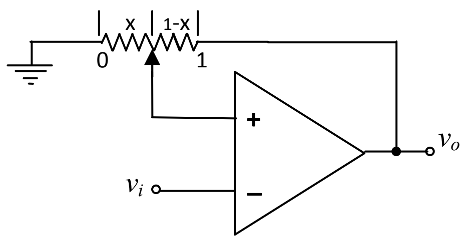
Gabarito da 2ª lista adicional de exercícios - PSI2324/PSI2306

1) [Rec 2007] *Dado o circuito abaixo:*



[0,5] *a) Deduza a expressão de v_0 em função de v_i e de x.*

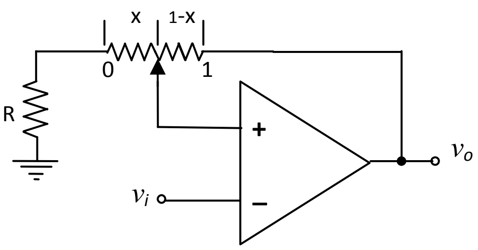
$$v_o = \left(1 + \frac{1-x}{x}\right)v_i$$

[0,5] *b) Qual a faixa de valores que pode ser obtida para o ganho de tensão com x variando de 0 até 1?*

para x = 0 $\rightarrow$ $A_v = {}^{v_o}/_{v_i} = \infty$

para x = 1 $\rightarrow$ $A_v = {}^{v_o}/_{v_i} = 1$

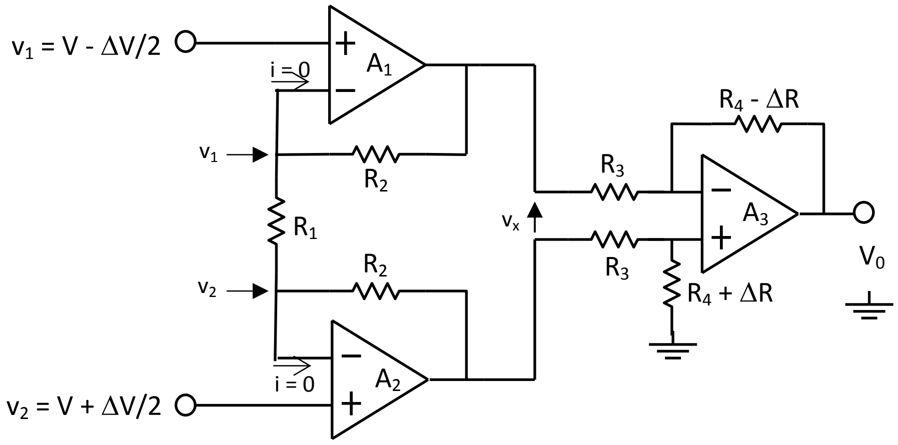
[0,5] *c) Mostre como a partir da colocação conveniente de um resistor (desenhe o novo circuito) com valor fixo de modo que a faixa de valores para o ganho possa va riar de 1 a 11. Qual o valor deste resistor?*



$$A_v = 1 + \frac{(1-x).10k\Omega}{x.10k\Omega + R} = \frac{10k\Omega + R}{x.10k\Omega + R} \qquad com \quad R\ (k\Omega)$$

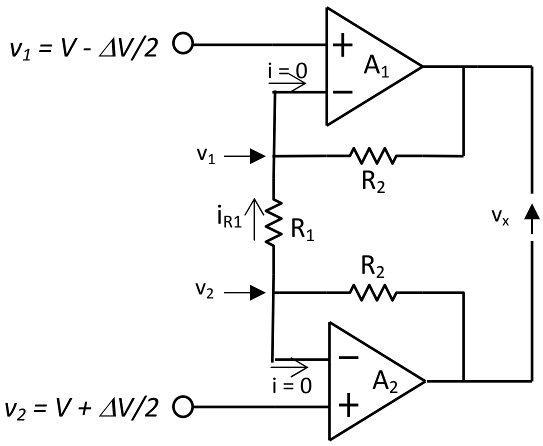
para x = 0 $\rightarrow$ $A_v = \frac{10k\Omega + R}{R} = 11$ $\rightarrow$ *R = 1kΩ*

2) ***[2ª prova 2002]*** *Dado o circuito do amplificador de instrumentação abaixo:*



a) ***[1,0]*** *Considerando-se todos os componentes ideais, e no caso de termos resistores precisos (ΔR = 0), deduza a expressão do ganho diferencial* $A_d = v_0 / \Delta V$

v_x será dado por:



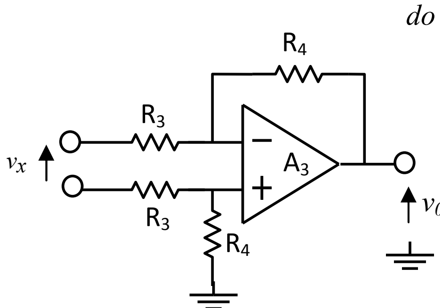
$$i_{R_1} = \frac{(v_2 - v_1)}{R_1}$$

$$v_x = -(R_1 + 2R_2).\, i_{R_1}$$

$$v_x = -(R_1 + 2R_2).\frac{(v_2 - v_1)}{R_1}$$

$$v_x = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right).(v_1 - v_2)$$

do amplificador de diferenças abaixo, vem:



$$v_0 = -\frac{R_4}{R_3}.\, v_x$$

$$v_0 = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right).\left(\frac{R_4}{R_3}\right)\underbrace{(v_2 - v_1)}_{\Delta V}$$

