AMPLIFICADORES OPERACIONAIS (AULA 2)

Exemplo 2.2

Supondo um Amp Op ideal, derive uma expressão para o ganho em malha fechada v_O / v_I do circuito mostrado na figura 2.8. Utilize este circuito para projetar um amplificador inversor com um ganho de 100 e impedância de entrada de 1MΩ. Suponha que por alguma razão prática seja exigido usar resistores que não sejam maiores do que 1MΩ. Compare seu projeto com a configuração inversora mostrada na figura 2.4.

Solução:

A análise começa no terminal de entrada inversora, ou seja:

$$v_1 = \frac{-v_O}{A} = \frac{-v_O}{\infty} = 0$$

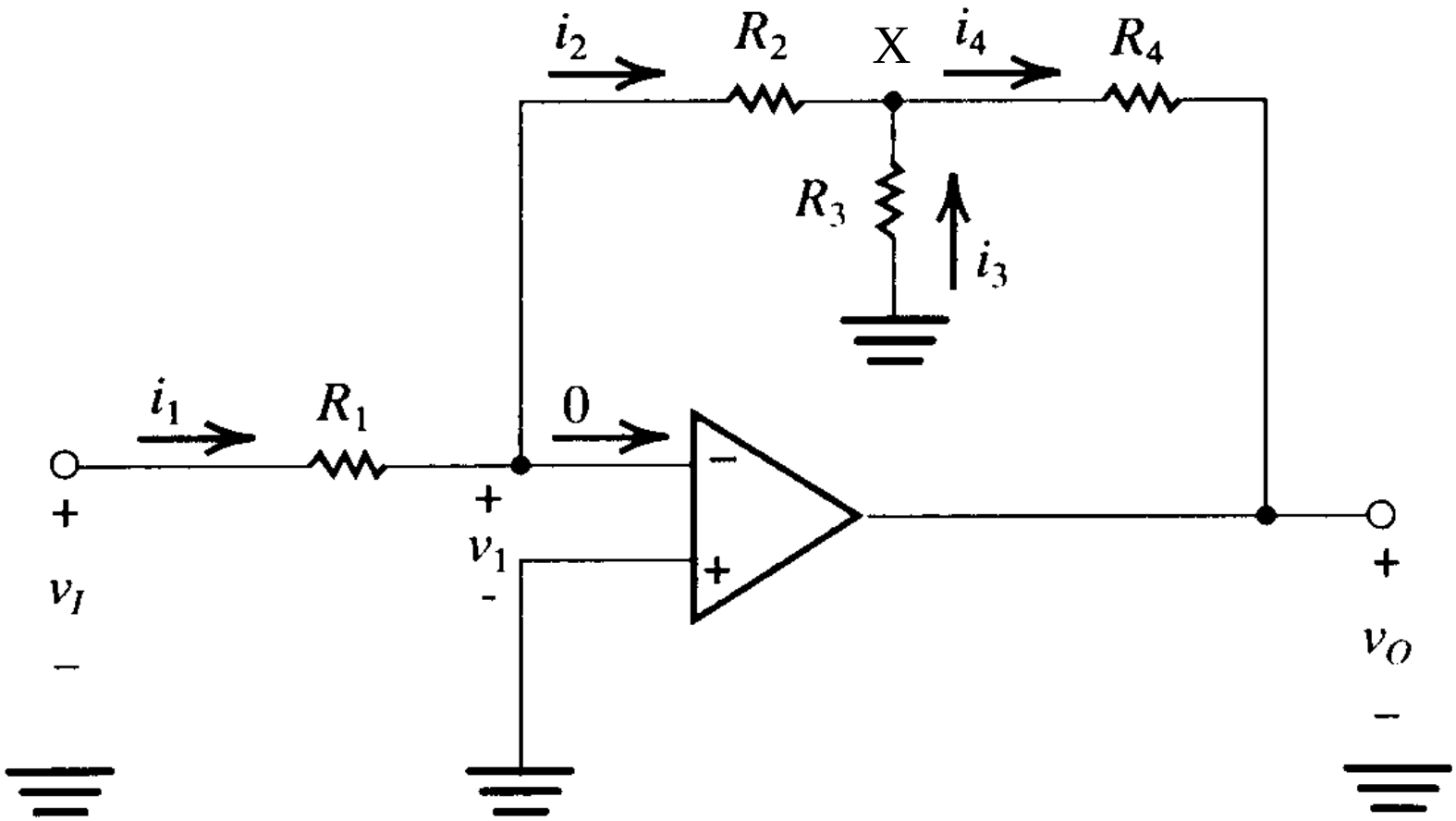


Figura 2.8 - Circuito para o exemplo 2.2.

