

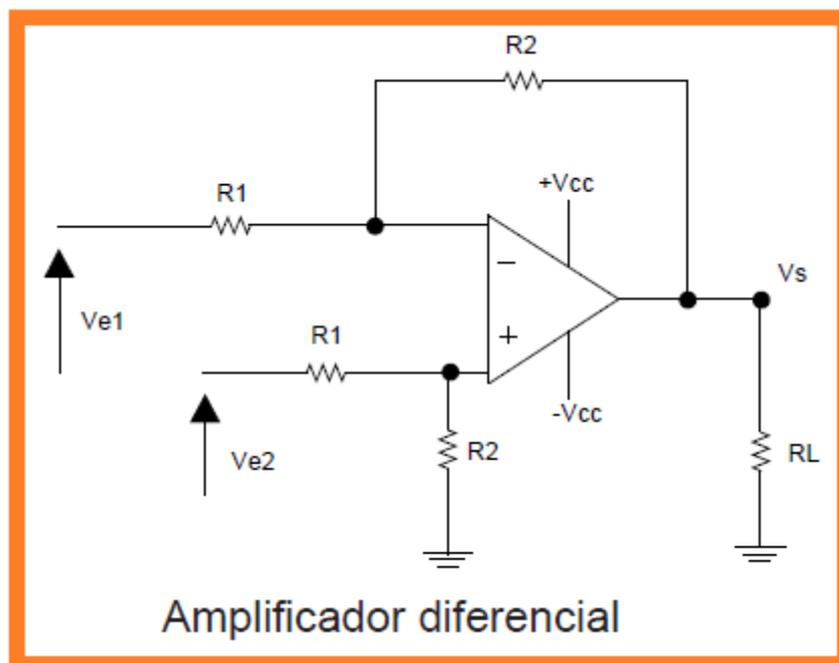
# AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

## AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

O circuito "amplificador diferencial" não é um *inversor* aceitando apenas duas entradas. A figura a seguir é o circuito básico no qual todas as resistências são diferentes.

É importante notar que as tensões de entrada podem ser alternadas ou contínuas, e o circuito comporta-se com um subtrator dos sinais de entrada, visto que são utilizadas as duas entradas – *inversora* e *não inversora*.

### CIRCUITO BÁSICO:



A expressão que relaciona as entradas  $V_{e1}$  e  $V_{e2}$  com a saída é dada por:

$$V_s = R_2/R_1 \cdot (V_{e1} - V_{e2})$$

Nestas condições temos o **ganho diferencial** que é representado:

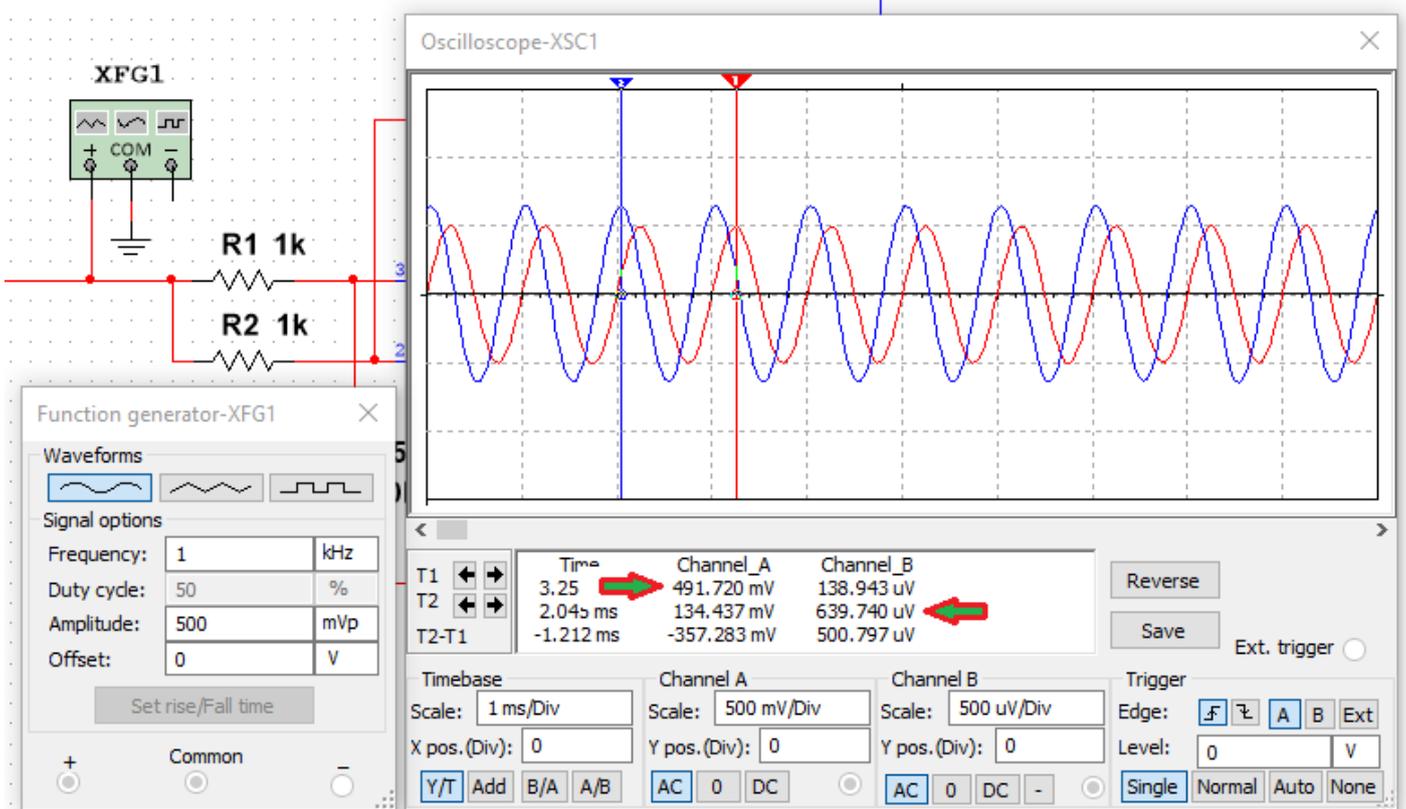
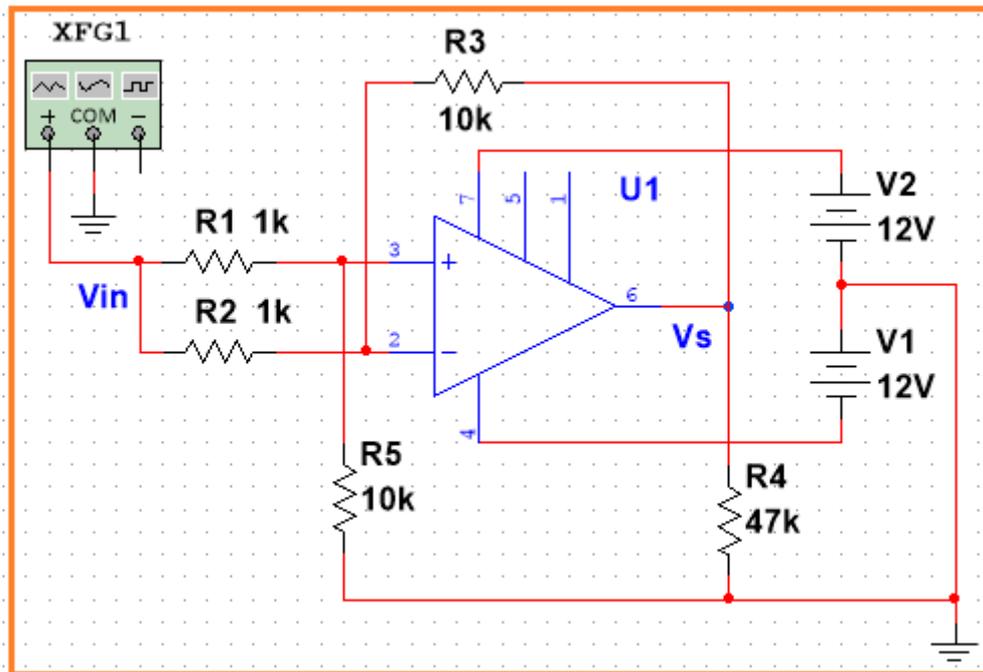
$$A_d = R_2/R_1$$

