



EE534 — Roteiro 2

Professor: Max Costa

Leonardo Rodrigues Marques 178610

1)

$$I_D = 0.4$$

$$V_{GS} = 3.5V$$

$$V_{TH} = 1.5V$$

Portanto, $k = 0.125 \text{ A V}^{-2}$.

2)

Assumindo que o transistor esteja na saturação e não vamos considerar efeito early:

$$V_{DS} = \frac{V_{CC} + V_{GS} - V_{TH}}{2} \quad (1)$$

$$A = -g_m R_D \quad (2)$$

$$I_D = \frac{k(V_{GS} - V_{TH})^2}{2} \quad (3)$$

$$V_{DS} = V_{CC} - R_D I_D \quad (4)$$

$$g_m = k(V_{GS} - V_{TH}) \quad (5)$$

$$(6)$$

Utilizando as equações de (1) a (2):

$$\begin{aligned} A = -k(V_{GS} - V_{TH})R_D \rightarrow R_D &= \frac{-A}{k(V_{GS} - V_{TH})} \rightarrow R_D I_D = \frac{-A}{k(V_{GS} - V_{TH})} \cdot k(V_{GS} - V_{TH})^2 = \\ \frac{-A(V_{GS} - V_{TH})}{2} \rightarrow V_{DS} &= V_{CC} - R_D I_D \rightarrow V_{DS} = V_{CC} + \frac{A(V_{GS} - V_{TH})}{2} = \frac{(V_{CC} + V_{GS} - V_{TH})}{2} \end{aligned}$$

Realizando algumas manipulações algébricas e substituindo os valores:

$$\begin{aligned}
 (V_{GS} - V_{Th}) &= \frac{V_{CC}}{1 - A} \rightarrow (V_{GS} - V_{Th}) = \frac{5}{1 + 10} = 0.4545 \text{ V} \\
 V_{DS} &= \frac{(V_{CC} + V_{GS} - V_{TH})}{2} \rightarrow V_{DS} = \frac{5 + 0.4545}{2} \rightarrow V_{DS} = 2.723 \text{ V} \\
 R_D &= \frac{-A}{k(V_{GS} - V_{TH})} \rightarrow R_D = \frac{10}{0.125 \cdot 0.4545} \rightarrow R_D = 176 \text{ } \Omega \\
 V_{GS} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} \rightarrow R_2 = \frac{V_{GS} \cdot (R_1 + R_2)}{V_{CC}} \rightarrow R_2 = \frac{(0.4545 + 1.5) \cdot 10000}{5} \rightarrow R_2 = 3909 \text{ } \Omega \\
 R_1 + R_2 &= 10000 \rightarrow R_1 = 10000 - R_2 \rightarrow R_1 = 6091 \text{ } \Omega
 \end{aligned}$$

3)

A potência é definida por $P = R \cdot i^2$, portanto:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 3909 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2 = 1.52 \text{ mW} \\
 P_2 &= 6091 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2 = 0.98 \text{ mW} \\
 I_D &= \frac{k(V_{GS} - V_{TH})^2}{2} = \frac{0.125 \cdot (0.4545)^2}{2} = 12.9 \text{ mA} \\
 P_D &= R_D \cdot (I_D)^2 = 176 \cdot (12.9)^2 = 29.3 \text{ mW}
 \end{aligned}$$

4)

Pelo Datasheet:

$$I_{D_{max}} = 0.22A, V_{DS_{max}} = 100V$$

Portanto,

$$\begin{aligned}
 I_{D_{max}} &= \frac{k(V_{GS} - V_{TH} + V_{in})^2}{2} = \frac{0.125 \cdot (0.4545 + 0.02)^2}{2} \rightarrow I_{D_{max}} = 14.07 \text{ mA} \\
 V_{DS_{max}} &= \frac{V_{CC} + V_{GS} - V_{TH} - 0.02}{2} = \frac{5 + 0.4545 - 0.02}{2} \rightarrow V_{DS_{max}} = 2.72 \text{ V}
 \end{aligned}$$

