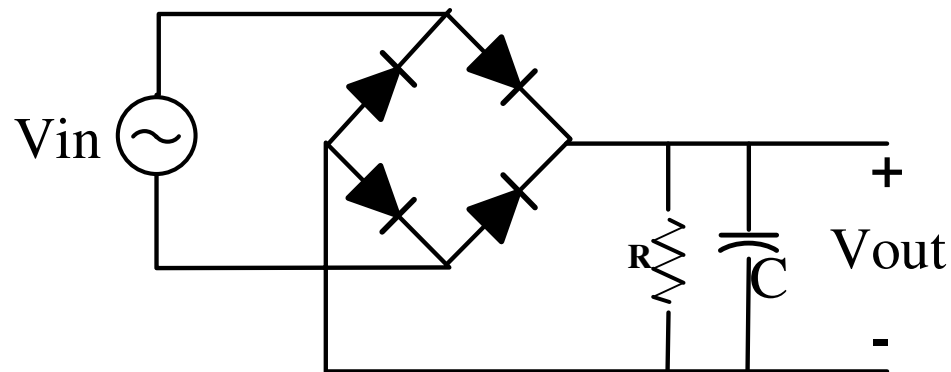
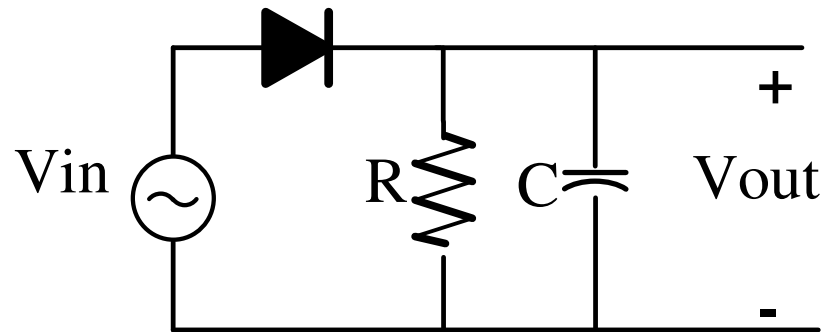
Ứng dụng của diode chỉnh lưu

Mạch chỉnh lưu toàn kỳ

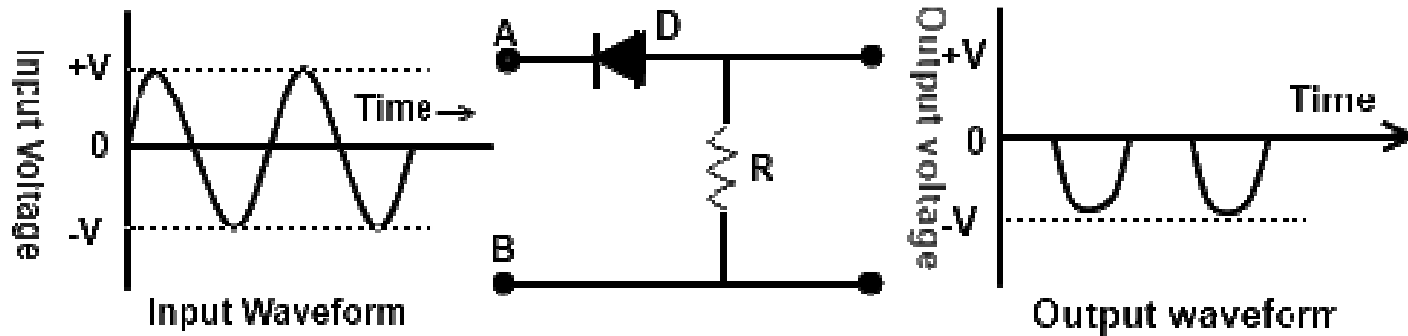
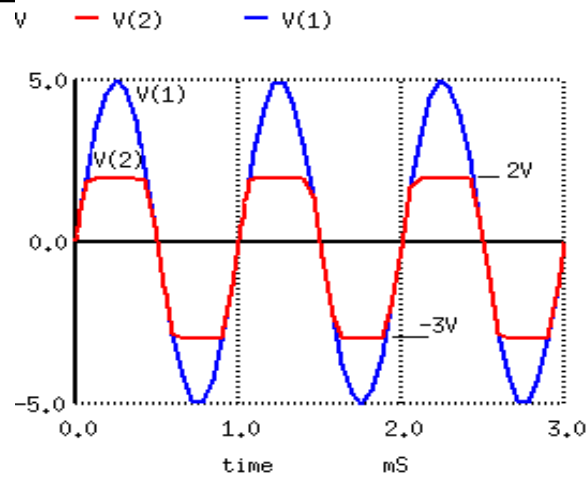


Ứng dụng của diode chỉnh lưu

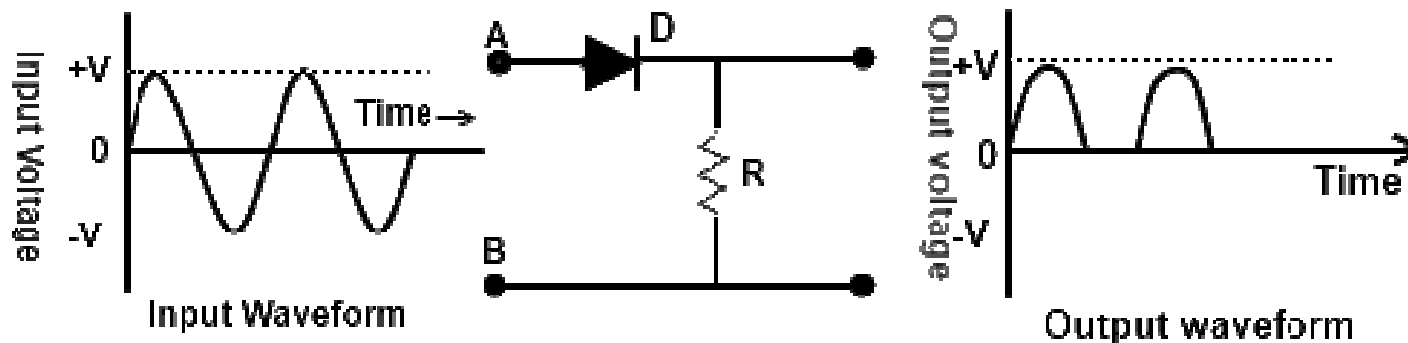
Tụ lọc thường được sử dụng để ổn định điện áp ra



Mạch xén



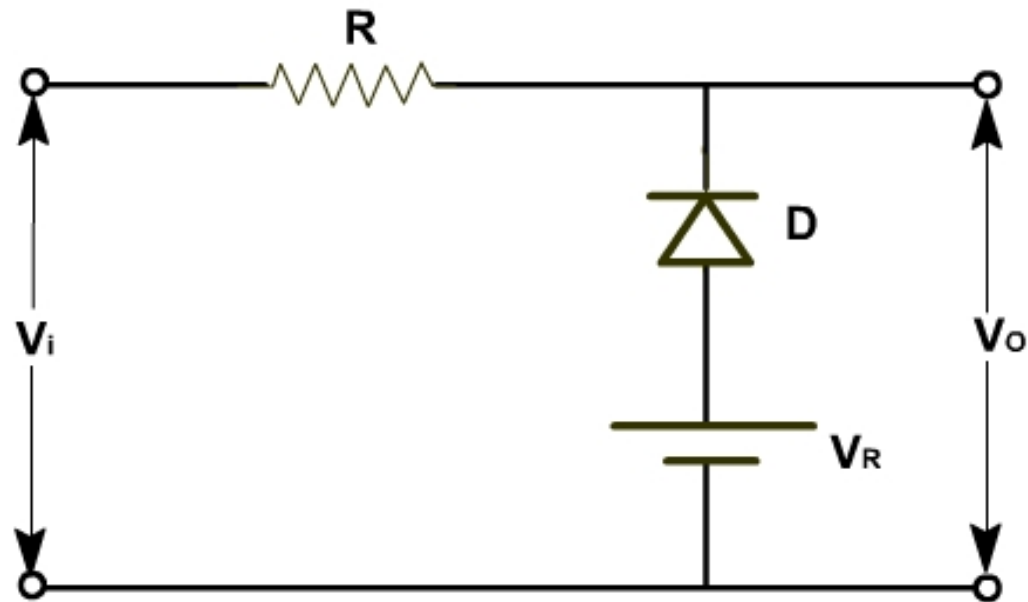
(a) Positive clipper



(b) Negative clipper

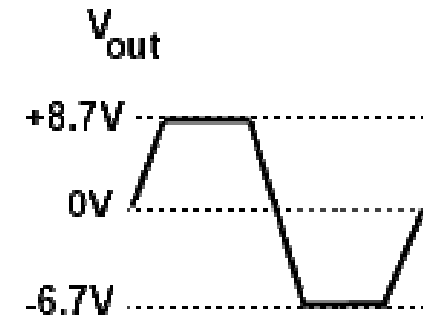
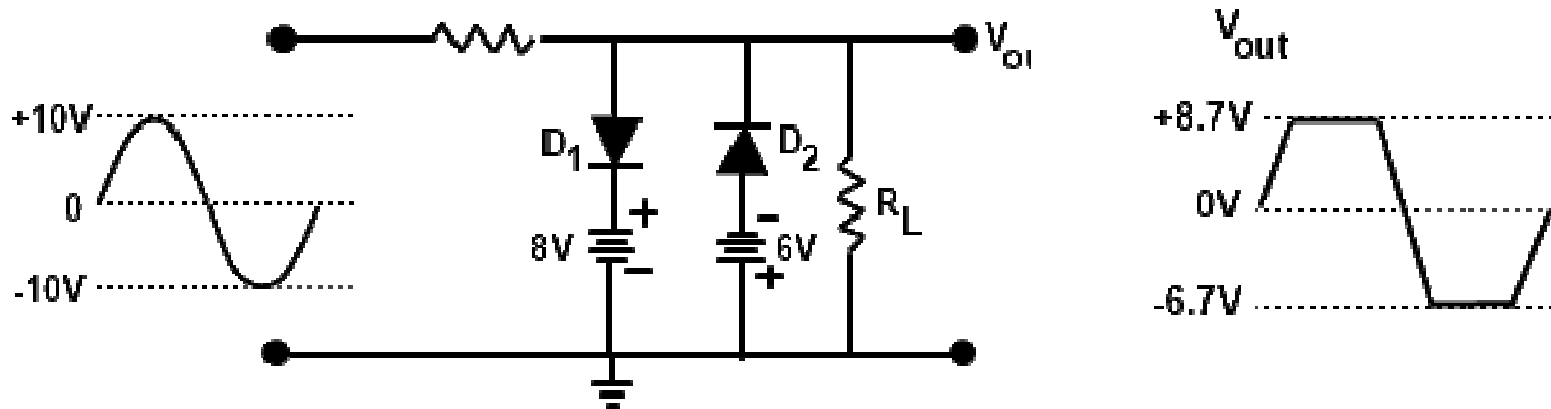
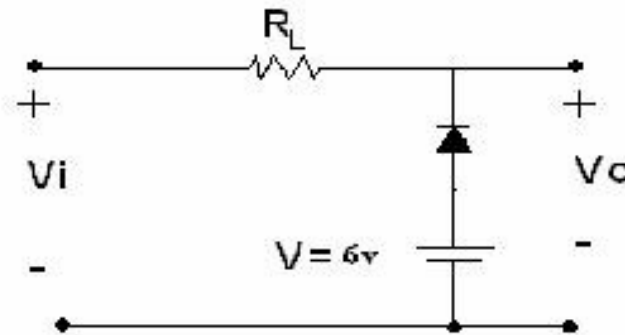
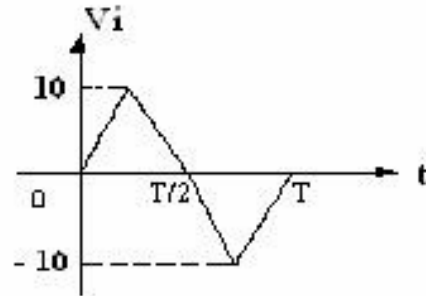
Mạch xén

Mạch xén với nguồn DC được bổ sung



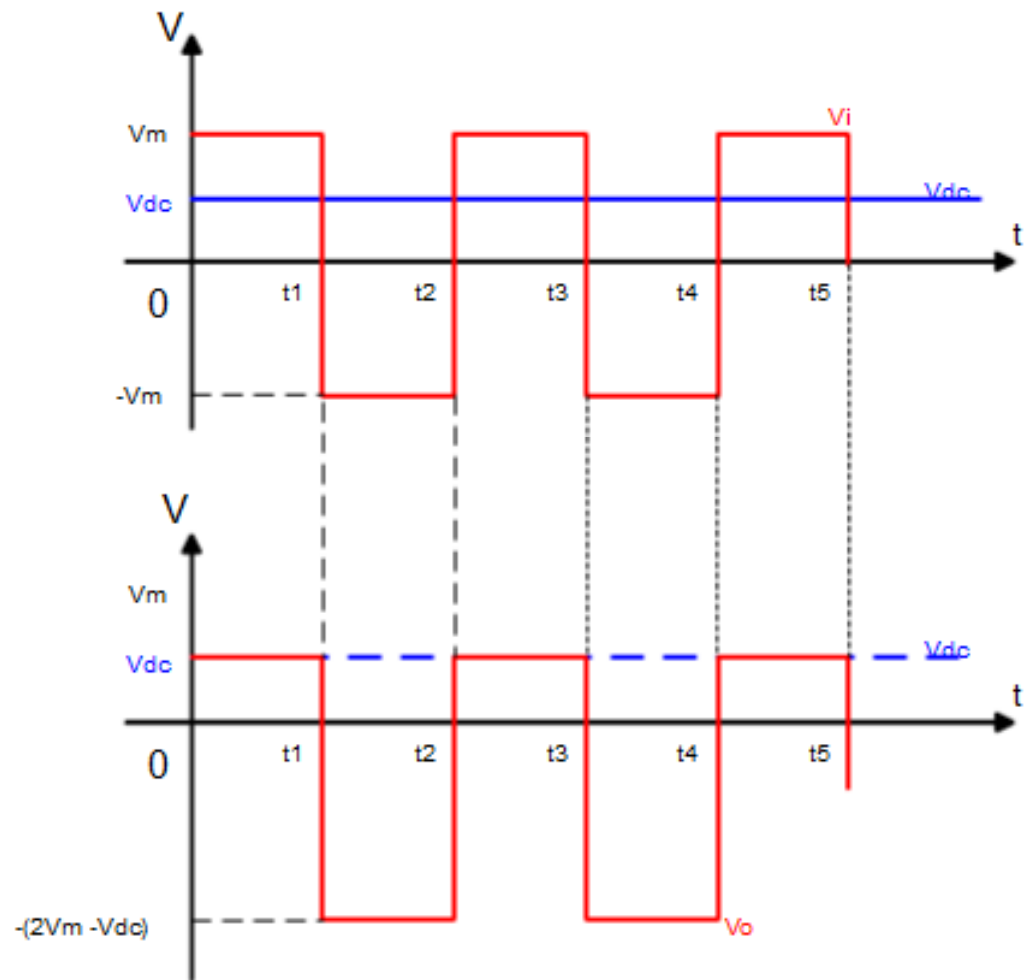
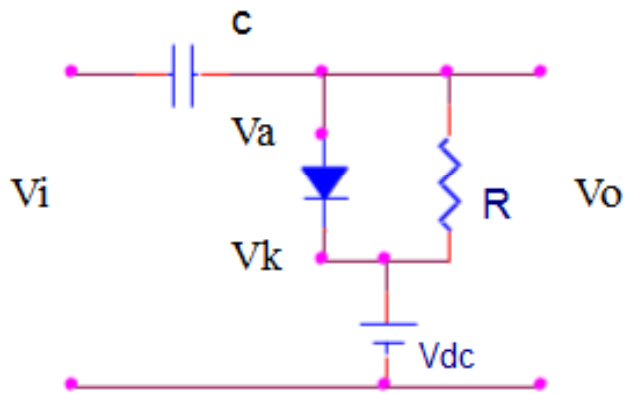
Mạch xén

