

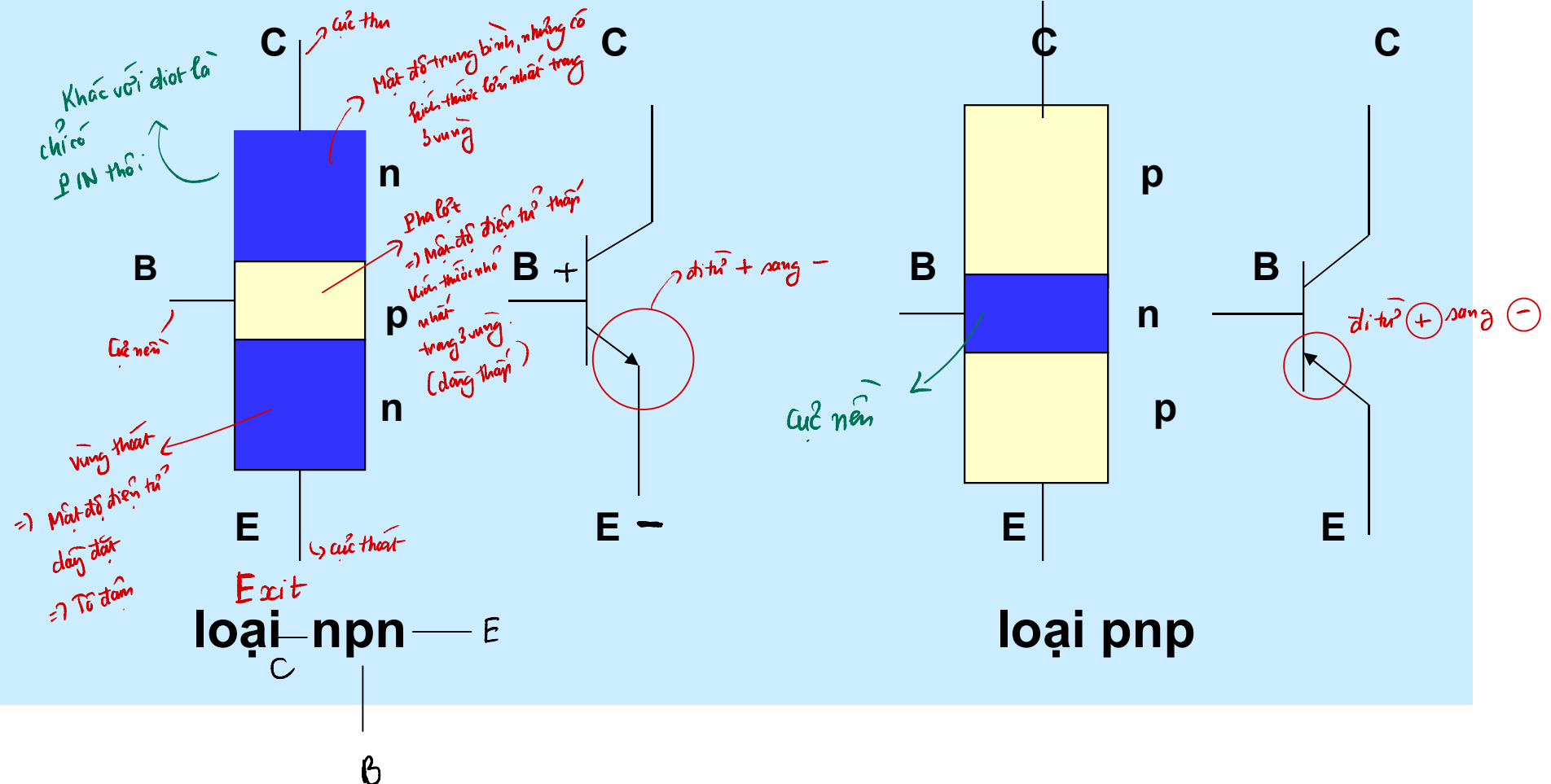
Điện tử

**Ch. 3 Transistor lưỡng cực nối
(ch 6. Bipolar junction Transistors
& ch 7 Transistor Fundamentals)**

- Vào chiều ngày 23 tháng 12 năm 1947 hai nhà nghiên cứu **John Bardeen và Walter Houser Brattain** của Bell Telephones đã chứng minh thành công sự khuếch đại của transistor tiếp xúc điểm đầu tiên. Đây là tiền thân của transistor nổi được phát minh bởi nhà vật lý **William Bradford Shockley** năm 1951.
- **Ba nhà phát minh được giải Nobel vào năm 1956 về phát minh Transistor (có công làm thay đổi nền văn minh của nhân loại)**
- Transistor được sản xuất đầu tiên và đưa vào sử dụng vào những năm 1954 - 1956...
- IC đầu tiên do **Jack Kilby** nghiên cứu chế tạo thành công vào ngày 12-9-1958, ông nhận được **giải Nobel Công nghệ thông tin năm 2000**.

I. Cấu tạo

Gồm 2 nối tiếp xúc ghép xen kẽ nhau.
Có 2 loại Transistor nổi: npn và pnp



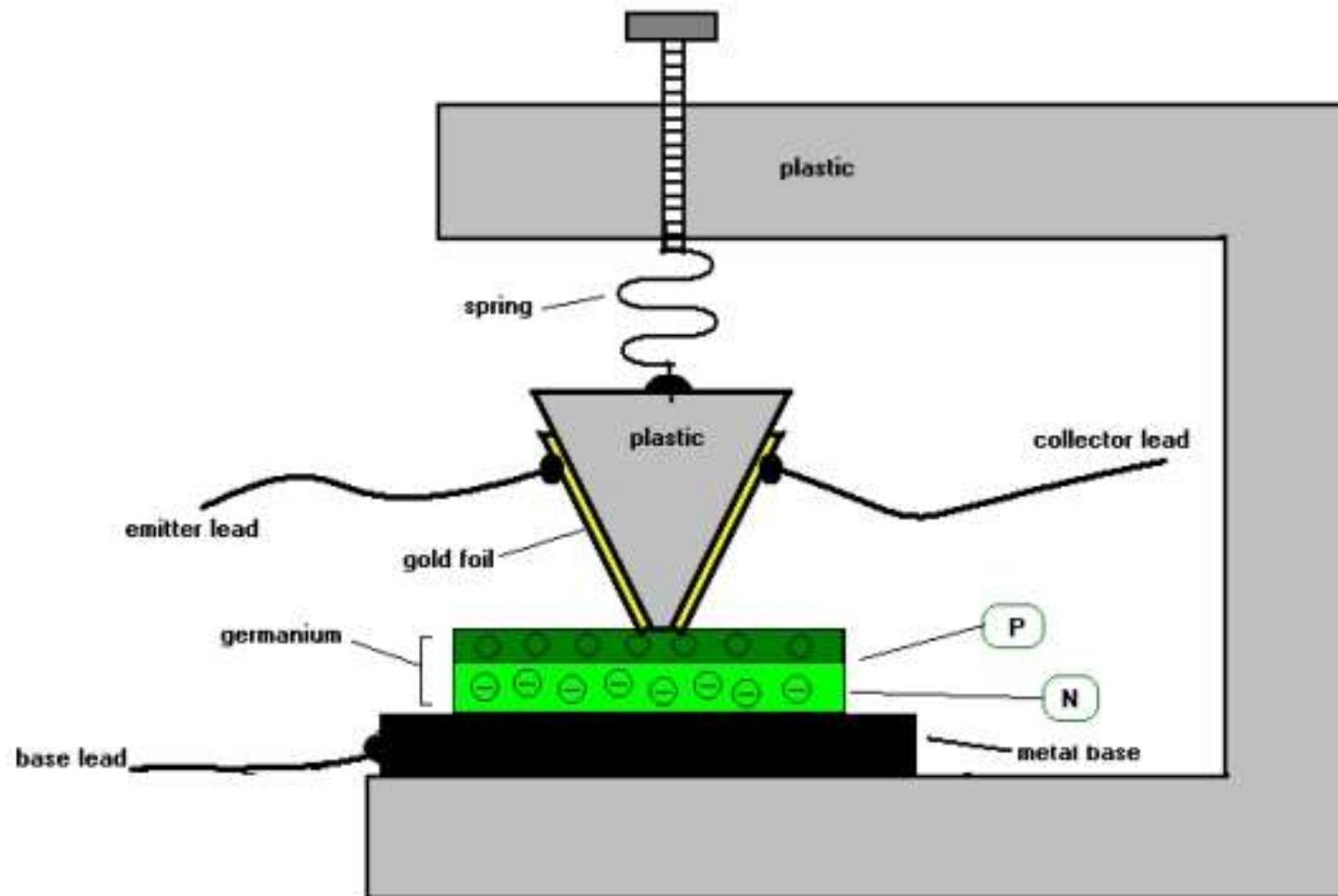
- Vùng phát E pha đậm,
- Vùng nền rất hẹp và pha lợt (nhẹ)
- Vùng thu C lớn nhất và pha trung gian giữa vùng phát pha đậm và vùng nền pha lợt.

→ Tên gọi nhằm ám chỉ:

Cực phát phát các hạt tải đến cực thu
(góp) và dòng hạt tải này được điều khiển
bởi cực nền (gốc)

Đóng vai trò như là 1 cái cầu, mở ra thì dòng điện tự nhiên và ngược lại.
Mở rộng hay hẹp là do độ lớn dòng của cực nền quyết định.

Point-contact transistor

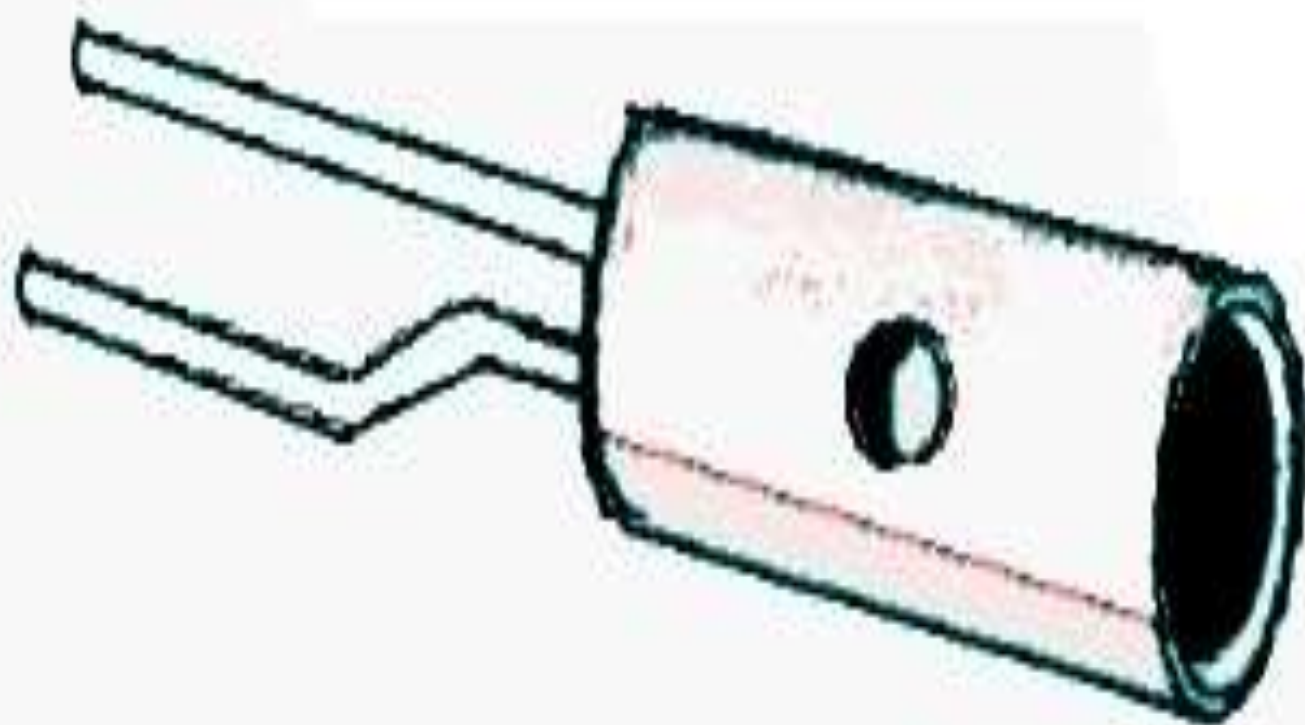


The first point contact transistor
William Shockley, John Bardeen, and Walter Brattain
 Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1947)



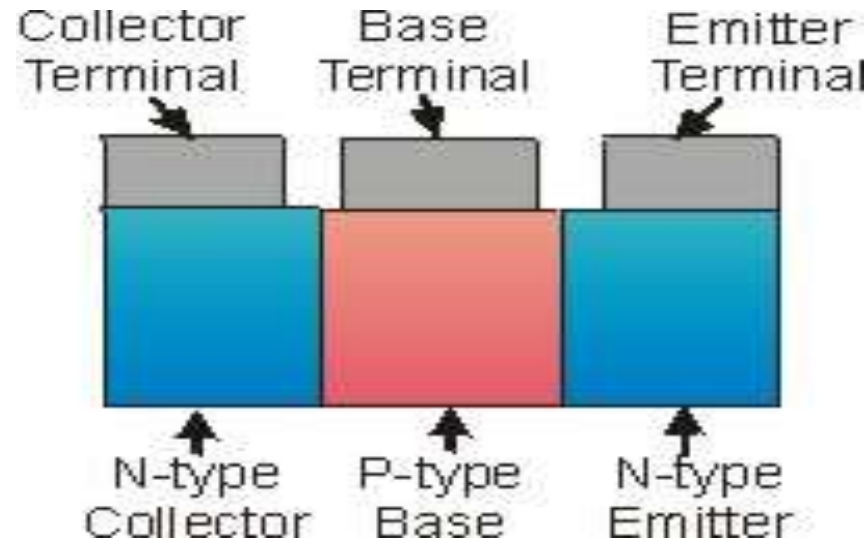
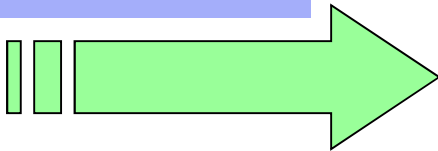
Shockley

First commercially available point-contact transistor



BJT Transistors:

NPN Transistor

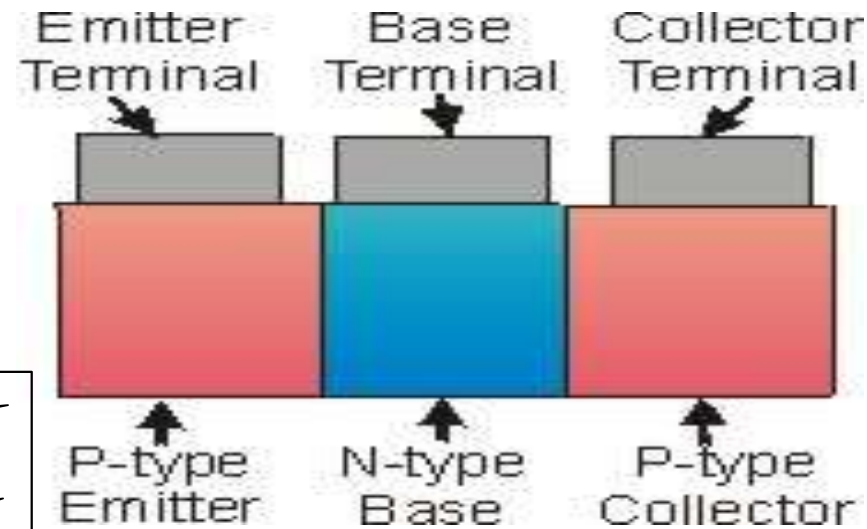


Sandwiching a P-type layer between two n-type layers.

