

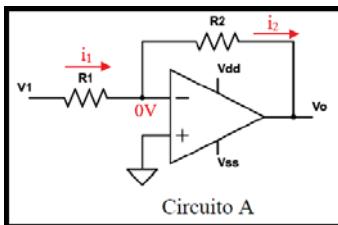
Prática de Circuitos Eletrônicos 1

Tutorial 13

CIRCUITOS COM AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Professor: Marcus Vinícius Chaffim Costa
Tutora: Camila Ferrer

- Obtenha as expressões matemáticas da saída $V_o(t)$ em função das entradas e dos valores (literais) dos resistores para os Circuito A.



$$i_1 = i_2$$

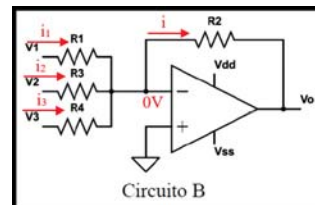
$$\frac{0 - V_1}{R_1} = \frac{V_o - 0}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{R_2} = -\frac{V_1}{R_1}$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

- O nome dado para essa configuração é Amplificador Operacional Inversor.

- Obtenha as expressões matemáticas da saída $V_o(t)$ em função das entradas e dos valores (literais) dos resistores para os Circuito B.



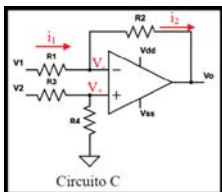
$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{V_o - 0}{R_4} = \frac{0 - V_1}{R_1} + \frac{0 - V_2}{R_2} + \frac{0 - V_3}{R_3}$$

$$V_o = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right) R_4$$

- O nome dado para essa configuração é Amplificador Operacional Somador Inversor.

- Obtenha as expressões matemáticas da saída $V_o(t)$ em função das entradas e dos valores (literais) dos resistores para os Circuito C.



$$i_1 = i_2$$

$$\frac{V_- - V_1}{R_1} = \frac{V_o - V_-}{R_3}$$

$$\frac{V_- - V_2}{R_2} = \frac{V_o - V_-}{R_3}$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) V_- = \frac{V_o}{R_3} + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}$$

$$\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}\right) V_- = \frac{V_o}{R_3} + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}$$

$$V_- = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{V_o}{R_3} + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

$$V_+ = \frac{V_2}{R_2}$$

$$\frac{V_- - V_+}{R_3} = \frac{V_o - V_-}{R_3}$$

$$\frac{V_- - V_2}{R_2} = \frac{V_o - V_-}{R_3}$$

$$\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right) V_- = \frac{V_o}{R_3} - \frac{V_2}{R_2}$$

$$\left(\frac{R_3 - R_2}{R_2 R_3}\right) V_- = \frac{V_o}{R_3} - \frac{V_2}{R_2}$$

$$V_o = \left(\frac{R_3 - R_2}{R_2 R_3}\right) V_- + \frac{V_2}{R_2}$$

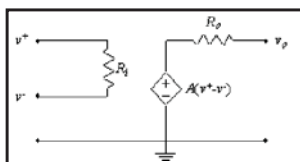
$$V_o = \left(\frac{R_3 - R_2}{R_2 R_3}\right) \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right) \left(\frac{V_o}{R_3} + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right) + \frac{V_2}{R_2}$$

$$V_o = \left(\frac{R_3 - R_2}{R_1 + R_2}\right) \left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}\right) \frac{V_2}{R_3} - \frac{R_2}{R_1} V_1$$

- O nome dado para essa configuração é Amplificador Operacional Subtrator.

Ganho finito

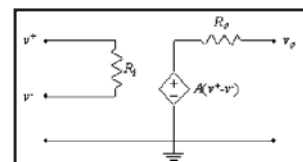
- Normalmente chamado de ganho de malha aberta, é definido como a relação da variação da tensão de saída para uma dada variação da tensão de entrada. Este parâmetro, notado como A ou A_{vO} , tem seus valores reais que vão desde alguns poucos milhares até cerca de cem milhões em amplificadores operacionais sofisticados.