Mạch xén với nguồn DC được bổ sung



Mạch ghim

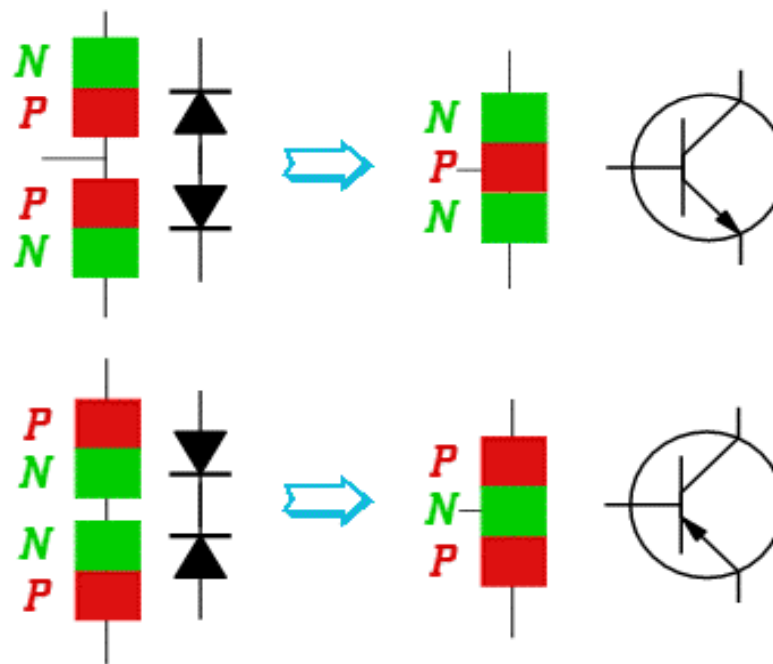
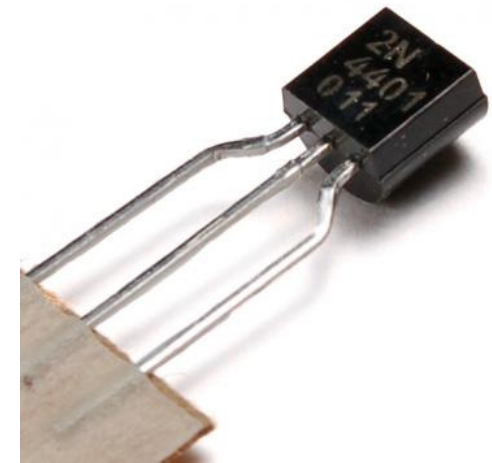
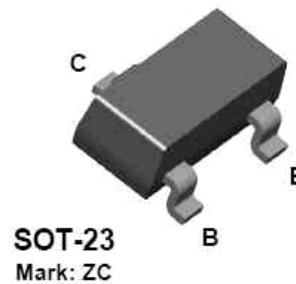
Mạch ghim là mạch cố định đỉnh trên hay đỉnh dưới của tín hiệu ở một giá trị điện áp nhất định



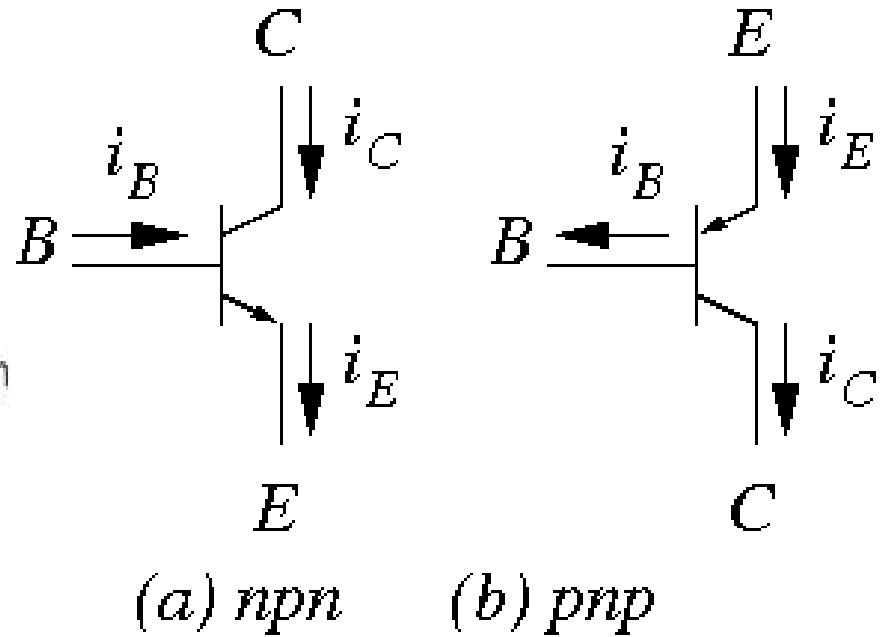
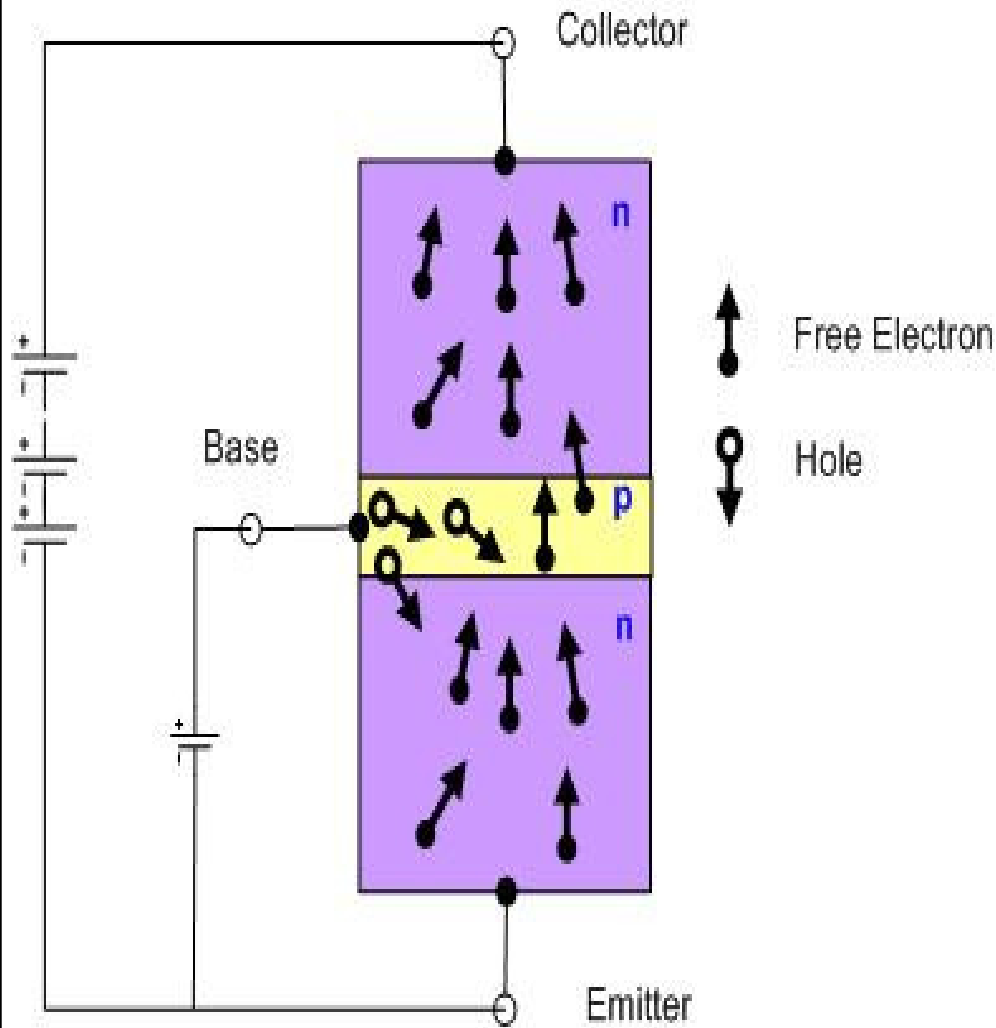
Chương 3

Transistor lưỡng cực Bipolar Junction Transistor - BJT

Cấu tạo và ký hiệu



Cấu tạo và ký hiệu



$$I_E = I_B + I_C$$

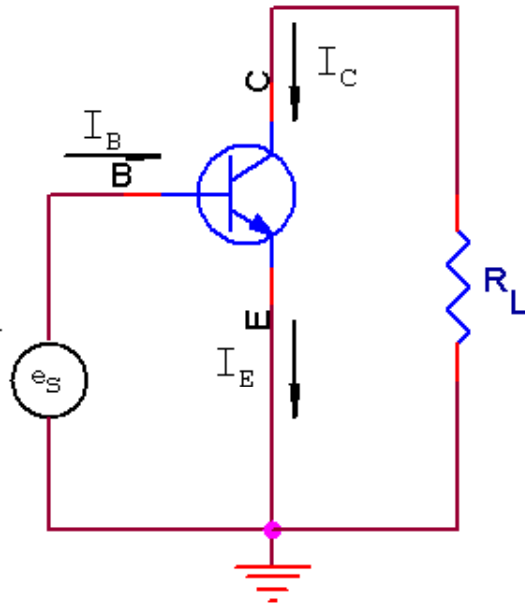
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

Chế độ làm việc

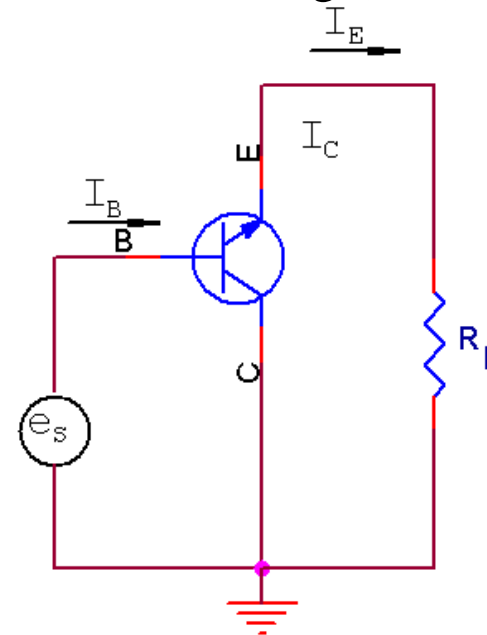
- Chế độ khuếch đại (J_E phân cực thuận, J_{C-} phân cực nghịch)
- Chế độ khóa điện tử hay chế độ đóng mở:
 - chuyển tiếp J_E, J_C đều phân cực thuận (trạng thái dẫn bão hòa hay còn gọi là trạng thái mở),
 - chuyển tiếp J_E, J_C đều phân cực nghịch (trạng thái ngưng dẫn hay còn gọi là trạng thái tắt)

Các chế độ hoạt động của transistor BJT

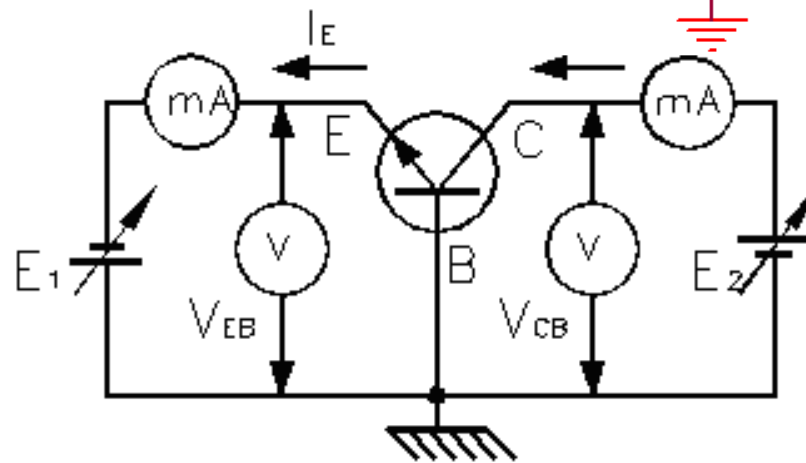
Mạch Emitter chung (EC)