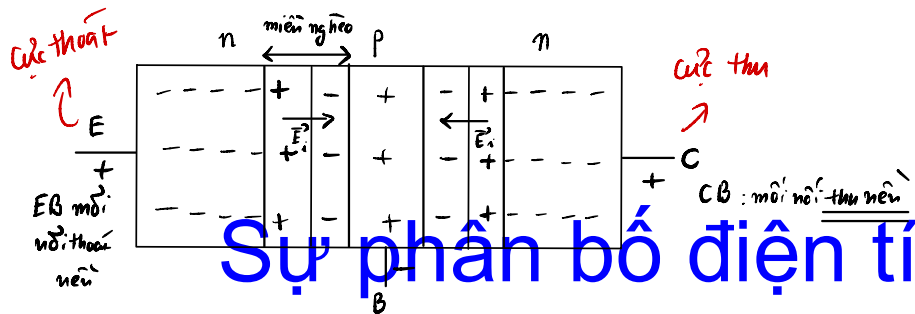
PNP Transistor



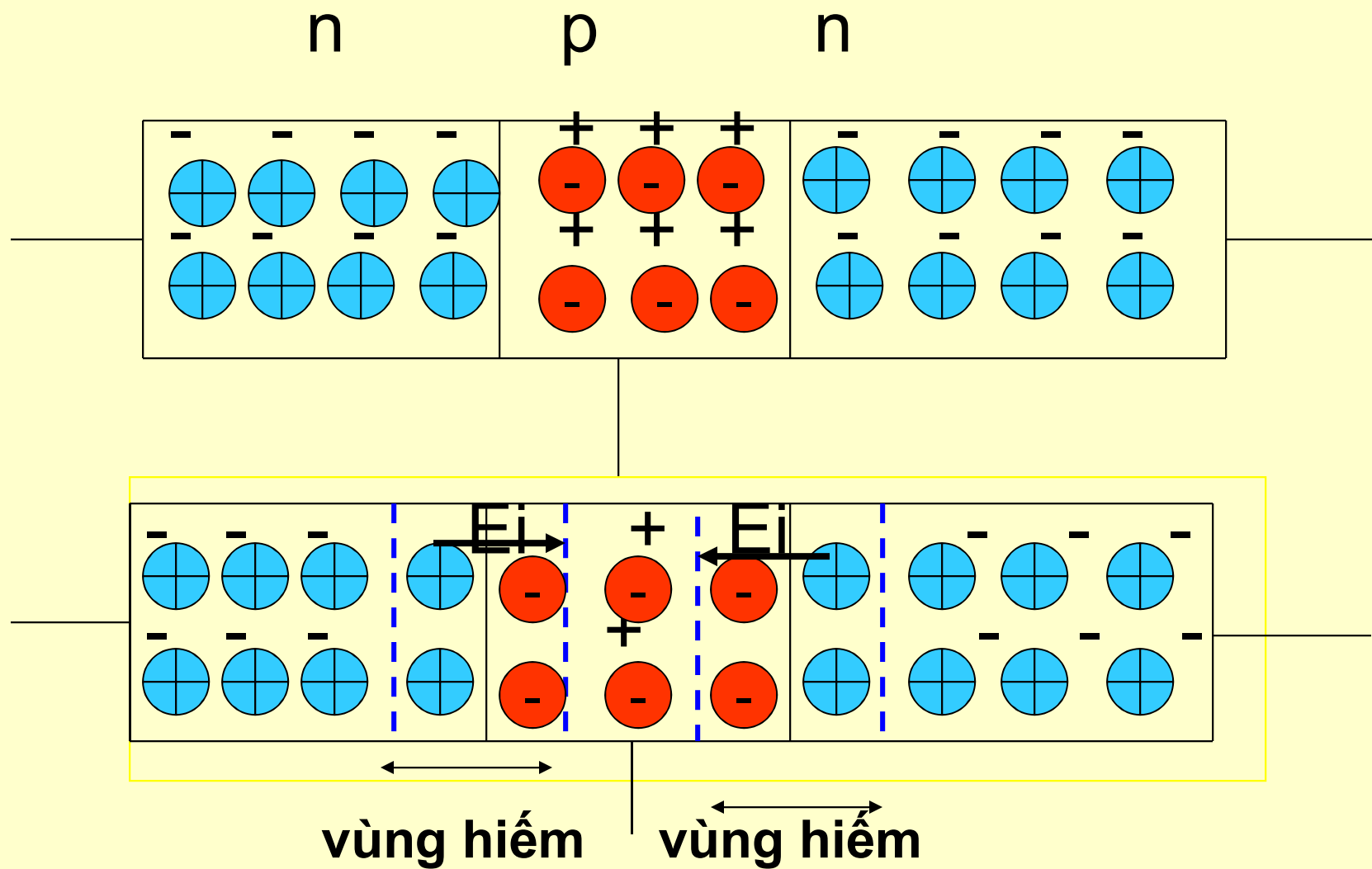
- - - - -	+ + +	- - - - -
- - - - -	+ + +	- - - - -
- - - - -	+ + +	- - - - -



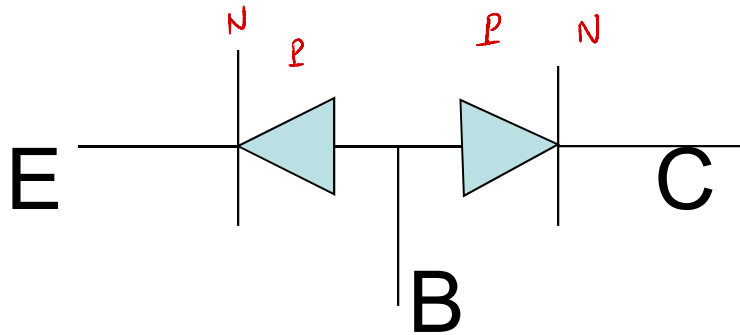
Sandwiching a N-type layer between two p-type layers.



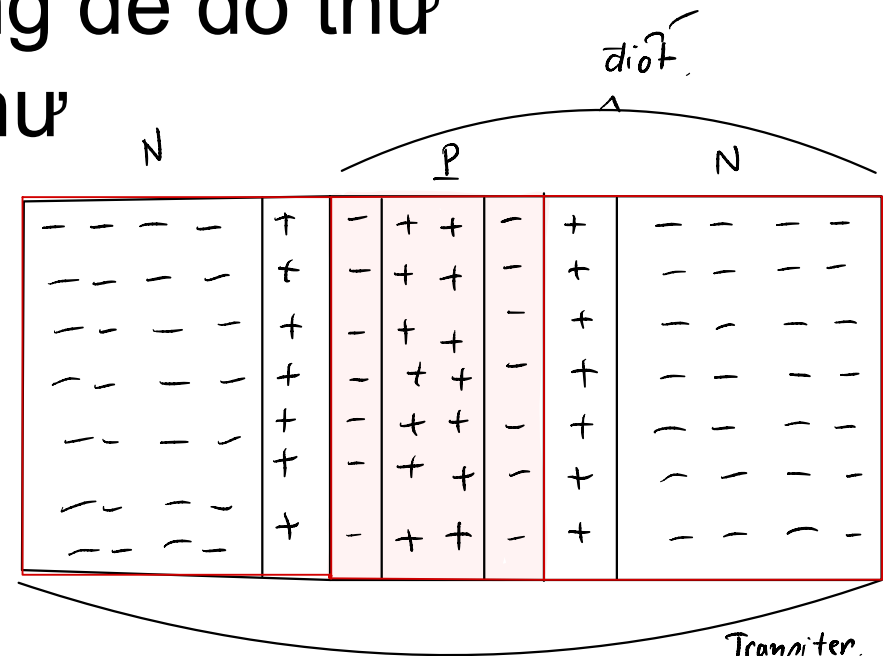
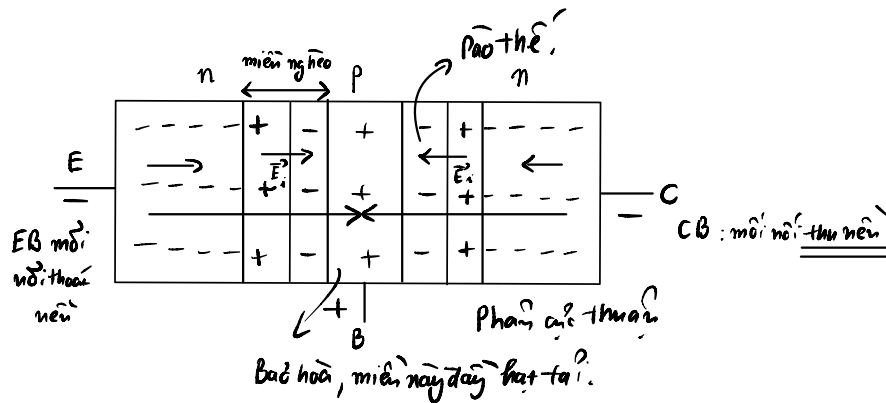
Sự phân bố điện tích cân bằng nhiệt động



- Khi chưa phân cực, Transistor giống như hai diod mắc ngược nhau và có rào thế 0,7V (hay hai vùng hiếm) nên ngưng dẫn.



cách nhìn này còn dùng để đo thử transistor còn tốt hay hư



II. Các kiểu hoạt động-Phân cực

- Có 4 kiểu phân cực tùy theo cách cấp điện

Nối phát-nền EB

phc.ngược phc. thuận

-Ngưng

-Bảo hoà

-Tác động thuận

-Tác động nghịch

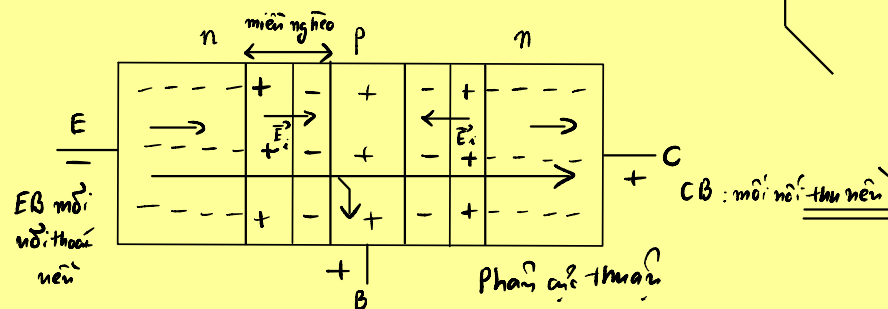
Nối

thu-nền

CB

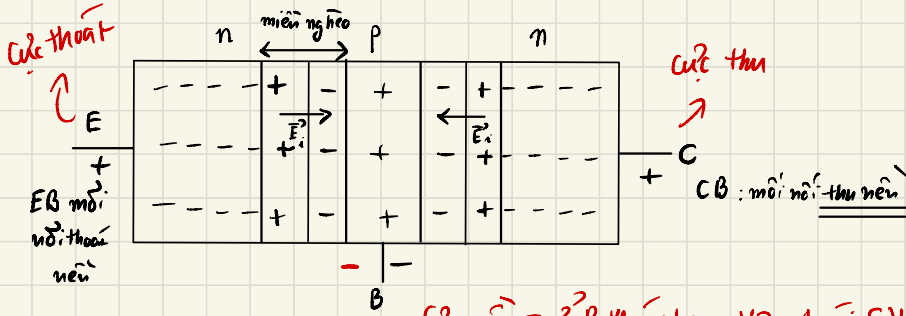
phc.ng

phc. th



Ngưng (Off)	Tác động thuận (Forward active) <i>(dòng mạnh)</i>
Tác động nghịch (Reverse active)	Bảo hoà (On Saturation)

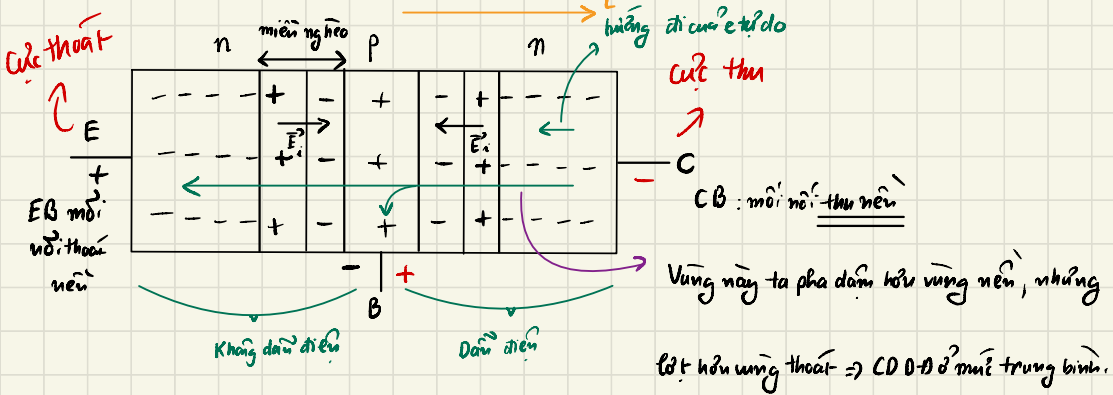
TRƯỜNG HỢP: Có 2 mối nối phản cực ngược. (Hạt tải ta quan tâm bây giờ là \bar{e} tự do)



(2 ngược - ở B khác nhau, VD: 1 cái 5V, 1 cái 10V)

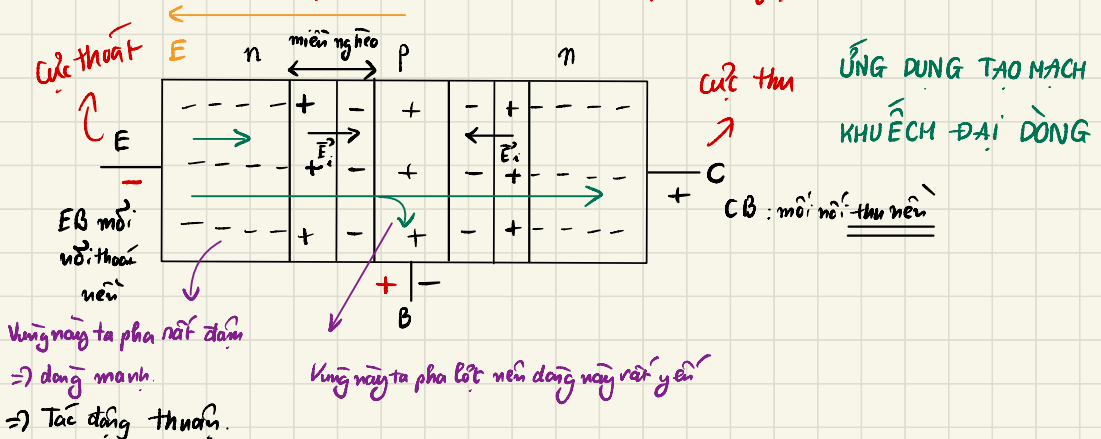
\Rightarrow Không có dòng điện đi qua Transistor \Rightarrow Ngưng Choff)

TRƯỜNG HỢP: Mối nối thu nếu phản cực thuận, mối nối thoát nếu phản cực ngược:



\Rightarrow Tác động ngược.

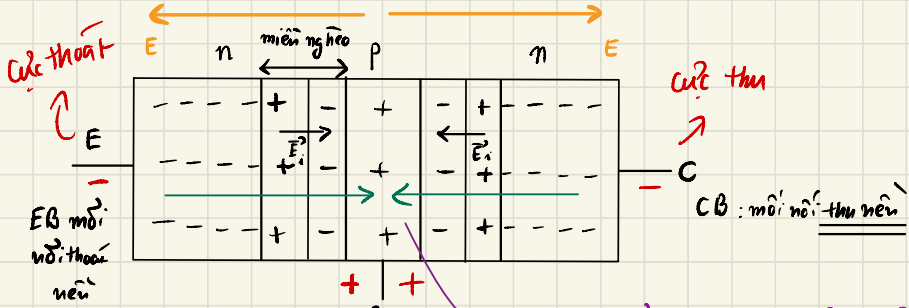
TRƯỜNG HỢP: Nối phát nếu phản cực thuận và nối thu nếu phản cực ngược:



ỨNG DỤNG TẠO MẠCH
KHUẾCH ĐẠI DÒNG

Dòng mạnh \Rightarrow Tác động thuận; dòng yếu \Rightarrow Tác động nghịch.