Principais Limitações dos Amplificadores Operacionais

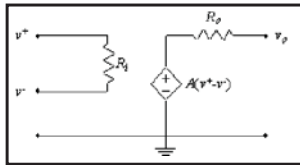
Impedância de entrada finita

- Impedância vista por uma das entradas quando a outra está aterrada. É comum encontrar AmpOps cuja resistência de entrada é da ordem das dezenas, centenas ou até mesmo milhares de $M\Omega$, pois isto limita superiormente as resistências no circuito de realimentação.



Tensão de offset de entrada

- A saída de um amplificador operacional ideal é nula quando suas entradas estão em curto circuito. Nos amplificadores reais, devido principalmente a um casamento imperfeito dos dispositivos de entrada, a saída do amplificador operacional pode ser diferente de zero quando ambas entradas estão no potencial zero.



Capacitância de entrada

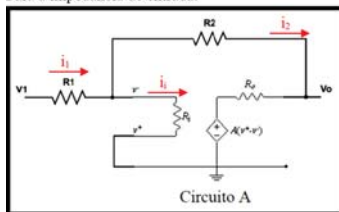
- Da mesma forma que a impedância de entrada, a capacitância pode ser apresentada na forma diferencial e no modo comum.

Saturação

- O funcionamento linear de um amplificador operacional é garantido apenas numa gama limitada de tensões na saída, preestabelecida seja durante a sua utilização ou durante a fase de projeto do circuito, através das tensões de alimentação utilizadas. Dessa forma, a tensão de saída é limitada a um valor de pico levemente menor do que o valor da tensão de alimentação.

Circuito A

Para a impedância de entrada:



Para a impedância de saída:

$$\frac{V_o - V_-}{R_2} = \frac{A(V_+ - V_-) - V_o}{R_o}$$

$$R_o = \frac{(AV_+ - AV_- - V_o)R_2}{V_o - V_-}$$

$$i_1 = i_2 + i_i$$

$$\frac{V_+ - V_-}{R_1} = \frac{V_o - V_-}{R_2} + \frac{V_+ - V_-}{R_i}$$

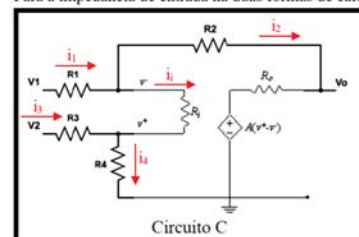
$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{V_+ - V_-}{R_1} - \frac{V_o - V_-}{R_2}$$

$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{(V_- - V_1)R_2 - (V_o - V_-)R_1}{R_1 R_2}$$

$$R_i = \frac{(V_+ - V_-)R_1 R_2}{(V_- - V_1)R_2 - (V_o - V_-)R_1}$$

Circuito C

Para a impedância de entrada há duas formas de cálculo:



Para a impedância de saída:

$$\frac{V_o - V_-}{R_2} = \frac{A(V_+ - V_-) - V_o}{R_o}$$

$$R_o = \frac{(AV_+ - AV_- - V_o)R_2}{V_o - V_-}$$

$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{V_o - V_-}{R_2} - \frac{V_+ - V_-}{R_1}$$

$$R_i = \frac{(V_+ - V_-)R_1 R_2}{(V_o - V_-)R_1 - (V_+ - V_-)R_2}$$

ou

$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{V_o - V_-}{R_4} - \frac{V_- - V_2}{R_3}$$

$$R_i = \frac{(V_+ - V_-)R_3 R_4}{V_+ R_3 - (V_- - V_2)R_4}$$

Largura de banda finita

- A natureza finita da largura de banda é consequência dos condensadores e das resistências intrínsecas e parasitas inerentes aos transístores e interligações.

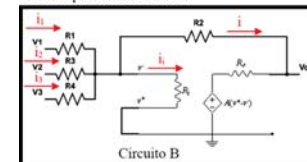
Slew-rate (ou taxa de subida)

- É o ritmo máximo de variação da tensão na saída e é uma característica associada à topologia do amplificador e às correntes utilizadas internamente na polarização.