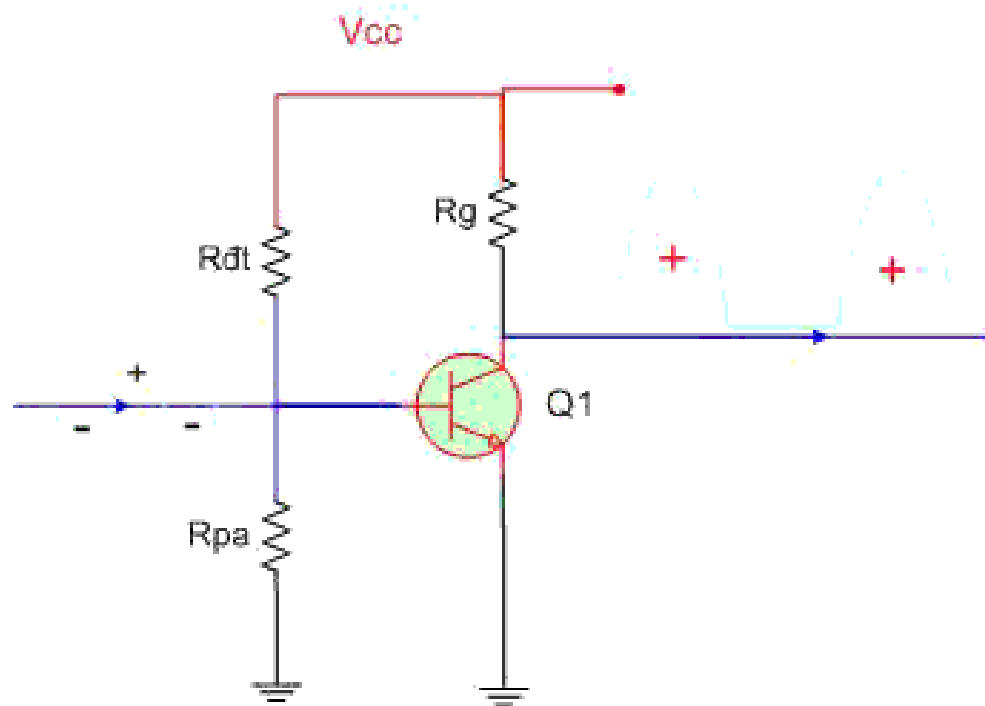
Mạch Collector chung (CC)



Mạch Base chung (BC)



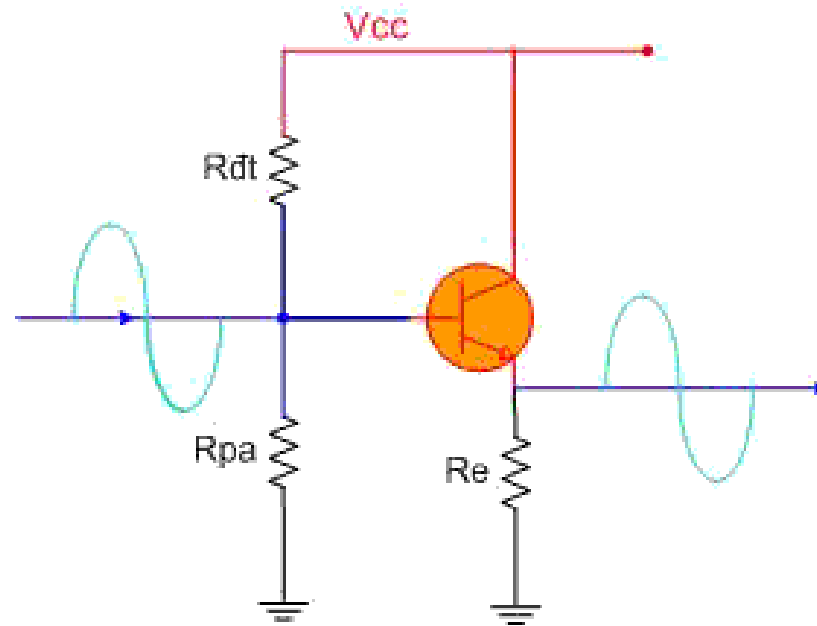
Mạch khuếch đại E chung (EC)



Điện áp U_{CE} khoảng 60% ÷ 70% V_{cc}

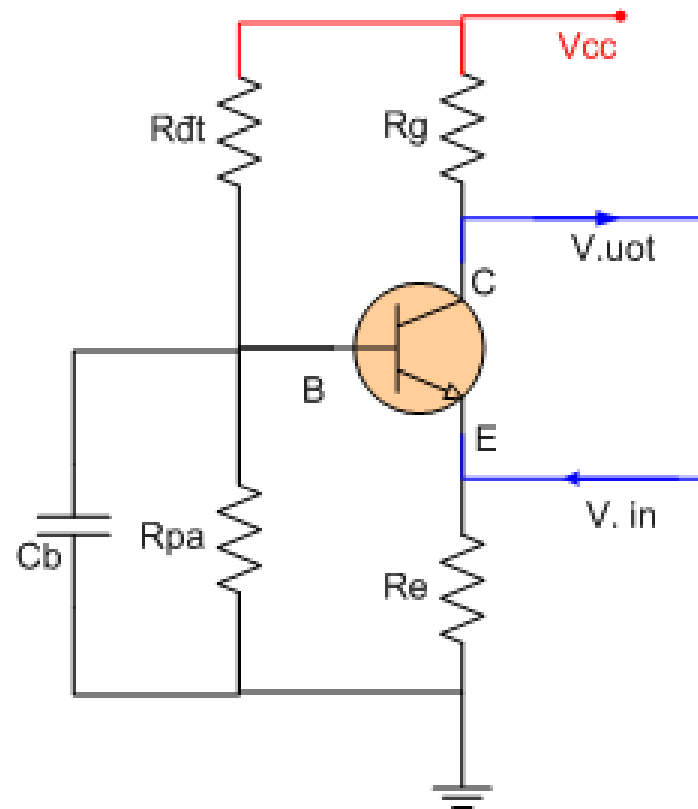
- Mạch khuếch đại điện áp
- Dòng điện tín hiệu ra lớn hơn dòng tín hiệu vào nhưng không đáng kể
- Tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào
- Được ứng dụng nhiều nhất trong thiết bị điện tử

Mạch khuếch đại C chung (CC)



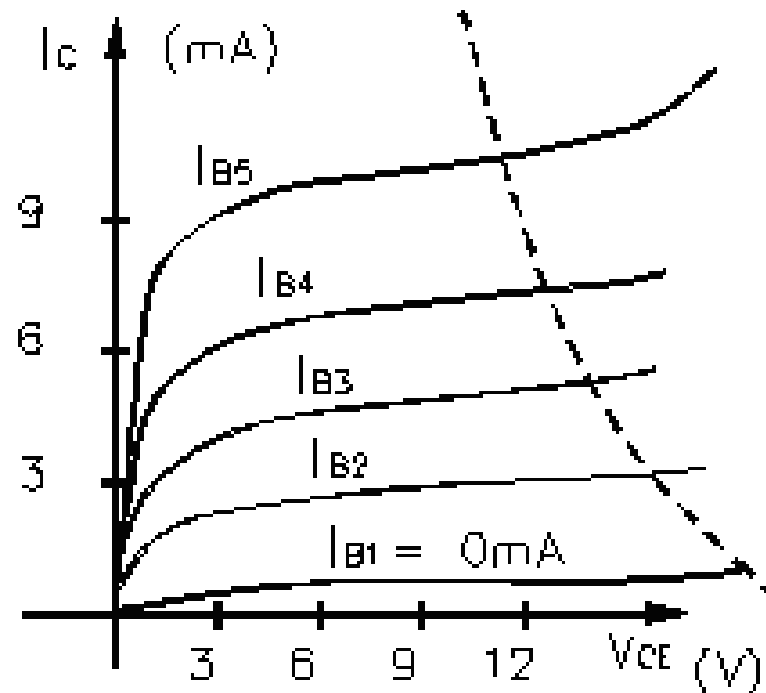
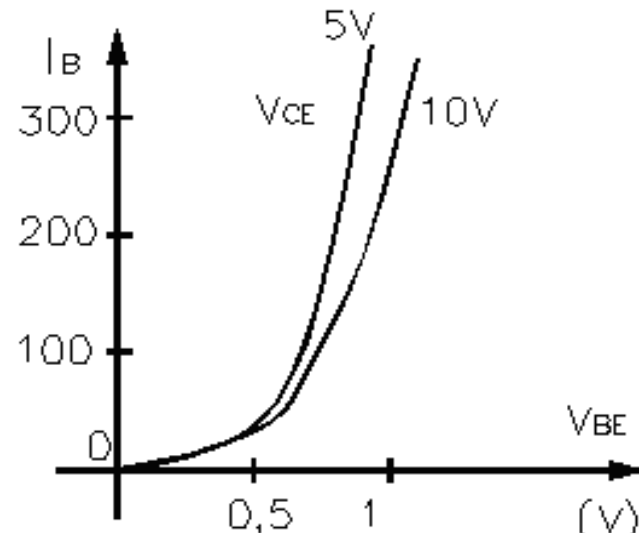
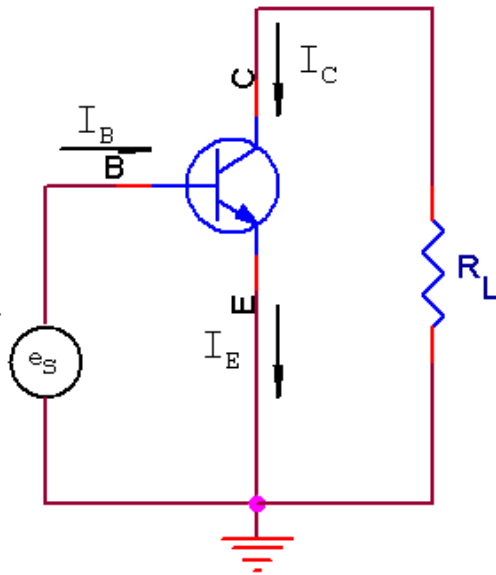
- Biên độ tín hiệu ra bằng biên độ tín hiệu vào
- Cường độ dòng điện tín hiệu ra mạnh hơn tín hiệu vào gấp nhiều lần
- Tín hiệu ra cùng pha với tín hiệu vào
- Được ứng dụng nhiều trong các mạch khuếch đại đệm và mạch ổn áp nguồn

Mạch khuếch đại B chung (BC)



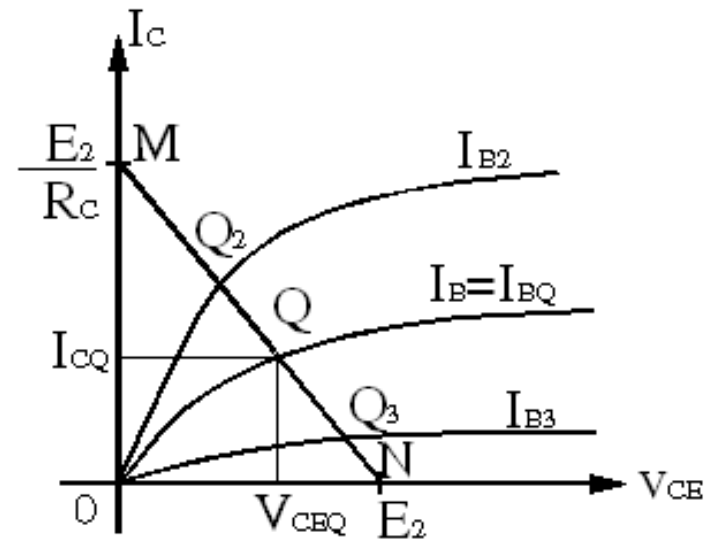
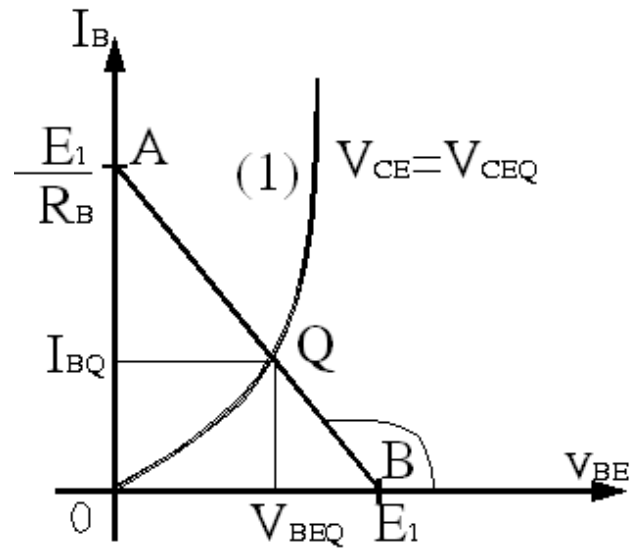
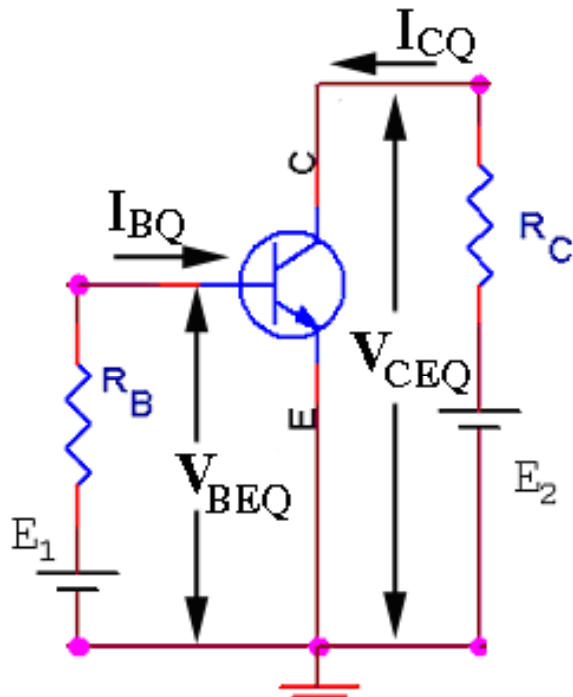
Rất ít được sử dụng trong thực tế

Mạch EC



Điểm làm việc tĩnh và đường tải một chiều

Mạch Emitter chung (EC)



Phân cực BJT

Yêu cầu ổn định điểm làm việc tĩnh

- Dòng ngược collector của BJT tăng nhanh theo nhiệt độ
- Các hệ số truyền đạt dòng điện α , β tăng theo nhiệt độ

$$\beta(T_2) = \beta(T_1) \left(1 + \frac{T_2 - T_1}{75} \right)$$

- Điện áp trên chuyển tiếp emitter V_{BE} ứng với một dòng điện $I_B = \text{const}$ giảm khi nhiệt độ tăng

$$\varepsilon_T = \left. \frac{dV_{BE}}{dT} \right|_{(I_B = \text{const})} = -(2 \div 2,5) \text{ mV / } ^\circ \text{C}$$

