

LOM3221 – LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

AULA 7

Prof. Dr. Emerson G. Melo

- ❑ Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT.
- ❑ Experimento

- Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222 na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW} \quad V_{CC} = 12 \text{ V}$$

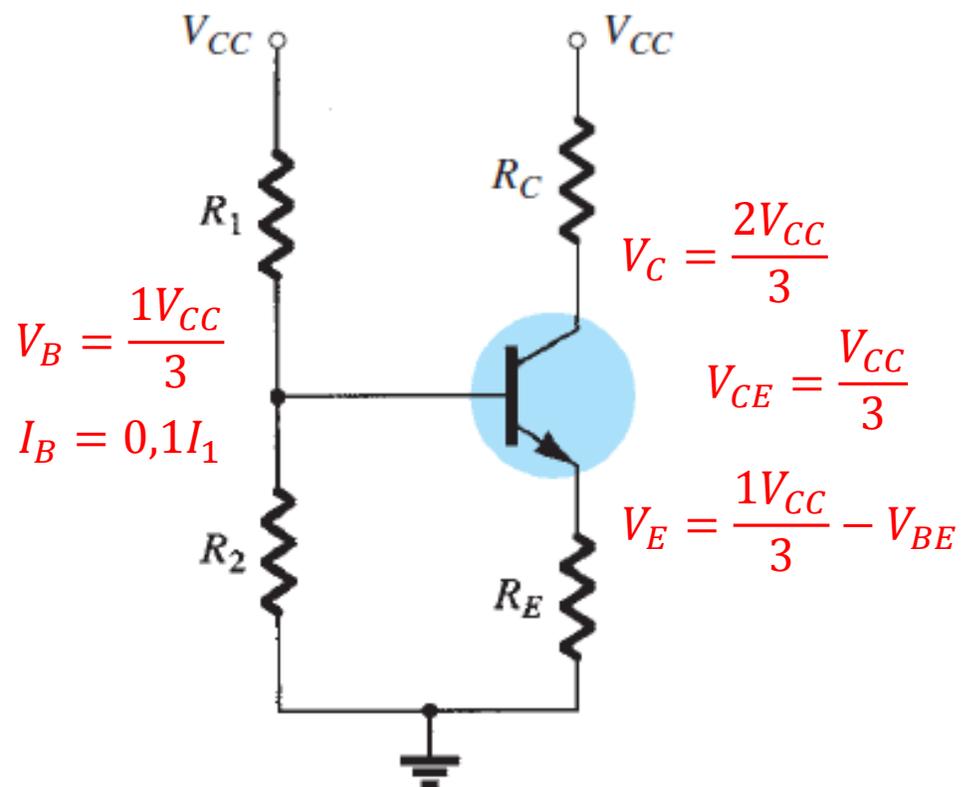
$$A_{v_S} = -150 \quad R_L = 50 \text{ k}\Omega$$

$$f_L = 200 \text{ Hz} \quad R_S = 50 \text{ }\Omega$$

$$f_H = 500 \text{ kHz}$$

- Aplicar as regras de Sedra & Smith para definir o ponto Q.

Regras de Sedra & Smith para definir o ponto Q.



$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{I_E} = \frac{V_B - V_{BE}}{\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_C}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{0,3I_E} = \frac{V_{CC}}{0,3(\beta + 1)I_B}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{0,1I_E} - R_2$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

1 – Obter I_C a partir de P_{max}

$$P_{max} = V_{CC} I_{C_{max}}$$

$$I_{C_{max}} = \frac{P_{max}}{V_{CC}} = \frac{30 \text{ mW}}{12 \text{ V}} = 2,5 \text{ mA}$$

$$I_C = 0,8 I_{C_{max}} = 0,8 \times 2,5 \text{ mA} = 2,0 \text{ mA}$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

2 – Obter R_E , R_1 e R_2 a partir das regras de Sedra & Smith

$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_C}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{0,3(\beta + 1)I_B}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{0,1I_E} - R_2$$

Necessário obter o ganho para $I_C = 2,0 \text{ mA}$ e $V_{CE} = V_{CC}/3 \text{ V!!!}$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

2 – Obter R_E, R_1 e R_2 a partir das regras de Sedra & Smith

Necessário obter o ganho para $I_C = 2,0 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 12/3 = 4 \text{ V!!!}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
h_{fe}^*	Small Signal Current Gain	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $f = 1\text{KHz}$	50		300	
		$I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $f = 1\text{KHz}$	75		375	

A folha de dados não especifica o ganho para a condição desejada.

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

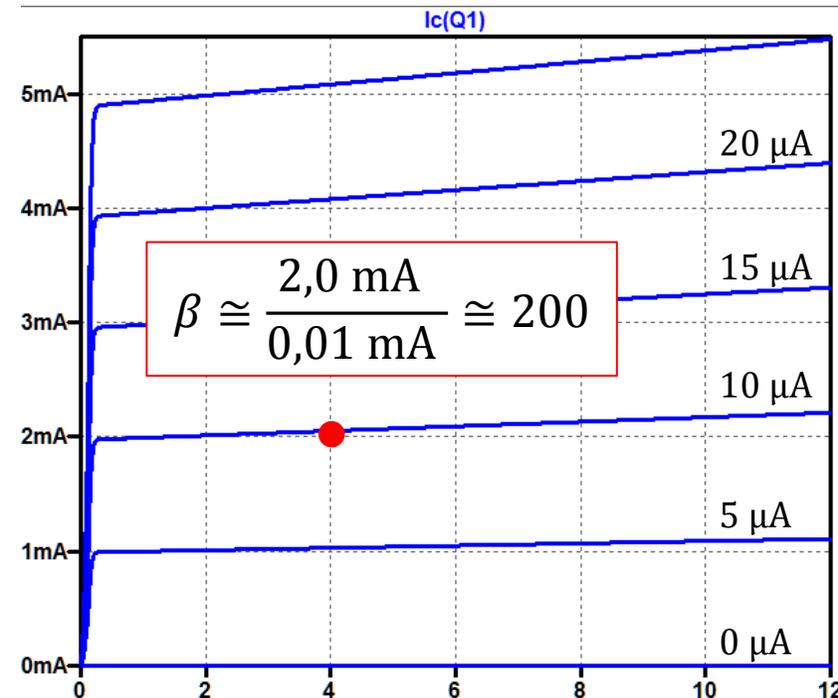
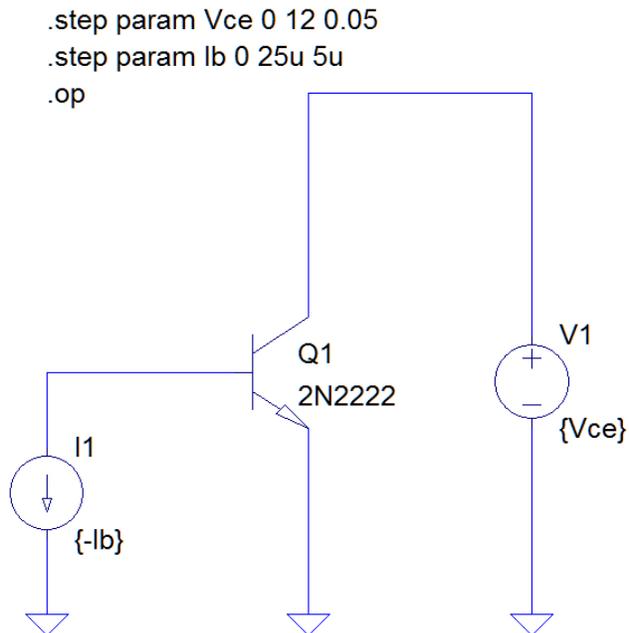
$P_{max} < 30 \text{ mW}$
 $A_{v_S} = -150$
 $f_L = 200 \text{ Hz}$
 $f_H = 500 \text{ kHz}$
 $V_{CC} = 12 \text{ V}$
 $R_L = 50 \text{ k}\Omega$
 $R_S = 50 \Omega$

