

Transistores Bipolares 3

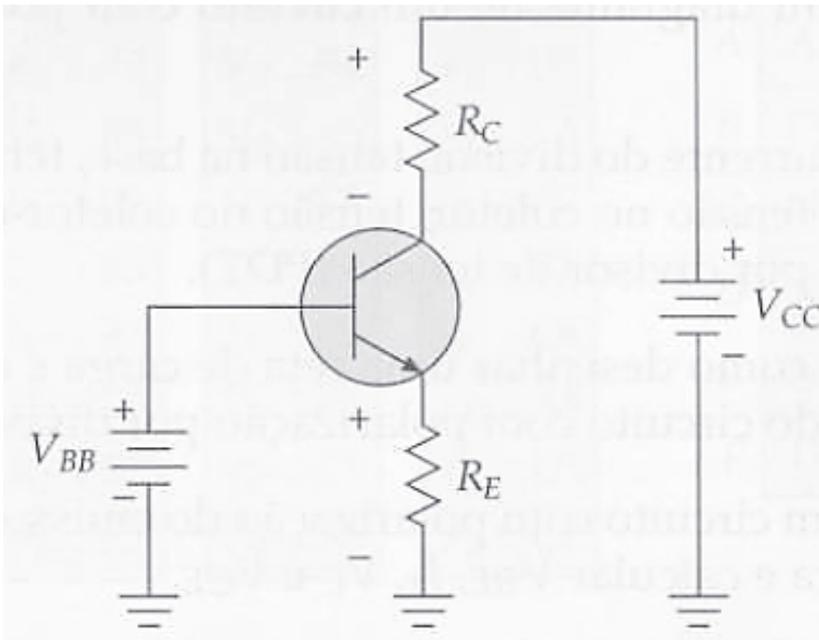
Adrielle C. Santana

Polarização por Divisor de Tensão

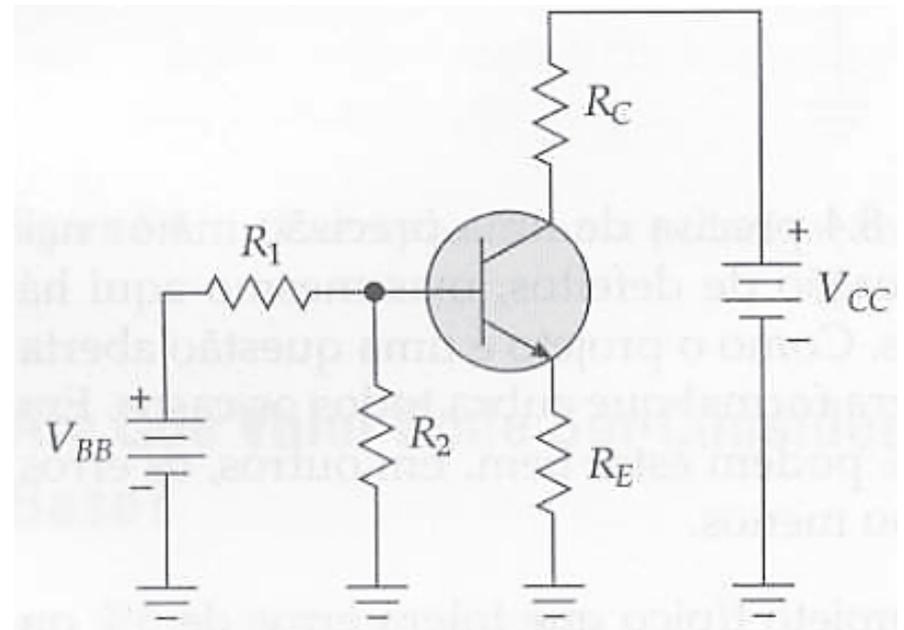
O circuito de polarização do emissor pode ser modificado a fim de se obter a **polarização por divisor de tensão (PDT)**.

Essa polarização é utilizada quando deseja-se diminuir a tensão a ser aplicada na base sem ter que alterar a fonte.

