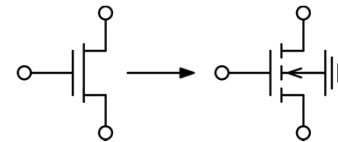


Espelho de Corrente Simples

Os espelhos de corrente são estruturas de fundamental importância nos circuitos CMOS. Com eles é possível fazer cópias precisas de correntes, distribuindo a polarização pelos circuitos, sem a necessidade do uso de resistores. Entretanto alguns cuidados devem ser tomados no projeto dos espelhos, para garantir boa precisão.

Espelho Simples



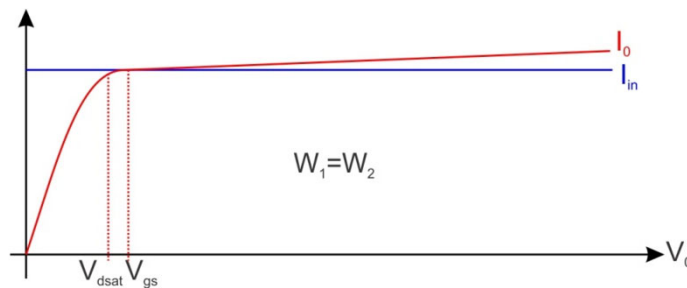
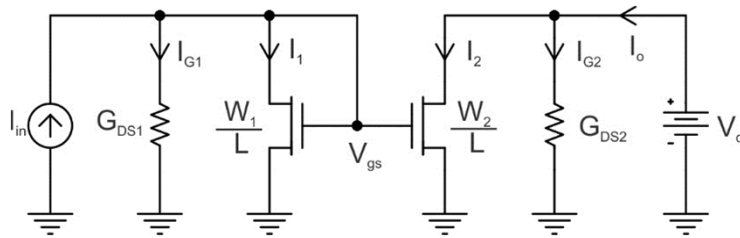
$$I_{in} = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_1}{L} (V_{gs} - V_T)^2 \rightarrow (V_{gs} - V_T)^2 = \frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_1} I_{in}$$

$$I_0 = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_2}{L} (V_{gs} - V_T)^2 \rightarrow I_0 = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_2}{L} \frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_1} I_{in} \rightarrow \boxed{\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{W_2}{W_1}}$$

Se os transistores forem ideais, a corrente entre dreno e source é controlada exclusivamente pela tensão V_{gs} , que é igual aos dois transistores. Consequentemente, a relação entre as corrente nos transistores é igual à razão W_2/W_1 , para o caso de ambos terem o mesmo comprimento de canal.

Descasamento do Espelho Simples Devido à Impedância de Saída Finita

Os transistores NMOS apresentam o efeito de modulação de canal, o que lhes confere uma resistência entre dreno e source finita. Isto torna parte da corrente de saída dependente da tensão de dreno, provocando descasamento determinístico.



O descasamento é igual a zero quando V_o é igual a V_{gs} .

$$I_{in} \gg I_{G1} \rightarrow I_1 \cong I_{in}$$

$$I_2 = \frac{W_2}{W_1} I_{in}$$

$$I_0 = \frac{W_2}{W_1} I_{in} + G_{DS2} (V_o - V_{gs})$$

$$I_0 = \frac{W_2}{W_1} I_{in} + \lambda \frac{W_2}{W_1} I_{in} (V_o - V_{gs})$$

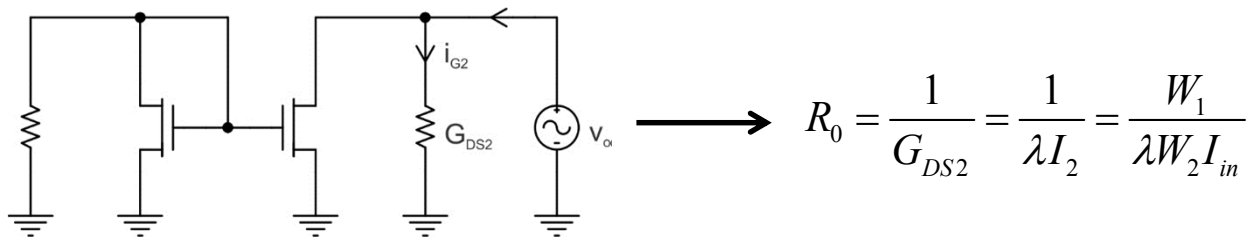
$$I_{0q} = \frac{W_2}{W_1} I_{in}$$

Descasamento \rightarrow

$$\frac{\Delta I_0}{I_{0q}} = \lambda (V_o - V_{gs})$$

Impedância de Saída do Espelho de Corrente Simples

A impedância de saída é definida pelo efeito de modulação de canal, e cresce com o aumento de L . O espelho de corrente simples possui impedância de saída baixa, o que compromete sua aplicação como carga ativa em amplificadores diferenciais.



