

Lista de Exercícios 2 - Solução

Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Exercícios

(Boylestad RL, Nashelsky L, Pearson Education do Brasil, 11ª edição – 2013)

Capítulo 4 - Polarização CC / BJT

Ex. 1 (pg. 209)

Para a configuração de **polarização fixa** da figura 4.118 determine: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ} , V_C , V_B e V_E .

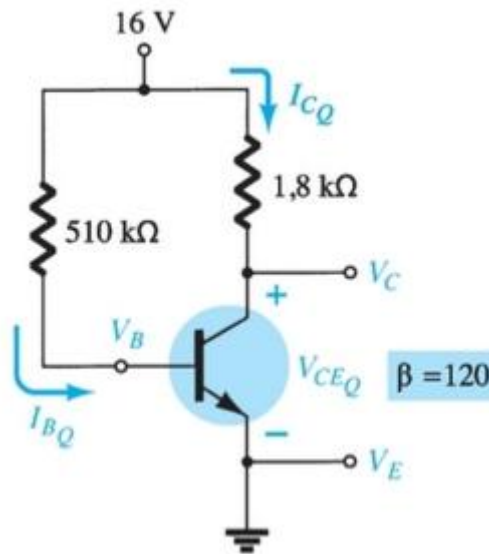


Fig. 4.118

Cálculo das Correntes

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{16V - 0,7V}{519K\Omega} = 30\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 120(30\mu A) = 3.6mA$$

Cálculo das Tensões

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 16V - (3.6mA \times 1.8K\Omega) = 6.48V$$

$$V_C = V_{CEQ} - (3.6mA \times 1.8K\Omega) = 6.48V$$

$$V_B = V_{BE} = 0.7V$$

$$V_E = 0V$$

Ex. 3 (pg. 209)

Dada o circuito de **polarização fixa** da figura 4.120, determine: I_C , V_{CC} , β , R_B .

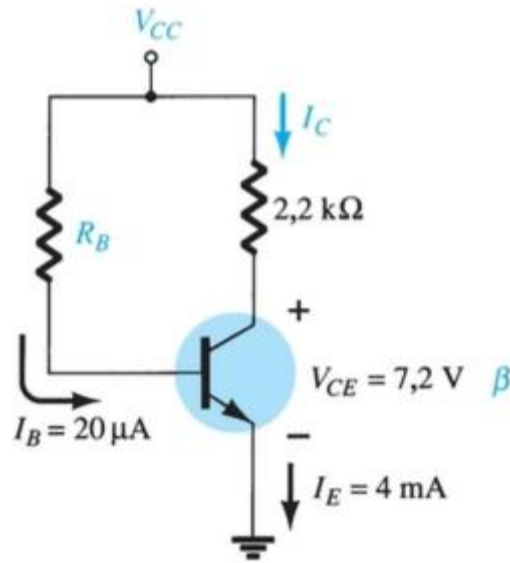


Fig. 4.120

- $I_C = I_B - I_E = 4\text{mA} - 20\mu\text{A} \cong 4\text{m}\mu\text{A}$
- $V_{CC} = V_{CE} - I_C R_C = 7.\text{V} + (3.98\text{mA} \times 2.2\text{k}\Omega) = 15.96\text{V}$
- $\beta = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{16\text{V} - 0,7\text{V}}{519\text{K}\Omega} = 30\mu\text{A}$
- $R_B = \frac{V_{RB}}{I_B} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{15.96\text{V} - 0.7\text{V}}{20\mu\text{A}} = 763\text{K}\Omega$

Ex. 5 (pg. 209)

Dadas as curvas características de um BJT mostradas na Fig.4.121:

- Desenhe a reta de carga sobre as curvas determinada por $E=21V$, $R_C=3k\Omega$ para uma configuração com polarização fixa.
- Escolha um ponto de operação no meio do caminho entre o corte e a saturação. Determine o valor de R_B que estabelece o ponto de operação escolhido.
- Quais são os valores resultantes de I_{CQ} e V_{CEQ} ?
- Qual o valor de β no ponto de operação ?
- Qual é o valor de α definido pelo ponto de operação ?
- Qual é a corrente de saturação (I_{csat}) para o projeto ?
- Esboce a configuração com polarização fixa resultante.
- Qual a potência de CC dissipada pelo BJT no ponto de operação ?
- Qual a potência fornecida pela fonte V_{CC} ?
- Qual a potência dissipada pelos elementos resistivos utilizando os cálculos dos itens (h) e (i).