Polarização por Divisor de Tensão



polarização do emissor



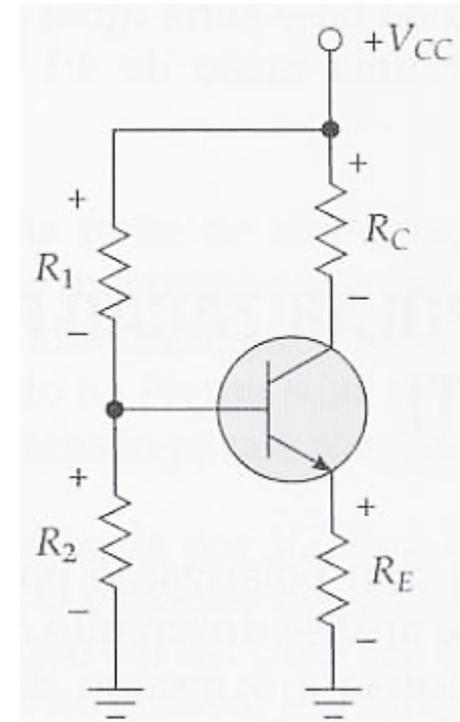
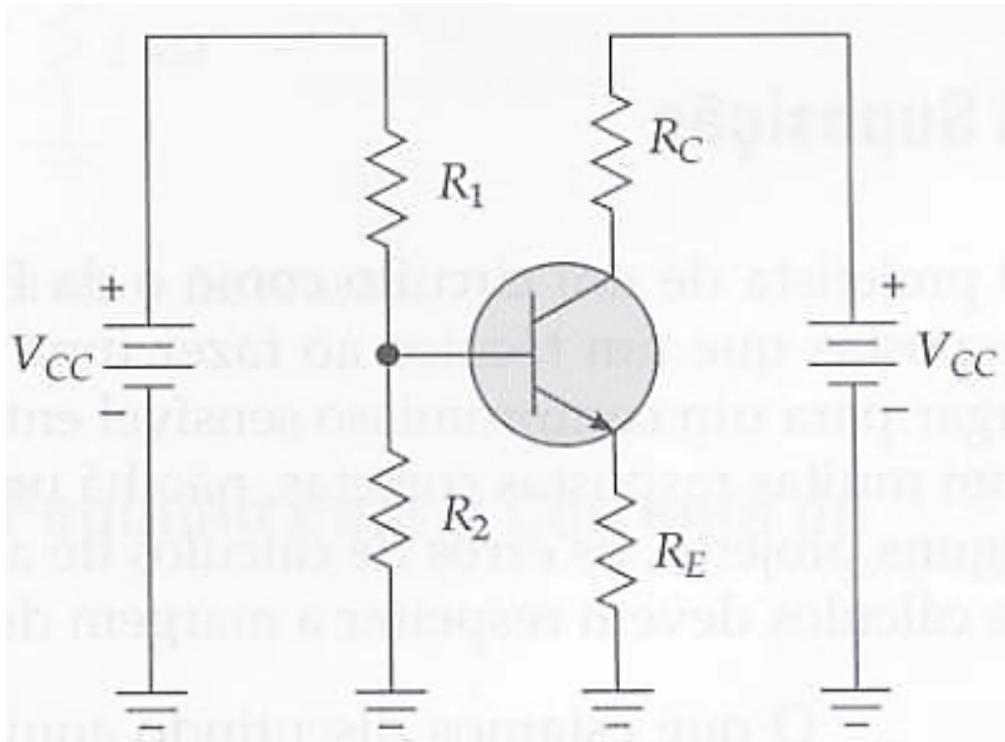
Modificando a polarização do emissor

Polarização por Divisor de Tensão

Nessa polarização a tensão da base é a própria tensão medida sobre o resistor R_2 .

Muitos circuitos eletrônicos possuem apenas uma fonte de tensão. Nesse caso a mesma fonte pode ser utilizada para a base e para o coletor sem problemas. A regulagem da tensão da base pode ser feita normalmente pelos resistores R_1 e R_2 na PDT.

Polarização por Divisor de Tensão

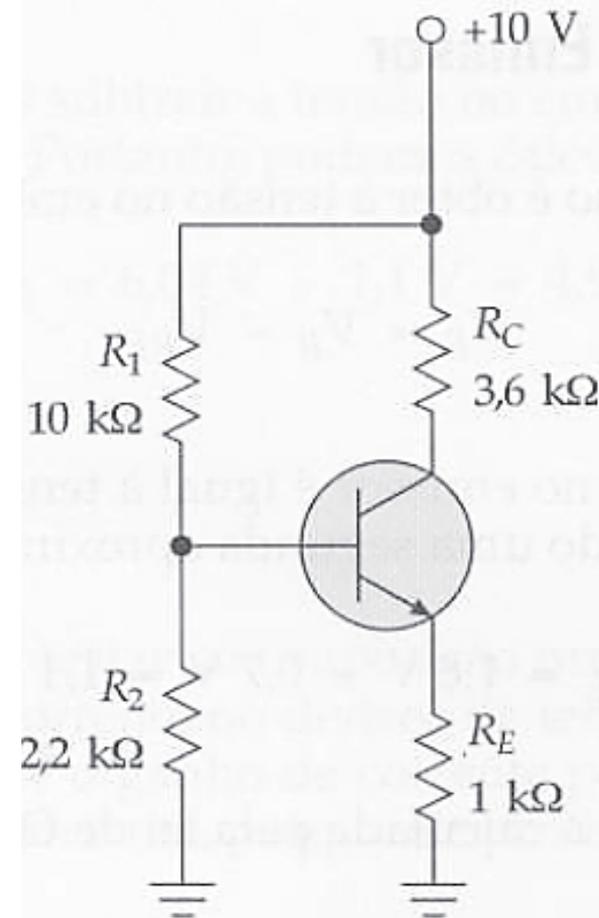


Polarização por Divisor de Tensão

Análise da PDT

O primeiro passo é calcular a tensão na base.

Suporemos que a corrente da base é **muito pequena** de modo a não influenciar na queda de tensão da malha do divisor de tensão.



Polarização por Divisor de Tensão

Segue o cálculo da corrente no divisor de tensão.

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

$$I = \frac{10 \text{ V}}{12,2 \text{ k}\Omega} = 0,82 \text{ mA}$$

Mas até que valor para a corrente de base é considerado muito pequeno?

Assumindo um erro admissível de cálculos de 5%; uma regra geral é que a corrente de base seja pelo menos 20 vezes menor que a corrente do divisor.

Polarização por Divisor de Tensão

Dessa forma temos:

$$I_B = \frac{0,82 \text{ mA}}{20} = 41 \mu\text{A}$$

A tensão na base é então calculada com base na queda de tensão no resistor R_2 .

$$V_B = IR_2 \quad V_B = (0,82 \text{ mA})(2,2 \text{ k}\Omega) = 1,8 \text{ V}$$

Polarização por Divisor de Tensão

A tensão e corrente no emissor são calculados conforme o circuito de polarização do emissor visto na aula anterior.

$$V_E = V_B - V_{BE} \quad V_E = 1,8 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 1,1 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \quad I_E = \frac{1,1 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1,1 \text{ mA}$$

Polarização por Divisor de Tensão

A tensão e corrente no coletor são calculados conforme o circuito de polarização do emissor também visto na aula anterior.

