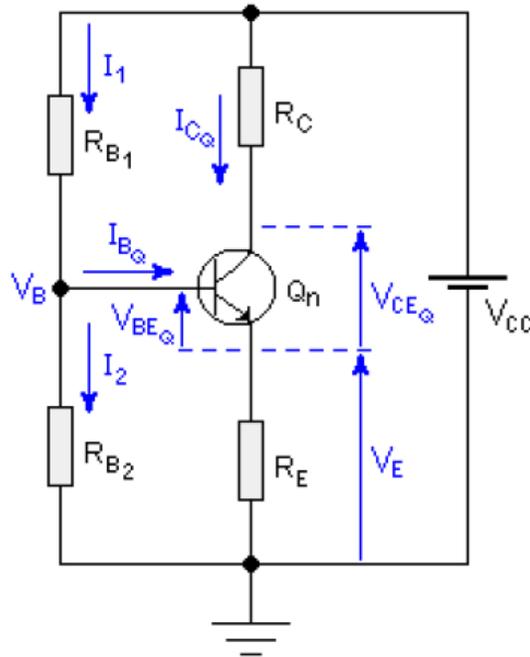


# **Análise DC em Amplificadores com BJT**

## Fator de Estabilidade (S)

A Figura abaixo apresenta o circuito de polarização mais e o mais usado para se obter um ponto de polarização estável !

Mais estável será esse ponto quanto maior for o resistor  $R_E$  e menor for o resistor  $R_B$ . O fator de estabilidade  $S$ , dado pela equação abaixo, define as faixas de maior ou menor estabilidade do circuito.



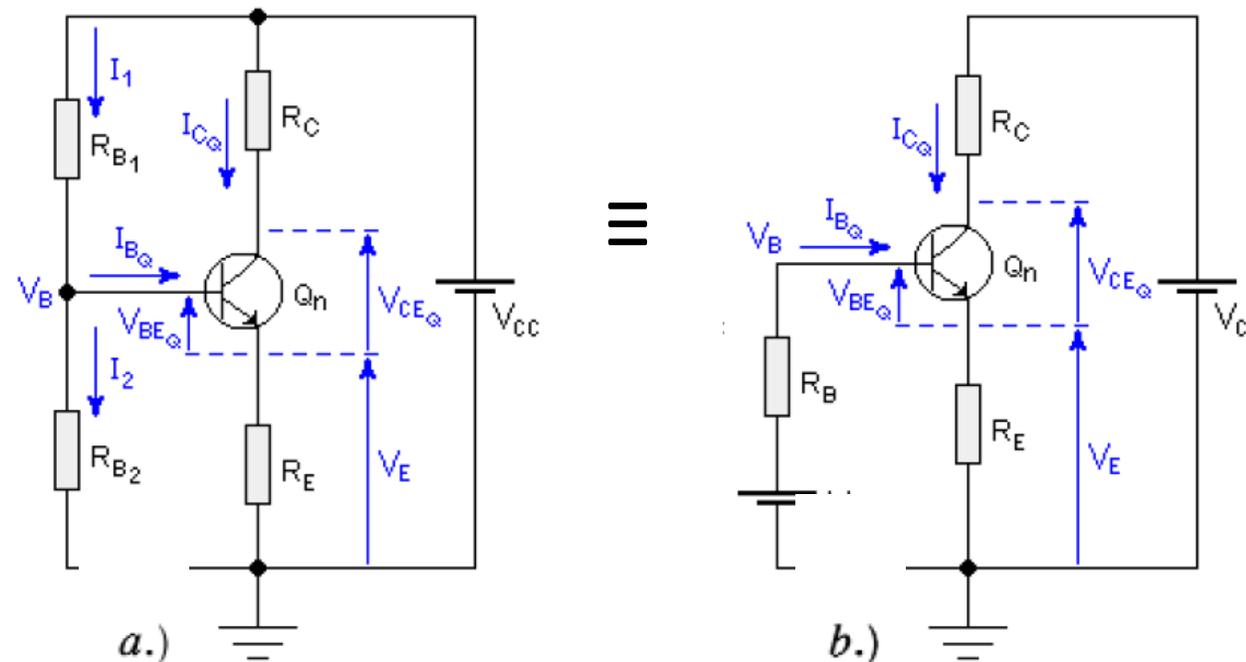
$$S \approx 1 + \frac{R_B}{R_E}$$

Esta equação está demonstrada na "Aula 11 - BJT Estabilidade de Polarização" (slides 30 à 32)

- $1 < S \leq 10 \Rightarrow$  pontos de polarização superestáveis.
- $10 < S \leq 20 \Rightarrow$  pontos de polarização estáveis.
- $20 < S \leq 30 \Rightarrow$  pontos de polarização pouco estáveis.
- $S > 30 \Rightarrow$  pontos de polarização instáveis.

**Cálculo da Polarização por Divisão de Tensão !**

O tutorial de cálculo a seguir descrito está na apostila "BJT Resumo da Teoria (pgs. 1 – 4)"



Circuito de Polarização por Divisão de Tensão

1 Escolher  $V_{CC}$  ( $3 V \leq V_{CC} \leq V_{CEmax}$ ).

2 Escolher  $I_{CQ}$  ( $10 \mu A \leq I_{CQ} \leq 10 mA$ ).

3 Escolher  $V_E$  ( $V_E = \eta V_{CC}$ )

$0,05 \leq \eta \leq 0,2$ ; sendo  $\eta_{tip}=0,1$  p/ EC e BC.

$0,25 \leq \eta \leq 0,75$ ; sendo  $\eta_{tip}=0,5$  p/ CC.

4 Calcular  $R_E$ :

$$R_E \approx \frac{V_E}{I_{CQ}} \Rightarrow \text{Arredondar } R_E \text{ para o valor comercial mais próximo.}$$

5 Escolher S (usar os critérios de estabilidade)

6 Calcular  $R_B$ :

$$R_B = (S - 1) \times R_E$$

7 Calcular  $V_{BB}$ :

$$V_{BB} = \frac{(\beta + 1) \times R_E + R_B}{\beta} I_{CQ} + V_{BEQ}$$

8 Calcular  $R_{B1}$ :

$$R_{B1} = \frac{V_{CC}}{V_{BE}} R_B \Rightarrow \text{Arredondar } R_{B1} \text{ para o valor comercial mais próximo.}$$

9 Calcular  $R_{B2}$ :

$$R_B = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \Rightarrow \text{Arredondar } R_{B2} \text{ para o valor comercial mais próximo.}$$

10 Recalcular  $R_B$  e  $I_{CQ}$  em função dos valores de  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  e  $R_E$  arredondados:

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

$$I_{CQ} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + S \times I_{CBo}$$

**Equação deduzida por somatória de correntes nas malhas !**

Obs.:  $I_{CBo}$  pode ser considerada desprezível em temperaturas ambientes situadas na faixa:  $10^\circ\text{C} \leq \theta \leq 30^\circ\text{C}$  e  $r_x$ , que é a resistência interna de perdas de base, normalmente também é considerada nula em cálculos manuais.

11 Calcular  $R_C$ :

Para  $EC$  e  $BC$ : 
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) \times R_E \times I_{CQ}}{I_{CQ}} \quad V_{CEQ} \approx \frac{1 - \eta}{2} V_{CC}$$

$\Rightarrow$  Arredondar  $R_C$  para o valor comercial mais próximo.

Para  $CC$ :  $R_C = 0$

12 Recalcular  $V_{CEQ}$  em função do valor de  $R_C$  arredondado:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left( R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E \right) \times I_{CQ}$$



**Equação deduzida por somatória de correntes nas malhas !**

**Obs: A apostila “Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT” (Veronese PR, 2014) descreve cálculos sobre análise DC e análise AC de diversos circuitos com BJT.**

**Os exercícios a seguir descrevem apenas a análise DC !**

# **Polarização com Divisor de Tensão (Síntese)**

**Amplificador Emissor Comum**

**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um**

**amplificador emissor comum**

**(os resistores de polarização NÃO são conhecidos)**

**(exercício 2 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercícios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 3 – 6)**

**A análise AC deste exercício (pg. 7 – 9)  
será analisada posteriormente !**

## Exercício

- a) Polarizar o transistor de um amplificador emissor comum de modo que as seguintes condições sejam satisfeitas @ 25 °C :  $I_{CQ} = 100 \mu A \pm 2\%$ ,  $V_{CEQ} = 5,4 V \pm 2\%$ ,  $S = 9,5 \pm 10\%$ ,  $R_{B1a} \leq 0,2R_{B1}$

### OBS:

O modelo de Gummel – Poon será apresentado na análise AC dos amplificadores com BJT. Através das equações desse modelo mostra-se que para a polarização desejada os valores calculados de  $\beta$  e  $V_{BE}$  são:

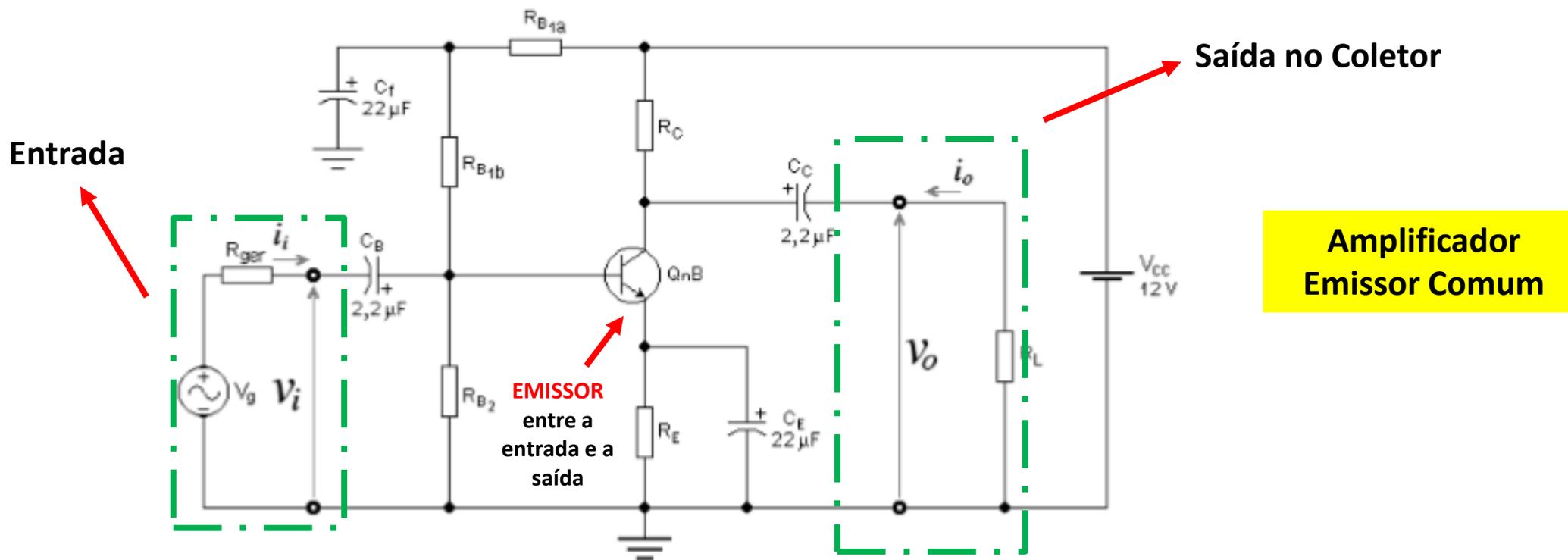
$$\beta = 291,957 \text{ e } V_{BE} = 0,58271V .$$

Da tabela 1 observa-se que o transistor  $Q_{nB}$  é semelhante ao transistor BC548B:

Tabela 1 – Parâmetros CC do transistor  $Q_nC$

	<b>QnA</b>	<b>QnB</b>	<b>QnC</b>	<b>BC548A</b>	<b>BC548B</b>	<b>BC548C</b>
$I_B [\mu A]$	11,80	7,49	4,26	11,70	7,44	4,24
$I_C [mA]$	2,13	2,17	2,20	2,13	2,17	2,20
$V_{BE} [V]$	0,658	0,658	0,659	0,658	0,658	0,659
$V_{BC} [V]$	-4,27	-4,13	-4,03	-4,27	-4,13	-4,03
$V_{CE} [V]$	4,93	4,79	4,69	4,93	4,79	4,69
$\beta_{DC}$	180	290	517	181	292	520

- b) Calcular o espalhamento do ponto quiescente calculado no item a, sabendo-se que na fabricação em série o transistor  $Q_nB$  pode apresentar o seguinte espalhamento de parâmetros @ 25 °C:  
 $180 \leq \beta \leq 525$ ,  $0,57 \text{ V} \leq V_{BE} \leq 0,59 \text{ V}$ .



**OBS:** O divisor de tensão optativo,  $R_{B1a}$  e  $R_{B1b}$ , juntamente com o capacitor  $C_f$ , formam um filtro que evita que ruídos da fonte de alimentação atinjam a base do transistor e possam ser amplificados por ele.

## Cálculo da Polarização

1 Escolher  $V_{CC}$  ( $3 V \leq V_{CC} \leq V_{CEmax}$ ).

$$V_{CC} = 12 V$$

2 Escolher  $I_{CQ}$  ( $10 \mu A \leq I_{CQ} \leq 10 mA$ ).

$$I_{CQ} = 100 \mu A$$

3 Escolher  $V_E$  ( $V_E = \eta V_{CC}$ )

$0,05 \leq \eta \leq 0,2$ ; sendo  $\eta_{tip} = 0,1$  p/ EC e BC.

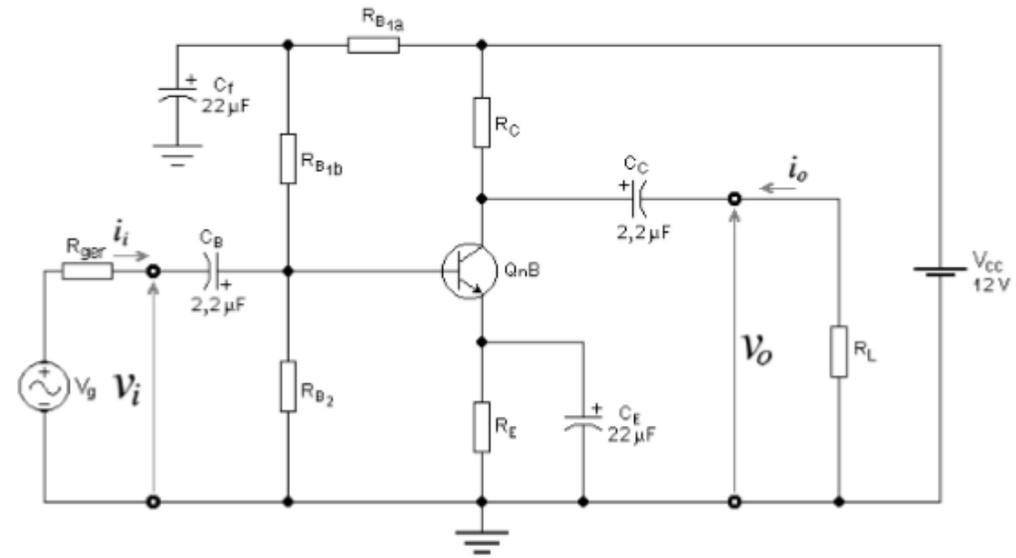
$0,25 \leq \eta \leq 0,75$ ; sendo  $\eta_{tip} = 0,5$  p/ CC.

Considerando que o circuito é um emissor comum, resulta na escolha de  $\eta_{tip} = 0,1$

$$V_E = 1,2 V$$

4 Calcular  $R_E$ :

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} \frac{\beta}{\beta+1} \longrightarrow R_E \approx \frac{V_E}{I_{CQ}} \longrightarrow R_E = \frac{1,2}{100 \times 10^{-6}} \times \frac{291,957}{292,957} = 11959 \text{ } [\Omega] \longrightarrow R_E = 12 \text{ K}\Omega$$



5

Escolher S:

$$S = 9,5$$

6

Calcular  $R_B$ :

$$R_B = (S - 1) \times R_E = (9,5 - 1) \times 12000 = 102 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

7

Calcular  $V_{BB}$ :

$$V_{BB} = \frac{(\beta + 1) \times R_E + R_B}{\beta} \times I_{CQ} + V_{BEQ} = \frac{292,957 \times 12k + 102k}{291,957} \times 100\mu + 0,58271 = 1,82 \text{ [V]}$$

8

Cálculo de  $R_{B1}$ 

$$R_{B1} = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \times R_B = \frac{12}{1,82} \times 102k = 671,9 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

8

Cálcular  $R_{B1a}$  e  $R_{B1b}$ 

$$R_{B1a} + R_{B1b} = R_{B1} = 671,9 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_{B1a} \leq 0,2 \times R_{B1} = 0,2 \times 671,9 = 134,38 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_{B1b} \geq R_{B1} - R_{B1a} = 671,9k - 134,38 = 537,52 \text{ [k}\Omega\text{]} \longrightarrow R_{B1b} = 560 \text{ K}\Omega$$

$$R_{B1a} = R_{B1} - R_{B1b} = 671,9k - 560k = 111,9 \text{ [k}\Omega\text{]} \longrightarrow R_{B1a} = 120 \text{ K}\Omega$$

