

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS.
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

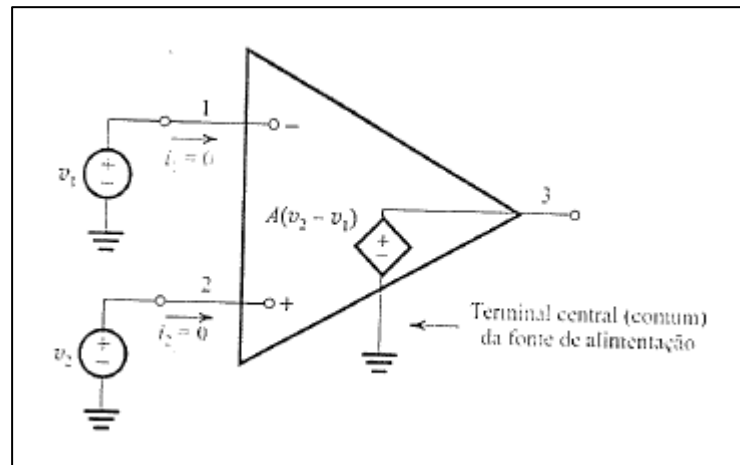
Aluno (a): Ariene Maciel

Disciplina: Eletrônica I

AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

O amplificador operacional (Amp-op) é um circuito integrado (CI), capaz de amplificar um sinal de entrada e realizar operações matemáticas, como por exemplo, soma, subtração, derivação, integração e multiplicação. É projetado para operar como um sensor da diferença entre os sinais de tensão aplicados nos terminais 1 e 2 de entrada ($v_2 - v_1$), multiplicando-se esse valor por um número A que resulta em uma tensão $A(v_2 - v_1)$ que aparece no terminal 3 de saída. Em um amp-op ideal é suposto que as correntes de entrada não sejam drenadas, ou seja, que as correntes nos terminais de entrada sejam iguais a zero assim a impedância de entrada do amp op ideal é supostamente infinita. Já no terminal de saída é suposto como se fosse uma fonte de tensão ideal, ou seja, a tensão entre o terminal de saída e o terra será sempre igual a $A(v_2 - v_1)$ fazendo com que a impedância da saída seja igual a zero.

A estrutura de um amplificador operacional ideal é simples, pois ele possui dois terminais de entrada, o terminal 1 é denominado terminal de entrada inversora, identificado pelo sinal negativo (-), o terminal 2 que é denominado terminal de entrada não inversora é identificado por um sinal positivo (+) e um terminal de saída. Como podemos observar na Figura 1:



Nota-se que a tensão de saída esta em fase com v_2 e defasada com o v_1 e é um circuito de malha aberta.

Os amp op responde apenas a diferença de sinal e ignora qualquer sinal comum a ambas as entradas, a essa propriedade damos o nome de rejeição de modo comum. Os amp op ideal tem uma rejeição infinita.

Outra característica dos amp op ideal é que o seu ganho A permanece constante desde frequência zero ate frequência infinita. Por isso seu ganho A deve ter um valor muito alto ou ate mesmo infinito. No entanto se o ganho for infinito os amp op não será utilizado na configuração de malha aberta e será aplicada uma realimentação para fechar a malha em torno dele.

Amp-ops podem ser conectados em configurações de malha aberta ou de malha fechada.