5)

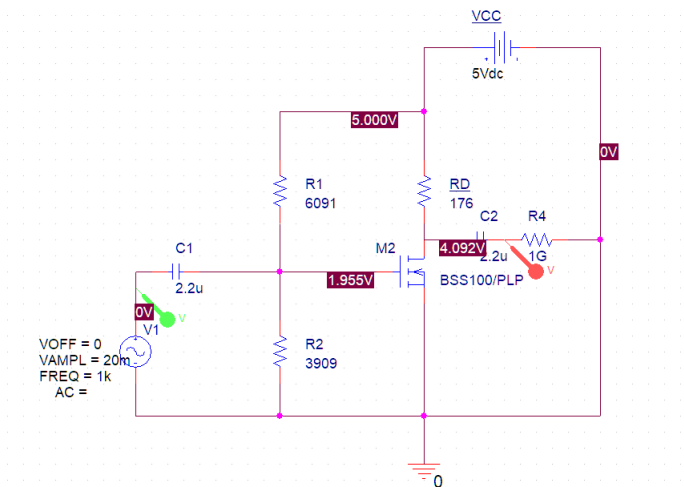


Figura 1: Circuito projetado no PSpice.

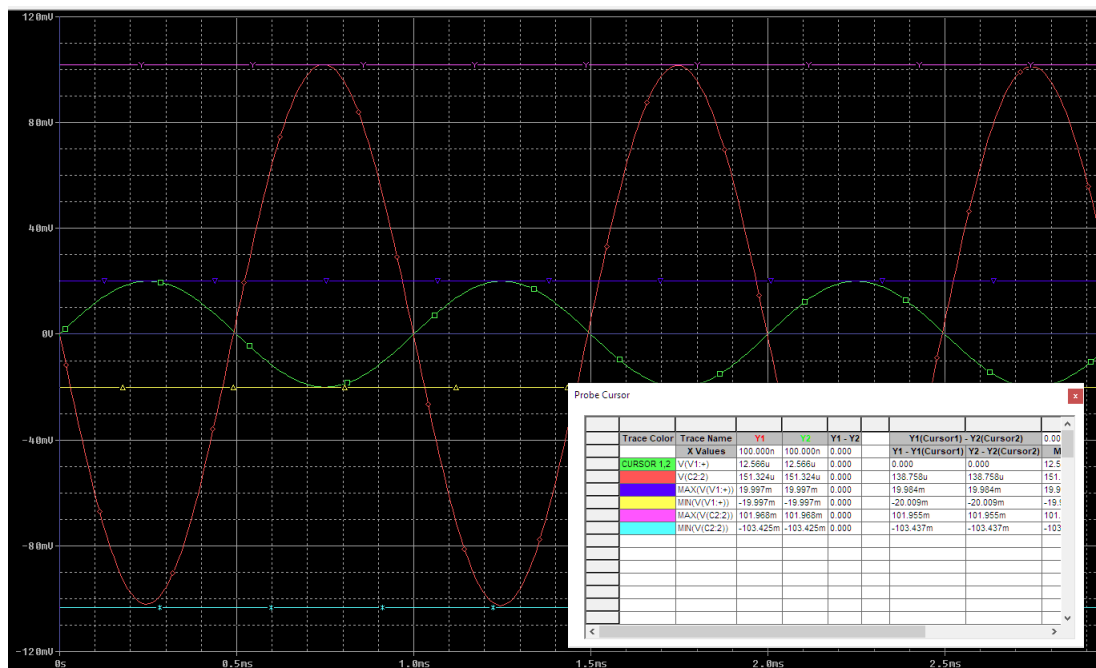


Figura 2: Resultado da simulação do circuito projetado.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{103.425 + 101.968}{19.997 + 19.997} = -5.1356$$

O ganho simulado foi menor que o ganho projetado dado as circunstâncias entre a realidade e teoria.

