→ exercício 8,88

$W/L = 10$

$\mu_n C_{ox} = k_n' = 100\mu A/V^2$

$V_{tn} = 0{,}5V$

$V_A = 18V$

$I_{ref} = 180\mu A$

} todos os transistores são idênticos.

a) Desprezando o efeito early, calcular V_{OV} e V_{GS} p/ todos os transistores.

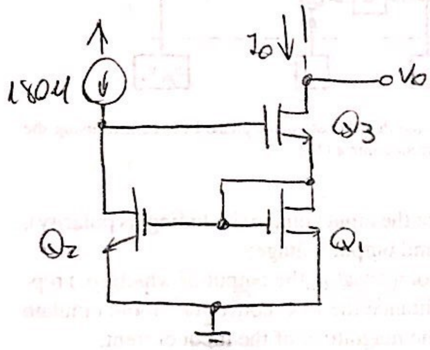
b) Como $V_{DS_1} \neq V_{DS_2}$ encontrar I_{D1} e I_{D2} e I_o!

c) Estimar I_o p/ a conexão de um diode-connected mos.

d) Calcular V_{omin}

e) Mostar que Q_1 não afeta R_o e calculá-lo

f) se $\Delta V_o = 1V$, calcular ΔI_o



a) $I_{D2} = 180\mu A = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} V_{OV_2}^2$

$\boxed{V_{OV_2} = 0{,}3V \rightarrow V_{GS_2} = 0{,}8V}$

$\boxed{V_{GS_1} = V_{GS_2} = 0{,}8V \rightarrow V_{OV_1} = 0{,}3V}$

$V_{S3} = V_{D1} = V_{GS_1} = 0{,}8V$

$I_{D_1} = I_{D_3} = 180\mu A \rightarrow \boxed{V_{OV_3} = 0{,}3V \quad e \quad V_{GS_3} = 0{,}8V}$

$\boxed{V_{G3} = 1{,}6V}$

b) Como a fonte de corrente força $I_{D2} = 180\mu A$, assume-se que o projeto é feito com $V_{DS} = V_{DS_2} = V_{G3} = 1{,}6V$. Assim, no caso de Q_1: $I_{D1} = I_{D1_0}\left(1 + \frac{\Delta V_{DS}}{V_A}\right)$ $\Rightarrow I_{D1} = 180\mu A \left(1 + \frac{0{,}8 - 1{,}6}{18V}\right)$

↳ projeto da letra a)

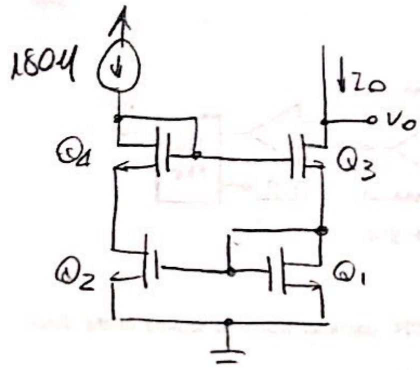
$\boxed{I_{D1} = 172\mu A}$

$\boxed{I_{D2} = 180\mu A}$

→ logo $I_o = I_{D1}$ @ $V_{DS3} = 0{,}8V$ → $\boxed{I_o = 172\mu A \text{ p/ } V_o = 1{,}6V}$

Scanned with CamScanner

c) Conectando um NMOS - diode



→ Novamente, desprezando o efeito early

$I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = 180\mu A$

$V_{ov1} = V_{ov2} = V_{ov3} = V_{ov4} = 0,3V$

$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS3} = V_{GS4} = 0,8V$

$V_{DS1} = V_{GS1} = 0,8V$

$V_{G3} = V_{GS3} + V_{DS1} = 1,6V$

$V_{DS2} = V_{GS} - V_{GS4} = 0,8V$

$V_{DS4} = V_{GS4} = 0,8V$

transistores Q_1, Q_2 e Q_4 estão equilibrados.