Podemos determinar a corrente i_1 como segue:

$$i_1 = \frac{v_I - v_1}{R_1} \approx \frac{v_I}{R_1}$$

Uma vez que a corrente que circula pelo terminal de entrada inversora é zero, a corrente i_1 circula totalmente por R_2 e, portanto,

$$i_1 = i_2 \approx \frac{v_I}{R_1}$$

Agora podemos determinar a tensão no nó X:

$$v_X = v_1 - i_2 R_2 = 0 - \frac{v_I}{R_1} R_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_I$$

A partir da tensão v_X podemos determinar i_3 como segue:

$$i_3 = \frac{0 - v_X}{R_3} = \frac{R_2}{R_1 . R_3} . v_I$$

A seguir, uma equação nodal em X fornece o valor de i_4,

$$i_4 = i_2 + i_3 = \frac{v_I}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 . R_3} . v_I$$

Finalmente, podemos determinar v_O a partir de:

$$v_O = v_X - i_4 R_4 = -\frac{R_2}{R_1} v_I - \left(\frac{v_I}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 . R_3} . v_I \right) . R_4$$

Portanto, o ganho de tensão é dado por:

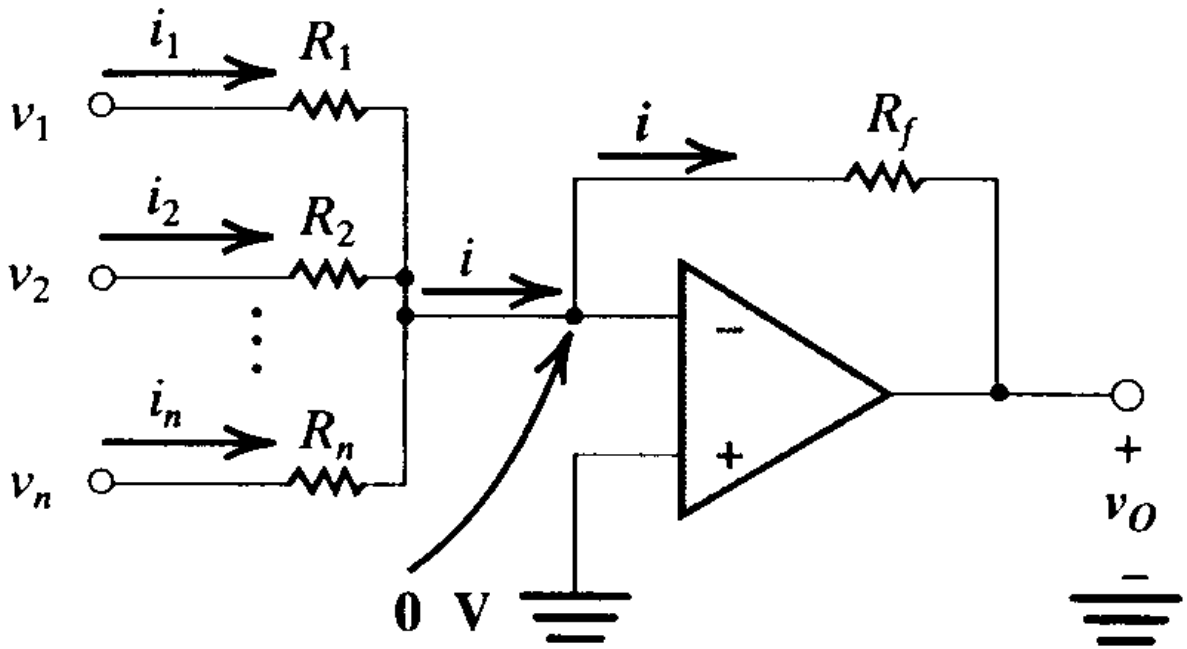
$$\frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} \right)$$

Visto que a resistência de entrada é igual a 1 MΩ, escolhemos R_1 = 1MΩ.

Fixando R_2 = R_4 = 1MΩ, para um ganho de -100 resulta R_3 = 10,2KΩ.

Para efeito de comparação, se fosse utilizada a configuração inversora, tomando R_1 = 1MΩ, seria necessário R_2 = 100 MΩ, isto é, um valor bem maior do que o valor máximo especificado no enunciado de 1 MΩ.

Circuito somador



$$v_O = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \ldots + \frac{R_f}{R_n}v_n\right)$$

Figura 2.10 - Circuito somador.

