

# O TRANSISTOR BIPOLAR NA AMPLIFICAÇÃO DE PEQUENOS SINAIS-CONFIGURAÇÃO SEGUIDOR DE EMISSOR

## Relatório 09 de ELT 315

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 capacidade de amplificação de um estágio em **seguidor de emissor** e compreender a utilização do teorema da superposição para análise de um amplificador transistorizado.

### Materiais Utilizados:

- 01 Resistor de 100 k $\Omega$ ;
- 02 Resistor de 560  $\Omega$ ;
- 02 Capacitores de 1  $\mu$ F;
- 01 Resistor de 10 k $\Omega$ ;
- 01 Resistor de 1 k $\Omega$ ;
- 01 transistor BC 547.

### Parte Teórica:

#### MEDIÇÃO DO GANHO DE CORRENTE E CÁLCULOS

Seja o circuito da Figura 1.

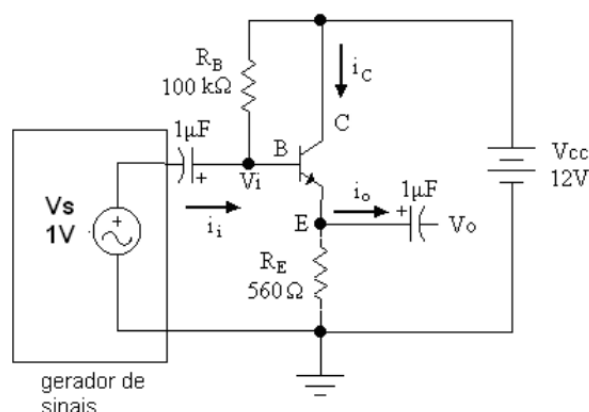


Figura 1: Circuito teórico.

- a) Com o valor obtido de  $\beta$  ( $h_{fe}$ ) retirado do datasheet, calcular  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_{CE}$  e  $V_{BE}$  e preencher as demais colunas da tabela 1.

R: Aplicando LKT na malha base- emissor:  $V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_B \cdot \beta R_E = 0$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} \approx 42,97 \mu A \quad (1)$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 12,46 mA \quad (2)$$

$$I_E = I_B + I_C = 12,50 mA \quad (3)$$

$$V_E = I_E R_E = 7V$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 7,7V \quad (4)$$

$$V_C = V_{CC} = 12V \quad (5)$$

Aplicando LKT na malha coletor-emissor:

$$V_{CC} - V_{CE} - I_E R_E = 0$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 4,99V \quad (6)$$

Tabela 1: Valores calculados.

Transistor utilizado: BC 547B	$I_B (\mu A)$	$I_C (mA)$	$I_E (mA)$	$V_B (V)$	$V_C (V)$	$V_{CE} (V)$
$\beta = 290$	42,97	12,46	12,50	7,7	12	4,99

b) Efetuar os cálculos dos parâmetros do amplificador  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$  e  $A_i$ .

R:

$$r_e = \frac{26m}{I_E} = 2,08\Omega$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E = 163,56k\Omega.$$

$$Z_i = R_B || Z_b = 62,06k\Omega \quad (7)$$

$$Z_o = R_E || r_e \approx 2,07\Omega \quad (8)$$

$$A_v = \frac{R_E}{R_E + r_e} = 0,996 \approx 1 \quad (9)$$

$$A_i = -\frac{\beta R_B}{R_B + Z_b} = -110,03 \quad (10)$$

c) Desenhe o circuito equivalente (modelo  $r_e$ ).