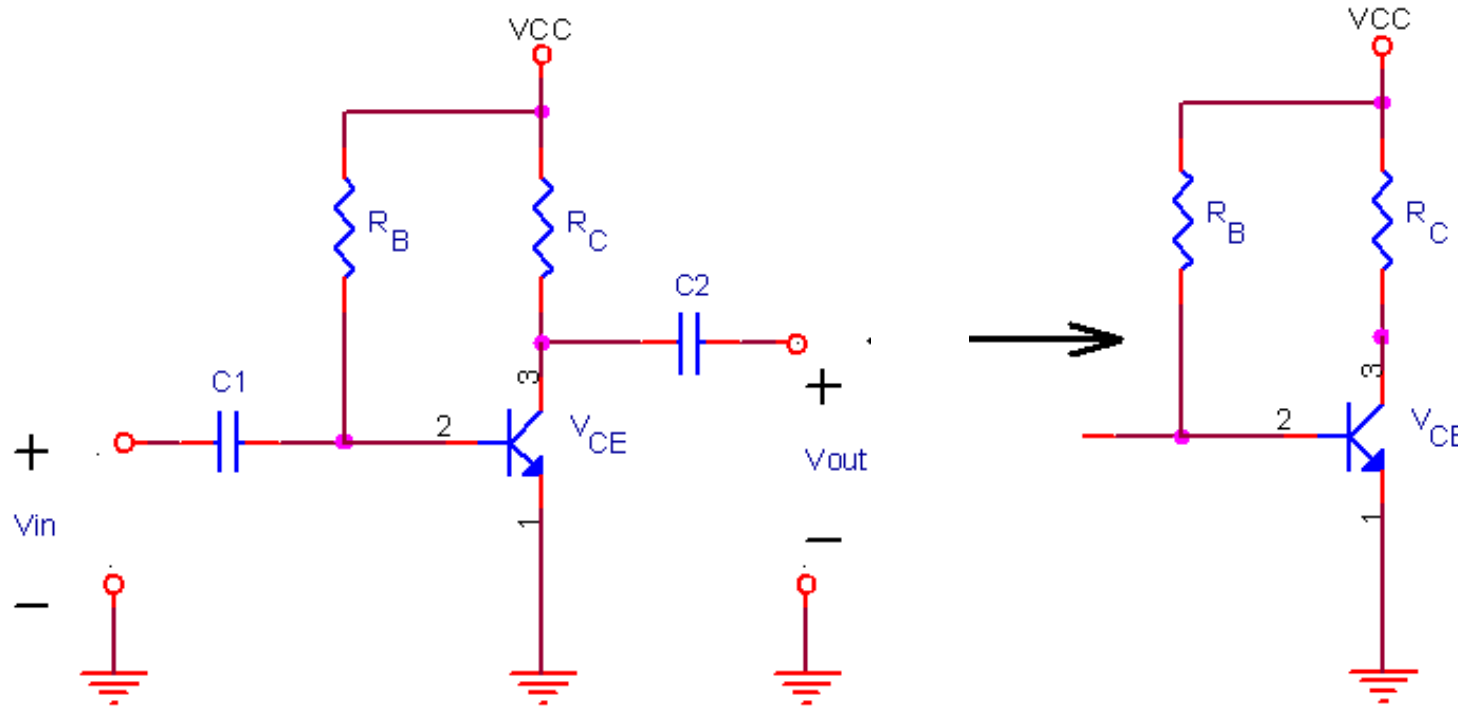
S là độ bất ổn định: tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định của các mạch điện..

Trường hợp lí tưởng: $S = 1$, mạch ổn định nhất. Nếu S càng lớn, mạch càng kém ổn định.

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}}$$

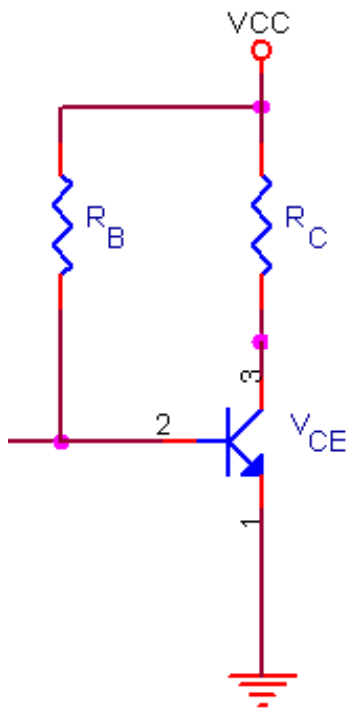
Các mạch phân cực BJT

Mạch phân cực định dòng I_B không có R_E



Các mạch phân cực BJT

Mạch phân cực định dòng I_B không có R_E



$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{CE} = I_C R_C + V_{CE} \quad (*)$$

$$V_{CC} = V_{R_B} + V_{BE} = I_B R_B + V_{BE} \quad (**)$$

• Bài toán tính toán

$$V_{BEQ} = 0.7 \text{ V} \quad (***) \Leftrightarrow I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_B}$$

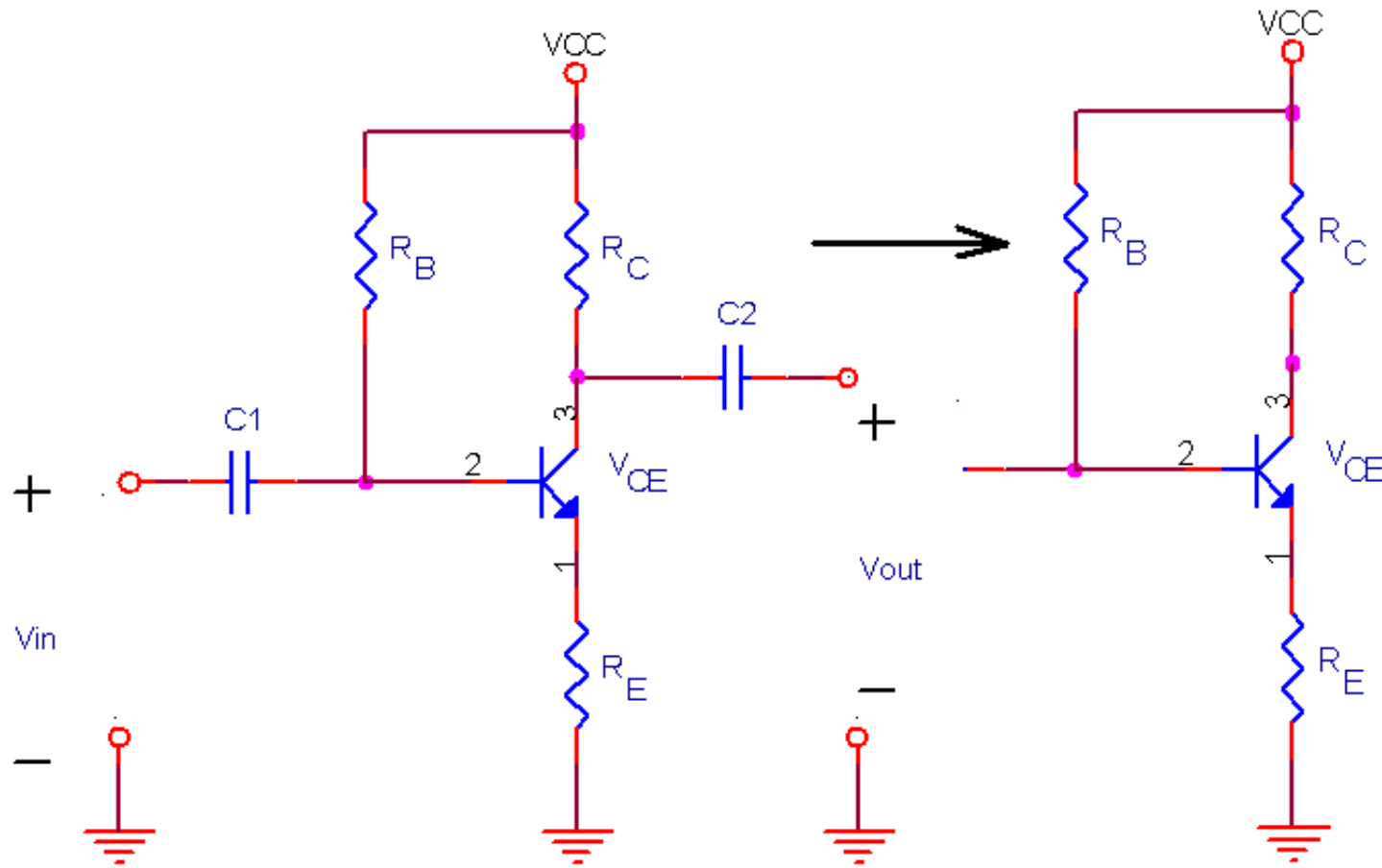
$$I_C = \beta I_B \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

• Bài toán thiết kế

$$(*) \Leftrightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \quad (***) \Leftrightarrow R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_C / \beta}$$

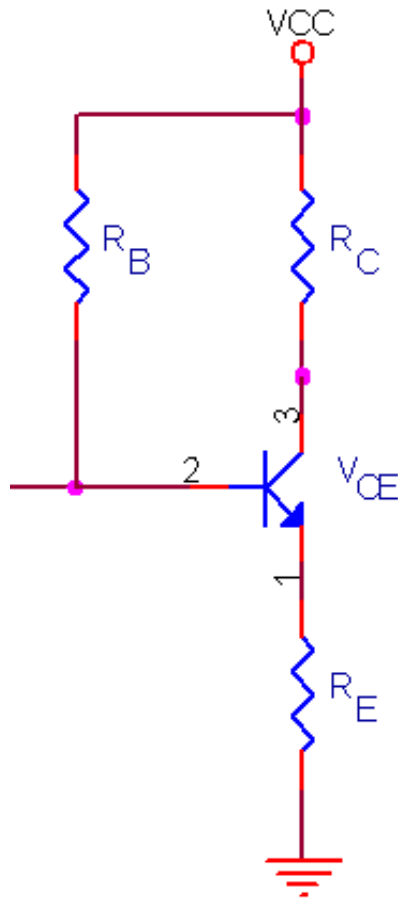
Các mạch phân cực BJT

Mạch phân cực định dòng I_B có R_E



Các mạch phân cực BJT

Mạch phân cực định dòng I_B có R_E

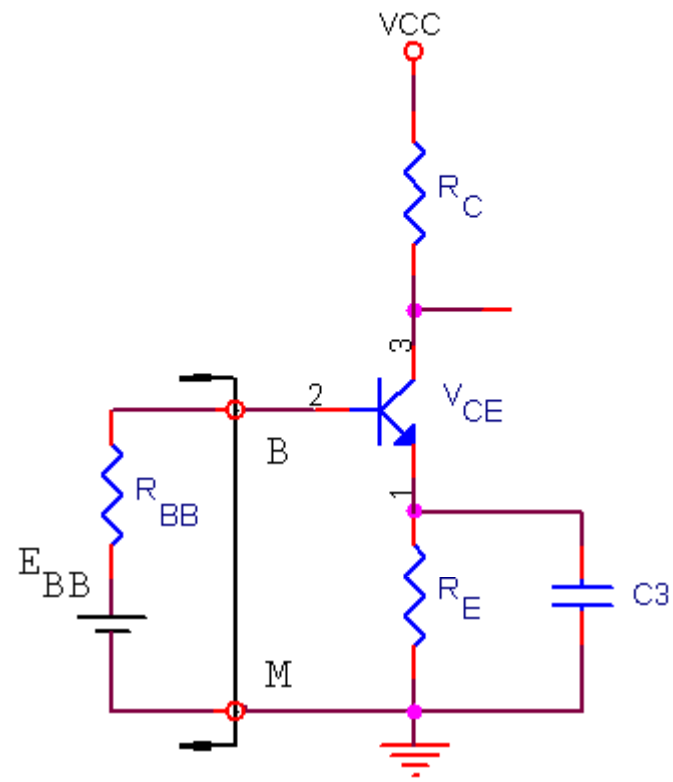
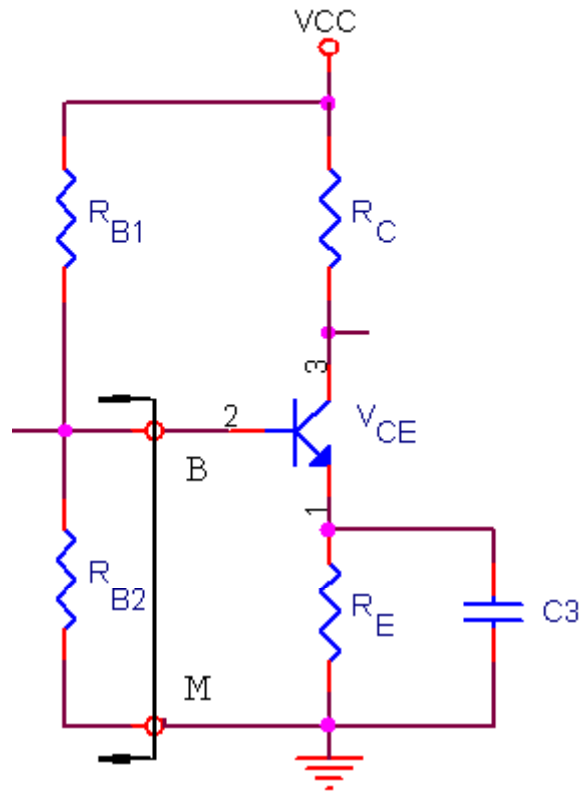


$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{CE} + V_{R_E} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E \quad (*)$$

$$V_{CC} = V_{R_B} + V_{BE} + V_{R_E} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \quad (**)$$

$$S = (\beta + 1) \frac{R_E + R_B}{R_B + (\beta + 1)R_E} \approx \frac{R_B}{R_E + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$

