

Amplificadores de Tensão

Adrielle C. Santana

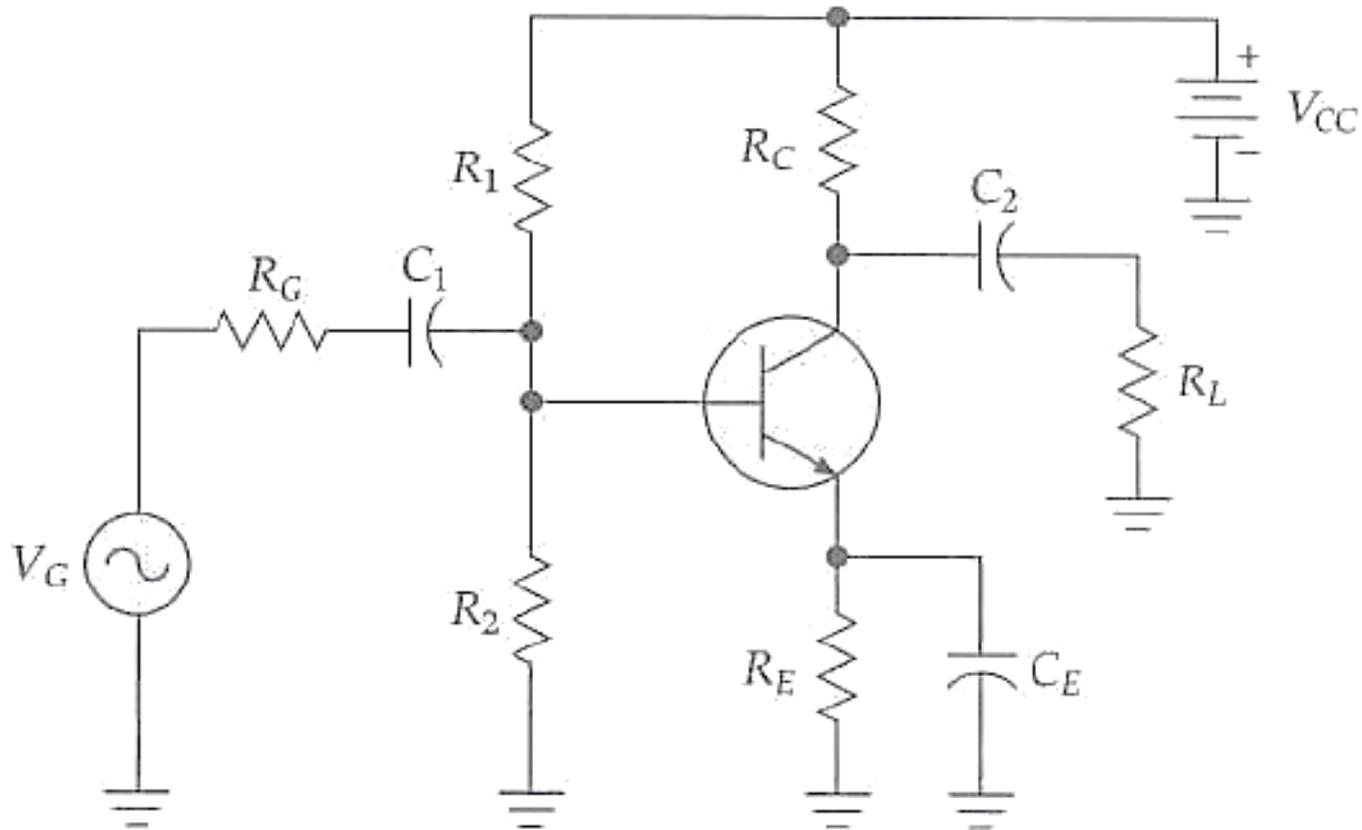
Partes de um Amplificador CC

O **ganho de tensão** é a tensão de saída dividida pela de entrada em um transistor. Quando o transistor é polarizado de modo a se trabalhar com o seu ganho de tensão, esse transistor é chamado de **amplificador de tensão**.

Veremos que na polarização EC, o ganho de tensão varia por causa do β e do r'_e . Uma realimentação negativa será utilizada para estabilizar esse ganho.