No circuito a seguir as tensões nas entradas inversora e não inversora são iguais e por isso se anulam.

Como resultado na saída ( $V_s$ ) deveríamos ter uma tensão nula, no entanto isso não ocorre pois o AO não é ideal.

Nessas condições o AO está operando em **modo comum**, onde:

$$A_c = V_s/V_{in} \text{ (ganho em modo comum)}$$



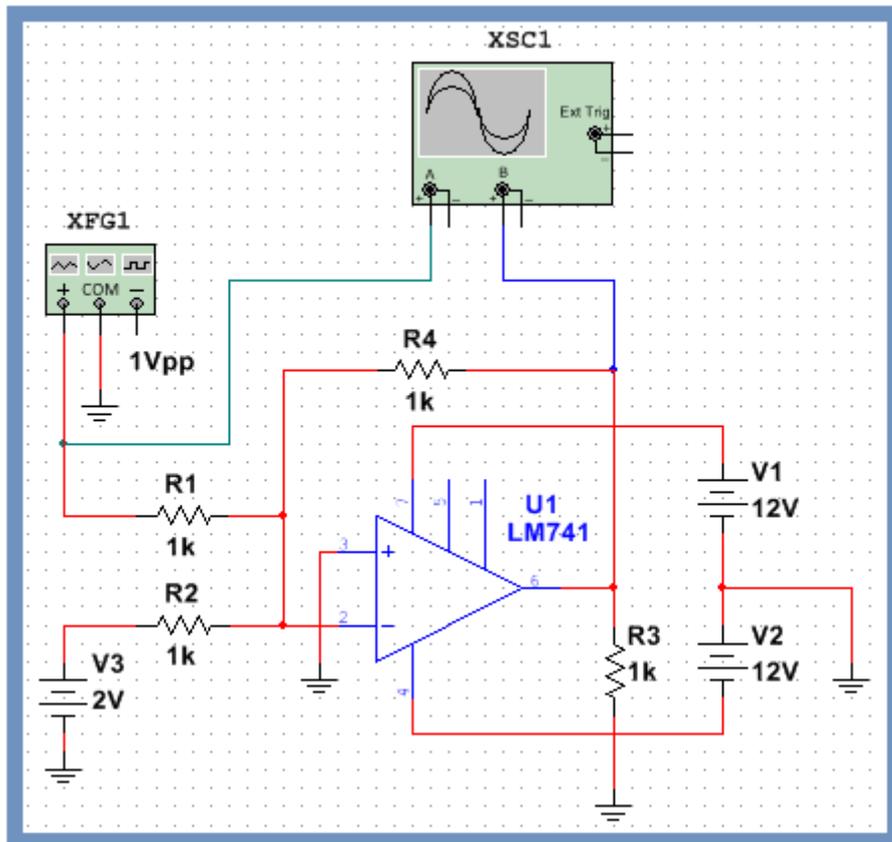
Analisando as medidas obtidas no osciloscópio, temos:

$$V_{in} - \text{canal A (traço vermelho)} = 491,72\text{mV}$$

$$V_s - \text{canal B (traço azul)} = 639,74\mu\text{V}$$

$$A_c = 639,74\mu\text{V} / 491,72\text{mV} = 0,0013 \text{ (ganho em modo comum)}$$

No circuito a seguir, temos dois sinais aplicados na entrada inversora (sinal AC de 1Vpp – 1kHz e tensão DC de 2V). A tensão DC de +2V fará com que o sinal na saída seja deslocado abaixo do eixo de referência em 2V. Veja a ilustração