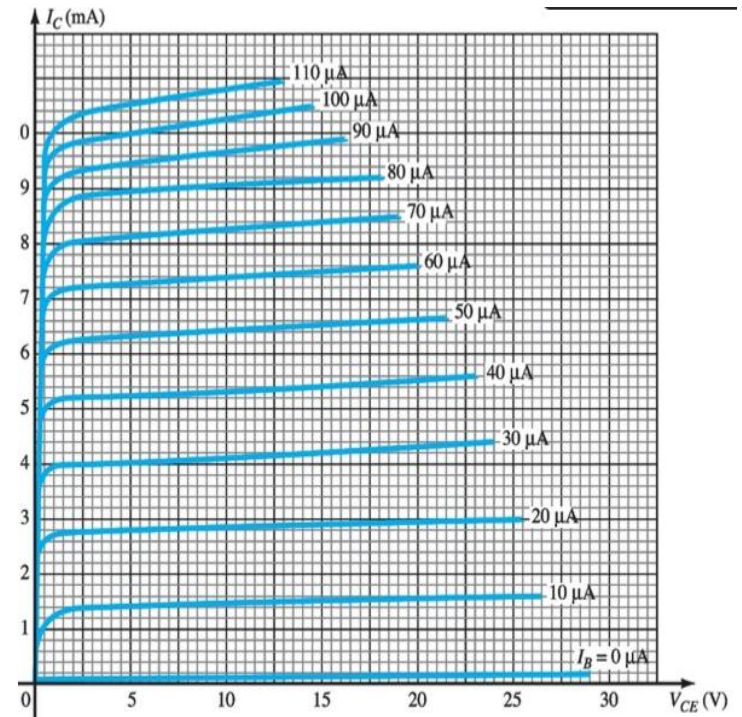
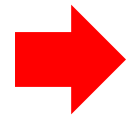


