

## **Sumário**

<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>Polarização por divisor de tensão</b>	<b>6</b>
<b>Análise do circuito do coletor</b>	<b>7</b>
<b>O circuito da base</b>	<b>9</b>
<b>Determinação dos elementos de circuito</b>	<b>10</b>
<b>Corrente de emissor</b>	<b>10</b>
<b>Ganho do transistor</b>	<b>10</b>
<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>10</b>
<b>Parâmetros da malha do coletor</b>	<b>11</b>
<b>Modificação do ponto de operação</b>	<b>16</b>
<b>Fator de estabilidade</b>	<b>19</b>
<b>O processo de estabilização térmica</b>	<b>19</b>
<b>Apêndice</b>	<b>22</b>
<b>Questionário</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>



**Espaço SENAI**

### **Missão do Sistema *SENAI***

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

# Introdução

---

Um fator que sempre representa um problema na utilização dos componentes semicondutores é a dependência térmica dos parâmetros materiais. O transistor não foge à regra. Circuitos transistorizados são sensíveis às variações de temperatura, sofrendo mudanças no ponto de operação.

Uma forma de amenizar os efeitos da dependência térmica é polarizar o transistor por divisão de tensão.

Este fascículo tratará dessa técnica de polarização, tratando do princípio de funcionamento do circuito, do cálculo de parâmetros elétricos e das características, visando a capacitar o leitor na tarefa de polarização e correção do ponto de operação de um circuito transistorizado.



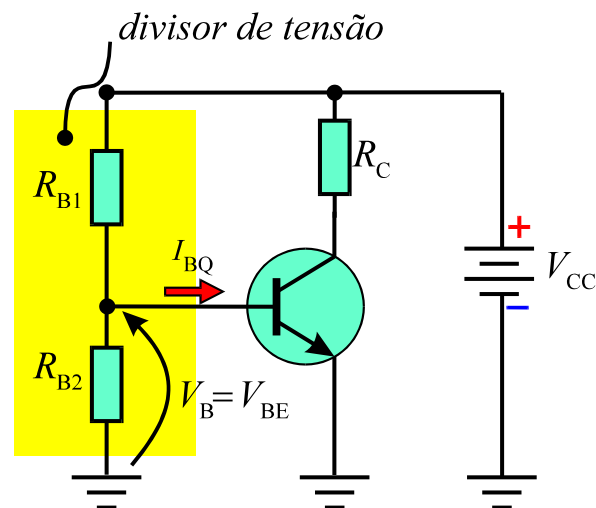
***Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:***

- Transistor bipolar: relação entre parâmetros de circuito.
- Transistor bipolar: ponto de operação.
- Divisor de tensão.

# Polarização por divisor de tensão de tensão


A polarização da base de um transistor pode ser feita a partir da utilização de um divisor de tensão, através do qual aplica-se uma tensão  $V_{BE}$  entre a base e o emissor do transistor.

A **Fig.1** mostra um circuito transistorizado que emprega esse tipo de polarização. Essa técnica é denominada de **polarização de base por divisor de tensão**.



**Fig.1** Circuito transistorizado com base polarizada por divisor de tensão.

Do divisor de tensão mostrado na **Fig.1** resulta um potencial  $V_B$  no terminal base do transistor que polariza diretamente a junção base-emissor, produzindo assim a corrente de base quiescente  $I_{BQ}$ .

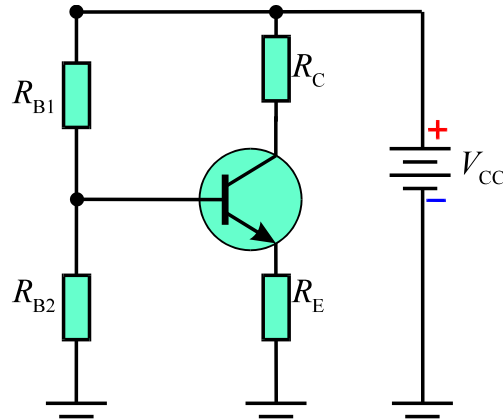
 *A finalidade do divisor de tensão é polarizar diretamente a junção base-emissor.*

Como se pode observar na **Fig.1**, com o emissor aterrado, o potencial da base  $V_B$  corresponde à tensão  $V_{BE}$  aplicada à junção base-emissor do transistor. Dessa forma, o controle da corrente  $I_{BQ}$  é obtido ajustando-se a tensão  $V_{BE}$  fornecida pelo divisor.

Normalmente os circuitos polarizados por divisão de tensão têm ainda um resistor de emissor  $R_E$ , como mostrado na **Fig.2**. Esse resistor tem por finalidade melhorar a estabilidade térmica do circuito.



**A inclusão de um resistor de emissor no circuito de polarização de um transistor melhora a estabilidade térmica do circuito.**



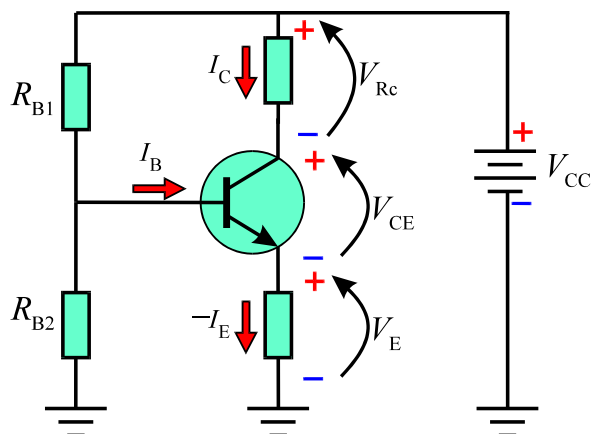
**Fig.2** Emprego de um resistor de emissor em um circuito transistorizado.

