

# CHƯƠNG 5 TRANSISTOR LƯỠNG CỰC

## NỘI DUNG

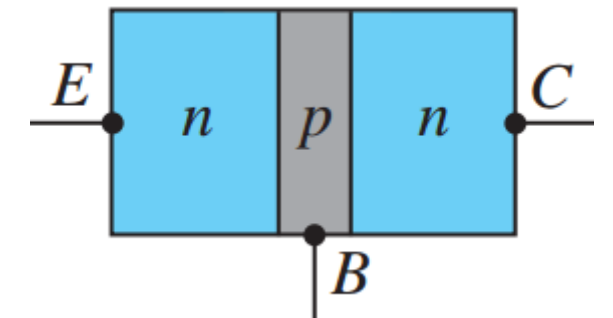
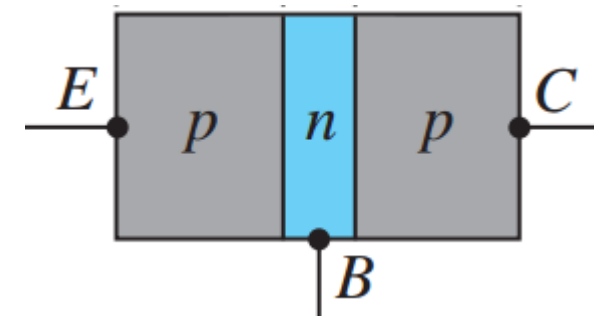
- 5.1 Cấu tạo và ký hiệu mạch
- 5.2 Nguyên lý hoạt động
- 5.3 Mối quan hệ giữa các dòng
- 5.4 Nguyên lý hoạt động của BJT pnp
- 5.5 Đặc tuyến
- 5.6 Các vùng hoạt động
- 5.7 Mô hình mạch tương đương
- 5.8 Hệ số hồi dẫn
- 5.9 Giới hạn vùng hoạt động
- 5.10 Datasheet



## 5.1 CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU MẠCH

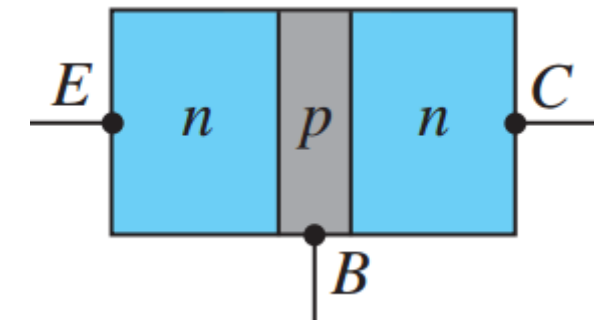
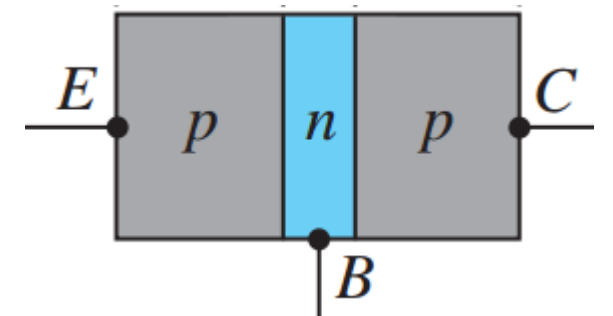
# Cấu tạo

- **Transistor lưỡng cực** (*bipolar junction transistor*), viết tắt là **BJT**, được cấu từ 3 lớp bán dẫn *n* và *p* xếp xen kẽ nhau.
- Có 2 loại BJT là *npn* và *pnp*.
- Ba lớp bán dẫn được nối với 3 cực: Emitter (E), Base (B), và Collector (C).
- Hoạt động của BJT được quy định chủ yếu bởi dòng trôi và dòng khuếch tán của các hạt tải điện thiểu số trong lớp bán dẫn nằm ở giữa.
- Do độ linh động và độ khuếch tán của điện tử lớn hơn của lỗ trống nên hiệu năng của BJT loại *npn* lớn hơn của BJT loại *pnp*.



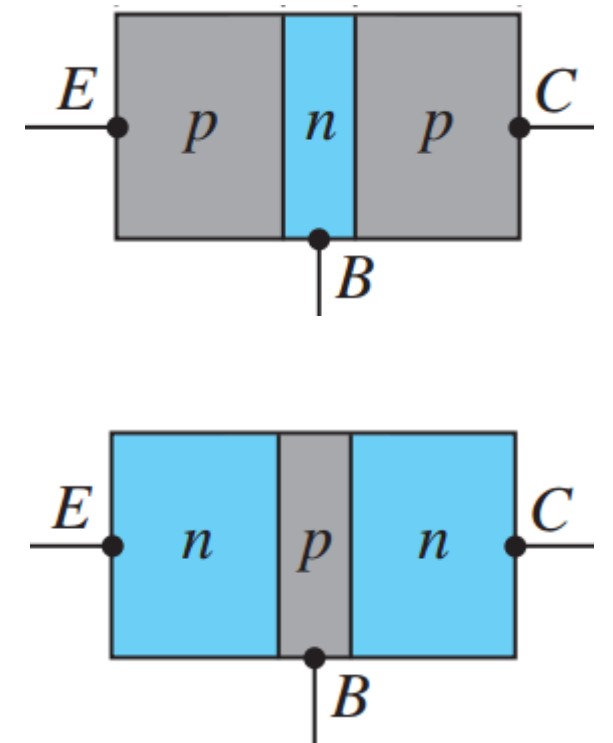
# Cấu tạo

- Cấu tạo của BJT pnp:
  - Cực Base được nối với lớp bán dẫn loại  $n$  nằm ở giữa có nồng độ pha tạp thấp và độ rộng rất nhỏ (so với độ dài khuếch tán của hạt tải điện thiểu số).
  - Cực Emitter được nối với lớp bán dẫn loại  $p$  có nồng độ pha tạp cao.
  - Cực Collector được nối với lớp bán dẫn loại  $p$  còn lại có nồng độ pha tạp trung bình.



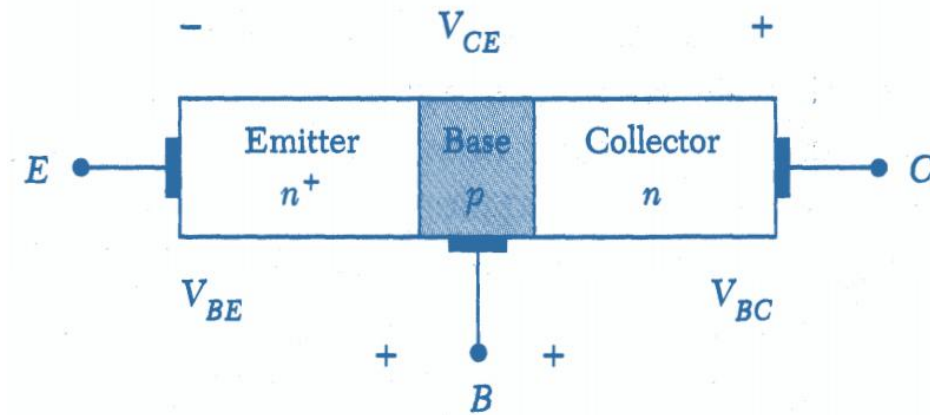
# Cấu tạo

- So với MOSFET, cấu tạo của BJT pnp không đối xứng về điện. Tức là, nếu ta đổi vai trò của 2 cực này cho nhau thì tính chất về điện của BJT sẽ thay đổi.
- Điểm khác biệt cơ bản giữa BJT và MOSFET là có dòng với độ lớn đáng kể chạy qua cực Base, trong khi không có dòng chạy vào cực cửa của MOSFET.



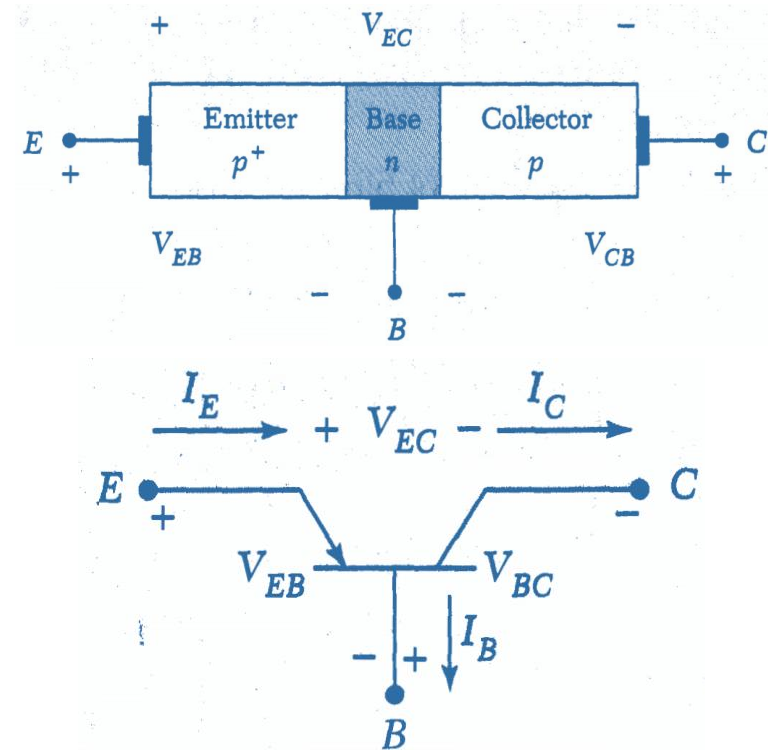
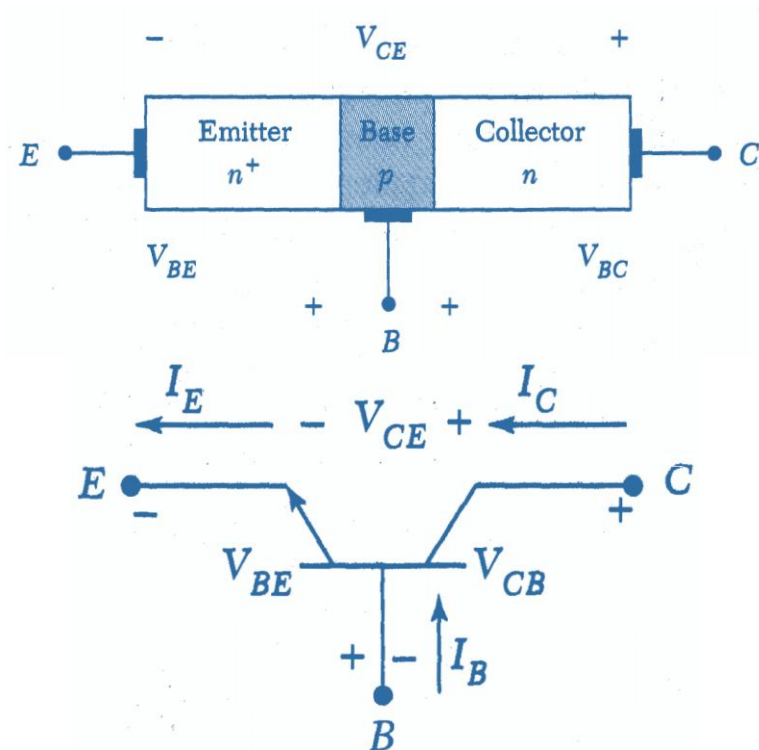
# Cấu tạo

- Trong cấu tạo của BJT, tồn tại 2 tiếp giáp  $pn$ :
  - Tiếp giáp  $pn$  giữa cực Base và cực Emitter được ký hiệu là  $T_{BE}$ .
  - Tiếp giáp  $pn$  giữa cực Base và cực Collector được ký hiệu là  $T_{BC}$ .
- Nguyên lý hoạt động và các tính chất của tiếp giáp  $pn$  được sử dụng để phân tích hoạt động của BJT.



# Ký hiệu mạch

- Ở chế độ hoạt động bình thường (chế độ tích cực/khuếch đại), quy ước chiều dương của dòng điện và điện áp trên các cực được mô tả như ở hình vẽ.

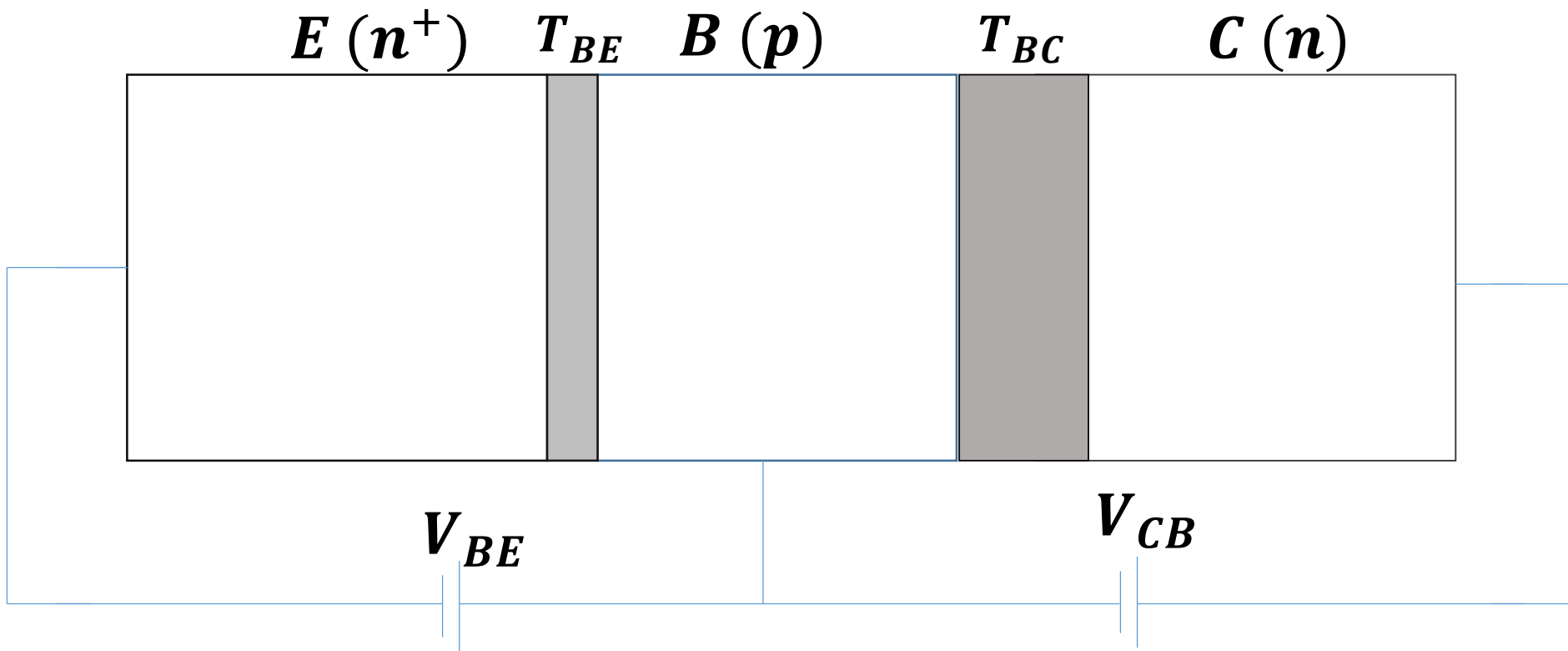


## 5.2 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG



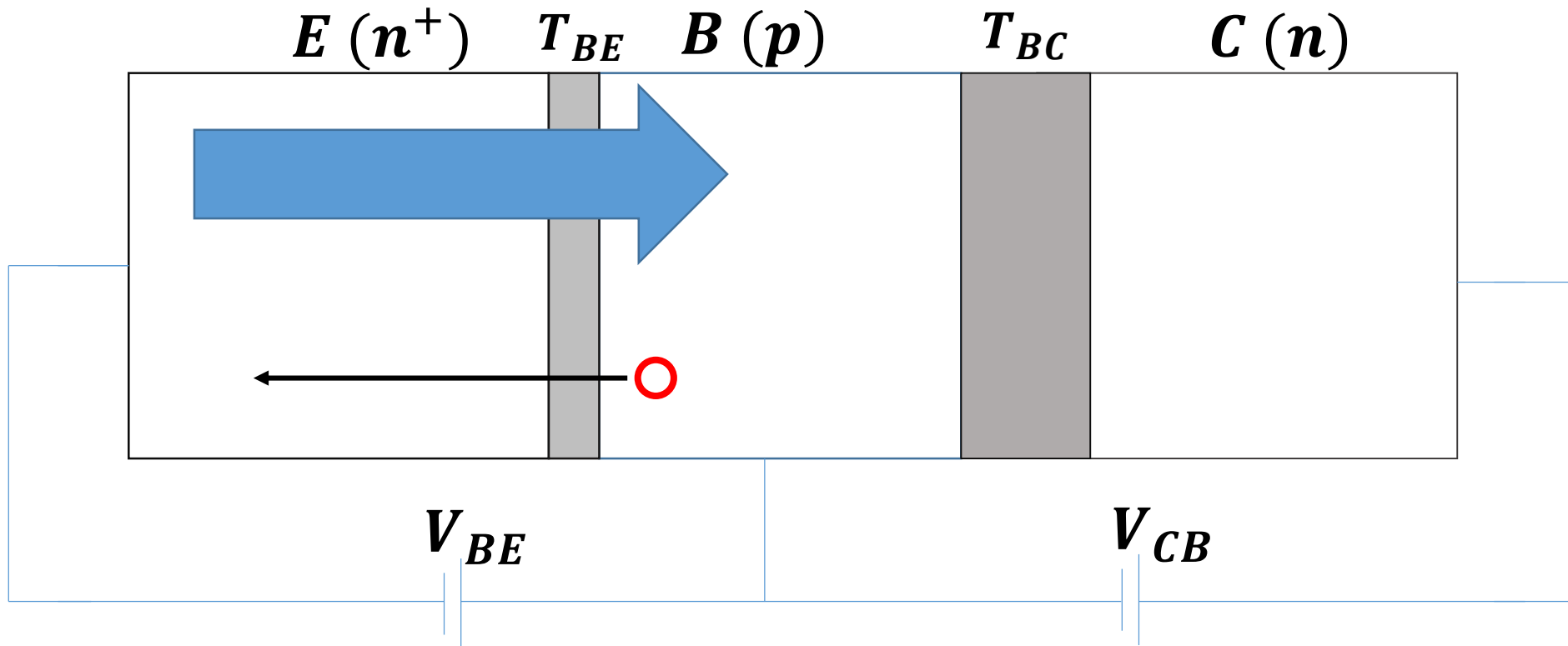
# Nguyên lý hoạt động

- Xét nguyên lý hoạt động của BJT loại *npn* ở chế độ tích cực.
- Ở **chế độ tích cực** (active mode) hay còn gọi là **chế độ khuếch đại**, tiếp giáp B-E phân cực thuận, còn tiếp giáp B-C phân cực ngược.



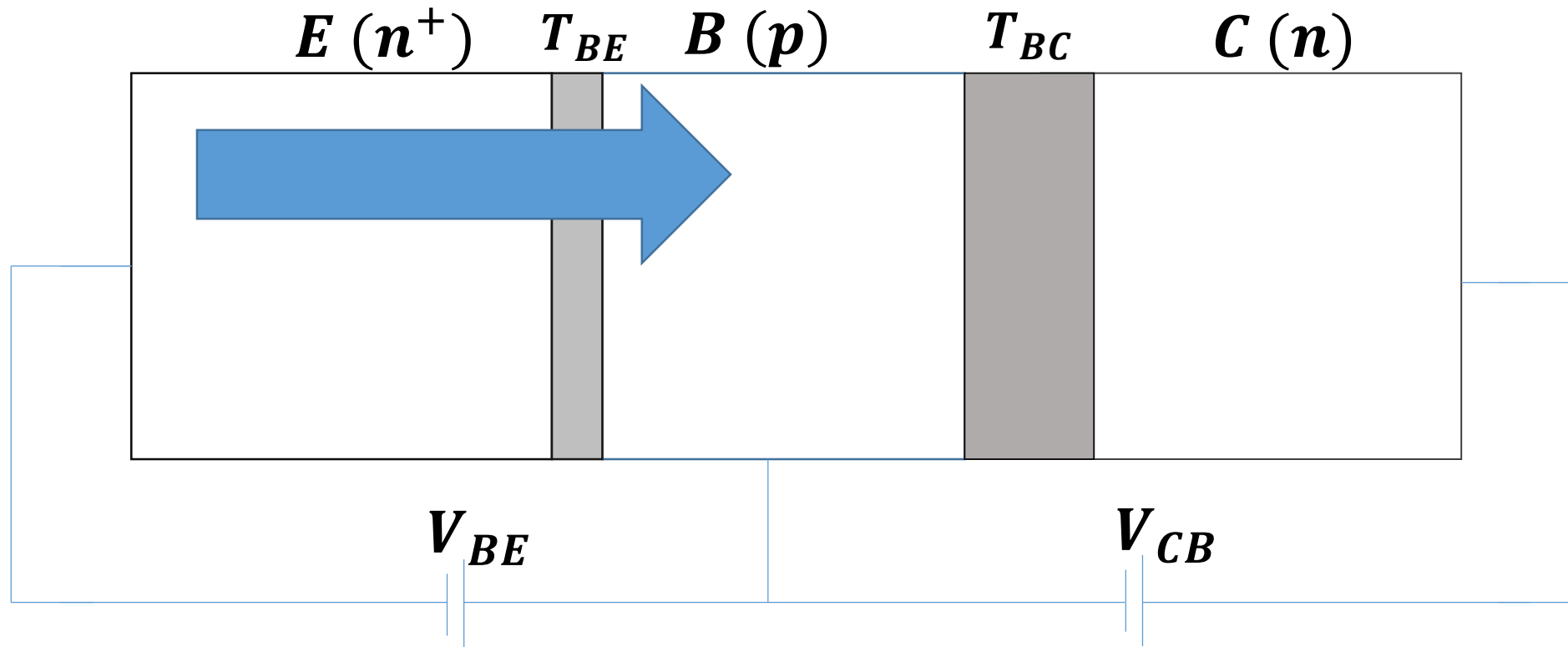
# Nguyên lý hoạt động

- Tiếp giáp B-E phân cực thuận nên vùng nghèo thu nhỏ lại, tạo điều kiện cho dòng khuếch tán của các hạt tải điện đa số qua tiếp giáp:
  - điện tử ( $\rightarrow$ ) khuếch tán từ vùng E sang vùng B,
  - lỗ trống ( $\circ$ ) khuếch tán từ vùng B sang vùng E.



