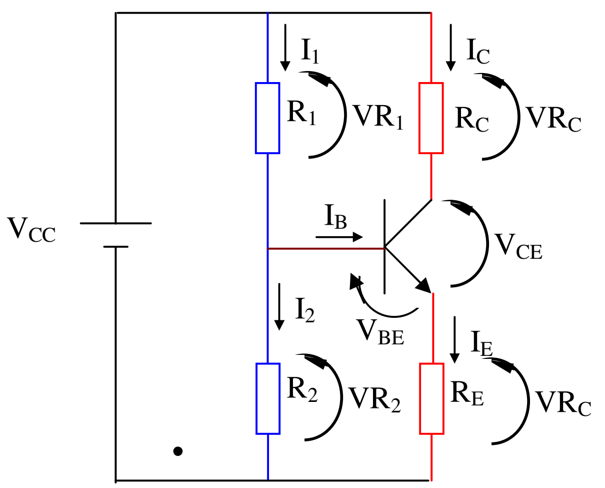
Polarização de transistores
Prof. Nilton Cesar de Oliveira Borges

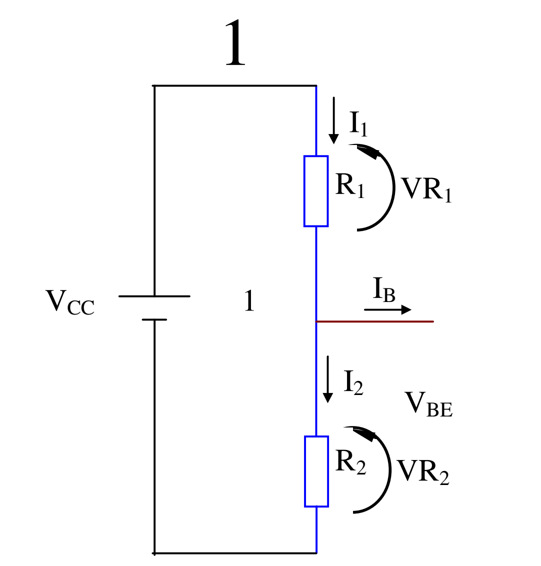
Na analise de circuitos transistorizados se trabalha basicamente com três princípios básicos:
1) A lei de Kirchoff, onde a soma de tensões em uma malha fechada é zero.
2) A lei de Ohm
3) E a relação entre a corrente de emissor e corrente de base que chamamos de "β".

Para algumas configurações afim simplificarmos analise, consideramos apenas que o parâmetro "β" é bem grande ou seja, maior que 100.

Circuito:



Na circuito acima temos três malhas que serão utilizadas para analise:

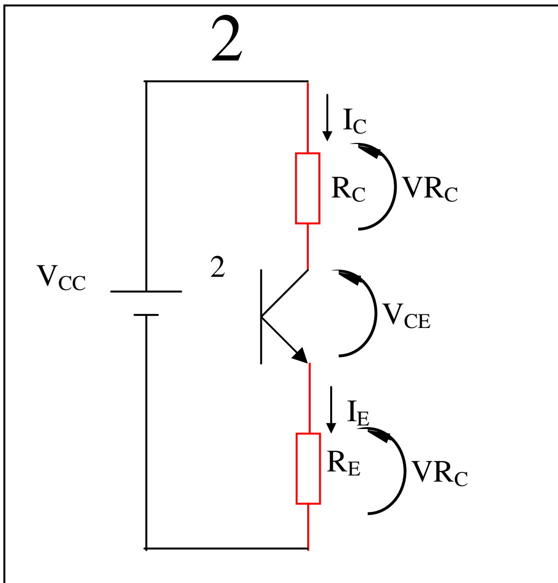


Na malha 1 temos:

$$(1A)\ V_{CC} = V_{R1} + V_{R2}$$

aplicando a lei de ohm $V = R \cdot I$ a equação 1A temos:
$V_{CC} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$ sendo
$I_1 = I_B + I_2$ sendo I_B muito menor que I_2
logo:
$I_1 \cong I_2$
Portanto:
$V_{CC} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_1$

$$(1B)\ V_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1$$



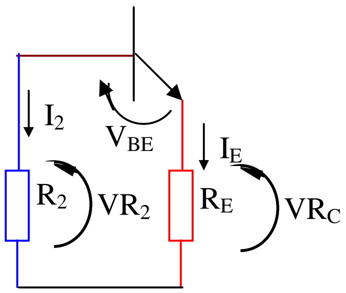
Na malha 2 temos:

$$(2A)\ V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE}$$

aplicando a lei de ohm $V = R \cdot I$ a equação 2A temos:
$V_{CC} = R_C \cdot I_C + R_E \cdot I_E + V_{CE}$ sendo
$I_E = I_B + I_E$ sendo I_B muito menor que I_C
logo:
$I_C \cong I_E$
Portanto:
$V_{CC} = R_C \cdot I_C + R_E \cdot I_C + V_{CE}$

$$(2B)\ V_{CC} = (R_C + R_E) \cdot I_C + V_{CE}$$

3



A malha 3 é a malha que vincula a 1 com a 2, sendo sua principal característica que quando o transistor esta trabalhando em sua região linear V_{BE} tem sempre valor constante, podendo ser adotado como 0,6 ou 0,7 Volts.