O uso conjunto de um divisor de tensão e de um resistor de emissor propicia um alto grau de estabilidade térmica no circuito. Outra característica importante desse tipo de polarização é a menor variação dos parâmetros de polarização quando o transistor é substituído.

## ANÁLISE DO CIRCUITO DO COLETOR

Nos circuitos polarizados por divisor de tensão, a malha de coletor, mostrada na **Fig.3**, é composta dos seguintes elementos:

- Fonte de alimentação.
- Resistor de coletor.
- Transistor.
- Resistor de emissor.



**Fig.3** Malha de coletor de um transistor polarizado por divisor de tensão.

Como se pode observar na **Fig.3**, a tensão fornecida pela fonte distribui-se sobre os elementos da malha do coletor na forma

$$V_{CC} = V_R + V_{CE} + V_E \quad (1)$$

onde

$$V_{Rc} = R_C I_C \quad (2)$$

$$V_E = R_E (-I_E) \quad (3)$$

Na **Eq.(1)** a dependência da tensão  $V_{CE}$  na corrente de coletor é determinada através das curvas características de saída do transistor.

A **Eq.(3)** pode ser reescrita na forma

$$V_E = R_E (I_C + I_B) \quad (4)$$

Como a corrente de base é geralmente muito inferior à corrente de coletor, é válida a seguinte aproximação:

$$I_C + I_B \approx I_C$$

e a **Eq.(4)** pode ser posta na forma

$$V_E \approx R_E I_C \quad (5)$$

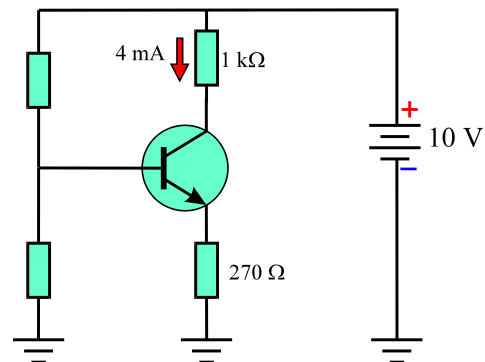
A seguir é apresentado um exemplo de utilização das equações do circuito do coletor.

**Exemplo 1:** Para o circuito mostrado na **Fig.4**, determinar os valores de  $V_{Rc}$ ,  $V_E$  e  $V_{CE}$ .

As tensões nos resistores de coletor e de emissor são obtidas das **Eqs.(2)** e **(5)**, resultando em

$$V_{Rc} = 1.000 \, \Omega \times 0,004 \, A = 4 \, V$$

$$V_E = 270 \, \Omega \times 0,004 \, A = 1,08 \, V$$



**Fig.4** Circuito transistorizado do **Exemplo1**.

A tensão  $V_{CE}$  é obtida da Eq.(1):

$$V_{CC} = V_{Rc} + V_{CE} + V_E \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - V_{Rc} - V_E \Rightarrow V_{CE} = 10 - 4 - 1,08$$

$$\Rightarrow V_{CE} = 4,92 \text{ V}$$

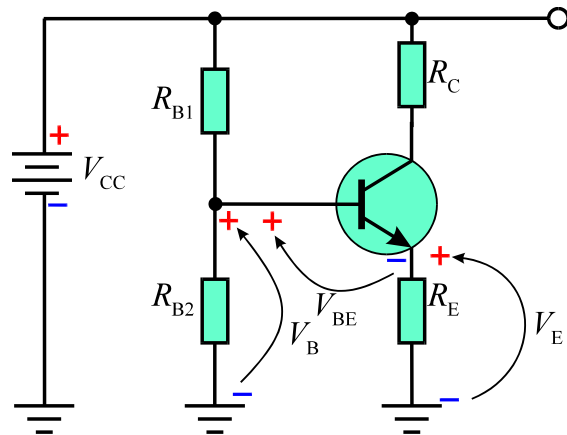
## O CIRCUITO DA BASE

O circuito da base, que compreende o divisor de tensão, tem por finalidade polarizar diretamente a junção base-emissor do transistor e estabelecer o valor quiescente da corrente de base  $I_{BQ}$ .

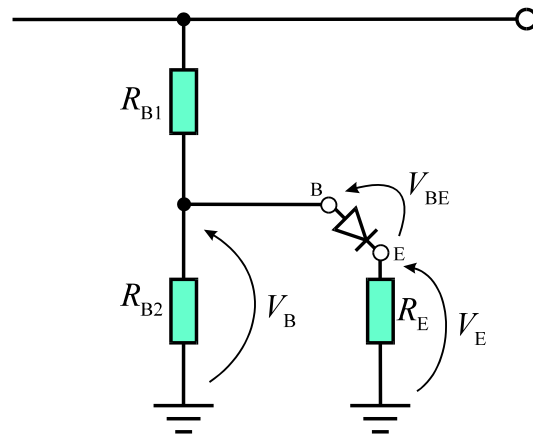
A tensão base-emissor  $V_{BE}$  é a diferença de potencial entre os terminais  $B$  e  $E$  do transistor. Como se pode observar na Fig.5

$$V_{BE} = V_B - V_E \quad (6)$$

A tensão  $V_{BE}$  aplicada à junção base-emissor dá origem a uma corrente de base que pode ser obtida a partir da curva característica da junção. Dessa forma, a junção base-emissor se comporta efetivamente como um diodo diretamente polarizado, conforme ilustrado na Fig.6.