Partes de um Amplificador CC

Polarização EC



Partes de um Amplificador CC

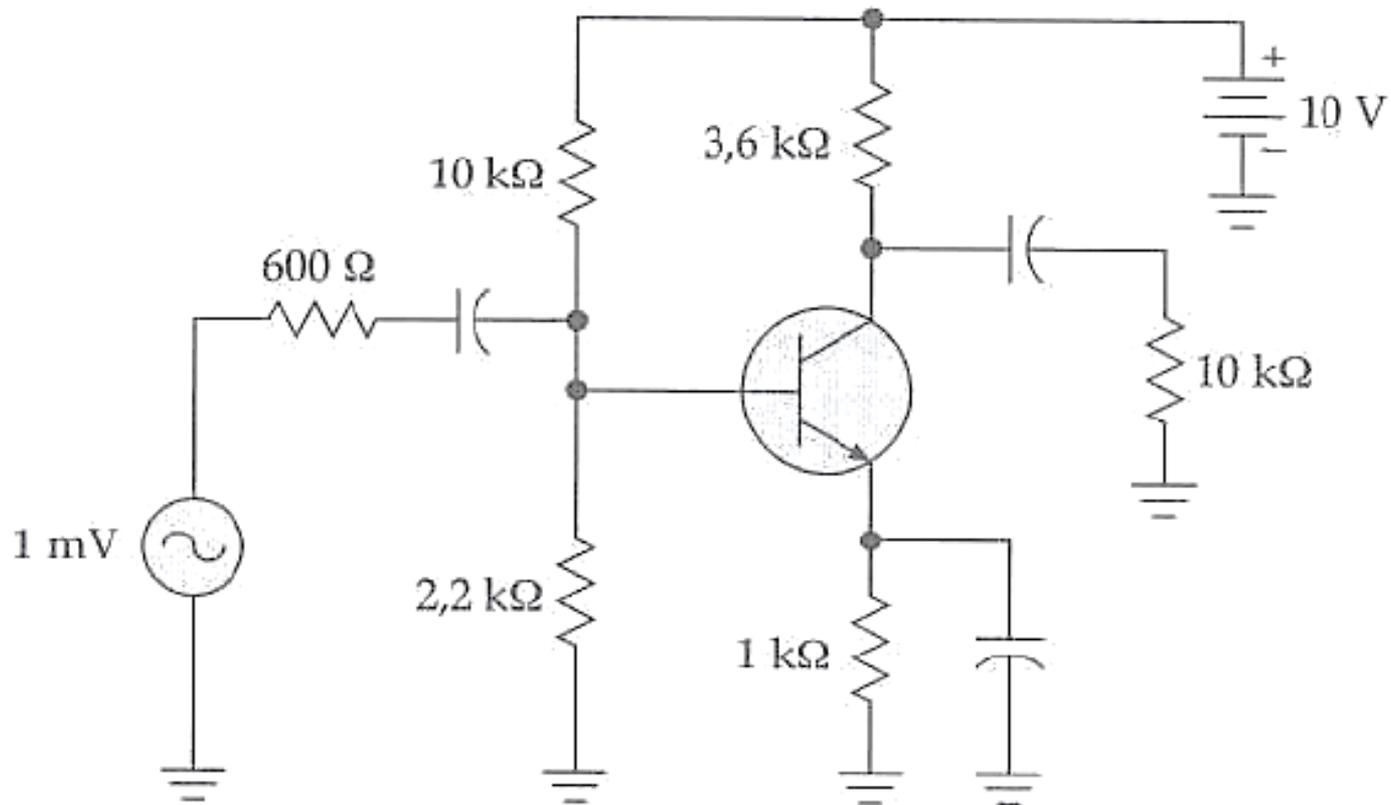
Operação

- Como o emissor é um terra para ca, quase toda a tensão da base aparece no emissor de modo que a corrente ca do emissor tem mesma **frequência** e **fase** da corrente da base.

Partes de um Amplificador CC

- No coletor a tensão total é a soma da tensão cc com a tensão ca nele. A tensão ca amplificada é invertida no coletor (devido a interação com a tensão cc da fonte V_{cc}) tendo uma defasagem de 180° em relação a tensão ca da entrada.
- Na carga a tensão do coletor é acoplada por um capacitor de modo que somente a parcela ca de V_c chegará a carga (capacitor é curto para ca)

Partes de um Amplificador CC



Partes de um Amplificador CC

Na análise cc para esse circuito os capacitores serão como circuitos abertos de modo que o circuito que resta é um circuito de polarização por divisor de tensão cujos valores cc aproximados são:

$$V_B = 1,8 \text{ V}$$

$$V_E = 1,1 \text{ V}$$

$$V_C = 6,04 \text{ V}$$

$$I_E = 1,1 \text{ mA}$$

Partes de um Amplificador CC

De posse do valor de I_e é possível obter a resistência ca do emissor pela relação vista:

$$r'_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_e} = \frac{25 \text{ mV}}{1,1 \text{ mA}} = 22,7 \Omega$$

A resistência ca do coletor é dada pelo paralelo das resistências R_c ($3,6 \text{ k}\Omega$) e R_L ($10 \text{ k}\Omega$) que estão em paralelo para ca.