Impedâncias

Circuito B

Para a impedância de entrada:



$$i + i_i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{V_o - V_-}{R_2} + \frac{V_+ - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_1}{R_1} + \frac{V_- - V_2}{R_3} + \frac{V_- - V_3}{R_4}$$

$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{V_- - V_1}{R_1} + \frac{V_- - V_2}{R_3} + \frac{V_- - V_3}{R_4} - \frac{V_o - V_-}{R_2}$$

$$\frac{V_+ - V_-}{R_i} = \frac{(V_- - V_1)R_2 R_3 R_4 - (V_o - V_-)R_1 R_3 R_4 + (V_- - V_2)R_1 R_2 R_4 + (V_- - V_3)R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3 R_4}$$

$$R_i = \frac{R_1 R_2 R_3 R_4 (V_+ - V_-)}{(V_- - V_1)R_2 R_3 R_4 - (V_o - V_-)R_1 R_3 R_4 + (V_- - V_2)R_1 R_2 R_4 + (V_- - V_3)R_1 R_2 R_3}$$

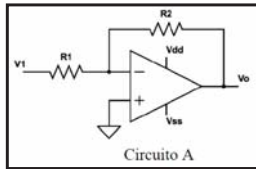
Para a impedância de saída:

$$\frac{V_o - V_-}{R_2} = \frac{A(V_+ - V_-) - V_o}{R_o}$$

$$R_o = \frac{(AV_+ - AV_- - V_o)R_2}{V_o - V_-}$$

Simulação: Circuito A

Para senóide com $f=100\text{Hz}$ e resistores $R_1=100\Omega$ e $R_2=560\Omega$, simule o circuito para $V_1=0,5V_{pp}$.



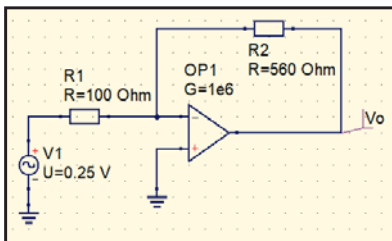
- Abra o QUCS, vá em *Main Dock* e crie um novo projeto.



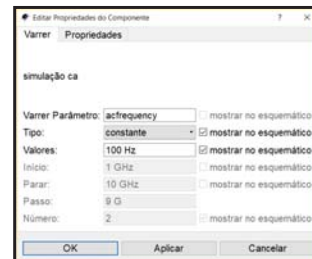
- Na aba *Componentes*, vá em *componentes não-lineares* e coloque um Amplificador Operacional. Vá em *componentes agrupados* e coloque dois resistores. Vá em *Fontes* e coloque uma fonte de tensão AC.



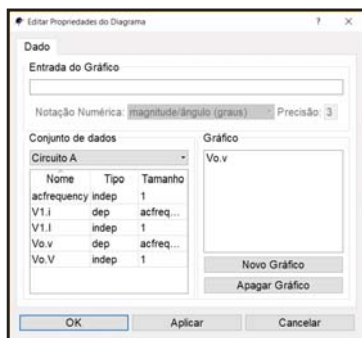
- Conecte os componentes sem esquecer da referência do terra e ajuste seus valores para os pedidos no exercício. Nomeie os nós para medir a tensão V_o .



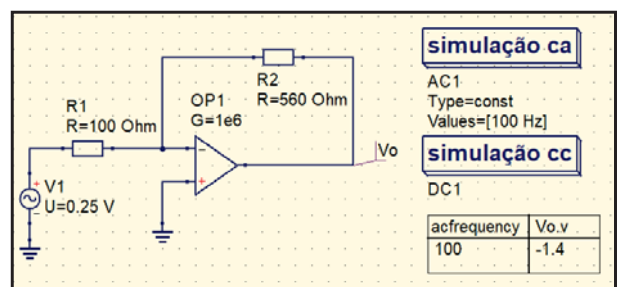
- Serão utilizadas as Simulações AC e DC para esse circuito. Configure a Simulação AC para observar o valor da saída para a frequência desejada. Salve e simule.



- Vá em *Diagramas* e insira uma tabela. Coloque o valor da tensão V_o .

