

# Resposta em Frequência de um Amplificador TBJ

## Relatório 01 de ELT 311

Wérikson Frederiko de Oliveira Alves - 96708  
Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil  
e-mails: werikson.alves@ufv.br

### Introdução:

Este relatório contém uma análise teórica de um circuito com transistor bipolar de junção (TBJ), seguidos de dados coletados a partir da simulação realizada pelo Software **Qucs**, tendo por objetivo verificar a faixa de frequência de amplificação de um transistor bipolar polarizado por divisor de tensão.

### Materiais Utilizados:

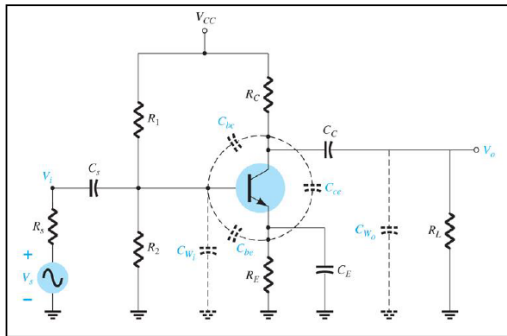


Figura 1: Circuito trabalhado.

- Resistores: 40kΩ, 10kΩ, 4kΩ, 2,2kΩ, 2kΩ e 1kΩ;
- Capacitores: 1μ, 10μ, 20μ, 1p, 4p, 6p, 8p e 36p F;
- TBJ 2N222A;
- Fonte de Tensão CC: 20 V;
- Fonte de Tensão CA: 1m V;
- Multímetro.

### Parte Teórica:

- 1) Calcular o ponto quiescente do circuito  $I_{CQ}$  e  $V_{CEQ}$ .  
Considerando  $\beta = 200$ , temos:

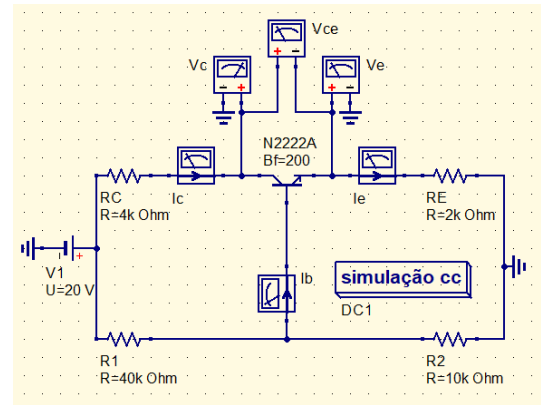


Figura 2: Circuito CC.

Inicialmente aplicando a equação de teste e satisfeita a condição podemos resolver por aproximação.

$$\beta R_E > 10 R_2 \rightarrow 200k >> 100k$$

$$E_{th} = V_B = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3,3 V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{E_{th} - 0,7}{2k} = 1,65 mA$$

$$R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 8 k\Omega$$

$$I_C \approx I_E = I_{CQ} = 1,65 mA \quad (1)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 8,25 \mu A$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 13,40 V$$

$$V_{CEQ} = V_{CE} = V_C - V_E = 10,10 \text{ V} \quad (2)$$

2) Calcular os parâmetros AC para o circuito. ( $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_V$  e  $A_{VS}$ ).

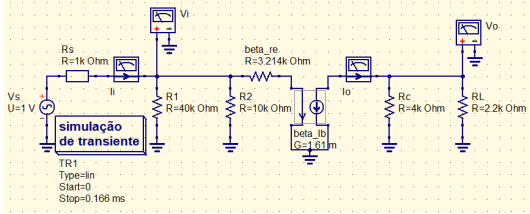


Figura 3: Circuito teórico 2.

•  $Z_I$

$$r_e = \frac{26m}{I_E} = 15,76 \Omega$$

$$Z_b = \frac{I_b \beta r_e}{I_b} = \beta r_e = 3,15 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_{th} // \beta r_e = 2,26 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

•  $Z_O$

$$Z_o = R_C // R_L = 1,42 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

•  $A_V$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C // R_L}{r_e} \approx -90 \quad (5)$$

•  $A_{VS}$

$$V_I = \frac{Z_I}{Z_I + R_S} V_S$$

$$A_{VS} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_i} \frac{V_i}{V_S} = \frac{Z_I}{Z_I + R_S} A_V = -62,44 \quad (6)$$

3) Determinar a frequência de corte inferior e superior para o circuito utilizando os parâmetros da prática ( $C_{be} = 36 \text{ pF}$ ,  $C_{bc} = 4 \text{ pF}$ ,  $C_{ce} = 1 \text{ pF}$ ,  $C_{wi} = 6 \text{ pF}$  e  $C_{wo} = 8 \text{ pF}$ ).