Na análise CC o capacitor  $C_F$  entre  $R_{B1a}$  e  $R_{B1b}$  é um circuito aberto. Logo:

$$R_{B1} = R_{B1a} \text{ e } R_{B1b} = 120 \text{ k}\Omega + 560 \text{ K}\Omega = 680 \text{ K}\Omega$$

9

Cálcular  $R_{B2}$ 

$$R_{B2} = \frac{R_{B1} \times R_B}{R_{B1} - R_B} = \frac{680k \times 102k}{680k - 102k} \longrightarrow R_{B2} = 120 \text{ K}\Omega$$

10 Recalcular  $R_B$  e  $I_{CQ}$  em função dos valores de  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  e  $R_E$  arredondados:

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

$$R_B = \frac{680k \times 120k}{680k + 120k} = 102 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$I_{CQ} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + \underbrace{S \times I_{CB0}}_{(\approx 0)} = \frac{\left(\frac{12}{680k} - \frac{0,58271}{102k}\right) \times 102k \times 291,957}{102k + 292,957 \times 12k} \rightarrow I_{CQ} = 98,244 \mu\text{A}$$

11 Calcular  $R_C$ :

Para uma polarização em Classe A, com o ponto quiescente aproximadamente no centro da reta de carga, deve-se fazer:  $V_{CEQ} = (V_{CC} - V_E) / 2 = (12 - 1,2) / 2 = 5,4\text{V}$ . Então, para um amplificador BC:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - \frac{\beta + 1}{\beta} R_E I_{CQ}}{I_{CQ}} = \frac{12 - 5,4 - \frac{292,957}{291,957} \times 12k \times 98,244 \mu}{98,244 \mu} = 55,14 \text{ [k}\Omega\text{]} \rightarrow R_C = 56 \text{ k}\Omega$$

12

Calcular  $V_{CEQ}$ 

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \times R_E + R_C \right) \times I_{CQ} = 12 - \left( \frac{292,957}{291,957} \times 12k + 56k \right) \times 98,244\mu \longrightarrow V_{CEQ} = 5,3154 V$$

Observar que:  $V_{CEQ} \approx \frac{1 - \eta}{2} V_{CC} = 5.4V$

## Cálculo da Espalhamento do Ponto Quiescente

Considerando que  $V_E = V_B - V_{BE}$  e que  $I_E = V_E / R_E$ , a máxima corrente de coletor ocorre quando  $\beta = \beta_{\max}$  e  $V_{BE} = V_{BE\min}$ :

$$I_{C_Q} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BE_Q}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + \underbrace{S \times I_{CB0}}_{(\approx 0)} \longrightarrow I_{C_{\max}} = \frac{\left(\frac{12}{680k} - \frac{0,57}{102k}\right) \times 102k \times 525}{102k + 526 \times 12k} = 100,68 \quad [\mu A]$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - \left(R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E\right) \times I_{C_Q} \longrightarrow V_{CE_{\min}} = 12 - \left(\frac{526}{525} \times 12k + 56k\right) \times 100,68 \mu = 5,15 \quad [V]$$

Considerando que  $V_E = V_B - V_{BE}$  e que  $I_E = V_E / R_E$ , a mínima corrente de coletor ocorre quando  $\beta = \beta_{\min}$  e  $V_{BE} = V_{BE\max}$ :

$$I_{C_Q} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BE_Q}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + \underbrace{S \times I_{CB0}}_{(\approx 0)} \rightarrow I_{C_{\min}} = \frac{\left(\frac{12}{680k} - \frac{0,59}{102k}\right) \times 102k \times 180}{102k + 181 \times 12k} = 95,78 \text{ } [\mu\text{A}]$$
$$V_{CE_Q} = V_{CC} - \left(R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E\right) \times I_{C_Q} \rightarrow V_{CE_{\max}} = 12 - \left(\frac{182}{181} \times 12k + 56k\right) \times 95,78 \mu = 5,48 \text{ } [\text{V}]$$

Considerando-se o espalhamento obtêm-se:

$$95,78 \mu\text{A} \leq I_C \leq 100,68 \mu\text{A}$$
$$5,15 \text{ V} \leq V_{CE} \leq 5,48 \text{ V}$$

**Constata-se que mesmo para uma variação de  $\beta$  da ordem de 200%, o ponto quiescente permanece bem estável, resultando  $I_{CQ}$  com uma variação total da ordem de 5%, que está dentro da tolerância de valores dos resistores comerciais comuns.**

O divisor de tensão optativo,  $R_{B1a}$  e  $R_{B1b}$ , juntamente com o capacitor  $C_f$ , formam um filtro que evita que ruídos da fonte de alimentação atinjam a base do transistor e possam ser por ele amplificadas.

# **Polarização com Divisor de Tensão (Síntese)**

**Amplificador Base Comum**

**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um **amplificador base comum** (os resistores de polarização NÃO são conhecidos)**

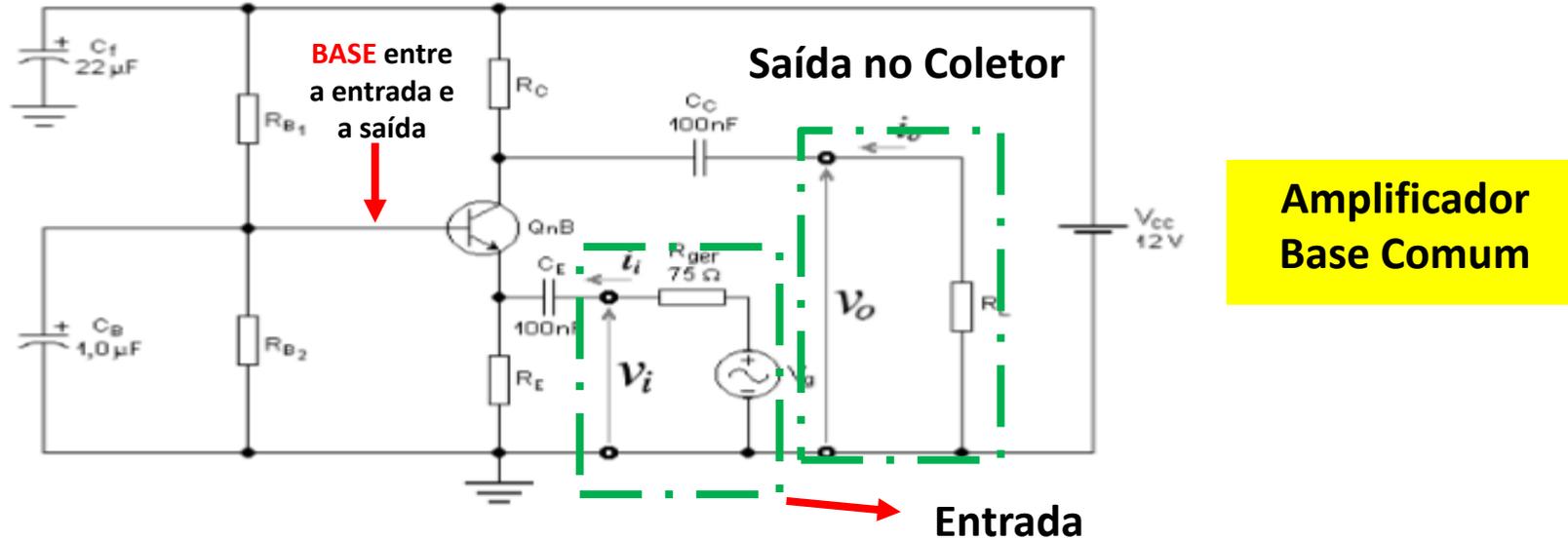
**!**

**(exercício 4 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercicios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 9 – 12)**

**A análise AC deste exercício (pg. 12 – 14) será analisada posteriormente !**

## Exercício

- a) O amplificador da Figura é do tipo base-comum. Calcular para esse circuito os resistores de polarização de modo que  $S = 9,5 + 5\% @ 25^\circ\text{C}$ . Dados:  $\beta = 291$  e  $V_{BE} = 0,61\text{V}$



- b) Da tabela 1 observa-se que o transistor  $Q_{nB}$  é semelhante ao transistor BC548B:

Tabela 1 – Parâmetros CC do transistor  $Q_{nB}$

	<b>QnA</b>	<b>QnB</b>	<b>QnC</b>	<b>BC548A</b>	<b>BC548B</b>	<b>BC548C</b>
$I_B$ [ $\mu\text{A}$ ]	11,80	7,49	4,26	11,70	7,44	4,24
$I_C$ [mA]	2,13	2,17	2,20	2,13	2,17	2,20
$V_{BE}$ [V]	0,658	0,658	0,659	0,658	0,658	0,659
$V_{BC}$ [V]	-4,27	-4,13	-4,03	-4,27	-4,13	-4,03
$V_{CE}$ [V]	4,93	4,79	4,69	4,93	4,79	4,69
$\beta_{DC}$	180	290	517	181	292	520

Na análise AC de um amplificador base comum mostra-se que a corrente  $I_{CQ}$  pode ser determinada através da equação da resistência de entrada. Para este circuito mostra-se que  $I_{CQ} = 336,11 \mu A$ .

