PSI3321 – ELETRÔNICA I
GABARITO – 2ª LISTA ADICIONAL DE EXERCÍCIOS

1) Barra de silicio intrínseca

a) A concentração de lacunas é aproximadamente a mesma da concentração de aceitadores introduzidos no silício: $p = N_A =$ **$4x10^{17}$ cm^{-3}**

b) A concentração de elétrons é calculada por $n = ni^2/p$ (onde $n_i \sim 1x10^{10}$ cm^{-3} a T = 300 K), $n = 1x10^{20} / 4x10^{17} =$ **$2,5x10^2$ cm^{-3}**

O dopante deve ser **trivalente**, e o mais usado neste caso é o boro.

2) Tempo para um elétron deslocar-se de 1 µm em uma barra de silício

Para calcular o tempo de percurso do elétron para 1 µm de silício, devemos descobrir a velocidade média do elétron:

$$v = \mu_n E$$

Onde μ_n é a mobilidade do elétron e E é o módulo do campo elétrico atuante. Empregando os valores fornecidos: $\mu_n = 1.300$ cm^2/Vs e E = 100 V/cm:

$$v = 1300 \text{ x } 100 = 13x10^4 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 13 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$$

O elétron necessitaria de um certo intervalo de tempo Δt para percorrer um percurso $\Delta x = 1$ µm:

$$v = \Delta x / \Delta t$$

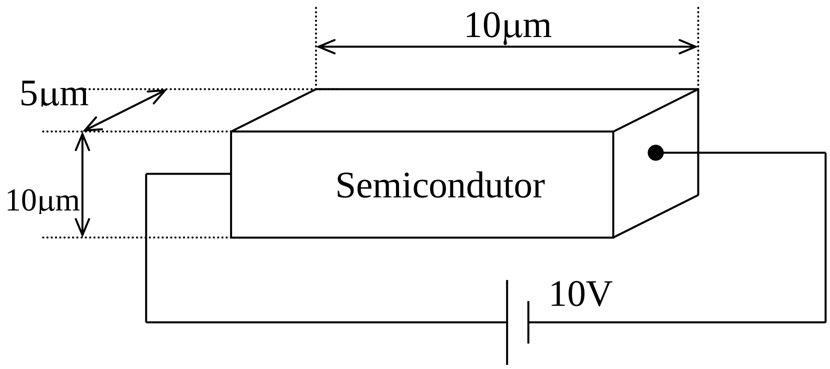
$$\Delta t = \Delta x / v = \mathbf{1/13\ (7{,}7x10^{-2})\ s}$$

Para um campo elétrico E = $1x10^5$ V/cm:

$$v = 1300 \text{ x } 10^5 = 13x10^7 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 13x10^3 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$$

Reduzindo o tempo para: $\Delta t = \Delta x / v = 1/13x10^3 = \mathbf{7{,}7x10^{-5} s}$

3) Barra semicondutora:



a) Determine a concentração de elétrons e lacunas. O semicondutor é tipo N ou tipo P? Justifique.

NA = $9x10^{15}cm^{-3}$, ND = $5{,}9x10^{16}cm^{-3}$.

N =ND – NA = $5{,}0x10^{16}cm^{-3}$ (o semicondutor é tipo N).

n = N = $5x10^{16}cm^{-3}$, p = $ni^2/n = 10^{20}/5x10^{16} = 2x10^3cm^{-3}$

n = $5x10^{16}cm^{-3}$ p = $2x10^3cm^{-3}$

b) Calcule a corrente elétrica desta barra de material semicondutor quando uma tensão de 10V é aplicada através da mesma.

$$\varepsilon = \frac{V}{l} = \frac{10}{10x10^{-4}} = 10^4 V/cm \qquad A = 5x10^{-4}.10x10^{-4} = 5x10^{-7}cm^2$$

$$I_n = q.A.\mu_n.(N_D - N_A).\varepsilon = 1{,}6x10^{-19}.5x10^{-7}.1000.5x10^{16}.10^4 = 25x1{,}6x10^3 = 40mA$$

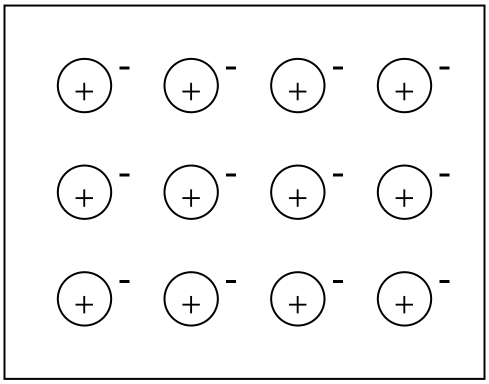
$$\boxed{In = 40mA}$$

c) Ainda considerando a tensão de 10V aplicada através do material, qual o tempo médio que leva o elétron para percorrer a distância de 10μm de uma extremidade a outra do material.

$$\overline{v_n} = \mu_n.\varepsilon = 1000x10^4 = 10^7\,cm/s \qquad \overline{t} = \frac{\Delta d}{\overline{v_n}} = \frac{10x10^{-4}}{10^7} = 100\,ps$$

$$\boxed{t = 100ps}$$

d) Desenhe o diagrama de cargas equivalentes (indicar apenas cargas fixas e móveis majoritárias).



4) Largura de região de depleção

A largura da região de depleção no lado n pode ser calculada, pois N_D foi fornecido e vale $1x10^{16}$ cm^{-3} e o campo máximo $E_{max} = 10^4$ V/cm.

