

Prática 1: Simulação de par diferencial com transistor bipolar de junção

Aluno: Vitor Eduardo Schuh
Número de matrícula: 19100591

Data: 20/03/2022

1 Introdução

Este roteiro visa praticar o uso do MicroCap para análise de circuitos analógicos e melhorar a compreensão da topologia par diferencial (1) e suas características.

2 Discussão

O *setup* da primeira tarefa solicitada consistiu na simulação do circuito em regime estacionário de corrente contínua. Nesse regime, podemos obter o ponto quiescente do circuito denotado pela corrente de coletor I_C e pela tensão entre coletor e emissor V_{CE} dos transistores Q_1 e Q_2 . Calculando analiticamente tal ponto, temos:

$$I_E = \frac{2m}{2} = 1mA$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} \approx 4,9751mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 4,9751mA \approx 995,024mA \approx 995,029\mu A$$

$$V_C = V_{CC} - (R_C // R_L) \cdot I_C = 12 - (10k // 1G) \cdot 995,029 \approx 2,1482$$

$$V_{BE} = V_B - V_E \therefore V_E = V_B - V_{BE} = 0 - 0,7 = -0,7V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 2,1482 - (-0,7) = 2,8482V$$

obtendo um ponto quiescente próximo aos obtidos através da simulação DC dinâmica ($I_C = 994,399 \mu A$ e $V_{CE} = 2,756 V$) vide figura 2.

A segunda tarefa solicitou o cálculo do ganho de tensão A_d da topologia ($[A_d] = \frac{V}{V}$). Para tal, utilizamos:

$$A_d = \frac{v_{out}}{v_d} = \frac{v_{out1} - v_{out2}}{v_{in1} - v_{in2}}$$

cujos cálculos são simplificados em Razavi até:

$$A_d = -R_C \cdot g_m$$

utilizando análise de malhas.

Substituindo os parâmetros do circuito para o cálculo da transcondutância g_m , obtemos:

$$g_m = \frac{I_E}{V_T} = \frac{\frac{2m}{2}}{26m*} \approx 0,038461$$

* Para 27°C

$$A_d = -1G \cdot 0,038461 \approx -384,61$$

A terceira tarefa consistiu na avaliação do ganho de tensão com a parametrização da fonte sinusoidal v_{in1} com 1 mV de amplitude e 1 kHz de frequência. De acordo com o conteúdo visto em aula, sob tal parametrização deve acontecer algum ganho positivo (não máximo) na tensão de saída, visto que tal

experimento não caracteriza as configurações de máxima e mínima amplificação dos sinais de entrada do par diferencial, o que de fato é verificado pela figura 3. Analiticamente:

$$v_{out} = v_{out1} - v_{out2} = A_d \cdot (v_{in1} - v_{in2})$$

$$v_{out} = -384,61 \cdot (1m - 0) = -384,61mV$$

valor este muito próximo em magnitude ao valor simulado na ferramenta (sempre divergente devido às não idealidades dos dispositivos).

Na tarefa seguinte a topologia par diferencial foi submetida à configuração $v_{in2} = -v_{in1}$, situação onde deve ocorrer a máxima amplificação do sinal de saída. Para cumprir tal requisito, o valor de *phase shift* (PH) da fonte v_{in2} foi defasado em 180° em relação à fonte v_{in1} . O comportamento esperado é de fato é verificado e pode ser visualizado através do valor de magnitude no ponto de pico da tensão sobre o resistor de carga R_L da figura (4). Sob nenhuma outra configuração de $v_{in1,2}$ a amplificação dessa topologia deve ultrapassar este valor (para estes valores de R_C , R_L , V_{CC} e V_{EE}). Analiticamente:

$$v_{out} = A_d \cdot (v_{in1} - v_{in2})$$

$$v_{out} = -384,61 \cdot (1m - (-1m)) = -769,22mV$$

Após a variação dos parâmetros das fontes e verificação dos seus respectivos colaterais à topologia, o valor da resistência R_L foi alterado para $1k\Omega$ e $1M\Omega$. Através das figuras 5 e 6 podemos visualizar a perca da característica de amplificação do circuito com a redução da ordem de grandeza do resistor de saída, aspecto que converge com a teoria acerca do tópico que apontava uma resistência de saída infinita como componente ideal para o estágio de saída do amplificador.