Mạch phân cực cầu phân áp



$$E_{BB} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

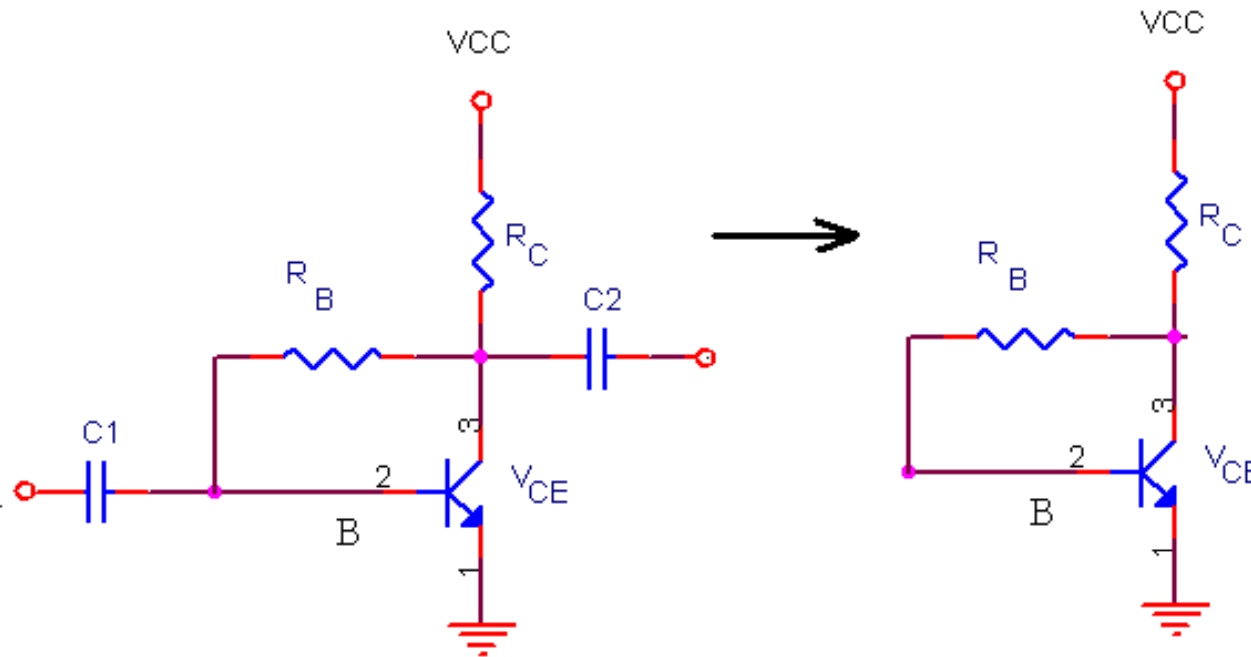
$$R_{BB} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$S = 1 + \frac{R_{BB}}{R_E}$$

$$E_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

Mạch phân cực hồi tiếp cực C

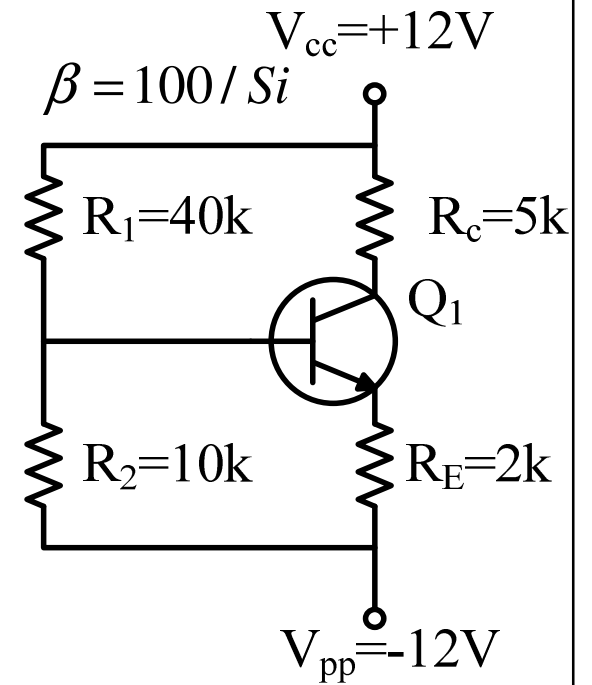
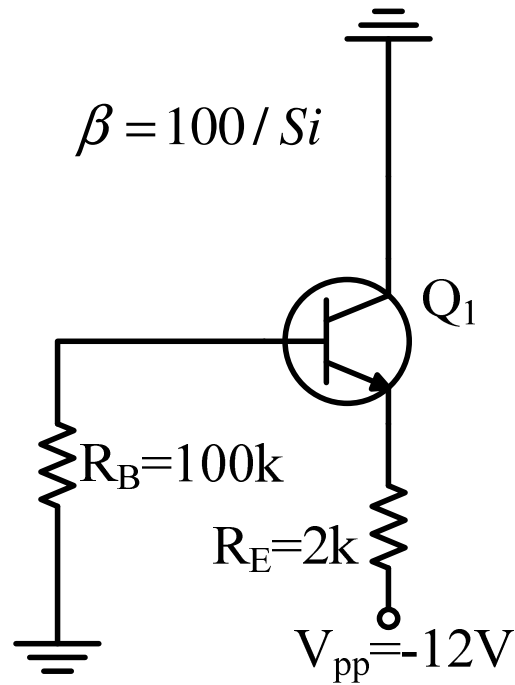
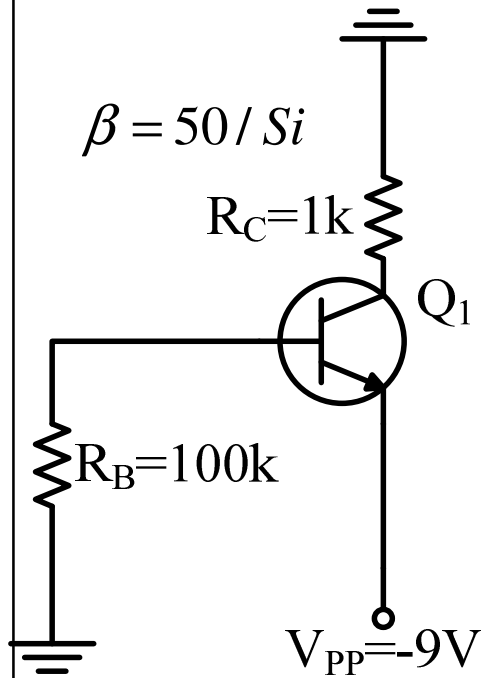


$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{CE} = (I_C + I_B)R_C + V_{CE}$$

$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{R_B} + V_{BE} = (I_C + I_B)R_C + I_B R_B + V_{BE}$$

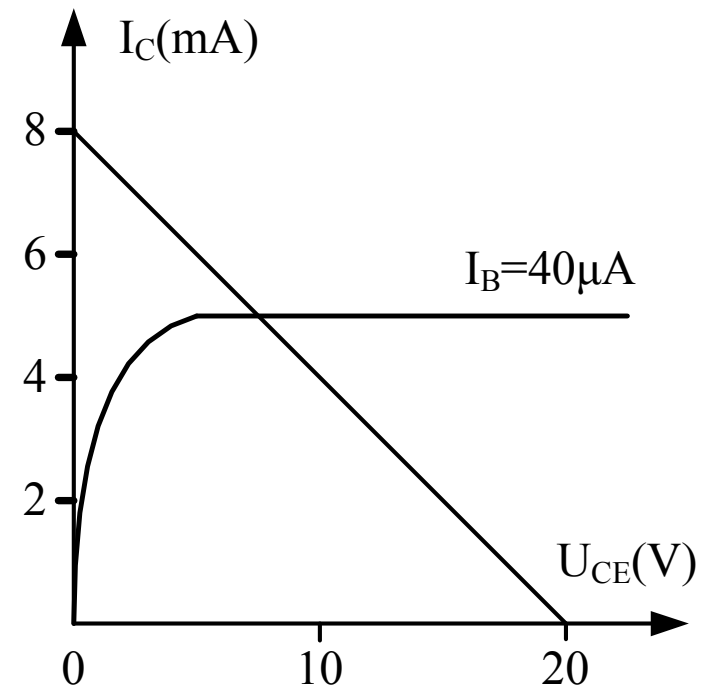
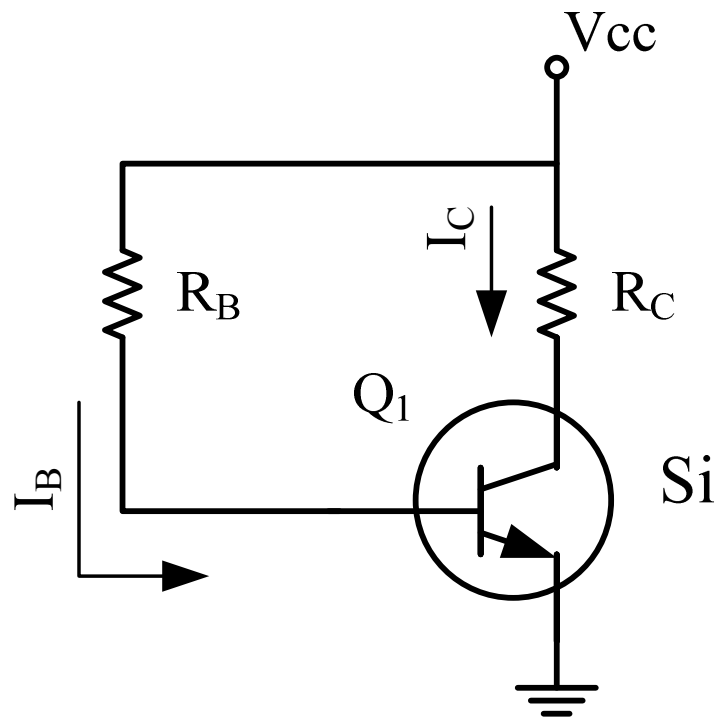
$$S = (\beta + 1) \frac{R_C + R_B}{R_B + (\beta + 1)R_C} = \frac{R_C + R_B}{R_C + (1 - \alpha)R_B}$$

Một số dạng phân cực khác



Ví dụ 1

- Cho mạch phân cực với đặc tuyến ngõ ra của BJT như hình dưới. Xác định V_{CC} , R_C , R_B .



Ví dụ 1

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_{CC} = 20V$$

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 8(mA) \Rightarrow R_C = 2.5(k\Omega)$$

$$V_{BE} = 0.7V$$

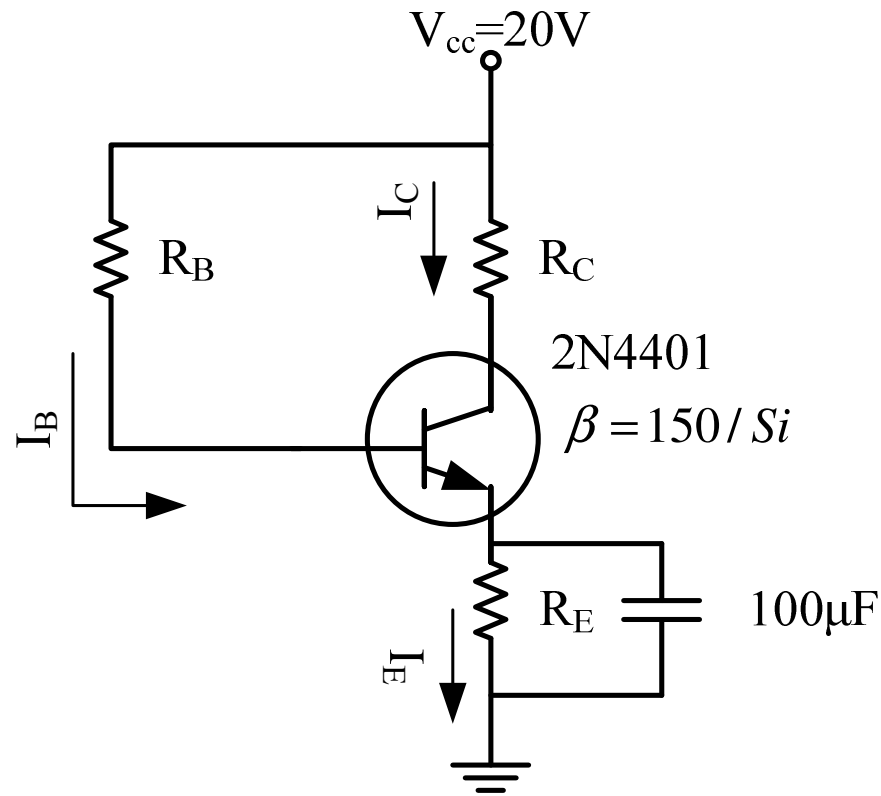
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20V - 0.7V}{R_B} = 40(\mu A)$$

$$\Rightarrow R_B = 482.5(k\Omega)$$

Để có các điện trở tiêu chuẩn ta chọn: $R_B = 470 K\Omega$, $R_C = 2.4 K\Omega$.

Ví dụ 2

- Thiết kế mạch phân cực như hình dưới. $I_C=2\text{mA}$, $V_{CE}=10\text{V}$



Ví dụ 2

Thực nghiệm, thường chọn V_E khoảng $1/10V_{CC}$.

$$V_E = \frac{1}{10} V_{CC} = \frac{1}{10} 20 = 2(V)$$

$$I_B = \frac{1}{\beta} I_C = \frac{1}{150} 2 = 13.333(\mu A)$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{V_E}{I_C} = \frac{2V}{2mA} = 1(k\Omega)$$

$$R_C = \frac{V_C - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{20V - 10V - 2V}{2mA} = 4(k\Omega)$$

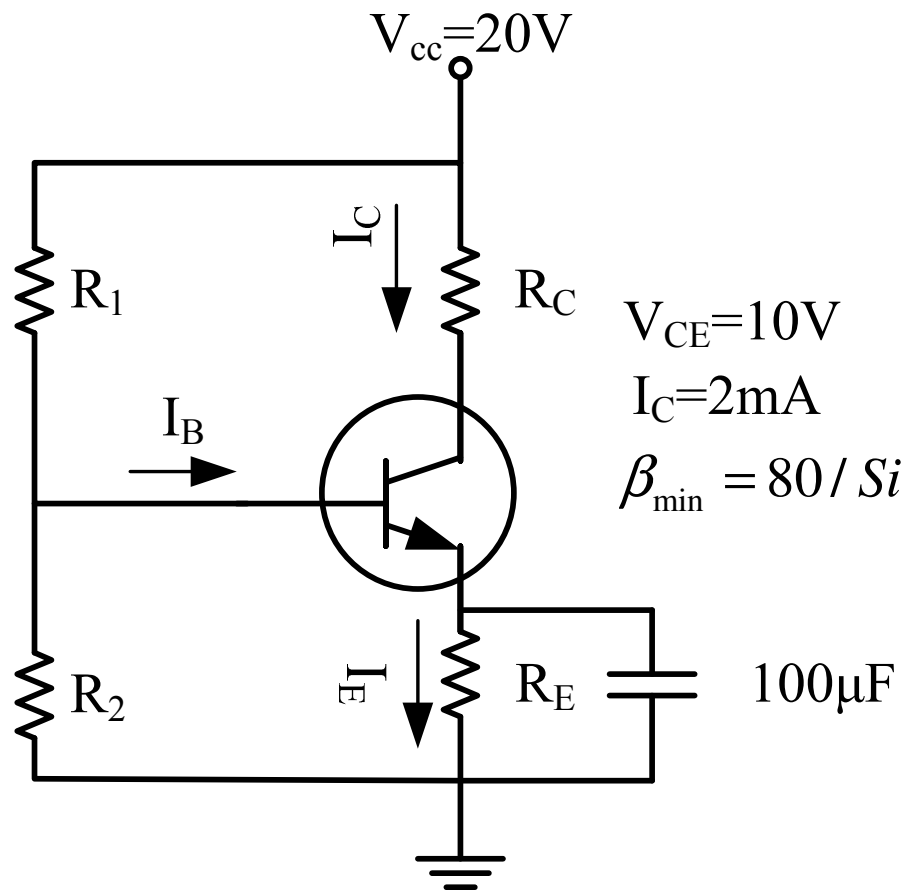
$$V_B = V_{CC} - V_{BE} - V_{R_E} = 20 - 0.7 - 2 = 17.3(V)$$

$$R_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{17.3V}{13.333\mu A} = 1.3(M\Omega)$$