$E_{max} = (q.N_D.\ W_n)/(\varepsilon.\varepsilon o)$

$W_n = E_{max}(\varepsilon.\varepsilon o)/(q.N_D) = 10^4\ (11{,}7\ x\ 8{,}85x10^{-14})/(1{,}6x10^{-19}\ x\ 10^{16})$ = **0,64 μm**

5) Junção de Si p++n

Uma junção de Si p++n é dopada com $N_D = 10^{15}cm^{-3}$ do lado n, onde D_p = $10cm^2/s$ e τ_p=0,15μs. A área da junção é $2x10^{-4}cm^2$. Calcule a corrente de saturação reversa e corrente direta quando V_D= 0,6V.

Para o cálculo da corrente de saturação reversa e da corrente direta para certo valor de V_D, usa-se a fórmula da corrente do diodo:

$$I = i_s\left(e^{qv_D/(nkT)} - 1\right)$$

A 300 K, considera-se kT/q = 25 mV.

Na polarização reversa existe a corrente de difusão de minoritários, apenas, dada por:

$$I_s = q.D_p.A.\frac{n_i^2}{L_p N_D} + q.D_n.A.\frac{n_i^2}{L_n N_A}$$

Onde $L_p = \sqrt{\tau_p D_p} = \sqrt{0{,}15x10^{-6}\ x\ 10} = 1{,}22x10^{-3}$cm

$A = 2x10^{-4}$ cm^2

$N_D = 10^{15}$ cm^{-3}

Como $N_A >> N_D$ por ser uma junção p++n, a relação $(1/L_pN_D) >> (1/L_nN_A)$, logo podemos simplificar a equação para:

$$I_s = q.D_p.A.\frac{n_i^2}{L_p N_D}$$

$$I_s = 1{,}6x10^{-19}x10x2x10^{-4}.\frac{(1x10^{10})^2}{1{,}22x10^{-3}\ x\ 10^{15}}$$

$I_s = 2{,}6x10^{-14}$ A

Para tensão $V_D = 0{,}6$ V,

$$I = 2{,}6x10^{-14}\left(e^{0,6/0,025} - 1\right)$$

I = 0,7 mA

6) Junção PN

O potencial interno de junção V_0 é calculado por:

$V_0 = V_T \ln (N_A . N_D / ni^2) = V_T \ln (10^{18}\ 10^{15} / 2{,}1\text{x}10^{20}) = 0{,}73$ V

b)

$$I_s = q.D_p.A.\frac{n_i^2}{L_p N_D} + q.D_n.A.\frac{n_i^2}{L_n N_A} = q.A.n_i^2\left(\frac{D_p}{L_P N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A}\right)$$

Onde $D_p = \mu_p$ kT/q = 250x0,025 = 6,25 cm^2/s e $D_n = \mu_n$ kT/q = 1300x0,025 = 32,5 cm^2/s (relação de Einstein)

$L_p = \sqrt{\tau_p D_p} = \sqrt{0{,}1x10^{-6}\ x\ 6{,}25} = 7{,}90x10^{-4}$cm

$L_n = \sqrt{\tau_n D_n} = \sqrt{10x10^{-6}\ x\ 32{,}5} = 1{,}80x10^{-2}$cm

$$I_s = 1{,}6\text{x}10^{-19}.10^{-4}.10^{20}\left(\frac{6{,}25}{7{,}9\text{x}10^{-4}x10^{15}} + \frac{32{,}5}{1{,}80\text{x}10^{-2}x10^{18}}\right)$$

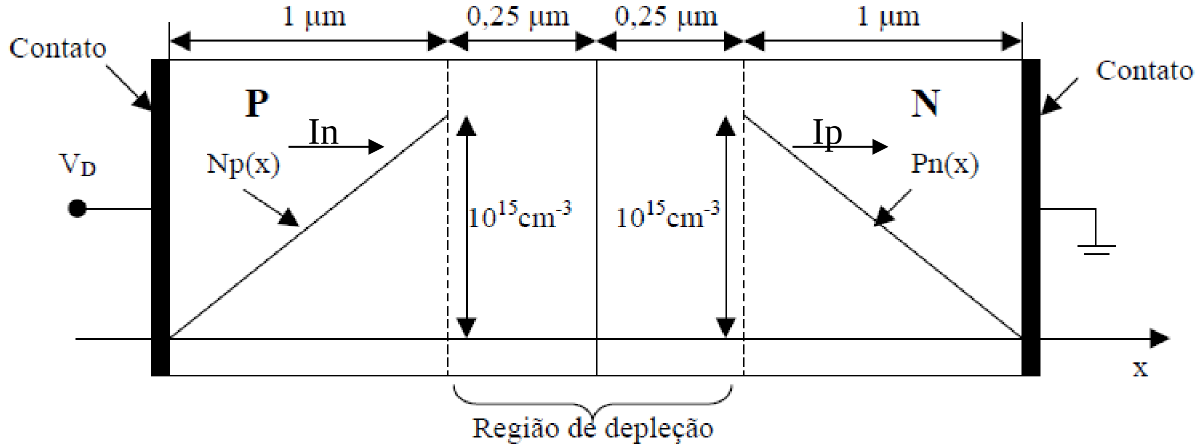
I_s = 1,27x10^{-14} A

c)

$$I = I_s\left(e^{0{,}6/0{,}025} - 1\right)$$

I = 0,33 mA

7) Diodo de base estreita



a) Determine as correntes de difusão de elétrons e lacunas (In e Ip). Qual a corrente total através da junção?