$$r_c = R_C || R_L = 2,65 \text{ k}\Omega$$

Partes de um Amplificador CC

Por conta do ganho de corrente a base enxerga uma grande impedância na resistência do emissor dada por:

$$Z_{\text{ent(base)}} = \beta r_e'$$

Em ca, essa impedância se encontra em paralelo com as resistências R_1 e R_2 sendo a resistência equivalente dessas três, conhecida como impedância de entrada:

$$Z_{\text{ent}} = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e'$$

Partes de um Amplificador CC

Pela última fórmula, observe que z_{ent} depende do valor de β que é um valor variável no transistor. Isso afeta todo o funcionamento do amplificador. Por exemplo, se $\beta=50$ então $z_{ent} = 698 \Omega$. Se $\beta=300$ então $z_{ent} = 1,42 k\Omega$.

Isso influencia na tensão de entrada na base que aumenta com o aumento de β e diminui com a diminuição deste.

Partes de um Amplificador CC

Notação para ca

Quando nos referirmos a grandezas ca utilizaremos sempre as letras minúsculas de forma que:

$$v_b = \Delta V_B$$

$$v_e = \Delta V_E$$

$$v_c = \Delta V_C$$

$$i_b = \Delta I_B$$

$$i_e = \Delta I_E$$

$$i_c = \Delta I_C$$

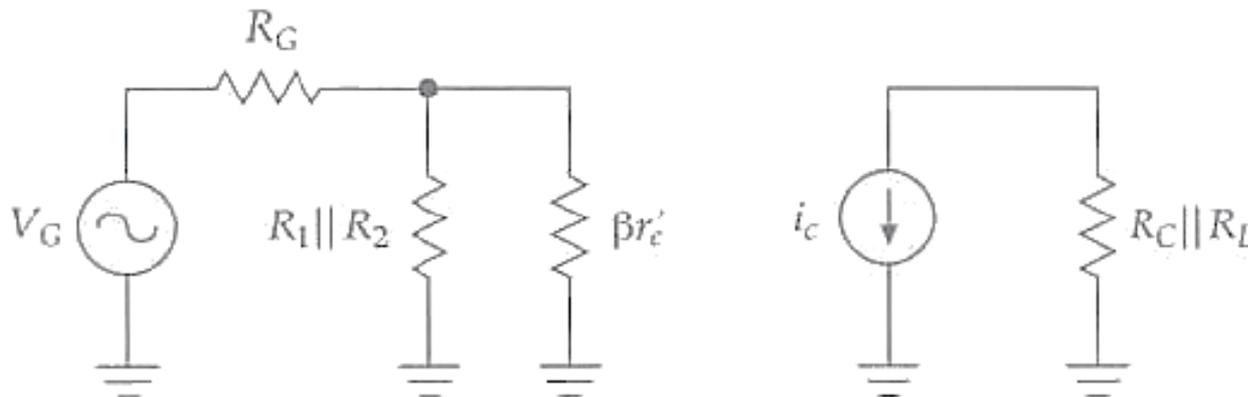
Ganho de Tensão

Para o circuito anterior, considerando $\beta=100$, o r'_e encontrado e os demais resistores temos que:

$$z_{ent(base)} = 2,27 \text{ k}\Omega$$

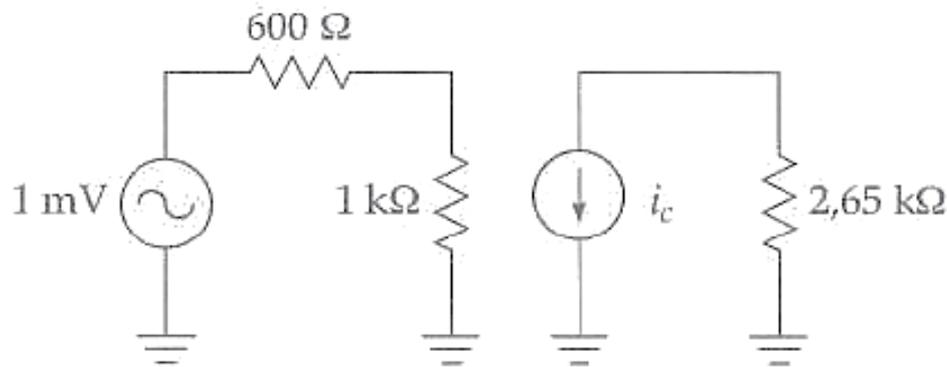
$$z_{ent} = 1 \text{ k}\Omega$$

Podemos representar o amplificador EC por um modelo ca com a estrutura abaixo:



Ganho de Tensão

Com os valores que temos essa representação fica:



Para calcular o ganho de tensão precisamos calcular a tensão ca de entrada e a tensão ca no coletor (saída) e dividir a saída pela entrada.