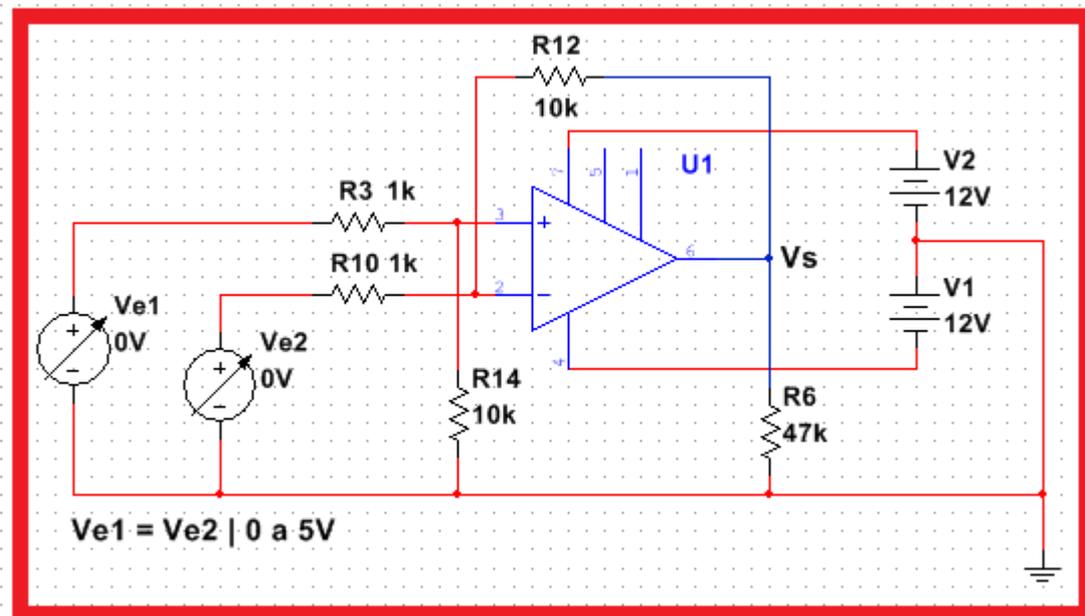
Na saída teremos como resultado uma tensão alternada com um referencial de -2V, conforme ilustra a figura a seguir, lembrando que trata-se de um AO ligado como inversor, daí então o nível de referência DC ser negativo (-2V). Como “Rf” neste caso R4, é igual a R1 e R2, então o ganho é unitário.



Ao inverter a polaridade da bateria de 2V aplicada na entrada o sinal de saída se deslocará 2V acima do eixo de referência.

## PRATICANDO E COMPROVANDO (Multisim)

### 1) Analisando o circuito:

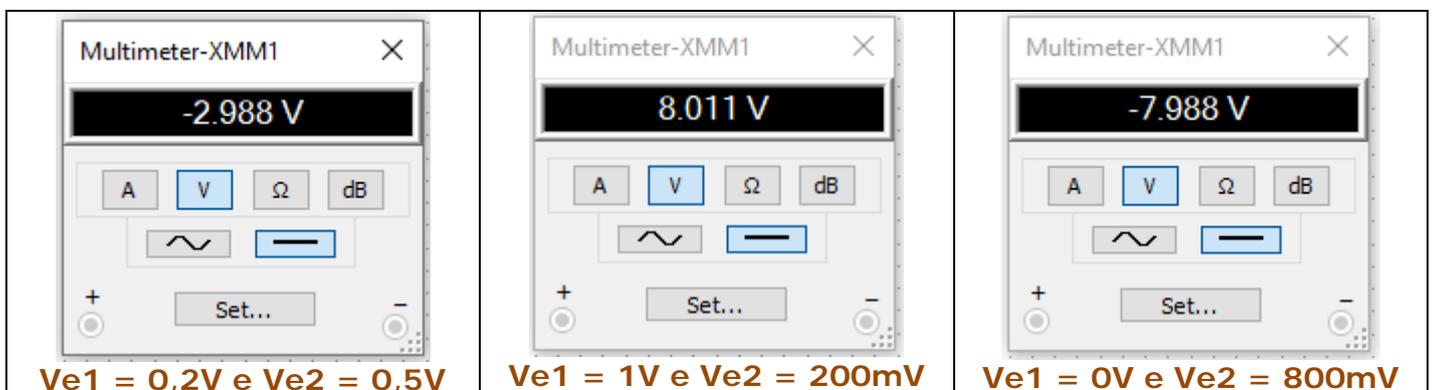


Calculando os valores das tensões na saída ( $V_s$ ) e comprovação:

$V_{e1}$	$V_{e2}$	$V_s$ (calculado)	$V_s$ (medido)
0,2V	0,5V	$0,3 \times 10 = -3V$	- 2,988V
1V	200mV	$0,8 \times 10 = 8V$	8,011V
0V	800mV	$0,8 \times 10 = -8V$	- 7,988V

