

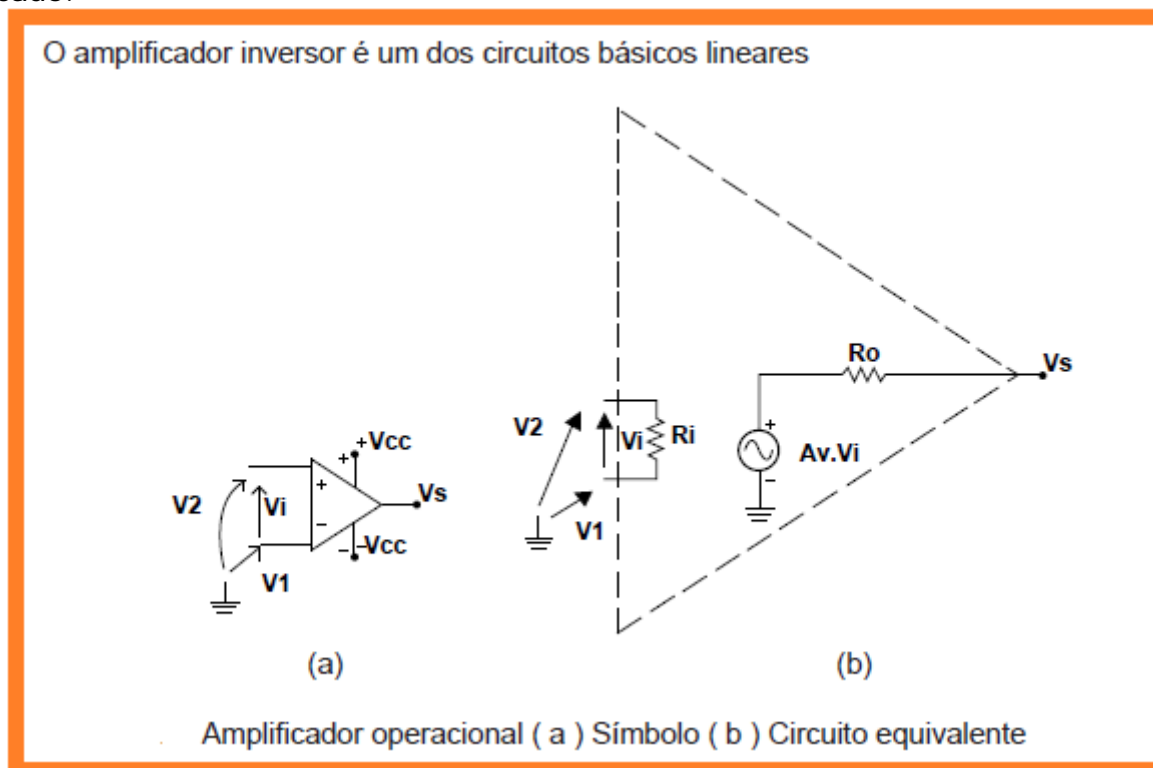
AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

AMPLIFICADOR INVERSOR

CIRCUITO BÁSICO:

O amplificador operacional é caracterizado por ter um altíssimo ganho em malha aberta, necessitando de realimentação negativa nas aplicações lineares (saída proporcional a entrada).

A figura a seguir mostra o símbolo do amplificador operacional e o seu modelo simplificado.



PARÂMETROS:

R_i é a resistência de entrada em malha aberta (sem realimentação)

Av é o ganho em malha aberta

Ro é a resistência de saída em malha aberta.

Realimentação Negativa

É obtida conectando a saída à entrada inversora (caso a saída estivesse conectada com a entrada não inversora a realimentação seria positiva).

Todos os amplificadores com AO obrigatoriamente terão realimentação negativa.