Somador algébrico ponderado

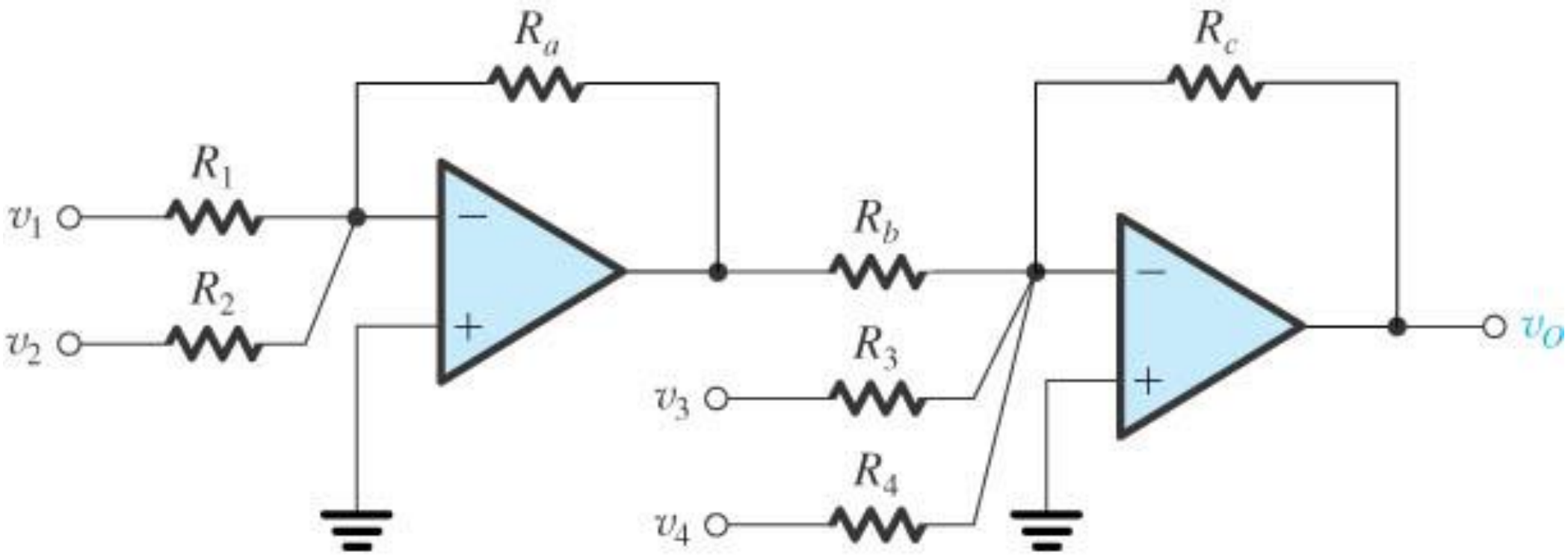


Figura 2.11 – Somador algébrico ponderado (implementa coeficientes de soma de ambos os sinais)