TRƯỜNG HỢP CA² 2 MÔI NỐI PHÂN CỰC THUẬN:



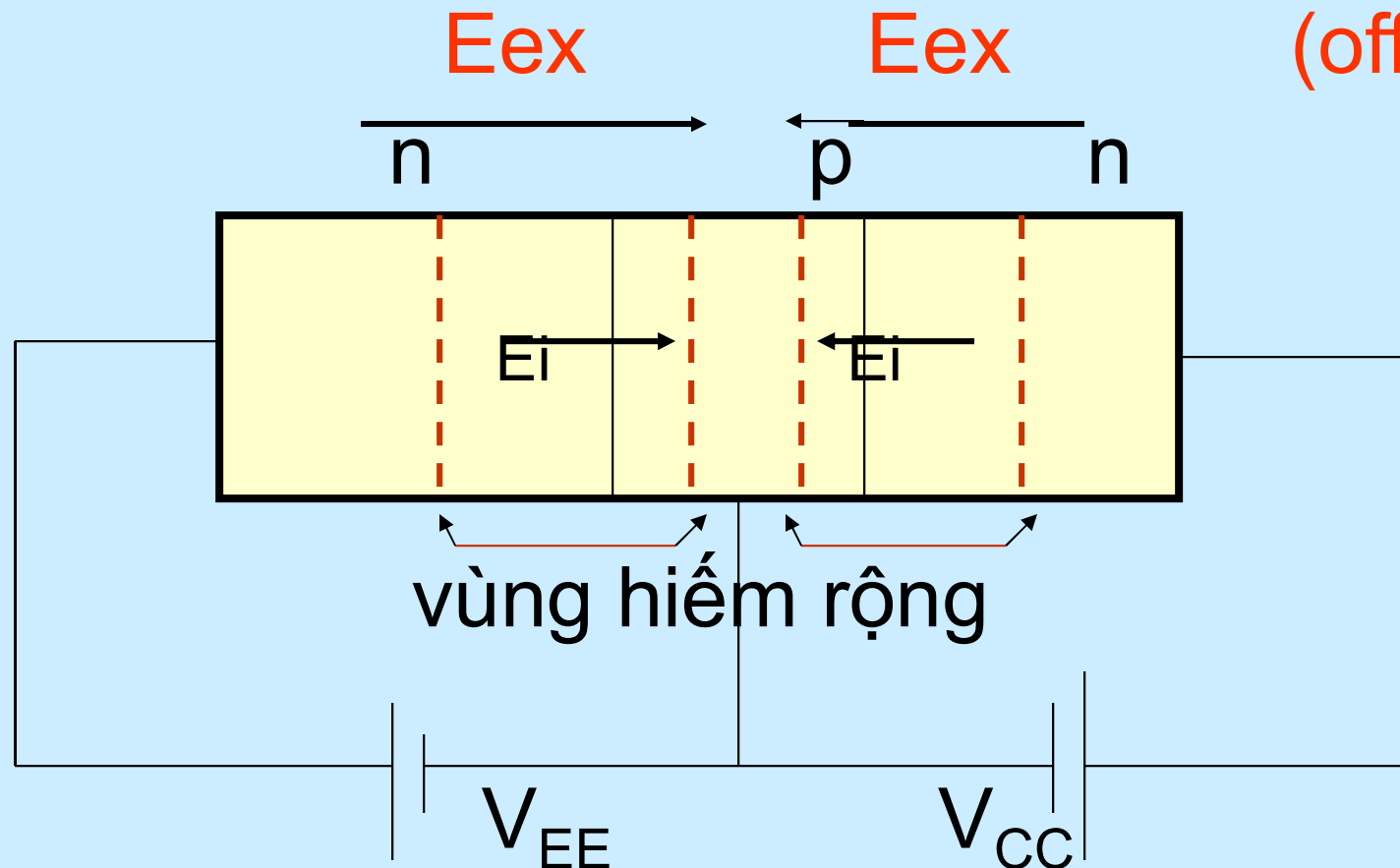
\Rightarrow Bão hòa.

Vùng nên rẽ trên ngạt hạt tại \Rightarrow bão hòa, không thể nhận thêm hạt tại được nữa.

4 kiểu hoạt động của BJT

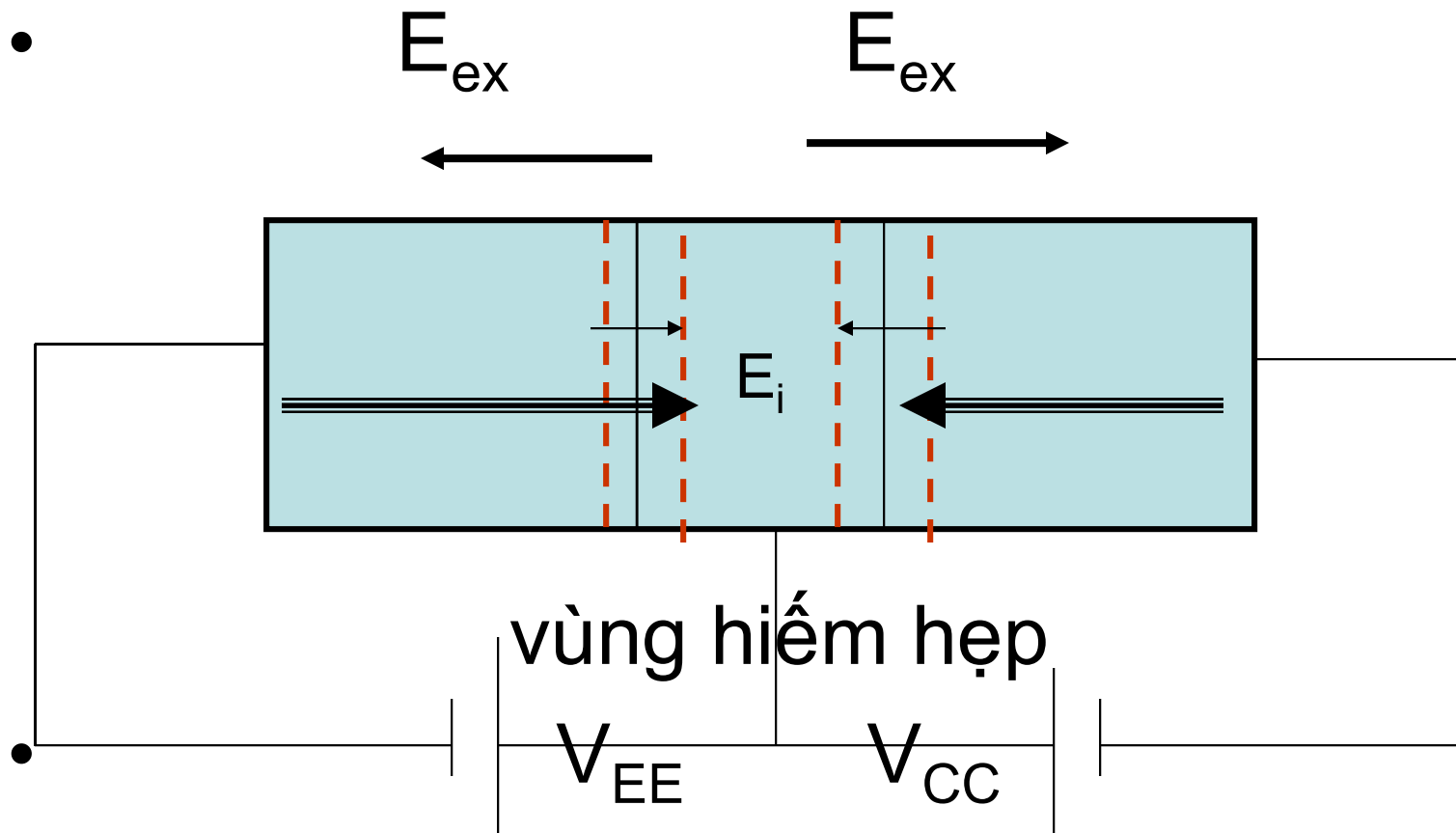
1. Cả 2 nối EB và CB đều phân cực nghịch :

Do 2 nối đều ngưng dẫn \rightarrow BJT ngưng dẫn (off)



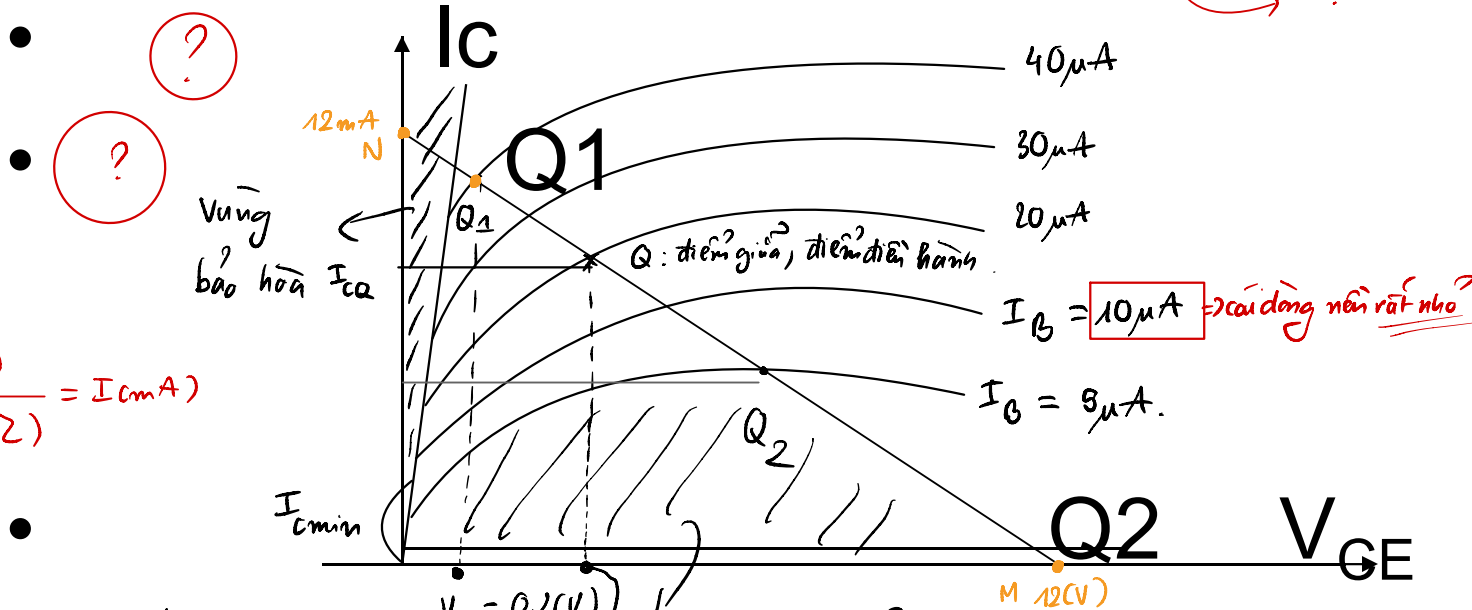
2. Cả 2 nối EB và CB đều phân cực thuận:

Do 2 nối đều dẫn các hạt tải cùng chạy vào vùng nền. Mà vùng nền hẹp nên bị tràn ngập các hạt tải \rightarrow BJT dẫn bão hòa(On).



Các kiểu hoạt động trên không sử dụng riêng biệt mà kết hợp nhau trong hoạt động giao hoán (chuyển mạch)

Tạo ra dẫn hoặc không dẫn $\Rightarrow 0; 1$



$$\frac{V(V)}{R(k\Omega)} = I_{C(mA)}$$

PIT-đường tải?

$$I_C = \frac{-1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$\begin{cases} V_{CC} = 12(V) \\ R_C = 1(k\Omega) \end{cases}$$

Chọn:

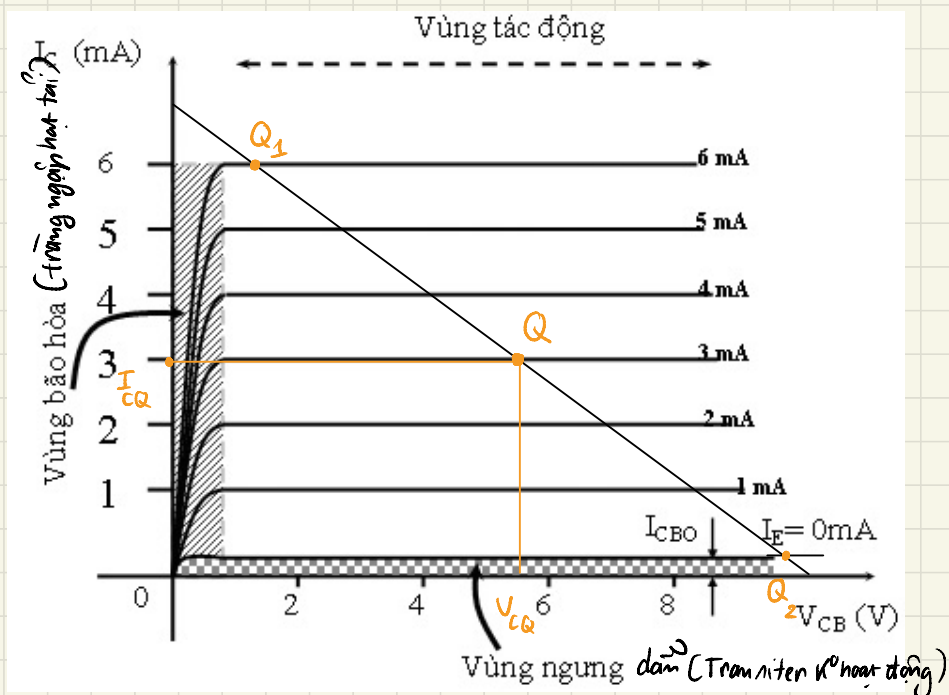
$$\Rightarrow I_C = -V_{CE} + 12(mA)$$

$$\begin{cases} V_{CE} = 0 \\ I_C = 12mA \end{cases} ; \begin{cases} I_C = 0 \\ V_{CE} = 12(V) \end{cases}$$

