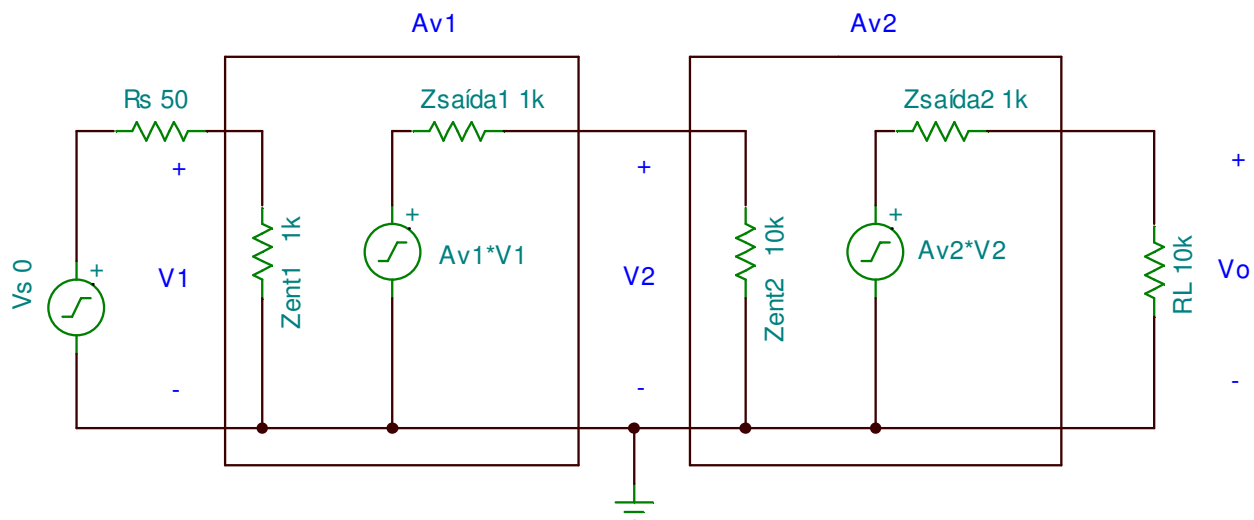


AMPLIFICADORES EM CASCATA – INFORMAÇÕES AUXILIARES PARA O PROJETO



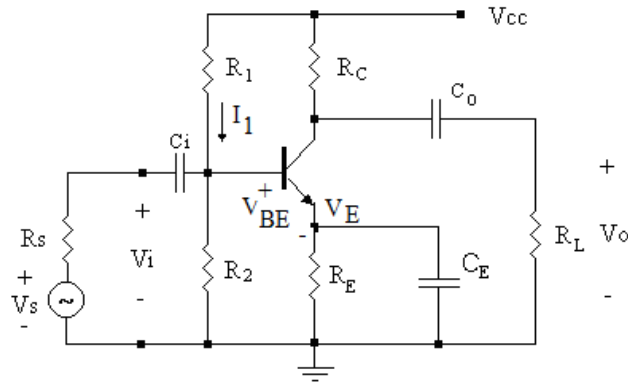
Ganhos de tensão, impedâncias de entrada e de saída das configurações básicas de amplificadores.

CONFIGURAÇÃO	Ganho de Tensão	Zent	Zsaída
Emissor-comum	Alto (≈ 100)	Intermediária ($\approx 2 \text{ k}\Omega$)	Alta ($\approx 2 \text{ k}\Omega$)
Coletor-comum	Baixo (≈ 1)	Alta ($\approx 50 \text{ k}\Omega$)	Baixa ($\approx 50 \text{ }\Omega$)
Base-comum	Alto (≈ 100)	Baixa ($\approx 50 \text{ }\Omega$)	Alta ($\approx 2 \text{ k}\Omega$)
Fonte-comum	Baixo (≈ 5)	Alta ($\approx 50 \text{ k}\Omega$)	Alta ($\approx 2 \text{ k}\Omega$)
Dreno-comum	Baixo (≈ 1)	Alta ($\approx 50 \text{ k}\Omega$)	Baixa ($\approx 50 \text{ }\Omega$)
Porta-comum	Baixo (≈ 5)	Baixa ($\approx 50 \text{ }\Omega$)	Alta ($\approx 2 \text{ k}\Omega$)

Observação: Os valores indicados entre parênteses são apenas para referência. Nas configurações práticas é possível obter valores maiores ou menores do que os indicados.

