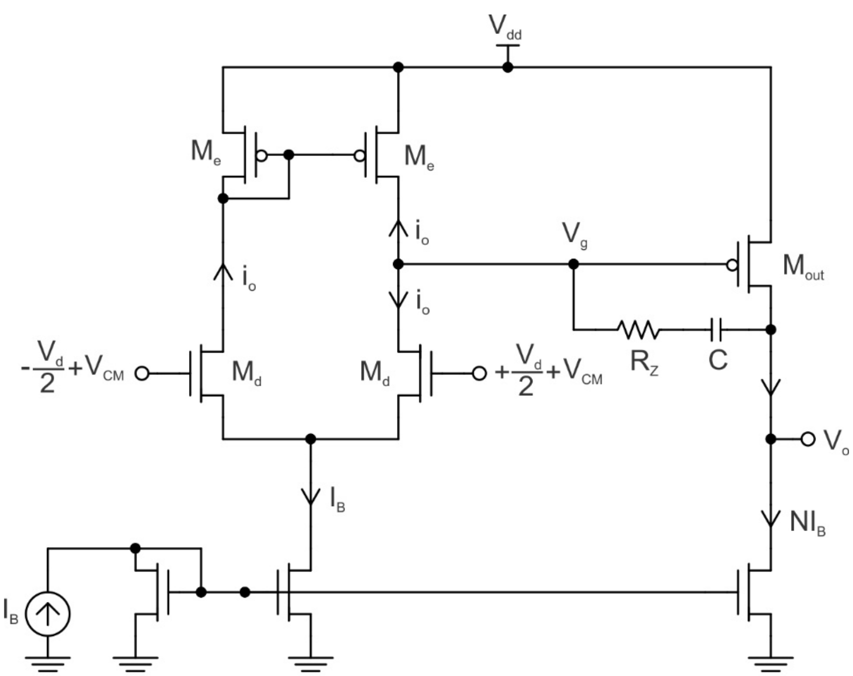
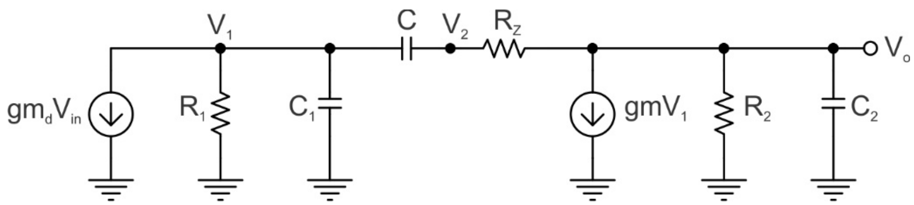
Eliminação do Zero Finito, com Resistor

O zero finito pode ser deslocado para o infinito colocando-se um resistor R_Z em série com o capacitor. Quando a frequência do sinal tende para o infinito, o capacitor de compensação torna-se um curto-circuito. Neste caso, se a corrente no transistor M_{out} for igual à que circula por R_Z, a tensão de saída será zero, o que caracteriza um zero no infinito.



Equações Nodais



$$\left(s(C_1+C)+\frac{1}{R_1}\right)V_1 - sCV_2 + gm_d V_{in} = 0$$

$$\left(sC+\frac{1}{R_Z}\right)V_2 - sCV_1 - \frac{V_0}{R_Z} = 0$$

$$\left(sC_2+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_Z}\right)V_0 + \frac{A_{V_2}}{R_2}V_1 - \frac{V_2}{R_Z} = 0$$

$$A_{V_1} = gm_d R_1 \gg 1$$

$$A_{V_2} = gmR_2 \gg 1$$

$$A_{V_{DC}} = A_{V_1}A_{V_2} \gg 1$$

Função de Transferência

$$A_V = \frac{V_0}{V_{in}} = -\frac{A_{V_{DC}}\left(sC\left(\frac{1}{gm}-R_Z\right)-1\right)}{ds^3+cs^2+bs+1}$$

O zero pode ser deslocado para o infinito fazendo $R_Z = 1/gm$

$$b = R_2(C_2+C) + R_1(C_1+C) + R_ZC + A_{V_2}R_1C$$

$$c = R_1R_2(C_1C_2+CC_1+CC_2) + R_ZC(R_1C_1+R_2C_2)$$

$$d = R_1R_2R_ZC_1C_2C$$

$$\begin{cases} C_2 \gg C_1 \\ R_1 \gg R_Z \\ R_2 \gg R_Z \end{cases} \rightarrow \text{Muito distante dos outros polos}$$