A tarefa seguinte visou a análise do ganho de tensão diferencial de modo comum. Para tal, retiramos à defasagem da fonte v_{in2} e aplicamos sinais idênticos em fase/frequência ao par diferencial. Nesse caso, obtemos como saída os valores de tensão apresentados na figura 7, indicando que o ganho $A_{cm} < 0$, uma vez que a tensão de saída foi menor do que a tensão aplicada no amplificador. Também foi solicitada uma pesquisa rápida sobre a característica CMRR, cujo significado remete ao comportamento do amplificador quando são aplicados sinais iguais nos seus terminais. Nesse cenário, a rejeição da topologia a tais entradas é descrita matematicamente por:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}}$$

onde $[CMRR] = dB$.

No penúltimo tópico o modelo do transistor Q_2 foi alterado para um 2N2219, causando um descasamento na topologia par diferencial. Através de simulação, é possível notar que a amplificação é acometida pelo emprego de transistores diferentes, mas não sei dizer o que causa tal deterioração na amplificação do circuito.

Por fim, a fonte de tensão v_{ripple} foi ligada e a saída do circuito não foi afetada pela adição do componente, comportamento este que vai de encontro à característica de resistência da topologia par diferencial à ruído apontada como uma das vantagens para utilização da mesma.

3 Conclusões

Através deste trabalho foi possível revisitar e fixar o conteúdo exposto na aula anterior. A topologia par diferencial pode ser empregada para gerar um ganho de tensão alto com o adicional da alta resistência ao ruído de fontes. Além disso, foi possível verificar na prática como a topologia alvo se comporta em situações adversas quanto à natureza dos sinais de entrada e configuração do resistor de carga no seu estágio de saída.

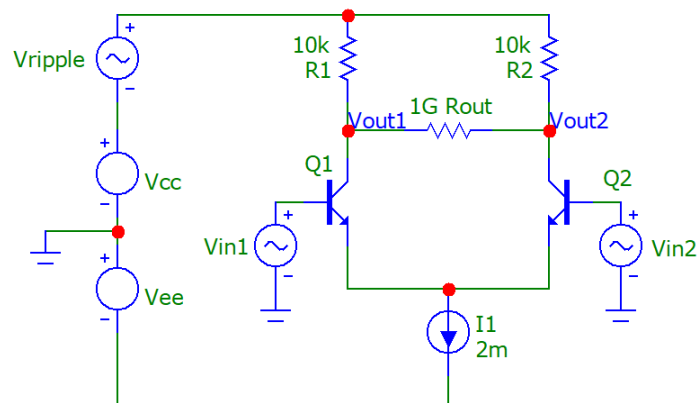


Figura 1: Circuito estudo de caso.

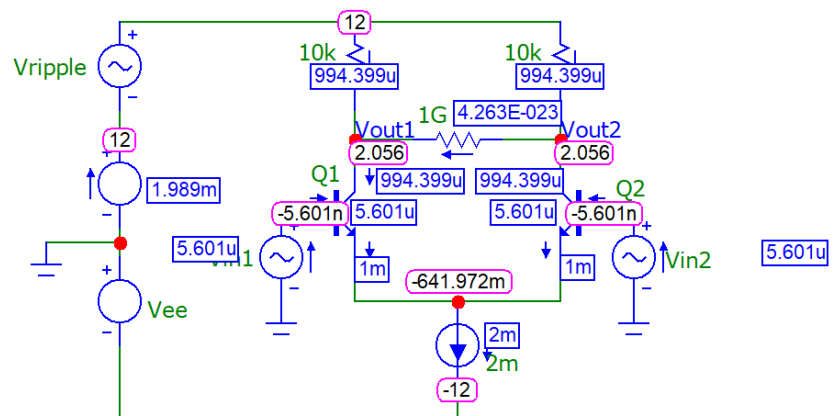


Figura 2: Simulação DC dinâmica da topologia.

