

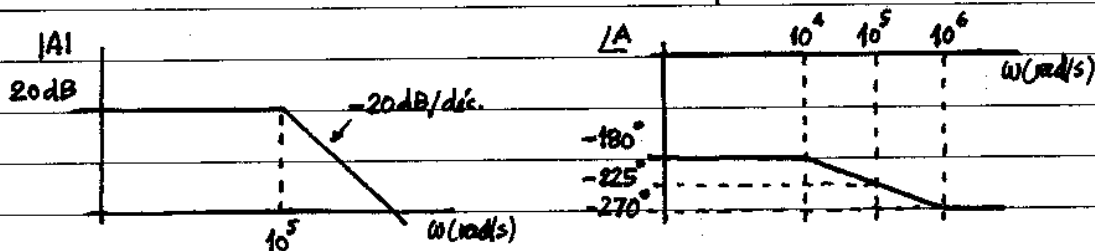
Resolução (compacta):

1a.  $R = 1\text{ k}\Omega$   $Z = 10R / (1 + s10RC)$

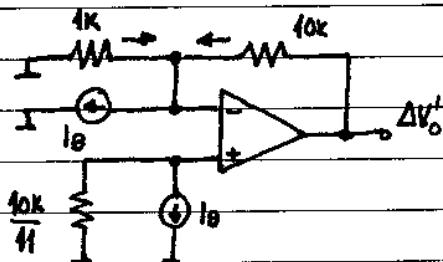
$$V_o' / V_1 = -Z/R \quad \frac{V_o''}{V_2} = \frac{Z}{R+Z} \left(1 + \frac{Z}{R}\right) = \frac{Z}{R}$$

$$V_o = (-Z/R)V_1 + (Z/R)V_2 = (-Z/R)(V_1 - V_2)$$

$$A_v(s) = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = -\frac{Z}{R} = -\frac{10}{1 + s10\mu}$$



1b. O desvio na saída devido a  $I_B$  é obviamente zero, uma vez que as resistências vistas das duas entradas do Amp Op são iguais.



De facto,  $V^+ = -I_B \cdot 10\text{k}/11$  e  $V^- = V^+$   
logo, a corrente em  $1\text{k}\Omega$  é  $10I_B/11$   
donde em  $10\text{k}\Omega$ :  $I_B/11$

Então  $\Delta V_o' = V^- + 10\text{k} \times I_B/11 = 0$   
O circuito foi projectado com a preocupação de minimizar este desvio.

Quanto a  $V_{os}$ , trivialmente:  $\Delta V_o'' = V_{os} \left(1 + \frac{10\text{k}}{1\text{k}}\right) = \pm 55\text{ mV}$

2a. A tensão no secundário é  $220\sqrt{2}/13$  (pico) e cada diodo toma metade, i.e.,  $11,97 \approx 12\text{ V}$ .

Quando um diodo conduz  $v_C = (12 - 0,7)e^{-t/\tau}$

No fim de condução  $11,3 - V_f \approx 11,3 \left(1 - \frac{\tau}{2}\right) \Rightarrow V_f \approx \frac{11,3\tau}{2} \leq 1$

com  $\tau = RC$  e  $\tau = 20\text{ ms}$ . Então  $C \geq \frac{11,3 \times 20\text{ m}}{2 \times 390} \approx 290\ \mu\text{F}$

2b. O circuito deve ser capaz de fornecer  $10\text{ mA}$ , mesmo quando a tensão de entrada é apenas  $10\text{ V}$  e com o zener em regulação, i.e., com  $i_z \geq I_{zK} = 1\text{ mA}$ .

$$V_{zo} = 5,6 - 10 \times 20\text{ m} = 5,4\text{ V}$$

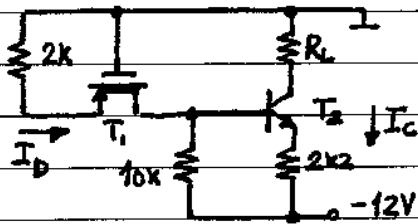
donde  $10 = R(i_z + 10\text{ m}) + 10i_z + 5,4 \wedge i_z \geq 1\text{ mA} \Rightarrow R \leq 417\ \Omega$

2c. Seja  $v_I$  a tensão de entrada e note-se que  $v_L \approx v_2$

$$\text{Então } v_I = 390 \left( \frac{v_L - 5,4}{10} + \frac{v_L}{1k} \right) + v_L \Rightarrow v_L = \frac{v_I + 210,6}{40,39}$$

Se  $v_I = 11V \Rightarrow v_L \approx 5,49V$  (máx) e se  $v_I = 10V \Rightarrow v_L \approx 5,46V$  (mín)

3a.



$$2k \cdot I_D = V_{GS} \text{ e } I_D = 2m \left( 1 - \frac{V_{GS}}{2} \right)^2$$

$$\text{donde } V_{GS} = \cancel{1} V \Rightarrow V_{GS} = 1V \\ \Rightarrow I_D = 0,5 \text{ mA}$$