EXEMPLOS – Polarização de Transistores

1) Emissor Comum



Arbitrando:

$$I_C = 2,0 \text{ mA};$$

$$V_{CC} = 15 \text{ V};$$

Tem-se:

$$V_{CEQ} \cong \frac{V_{CC}}{2} = 7,5 \text{ V};$$

$$V_E \cong 10 \% V_{CC} = 1,5 \text{ V}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{1,5}{2 \text{ mA}} = 750 \Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - (V_{CEQ} + V_E)}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{15 - 7,5 - 1,5}{2 \times 10^{-3}} = 3 \text{ k}\Omega$$

$$I_1 = 10 \% I_C = 0,2 \text{ mA};$$

$$R_2 = \frac{V_E + V_{BE}}{I_1} = \frac{V_B}{I_1} = \frac{1,5 + 0,7}{0,2 \times 10^{-3}} = 11 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_1} = \frac{15 - 2,2}{0,2 \times 10^{-3}} = 64 \text{ k}\Omega$$

- Parâmetros modelo H do circuito

Considerando o transistor 2N3904, tem-se:

Para $I_C = 2 \text{ mA}$, pelas curvas do transistor:

$$h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega;$$

$$h_{fe} = 130;$$

$$h_{oe} = 14 \mu\text{S};$$

$$h_{re} = 1,1 \times 10^{-4};$$

- Cálculo dos capacitores de acoplamento do Circuito

Arbitrando a frequência de corte inferior: $f_i = 100 \text{ Hz}$, tem-se:

- Cálculo do capacitor de entrada (C_I):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqI} C_I}$$

$$C_I = \frac{1}{2\pi R_{EqI} f_i} = 936,9 \text{ nF};$$

R_{EqI} é a resistência equivalente vista por C_I com os demais capacitores em curto;

R_S é a resistência da fonte externa, considerada igual a 50Ω neste caso;

$$R_{EqI} = R_S + Z_{ent} \cong R_S + (R_1 // R_2 // h_{ie}) = R_S + R_B // h_{ie}$$

$$= 50 + (64000 // 11000 // 2000) = 50 + 1649 = 1699 \Omega$$

- Cálculo do capacitor de saída (C_O):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqO} C_O}$$

$$C_O = \frac{1}{2\pi R_{EqO} f_i} = 25,3 \text{ nF}$$

R_{EqO} é a resistência equivalente vista por C_O com os demais capacitores em curto:

Arbitrando $R_L = 60 \text{ k}\Omega$

$$R_{EqO} = Z_{saída} + R_L \cong R_C + R_L = 3000 + 60000 = 63 \text{ k}\Omega$$

- Cálculo do capacitor de emissor (C_E):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqE} C_E}$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_{EqE} f_i} = 103,8 \text{ }\mu\text{F}$$

R_{EqE} é a resistência equivalente vista por C_E com os demais capacitores em curto:

$$R_{EqE} = R_E // \frac{h_{ie} + R_S // R_B}{1 + h_{fe}} = 750 // \frac{2000 + 50 // 9387}{1 + 130} = 750 // 15,64 = 15,33 \text{ }\Omega$$

Para que a frequência de corte inferior seja $f_i = 100 \text{ Hz}$, escolhe-se um dos capacitores (geralmente o de maior capacitância) para ser mantido fixo e multiplica-se os demais por 10 vezes ou mais.

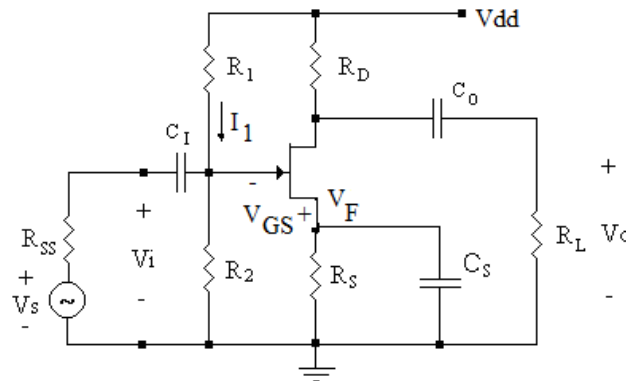
Assim:

$C_E = 100 \text{ }\mu\text{F}$ (Valor comercial mais próximo);

$C_I = 936,9 \text{ nF} \times 10 = 10 \text{ }\mu\text{F}$ (Valor comercial mais próximo);

$C_O = 25,3 \text{ nF} \times 10 = 270 \text{ nF}$ (Valor comercial mais próximo);

