



Microtecnología y
Sistemas Embebidos

Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigación en Computación

VLSI avanzado

Tarea 2 - Diseño de amplificador
operacional tipo cascode de una etapa

PROFESOR:

DR. HERÓN MOLINA LOZANO

POR:

ING. RICARDO ALDAIR TIRADO TORRES

CIUDAD DE MÉXICO, 28 DE MAYO DE 2024

Tabla de contenido

| | |
|---|---|
| 1. Objetivos | 2 |
| 2. Cálculo de parámetros $\frac{W}{L}$ | 3 |
| 3. Resultados en Xschem, con los parámetros obtenidos | 6 |

1. Objetivos

- Diseñar un amplificador operacional simple de una etapa, realizando el calculo de las corrientes y de las proporciones $\frac{W}{L}$ con el método propuesto por [1]. Se deben emplear los transistores CMOS del nodo tecnológico SKY130.
- Simular el circuito con la herramienta de Xschem y NGSPICE para comprobar que el diseño cumple con las especificaciones requeridas.

2. Cálculo de parámetros $\frac{W}{L}$

Actividad 1

Emplear la siguiente metodología, propuesta por [1] para diseñar el amplificador simple de una etapa (Ver Figura 1).

| Step | Design Equations | Comments |
|---|---|--|
| 1 | $I_9 = SR \times C_L$ | SR and C_L specified |
| 2 | $g_m = g_{m1} = g_{m2} = GB \times C_L, \frac{W_1}{L_1} = \frac{W_2}{L_2} = \frac{g_m^2}{K'_1 I_5}$ | GB is in rads/sec, $M_1 = M_2$ |
| 3 | $W_3/L_3 = W_4/L_4 = W_1/L_1 = W_2/L_2$ | Simplifies design |
| 4 | Use Design Procedure BV1 to design W_{10}/L_{10} and I_{10} | Pick I_{10} considering A_o |
| 5 | $W_{11}/L_{11} = (I_{10}/4I_1)(W_1/L_1) = (I_{10}/4I_2)(W_2/L_2)$ | M_1 & M_2 at $V_{DS}(\text{sat})$ |
| 6 | $\frac{W_7}{L_7} = \frac{W_8}{L_8} = \frac{2I_1}{K'_7 [V_{DD} - ICMR^+ - V_{T7} - V_{DS3}(\text{sat}) + V_{T1}]^2}$ | $ICMR^+ = V_{in}(\text{max})$ specified |
| 7 | $W_5/L_5 = W_6/L_6 = W_7/L_7 = W_8/L_8$ | Design V_{BP2} to put M_3 at $V_{DS}(\text{sat})$ |
| Alternatively, one can use the low frequency gain to design W_1/L_1 and W_2/L_2 | | |
| 2' | $A_o = g_m R_{out} \rightarrow \frac{W_1}{L_1} = \frac{W_2}{L_2} = \frac{A_o^2}{2K'_1 I_1 R_{out}^2}$ | A_o specified, $M_1 = M_2$ $(r_{ds8} g_{m6} r_{ds6}) (r_{ds2} g_{m2} r_{ds2})$ |
| 8 | $\frac{W_9}{L_9} = \frac{2I_9}{K'_N (ICMR^- - V_{GS1})^2}, V_{GS1} = \sqrt{I_9 / K'_N (\frac{W_1}{L_1})} + V_{T1}$ | Note that $ICMR^-$ must be less than V_{GS1} |

Figura 1: Procedimiento de diseño.

Parámetros conocidos

$$V_{DD} = 1.8V$$

$$L_{min} = 150.0nm$$

$$0.7V \leq ICMR \leq 1.6V$$

$$K'_N = 151.37604 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$K'_P = 57.013889 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$V_{TN} = 0.769432V$$

$$V_{TP} = 0.624345V$$

$$\lambda_N = 0.088964V^{-1}$$

$$\lambda_P = 0.068964V^{-1}$$

$$C_L = 12.0pF$$

Características deseadas

$$A_V = 100 \frac{V}{V}$$

$$P_{diss} \leq 1mW$$

$$GB = 10.0MHz$$

$$SR \geq 5 \frac{V}{\mu s}$$

Paso 1

$$I_5 = SR \times C_L = 5 \times 1.2e - 11$$

$$I_5 = 60.0\mu A$$

Paso 2

$$g_m = 2\pi \times GB \times C_L = 2\pi \times 10000000.0 \times 1.2e - 11$$

$$g_m = 753.982237\mu S$$

$$\frac{W_1}{L_1} = \frac{gm^2}{K'_N \times I_5} = \frac{0.000754^2}{0.000151 \times 6e-05}$$