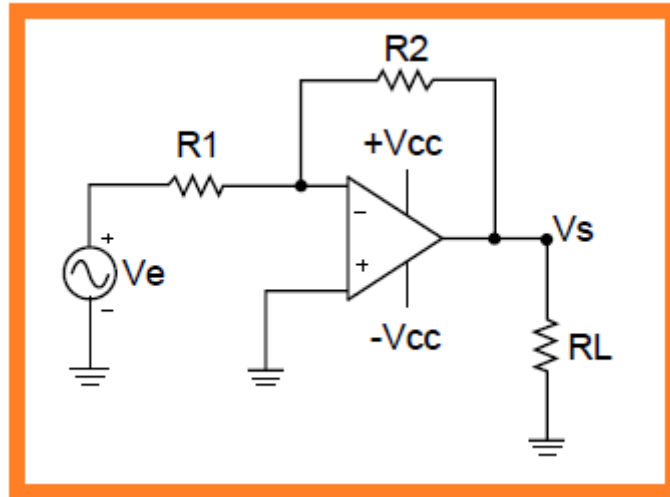
A realimentação negativa confere aos amplificadores algumas características interessantes tais como:

- 1- estabilidade do ganho,
- 2- aumento na largura de faixa,
- 3- diminuição na distorção e modificação na impedância de entrada e saída.

AMPLIFICADOR INVERSOR

Obtém-se aplicando-se em sinal na entrada inversora, onde a relação entre R1 e R2 determina o ganho do circuito.

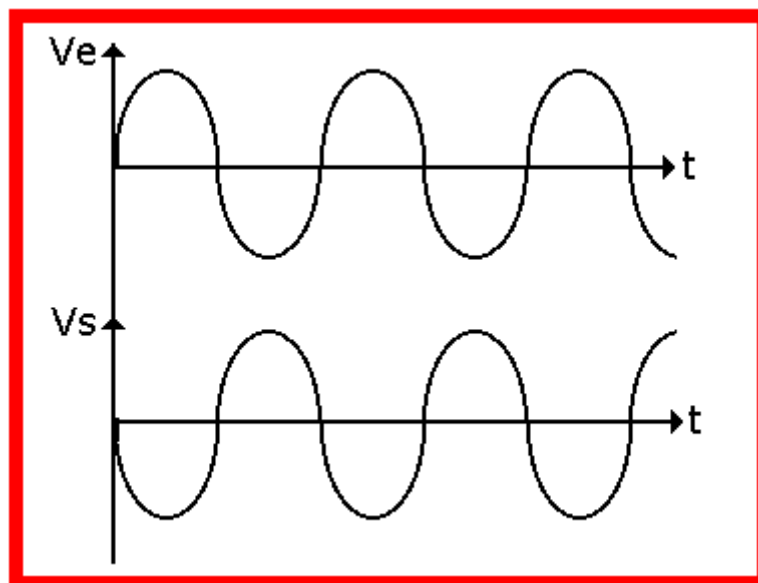
Observar que a *realimentação negativa* é caracterizada pela conexão entre a saída e a entrada inversora através de R2



Para o circuito acima, podemos calcular o ganho, neste caso, *com realimentação*:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