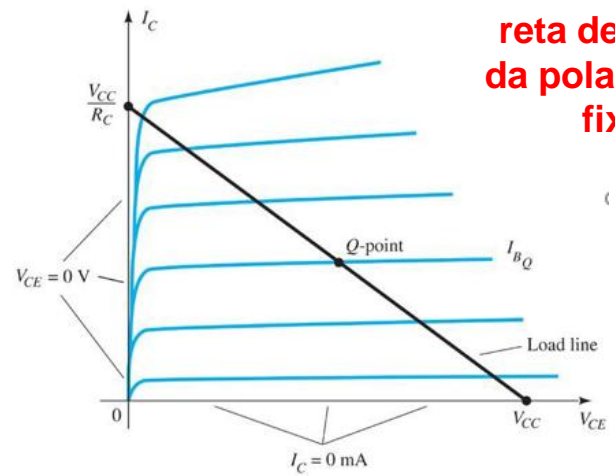
Fig. 4.121

Recordação



I_{Csat}
 $I_C = V_{CC} / R_C$
 $V_{CE} = 0 V$

 $V_{CEcutoff}$
 $V_{CE} = V_{CC}$
 $I_C = 0 mA$

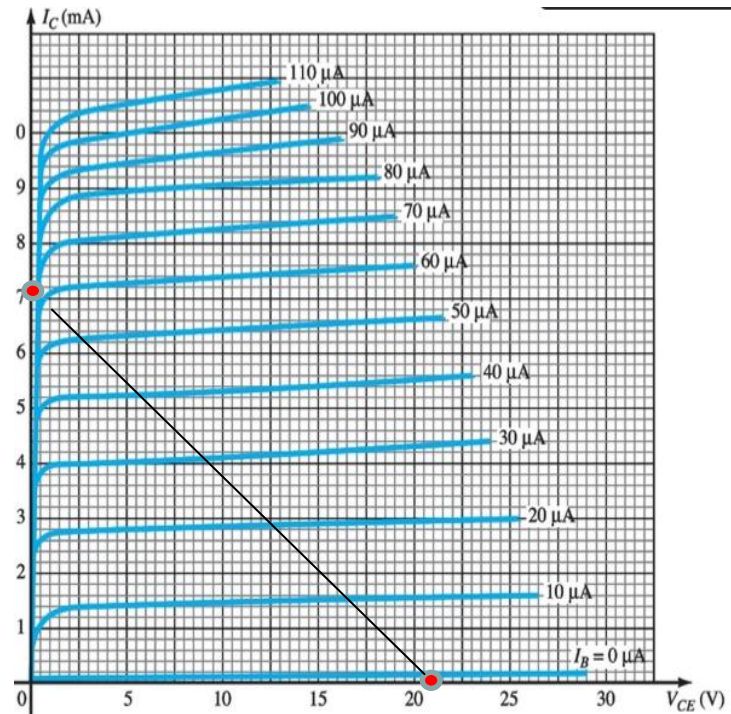
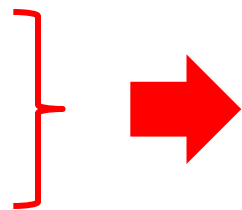


reta de carga da polarização fixa

 a) Reta de Carga

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{21V}{3K\Omega} = 7mA$$

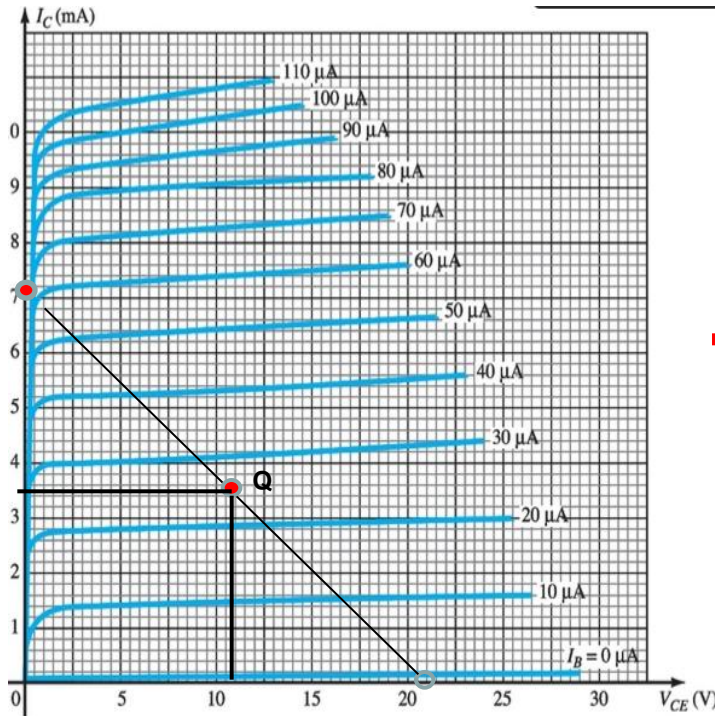
$$V_{CE} = V_{CE} = 21V$$



■ b) Escolha do ponto de operação

$$\text{se } I_B = 25\mu\text{A} \quad \longrightarrow \quad R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{21\text{V} - 0,7\text{V}}{25\mu\text{A}} = 812\text{K}\Omega$$

■ c) I_{CQ} e V_{CQ}



$$\left\{ \begin{array}{l} I_{CQ} \cong 3.3\text{mA} \\ V_{CQ} \cong 10,75\text{V} \end{array} \right.$$

