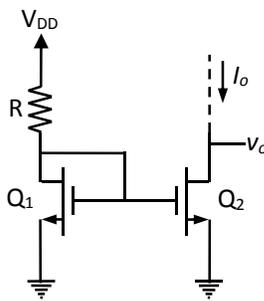


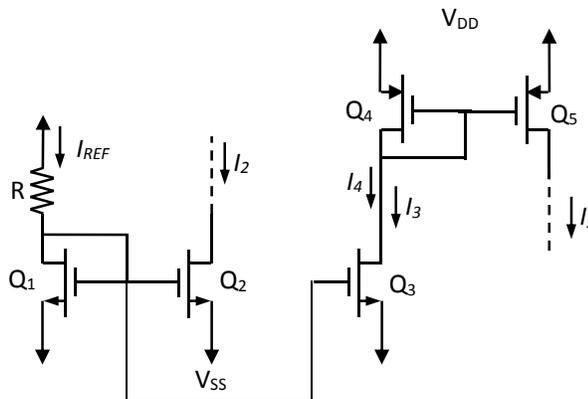
Assunto : Espelhos de corrente e amplificadores diferenciais com MOSFETs

Exercício 1 – Para a fonte de corrente projetada em aula do Exemplo 6.4 (Livro do Sedra, pg 354), onde $V_{DD} = 3V$, $I_{REF} = 100\mu A$, $L_1 = L_2 = 1\mu m$, $W_1 = W_2 = 10\mu m$ e $V'_A = 20V/\mu m$ é necessário reduzir a variação da corrente de saída ΔI_O correspondente a uma mudança de tensão $\Delta V_O = 1V$ para 1% de I_O . Qual deve ser a dimensão para as quais Q_1 e Q_2 devem ser mudados? Considere que os transistores devem permanecer casados.



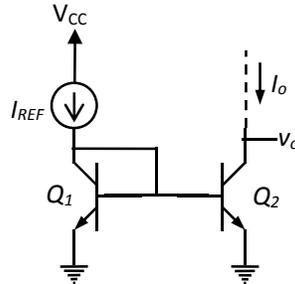
Respostas: $L = 5\mu m$ e $W = 50\mu m$

Exercício 2 – Para o circuito guia de corrente abaixo, seja $V_{DD} = V_{SS} = 1,5V$, $V_{tn} = 0,6V$, $V_{tp} = -0,6V$, todos os comprimentos de canais iguais a $1\mu m$, $k'_n = 200\mu A/V^2$, $k'_p = 80\mu A/V^2$ e $\lambda = 0$. Para $I_{REF} = 10\mu A$, obtenha a largura de todos os transistores tais que $I_2 = 60\mu A$, $I_3 = 20\mu A$ e $I_5 = 80\mu A$. Se V_{DS} de Q_2 ou V_{SD} de Q_3 forem iguais ou menores que $0,2V$ (aproximadamente neste caso) o respectivo transistor sai da região de saturação (por exemplo se V_D de $Q_2 = -1,4V$ ou V_D de $Q_3 = 1,4V$ esses transistores estarão na região triodo).



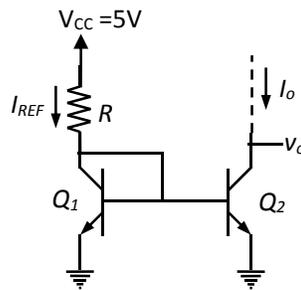
Respostas: $W_1 = 2,5\mu m$; $W_2 = 15\mu m$; $W_3 = 5\mu m$; $W_4 = 12,5\mu m$; $W_5 = 50\mu m$;

Exercício 3 – Considere o circuito do espelho de corrente com TBJ mostrado abaixo com uma razão de transferência de corrente nominal unitária. Se os transistores possuírem $I_S = 10^{-15}A$, $\beta = 100$ e $V_A = 100V$ e impusermos $I_{REF} = 1mA$, encontre I_O quando $V_O = 5V$. Além disso, determine a resistência de saída.