6)

Ao setarmos $R_2 = 2.8 \text{ k}\Omega$, vemos que a corrente I_D está na ordem pA.

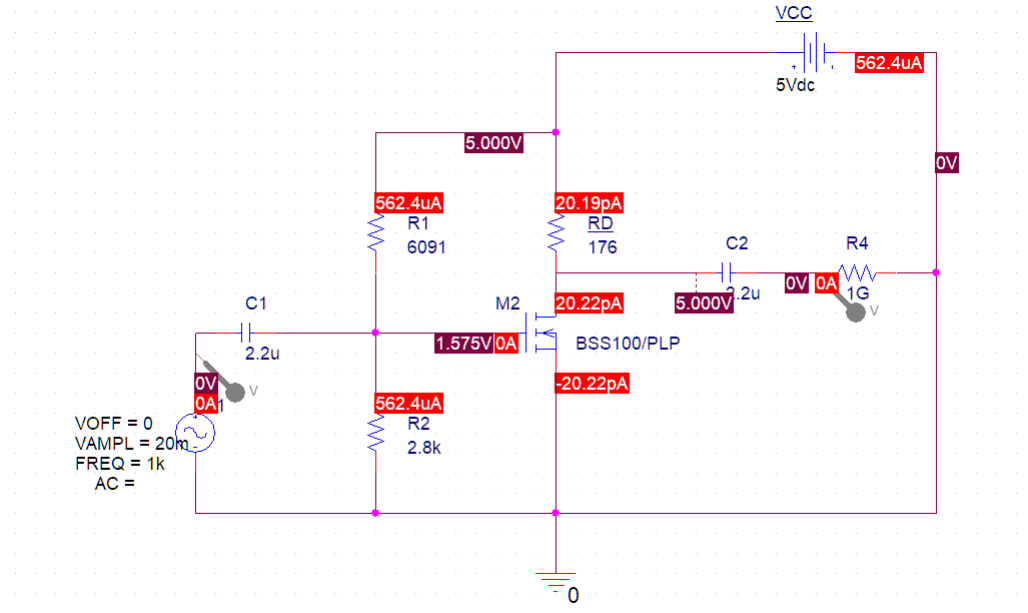


Figura 3: Circuito com $R_2 = 2.8 \text{ k}\Omega$

A medida que alteramos o valor da resistência R_2 em $0.01 \text{ k}\Omega$, a transição para nA é observada quando $R_2 = 2.87 \text{ k}\Omega$. Nesse valor de resistência, $V_{TH} = 1.598 \text{ V}$. O datasheet nos informa que o $V_{TH} = 1.5 \text{ V}$, uma diferença de 0.098 V .