■ d) β

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.4\text{mA}}{25} = 136$$

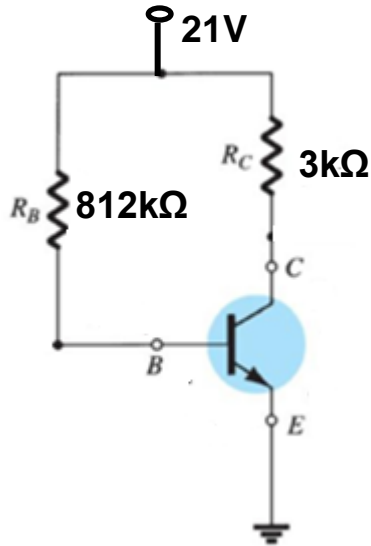
■ e) α

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{136}{136 + 1} = 0.992$$

f) I_{Csat}

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{21V}{3k\Omega} = 7mA$$

g)



h) P_D

$$P_D = V_{CEQ} I_{CQ} = 10.75 \times 3.4 \text{ mA} = 36.55 \text{ mW}$$

i) P_S

$$P_S = V_{CC} (I_C + I_B) = 21V (3.4 \text{ mA} + 25 \mu\text{A}) = 7.92 \text{ mW}$$

i) P_R

$$P_R = P_S - P_D = 71.92 \text{ mW} - 36.55 \text{ mW} = 35.57 \text{ mW}$$

Ex. 45 (pg. 215)

Para o circuito com acoplamento da Fig. 4.141, determine:

- As tensões V_B , V_C e V_E para cada transistor utilizando o cálculo aproximado).
- As correntes I_B , I_C e I_E para cada transistor.

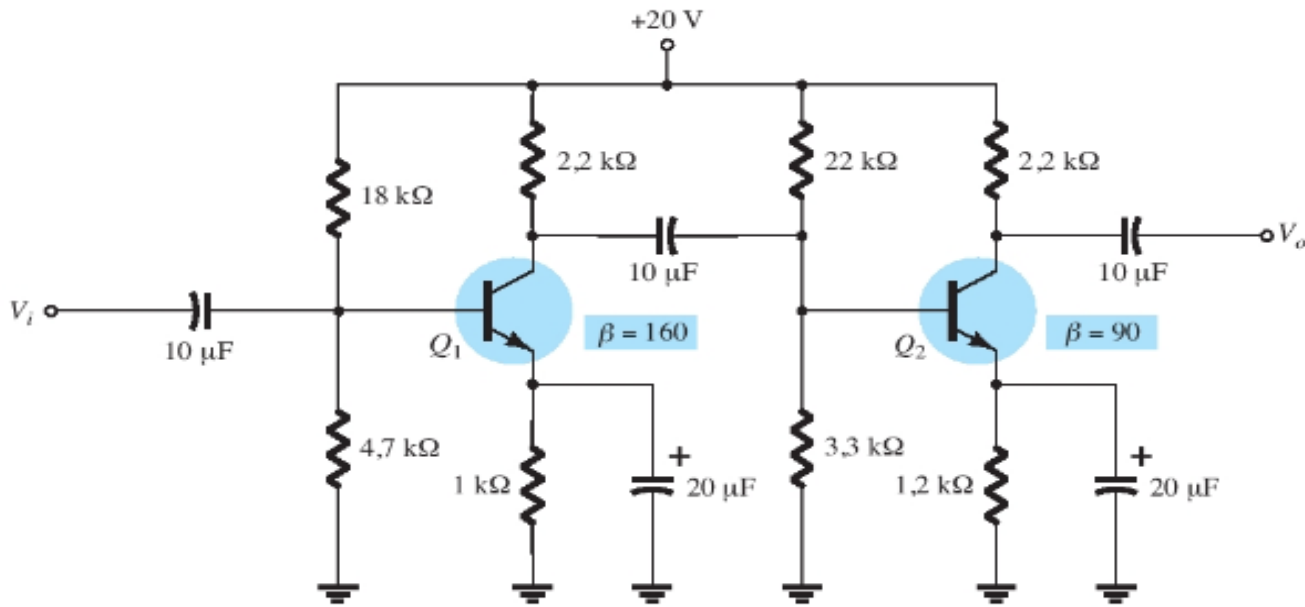
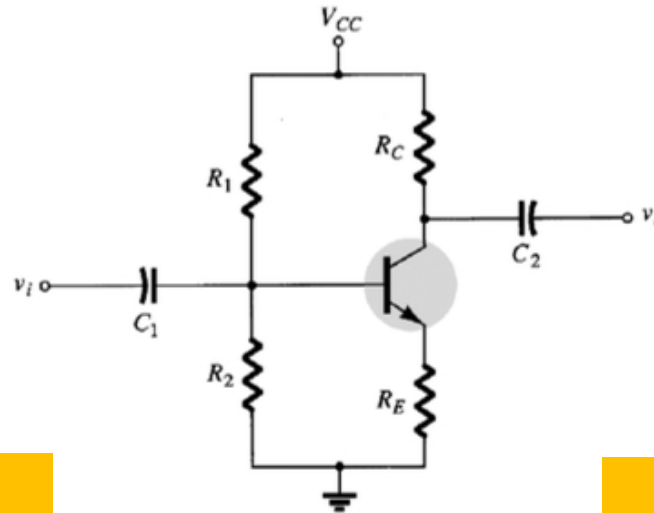