$$I_n = -qD_n.A.\frac{\partial p}{\partial x} = 5x10^{-18}.2x10^{-5}.\frac{10^{15}}{10^{-4}} = 1mA \; I_p = -qD_p.A.\frac{\partial p}{\partial x} = 2{,}5x10^{-18}.2x10^{-5}.\frac{10^{15}}{10^{-4}} = 0{,}5mA$$

$$I_D = I_p + I_n = 1 + 0{,}5 = 1{,}5mA$$

b) Determine a capacitância de difusão (em Farads).

$$C_{difusão} = \frac{\tau_T}{V_T} x I_D = \frac{10x10^{-6}}{25x10^{-3}} x1{,}5x10^{-3} = 0{,}6\mu F$$

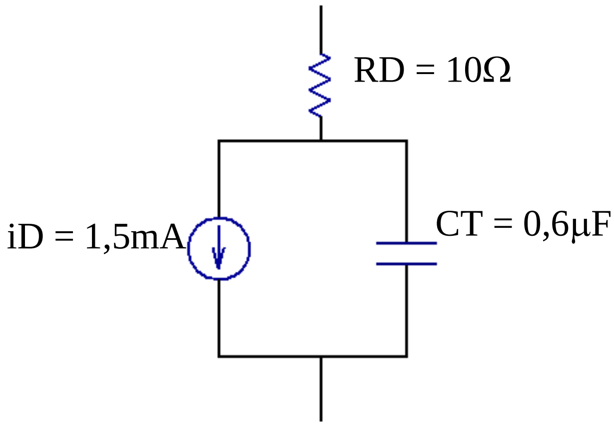
c) Determine a capacitância de depleção (em Farads).

$$C_{depleção} = \frac{\varepsilon_S A}{d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 A}{d} = \frac{10^{-12}.2x10^{-5}}{0{,}5x10^{-4}} = 4pF$$

$$d = 0{,}25\mu m + 0{,}25\mu m = 0{,}5\mu m$$

$$\boxed{\text{Cdepleção} = 0{,}4\text{pF}}$$

d) Desenhe o modelo transitório do diodo considerando as capacitâncias envolvidas sabendo-se que a resistência total dos contatos é RS = 10Ω



8) Junção PN

a) A corrente no diodo se for polarizado reversamente com 10V.

$$I_D = I_S\left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1\right) \Rightarrow V_D = -10V \Rightarrow I_D \cong -I_S$$

$$I_D = -I_S = -A.q.n_i^2\left(\frac{D_P}{L_P.N_D} + \frac{D_n}{L_n.N_A}\right) = -\frac{10^4}{1,6}x10^{-8}.1,6x10^{-19}.(10^{10})^2\left(\frac{10}{1x10^{-4}.10^{15}} + \frac{30}{3x10^{-4}.10^{17}}\right)$$

$$I_D = -10^{-13}(10^{-10} + 10^{-12}) = -10^{-13}(1 + 0,01) \cong -10^{-13} = -0,1pA$$

$$\boxed{ID = -0,1pA}$$

b) A tensão no diodo se for polarizado diretamente com uma corrente de 1mA.

$$V_D = \frac{KT}{q}\ln\frac{I_D}{I_S} = 0,25\ln\frac{1x10^{-3}}{0,1x10^{-12}} = 0,025\ln 10^{10}$$

$$V_D = 0,025x10x\ln(10) = 0,50V$$

$$\boxed{VD = 0,50V}$$

c) A relação entre as correntes de lacunas e de elétrons (Ip/In).

$$\frac{I_p}{I_n} = \frac{Aqn_i^2 \dfrac{D_p}{L_p N_D}\left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1\right)}{Aqn_i^2 \dfrac{D_n}{L_n N_A}\left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1\right)} = \frac{\dfrac{10}{1x10^{-4}x10^{15}}}{\dfrac{30}{3x10^{-4}x10^{17}}} = 100$$

Ip/In = 100

9) Dado um transistor PNP operando no modo ativo (junção BE diretamente polarizada e junção CB reversamente polarizada) onde estão indicados as regiões de depleção e o perfil de excesso de portadores na base com distribuição linear devido ao fato da base ser muito extreita. Sabendo-se que $q.D_n = 5 \times 10^{-18}$ A.cm^2, $q.D_p = 2{,}5 \times 10^{-18}$ A.cm^2 e A (área da junção) = $2x10^{-5}$ cm^2, $\varepsilon_S = 10^{-12}$ F/cm (produto da permissividade relativa pela permissividade do vácuo), $\tau_T = 10\mu s$ (tempo médio de trânsito), pede-se:

a) Determine a corrente de difusão na base do transistor PNP supondo desprezível a recombinação de portadores.

$$I_p = -qD_p.A.\frac{\partial p}{\partial x} = 2{,}5x10^{-18}.2x10^{-5}.\frac{10^{15}}{10^{-4}} = 0{,}5mA$$

$I_p = 0{,}5$mA

b) Sabendo-se que a corrente de base é de 5μA, determine as correntes de coletor e emissor. Qual o valor do Ganho de corrente?

$I_B = 5\mu A \cong I_n$ (Desprezando-se recombinação na base)

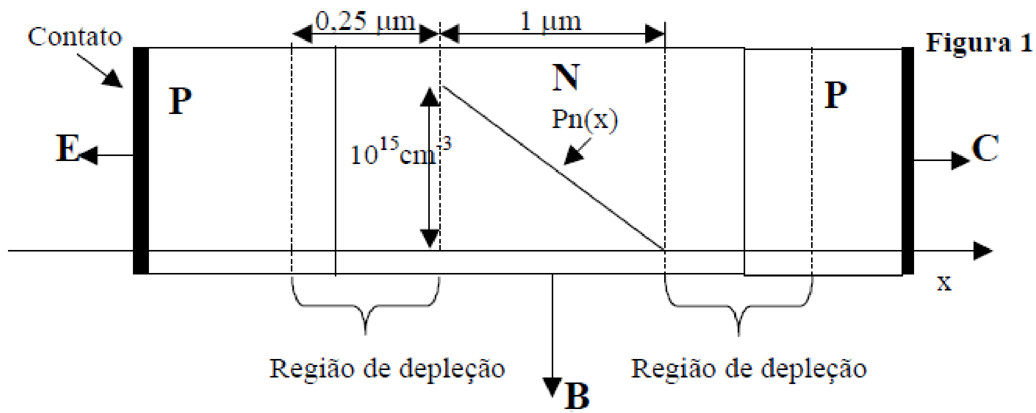
$$I_C \cong I_p = 0{,}5mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 0{,}5mA + 0{,}005mA = 0{,}505mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5x10^{-3}}{5x10^{-6}} = 100$$

$I_C = 0{,}5$mA
$I_E = 0{,}505$mA
$\beta = 100$

c) Determine as capacitâncias de difusão e depleção da junção base-emissor sendo dado a largura da região de depleção na figura abaixo:

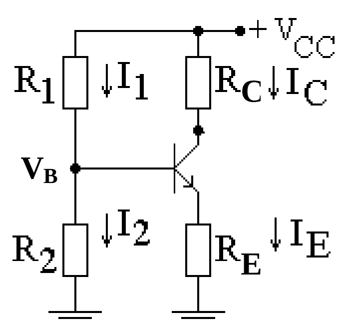


$$C_{depleção} = \frac{\varepsilon_S A}{W} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 A}{W} = \frac{10^{-12}.2x10^{-5}}{0,25x10^{-4}} = 0,8pF$$

$$C_{difusão} = \frac{\tau_T}{V_T} x I_D = \frac{10x10^{-6}}{25x10^{-3}} x0,5x10^{-3} = 0,2\mu F$$

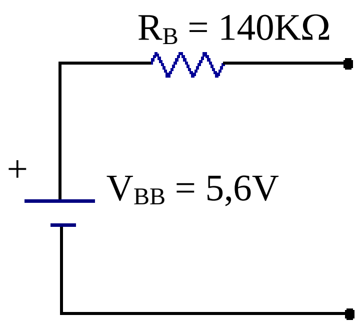
$$\boxed{\begin{array}{c} C_{depleção} = 0,8pF \\ C_{difusão} = 0,2\mu F \end{array}}$$

10) No circuito da figura abaixo, o transistor está polarizado no modo ativo.



Sabendo-se que V_{CC} = + 11,2 V, V_{BE} = 0,78V, R_1 = 280KΩ, R_2 = 280KΩ, I_C = 2,00 mA, I_E = 2,02 mA, R_C = 1,98KΩ e utilizando duas casas decimais no cálculo de todas as variáveis, pede-se:

a) Determine o circuito equivalente de Thevenin visto da base do transistor.

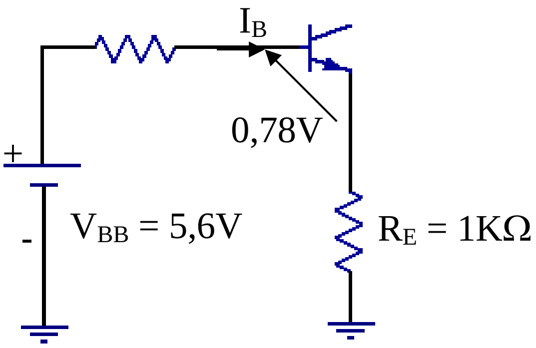


$$R_B = R_1 // R_2 = 140K\Omega$$

$$V_{BB} = 11,2x\frac{280}{280+280}5,6V$$

R_B = 140KΩ

b) Determine o valor da resistência R_E e a tensão V_{CE}.



Na malha de base temos:

$$I_B = (2{,}02 - 2)mA = 0{,}02mA$$

$$V_{RE} = 5{,}6 - 140Kx0{,}02m - 0{,}78 = 2{,}02V$$

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E} = 1K\Omega$$

Na malha de coletor:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E - R_C I_C = 11{,}2 - 1Kx2{,}02m - 0{,}99Kx2m = 5{,}22V$$

R_E = 1KΩ V_{CE} = 5,22V

c) Determine o potencial V_B e as correntes I_1 e I_2 conforme indicado na figura.