2) Fonte Comum



Arbitrando:

$$I_D = 4,0 \text{ mA};$$

$$V_{DD} = 15 \text{ V};$$

Tem-se:

$$V_{DSQ} \cong \frac{V_{DD}}{2} = 7,5 \text{ V};$$

$$V_F \cong 30 \% V_{DD} = 4,5 \text{ V}$$

$$R_S = \frac{V_F}{I_D} = \frac{4,5}{4 \text{ mA}} = 1125 \Omega$$

$$R_D = \frac{V_{DD} - (V_{DSQ} + V_F)}{I_D} = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{15 - 7,5 - 4,5}{4 \times 10^{-3}} = 750 \Omega$$

$$I_1 = 1 \% I_D = 0,04 \text{ mA};$$

Considerando o transistor BF245B, para $I_D = 4 \text{ mA}$, $V_{GS} = -1,5 \text{ V}$;

$$R_2 = \frac{V_F + V_{GS}}{I_1} = \frac{V_G}{I_1} = \frac{4,5 + (-1,5)}{0,04 \times 10^{-3}} = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_G}{I_1} = \frac{15 - 3}{0,04 \times 10^{-3}} = 300 \text{ k}\Omega$$

- Parâmetros do modelo π do circuito

Considerando o transistor BF245B, tem-se:

Para $I_D = 4 \text{ mA}$, pelas curvas do transistor:

$$g_m = |Y_{fs}| = 4,3 \text{ mS};$$

$$r_d = \frac{1}{g_{os}} = 43478 \Omega$$

- Cálculo dos capacitores de acoplamento do Circuito

Arbitrando a frequência de corte inferior: $f_i = 100 \text{ Hz}$, tem-se:

- Cálculo do capacitor de entrada (C_I):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqI} C_I}$$

$$C_I = \frac{1}{2\pi R_{EqI} f_i} = 25,3 \text{ nF};$$

R_{EqI} é a resistência equivalente vista por C_I com os demais capacitores em curto;

R_{SS} é a resistência da fonte externa, considerada igual a $3 \text{ k}\Omega$ neste caso;

$$R_{EqI} = R_{SS} + Z_{ent} \cong R_{SS} + (R_1 // R_2) = R_{SS} + R_G$$

$$= 3000 + (300000 // 75000) = 3000 + 60000 = 63 \text{ k}\Omega$$

- Cálculo do capacitor de saída (C_O):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqO} C_O}$$

$$C_O = \frac{1}{2\pi R_{EqO} f_i} = 148 \text{ nF}$$

R_{EqO} é a resistência equivalente vista por C_O com os demais capacitores em curto:

Arbitrando $R_L = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_{EqO} = Z_{saída} + R_L \cong R_D + R_L = 750 + 10000 = 10,75 \text{ k}\Omega$$

- Cálculo do capacitor da fonte (C_S):

$$f_i = \frac{1}{2\pi R_{EqS} C_S}$$

$$C_S = \frac{1}{2\pi R_{EqS} f_i} = 8,3 \text{ }\mu\text{F}$$

R_{EqS} é a resistência equivalente vista por C_S com os demais capacitores em curto:

$$R_{EqS} = \frac{R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{1125}{1 + 4,3 \times 10^{-3} \times 1125} = 192,72 \text{ }\Omega$$

Para que a frequência de corte inferior seja $f_i = 100 \text{ Hz}$, escolhe-se um dos capacitores (geralmente o de maior capacitância) para ser mantido fixo e multiplica-se os demais por 10 vezes ou mais.

Assim:

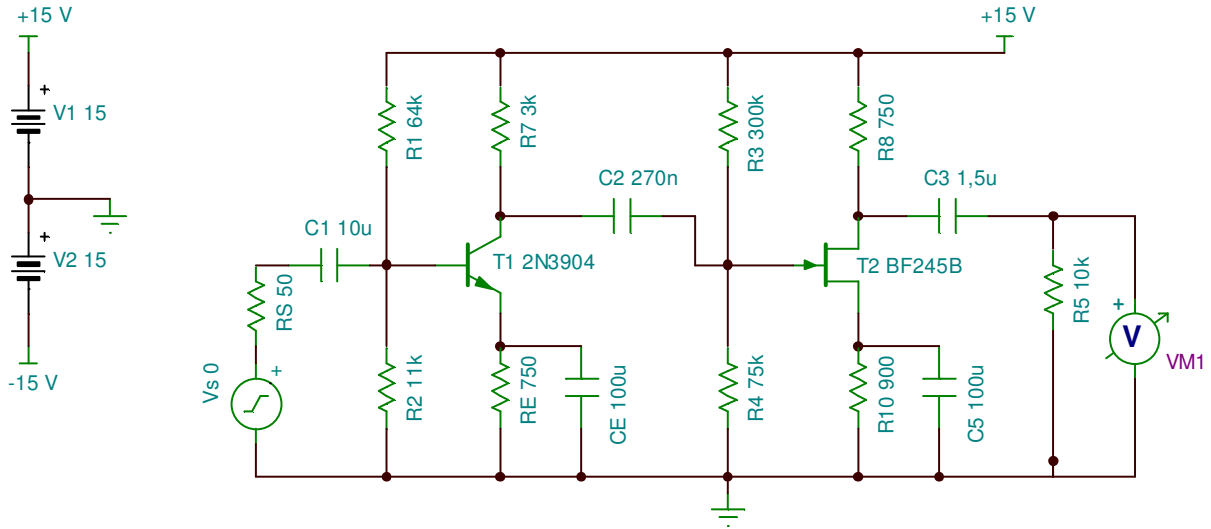
$C_S = 10 \text{ }\mu\text{F}$ (Valor comercial mais próximo);

$C_I = 25,3 \text{ nF} \times 10 = 270 \text{ nF}$ (Valor comercial mais próximo);

$C_O = 148 \text{ nF} \times 10 = 1,5 \text{ }\mu\text{F}$ (Valor comercial mais próximo);

Projeto 1

Circuito 1: Amplificador de dois estágios (Um bipolar e outro FET)



$$Av_1 = \frac{-h_{fe}r_{l1}}{h_{ie}} = \frac{-130 \times 2857}{2000} = -185,7 \text{ V/V}$$

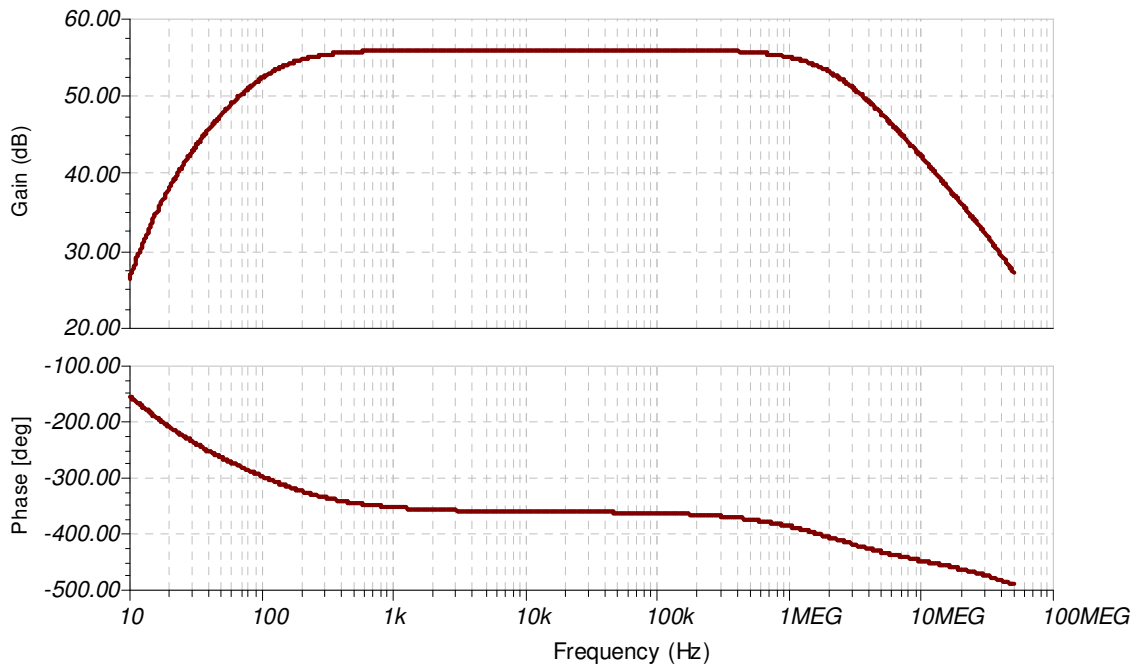
$$r_{l1} = R_C \parallel Z_{ent2} = R_C \parallel R_G = 3 \text{ k} \parallel 60 \text{ k} = 2857 \Omega$$