Utilizaremos a representação acima para os cálculos.

Ganho de Tensão

Tensão de Entrada (v_b)

Corrente no gerador:

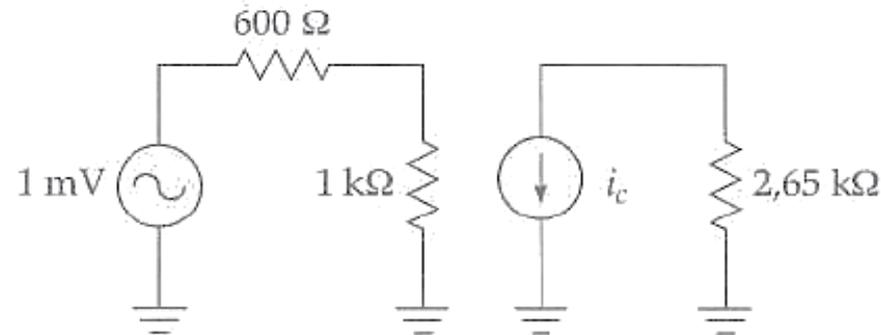
$$i_g = \frac{v_g}{R_G + z_{ent}}$$

$$i_g = \frac{1 \text{ mV}}{1,6 \text{ k}\Omega} = 0,625 \text{ }\mu\text{A}$$

Tensão na base:

$$v_b = i_g z_{ent}$$

$$v_b = (0,625 \text{ }\mu\text{A})(1 \text{ k}\Omega) = 0,625 \text{ mV}$$



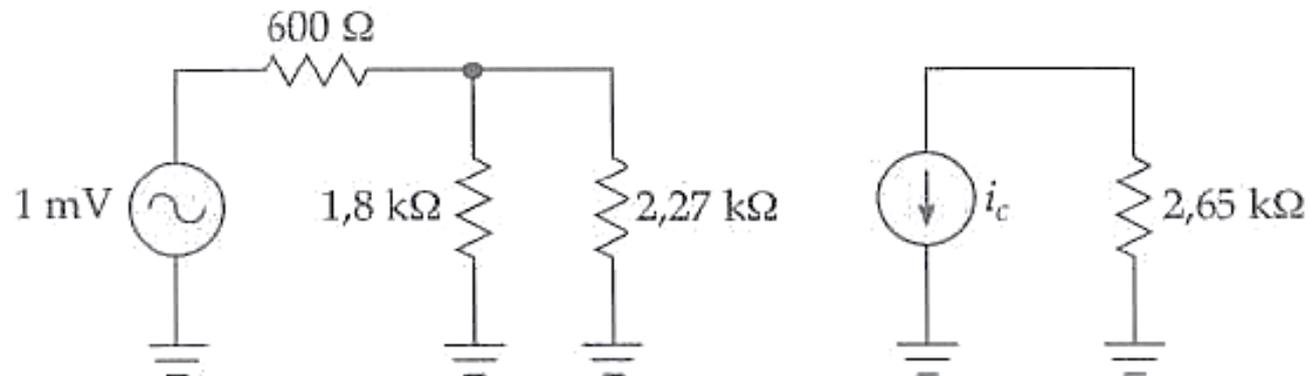
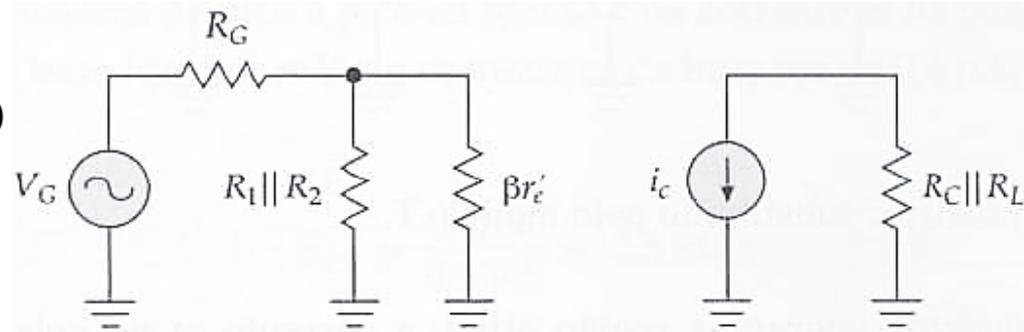
Ganho de Tensão

Tensão de Saída (v_c)

Existem duas forma de calcular essa tensão.