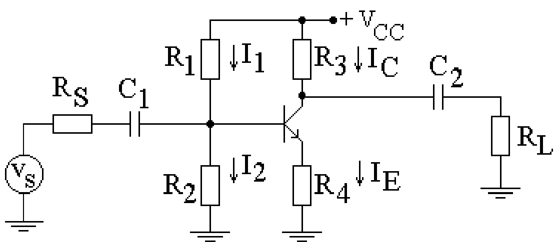
$$V_B = V_{BE} + V_{RE} = V_{BB} - R_B I_B = 0{,}78 + 2{,}02 = 2{,}8V$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{2{,}8}{280K} = 0{,}01mA$$

$$I_1 = I_2 + I_B = (0{,}02 + 0{,}01)mA = 0{,}03mA$$

V_B = 2,8V I_1 = 0,01mA I_2 = 0,03mA

11) Para o circuito da figura abaixo, com o transistor polarizado no modo ativo, pede-se:



Sabendo-se que $R_1//R_2$ = 20 kΩ, $V_{R_4} = V_{CC}/3$, I_E = 2mA, V_{CC} = + 12 V, V_{BE} = 0,7 e β = 100, pede-se:

(a) Determinar R_4.

$$V_{R4} = V_{cc}/3 = 4V$$

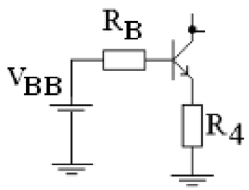
$$R_4 = \frac{V_{R4}}{I_E} = \frac{4}{2} = 2k\Omega$$

(b) Determinar R_3 para que a tensão V_{CE} quiescente seja igual a 5 V.

$$V_{R3} = V_{cc} - V_{CE} - V_{R4} = 12 - 5 - 4 = 3V$$

$$I_C = \alpha I_E = \frac{\beta}{\beta+1} I_E = 1{,}98mA\,; \qquad R_3 = \frac{V_{R3}}{I_C} = \frac{3}{1{,}98.10^{-3}} = 1{,}515k\Omega$$

(c) Determinar R_1 e R_2.



$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.V_{CC} \qquad R_B = R_1 // R_2 = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BB} = R_4 I_E + R_B.\frac{I_E}{\beta+1} + V_{BE} = 4 + 20k.2.10^{-3}/(101) + 0{,}7 = 5{,}096V$$

Obtenção de R_1 e R_2:

$$\begin{cases} 1)\ \dfrac{R_1.R_2}{R_1+R_2} = 20k\Omega \\ \\ 2)\ \dfrac{R_2}{R_1+R_2}.V_{CC} = 5{,}096 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (1)/(2):\ \dfrac{R_1}{12} = \dfrac{20k}{5{,}096} \Rightarrow R_1 = 47{,}1k\Omega \\ \\ 5{,}096.R_1 = 6{,}904 R_2 \Rightarrow R2 = 34{,}8k\Omega \end{cases}$$

(d) Qual a função dos capacitores C_1 e C_2? Explique.

Sob o ponto de vista de polarização, C_1 e C_2 comportam-se como abertos.

Sob o ponto de vista de sinal, C_1 e C_2 comportam-se como curtos desde que seus valores sejam suficientemente altos $\left(C1, C2 \Rightarrow \infty; \frac{1}{j\omega C_1}, \frac{1}{j\omega C_2} \Rightarrow 0 \right)$

(e) Qual a função do resistor R_4? Qual o novo valor de I_E no caso do β variar de 100 para 150 devido a um incremento da temperatura ? Explique adequadamente adotando os valores de R_1, R_2, R_3 e R_4 obtidos anteriormente.

R_4 serve para estabilizar a corrente de emissor quando β e V_{BE} variam com a temperatura.

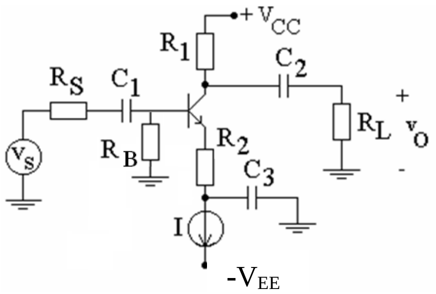
$$V_{BB} = R_4 I_E + R_B.\frac{I_E}{\beta+1} + V_{BE}$$

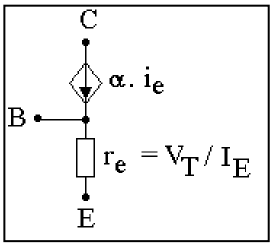
Isolando I_E:

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_4 + \frac{R_B}{\beta + 1}} = \frac{5{,}096 - 0{,}7}{2k + \frac{20k}{151}} = 2{,}062mA$$

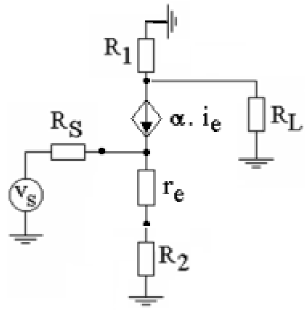
Ou seja, I_E varia de apenas 3% quando "β" muda de 100 para 150.

12) Para o circuito amplificador da figura abaixo, com $C_1 = C_2 = C_3 = \infty$, $\beta = 100$, $R_S = 100\ k\Omega$, $R_1 = 10\ k\Omega$, $R_2 = 1\ k\Omega$, $R_L = 10\ k\Omega$, $R_B = \infty$ e $I = 1$ mA, pede-se:





(a) Desenhar o circuito para análise de pequenos sinais, considerando o modelo fornecido.