R:

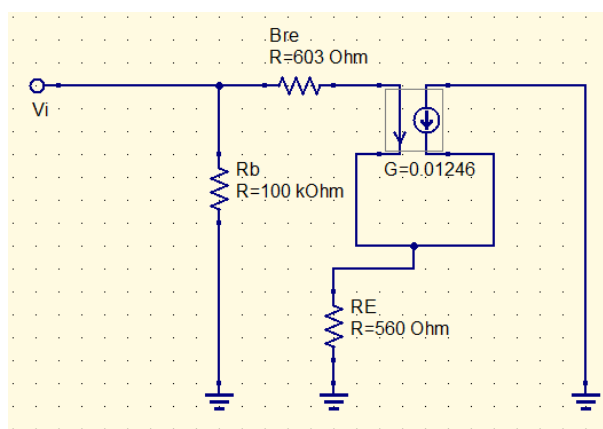


Figura 2: Circuito equivalente  $r_e$ .

d) Considerando  $R_S = 560\Omega$  (resistor entre o gerador de sinais e o capacitor) e  $R_L = 1k\Omega$  (resistor em paralelo com  $R_E$  após o capacitor), recalcule:  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$ ,  $A_{vS}$  e  $A_i$ .

R:

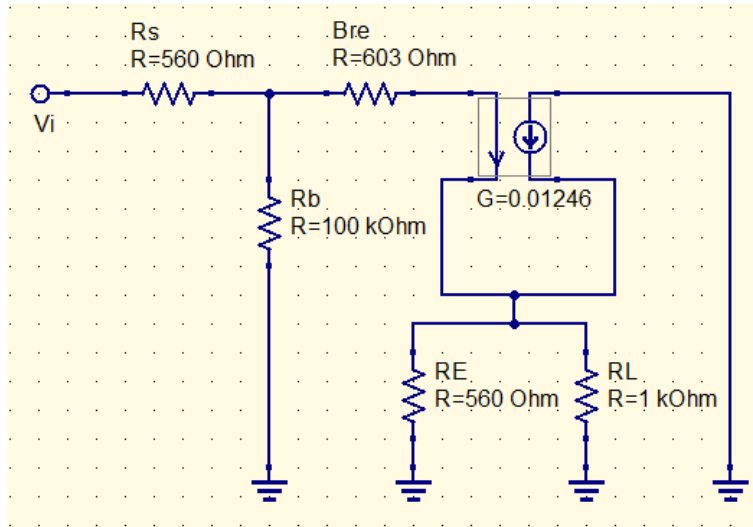


Figura 3: Circuito equivalente  $r_e$ .

$$R'_E = R_E || R_L = 358,97\Omega$$

Usando as equações (1), (2) e (3), temos:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R'_E} \approx 55,27 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 16,03mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 16,08mA$$

$$r_e = \frac{26m}{I_E} = 1,62\Omega$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R'_E = 104,93k\Omega$$

Agora, usando as equações (7), (8), (9) e (10), temos:

$$Z_i = 51,20k\Omega$$

$$Z_0 = 1,61\Omega$$

$$A_v = 0,995 \approx 1$$

$$A_i = -141,51$$

### Parte Prática:

**Medições das principais tensões e correntes e verificação dos parâmetros do amplificador e das formas de onda alternadas.**

- a) Montar o circuito da figura 1 sem conectar a fonte de tensão senoidal e os capacitores ao circuito, como mostrado na Figura 5. Medir os parâmetros relativos ao ponto quiescente e anotar na Tabela 2.

R:

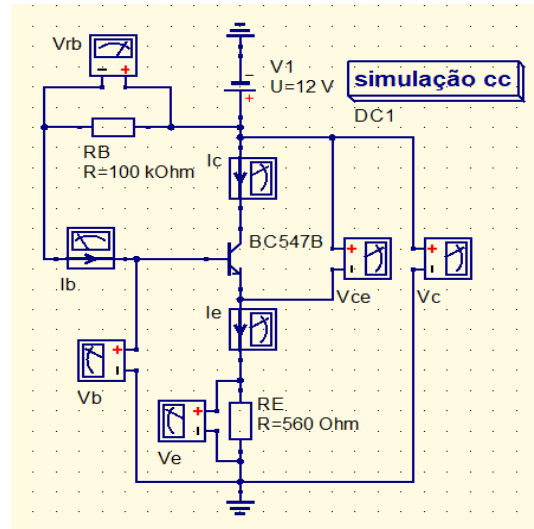
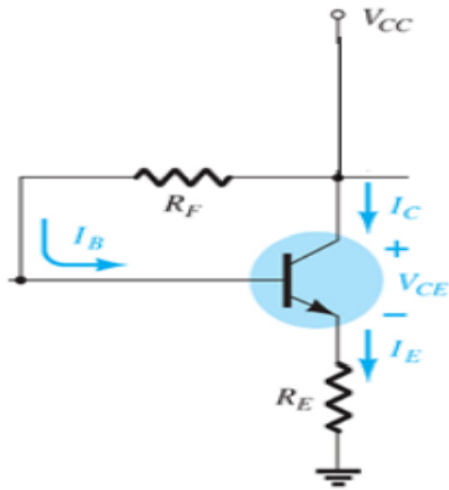


Figura 4: Circuito Pratico 1.

Tabela 2: Valores simulados.

$I_B$ ( $\mu A$ )	$I_C$ (mA)	$I_E$ (mA)	$V_{RB}$ (V)	$V_{RE}$ (V)	$V_B$ (V)	$V_C$ (V)	$V_{CE}$ (V)
41,3	12,7	12,8	4,13	7,16	7,87	12	4,84

- b) Conectar ao circuito a uma fonte ou gerador de sinais (Sinal senoidal,  $V_{SPP} = 4V$  e  $f = 5kHz$ ) e medir os valores de pico-a-pico das tensões  $V_S$ ,  $V_i$ ,  $V_E$  e  $V_O$ . Calcular o ganho de tensão  $A_{VNL}$ .

R:

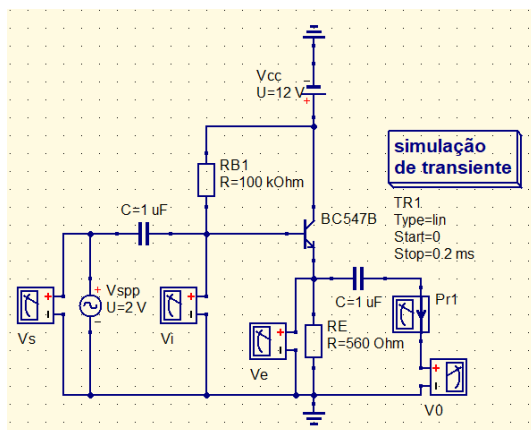


Tabela 3: Valores simulados.

$V_{spp}$ (V)	$V_{ipp}$ (V)	$V_{epp}$ (V)	$V_{opp}$ (V)
4,00	4,00	3,97	3,98

Figura 5: Circuito Pratico 2.

O ganho de tensão pode ser obtido dividindo a tensão de saída pela de entrada, logo

$$A_{VNL} = V_{O_{rms}} / V_{i_{rms}} = 0,995$$

. Podemos observar que o resultado se aproxima muito do esperado na parte teórica.

- c) Desenhar as formas de ondas de  $V_S$ ,  $V_i$ ,  $V_E$  e  $V_O$ . Medir e desenhar com a componente continua (circuito físico - acoplamento CC dos canais 1 e 2 do osciloscópio habilitados).

R:

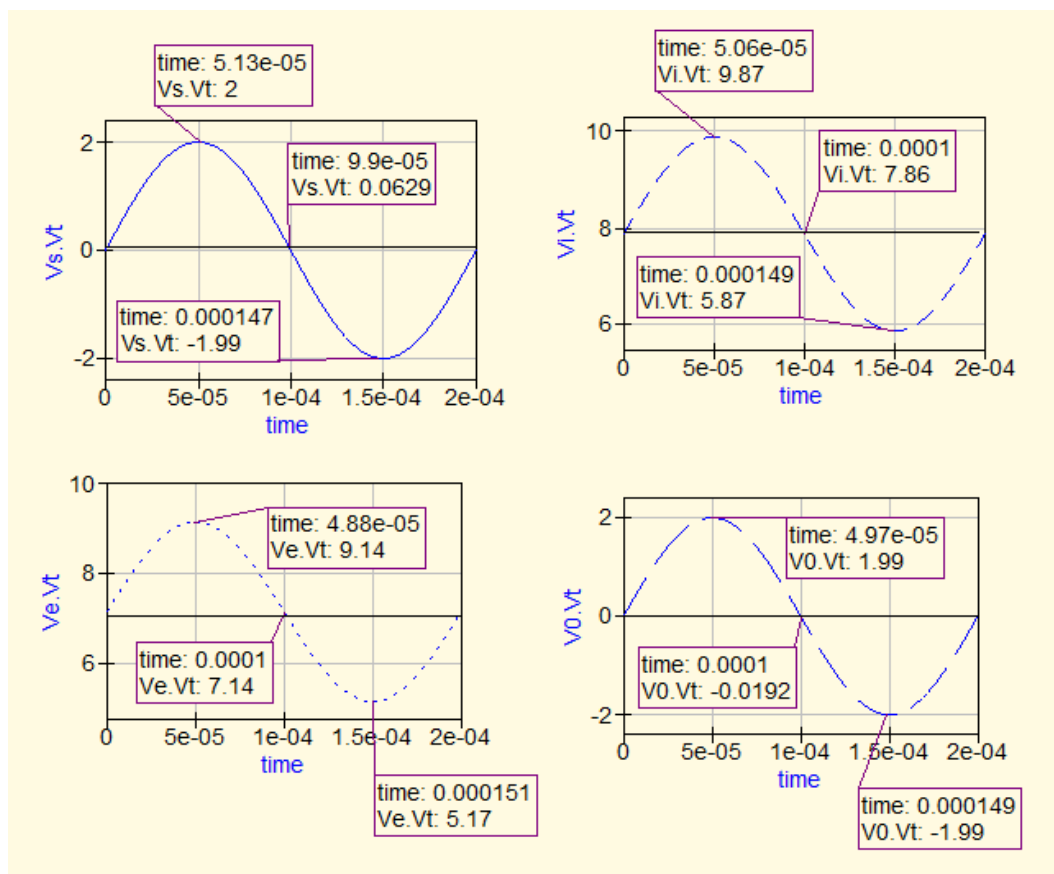


Figura 6: Formas de ondas para  $V_S$ ,  $V_i$ ,  $V_E$  e  $V_O$ .

d) Qual é a componente contínua presente no emissor?

R: A componente contínua presente no emissor é  $V_E \approx 7,14V$ .

e) Os sinais de  $V_S$  e  $V_O$  estão em fase? Explique:

R: Sim, pois como pode ser observado anteriormente, o ganho é  $A_v = 1 = 1 + j0$ , logo ambos os sinais se encontram na mesma fase.

f) Compare com os valores teóricos e práticos.

R:

Tabela 4: Erros relativos.

Parâmetro	$I_B$	$I_C$	$I_E$	$V_B$	$V_C$	$V_E$	$V_{CE}$	$A_v$
Erro (%)	4,04	1,89	2,34	2,16	0,00	2,23	3,10	0,10

g) Conectar ao circuito  $R_S=560$  (resistor entre o gerador de sinais e o capacitor) e  $R_L=1k$  (resistor em paralelo com  $R_E$  após o capacitor) e medir os valores de pico-a-pico das tensões  $V_S$ ,  $V_i$  e  $V_O$ . Calcular os ganhos de tensão  $A_V$  e  $A_{VS}$ . Desenhar as formas de ondas de  $V_S$ ,  $V_i$ ,  $V_E$  e  $V_O$ . Desenhar com a componente contínua.