Para baixas frequências, temos:

• Para  $C_S$ :

$$f_{LS} = \frac{1}{2\pi(R_S + Z_i)C_S} = 4,88 \text{ Hz} \quad (7)$$

• Para  $C_C$ :

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_C + R_L)C_C} = 25,67 \text{ Hz} \quad (8)$$

• Para  $C_E$ :

$$R_e = R_E // \left( \frac{R_1 // R_2 // R_S}{\beta} + r_e \right) = 20 \Omega$$

$$f_{LE} = \frac{1}{2\pi R_e C_E} = 397,89 \text{ Hz} \quad (9)$$

A frequência de corte inferior é dada pela maior frequência, ou seja,  $f_{LE} \approx 398 \text{ Hz}$ .

Para alta frequências, temos:

• Para  $f_{Hi}$ :

$$R_{Thi} = R_S // R_1 // R_2 // Z_i = 637,97 \Omega$$

$$C_i = C_{wi} + C_{be} + (1 - A_V)C_{bc} = 406 \text{ pF}$$

$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i} = 614,46 \text{ kHz} \quad (10)$$

• Para  $f_{Ho}$ :

$$R_{Tho} = R_C // R_L = 1,42 \text{ k}\Omega$$

$$C_o = C_{wo} + C_{ce} + (1 - 1/A_V)C_{bc} = 13.04 \text{ pF}$$

$$f_{Ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} C_o} = 8.60 \text{ MHz} \quad (11)$$

A frequência de corte superior é dada pela menor frequência, ou seja,  $f_{Hi} \approx 614,5 \text{ kHz}$ .

4) Traçar a curva de Bode e suas assíntotas para  $f \times A_v/A_{v_{med}}$  (dB).

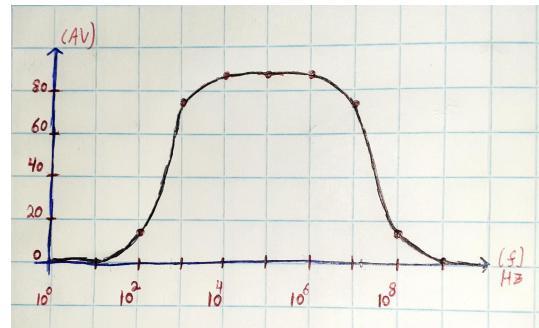


Figura 4: Curva de Bode.

5) Marcar sobre a curva de resposta em frequência os pontos de frequência de corte inferior e superior.

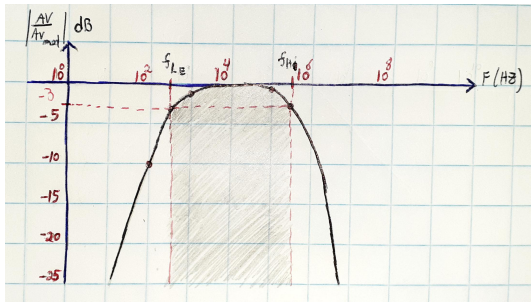


Figura 5: Banda de Passagem.

6) Qual a largura da faixa de passagem do amplificador?

A largura da banda é aproximadamente:  $BW = 614,5k - 400 \approx 614,1 kHz$ .

7) O que se entende por Efeito Miller?

Por meio dos cálculos acima, podemos perceber que se trata de um amplificador inversor, ou seja,  $A_V$  é negativo. Com isto, para esse modelo de circuito, o Efeito Miller resume-se na capacitância intereletrodica que modifica a capacitância efetiva entre os terminais de entrada e saída do dispositivo ativo variando em eficácia segundo a frequência, ou seja, a sensibilidade perante ao ganho do amplificador e a capacitância parasita entre os terminais. Esta condição contribui para a linearidade.

### Parte Prática:

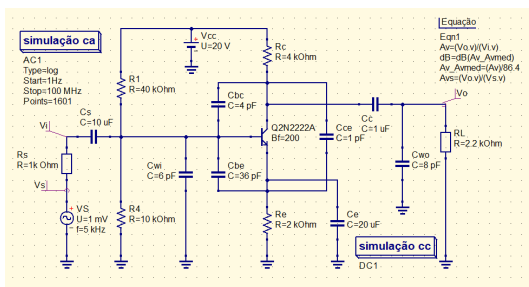


Figura 6: Circuito simulado completo

1) Preencher a Tabela 1.

Tabela 1: Componente CC.

$V_{CE}$ (V)	$V_{RE}$ (V)	$V_{R2}$ (V)	$I_C$ (mA)
10,1	3,31	3,93	1,65

Em seguida, aplicar ao circuito um sinal senoidal  $V_S = 1$  mV pico e  $F = 5$  kHz e preencher a tabela 2 e a Tabela 3.

**OBS.: As tabelas se encontram no anexo.**

2) Traçar a curva de Bode e suas assíntotas para  $f \times \frac{A_V}{A_{V_{med}}} dB$ .

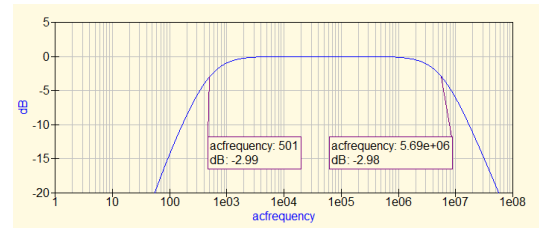


Figura 7: Curva de Bode simulada.