$$\frac{W_1}{L_1} = 62.591281$$

$$W_1 = \frac{W_1}{L_1} \times L_{min} = 62.591281 \times 1.5e - 07$$

$$W_1 = W_2 = 9.388692\mu m$$

Paso 3

$$\frac{W_3}{L_3} = \frac{I_5}{K'_P \times [(V_{DD} - ICMR^+ - |V_{TP}| + V_{TN})^2]} = \frac{6e-05}{5.7e-05 \times [1.8 - 1.6 - 0.624345 + 0.769432]^2}$$

$$\frac{W_3}{L_3} = 8.837174$$

$$W_3 = \frac{W_3}{L_3} \times L_{min} = 8.837174 \times 1.5e - 07$$

$$W_3 = W_4 = 1.325576\mu m$$

Paso 4

$$V_{GS1} = \sqrt{\frac{I_5}{K'_N \times \frac{W_1}{L_1}}} + V_{TN} = \sqrt{\frac{6e-05}{0.000151 \times 62.591281}} + 0.769432$$

$$V_{GS1} = 0.849009V$$

$$\frac{W_5}{L_5} = \frac{2 \times I_5}{K'_N \times (ICMR^- - V_{GS1})^2} = \frac{2 \times 6e-05}{0.000151 \times (0.7 - 0.849009)^2}$$

$$\frac{W_5}{L_5} = 35.702313$$

$$W_5 = \frac{W_5}{L_5} \times L_{min} = 35.702313 \times 1.5e-07$$

$$W_5 = W_6 = 5.355347\mu m$$

Paso 5

$$A_0 = \frac{2g_m}{(\lambda_N + \lambda_P) \times I_5} = \frac{2 \times 0.000754}{(0.088964 + 0.068964) \times 6e-05}$$

$$A_0 = 159.141041 = 44.035644db$$

Parámetros calculados

$$W_1 = W_2 = 9.388692\mu m$$

$$W_3 = W_4 = 1.325576\mu m$$

$$W_5 = W_6 = 5.355347\mu m$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = L_6 = 0.15\mu m$$

3. Resultados en Xschem, con los parámetros obtenidos

Actividad 2

Utilizando el simulador NGSPICE en la herramienta de Xschem, simular el amplificador operacional con las razones $\frac{W}{L}$ calculadas previamente.