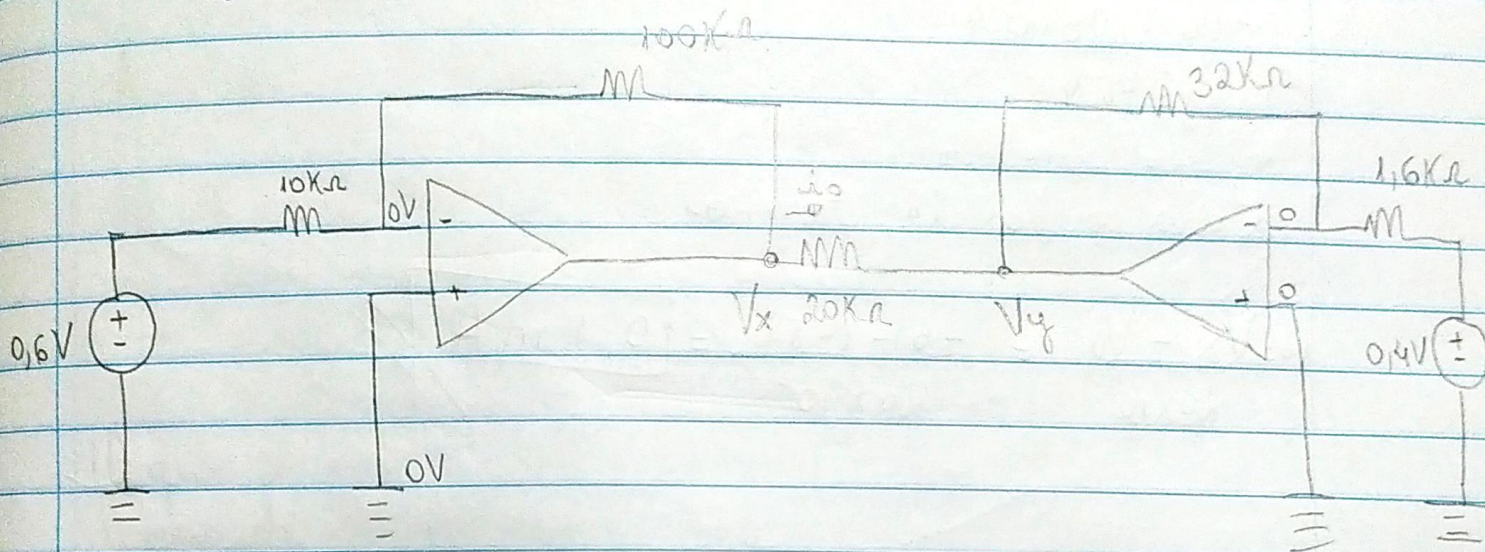
- Malha aberta: uma configuração sem realimentação do retorno da saída do amp-op à sua entrada.
- Malha fechada: uma configuração que tem um caminho de realimentação negativo do retorno de saída do amp-op à sua entrada. Essa realimentação reduz o ganho e melhora muitas características do amp-op.

Observações: O ganho da malha fechada é sempre inferior ao ganho da malha aberta.

4) Exemplifique como resolver e calcular circuitos com AmpOps em malha fechada.

Exemplo:

~~Objetivo do exemplo~~ Ache o valor de i_o



O circuito apresenta dois amplificadores e ambos as entradas positivas estão aterradas, logo:

$$V^+ = V^- = 0$$

Aplicando as leis de Kirchhoff, no 1º Amplificador:

$$\frac{0,6 - 0}{10 \times 10^3} = \frac{0 - V_x}{100 \times 10^3}$$

$$10 \cdot 0,6 = -V_x$$

$$-V_x = 6$$

$$V_x = -6V$$

Aplicando las leyes de Kirchhoff no se requieren nodos
amplificador de tensión

$$\frac{0,4 - 0}{1,6 \times 10^3} = \frac{0 - V_y}{32 \times 10^3 \cdot 20}$$

$$-V_y = 20 \cdot 0,4$$

$$V_y = -8 \text{ V}$$

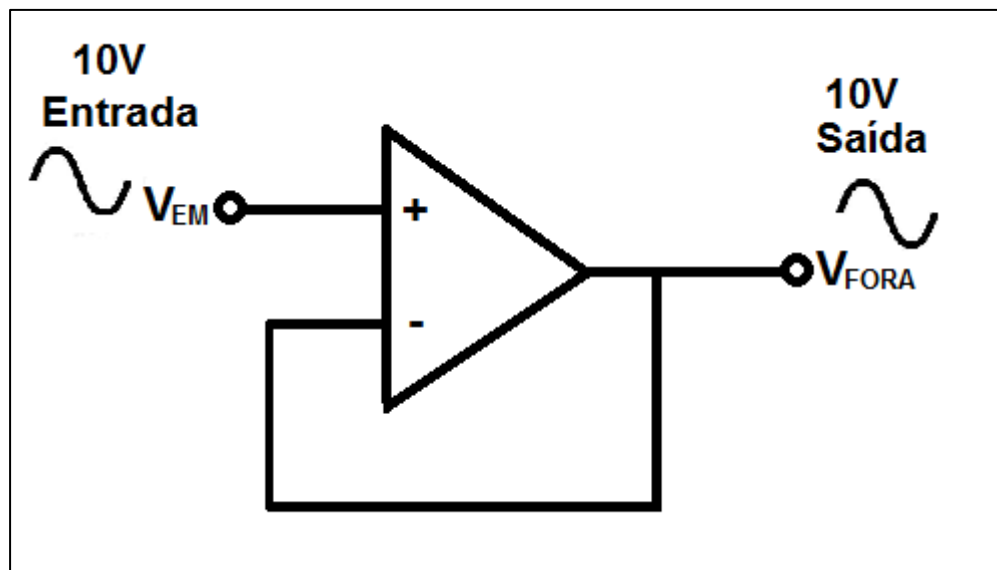
Para saber la tensión

$$i_o = \frac{V_x - V_y}{20 \times 10^3} = \frac{-6 - (-8)}{20 \times 10^3} = \boxed{0,1 \text{ mA}}$$

5. Descreva as principais características das topologias:

a) Seguidor de Tensão (Buffer)

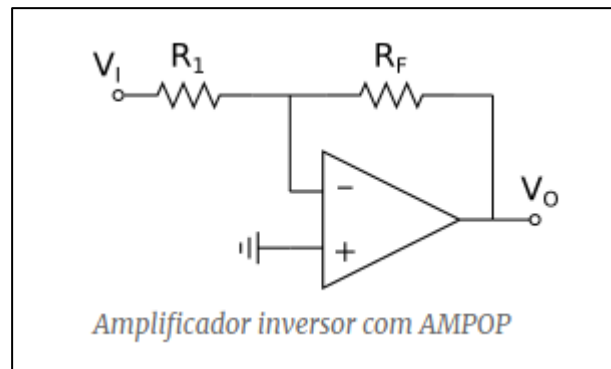
O seguidor de tensão é um circuito que apresente na saída exatamente a entrada aplicada, pois é colocado um fio entre a saída e a entrada inversora. No entanto quando dizemos exatamente “igual”, queremos dizer que respeita os mesmos valores de tensão à medida do tempo, que os valores de tensão se comportam da mesma forma. Entretanto, o circuito pode apresentar outras características interessantes, como uma alta impedância de entrada, ou uma saída de potência elevada, ou mesmo uma proteção elétrica e/ou isolada.



b) Amplificador Inversor;

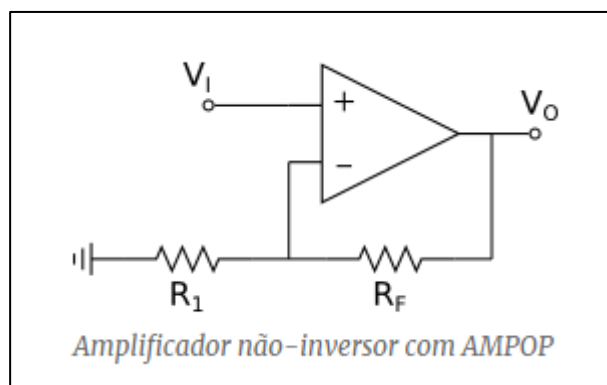
Este amplificador é chamado de inversor porque, além de amplificar o sinal de entrada, o sinal de saída possui polaridade invertida, ou seja, valores positivos na entrada se tornam valores negativos na saída e vice-versa. É um AmpOp com dois resistores de realimentação, sendo V_1 a tensão de entrada e V_0 a tensão de saída do amplificador. O resistor R_1 liga a tensão de entrada V_1 ao terminal inversor V_N . O resistor de realimentação R_f liga o terminal inversor V_N ao terminal de saída V_0 . O

terminal não inversor V_p é ligado ao terra (GND), como podemos ver na figura a seguir:



c) Amplificador Não Inversor;

