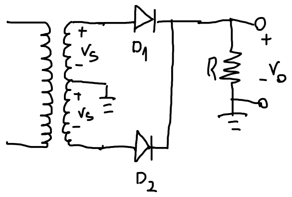
Exame CEB 2021/22 7/7

I)

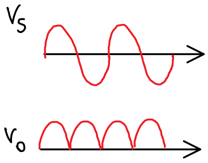


$V_s = 5 \sin(2\pi \cdot 50 t)$

$R = 10 k\Omega$

D_1 e D_2 são ideais

a) Dado que se trata de um rectificador de onda completa



$$V_{o_{av}} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} A \sin(2\pi f t)\,dt = \frac{2A}{\pi} = \frac{10}{\pi} = 3.1831\ V$$

b) $\Delta V = 100 mV$

$R = 10 k\Omega$

$V_{OM} = 5\ V$

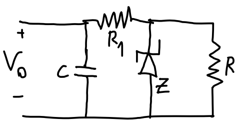
$T = \frac{1}{50}$

$t^* = \frac{T}{2} = \frac{1}{100}$

O valor mínimo de C para que $\Delta V = 100\ mV$ é

$$\Delta V \approx \frac{V_{OM}}{CR} \cdot t^* \iff C \approx \frac{V_{OM}\, t^*}{\Delta V R} = 50\ \mu F$$

c) Sendo $R = 10 k\Omega$, precisamos de R_1 e Z, respectivamente, uma resistência e um Zener



Zener: $V_Z = 3.3V$ e $V_D = 0{,}7V$

$$i_1 = \frac{V_0 - V_Z}{R_1} \qquad i_2 = \frac{V_Z}{R}$$

Como queremos Z a condução temos: $i_Z = i_1 - i_2 > 0$

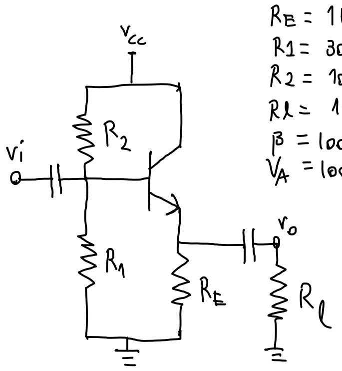
Logo: $$\frac{V_0 - V_Z}{R_1} - \frac{V_Z}{R} > 0 \iff R_1 < \frac{R\,(V_0 - V_Z)}{V_Z} \iff R_1 < 5.15\ k\Omega$$

$R_1 = 5k\Omega$ é válido. Sendo assim $V_Z = 3.3V \mid R_1 = 5k\Omega \mid C = 50\mu F$

Nota: se considerarmos $V_D = 0{,}7\ V$ temos $i_1 = \frac{V_0 - V_D - V_Z}{R_1}$

logo $R_1 < \frac{R(V_0 - V_D - V_Z)}{V_Z} = 3\ k\Omega$

II)



$V_{CC} = 5V$

$R_E = 1k\Omega$

$R1 = 30 k\Omega$

$R2 = 10 k\Omega$

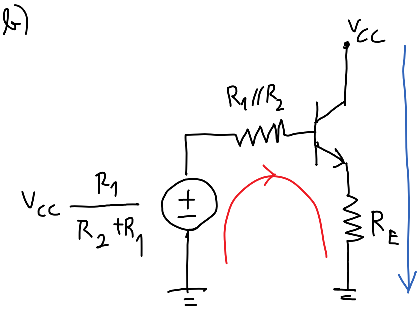
$Rl = 100\Omega$

$\beta = 100$

$V_A = 100V$

a) Andar de colector comum

b)



Vamos assumir ZAD

$V_{BE} = 0.7V$ e $I_C = \beta I_B$

$I_B + I_C = I_E \iff I_E = (\frac{1}{\beta} + 1) I_C$

$$V_{CC}\frac{R_1}{R_2 + R_1} = (R_1 // R_2) I_B + V_{BE} + I_E R_E \iff$$

$$\iff V_{CC}\frac{R_1}{R_2 + R_1} - V_{BE} = \left(\frac{R_1 // R_2}{\beta} + (\frac{1}{\beta} + 1) R_E\right) I_C$$