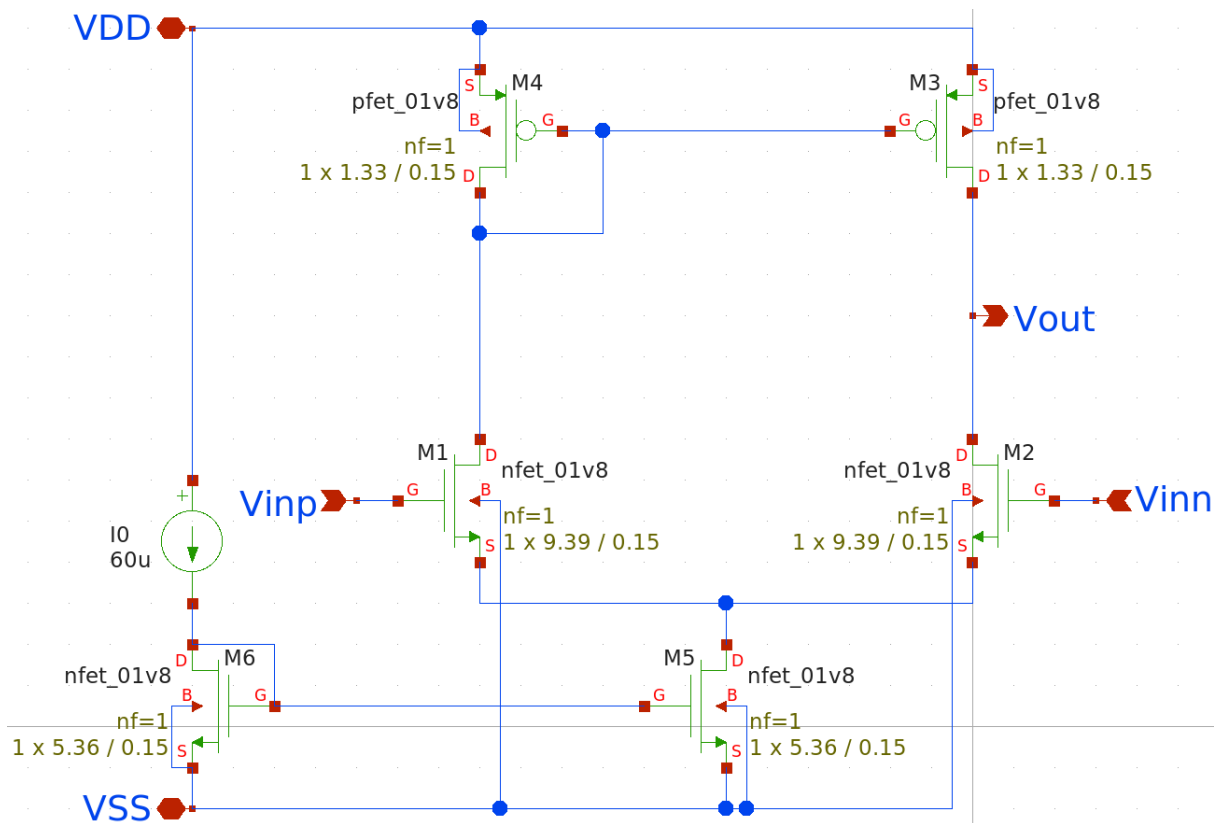


Figura 2: Diagrama esquemático del amplificador operacional sencillo de una etapa.

Resultados obtenidos de la simulación

$$A_V = \frac{A_V(0)}{R \times C} = \frac{15.742238}{100000.0 \times 1.2e-08}$$

$$A_V = 131.18532$$

$$P_{diss} = V_{DD} \times I_5 = 1.8 \times 6e-05$$

$$P_{diss} = 0.108mW$$

$$GB = 417.643781KHz$$

$$SlewRate = 11.823621 \frac{V}{\mu s}$$

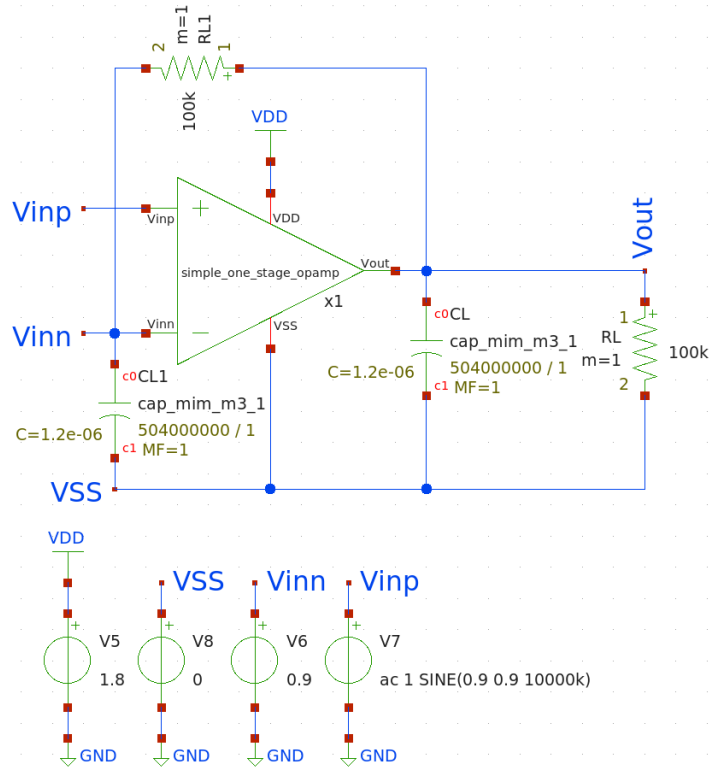


Figura 3: Circuito utilizado para obtener la ganancia del amplificador operacional sencillo de una etapa (Seguidor de voltaje).