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

Como $I_C \cong I_E$ $V_C = 10 \text{ V} - (1,1 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 6,04 \text{ V}$

$$V_{CE} = 6,04 \text{ V} - 1,1 \text{ V} = 4,94 \text{ V}$$

Polarização por Divisor de Tensão

Testando a suposição

Calculou-se anteriormente para um erro admissível de 5%, uma corrente I_B crítica de $41\mu A$. Utilizando a relação $I_C = \beta_{CC} I_B$ e considerando que o ganho de corrente nesse transistor pode variar de 36 a 300, temos um pior caso (I_B maior) quando o ganho for o menor, ou seja, 36. Para a corrente I_C encontrada tem-se para o pior caso:

$$I_B = \frac{1,1 \text{ mA}}{36} = 30,5 \mu A$$

Polarização por Divisor de Tensão

Que é menor que o valor crítico calculado.

Uma característica dessa polarização é que a tensão na base é quase constante, mantendo também constantes todas as outras tensões e correntes do circuito do transistor mesmo com variações de temperatura e nos transistores.

Polarização por Divisor de Tensão

Ponto Q

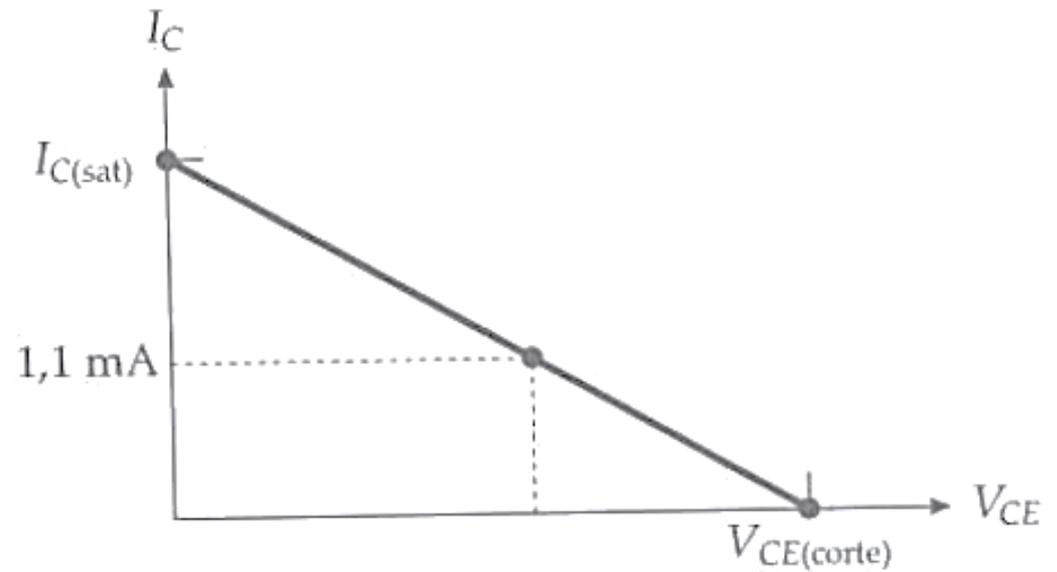
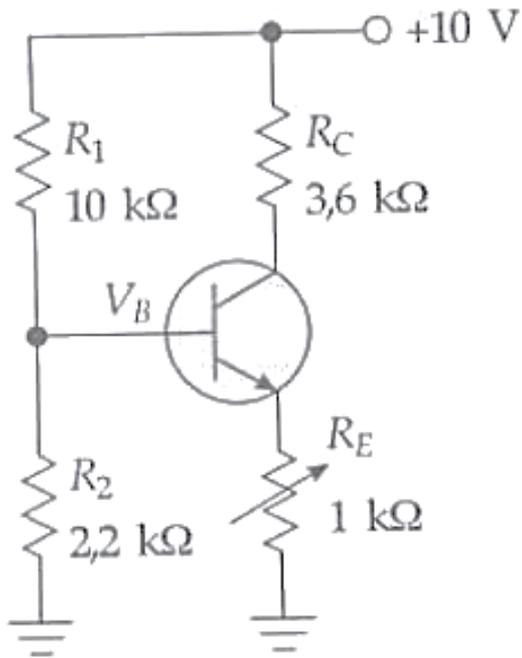
O circuito de polarização por divisor de tensão aproxima-se do circuito de polarização do emissor uma vez que quando o divisor está estável, a corrente na base é pequena (não afetando muito a tensão na base) e não varia facilmente mantendo assim o ponto Q estável e imune às variações do β_{CC} .

Reta de Carga e Ponto Q para o PDT

De acordo com o circuito PDT anterior o seu ponto Q é dado por: $I_C=1,1 \text{ mA}$ e $V_{CE}=4,94\text{V}$

Como vimos que esse ponto é imune a variações de β_{CC} e que a tensão no emissor tende a ser constante, a única forma de varia Q é variando o resistor R_E .