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

2 – Obter R_E, R_1 e R_2 a partir das regras de Sedra & Smith

Necessário obter o ganho para $I_C = 2,0 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 12/3 = 4 \text{ V}!!!$

É possível obter o ganho experimentalmente.



$$\beta \cong \frac{2,0 \text{ mA}}{0,01 \text{ mA}} \cong 200$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

2 – Obter R_E , R_1 e R_2 a partir das regras de Sedra & Smith

$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_C}$$

$$V_B = \frac{1V_{CC}}{3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ V} \quad R_E = \frac{4 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{\left(\frac{200 + 1}{200}\right) 2,0 \text{ mA}} = 1,641 \text{ k}\Omega$$

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

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{0,3(\beta + 1)I_B}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2,0 \text{ mA}}{200} = 10 \mu\text{A} \quad R_2 = \frac{12 \text{ V}}{0,3(200 + 1)10 \mu\text{A}} = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{0,1I_E} - R_2$$

$$I_E = I_C + I_B = 2,0 \text{ mA} + 10 \mu\text{A} = 2,01 \text{ mA}$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{12 \text{ V}}{0,1 \times 2,01 \text{ mA}} - 19,9 \text{ k}\Omega = 39,8 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} \\ A_{v_S} &= -150 \\ f_L &= 200 \text{ Hz} \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned} \quad \begin{aligned} V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ R_S &= 50 \Omega \end{aligned}$$

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

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

3 – Obter os parâmetros do modelo r_e

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E}$$

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e = \frac{R' \beta r_e}{R' + \beta r_e}$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

3 – Obter os parâmetros do modelo r_e

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{2,01 \text{ mA}} = 12,935 \Omega$$

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R' = \frac{39,8 \text{ k}\Omega \times 19,9 \text{ k}\Omega}{39,8 \text{ k}\Omega + 19,9 \text{ k}\Omega} = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e = \frac{R' \beta r_e}{R' + \beta r_e}$$

$$Z_i = \frac{13,27 \text{ k}\Omega \times 200 \times 12,935 \Omega}{13,27 \text{ k}\Omega + 200 \times 12,935 \Omega} = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$

$$A_{v_S} = -150$$

$$f_L = 200 \text{ Hz}$$

$$f_H = 500 \text{ kHz}$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 50 \Omega$$

3 – Obter os parâmetros do modelo r_e

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
h_{oe}	Output Admittance	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$	5 25		35 200	μS μS

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

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

$$7,2$$

$$53,3$$

$$h_{oe} = 30,25 \mu\text{S}$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{30,25 \mu\text{S}} = 33,06 \text{ k}\Omega$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned}
 P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\
 A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\
 f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\
 f_H &= 500 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

4 – Obter R_C a partir de A_{v_S}

$$A_{v_S} = A_{v_L} \frac{Z_i}{Z_i + R_S}$$

$$A_{v_L} = -\frac{Z_o}{r_e}$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e = \frac{R' \beta r_e}{R' + \beta r_e}$$

$$Z_o = \frac{R_L R_C r_o}{R_L R_C + R_L r_o + R_C r_o}$$

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E}$$

$$A_{v_S} = -\frac{1}{r_e} \frac{R_L R_C r_o}{R_L R_C + R_L r_o + R_C r_o} \frac{Z_i}{Z_i + R_S}$$

$$R_C = -\frac{r_e A_{v_S} R_L r_o (Z_i + R_S)}{r_e A_{v_S} (Z_i r_o + Z_i R_L + R_S R_L + R_S r_o) + Z_i R_L r_o}$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

4 – Obter R_C a partir de A_{v_S}

$$R_C = - \frac{r_e A_{v_S} R_L r_o (Z_i + R_S)}{r_e A_{v_S} (Z_i r_o + Z_i R_L + R_S R_L + R_S r_o) + Z_i R_L r_o}$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