$$\beta = \frac{I_{C(Q)}}{I_B}$$

độ lợi dòng; năng dòng; độ khuếch đại dòng

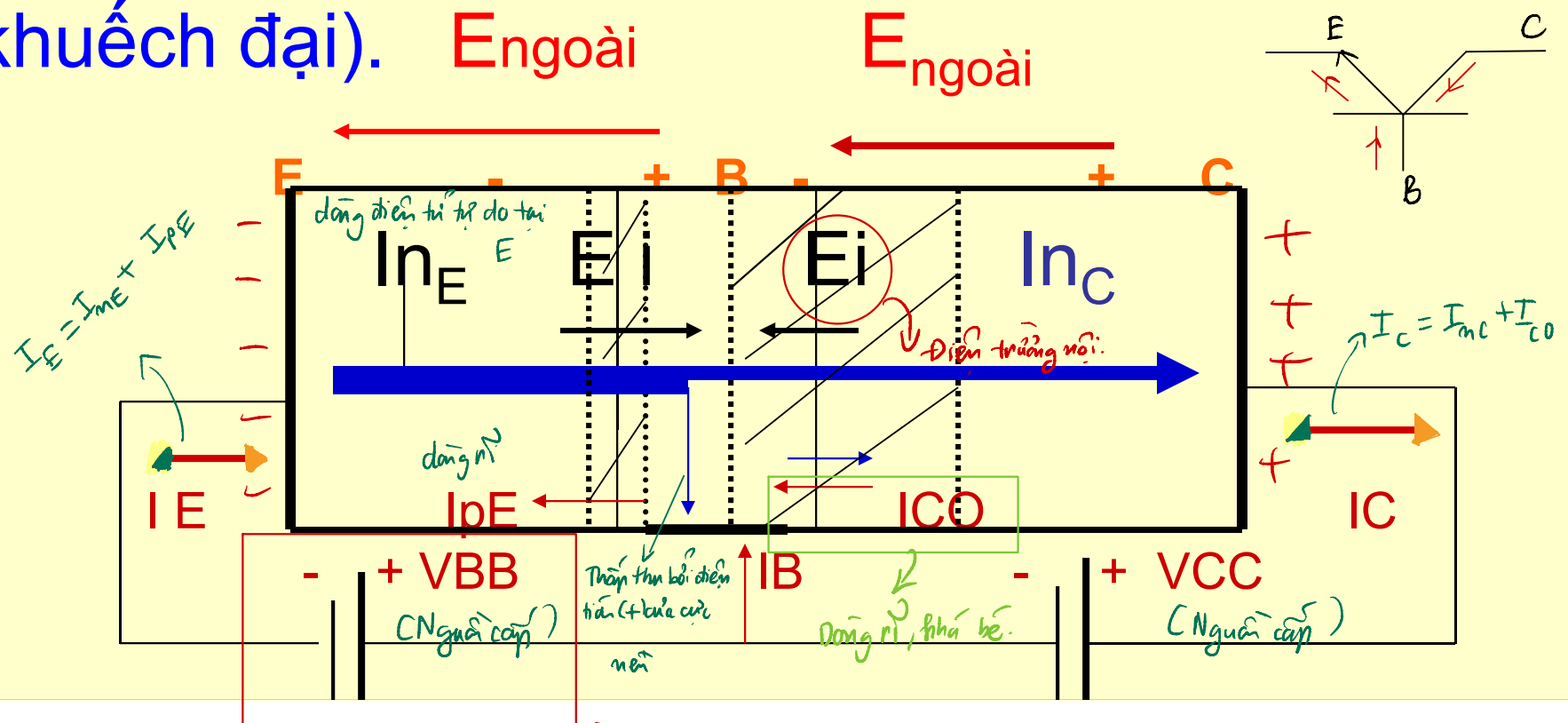

V_{CC} là gì? V nguồn cung cấp



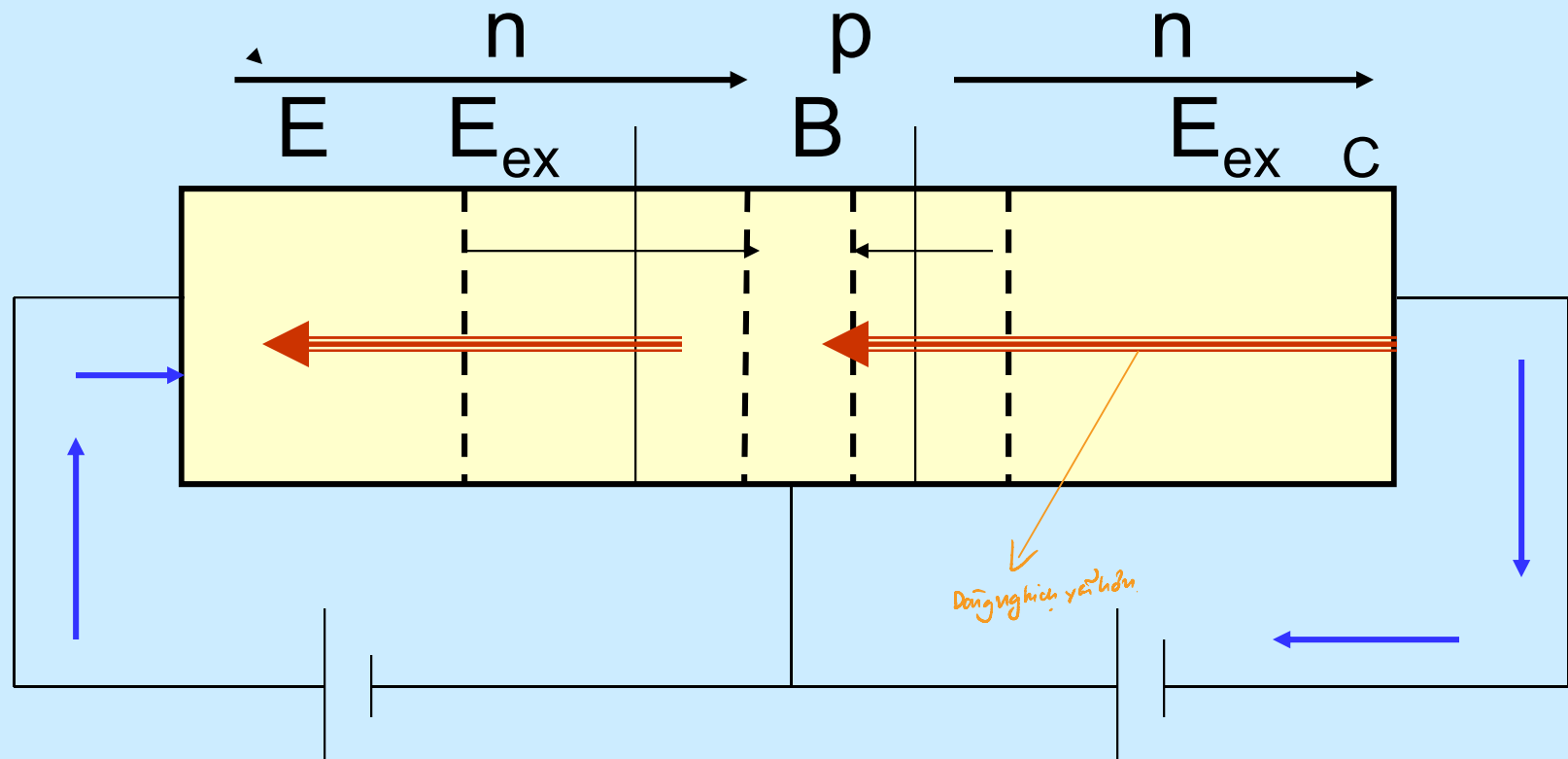
$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_B} : \text{độ lợi dòng}$$

3. Phân cực thuận EB, Phân cực nghịch CB:

Do tác động của điện trường ngoài, các điện tử tự do bị đẩy vào cực nền. Tại đây do cực nền hẹp nên có chỉ 1 số ít đttd bị tái kết, đa số đttd còn lại đều bị hút về cực thu \rightarrow BJT dẫn mạnh (kiểu tác động thuận rất thông dụng trong mạch khuếch đại). $E_{ngoài}$ $E_{ngoài}$



↳ Áp dụng là đang cho nó 1 cái điện trường ngoài.



Cách phân cực nghịch này ít được sử dụng, ngoại trừ trong IC số do **cấu trúc đối xứng** nên các cực thu C và cực phát E có thể thay thế vị trí cho nhau.

↗ Cực E pha cũng mất đối với cực C \Rightarrow đối xứng.

Chú ý:

1. Trong phần khảo sát transistor hoạt động **khuếch đại** ta xét đến kiểu tác động (BE phân cực thuận, CB phân cực nghịch).
- ~~2.~~ Phần hoạt động giao hoán sẽ xét đến sau.

3. Biểu thức dòng điện trong BJT (ráp CE)

- Theo định luật Kirchhoff ta có:

$$I_E = I_B + I_C \quad (1)$$

- Theo cách hoạt động của BJT vừa xét có:

$$I_E = I_{nE} + I_{pE} = I_{nE} \quad (2)$$

$$I_C = I_{nC} + I_{cO} \quad (3)$$

Gọi α hệ số truyền đạt dòng điện phát – thu :

$$\alpha = \frac{\text{số đ t td đến cực thu}}{\text{số đ ttd phát đ từ cực phát}} = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} = \frac{I_C - I_{cO}}{I_E}$$

Thay vào (3) cho:

$$I_C = \alpha I_E + I_{cO} = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (4)$$

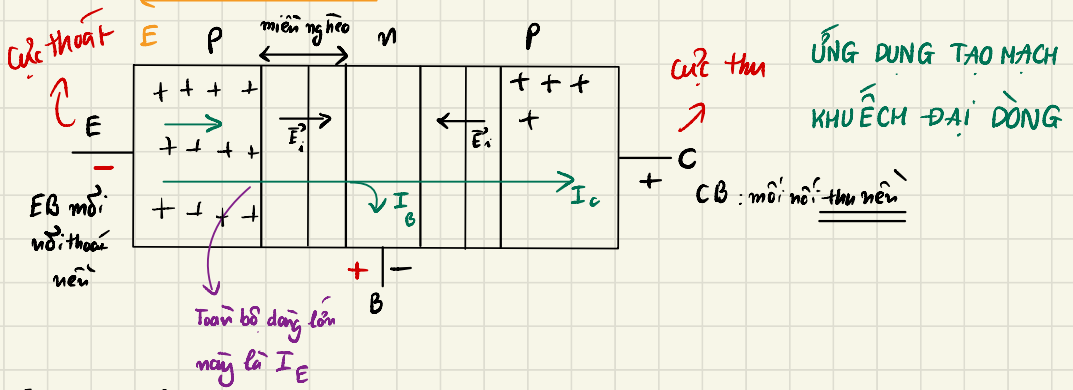
Transistor.

Nhỏ hơn số thoát ra ngoài vì hao hụt ở B

$$\alpha I_E = I_C - I_{cO} \Leftrightarrow I_C = \alpha I_E + I_{cO}$$

Thường dòng này khá bé \Rightarrow bỏ qua

TRƯỜNG HỢP: Nối phát nê^u phân cực thuận và nối thu nê^u phân cực ngược:



⇒ Tác động thuận.

- Hệ số truyền dòng điện rất bé

$$\alpha \leq 1 \quad (0,95 \div 0,9998)$$

↘ có sự hao hụt

công thức (4) thường chỉ sử dụng trong cách ráp cực nền chung (CB).

- Trong các trường hợp thông dụng khác (như cách ráp CE) ta chuyển đổi thành dạng như sau bằng cách viết lại thành:

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CO} = \beta I_B + (\beta+1) I_{CO} \quad (5)$$

- Với:

độ khuếch đại dòng $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$; $\beta+1 = \frac{1}{1-\alpha} \Rightarrow \frac{I_C}{I_B} = \beta$

$h_{FE} = \beta$

: 1 ký hiệu khác.

Nhận xét

$$\beta = h_{FE}$$

- Độ lợi dòng (độ khuếch đại) β rất lớn (100 – 500 loại < 1W, và 20 – 100, loại > 1W)
- Dòng rỉ $I_{EO} = (\beta + 1) I_{CO} \approx (\beta + 1) I_{CBO}$ rất bé ở nhiệt độ bình thường nhưng lại tăng nhanh theo nhiệt độ.
- Ở nhiệt độ bình thường (nhiệt độ phòng), ta còn lại biểu thức đơn giản :
$$I_C = \beta I_B \quad (6) \quad \text{và} \quad I_C = \alpha I_E \quad (7)$$
- Tổng quát ta có thể sử dụng (1) và (6) trong các phép tính phân giải và thiết kế mạch transistor.

Công suất lớn, dòng điện duy chuyển nhiệt \longrightarrow transistor nóng lên \longrightarrow Phải lắp miếng nhôm (AL) tản nhiệt cho nó!

Transfer : quá cảnh.

Chú ý: Transistor còn được gọi là:

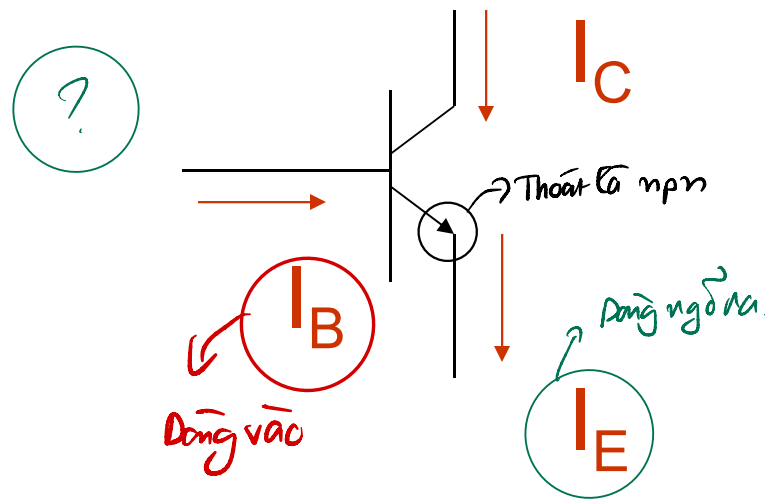
1. Linh kiện điều khiển bằng dòng điện. (chỉ cần 1 dòng điện nhỏ thì transistor đã dẫn rồi)
2. Linh kiện điều khiển bằng hạt tải thiểu số.
3. TRANSISTOR là chữ viết tắt của từ TRANSfert ReSISTOR (Điện trở chuyển).
← quá cảnh
4. Đối với transistor loại pnp, cách lý luận về hoạt động cũng giống như ở transistor npn nhưng thay điện tử tự do bằng lỗ trống, nên chiều dòng điện ngược lại.

npn : điện tử tự do (e^-)
pnp : lỗ trống.

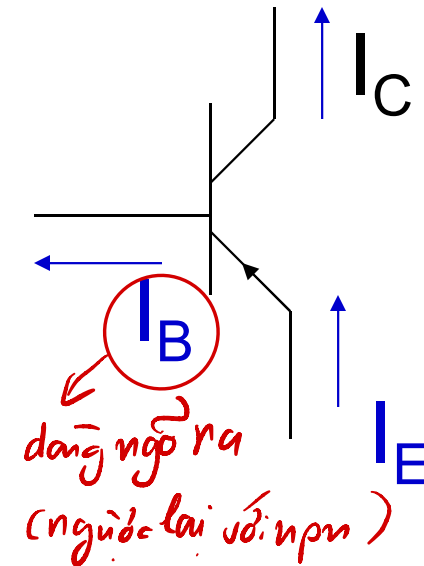


Chiều dòng điện trong transistor

- Transistor npn



Transistor pnp



nên công thức trên vẫn đúng cho cả hai loại

$$I_E = I_C + I_B$$

và

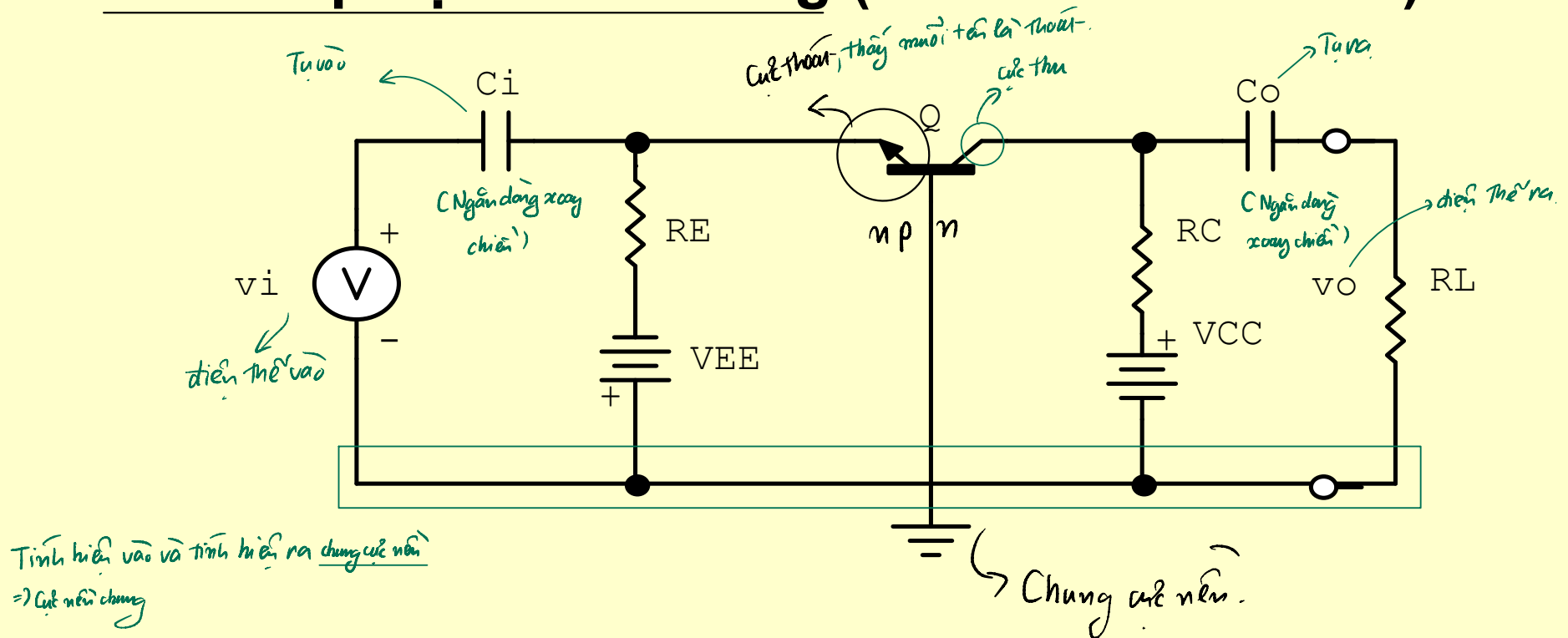
$$I_C = h_{FE} I_B$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