R:

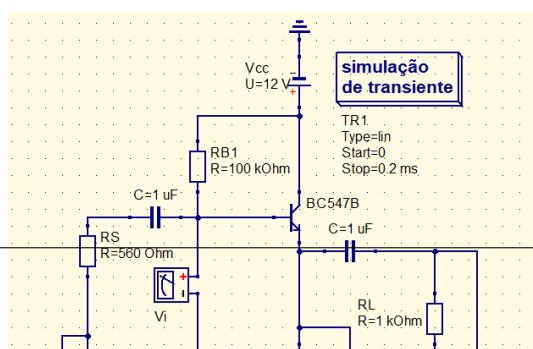


Tabela 5: Valores simulados.

$V_{spp}$ (V)	$V_{ipp}$ (V)	$V_{opp}$ (V)
4,00	3,96	3,94

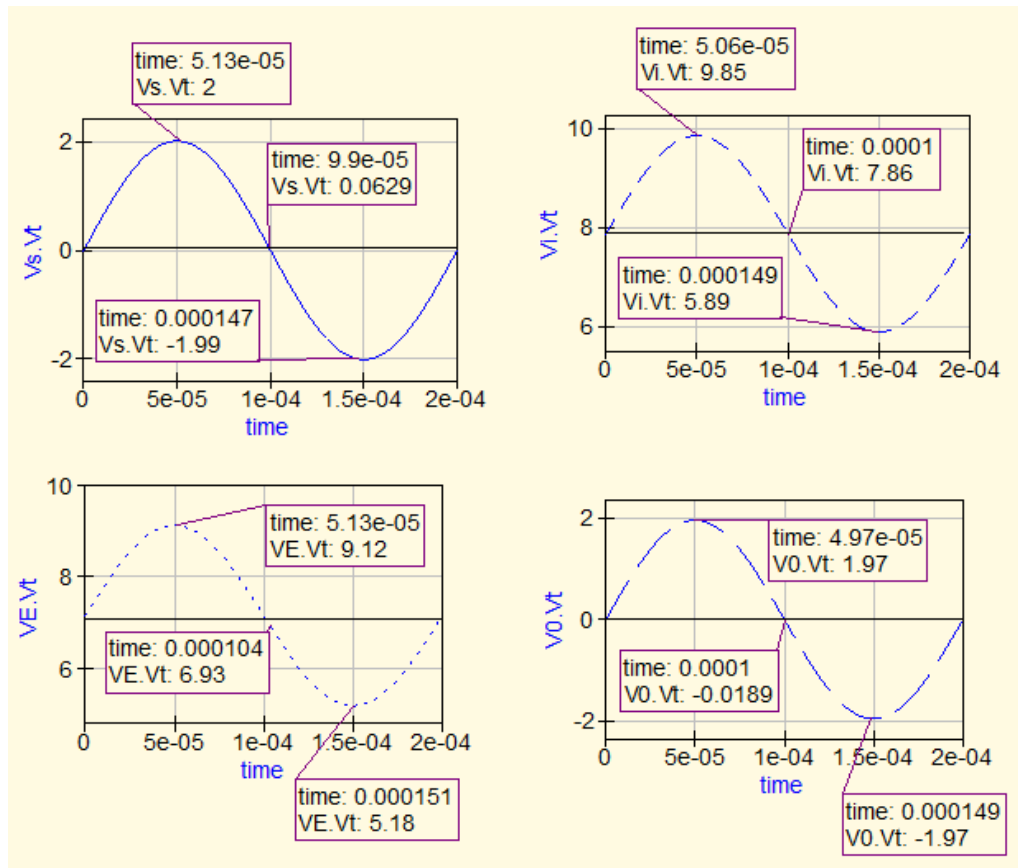


Figura 8: Formas de ondas para  $V_s$ ,  $V_i$ ,  $V_E$  e  $V_O$ .

h) Compare com os valores teóricos e práticos. O que aconteceu com o ganho de tensão? Por quê?

R:

Tabela 6: Erros relativos.