Fig. 4.141

Recordação



Análise DC Método Exato

$$R_{Th} = R_1 \parallel R_2$$
$$E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$
$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$
$$I_C = \beta I_B$$
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Análise DC Método Aproximado

$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

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

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

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

$$I_{CQ} \cong I_E$$

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

O circuito com acoplamento tem dois amplificadores emissores comum.

a) As tensões V_B , V_C e V_E para cada transistor utilizando o cálculo aproximado).

Amplificador mais próximo da entrada

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 R_E = 90 \times 1.2 \text{K}\Omega = 108 \text{K}\Omega \\ 10 R_{22} = 10 \times 4.7 \text{k}\Omega = 47 \text{k}\Omega \end{array} \right\} \longrightarrow \beta R_E \geq 10 R_2$$

(o método aproximado por ser utilizado !)

V_{B1}

$$\boxed{V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}} \longrightarrow V_{B1} = \frac{4.7 \text{k}\Omega \times 20 \text{V}}{4.7 \text{k}\Omega + 18 \text{k}\Omega} = 4.14 \text{V}$$

V_{E1}

$$\boxed{V_E = V_B - V_{BE}} \longrightarrow V_{E1} = 4.14 \text{V} - 0.7 \text{V} = 3.44 \text{V}$$

V_{C1}

$$I_{C1} \cong I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = \frac{3.44 \text{V}}{1 \text{K}\Omega} = 3.44 \text{mA}$$

$$V_{C1} = V_{CC} - I_{C1} R_{C1} \longrightarrow V_{C1} = 20 \text{V} - (3.34 \text{mA} \times 2.2 \text{k}\Omega) = 12.43 \text{V}$$

- Amplificador mais próximo da saída

$$\beta R_E = 160 \times 1\text{k}\Omega = 160\text{k}\Omega$$

$$10 R_2 = 10 \times 3.3\text{k}\Omega = 33\text{k}\Omega$$



$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

(o método aproximado por ser utilizado !)

- V_{B2}

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



$$V_{B2} = \frac{3.3\text{k}\Omega \times 20\text{V}}{3.3\text{k}\Omega + 22\text{k}\Omega} = 2,61\text{V}$$

- V_{E2}

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



$$V_{E1} = 2.61\text{V} - 0.7\text{V} = 1.91\text{V}$$

b) As correntes I_B , I_C e I_E para cada transistor.