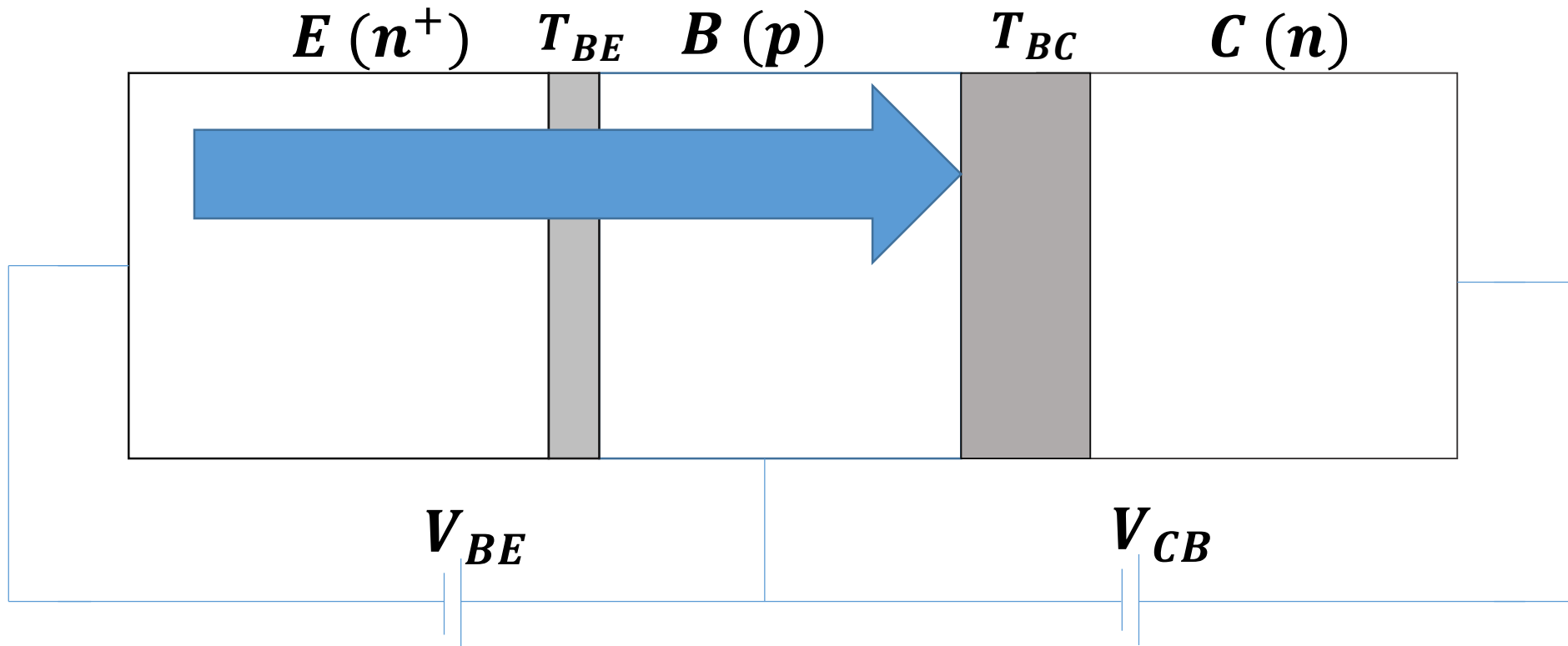
# Nguyên lý hoạt động

- Đối với BJT npn, điện tử là thành phần chính tạo ra dòng chạy trong BJT nên để đơn giản ta chỉ xét đến dòng khuếch tán của điện tử:



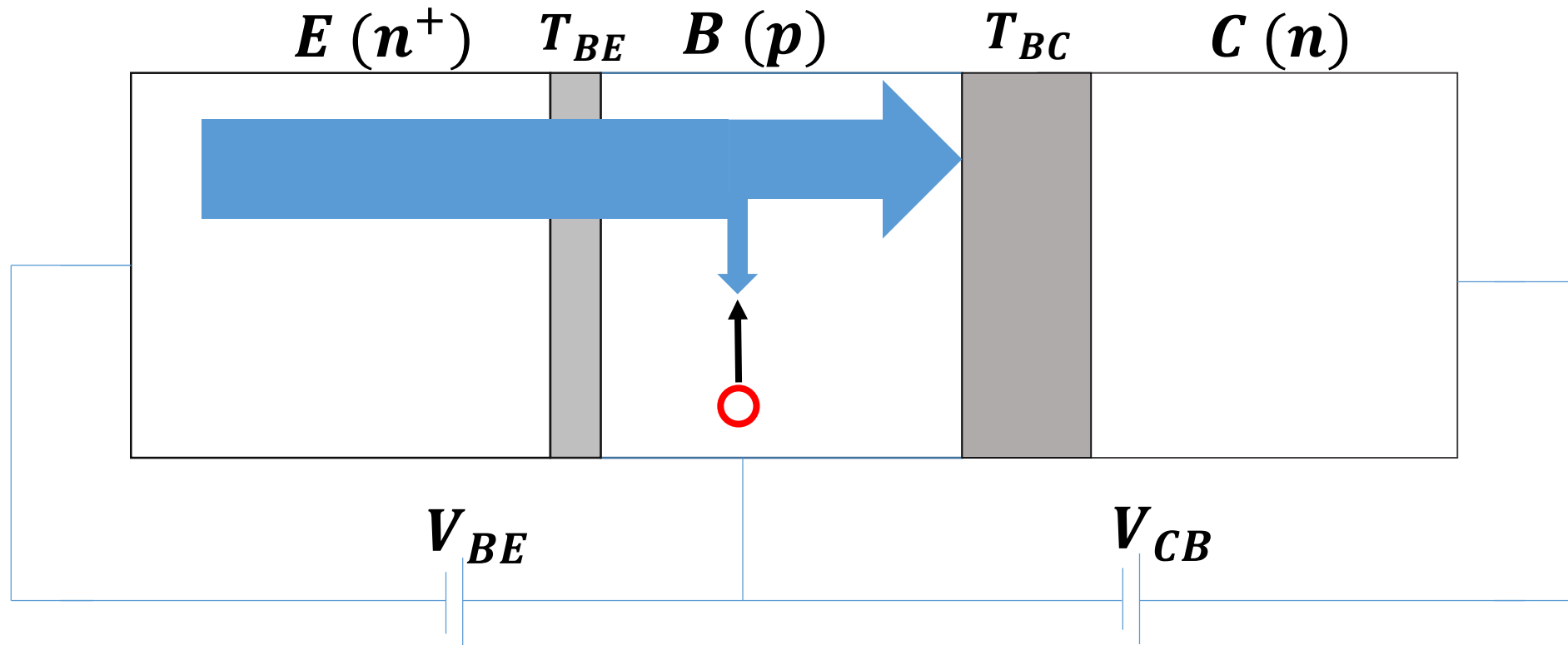
# Nguyên lý hoạt động

- Do vùng B là bán dẫn loại  $p$  với điện tử là hạt tải điện thiểu số có nồng độ thấp nên khi các điện tử khuếch tán qua tiếp giáp B-E, do sự chênh lệch nồng độ, chúng sẽ tiếp tục khuếch tán sâu vào vùng B và tiến tới tiếp giáp B-C.



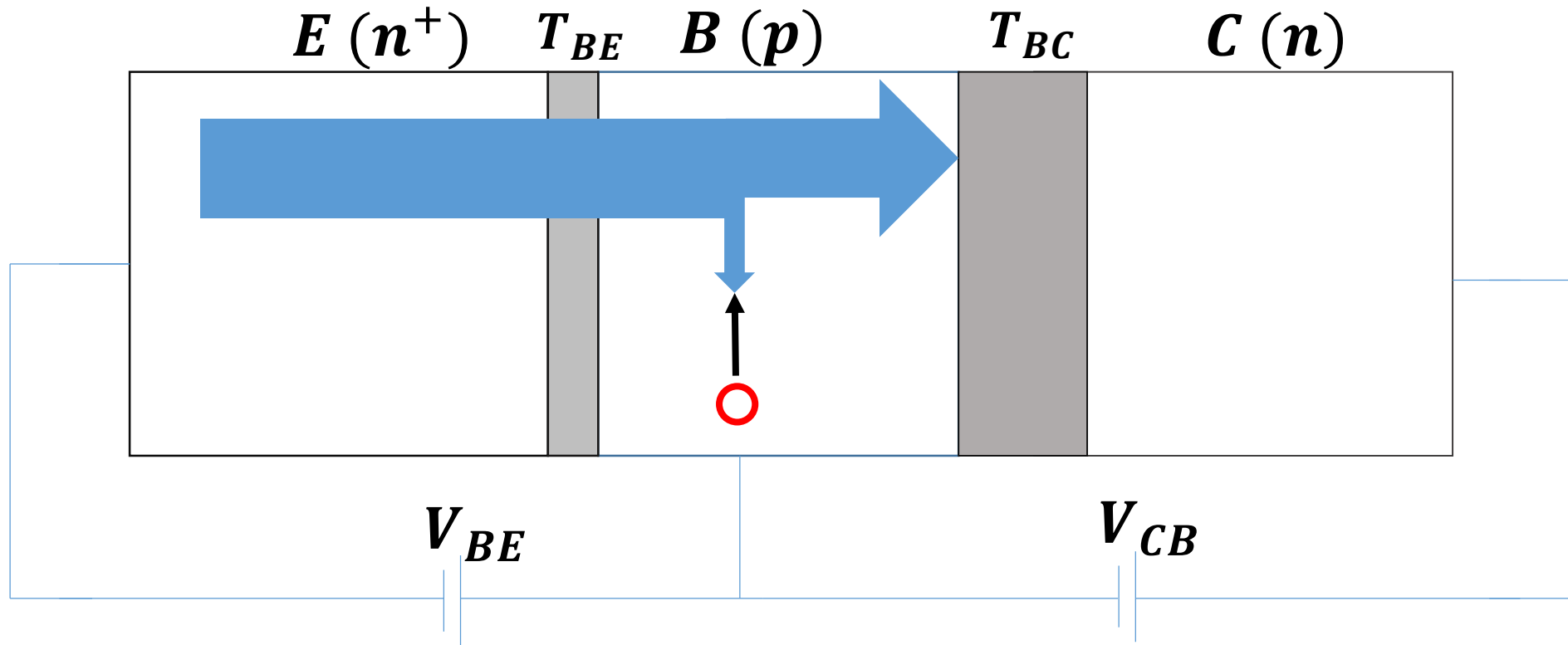
# Nguyên lý hoạt động

- Trên đường dịch chuyển trong vùng B, một số điện tử sẽ tái hợp với các lỗ trống có trong vùng B.



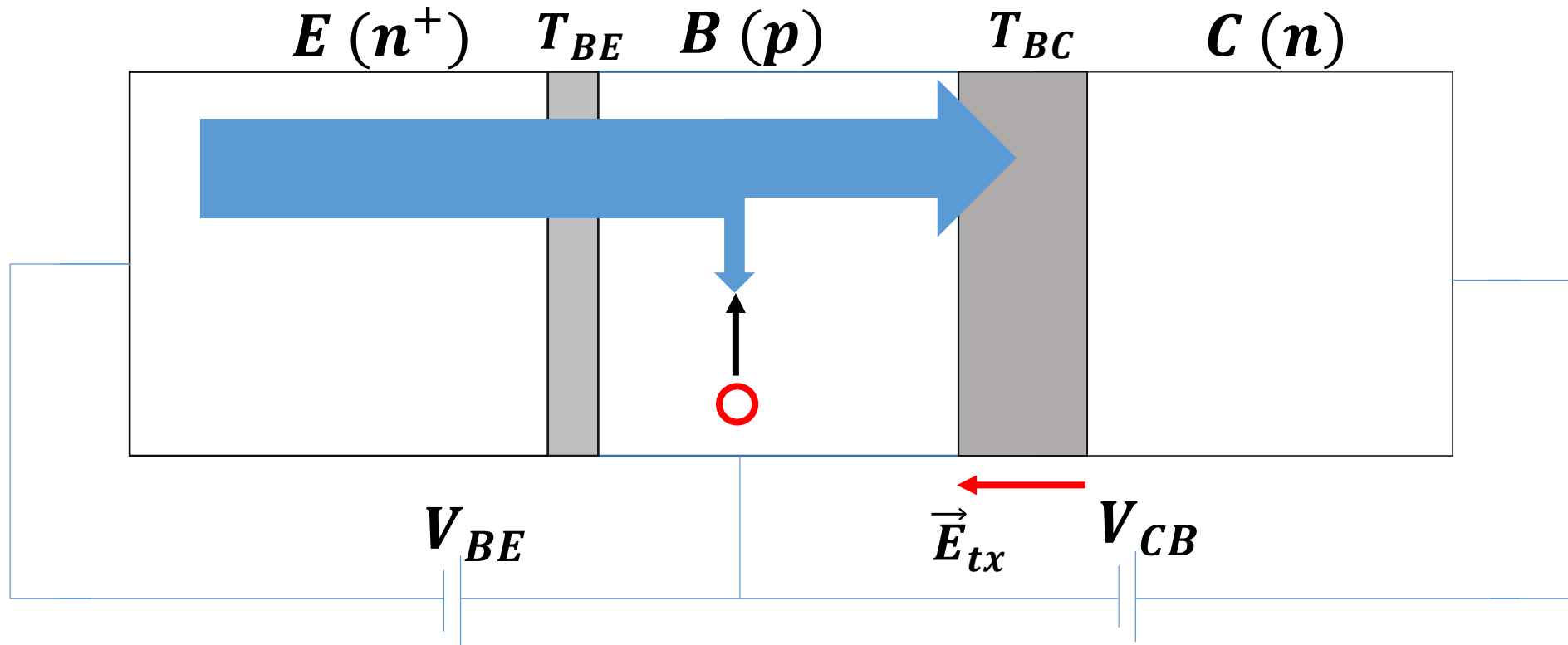
# Nguyên lý hoạt động

- Do độ rộng của vùng B rất nhỏ so với độ dài khuếch tán nên đa số các điện tử đều khuếch tán đến tiếp giáp B-C mà không bị tái hợp.



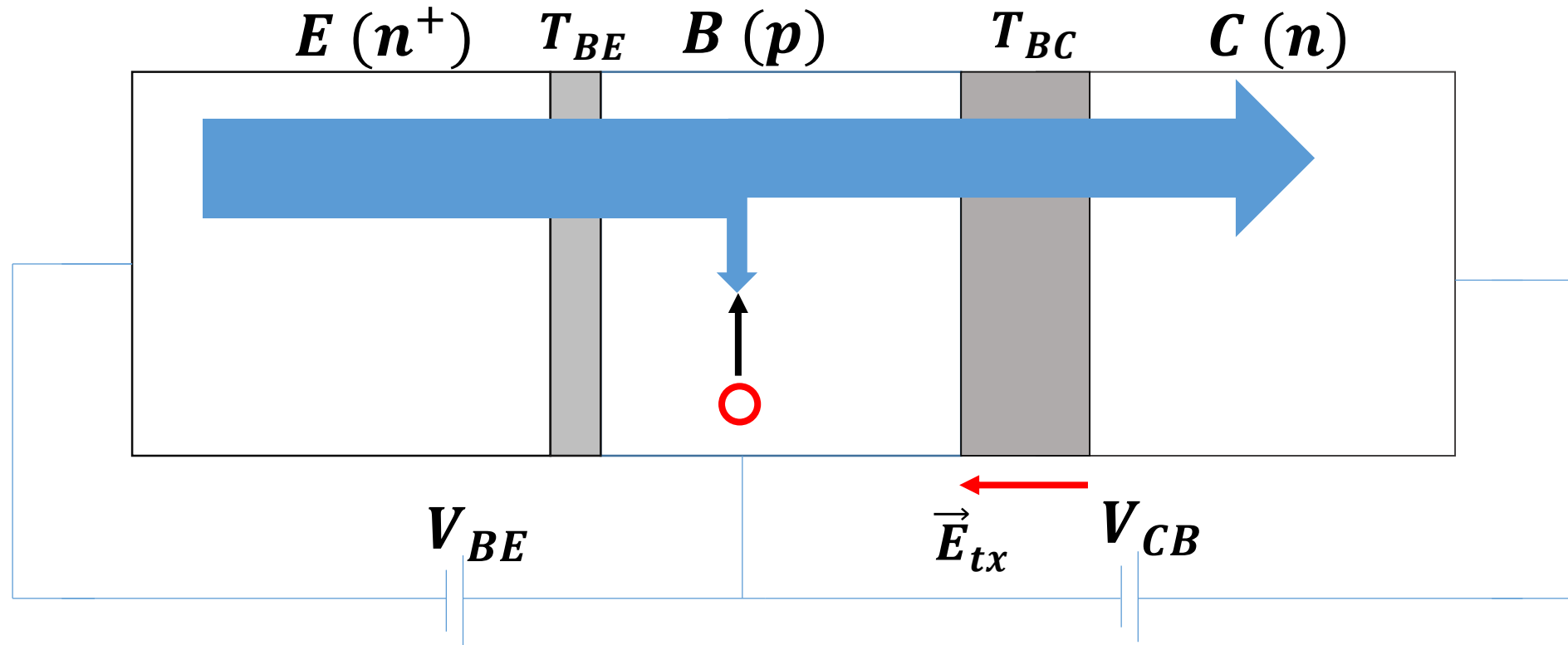
# Nguyên lý hoạt động

- Các điện tử không bị tái hợp trong vùng B sẽ khuếch tán đến tiếp giáp B-C. Được biết, trong vùng nghèo của tiếp giáp B-C có điện trường trong  $E_{tx}$  hướng từ C sang B.



# Nguyên lý hoạt động

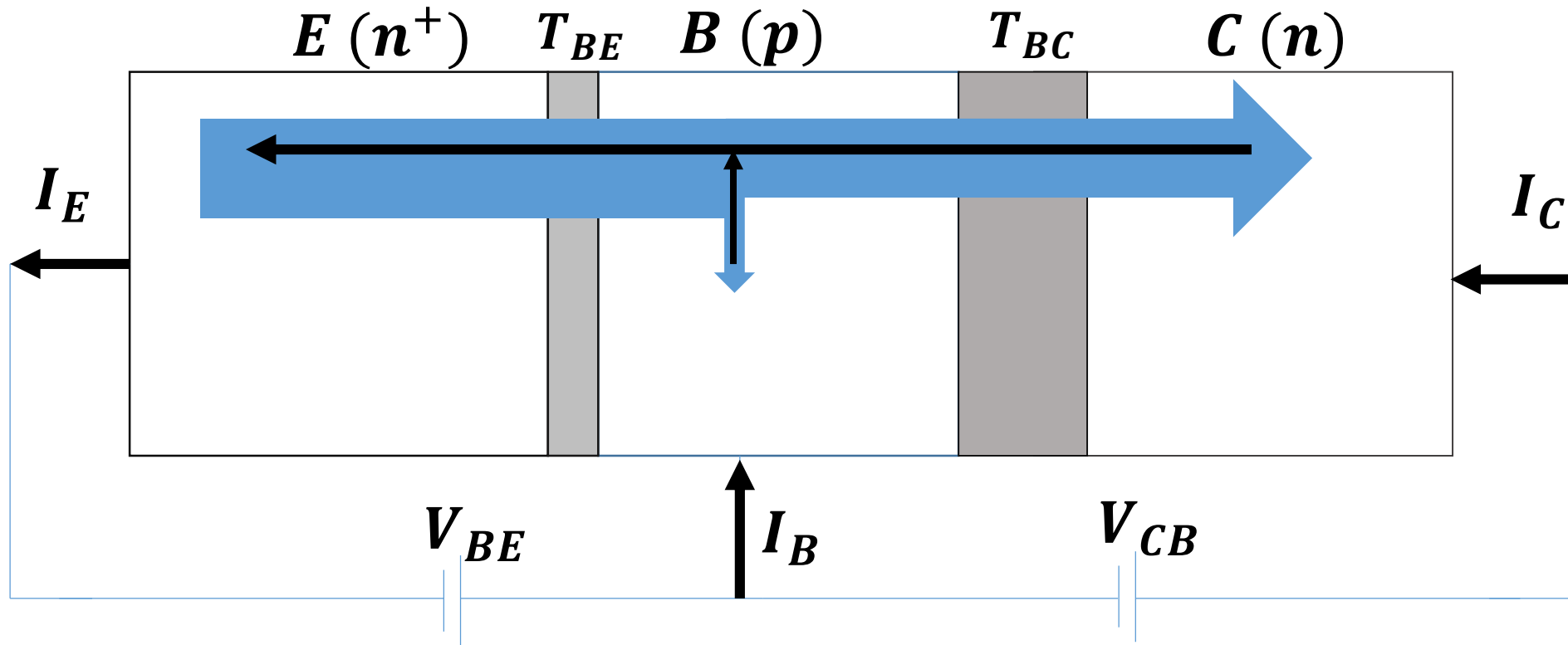
- Dưới tác dụng của điện trường  $E_{tx}$ , các điện tử sẽ bị cuốn sang vùng C.