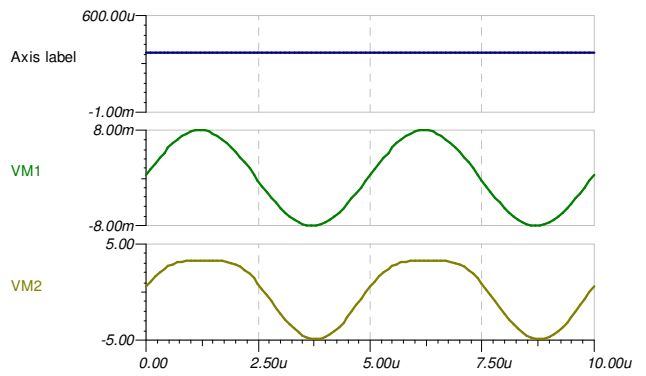
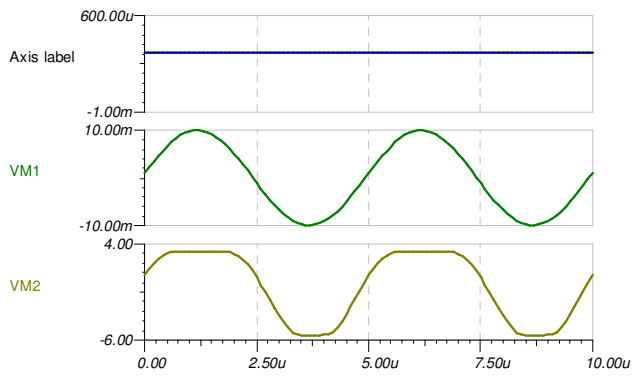
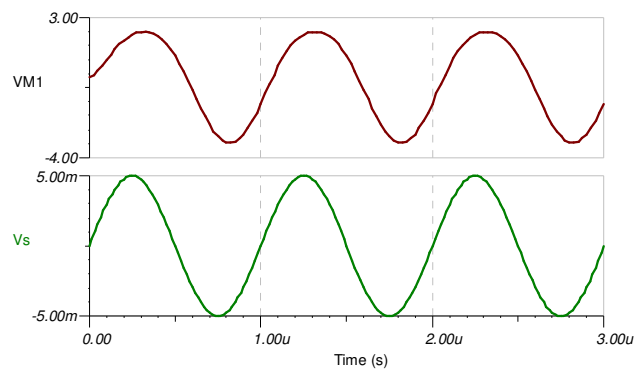
$$Av_2 = -g_m \times (r_d \parallel r_{l2}) = -4,3 \times 10^{-3} \times (43478 \parallel 697,7) = -2,95 \text{ V/V}$$