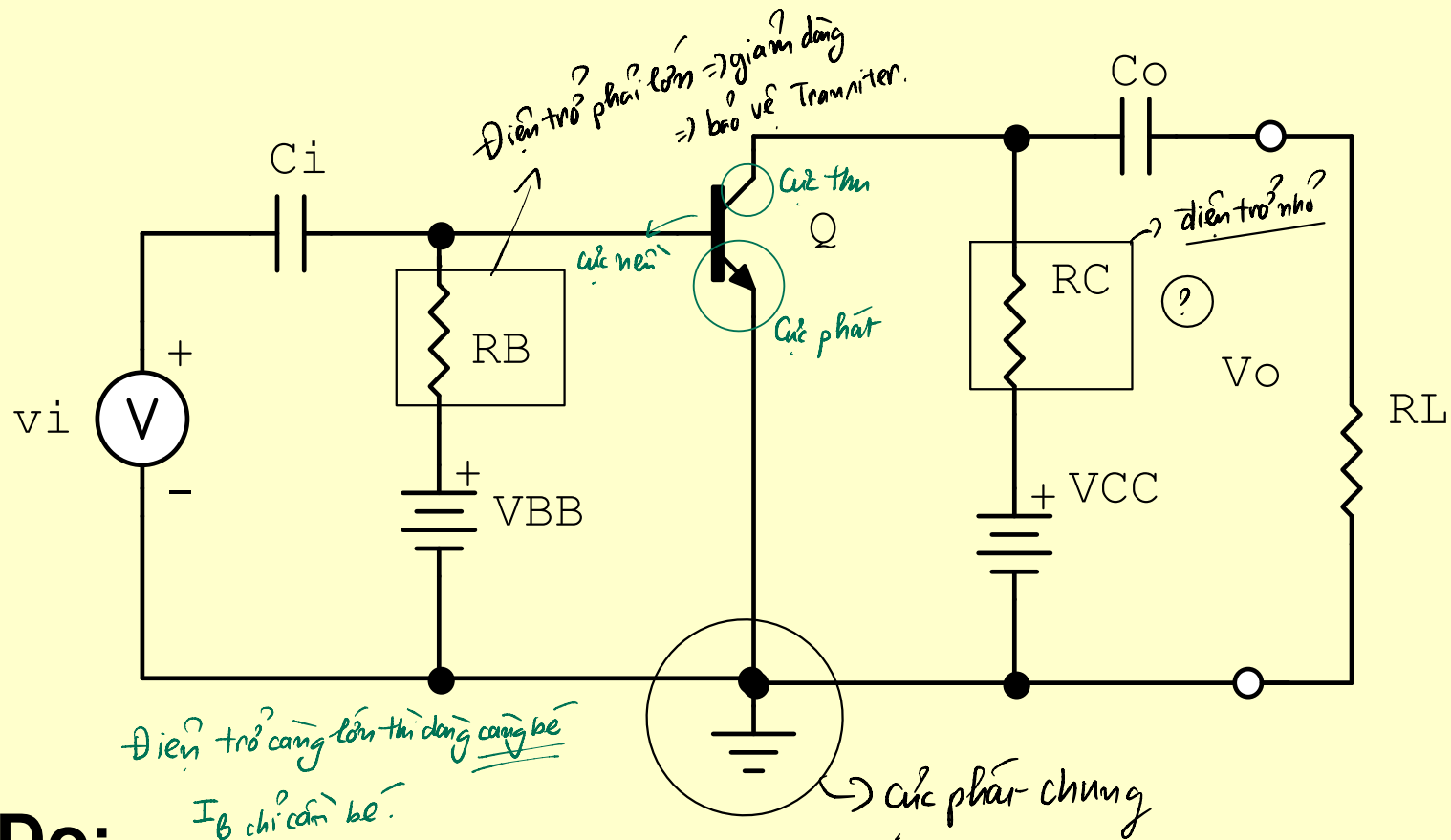
III. Các cách ráp và Đặc tuyến V-I

- Có 3 cách ráp (xác định từ ngõ vào và ngõ ra của mạch transistor): CB, CE, CC (EF)

1. Cách ráp cực nền chung (CB-common base)



2. Cách ráp cực phát chung (CE-common emitter)



Do:

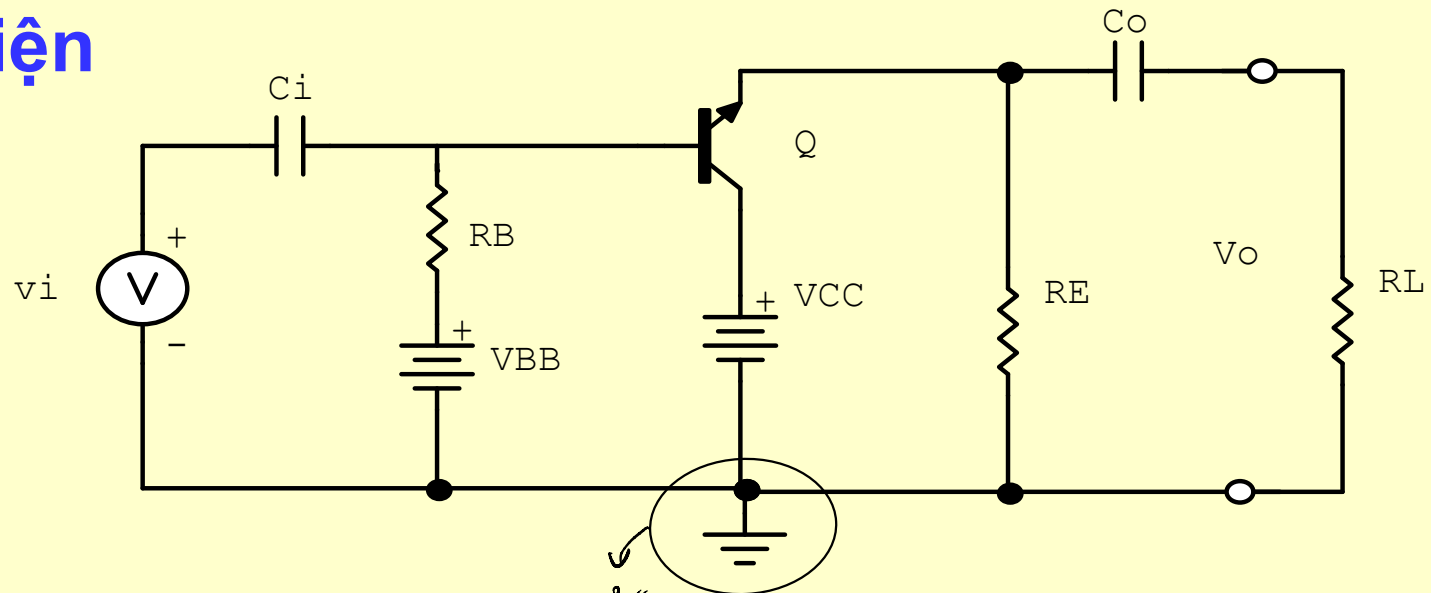
Tín hiệu vào nền – phát BE

Tín hiệu ra thu – phát CE

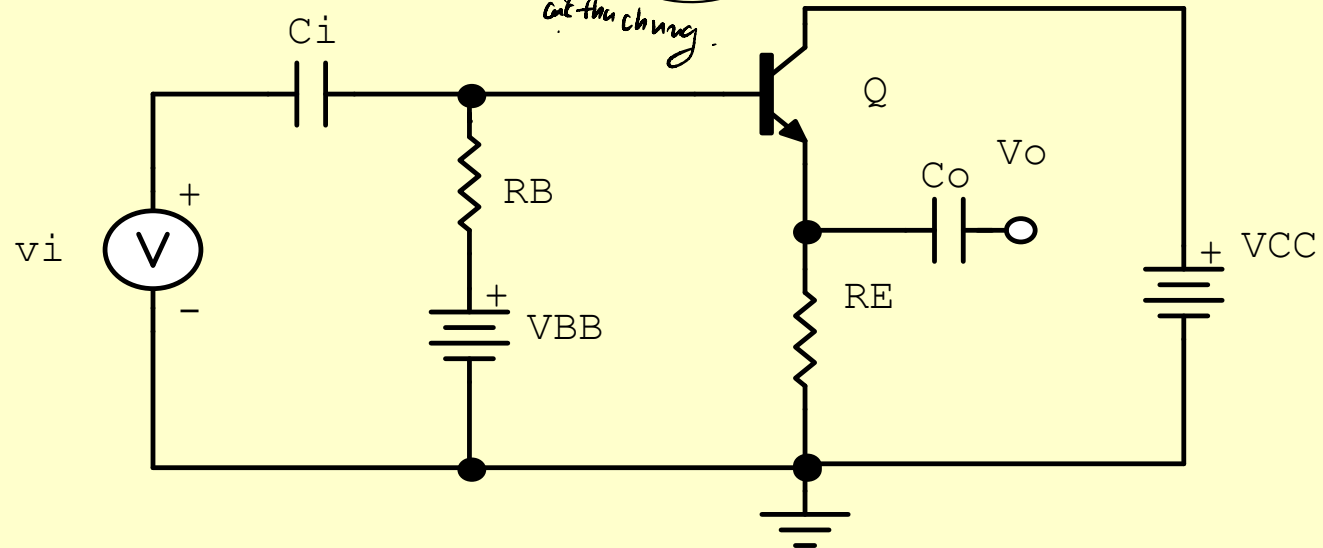
Cả 2 ngõ vào và ra có cực phát chung

3. Cách ráp thu chung (CC - Common Collector hay mạch theo phát (EF- Emitter Follower)

- Mạch điện

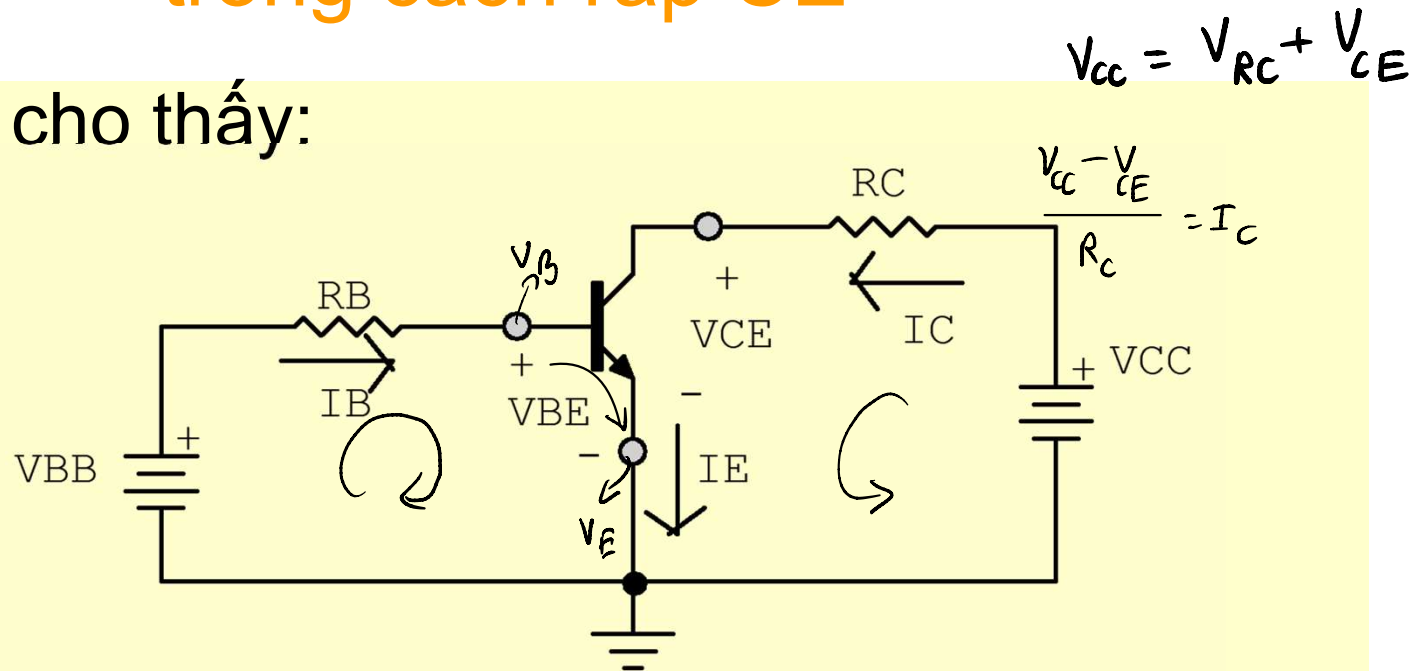


- Hoặc:



Chiều dòng điện và điện áp phân cực trong cách ráp CE

- Hình vẽ cho thấy:



- $V_{BE} = V_B - V_E$
- $V_{CE} = V_C - V_E$
- $V_{CB} = V_C - V_B$

$$V_{B3} = V_{RB} + V_{BE} \text{ (Nối tiếp)}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

Chọn hướng nào thì tùy loại pnp hay npn.

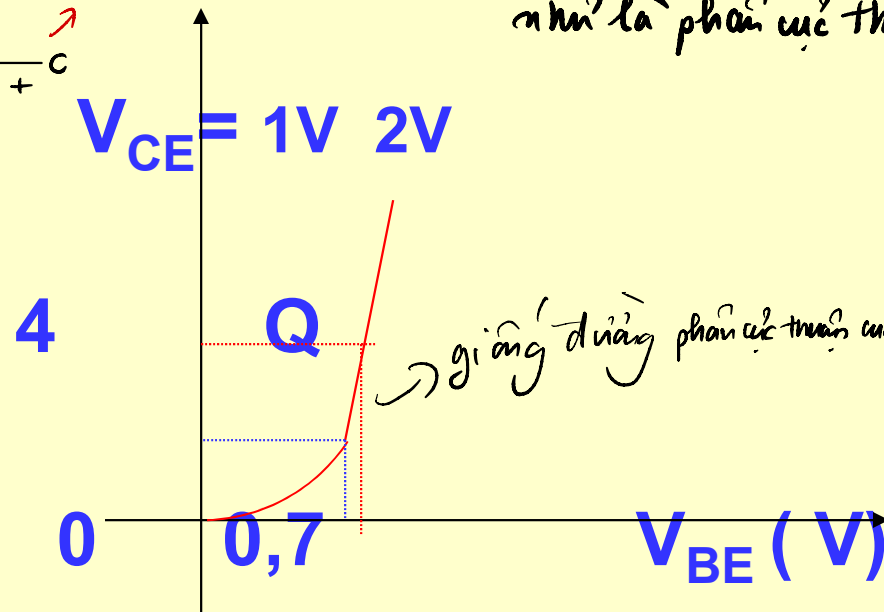
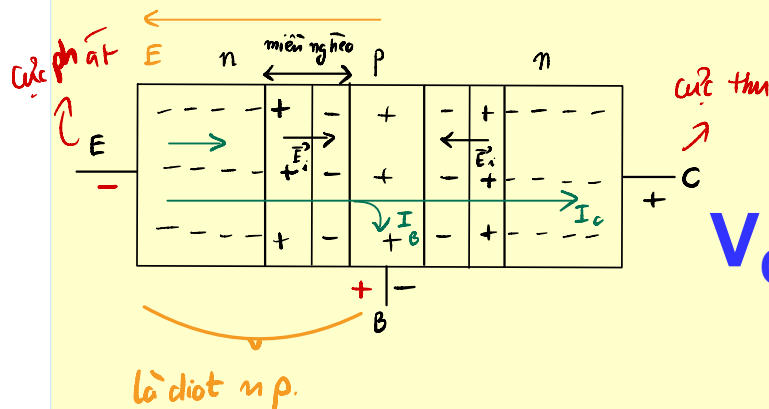
$$V_{AB} = V_A - V_B$$

4. Đặc tuyến cách ráp CE

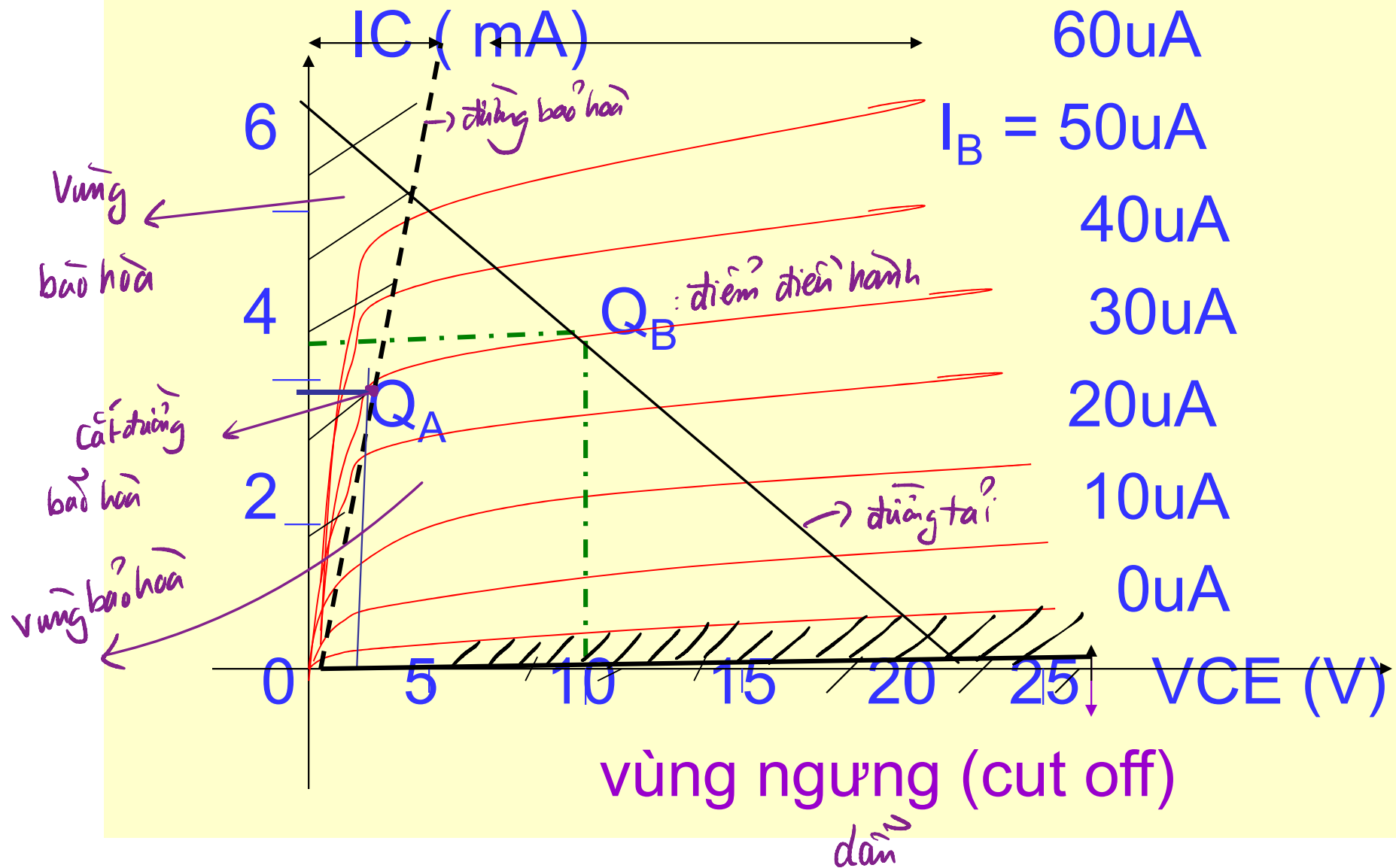
- Gồm có 3 đặc tuyến thông dụng sau:

a. Đặc tuyến vào $I_B = f(V_{BE}) \mid V_{CE} = \text{Cte} = \text{hằng số}$

$I_B \text{ (mA)}$ Mỗi V_{BE} \Rightarrow Khi mà nó dẫn \Rightarrow giống như là phần cực thuận của con diot.