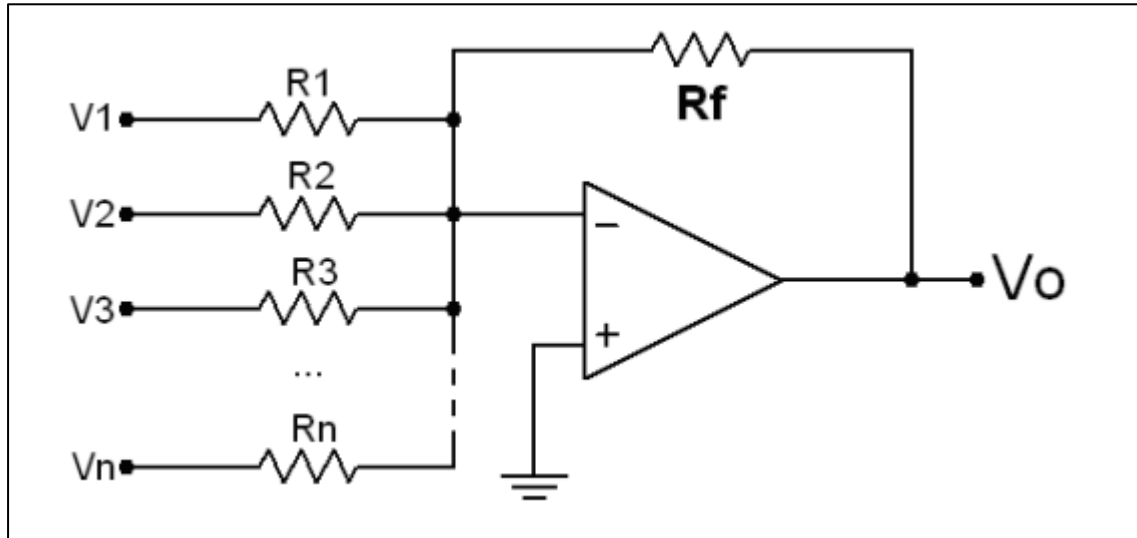
O amplificador não inversor possui dois resistores de realimentação, sendo V_1 a tensão de entrada e V_0 a tensão de saída do amplificador. O resistor R_1 liga o terra (GND) ao terminal inversor V_N . O resistor de realimentação R_f liga o terminal inversor V_N ao terminal de saída V_0 . O terminal não inversor V_P é ligado a entrada V_1 , como pode ver a figura que se segue:



Ao contrario do amplificador inversor, o sinal de saída possui mesma polaridade do sinal de entrada, ou seja, valores positivos na entrada causam valores positivos na saída e o mesmo para entradas negativas.

d) Amplificador Somador Inversor;

Este amplificador faz somatórios das tensões que entram no terminal inversor. Cada entrada adiciona uma tensão à saída, multiplicada pelo seu correspondente fator de ganho. Veja a seguir um exemplo de um circuito somador inversor:

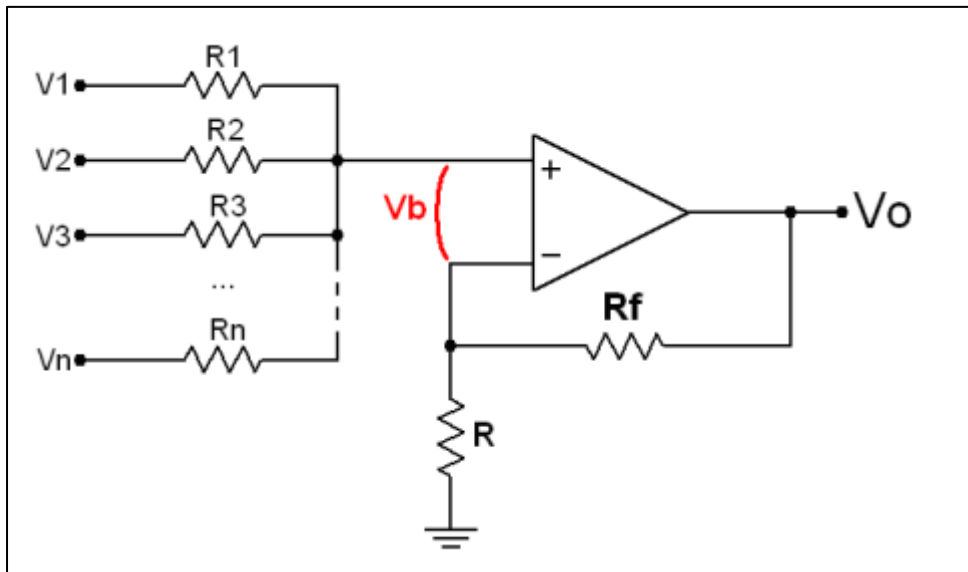


A saída V_o é determinada por:

$$V_o = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_f}{R_i} V_i \right) = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right)$$

e) Amplificador Somador Não Inversor;

Assim como o Amplificador Somador Inversor, ele soma as entradas e libera na saída, no entanto não altera o sinal de entrada. A seguir um exemplo de um circuito Somador não inversor:

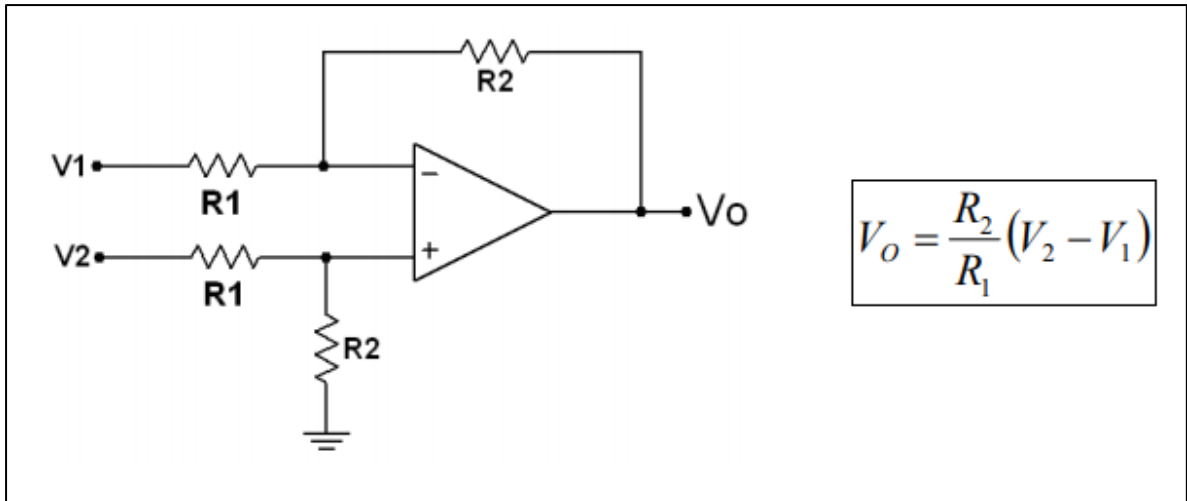


A saída V_o é determinada por:

$$\therefore V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) \left(\frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}} \right)$$

f) Subtrator;

Este circuito permite que se obtenha na saída uma tensão igual à diferença entre os sinais aplicados, multiplicada por um ganho.



g) Amplificador de Instrumentação;

Os amplificadores para instrumentação se caracterizam por ter uma entrada diferencial e uma elevadíssima impedância de entrada que é conseguida reduzindo-se o ganho da primeira etapa, normalmente funcionando como seguidor de tensão.

6) Explique o efeito do ganho em MALHA ABERTA FINITO, para as topologias Amplificador Inversor e Amplificador não inversor.

Considerando o efeito de malha aberta A no ganho da configuração não inversora e assumindo que o Amp Op seja quase toda ideal, exceto por ter um ganho finito de malha aberta A, sendo assim o ganho de malha fechada do circuito amplificador não inversor é dado por :

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{1 + \frac{1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{A}}$$

Observe que o denominador da equação é idêntico ao caso da configuração inversora

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{A}}$$

Isso se deve ao fato de as configurações não inversoras e inversoras apresentarem a mesma malha de realimentação que pode ser visualizada ao circuitarmos o sinal de entrada. Entretanto os numeradores são diferentes, pois eles correspondem ao ganho de nominal de malha fechada para as duas configurações. Com isso concluímos que a expressão do ganho se reduz para o valor ideal $A = \infty$. Essa é a mesma condição já apresentada para a configuração inversora, exceto que a grandeza do segundo membro da equação é o ganho de malha fechada.

a) Exemplifique com circuitos com ganhos em malha fechada elevado (Ex. $1000V/V$ e $-1000V/V$) e com ganhos menores (Ex. $10V/V$ e $-10V/V$), faça a comparação com erros percentuais e utilize uma variação de ganho em malha aberta entre 120dB e 20dB.

b) Dica veja o problema 2.20 pg 83 do livro texto.

Desculpe professor, mas eu não entendi essa questão.

7. Explique o que é a tensão de modo comum (VCM) e quais os efeitos desta tensão nas topologias estudadas.

Tensão de modo comum é quando as duas entradas recebem o mesmo sinal. Como as entradas recebem o mesmo sinal, as saídas são amplificadas de maneira iguais, resultando em:

$$V_o \approx 0 \text{ V}$$

Logo, teremos um acréscimo indesejado na tensão de Saída.