(b) Calcular o valor da tensão pico a pico na saída, v_o, para uma tensão de entrada $v_s = 2 \cdot \text{sen}\ \omega t$ (mV).

$$\left.\begin{aligned} i_e &= \frac{v_b}{r_e + R_2} \\ i_e &= (\beta + 1) i_b \end{aligned}\right\} \qquad R_i = \frac{v_b}{i_b} = (\beta + 1)(r_e + R_2)$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25mV}{1mA} = 25\Omega \qquad R_i = 101.(25 + 1000) = 103{,}525k\Omega$$

$$v_b = \frac{R_i}{R_s + R_i} v_s = \frac{103{,}525k}{100k + 103{,}525k} v_s = 0{,}50866 v_s$$

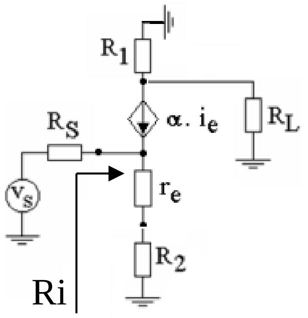
$$v_o = -\alpha i_e.(R_L // R_1) = -\frac{\alpha.v_b}{r_e + R_2}.(R_L // R_1)$$

Substituindo a expressão de v_b em v_o:

$$A_V = \frac{v_o}{v_s} = 0{,}50866.\left(-\alpha.\frac{R_L // R_1}{r_e + R_2}\right) = -0{,}50866.\left(\frac{\beta}{\beta+1}\right).\frac{5k}{1{,}025k} \qquad \therefore A_V = -2{,}46$$

Para um valor de 4mV pico-a-píco na entrada, temos na saída uma tensão pico-a-pico de 9,83mV.

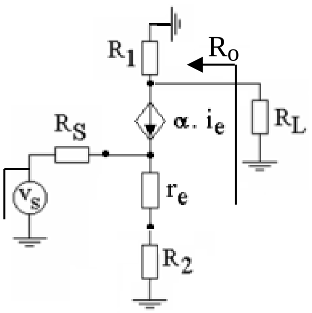
(c) Determine as resistências de entrada e saída deste circuito amplificador.



$$\left.\begin{array}{l} i_e = \dfrac{v_b}{r_e + R_2} \\ \\ i_e = (\beta+1)i_b \end{array}\right\} \quad R_i = \frac{v_b}{i_b} = (\beta+1)(r_e + R_2)$$

$$\therefore R_i = 101 = (25 + 1000) = 103{,}525k\Omega$$

A resistência de saída (R_O) é calculada do circuito abaixo sem a resistência de carga e com o gerador de sinal em curto-circuito:



então:
$$R_O = R_1 = 10k\Omega$$

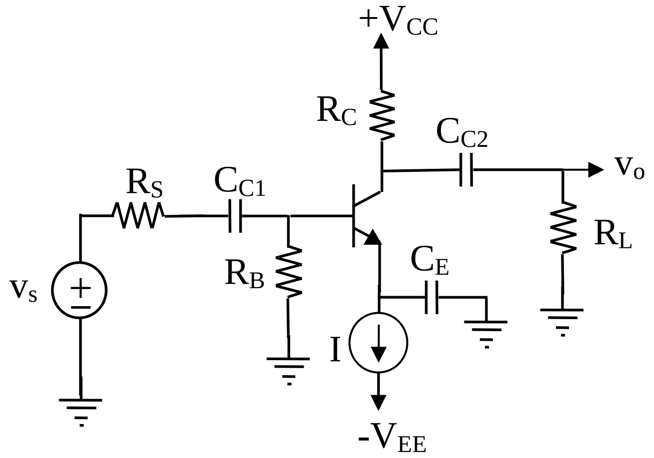
13) Dada a tabela 1 abaixo contendo as equações de ganho, resistência de entrada e resistência de saída para duas diferentes configurações transistorizadas (emissor comum e emissor comum com resistência de emissor):

Tabela 1	**A_V** **Ganho de tensão**	**R_i** **Resistência de entrada**	**R_o** **Resistência de saída**
Emissor comum	$-\dfrac{\beta(R_C // r_o)}{(R_s + r_\pi)}$	r_π	$R_C // r_o$
Emissor comum com resistência de emissor	$-\dfrac{\beta.R_C}{(R_s + r_\pi + (\beta+1)R_e)}$	$r_\pi + (\beta+1)R_e$	R_C

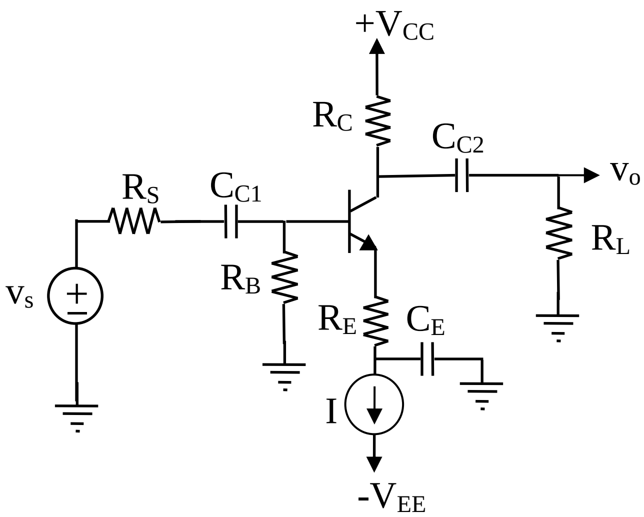
Considerando $r_o = \infty$, $R_s = 0$ (resistência do gerador de entrada), $R_L = \infty$ e β suficientemente elevado, pede-se:

(a) Desenhe um circuito para cada uma das duas configurações citadas.

a1) Emissor comum:



a2) Emissor comum com resistência de emissor:



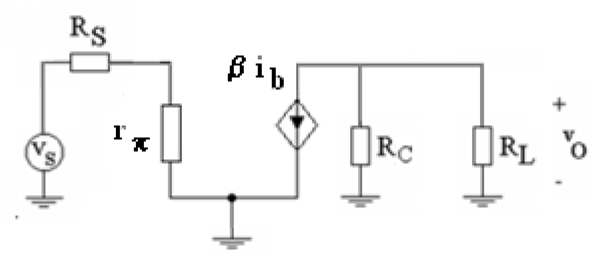
(b) Quais as vantagens e desvantagens da configuração em emissor comum com resistência de emissor comparado a configuração em emissor comum ? Compare baseado nos dados da tabela 1.