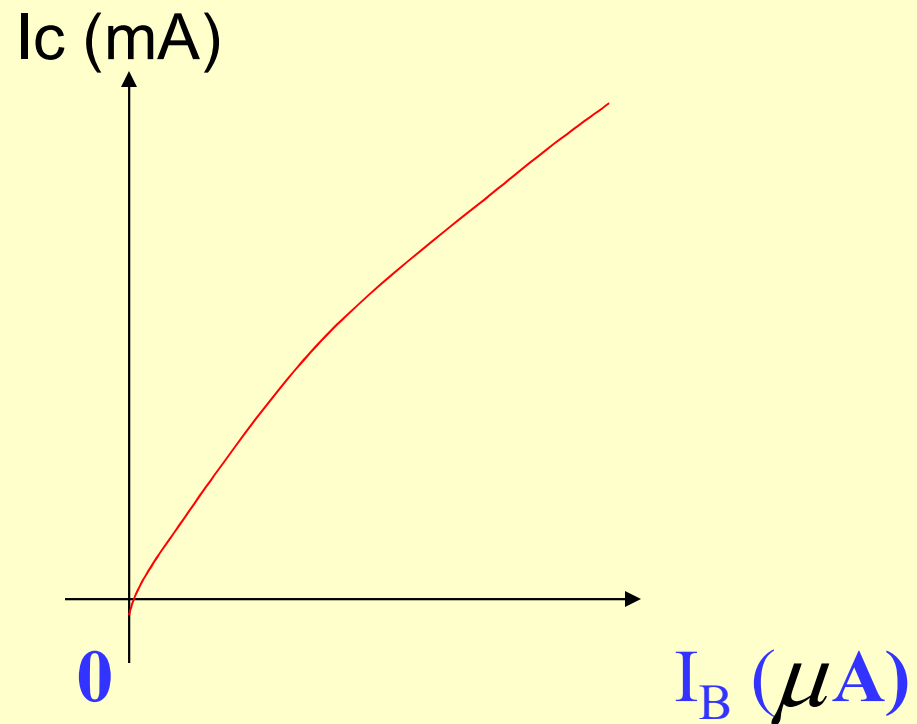
b. Đặc tuyến ra $I_C = f(V_{CE})$ | $I_B = Cte = \text{hằng số}$
 vg bão hoà vùng tác động



C. Đặc tuyến truyền $I_C = f(I_B)$

$$I_C = \beta I_B$$

- Trong dải thay đổi nhỏ của I_B, I_C thay đổi tuyến tính. $I_C = \beta I_B$
- Khi dòng I_B lớn, I_C không còn tuyến tính (sẽ xét trong chương mạch khuếch đại)



4.Độ lợi (độ khuếch đại) dòng

- Tại điểm tĩnh điều hành Q_A ta có:

$$\text{Độ lợi} : \beta = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{Q_A} = \frac{3,8mA}{40\mu A} = \frac{3,8 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-6}} = 95$$

- Tại điểm tĩnh điều hành Q_B , ta có:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{Q_B} = \frac{4,2mA}{40\mu A} = \frac{4,2 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-6}} = 105$$

Đường thẳng tải tĩnh (DCLL)

- Phương trình đường thẳng tải tĩnh :

Từ (5) viết lại:

$$I_C = (V_{CC} - V_{CE}) / R_C = -V_{CE} / R_C + V_{CC} / R_C \quad (7)$$

Đường tải tĩnh được vẽ trên đặc tuyến ra qua 2 điểm xác định sau:

$$\text{Cho } I_C = 0 \rightarrow V_{CEM} = V_{CC} \quad (\text{Điểm M})$$

$$\text{Cho } V_{CE} = 0 \rightarrow I_{CN} = V_{CC} / R_C \quad (\text{Điểm N})$$

nối 2 điểm M và N lại ta có được đường tải tĩnh

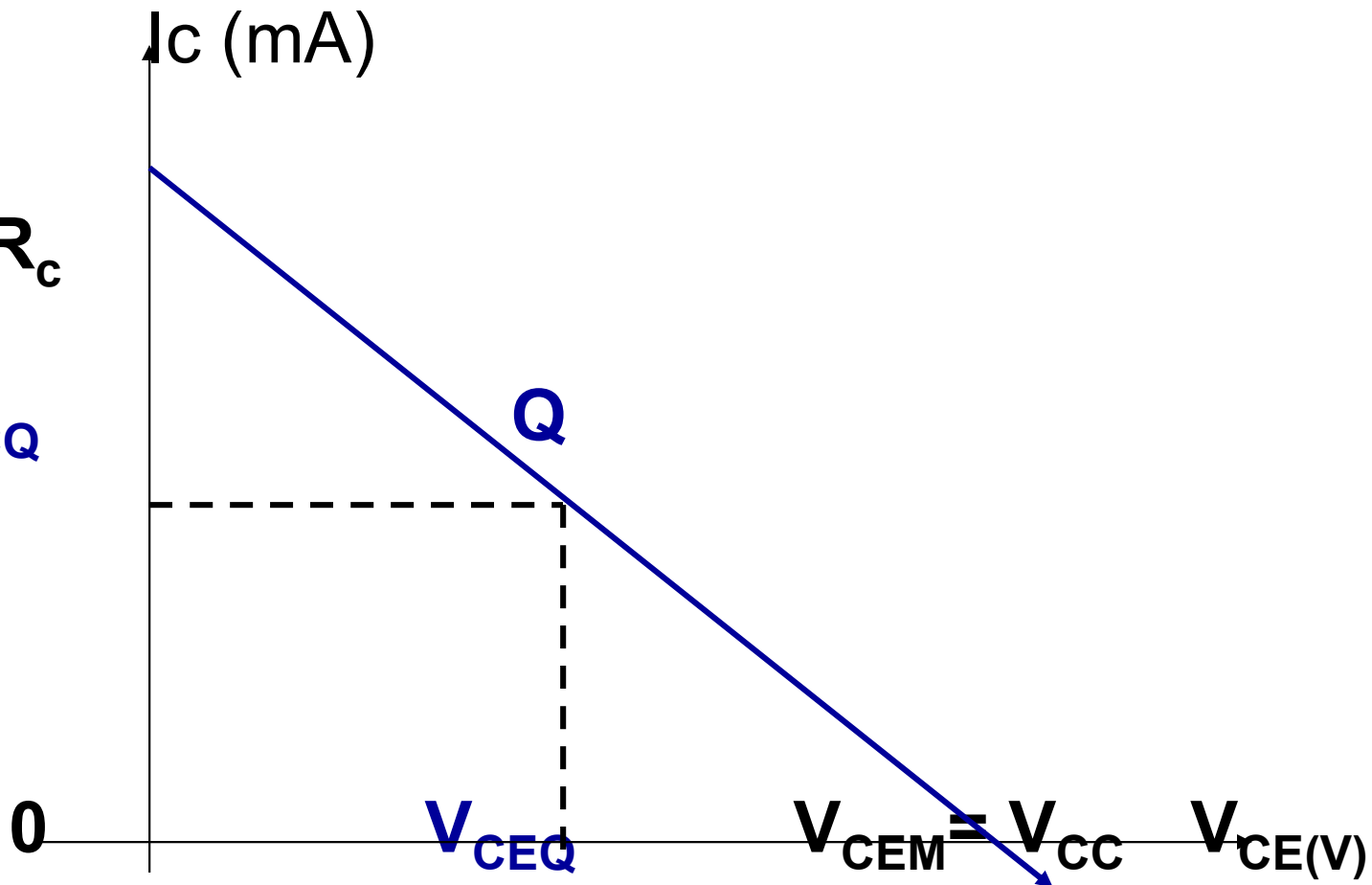
- Giao điểm đường tải tĩnh và đường phân cực I_B chọn trước cho ta trị số điểm tĩnh Q.

Đường thẳng tải tĩnh

- Vẽ

$$I_{CN} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

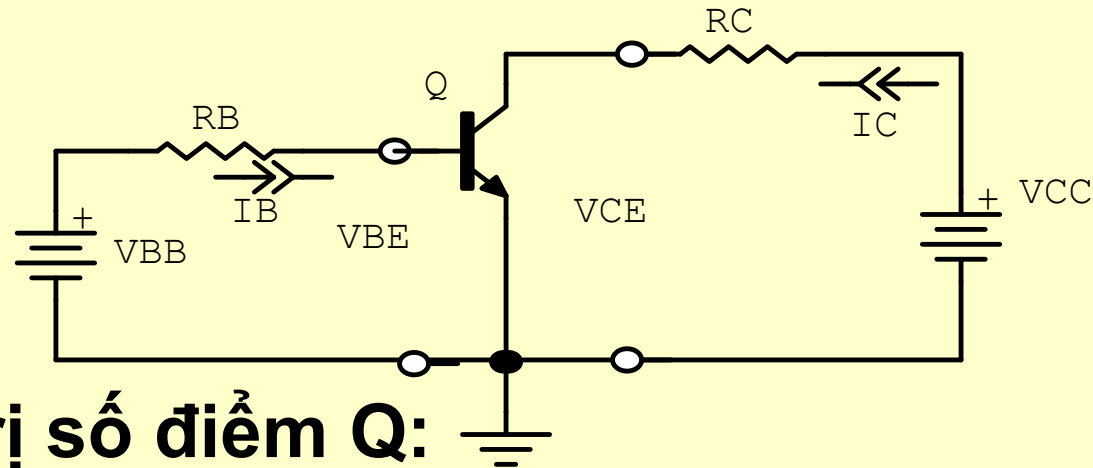
I_{CQ}



Phải có tải tĩnh

IV . Mạch phân cực cơ bản

- Mạch phân cực bằng 2 nguồn cấp điện riêng:



Tính được trị số điểm Q:

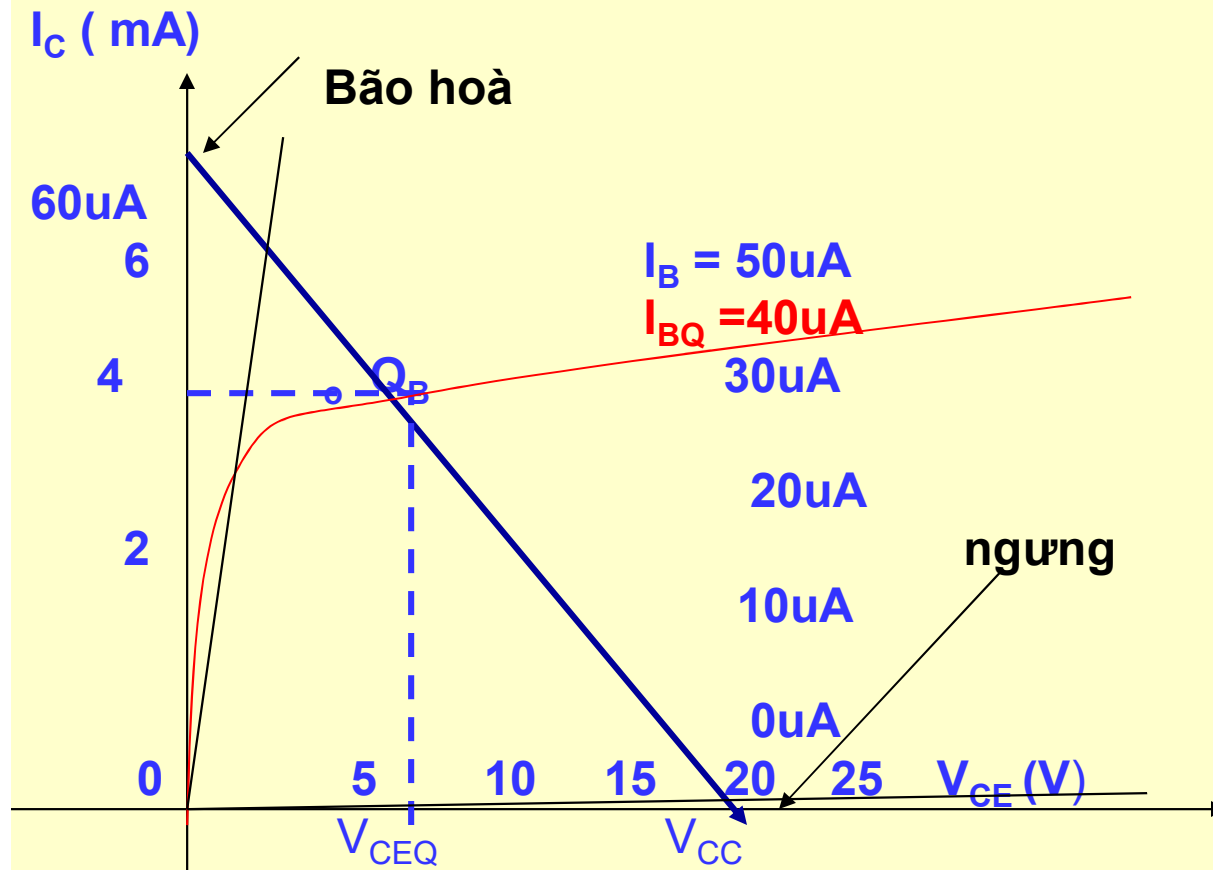
$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \quad (1)$$

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B \quad (2)$$

$$I_C = \beta I_B \quad (3)$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \quad (4) \rightarrow$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad (5)$$



Thí dụ : Với $V_{CC} = 18V$; $R_C = 3k\Omega$, dòng $I_{BQ} = 40\mu A$
 Tính được Q ($I_C = 4mA$,
 ($V_{CE} = 6V$,
 ($V_{BE} = 0,7V$ cho trước

Độ lợi dòng

- Theo trên ta có:

$$I_C = 4 \text{ mA} \text{ và } I_B = 40 \text{ } \mu\text{A}$$

- Tính được:

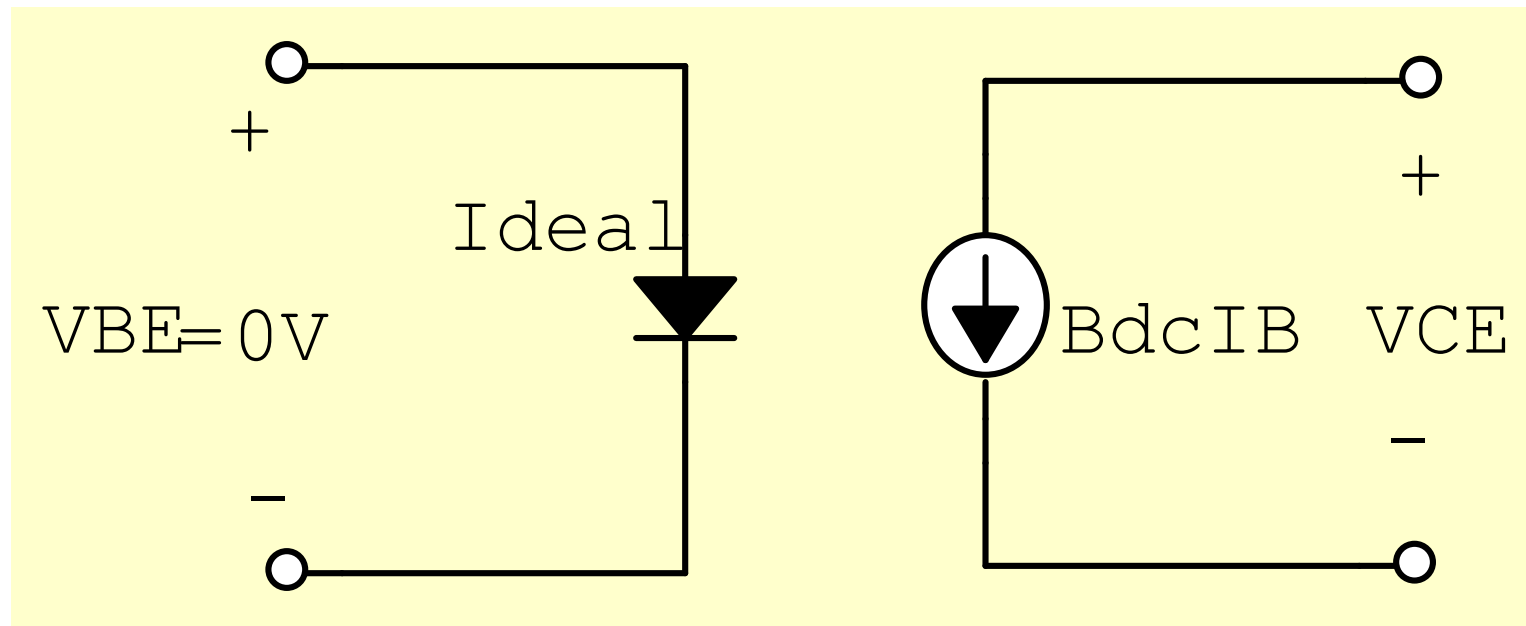
$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{4 \text{ mA}}{40 \text{ } \mu\text{A}} = 100$$

- Transistor có tính khuếch đại dòng
- Độ lợi dòng có thể tính nhanh từ đặc tuyến

Transistor Approximations

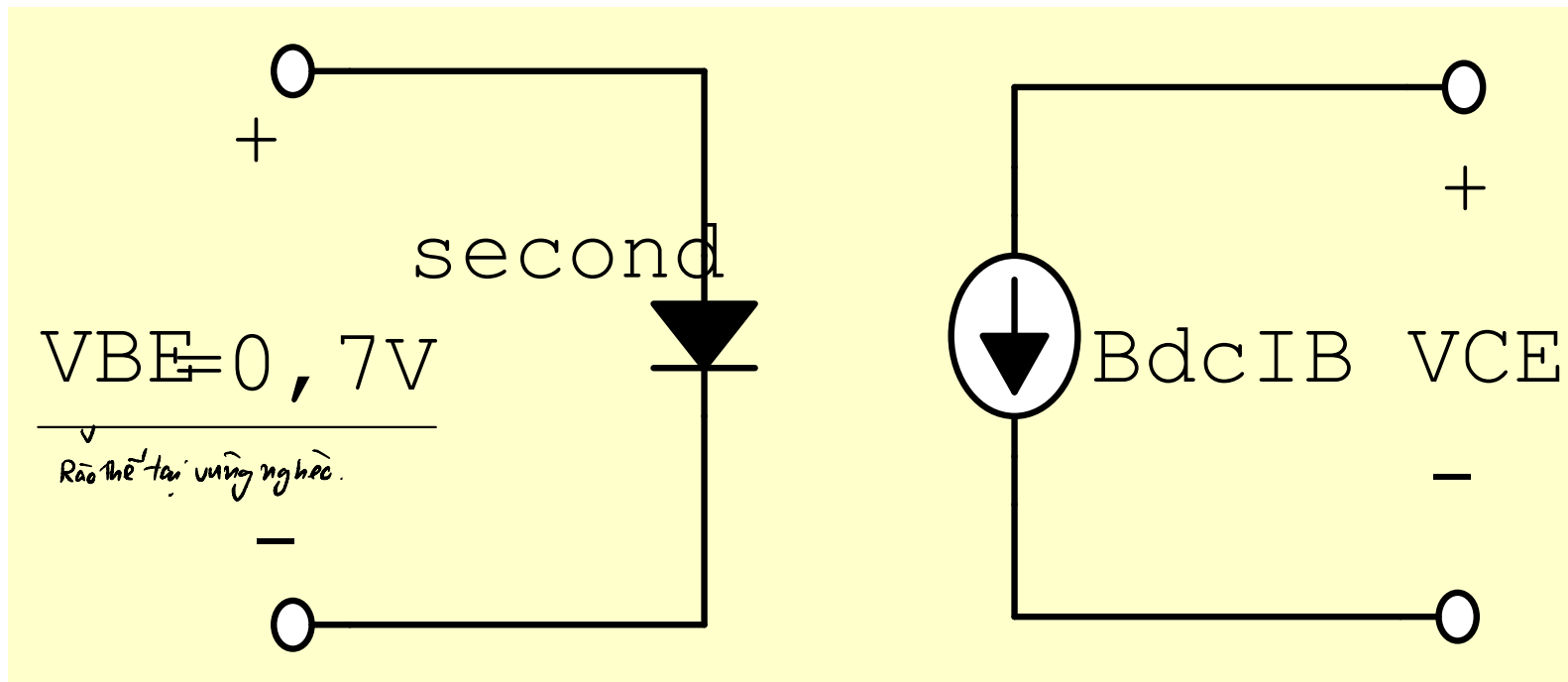
- Lý tưởng**

Cho $V_{BE} = 0$ V, áp dụng khi sửa chữa



- **Second Approximation**

$V_{BE} = 0,7 \text{ V (Si)}, \text{ và } 0,3 \text{ V (Ge)}$



DATA SHEETS

- Mỗi transistor có các thông số riêng cho bởi nhà sản xuất:

V_{CE0} , V_{CB0} , V_{BE0} ,

I_{Cmax} ,

P_{Dmax} ,

T ,

h_{fe}/I_c , các trị min, type, max

f_T ,

.....

Dạng vỏ Transistor

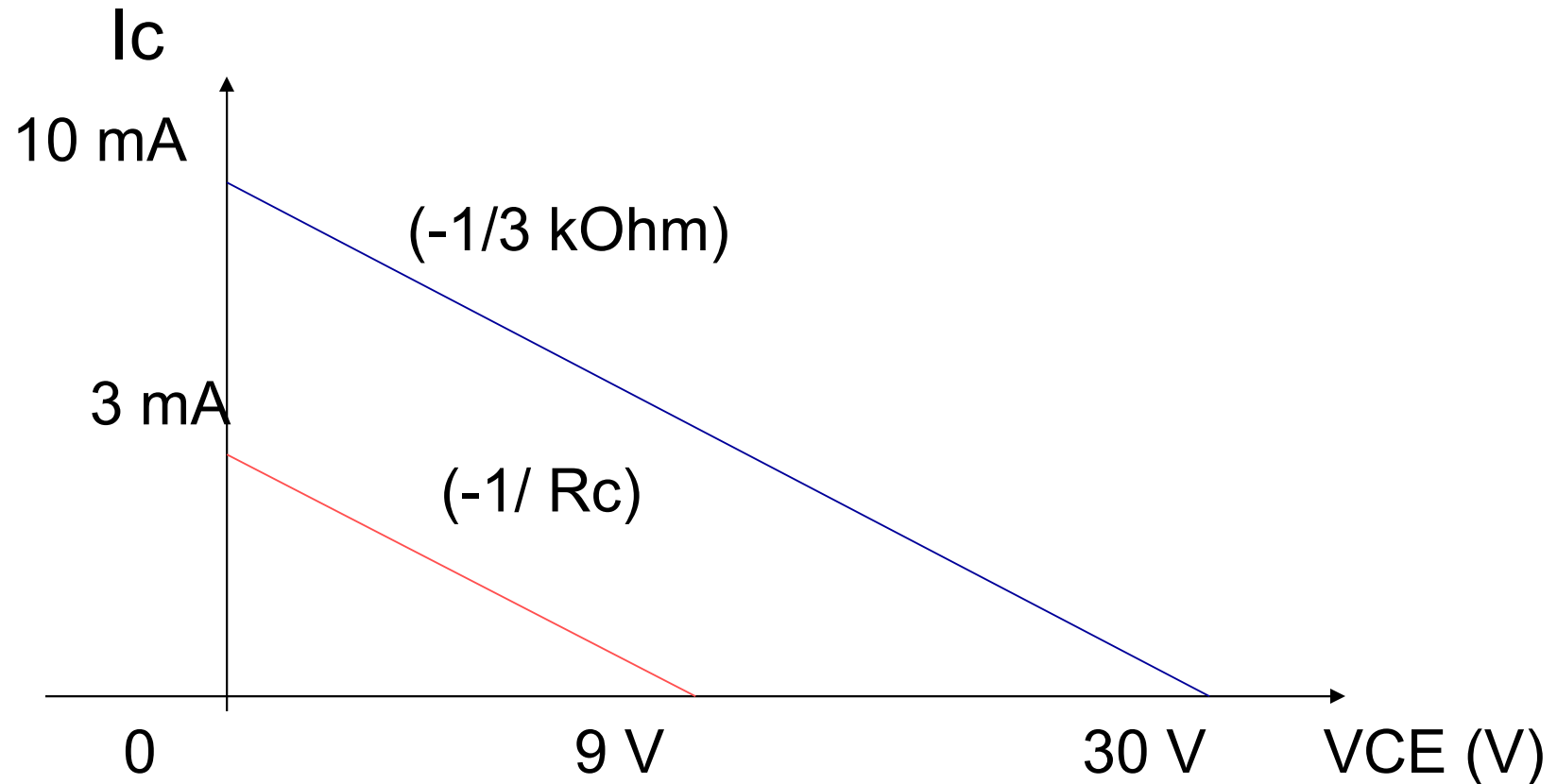


Vai trò của đường thẳng tải tĩnh

- Phân giải mạch Transistor.
- Xác định điểm tĩnh điều hành Q.
- Cho biết trạng thái hoạt động của transistor (tác động, bão hoà, ngưng).
- Mạch khuếch đại có tuyến tính hay không.
- Thiết kế mạch khuếch theo ý định (chọn trước điểm tĩnh Q, tính các trị số linh kiện)

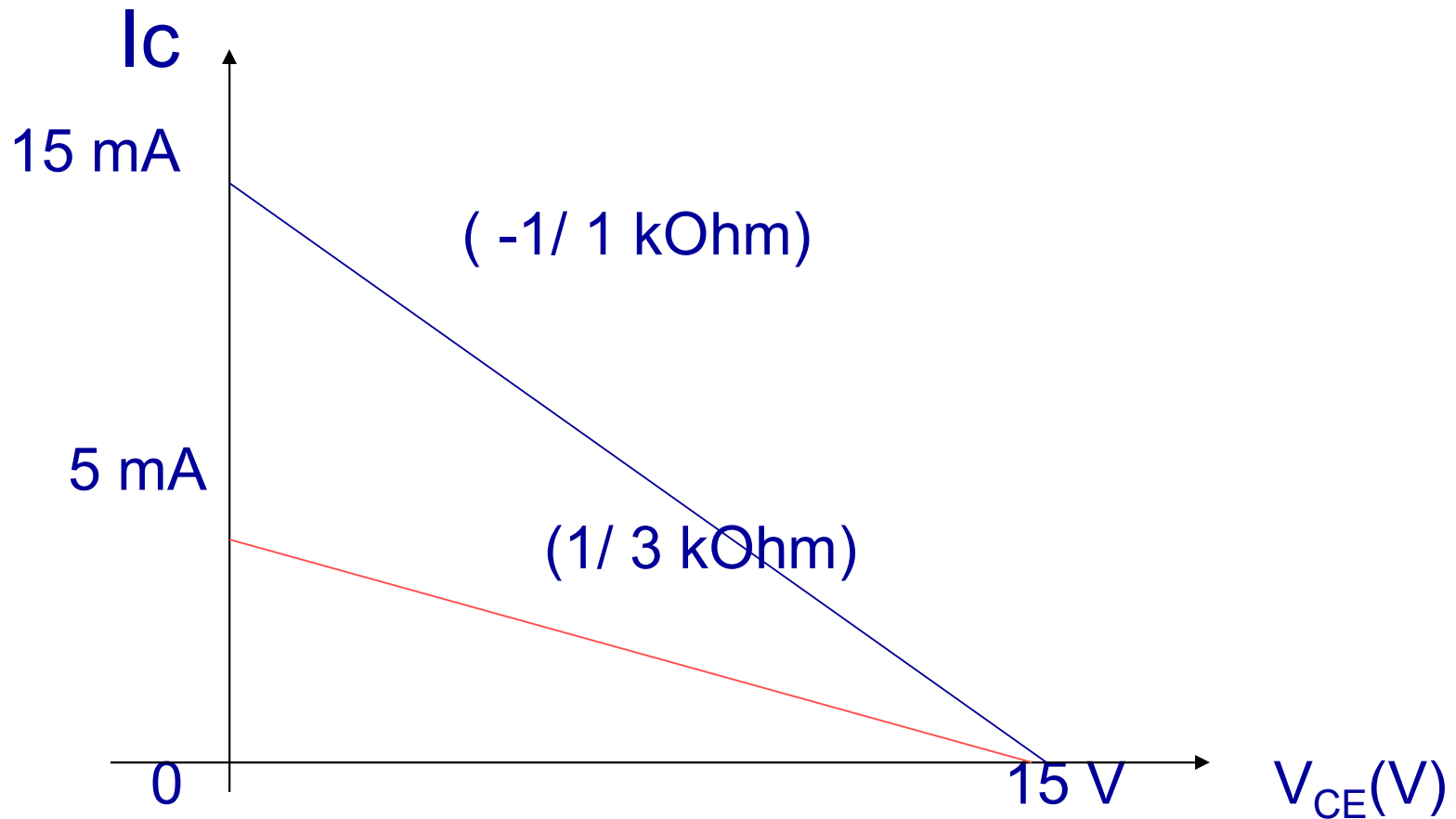
1. Mạch có cùng R_c và khác V_{cc}

- Độ dốc DCLL như nhau



2. Mạch có cùng V_{CC} nhưng khác R_C

- Đường DCLL có độ dốc khác nhau

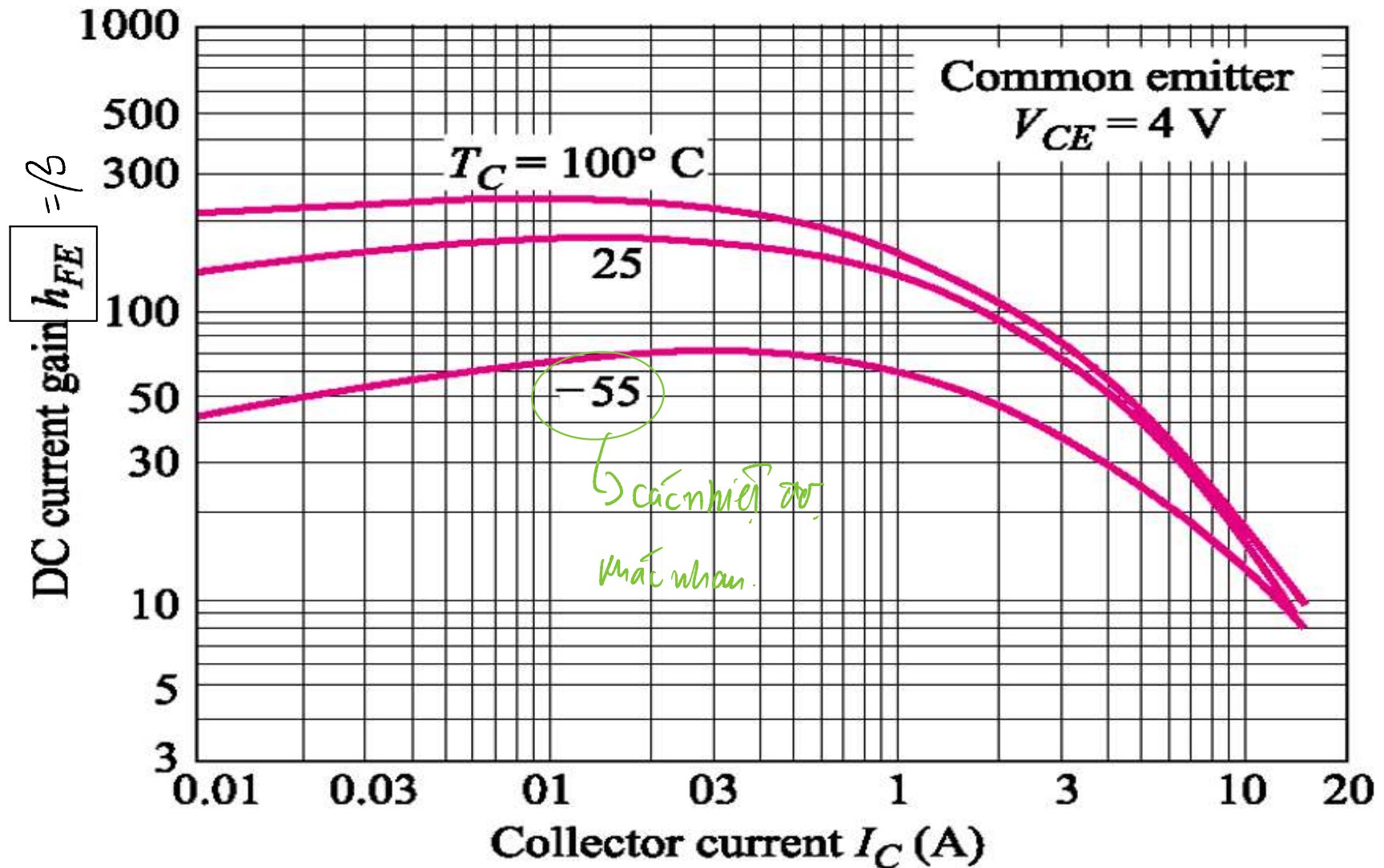


Chú ý:

- Độ lợi dòng điện thay đổi theo vị trí điểm tĩnh điều hành Q.
- Điểm tĩnh điều hành Q thay đổi vị trí theo điện thế phân cực transistor và còn thay đổi theo tín hiệu xoay chiều (AC) tác động vào mạch .
- Ta sẽ xét các dạng mạch phân cực (DC) khác ở chương 4 và sự khuếch đại trong chế độ động (AC) ở chương 5.