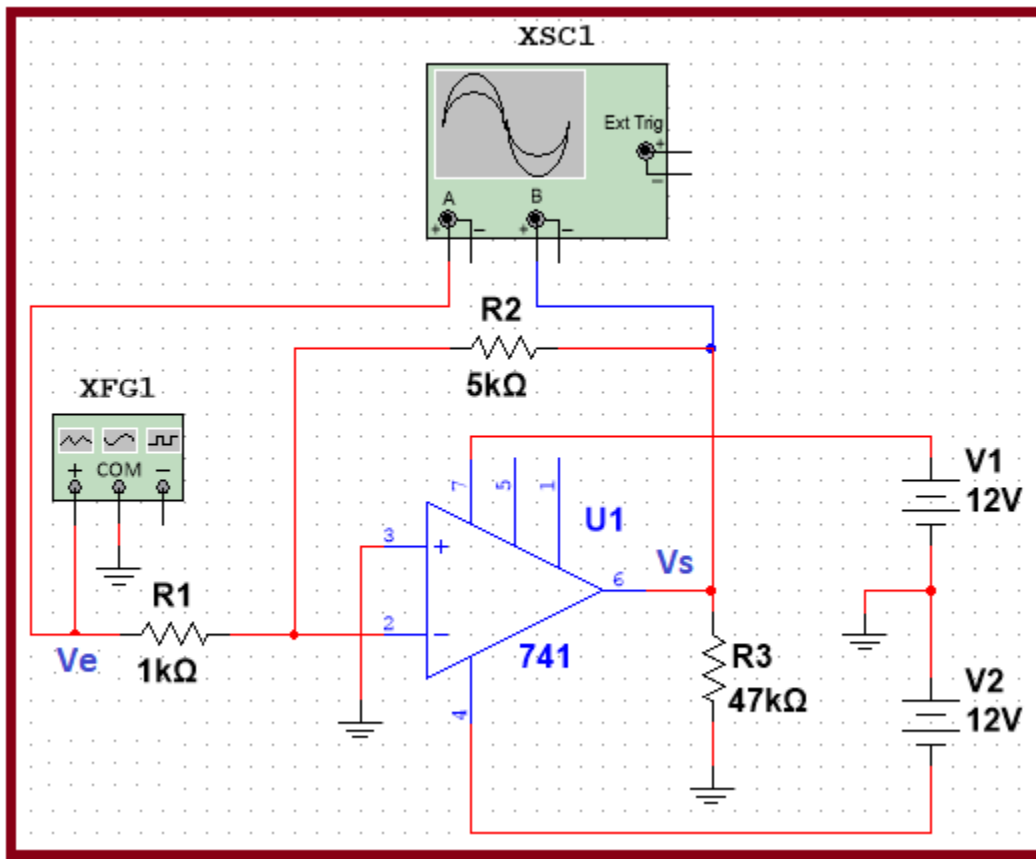
A_{vf} é um parâmetro que significa "ganho" e a letra "f" é proveniente da palavra inglesa *feedback*. A relação de fase entre os sinais de entrada e saída é de 180°



A resistência de entrada do circuito é o R1, enquanto R2 é o resistor de realimentação negativa

PRATICANDO E COMPROVANDO (Multisim)

Analizando o circuito:



Procedimento, utilizando o *amplificador operacional* **741**

- 1) alimentar o circuito com ± 12 volts (pino 7 +VCC, pino 4 -VCC)
- 2) ajustar o gerador de funções (Ve) com uma tensão senoidal para 1mVp, a uma frequência de 1kHz
- 3) O ganho pode ser calculado relacionando R2 e R1, que neste caso:

$$A_v = 5k/1k = 5$$

O resistor R2 desempenha o papel de resistor de realimentação (Rf)