Parâmetro	$A_V$	$A_{VS}$
Teórico	0,996	0,977
Simulado	0,990	0,980
Erro (%)	-0,60	0,31

Não houve uma mudança expressiva com o ganho, ou seja, possui um erro relativamente baixo. Além disso, pode-se confirmar os resultados encontrados pela relação:  $A_{VS} < A_{VL} < A_V$ .

i) Montar o circuito da figura abaixo ( sem conectar a fonte de tensão senoidal e os capacitores ao circuito). Medir os parâmetros relativos ao ponto quiescente e anotar na tab 7 e 8.

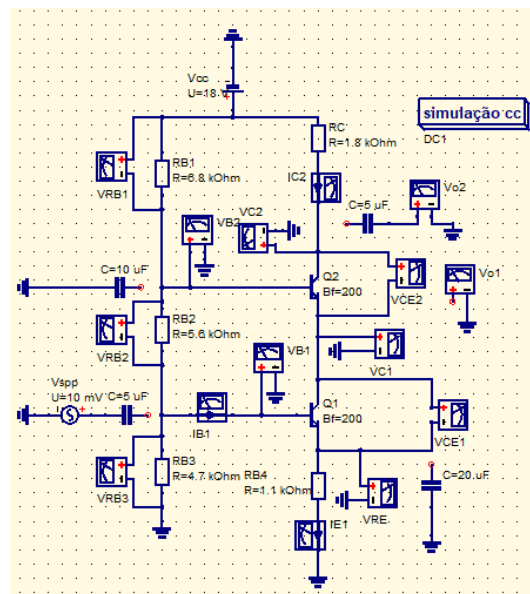
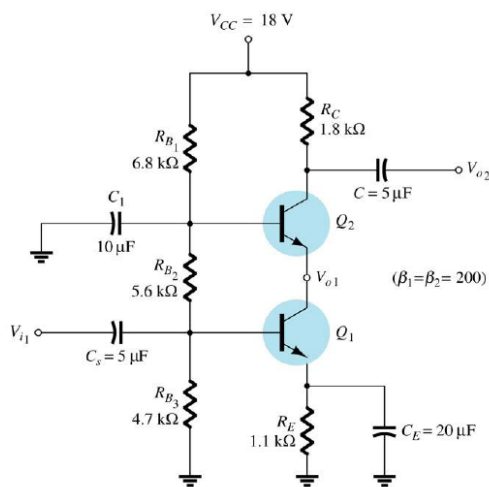


Figura 9: Circuito pratico 4.

Tabela 7: Valores simulados.

$I_{B1}$ ( $\mu A$ )	$I_{C2}$ (mA)	$I_{E1}$ (mA)	$V_{RB1}$ (V)	$V_{RB2}$ (V)	$V_{B1}$ (V)	$V_{C1}$ (V)	$V_{CE1}$ (V)
21,71	3,7	3,78	7,29	5,88	4,83	10,00	5,88

Tabela 8: Valores simulados.

$V_{RB3}$ (V)	$V_{RE}$ (V)	$V_{B2}$ (V)	$V_{C2}$ (V)	$V_{CE2}$
4,83	4,16	10,7	11,3	1,24

- j) Conectar ao circuito a uma fonte ou gerador de sinais (Sinal senoidal,  $V_{i1PP}=20mV$  e  $f=1kHz$ ) e medir os valores de pico-a-pico das tensões  $V_{o1}$  e  $V_{o2}$ . Calcular o ganho de tensão  $A_{VNL}$ .