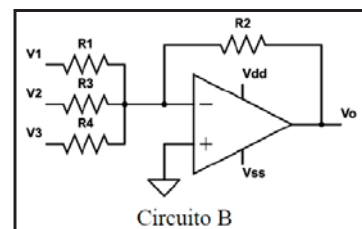


- Assim, verifica-se que os valores pedidos no exercício.

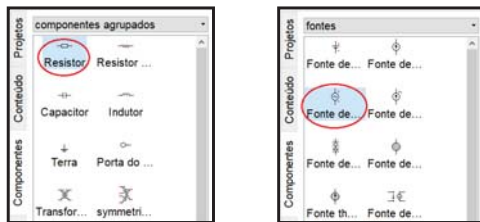


- Para senóide com $f=100\text{Hz}$ e resistores $R_1=100\Omega$, $R_2=560\Omega$, $R_3=220\Omega$ e $R_4=330\Omega$, simule o circuito para todas as combinações de V_1 , V_2 e V_3 apresentadas na Tabela 1 da Folha de Dados.

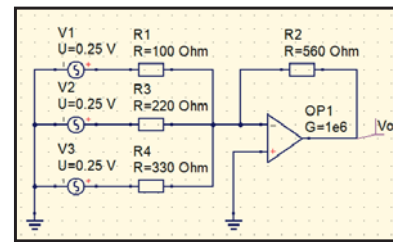
Simulação: Circuito B



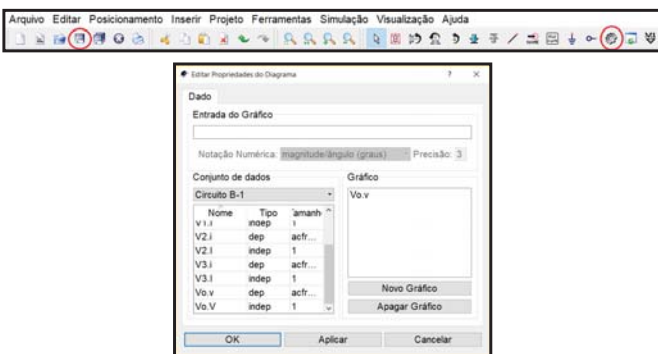
- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Na aba Componentes, vá em componentes agrupados e coloque mais dois resistores. Vá em Fontes e coloque mais duas fontes de tensão AC.



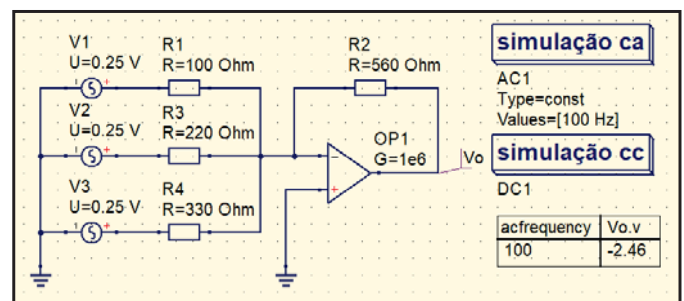
- Conecte os componentes sem esquecer da referência do terra e ajuste seus valores para os pedidos no exercício.



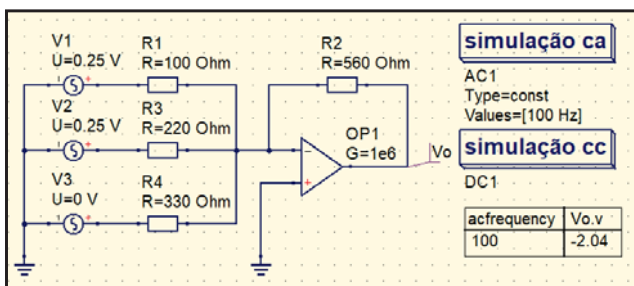
- Salve e simule. Vá em Diagramas e insira uma tabela. Coloque o valor da tensão $V_{o.v}$.