Reta de Carga e Ponto Q para o PDT



Reta de Carga e Ponto Q para o PDT

Se fizermos $R_E = 2,2 \text{ k}\Omega$:

$$I_E = \frac{1,1 \text{ V}}{2,2 \text{ k}\Omega} = 0,5 \text{ mA}$$

$$V_C = 10 \text{ V} - (0,5 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 8,2 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 8,2 \text{ V} - 1,1 \text{ V} = 7,1 \text{ V}$$

De modo que o novo ponto Q agora fica em:

$$I_C = 0,5 \text{ mA} \text{ e } V_{CE} = 7,1 \text{ V}$$

Reta de Carga e Ponto Q para o PDT

Se fizermos $R_E = 510 \Omega$:

$$I_E = \frac{1,1 \text{ V}}{510 \Omega} = 2,15 \text{ mA}$$

$$V_C = 10 \text{ V} - (2,15 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 2,26 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 2,26 \text{ V} - 1,1 \text{ V} = 1,16 \text{ V}$$

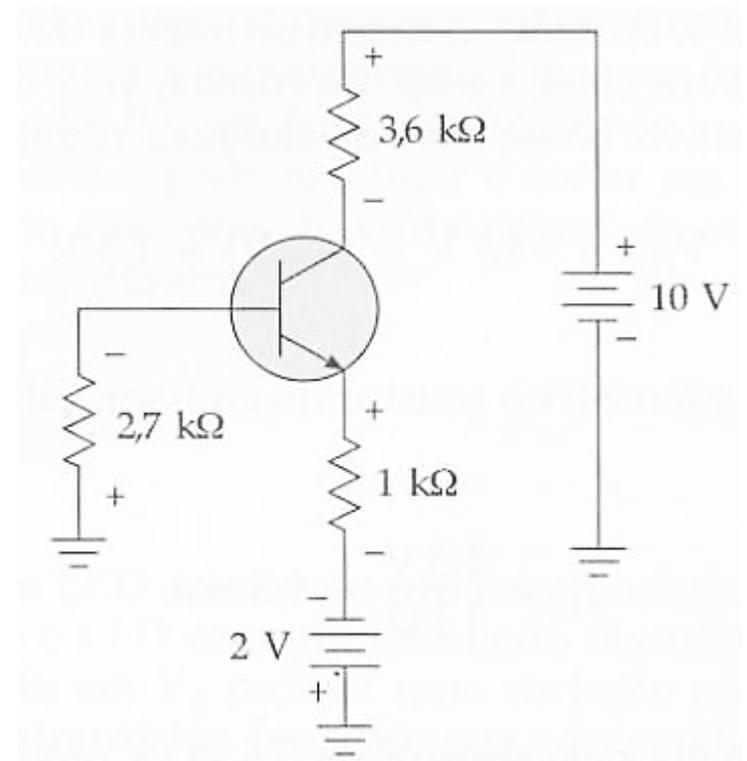
De modo que o novo ponto Q agora fica em:
 $I_C = 2,15 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 1,16 \text{ V}$

Reta de Carga e Ponto Q para o PDT

Os valores de V_{CC} , R_1 , R_2 e R_C controlam os pontos de saturação e corte na reta de carga. Uma vez fixado seus valores o projetista pode mover o ponto Q apenas variando a resistência R_E de modo a levar o circuito à saturação (R_E pequeno) ou ao corte (R_E grande).

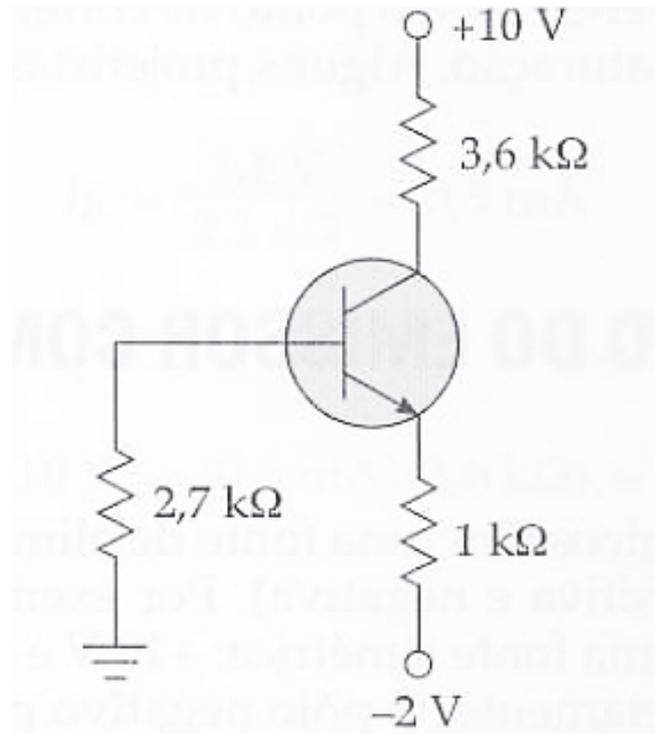
Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

Nesse circuito derivado do circuito de polarização do emissor, possui duas fontes com duas polaridades. No exemplo abaixo uma fonte é de +10V e a outra de -2V.



Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

Pode-se redesenhar esse circuito da seguinte forma:



Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

Nessa polarização a tensão na base V_B é aproximadamente 0V.

No diodo emissor (base para emissor) consideramos a queda de tensão sempre de -0,7V.