Primeira forma:

Desenhando o circuito equivalente ca de acordo com o modelo apresentado temos:



Ganho de Tensão

Vimos que uma forma de calcular a impedância de entrada da base é:

$$Z_{ent(base)} = \frac{v_b}{i_b}$$

Utilizando o v_b (0,625 mV) e o $Z_{ent(base)}$ calculados antes:

$$i_b = \frac{0,625 \text{ mV}}{2,27 \text{ k}\Omega} = 0,275 \text{ }\mu\text{A}$$

Ganho de Tensão

Com $\beta=100$ achamos i_c :

$$i_c = 100(0,275 \mu\text{A}) = 27,5 \mu\text{A}$$

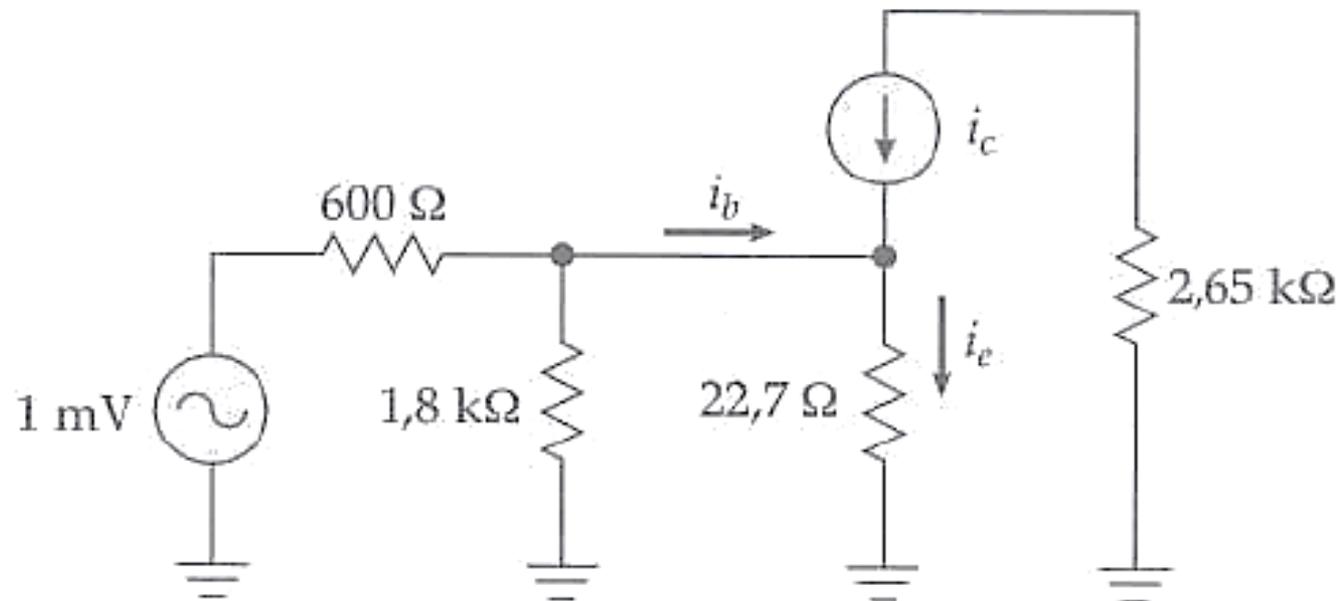
Que ao circular por r_c causa a queda de tensão v_c que é nossa tensão de saída:

$$v_c = (27,5 \mu\text{A})(2,65 \text{k}\Omega) = 72,9 \text{mV}$$

Ganho de Tensão

Segunda forma:

Nessa forma, consideraremos a representação da polarização EC:



Ganho de Tensão

Nessa representação obtemos v_b experimentalmente. Supondo que encontramos 0,625 mV. Essa tensão tem sua queda em cima da resistência ca r'_e de modo que encontramos i_e :

$$i_e = \frac{0,625 \text{ mV}}{22,7 \Omega} = 27,5 \mu\text{A}$$

Sendo $i_c = i_e$ aproximadamente, encontramos v_c :

$$v_c = (27,5 \mu\text{A})(2,65 \text{ k}\Omega) = 72,9 \text{ mV}$$

Ganho de Tensão

Ganho de Tensão

Por fim, calculamos o ganho de tensão:

$$A = \frac{v_{saída}}{v_{ent}}$$

Que com os valores calculados resulta em:

$$A = \frac{72,9 \text{ mV}}{0,625 \text{ mV}} = 117$$

Estabelecendo o Ganho de Tensão

Uma outra forma de se calcular o ganho de tensão é relacionando as resistências ca do emissor e do coletor:

$$A = \frac{r_c}{r_e}$$

Essa relação é válida se a corrente ca de coletor de pico a pico é menor que 10% da corrente cc do emissor (operação em pequeno sinal). Em grande sinal você pode utilizá-la para obter uma aproximação de A.