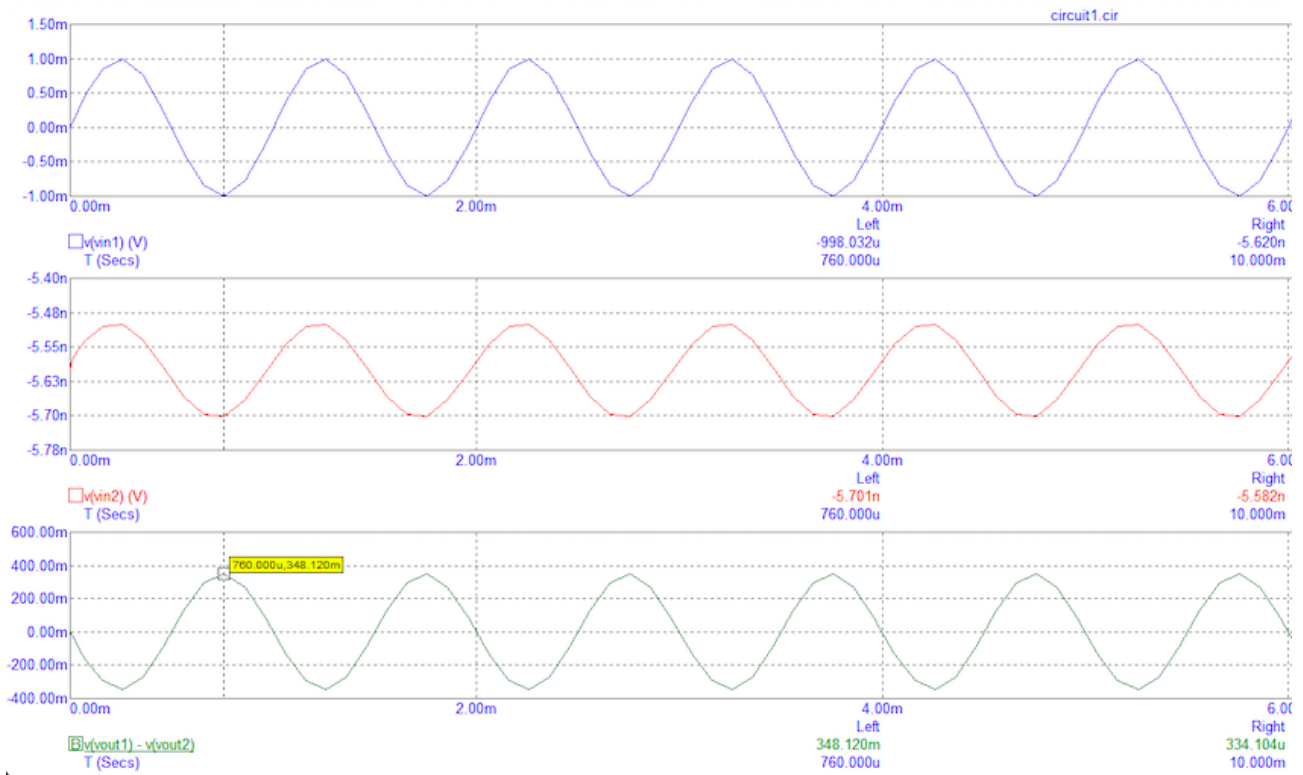


Figura 3: Ganho de tensão do circuito com $v_{in2} = 0$ V.