Para calcular I_E é importante saber a queda de tensão no resistor do emissor dada por:

$$V_{RE} = -0,7 \text{ V} - (-2 \text{ V}) = 1,3 \text{ V}$$

Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

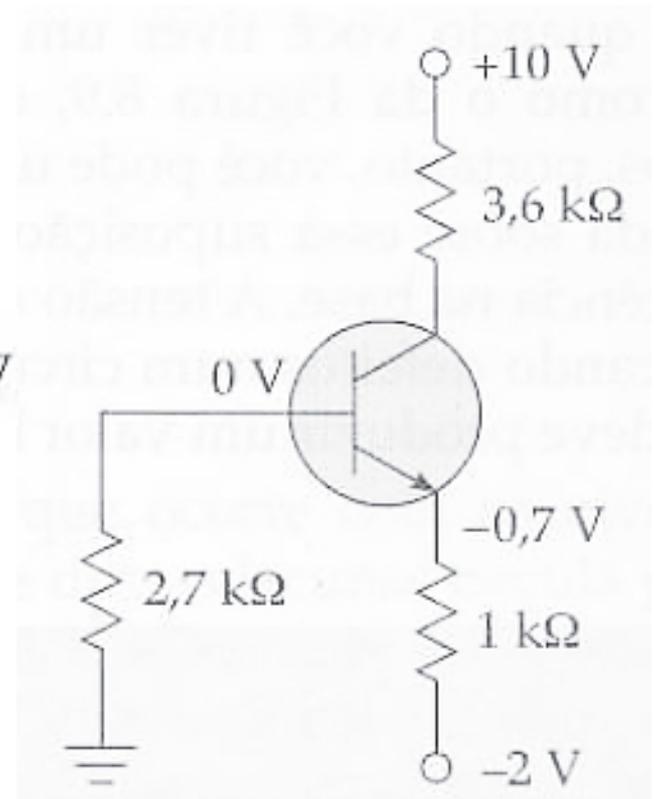
$$I_E = \frac{1,3 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1,3 \text{ mA}$$

Essa é a corrente no coletor também a qual resulta na V_C

$$V_C = 10 \text{ V} - (1,3 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 5,32 \text{ V}$$

De onde se obtém V_{CE}

$$V_{CE} = 5,32 \text{ V} - (-0,7 \text{ V}) = 6,02 \text{ V}$$



Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

Análise mais precisa

Se considerarmos a existência de uma corrente pequena na base teremos uma tensão na base negativa. Supondo que ela seja no máximo de $-0,1\text{V}$. A tensão no emissor seria de $-0,8\text{V}$ e a queda de tensão V_{RE} e a corrente I_E seriam:

$$V_{RE} = -0,8\text{ V} - (-2\text{ V}) = 1,2\text{ V}$$

$$I_E = \frac{1,2\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 1,2\text{ mA}$$

Polarização do Emissor com Fonte Simétrica

Conseqüentemente V_C e V_{CE} seriam:

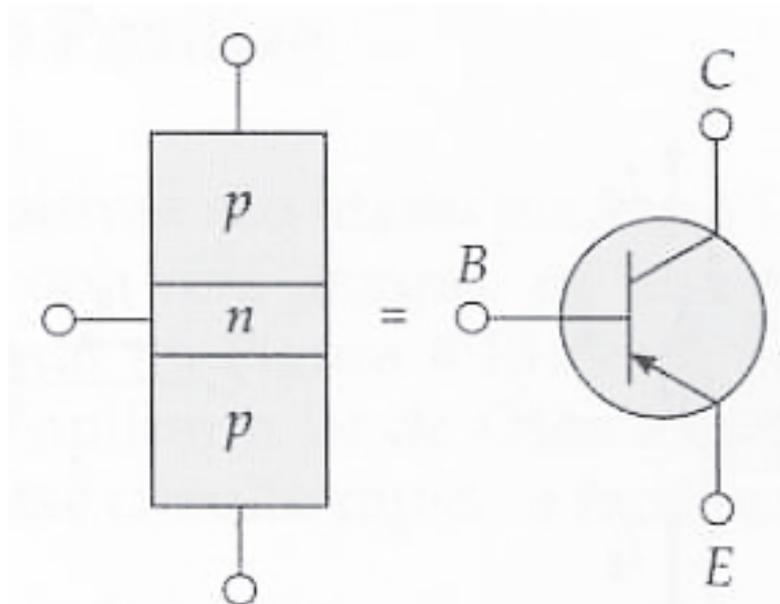
$$V_C = 10 \text{ V} - (1,2 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 5,68 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 5,68 \text{ V} - (-0,8 \text{ mA}) = 6,48 \text{ V}$$

Quando trabalhar com circuitos similares a esse, meça a tensão na base. Esta tensão deve ser pequena e negativa.

Transistores PNP

Nesse transistor devemos pensar que as lacunas são as cargas que se movem em vez dos elétrons livres (apenas para facilitar o entendimento pois, fisicamente apenas elétrons se movem).