Estabelecendo o Ganho de Tensão

Com os valores do circuito pode-se calcular r_c e r'_e e assim encontrar analiticamente o ganho de tensão. Se você quiser medir no circuito e obter o ganho de tensão, você deve medir as tensões de saída e entrada e utilizar a fórmula:

$$A = \frac{v_{saída}}{v_{ent}}$$

Amplificador com Realimentação Parcial

A tensão de saída do amplificador em EC varia com a variação dos β CC e CA.

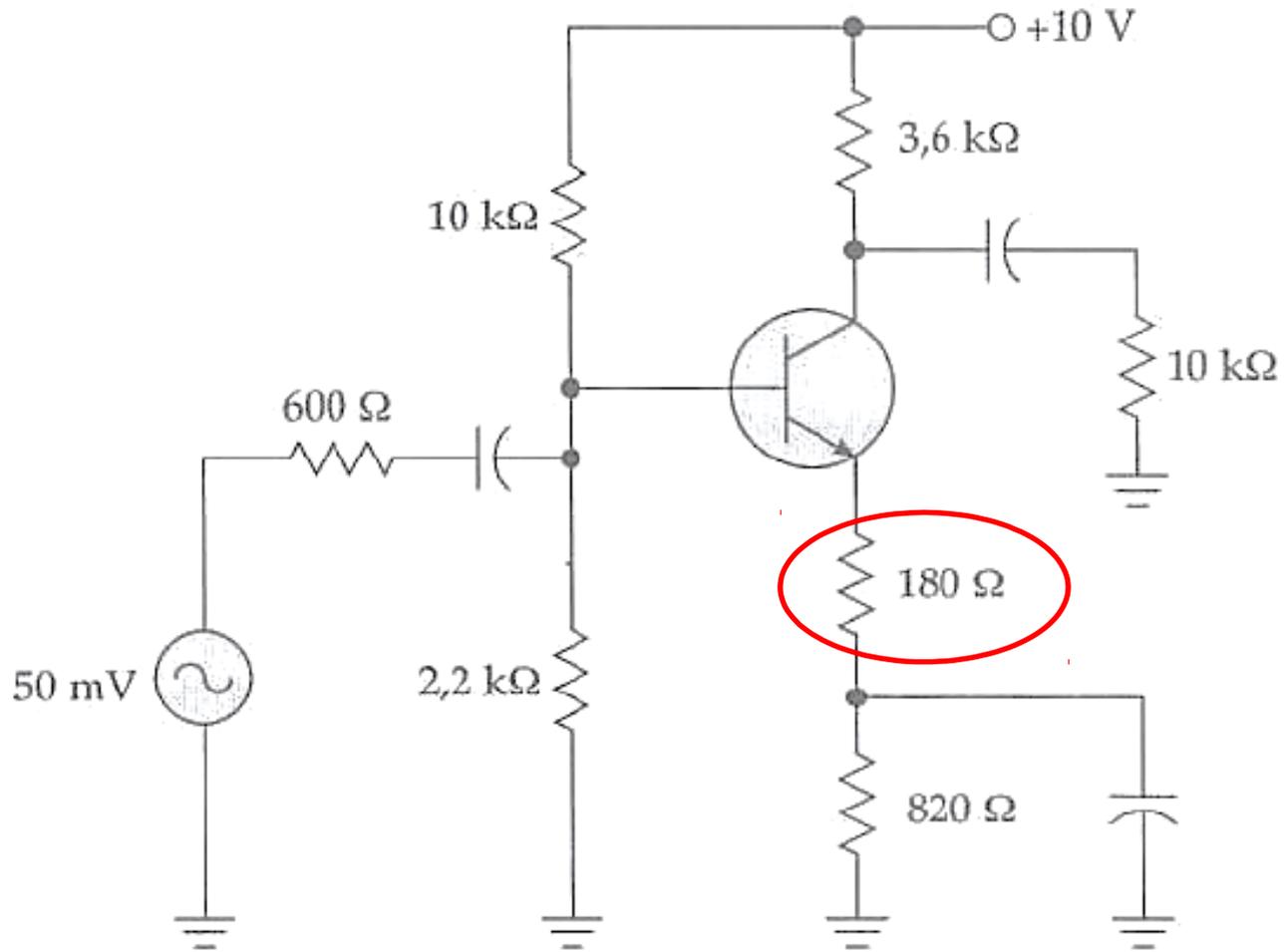
- Quando I_E aumenta (um aumento na entrada) o r'_e diminui afetando o ganho de tensão (A).
- A variação do β (β_{ca}) afeta a impedância de entrada dada por $R_1 || R_2 || \beta r'_e$ afetando a tensão CA na base (v_b) e conseqüentemente a tensão CA na saída (v_c) modificando assim o ganho.

Amplificador com Realimentação Parcial

Dependendo da aplicação a variação do ganho de tensão é aceitável. O ajuste do volume de um rádio é um exemplo onde se deseja justamente variar o ganho (e aí já se corrige variações causadas pelos β).

Mas, em várias aplicações, deseja-se que o ganho de tensão não varie. Uma forma de se conseguir isso é utilizar um resistor sem desvio que produzirá uma realimentação negativa.

Amplificador com Realimentação Parcial



Amplificador com Realimentação Parcial

Como funciona?

A corrente i_e circula pelo resistor de 180Ω .

Essa tensão v_e que acaba aparecendo no emissor (antes era desviada) é a de realimentação.

$$v_f = v_e$$

Com esse resistor a tensão v_e de entrada fica dividida entre o diodo emissor e a queda naquele:

$$v_{ent} = v_{be} + v_e$$

$$v_{be} = v_{ent} - v_e$$

Amplificador com Realimentação Parcial

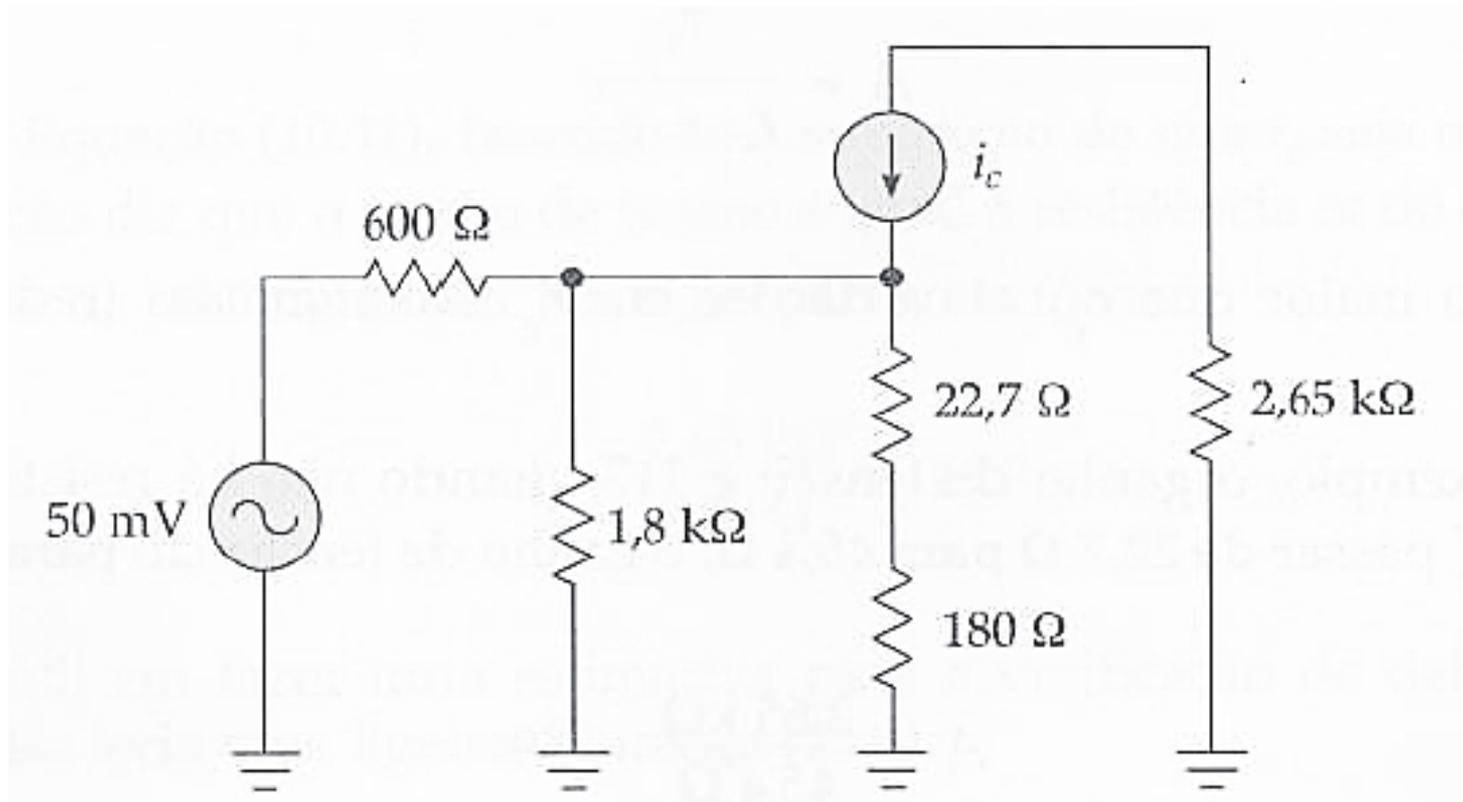
Ganho de Tensão no Novo Circuito

Analisando o novo circuito a resistência total do emissor é de $1\text{k}\Omega$ (o mesmo de antes) resultando da soma de 180 por 820. Assim as tensões cc e as correntes são as mesmas já calculadas:

$$I_E = 1,1 \text{ mA dando um } r'_e \text{ de } 22,7\Omega$$

Amplificador com Realimentação Parcial

O novo circuito equivalente fica:



Amplificador com Realimentação Parcial

Onde a resistência ca de emissor agora é dada pela soma de 180 pela r'_e de $22,7\Omega$. Assim o cálculo do ganho é dado por:

$$A = \frac{r_c}{r_e + r'_e}$$

$$A = \frac{2,65 \text{ k}\Omega}{203 \Omega} = 13,1$$

Que é bem menor que o ganho obtido anteriormente mas, agora tem-se estabilidade!

Amplificador com Realimentação Parcial

A estabilidade não é total. Com a configuração anterior a tensão de entrada (v_b) tinha sua queda totalmente na resistência ca de emissor r'_e de modo que variações nessa tensão causadas pelos betas influenciam diretamente no r'_e e conseqüentemente no ganho. No entanto com o uso do resistor de realimentação (r_e) a influência do r'_e no ganho é reduzida mas, não totalmente.

Amplificador com Realimentação Parcial

Ex.: Se passar de 22,7 Ω no exemplo anterior para 45,4 Ω .

$$A = \frac{2,65 \text{ k}\Omega}{45,4 \Omega} = 59$$

Isso representa uma diminuição de 50% em relação ao ganho anterior de 117.

Com a resistência de realimentação a conta dá:

$$A = \frac{2,65 \text{ k}\Omega}{180 \Omega + 45,4 \Omega} = 11,8$$

Ou seja, uma diminuição de apenas 10% em relação ao valor anterior de 13,1.

Amplificador com Realimentação Parcial

Impedância de Entrada da Base

O novo cálculo da impedância de entrada (agora maior) é dada pela relação:

$$z_{\text{ent(base)}} = \beta(r_e + r'_e)$$

Menor Distorção com Grandes Sinais

Como o r_e sufoca o r'_e ele reduz a distorção em grande sinal. Em grande sinal o r'_e varia muito por ser sensível à corrente i_e . Se r_e for muito maior que r'_e o ganho permanece quase constante eliminando a distorção.

Amplificador com Realimentação Parcial

Conclusão sobre o uso da realimentação negativa:

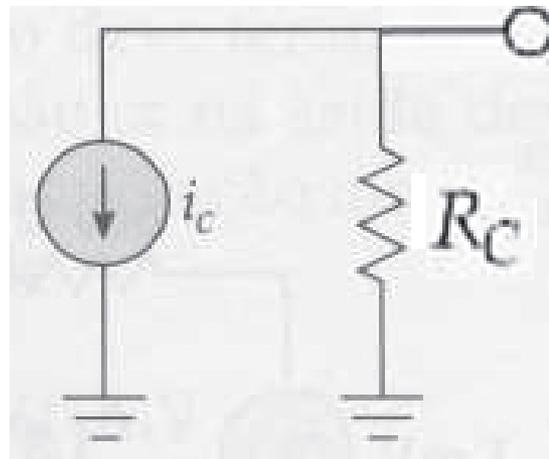
- Ganho de tensão menor, mas mais estável com variação do β .
- Aumento da impedância de entrada resultando em maior tensão CA na base.

$$Z_{ent}(base) = \frac{v_b}{i_b}$$

- Reduz distorção com operação com grande sinal.

A Impedância de Saída

Trata-se da resistência em paralelo equivalente dos resistores de polarização e da $Z_{ent(base)}$. Ela é importante porque interage com a resistência de carga para determinar a tensão ca na saída (carga). Para encontrá-la retiramos o resistor de carga obtendo o trecho de circuito equivalente:



A Impedância de Saída

Dele retiramos:

$$v_{th} = i_c R_C = \frac{v_{ent}}{r'_e} R_C$$

$i_c = i_e = v_{ent}/r'_e$

Fazendo:

$$A_{th} = \frac{R_C}{r'_e} \quad v_{th} = A_{th} v_{ent}$$

Onde A_{th} é o ganho de tensão sem o resistor de carga. A **impedância de saída** é a impedância quando consideramos a fonte de corrente zero (circuito aberto). Assim:

$$r_{th} = R_C$$