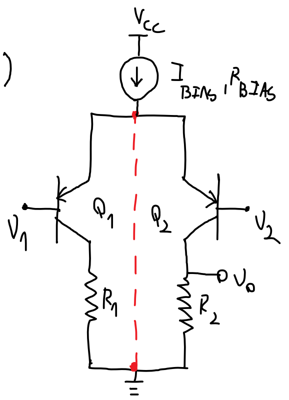
$\iff I_C = 2.81\ mA$

$$V_{CC} - V_{CE} - R_E I_E = 0 \iff V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E \iff$$

$$\iff V_{CE} = V_{CC} - R_E (1 + \frac{1}{\beta}) I_C = 2.16\ V$$

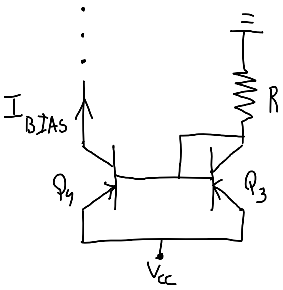
Como $V_{CE} > V_{BE}$ logo comprova-se a ZAD.

III)



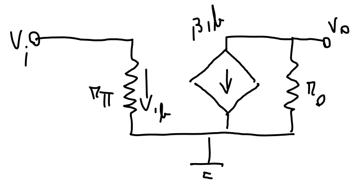
$V_{DD} = 5V$
$\beta = 100$
$V_A = 100V$
$V_{BE_{ON}} = 0.7V$
$R_1 = R_2 = 2k\Omega$
$I_{BIAS} = 1mA$

a)



Sendo Q_3 e Q_4 iguais

$$V_{cc} = R \cdot I_{BIAS} + V_{BE} \iff R = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{I_{BIAS}} = 4.3k\Omega$$

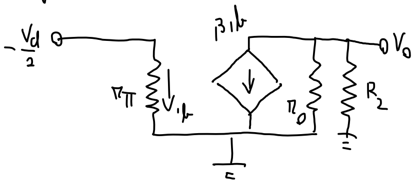


$$R_o = r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{V_A}{I_{BIAS}} = 100k\Omega$$

b) O circuito em modo diferencial é anti-simétrico ($V_2 = -V_1$) logo podemos usar o teorema da bisseção

Modo diferencial → Logo os pontos de ligação são ground AC

$$I_C = \frac{I_{BIAS}}{2}$$



$$i_b = -\frac{V_d}{2 r_\pi}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

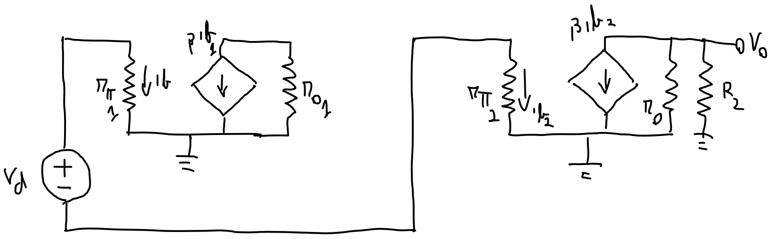
$$V_T = 25mV$$

$$V_o = (r_o // R_2) \cdot (-\beta i_b)$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta}{\frac{I_C}{V_T}} = \frac{\beta V_T}{I_C}$$

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{(r_o // R_2)\, \beta}{2 r_\pi} = 19.8$$

c) Não podemos usar o teorema da bisseção



Q_1: Assumir ZAD

$V_{EB} = 0.7V$

$V_{EC} = 5V$

Como $V_{EC} > V_{EB}$ temos ZAD

Q_2: Assumir ZAD

$V_{EB} = 0.7V$

$V_{EC_{Min}} = 5 - R_2 \cdot I_{BIAS} = 3V$

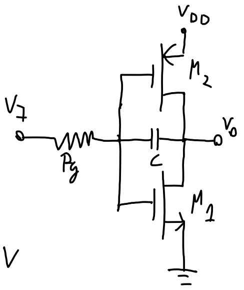
Como $V_{EC} > V_{EB}$ temos ZAD

Como ambos estão na ZAD este esquema é válido

Falta confirmar o PFR, mas se desprezar-mos o efeito de Early temos que I_{C_1} e I_{C_2} só depende de V_{EB_1} e V_{EB_2}