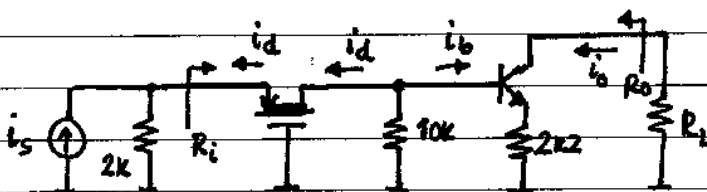
Como  $I_B$  nunca poderá ser superior a  $55 \mu A$ , desprezando  $I_B$  face a  $I_D$ , resulta  $V_B \approx V_D = 10k \cdot 0,5m - 12 = -7V \Rightarrow V_E = -7,7V \Rightarrow$

$$I_C \approx I_E = (-7,7 + 12) / 2k2 \approx 1,95 \text{ mA}$$

$$\text{Mais rigorosamente } I_C \approx I_E = \frac{5 - 0,7}{\frac{10k}{101} + 2k2} \approx 1,87 \text{ mA}$$

$R_L$  é supostamente pequena para que  $T_2$  não sature.

3b.



$$g_{m1} = 1,2 \text{ mA/V}$$

$$r_{o1} = 50 / 0,7m \approx 71k4$$

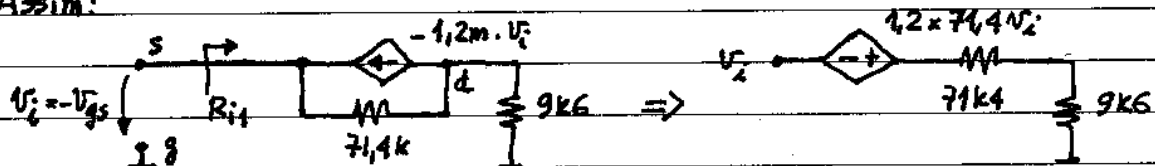
$$r_{o2} = \infty$$

$$r_{\pi} = 1k2$$

$$R_{i2} = r_{\pi} + (\beta + 1) 2k2 \approx 223k2 \quad 10k // 223k \approx 9,6k2$$

Como não é  $r_{o1} \gg 9,6k2$ , o efeito de  $r_{o1}$  não é desprezável. Se fosse, seria  $R_i \approx R_{i1} = 1/g_{m1} \approx 833\Omega$

Assim:



$$\Rightarrow \text{Circuit with } v_i \text{ source, } \frac{85,7}{81k} v_i \text{ current source, and } 81k \text{ resistor} \Rightarrow R_i \approx R_{i1} = \frac{81k}{85,7} // 81k \approx 934\Omega$$

Com  $r_{o2} = \infty$ ,  $R_o$  é trivialmente infinita. Se  $V_{A2} \neq \infty$ , então  $r_{o2} \neq \infty$ , donde  $R_o$  seria finita. Contudo, como se trata da resistência vista do colector dum EC com resistência de emissor, seria uma resistência muito elevada; e como  $R_L$  é pequena, na prática não

haveria alteração significativa!

3c. (Ver esquema equivalente para sinais em 3b)

$$i_o \equiv i_c = 100 i_b \quad i_b = -i_d \frac{10k}{10k + 223k} = -0,043 i_d$$

$$i_d = -i_s \frac{2k}{2k + 934} = -0,68 i_s \Rightarrow A_i = \frac{i_o}{i_s} \approx 2,92 \text{ mA/mA}$$

3d.

$$\text{Com } A_i = 2,5 \text{ mA/mA e } i_s = \pm 0,4 \text{ mA} \Rightarrow i_o = \pm 1 \text{ mA}$$

Para  $T_2$  activo  $\Rightarrow v_{BC} \leq 0,4 \text{ V}$  - junção de colectores contrapolarizada  
 $v_B$  e  $v_C$  estão em oposição, pois  $v_{B\text{máx}} \Rightarrow i_{C\text{máx}} \Rightarrow v_{C\text{mín}}$

$$\text{Como } i_E \approx i_C \approx i_o \Rightarrow i_{C\text{máx}} = 2,5 + 1 = 3,5 \text{ mA}$$

$$\text{donde } v_{E\text{máx}} = -12 + 2k2 \times 3,5 \text{ m} = -4,3 \text{ V}$$

$$\text{Ora } v_B = v_E + v_{BE} \text{ e } v_{BE} = 0,7 + v_{Le} \text{ e } v_{Le} \approx v_{\pi}$$

$$\text{Como } i_C = g_{m2} v_{\pi} \text{ e } g_{m2} = 0,1 \text{ A/V} \Rightarrow v_{\pi} = \pm 0,01 \text{ V}$$

donde

$$v_{B\text{máx}} = -4,3 + 0,7 + 0,01 = -3,59 \text{ V}$$

$$\text{logo } v_{C\text{mín}} = -3,59 - 0,4 = -3,99 \text{ V}$$

$$\text{Como } v_C = 0 - R_L i_C \geq -3,99 \text{ V}$$

resulta

$$R_L \leq \frac{3,99}{i_{C\text{máx}}} = \frac{3,99}{3,5 \text{ m}} = 1,14 \text{ k}\Omega$$

3e. Ver livro.