**Fig.5** Circuito transistorizado com base polarizada por divisor de tensão.



**Fig.6** Circuito equivalente da junção base-emissor, com base polarizada por divisor de tensão.

## DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS DE CIRCUITO

A inclusão do resistor de emissor torna o circuito mais estável termicamente, o que é interessante do ponto de vista prático. Entretanto, essa adição modifica a análise gráfica do circuito, pois a reta de carga deve levar em conta a presença daquele novo elemento no circuito. Por essa razão, a determinação dos valores dos resistores de polarização é usualmente feita matematicamente.

Para simplificar a análise matemática, podem ser consideradas algumas aproximações e estimativas, que em nada prejudicam os resultados obtidos, como delineado a seguir.

### CORRENTE DE EMISSOR

A pequena diferença existente entre  $I_C$  e  $I_E$  permite utilizar a aproximação

$$I_E \approx I_C$$

cujo erro é pequeno comparado com a tolerância de 5 a 10% dos resistores do circuito.

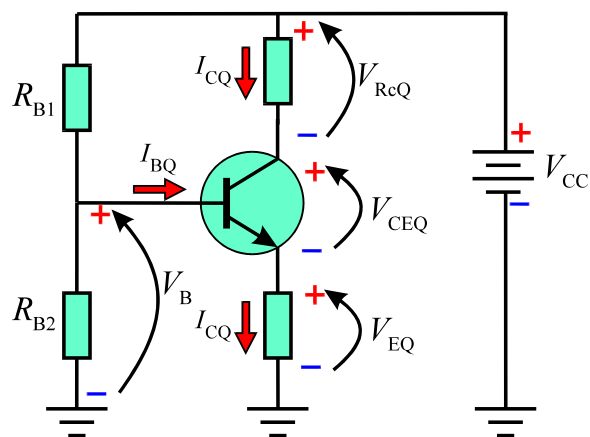
### GANHO DO TRANSISTOR

O ganho de transistores que empregam a polarização por divisor de tensão usualmente satisfaz a condição  $\beta \geq 100$ .

### PARÂMETROS DE ENTRADA

Na determinação dos valores dos elementos de circuito, mostrados na **Fig.7**, os parâmetros de entrada são geralmente:

- A tensão de alimentação,  $V_{CC}$ .
- A corrente de coletor quiescente,  $I_{CQ}$ .
- A tensão quiescente sobre o resistor de coletor,  $V_{RcQ}$ .



**Fig.7** Alguns parâmetros do circuito transistorizado.



A corrente de coletor  $I_{CQ}$  nos estágios transistorizados polarizados por divisor de tensão assume normalmente valores que variam de 1 a 10 mA.

O parâmetro  $V_{RcQ}$  é diretamente relacionado à tensão de alimentação. Na prática adota-se normalmente uma tensão no resistor de coletor próxima à metade da tensão de alimentação, ou seja,

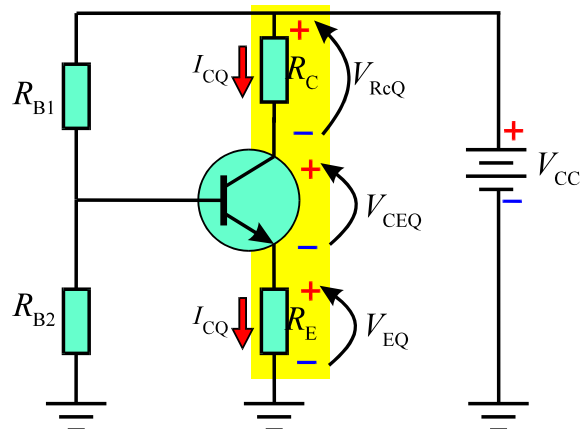
$$V_{RcQ} \approx \frac{V_{CC}}{2} \quad (7)$$

## PARÂMETROS DA MALHA DO COLETOR

Dispondo dos valores  $V_{CC}$ ,  $I_{CQ}$  e  $V_{RcQ}$  pode-se determinar os valores dos componentes da malha do coletor, mostrados na **Fig.8**.

**Resistor de coletor:** É calculado através da Lei de Ohm, utilizando os valores conhecidos de  $I_{CQ}$  e  $V_{RcQ}$ , resultando em

$$R_C \approx \frac{V_{RcQ}}{I_{CQ}} \quad (8)$$



**Fig.8** Parâmetros da malha do coletor no circuito transistorizado.

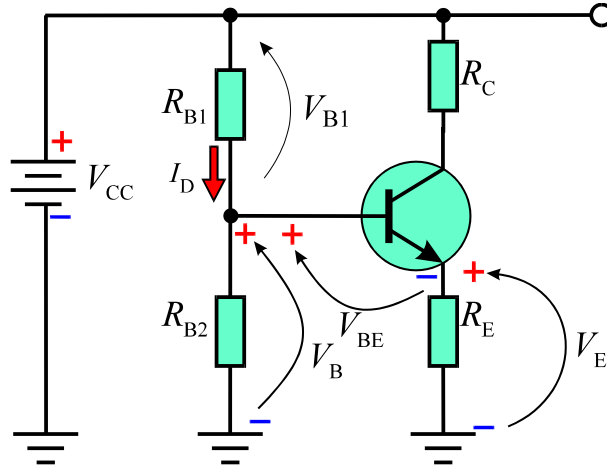
**Resistor de emissor:** Observa-se na prática que o emprego de um resistor de emissor tal que a queda de tensão satisfaça à condição

$$V_{EQ} \approx 0,1V_{CC} \quad (9)$$

permite a obtenção de um fator de estabilidade ótimo, usualmente na faixa de valores  $10 \leq S \leq 15$ . Nessa condição, o resistor de emissor é determinado da expressão

$$R_E \approx \frac{0,1V_{CC}}{I_{CQ}} \quad (10)$$

**Resistores de base:** O divisor de tensão formado pelos resistores de base tem por finalidade fornecer a tensão  $V_B$  à base do transistor, como mostrado na Fig.9.