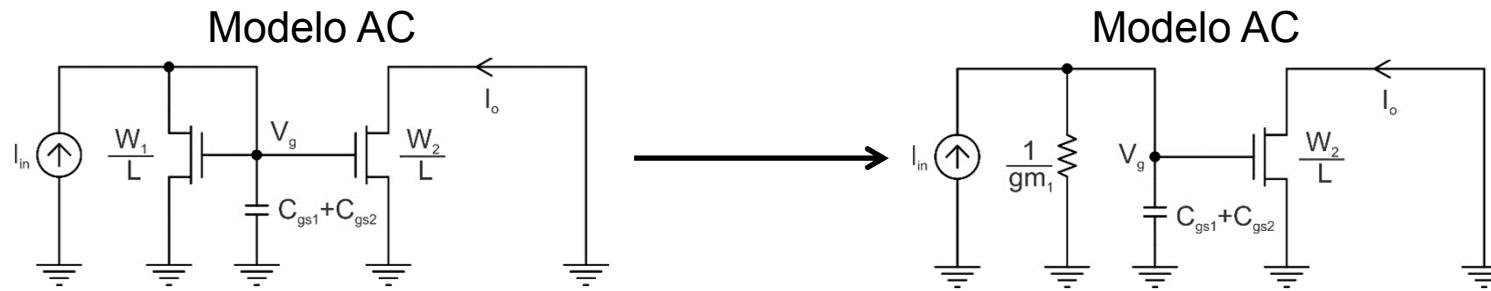
Excursão de Sinal de Saída

A tensão mínima que pode ser aplicada à saída do espelho de corrente, sem que haja redução drástica da corrente e da impedância de saída, é V_{sat} .

$$V_{0min} = V_{sat} = \frac{V_{gs} - V_T}{\alpha} = \sqrt{\frac{2LI_{in}}{\alpha k_p W_1}}$$

Resposta em Frequência

Vamos definir a resposta em frequência como sendo a relação entre a corrente de saída e a entrada, com a saída em curto. A resposta em frequência é predominantemente dependente das capacitâncias C_{gs} dos transistores.



$$gm_1 = \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{inq}}{\alpha L}} \longrightarrow gm_2 = \frac{W_2}{W_1} \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{inq}}{\alpha L}} = \frac{W_2}{W_1} gm_1$$

$$C_{gs1} + C_{gs2} = \frac{2}{3}(W_1 + W_2)LC_{ox}$$

$$V_g = \frac{I_{in}}{s(C_{gs1} + C_{gs2}) + gm_1} \longrightarrow I_o = \frac{gm_2 I_{in}}{s(C_{gs1} + C_{gs2}) + gm_1} \longrightarrow \frac{I_o}{I_{in}} = \frac{\frac{gm_2}{gm_1}}{s \frac{(C_{gs1} + C_{gs2})}{gm_1} + 1}$$

$$\frac{I_o}{I_{in}} = \frac{\frac{W_2/W_1}{s \frac{(C_{gs1} + C_{gs2})}{gm_1} + 1}}{\frac{W_2/W_1}{s \frac{2(W_1 + W_2)LC_{ox}}{3 \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{inq}}{\alpha L}} + 1}}}$$

Frequência de Corte

A frequência de corte é medida no ponto onde o ganho da função de transferência I_0/I_{in} cai 3dB em relação ao ganho na frequência próxima de zero.

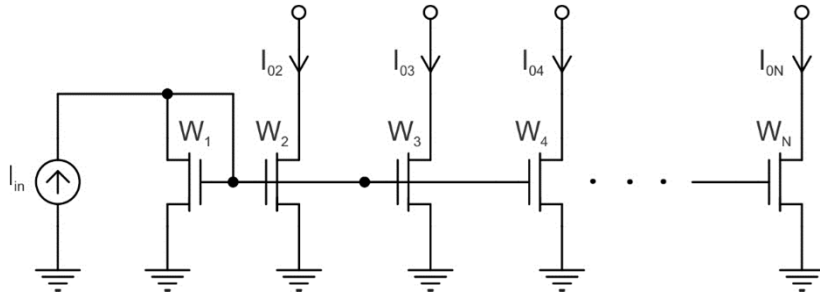
$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{W_2/W_1}{s \frac{2(W_1 + W_2)LC_{ox}}{3} \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{in}}{\alpha L}} + 1} \quad \longrightarrow \quad f_{3dB} = \frac{3 \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{in}}{\alpha L}}}{4\pi(W_1 + W_2)LC_{ox}}$$