Sự thay đổi độ lợi dòng điện h_{FE}

1. Sự thay đổi h_{FE} theo nhiệt độ



Đường $I_C \uparrow \Rightarrow \beta \downarrow$ [Nhiệt độ nó ảnh hưởng tới độ lợi]

■ 2. Dòng I_{CQ} càng lớn h_{FE} càng nhỏ

Theo hình trên ta thấy khi I_{CQ} càng lớn, đường cong h_{FE} càng giảm xuống, trị số h_{FE} càng nhỏ khoảng 30 đến 50 $\rightarrow h_{FE(bh)} < h_{FE}$.

■ Cách tính $h_{FE(bh)}$ như sau:

$$\beta_{bh} = \frac{I_{C(bh)}}{I_B}$$

$$I_{C(bh)} \cong \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_B \geq \frac{V_{BB}}{R_B} = \frac{V_{CC}}{R_B}$$

Thường chọn bão hoà sâu:

$$R_B < \beta_{bh} R_C$$

$$R_B \cong 10 R_C$$

Transistor giao hoán (Transistorswitch)

- Phân cực cực nền thường sử dụng trong mạch số vì mạch được thiết kế để hoạt động tại dẫn bão hoà và ngưng dẫn → Điểm điều hành Q nằm trong vùng bão hoà và vùng ngưng. ↗ Xét mức logic 0 và 1
- Theo trên mạch được phân cực bão hoà sâu và ngõ ra có mức thấp $V_{CEbh} = 0,2V$ (bão hoà) và mức cao V_{CC} (ngưng dẫn)
- Mạch số thường còn gọi là mạch giao hoán hay chuyển mạch vì điểm điều hành của nó (luân) chuyển (switch) giữa hai điểm trên DCLL. Mạch còn được gọi là mạch hai trạng thái.

7.6 Phân cực phát- Emitter Bias

- Mạch số thường sử dụng phân cực cực nền. Nhưng khi nó chuyển thành khuếch đại, chúng ta cần đến mạch có điểm Q được miễn trừ làm thay đổi độ lợi dòng.
- Mạch được thay đổi như sau: đem điện trở mạch nền thành điện trở mạch phát. Chỉ một thay đổi nhưng làm tất cả khác biệt.
- Điểm Q trong mạch mới rất vững chắc. Khi độ lợi dòng thay đổi từ 50 đến 150, điểm Q gần như không di chuyển trên đường tải tĩnh (DCLL)

Ý tưởng cơ bản

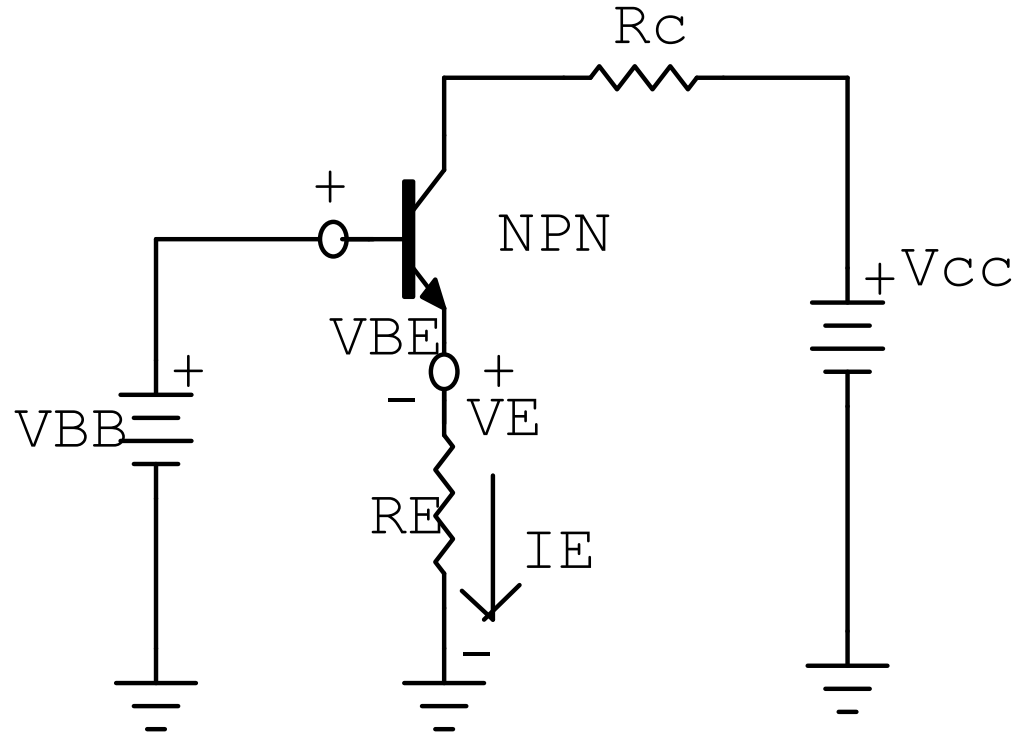
Ta có:

$V_E = V_{BB} - V_{BE}$
thường V_{BB} , V_{BE}
không đổi, nên
dòng phát không
đổi và độc lập
đối với h_{FE} :

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} = \frac{V_E}{R_E} = h.s.$$

Và:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$



Các bước tính của mạch như sau:

1. Tính dòng cực phát I_E
2. Tính điện áp cực thu V_C với $I_C = (h_{FE} / h_{FE} + 1)I_E = I_E$
3. Tính $V_{CE} = V_C - V_E$
4. Cho điện áp cực phát V_E

Chú ý:

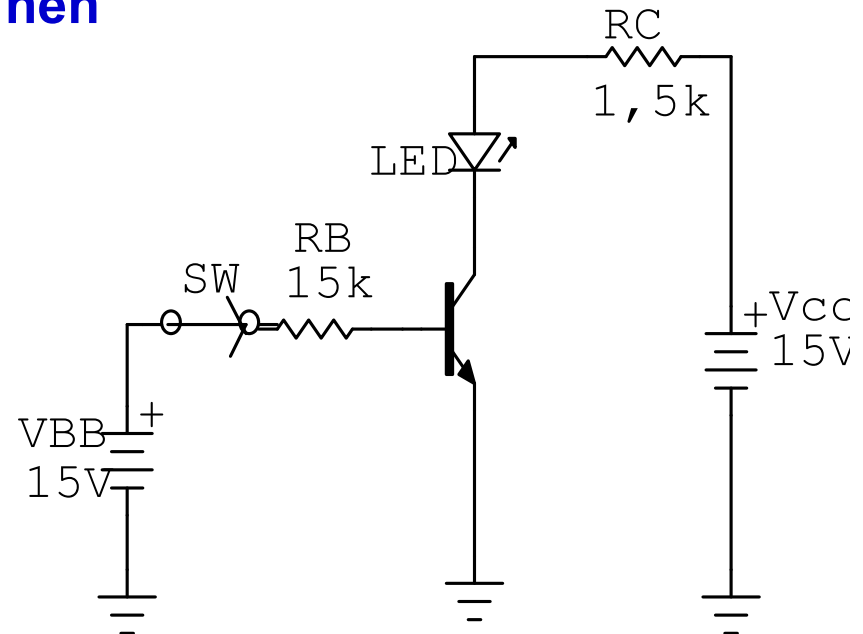
- Trong mạch phân cực cực nền \rightarrow dòng nền cố định
- Trong mạch phân cực cực phát \rightarrow dòng phát cố định

7.7. Mạch thức LED

1. Mạch thức LED phân cực cực nền

Do $R_B = 10 R_C$, nên transistor dẫn bão hoà, cho dòng qua LED:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CEbh} - V_D}{R_C}$$
$$= \frac{15V - 2V}{15k\Omega} = 8,67mA$$



Muốn thay đổi dòng qua LED, ta thay đổi V_{CC} hoặc R_C,
Và điện trở R_B phải bằng 10 lần R_C để transistor dẫn bão hoà cứng, và độ lợi dòng không thành vấn đề quan tâm.

2. Mạch thức LED phân cực cực phát

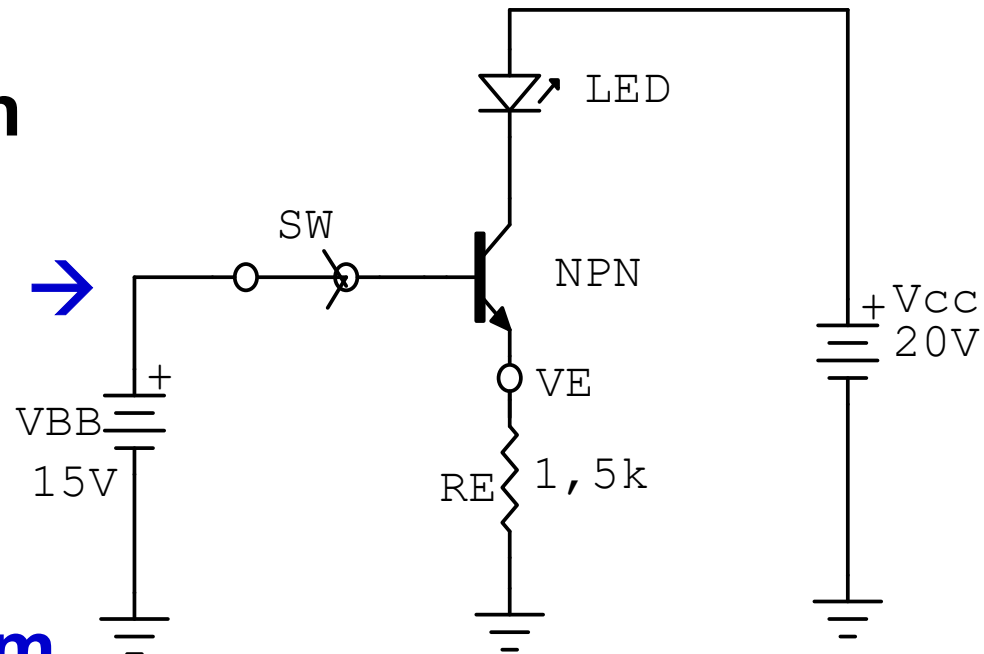
- Xét mạch theo hình sau:

Khi sw hở, $I_E = 0$
transistor ngưng dẫn

- Khi sw đóng, dòng $I_E = 10 \text{ mA}$ không đổi, \rightarrow điện áp rơi trên LED không còn đáng quan tâm dù có trị 1,8V, 2V, hay 2,5V. Đó là lợi điểm của mạch phân cực cực phát so với phân cực cực nền.

- Lợi điểm nữa là không cần đến điện trở R_C .

❖ Mạch trên hoạt động trong vùng tác động, muốn thay đổi dòng LED thay đổi V_{BB} hoặc R_E .



8. Transistor Quang (Phototransistor)

- Khi được chiếu sáng cho:

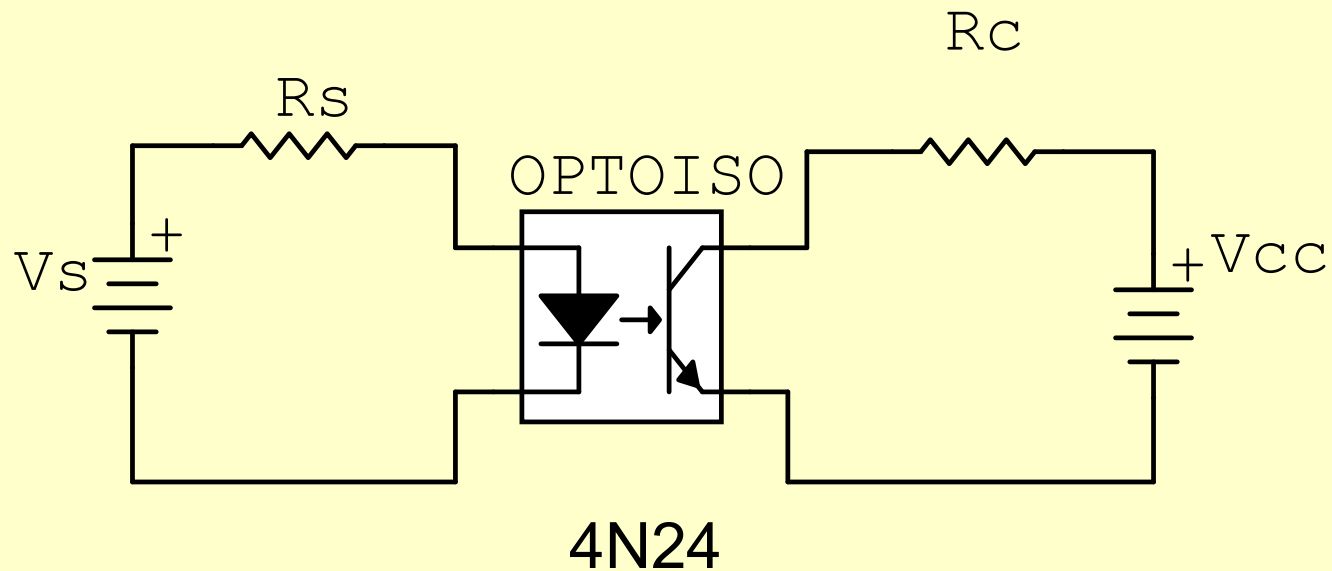
$$I_C = I_P + (\beta + 1) I_{CBO} = I_P + I_{CEO} = I_P + (\beta + 1) I_R$$

dòng tối là dòng I_R rất bé.

- So sánh với diod quang thì:
 - Transistor quang nhạy hơn do dòng thu lớn hơn cỡ miliampe,
 - Nhưng có tốc độ (hoặc chuyển mạch) thấp hơn cỡ microgiây.

2. Bộ ghép quang - Optocoupler

- Mạch theo hình sau:



Lợi điểm của bộ ghép quang:

- **Cô lập điện giữa ngõ vào và ngõ ra tốt từ 2500V đến 7500V (so với biến áp) hoặc từ vài chục đến vài trăm MOhm đối với dòng điện một chiều**
- **Bộ ghép quang có thể hoạt động ở chế độ DC hay chế độ AC tần số cao**
- **Hệ số truyền đạt dòng điện = $I_C / I_F(\text{LED})$ có trị cao từ vài chục phần trăm đến vài trăm phần trăm tùy loại.**

Độ lợi dòng và thế ở chế độ động (AC)

- Xét đồ thị sau
- Ta có:
- Độ lợi dòng

$$A_i = \beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_Q = \left. \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}} \right|_Q = \frac{(4 - 2) \text{ mA}}{(40 - 20) \mu\text{A}} = 100$$

- Độ lợi thế

$$A_v = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{BE}} \right|_Q = \left. \frac{V_{CE2} - V_{CE1}}{V_{BE2} - V_{BE1}} \right|_Q = \frac{6 - 12}{0,68 - 0,65} = -200$$

Phân giải bằng đồ thị