- I_{C2}

$$I_{C2} \cong I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{1,91\text{V}}{1.2\text{k}\Omega} = 1.59\text{mA}$$

- V_{C2}

$$V_{C2} = V_{CC} - I_{C2} R_{C2} \quad \longrightarrow \quad V_{C1} = 20\text{V} - (1.59\text{mA} \times 2.2\text{k}\Omega) = 16.5\text{V}$$

- Amplificador mais próximo da saída

$$\beta R_E = 160 \times 1\text{k}\Omega = 160\text{k}\Omega$$

$$10 R_2 = 10 \times 3.3\text{k}\Omega = 33\text{k}\Omega$$



$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

(o método aproximado por ser utilizado !)

- I_{B1}

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} = \frac{3.44\text{mA}}{160} = 21.50\mu\text{A}$$

- I_{B2}

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} = \frac{1.59\text{mA}}{90} = 17.67\mu\text{A}$$

Ex. 46 (pg. 215)

Para o amplificador Darlington da Fig. 4.142 determine:

- O valor de β_D .
- A corrente de base de cada transistor.
- A corrente de coletor de cada transistor.
- As tensões v_{C1} , v_{C2} , v_{E1} e v_{E2} .

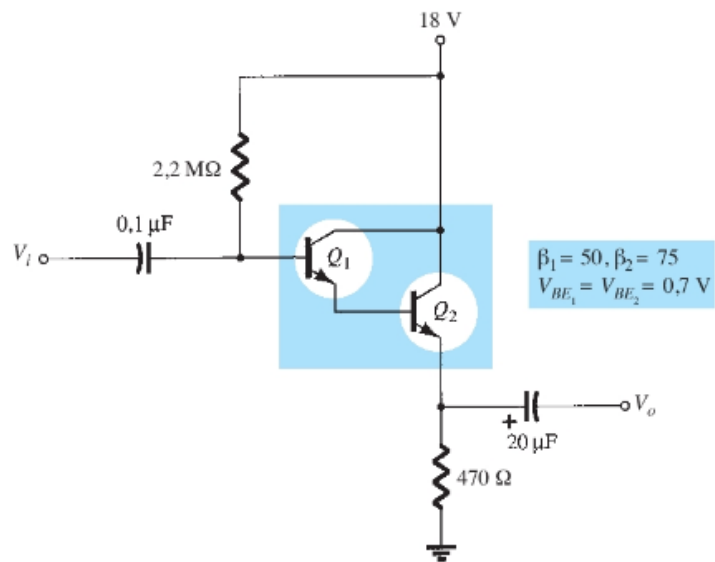
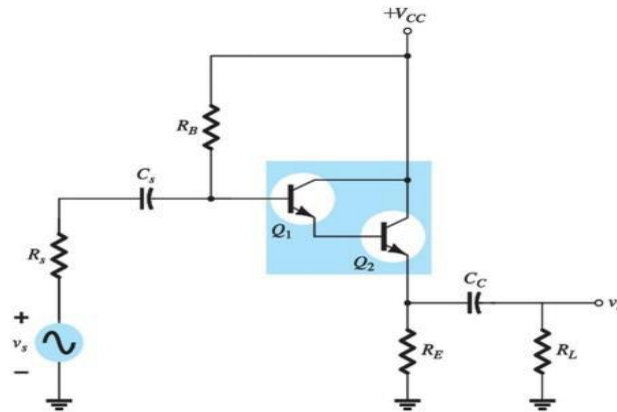


Fig. 4.142

Recordação



Análise DC

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE_D}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E}$$

$$I_{B2} = I_{E1} = (\beta + 1) I_{B1}$$

$$I_{C2} \cong I_{E2} = \beta_D I_{B1}$$

$$V_{BE_D} = V_{BE1} + V_{BE2}$$

$$V_{E2} = I_{E2} R_E$$

$$V_{C2} = V_{CC}$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - V_{E2}$$

■ a) β_D

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2 = 50 \times 75 = 3750$$

■ b) I_{B1} e I_{B2}

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{BE2}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E} \longrightarrow I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{BE2}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E} = \frac{18V - 0.7V - 0.7V}{2.2M\Omega + (3750 + 1)470\Omega}$$

$$\longrightarrow I_{B1} = 4.19\mu A$$

$$I_{B2} = I_{E1} = (\beta + 1) I_{B1} \longrightarrow I_{B2} = (50 + 1)(4.19\mu A) = 213.69\mu A$$