R:

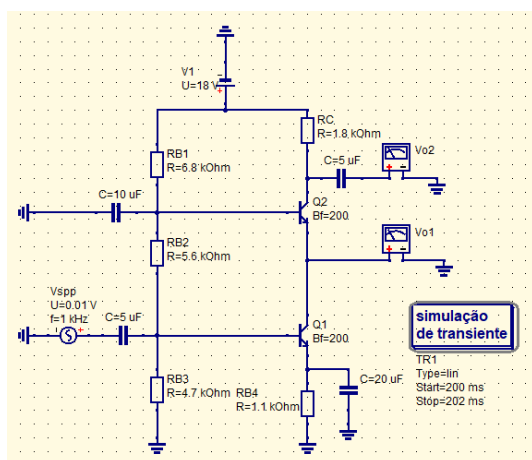


Figura 10: Circuito pratico 5.

$$A_{VNL1} = \frac{-20m}{20m} = -1,00 \quad (11)$$

$$A_{VNL2} = \frac{-2.86}{20m} = -143,00 \quad (12)$$

Tabela 9: Valores simulados.

$V_{o1pp}$ (mV)	$V_{o2pp}$ (V)
20,00	2,86

- k) Desenhar as formas de ondas de  $V_{i1}$ ,  $V_{o1}$  e  $V_{o2}$ . Desenhar com a componente continua (circuito físico - acoplamento

CC dos canais 1 e 2 do osciloscópio habilitados).

R:

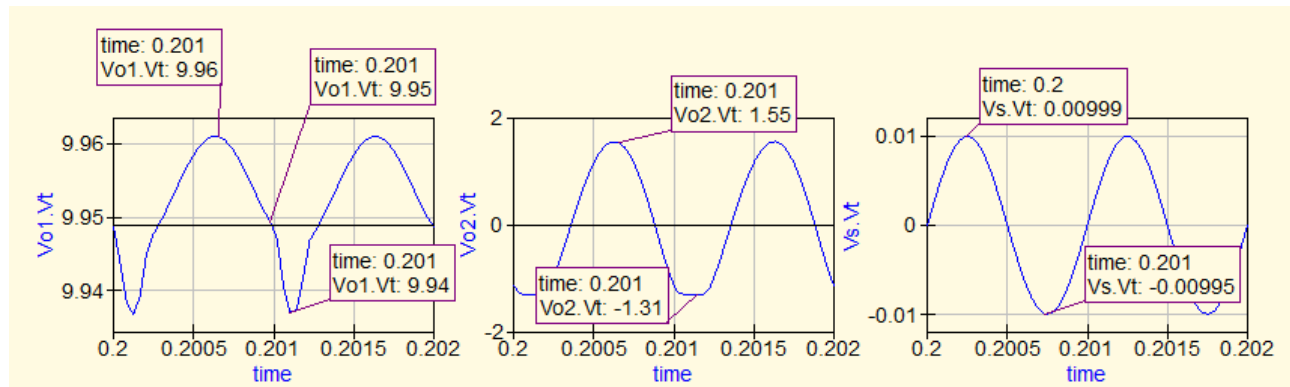


Figura 11: Tensões de saída.

l) Qual é a componente contínua presente no coletor de Q2?

R: A componente contínua presente no coletor de Q2 é 11,3 V.

m) Os sinais de Vi e VO estão em fase? Explique:

R: Os sinais não estão em fase, pois pelo gráfico podemos perceber que o sinal de entrada começa com fase  $0^\circ$  e para esse mesmo instante a fase na saída está com fase  $180^\circ$ , ou seja, ganho negativo.

n) Compare com os valores teóricos e práticos. O que aconteceu com o ganho de tensão? Por quê?

R: O ganho de tensão foi próximo do esperado.

### Conclusão:

Por meio deste relatório, para uma análise do seguidor de emissor, percebemos que a tensão na saída não é em sua totalidade a tensão aplicada na entrada e que esta configuração não altera a fase na saída com relação a entrada. Já para a configuração cascode, foi encontrado as componentes contínuas e verificada que a tensão de saída está defasada em  $180^\circ$ . Outro detalhe interessante é que com o cascode pode-se obter ganhos maiores, como pôde ser observado nas simulações acima.

## Referências

- [1] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*, vol. 11. Prentice-Hall do Brasil, 2013.
- [2] Alldatasheet, “<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/2894/motorola/bc547b/518/2/bc547b.html>.”