Transistores PNP

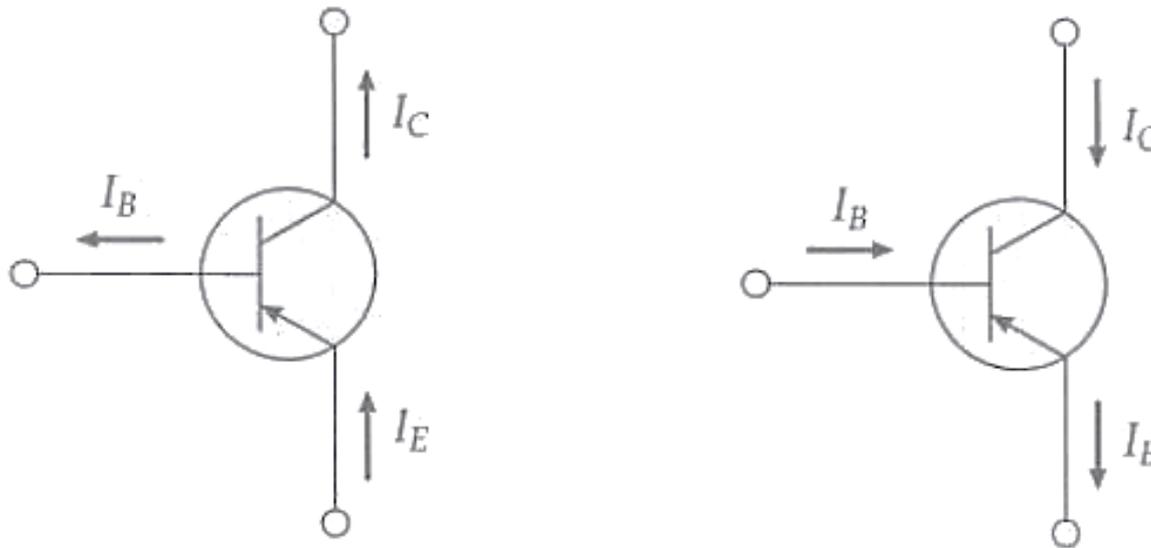
- Emissor injeta lacunas na base;
- A maior parte circula para o coletor sendo assim $I_C \cong I_E$.
- As fórmulas usadas antes continuam valendo:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\beta_{cc} = \frac{I_C}{I_B}$$

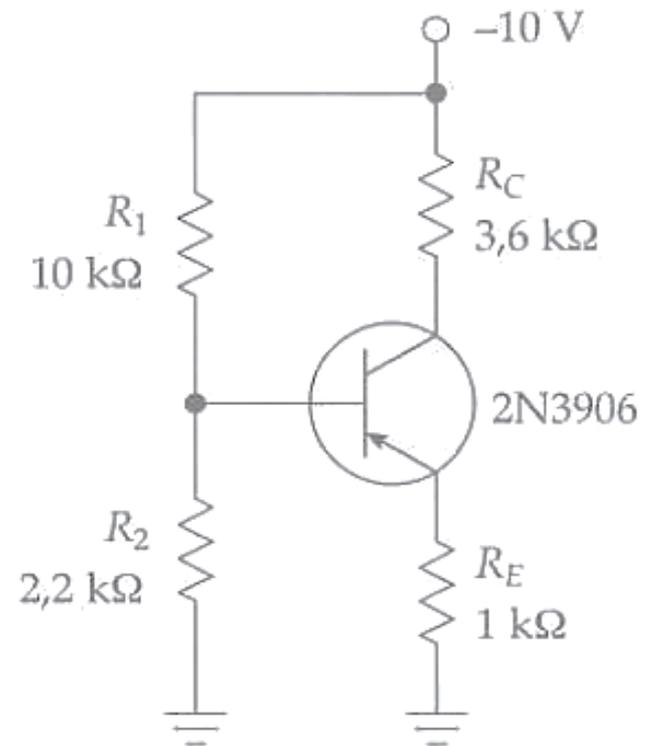
Transistores PNP

Sentidos real (fig. direita) e convencional (fig. esquerda) de circulação da corrente.



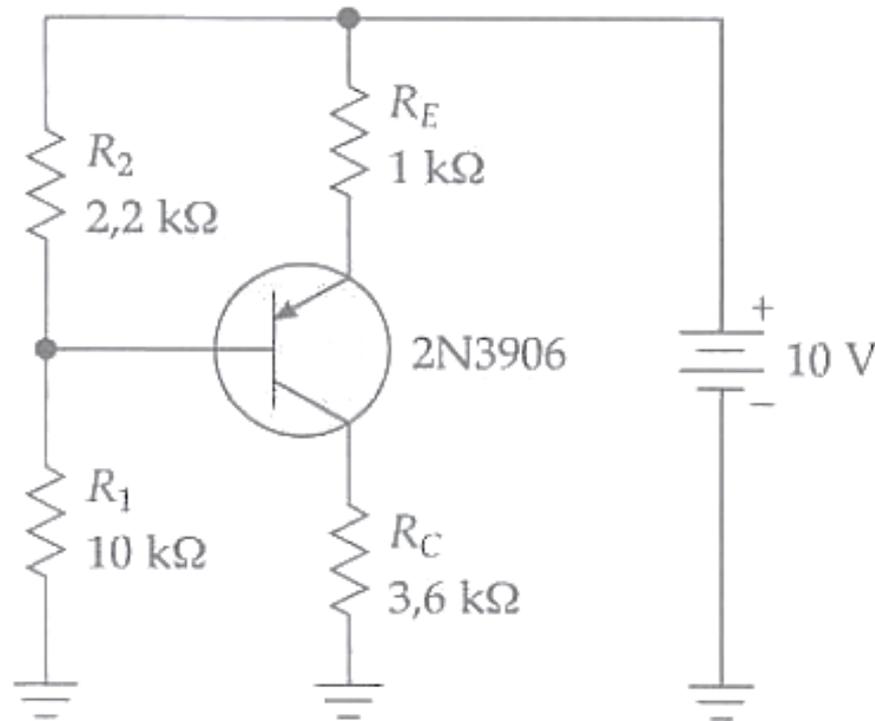
Transistores PNP

Se desejar substituir transistores NPN por PNP num circuito, basta utilizar uma fonte negativa de alimentação. No exemplo abaixo o 2N3904 foi substituído pelo 2N3906 que seria seu equivalente PNP (características próximas):