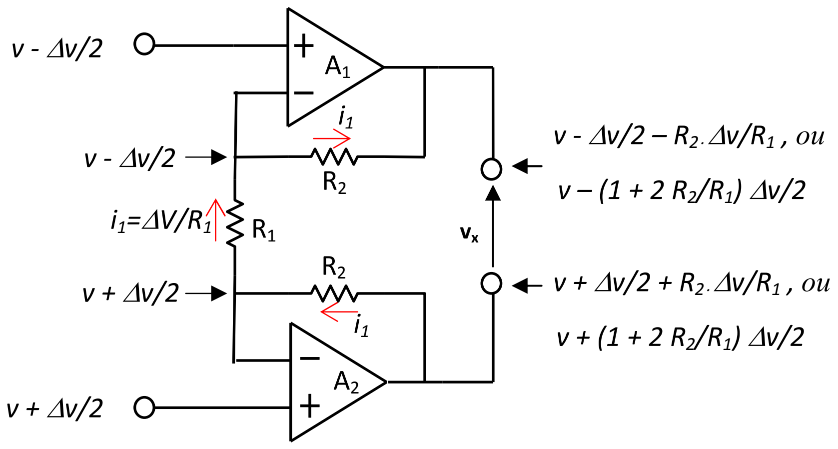
$$\boxed{A_d = \frac{v_0}{\Delta V} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right).\left(\frac{R_4}{R_3}\right)}$$

b) **[0,5]** *Na condição do item (a), calcule A_d para R_1=10kΩ e R_2= R_3= R_4=100kΩ*

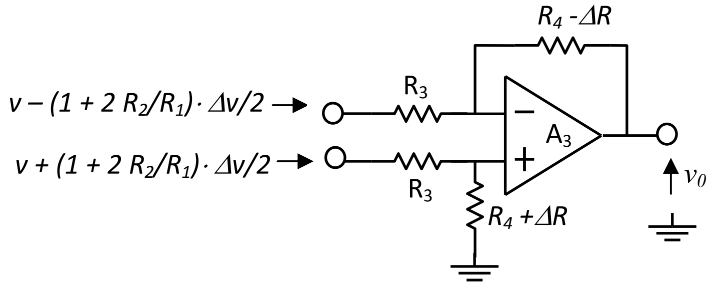
$$A_d = \frac{v_0}{\Delta V} = \left(1 + \frac{200}{10}\right).\frac{100}{100} = 21$$

c) **[1,5]***Considerando-se que os resistores R_4 ($\Delta R \neq 0$) estejam desbalanceados, obtenha a expressão de v_0 do tipo:* $v_0 = A_d.\Delta V + A_c.V$

Obs: Considerar que : $\frac{R_3+R_4-\Delta R}{R_3+R_4+\Delta R} \cong 1$



Resolvendo agora por superposição, vem:



$$v_{0_1} = -\frac{(R_4 - \Delta R)}{R_3} \cdot (v - (1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2)$$

$$v_{0_2} = \frac{(R_4 + \Delta R)}{(R_3 + R_4 + \Delta R)} \cdot \left(1 + \frac{R_4 - \Delta R}{R_3}\right) \cdot (v + (1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2)$$

$$v_{0_2} = \frac{(R_4 + \Delta R)}{(R_3 + R_4 + \Delta R)} \cdot \left(\frac{R_3 + R_4 - \Delta R}{R_3}\right) \cdot (v + (1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2)$$

Considerando que:

$$\frac{R_3 + R_4 - \Delta R}{R_3 + R_4 + \Delta R} \cong 1$$

$$v_{0_2} = \frac{(R_4 + \Delta R)}{R_3} \cdot (v + (1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2)$$

$$v_0 = v_{0_1} + v_{0_2}$$

$$v_0 = -\frac{R_4}{R_3} v + \frac{R_4}{R_3}(1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2 + \frac{\Delta R}{R_3} v - \frac{\Delta R}{R_3}(1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2 + \frac{R_4}{R_3} v + \frac{R_4}{R_3}(1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2 + \frac{\Delta R}{R_3} v + \frac{\Delta R}{R_3}(1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v/2$$

$$v_0 = \frac{R_4}{R_3}(1 + 2\,R_2/R_1) \cdot \Delta v + \frac{2\Delta R}{R_3} v$$