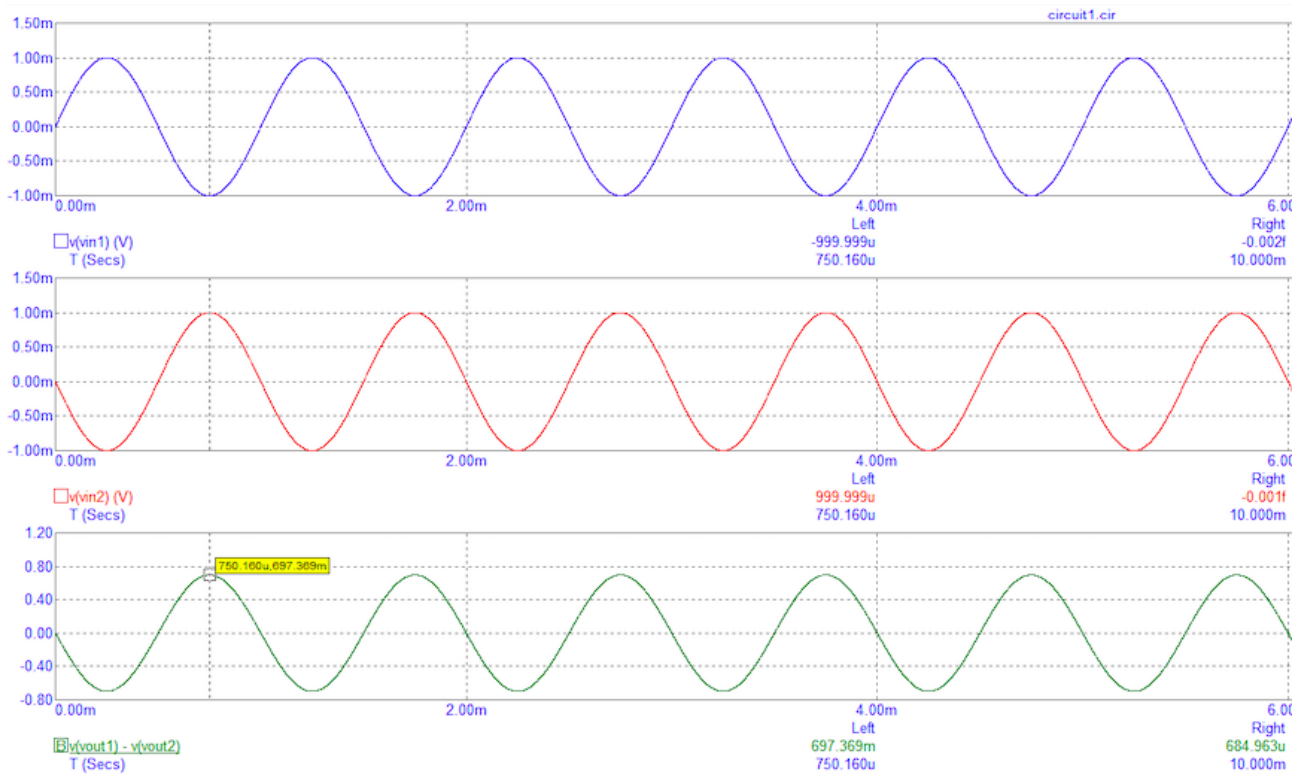


Figura 4: Ganho de tensão do circuito com $v_{in2} = -v_{in1}$ (amplificação máxima).