Seguindo-se o roteiro de polarização obtêm-se as resistências  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $R_C$  e  $R_E$ :

1 Escolher  $V_{CC}$  ( $3 V \leq V_{CC} \leq V_{CEmax}$ ).

O valor de  $V_{CC} = 12V$

2 Escolher  $I_{CQ}$  ( $10 \mu A \leq I_{CQ} \leq 10 mA$ )

O valor de  $I_{CQ}$  foi fornecido e  $I_{CQ} = 336,11 \mu A$ .

3 Escolher  $V_E$  ( $V_E = \eta V_{CC}$ )

$0,05 \leq \eta \leq 0,2$ ; sendo  $\eta_{tip} = 0,1$  p/ EC e BC.

$0,25 \leq \eta \leq 0,75$ ; sendo  $\eta_{tip} = 0,5$  p/ CC.

Considerando que o circuito é um base comum, resulta na escolha de  $\eta_{tip} = 0,1$

$V_E = 1,2 V$

4 Calcular  $R_E$ :

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} \frac{\beta}{\beta+1} \longrightarrow R_E = \frac{1,2}{336,11 \times 10^{-6}} \times \frac{291}{292} = 3558 \text{ } [\Omega] \longrightarrow R_E = 3,3k\Omega$$

5 Escolher  $S$  (usar os critérios de estabilidade apresentados na Secção 1).

$$S = 9,5$$

6 Calcular  $R_B$ :

$$R_B = (S - 1) \times R_E \longrightarrow R_B = (S - 1) \times R_E = (9,5 - 1) \times 3300 = 28,05 \text{ } [k\Omega]$$

7 Calcular  $V_{BB}$ :

$$V_{BB} = \frac{(\beta + 1) \times R_E + R_B}{\beta} \times I_{CQ} + V_{BEQ} = \frac{292 \times 3,3k + 28,05k}{291} \times 336,11\mu + 0,616 = 1,7614 \text{ } [V]$$

8

Calcular  $R_{B1}$  e  $R_{B2}$ 

$$R_{B1} = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \times R_B = \frac{12}{1,7614} \times 28,05k = 191,1 \text{ [k}\Omega\text{]} \rightarrow R_{B1} = 180k\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{R_{B1} \times R_B}{R_{B1} - R_B} = \frac{180k \times 28,05k}{180k - 28,05k} = 33,23 \text{ [k}\Omega\text{]} \rightarrow R_{B2} = 33k\Omega$$

9

Recalcular  $R_B$ ,  $I_{CQ}$  e  $V_E$  em função dos valores de  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  e  $R_E$ 

$$R_B = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{180k \times 33k}{180k + 33k} = 27,887 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$I_{CQ} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + \underbrace{S \times I_{CBo}}_{(\approx 0)} = \frac{\left(\frac{12}{180k} - \frac{0,616}{27,887k}\right) \times 27,887k \times 291}{27,887k + 292 \times 3,3k} \rightarrow I_{CQ} = 364,864 \mu A$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} \frac{\beta}{\beta + 1} \rightarrow V_E = \frac{292}{291} \times 364,864 \times 10^{-6} \times 3300 = 1,2082 \text{ [V]}$$

11 Calcular  $R_C$ :

Para uma polarização em Classe A, com o ponto quiescente aproximadamente no centro da reta de carga, deve-se fazer:  $V_{CEQ} = V_{CC} - V_E = (12 - 1,2082)/2 = 5,396$  V. Então, para um amplificador BC:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - \frac{\beta + 1}{\beta} R_E I_{CQ}}{I_{CQ}} = \frac{12 - 5,396 - \frac{292}{291} \times 3,3k \times 364,864\mu}{364,864\mu} = 14,788 \text{ [k}\Omega\text{]} \rightarrow R_C = 15k\Omega$$

12 Calcular  $V_{CEQ}$  considerando o arredondamento comercial de  $R_C$ :

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \times R_E + R_C \right) \times I_{CQ} = 12 - \left( \frac{292}{291} \times 3,3k + 15k \right) \times 364,864\mu \quad \rightarrow V_{CEQ} = 5,31885 \text{ V}$$

# **Polarização com Divisor de Tensão**

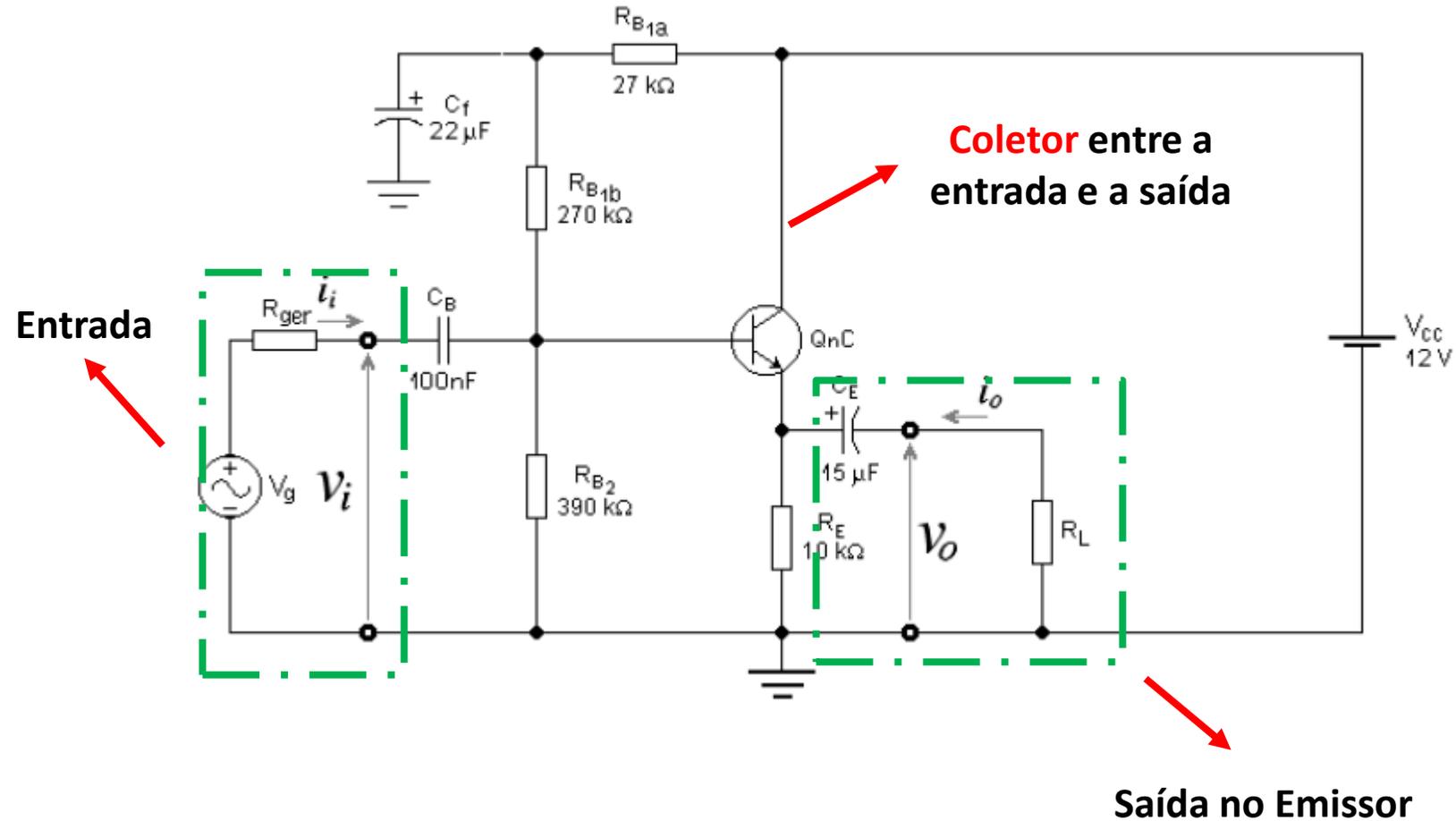
**Amplificador Coletor Comum**

**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um **amplificador coletor comum** (os resistores de polarização são conhecidos)**

**(exercício 5 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercícios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 14 – 15)**

**A análise AC deste exercício (pg. 15 – 18) será analisada posteriormente !**

O amplificador da Figura é coletor comum. Determine os parâmetros  $I_{CQ}$  e  $V_{CQ}$  de polarização @  $25^\circ\text{C}$ :



1 A resistência de base vale:

$$R_B = \frac{(R_{B1a} + R_{B1b}) \times R_{B2}}{R_{B1a} + R_{B1b} + R_{B2}} = \frac{297k \times 390k}{297k + 390k} = 168,6 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