**Fig.9** Tensão fornecida pelo divisor à base do transistor.

Para que a junção base-emissor conduza, a tensão fornecida à base deve corresponder à soma

$$V_B = V_{BEQ} + V_{EQ} \quad (11)$$

Com base na Fig.9, a queda de tensão sobre  $R_{B1}$  pode ser obtida de

$$V_{B1} = V_{CC} - V_B \quad (12)$$

Dispondo dos dois valores de tensão sobre os resistores, deve-se assumir um valor conhecido para a corrente  $I_D$  através do divisor. Esse valor deve ser suficientemente grande para que pequenas variações na corrente de base não alterem significativamente a proporção de divisão da tensão sobre os resistores. Dessa forma, é prática usual adotar uma corrente através do divisor satisfazendo à condição

$$I_D = 0,1I_{CQ} \quad (13)$$

Com essa escolha, considerando-se que o transistor tenha um ganho de pelo menos 100, a corrente do divisor é pelo menos 10 vezes superior à corrente de base.

Uma vez obtidos os parâmetros  $V_{B1}$  e  $V_B$  por intermédio das **Eqs.(11)** e **(12)**, utiliza-se a **Eq.(13)** para se obterem os valores de resistência do divisor, resultando em

$$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_B}{I_D} \quad (14)$$

$$R_{B2} = \frac{V_{BEQ} + V_{EQ}}{I_D} \quad (15)$$

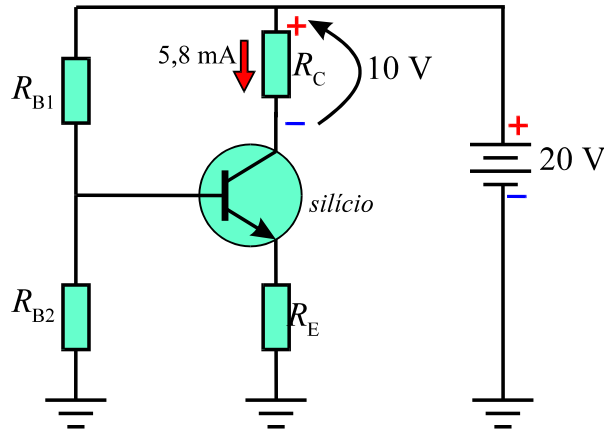
As expressões utilizadas na determinação dos parâmetros do circuito transistorizado com polarização por divisor de tensão estão sumarizadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1** Sumário das expressões utilizadas na determinação dos parâmetros de um circuito transistorizado com polarização por divisor de tensão.

Parâmetros de entrada	
Tensão de alimentação	$V_{CC}$
Tensão no resistor de coletor ou tensão coletor-emissor	$V_{RcQ}$ ou $V_{CEQ}$
Corrente de coletor	$I_{CQ}$
Parâmetros de saída	
Parâmetro	Equação
Tensão no resistor de emissor	$V_{EQ} \approx 0,1V_{CC}$
Tensão no resistor de coletor, conhecida a tensão coletor-emissor	$V_{RcQ} = V_{CC} - V_{CEQ} - V_{EQ}$
Resistor de coletor	$R_C \approx \frac{V_{RcQ}}{I_{CQ}}$
Resistor de emissor	$R_E \approx \frac{0,1V_{CC}}{I_{CQ}}$
Tensão no resistor $R_{B2}$	$V_B = V_{BEQ} + V_{EQ}$
Tensão no resistor $R_{B1}$	$V_{B1} = V_{CC} - V_B$
Corrente no divisor	$I_D = 0,1I_{CQ}$
Resistor $R_{B2}$	$R_{B2} = \frac{V_{BEQ} + V_{EQ}}{I_D}$
Resistor $R_{B1}$	$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_B}{I_D}$

Os exemplos a seguir ilustram o emprego das expressões do circuito transistorizado com polarização por divisor de tensão.

**Exemplo 1:** Para o circuito mostrado na **Fig.10**, determinar os valores de  $R_C$ ,  $R_E$ ,  $R_{B1}$  e  $R_{B2}$  para que o circuito opere com uma corrente de coletor de 5,8 mA e uma tensão no resistor de coletor de 10 V.

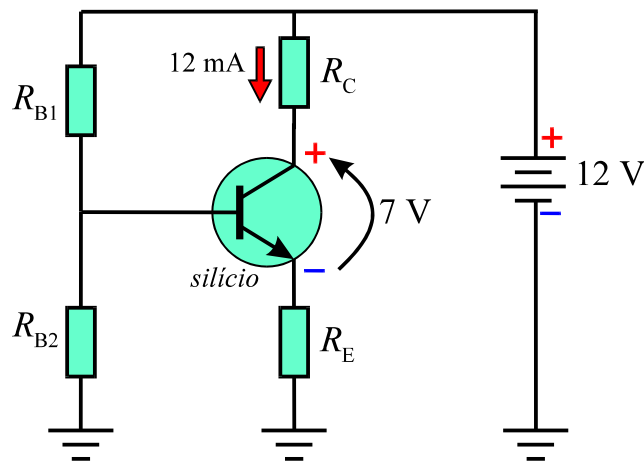


**Fig.10** Circuito transistorizado para o **Exemplo 1**.

Utilizando a **Tabela 1** resulta:

Parâmetros de entrada	
Tensão de alimentação	$V_{CC} = 20 \text{ V}$
Tensão no resistor de coletor	$V_{RCQ} = 10 \text{ V}$
Corrente de coletor	$I_{CQ} = 5,8 \text{ mA}$
Parâmetros de saída	
Resistor de coletor	$R_C \approx \frac{10}{0,0058} = 1.724 \Omega$
Tensão no resistor de emissor	$V_{EQ} \approx 0,1 \times 20 = 2 \text{ V}$
Resistor de coletor	$R_C \approx \frac{10}{0,0058} = 1.724 \Omega$
Resistor de emissor	$R_E \approx \frac{2}{0,0058} = 344 \Omega$
Tensão no resistor $R_{B2}$	$V_B = 0,6 + 2 = 2,6 \text{ V}$
Tensão no resistor $R_{B1}$	$V_{B1} = 20 - 2,6 = 17,4 \text{ V}$
Corrente no divisor	$I_D = 0,1 \times 5,8 = 0,58 \text{ mA}$
Resistor $R_{B2}$	$R_{B2} = \frac{0,6 + 2}{0,00058} = 4,48 \text{ k}\Omega$
Resistor $R_{B1}$	$R_{B1} = \frac{20 - 2,6}{0,00058} = 30 \text{ k}\Omega$

**Exemplo 2:** Para o circuito mostrado na **Fig.11**, determinar os valores de  $R_C$ ,  $R_E$ ,  $R_{B1}$  e  $R_{B2}$  para obter uma tensão coletor-emissor de 7 V e uma corrente de coletor de 12 mA.



**Fig.11** Circuito transistorizado para o **Exemplo 2**.

Utilizando a **Tabela 1** resulta:

Parâmetros de entrada	
Tensão de alimentação	$V_{CC} = 12 \text{ V}$
Tensão coletor-emissor	$V_{CEQ} = 7 \text{ V}$
Corrente de coletor	$I_{CQ} = 12 \text{ mA}$
Parâmetros de saída	
Tensão no resistor de emissor	$V_{EQ} \approx 0,1 \times 12 = 1,2 \text{ V}$
Tensão no resistor de coletor	$V_{RcQ} = 12 - 7 - 1,2 = 3,8 \text{ V}$
Resistor de emissor	$R_{EQ} \approx \frac{1,2}{0,012} = 100 \ \Omega$
Resistor de coletor	$R_C \approx \frac{3,8}{0,012} = 317 \ \Omega$
Tensão no resistor $R_{B2}$	$V_B = 0,6 + 1,2 = 1,8 \text{ V}$
Tensão no resistor $R_{B1}$	$V_{B1} = 12 - 1,8 = 10,2 \text{ V}$
Corrente no divisor	$I_D = 0,1 \times 12 = 1,2 \text{ mA}$
Resistor $R_{B2}$	$R_{B2} = \frac{0,6 + 1,2}{0,0012} = 1.500 \ \Omega$
Resistor $R_{B1}$	$R_{B1} = \frac{12 - 1,8}{0,0012} = 8.500 \ \Omega$

## MODIFICAÇÃO DO PONTO DE OPERAÇÃO

Os estágios transistorizados polarizados por divisor de tensão possuem ótima estabilidade térmica, não necessitando de correções quando submetidos a variações de temperatura. Dessa forma, a alteração intencional do ponto de operação só pode ser obtida pela modificação de alguns elementos de circuito.

A discussão a seguir ilustra a forma de obtenção de um aumento ou diminuição da tensão coletor-emissor de um estágio polarizado por divisor de tensão com os parâmetros indicados na Fig.12.

Seja, por exemplo, a situação em que se deseja aumentar a tensão  $V_{CE}$  do transistor. Para isso é necessário reduzir a queda de tensão nos resistores  $R_E$  e  $R_C$ , como sugere a Fig.13.

As tensões  $V_{Rc}$  e  $V_E$  são proporcionais à corrente  $I_C$ , e portanto uma redução nos valores de  $V_{Rc}$  e  $V_E$  pode ser obtida pela redução de  $I_C$ .

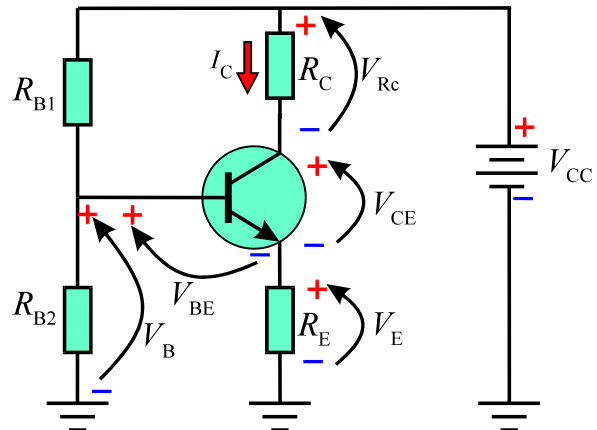


Fig.12 Estágio transistorizado com base polarizada por divisor de tensão.