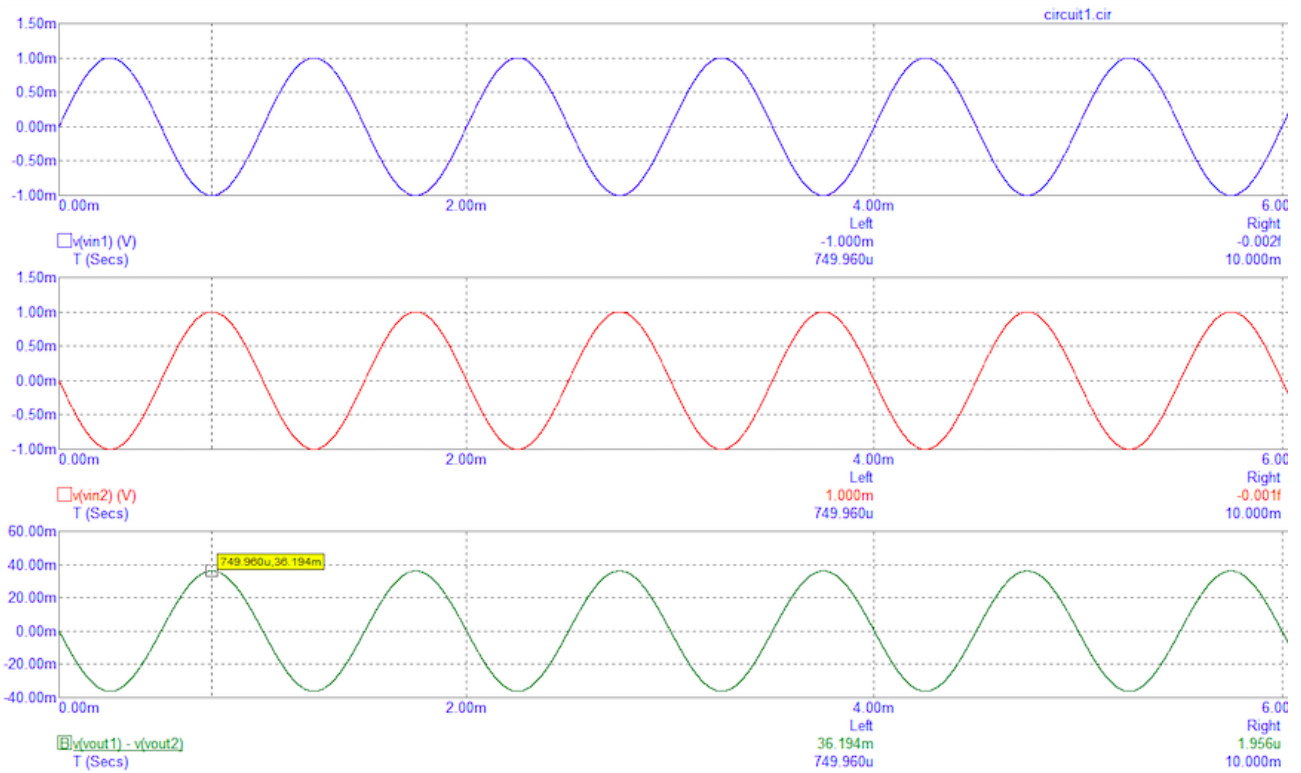


Figura 5: Ganho de tensão com configuração de máxima amplificação e $R_L = 1\text{ k}\Omega$