$$(3A)\; V_{R2} = V_{BE} + V_{RE}$$

aplicando a lei de ohm $V = R \cdot I$ a equação 2A temos:

$$(3B)\; I_1 \cdot R_2 = V_{BE} + R_E \cdot I_E$$

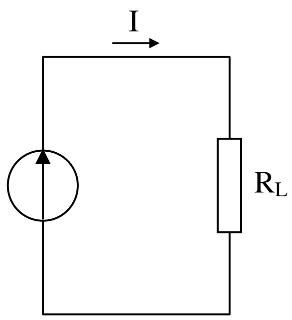
como $I_E = I_B + I_E$ e sendo I_B muito menor que I_C logo também é possível escrever

$I_C \cong I_E$

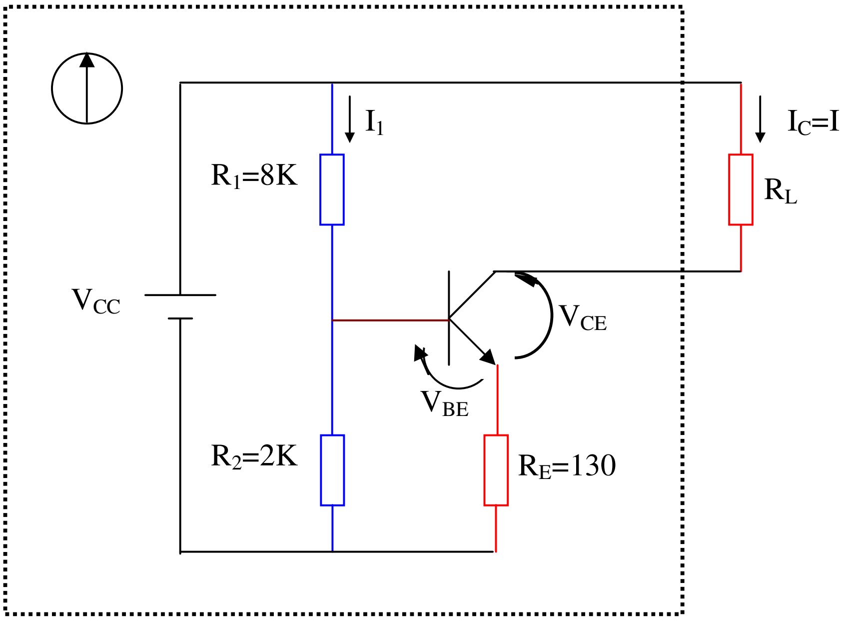
Portanto:

$$(3B)\; I_1 \cdot R_2 = V_{BE} + R_E \cdot I_C$$

Fonte de Corrente



A fonte de corrente tem a característica de fornecer a uma carga $\mathbf{R_L}$ uma corrente **I** constante, independente do valor da resistência dessa carga



Da equação 1B temos:

$$V_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_1 = \frac{10}{8K + 2K} \Rightarrow I_1 = 1mA$$

Da equação 3B temos:

$$R_2 \cdot I_1 = V_{BE} + R_E \cdot I_C \Rightarrow 2K \cdot 1x10^3 = 0{,}7 + 130 \cdot I_C \Rightarrow 130 \cdot I_C = 2 - 0{,}7 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 130 \cdot I_C = 1{,}3 \Rightarrow I_C = \frac{1{,}3}{130} \Rightarrow I_C = 10mA = I$$

Percebe-se que R_L não entrou em nenhum momento nos cálculos , desse modo a corrente **I** *independe da resistência de carga, sendo assim uma fonte de corrente para R_L.*

Polarização de transistores e reta de carga DC

Para o cálculo dos valores dos resistores de polarização de um circuito transistorizado na configuração de emissor comum é necessário ter-se as seguintes informações:

a) Potencia do transistor
b) Ganho de tensão desejada DC e AC
c) Tensão de alimentação DC do circuito.