Transistores PNP

Para utilizar a fonte de tensão positiva basta inverter o transistor conforme a ilustração



Transistores PNP

Em um circuito de polarização por divisor de tensão com transistor PNP. As fórmulas e suposições anteriores para sua análise são, em sua maioria, as mesmas.

$$I = \frac{10 \text{ V}}{12,2 \text{ k}\Omega} = 0,82 \text{ mA}$$

$$V_2 = (0,82 \text{ mA})(2,2 \text{ k}\Omega) = 1,8 \text{ V}$$

$$V_{RE} = 1,8 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 1,1 \text{ V}$$

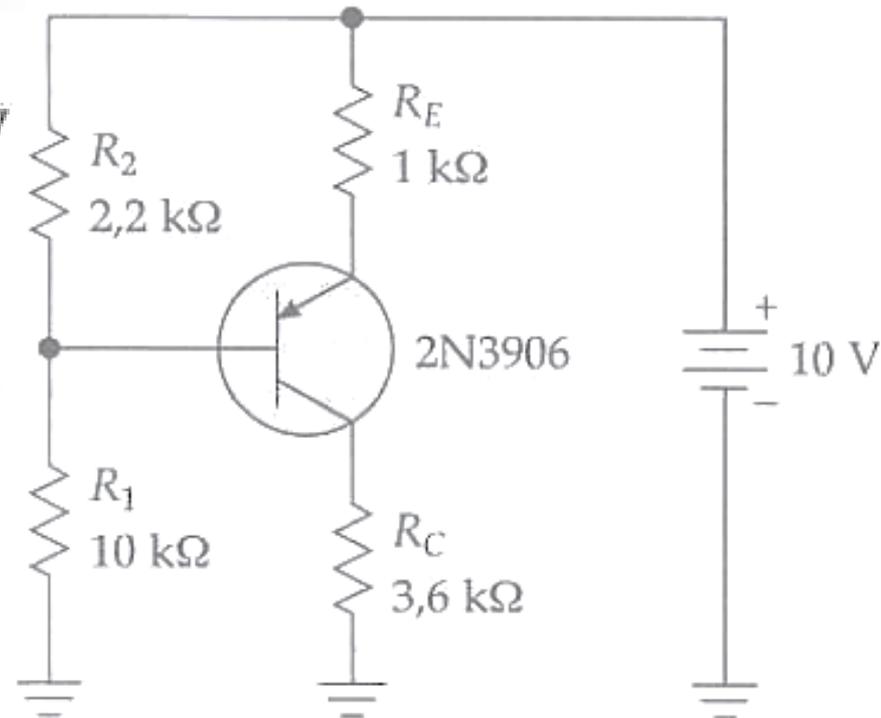
Transistores PNP

$$I_E = \frac{1,1 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1,1 \text{ mA}$$

$$V_E = 10 \text{ V} - 1,1 \text{ V} = 8,9 \text{ V}$$

$$V_C = (1,1 \text{ mA})(3,6 \text{ k}\Omega) = 3,96 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 3,96 \text{ V} - 8,9 \text{ V} = -4,94 \text{ V}$$



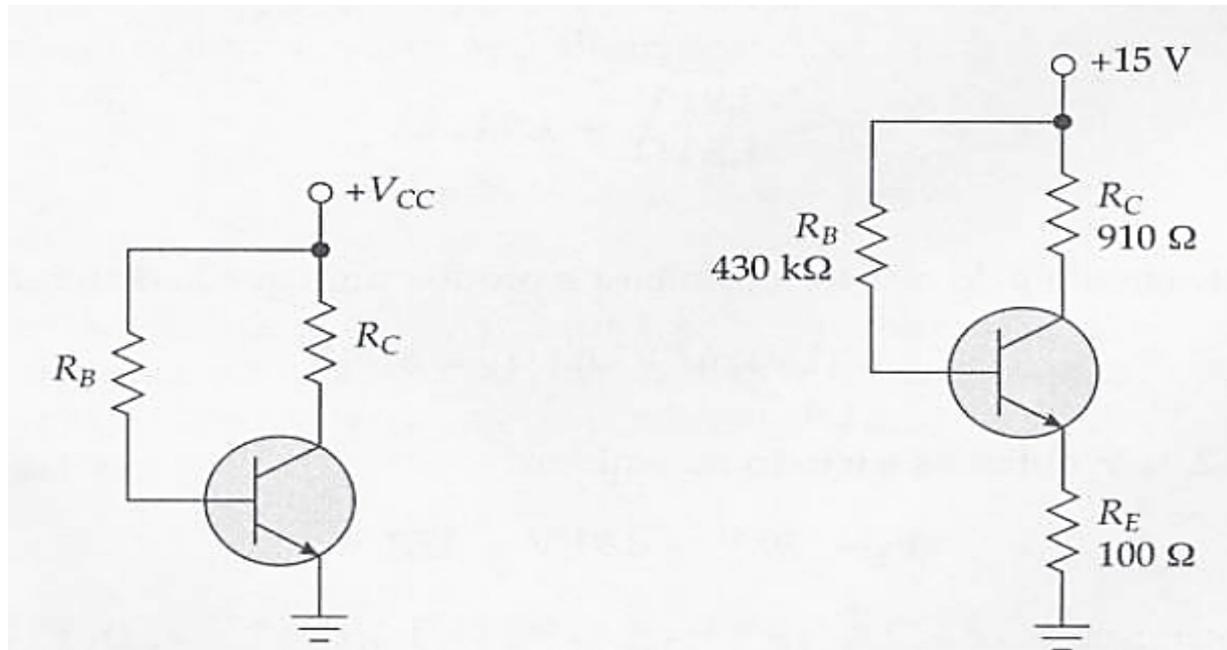
Transistores PNP

A V_{CE} deu negativa pois, por definição, mede-se ela do coletor para o emissor, tomando este último como referência.