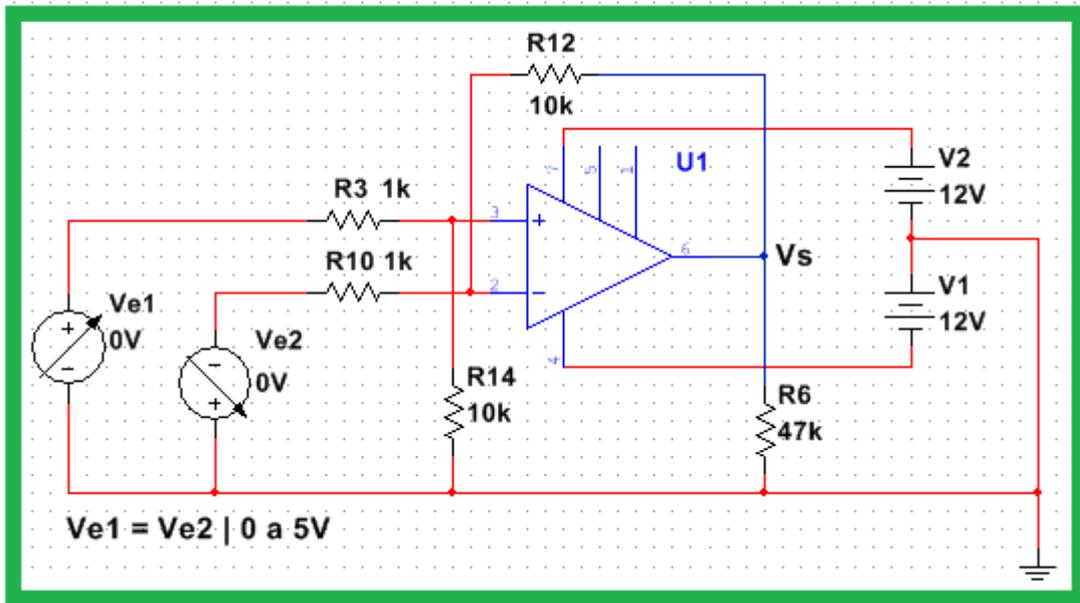
Observe que devido as entradas não inversora e inversora, ocorre uma subtração das tensões na entrada. Na linha 2 por exemplo, prevalece a tensão positiva na entrada não inversora.

### Valores medidos – voltímetro conectado na saída $V_s$ :



Observe que as entradas tensões de entrada  $V_{e1}$  e  $V_{e2}$  se subtraem devido ao efeito das entradas inversora e não inversora

## 2) Analisando o circuito:

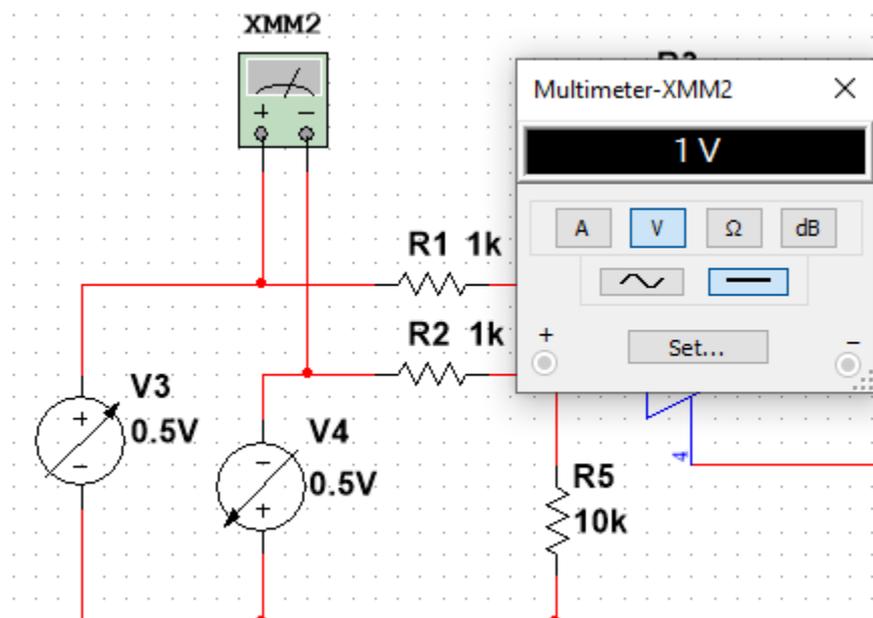


Calculando os valores das tensões na saída ( $V_s$ ) e comprovação:

$V_{e1}$	$V_{e2}$	$V_s$ (calculado)	$V_s$ (medido)
500mV	- 500mV	$1 \times 10 = 10V$	10,011V
100mV	- 200mV	$0,3 \times 10 = 3V$	3,011V
600mV	- 200mV	$0,8 \times 10 = 8V$	8,011V

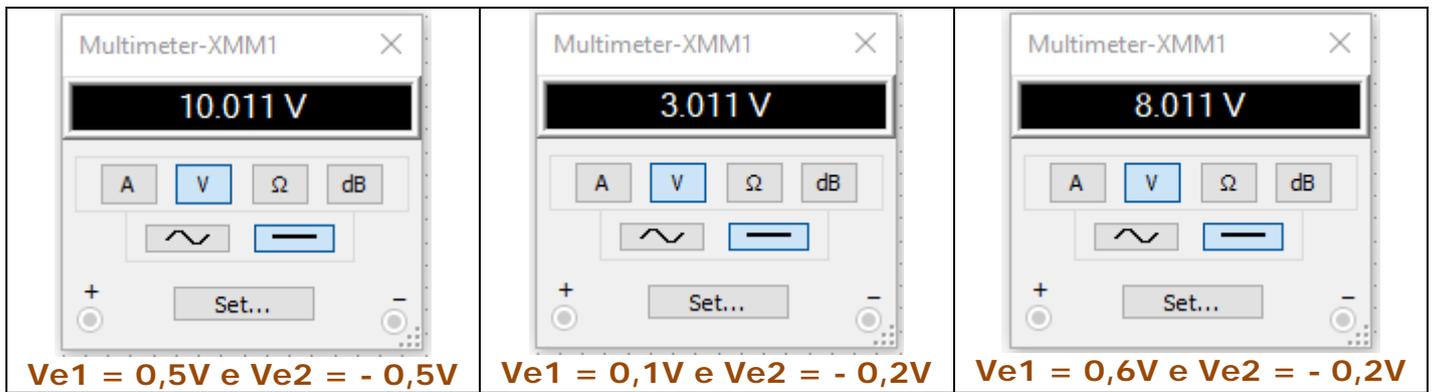
Observe que nos dois casos (circuito 1 e circuito 2) temos na entrada do amplificador operacional tensões contínuas (DC). Atenção especial deve ser dada a este circuito, onde a tensão de entrada  $V_{e2}$  é invertida em relação a tensão de entrada  $V_{e1}$ .