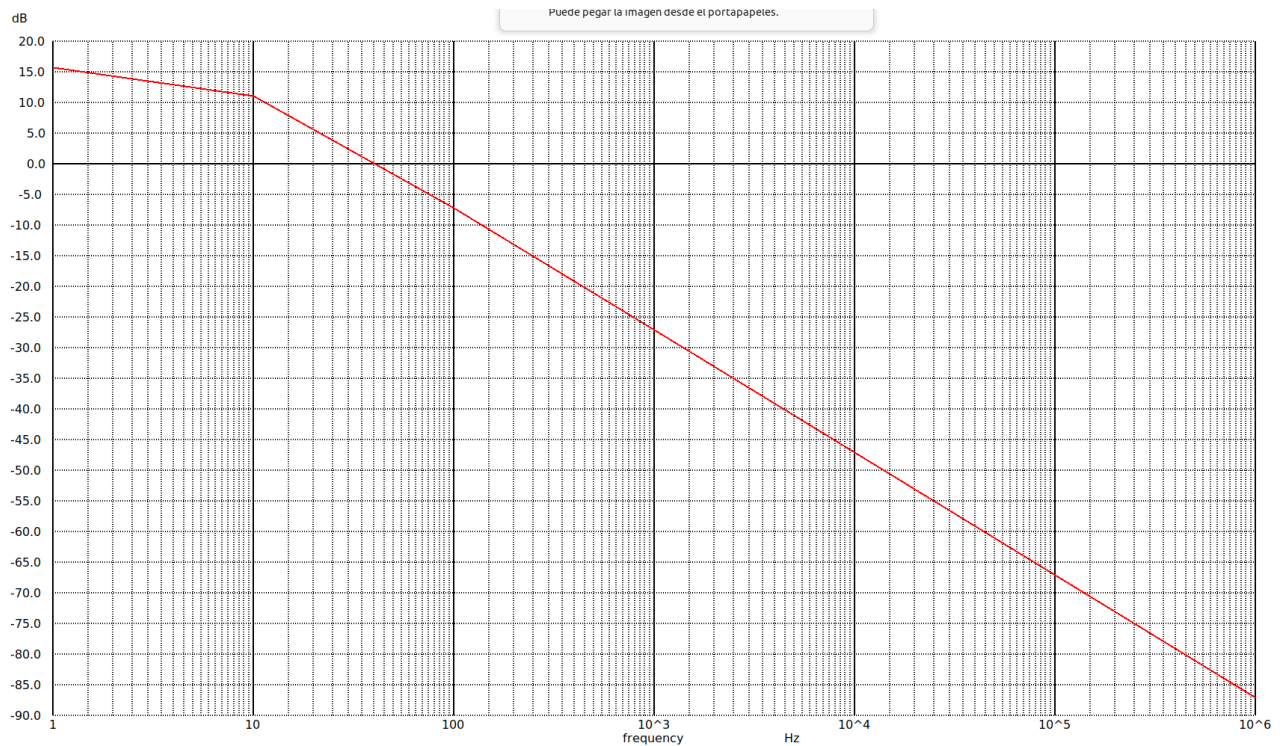


Figura 4: Diagrama de Bode obtenido de la Figura 3.

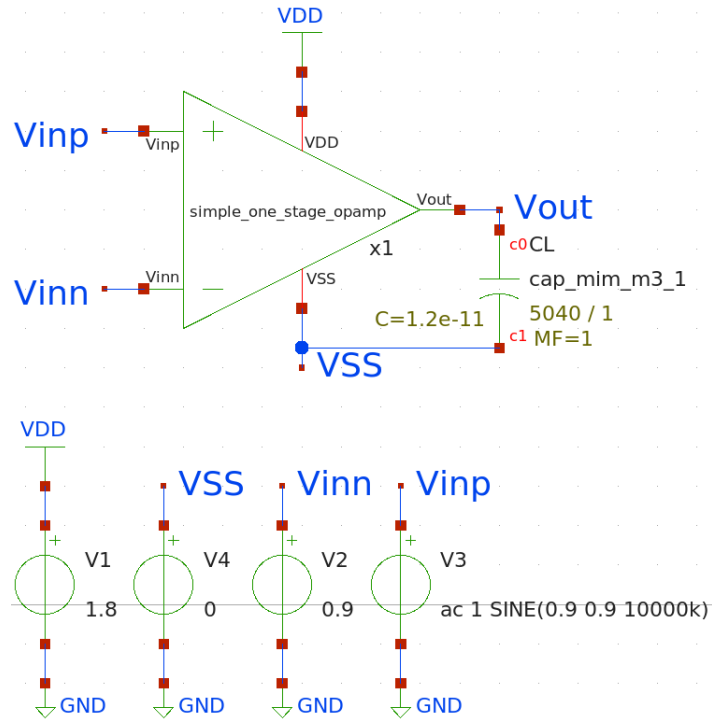


Figura 5: Circuito utilizado para obtener la ganancia en ancho de banda (*Gain Bandwidth*) del amplificador operacional sencillo de una etapa).