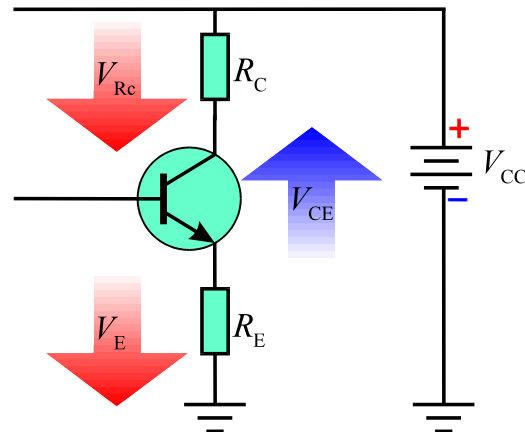
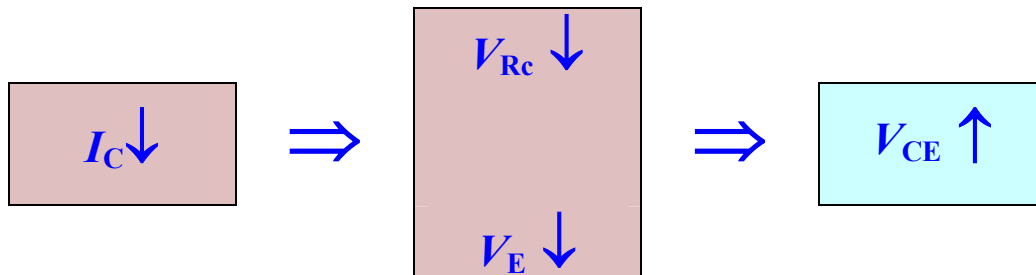
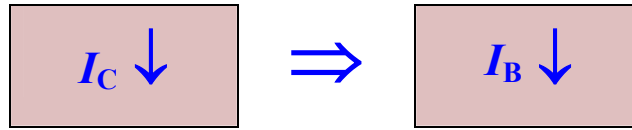


Fig.13 Aumento de  $V_{CE}$  pela diminuição dos parâmetros  $V_{Rc}$  e  $V_E$ .



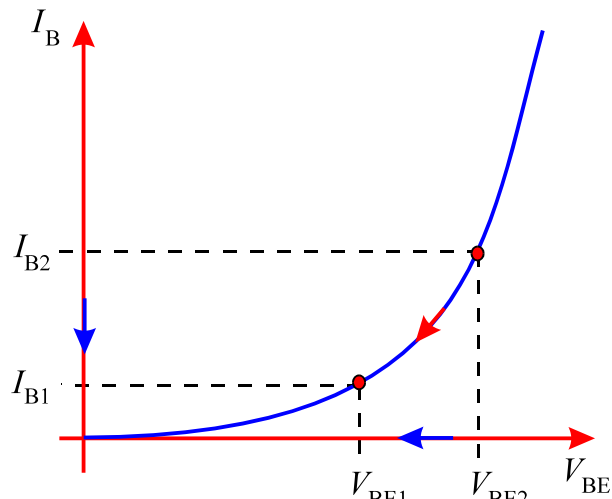
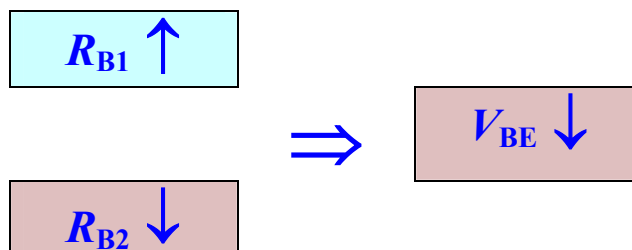
Como a corrente  $I_C$  é proporcional a  $I_B$ , para reduzir  $I_C$  deve-se reduzir  $I_B$ .



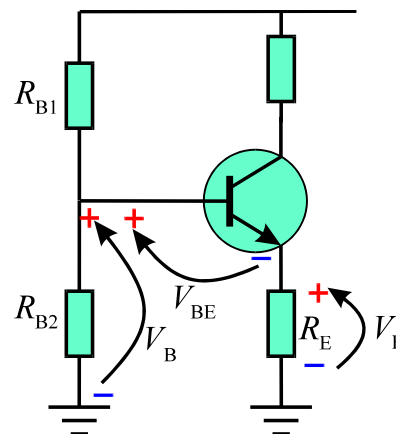
A corrente  $I_B$  varia com a tensão  $V_{BE}$  de acordo com a curva mostrada na **Fig.14** e, portanto, uma redução na corrente  $I_B$  pode ser obtida diminuindo-se a tensão  $V_{BE}$ .

Como mostra a **Fig.15**, a tensão  $V_{BE}$  corresponde à diferença de potencial entre os terminais da base e do emissor. Com  $V_E$  já tendo sido reduzido pela redução de  $I_C$ , deve-se também reduzir  $V_B$  para obter-se a diminuição desejada em  $V_{BE}$ .

Como se pode observar na **Fig.15**, a tensão  $V_B$  é aquela fornecida pelo divisor de tensão e corresponde à queda de tensão sobre o resistor  $R_{B2}$ . Assim a diminuição de  $V_{BE}$  pode ser obtida diminuindo o valor de  $R_{B2}$  e aumentando o valor de  $R_{B1}$ , de forma a garantir que a corrente  $I_D$  não sofra nenhuma modificação substancial. Esse efeito está ilustrado no diagrama seguinte.