Tomando como exemplo a linha 1:  $500mV - (-500mV) = 500mV + 500mV = 1V$ , temos a soma das tensões na entrada.

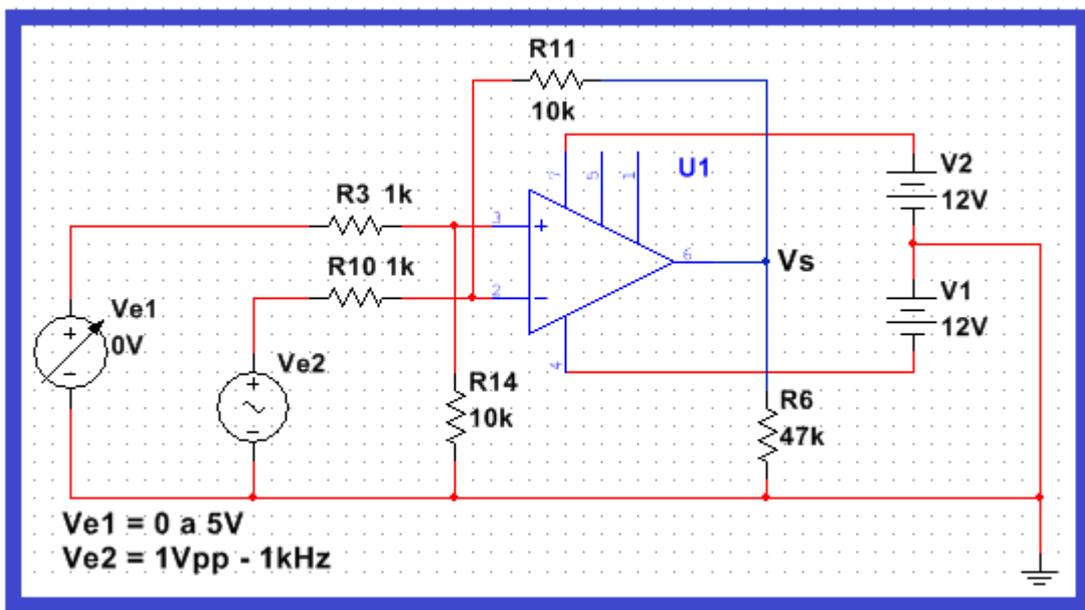


A figura acima ilustra a diferença das tensões aplicadas nas entradas

## Valores medidos – voltímetro conectado na saída Vs:



### 3) Analisando o circuito:



Calculando os valores das tensões na saída ( $V_s$ ) e comparando com os valores medidos conforme sugere a tabela abaixo:

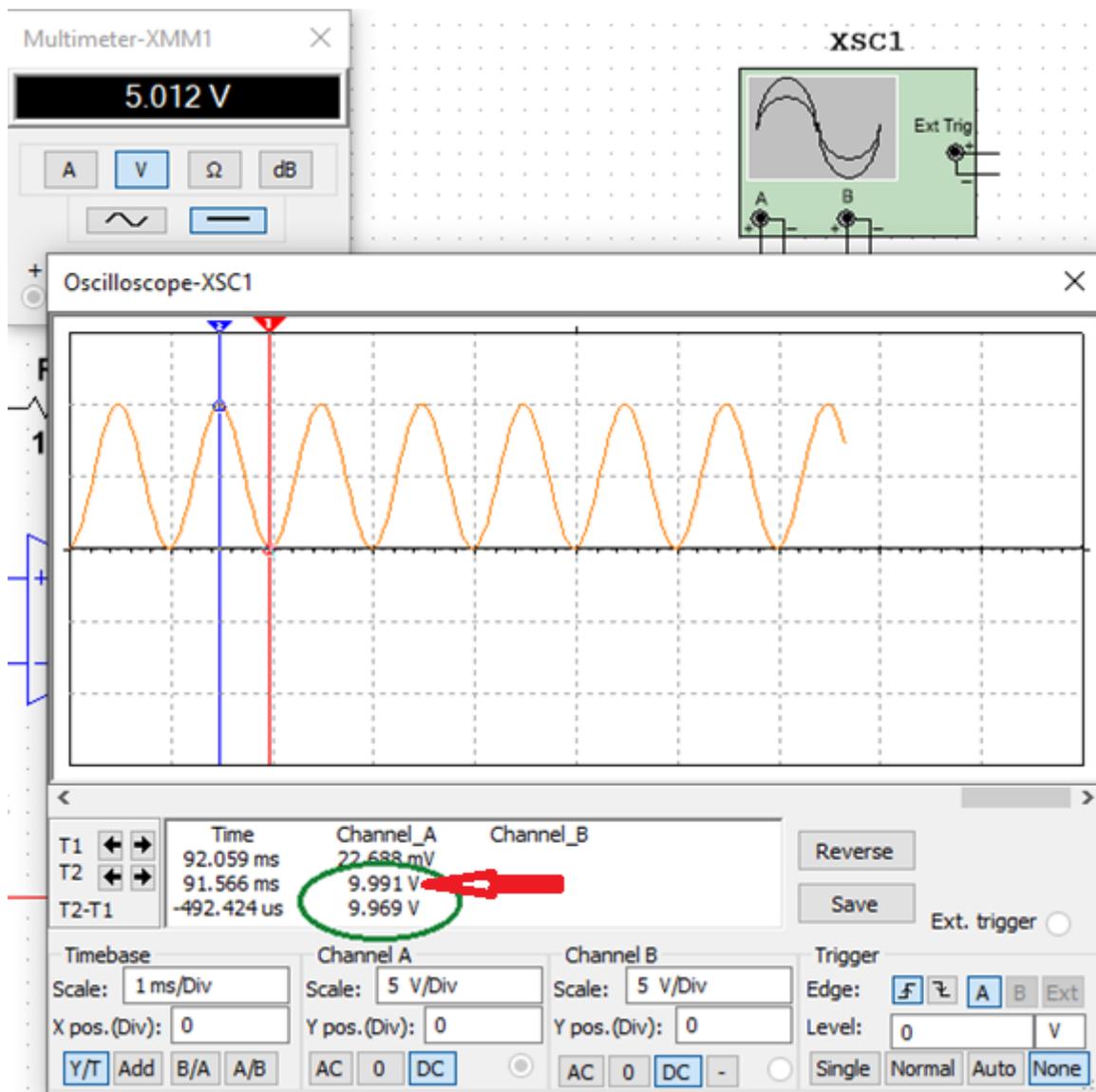
Ve1	Ve2	Vs (calculado)		Vs (medido)	
		AC	DC	AC	DC
0,5V	1Vpp	10Vpp	5V	9,969Vpp	5,012V
0,3V	1Vpp	10Vpp	3V	9,952Vpp	3,012V

