



Circuitos de polarização do BJT

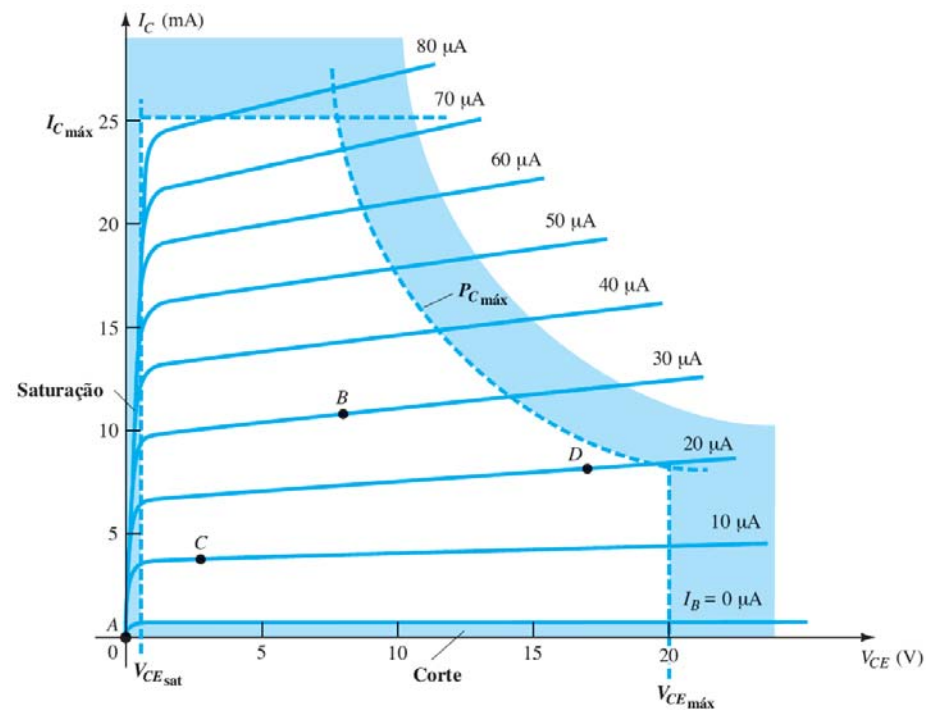
Prof. Alceu André Badin

Polarização

- **Polarização:** Aplicar tensões CC a um transistor no intuito de ligá-lo de modo que ele amplifique sinais CA.

Ponto de operação

- A saída CC estabelece um ponto de operação ou *ponto quiescente* chamado *ponto Q*.



As três regiões de operação

- **Operação em região ativa ou linear**

- A junção base-emissor é polarizada diretamente.
- A junção base-coletor é polarizada reversamente.

- **Operação na região de corte**

- A junção base-emissor é polarizada reversamente.

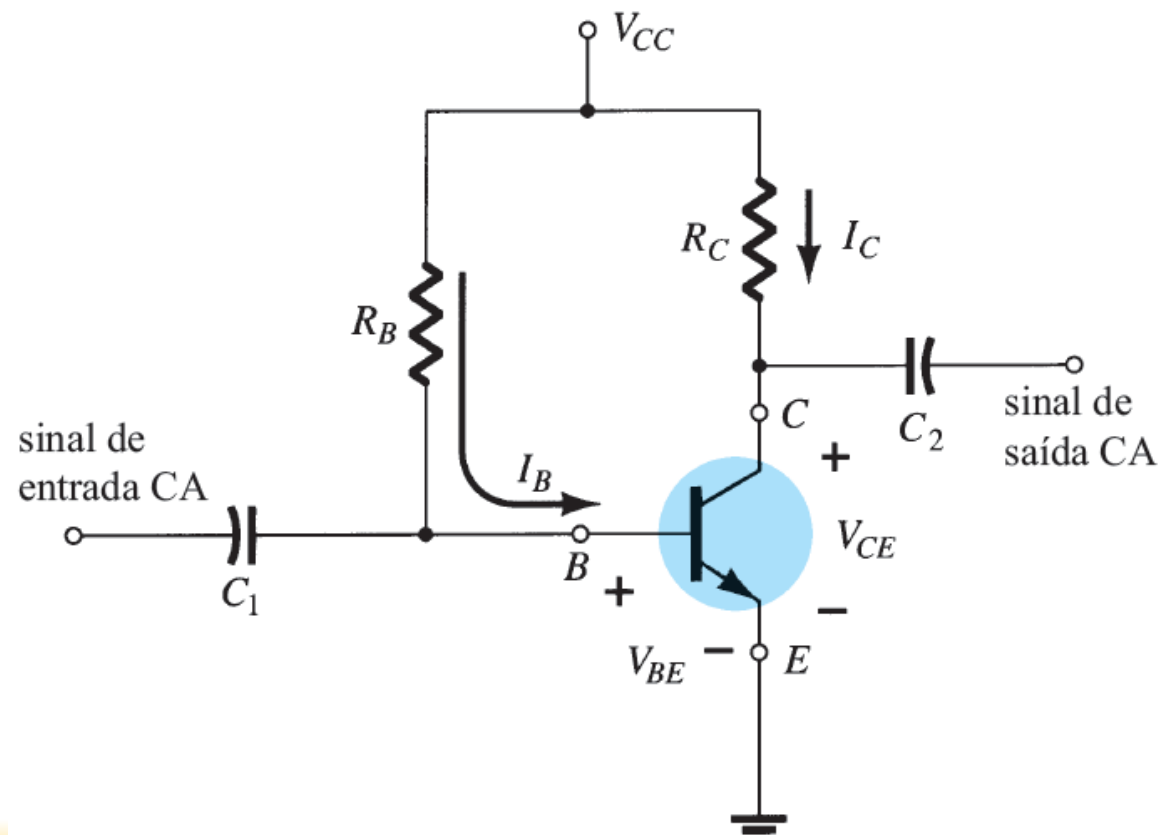
- **Operação na região de saturação**

- A junção base-emissor é polarizada diretamente.
- A junção base-coletor é polarizada diretamente.