A configuração emissor comum apresenta maior ganho do que a configuração emissor comum com resistência de emissor;

A configuração emissor comum com resistência de emissor apresenta resistência de entrada substancialmente maior do que a configuração emissor comum.

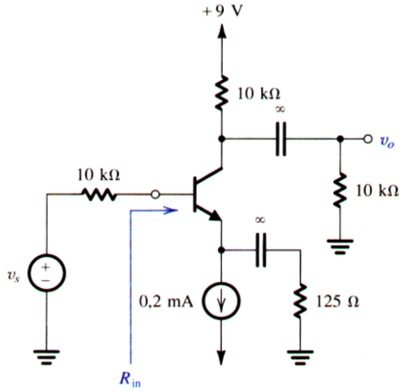
(c) Desenhe um circuito equivalente de pequenos sinais para a configuração emissor comum e justifique as expressões de resistência de entrada e resistência de saída dadas na tabela 1.

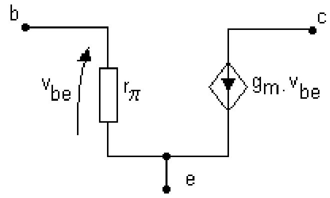
Do circuito emissor-comum já apresentado no item a, resulta no seguinte circuito para pequenos sinais:



$$\left.\begin{array}{l} R_i = r_\pi \\ (R_B >> r_\pi) \\ \\ R_O \cong R_C \\ (R_C << r_o) \end{array}\right\}$$ Como na tabela 1.

14) No circuito da figura abaixo, v_s é um pequeno sinal senoidal com valor médio zero. Sabe-se que $\beta = 50$.



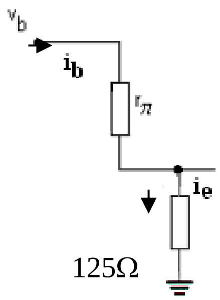


Utilizando o modelo π-híbrido simplificado para o TBJ, mostrado acima, pede-se:

(a) Calcule o valor da resistência de entrada R_{in}.

$I_E = 0{,}2mA$ $\quad$ $I_C = \alpha I_E = (\beta/(\beta+1)).I_E = 0{,}196mA$ $\quad$ $g_m = qI_C / kT = 7{,}84mS$

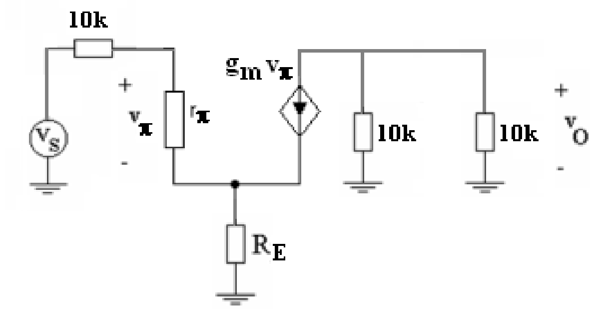
$r_\pi = \beta / g_m = 6{,}377k\Omega$



$R_{in} = v_b / i_b$, $\quad$ sendo $\quad$ $v_b = r_\pi i_b + R_E.(\beta+1)i_b$

$\therefore R_{in} = r_\pi + R_E.(\beta+1) = 6{,}377k + 125x51 = 12{,}75k\Omega$

(b) Calcule o valor de v_o/v_s.



$v_o = -(10k // 10k).g_m v_\pi$, $\quad$ sendo $\quad$ $g_m v_\pi = \beta.i_b$

$v_s = (10k + r_\pi).i_b + R_E(\beta+1)i_b$

$$\therefore \frac{v_o}{v_s} = \frac{-\beta(10k // 10k)}{10k + r_\pi + (\beta+1).R_E} = \frac{-50x5k}{10k + 6{,}377k + 6{,}375k} = -11$$

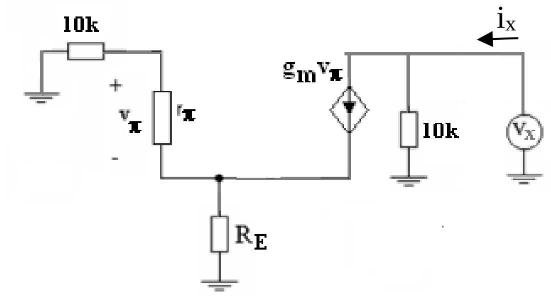
(c) Se a amplitude do sinal v_{be} for limitada em 5 mV, qual será o maior valor para o sinal de entrada? (Admita g_m = 7,84mS e r_π = 6,377k Ω).

$v_{be} < 5mV \Rightarrow r_\pi.i_b < 5mV \Rightarrow i_b < 0{,}784\mu A$

$v_s < (10k + r_\pi)i_{b\max} + R_E.(\beta+1).i_{b\max} \Rightarrow v_s < (10k + 6{,}377k).0{,}784\mu + (125x51x0{,}784u)$

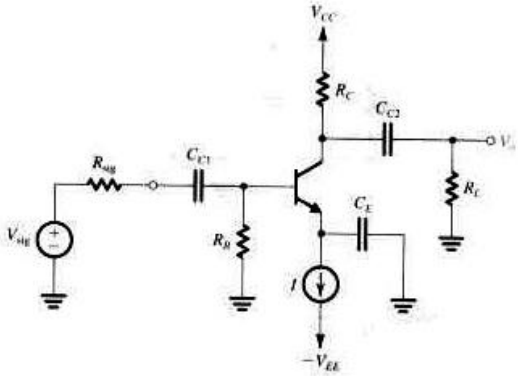
$v_{sm\acute{a}x} = 17{,}8mV$

(d) Determine a resistência de saída R_o do amplificador (considere a queda de tensão incremental no emissor aproximadamente igual a zero).