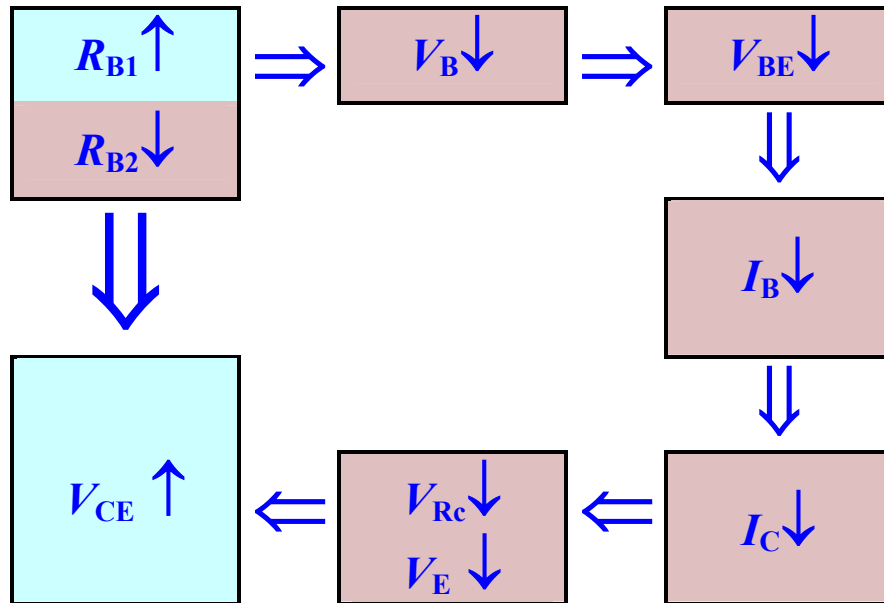


**Fig.14** Curva característica  $I_B \times V_{BE}$ .



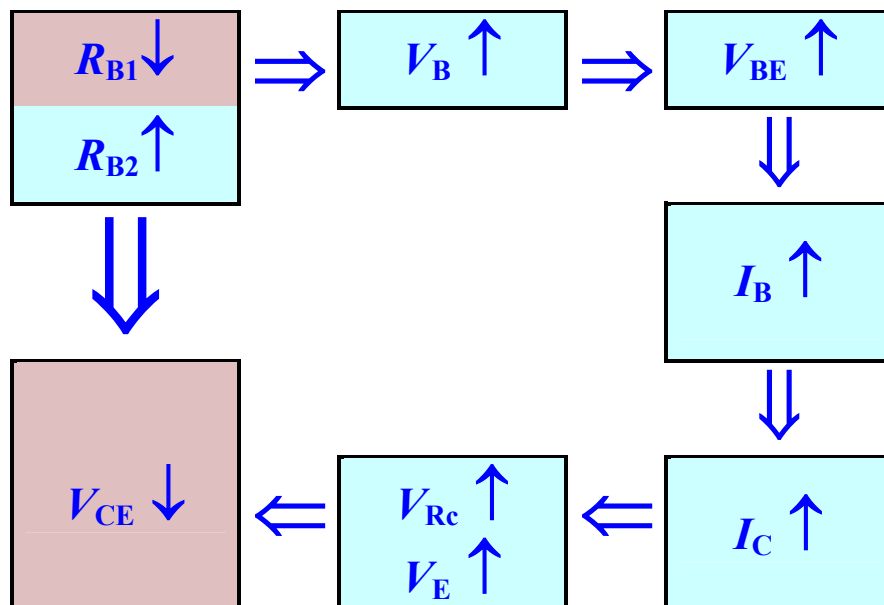
**Fig.15** Trecho do estágio transistorizado e relação entre tensões na malha da base.

O processo de diminuição da tensão  $V_{CE}$  pela alteração dos resistores do divisor está representado diagramaticamente na **Fig.16**.



**Fig.16** Diagrama representativo do processo de aumento da tensão  $V_{CE}$ .

Para se obter uma redução na tensão  $V_{CE}$  do transistor, deve-se reduzir  $R_{B1}$  e aumentar  $R_{B2}$ , como sugere o diagrama mostrado na **Fig.17**.



**Fig.17** Diagrama representativo do processo de redução da tensão  $V_{CE}$ .



## FATOR DE ESTABILIDADE

Os circuitos polarizados por divisor de tensão exibem um fator de estabilidade  $S$  de bom a ótimo. A alta estabilidade térmica desse método de polarização deve-se, principalmente, à inclusão do resistor de emissor.

O fator de estabilidade para esse tipo de circuito pode ser calculado da expressão

$$S = \frac{R_E + R_B}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta + 1}\right)} \quad (16)$$

onde  $R_B$  é a resistência equivalente do divisor, dada por

$$R_B = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (17)$$

## O PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO TÉRMICA

As variações de temperatura influenciam a corrente de coletor do circuito, através da corrente de fuga  $I_{CBO}$ . Essa afirmação é o resultado da relação entre correntes no transistor

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CBO} \quad (18)$$



*variável com a temperatura*

A componente de fuga da corrente de coletor não pode ser alterada externamente pois se deve a fenômenos internos ao transistor. A polarização por divisor de tensão atua, no entanto, na parcela de  $I_C$  que é dependente da corrente de base, fazendo que as variações na corrente de fuga sejam compensadas por variações opostas na corrente  $I_B$ .

Utilizando a condição de alto ganho, i.e.,  $\beta \gg 1$ , a Eq.(18) pode ser aproximada pela expressão

$$I_C = \beta(I_B + I_{CBO}) \quad (19)$$

↑↑      ↑↑

variações em  $I_{CBO}$  são compensadas por variações opostas em  $I_B$

A correção automática sugerida na Eq.(19) pode ser facilmente compreendida analisando-se o comportamento do circuito mostrado na Fig.18, quando sujeito a variações térmicas.

A partir do momento em que a temperatura aumenta, a corrente de coletor  $I_C$  tende a aumentar como consequência do aumento da corrente de fuga  $I_{CBO}$ .