2.3 A configuração não inversora

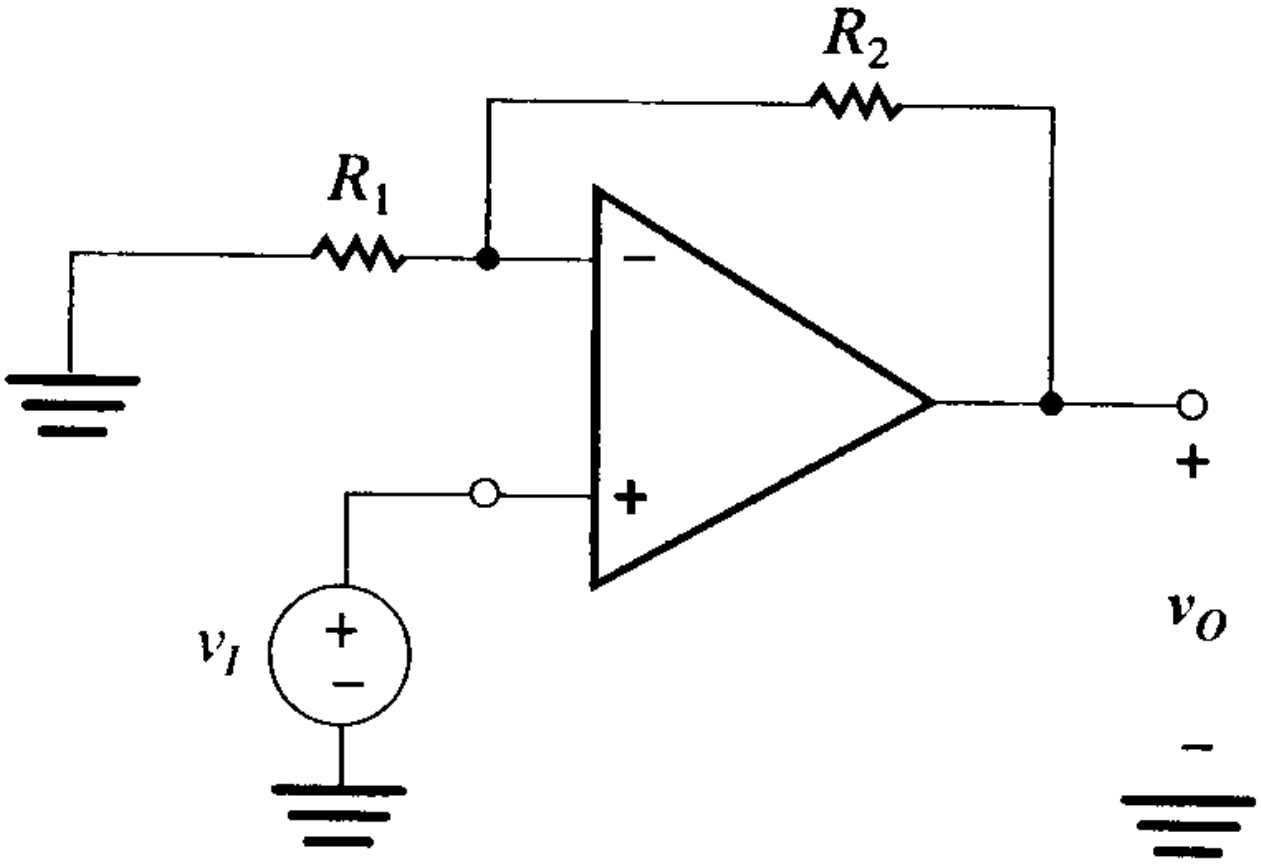
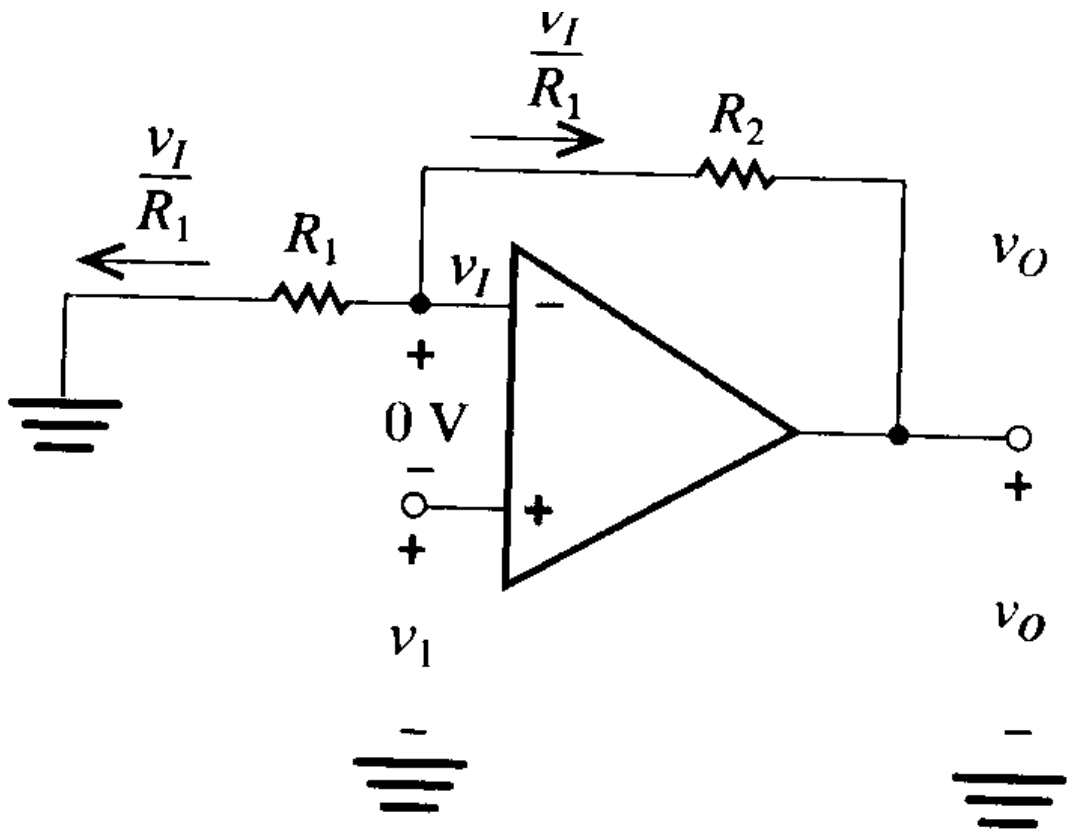


Figura 2.12 - Configuração não inversora.