$$r_{l2} = R_D \parallel R_L = 750 \parallel 10000 = 697,7 \Omega$$

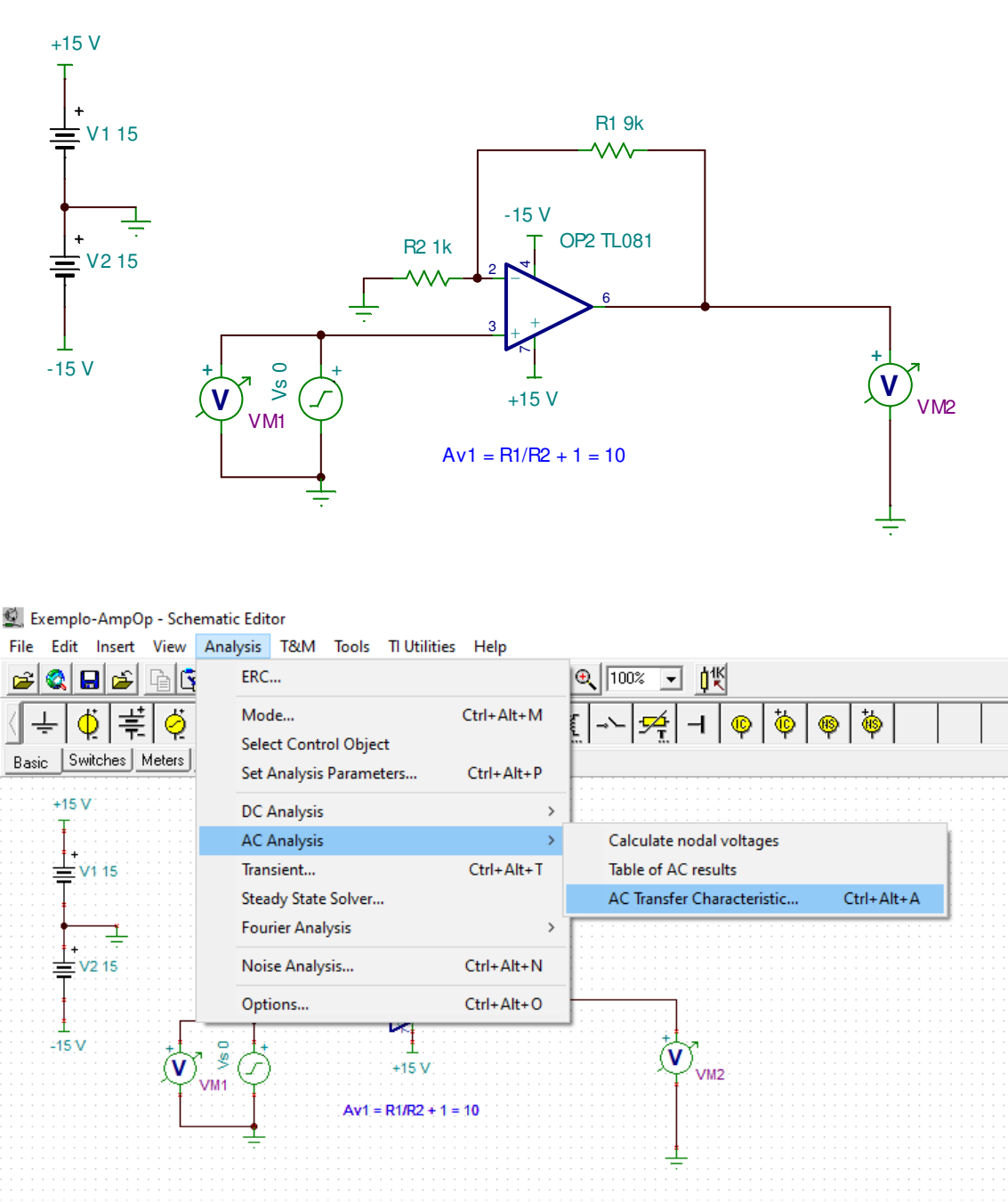
$$Av_T = Av_1 \times Av_2 = (-185,7) \times (-2,95) = 548,3 \text{ V/V}$$

$$Av_T \text{dB} = 20 \log Av_T = 54,8 \text{ dB}$$





Circuito 2: Amplificadores Operacionais - Não Inversores e Inversores de tensão



AC Transfer Characteristic

Start frequency: 1 [Hz]

End frequency: 10MEG [Hz]

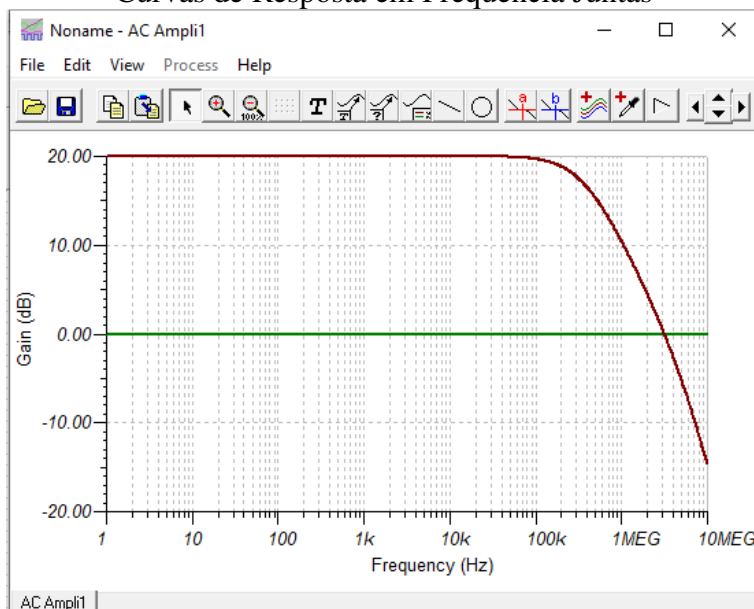
Number of points: 1000

Sweep type: ☐ Linear ☒ Logarithmic

Diagram: ☒ Amplitude ☐ Nyquist ☐ Phase ☐ Group Delay ☐ Amplitude & Phase

OK Cancel Help

Curvas de Resposta em Frequência Juntas



Curvas de Resposta em Frequência Separadas