a) Um voltímetro deve ser ligado na saída  $V_s$  para medir tensão DC. Como a relação entre os resistores  $R_{14}$  e  $R_3$  é igual a 10, teremos então para DC um ganho teórico igual a 10.

b) Um osciloscópio deve ser ligado na saída  $V_s$  para medir o sinal AC aplicado na entrada, o qual deverá apresentar um ganho teórico de 10, obedecendo a relação entre os resistores  $R_{11}$  e  $R_{10}$ .

Para  $V_{e1} = 0,5V$  e  $V_{e2} = 1V_{pp}$  (linha 1), temos as formas de onda mostradas no osciloscópio onde se verifica que cálculos e medidas são compatíveis.

Da mesma forma no voltímetro medimos a tensão DC onde se observa a compatibilidade entre valores medidos e calculados.



Observe que o osciloscópio está ajustado para medir DC, logo o sinal AC amplificado estará acima do eixo de referência (coordenada  $x$ ).

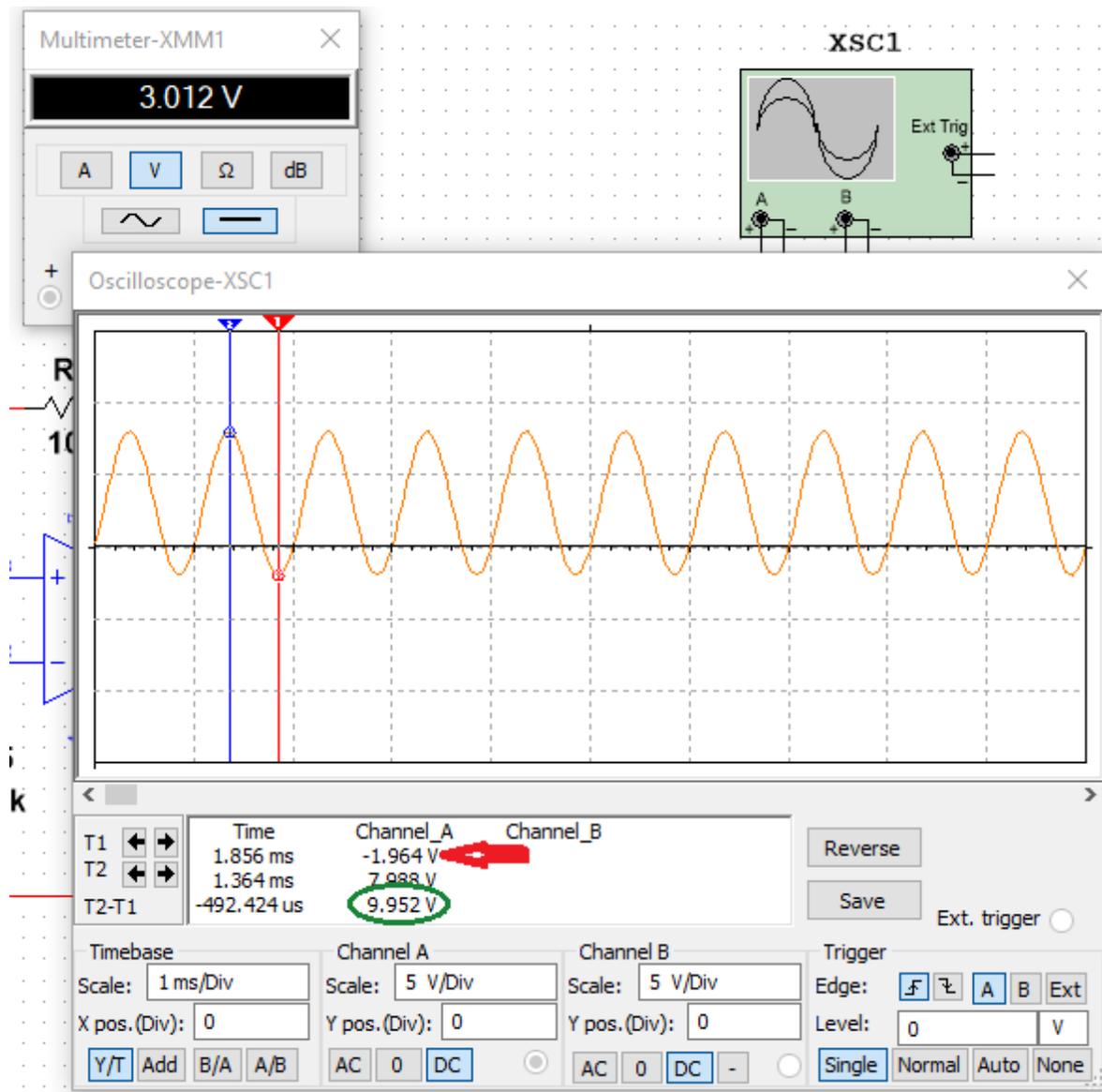
O valor dessa referência é 5V, pois conforme calculado na linha 1:  $0,5V \times 10 = 5V$

Analisando a sensibilidade vertical dos dois canais do osciloscópio, verifica-se que estão ajustados para 5V/Div, o que mostra que o sinal da saída está deslocado 5 volts acima do eixo de referência ( $9,991V/2 \cong 5V$ ).