Circuitos de polarização CC

- **Circuitos de polarização fixa**
- **Circuito de polarização estável do emissor**
- **Malha coletor-emissor**
- **Circuito de polarização por divisor de tensão**
- **CC com realimentação de tensão**

Polarização fixa



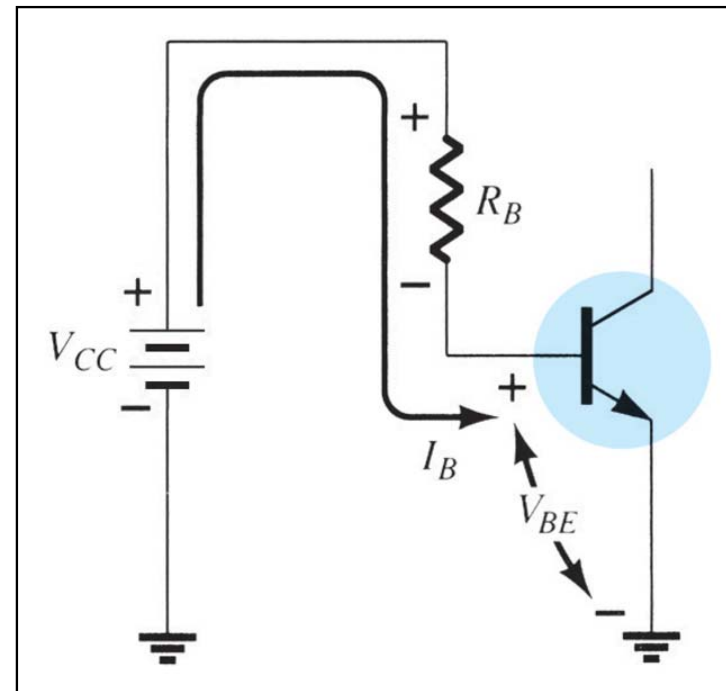
A malha base-emissor

- Da Lei das Tensões de Kirchhof:

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

- Resolvendo a equação para corrente base:

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



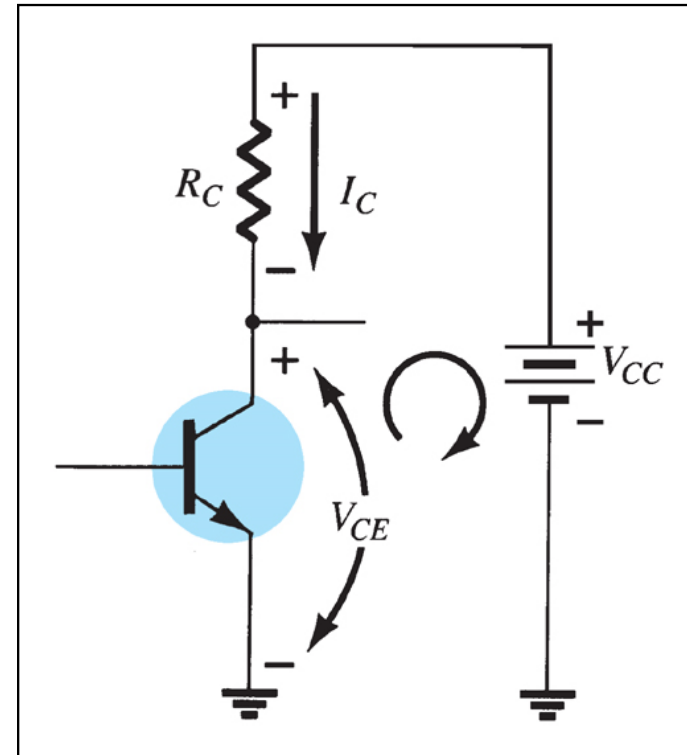
Malha coletor-emissor

Corrente de coletor:

$$I_C = \beta I_B$$

Da Lei das Tensões de Kirchhoff:

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



Saturação

- Quando o transistor está operando em **saturação**, a corrente ao longo dele está em seu máximo valor possível.

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

$$V_{CE} \cong 0 \text{ V}$$

Análise de reta de carga

- Os pontos finais das retas de carga são:

I_{Csat}

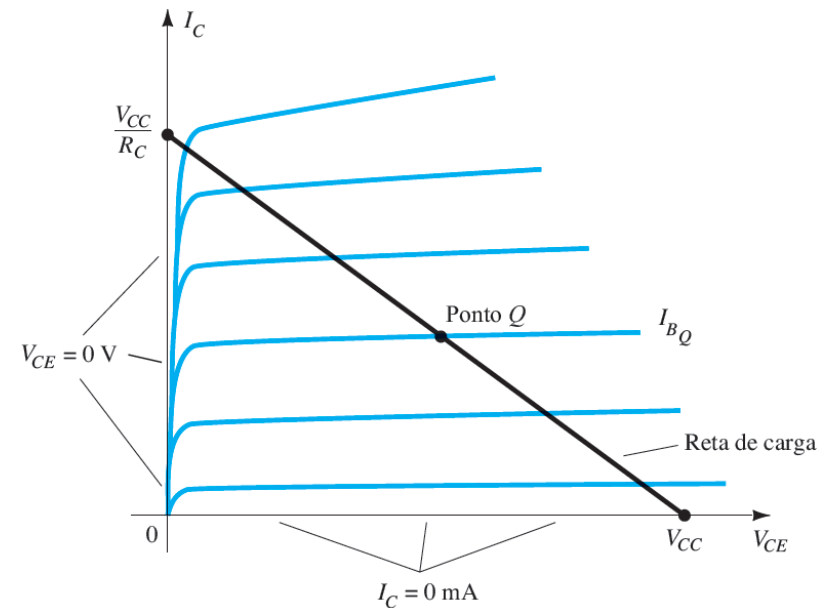
$$I_C = V_{CC} / R_C$$

$$V_{CE} = 0 \text{ V}$$

$V_{CEcutoff}$

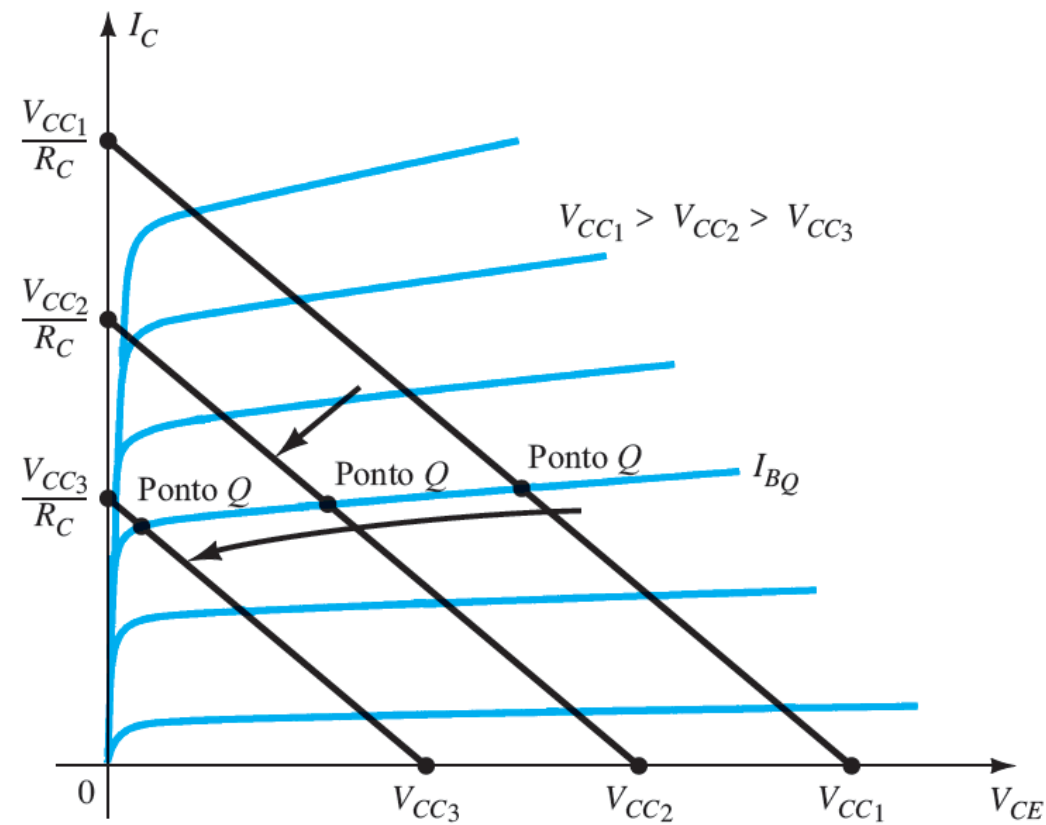
$$V_{CE} = V_{CC}$$

$$I_C = 0 \text{ mA}$$

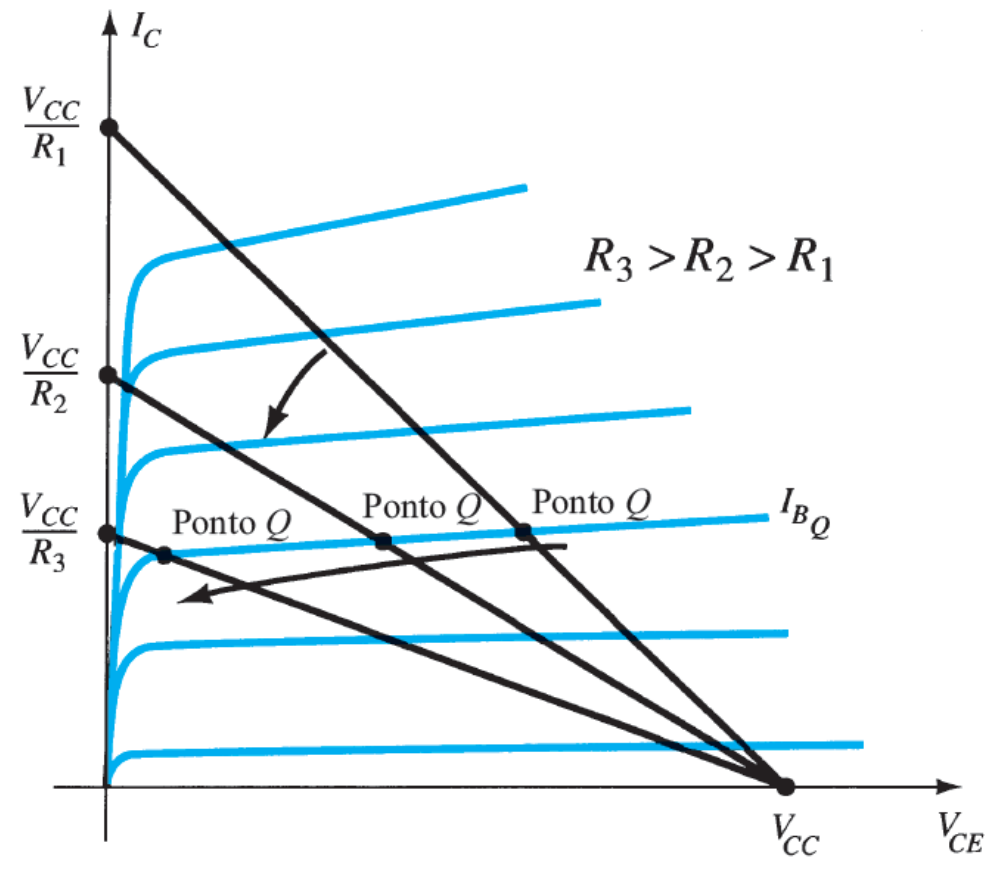


- O ponto Q é o ponto de operação onde o valor de R_B ajusta o valor de I_B que controla os valores de V_{CE} e I_C .