Vamos utilizar para isso um exemplo:

a) Potencia do transistor igual a **100mW**
b) Ganho de tensão desejada DC e AC igual a **10 e 100 respectivamente**

c) Tensão de alimentação **10**Volts

Para circuitos de baixo sinal é interessante se trabalhar com potencia de trabalho menor que a metade da potencia do transistor, ou seja,igual ou menor que 50mW ou 0,05W. Sabe-se que a potencia dissipada em um transistor é dada pelo produto da corrente de trabalho (Icq) com a tensão de trabalho(VCEq), ou seja, $I_{Cq} \cdot V_{CEq}$ desse modo já temos a primeira relação onde(I) $I_{Cq} \cdot V_{CEq} = 0{,}05$

Pode-se também demonstrar que o Ganho de tensão DC é dado pela relação R_C / R_E ,sendo o ganho DC igual a 10 temos então a segunda relação importante (II) $\dfrac{R_C}{R_E} = 10$.

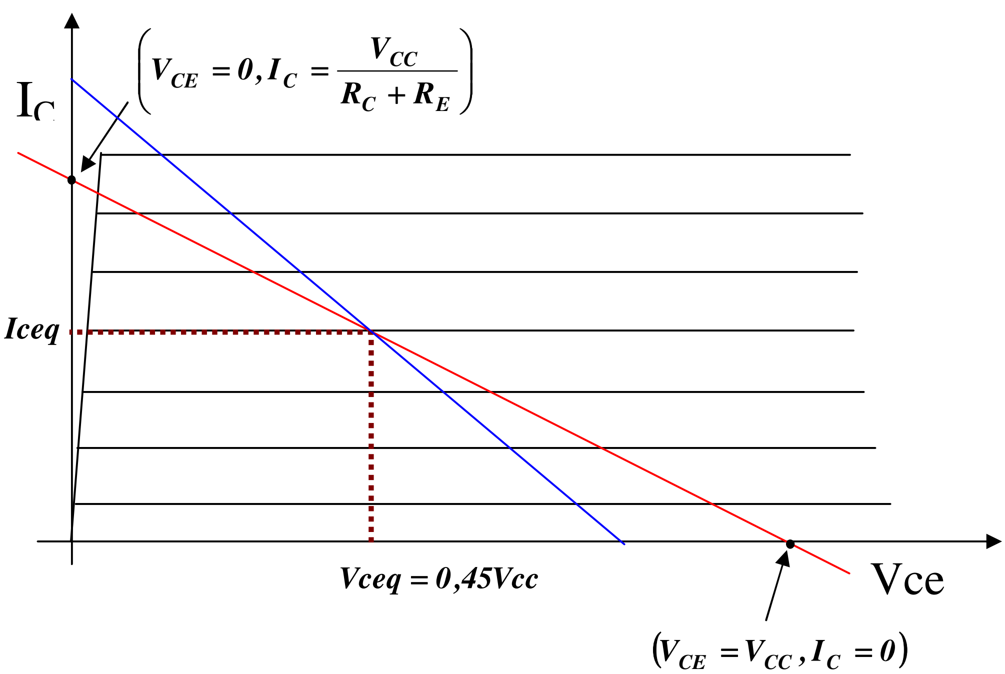
Temos ainda uma terceira informação extraída da reta de carga do transistor:

Vemos no desenho abaixo as duas retas de carga, em vermelho temos a reta de carga do sinal continuo(DC) e em a azul um pouco mais deslocada é a reta resultante do sinal DC mais o sinal AC que o amplificador irá amplificar, nesse caso se levassemos em conta apenas a parte de tensão continua $\mathbf{V_{CEq}}$ deveria idealmente ser igual a $0{,}5V_{CC}$, para que o sinal a ser amplificado tenha o maior percurso possível sem penetrar nas regiões não lineares do transistor, porém ao analizarmos a influência do sinal AC injetado no amplificador percebermos que o ponto central ideal para VCE é um ponto deslocado para esquerda, sendo assim costuma-se adotar V_{CE} como $0{,}45V_{CC}$.

Desse modo temos que $V_{CEq} = 0{,}45 \cdot Vcc \Rightarrow V_{CEq} = 0{,}45 \cdot 10 \Rightarrow V_{CEq} = 4{,}5V$.