Respostas: $I_O = 1,02mA$; $r_o = 100k\Omega$.

Exercício 4 – Considerando a disponibilidade de TBJs com fator de escala de corrente $I_S = 10^{-15}A$, $\beta = 100$ e $V_A = 50V$, projete o circuito da fonte de corrente abaixo para prover uma corrente de saída $I_O = 0,5mA$ quando $V_O = 2V$. Calcule os valores de I_{REF} , R , e V_{Omin} . Determine também o valor de I_O para $V_O = 5V$.

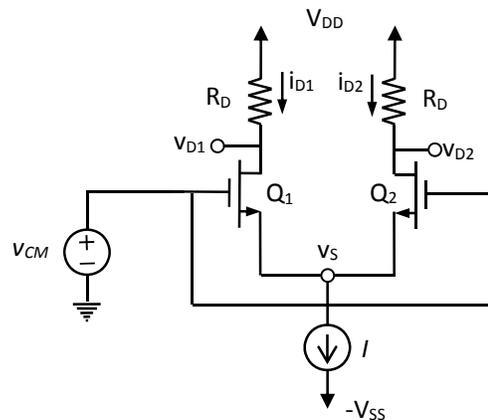


Respostas: $I_{REF} = 0,497mA$; $R = 8,71k\Omega$; $V_{Omin} = 0,2V$ e $I_O = 0,529mA$

Exercício 5 – Para o par diferencial MOS com uma tensão de modo comum V_{CM} aplicada, conforme mostrado na figura abaixo, considere os seguintes valores para o

circuito: $R_D = 2,5k\Omega$, $V_{DD} = V_{SS} = 1,5V$, $I = 0,4mA$ $k'_n(W/L) = 4mA/V^2$, $V_t = 0,5V$. Desprezando-se a modulação do comprimento do canal, calcule:

- V_{OV} e V_{GS} para cada transistor ($V_{OV} = V_{GS} - V_t$)
- v_s , i_{D1} , i_{D2} , v_{D1} e v_{D2} , para $v_{CM} = 0V$
- Repetir b para $v_{CM} = +1V$
- Repetir b para $v_{CM} = -0,2V$
- Qual é o maior valor de v_{CM} para que Q_1 e Q_2 ainda estejam na saturação?
- Caso a fonte de corrente I necessite de uma tensão mínima de $0,4V$ para operar adequadamente, qual será o menor valor permitido para v_s e consequentemente para v_{CM} ?



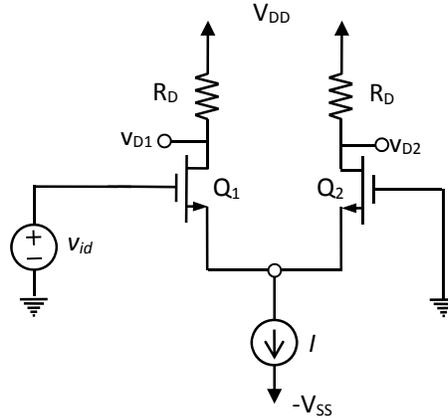
- Respostas:
- $V_{OV} = 0,316V$; $V_{GS} = 0,816V$
 - $v_s = -0,816V$; $i_{D1} = i_{D2} = 0,2mA$; $v_{D1} = v_{D2} = 1,0V$
 - $v_s = 0,184V$; $i_{D1} = i_{D2} = 0,2mA$; $v_{D1} = v_{D2} = 1,0V$
 - $v_s = -1,016V$; $i_{D1} = i_{D2} = 0,2mA$; $v_{D1} = v_{D2} = 1,0V$
 - $v_{CMmax} = 1,5V$
 - $v_{Smin} = -1,1V$; $v_{CMmin} = -0,284V$

Exercício 6 – Para o par diferencial MOS esboçado logo abaixo, determine:

- O menor valor positivo de v_{id} que permita que Q_1 conduza toda a corrente I e os respectivos valores de v_{D1} e v_{D2} ,
- O menor valor negativo de v_{id} que permita que Q_2 conduza toda a corrente I e os respectivos valores de v_{D1} e v_{D2} ,
- O intervalo correspondente da tensão de saída diferencial ($v_{D2} - v_{D1}$) referente aos itens anteriores.

