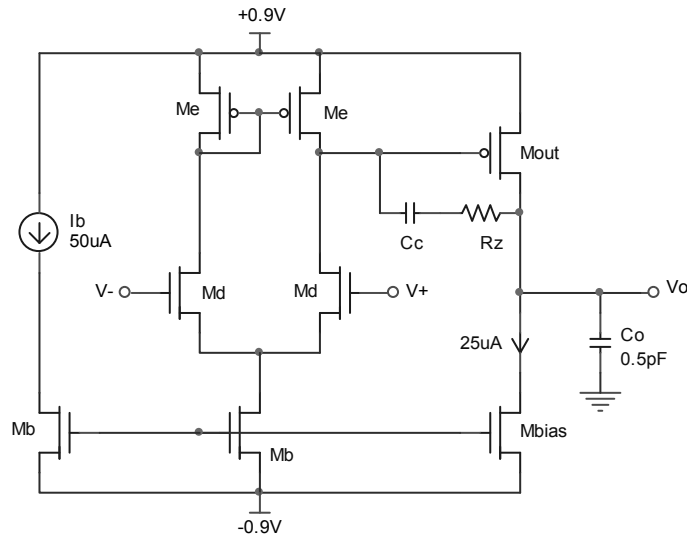


Circuitos Integrados Analógicos – Trabalho 1

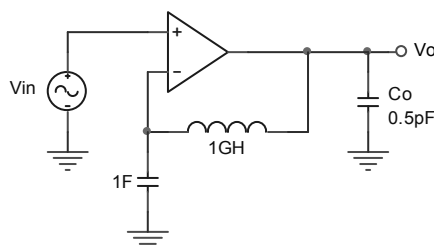
1º) Dimensionar o amplificador operacional a seguir, no processo de integração XFBH018, de forma a atender às seguintes especificações:

- Frequência de ganho unitário maior ou igual a 10 MHz.
- *Slew Rate* maior ou igual a 10 V/ μ s.
- Excursão de sinal de saída maior ou igual a ± 300 mV.
- Ganho DC maior ou igual a 2000 V/V

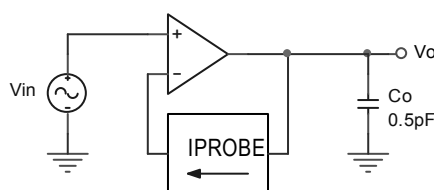


2º) Através de simulações no domínio da frequência no Cadence, determinar os seguintes parâmetros:

- Ganho DC.
- Frequência de ganho unitário, em Hz, f_T .
- Produto ganho banda passante, em Hz, GBW.
- Margem de fase, em graus.



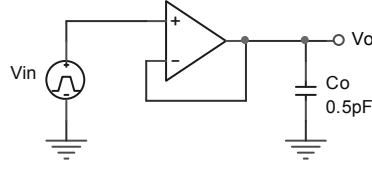
Setup com indutor e capacitor de desacoplamento.



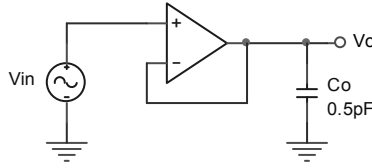
Setup com a ferramenta IPROBE do Cadence.

3º) Através de simulações de transiente no Cadence, determinar os seguintes parâmetros:

- *Slew Rate*, SR, com onda quadrada na entrada.
- Máxima excursão de sinal de saída, com onda senoidal na entrada.



Setup para determinação do *slew rate*.



Setup para determinação da máxima excursão de sinal de saída.

Fórmulas:

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

$$SR \cong \frac{I_B}{C_c}$$

$$P_2 = - \frac{\frac{A_{V_2}}{R_2}}{\frac{4A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1}{\sqrt{2} \sqrt{R_2 \left(4A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1 \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4} + R_2 (C_1 + C_2)^2 (A_{V_{DC}}^2 - 2) \right)} + R_2 (C_1 + C_2) \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4}} + C_1 + C_2}$$

$$P_1 = - \frac{4A_{V_2}}{\sqrt{2} \sqrt{R_2 \left(4A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1 \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4} + R_2 (C_1 + C_2)^2 (A_{V_{DC}}^2 - 2) \right)} + R_2 (C_1 + C_2) \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4}}$$