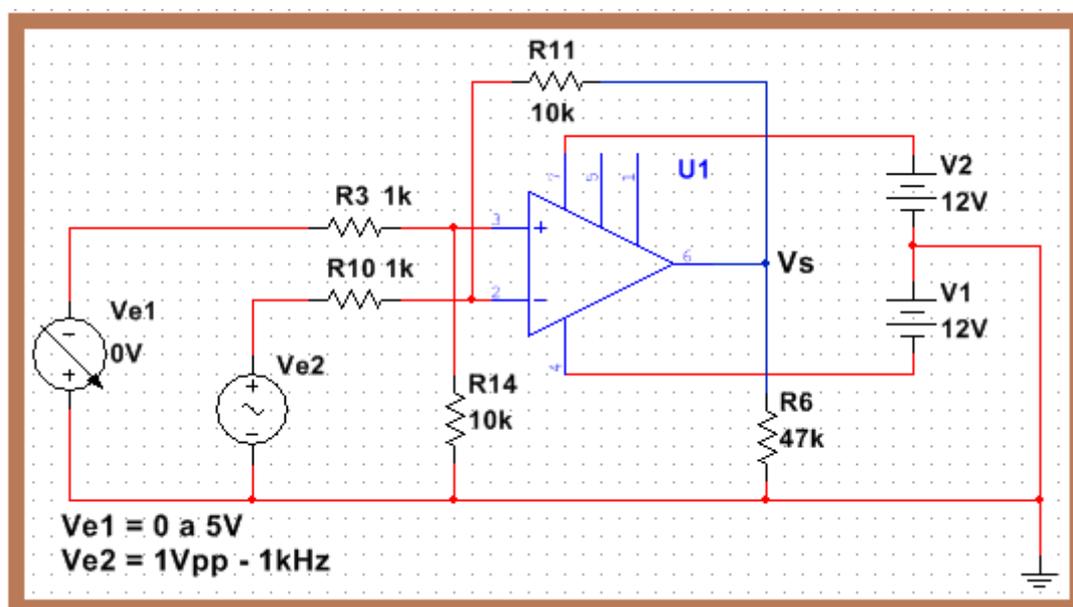
Na segunda linha, para  $V_{e1} = 0,3V$  e  $V_{e2} = 1V_{pp}$ , temos as formas de onda mostradas no osciloscópio onde se verifica que cálculos e medidas são compatíveis

O osciloscópio também está ajustado para medir DC e observa-se que o sinal de saída também está deslocado em relação ao eixo de referência.

Analisando as medidas obtidas no osciloscópio esse deslocamento ocorre abaixo do eixo de referência, cujo valor é de -1,964 volts.



#### 4) Analisando o circuito:

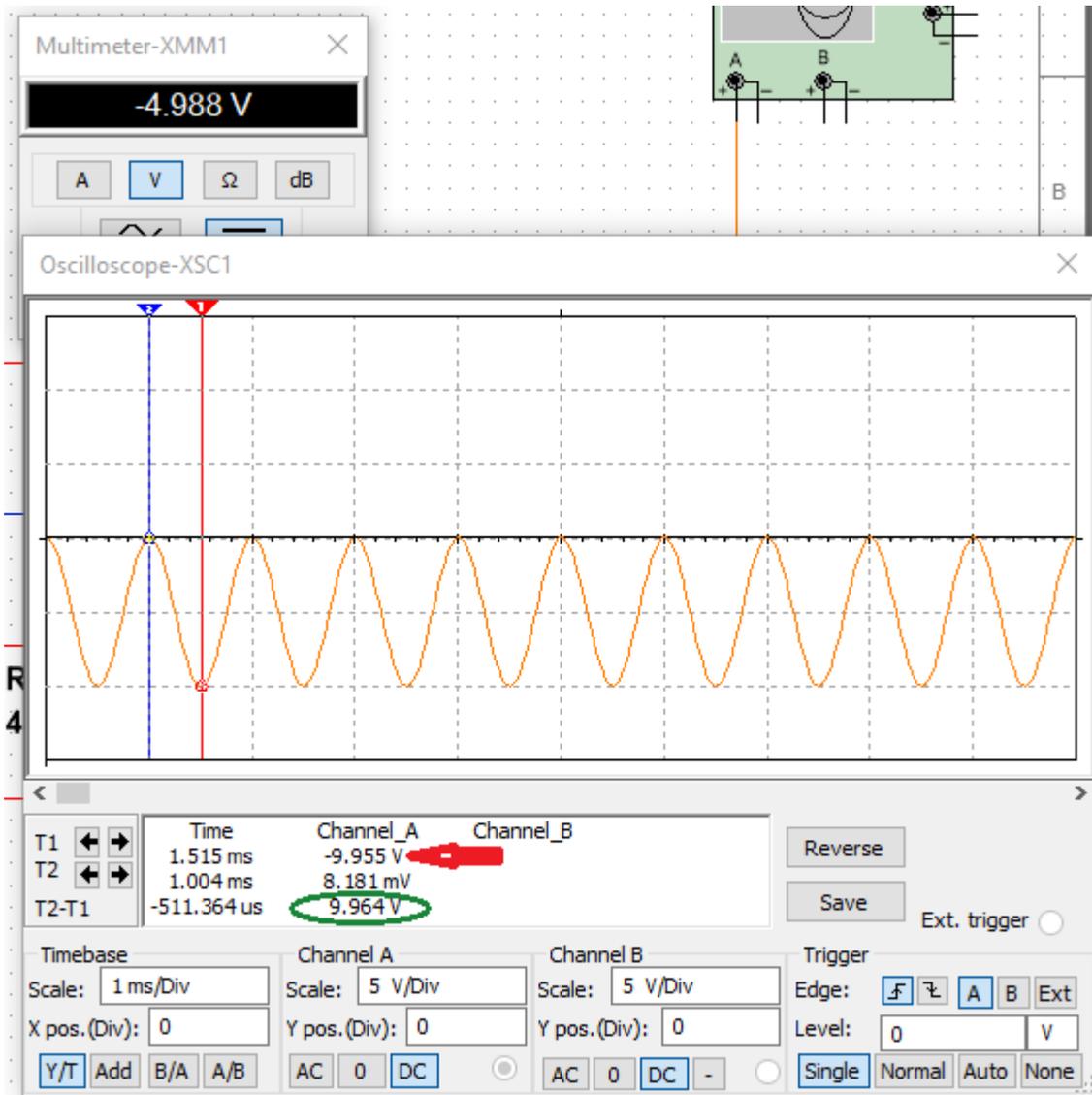


Calculando os valores das tensões na saída ( $V_s$ ) e comprovação:

Observe que se trata do mesmo circuito proposto no item 3, porém com a polaridade de  $V_{e1}$  invertida.