8. O que é CMRR?

CMRR – Common-Mode Rejection Ratio que significa Rejeição de Modo-Comum. Trata-se de uma característica dos amplificadores operacionais. Quando dois sinais da mesma amplitude, frequência e fase são aplicadas às entradas (inversora e não inversora) de um operacional eles devem se cancelar e nenhuma saída deve ocorrer. Na prática, entretanto, um pequeno sinal ainda aparece, sendo especificado em

relação ao ganho máximo em termos de atenuação ou rejeição em dB. A capacidade do operacional em rejeitar estes sinais iguais é a rejeição em modo comum e é medida em dB. Os tipos comuns podem ter CMRR de até 90 dB.

9. Utilizando o Amplificador Subtrator com ganho 1000V/V , demonstre o efeito da tensão de modo comum (V_{CM}), indicando:

a) o impacto na tensão de saída com relação a tolerância dos resistores no circuito;

Considerando como parâmetro para os valores dos resistores $R_1=R_3= 1\Omega$. Tem-se que $R_2=R_4$, calcula-se os valores com a fórmula do Ganho para um circuito subtrator:

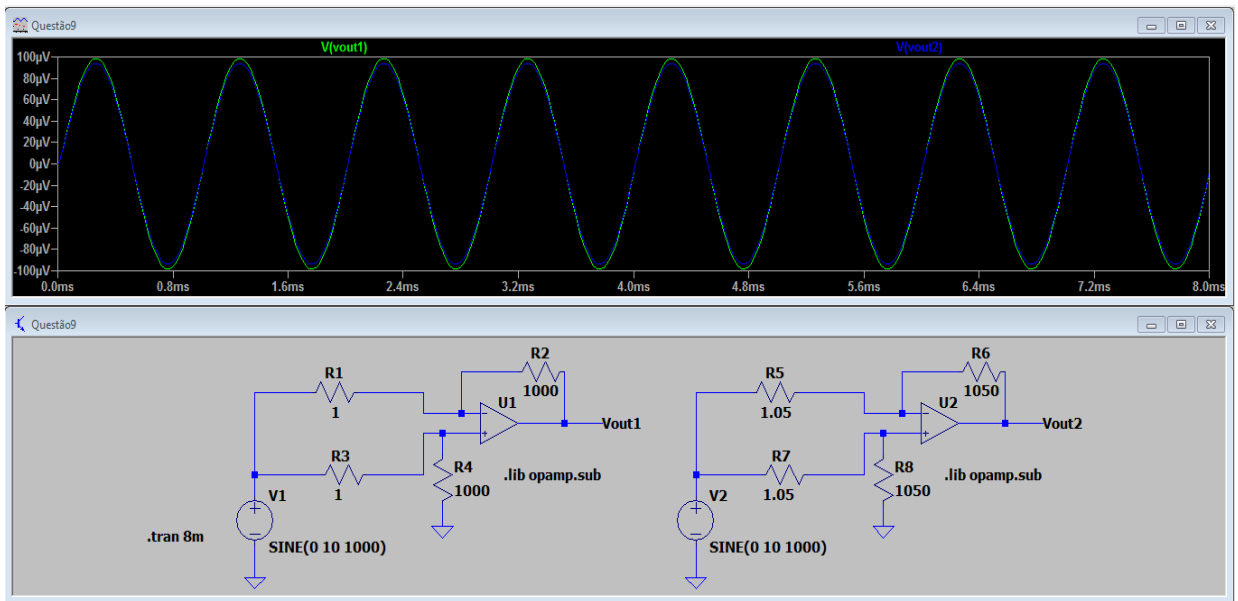
$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

Substituindo os valores:

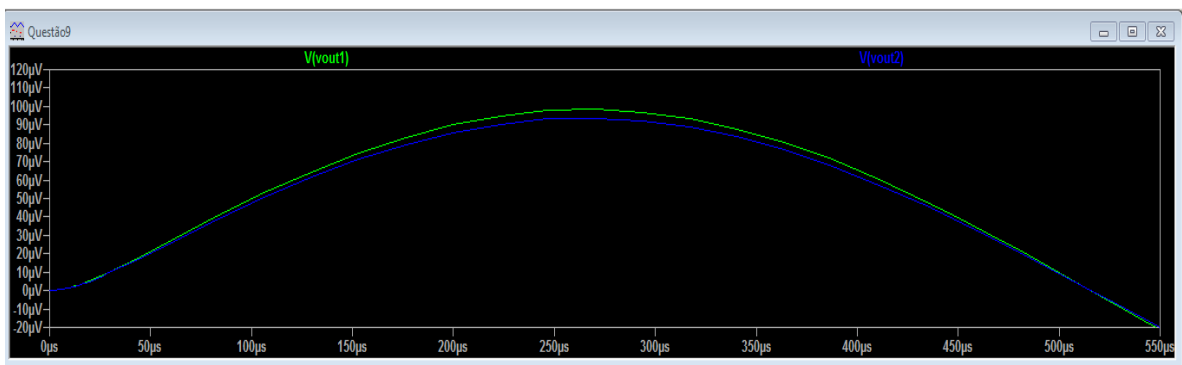
$$1000 = \frac{R_2}{1}$$

$$R_2 = 1000\Omega$$

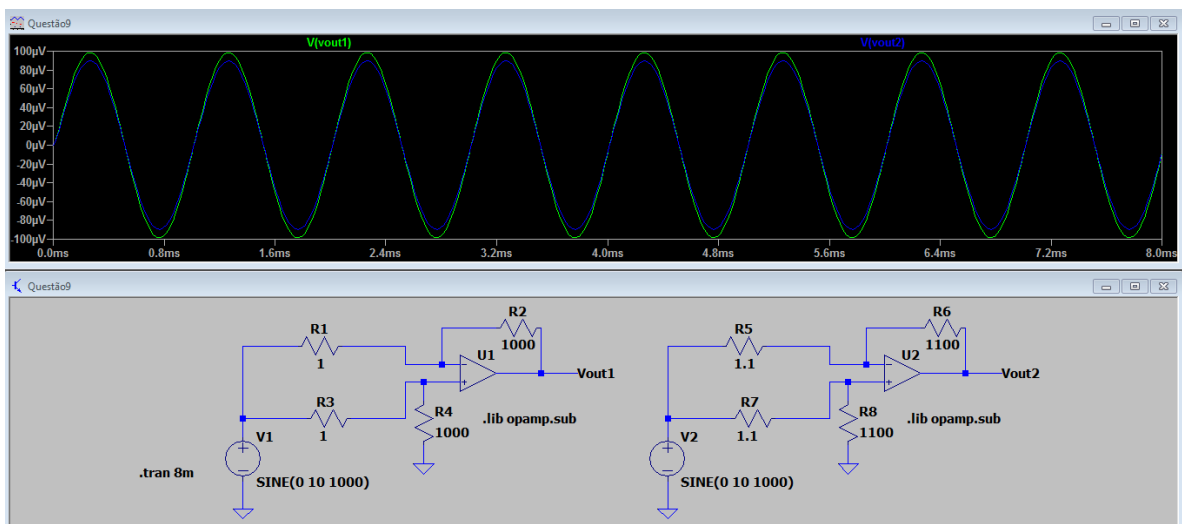
Simulando o circuito original e o mesmo circuito com tolerância de com $\pm 5\%$ para mais têm-se os seguintes resultados:



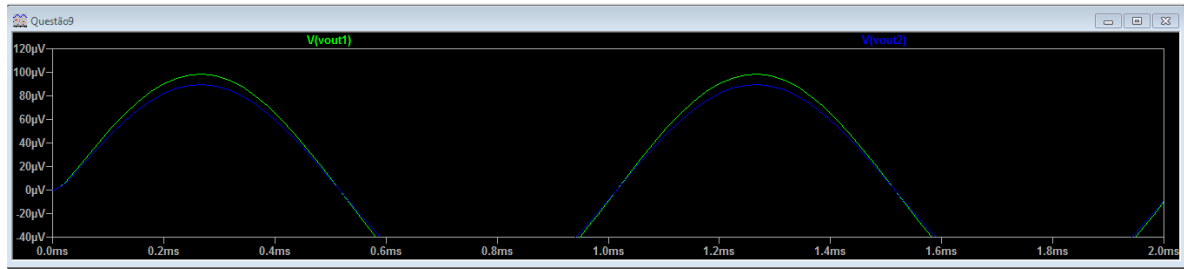
Dando um pouco de zoom percebe-se uma pequena diferença entre a amplitude dos gráficos, conforme a figura a seguir:



Considerando os mesmos parâmetros mas com tolerância de 10% pra menos tem-se :



Simulação com zoom:



Quanto maior a tolerância dos resistores menor é a tensão de saída.

b) Qual erro na tensão de saída com relação CMRR do AmpOp.