→ logo, se $V_o \cong 1,6V$ → $I_o = 180\mu A$

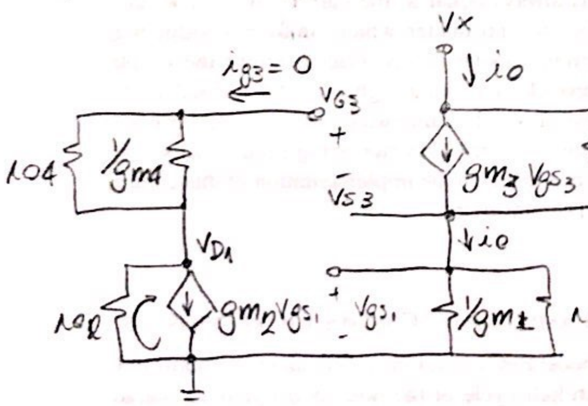
d) Vomin ocorre quando Q_3 deixa a região linear, que ocorre quando:

$V_{DS3} = V_{GS3} - V_t \Rightarrow V_{O_{min}} - \cancel{V_{S3}}^{V_{GS1}} = V_{GS3} - V_t$

$V_{Omin} = V_{GS3} + V_{GS1} - V_t = 1,6 - 0,5$

$\boxed{V_{Omin} = 1,1V}$

e) → Fazendo o modelo de pequenos sinais



$R_o = \frac{V_x}{i_o}$

$V_{D1} = -g_{m2} r_{o2} V_{gs1} = V_{G3}$

$V_{S3} = V_{gs1}$

$V_{gs3} = -g_{m2} r_{o2} V_{gs1} - V_{gs1} = -(1+g_{m2} r_{o2}) V_{gs1}$

$i_o = -g_{m3}(1+g_{m2} r_{o2}) V_{gs1} + \frac{V_x - V_{gs1}}{r_{o3}}$

$V_{gs1} = i_o \left(\frac{1}{g_{m1}} // r_{o1}\right)$

→ $i_o = -g_{m3} V_{gs1} - g_{m2} g_{m3} r_{o2} V_{gs1} + \frac{V_x}{r_{o3}} - \frac{V_{gs1}}{r_{o3}}$

$i_o = \frac{V_x}{r_{o3}} - \left(g_{m3} + g_{m2} g_{m3} r_{o2} + \frac{1}{r_{o3}}\right)\left(\frac{1}{g_{m1}} // r_{o1}\right) i_o$

$r_{o3} i_o = V_x - \left(g_{m3} r_{o3} + g_{m2} g_{m3} r_{o2} r_{o3} + 1\right)\left(\frac{1}{g_{m1}} // r_{o1}\right) i_o$

$$io\left(ro_3 + 1 + gm_3 ro_3 + gm_2 gm_3 ro_2 ro_3\right)\left(\frac{1}{gm_1} // ro_1\right) = Vx$$

→ Sabe-se que $\frac{1}{gm_1} << ro_1$, logo:

$$\frac{Vx}{io} = Ro = \frac{ro_3}{gm_1} + \frac{1}{gm_1} + \frac{gm_3 ro_3}{gm_1} + \frac{gm_2 gm_3 ro_2 ro_3}{gm_1}$$

Como $\frac{gm_2 gm_3 ro_2 ro_3}{gm_1}$ é muito maior que os demais termos:

$Ro \cong \frac{gm_2 gm_3 ro_2 ro_3}{gm_1}$ → como o circuito está equilibrado:

$$gm_1 = gm_2 = gm_3 = gm = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{360\mu}{0,3} = 1,2mA/V$$

$$ro_2 = ro_3 = ro = \frac{18V}{180\mu} = 100k\Omega$$

$\boxed{Ro = 12M\Omega}$ ←

↳ Note que o Q4 não afeta a conta de Ro!

f) $\Delta I_O = \frac{\Delta V_O}{R_O} = \frac{1V}{12M} = 0.084A \rightarrow \frac{\Delta I_O}{I_O} = 0.04\%$