Chọn
 $R_B = 1.2 M\Omega$

Ví dụ 3

- Thiết kế mạch phân cực có dạng như hình dưới



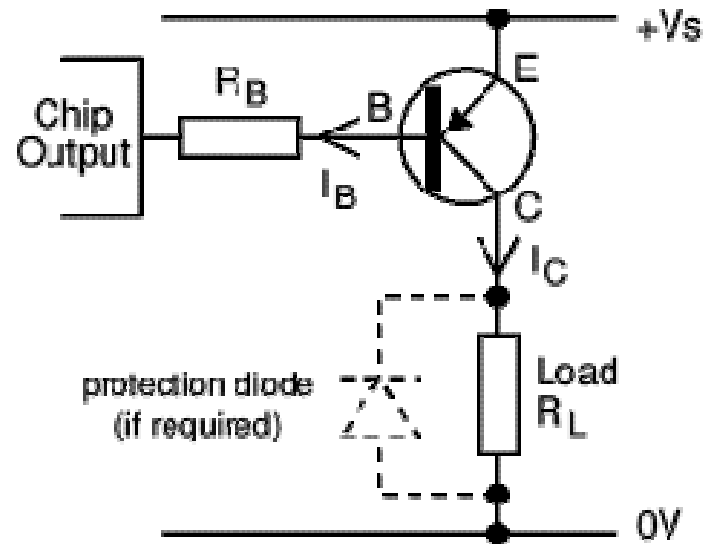
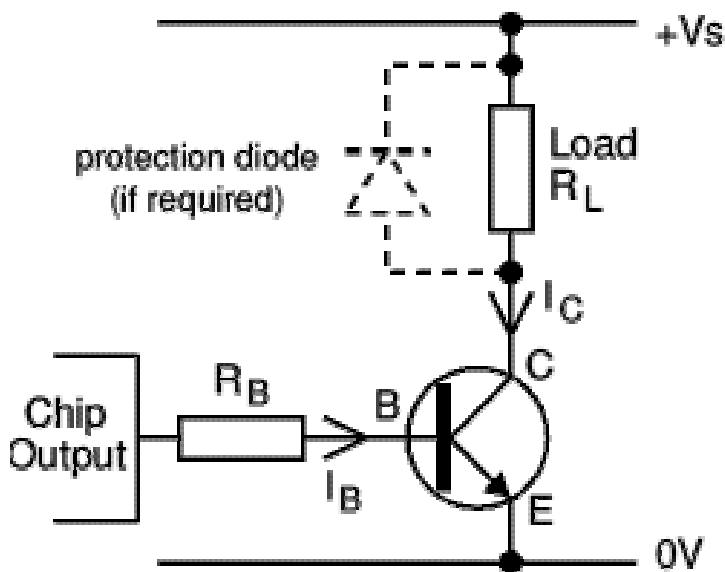
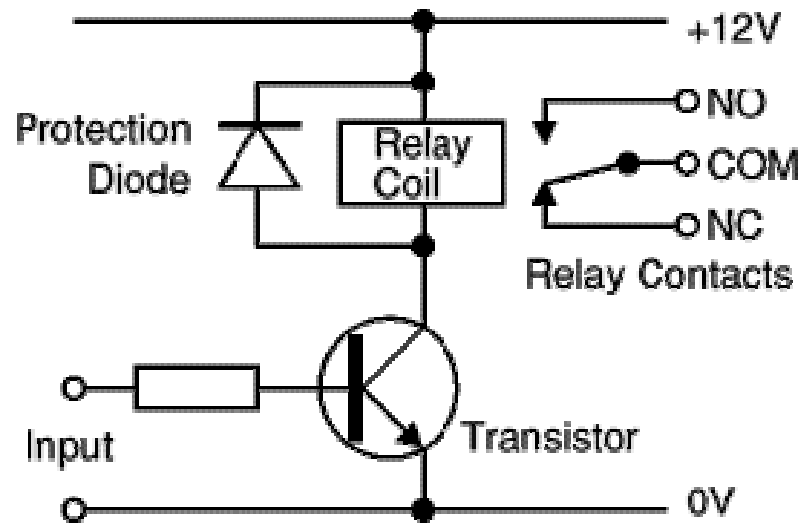
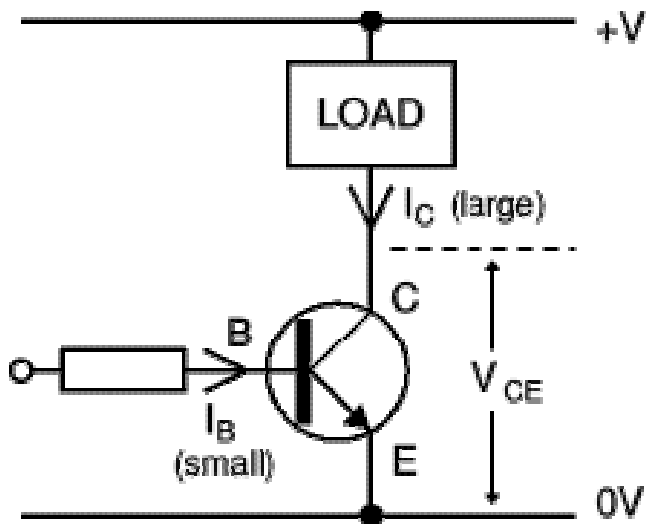
$$R_2 = 6,8 (k\Omega)$$

$$R_1 = 39k\Omega \text{ hoặc } 47k\Omega$$

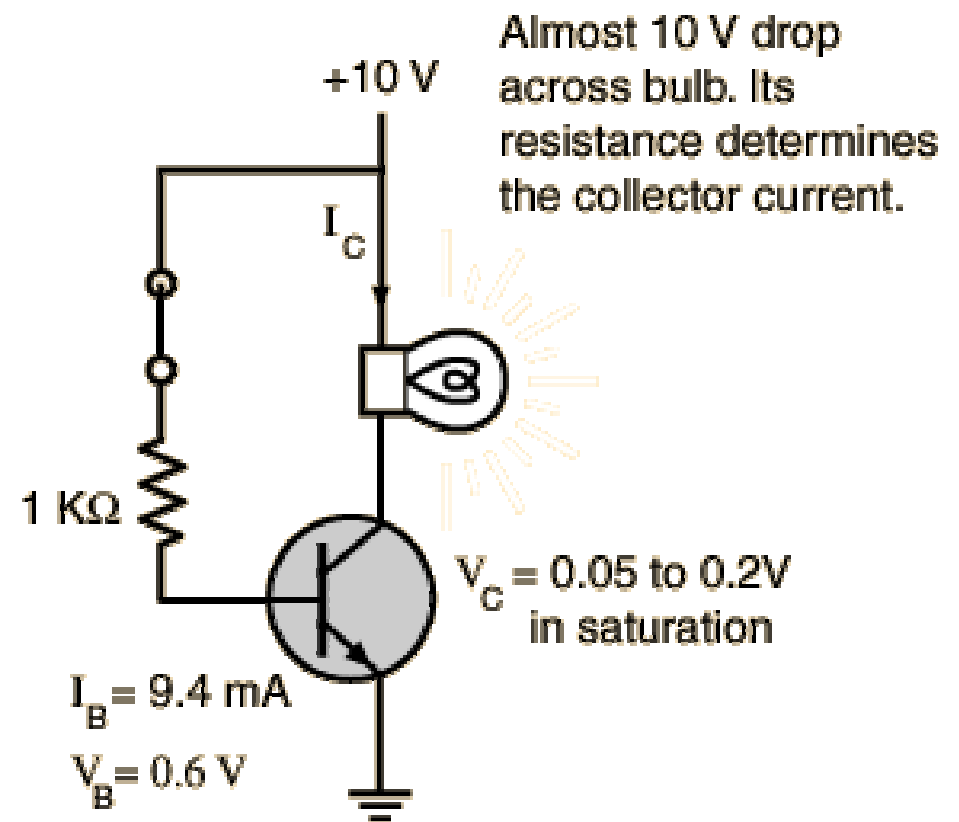
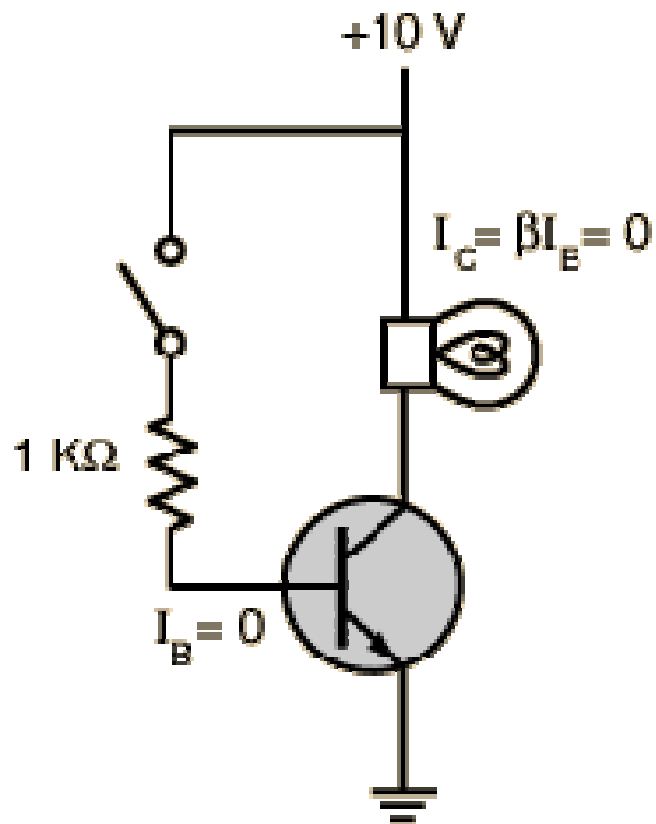
$$R_E = 1k\Omega$$

$$R_C = 4k\Omega$$

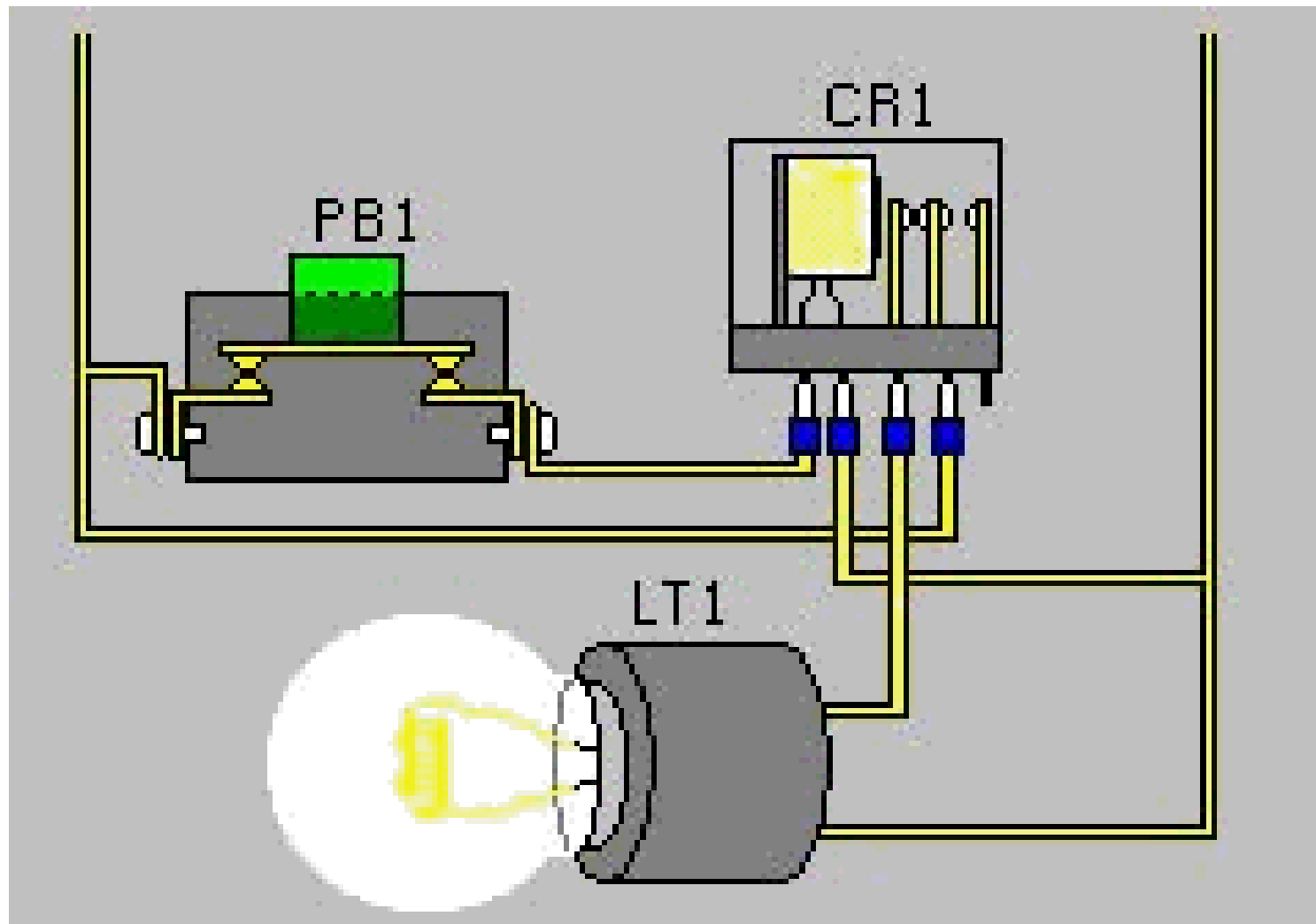
Chế độ khóa điện tử



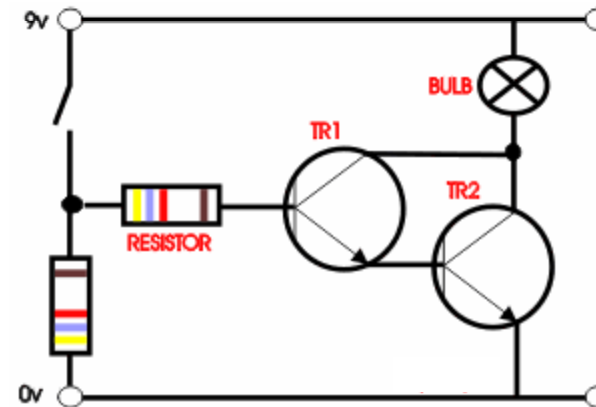
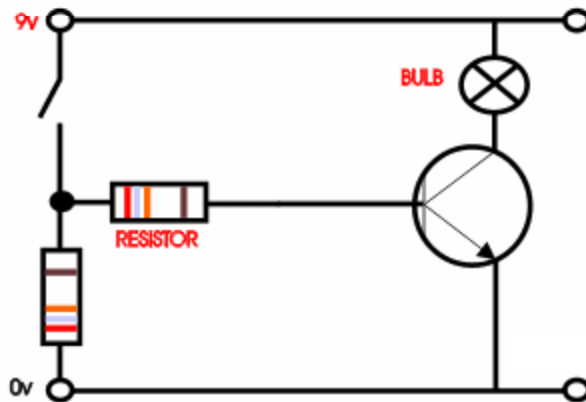
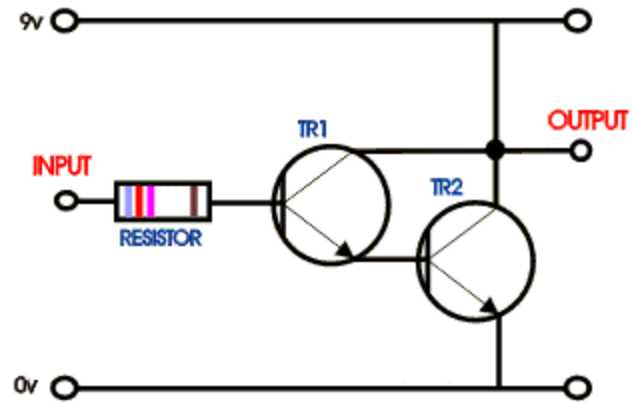
Chế độ khóa điện tử