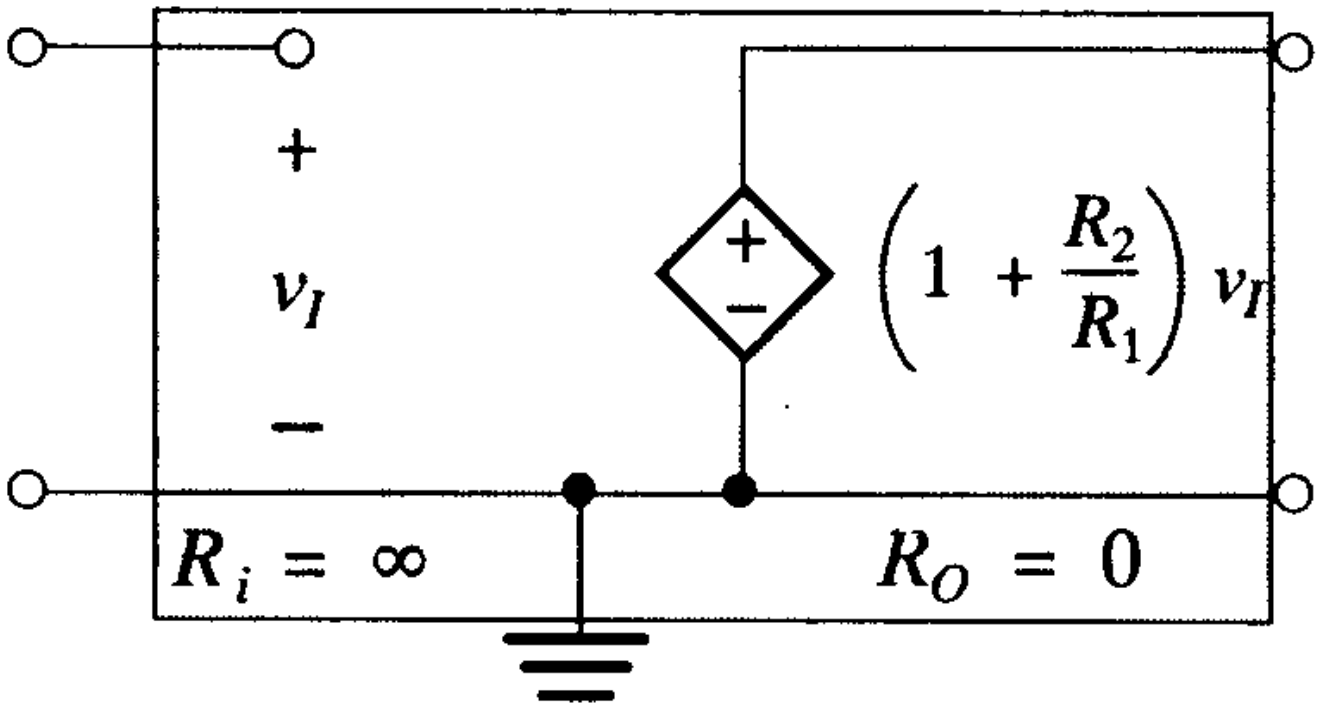


$$v_O = v_I + \frac{v_I}{R_1} R_2 = v_I\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Figura 2.13 - Análise da configuração não inversora.

$$v_2 - v_1 = \frac{v_O}{A} \approx 0, \qquad v_O = v_I + \left(\frac{v_I}{R_1}\right) R_2$$

$$\frac{v_O}{v_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



Modelo equivalente da configuração não inversora supondo Amp Op ideal.