Aplicando-se a relação (I) então:

$$I_{Cq} \cdot V_{CEq} = 0{,}05 \Rightarrow I_{Cq} = \frac{0{,}05}{V_{CEq}} \Rightarrow I_{Cq} = \frac{0{,}05}{4{,}5} \Rightarrow I_{Cq} \cong 0{,}11mA .$$



Utilizando-se a equação 2B temos:

$V_{CC} = (R_C + R_E) \cdot I_C + V_{CE} \Rightarrow 10 = (R_C + R_E) \cdot 11 \times 10^{-3} + 4{,}5$ sabendo através da relação (II) que $\dfrac{R_C}{R_E} = 10 \Rightarrow R_C = 10 \cdot R_E$ logo $V_{CC} = (10 \cdot R_E + R_E) \cdot I_C + V_{CE} \Rightarrow$

$$10 = (11 \cdot R_E) \cdot 11 \times 10^{-3} + 4{,}5 \Rightarrow 10 - 4{,}5 = 11 \cdot R_E \cdot 11 \times 10^{-3} \Rightarrow 5{,}5 = 121 \times 10^{-3} \cdot R_E$$

$$\frac{5{,}5}{121 \times 10^{-3}} = R_E \Rightarrow 45{,}5\,\Omega = R_E \quad \textit{como} \quad R_C = 10 \cdot R_E \quad \textit{então} \quad R_C = 10 \cdot R_E \Rightarrow R_C = 455\,\Omega$$

temos então: $R_E \cong 46\,\Omega \quad R_C \Rightarrow 455\,\Omega$

Para o calculo de R_1 e R_2 é utilizado a equação 1B

$V_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1$ para se saber o valor de I_1 adota-se o seguinte principio:

Como os transistores de pequenos sinais normalmente possuem $\beta>100$, e a corrente I_1 deve ser grande o bastante para que I_B não tenha quase influência entre a diferença de I_1 e I_2 na malha 1, adota-se então I_1 no mínimo 10 vezes o valor de I_B, como I_C é no mínimo que 100 vezes maior que I_B logo assume-se I_1 como um décimo de I_C em termos matemáticos:

$$\textit{Como} \quad \beta > 100 \Rightarrow I_C > 100 \cdot I_B \quad \textit{como} \quad I_1 > 10 \cdot I_B \Rightarrow I_1 = {}^{I_C}\!/_{10}.$$

Desse modo se **I_{Cq}=11mA**, adota-se **I_1=1,1mA.**

Retomando a equação 1B

$$V_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1 \Rightarrow 10 = (R_1 + R_2) \cdot 1{,}1 \times 10^{-3} \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{10}{1{,}1 \times 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{10}{1{,}1 \times 10^{-3}} \Rightarrow R_1 + R_2 = 9091$$

Utilizando-se a equação 3B

$$I_1 \cdot R_2 = V_{BE} + R_E \cdot I_C \Rightarrow 1{,}1x10^{-3} \cdot R_2 = 0{,}7 + 45 \cdot 11x10^{-3} \Rightarrow R_2 = \frac{1{,}195}{1{,}1x10^{-3}} \Rightarrow$$

$$R_2 = 1086{,}36\Omega \Rightarrow R_2 \cong 1{,}1K\Omega$$

$$Se \quad R_1 + R_2 = 9091 \Rightarrow R_1 + 1086{,}36 = 9091 \Rightarrow R_1 = 9091 - 1086{,}36 \Rightarrow$$
$$R_1 \cong 8K\Omega$$

Já calculado $\mathbf{R_C}$, $\mathbf{R_E}$, $\mathbf{R_1}$e $\mathbf{R_2}$, agora temos que calcular C_1 para que o ganho em AC seja de 100.

Na verdade o calculo do Ganho DC e AC segue o mesmo principio $G = \frac{Rc}{R_E}$ a única diferença é que como capacitor esta em paralelo com R_E e para sinais AC sua impedancia não é considerada infinita e sim $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot C}$ desse modo em vez de considerar-mos apenas R_E no denominador consideraremos a resistencia equivalente que é $R_{EQ}=R_E//X_C$, desse modo para calcular-mos C1 temos:

$$\frac{R_C}{R_{eq}} = 100 \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_C}{100} \Rightarrow R_{eq} = 4{,}55\Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{X_C} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{X_C} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_E} = \frac{1}{X_C} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_E} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot C \Rightarrow$$

$$\frac{1}{4{,}55} - \frac{1}{45{,}5} = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot C_1 \Rightarrow \frac{1}{801} - \frac{1}{8005} = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot C_1 \Rightarrow 0{,}001124 = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot C_1$$

$$\Rightarrow \frac{0{,}1978}{2 \cdot \pi \cdot 1000} = C_1 \Rightarrow 31{,}5 \times 10^{-6} = C_1 \Rightarrow C \cong 32\mu F$$

Resultado:

$$R1 = 8005\Omega; R2 = 1086\Omega; RC = 455\Omega; RE = 45{,}5\Omega; C1 = 32\mu F$$

O circuito final é: