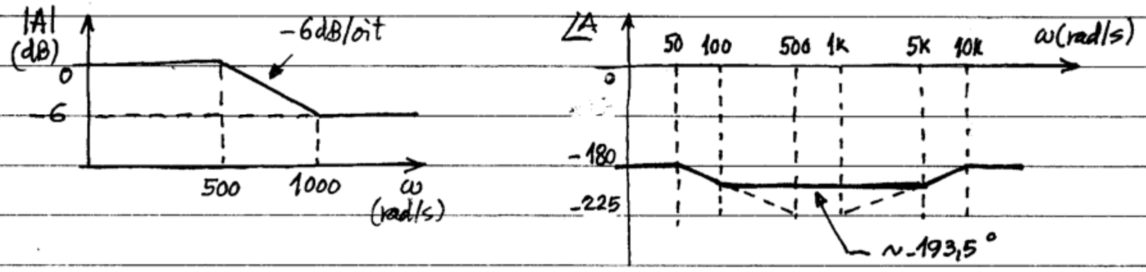
Resolução:

1. a) Montagem inversora $\Rightarrow A(s) = -Z_2/Z_1 \qquad Z_1 = 10k\Omega$

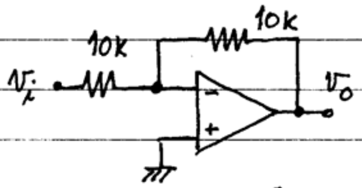
$$Z_2 = 10k \,//\, \left(10k + \frac{1}{s\,100n}\right) = 10k\,\frac{1+s\,1m}{1+s\,2m}$$

$$A(s) = -\frac{1+s\,1m}{1+s\,2m} = -\frac{1+s/1000}{1+s/500} \qquad \omega_0 = 1\ krad/s \qquad \omega_p = 500\ rad/s$$

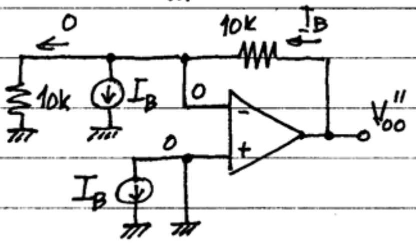
$s=0 \quad |A| = 1 \rightarrow 0dB \qquad s\rightarrow\infty \quad |A| \rightarrow 0{,}5 \rightarrow -6dB$



b) Em corrente contínua:



$V_{os} \rightarrow V'_{oo} = V_{os}\left(1+\frac{10}{10}\right) = \pm 20mV$



Efeito de I_B: Na entrada (+), como está à massa $V^+=0$, logo $V^-=0$. Então, na resistência da esquerda a corrente é nula, logo na resistência da direita passa I_B.

Assim: $V''_{oo} = 0 + 10k.I_B = 10mV$

Como o sentido de I_B é ignorado, no pior caso teremos $V_{oo} = V'_{oo} + V''_{oo} = \pm 30mV$

2. a) Em cada arcada da tensão de entrada há dois díodos rectificadores em série, pelo que a tensão de pico no condensador é

$V_p = \frac{220\sqrt{2}}{10} - 1{,}4 \cong 29{,}7\ V \qquad$ Para o zener: $V_{Z0} = 22 - 50\times 20m = 21V$

Com $R_L=\infty$, a descarga do condensador faz-se para V_{Z0}, logo:

$v_C = 21 + 8{,}7\,e^{-t/\tau}$ donde para $t \cong T/2 = 10ms$ resulta:

$$v_C = V_p - V_r = 29{,}7 - V_r \cong 21 + 8{,}7\left(1 - \frac{10m}{\tau}\right)$$

logo

$$V_r = 8{,}7\,\frac{10m}{\tau} \leq 0{,}5 \quad \Rightarrow \quad \tau \geq 174\,ms$$

Como é justamente com $R_L=\infty$ que a corrente no zener é máxima, Com $v_{C\,máx} = 29{,}7$ V Teremos

$$I_Z = \frac{29{,}7-21}{R+50} \le 50\,mA \Rightarrow R \ge \frac{8{,}7}{50m} - 50 = 124\,\Omega$$

Como $\tau = C(R+50)$, vem finalmente $C \ge \frac{174m}{124+50} = 1mF$

b) $i_D = i_C + i_R$ sendo habitualmente $i_{D\,máx} \cong i_{C\,máx}$.

De facto, no terminal à esquerda de R a máxima tensão é 29,7V e, à direita, o valor mínimo é $V_{ZK} = V_{Z0} + r_Z I_{ZK} = 21{,}25$ V.
Assim, $i_{R\,máx} = \frac{29{,}7-21{,}25}{150} = 56{,}3\,mA$