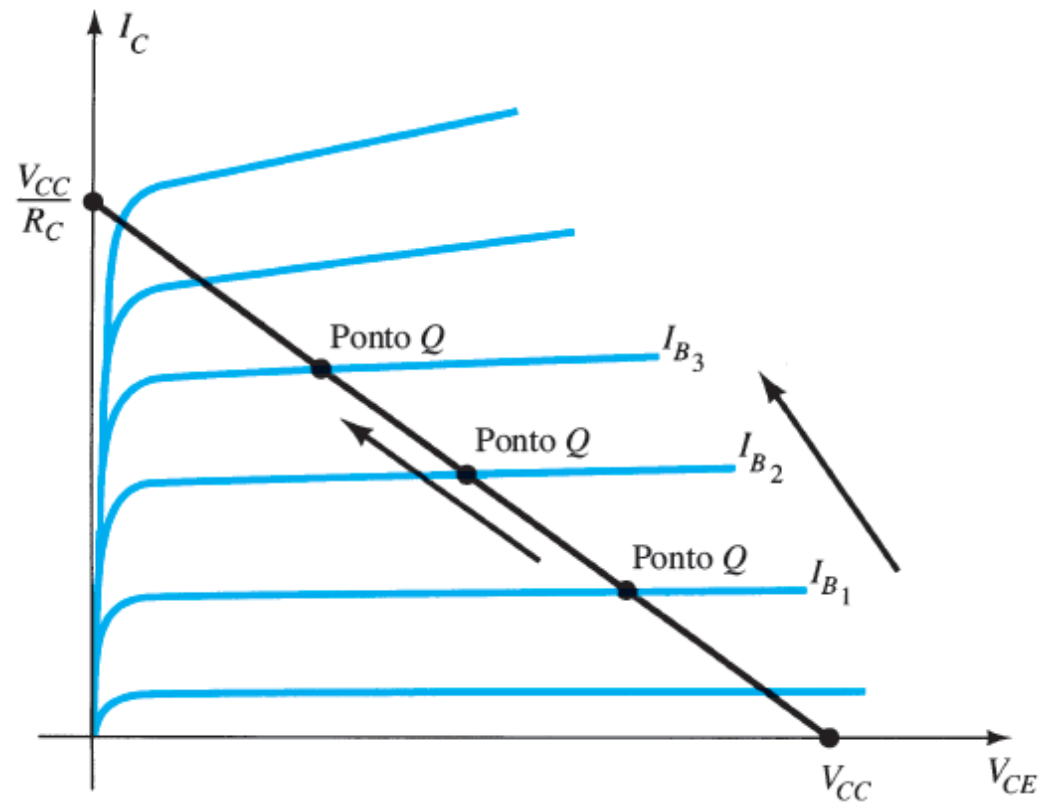
O efeito da V_{CC} sobre o ponto Q



O efeito da R_C sobre o ponto Q

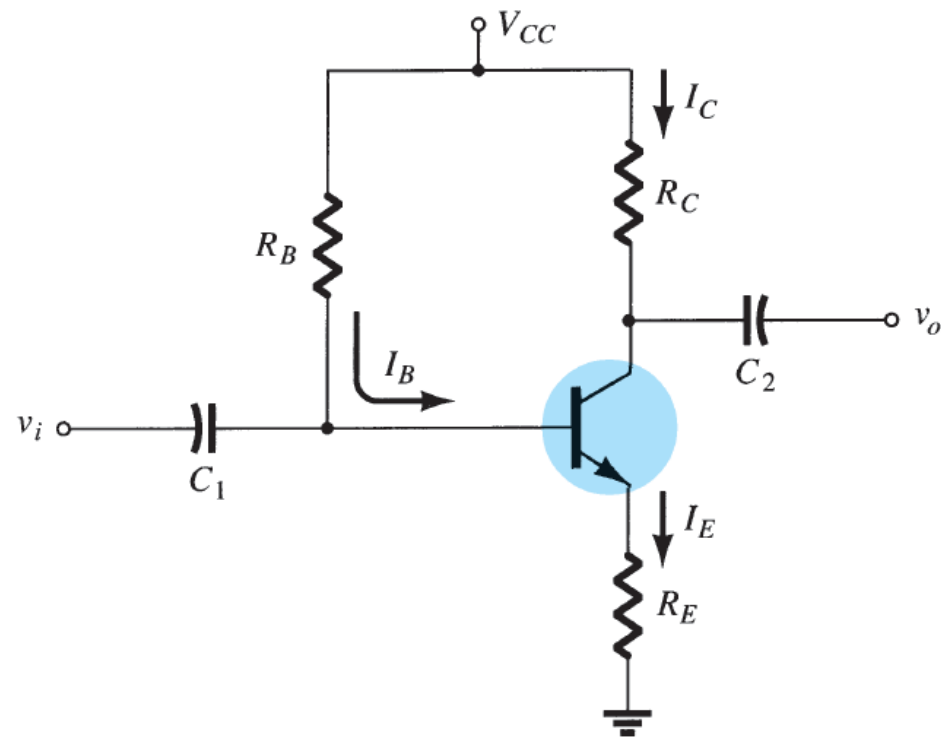


O efeito da I_B sobre o ponto Q



Circuito de polarização estável do emissor

- Adicionar um resistor (R_E) ao circuito emissor estabiliza o circuito de polarização.



Malha base-emissor

- Da Lei das Tensões de Kirchhof:

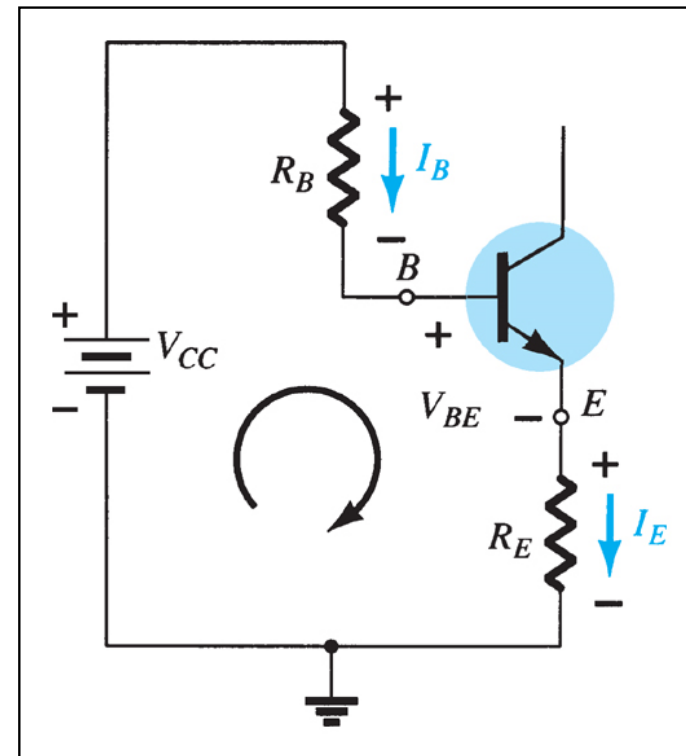
$$+V_{CC} - I_E R_E - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