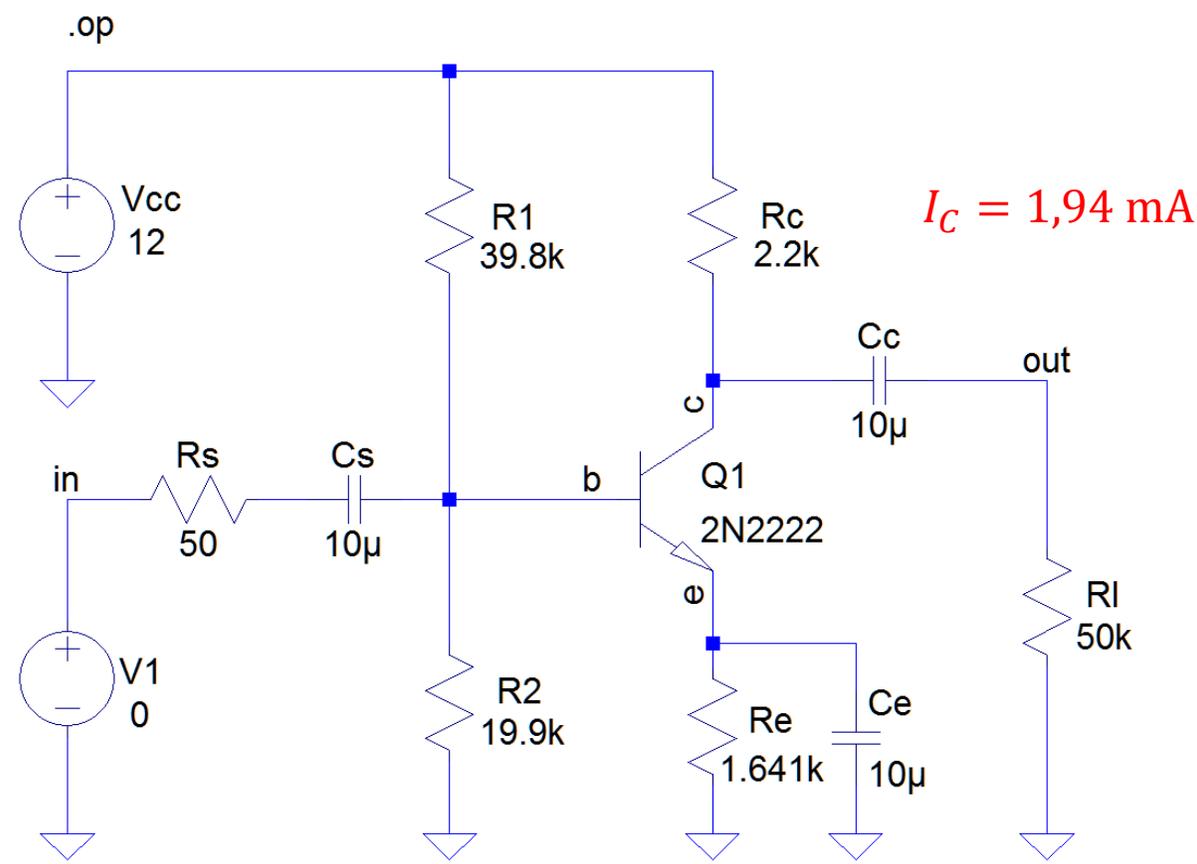
Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$P_{max} < 30 \text{ mW}$
 $A_{v_S} = -150$
 $f_L = 200 \text{ Hz}$
 $f_H = 500 \text{ kHz}$
 $V_{CC} = 12 \text{ V}$
 $R_L = 50 \text{ k}\Omega$
 $R_S = 50 \Omega$

$I_C = 2,0 \text{ mA}$
 $\beta = h_{fe} = 200$
 $I_B = 10 \mu\text{A}$
 $I_E = 2,01 \text{ mA}$
 $R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$
 $r_e = 12,935 \Omega$
 $R' = 13,27 \text{ k}\Omega$
 $Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$
 $r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$
 $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$

5 – Conferir I_C



--- Operating Point ---

V(in) :	0
V(n002) :	1.93758e-15
V(b) :	3.87517
V(n001) :	12
V(c) :	7.7266
V(e) :	3.20301
V(out) :	3.8633e-12
Ic(Q1) :	0.00194245
Ib(Q1) :	9.40937e-06
Ie(Q1) :	-0.00195186
I(Cc) :	3.20301e-17
I(Cs) :	-7.7266e-17
I(R1) :	3.87517e-17
I(Re) :	7.7266e-17
I(Rc) :	0.00195186
I(RL) :	0.00194245
I(R2) :	0.000204141
I(Rs) :	0.000194732
I(Vcc) :	3.87517e-17
I(V1) :	-0.00214659

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$
$$A_{v_S} = -150$$
$$f_L = 200 \text{ Hz}$$
$$f_H = 500 \text{ kHz}$$
$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$
$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$
$$R_S = 50 \Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

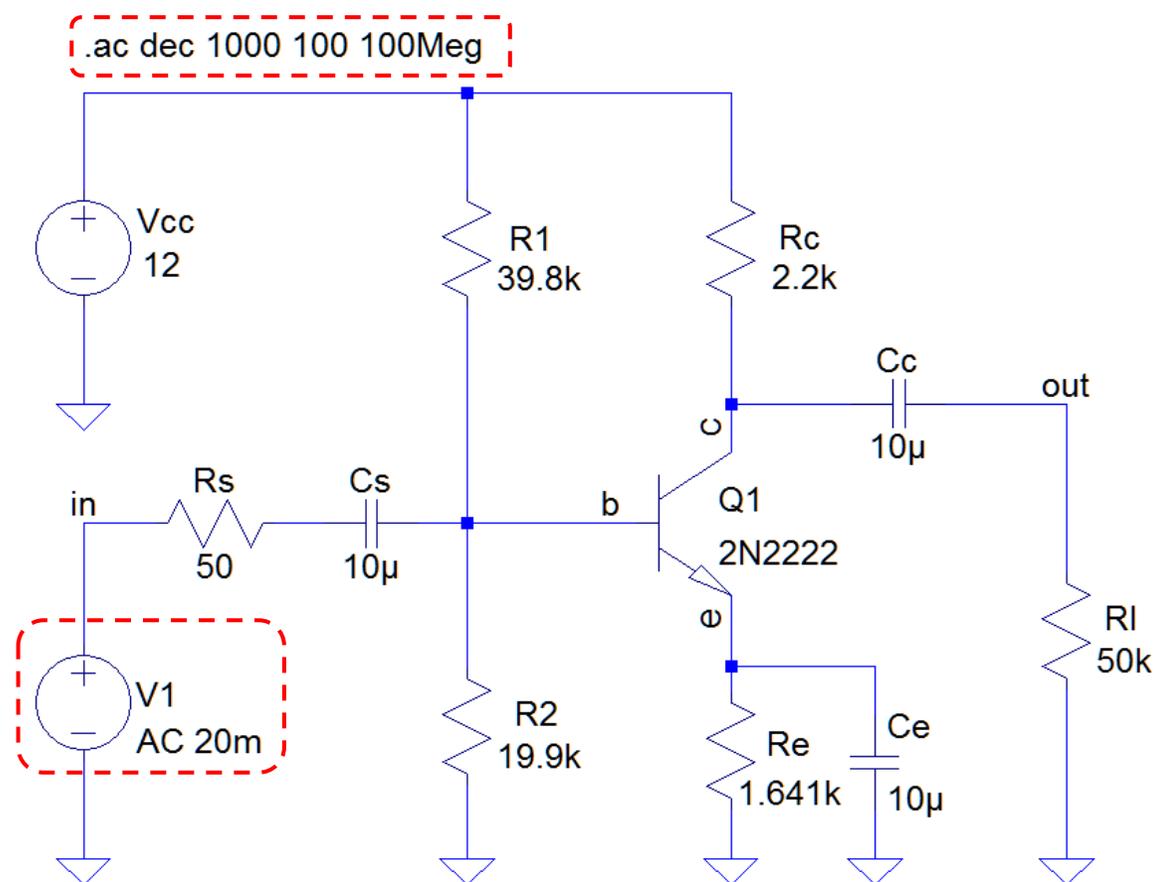
$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