2 Cálculo de  $I_{CQ}$

$$I_{CQ} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta}{R_B + (\beta + 1) \times R_E} = \frac{\left( \frac{12}{297k} - \frac{0,628}{168,6k} \right) \times 168,6k \times 534}{168,6k + 535 \times 10k} = 598,41 \text{ [}\mu\text{A]}$$

3 Cálculo de  $V_{CQ}$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \frac{\beta + 1}{\beta} \times R_E \times I_{CQ} = 12 - \frac{535}{534} \times 10k \times 598,41\mu = 6,005 \text{ [V]}$$

# **Polarização com Divisor de Tensão**

**Amplificador Separador de Fase**

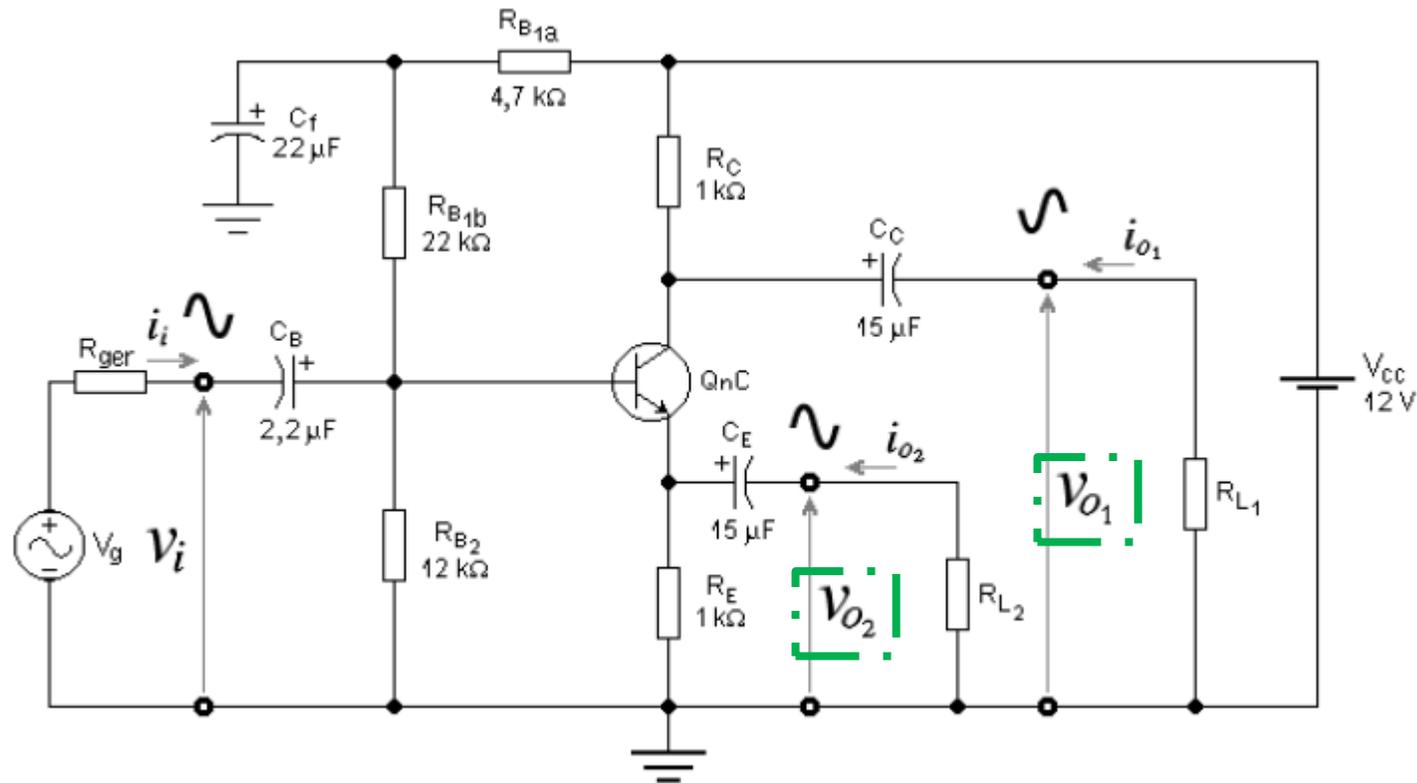
**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um **amplificador separador de fase** (os resistores de polarização são conhecidos)**

**(exercício 6 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercícios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 18 – 20)**

**A análise AC deste exercício (pg. 20 – 22) será analisada posteriormente !**

O amplificador da Figura é um separador de fase. Determine os parâmetros  $I_{CQ}$  e  $V_{CQ}$  de polarização @  $25^\circ\text{C}$ :

**Amplificadores separadores de fase (Phase-Splitter)** são circuitos constituídos de duas saídas que, teoricamente, apresentam ganhos de tensão idênticos e unitários em relação a uma entrada, mas com fases opostas entre si ( $180^\circ$ ). A principal utilidade desse circuito é trabalhar como excitador em contrafase de estágios de saída de potência na configuração *push-pull*.



1 A resistência de base vale:

$$R_B = \frac{(R_{B1a} + R_{B1b}) \times R_{B2}}{R_{B1a} + R_{B1b} + R_{B2}} = \frac{(4,7k + 22k) \times 12k}{4,7k + 22k + 12k} = 8,279 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

2 Cálculo de  $I_{CQ}$

$$I_{CQ} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B1a} + R_{B1b}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta}{R_B + (\beta + 1) \times R_E} = \frac{\left( \frac{12}{26,7k} - \frac{0,670}{8,279k} \right) \times 8,279k \times 534}{8,279k + 535 \times 1k} = 2,999 \text{ [mA]}$$

3 Cálculo de  $V_{CQ}$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \times R_E + R_C \right) \times I_{CQ} = 12 - \left( \frac{535}{534} \times 1k + 1k \right) \times 2,999m = 5,997 \text{ [V]}$$

**Polarização com Divisor de Tensão**  
(exemplo de circuito mal polarizado)

**Amplificador em Cascata com  
Acoplamento DC (ou direto)**

**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um **amplificador em cascata com acoplamento DC.** (os resistores de polarização são conhecidos)!**

**(exercício 7 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercícios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 22 – 26)**

**A análise AC deste exercício (pg. 26 – 28) será analisada posteriormente !**

## Exercício

Para o amplificador em cascata com acoplamento DC ou direto da figura abaixo, calcular o ponto de polarização @ 25 ° C, com  $R_{ger} = 600 \Omega$  e  $R_L = \infty$ .