- Se $I_E = (\beta + 1)I_B$:

$$V_{CC} - I_B R_B - (\beta + 1)I_B R_E = 0$$

- Resolvendo a equação para I_B :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$



Malha coletor-emissor

- Da Lei das Tensões de Kirchhof:

$$I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

- Se $I_E \cong I_C$:

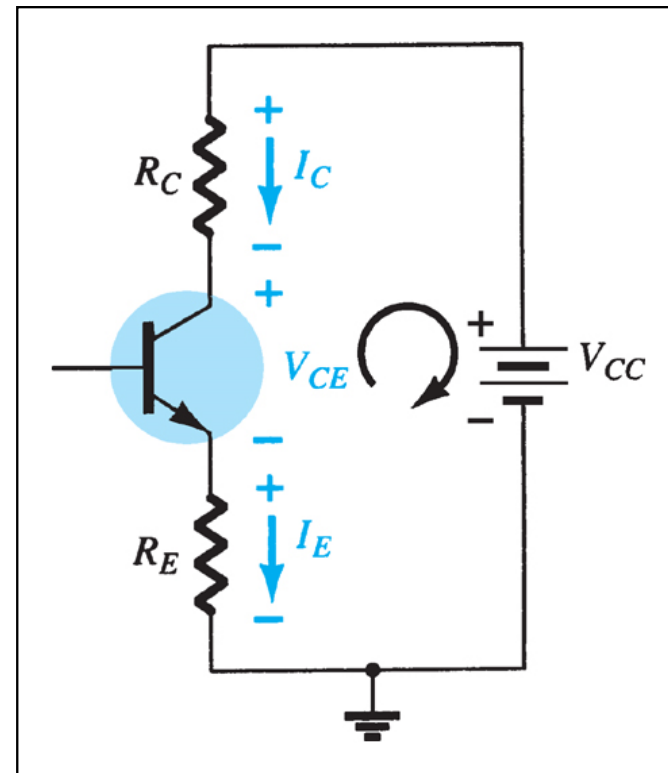
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

- Também:

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_C = V_{CE} + V_E = V_{CC} - I_C R_C$$