# Nguyên lý hoạt động

- Dòng dịch chuyển của các điện tử tạo nên dòng điện chạy qua các cực theo chiều ngược lại.
- Các dòng  $I_B$  và  $I_C$  chạy vào các cực, còn dòng  $I_E$  chạy ra.



## 5.3 MỐI QUAN HỆ GIỮA CÁC DÒNG

# Mối quan hệ giữa các dòng

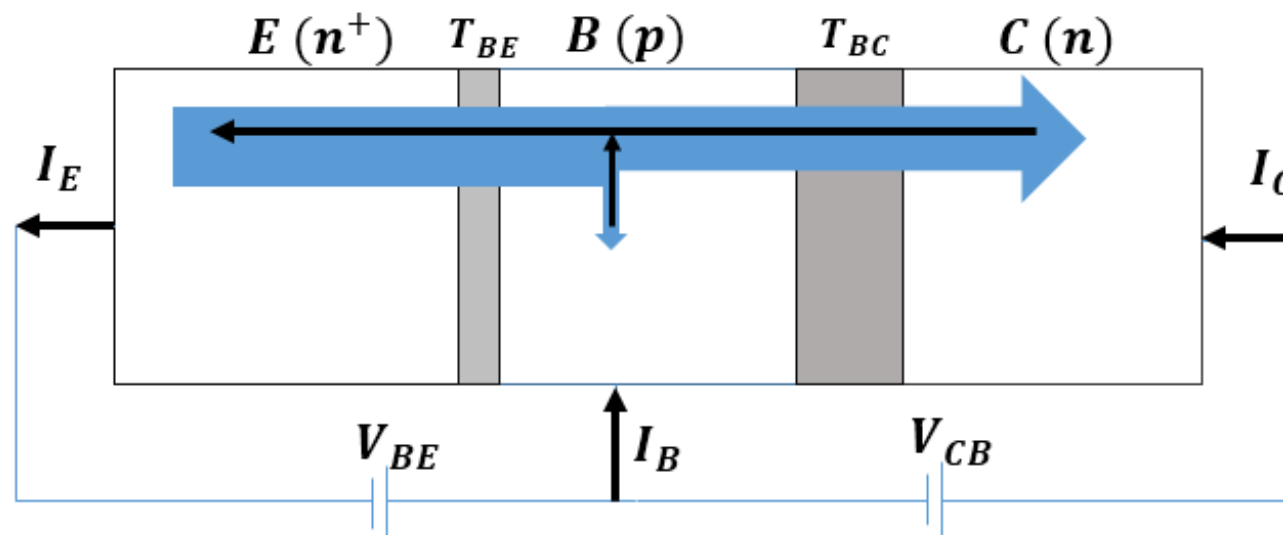
- Theo nguyên lý hoạt động của BJT, ta có mối quan hệ giữa các dòng như sau:

$$I_E = I_C + I_B$$

- Do số lượng điện tử tái hợp trong vùng Base là rất nhỏ nên:

$$I_C \cong I_E$$

$$I_B \ll I_C \text{ và } I_B \ll I_E$$



# Các hệ số khuếch đại dòng

- Hệ số khuếch đại dòng mắc Base chung (*common-base current gain*):

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

- Hệ số khuếch đại dòng mắc Emitter chung (*common-emitter current gain*):

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

- Ta có, dòng  $I_B \ll I_C$  nên hệ số  $\beta$  có giá trị rất lớn. Hệ số  $\beta$  thường có giá trị trong khoảng  $10 \div 500$ . Giá trị lớn của hệ số  $\beta$  cho thấy khả năng khuếch đại của BJT. Đối với dòng  $I_B$  nhỏ (có giá trị thông thường vào khoảng vài chục  $\mu A$ ) có thể cho ra dòng  $I_C$  vào khoảng vài  $mA$ .

# Các hệ số khuếch đại dòng

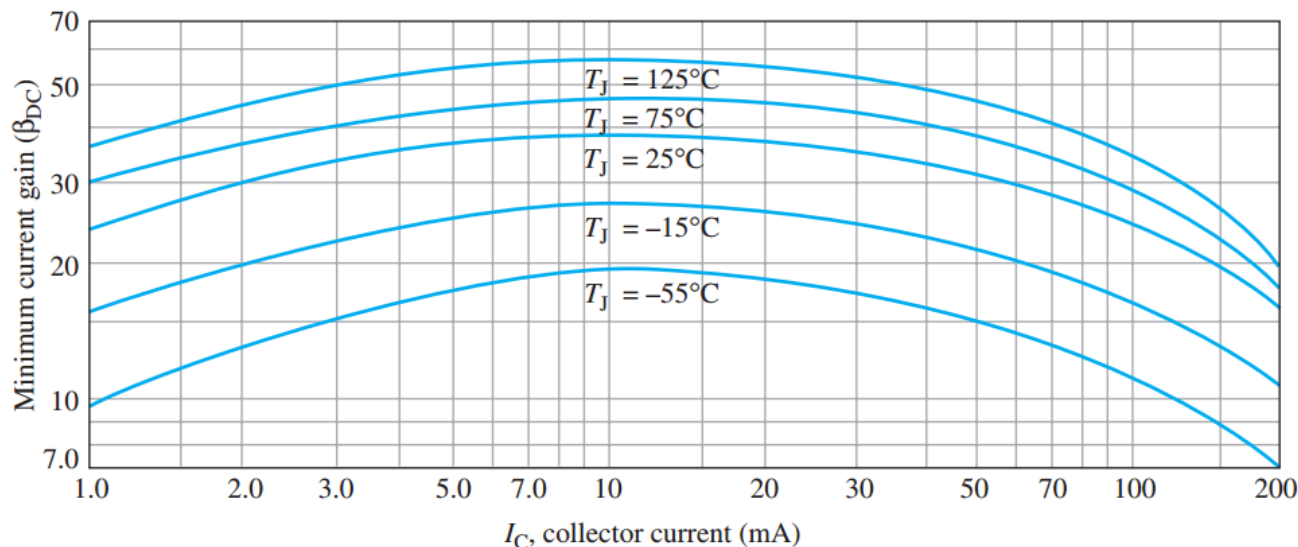
- Do  $I_C \cong I_E$  nên hệ số  $\alpha$  có giá trị gần bằng 1, và thường nằm trong khoảng  $0.98 \div 0.99$ .
- Ta có thể biểu diễn hệ số  $\alpha$  theo  $\beta$  và ngược lại:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

- Trong một số trường hợp, để thuận tiện cho tính toán, ta cho  $I_C \approx I_E$ . Tuy nhiên, chúng ta không bỏ qua dòng  $I_B$  trong các công thức khác.

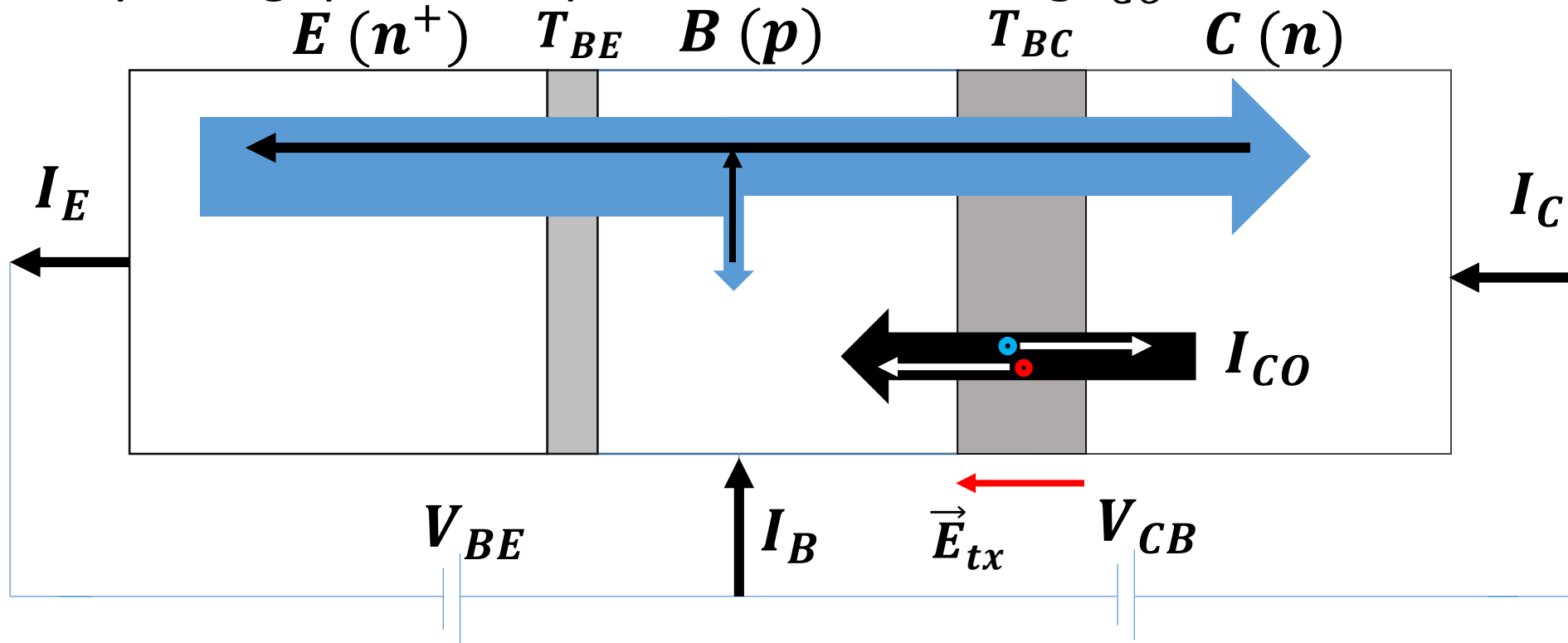
# Các hệ số khuếch đại dòng

- Hệ số  $\beta$  được sử dụng phổ biến trong phân tích và thiết kế mạch sử dụng BJT.
- Hệ số  $\beta$  phụ thuộc phức tạp vào nhiều yếu tố như nhiệt độ, dòng  $I_C$ .
- Đối với dòng  $I_C$  không đổi, hệ số  $\beta$  tăng cùng với nhiệt độ.
- Đối với nhiệt độ không đổi, khi  $I_C$  tăng thì hệ số  $\beta$  tăng và đạt đến giá trị cực đại, sau đó sẽ giảm.



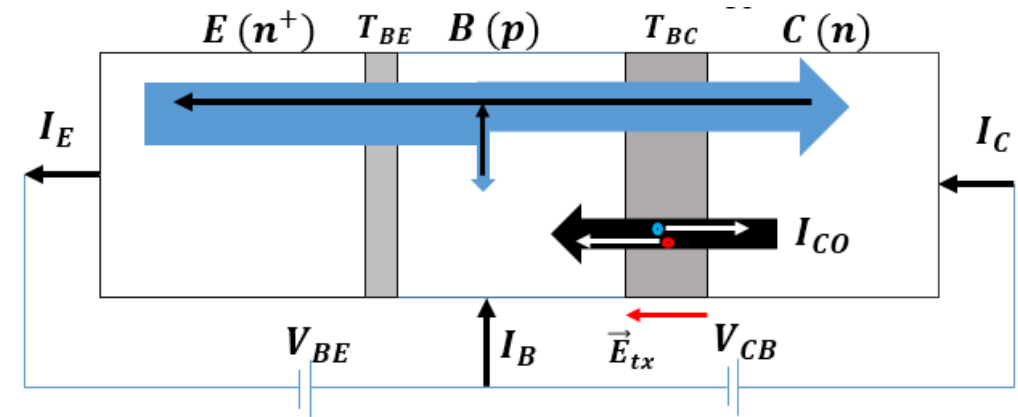
# Dòng rò

- Trong vùng nghèo của  $T_{BC}$ , dưới tác dụng nhiệt, các cặp điện tử và lỗ trống được tạo thành và điện trường  $E_{tx}$  kéo đi, tạo thành **dòng rò**  $I_{CO}$ .
- Như vậy, dòng qua cực C phải tính thêm dòng  $I_{CO}$ .



# Dòng rò

- Do được hình thành dưới tác dụng nhiệt nên dòng  $I_{CO}$  có giá trị rất nhỏ.
- Giá trị của  $I_{CO}$  nằm trong khoảng  $\mu A$  hoặc  $nA$ , trong khi dòng  $I_C$  thường có giá trị trong khoảng  $mA$ , nên thông thường ta bỏ qua  $I_{CO}$ .
- $I_{CO}$  cũng giống như dòng ngược  $I_S$  của diode, phụ thuộc vào nhiệt độ nên cần được xem xét trong các mạch hoạt động ở dải nhiệt rộng.

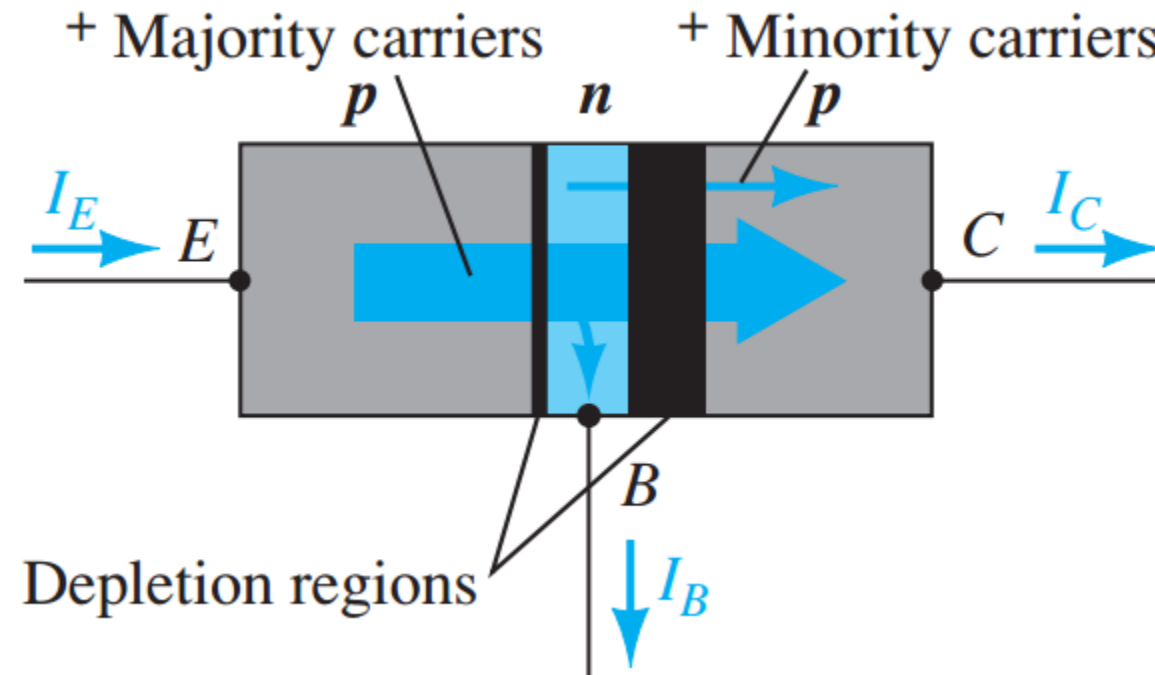




## 5.4 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA BJT pnp

# Nguyên lý hoạt động của BJT loại *pnp*

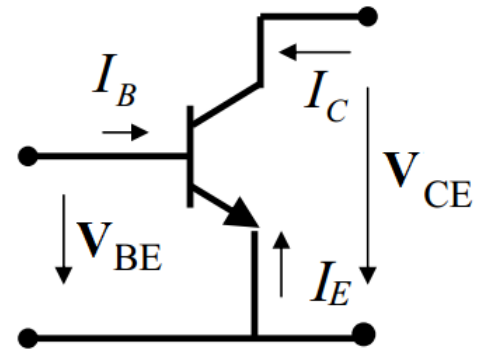
- Sinh viên tự giải thích nguyên lý hoạt động của BJT loại *pnp*.



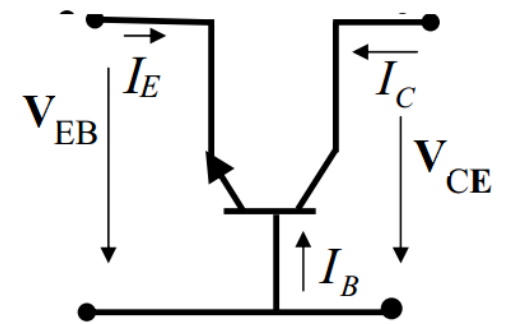
## 5.5 ĐẶC TUYẾN

# Đặc tuyến

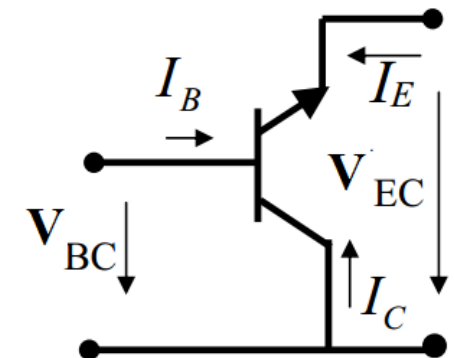
- Để có được dạng đặc tuyến của BJT, ta cần mắc các nguồn điện áp vào các 3 cực của BJT, và tiến hành thay đổi các giá trị nguồn điện áp để khảo sát sự thay đổi của dòng/điện áp tại các cực quan tâm.
- Khi mắc BJT vào mạch, ta có thể lấy 1 cực làm cực chung, còn 2 cực còn lại sẽ nối tương ứng với ngõ vào và ngõ ra.
- Theo đó, có 3 cách mắc BJT phổ biến: Emitter chung (CE – *common Emitter*), Collector chung (CC – *common Collector*) và Base chung (CB – *common Base*).



(CE)



(CB)



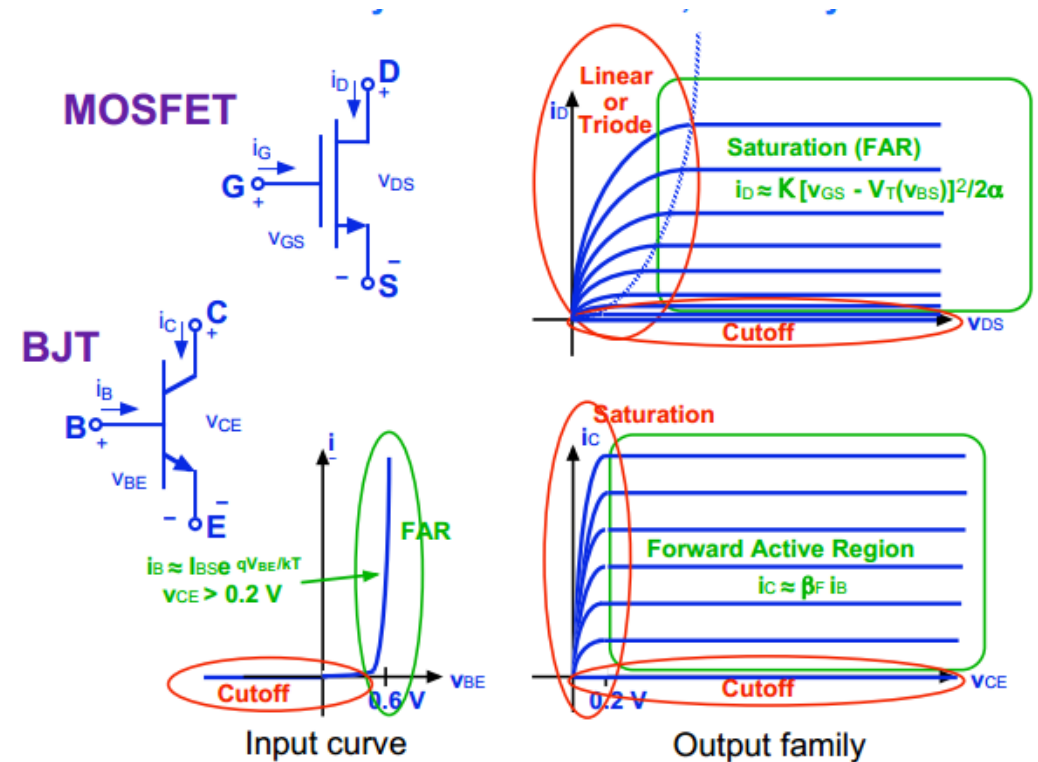
(CC)

# Đặc tuyến

- Đối với mỗi cách mắc, tiến hành khảo sát đặc tuyến ra và vào của BJT.
- Đặc tuyến vào biểu diễn mối quan hệ giữa dòng và điện áp ngõ vào đối với các giá trị điện áp ngõ ra không đổi.
- Đặc tuyến ra biểu diễn mối quan hệ giữa dòng và điện áp ngõ ra đối với các giá trị dòng ngõ vào không đổi.