Aproximação Para os Polos

$$Z_\infty \rightarrow R_Z = \frac{1}{gm}$$

$$\boxed{P_1 \cong -\frac{1}{R_1CA_{V_2}}}$$

$$\boxed{P_2 \cong -\frac{A_{V_2}}{R_2\left(\frac{C_1C_2}{C}+C_1+C_2\right)}}$$

$$P_3 \cong -\frac{1}{R_ZC_1}$$

Frequência de ganho Unitário com Margem de fase de 45º

No modelo de dois polos, sendo um deles dominante, e com os zeros no infinito, a frequência de ganho unitário pode ser posicionada em P_2, o que fornece uma margem de fase de 45º.

$$A_V(s) = \frac{A_{V_{DC}}}{s^2\left(\frac{1}{P_1P_2}\right) - \left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right)s + 1} \rightarrow A_V(j\omega) = \frac{A_{V_{DC}}}{1 - \omega^2\left(\frac{1}{P_1P_2}\right) - j\omega\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right)}$$

$$\left|A_V\left(j\left|P_2\right|\right)\right|^2 = \frac{A_{V_{DC}}^2}{\left|1 - P_2^2\left(\frac{1}{P_1P_2}\right) - j\left|P_2\right|\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right)\right|^2} = 1 \rightarrow \left|1 - P_2^2\left(\frac{1}{P_1P_2}\right) - j\left|P_2\right|\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right)\right|^2 = A_{V_{DC}}^2$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\sqrt{\frac{A_{V_{DC}}^2}{2} - 1}} \longrightarrow A_{V_{DC}} \gg 1 \longrightarrow \boxed{P_1 \cong \frac{\sqrt{2}}{A_{V_{DC}}} P_2}$$

Compensação do Circuito

$$P_2 \cong -\frac{A_{V_2}}{R_2\left(\frac{C_1C_2}{C}+C_1+C_2\right)}$$

$$P_1 \cong -\frac{1}{R_1CA_{V_2}} \longrightarrow P_1 \cong \frac{\sqrt{2}}{A_{V_{DC}}}P_2 \longrightarrow \frac{1}{R_1CA_{V_2}} = \frac{A_{V_2}}{R_2\left(\frac{C_1C_2}{C}+C_1+C_2\right)}\frac{\sqrt{2}}{A_{V_{DC}}}$$

$$C = \frac{\sqrt{2}\sqrt{A_{V_{DC}}R_2\left(4\sqrt{2}A_{V_2}^2C_1C_2R_1 + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)^2\right)} + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)}{4R_1A_{V_2}^2}$$

$$P_1 = -\frac{2\sqrt{2}A_{V_2}}{\sqrt{2}\sqrt{A_{V_{DC}}R_2\left(4\sqrt{2}A_{V_2}^2C_1C_2R_1 + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)^2\right)} + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)}$$

$$P_2 = -\frac{2A_{V_2}A_{V_{DC}}}{\sqrt{2}\sqrt{A_{V_{DC}}R_2\left(4\sqrt{2}A_{V_2}^2C_1C_2R_1 + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)^2\right)} + A_{V_{DC}}R_2\left(C_1+C_2\right)}$$

Produto Ganho Banda Passante e Frequência de Ganho Unitário

Produto Ganho Banda Passante

$$GBW = \omega_{3dB} A_{V_{DC}} = |P_1| A_{V_{DC}}$$

$$GBW = \frac{2\sqrt{2} A_{V_2} A_{V_{DC}}}{\sqrt{2}\sqrt{A_{V_{DC}} R_2 \left(4\sqrt{2} A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1 + A_{V_{DC}} R_2 \left(C_1 + C_2\right)^2\right)} + A_{V_{DC}} R_2 \left(C_1 + C_2\right)}$$

Frequência de Ganho Unitário

$$\omega_T = |P_2|$$

$$\omega_T = \frac{2 A_{V_2} A_{V_{DC}}}{\sqrt{2}\sqrt{A_{V_{DC}} R_2 \left(4\sqrt{2} A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1 + A_{V_{DC}} R_2 \left(C_1 + C_2\right)^2\right)} + A_{V_{DC}} R_2 \left(C_1 + C_2\right)}$$

Referência Bibliográfica

Analysis and Design of Analog Integrated Circuits - Fifth Edition

Paul R. Gray, Paul J. Hurst, Stephen H. Lewis, Robert G. Meyer

Final deste Tópico