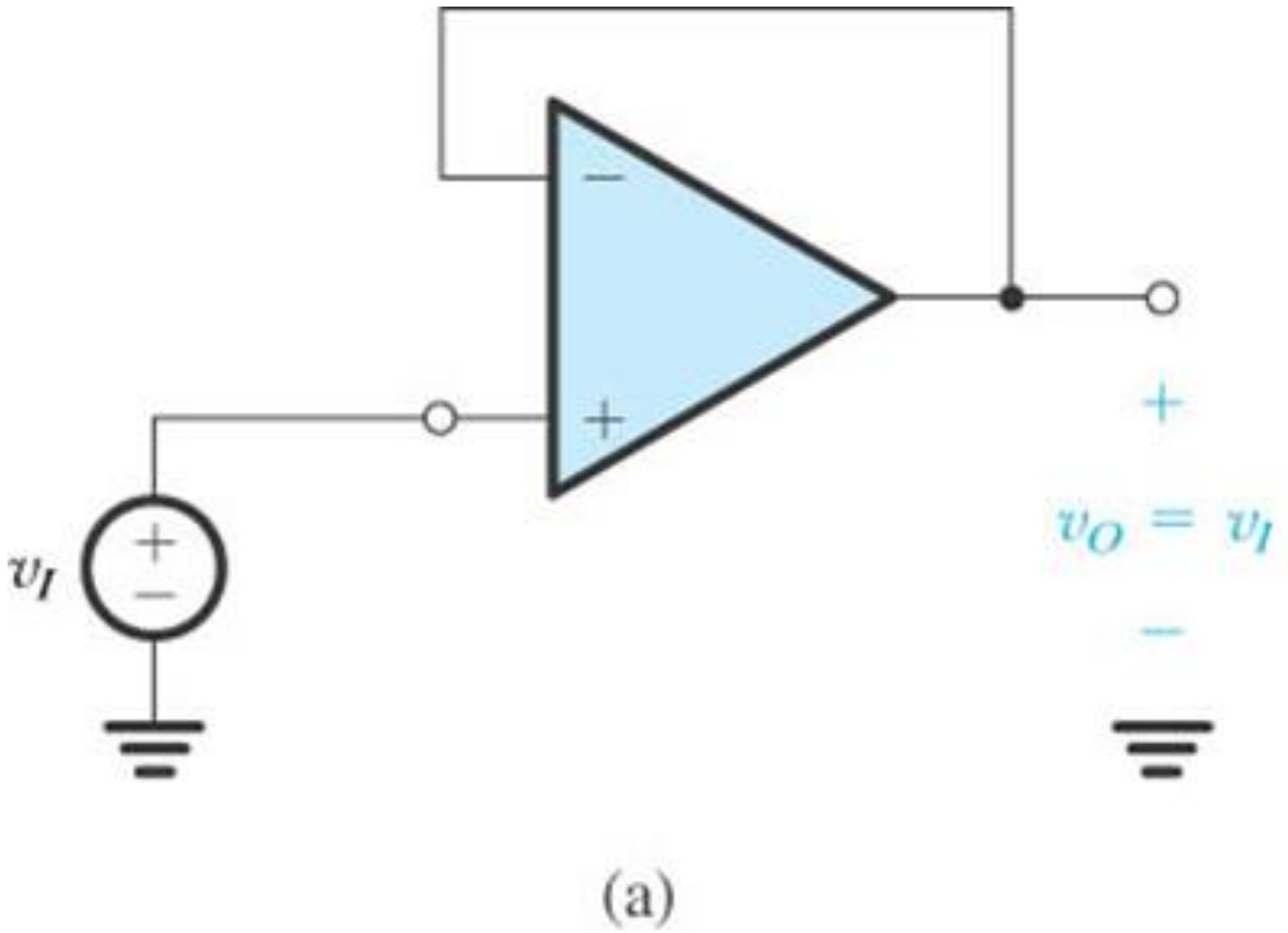


Figura 2.14 – Amplificador seguidor ou circuito casador de ganho unitário.