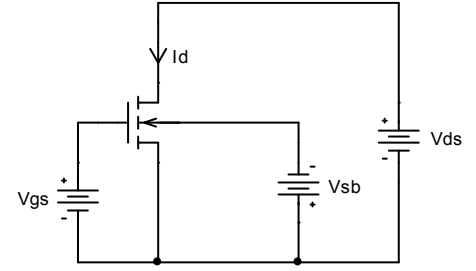
$$C_c = \frac{\sqrt{2} \sqrt{R_2 \left(4A_{V_2}^2 C_1 C_2 R_1 \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4} + R_2 (C_1 + C_2)^2 (A_{V_{DC}}^2 - 2) \right)} + R_2 (C_1 + C_2) \sqrt{2A_{V_{DC}}^2 - 4}}{4R_1 A_{V_2}^2}$$

Obs: Polos em rad/s.

Modelo do MOSFET

Transistor NMOS

$$I_D = \begin{cases} \frac{k_p W}{2\alpha L (1 + \theta(V_{GS} - V_T))} (V_{GS} - V_T)^2, & \text{saturação: } V_{DS} \geq V_{DSsat} \\ \frac{k_p W}{L (1 + \theta(V_{GS} - V_T))} \left((V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{\alpha}{2} V_{DS}^2 \right), & \text{triódo: } 0 \leq V_{DS} < V_{DSsat} \end{cases}$$



$$k_p = k_{p_{T0}} (T/T_0)^{-1.72} \quad V_T = V_{T0} - 0.74 \cdot 10^{-3} (T - T_0) \quad C_{ox} = 8 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = 1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{\phi_0 + V_{SB}}}$$

$$V_T = V_{T0} + \gamma \left(\sqrt{\phi_0 + V_{SB}} - \sqrt{\phi_0} \right)$$

$$V_{DSsat} = \frac{V_{GS} - V_T}{\alpha}$$

NEL	$W = 1\mu m$ e $L = 1\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIÓDO		MATCHING
$V_{T0} = 0.39V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.23$	$V_{T0} = 0.48V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.23$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 13.5 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 293.4 \mu A / V^2$	$\theta = 0.25$	$k_p = 293.4 \mu A / V^2$	$\theta = 0.34$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 41 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.58V$	$\gamma = 0.48$	$\phi_0 = 0.58V$	$\gamma = 0.48$	$C_{ox} = 8.6 \cdot 10^{-3} F / m^2$

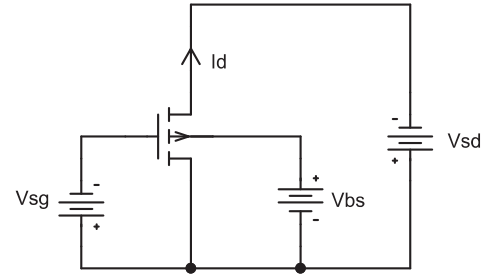
NEL	$W = 1\mu m$ e $L = 0.5\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIÓDO		MATCHING
$V_{T0} = 0.39V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$V_{T0} = 0.5V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 13.5 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 292.6 \mu A / V^2$	$\theta = 0.78$	$k_p = 292.6 \mu A / V^2$	$\theta = 0.39$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 41 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.51V$	$\gamma = 0.46$	$\phi_0 = 0.51V$	$\gamma = 0.46$	$C_{ox} = 8.6 \cdot 10^{-3} F / m^2$

NEL	$W = 1\mu m$ e $L = 0.18\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIÓDO		MATCHING
$V_{T0} = 0.3V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$V_{T0} = 0.47V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 13.5 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 360.5 \mu A / V^2$	$\theta = 1.42$	$k_p = 360.5 \mu A / V^2$	$\theta = 0.74$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 69.2 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.4V$	$\gamma = 0.33$	$\phi_0 = 0.4V$	$\gamma = 0.33$	$C_{ox} = 8.6 \cdot 10^{-3} F / m^2$

NEL	$W = 5\mu m$ e $L = 5\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIÓDO		MATCHING
$V_{T0} = 0.4V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$V_{T0} = 0.48V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.24$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 13.5 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 333.1 \mu A / V^2$	$\theta = 0.38$	$k_p = 333.1 \mu A / V^2$	$\theta = 0.31$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 38.9 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.31V$	$\gamma = 0.35$	$\phi_0 = 0.31V$	$\gamma = 0.35$	$C_{ox} = 8.6 \cdot 10^{-3} F / m^2$