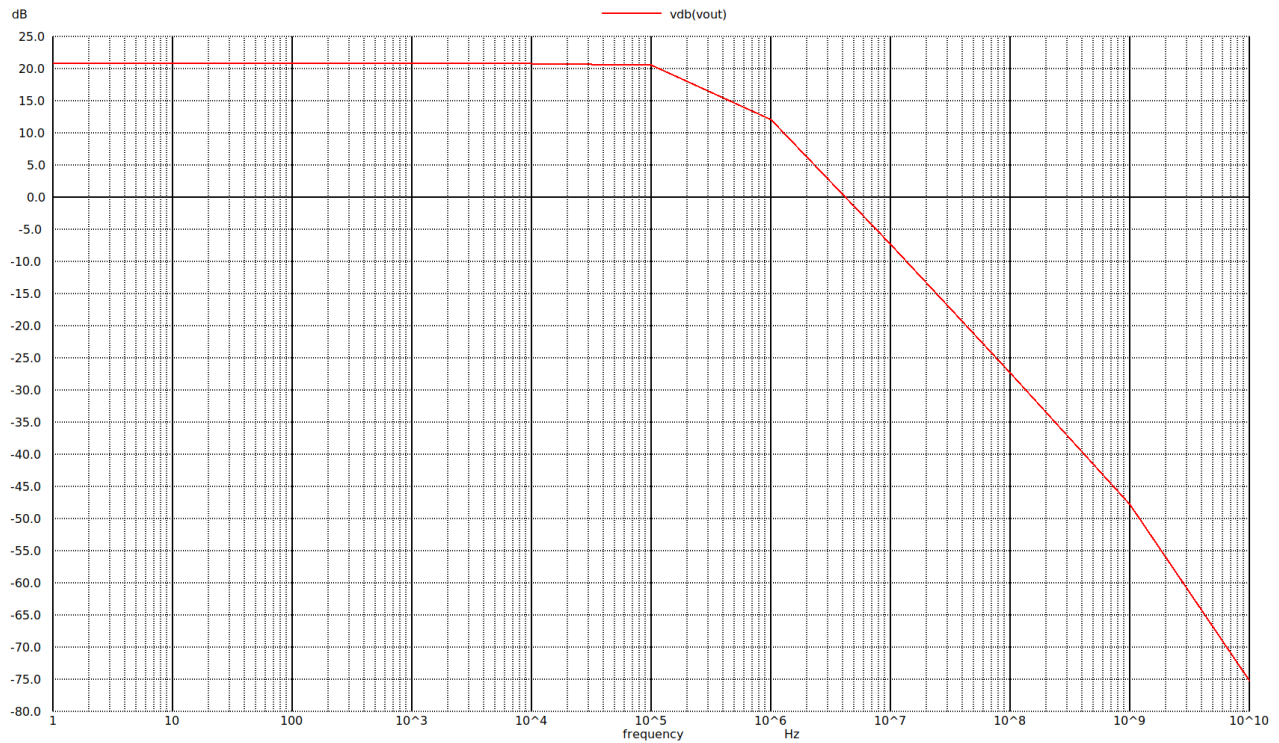


Figura 6: Diagrama de Bode obtenido de la Figura 5.