# Đặc tuyến

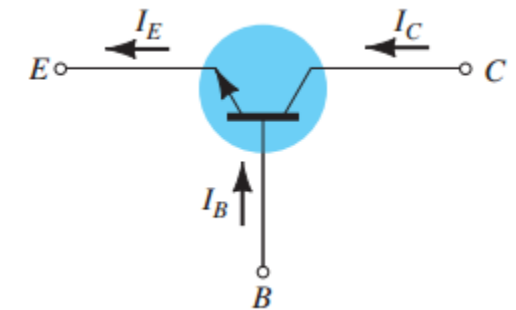
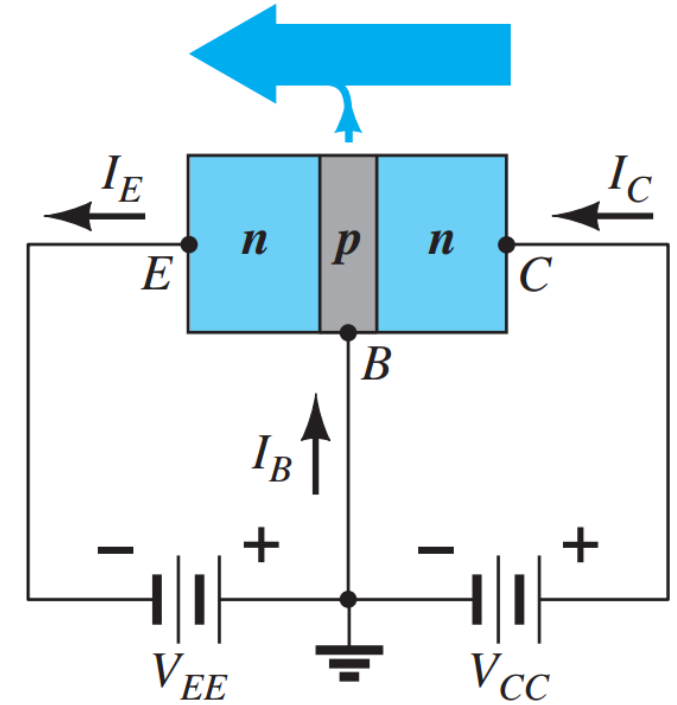
- Biết trước rằng, đặc tuyến vào và ra của MOSFET và BJT tương tự nhau.
- Tương tự như đối với đặc tuyến ra của MOSFET, đặc tuyến của BJT được chia thành 4 vùng hoạt động:
  - Vùng bão hòa
  - Vùng tích cực/khuếch đại
  - Vùng ngắt
  - Vùng đánh thủng



## 5.5.1 ĐẶC TUYẾN CỦA MẠCH MẮC BASE CHUNG

# Mạch Base chung (CB)

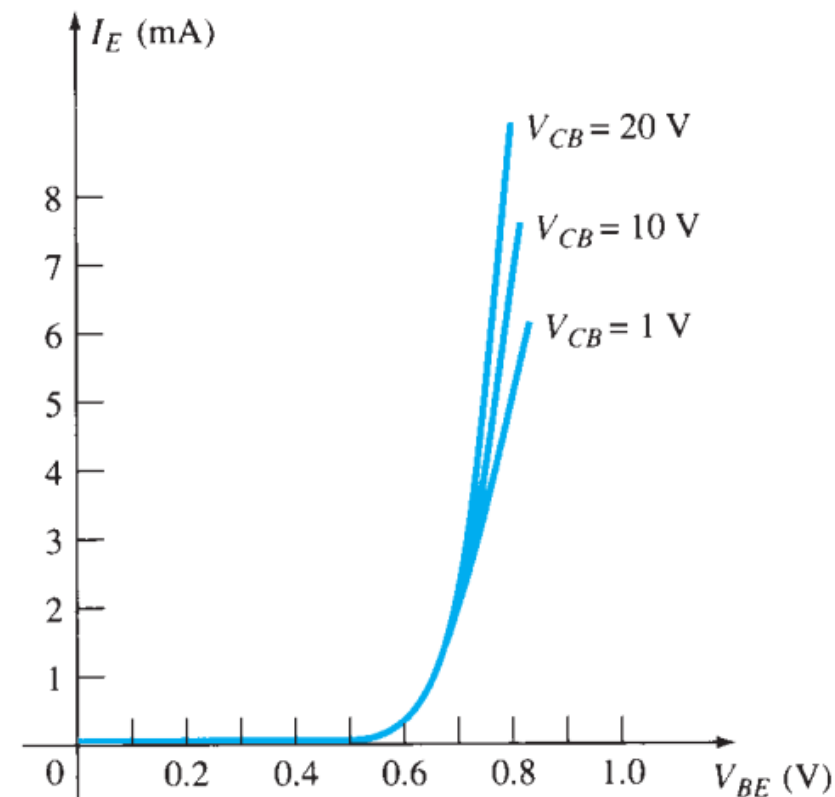
- Mạch mắc kiểu Base chung:
  - cực B được dùng chung cho cả đầu vào và đầu ra.
  - tín hiệu vào đặt giữa hai cực E và cực B.
  - tín hiệu ra được lấy từ cực C và cực B.
- Tiến hành khảo sát:
  - đặc tuyến vào  $i_E(v_{BE})|_{v_{CB}=const}$ : sự phụ thuộc của dòng  $i_E$  vào  $v_{BE}$  đối với các giá trị  $v_{CB}$  không đổi.
  - đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ : sự phụ thuộc của dòng  $i_E$  vào  $v_{BE}$  đối với các giá trị  $v_{CB}$  không đổi.





# Mạch Base chung (CB)

- Đặc tuyến vào  $i_E(v_{BE})|_{v_{CB}=const}$ :
  - có dạng của đặc tuyến diode vì dòng  $i_E$  tạo ra bởi tiếp giáp B-E phân cực thuận.
  - khi điện áp  $v_{BE}$  lớn hơn điện áp ngưỡng của tiếp giáp B-E (vào khoảng  $0.7\text{ V}$  đối với Si), dòng  $i_E$  có giá trị đáng kể và BJT xem như dẫn.
  - Lưu ý: khi tiếp giáp B-E dẫn, sụt áp  $V_{BE}$  giữa cực B và cực E gần như không đổi và vào khoảng  $0.7\text{ V}$  đối với BJT loại Si. Tương tự như diode, khi nhiệt độ tăng, giá trị  $V_{BE}$  sẽ giảm.
  - khi  $v_{CB}$  tăng, dòng  $i_E$  tăng.



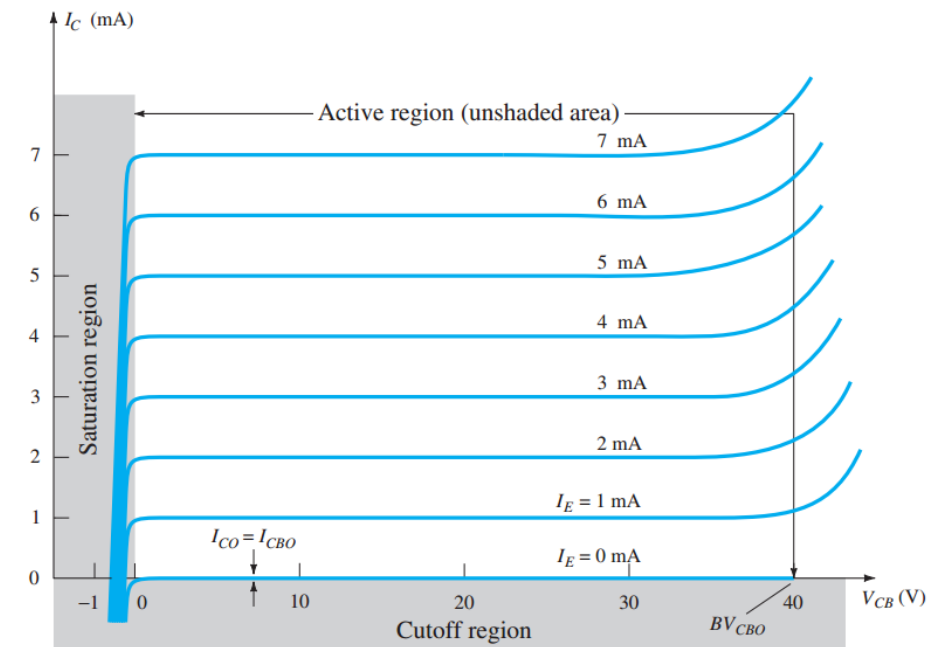
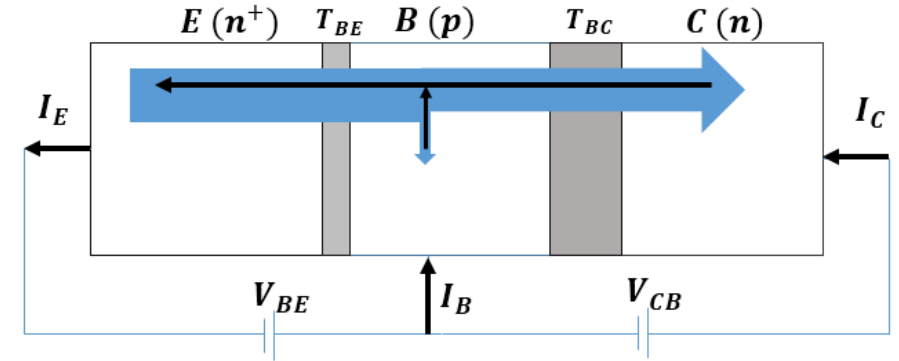
# Mạch Base chung (CB)

- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ :

- **Vùng bão hòa:**

- + tương ứng với điện áp  $v_{CB} < 0$ , tức  $T_{BC}$  phân cực thuận.

- + khi  $v_{CB}$  tăng, điện áp phân cực thuận giảm, dẫn đến độ rộng vùng nghèo của tiếp giáp B-C tăng, khiến cho độ rộng hiệu dụng của vùng B nhỏ lại nên số lượng điện tử đến được vùng C tăng, tương ứng với dòng  $i_C$  tăng, còn dòng  $i_B$  giảm.



# Mạch Base chung (CB)

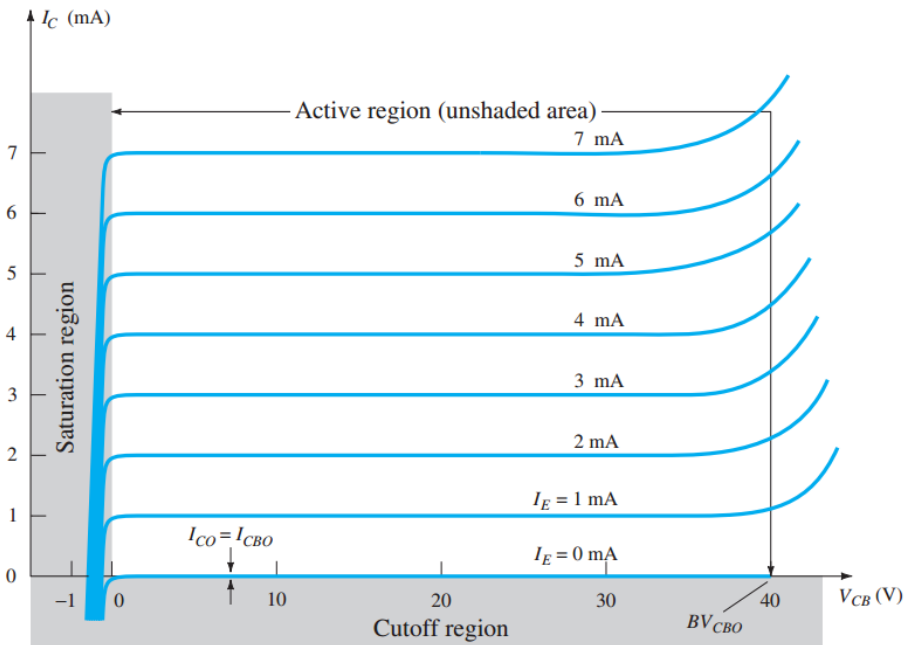
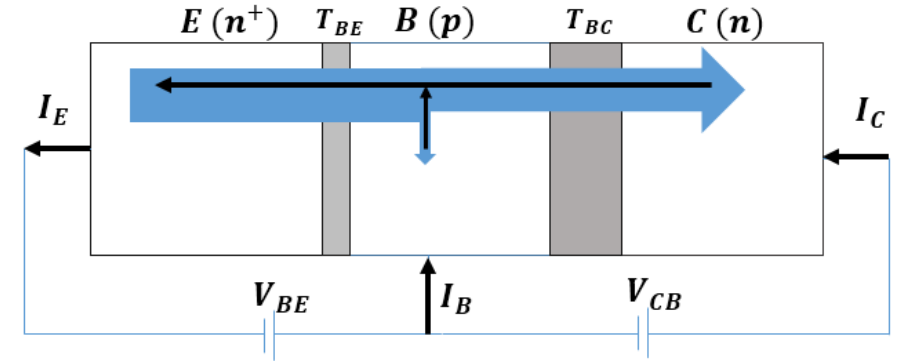
- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ :

- **Vùng tích cực:**

- + tương ứng với điện áp  $v_{CB} \geq 0$ .

- + khi  $v_{CB} = 0$ , tức  $T_{BC}$  không phân cực nên vẫn tồn tại vùng nghèo, do đó các điện tử khi khuếch tán vào vùng Base sẽ bị kéo sang vùng Collector.

- + khi  $v_{CB} > 0$ , tức là  $T_{BC}$  phân cực ngược và vùng nghèo tăng, nếu tăng  $v_{CB}$ , vùng nghèo sẽ đủ rộng để đa số các điện tử đều đến được vùng C nên dòng  $i_C$  và  $i_B$  bão hòa (không đổi). Trong vùng tích cực, dòng  $i_C$  gần như bằng dòng  $i_E$ .



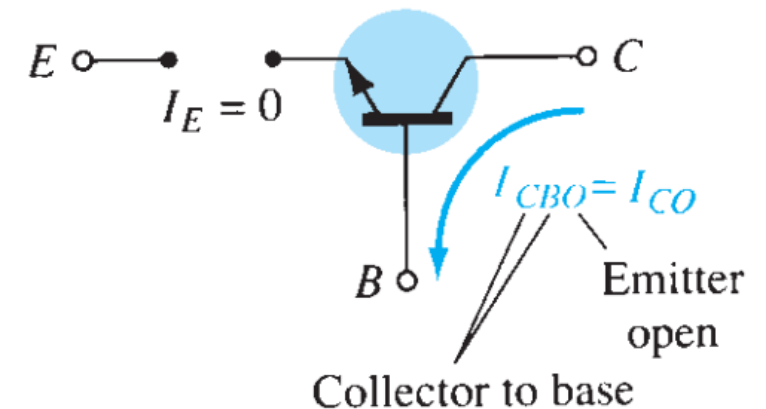
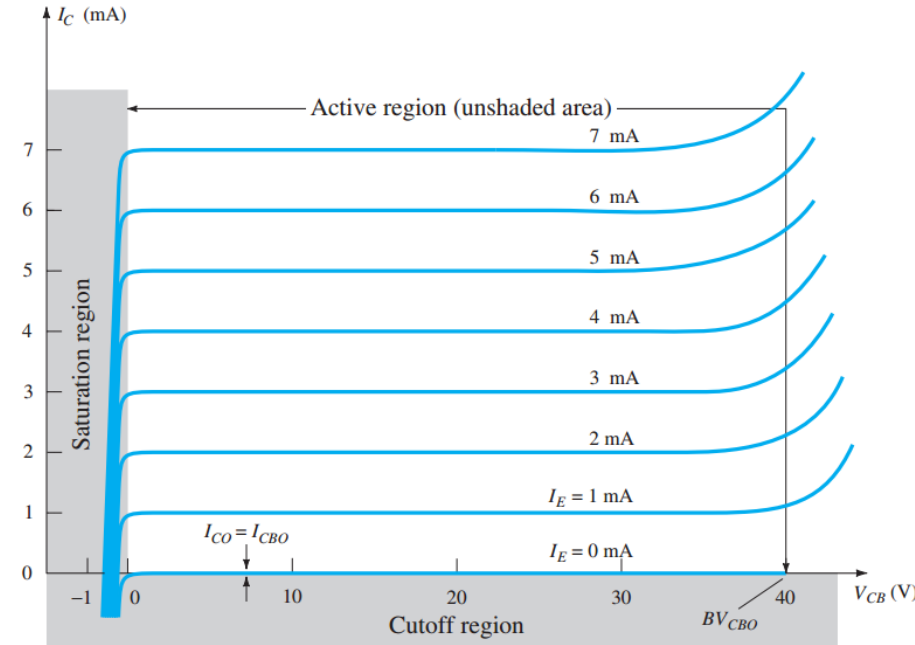
# Mạch Base chung (CB)

- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ :

- **Vùng ngắt:**

- + tương ứng với dòng  $i_E = 0$ , tức là mạch nối với cực Emitter hở mạch hay tiếp giáp  $T_{BE}$  phân cực ngược ( $v_{BE} < 0$ ).

- + tồn tại dòng rò  $I_{CBO}$  rất nhỏ chạy từ vùng C sang vùng B. Bản chất của dòng rò  $I_{CBO}$  tương tự như đối với  $I_{CO}$ .



# Mạch Base chung (CB)

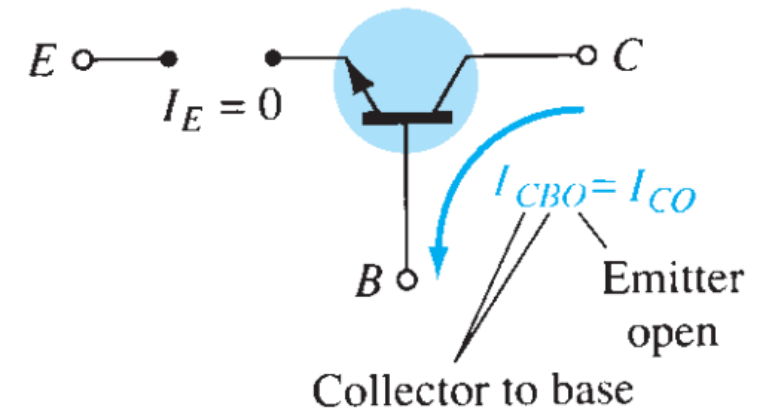
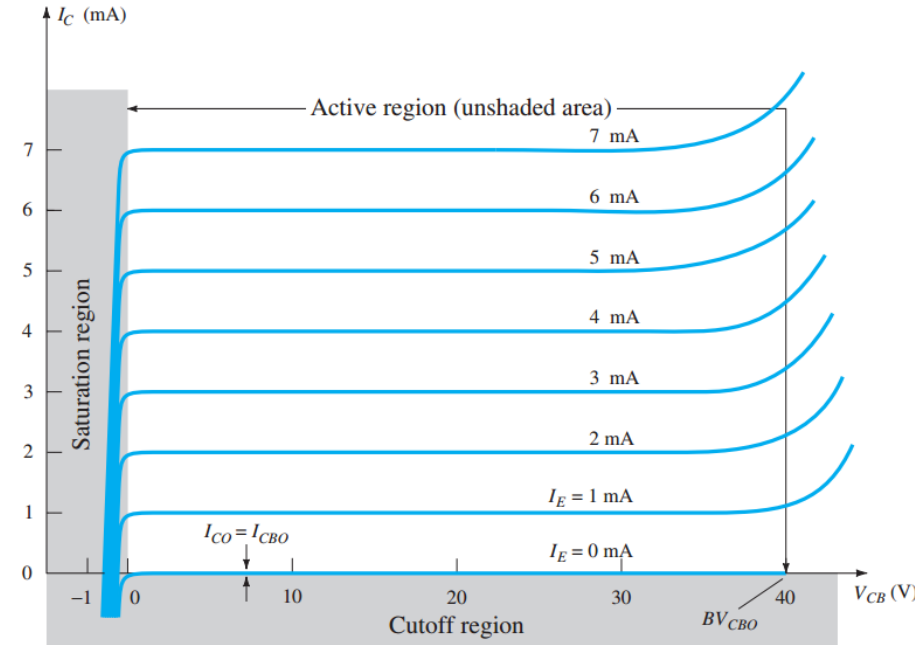
- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ :

- **Vùng ngắt:**

+ Dòng rò  $I_{CBO}$  có giá trị rất nhỏ và thường được cho bằng 0. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi cần xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ, dòng rò  $I_{CBO}$  được tính vào. Khi đó, dòng  $I_C$  được xác định như sau:

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

+ Dòng rò  $I_{CBO}$  phụ thuộc vào nhiệt độ và tăng khi nhiệt độ tăng. Dòng rò  $I_{CBO}$  tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng thêm  $10^0 C$ .