■ c) I_{C1} e I_{C2}

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = 50 \times 4.19\mu A = 0.21mA$$

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = 75 \times 213.69\mu A = 16.03mA$$

■ d) V_{C1} , V_{C2} , V_{E1} e V_{E2}

$$V_{C1} = V_{C2} = 18V$$

$$V_{E2} = I_E R_E \cong I_{C2} R_E = 16.03mA \times 470\Omega = 7.53V$$

$$V_{E1} = V_{E2} + 0.7V = 7.53V + 0.7V = 8.23V$$

Ex. 65 (pg. 219)

Para o circuito da figura 4.118, determine:

a) $S(I_{CO})$

b) $S(V_{BE})$

c) $S(\beta)$

d) Determine a variação em I_C se uma alteração nas condições de operação resultar em um aumento de I_{CO} de $0,2 \mu\text{A}$ para 10μ , em uma queda de tensão de V_{BE} $0,7\text{V}$ para $0,5\text{V}$ e em uma elevação de 25% em β .

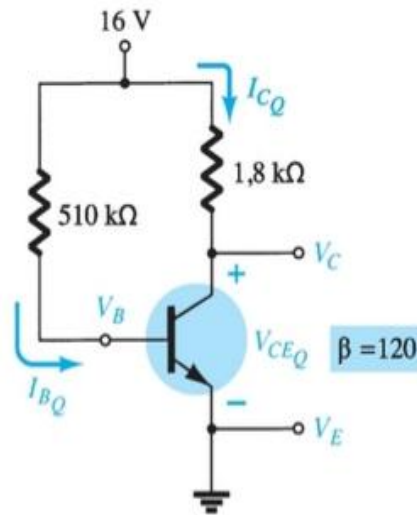
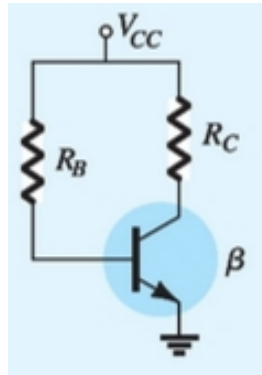


Fig. 4.118

Recordação

Polarização Fixa



Fatores de Estabilidade

$$S(I_{CO})$$

$$S(I_{CO}) \cong \beta$$

Fatores de Estabilidade

$$S(V_{BE})$$

$$S(V_{BE}) \cong \frac{-\beta}{R_B}$$

Fatores de Estabilidade

$$S(\beta)$$

$$S(\beta) = \frac{I_{C1}}{\beta_1}$$

$$\Delta I_C = S(I_{CO})\Delta I_{CO} + S(V_{BE})\Delta V_{BE} + S(\beta)\Delta\beta$$

■ a) $S(I_{CO})$

$$S(I_{CO}) = \beta = 120$$

■ b) $S(V_{BE})$

$$S(V_{BE}) \cong \frac{-\beta}{R_B} \rightarrow S(V_{BE}) = -\frac{120}{510K\Omega} \beta = -235 \times 10^{-6} S$$

■ c) $S(\beta)$

$$S(\beta) = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \rightarrow S(\beta) = \frac{3.6mA}{120} = 30 \times 10^{-6} A$$

■ d) ΔI_C

$$\Delta I_C = S(I_{CO})\Delta I_{CO} + S(V_{BE})\Delta V_{BE} + S(\beta)\Delta\beta \rightarrow$$

$$\Delta I_C = (120) \times (10\mu A - 0.2\mu A) + (-235 \times 10^{-6} S) \times (0.5V - 0.7V) + (30 \times 10^{-6} A) \times (150 - 120)$$

$$\rightarrow \Delta I_C = 2.12mA$$

Ex. 67 (pg. 219)

Para o circuito da figura 4.125, determine:

- a) $S(I_{CO})$
- b) $S(V_{BE})$
- c) $S(\beta)$
- d) Determine a variação líquida em I_C se uma alteração nas condições de operação resultar em um aumento de I_{CO} de $0,2 \mu A$ para 10μ , em uma queda de tensão de V_{BE} $0,7V$ para $0,5V$ e em uma elevação de 25% em β .