6 – Conferir A_{v_S}



Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$
$$A_{v_S} = -150$$
$$f_L = 200 \text{ Hz}$$
$$f_H = 500 \text{ kHz}$$
$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$
$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$
$$R_S = 50 \Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

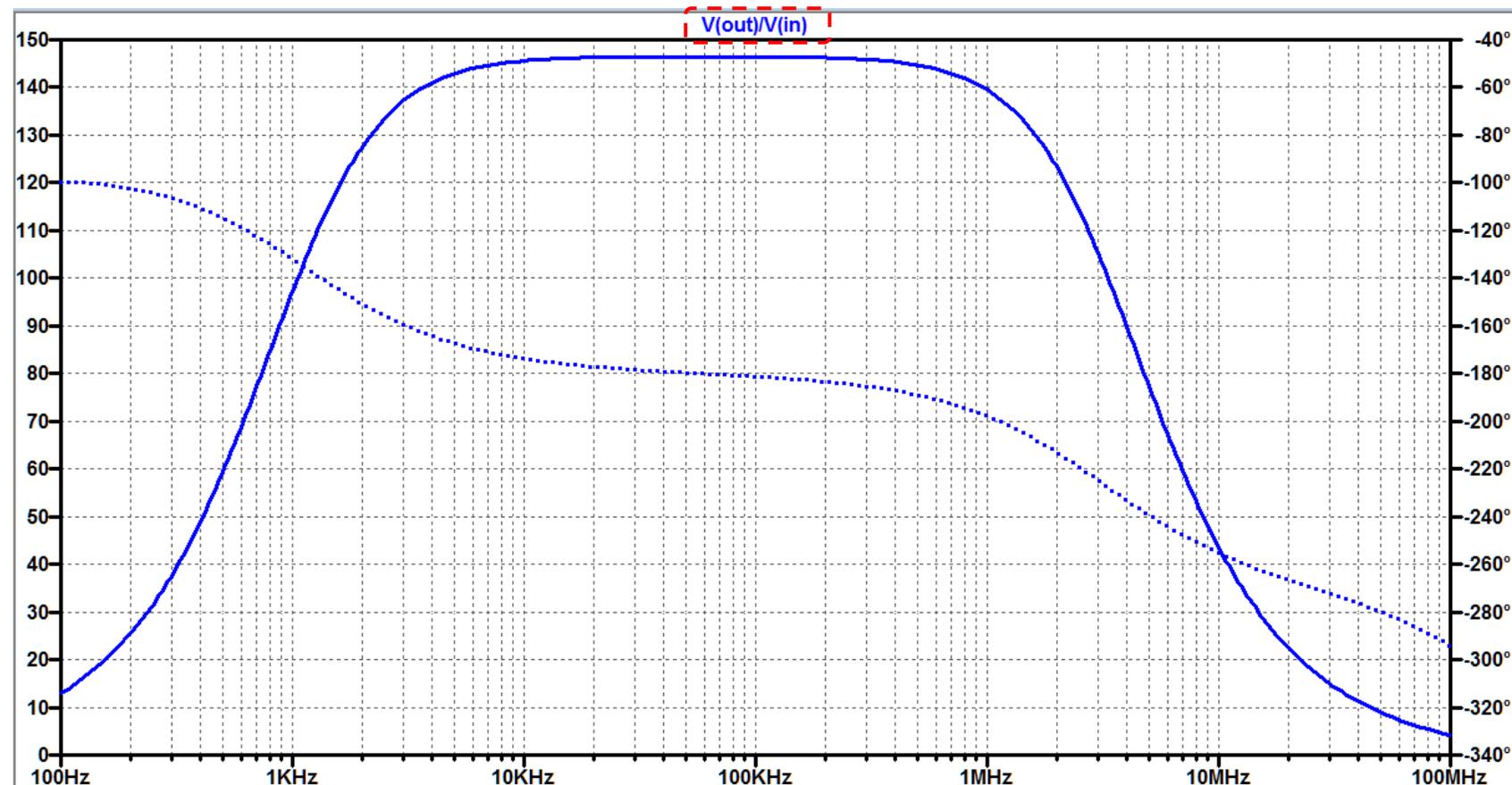
$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

6 – Conferir A_{v_S}

$$A'_{v_S} = -146,5$$



Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} \\ A_{v_S} &= -150 \\ f_L &= 200 \text{ Hz} \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned} \quad \begin{aligned} V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ R_S &= 50 \Omega \end{aligned}$$

7 – Reajustar A_{v_S} através de R_E

$$R_E = R'_E \frac{A'_{v_S}}{A_{v_S}}$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega \frac{-146,5}{-150} = 1,603 \text{ k}\Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$

$$A_{v_S} = -150$$

$$f_L = 200 \text{ Hz}$$

$$f_H = 500 \text{ kHz}$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 50 \Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