Chế độ khóa điện tử



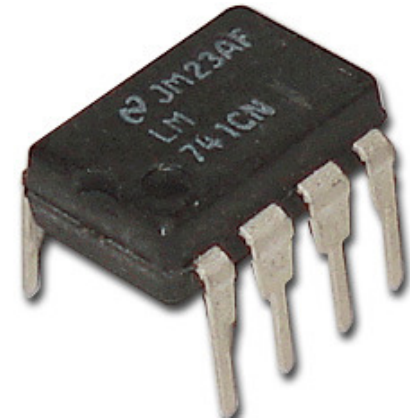
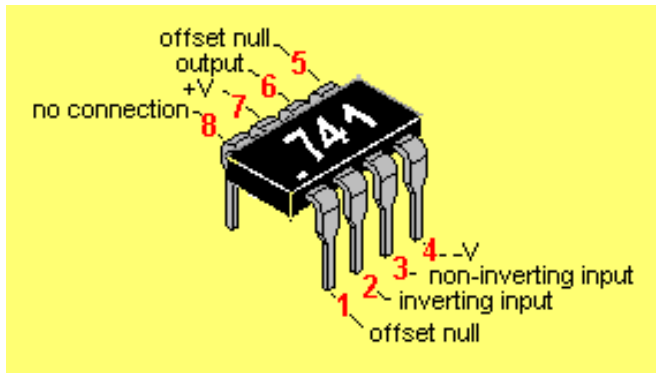
Mạch ghép Darlington



Chương 4

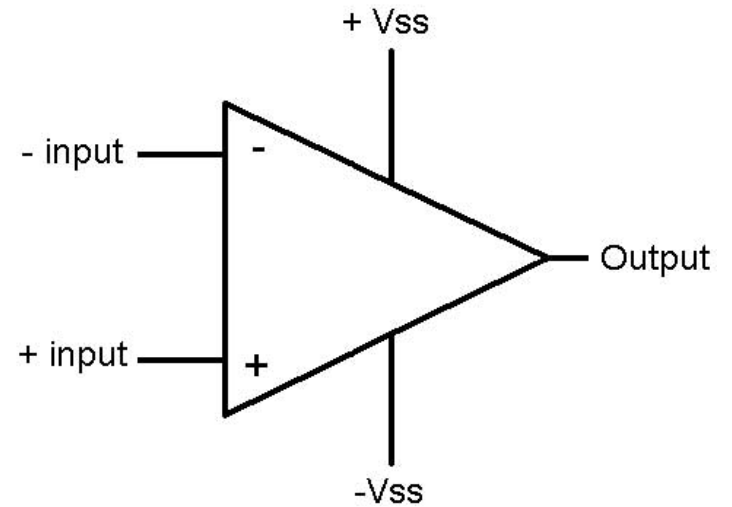
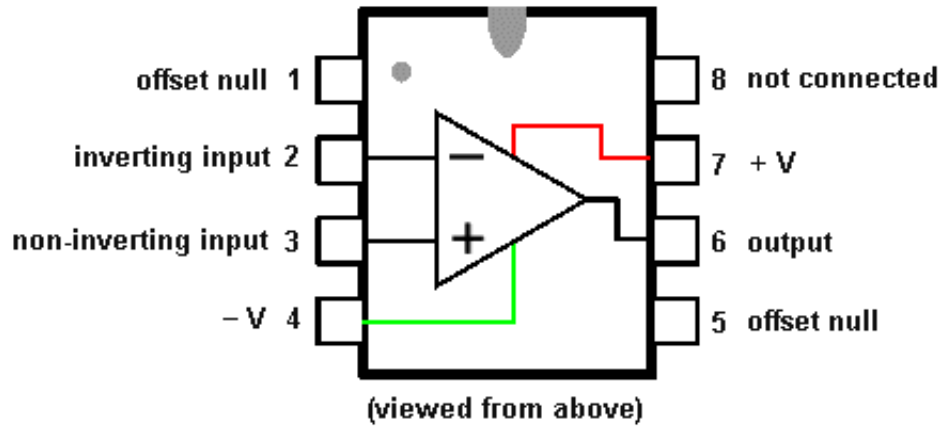
Mạch khuếch đại thuật toán Operational Amplifier - OA

Cấu tạo và ký hiệu

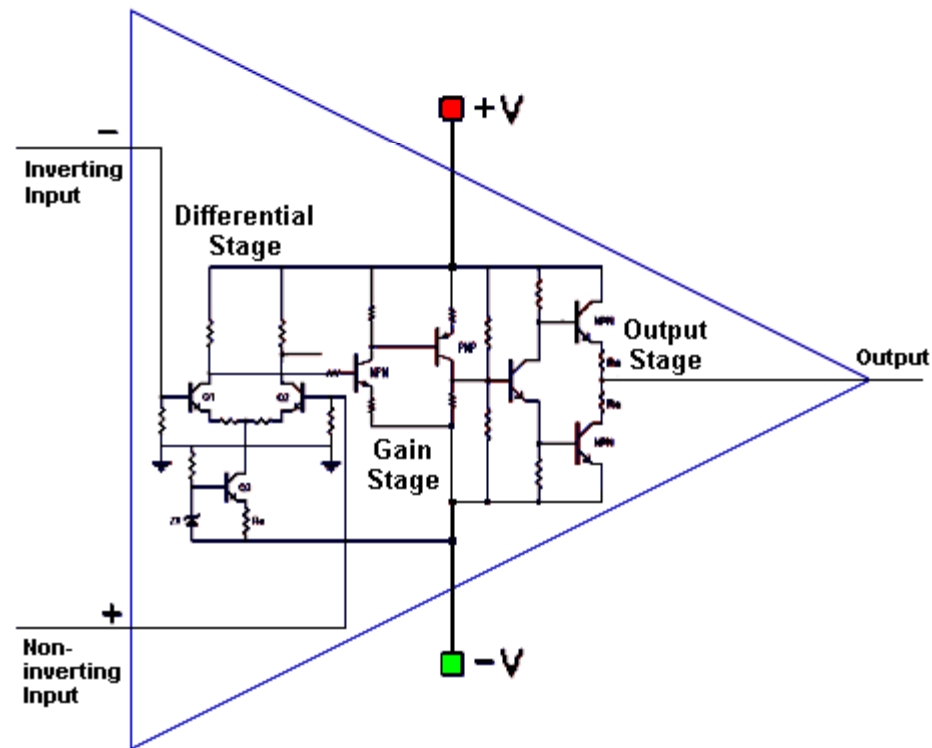
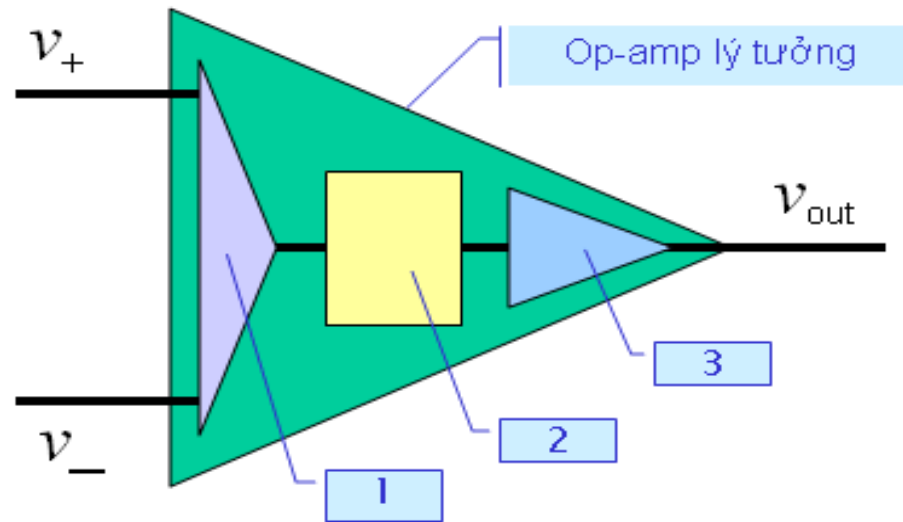


741

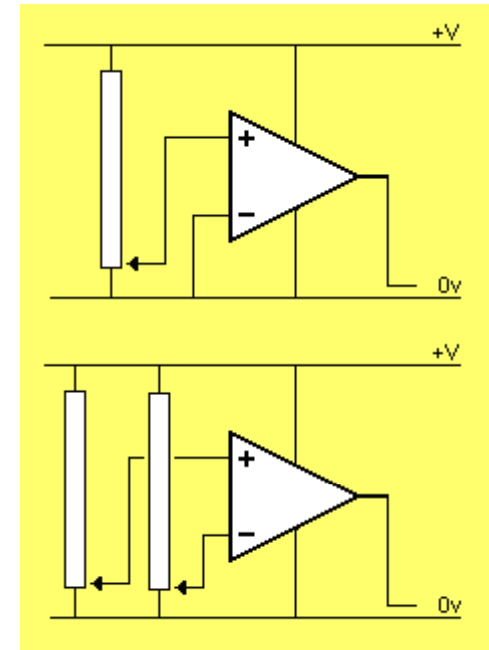
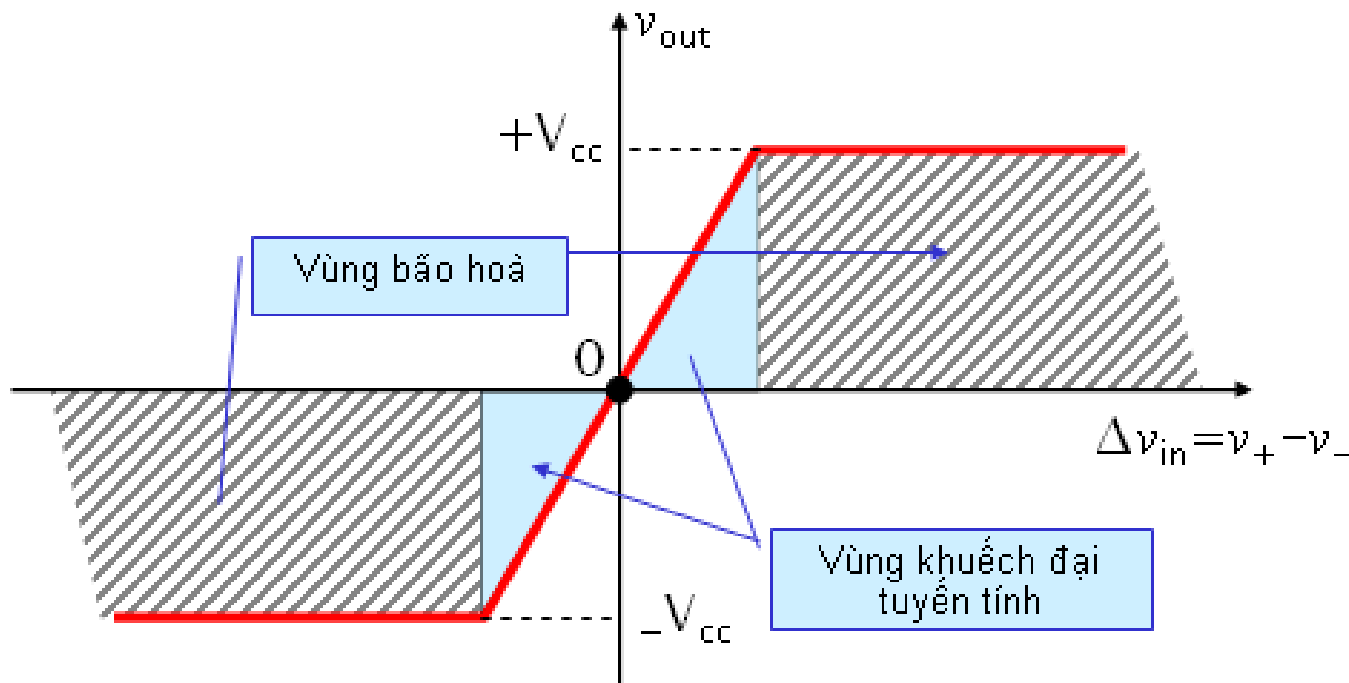
8-pin DIL (Dual In Line)



Cấu tạo



Đặc tuyến làm việc



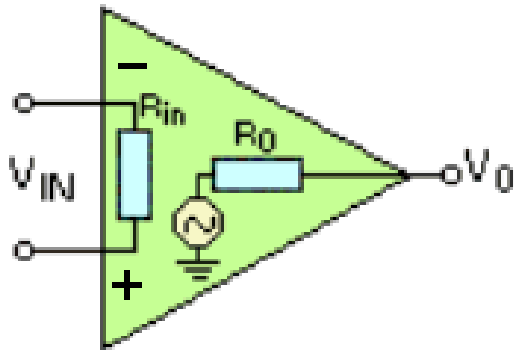
- **Vùng khuếch đại tuyến tính:** trong vùng này điện áp ngõ ra V_o tỉ lệ với tín hiệu ngõ vào theo quan hệ tuyến tính. Nếu sử dụng mạch khuếch đại điện áp vòng hở (Open Loop) thì vùng này chỉ nằm trong một khoảng rất bé.
- **Vùng bão hoà dương:** bất chấp tín hiệu ngõ vào ngõ ra luôn ở $+V_{cc}$.
- **Vùng bão hoà âm:** bất chấp tín hiệu ngõ vào ngõ ra luôn ở $-V_{cc}$.