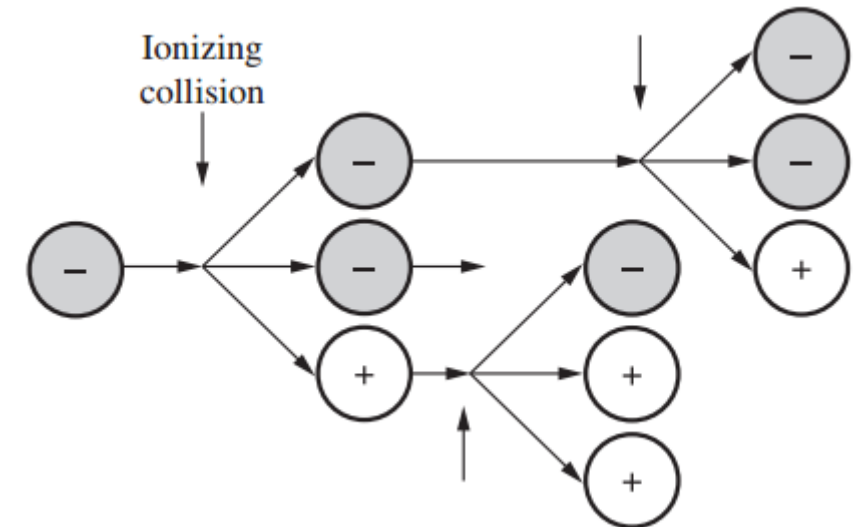
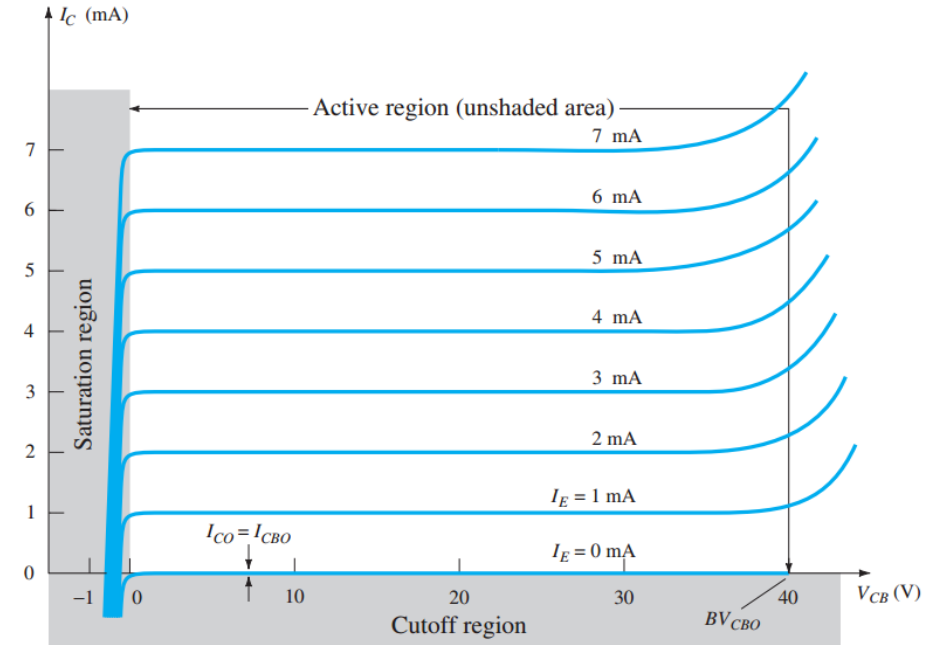
# Mạch Base chung (CB)

- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CB})|_{i_E=const}$ :

- **Vùng đánh thủng:**

- + Khi  $v_{CB}$  lớn hơn giá trị điện áp  $BV_{CBO}$ , BJT sẽ bị đánh thủng, tức là dòng qua BJT tăng đột biến. Cơ chế đánh thủng chủ yếu là cơ chế thác lũ.

- + Giá trị điện áp đánh thủng  $BV_{CBO}$  tăng khi nhiệt độ tăng.



# Mạch Base chung (CB)

## Tổng kết về mạch mắc Base chung:

- Để BJT dẫn, điều kiện cần là phân cực thuận cho tiếp giáp  $T_{BE}$ , tức là điện áp  $v_{BE}$  phải lớn hơn điện áp ngưỡng ( $\sim 0.7\text{ V}$ ).
- BJT có 4 vùng hoạt động, trong đó ta quan tâm đến 3 vùng (trừ vùng đánh thủng): vùng bão hòa, vùng tích cực và vùng ngắt.
- Trong vùng bão hòa và vùng tích cực, BJT dẫn; còn trong vùng ngắt – không dẫn.
- Vùng ngắt tương ứng với cả 2 tiếp giáp đều phân cực ngược.

# Mạch Base chung (CB)

## Tổng kết về mạch mắc Base chung:

- Phân biệt vùng bão hòa và vùng tích cực:

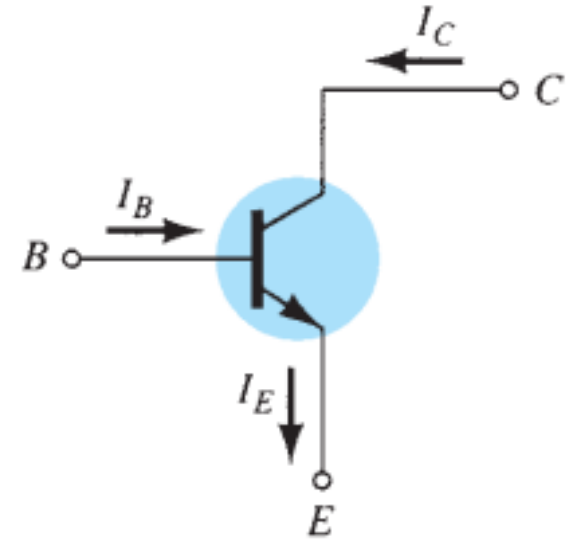
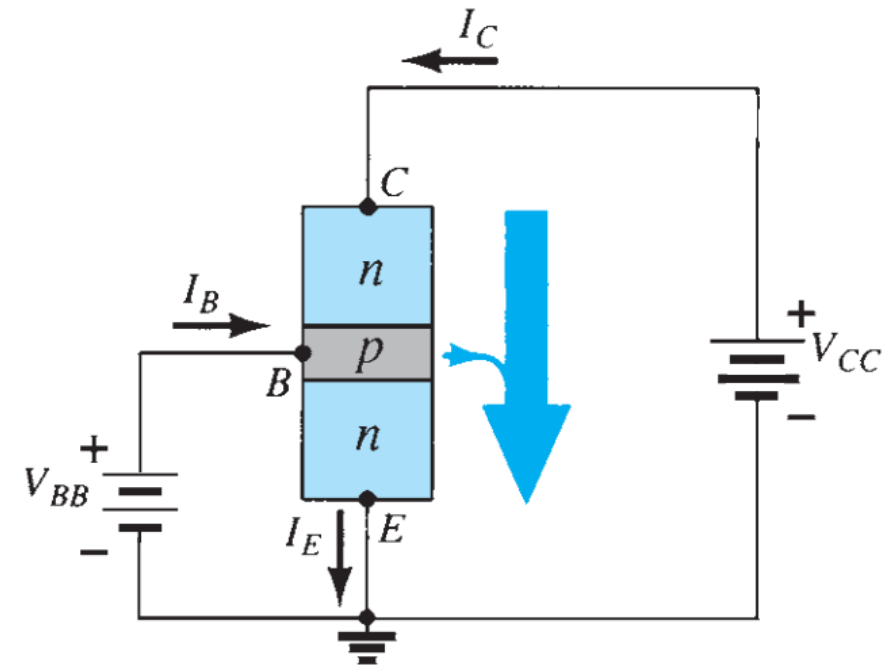
	Vùng bão hòa		Vùng tích cực
$T_{BE}$	Phân cực thuận		Phân cực thuận
$T_{BC}$	Phân cực thuận		Phân cực ngược
$V_{CB}$	Nhỏ	<	Lớn
$I_B$	Lớn	>	Nhỏ
$I_C$	Nhỏ	<	Lớn
$\beta$	Nhỏ	<	Lớn



## 5.5.2 ĐẶC TUYẾN CỦA MẠCH MẮC EMITTER CHUNG

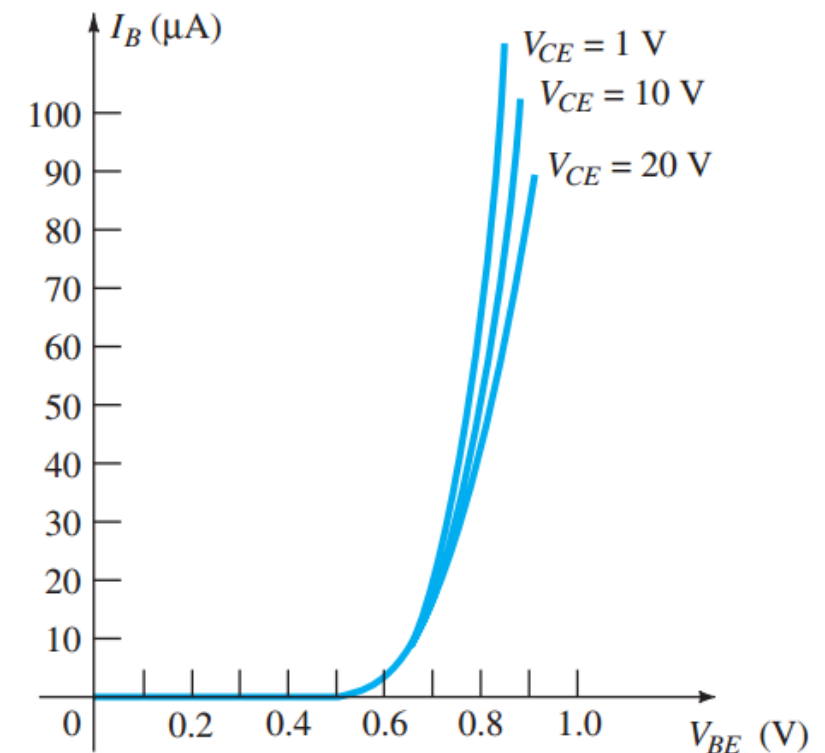
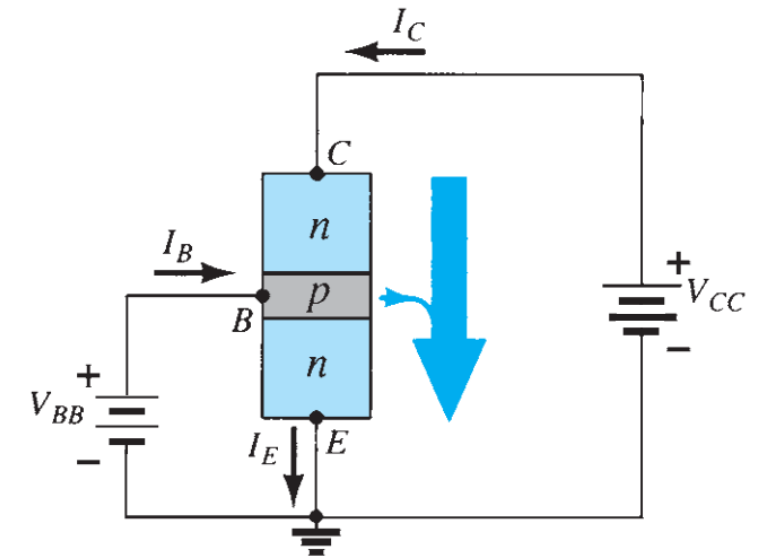
# Mạch Emitter chung (CE)

- Mạch mắc kiểu Emitter chung:
  - cực E được dùng chung cho cả đầu vào và đầu ra.
  - tín hiệu vào đặt giữa hai cực B và cực E.
  - tín hiệu ra được lấy từ cực C và cực E.
- Tiến hành khảo sát:
  - đặc tuyến vào  $i_B(v_{BE})|_{v_{CE}=const}$ : sự phụ thuộc của dòng  $i_E$  vào  $v_{BE}$  đối với các giá trị  $v_{CB}$  không đổi.
  - đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ : sự phụ thuộc của dòng  $i_E$  vào  $v_{BE}$  đối với các giá trị  $v_{CB}$  không đổi.



# Mạch Emitter chung (CE)

- Đặc tuyến vào  $i_B(v_{BE})|_{v_{CE}=const}$ :
  - có dạng của đặc tuyến diode.
  - khi điện áp  $v_{BE}$  lớn hơn điện áp ngưỡng của tiếp giáp B-E (vào khoảng 0.7 V đối với Si), dòng  $i_B$  có giá trị đáng kể và BJT xem như dẫn.
  - khi  $v_{CE}$  tăng, dòng  $i_B$  giảm. Giải thích: do  $v_{CE} = v_{CB} + V_{BE}$  nên đối với  $V_{BE}$  không đổi thì khi  $v_{CE}$  tăng thì  $v_{CB}$  tăng, tương ứng với điện áp phân cực ngược cho  $T_{BC}$  tăng, dẫn đến dòng  $i_C$  tăng và dòng  $i_B$  giảm.



# Mạch Emitter chung (CE)

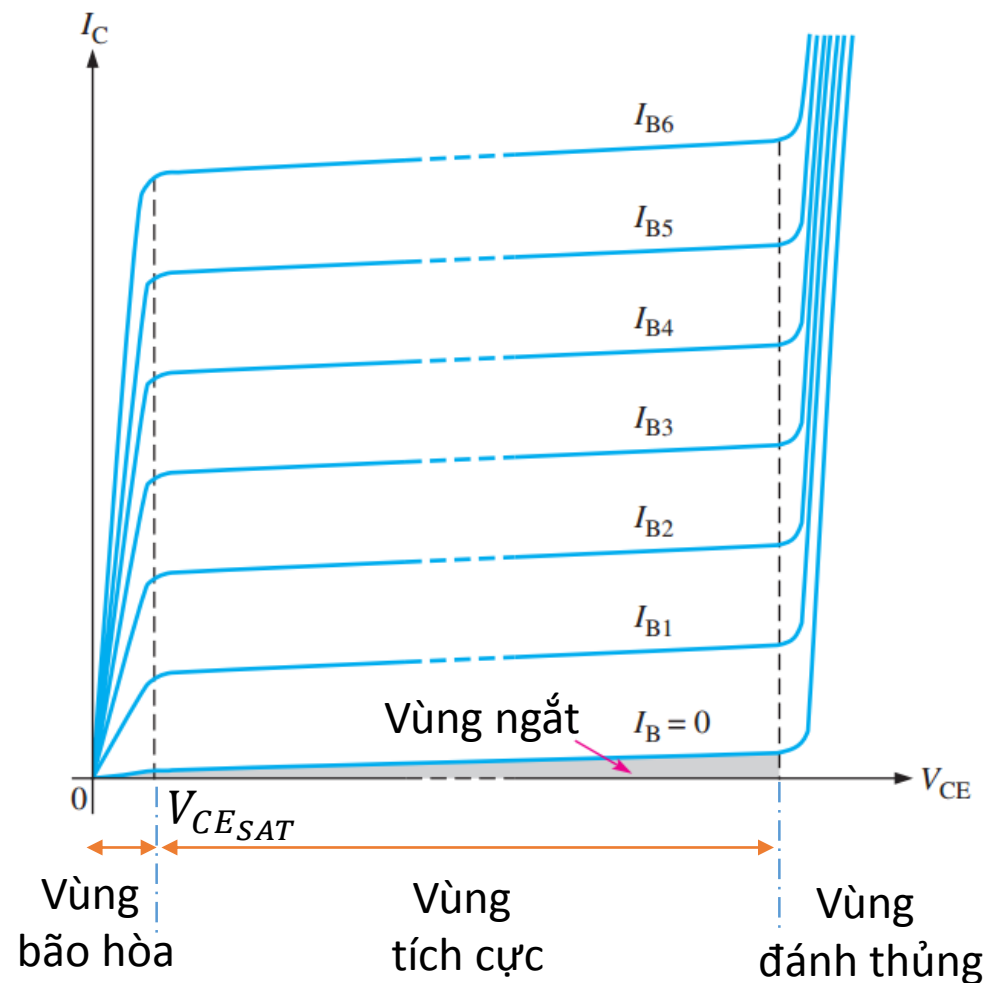
- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ :

- **Vùng bão hòa:**

- + tương ứng với điện áp  $0 < v_{CE} < V_{CE_{SAT}} \sim 0.7 V$ , tương ứng với  $v_{CB} < 0$ , tức  $T_{BC}$  phân cực thuận.

- + khi  $v_{CE}$  tăng thì  $v_{CB}$  tăng theo dẫn đến vùng nghèo của  $T_{BC}$  mở rộng ra, khiến cho độ rộng hiệu dụng của vùng B giảm nên số lượng điện tử đến được vùng C mà không bị tái hợp tại vùng B tăng, tương ứng với dòng  $i_C$  tăng, còn dòng  $i_B$  giảm.

- + Tại điểm uốn, điện áp  $v_{CB}$  xấp xỉ bằng 0.



# Mạch Emitter chung (CE)

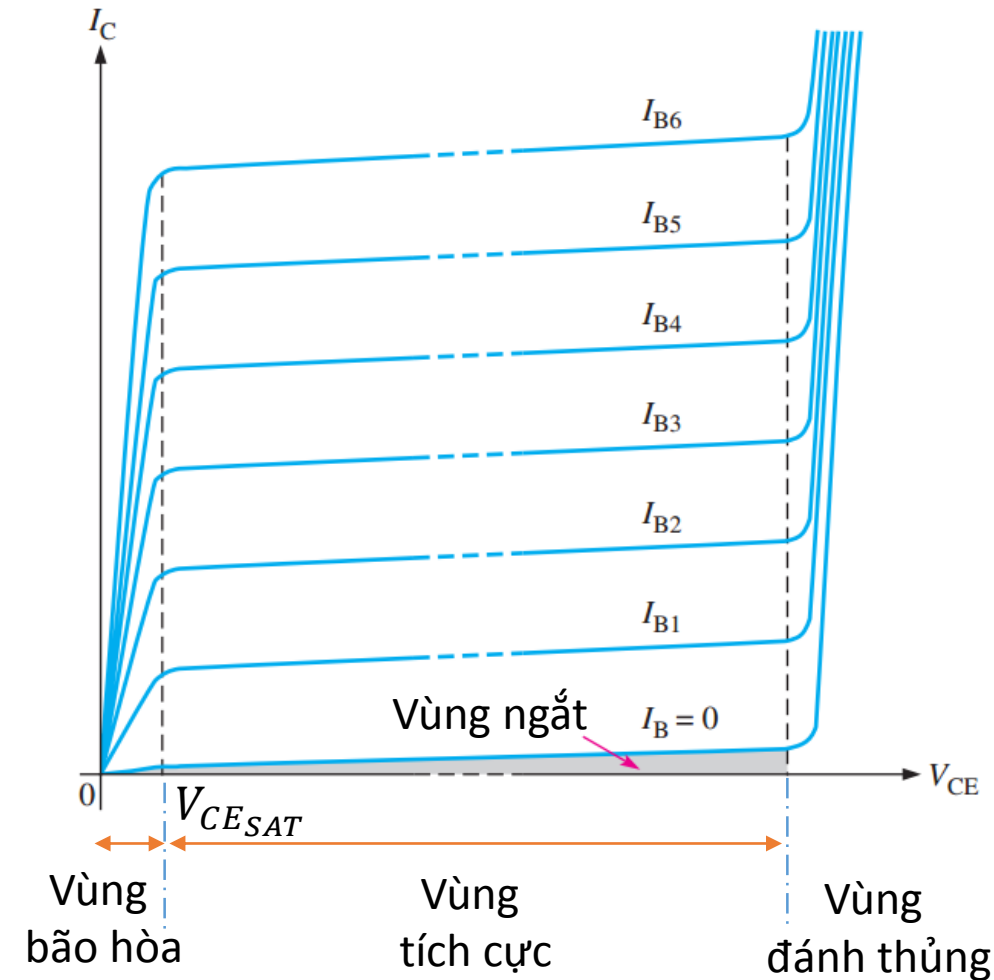
- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ :

- **Vùng tích cực:**

- + tương ứng với điện áp  $v_{CE} \geq V_{CE_{SAT}}$ .

- + nếu tăng  $v_{CE}$ , tương ứng với  $v_{CB}$  tăng, vùng nghèo sẽ đủ rộng để đa số các điện tử đều đến được vùng C nên dòng  $i_C$  và  $i_B$  bão hòa (không đổi). Trong vùng tích cực, dòng  $i_C$  gần như bằng dòng  $i_E$ .