**OBS:** Esse circuito é semelhante ao exercício 3 mas o segundo estágio utiliza um BJT pnp.

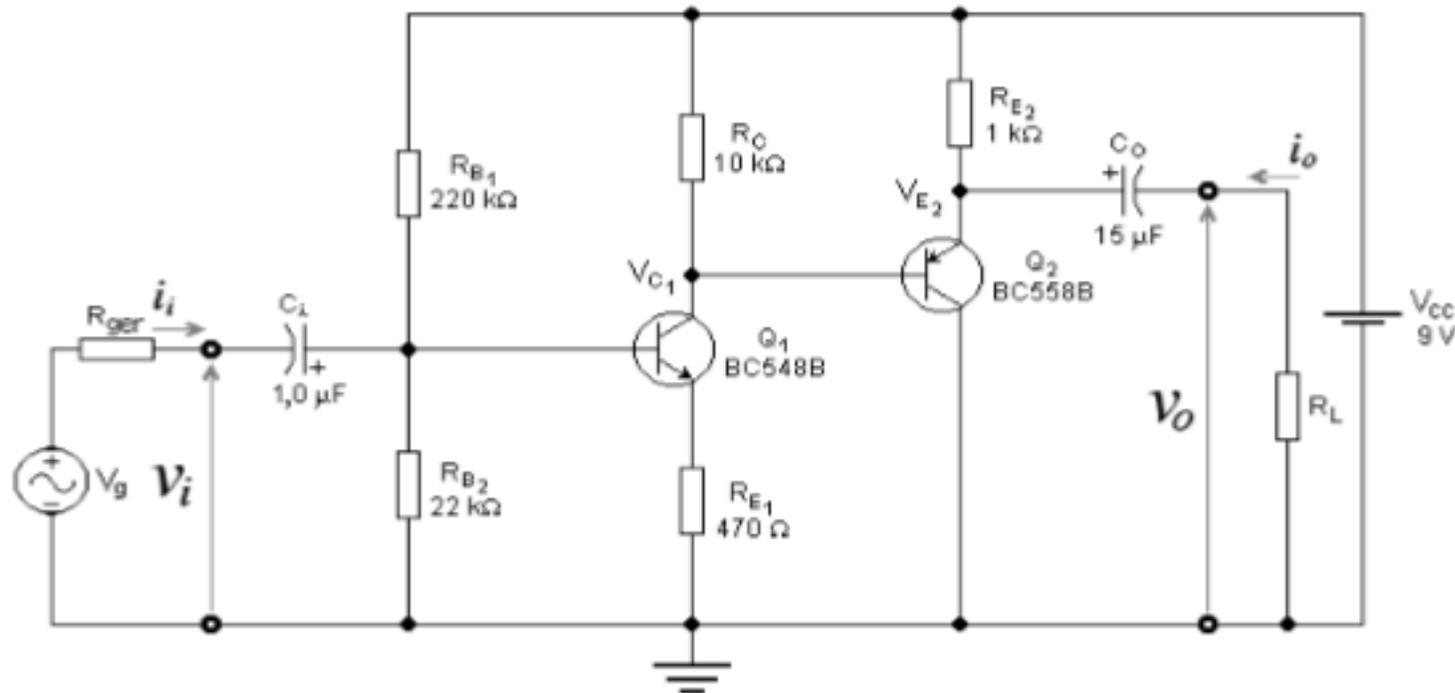


Fig. Amplificador em cascata com acoplamento DC ou direto

## Recordação

### Cálculo do Ponto de Polarização

Seja  $R_B = \frac{(R_{B1a} + R_{B1b}) \times R_{B2}}{R_{B1a} + R_{B1b} + R_{B2}}$  as correntes quiescentes dos transistores do circuito podem ser

calculadas pelas seguintes equações:

$$I_{CQ1} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B1a} + R_{B1b}} - \frac{V_{BE1}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta_1}{R_B + (\beta_1 + 1) \times R_{E1}}$$

$$I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - I_{CQ1} \times R_C}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E2}} \times \beta_2$$

$$V_{C1(\max)} = V_{CC} - \left( I_{CQ1(\min)} + \frac{I_{CQ2(\max)}}{\beta_{2(\max)}} \right) \times R_C$$

$$V_{CEQ1(\max)} = V_{C1(\max)} - \frac{\beta_{1(\min)} + 1}{\beta_{1(\min)}} \times R_{E1} \times I_{CQ1(\min)}$$

$$V_{CEQ2(\min)} = V_{CC} - \frac{\beta_{2(\max)} + 1}{\beta_{2(\max)}} \times R_{E2} \times I_{CQ2(\max)}$$

Em um problema de análise de circuitos eletrônicos no qual as grandezas elétricas estáticas são desconhecidas, a primeira providência a ser tomada é a consulta à folha de dados (datasheet) dos transistores.

**BC548B:**

$$\beta_{\text{tip}} = 290$$

$$V_{\text{BE}(\text{tip})} = 0,66 \text{ V}$$

$$200 \leq \beta \leq 450$$

$$0,58 \text{ V} \leq V_{\text{BE}} \leq 0,70 \text{ V}$$

$$V_{\text{AF}} = 66,4 \text{ V @ } 25 \text{ }^\circ \text{C}$$

**BC558B:**

$$\beta_{\text{tip}} = 290$$

$$V_{\text{BE}(\text{tip})} = 0,65 \text{ V}$$

$$220 \leq \beta \leq 475$$

$$0,60 \text{ V} \leq V_{\text{BE}} \leq 0,75 \text{ V}$$

$$V_{\text{AF}} = 30,9 \text{ V @ } 25 \text{ }^\circ \text{C}$$

Para o primeiro estágio do circuito da Figura pode-se calcular:

$$R_B = \frac{220k \times 22k}{220k + 22k} = 20 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$S \cong 1 + \frac{R_B}{R_{E_1}} = 1 + \frac{20k}{470} = 43,6$$

**OBS: Como  $S > 30$ , o ponto quiescente do primeiro estágio não é estável em relação às variações dos parâmetros internos do transistor Q1, ou seja, o circuito não está bem polarizado.**

Os pontos extremos de espalhamento do ponto quiescente devem, então, ser calculados, ocorrendo as seguintes situações:

Cálculo das **correntes de coletor máximas** ( $I_{CQ1\max}$  e  $I_{CQ2\max}$ ) que ocorrem quando  $\beta_1 = \beta_{1(\max)}$ ,  $V_{BE1} = V_{BE1(\min)}$ ,  $\beta_2 = \beta_{2(\max)}$  e  $|V_{BE2}| = |V_{BE2(\min)}|$ .

$$I_{C_{Q1}} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}}} - \frac{V_{BE_1}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta_1}{R_B + (\beta_1 + 1) \times R_{E_1}} \quad \longrightarrow \quad I_{C_{Q1(\max)}} = \frac{\left( \frac{9}{220k} - \frac{0,58}{20k} \right) \times 20k \times 450}{20k + 451 \times 470} = 462,05 \text{ [}\mu\text{A]}$$

$$|I_{C_{Q2}}| = \frac{I_{C_{Q1}} \times R_C - |V_{BE_2}|}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E_2}} \times \beta_2 \quad \longrightarrow \quad |I_{C_{Q2(\max)}}| = \frac{462,05 \mu \times 10k - 0,60}{10k + 476 \times 1k} \times 475 = 3,93 \text{ [mA]}$$

Cálculo da **tensão de coletor mínima** ( $V_{C(\min)}$ ) e das **tensões coletor – emissor mínimas** ( $V_{CEQ1(\min)}$  e  $V_{CEQ2(\min)}$ ).

$$V_{C1(\min)} = V_{CC} - \left( I_{CQ1(\max)} - \frac{|I_{CQ2(\max)}|}{\beta_{2(\max)}} \right) \times R_C = 9 - \left( 462,05\mu - \frac{3,93m}{475} \right) \times 10k = 4,46 \quad [\text{V}]$$

$$V_{CEQ1(\min)} = V_{C1(\min)} - \frac{\beta_{1(\max)} + 1}{\beta_{1(\max)}} \times R_{E1} \times I_{CQ1(\max)} = 4,46 - \frac{451}{450} \times 470 \times 462,05\mu = 4,24 \quad [\text{V}]$$

$$|V_{CEQ2(\min)}| = V_{CC} - \frac{\beta_{2(\max)} + 1}{\beta_{2(\max)}} \times R_{E2} \times |I_{CQ2(\max)}| = 9 - \frac{476}{475} \times 1k \times 3,93m = 5,06 \quad [\text{V}]$$

Cálculo das **correntes de coletor  $I_{CQ1}$  e  $I_{CQ2}$  mínimas** que ocorrem quando  $\beta_1 = \beta_{1(\min)}$ ,  $V_{BE1} = V_{BE1(\max)}$ ,  $\beta_2 = \beta_{2(\min)}$  e  $|V_{BE2}| = |V_{BE2(\max)}|$ .

$$I_{CQ1} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B1a} + R_{B1b}} - \frac{V_{BE1}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta_1}{R_B + (\beta_1 + 1) \times R_{E1}} \quad \longrightarrow \quad I_{CQ1(\min)} = \frac{\left( \frac{9}{220k} - \frac{0,70}{20k} \right) \times 20k \times 200}{20k + 201 \times 470} = 206,5 \quad [\mu\text{A}]$$

$$I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - I_{CQ1} \times R_C}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E2}} \times \beta_2 \quad \longrightarrow \quad |I_{CQ2(\min)}| = \frac{206,5\mu \times 10k - 0,75}{10k + 221 \times 1k} \times 220 = 1,25 \quad [\text{mA}]$$

Cálculo da **tensão de coletor máxima** ( $V_{C(\max)}$ ) e das **tensões coletor – emissor máximas** ( $V_{CEQ1(\max)}$  e  $V_{CEQ2(\max)}$ ).

$$V_{C_{1(\max)}} = V_{CC} - \left( I_{C_{Q1(\min)}} - \frac{|I_{C_{Q2(\min)}}|}{\beta_{2(\min)}} \right) \times R_C = 9 - \left( 206,5\mu - \frac{1,25m}{220} \right) \times 10k = 6,99 \quad [\text{V}]$$

$$V_{CE_{Q1(\max)}} = V_{C_{1(\max)}} - \frac{\beta_{1(\min)} + 1}{\beta_{1(\min)}} \times R_{E_1} \times I_{C_{Q1(\min)}} = 6,99 - \frac{201}{200} \times 470 \times 206,5\mu = 6,89 \quad [\text{V}]$$

$$|V_{CE_{Q2(\max)}}| = V_{CC} - \frac{\beta_{2(\min)} + 1}{\beta_{2(\min)}} \times R_{E_2} \times |I_{C_{Q2(\min)}}| = 9 - \frac{221}{220} \times 1k \times 1,25m = 7,74 \quad [\text{V}]$$