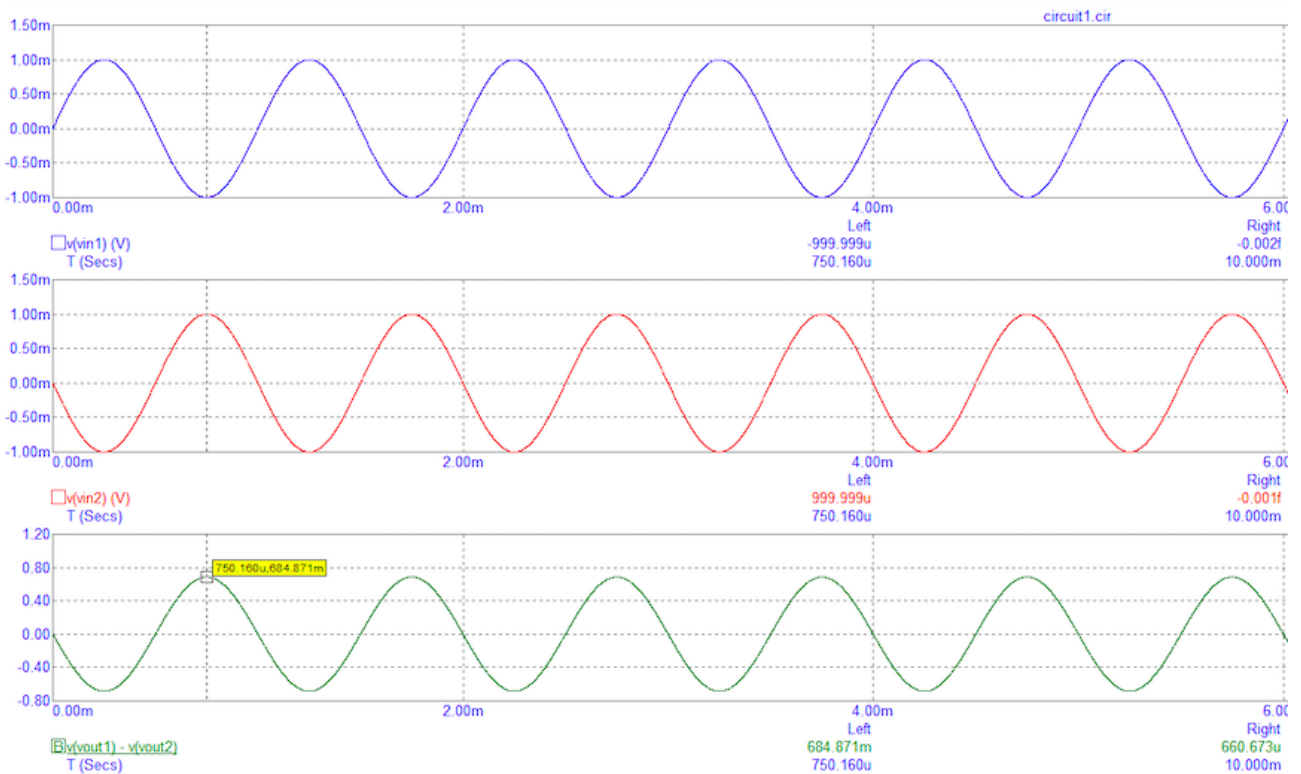


Figura 6: Ganho de tensão com configuração de máxima amplificação e $R_L = 1\text{ M}\Omega$

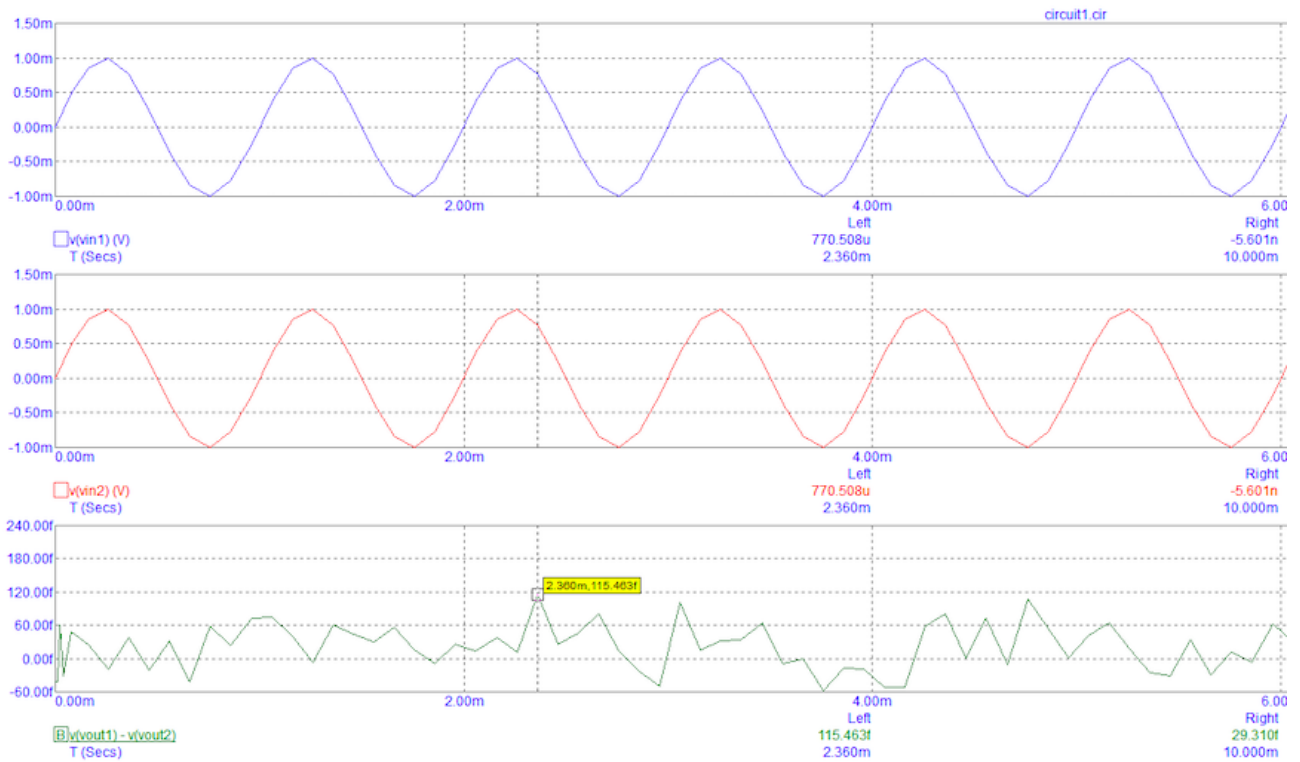


Figura 7: Ganho de tensão na configuração de amplificação mínima.