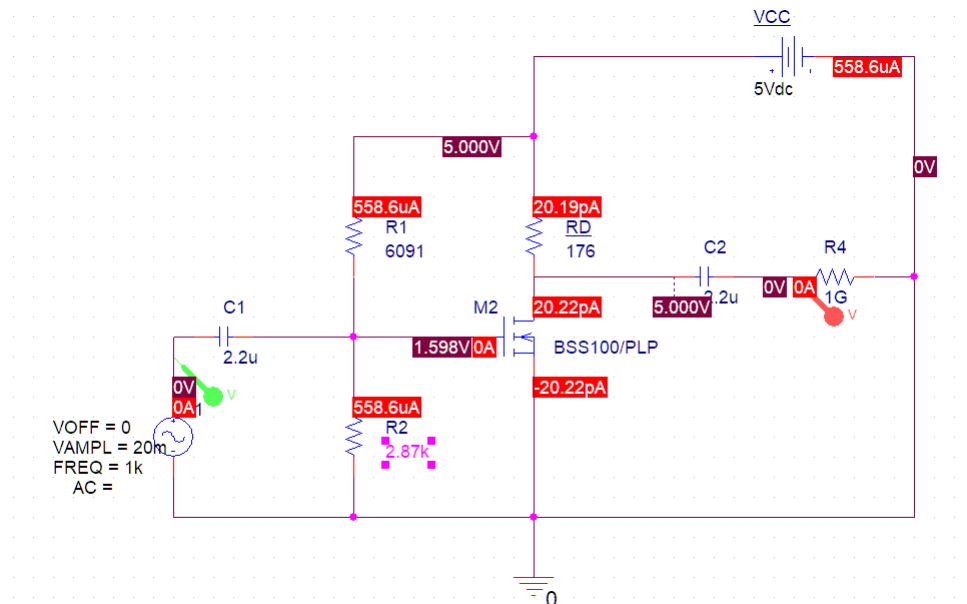


Figura 4: Circuito com $R_2 = 2.87 \text{ k}\Omega$

7)

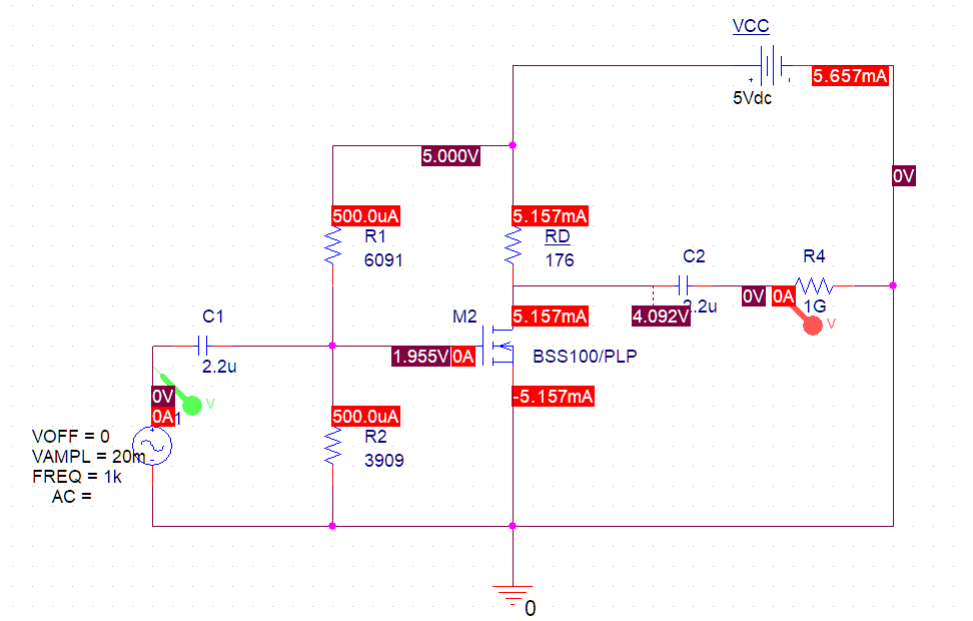


Figura 5: Circuito previamente montado.

Dados extraídos da simulação:

$$I_D = 5.157 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 1.955 \text{ V}$$

$$V_{TH} = 1.598 \text{ V}$$

Exceto $(V_{GS} - V_{TH}) = \frac{V_{CC}}{1-A}$, temos que recalcular todos outros parâmetros em questão:

$$k = \frac{2 \cdot I_D}{(V_{GS} - V_{TH})^2} = 0.081 \text{ A/V}^2$$

$$R_D = \frac{-A}{k(V_{GS} - V_{Th})} = 271.63 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{GS} \cdot (R_1 + R_2)}{V_{CC}} \rightarrow R_2 = \frac{(0.4545 + 1.598) \cdot 10000}{5} \rightarrow R_2 = 4105 \text{ } \Omega$$

$$R_1 + R_2 = 10000 \rightarrow R_1 = 10000 - R_2 \rightarrow R_1 = 5895 \text{ } \Omega$$

8)