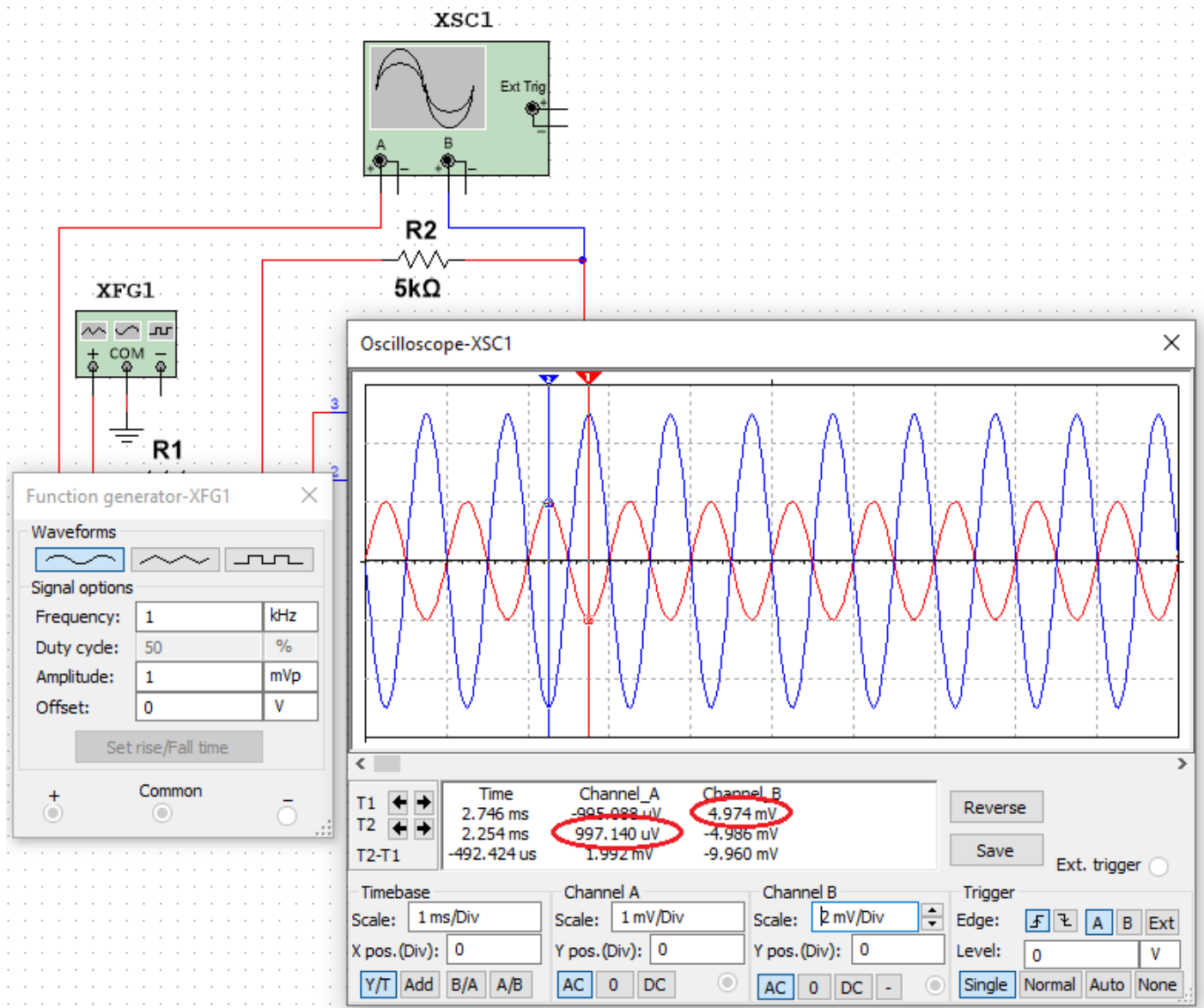
O resistor R3 (opcional) representa a carga

A figura a seguir ilustra a leitura das formas de onda e respectivas amplitudes feitas no osciloscópio, onde podemos calcular o ganho em função das tensões de entrada e saída medidas.

$$A_v = V_s/V_e = 4,974 / 0,99714 = 4,988$$

Comparando o ganho calculado ($A_v = 5$) com o ganho medido ($A_v = 4,988$), observa-se compatibilidade entre valor calculado e valor medido.

Por se tratar de um AO operando como inversor observa-se a defasagem de 180 graus entre os sinais de entrada e saída.



Sinal de entrada: traço vermelho
Sinal de saída: traço azul

Observe também a calibração vertical para os dois canais do osciloscópio.

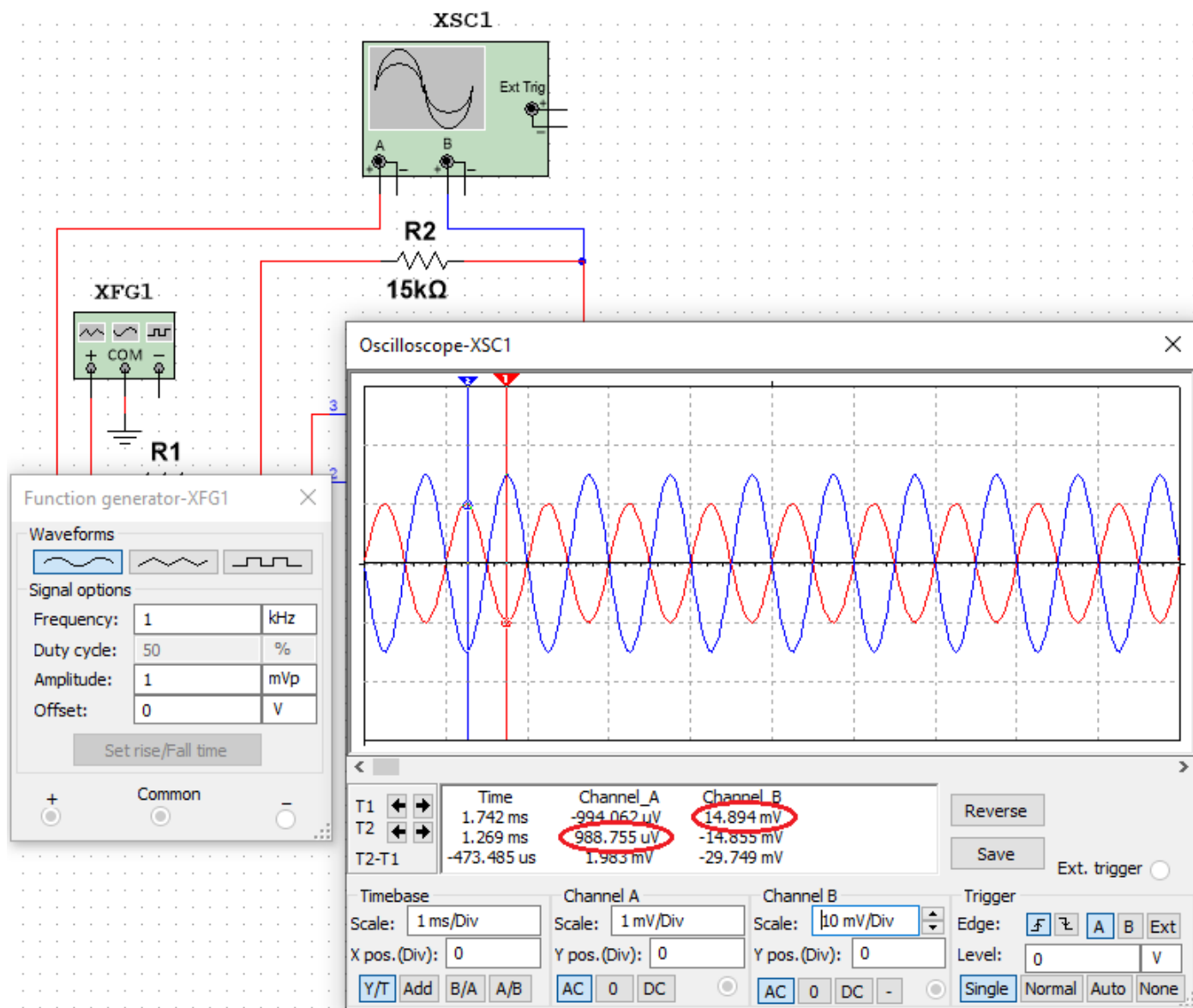
Como a frequência aplicada na entrada é de 1kHz, a base de tempo foi ajustada para 1ms, pois $1/1\text{kHz} = 1\text{ms}$

Aumentando o valor do resistor R2, mantendo fixo R1, a relação entre os dois aumenta e conseqüentemente o ganho aumentará.

Supondo $R2 = 15\text{k}$ e $R1 = 1\text{k}$, teremos então:

$$A_v = 15\text{k} / 1\text{k} = 15$$

A figura a seguir ilustra as formas de onda obtidas no osciloscópio, com a alteração do resistor R2 de 5k para 15k



Calculando o ganho através das medidas obtidas no osciloscópio temos:

$$A_v = V_s/V_e = 14,894 / 0,988755 = 15,06$$

Ganho calculado = 15

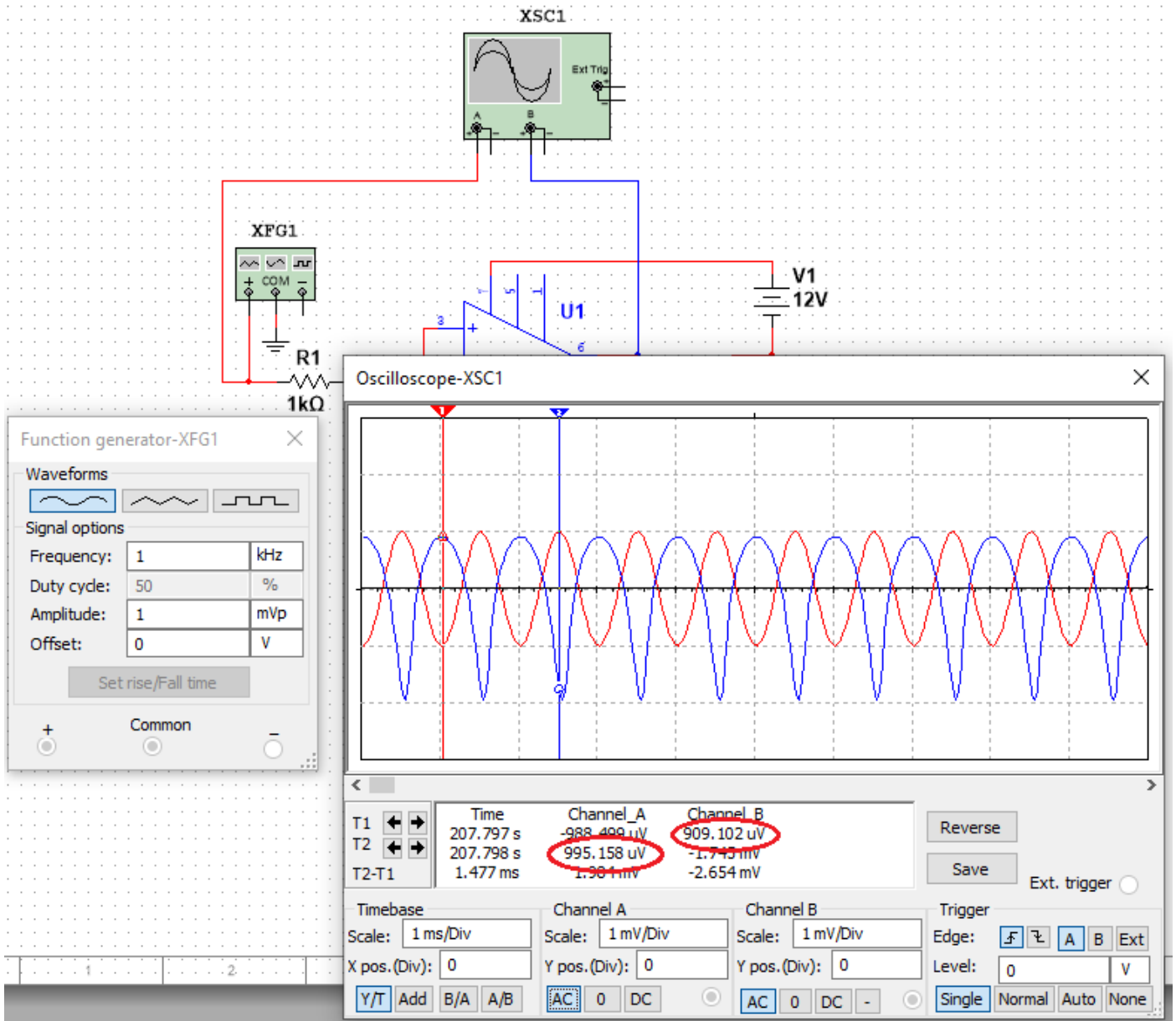
Ganho medido = 15,06

Podemos então deduzir a importância do resistor de realimentação para o controle e estabilidade do ganho de um AO

Quando o resistor de realimentação é introduzido, dizemos que o AO opera em malha fechada, pois parte do sinal de saída é reuplicado na entrada (feedback)

Quando esse resistor é removido o AO deixa de funcionar adequadamente para sinais AC.

Podemos verificar isso na figura mostrada a seguir:



Analisando os sinais de entrada e saída, observa-se que não ocorreu efeito de amplificação.