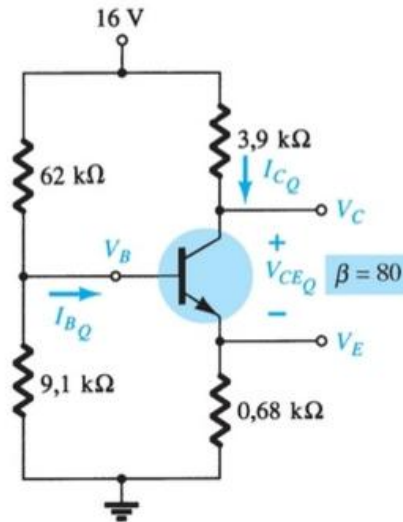
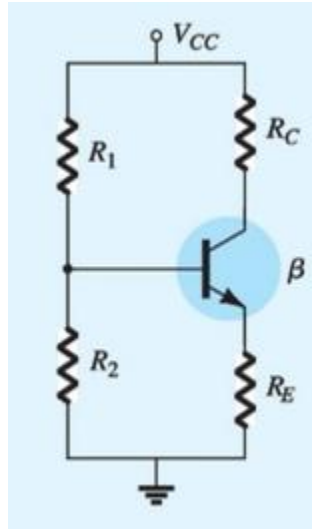


Fig. 4.125

Recordação

Polarização por Divisor de Tensão



Fatores de Estabilidade

$$S(I_{CO})$$

$$S(I_{CO}) \cong \frac{\beta(1 + R_{Th}/R_E)}{\beta + R_{Th}/R_E}$$

Fatores de Estabilidade

$$S(V_{BE})$$

$$S(V_{BE}) = \frac{-\beta/R_E}{\beta + R_{Th}/R_E}$$

Fatores de Estabilidade

$$S(\beta)$$

$$S(\beta) = \frac{I_{C1}(1 + R_{Th}/R_E)}{\beta_1(\beta_2 + R_{Th}/R_E)}$$

$$\Delta I_C = S(I_{CO})\Delta I_{CO} + S(V_{BE})\Delta V_{BE} + S(\beta)\Delta\beta$$

■ a) $S(I_{CO})$

$$S(I_{CO}) \cong \frac{\beta(1 + R_{Th}/R_E)}{\beta + R_{Th}/R_E} \rightarrow S(I_{CO}) = -\frac{80(1+7.97k\Omega/0.68k\Omega)}{80+7.94K\Omega/0.68k\Omega} = 11.06$$

■ b) $S(V_{BE})$

$$S(V_{BE}) = \frac{-\beta/R_E}{\beta + R_{Th}/R_E} \rightarrow S(V_{CE}) = -\frac{80/0.68k\Omega}{80+7.94K\Omega/0.68k\Omega} = -1280 \times 10^{-6} S$$

■ c) $S(\beta)$

$$S(\beta) = \frac{I_{C1}(1 + R_{Th}/R_E)}{\beta_1(\beta_2 + R_{Th}/R_E)} \rightarrow S(\beta) = -\frac{1.71mA(1+7.94k\Omega/0.68k\Omega)}{80(100 + 7.94K\Omega/0.68k\Omega)} = 2.43 \times 10^{-6} A$$

■ d) ΔI_C

$$\Delta I_C = S(I_{CO})\Delta I_{CO} + S(V_{BE})\Delta V_{BE} + S(\beta)\Delta\beta \rightarrow$$

$$\Delta I_C = (11.06) \times (10\mu A - 0.2\mu A) + (-1280 \times 10^{-6} S) \times (0.5V - 0.7V) + (2.43 \times 10^{-6} A) \times (100 - 80)$$

$$\rightarrow \Delta I_C = 0.313 mA$$