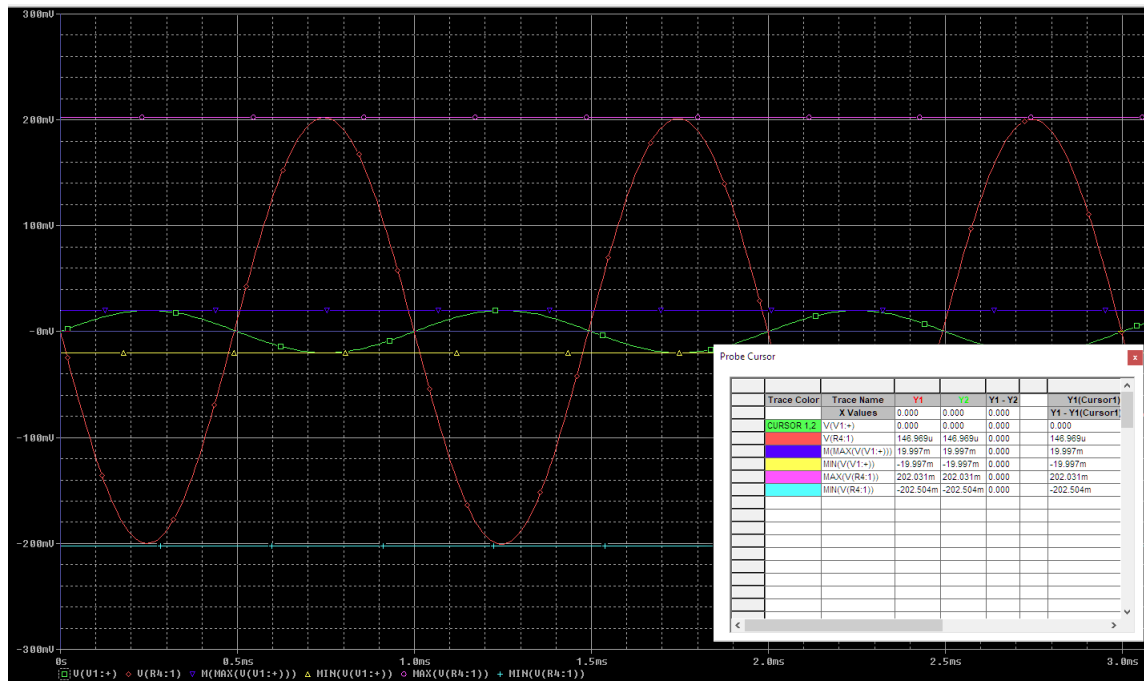


Figura 6: Resultado da simulação com o novo circuito projetado.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{202.031 + 202.504}{19.997 + 19.997} = -10.11$$

9)