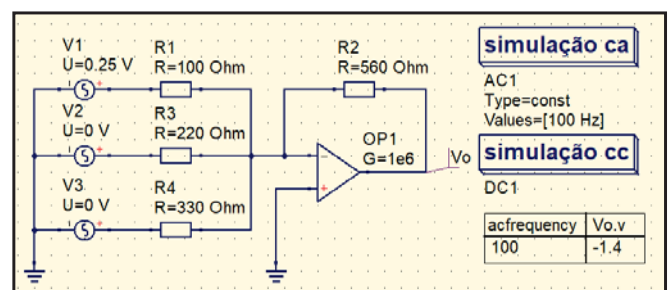
- Assim, verifica-se que os valores pedidos no exercício.



- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Ajuste seus valores para $V_1=V_2=0,5V_{pp}$ e $V_3=0V_{pp}$. Salve e simule.

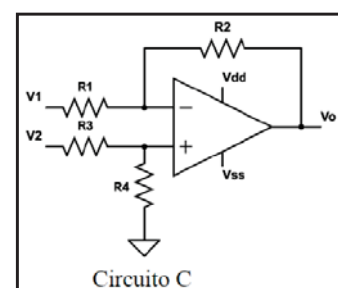


- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Ajuste seus valores para $V_1=0,5V_{pp}$ e $V_2=V_3=0V_{pp}$. Salve e simule.



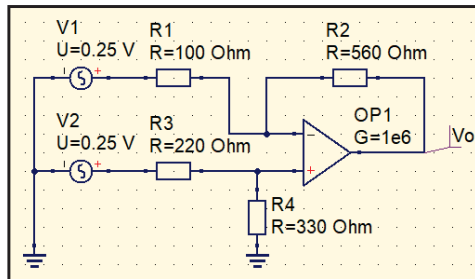
- Para senóide com $f=100\text{Hz}$ e resistores $R_1=100\Omega$, $R_2=560\Omega$, $R_3=220\Omega$ e $R_4=330\Omega$, simule o circuito para todas as combinações de V_1 , V_2 e V_3 apresentadas na Tabela 1 da Folha de Dados.

Simulação: Circuito C

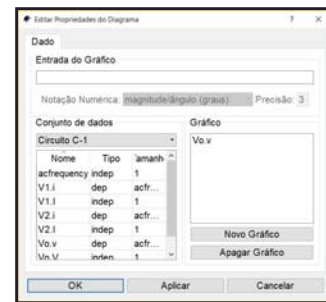


Circuito C

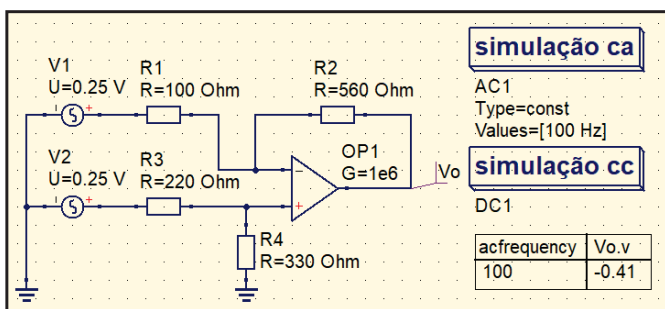
- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Exclua a Fonte V_3 e conecte os componentes sem esquecer da referência do terra.



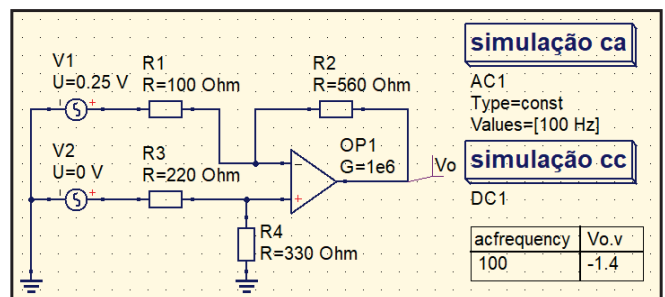
- Salve e simule. Vá em Diagramas e insira uma tabela. Coloque o valor da tensão V_o .



- Assim, verifica-se que os valores pedidos no exercício.



- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Ajuste seus valores para $V_1=0.5V_{pp}$ e $V_2=0V_{pp}$. Salve e simule.



- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Ajuste seus valores para $V_1=0V_{pp}$ e $V_2=0.5V_{pp}$. Salve e simule.