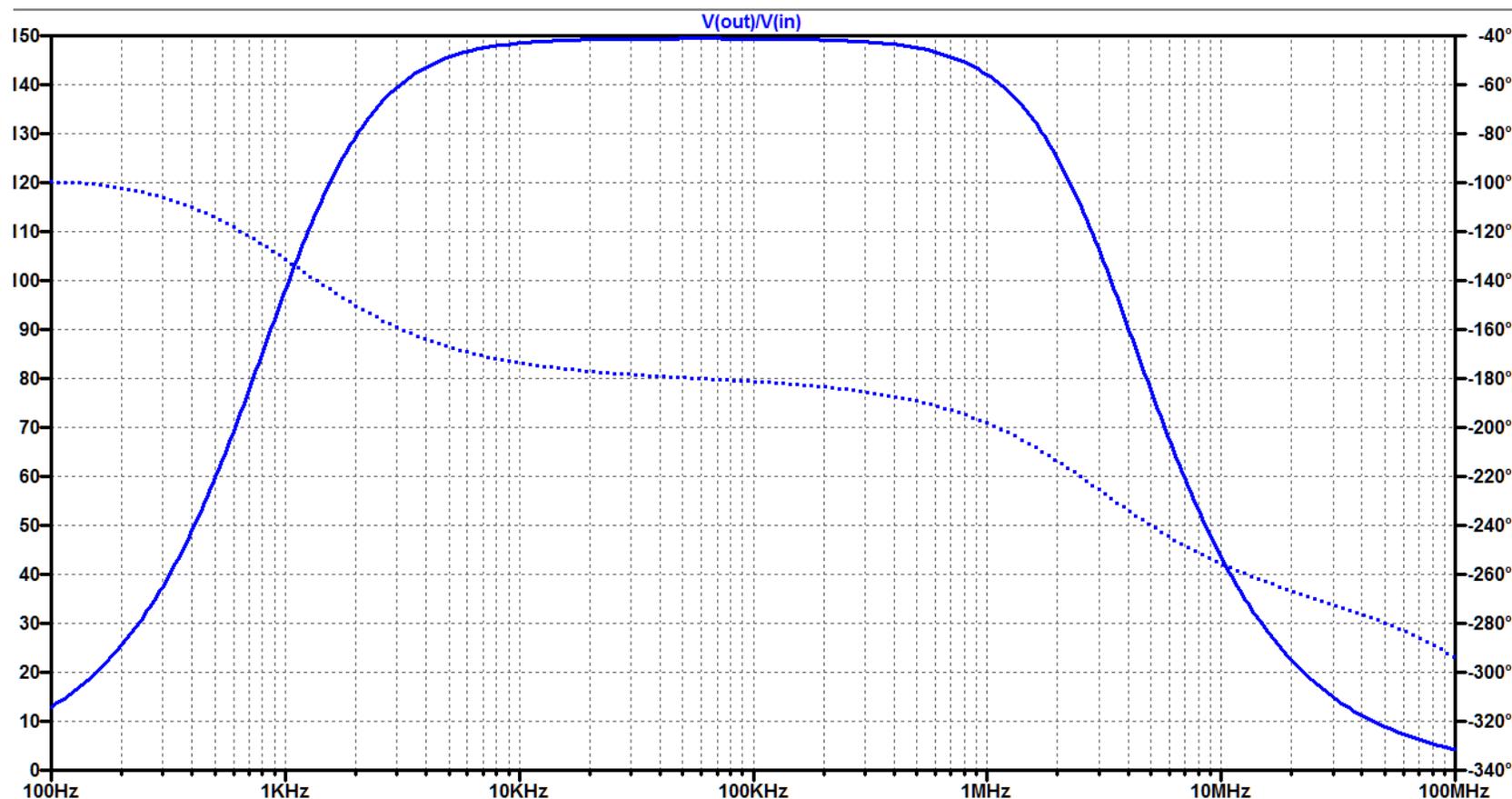
$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

8 – Conferir A_{v_S}

$$A_{v_S} = -149,5$$



Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} \\ A_{v_S} &= -150 \\ f_L &= 200 \text{ Hz} \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned} \quad \begin{aligned} V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ R_S &= 50 \Omega \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

9 – Calcular C_S , C_C e C_E

$$f_{LS} = \frac{1}{2\pi(Z_i + R_S)C_S}$$

$$C_S = \frac{1}{2\pi(Z_i + R_S)f_L}$$

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_C \parallel r_o + R_L)C_C}$$

$$C_C = \frac{1}{2\pi(R_C \parallel r_o + R_L)f_L}$$

$$f_{LE} = \frac{1}{2\pi R_e C_E}$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_e f_L}$$

$$R_e = R_E \parallel \left(\frac{R_1 \parallel R_2}{\beta} + r_e \right)$$

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

9 – Calcular C_S , C_C e C_E

$$C_S = \frac{1}{2\pi(Z_i + R_S)f_L}$$

$$C_S = \frac{1}{2\pi(2,165 \text{ k}\Omega + 50 \Omega)200} = 360 \text{ nF}$$

$$C_S = 10 \mu\text{F}$$

$$C_C = \frac{1}{2\pi(R_C \parallel r_o + R_L)f_L}$$

$$C_C = 15,3 \text{ nF}$$

$$C_C = 10 \mu\text{F}$$

$$R_e = R_E \parallel \left(\frac{R_S \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta} + r_e \right) \quad R_e = 13,07 \Omega$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi R_e f_L}$$

$$C_E = 60,8 \mu\text{F}$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$P_{max} < 30 \text{ mW}$
 $A_{vS} = -150$
 $f_L = 200 \text{ Hz}$
 $f_H = 500 \text{ kHz}$
 $V_{CC} = 12 \text{ V}$
 $R_L = 50 \text{ k}\Omega$
 $R_S = 50 \Omega$

10 – Calcular C_u

$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i}$$

$$f_{Ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} C_o}$$

$$R_{Thi} = R_S \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$R_{Tho} = R_C \parallel R_L \parallel r_o$$

$$C_i = C_{wi} + C_{be} + C_{Mi} = C_{be} + (1 - A_{vL}) C_{bc}$$

$$C_o = C_{wo} + C_{ce} + C_{Mo} = \left(1 - \frac{1}{A_{vL}}\right) C_{bc}$$

$$f_{\beta} = \frac{1}{2\pi \beta r_e (C_{be} + C_{bc})}$$

$I_C = 2,0 \text{ mA}$
 $\beta = h_{fe} = 200$
 $I_B = 10 \mu\text{A}$
 $I_E = 2,01 \text{ mA}$
 $R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$
 $r_e = 12,935 \Omega$
 $R' = 13,27 \text{ k}\Omega$
 $Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$
 $r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$
 $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$