Logo temos que $I_{C_1} = I_{C_2}$ por isso o ganho é igual

IV)



$V_{DD} = 2.5V$

$\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} = 0.2\, mA/V^2$

$\frac{1}{2}\mu_p C_{ox} = 0.1\, mA/V^2$

$\frac{W_n}{L_n} = 5$ $\quad \frac{W_p}{L_p} = 10$

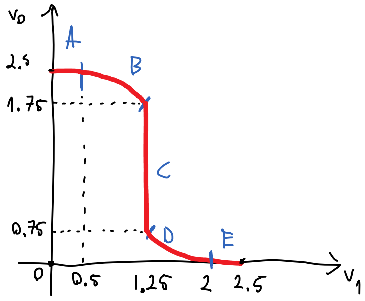
$V_{tn} = V_{tp} = 0.5$

$\lambda = 0$

a) $k_2 = \frac{1}{2}\mu_p C_{ox}\frac{W_p}{L_p} = 1$

$k_1 = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W_n}{L_n} = 1$

Como $k_2 = k_1$ e $V_{tn} = V_{tp}$ os transistores estão adaptados



A M_1 Corte, M_2 Tríodo

B M_1 Sat, M_2 Tríodo

C M_1 Sat, M_2 Sat

D M_1 Tríodo, M_2 Sat

E M_1 Tríodo, M_2 Corte

b) Vantagens:

CMOS tem potência estática nula

Os CMOS podem ser adaptados, tendo por isso uma característica de transferência simétrica e tempos de propagação iguais!

c) $V_i = 1.25V$ $\quad C = 10fF$ $\quad$ Como ambos estão em saturação

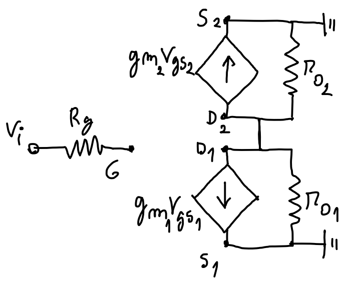
$R_g = 10k\Omega$ $\quad \lambda^{-1} = 50V$ $\quad$ temos $I_{D_1} = I_{D_2} = k(V_{GS}-V_t)^2 = 562.5mA$

$$r_{o_1} = r_{o_2} = \frac{\lambda^{-1}}{I_D} = 88.(8)\Omega$$

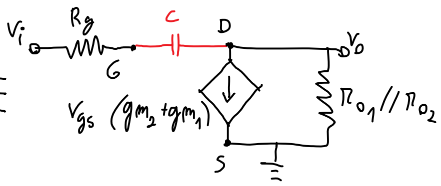
$$g_{m_1} = g_{m_2} = 2\sqrt{k I_D} = 1.5\, S$$

Não afeta o ganho, só introduz para a largura de banda

Incremental:



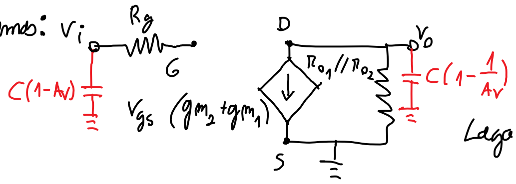
$\equiv$



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -(r_{o_1}//r_{o_2})(g_{m_2}+g_{m_1}) = -133.33$$

Para a largura de banda vamos aplicar o teorema de Miller

Logo temos:



Como $C(1-A_v) \gg C(1-\frac{1}{A_v})$ podemos dizer que é dominante

Logo $\frac{1}{\omega_H} \approx C(1-A_v)\cdot R_g \Rightarrow f_H = 11.847\,MHz$