Quanto a i_C $\quad i_C = C\frac{dv_C}{dt}$ com $v_C = 31{,}1\cos\omega t - 1{,}4$

logo $i_C = -31{,}1\,\omega C \operatorname{sen}\omega t$ e $i_{C\,máx} = 31{,}1\,\omega C \operatorname{sen}[\omega\Delta t]$
e como para $t = -\Delta t$

$$v_C = 29{,}2 = 31{,}1\cos[\omega\Delta t] - 1{,}4 \Rightarrow \omega\Delta t = \arccos\frac{29{,}2+1{,}4}{31{,}1}$$

e finalmente $i_{C\,máx} = 31{,}1 \cdot 100\pi \cdot 1{,}5m \operatorname{sen}\left[\arccos\frac{29{,}2+1{,}4}{31{,}1}\right] \cong 2{,}62\,A$
portanto

$$i_{D\,máx} \cong 2{,}62\,A$$

c) Com carga máxima, deve ser $i_Z \ge I_{ZK} = 5mA$ e, portanto, $v_Z = V_{ZK} = 21{,}25$ V (alínea anterior).
No pior caso $v_C = 29{,}7 - 0{,}5 = 29{,}2$ V
Assim

$$i_Z + i_L = \frac{29{,}2-21{,}25}{150} \Rightarrow i_L = \frac{29{,}2-21{,}25}{150} - 5m \cong 48\,mA$$

$$R_L = \frac{V_{ZK}}{i_L} = \frac{21{,}25}{48m} \cong 443\,\Omega$$

logo deverá ser $R_L \ge 443\,\Omega$ para que, <u>seguramente</u>, haja regulação.

3. a) $V_G = \frac{0{,}56}{1{,}5+0{,}56} \cdot 12 \cong 3{,}26$ V $\Rightarrow 3{,}26 = V_{GS} + 2k7\,I_D$

$$I_D = \frac{3{,}26 - V_{GS}}{2k7} = 0{,}4m\,(V_{GS}-1)^2 \Rightarrow V_{GS} = 2{,}06\,V \Rightarrow I_D \cong 0{,}45mA$$

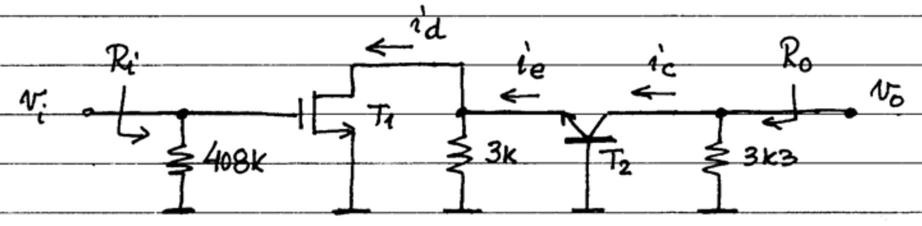
$V_S = V_G - V_{GS} = 1{,}20$ V $\qquad V_D = 12 - 8k2 \cdot I_D \cong 8{,}34$ V

$$V_B = \frac{56}{56+68} \cdot 12 \cong 5{,}42\ V \qquad V_E = V_B - 0{,}7 \cong 4{,}72\ V$$

$$I_E = \frac{V_E}{4k7} \cong 1\,mA \qquad I_C \cong I_E \qquad I_B = \frac{I_C}{\beta} \cong 5\,\mu A$$

$$V_C = 12 - 3k3 \cdot I_C \cong 8{,}70\ V$$

b)



560k//1M5

Como a resistência de entrada na porta de T_1 é muitíssimo elevada,
$R_i \cong 408\ k\Omega$

c) Como $V_A \to \infty \Rightarrow r_o \to \infty$.

Assim, $v_o = -3k3\ i_c$

Como $i_e \cong i_c \Rightarrow v_o = -3k3\ i_e$

Ora

$$i_e = \frac{3k}{3k + r_e}\, i_d \qquad \text{mas } r_e \cong \frac{V_T}{I_C} = 25\ \Omega \ll 3\ k\Omega$$

Assim $i_e \cong i_d \Rightarrow v_o = -3k3\ i_d$

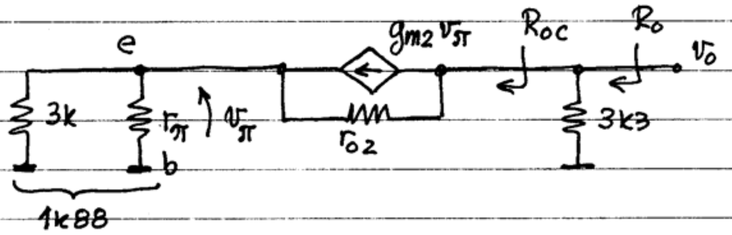
e como $i_d = g_{m1} v_{gs} = g_{m1} v_i \Rightarrow v_o = -3k3\ g_{m1} v_i$

logo $A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_{m1} \cdot 3k3$ Sendo $g_{m1} = 2\sqrt{K I_D} \cong 0{,}89\ mA/V$

vem finalmente $A_v \cong -2{,}95\ V/V$

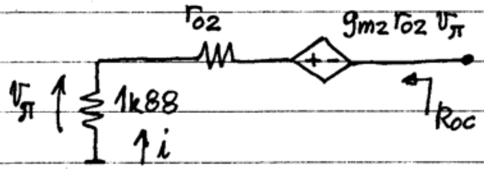
$$g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = 40\ mA/V$$

d)



$$r_{o2} = \frac{V_A}{I_C} = 100\ k\Omega$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_{m2}} = 5\ k\Omega$$



$v_\pi = 1k88\ i$

$g_{m2} r_{o2} v_\pi = g_{m2} r_{o2}\ 1k88\ i$

logo

$R_{oc} = 1k88 + 100k + 40 \times 100 \times 1k88 \cong$

$\cong 7{,}6\ M\Omega \Rightarrow R_o \cong 3{,}3\ k\Omega$