+5%

$$R'_1 = R_1 * 1.05 = 6109 \, \Omega$$

$$R'_2 = 10000 - 6109 = 3891 \, \Omega$$

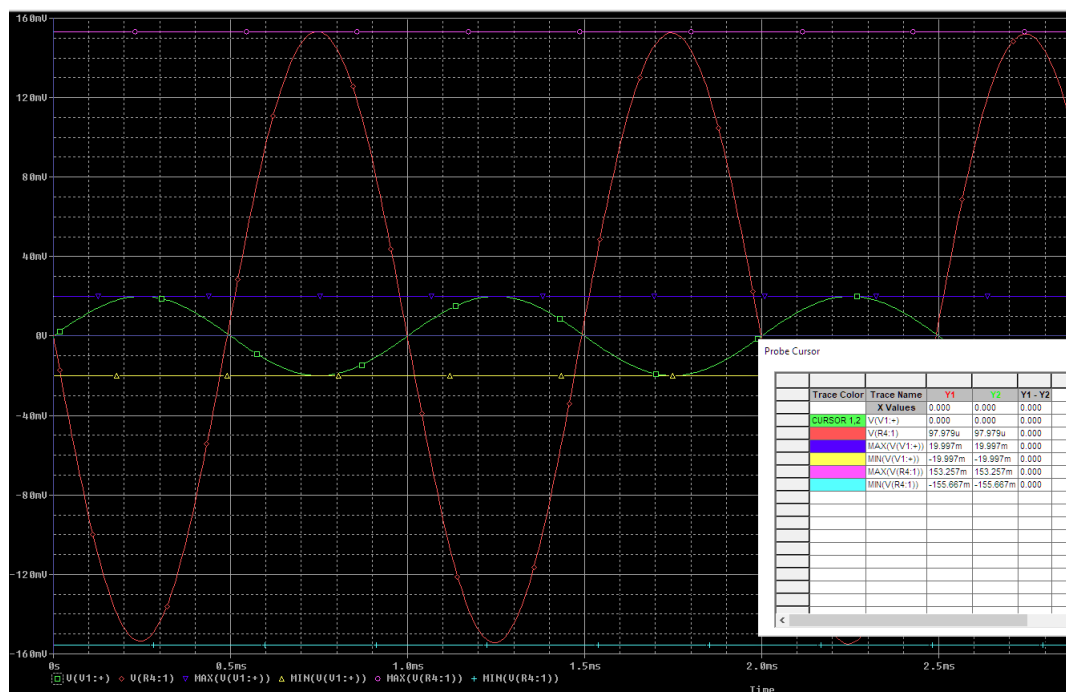


Figura 7: Caption

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{153.257 + 155.667}{19.997 + 19.997} = -7.72 \text{ (diminuição de ganho)}$$

-5%

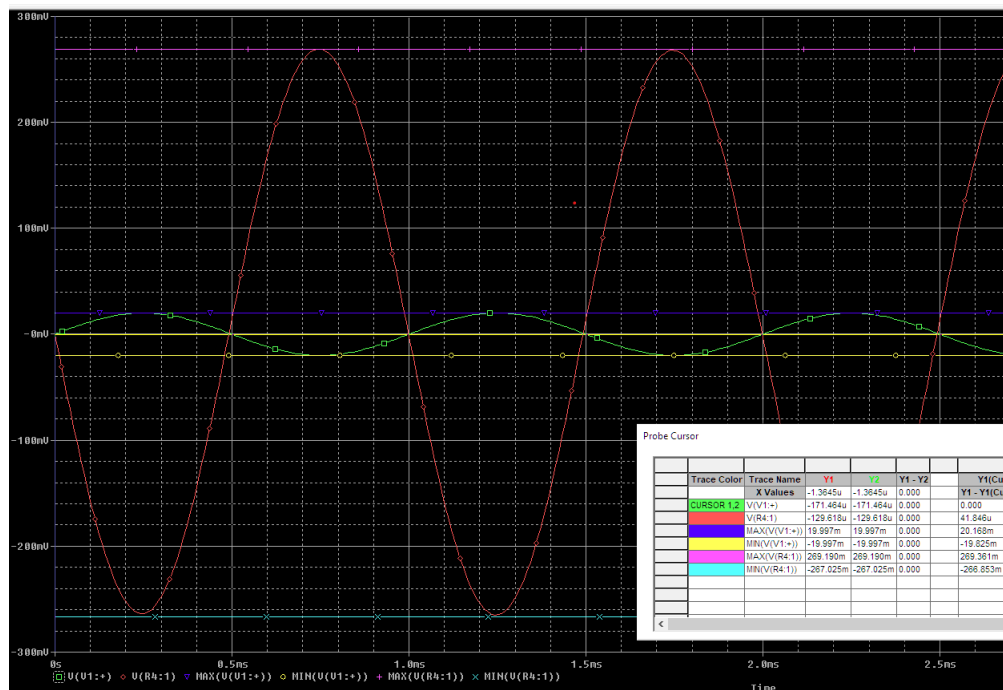


Figura 8: Caption

$$R'_1 = R_1 * 0.95 = 5600 \, \Omega$$

$$R'_2 = 10000 - 5600 = 4400 \, \Omega$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{269.190 + 267.025}{19.997 + 19.997} = +13.41 \text{ (aumento de ganho)}$$