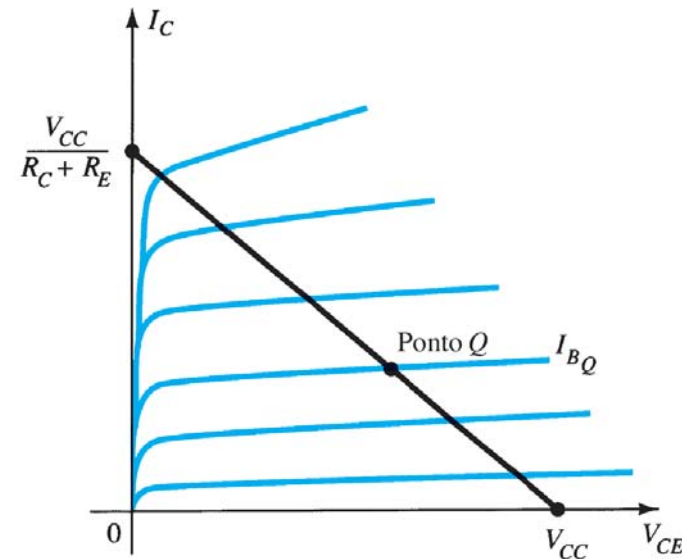
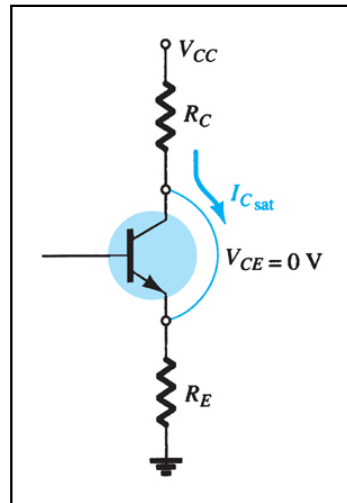
$$V_B = V_{CC} - I_R R_B = V_{BE} + V_E$$



Estabilidade de polarização melhorada

- O termo **estabilidade** se refere à condição na qual as correntes e as tensões permanecem razoavelmente constantes em uma ampla faixa de temperaturas e valores de transistor Beta (β).
- Adicionar R_E ao emissor melhora a estabilidade do transistor.

Nível de saturação



- Os pontos finais podem ser determinados a partir da reta de carga.

$V_{CE\text{corte}}:$

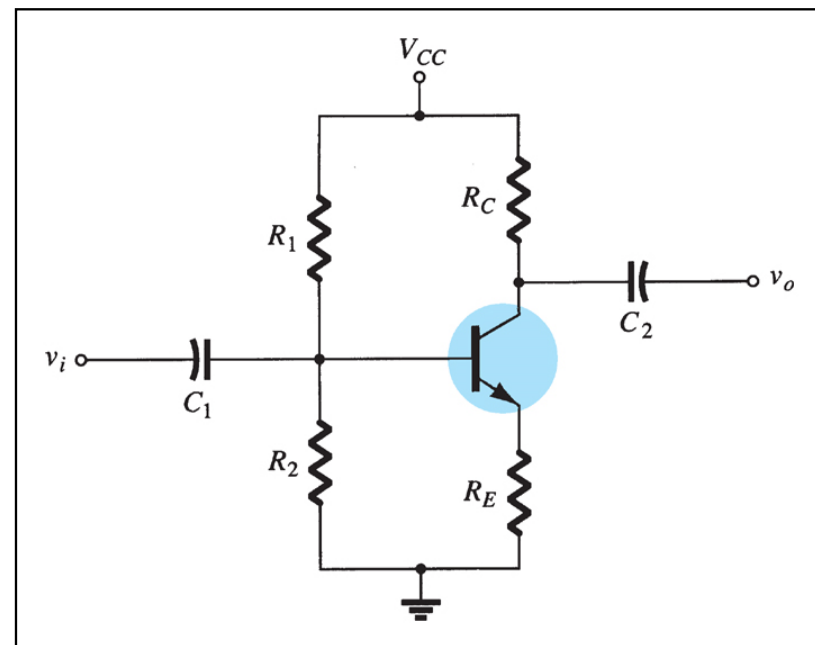
$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} \\ I_C &= 0 \text{ mA} \end{aligned}$$

$I_{C\text{sat}}:$

$$\begin{aligned} V_{CE} &= 0 \text{ V} \\ I_C &= \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \end{aligned}$$

Polarização por divisor de tensão

- *Este é um circuito muito estável de polarização.*
- As correntes e as voltagens são quase independentes de quaisquer variações em β .



Análise aproximada

- Onde $I_B \ll I_1$ e $I_1 \cong I_2$:

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

- Onde $\beta R_E > 10R_2$:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

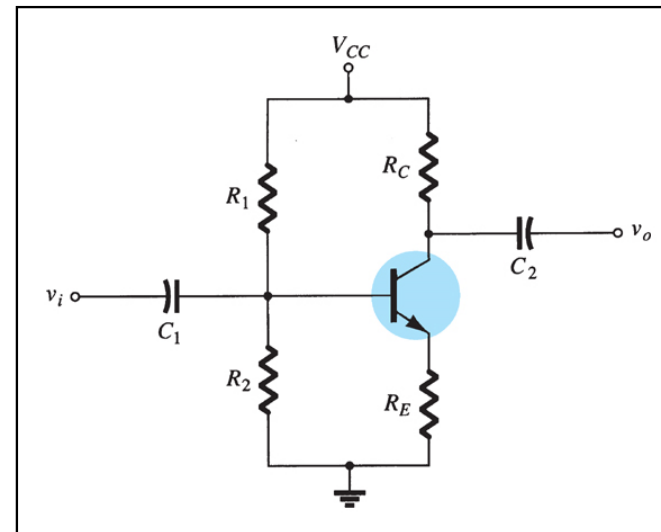
$$V_E = V_B - V_{BE}$$

- Da Lei das Tensões de Kirchhof:

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

$$I_E \cong I_C$$

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



Análise da polarização por divisor de tensão

- **Nível de saturação do transistor:**

$$I_{Csat} = I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

- **Análise da reta de carga**

Corte:

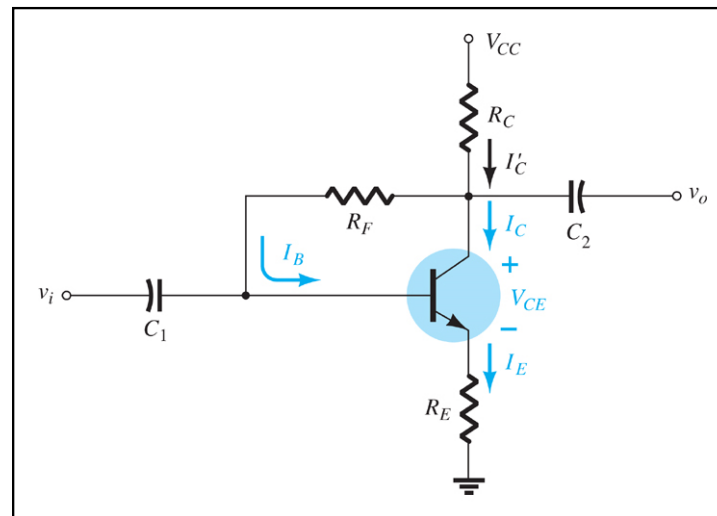
$$V_{CE} = V_{CC}$$
$$I_C = 0 \text{ mA}$$

Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$
$$V_{CE} = 0 \text{ V}$$

Polarização CC com realimentação de tensão

- Outra maneira de melhorar a estabilidade de um circuito de polarização é adicionar um caminho de realimentação do coletor à base.
- Neste circuito de polarização o ponto Q está apenas ligeiramente dependente do transistor beta (β).



Malha base-emissor

- Da Lei das Tensões de Kirchhof:

$$V_{CC} - I'_C R_C - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

- Onde $I_B \ll I_C$:

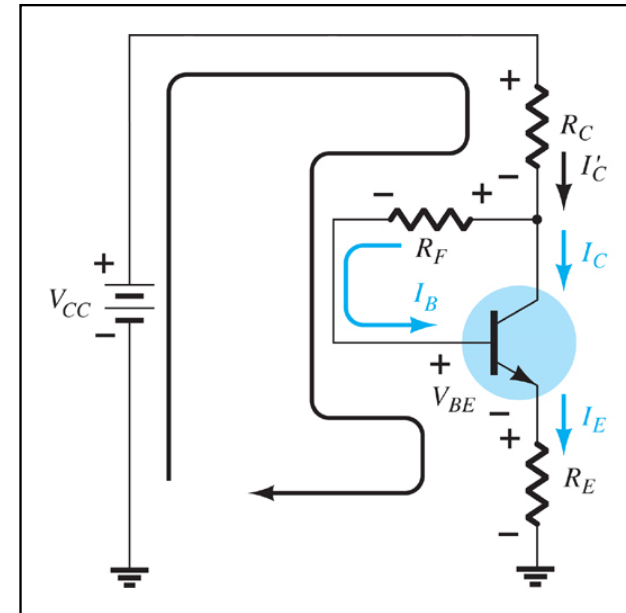
$$I'_C = I_C + I_B \cong I_C$$

- Sabendo-se que $I_C = \beta I_B$ e $I_E \cong I_C$, a equação da malha é:

$$V_{CC} - \beta I_B R_C - I_B R_B - V_{BE} - \beta I_B R_E = 0$$

- Resolvendo a equação para I_B :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$



Malha coletor-emissor

- Aplicando-se a Lei das Tensões de Kirchhof:

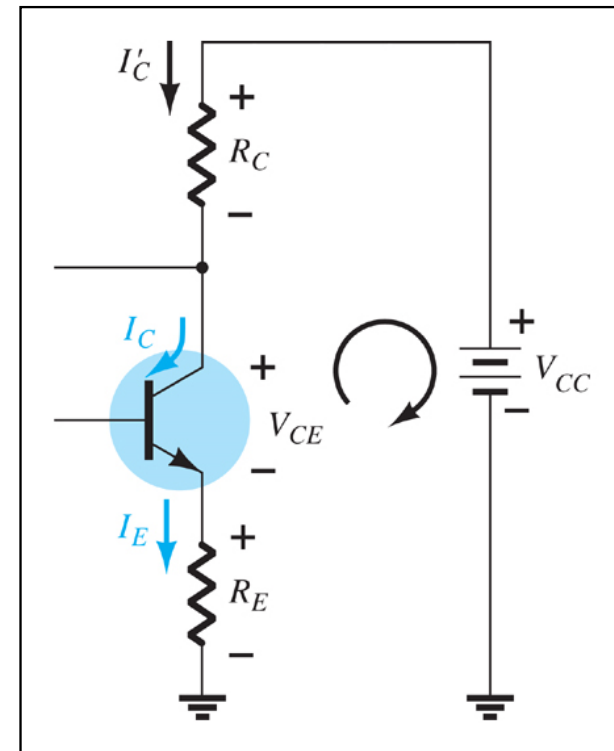
$$I_E + V_{CE} + I'_C R_C - V_{CC} = 0$$