Outras Polarizações

Veremos a seguir algumas polarizações raramente utilizadas. Será uma visão geral apenas para saberem que elas existem.

POLARIZAÇÃO POR REALIMENTAÇÃO DO EMISSOR



Outras Polarizações

Considere um circuito de polarização da base onde qualquer pequena variação no ganho de corrente altera a posição do ponto Q na reta de carga.

Estabiliza-se o ponto Q adicionando-se um resistor no emissor (pol. Realimentação do emissor). Como isso funciona?

- Suponha um aumento no β_{CC} . Pode acarretar:
 - Aumento de I_C ;
 - Diminuição de I_B ;
 - Ambos

Outras Polarizações

- Quando I_C aumenta, I_E aumenta e a tensão V_E aumenta.
- Se V_E aumenta (ela depende de V_B), V_B aumentou; e de modo a manter V_E no novo valor, a corrente I_B deve diminuir (queda de tensão em R_B tem de ser menor para sobrar mais V_B , logo I_B tem que cair).
- Se I_B diminui, conseqüentemente I_C e I_E diminuem.
- Com o resistor do emissor, obtém-se uma I_E que por meio do V_E sempre fará variar o valor de I_B de acordo com a variação do ganho de corrente de modo a manter o valor de I_C mais estável e conseqüentemente o ponto Q.

Outras Polarizações

Basicamente tem-se aqui uma entrada (corrente na base) e duas saídas (correntes no emissor e coletor) de modo que o aumento na saída I_E faz diminuir a entrada I_B .

Essa é a chamada **Realimentação Negativa**.

Essa polarização não é muito utilizada pois o deslocamento no ponto Q é ainda grande se comparada a PDT.

Outras Polarizações

As fórmulas básicas para essa polarização seguem abaixo:

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

$$I_C = \beta_{cc} I_B$$

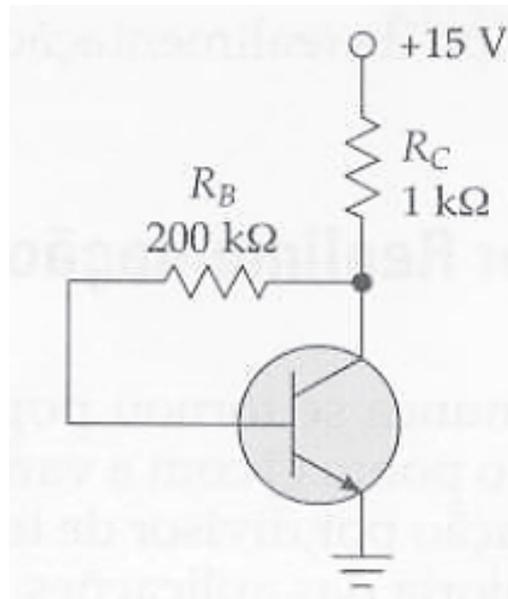
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + R_B (\beta_{cc} + 1)}$$

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

Outras Polarizações

POLARIZAÇÃO POR REALIMENTAÇÃO DO COLETOR

Trata-se de outro circuito onde tentou-se fazer a estabilização do ponto Q.



Outras Polarizações

Como funciona?

- Aumento no ganho de corrente aumenta corrente no coletor.
- Conseqüentemente V_C diminui.
- Se V_C diminui, V_B diminui causando diminuição na I_B .
- A corrente menor na base leva a uma corrente menor no coletor.
- Com o resistor R_C , tem-se uma realimentação negativa onde a variação de I_B tenderá a manter I_C mais estável enquanto varia.

Outras Polarizações

As fórmulas básicas dessa polarização seguem abaixo:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B/(\beta_{cc} + 1)}$$

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

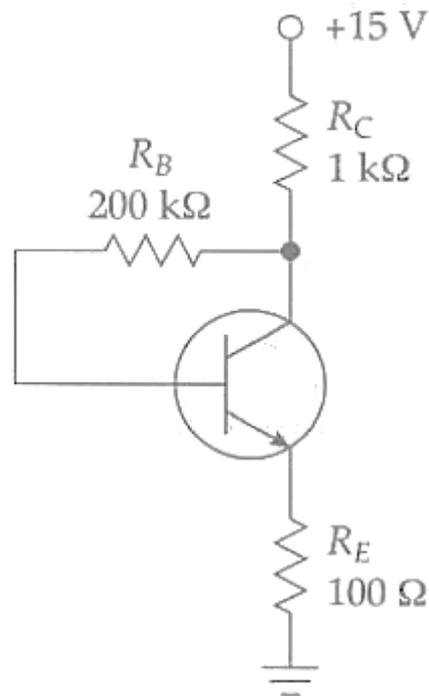
Outras Polarizações

Como a realimentação negativa das duas configurações anteriores não era o suficiente para estabilizar o ponto Q então o criador dessa nova configuração pensou que se utilizasse a realimentação negativa das duas configurações juntas, conseguiria um resultado melhor.

Ainda não foi o suficiente para conseguir uma boa estabilização do ponto Q.

Outras Polarizações

POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO COLETOR E DO EMISSOR



Outras Polarizações

Seguem as fórmulas para essa configuração:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_E + R_B/(\beta_{cc} + 1)}$$

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