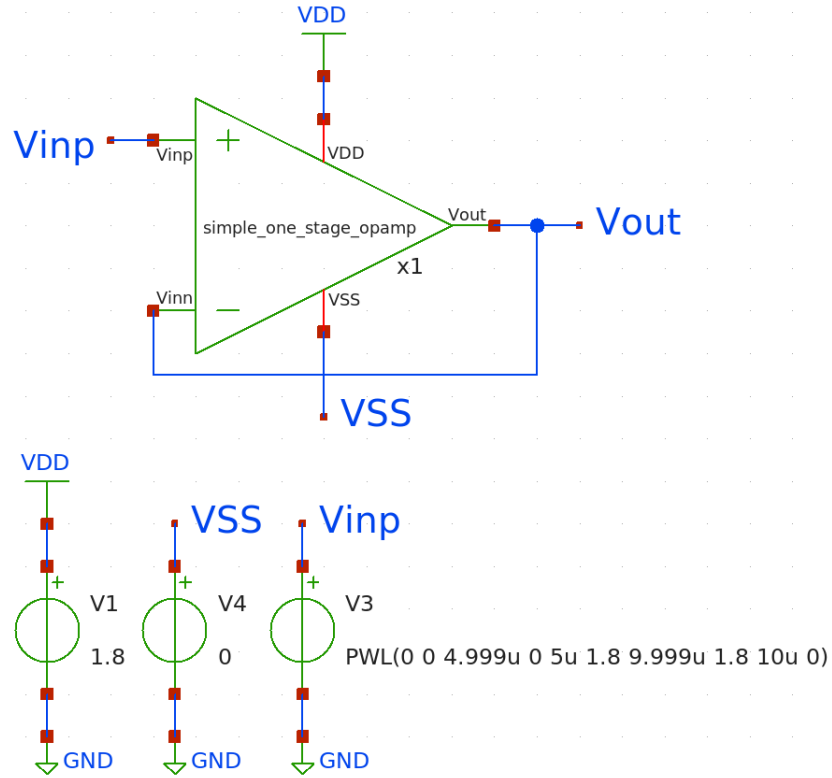


Figura 7: Circuito utilizado para evaluar obtener el *Slew Rate* del amplificador operacional sencillo de una etapa (Seguidor de voltaje).

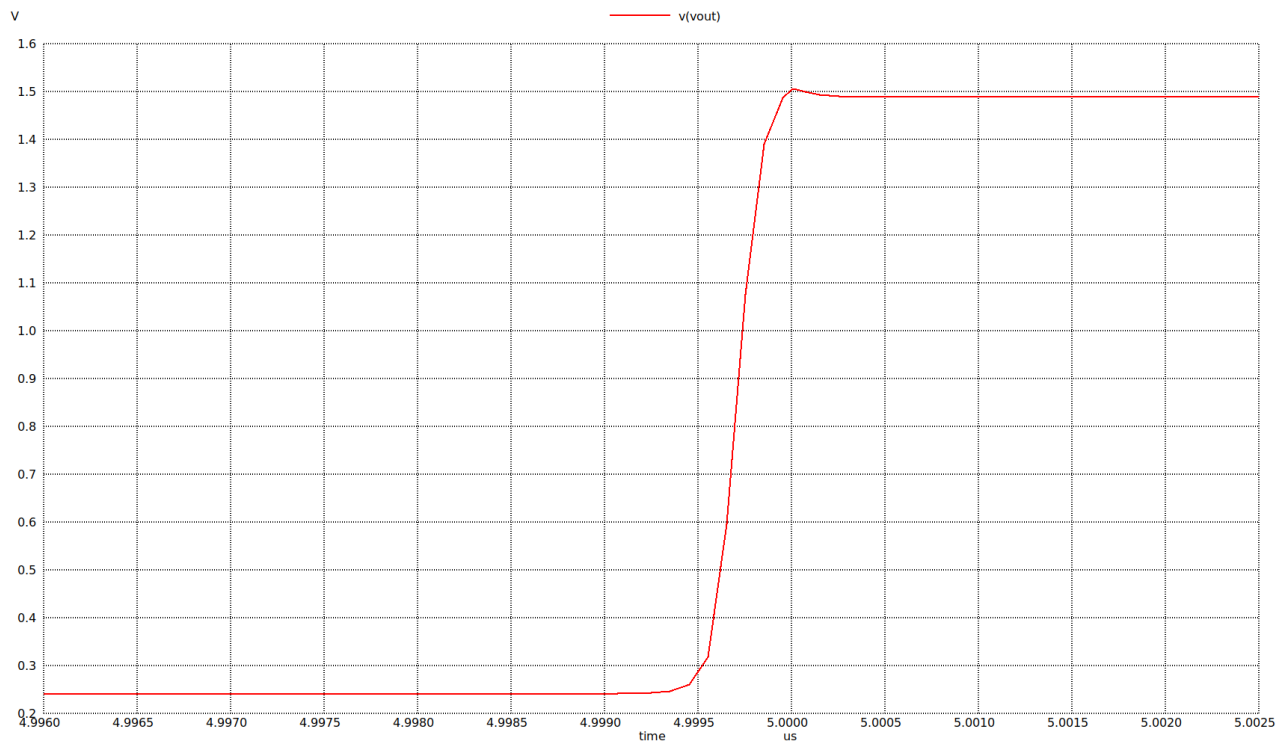


Figura 8: Grafica del voltaje de salida obtenido de la Figura 7.

Referencias

- [1] P. E. Allen and D. R. Holberg, *CMOS Analog Circuit Design*. Oxford University Press, Incorporated, 2012.