O calculo do CMRR com relação a tolerância dos resistores é dado pela formula:

$$\text{CMRR}_{\text{dB}} \cong 20\log_{10}\left(\frac{1+G}{\alpha \times \epsilon}\right)$$

Considerando para valor mínimo $\alpha = 4$ e para valor típico $\alpha = 0.33$, tem-se o valor do CMRR para os casos no item a:

Tolerancia	CMRR Minimo	CMRR Tipico
5%	74 dB	96 dB
10%	68 dB	90 dB

c) Dica de exemplos com valores diferentes de tensão de modo comum (VCM). Faça o mesmo circuito com resistores com tolerâncias bem distintas, ex. 1% e 5%.

10. Faça um resumo explicando as limitações de tensão de entrada e saída de um AmpOp. De exemplos, utilizam-se valores de datasheet.

a) Defina o que é um AmpOp Rail-to-rail.

Teoricamente um amplificador ideal possui a capacidade de excursionar sua saída até os limites de sua alimentação, entretanto na prática notamos que os AmpOp's não possuem essa capacidade, de maneira que o limite de excursão é sempre inferior a

tensão de alimentação. Em virtude da necessidade de componentes compatíveis com pequenas tensões de alimentação, alimentação simples e capacidade máxima de aproveitamento da tensão de entrada/saída do componente, os fabricantes passaram a desenvolver novos modelos com arquiteturas otimizadas para tais funções. Estes AmpOp's são conhecidos como Rail-to-Rail.

Este componente tem como principal característica a capacidade de aproveitar praticamente todo o range de alimentação em sua saída, na prática contando com apenas alguns mV de perda entre os limites de alimentação. Por exemplo, a linha MCP600x da Microchip possui um Maximum Output Voltage Swing de " $V_{SS} + 25 \text{ mV}$ " e " $V_{DD} - 25 \text{ mV}$ ", além disso possui impressionantes $10 \text{ T}\Omega$ de impedância de entrada, isso mesmo, $10^{13} \Omega$.

11. O que é tensão de offset? Como calcular o efeito resultante na tensão de saída de um amplificador inversor?

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, normalmente diferencial, a saída do amplificador operacional pode ser diferente de zero quando ambas as entradas estão no potencial zero. Significa dizer que há uma tensão C.C. equivalente, na entrada, chamada de tensão de "offset". O valor da tensão de "offset" nos amplificadores comerciais está situado na faixa de 1 a 100 mV. Os componentes comerciais são normalmente dotados de entradas para ajuste da tensão de "offset".

12) Como minimizar o efeito da tensão de offset?

Tentar ajustar com um potenciômetro nos pinos de ajuste de Offset nos AmpOps comerciais ou inserir um capacitor de acoplamento após a tensão de entrada caso seja CA.

13. O que é a variação da tensão de offset pela temperatura?

O Offset se trata como um “erro” entre as medidas desejadas e as medidas encontradas, por isso varia-se com a temperatura.

a) Como verificar esse parâmetro no datasheet?

Talvez o nome, ou modo de localizar esse parâmetro no datasheet mude dependendo do modelo do Amp op. Mas no datasheet do LM 234 pode ser encontrado como “Average Temperature Coefficient of input Offset Voltage”, isso mostra o quanto a tensão varia a cada grau celcius.

14. O que são as correntes de polarização(Ibias) de AmpOp?

Em um amplificador ideal não existe corrente nas entradas inversora e não inversora, no entanto na realidade existe sim e funcionam como fontes de correntes internas no Amp Op. Essas correntes são conhecidas como corrente Ibias e assume valores baixos.

a) Como minimizar o efeito destas correntes? Descreva as aproximações e os possíveis circuitos para mitigar o problema.

Utilizar resistores que devem estar na ordem de $K\Omega$ abaixo.

b) Descreva a corrente de offset na polarização dos AmpOp.

O amplificador operacional ideal apresenta impedância de entrada infinita. Os amplificadores operacionais reais, entretanto, apresentam correntes C.C. de polarização em suas entradas. Essas correntes são, geralmente devidas às correntes de base dos transistores bipolares de entrada do amplificador operacional ou ainda correntes de fuga da porta do transistor de efeito de campo em amplificadores dotados de FETs à entrada. Como, na prática, os dispositivos simétricos de entrada não são absolutamente iguais, as duas correntes de entrada são sempre ligeiramente diferentes. A diferença dessas correntes é chamada de corrente de "offset" de entrada.