$$v_0 = A_d . \Delta V + A_c . V$$

Então, tem-se

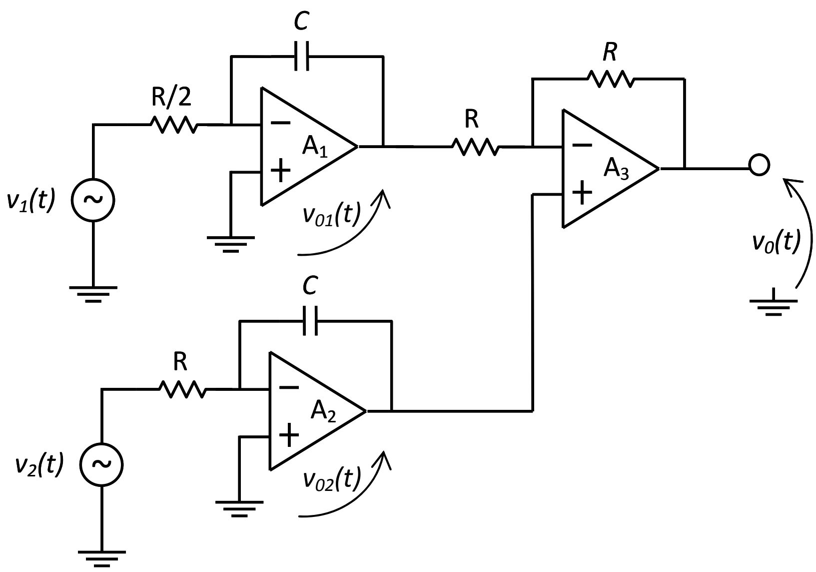
$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \cdot (1 + 2\,R_2/R_1) \quad e \quad A_c = \frac{2\Delta R}{R_3}$$

d) ***[0,0]*** $A_d = \frac{100k\Omega}{100k\Omega} \cdot (1 + 2 \cdot 100k\Omega/10k\Omega) = 21$

$$A_c = \frac{2 \cdot 1k\Omega}{100k\Omega} = 0{,}02 \quad e \quad CMMR = 20 \cdot log \frac{A_d}{A_c} \cong 60dB$$

e) ***[0,0]*** $R_i = \infty$

3) ***(1ª prova de 1999)*** *Dado o circuito eletrônico abaixo onde foram empregados amplificadores operacionais ideais ($A_0 \rightarrow \infty$, $Z_{in} \rightarrow \infty$, $Z_{out} \rightarrow 0$):*



a) Determine a expressão de $v_0(t)$ como função dos sinais de entrada $v_0(t)$ e $v_0(t)$

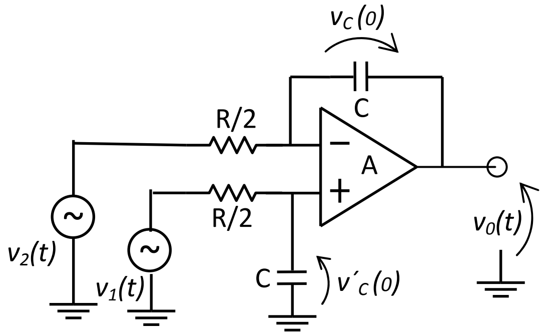
$$v_{0_1}(t) = -\frac{2}{RC}\int v_1\,(t)dt \qquad e \qquad v_{0_2}(t) = -\frac{1}{RC}\int v_2\,(t)dt$$

$$v_0(t) = -\frac{R}{R}v_{0_1}(t) + \left(1+\frac{R}{R}\right)v_{0_2}(t) = -v_{0_1}(t) + 2v_{0_2}(t)$$

$$v_0(t) = \frac{2}{RC}\int v_1\,(t)dt - \frac{2}{RC}\int v_2\,(t)dt$$

$$\therefore \quad v_0(t) = -\frac{2}{RC}\int [v_2\,(t) - v_1(t)]dt$$

b) Um circuito que satisfaz a relação deduzida no item (a) empregando 1 AmpOp. e dois capacitores é o integrador de diferenças mostrado abaixo.



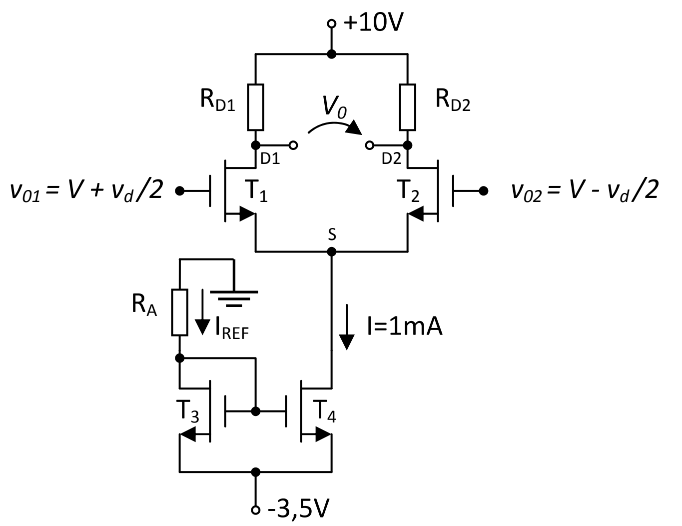
$$em\ que: \quad v_0(t) = v_0(0) + \frac{2}{RC}\int [v_1(t) - v_2(t)]dt$$

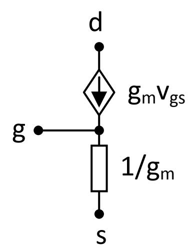
$$onde: \quad v_0(0) = v_C(0) + v'_C(0) = v_{A1}(0) - 2v_{A2}(0)$$

$$V_0(s) = \frac{Z_2}{Z_1}\cdot[V_1(s) - V_2(s)] = -\frac{{}^{1}/_{sC}}{{}^{R}/_{2}}\cdot[V_2(s) - V_1(s)] = -\frac{2}{sRC}\cdot[V_2(s) - V_1(s)]$$

$$e\ no\ domínio\ do\ tempo: \quad v_0(t) = -\frac{2}{RC}\int [v_2(t) - v_1(t)]dt$$