C_{EBO}	Emitter-Base Capacitance	$I_C = 0$	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}$	$f = 100 \text{ KHz}$			25	pF
C_{CBO}	Collector-Base Capacitance	$I_E = 0$	$V_{CB} = 10 \text{ V}$	$f = 100 \text{ KHz}$			8	pF

$$C_{bc} = 8 \text{ pF} \quad C_{be} = 25 \text{ pF}$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$

$$A_{v_S} = -150$$

$$f_L = 200 \text{ Hz}$$

$$f_H = 500 \text{ kHz}$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 50 \text{ }\Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \text{ }\Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \text{ }\mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

10 – Calcular C_u

$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i}$$

$$C_{bc} = \frac{1 - 2\pi R_{Thi} C_{be}}{2\pi R_{Thi} (1 - A_v) f_H}$$

$$f_{Ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} C_o}$$

$$C_{bc} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} \left(1 - \frac{1}{A_v}\right) f_H}$$

$$R_{Thi} = R_S \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$C_i = C_{Wi} + C_{be} + C_{Mi} = C_{be} + (1 - A_{vL}) C_{bc}$$

$$R_{Tho} = R_C \parallel R_L \parallel r_o$$

$$C_o = C_{Wo} + C_{ce} + C_{Mo} = \left(1 - \frac{1}{A_{vL}}\right) C_{bc}$$

$$f_{\beta} = \frac{1}{2\pi \beta r_e (C_{be} + C_{bc})}$$

$$C_{bc} = \frac{1 - 2\pi \beta r_e C_{be}}{2\pi \beta r_e f_H}$$

$$C_{bc} = 8 \text{ pF} \quad C_{be} = 25 \text{ pF}$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

10 – Calcular C_u

$$C_{bc-hi} = \frac{1 - 2\pi R_{Thi} C_{be}}{2\pi R_{Thi} (1 - A_v) f_H} = 159 \text{ pF}$$

$$R_{Thi} = R_S \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$C_i = C_{be} + (1 - A_{vL}) C_{bc}$$

$$C_{bc-ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} \left(1 - \frac{1}{A_v}\right) f_H} = 40 \text{ pF}$$

$$R_{Tho} = R_C \parallel R_L \parallel r_o$$

$$C_o = \left(1 - \frac{1}{A_{vL}}\right) C_{bc}$$

$$C_{bc-\beta} = \frac{1 - 2\pi\beta r_e C_{be}}{2\pi\beta r_e f_H} = 123 \text{ pF}$$

$$C_u = C_{bc-ho} - C_{bc} = 40 \text{ pF} - 8 \text{ pF} = 32 \text{ pF}$$

Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$P_{max} < 30 \text{ mW}$$
$$A_{v_S} = -150$$
$$f_L = 200 \text{ Hz}$$
$$f_H = 500 \text{ kHz}$$
$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$
$$R_L = 50 \text{ k}\Omega$$
$$R_S = 50 \Omega$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

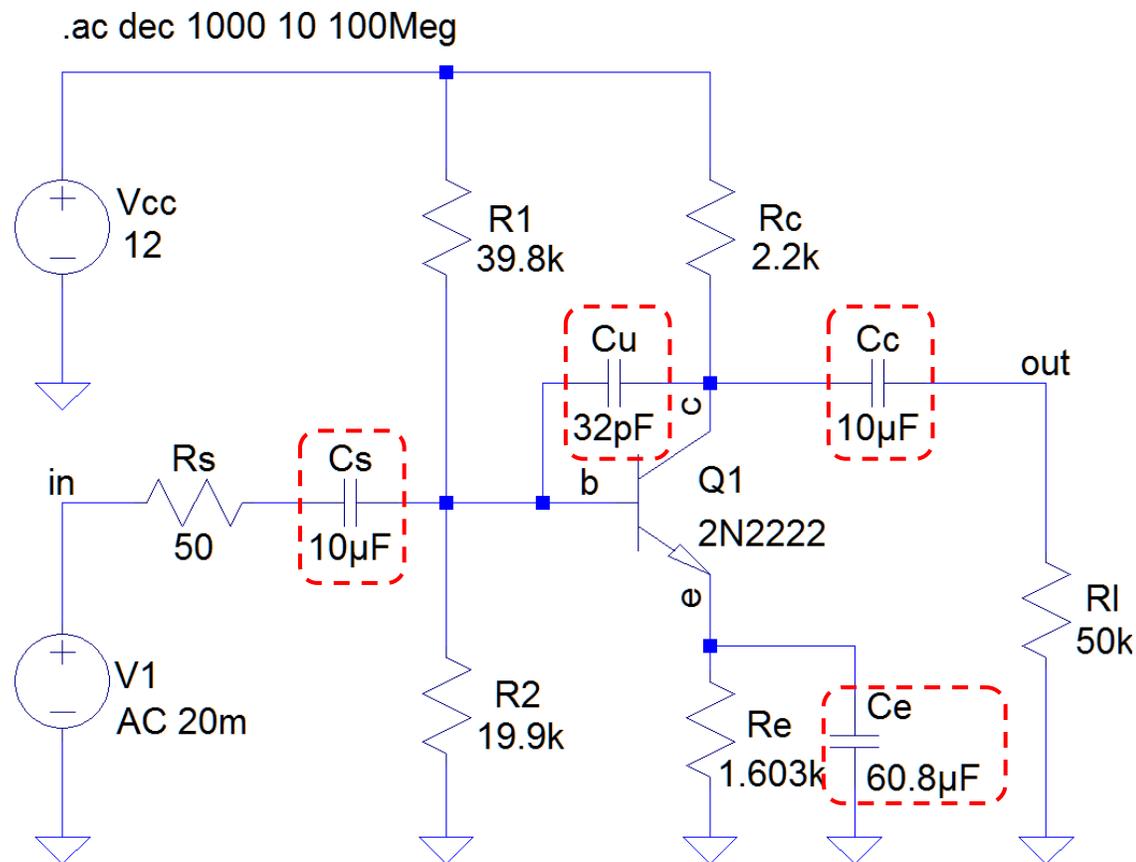
$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