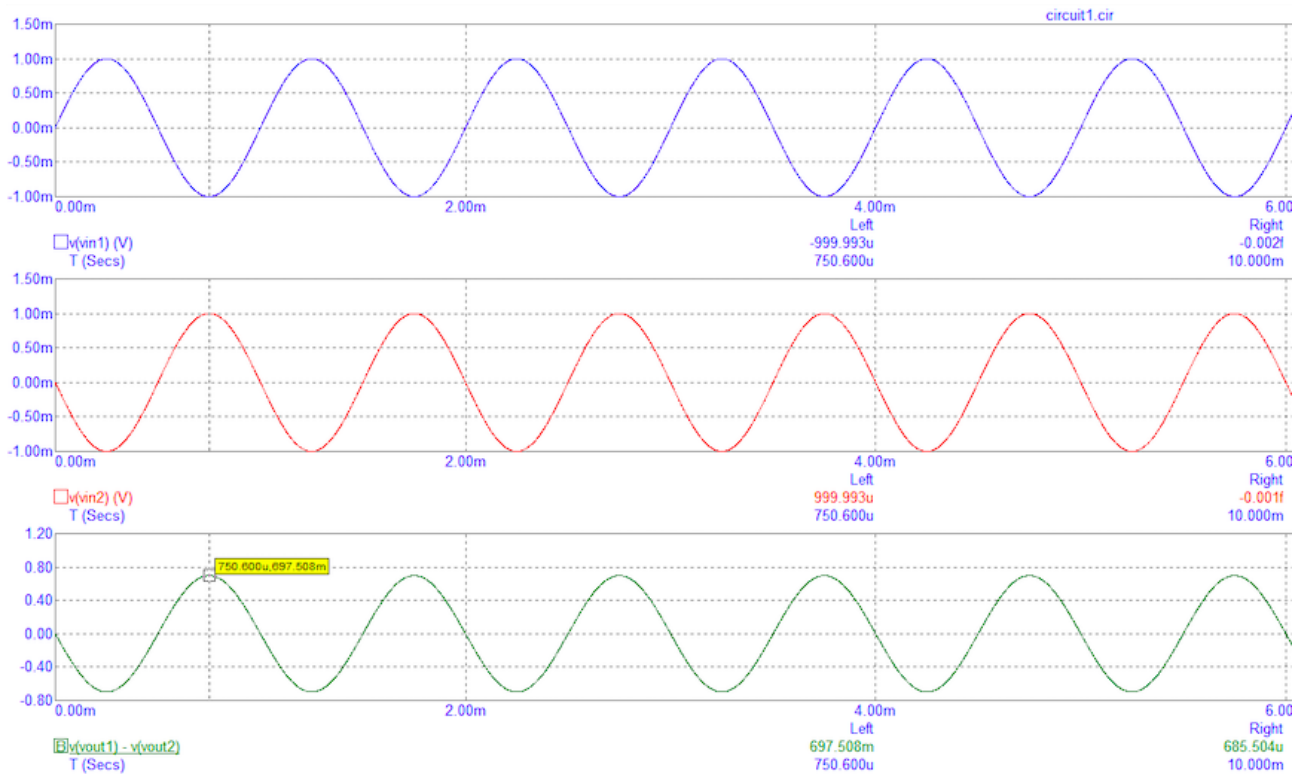


Figura 8: Ganho de tensão na configuração de amplificação máxima com a fonte sinusoidal v_{ripple} não nula ($mag = 100 \text{ mV}$ e $f = 10 \text{ kHz}$).