Relação Entre a Frequência de Corte e a Excursão de Sinal

$$\begin{aligned} V_{0min} &= \frac{V_{gs} - V_T}{\alpha} = \frac{\Delta V_{gs}}{\alpha} \\ &\downarrow \\ I_{in} &= \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_1}{L} (V_{gs} - V_T)^2 \rightarrow \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_1}{L} \Delta V_{gs}^2 \\ &\downarrow \\ I_{in} &= \frac{\alpha k_p}{2} \frac{W_1}{L} V_{0min}^2 \quad \longrightarrow \quad f_{3dB} = \frac{3 \sqrt{\frac{2k_p W_1 I_{in}}{\alpha L}}}{4\pi(W_1 + W_2)LC_{ox}} \quad \longrightarrow \quad f_{3dB} = \frac{3k_p V_{0min}}{4\pi \left(1 + \frac{W_2}{W_1}\right) L^2 C_{ox}} \end{aligned}$$

Múltiplos Espelhos de Corrente

Uma corrente pode ser espelhada para vários transistores, e com razões de aspecto distintas, formando um sistema de polarização para circuitos.



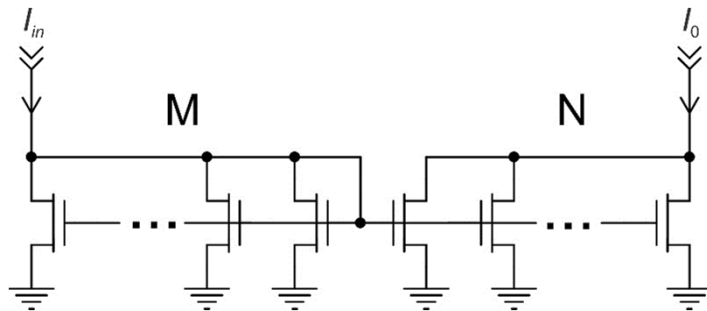
Descasamento da corrente $I_{0k} \longrightarrow \frac{\Delta I_{0k}}{I_{0qk}} = \lambda (V_0 - V_{gs})$

Frequência de corte do sistema $\longrightarrow f_{3dB} = \frac{3k_p V_{0min}}{4\pi \left(1 + \sum_{k=2}^N \frac{W_k}{W_1} \right) L^2 C_{ox}}$

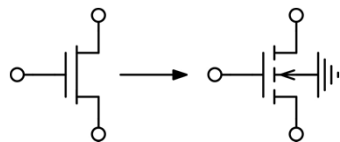
Espelho com Transistores Unitários

A precisão do espelho de corrente, é muito dependente da semelhança geométrica dos MOSFETs. Espelhos de corrente com MOSFETs com as mesmas razões W/L , mas com W e L diferentes, não terão ganho igual a 1, pois a geometria afeta o comportamento do MOSFET de forma mais abrangente do que a considerada no modelo SPICE. Para melhorar a precisão, utilizam-se MOSFETs de mesmo tamanho em paralelo. Uma quantidade M de MOSFETs, com $W=W_1$, e o mesmo L , em paralelo equivalem a um MOSFET de $W=MW_1$.

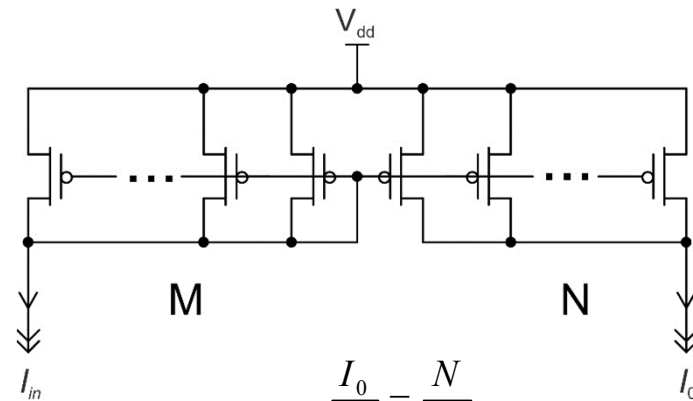
Espelho NMOS



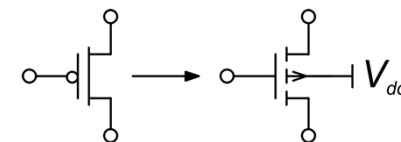
$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{N}{M}$$



Espelho PMOS



$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{N}{M}$$



**Final deste
Tópico**