11 – Conferir f_L e f_H



Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{aligned} P_{max} &< 30 \text{ mW} & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ A_{v_S} &= -150 & R_L &= 50 \text{ k}\Omega \\ f_L &= 200 \text{ Hz} & R_S &= 50 \Omega \\ f_H &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

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

$$r_e = 12,935 \Omega$$

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$R' = 13,27 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$Z_i = 2,165 \text{ k}\Omega$$

$$I_E = 2,01 \text{ mA}$$

$$r_o = 33,06 \text{ k}\Omega$$

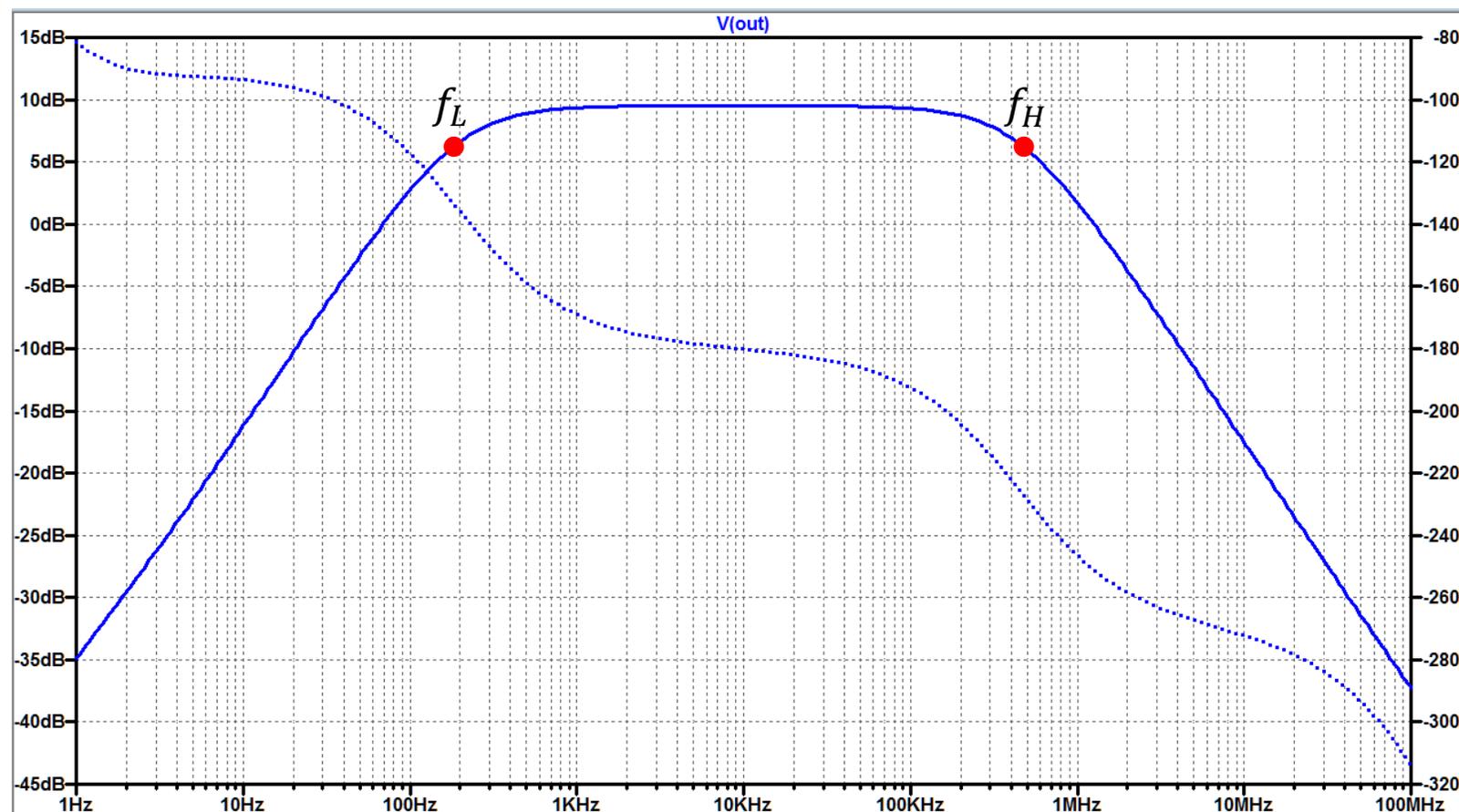
$$R_E = 1,641 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 39,8 \text{ k}\Omega$$