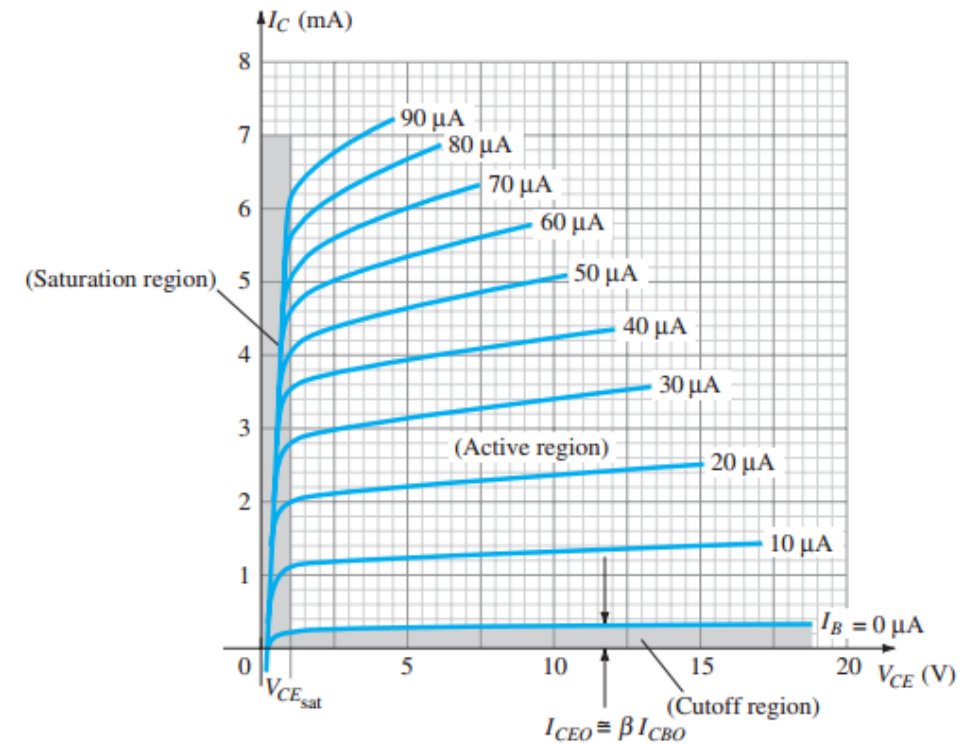
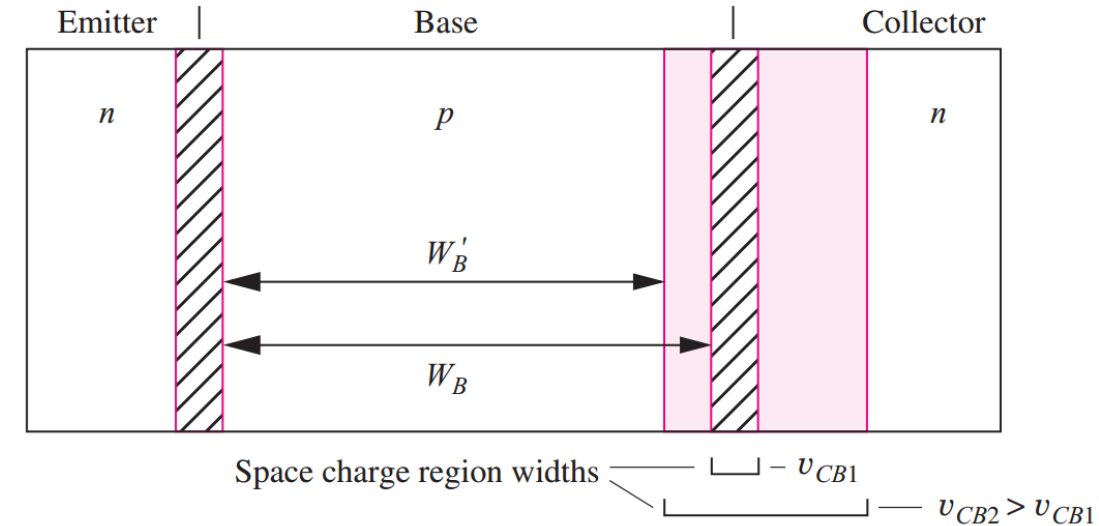
- + Tuy nhiên, thực tế dòng  $i_C$  không bão hòa mà tăng nhẹ do **hiệu ứng Early**.



# Mạch Emitter chung (CE)

## HIỆU ỨNG EARLY

- Hiệu ứng Early được phát hiện đầu tiên bởi James M. Early vào năm 1952.
- Trong vùng tích cực, khi  $v_{CE}$  tăng thì  $v_{CB}$  tăng theo khiến cho vùng nghèo của tiếp giáp B-C mở rộng ra, dẫn đến độ rộng hiệu dụng của vùng B giảm nên số lượng điện tử đến được vùng C mà không bị tái hợp tại vùng B tăng, tương ứng với dòng  $i_C$  tăng thay vì không đổi.

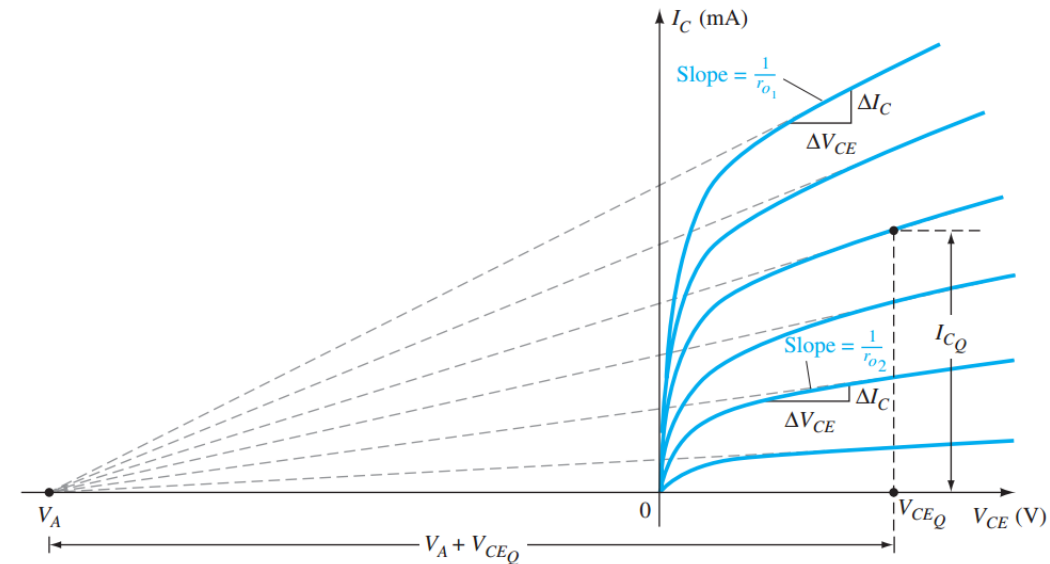


# Mạch Emitter chung (CE)

## HIỆU ỨNG EARLY

- Do hiệu ứng Early, các đường đặc tuyến kéo dài cắt nhau tại cùng một điểm  $v_{CE} = -V_A$  trên trục hoành.
- Giá trị của  $V_A$  thường nằm trong khoảng  $[10V \div 200V]$ .
- Tương tự như hiệu ứng điều chế kênh của MOSFET, hiệu ứng Early khiến cho trở kháng ra của BJT không phải bằng vô cùng mà có giá trị hữu hạn:

$$r_o = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta i_C} = \frac{V_A + V_{CEQ}}{I_{CQ}}$$



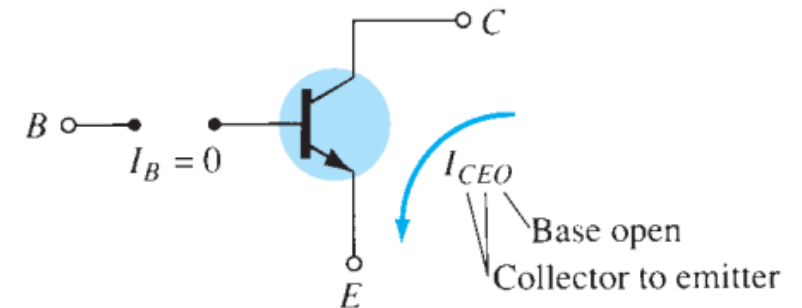
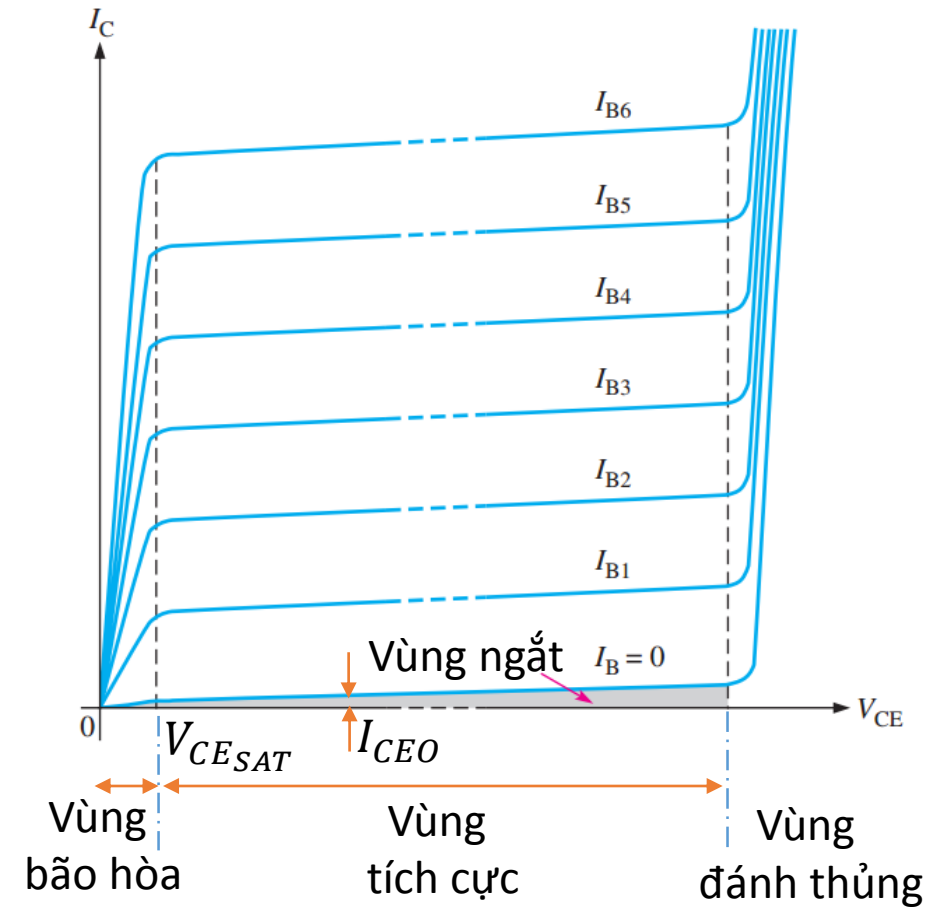
# Mạch Emitter chung (CE)

- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ :

- **Vùng ngắt:**

- + tương ứng với dòng  $i_B = 0$ , tức là mạch nối với cực Base hở mạch hay tiếp giáp  $T_{BE}$  phân cực ngược ( $v_{BE} < 0$ ).

- + tồn tại dòng rò  $I_{CEO}$  rất nhỏ chạy từ vùng C sang vùng E. Bản chất của dòng rò  $I_{CEO}$  tương tự như đối với  $I_{CO}$ .





# Mạch Emitter chung (CE)

- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ :

- **Vùng ngắt:**

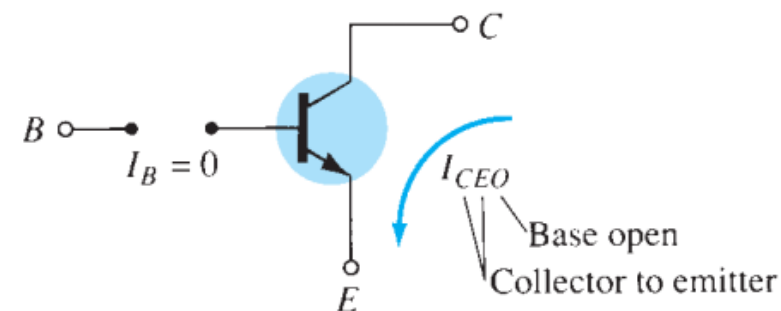
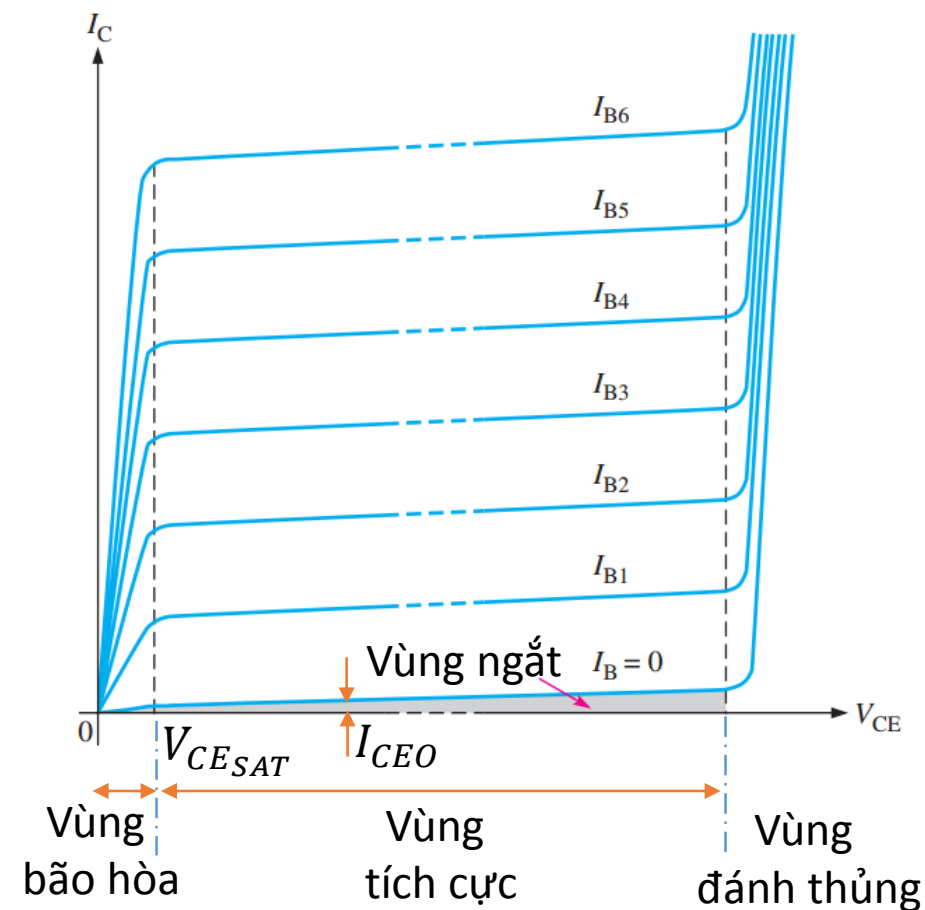
- + Mối quan hệ giữa dòng rò  $I_{CEO}$  và  $I_{CBO}$ :

$$I_{CEO} = (\beta + 1)I_{CBO}$$

- + Dòng rò  $I_{CBO}$  có giá trị nhỏ và thường được bỏ qua. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi cần xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ, dòng rò  $I_{CEO}$  được xét đến. Khi đó, dòng  $I_C$  được xác định như sau:

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO}$$

- + Dòng rò  $I_{CEO}$  phụ thuộc vào nhiệt độ và tăng khi nhiệt độ tăng



# Mạch Emitter chung (CE)

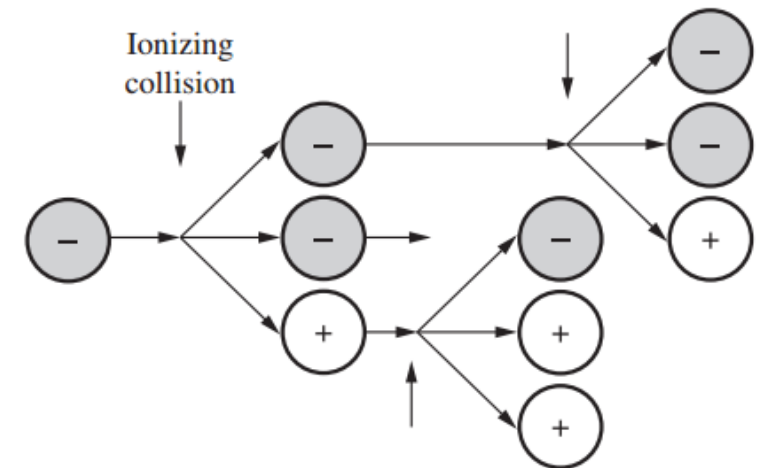
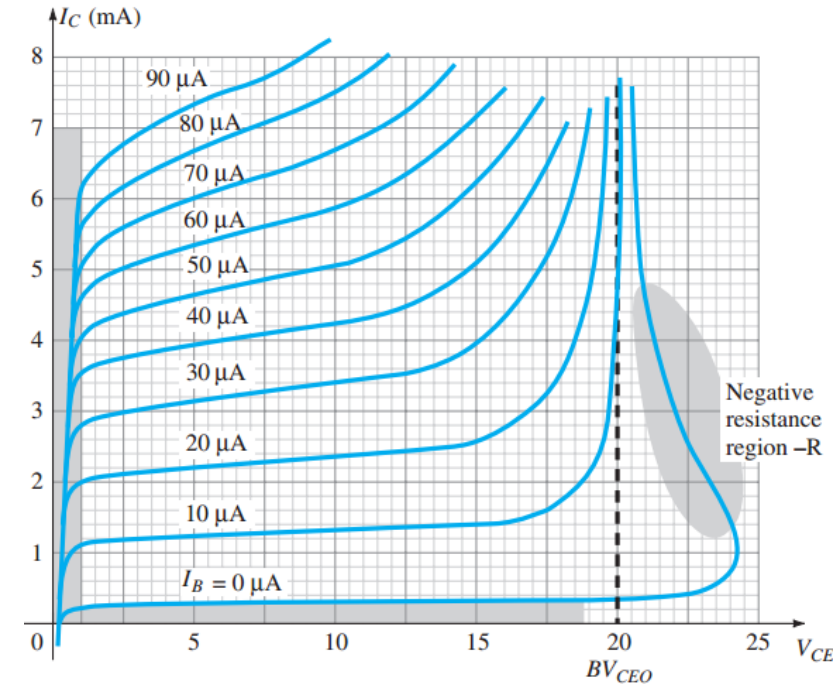
- Đặc tuyến ra  $i_C(v_{CE})|_{i_B=const}$ :

- **Vùng đánh thủng:**

- + Khi  $v_{CB}$  lớn hơn giá trị điện áp  $BV_{CBO}$ , BJT sẽ bị đánh thủng, tức là dòng qua BJT tăng đột biến.

- + Đối với dòng  $i_B$  nhỏ, khi  $v_{CE}$  vượt quá điện áp đánh thủng  $BV_{CEO}$ , BJT sẽ bị đánh thủng với cơ chế chủ đạo là cơ chế thác lũ. Khi  $v_{CE}$  tiếp tục tăng đến một giá trị xác định, BJT bị đánh thủng lần 2. Lần đánh thủng thứ 2 đặc trưng bởi trở kháng âm (*negative resistance*).

- + Giá trị điện áp đánh thủng  $BV_{CBO}$  tăng khi nhiệt độ tăng.



# Mạch Emitter chung (CE)

## Tổng kết về mạch mắc Emitter chung:

- Để BJT dẫn, điều kiện cần là phân cực thuận cho tiếp giáp  $T_{BE}$ , tức là điện áp  $v_{BE}$  phải lớn hơn điện áp ngưỡng ( $\sim 0.7\text{ V}$ ).
- BJT có 4 vùng hoạt động, trong đó ta quan tâm đến 3 vùng (trừ vùng đánh thủng): vùng bão hòa, vùng tích cực và vùng ngắt.
- Trong vùng bão hòa và vùng tích cực, BJT dẫn; còn trong vùng ngắt – không dẫn.
- Vùng ngắt tương ứng với cả 2 tiếp giáp đều phân cực ngược.