3) Marcar sobre a curva de resposta em frequência os pontos de frequência de corte inferior e superior.

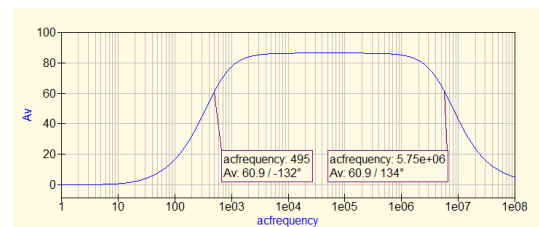


Figura 8: Frequências de corte inferior e superior simuladas.

4) Verificar a redução de  $-3$  dB no ganho.

Conforme o gráfico da figura 7, podemos perceber que as frequências na qual ocorrem o valor aproximado de  $-3$  dB são próximas das frequências de corte encontradas na parte teórica. Esse valor corresponde a quando o sinal atinge 0,707 do valor máximo.

5) Qual a largura da faixa de passagem do amplificador experimentalmente?

A largura da faixa de passagem do amplificador experimentalmente é aproximadamente:

$$B = 5,7M - 500 \approx 5,69 MHz$$

6) Quais são as principais capacitâncias que limitam a resposta do amplificador em alta e baixa frequência?

Em baixa frequência as principais capacitâncias que limitam a resposta do amplificador são as capacitâncias externas ( $C_C, C_{SE}, C_E$ ). E em altas frequência as principais capacitâncias que limitam a res-

posta do amplificador são as capacitâncias internas ( $C_{bc}, C_{be}$  e  $C_{ce}$ ).

### Conclusão

Portanto, através desta simulação foi observado a influência da capacitância a medida em que a frequência é variada, para altos e baixos valores. Além disso, pôde ser observado os ganhos para o circuito utilizado e assim obter, ao final, as frequências de corte, consequentemente a faixa de passagem, entretanto, o valor da faixa experimental ficou fora de escala em relação a faixa teórica.

### Referências

- [1] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*, vol. 6. Prentice-Hall do Brasil, 1984.

## Anexo:

Tabela 2: Parâmetros do circuito amplificador (Alta frequência).

F (Hz)	$V_S(mV)$	$V_o(mV)$	$A_{VS}$	$A_V/A_{med}$	$A_V/A_{med}dB$
5 k	1	59,6	59,6	0,995	- 0,04100
10 k	1	59,7	59,7	0,999	- 0,00909
50 k	1	58,2	58,2	1,000	0,000911
100 k	1	54,3	54,3	1,000	0,00024
200 k	1	44,1	44,1	1,000	- 0,00363
300 k	1	35,2	35,2	0,999	- 0,0101
400 k	1	28,6	28,6	0,998	- 0,0195
500 k	1	23,8	23,8	0,996	- 0,0315
600 k	1	20,4	20,4	0,995	- 0,0457
650 k	1	19,0	19,0	0,994	- 0,0539
700 k	1	17,8	17,8	0,993	- 0,0628
750 k	1	16,7	16,7	0,992	- 0,0722
800 k	1	15,7	15,7	0,991	- 0,0822
850 k	1	14,8	14,8	0,989	- 0,0933
900 k	1	14,0	14,0	0,988	- 0,105
950 k	1	13,4	13,4	0,987	- 0,117
1 M	1	12,7	12,7	0,985	- 0,129
2 M	1	6,48	6,48	0,944	- 0,496
5 M	1	2,58	2,58	0,753	- 2,47
10 M	1	1,28	1,28	0,497	- 6,07
20 M	1	0,612	0,612	0,276	- 11,2

Tabela 3: Parâmetros do circuito amplificador (Baixa frequência).

F (Hz)	$V_S(mV)$	$V_o(mV)$	$A_{VS}$	$A_V/A_{med}$	$A_V/A_{med}dB$
1 k	1	55,7	55,7	0,895	- 0,96
800	1	53,8	53,8	0,849	- 1,42
700	1	52,3	52,3	0,815	- 1,78
600	1	50,2	50,2	0,770	- 2,26
500	1	47,2	47,2	0,709	- 2,99
450	1	45,2	45,2	0,670	- 3,49
400	1	42,8	42,8	0,624	- 4,10
350	1	40,0	40,0	0,575	- 4,81
300	1	36,4	36,4	0,513	- 5,80
250	1	32,4	32,4	0,449	- 6,96
200	1	27,2	27,2	0,370	- 8,65
150	1	21,2	21,2	0,284	- 10,9
100	1	14,5	14,5	0,191	- 14,4
80	1	11,5	11,5	0,151	- 16,4
70	1	10,0	10,0	0,131	- 17,7
50	1	6,85	6,85	0,0895	- 21,0
30	1	3,51	3,51	0,0458	- 26,8
10	1	0,594	0,594	0,00771	- 42,3