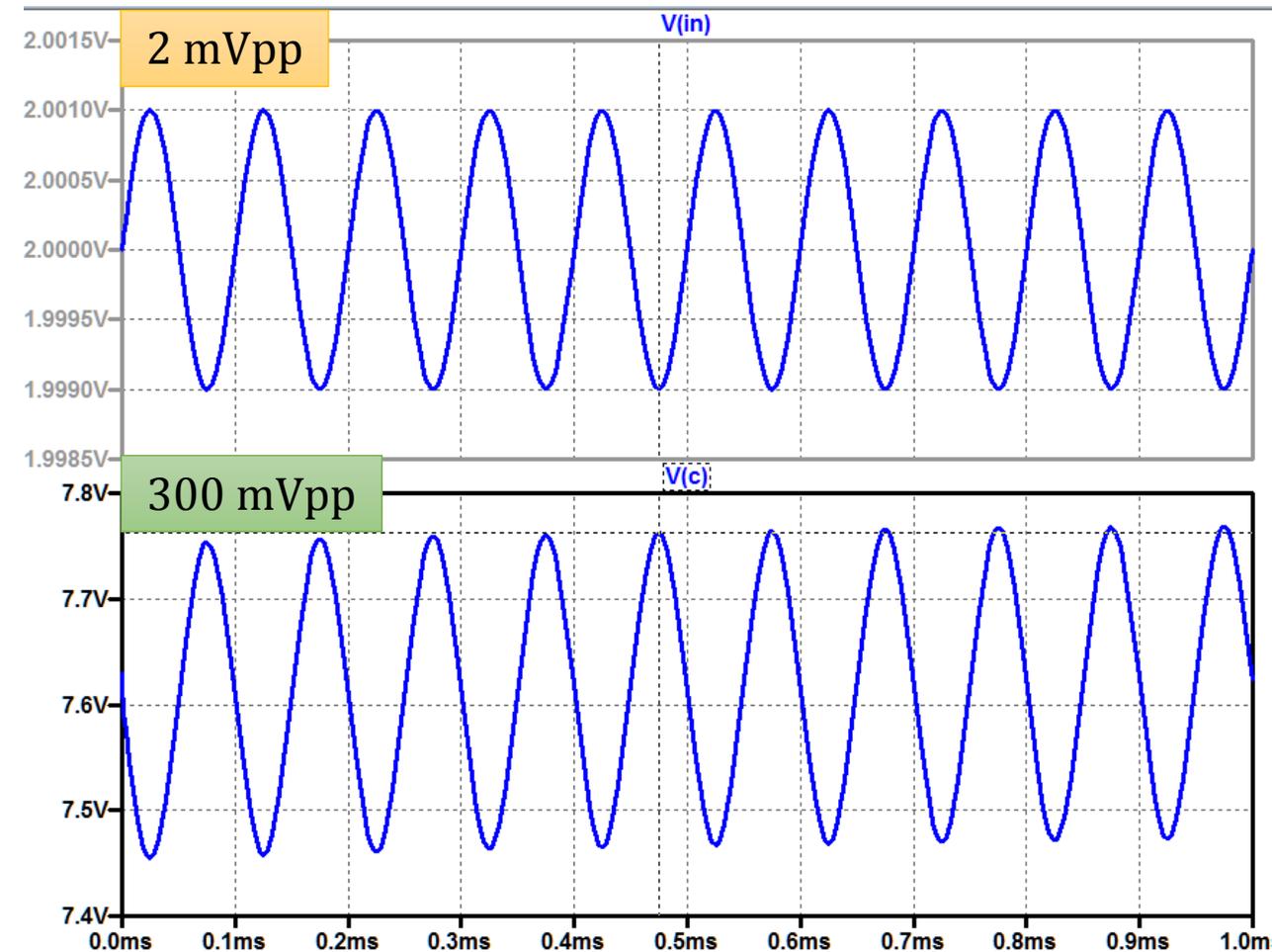
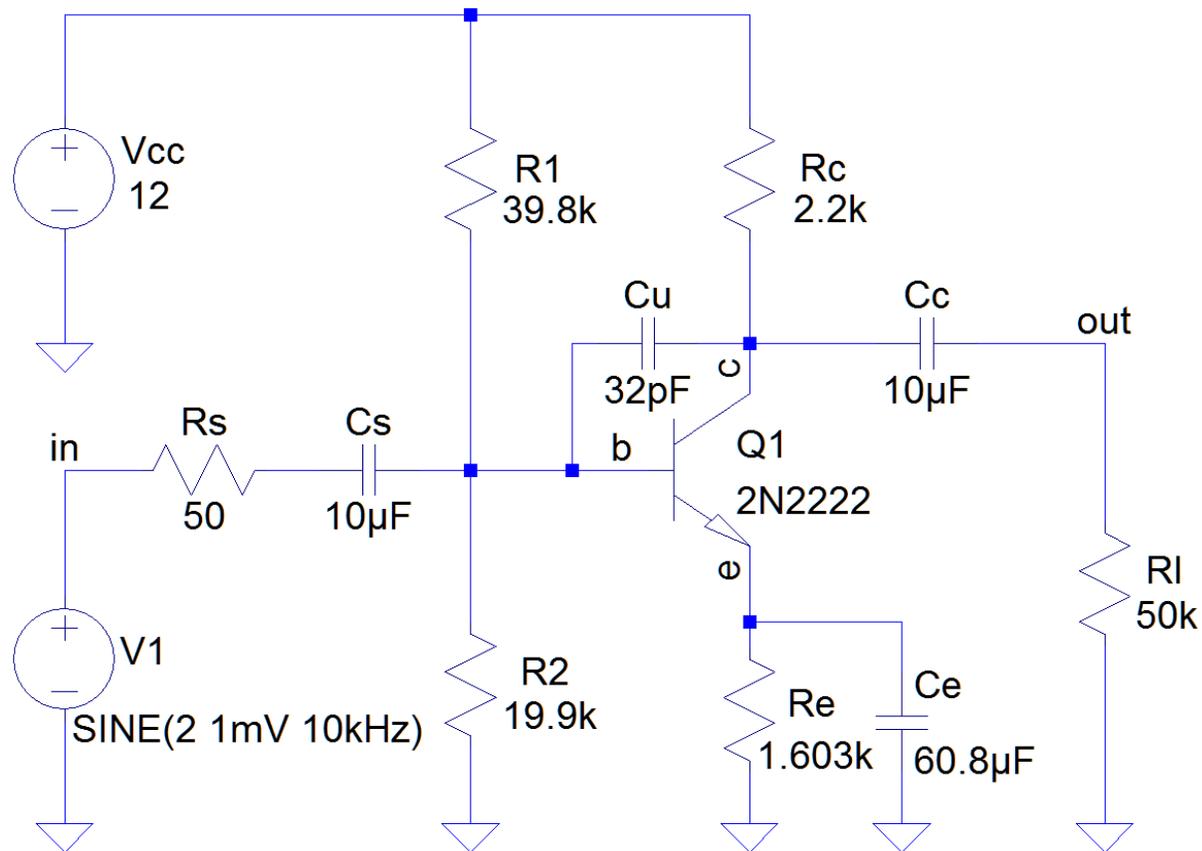
11 – Conferir f_L e f_H



Projeto de Amplificador de Pequenos Sinais com BJT

Objetivo: Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

.tran 0 1ms 0 10us



Experimento 1: Amplificador Não Inversor

❑ **Objetivo:** Projetar um amplificador de pequenos sinais.

❑ A) Projetar um amplificador de pequenos sinais utilizando o transistor 2N2222A na configuração emissor-comum com polarização por divisor de tensão para atender aos seguintes requisitos:

$$\begin{array}{ll} P_{max} < 40 \text{ mW} & V_{CC} = 15 \text{ V} \\ A_{v_S} = -130 & R_L = 40 \text{ k}\Omega \\ f_L = 200 \text{ Hz} & R_S = 50 \Omega \\ f_H = 500 \text{ kHz} & \end{array}$$

❑ B) Construir o circuito no LTspice e verificar se as condições foram atendidas.

- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”, 6 ed., Rio de Janeiro, LTC (1998)
- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Electronic Devices and Circuit Theory”, 11 ed., Boston, Pearson (2013).