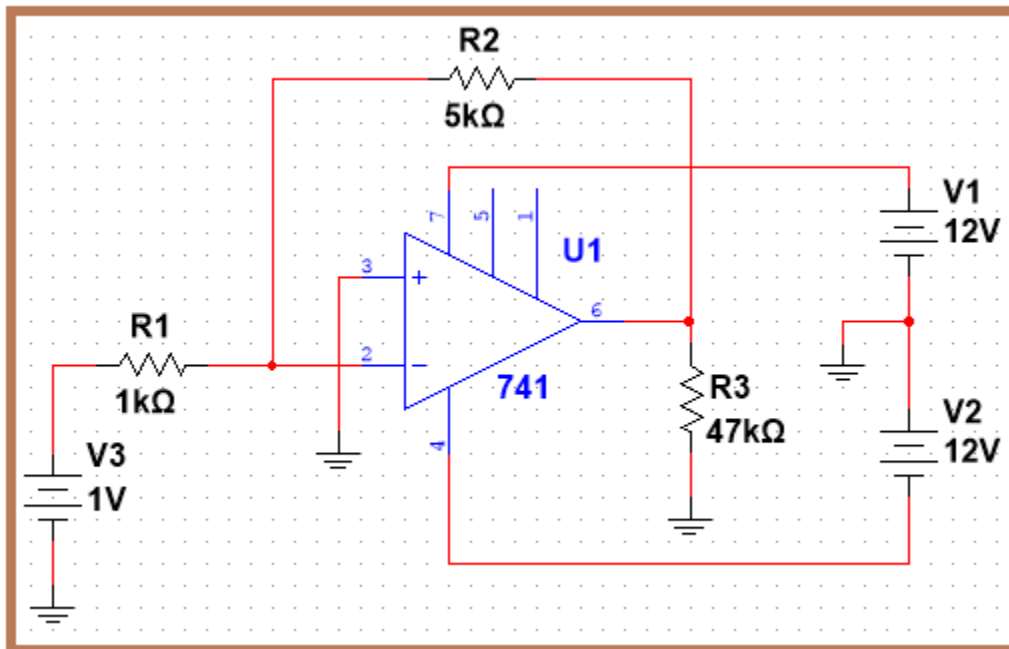
Isso é fácil de detectar bastando verificar a calibração da sensibilidade vertical dos dois canais do osciloscópio.

COMPORTAMENTO DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL INVERSOR COM TENSÃO DC NA ENTRADA

Um AO pode operar também com tensão (sinal) DC em qualquer uma das entradas, quando se deseja, por exemplo, um chaveamento eletrônico.

O efeito do resistor de realimentação é o mesmo, exceto que na saída teremos uma tensão DC amplificada com polaridade negativa uma vez que uma tensão DC é aplicada na entrada inversora.

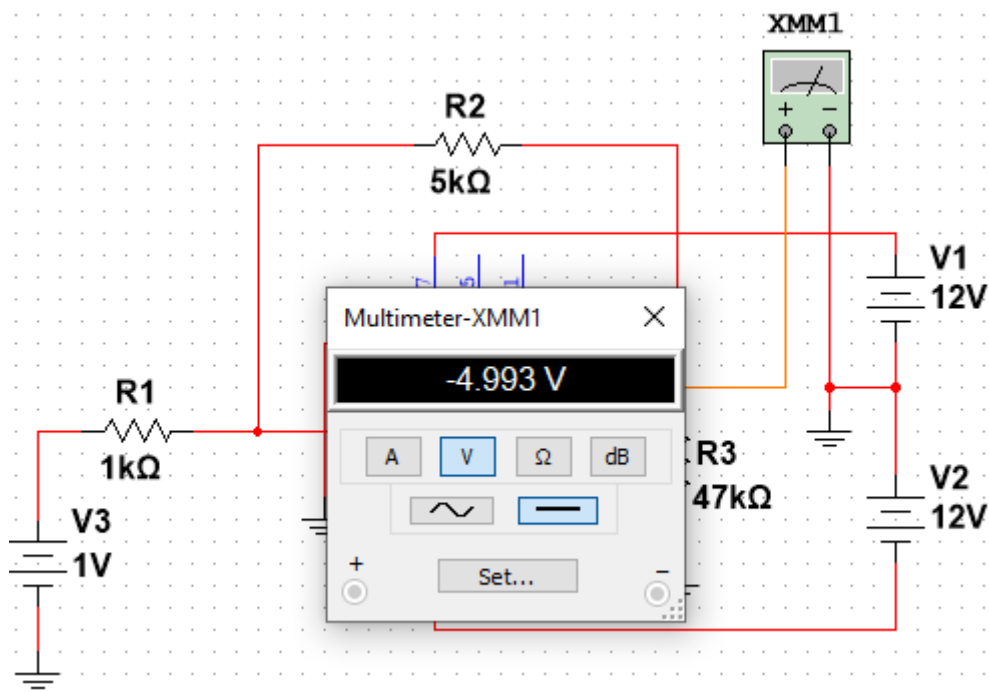
Vejamos então a simulação, a partir do circuito a seguir:



Com uma tensão na entrada de 1V, teremos na saída:

$$V_s = R_2/R_1 \times 1V$$

$$V_s = 5k/1k = 5 \times 1 = -5V$$



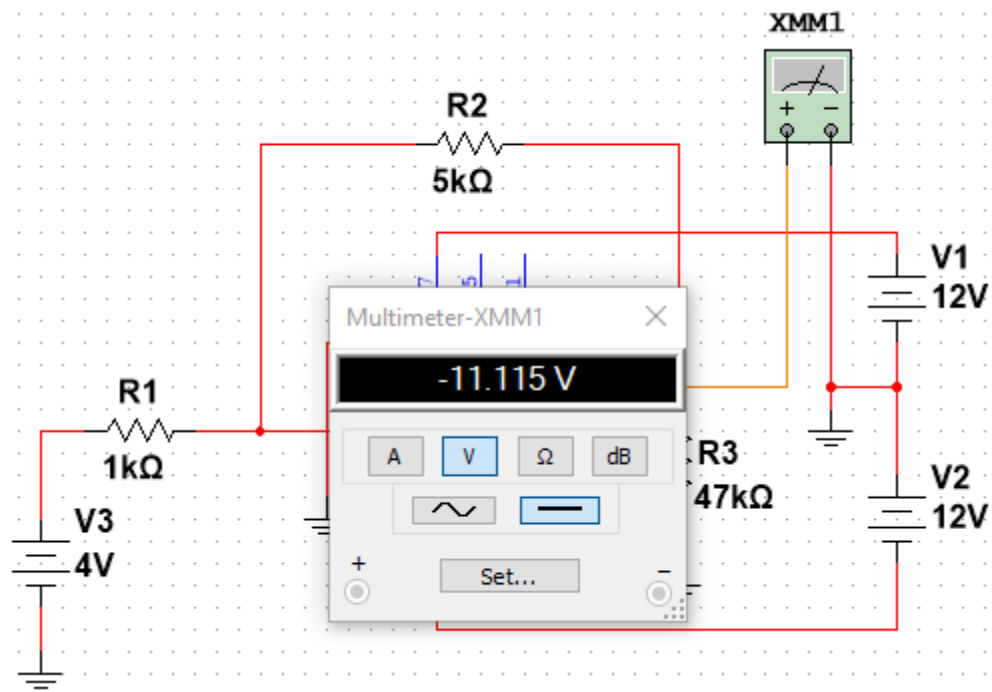
Valor calculado: - 5V

Valor medido: - 4,993V

IMPORTANTE:

A máxima tensão na saída está limitada ao valor da tensão de alimentação, ou seja, a máxima tensão na saída não ultrapassará a tensão de alimentação.

Por exemplo, se no mesmo circuito aplicarmos uma tensão de 4V, a máxima tensão na saída estará limitada à tensão de alimentação, no caso, 12V.



A simulação acima mostra a tensão de saída de -11,115V

O ganho teórico é de 5, portanto $5 \times 4V = -20V$

No entanto, aumentando a tensão de alimentação para 36 volts (máxima tensão suportada), teremos na saída a tensão de -20V

Veja a simulação abaixo:

