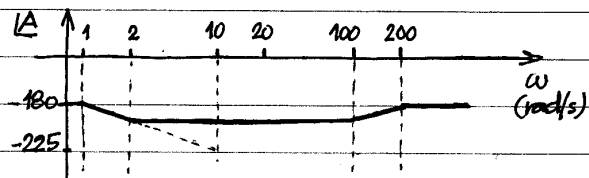
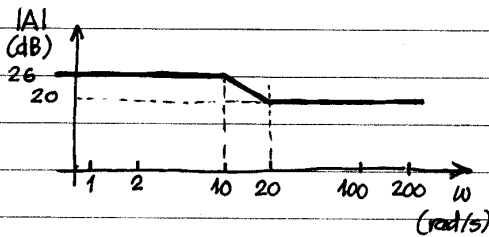


Resolução:

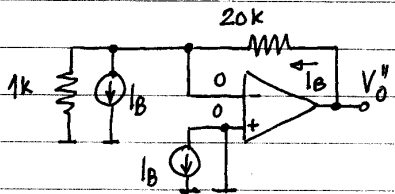
$$1a. Z = [10k + 10k // 10\mu F] = \frac{10k(2 + s/10)}{1 + s/10}$$

$$A(s) = -\frac{Z}{1k} = -20 \frac{1 + s/20}{1 + s/10} \Rightarrow 1 \text{ zero } s_0 = -20 s^{-1} \text{ e } 1 \text{ polo } s_p = -10 s^{-1}$$

$$A(0) = -20 \rightarrow 26 \text{ dB} \quad A(\infty) = -10 \rightarrow 20 \text{ dB}$$



$$1b. \text{ Devido a } V_{os} \rightarrow V_o' = V_{os} \left(1 + \frac{20k}{1k}\right) = \pm 210 \text{ mV}$$



Devido a $I_B \rightarrow V^+ = 0 \Rightarrow V^- = 0 \Rightarrow I_{20k} = I_B$

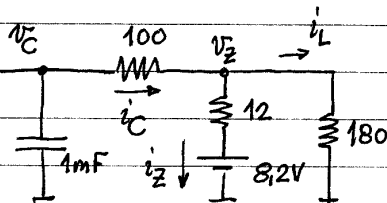
$$\text{logo } V_o'' = 20k \cdot I_B + 0 = 20 \text{ mV}$$

Como a exacta polaridade de V_o'' é ignorada:

$$V_o = V_o' + V_o'' = \pm 230 \text{ mV}$$

$$2a. \text{ O pico de tensão no condensador é } \hat{V}_C = \frac{220\sqrt{2}}{20} - 0,7 = 14,86 \text{ V}$$

$$\text{No zener } V_{z0} = 8,56 - 12 \times 30 \text{ m} = 8,2 \text{ V}$$



Na descarga de C, quando $t \rightarrow \infty, i_C \rightarrow 0$

$$\text{e } V_C \rightarrow \frac{180}{192} \times 8,2 \approx 7,69 \text{ V}$$

$$\text{Assim } V_C = 7,69 + (14,86 - 7,69) e^{-t/\tau}$$

$$\text{Sendo } \tau = 20 \text{ ms} \text{ e } \tau = 1 \text{ mF} (100 + 12 // 180) = 111,25 \text{ ms}$$

$$\text{Logo, para } t \approx \tau/2 = 10 \text{ ms} \rightarrow 14,86 - V_f \approx 7,69 + (14,86 - 7,69) \left(1 - \frac{\tau/2}{\tau}\right)$$

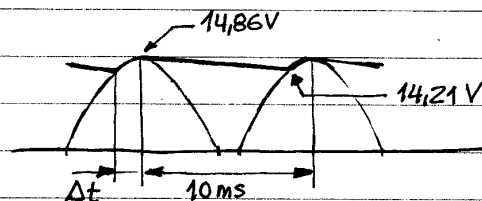
$$\text{donde } V_f \approx 0,644 \text{ V}$$

Para $t = -\Delta t$

$$14,21 = (14,86 + 0,7) \cdot \cos(-\omega \Delta t) - 0,7$$

donde

$$\Delta t = \frac{1}{\omega} \arccos \frac{14,21 + 0,7}{14,86 + 0,7} \approx 0,92 \text{ ms}$$



$$2b. \text{ No esquema acima } V_C = R_1(i_z + i_L) + V_z, \text{ onde } i_L = V_z/180$$

$$\text{e } V_z = 8,2 + 12 i_z. \text{ É necessário que } i_z \geq I_{zK} = 3 \text{ mA} \text{ e}$$

No pior caso $V_C = 14,21 \text{ V}$, donde:

$$R_1 \leq \frac{14,21 - 8,2 - 0,036}{8,2 + 0,576} \times 180 \approx 123 \Omega$$

3a. Como $\beta \gg 1$ $I_C \cong I_E$

Em T_3 : $V_{E3} = 15V$ $V_{B3} = V_{E3} - 0,7 = 14,3V$ $V_{C3} = -1,4V$ (imposto)

$I_3 = 0,5mA$ $I_{B3} = I_3 / \beta = 2,5\mu A$

Em T_2 : $V_{C2} = -1,4V$ (imposto) $I_2 = I_3 = 0,5mA$ e $I_{B2} = 2,5\mu A$

$V_{E2} = -15 + 100 I_2 = -14,95V$ $V_{B2} = V_{E2} + 0,7 = -14,25V$

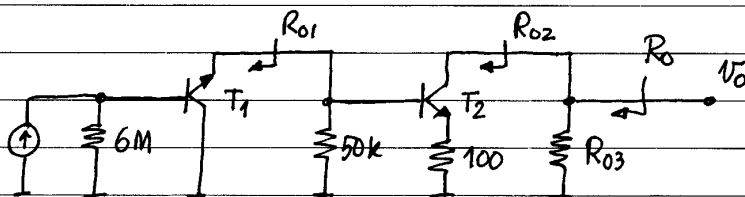
Em T_1 : $V_{E1} = V_{B2} = -14,25V$ $V_{B1} = V_{E1} + 0,7 = -13,55V$ $V_{C1} = 15V$

$I_1 = I_{50k} + I_{B2}$

$I_{50k} = \frac{V_{E1} - (-15)}{50k} = \frac{-14,25 + 15}{50k} = 15\mu A$ $I_1 = 17,5\mu A$

$I_{B1} \cong 88nA$

3b.



$R_0 = R_{03} \parallel R_{02}$ Como B_3 é uma massa virtual para sinais, então

$R_{03} = r_{03} = \frac{V_A}{I_3} = \frac{50}{0,5m} = 100k\Omega$

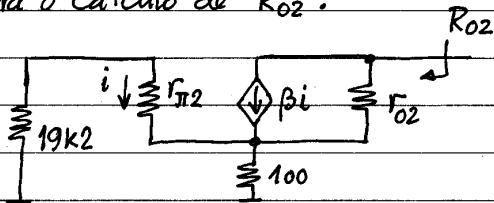
Para calcular R_{02} precisamos de R_{01} :

$R_{01} = r_{01} \parallel \frac{6M + r_{\pi 1}}{\beta + 1}$ $r_{01} = \frac{V_A}{I_1} = \frac{100}{17,5\mu} \cong 5,71M\Omega$

$r_{\pi 1} = \frac{\beta V_T}{I_1} = \frac{200 \times 25m}{17,5\mu} \cong 286k\Omega$ donde $R_{01} \cong 31,3k\Omega$

Assim, na base de T_2 Temos $R_{01} \parallel 50k \cong 19,2k\Omega$

Para o cálculo de R_{02} :



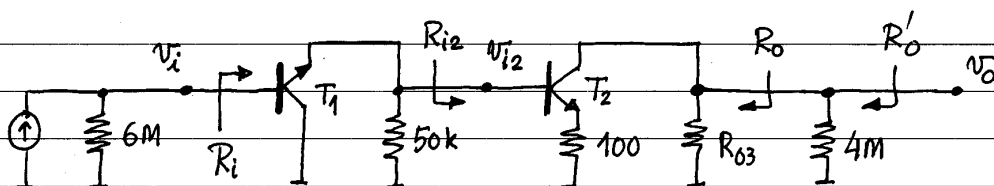
$r_{\pi 2} = \frac{200 \times 25m}{0,5m} = 10k\Omega$

$r_{02} = \frac{100}{0,5m} = 200k\Omega$

Obtem-se $R_{02} = 200k + 137k + 100 \cong 337k\Omega$

Finalmente $R_0 = 100k \parallel 337k \cong 77k\Omega$

3c.



$R_i = R_{i1}$ com $R_{i1} = r_{\pi 1} + (\beta + 1) R_{L1}$ - R_i dum CC
 com $R_{L1} = r_{o1} \parallel 50k \parallel R_{i2}$ - carga total do emissor
 $r_{\pi 1} \cong 286 k\Omega$ e $r_{o1} \cong 5,71 M\Omega$ já calculados atrás
 $R_{i2} = r_{\pi 2} + (\beta + 1) \cdot 100$ - R_i dum EC com $R_E = 100 \Omega$
 $r_{\pi 2} = 10 k\Omega$ já calculado atrás.

Assim

$$R_{i2} = 30,1 k\Omega \quad R_{L1} \cong 18,8 k\Omega \quad \text{e} \quad R_i \cong 4,06 M\Omega$$

Cálculo do ganho

$$A_v = A_1 \cdot A_2 \quad \text{com} \quad A_1 = \frac{v_{i2}}{v_i} \quad \text{e} \quad A_2 = \frac{v_o}{v_{i2}}$$

T_1 é um CC. Será $A_1 \cong 1$?

Num CC, com R_E aqui designada por R_{L1} , temos:

$$A_1 = \frac{R_{L1}}{r_{e1} + R_{L1}} \quad \text{Como vimos} \quad R_{L1} \cong 18,8 k\Omega \quad \text{e} \quad r_{e1} \cong \frac{25m}{17,5\mu} \cong 1,43 k\Omega$$

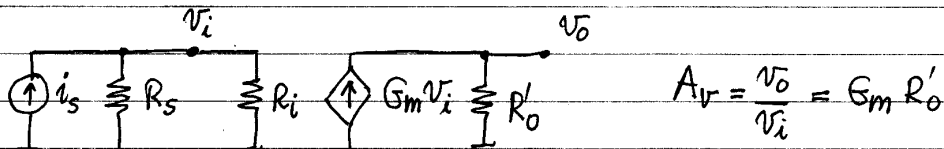
donde $A_1 \cong 0,93$, isto é, tomar $A_1 \cong 1$ não será um erro grosseiro, mas também não é um erro desprezável! Trata-se duma situação normal num TBJ com um PFE muito baixo ($17,5 \mu A$).

T_2 é um EC com R_E . Quando é $R_C \ll r_o$, uma boa aproximação para o ganho é

$$A_v \cong - \frac{R_C}{r_e + R_E}$$

No caso presente, $R_C = R_{o3} \parallel 4M = 100k \parallel 4M \cong 97,6 k\Omega$ e $r_{o2} = 200 k\Omega$, portanto não é $r_{o2} \gg R_{C2}$

Um processo simples de calcular o ganho A_v com muito boa aproximação é usar a relação dos modelos equivalentes dos amplificadores:



em que G_m é a transcondutância em curto-circuito e R'_o é a resistência de saída vista a jusante de todas as resistências de carga consideradas no cálculo de A_v .

No caso presente $R'_o = R_o \parallel 4M \cong 77k \parallel 4M \cong 75,7 k\Omega$

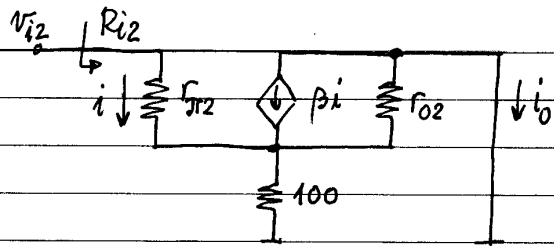
A aproximação consiste em considerar que, no cálculo de G_m , a corrente i_o de curto-circuito é $\cong -\beta i$.

O erro é muito pequeno devido a ser $R_E (100\Omega) \ll r_{o2} (200k\Omega)$.

Assim,

$$G_m = \frac{i_o}{v_{i2}} \cong \frac{-\beta i}{R_{i2} \cdot i} = -\frac{\beta}{R_{i2}} = -\frac{200}{30,1k} \cong -6,64 \text{ mA/V}$$

donde $A_2 = G_{m2} R'_o = -6,64 \text{ m} \times 75,7 \text{ k} \cong -503 \text{ V/V}$



NOTA: Deve notar-se que G_m , com a aproximação indicada, resulta, muito aproximadamente, igual a $-1/(r_e + R_E)$. Desta forma, A_v pode continuar-se a calcular com a expressão

$$A_v = -\frac{R_c}{r_e + R_E} \quad \text{na condição de que } R_c \text{ corresponda a } R'_o, \text{ i.e., o que}$$

poderíamos designar por carga total efectiva do colector. Note-se ainda que calcular A_v considerando $R_c = 97,6k\Omega$ (ver atrás) levaria a $A_v = -651$, i.e., com um erro de +29,4%!

Uma outra aproximação, recomendada em alguns livros de texto, sugere que se tome $R_c = r_o \parallel R_L$, o que no caso presente conduz a $R_c = r_{o2} \parallel R_{o3} \parallel 4M \cong 65,6k\Omega$. Obtém-se, assim, $A_v = -437 \text{ V/V}$, i.e., um valor com um erro de -13%, que é bastante menor e no "bom" sentido.

Finalmente, $A_v = A_1 \cdot A_2 \cong -468 \text{ V/V}$

3d. Com $I_2 = 0,5 \text{ mA}$ $V_{BE2} = V_T \ln \frac{I_2}{I_s} = 25 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,5 \text{ m}}{10^{-14}} \cong 616 \text{ mV}$

Assim $I_{50k} = \frac{V_{BE2} + 100 \times 0,5 \text{ m}}{50k} = 13,3 \mu\text{A}$

e $I_1 = I_{50k} + I_{B2} = 15,8 \mu\text{A}$

logo $V_{BE1} = 25 \text{ m} \cdot \ln \frac{15,8 \mu}{10^{-14}} \cong 530 \text{ mV}$