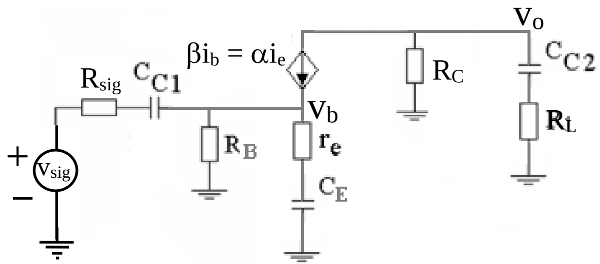
$$R_o = v_x / i_x \approx 10k\Omega$$

15) Dados o circuito amplificador, o modelo para pequenos sinais e as equações abaixo:



Sabendo-se que R_C= 2kΩ , R_L= 2kΩ , R_{sig}= 10kΩ , R_B= 90kΩ , g_m= 5 mA/V, $r_o = \infty$, $\beta = 99$ e $\alpha = 0{,}99$, pede-se:

(a) Utilizando o modelo T, desenhe o circuito equivalente para pequenos sinais do amplificador anterior e obtenha o ganho em freqüências médias.



Ganho em freqüências médias: (C_{C1}, C_{C2} e C_E = curto-circuito)

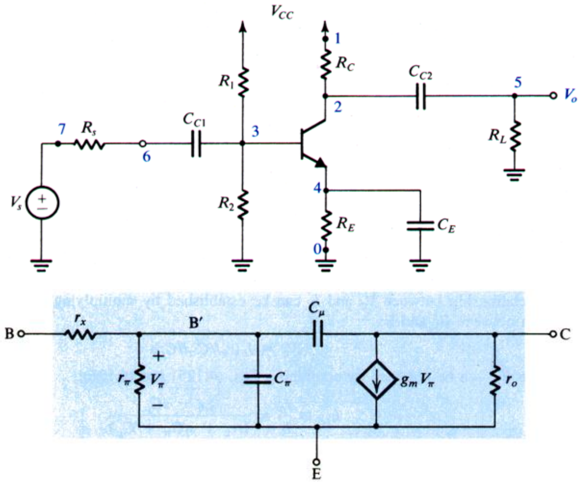
$$A_M = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{v_o}{v_b}\frac{v_b}{v_{sig}}$$

$v_o = -\alpha . i_e .(R_C // R_L)$, sendo $i_e = \dfrac{v_b}{r_e}$ $\qquad \therefore \dfrac{v_o}{v_b} = -\dfrac{\alpha}{r_e}(R_C // R_L) = -g_m (R_C // R_L)$

$$\frac{v_b}{v_{sig}} = \frac{r_e(\beta+1) // R_B}{r_e(\beta+1) // R_B + R_{sig}}$$

$$A_M = \frac{v_o}{v_{sig}} = -\frac{r_\pi // R_B}{r_\pi // R_B + R_{sig}} g_m (R_C // R_L)$$

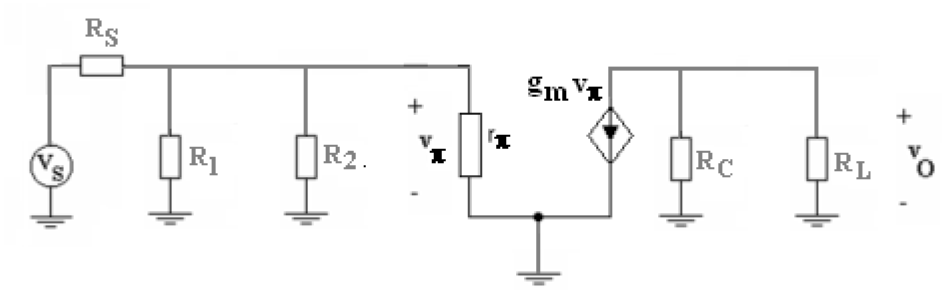
16) Dado o circuito abaixo e o modelo π-híbrido para o transistor:



Dados:

$I_C = 1$ mA	$R_S = 1\text{k}\Omega$	$C_\pi = 0$
$V_{CC} = 20$ V	$R_1 = R_2 = 100$ kΩ	$C_\mu = 0$
$g_m = I_C/V_T$	$R_C = R_L = 4$ kΩ	$r_\pi = 1$ kΩ
$V_T = 25$ mV	$R_E = 1$ kΩ	
	$r_x = 0$	

(a) Determine o ganho para freqüências médias Av.



$$g_m = I_C / V_T = 40mS$$

Circuito CA equivalente em freqüências médias:

$$v_o = -g_m . v_\pi . (R_C // R_L)$$

$$v_\pi = \frac{R_1 // R_2 // r_\pi}{R_1 // R_2 // r_\pi + R_S} . v_S$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{-g_m (R_C // R_L) . R_1 // R_2 // r_\pi}{R_1 // R_2 // r_\pi + R_S} = -40m(4k // 4k) . \frac{100k // 100k // 1k}{100k // 100k // 1k + 1k} \cong -40$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_s} = -40$$