**Resumo do espalhamento do ponto quiescente:**

$$206,5\mu\text{A} \leq I_{C_{Q1}} \leq 462,05\mu\text{A}$$

$$1,25\text{mA} \leq |I_{C_{Q2}}| \leq 3,93\text{mA}$$

$$4,24\text{V} \leq V_{CE_{Q1}} \leq 6,89\text{V}$$

$$5,06\text{V} \leq |V_{CE_{Q2}}| \leq 7,74\text{V}$$

Cálculo das **correntes de coletor típicas** ( $\beta_1 = \beta_{1(\text{tip})}$ ;  $V_{BE1} = V_{BE1(\text{tip})}$ ;  $\beta_2 = \beta_{2(\text{tip})}$  e  $|V_{BE2}| = |V_{BE2(\text{tip})}|$ ).

$$I_{C_{Q1}} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}}} - \frac{V_{BE1}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta_1}{R_B + (\beta_1 + 1) \times R_{E1}} \quad \rightarrow \quad I_{C_{Q1(\text{tip})}} = \frac{\left( \frac{9}{220k} - \frac{0,66}{20k} \right) \times 20k \times 290}{20k + 291 \times 470} = 292,6 \quad [\mu\text{A}]$$

$$I_{C_{Q2}} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - I_{C_{Q1}} \times R_C}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E2}} \times \beta_2 \quad \rightarrow \quad |I_{C_{Q2(\text{tip})}}| = \frac{292,6\mu \times 10k - 0,65}{10k + 291 \times 1k} \times 290 = 2,193 \quad [\text{mA}]$$

$$V_{C_{1(\text{tip})}} = V_{CC} - \left( I_{C_{Q1(\text{tip})}} - \frac{|I_{C_{Q2(\text{tip})}}|}{\beta_{2(\text{tip})}} \right) \times R_C = 9 - \left( 292,6\mu - \frac{2,193m}{290} \right) \times 10k = 6,15 \quad [\text{V}]$$

$$V_{CE_{Q1(\text{tip})}} = V_{C_{1(\text{tip})}} - \frac{\beta_{1(\text{tip})} + 1}{\beta_{1(\text{tip})}} \times R_{E1} \times I_{C_{Q1(\text{tip})}} = 6,15 - \frac{291}{290} \times 470 \times 292,6\mu = 6,01 \quad [\text{V}]$$

$$|V_{CE_{Q2(\text{tip})}}| = V_{CC} - \frac{\beta_{2(\text{tip})} + 1}{\beta_{2(\text{tip})}} \times R_{E2} \times |I_{C_{Q2(\text{tip})}}| = 9 - \frac{291}{290} \times 1k \times 2,193m = 6,8 \quad [\text{V}]$$

O ponto típico é o mais esperado porque representa a maior probabilidade de incidência no processo de fabricação. O circuito da Figura, no entanto, mesmo no ponto típico, não se apresenta bem projetado porque os transistores estão polarizados fora do centro da reta de carga ( $V_{CEQ} \cong 4,5 \text{ V}$ ), limitando, assim, a máxima excursão do sinal AC.



Pode-se notar, por esses cálculos, que, face ao espalhamento de valores dos parâmetros estáticos que ocorre na fabricação dos transistores bipolares, as condições de polarização podem resultar muito variáveis na prática se o fator de estabilidade  $S$  não for adequadamente dimensionado ( $S < 20$ ).

**Polarização com Divisor de Tensão**  
(exemplo de circuito bem polarizado)

**Amplificador em Cascata com  
Acoplamento DC (ou direto)**

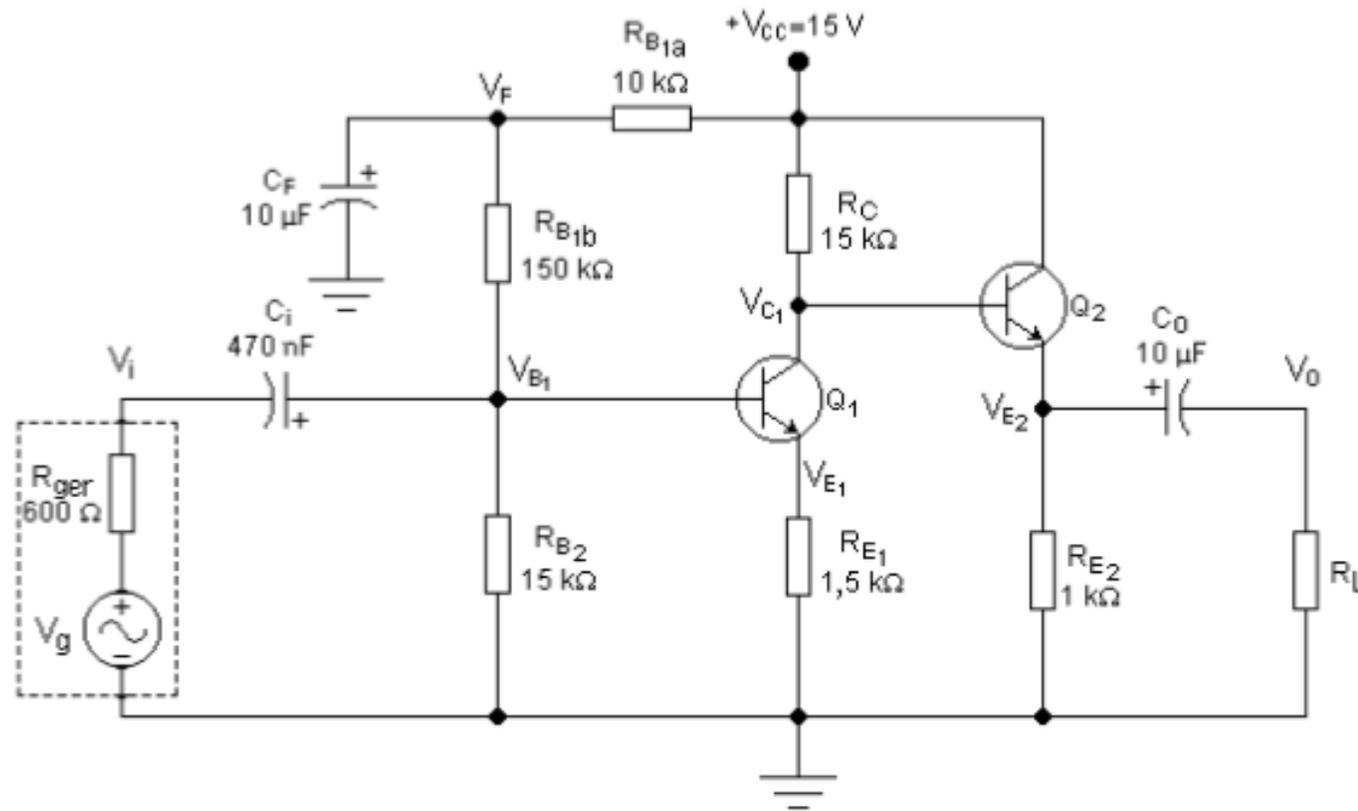
**Observe que o exercício a seguir descreve o cálculo da polarização por divisor de tensão em um **amplificador em cascata com acoplamento DC.** (os resistores de polarização são conhecidos)!**

**(exercício 8 - resolvido na apostila “BJT - Eletrônica Básica - Amplificadores Analógicos BJT- Exercícios - v. 2014 Rev. 06” (pgs. 28 – 32)**

**A análise AC deste exercício (pg. 32 – 25) será analisada posteriormente !**

## Exercício

Para o circuito da figura abaixo, calcular o ponto de polarização @ 25 ° C com  $R_{ger} = 600 \Omega$  e  $R_L = 10 \text{ k} \Omega$ . Os transistores são do tipo *BC548B*.



Amplificador em Cascata com Acoplamento DC

As correntes e tensões quiescentes do circuito podem ser calculadas pelas seguintes equações:

$$I_{C_{Q1}} = \frac{\left( \frac{V_{CC}}{R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}}} - \frac{V_{BE_1}}{R_B} \right) \times R_B \times \beta_1}{R_B + (\beta_1 + 1) \times R_{E_1}}$$

$$R_B = \frac{(R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}}) \times R_{B_2}}{R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}} + R_{B_2}}$$

$$I_{C_{Q2}} = \frac{V_{CC} - V_{BE_2} - I_{C_{Q1}} \times R_C}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E_2}} \times \beta_2$$

$$V_{C_{1(max)}} = V_{CC} - \left( I_{C_{Q1(min)}} + \frac{I_{C_{Q2(max)}}}{\beta_{2(max)}} \right) \times R_C$$

$$V_{CE_{Q1(max)}} = V_{C_{1(max)}} - \frac{\beta_{1(min)} + 1}{\beta_{1(min)}} \times R_{E_1} \times I_{C_{Q1(min)}}$$

$$V_{CE_{Q2(min)}} = V_{CC} - \frac{\beta_{2(max)} + 1}{\beta_{2(max)}} \times R_{E_2} \times I_{C_{Q2(max)}}$$

## Cálculo do Ponto de Polarização

Em um problema de análise de circuitos eletrônicos no qual as grandezas elétricas estáticas são desconhecidas, a primeira providência a ser tomada é a consulta à folha de dados (datasheet) dos transistores.