Obs: Os valores especificados para o circuito são como a seguir:

$$R_D = 2,5k\Omega, V_{DD} = V_{SS} = 1,5V, I = 0,4mA \quad k'_n(W/L) = 4mA/V^2, V_t = 0,5V.$$



- Respostas: :
- $v_{id} = 0,445V; v_{D1} = 0,5V; v_{D2} = 1,5V$
 - $v_{id} = -0,445V; v_{D1} = 1,5V; v_{D2} = 0,5V$
 - $-1V \leq v_{D2} - v_{D1} \leq 1V$

Exercício 7 – Um par diferencial com a configuração idêntica àquele do exercício anterior está operando com uma corrente de $0,4mA$. Se $k_n = \mu_n C_{ox} = 0,2 \frac{mA}{V^2}$ encontre os valores de W/L e g_m supondo os MOSFETs operando com $V_{OV} = 0,2, 0,3$ e $0,4V$. Para cada valor de V_{OV} , obtenha o máximo valor de $|v_{id}|$ para o qual o termo $\left(\frac{v_{id}}{2}/V_{OV}\right)^2$ seja limitado ao valor $0,1$ (requisito para uma boa amplificação linear).

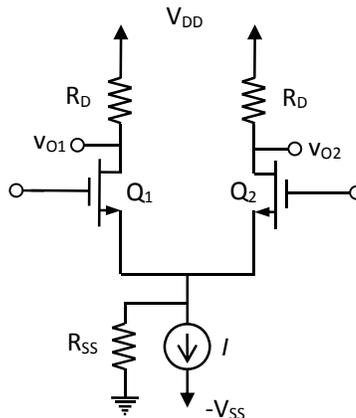
Respostas:	V_{OV} (V)	0,2	0,3	0,4
	W/L	50	22,2	12,5
	g_m (mA/V)	2	1,33	1
	$ v_{id} _{\max}$ (mV)	126	190	253

Exercício 8 – Um par diferencial MOS está operando com uma corrente total de 0,8mA, utilizando transistores com razão W/L de 100, $\mu_n C_{ox} = \frac{0,2mA}{V^2}$, $V_A = 50V$ e $R_D = 5k\Omega$ determine V_{OV} , g_m , r_o e A_d .

Respostas: $V_{OV} = 0,2V$; $g_m = 4mA/V$ $r_o = 50k\Omega$; $A_d = 18,2V/V$

Exercício 9 – O circuito do par diferencial abaixo operando com uma corrente de polarização de 0,8mA emprega transistores com $W/L = 100$ e $\mu_n C_{ox} = 0,2mA/V^2$, utilizando $R_D = 5k\Omega$ e $R_{SS} = 25k\Omega$.

- Encontre o ganho diferencial, o ganho de modo comum e a razão de rejeição em modo comum (em dB) caso a saída seja tomada entre dreno único e terra e com o circuito perfeitamente casado.
- Repita o item a quando a saída é tomada diferencialmente.
- Repita o item b quando a saída é tomada diferencialmente, supondo as resistências de dreno com 1% de descasamento.



Respostas: (a) 10V/V; 0,1V/V; 40dB

(b) 20V/V; 0V/V ; ∞ dB

(c) 20V/V; 0,001V/V; 86dB

Exercício 10 – Para o amplificador especificado no exercício 9 com a saída tomada diferencialmente, calcule a CMRR que resulta de 1% de descasamento em g_m .

Respostas: 86 dB