- Se $I'_C \cong I_C$ e $I_C = \beta I_B$:

$$I_C(R_C + R_E) + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

- Resolvendo a equação para V_{CE} :

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



Análise da polarização base-emissor

- **Nível de saturação do transistor:**

$$I_{Csat} = I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

- **Análise da reta de carga**

Corte

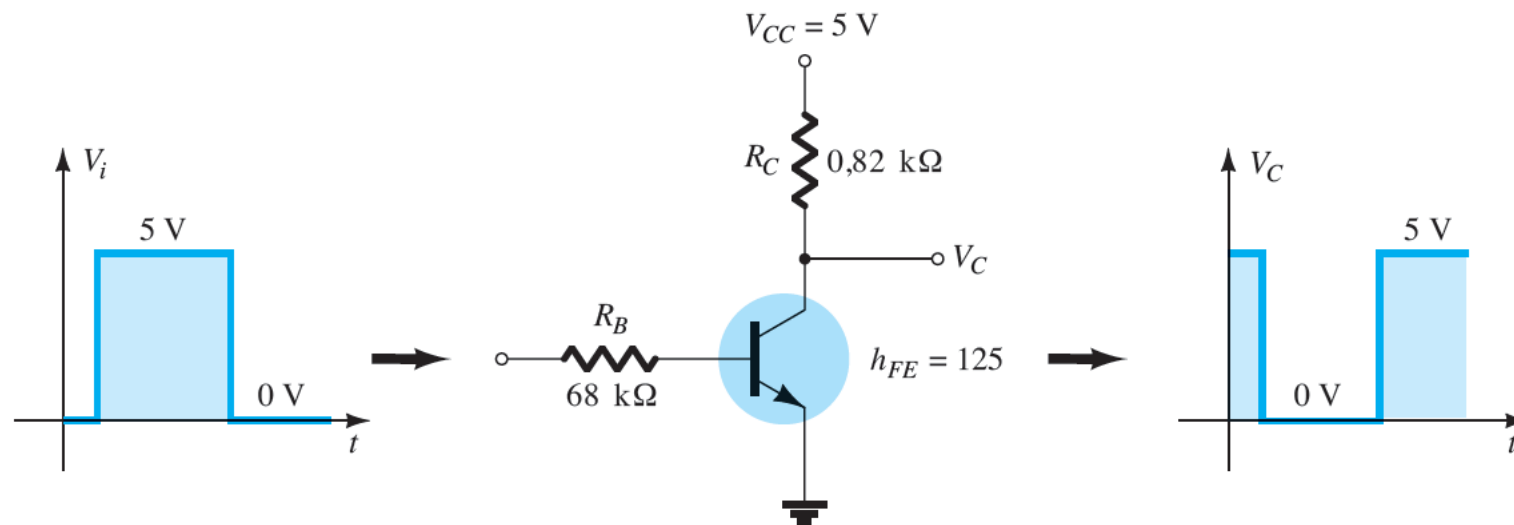
$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} \\ I_C &= 0 \text{ mA} \end{aligned}$$

Saturação

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \\ V_{CE} &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

Circuitos de chaveamento com transistor

- Transistores somente com fonte CC aplicada podem ser utilizados como chaves eletrônicas



Cálculos de circuitos de chaveamento

- Corrente de saturação:

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

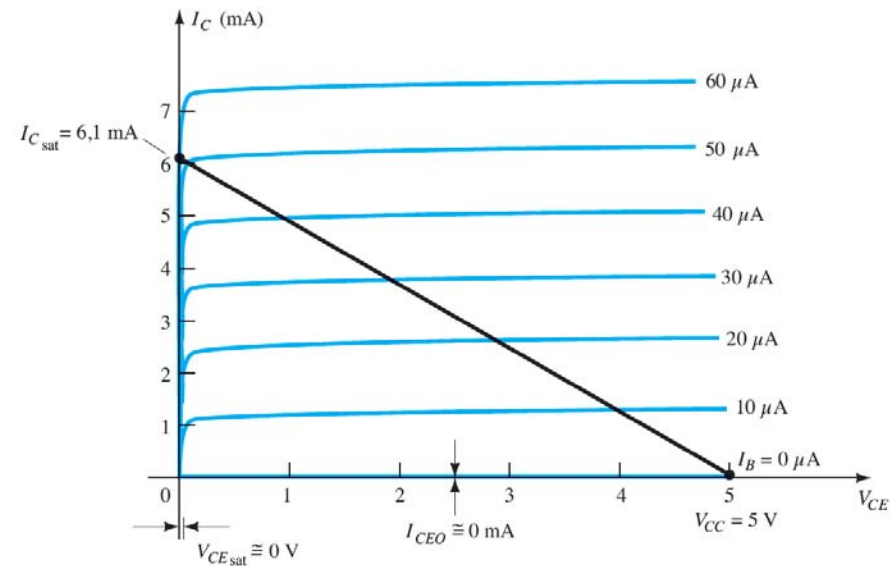
- Para assegurar a saturação:

$$I_B > \frac{I_{Csat}}{\beta_{dc}}$$

- Resistência emissor-coletor na saturação e no corte:

$$R_{sat} = \frac{V_{CEsat}}{I_{Csat}}$$

$$R_{cutoff} = \frac{V_{CC}}{I_{CEO}}$$



Transistores PNP

- A análise de circuitos de polarização de transistores *pnp* é a mesma feita para circuitos de transistores *nnp*.
- A única diferença é que as correntes estão fluindo na direção oposta.