Para o BC548B obtém-se @ 25°C :

$$200 \leq \beta \leq 450$$

$$\beta_{\text{tip}} = 290$$

$$0,58 \text{ V} \leq V_{\text{BE}} \leq 0,70 \text{ V}$$

$$V_{\text{BE}(\text{tip})} = 0,66 \text{ V.}$$

1 Cálculo de  $R_B$  e  $S$  (primeiro estágio do circuito) :

$$R_B = \frac{(R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}}) \times R_{B_2}}{R_{B_{1a}} + R_{B_{1b}} + R_{B_2}} \longrightarrow R_B = \frac{160k \times 15k}{160k + 15k} = 13,71 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$S \cong 1 + \frac{R_B}{R_{E_1}} = 1 + \frac{13,71k}{1,5k} = 10,14$$

Como  $10 \leq S \leq 20$ , o ponto quiescente do primeiro estágio é bem estável em relação às variações dos parâmetros internos do transistor  $Q_1$ , ou seja, o circuito está bem polarizado !

Correntes quiescentes de coletor: máxima para  $Q_1$  ( $\beta_1 = \beta_{1(max)}$ ;  $V_{BE1} = V_{BE1(min)}$ ) e mínima para  $Q_2$  ( $\beta_2 = \beta_{2(min)}$  e  $V_{BE2} = V_{BE2(max)}$ ). Usando-se as equações das correntes quiescentes dos transistores tem-se que:

2 Cálculo de  $I_{CQ1(max)}$  e  $I_{CQ2(min)}$

$$I_{CQ} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_{B1}} - \frac{V_{BEQ}}{R_B}\right) \times R_B \times \beta}{R_B + r_x + (\beta + 1) \times R_E} + S \times I_{CBo} \quad \rightarrow \quad I_{CQ1(max)} = \frac{\left(\frac{15}{160k} - \frac{0,58}{13,71k}\right) \times 13,71k \times 450}{13,71k + 451 \times 1,5k} = 460,106 \quad [\mu A]$$

$$I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - I_{CQ1} \times R_C}{R_C + (\beta_2 + 1) \times R_{E2}} \times \beta_2 \quad \rightarrow \quad I_{CQ2(min)} = \frac{15 - 0,7 - 460,106 \mu \times 15k}{15k + 201 \times 1k} \times 200 = 6,85 \quad [mA]$$

3 Cálculo de  $V_{C1(min)}$  e  $V_{CQ1(min)}$  e  $V_{CQ2(max)}$

$$V_{C1(min)} = V_{CC} - \left( I_{CQ1(max)} + \frac{I_{CQ2(min)}}{\beta_{2(min)}} \right) \times R_C = 15 - \left( 460,106 \mu + \frac{6,85m}{200} \right) \times 15k = 7,585 \quad [V]$$

$$V_{CEQ1(min)} = V_{C1(min)} - \frac{\beta_{1(max)} + 1}{\beta_{1(max)}} \times R_{E1} \times I_{CQ1(max)} = 7,585 - \frac{451}{450} \times 1,5k \times 460,106 \mu = 6,893 \quad [V]$$

$$V_{CEQ2(max)} = V_{CC} - \frac{\beta_{2(min)} + 1}{\beta_{2(min)}} \times R_{E2} \times I_{CQ2(min)} = 15 - \frac{201}{200} \times 1k \times 6,85m = 8,115 \quad [V]$$

Correntes quiescentes de coletor: mínima para  $Q_1$  ( $\beta_1 = \beta_{1(\min)}$ ;  $V_{BE1} = V_{BE1(\max)}$ ) e máxima para  $Q_2$  ( $\beta_2 = \beta_{2(\max)}$  e  $V_{BE2} = V_{BE2(\min)}$ ).  
Usando-se as equações das correntes quiescentes dos transistores tem-se que:

4 Cálculo de  $I_{CQ1(\min)}$  e  $I_{CQ2(\max)}$

$$I_{CQ1(\min)} = \frac{\left( \frac{15}{160k} - \frac{0,70}{13,71k} \right) \times 13,71k \times 200}{13,71k + 201 \times 1,5k} = 371,63 \quad [\mu A]$$

$$I_{CQ2(\max)} = \frac{15 - 0,58 - 371,63 \mu \times 15k}{15k + 451 \times 1k} \times 450 = 8,542 \quad [mA]$$

5 Cálculo de  $V_{C1(\max)}$  e  $V_{CQ1(\max)}$  e  $V_{CQ2(\min)}$

$$V_{C1(\max)} = V_{CC} - \left( I_{C_{Q1(\min)}} + \frac{I_{C_{Q2(\max)}}}{\beta_{2(\max)}} \right) \times R_C = 15 - \left( 371,63\mu + \frac{8,542m}{450} \right) \times 15k = 9,141 \text{ [V]}$$

$$V_{CE_{Q1(\max)}} = V_{C1(\max)} - \frac{\beta_{1(\min)} + 1}{\beta_{1(\min)}} \times R_{E1} \times I_{C_{Q1(\min)}} = 9,141 - \frac{201}{200} \times 1,5k \times 371,63\mu = 8,58 \text{ [V]}$$

$$V_{CE_{Q2(\min)}} = V_{CC} - \frac{\beta_{2(\max)} + 1}{\beta_{2(\max)}} \times R_{E2} \times I_{C_{Q2(\max)}} = 15 - \frac{451}{450} \times 1k \times 8,542m = 6,44 \text{ [V]}$$

6 Resumo do espalhamento do ponto quiescente:

$$371,63\mu A \leq I_{C_{Q1}} \leq 460,106\mu A$$

$$6,85mA \leq I_{C_{Q2}} \leq 8,542mA$$

$$6,893V \leq V_{CE_{Q1}} \leq 8,580V$$

$$6,44V \leq V_{CE_{Q2}} \leq 8,115V$$

Correntes quiescentes de coletor típicas: máxima para  $Q_1$  ( $\beta_1 = \beta_{1(tip)}$ ;  $V_{BE1} = V_{BE1(tip)}$ ) e mínima para  $Q_2$  ( $\beta_2 = \beta_{2(tip)}$  e  $V_{BE2} = V_{BE2(tip)}$ ). Usando-se as equações das correntes quiescentes dos transistores tem-se que:

**7** Cálculo de  $I_{CQ1(tip)}$  e  $I_{CQ2(tip)}$

$$I_{C_{Q1(tip)}} = \frac{\left( \frac{15}{160k} - \frac{0,66}{13,71k} \right) \times 13,71k \times 290}{13,71k + 291 \times 1,5k} = 403,046 \quad [\mu A]$$

$$I_{C_{Q2(tip)}} = \frac{15 - 0,66 - 403,046 \mu \times 15k}{15k + 291 \times 1k} \times 290 = 7,86 \quad [mA]$$

**8** Cálculo de  $V_{C1(tip)}$ ,  $V_{CEQ1(tip)}$  e  $V_{CEQ2(tip)}$

$$V_{C_{1(tip)}} = V_{CC} - \left( I_{C_{Q1(tip)}} + \frac{I_{C_{Q2(tip)}}}{\beta_{2(tip)}} \right) \times R_C = 15 - \left( 403,046 \mu + \frac{7,86m}{290} \right) \times 15k = 8,548 \quad [V]$$

$$V_{CE_{Q1(tip)}} = V_{C_{1(tip)}} - \frac{\beta_{1(tip)} + 1}{\beta_{1(tip)}} \times R_{E_1} \times I_{C_{Q1(tip)}} = 8,548 - \frac{291}{290} \times 1,5k \times 403,046 \mu = 7,941 \quad [V]$$

$$V_{CE_{Q2(tip)}} = V_{CC} - \frac{\beta_{2(tip)} + 1}{\beta_{2(tip)}} \times R_{E_2} \times I_{C_{Q2(tip)}} = 15 - \frac{291}{290} \times 1k \times 7,86m = 7,112 \quad [V]$$

Pode-se notar, por esses cálculos, que, face ao espalhamento de valores dos parâmetros estáticos que ocorre na fabricação dos transistores bipolares, **as condições de polarização podem resultar pouco variáveis**, na prática, se o fator de estabilidade  $S$  for adequadamente dimensionado ( **$10 \leq S \leq 20$** ).

O ponto típico é o mais esperado porque representa a maior probabilidade de incidência no processo de fabricação. O amplificador em cascata com acoplamento DC, além disso, se apresenta bem projetado porque os transistores estão polarizados aproximadamente no centro da reta de carga ( $V_{CEQ} \cong 7,5 \text{ V}$ ), permitindo, assim, a máxima excursão do sinal AC.