Transistor PMOS-PEL

$$I_D = \begin{cases} \frac{k_p W}{2\alpha L (1 + \theta(V_{SG} - |V_T|))} (V_{SG} - |V_T|)^2, \text{ saturação : } V_{SD} \leq V_{SDsat} \\ \frac{k_p W}{L (1 + \theta(V_{SG} - |V_T|))} \left((V_{SG} - |V_T|) V_{SD} - \frac{\alpha}{2} V_{SD}^2 \right), \text{ triodo : } 0 < V_{SD} \leq V_{SDsat} \end{cases}$$



$$k_p = k_{p0} (T/T_0)^{-1.2} \quad V_T = V_{T0} + 0.88 \cdot 10^{-3} (T - T_0) \quad C_{ox} = 8.25 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = 1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi + V_{BS}}}$$

$$V_T = V_{T0} - \gamma (\sqrt{2\phi + V_{BS}} - \sqrt{2\phi})$$

$$V_{SDsat} = \frac{V_{SG} - |V_T|}{\alpha}$$

PEL	$W = 1\mu m$ e $L = 1\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIODO		MATCHING
$V_{T0} = -0.38V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.21$	$V_{T0} = -0.47V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.21$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 21 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 74.4 \mu A / V^2$	$\theta = 0.28$	$k_p = 74.4 \mu A / V^2$	$\theta = 0.32$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 42 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.71V$	$\gamma = 0.43$	$\phi_0 = 0.71V$	$\gamma = 0.43$	$C_{ox} = 9.1 \cdot 10^{-3} F / m^2$

PEL	$W = 1\mu m$ e $L = 0.5\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIODO		MATCHING
$V_{T0} = -0.38V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.2$	$V_{T0} = -0.47V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.2$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 21 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 80.7 \mu A / V^2$	$\theta = 0.35$	$k_p = 80.7 \mu A / V^2$	$\theta = 0.43$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 42 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.52V$	$\gamma = 0.39$	$\phi_0 = 0.52V$	$\gamma = 0.39$	$C_{ox} = 9.1 \cdot 10^{-3} F / m^2$

PEL	$W = 1\mu m$ e $L = 0.18\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIODO		MATCHING
$V_{T0} = -0.34V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.17$	$V_{T0} = -0.46V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.17$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 21 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 124.1 \mu A / V^2$	$\theta = 0.85$	$k_p = 124.1 \mu A / V^2$	$\theta = 0.99$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 52.4 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 0.48V$	$\gamma = 0.32$	$\phi_0 = 0.48V$	$\gamma = 0.32$	$C_{ox} = 9.1 \cdot 10^{-3} F / m^2$

PEL	$W = 5\mu m$ e $L = 5\mu m$			
SATURAÇÃO		TRIODO		MATCHING
$V_{T0} = -0.34V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.22$	$V_{T0} = -0.45V$	$\alpha _{V_{SB}=0} = 1.22$	$\sigma_{k_p}^2 / k_p^2 = 21 \cdot 10^{-18} / WL$
$k_p = 78.8 \mu A / V^2$	$\theta = 0.31$	$k_p = 78.8 \mu A / V^2$	$\theta = 0.34$	$\sigma_{V_{T0}}^2 / V_{T0}^2 = 52.4 \cdot 10^{-18} / WL$
$\phi_0 = 1.12V$	$\gamma = 0.54$	$\phi_0 = 1.12V$	$\gamma = 0.54$	$C_{ox} = 9.1 \cdot 10^{-3} F / m^2$

Valores Estimados para Lambda

Lambda - NMOS			
L (μm)	W (μm)		
	0.5	1	5
0.18	0.28	0.34	0.38
0.5	0.005	0.009	0.005
1	0.0028	0.0068	0.0045
5	0.001	0.0027	0.0024

Lambda - PMOS			
L (μm)	W (μm)		
	0.5	1	5
0.18	0.31	0.36	0.45
0.5	0.057	0.072	0.07
1	0.035	0.043	0.042
5	0.01	0.016	0.015