Amplificador de Diferenças

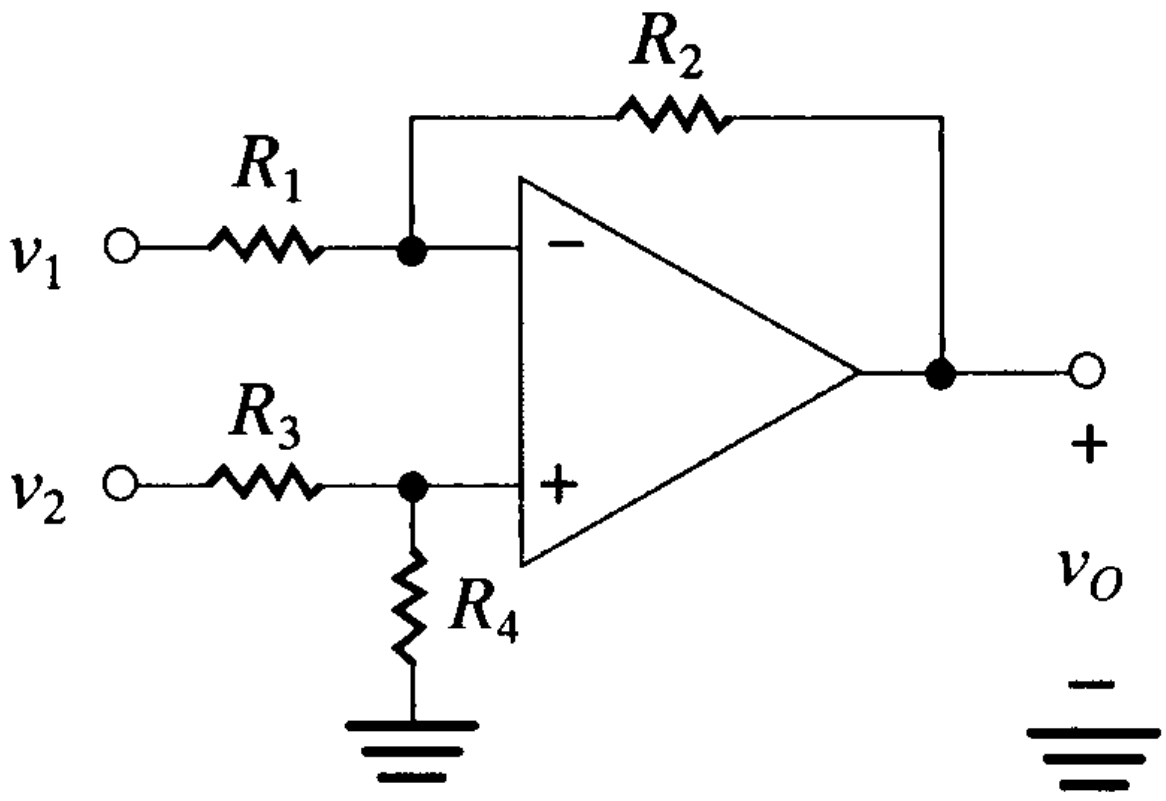


Figura 2.16 - Amplificador de diferenças.

Aplicando o teorema da superposição, primeiro aterramos o terminal onde está aplicado v_2 e encontramos o valor correspondente de tensão v_{O1} de saída devida a v_1 conforme indicado na figura 2.22(a).