4) (2ª. prova de 2009) *Dados o amplificador diferencial MOS, o modelo para pequenos sinais e as equações abaixo:*





Equações:

a) Saturação

$$\boldsymbol{I_D = \frac{k'_n}{2}\cdot\frac{W}{L}(V_{GS} - V_t)^2(1 + \lambda V_{DS})}$$

b) Triodo

$$\boldsymbol{I_D = k'_n\cdot\frac{W}{L}\left[(V_{GS} - V_t)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}\right]}$$

c) Transcondutância

$$\boldsymbol{g_m = k'_n\cdot\frac{W}{L}(V_{GS} - V_t)}$$

d) Resistência de saída

$$\boldsymbol{r_0 = \frac{|V_A|}{I_D} = \frac{1}{\lambda I_D}}$$

Sabendo-se que $R_{D1} = R_{D2} = 5k\Omega$, $I = 1mA$, os transistores T_1 e T_2 são idênticos com $\lambda = 0$, $V_t = 1V$, $k'_n = 0,2mA/V^2$ e $W/L = 20$ e que, também, os transistores T_3 e T_4 são idênticos com $\lambda = 0$, $V_t = 1V$, $k'_n = 0,1mA/V^2$ e $W/L = 20$, pede-se:

a) ***[0,5]*** *Supondo o par diferencial equilibrado, na ausência de sinal nas portas de* T_1 *e* T_2 *(*$V = 0$ *e* $v_d = 0$*) determine* I_{D1}, I_{D2}, V_S, V_{D1} *e* V_{D2}.

Com o par diferencial em equilíbrio $\rightarrow$ $I_{D1} = I_{D2} = I/2 = 0{,}5mA$ ***(0,1)***

\- *Cálculo de* V_{GS} *(*T_1 *e* T_2*):*

$$I_D = \frac{k'_n}{2} \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \quad \rightarrow \quad 0{,}5m = \frac{0{,}2m}{2} \cdot 20 \cdot (V_{GS} - 1)^2$$

$$(V_{GS} - 1)^2 = 0{,}25 \quad \rightarrow \quad V_{GS} - 1 = \pm 0{,}5 \quad \rightarrow \quad V_{GS} = 1{,}5 = V_{GS1} = V_{GS2}$$

\- *Cálculo de* V_S*:*

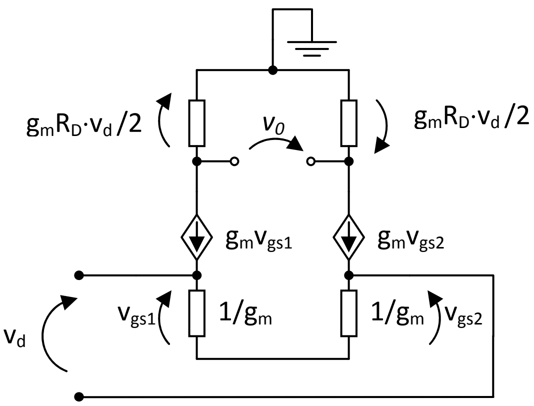
$$V_S = -V_{GS} = -1{,}5V \quad (\mathbf{0{,}2})$$

\- *Cálculo de* V_{D1} *e* V_{D2}*:*

$$V_{D1} = V_{D1} = V_D = V_{CC} - R_D I_D = 10 - 5k \cdot 0{,}5m = 7{,}5V \quad (\mathbf{0{,}2})$$

$I_{D1} = 0{,}5mA$	$I_{D2} = 0{,}5mA$	$V_S = -1{,}5V$	$V_{D1} = 7{,}5V$	$V_{D2} = 7{,}5V$

b) ***[1,0]*** *Esboce o circuito equivalente para pequenos sinais e deduza a expressão do ganho de tensão diferencial (* $A_d = v_o / v_d$ *).*



$$g_m = k'_n \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) = 0{,}2m \cdot 20(1{,}5 - 1)$$

$$g_m = 2mS \quad \rightarrow \quad {}^{1}/_{g_m} = 500\Omega$$

$$v_{gs1} = {}^{v_d}/_{2} \quad , \; v_{gs2} = -{}^{v_d}/_{2}$$

$$v_o = 2 g_m R_D \, {}^{v_d}/_{2} = g_m R_D v_d$$

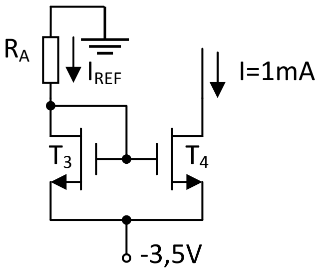
$$A_d = {}^{v_o}/_{v_d} = g_m R_D = 2m \cdot 5k = 10$$

$$\boxed{A_d = 10}$$

c) **[0,5]** *Supondo* $V_{DS3} = V_{DS4} = V_{GS3} = V_{GS4}$ *determine os valores de* I_{REF} *e* R_A.

Considerando o transistor T_4 *,*

$$I_{D4} = I = \frac{k_n'}{2} \cdot \frac{W}{L} (V_{GS4} - V_t)^2 \;=\; 1m \;=\; \frac{0{,}1m}{2} \cdot 20 \cdot (V_{GS4} - 1)^2 \;\;\rightarrow\;\; 1 = (V_{GS4} - 1)^2$$



$$V_{GS3} = V_{GS4} = 2V$$

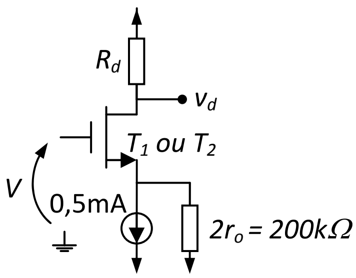
$$I_{REF} = I = 1mA \quad (V_{GS3} = V_{GS4} = V_{GS3} = V_{GS4}) \;\; \textbf{[0,1]}$$

$$R_A = \frac{[0 - (-3{,}5)] - 2}{1m} = 1{,}5k\Omega \qquad [\mathbf{0,4}]$$

I_{REF} *=1mA*	R_A *=1,5kΩ*

d) **[1,0]** *Supondo que apenas os transistores* T_3 *e* T_4 *apresentem* $\lambda = 0{,}01$*, determine o ganho de modo comum (*$A_c = v_o/V$*) e a taxa de rejeição de modo comum CMRR(3dB)=20.log (*$|A_d|/|A_c|$*) sabendo-se que os resistores* R_{D1} *e* R_{D2} *apresentam uma diferença entre si de 4,01%.*

Meio circuito de modo comum

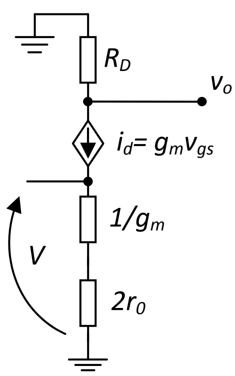


$$r_o = \frac{1}{\lambda \cdot I_D} = \frac{1}{0{,}01 \cdot 1m} = 100k\Omega$$

$$g_m = k_n' \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) = 0{,}2m \cdot 20(1{,}5 - 1)$$

$$g_m \;=\; 2mS \quad \rightarrow \quad {}^{1}\!/_{g_m} \;=\; 500\Omega$$

Substituindo o transistor pelo seu modelo T e calculando o ganho em modo comum;



$$v_d = -R_D \cdot I_d = -R_D \cdot \frac{V}{{}^{1}\!/_{g_m} + 2r_o}$$

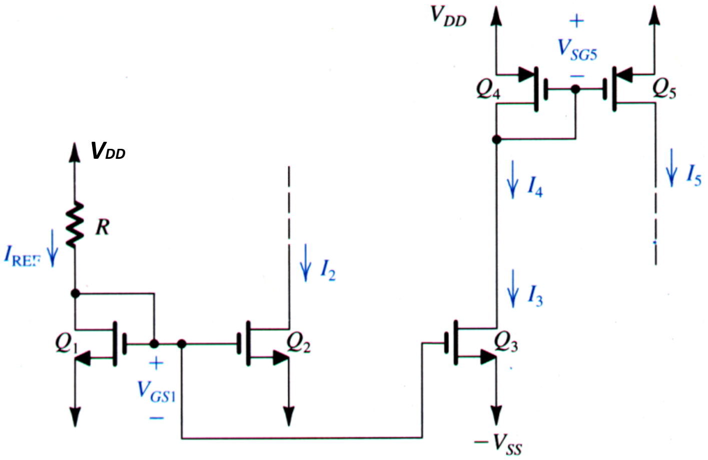
$$\frac{v_d}{V} = -R_D \cdot \frac{1}{{}^{1}\!/_{g_m} + 2r_o}$$

$$|A_c| = \frac{|v_{d2} - v_{d1}|}{V} \;=\; \frac{\Delta R_D}{{}^{1}\!/_{g_m} + 2r_o} = \frac{0{,}0401 \times 5k}{0{,}5k + 200k} = {}^{1}\!/_{1000}$$

$$CMRR(dB) = 20log\frac{|A_d|}{|A_c|} = 20log\frac{10}{1/1000} = 20log10^4 = 80dB$$

$/A_c/ = 1/1000$	$CMRR = 80dB$

5) ***(2ª. prova de 2009)*** *Dado o circuito e equações de corrente abaixo onde* $V_{tn} = |V_{tp}| = 1V$, $k'_n =$ [redacted] $k'_P = 40\mu A/V^2$, $L(p/todos) = 5\mu m$, $W_1 = 100\mu m$, $V_{DD} = 2V$, $-V_{SS} = -2V$, $\lambda = 0$ *e* $V_{GS1} = 2V$.



Equações de Corrente:

a) Saturação (λ = 0)

$$I_D = \frac{k'}{2}.\frac{W}{L}(V_{GS} - V_t)^2$$

b) Triodo

$$I_D = k'\frac{W}{L}[(V_{GS} - V_t).V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}]$$

a) ***[1,0]*** *Supondo $I_{REF} = 400\ \mu A$ determine W_2 para que I_2 seja igual a 0,8mA. Determine também o valor mínimo de V_{D2}.*

para $\lambda = 0$ tem-se:

$$\frac{W_2}{L_2}\Big/\frac{W_1}{L_1} = I_2/I_{REF} \rightarrow \frac{W_2}{5}\Big/\frac{100}{5} = 0{,}8/0{,}4 \rightarrow W_2 = 200\mu m$$

para determinar V_{D2min} deve-se ter: $V_{DS2} = V_{GS2} - V_t$ onde $V_{GS2} = V_{GS1} = 2V$

daí, $V_{DS2} = 1V$. Como $V_{D2min} = V_{DS2} + V_{S2}$ e $V_{S2} = -V_{SS} = -2V$ então $V_{D2min} = -1V$

$W_2 = 200\mu m$	$V_{D2min} = -1V$

b) **[1,0]** *Supondo* $I_{REF} = 400\ \mu m$ *e* $I_3 = 1{,}6mA$, *determine* $W_3 = W_4$ *e* W_5 *para* $I_5 = 2I_3$. *Determine também o valor máximo de* V_{D5}.

com $\lambda = 0$ *e* $V_{GS3} = V_{GS1} = 2V$, *então:*

$$\frac{W_3}{L_3}\bigg/\frac{W_1}{L_1} = I_3/I_{REF} \;\rightarrow\; \frac{W_3}{5}\bigg/\frac{100}{5} = 1{,}6/0{,}4 \;\rightarrow\; W_3 = 400\mu m$$

$I_4 = I_3 = 1{,}6mA$ *e* $W_3 = W_4 = 400\ \mu m$

$$\frac{W_5}{L_5}\bigg/\frac{W_4}{L_4} = 2 \;\rightarrow\; \frac{W_5}{5}\bigg/\frac{400}{5} = 2 \;\rightarrow\; W_5 = 800\mu m$$

para se determinar V_{GS4}, *deve-se utilizar a equação da corrente como segue:*

$$1{,}6m = \frac{10\mu}{2}\cdot\frac{400}{5}(|V_{GS4}| - |V_t|)^2 \;\rightarrow\; (|V_{GS4}| - |V_t|)^2 = 4$$

resolvendo-se por inspeção com $|V_t| = 1$ *resulta* $|V_{GS4}| = 3V$ *e* $|V_{GS5}| = 3V$

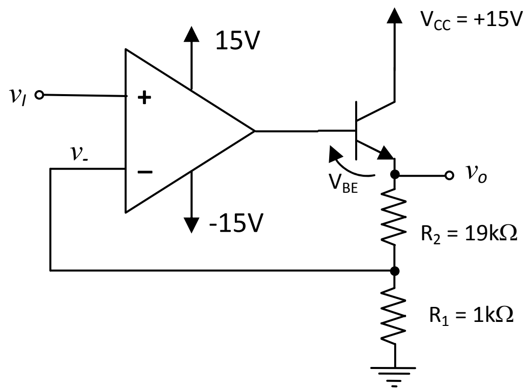
para se determinar $V_{D5máx}$ *deve-se ter:* $|V_{DS5}| = |V_{GS5}| - |V_t|$ *ou,*

$V_{S5} - V_{D5máx} = 3 - 1 = 2$. *Como* $V_{S5} = V_{SS} = 2V$, *então* $V_{D5máx} = 0V$.

$W_3 = W_4 = 400\mu m$
$W_5 = 800\mu m$
$V_{D5máx} = 0V$

6) (2ª. prova 2011) [2,5 pontos] Dado o circuito abaixo e sabendo-se que:

o transistor bipolar NPN opera no modo ativo com V_{BE} = 0,7V, o amplificador operacional apresenta resistência de entrada infinita e o sinal de entrada v_I é sempre positivo,



*a) **[1,5]** Determine o ganho* $A = \frac{v_O}{v_I}$

$$v_- = v_I \quad \rightarrow \quad i_{R_1} = \frac{v_I}{R_1} \quad \text{então} \;\; v_O = (R_1 + R_2) \cdot \frac{v_I}{R_1}$$

$$portanto \;\; A = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} = 20$$

$$\boxed{A = 20 \text{ V/V}}$$

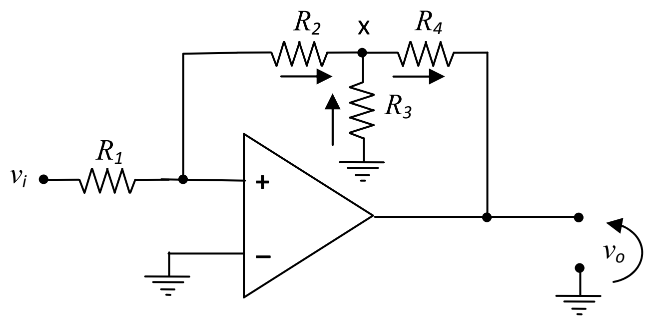
b) [1,0] Considerando-se que a tensão de saída nominal do amplificador operacional seja de ±15V, determine o valor máximo da tensão de saída (v_{Omax}) e qual o valor de v_I quando este é alcançado?

$$v_{Omax} = v_{SAT} - V_{BE} = 15 - 0{,}7 = 14{,}3V$$

para $v_O = v_{Omax}$ tem-se que $v_I = v_{Omax}/A$ = 14,3/20 = 0,715V

$$\boxed{v_{Omax} = 14{,}3V} \quad \boxed{v_I = 0{,}715V}$$

7) ***(2ª. Prova 2011) [2,5 pontos]*** *Dado o circuito abaixo com o amplificador operacional ideal:*



a) ***[1,5]*** *Determine a expressão* $v_o = f(v_i)$.

$$v_x = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_i \quad e \quad i_{R_4} = i_{R_2} + i_{R_3} = \frac{v_i}{R_1} - \frac{v_x}{R_3}$$

$$v_o = v_x - v_{R_4} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_i - \left(\frac{v_i}{R_1} - \frac{v_x}{R_3}\right).R_4 = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_i - (\frac{1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1\cdot R_3})R_4\,.v_i$$

$$v_o = -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} + \frac{R_2\cdot R_4}{R_1\cdot R_3}\right).v_i$$

b) ***[1,0]*** *Determine R_1 e R_3 para que o circuito tenha uma resistência de entrada de 50 kΩ e um ganho de tensão de -104V/V. Sabe-se que R_2 e R_4 = 100 kΩ.*

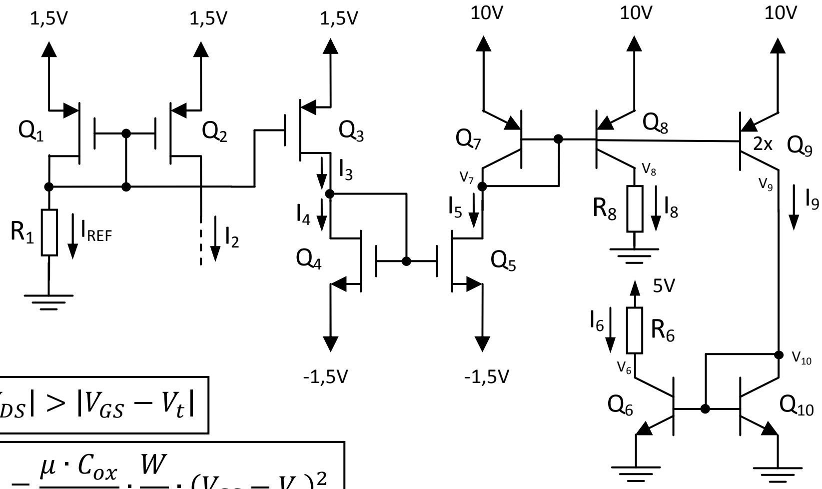
$$R_i = 50k\Omega \quad então \quad R_1 = R_i = 50k\Omega$$

$$-\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} + \frac{R_2\cdot R_4}{R_1\cdot R_3}\right) = -104 = -\left(\frac{100k}{50k} + \frac{100k}{50k} + \frac{100k\cdot 100k}{50k\cdot R_3}\right)$$

$$\frac{100k\cdot 100k}{50k\cdot R_3} = 104 - 2 - 2 \quad \rightarrow \quad R_3 = 2k\Omega$$

$\boxed{R_1 = 50k\Omega}$ $\boxed{R_3 = 2k\Omega}$

8) (2ª. prova 2011) [2,5 pontos] *A figura abaixo representa um circuito guia de corrente com tecnologia BICMOS (Bipolar-CMOS). Para os TMOS tem-se:* $V_{GS4}=V_{SG3}$, $\mu_n.C_{ox}= 200\mu A/V^2$, $\mu_p.C_{ox}= 80\mu A/V^2$, $V_{tn} = - V_{tp} = 0,6V$ *e* $L_n = L_p = 0,8\ \mu m$. *Para os TBJs adote* $V_{BEN} = V_{EBP} = 0,7V$ *e* $\beta = \infty$. *Sabe-se também que* $R_1 = 35k\Omega$.



$$\boxed{|V_{DS}| > |V_{GS} - V_t|}$$

$$\boxed{I_D = \frac{\mu \cdot C_{ox}}{2} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)^2}$$

a) **[1,5]** *Projete o circuito calculando as larguras dos canais dos transistores MOS (W) considerando que* $I_{REF} = 20\mu A$, $I_2 = 100\mu A$, $I_3 = I_4 = 20\mu A$ *e* $I_5 = 500\mu A$. *Considere ainda que* $R_6 = 1k\Omega$ *e* $R_8 = 2k\Omega$.

$$Com\ R_1 = 35k\Omega \ \rightarrow \ V_{D1} = R_1 \cdot I_{REF} = 35k.20\mu = 0,7V$$

$$V_{DS1} = V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS3} = 0,7 - 1,5 = -0,8V$$

$$I_{D1} = I_{REF} = 20\mu A = \frac{80}{2} \cdot \frac{W_1}{0,8} \cdot (-0,8 - (-0,6))^2 \ \rightarrow \ W_1 = 10\mu m$$

$$\frac{I_2}{I_{REF}} = \frac{W_2}{W_1} \ \rightarrow \ W_2 = \frac{100\mu}{20\mu} \cdot 10\mu \ \rightarrow \ W_2 = 50\mu m$$

$$\frac{W_3}{W_1} = \frac{I_3}{I_{REF}} \ \rightarrow \ W_3 = \frac{20\mu}{20\mu} \cdot 10\mu \ \rightarrow \ W_3 = 10\mu m$$

$$\frac{W_4}{W_3} = \frac{\mu_P}{\mu_N} \ \rightarrow \ W_4 = \frac{80\mu}{200\mu} \cdot 10\mu \ \rightarrow \ W_4 = 4\mu m$$

$$da\ relação: \ \frac{I_5}{I_4} = \frac{W_5/L_5}{W_4/L_4} = \frac{W_5}{W_4} \ \rightarrow \ W_5 = \frac{500\mu}{20\mu} \cdot 4\mu \ \rightarrow \ W_5 = 100\mu m$$

W_1 = 10µm	W_2 = 50µm	W_3 = 10µm	W_4 = 4µm	W_5 = 100µm

b) **[1,0]** *Considerando as correntes do item* a *acima determine as correntes e tensões em cada um dos coletores dos TBJs.*

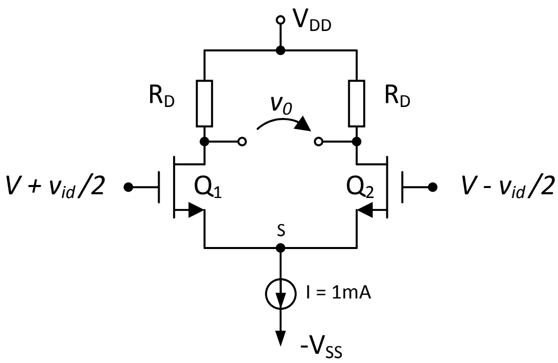
A corrente de coletor de Q_7, $I_7 = I_5 = 500\mu A$; $I_8 = I_5 = 500\mu A$; $I_9 = 2\, I_8$ *pois a* $A_{jeQ9} = 2\, A_{jeQ8}$ *e daí* $I_9 = 1mA$. $I_{10} = I_9 = 1mA$ *e finalmente com o mesmo* V_{BE}, $I_6 = I_{10} = 1mA$.

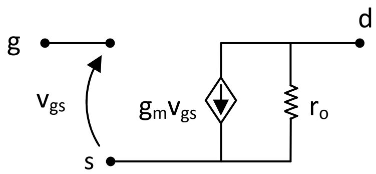
A tensão no coletor de Q_7, $V_7 = V_{CC1} - V_{EB} = 10 - 0{,}7 = 9{,}3V$;
$V_8 = I_8.R_2 = 500\mu 2k = 1V$; $V_9 = V_{10} = 0 + V_{BE} = 0{,}7V$ *e*
$V_6 = V_{CC2} - R_6.I_6 = 5 - 1k.1m = 4V$.

$I_6 = 1mA$	$I_7 = 0{,}5mA$	$I_8 = 0{,}5mA$	$I_9 = 1\ mA$	$I_{10} = 1mA$

$V_6 = 4V$	$V_7 = 9{,}3V$	$V_8 = 1V$	$V_9 = 0{,}7V$	$V_{10} = 0{,}7V$

9) (2ª. Prova 2011) [2,5 pontos] *Dado o amplificador diferencial abaixo juntamente com o modelo para pequenos sinais:*





Dados:

$|V_A| = 20V$

$K_n' = 100\ \mu A/V^2$

$V_t = 1V$

$W / L = 10$

$V_{DD} = 10V$

Expressões:

$$g_m = K_n' \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_t)$$

$$I_D = \frac{k_n'(W/L)}{2} (V_{GS} - V_t)^2 \quad p/\ V_{DS} > V_{GS} - V_t$$

$$r_0 = \frac{V_A}{I_D}$$

a) ***[0,5]*** *Determine o valor de* g_m.

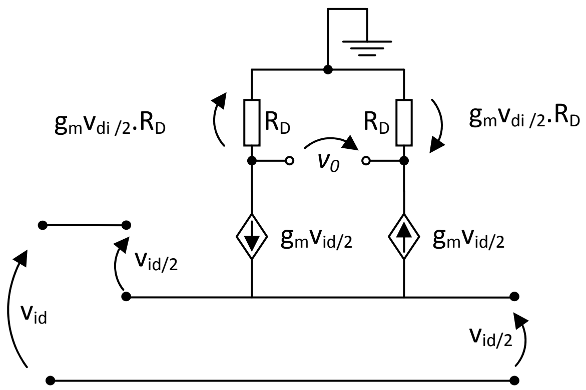
$$I_D = \frac{k'_n(W/L)}{2}\cdot(V_{GS}-V_t)^2 \;\rightarrow\; 500\mu = \frac{100\mu(10)}{2}\cdot(V_{GS}-1)^2$$

$$(V_{GS}-1)^2 = 1 \;\rightarrow\; V_{GS} = 2V \;\; e \;\; V_{GS} = 0V \; (sem\ sentido\ físico)$$

$$g_m = k'_n(W/L)(V_{GS}-V_t) = 100\mu(10)(2-1) = 1\,mA/V$$

$$\boxed{g_m = 1mA/V}$$

b) ***[1,0]*** *Considerando-se* $r_o = \infty$*, determine o valor de* R_D *para obter-se um ganho diferencial (* $A_d = v_o/v_{id}$ *) igual a 10V/V.*



Neste caso: $A_d = g_m R_D = 1m.R_D = 10 \;\rightarrow\; R_D = 10\,k\Omega$

$$\boxed{R_D = 10\,k\Omega}$$

c) ***[1,0]*** *Considerando-se* r_o *finito e baseando-se nos valores e expressões fornecidas no enunciado, determine o valor de* R_D *para obter-se um ganho diferencial* $A_d = 10V/V$.

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{20}{0{,}5m} = 40k\Omega$$

Nesta situação o ganho diferencial será:

$$A_d = g_m(R_D//r_o) \;\rightarrow\; 10 = 1m(R_D//40k) \;\rightarrow\; 10k = \frac{R_D\cdot 40k}{R_D+40k}$$

$$\boxed{R_D = 13{,}33k\Omega}$$