Ve1	Ve2	Vs (calculado)		Vs (medido)	
		AC	DC	AC	DC
- 0,5V	1Vpp	10Vpp	- 5V	9,964Vpp	- 4,988V
- 0,3V	1Vpp	10Vpp	- 3V	9,952Vpp	- 2,988V

A figura a seguir mostra o resultado da simulação **(linha 1)** onde se observa a compatibilidade de valores calculados e medidos.

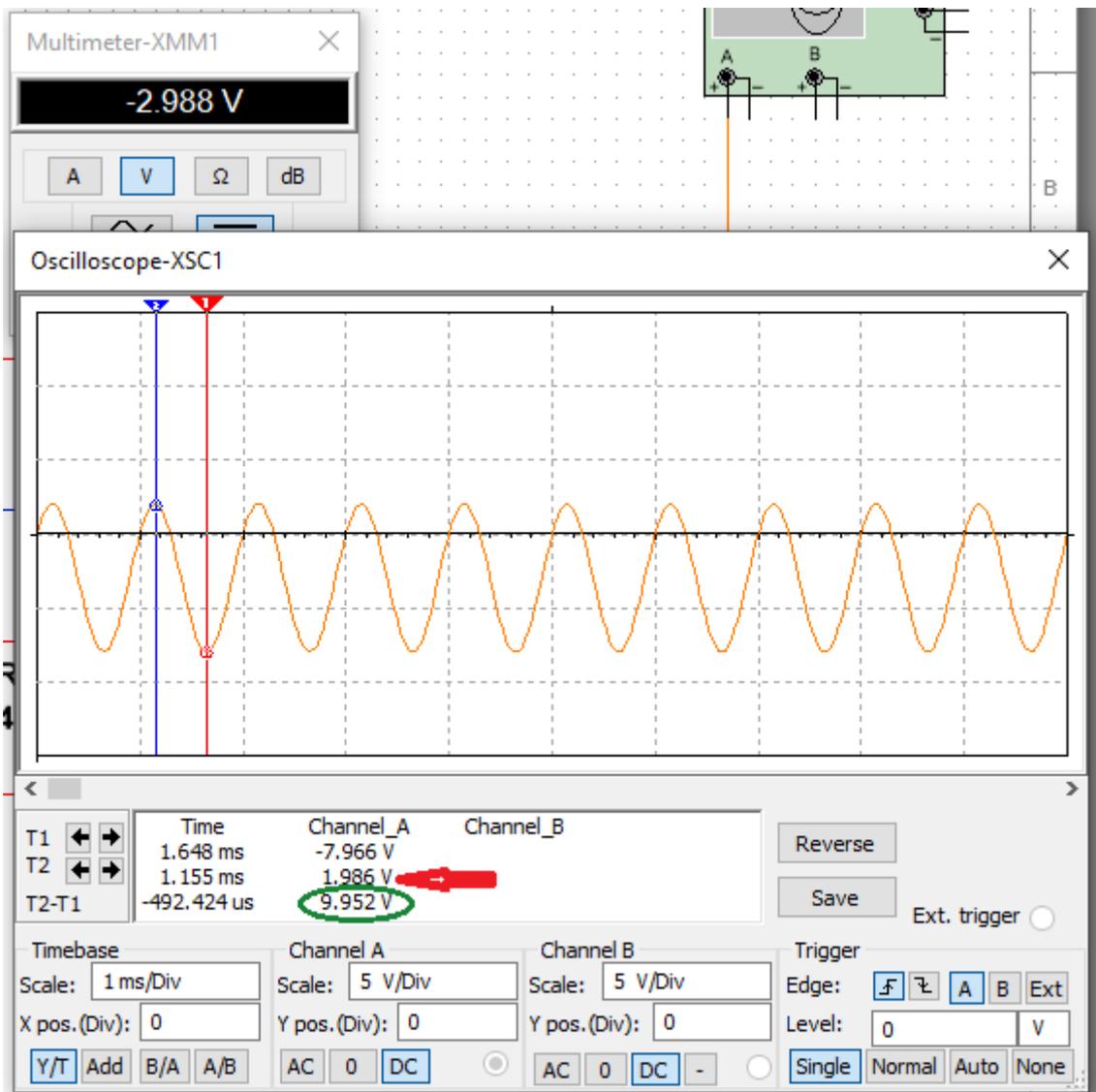


Da mesma forma que anteriormente, o deslocamento ocorre agora abaixo do eixo de referência (observe a calibração vertical nos dois canais = 5V/Div).

$$-9,955 / 2 \cong -5V$$

A figura a seguir mostra o resultado da simulação considerando a **linha 2** onde observa-se mais uma vez a compatibilidade entre valores medidos e calculados.

É importante observar que a tensão contínua aplicada na entrada não inversora, seja ela positiva ou negativa, não altera a amplitude do sinal de saída ou o ganho, alterando apenas o referencial deslocando o sinal AC na saída para cima ou para baixo do eixo de referência.



Observa-se agora que o deslocamento ocorre acima do eixo de referência cujo valor é de  $1,986\text{V}$  contra o valor de  $-1,964\text{V}$  visto anteriormente.