Electrónica I - 2001-02
3º ano (LEEC - APEL+TEC)

2ª chamada
1 FEV 02

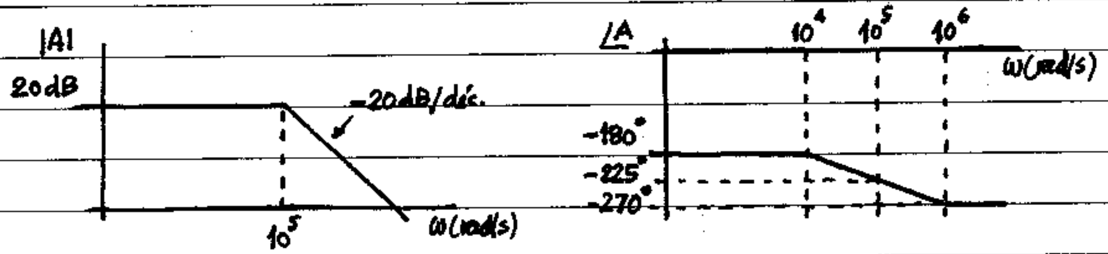
Resolução (compacta):

1a. $R = 1\,k\Omega \qquad Z = 10R/(1+s10RC)$

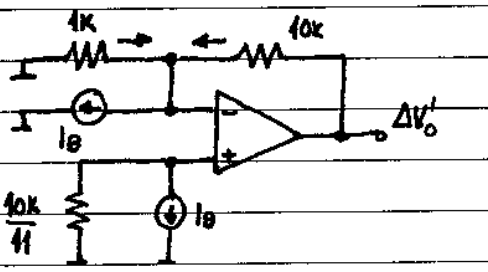
$V_o'/V_1 = -Z/R \qquad \dfrac{V_o''}{V_2} = \dfrac{Z}{R+Z}\left(1+\dfrac{Z}{R}\right) = \dfrac{Z}{R}$

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

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



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



De facto, $V^+ = -I_B\,10k/11$ e $V^- = V^+$
logo, a corrente em $1k\Omega$ é $10 I_B/11$
donde em $10k\Omega$: $I_B/11$
Então $\Delta V_o' = V^- + 10k \times I_B/11 = 0$
O circuito foi projectado com a preocupação de minimizar este desvio.

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

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

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

No fim de condução $11{,}3 - V_r \cong 11{,}3\left(1-\dfrac{T/2}{\tau}\right) \Rightarrow V_r \cong \dfrac{11{,}3\,T}{2\tau} \leq 1$

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

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

$V_{Z0} = 5{,}6 - 10 \times 20m = 5{,}4\,V$

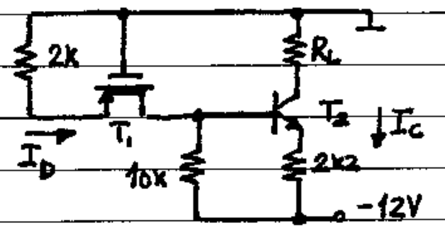
donde $10 = R\,(i_z + 10m) + 10\,i_z + 5{,}4 \;\wedge\; i_z \geq 1mA \Rightarrow R \leq 417\,\Omega$

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

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 $v_I = 11\,V \Rightarrow v_L \cong 5{,}49\,V$ (máx) e se $v_I = 10\,V \Rightarrow v_L \cong 5{,}46\,V$ (mín)

3a.



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

donde $V_{GS} = \cancel{4} \vee 1\,V \Rightarrow V_{GS} = 1V$

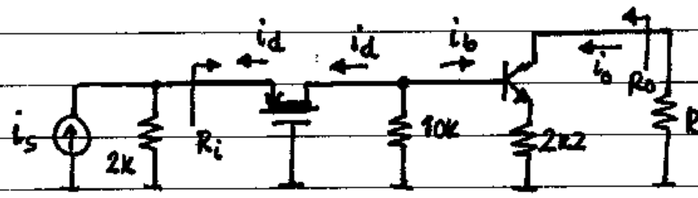
$\Rightarrow I_D = 0{,}5\,mA$

Como I_B nunca poderá ser superior a $55\mu A$, desprezando I_B face a I_D, resulta $V_B \cong V_D = 10k \cdot 0{,}5m - 12 = -7\,V \Rightarrow V_E = -7{,}7\,V \Rightarrow$
$I_C \cong I_E = (-7{,}7+12)/2k2 \cong 1{,}95\,mA$

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

R_L é supostamente pequena para que T_2 não sature.

3b.

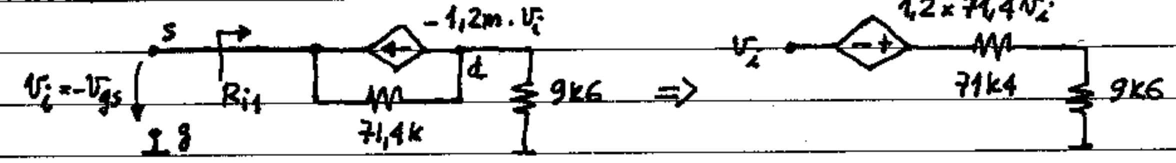


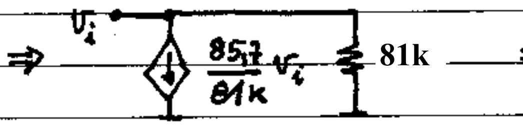
$g_{m1} = 1{,}2\,mA/V$
$r_{o1} = 50/0{,}7m \cong 71k4$
$r_{o2} = \infty$
$r_\pi = 1\,k\Omega$

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

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

Assim:



 $\Rightarrow R_i \cong R_{i1} = \dfrac{81k}{85{,}7} \,//\, 81k \cong 934\,\Omega$

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)

$i_o \cong i_C = 100\, i_b \qquad i_b = -i_d \dfrac{10k}{10k + 223k} = -0{,}043\, i_d$

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

3d.

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

Para T_2 activo $\Rightarrow v_{BC} \leq 0{,}4\ V$ - junção de colector contrapolarizada
v_B e v_C estão em oposição, pois $v_{Bmáx} \Rightarrow i_{Cmáx} \Rightarrow v_{Cmin}$

Como $i_E \cong i_C = i_o \Rightarrow i_{Cmáx} = 2{,}5 + 1 = 3{,}5\ mA$
donde $v_{Emáx} = -12 + 2k2 \times 3{,}5m = -4{,}3\,V$

Ora $v_B = v_E + v_{BE}$ e $v_{BE} = 0{,}7 + v_{be}$ e $v_{be} \cong v_\pi$
Como $i_c = g_{m2}\, v_\pi$ e $g_{m2} = 0{,}1\ A/V \Rightarrow v_\pi = \pm 0{,}01\,V$
donde

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

logo $v_{Cmin} = -3{,}59 - 0{,}4 = -3{,}99\,V$

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

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

3e. Ver livro.