Thông số

Op-amps lý tưởng	Op-amps thực tế (*)
<ul style="list-style-type: none">▪ Độ lợi vô cùng lớn▪ Tổng trở ngõ vào $\rightarrow \infty$▪ Tổng trở ngõ ra = 0▪ Băng thông $\rightarrow \infty$▪ Dòng vào tĩnh = 0▪ Dòng vào lệch = 0▪ Điện áp lệch: $V_{\text{offset}} = 0$▪ Slew Rate: SR $\rightarrow \infty$	<ul style="list-style-type: none">▪ Độ lợi 100.000 ÷ 200.000▪ Tổng trở vào $10^6 \div 10^{13} \Omega$▪ Tổng trở ngõ ra nhỏ▪ Băng thông hữu hạn▪ Dòng vào tĩnh nhỏ▪ Dòng vào lệch: 20 \rightarrow 30nA▪ Điện áp lệch: 2 \rightarrow 10mV▪ Slew Rate: 0.7 \rightarrow 100V/ms

Phương pháp phân tích Op-amp

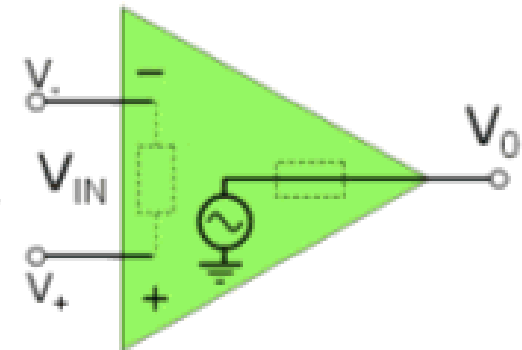
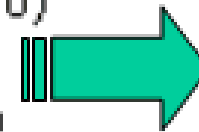
Sơ đồ tương đương



$$R_{in} = \text{Infinity}$$

$$R_O = \text{Zero (0)}$$

$$V_O = A_v V_{in}$$

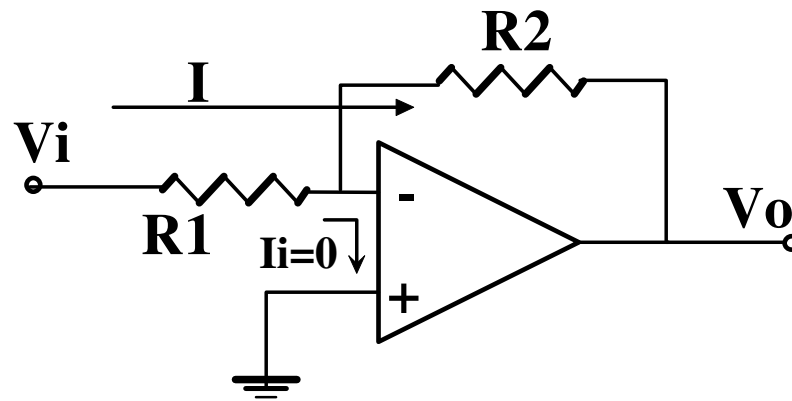


Tuần tự thực hiện ba bước sau:

- Viết phương trình Kirchhoff cho đầu vào V_+
- Viết phương trình Kirchhoff cho đầu vào V_-
- Cho $V_+ = V_-$, tìm mối quan hệ giữa V_{in} và V_o

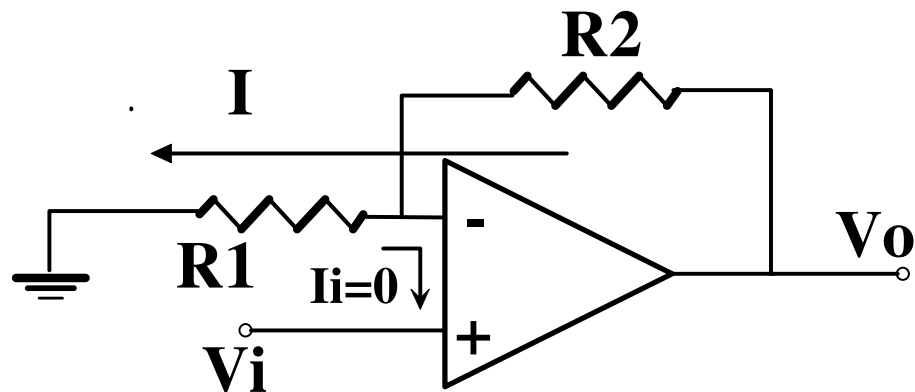
Các mạch ứng dụng Op-amp

Mạch khuếch đại đảo



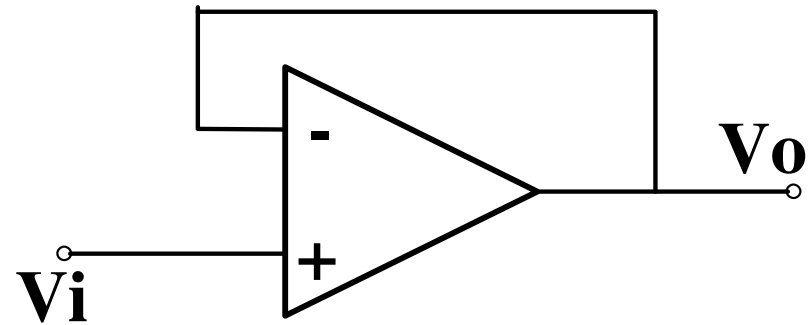
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Mạch khuếch đại không đảo



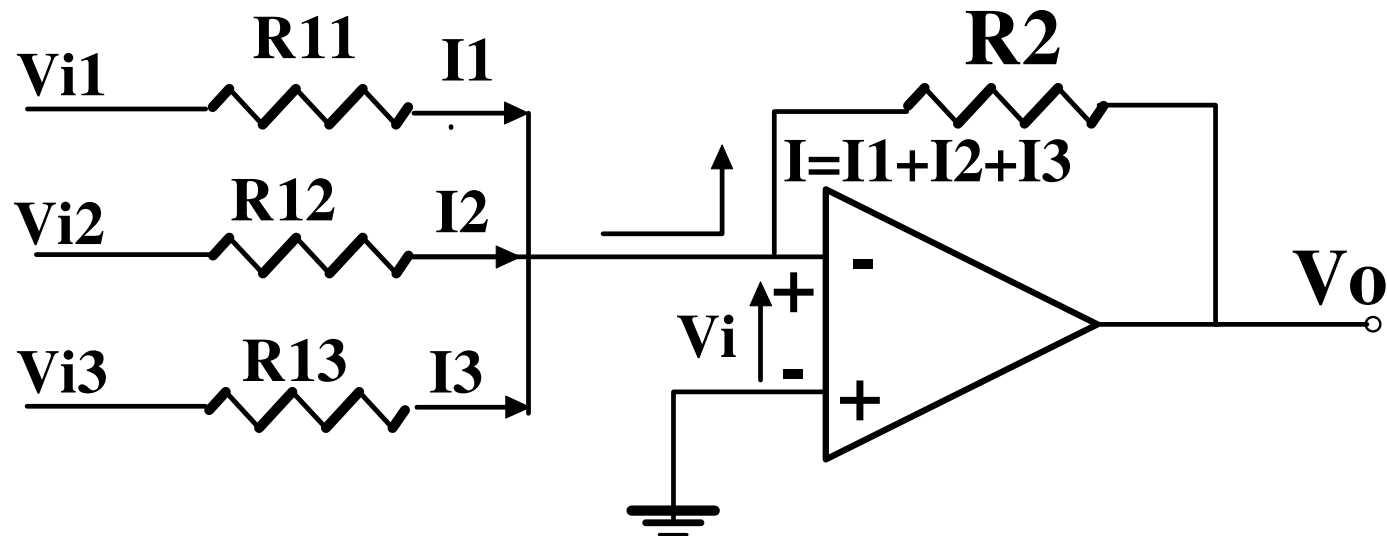
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Mạch đệm



$$V_o = V_i \quad A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

Mạch khuếch đại cộng đảo dấu

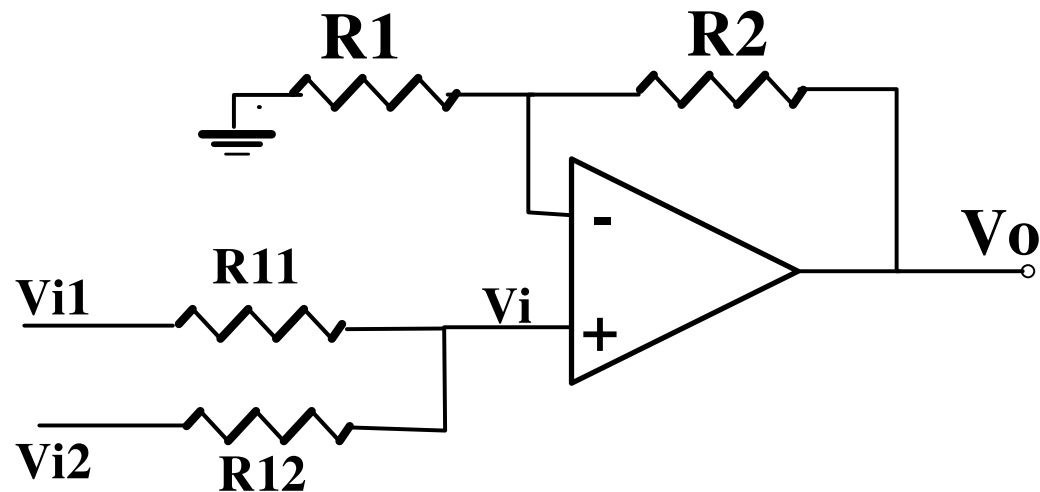


$$V_o = V_{o1} + V_{o2} + V_{o3} = -\left(\frac{R_2}{R_{11}} V_{i1} + \frac{R_2}{R_{12}} V_{i2} + \frac{R_2}{R_{12}} V_{i3}\right)$$

$$R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_1$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_{11}} (V_{i1} + V_{i2} + V_{i3})$$

Mạch khuếch đại cộng không đảo dấu



$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[\left(\frac{R_{12}}{R_{11} + R_{12}}\right) V_{i1} + \left(\frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12}}\right) V_{i2} \right]$$

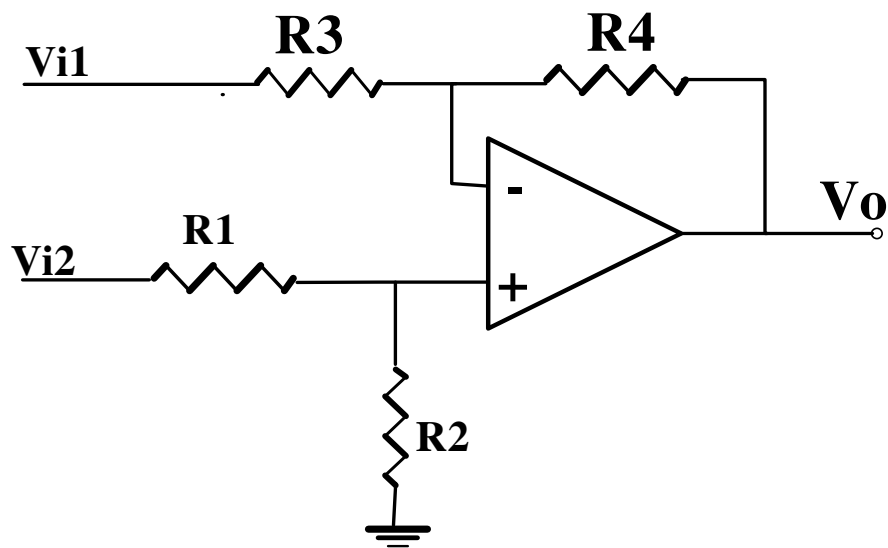
$$R_{11} = R_{12}$$

$$R_{11} = R_{12} = R_1 = R_2$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}\right)$$

$$V_o = V_{i1} + V_{i2}$$

Mạch khuếch đại vi sai



$$R_1 = R_3, R_2 = R_4$$

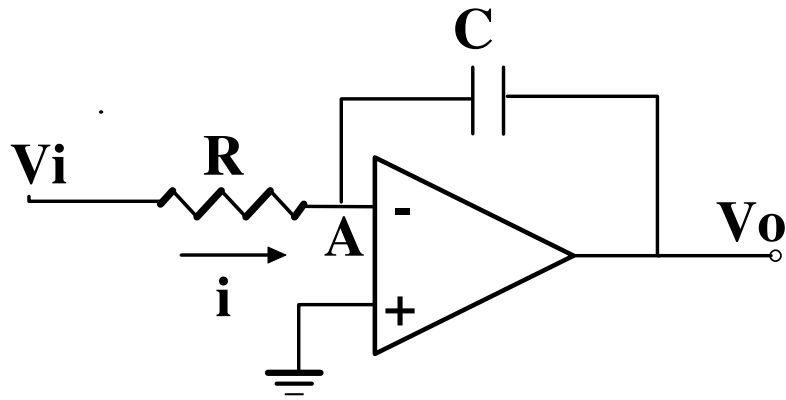
$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_{i1} - V_{i1})$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$V_o = V_{i1} - V_{i1}$$

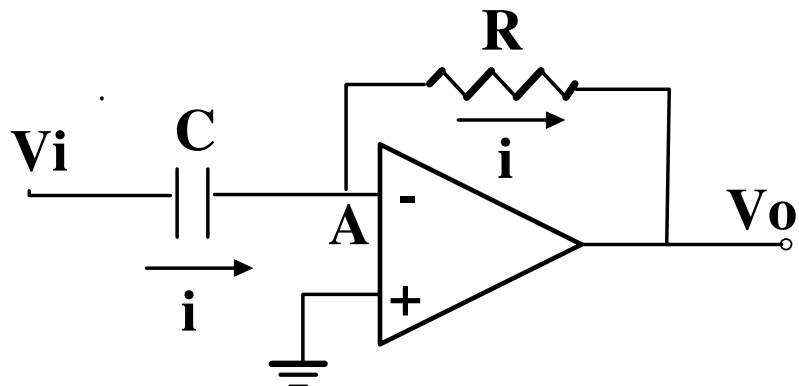
$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_{i2} - \frac{R_4}{R_3} V_{i1}$$

Mạch tích phân



$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

Mạch vi phân



$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$