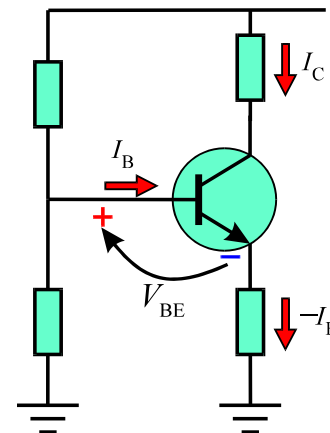
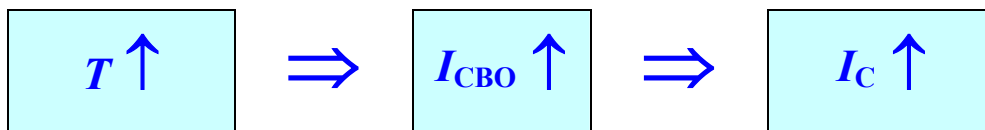
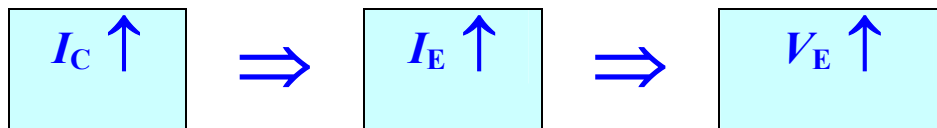


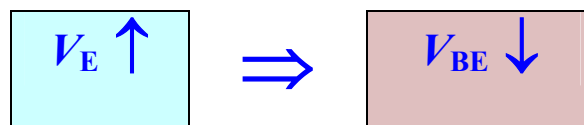
Fig.18 Circuito transistorizado com base polarizada por divisor de tensão.



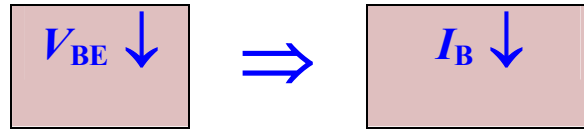
A modificação produzida em  $I_C$  aumenta a corrente  $I_E$ , visto que  $I_E \approx I_C$ , que por sua vez provoca um acréscimo na tensão  $V_E = R_E I_E$ .



Da Eq.(6) verifica-se que a tensão  $V_{BE}$  diminui com o aumento da tensão  $V_E$ , para um valor fixado da tensão  $V_B$  do divisor.

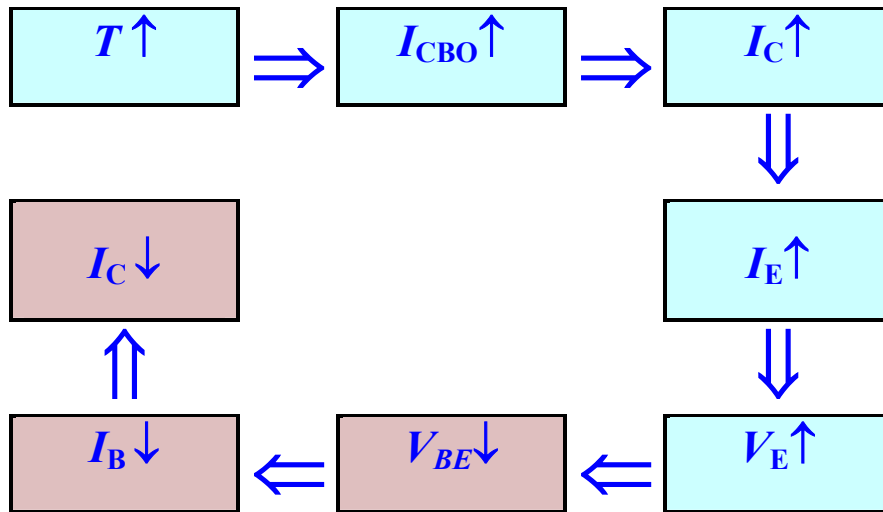


Com base na curva característica mostrada na **Fig.14**, essa diminuição na tensão  $V_{BE}$  provoca um decréscimo na corrente de base  $I_B$ .



A redução em  $I_B$  provoca uma diminuição na corrente  $I_C$ . Esse processo de compensação se repete até que a corrente de coletor atinja o valor estabelecido inicialmente. Dessa forma o circuito é praticamente insensível às variações de temperatura.

A **Fig.19** mostra a seqüência de eventos que compõem o processo de estabilidade térmica de um circuito transistorizado com polarização de base por divisor de tensão.



**Fig.19** Seqüência de eventos que provocam a estabilização térmica de um circuito transistorizado com polarização de base por divisor de tensão.

# Apêndice

## QUESTIONÁRIO

1. Quais são os elementos básicos que compõem um circuito transistorizado com base polarizada por divisor de tensão?
2. Qual a finalidade do divisor de tensão nesses tipos de circuito?
3. Qual a finalidade do resistor  $R_E$  nesses circuitos?
4. Repita o **Exemplo 1** para o caso  $I_C = 6 \text{ mA}$ .
5. Na análise de um circuito transistorizado polarizado por divisor de tensão:
  - (a) quais são os parâmetros de entrada?
  - (b) quais são os parâmetros da malha do coletor?
  - (c) quais são os parâmetros de saída?
6. Qual a principal característica térmica de um circuito transistorizado polarizado por divisor de tensão?
7. Calcule o fator de estabilidade térmica de um circuito transistorizado polarizado por divisor de tensão com os seguintes parâmetros:  $R_E = 100 \Omega$ ,  $R_{B1} = 8,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 1,5 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 100$ .

## BIBLIOGRAFIA

CIPELLI, Antônio Marco Vicari & SANDRINI, Valdir João. Teoria do desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos . 7.ed. São Paulo, Érica, 1983. 580p.

MILLMAN, Jacob & HALKIAS, Christos C. Eletrônica: Dispositivos e circuitos. Trad. Elédio José Robalinho e Paulo Elyot Meirelles Villela. São Paulo, Mc Graw Hill do Brasil. 1981. il. v.2

SENAI/ Departamento Nacional. Reparador de circuitos eletrônicos: eletrônica básica II. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, c 1979. (Coleção Básica Senai, Módulo 1).