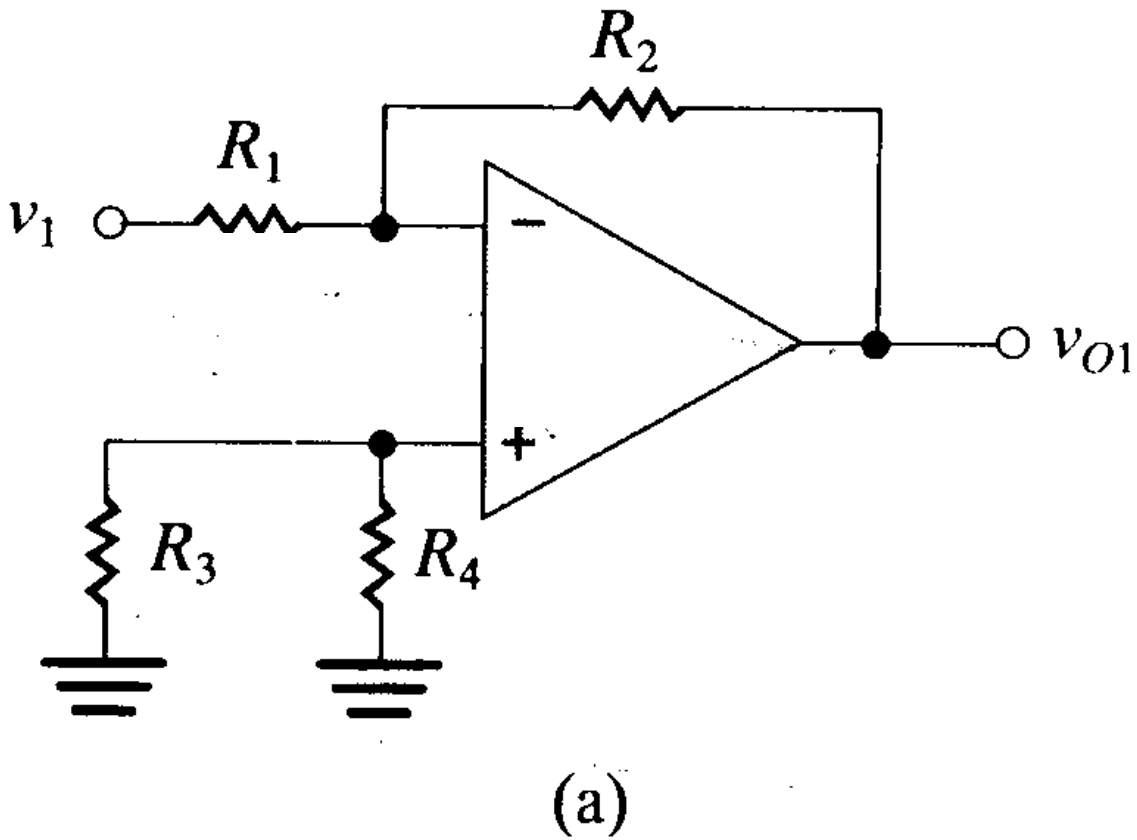
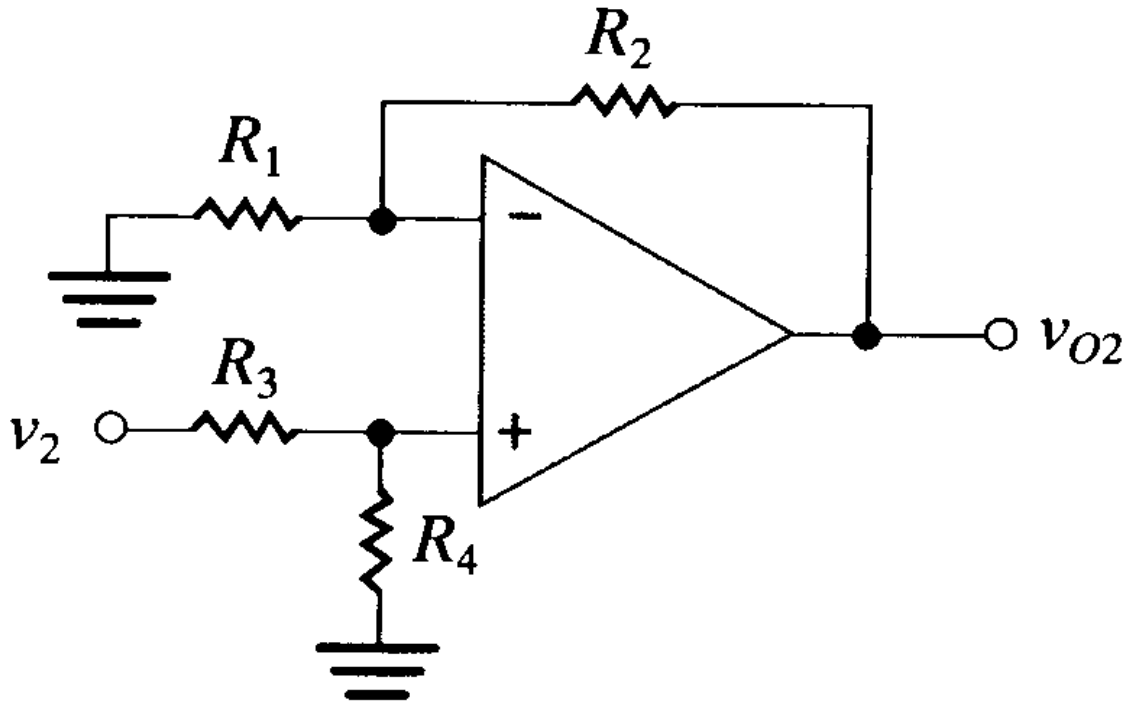


Figura 2.17(a) - Circuito para cálculo de v_{O1} devido a v_1.

A presença de R_3 e R_4 não afeta a expressão do ganho, pois nenhuma corrente circula por elas. Portanto,

$$v_{O1} = -\frac{R_2}{R_1}.v_1$$



(b)

Figura 2.17(b) - Circuito para cálculo de v_{O2} devido a v_2.

A tensão v_{O2} é, portanto, dada por:

$$v_{O2} = v_2 . \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

O teorema da superposição diz que a tensão de saída v_O é igual à soma de v_{O1} e v_{O2}. Portanto, temos:

$$v_O = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_2$$

Na condição particular em que $R_2/R_1 = R_4/R_3$ resulta:

$$v_O = \frac{R_2}{R_1}\left(v_2 - v_1\right)$$

A expressão acima corresponde a um amplificador da diferença v_2 - v_1 com ganho igual a R_2/R_1.