# Mạch Emitter chung (CE)

## Tổng kết về mạch mắc Emitter chung:

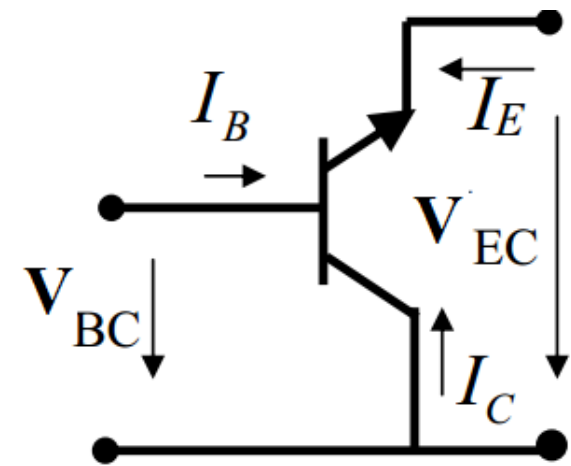
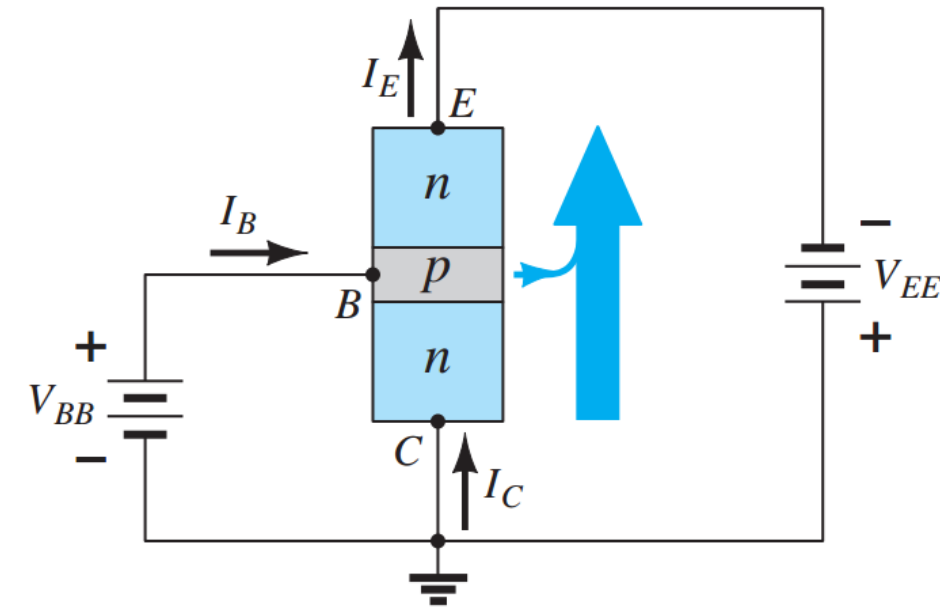
- Phân biệt vùng bão hòa và vùng tích cực:

	Vùng bão hòa		Vùng tích cực
$T_{BE}$	Phân cực thuận		Phân cực thuận
$T_{BC}$	Phân cực thuận		Phân cực ngược
$V_{CE}$	Nhỏ	<	Lớn
$I_B$	Lớn	>	Nhỏ
$I_C$	Nhỏ	<	Lớn
$\beta$	Nhỏ	<	Lớn

### 5.5.3 ĐẶC TUYẾN CỦA MẠCH MẮC COLLECTOR CHUNG

# Mạch Collector chung (CC)

- Mạch mắc kiểu Collector chung:
  - cực C được dùng chung cho cả đầu vào và đầu ra.
  - tín hiệu vào đặt giữa hai cực B và cực C.
  - tín hiệu ra được lấy từ cực E và cực C.
- Do vùng C và vùng E có cùng loại bán dẫn (tuy khác nhau về nồng độ pha tạp) nên đặc tuyến của mạch CC tương tự như đối với mạch CE.



(CC)

## 5.6 CÁC VÙNG HOẠT ĐỘNG

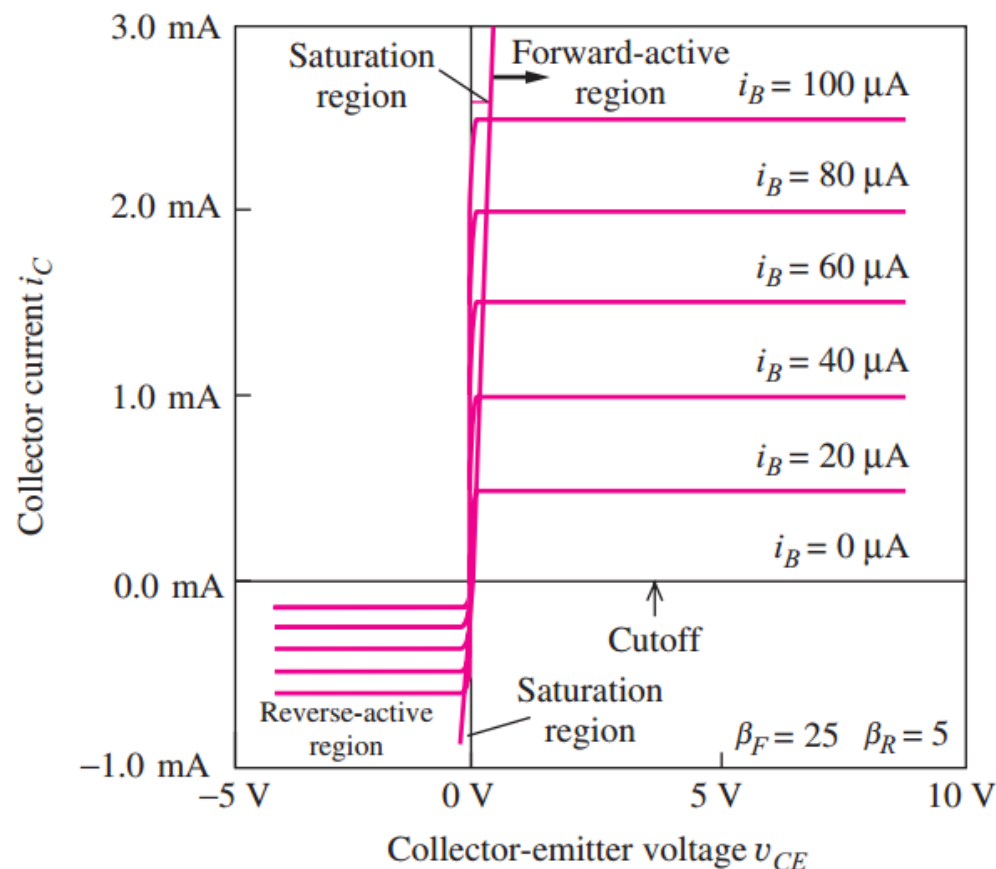
# Các vùng hoạt động của BJT

- Phụ thuộc vào phân cực cho 2 tiếp giáp, BJT có 4 vùng hoạt động:
  - **Vùng ngắt** (*cutoff region*): cả hai tiếp giáp B-E và B-C phân cực ngược.
  - **Vùng bão hòa** (*saturation region*): cả hai tiếp giáp B-E và B-C phân cực thuận.
  - **Vùng tích cực thuận** (*forward-active region*): tiếp giáp B-E phân cực thuận, còn tiếp giáp B-C phân cực ngược.
  - **Vùng tích cực đảo** (*reverse-active region*): tiếp giáp B-E phân cực ngược, còn tiếp giáp B-C phân cực thuận.
- Trong đó, vùng tích cực thuận đã được xem xét; còn vùng tích cực ngược ít dùng nên không được nhắc đến trong bài giảng này. Do đó, thuật ngữ “vùng tích cực” được mặc định để chỉ vùng tích cực thuận.



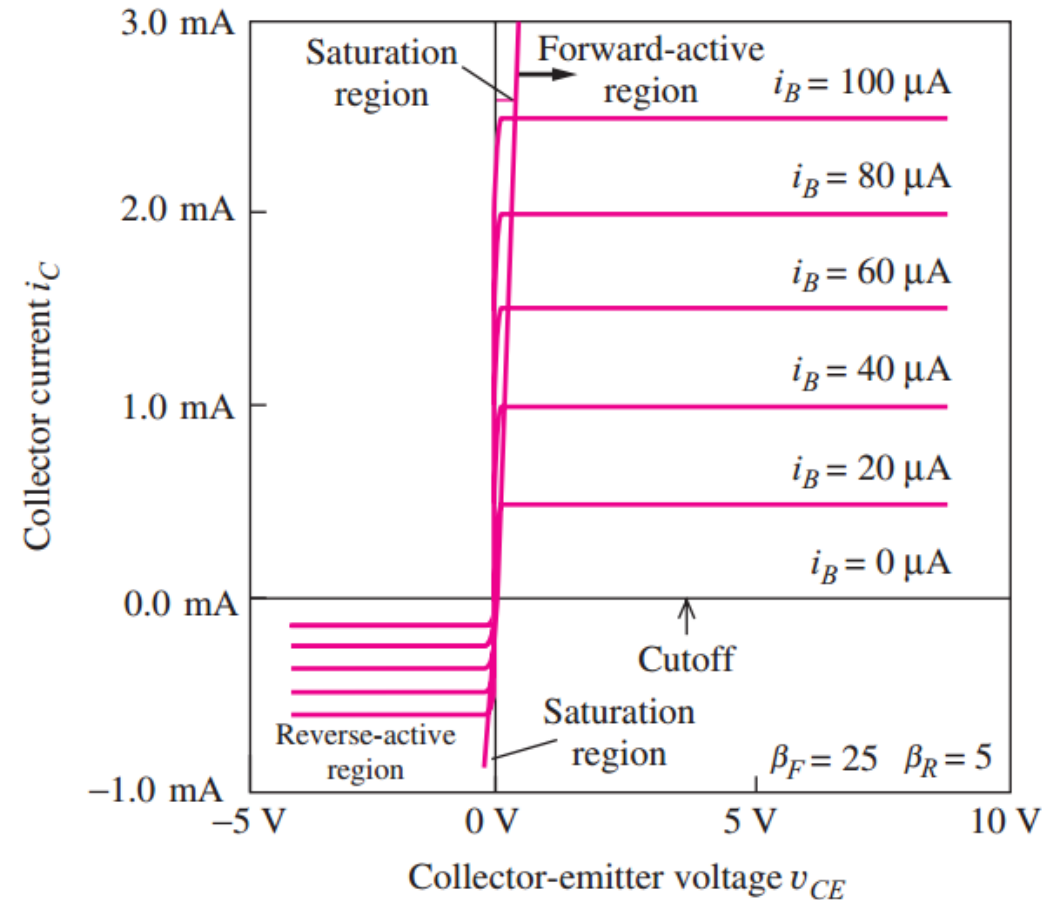
# Các vùng hoạt động của BJT

- Đối với vùng ngắt, cả hai tiếp giáp đều phân cực ngược nên gần như không có dòng chạy qua BJT và BJT xem như một khóa mở.
- Đối với vùng bão hòa, cả hai tiếp giáp đều phân cực thuận nên sụt áp giữa cực C và E là rất nhỏ và BJT xem như một khóa đóng.
- Vùng ngắt và vùng bão hòa thường được sử dụng tương ứng với 2 trạng thái trong mạch logic.



# Các vùng hoạt động của BJT

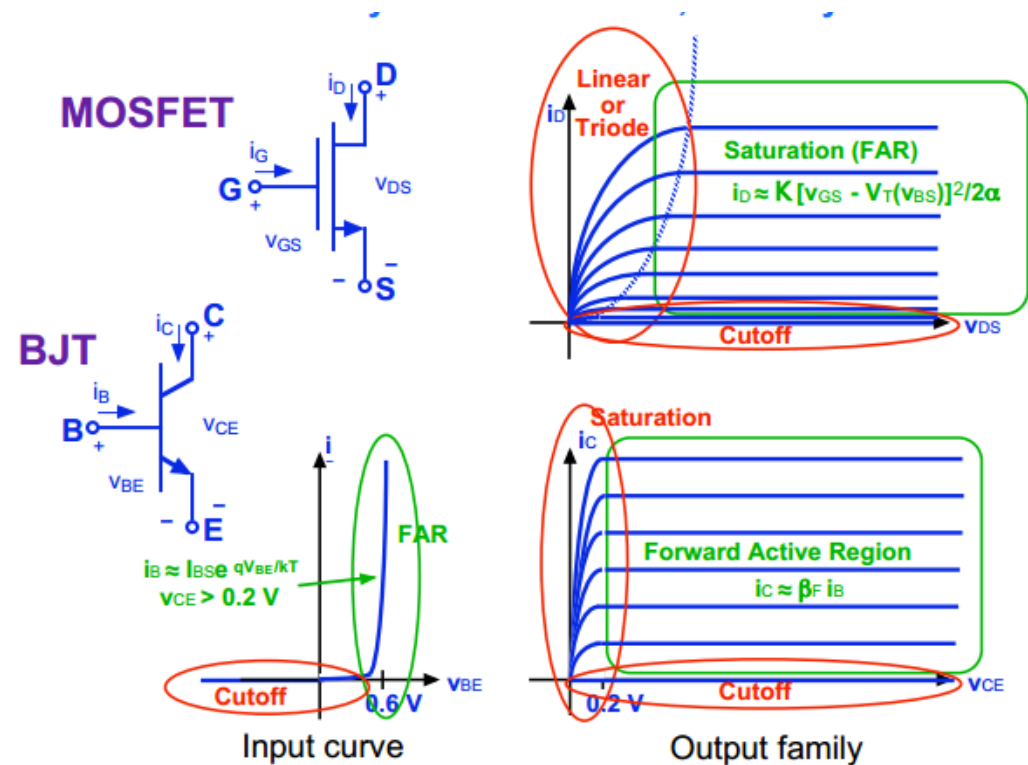
- Vùng tích cực thuận hay còn gọi là vùng khuếch đại thường được sử dụng trong các mạch khuếch đại.
- Đối với vùng tích cực đảo, vai trò của cực E và cực C được đổi cho nhau. Về hình dạng đặc tuyến của hai vùng này tương tự nhau, tuy nhiên có sự khác nhau về độ lớn của các dòng do nồng độ pha tạp của vùng E lớn hơn vùng C nhiều lần.



# Các vùng hoạt động của BJT

- Lưu ý:

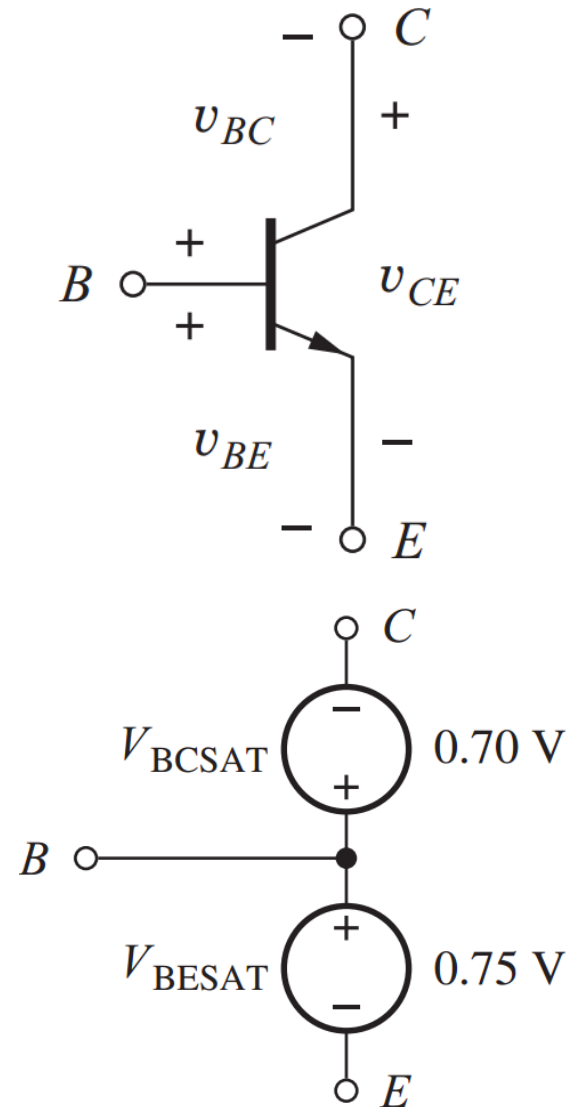
- vùng bão hòa của BJT tương ứng với vùng tuyến tính của FET và đều có đặc trưng chung là mối quan hệ tuyến tính giữa dòng và điện áp ngõ ra.
- vùng tích cực thuận của BJT tương ứng với vùng bão hòa của FET và có đặc trưng chung là dòng ngõ ra bão hòa khi điện áp ngõ ra tăng.



# Các vùng hoạt động của BJT

- **Lưu ý đối với vùng bão hòa:**

- Mối quan hệ  $i_C = \beta i_B$  chỉ được áp dụng trong vùng tích cực; còn trong vùng bão hòa công thức này không được thỏa mãn.
- Trong vùng bão hòa, chỉ áp dụng được mối quan hệ:  $i_E = i_B + i_C$ .
- Do trong vùng bão hòa cả hai tiếp giáp đều phân cực thuận nên ta có thể xem BJT như 2 diode dẫn và được thay thế bởi 2 nguồn điện áp ngưỡng. Do cấu tạo vùng Emitter và Collector khác nhau nên điện áp ngưỡng của 2 tiếp giáp này khác nhau một khoảng nhỏ. Dễ dàng tính được điện áp  $v_{CE}$  trong vùng bão hòa:  $V_{CE_{SAT}} \cong 50\text{ mV}$ .
- Do đó, trong vùng bão hòa,  $v_{CE}$  rất nhỏ và ta có thể xem  $v_{CE} \cong 0\text{ V}$  để thuận tiện trong tính toán.



# Các vùng hoạt động của BJT

- Lưu ý đối với vùng bão hòa:

- Từ phần đặc tuyến, ta đã biết:

$$i_B^{bão hòa} > i_B^{tích cực} \text{ và } i_C^{bão hòa} < i_C^{tích cực} \text{ và } \beta^{bão hòa} < \beta^{tích cực}$$

- Ngoài ra, hệ số  $\beta$  của BJT cho trước tương ứng với tỉ số  $i_C/i_B$  trong vùng tích cực. Do đó, tỉ số  $i_C/\beta$  chính là dòng qua cực B cần để duy trì BJT hoạt động trong vùng tích cực.
- Nếu ta tăng  $i_B$  sao cho  $i_B > i_C/\beta$ , BJT sẽ chuyển từ vùng tích cực sang hoạt động trong vùng bão hòa; hoặc nếu ta giữ  $i_B$  không đổi và giảm  $i_C$  sao cho  $i_C < \beta i_B$  thì BJT cũng sẽ chuyển sang vùng bão hòa.
- Khi BJT hoạt động trong vùng bão hòa, tỉ số  $i_C/i_B$  được ký hiệu là  $\beta_{FOR}$  (*forced beta*), sẽ khác với giá trị  $\beta$  cho trước, và  $\beta_{FOR} \leq \beta$ .

# Các vùng hoạt động của BJT

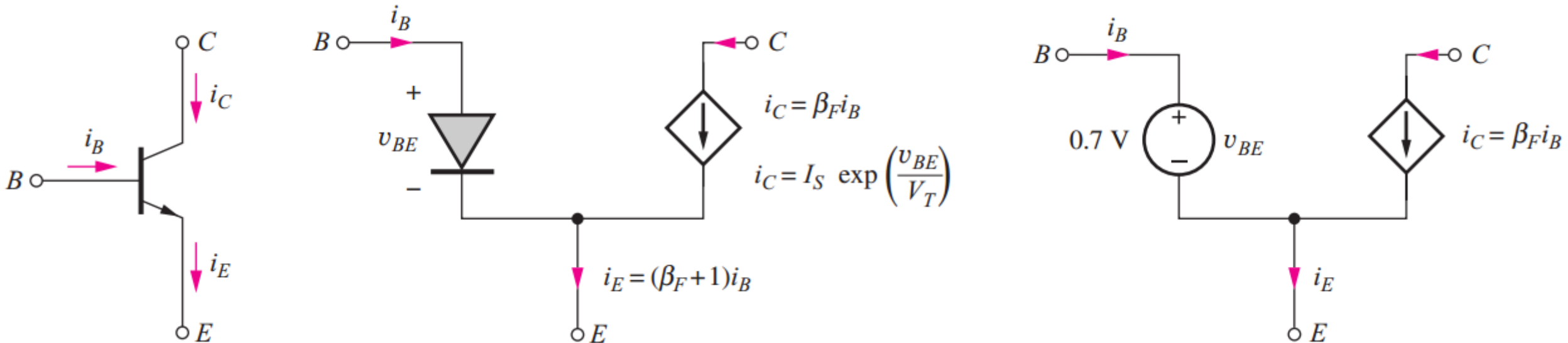
- Như vậy, có thể thấy rằng BJT được điều khiển bằng dòng (cụ thể là  $i_B$ ), khác với MOSFET được điều khiển bằng điện áp.
- Tổng kết về 4 vùng hoạt động của BJT:

$T_{BE}$	$T_{BC}$	
	Phân cực ngược	Phân cực thuận
Phân cực thuận	Vùng tích cực thuận (vùng hoạt động chính) (chức năng khuếch đại: tốt)	Vùng bão hòa (tương ứng với khóa đóng)
Phân cực ngược	Vùng ngắt (tương ứng với khóa mở)	Vùng tích cực ngược (vùng hoạt động chính) (chức năng khuếch đại: kém)

## 5.7 MÔ HÌNH MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG

# Mô hình mạch tương đương của BJT đối với vùng tích cực

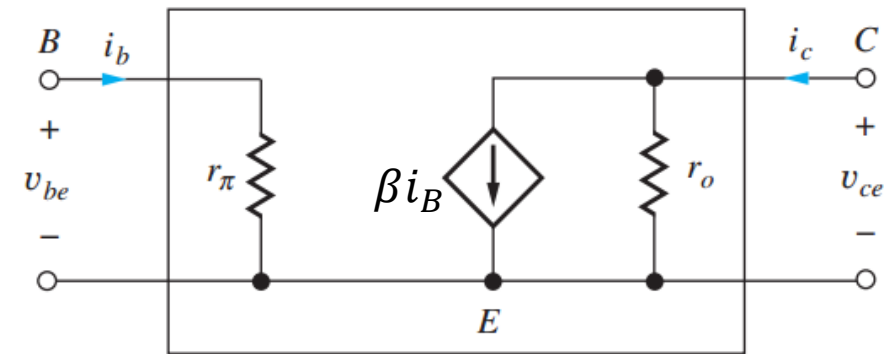
- Trong vùng tích cực, nếu không xét đến hiệu ứng Early thì dòng  $i_C$  không phụ thuộc vào  $v_{CE}$  và tỉ lệ với dòng  $i_B$  thông qua hệ số  $\beta$ .
- Do đó, trong vùng tích cực, BJT được xem như bên dưới, trong đó dòng  $i_C$  được biểu diễn như một nguồn dòng được điều khiển bởi dòng  $i_B$  và không phụ thuộc vào  $v_{CE}$ .





# Mô hình mạch tương đương của BJT đối với vùng tích cực

- Nếu xét đến hiệu ứng Early đối với vùng tích cực, tức dòng  $i_C$  tăng khi  $v_{CE}$  tăng thì cần phải thêm trở kháng ra  $r_o$  vào mạch ngõ ra của sơ đồ mạch tương đương.
- **Nhắc lại:** khi xét đến hiệu ứng Early, do dòng  $i_C$  tăng khi  $v_{CE}$  tăng thay vì giữ giá trị không đổi, dẫn đến  $r_o$  có giá trị hữu hạn thay vì vô cùng lớn.
- Dễ dàng thấy được, dòng  $i_C$  gồm 2 thành phần: dòng  $\beta i_B$  (hay  $g_m v_{BE}$ ) được điều khiển bởi dòng  $i_B$ , và dòng qua  $r_o$  (bằng  $v_{CE}/r_o$ ) phụ thuộc vào  $v_{CE}$  (tăng khi  $v_{CE}$  tăng, đúng theo hiệu ứng Early).



## 5.8 HỆ SỐ HỒ DẪN

# Hệ số hỗ dẫn

- Hệ số hỗ dẫn  $g_m$  là hệ số quan trọng của BJT. Hệ số  $g_m$  được xác định bởi tỉ số giữa sự thay đổi của  $i_C$  đối với sự thay đổi của  $v_{BE}$ .

$$g_m = \left. \frac{di_C}{dv_{BE}} \right|_{Q_{point}}$$

- Tương tự như MOSFET, hệ số  $g_m$  phản ánh “sức mạnh” của BJT, tương ứng với khả năng biến đổi điện áp  $v_{BE}$  thành dòng  $i_C$ .
- Đối với điểm làm việc tĩnh Q nằm trong vùng tích cực thuận:

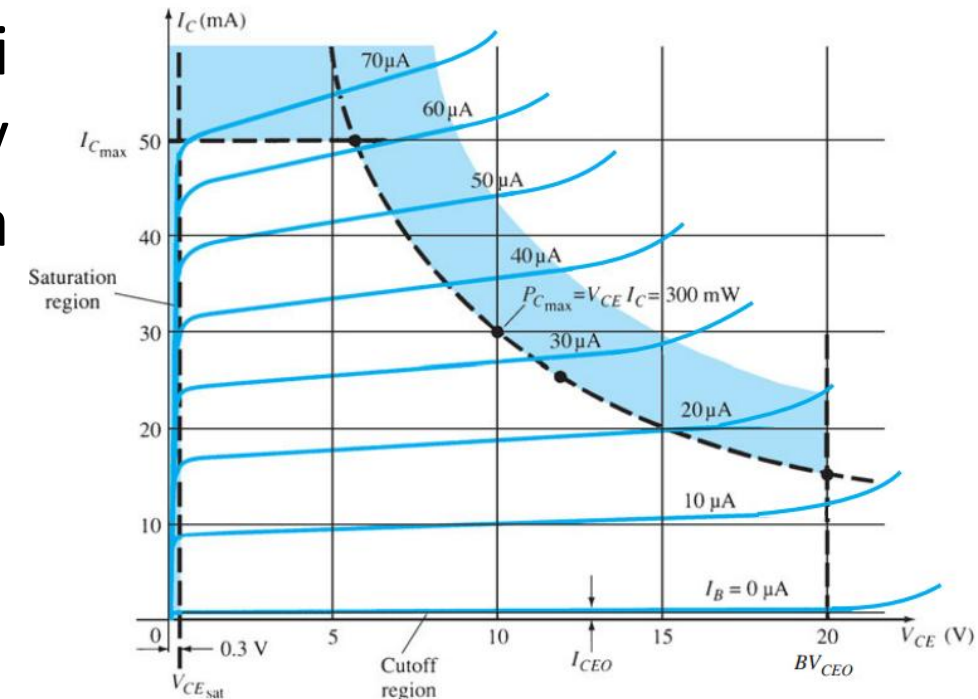
$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

## 5.9 GIỚI HẠN VÙNG HOẠT ĐỘNG

# Giới hạn vùng hoạt động

- Đối với BJT cho trước, ta có thể xác định giới hạn của BJT sao cho không vượt quá các tham số cực đại của nó.
- Vùng hoạt động của BJT bị giới hạn bởi công suất tiêu tán cực đại  $P_{C_{max}}$  (hay  $P_{D_{max}}$ ), dòng collector cực đại  $I_{C_{max}}$  và điện áp đánh thủng  $BV_{CEO}$  (hay  $V_{CE_{max}}$ ).
- Khi nhiệt độ tăng,  $P_{C_{max}}$  giảm.

$$\begin{aligned} I_{CEO} &\leq I_C \leq I_{C_{max}} \\ V_{CE_{sat}} &\leq V_{CE} \leq V_{CE_{max}} \\ V_{CE} I_C &\leq P_{C_{max}} \end{aligned}$$



## 5.10 DATASHEET

# Datasheet của BJT

## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N4123	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_j, T_{stg}$	-55 to +150	°C

## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C W
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C W

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

## OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) ( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	30		Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10 \mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	40		Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10 \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	5.0	–	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 20 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ )	$I_{CBO}$	–	50	nAdc
Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 3.0 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	–	50	nAdc



# Datasheet của BJT

## ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain(1) ( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 50 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	50 25	150 –	–
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) ( $I_C = 50 \text{ mA}$ , $I_B = 5.0 \text{ mA}$ )	$V_{CE(sat)}$	–	0.3	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage(1) ( $I_C = 50 \text{ mA}$ , $I_B = 5.0 \text{ mA}$ )	$V_{BE(sat)}$	–	0.95	Vdc

## SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain – Bandwidth Product ( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )	$f_T$	250		MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )	$C_{obo}$	–	4.0	pF
Input Capacitance ( $V_{BE} = 0.5 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )	$C_{ibo}$	–	8.0	pF
Collector-Base Capacitance ( $I_E = 0$ , $V_{CB} = 5.0 \text{ V}$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )	$C_{cb}$	–	4.0	pF
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	50	200	–
Current Gain – High Frequency ( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ ) ( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	2.5 50	– 200	–
Noise Figure ( $I_C = 100 \mu\text{A}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0 \text{ k ohm}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	NF	–	6.0	dB

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ . Duty Cycle = 2.0%



# Datasheet của BJT

## ***h* PARAMETERS**

$V_{CE} = 10\text{ V}, f = 1\text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$

Figure 1 – Current Gain

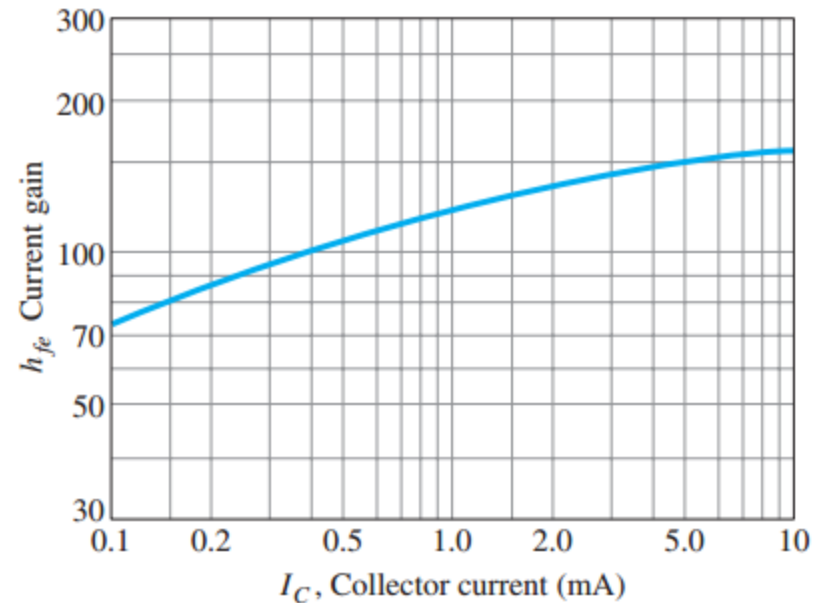
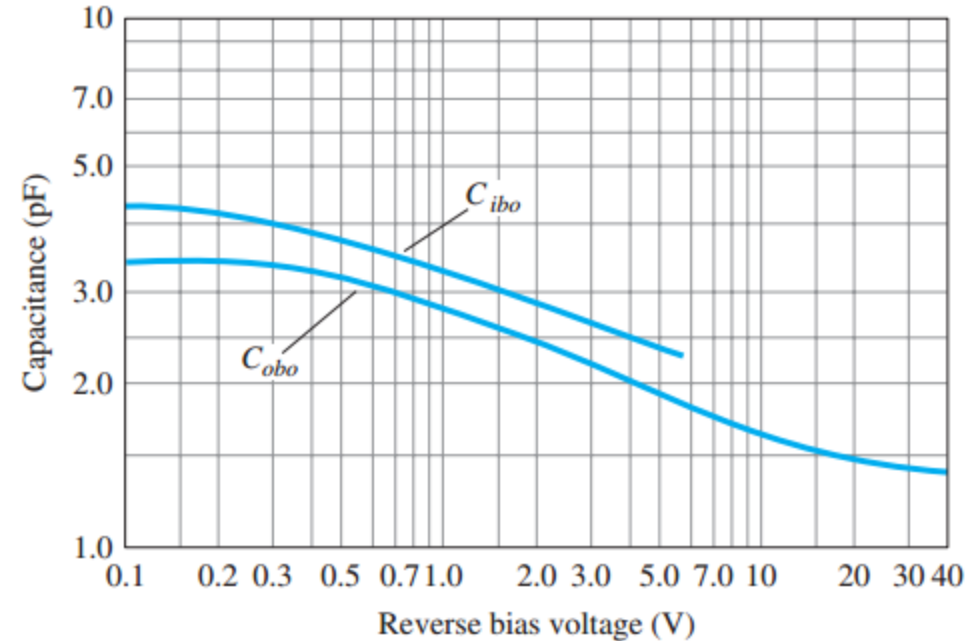
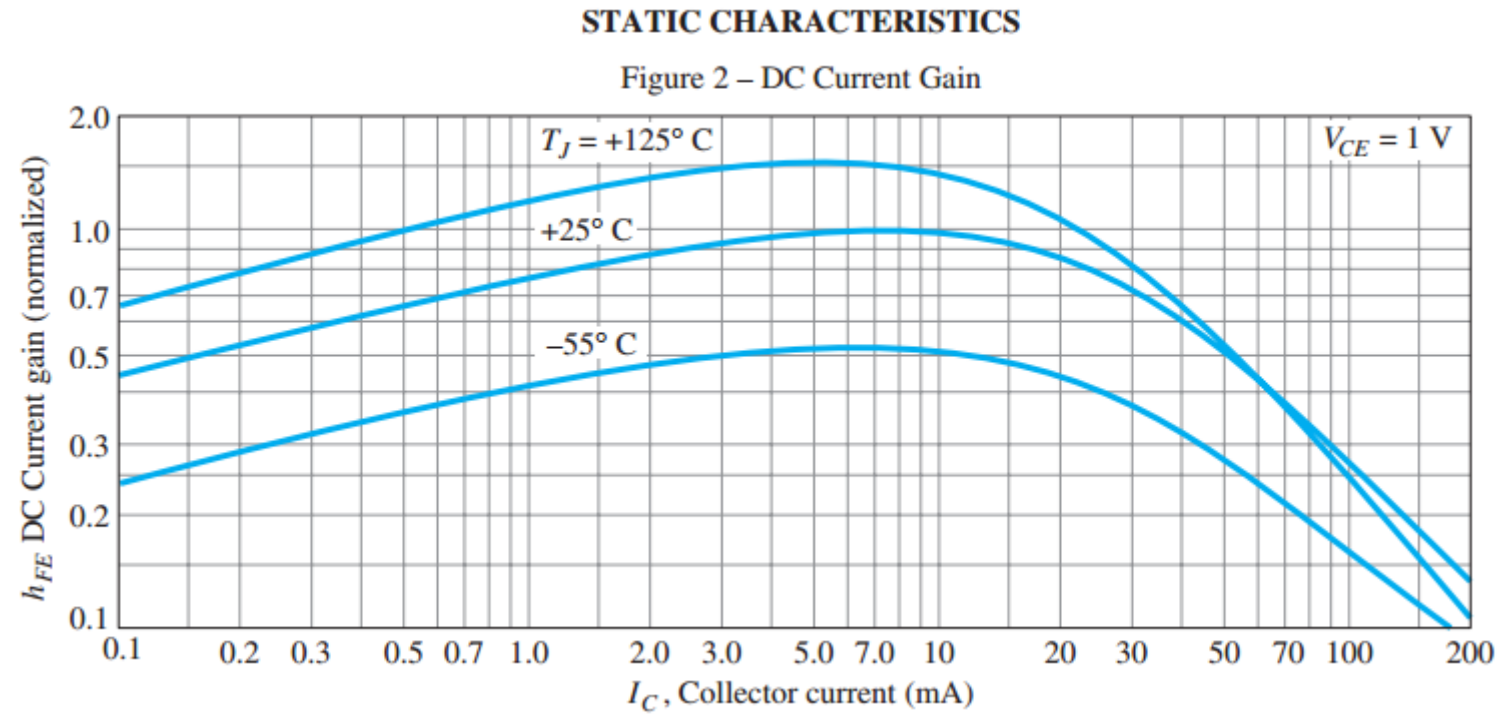


Figure 3 – Capacitance



# Datasheet của BJT



# Datasheet của BJT

## AUDIO SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

### NOISE FIGURE

( $V_{CE} = 5 \text{ Vdc}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Bandwidth = 1.0 Hz

Figure 4 – Switching Times

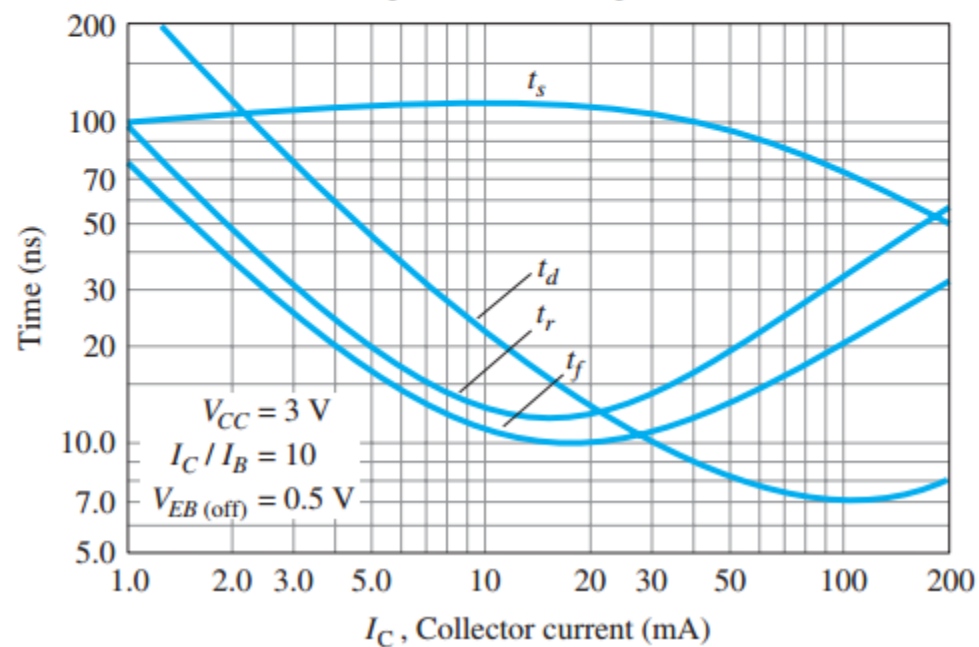
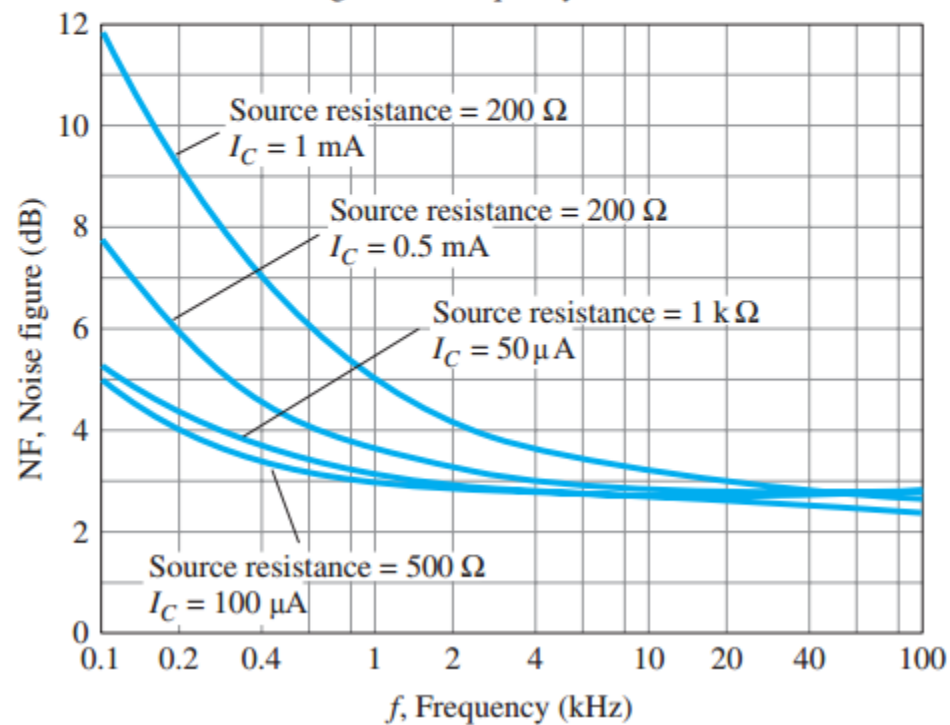
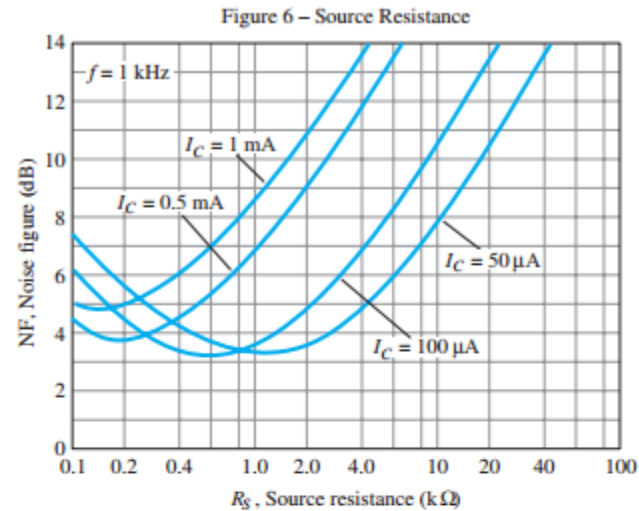


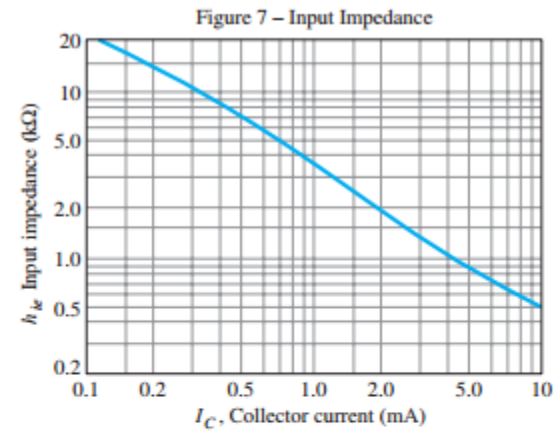
Figure 5 – Frequency Variations



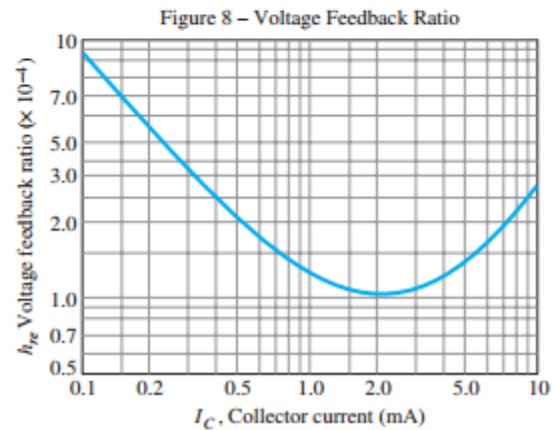
# Datasheet của BJT



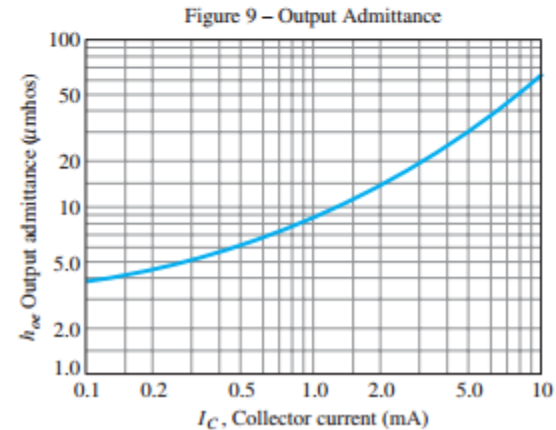
(g)



(h)



(i)



(j)