

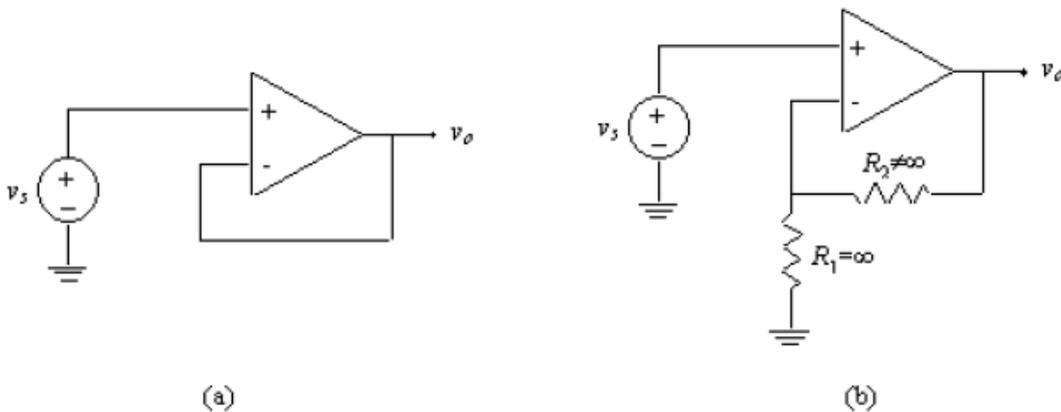
REVISÃO:

Circuitos com Amplificadores Operacionais

As montagens inversora e não-inversora são utilizadas numa infinidade de aplicações de processamento de sinal, designadamente de amplificação, filtragem, retificação de sinais, conversão e simulação de impedâncias, conversão tensão-corrente e corrente-tensão, etc.

Seguidor de Tensão

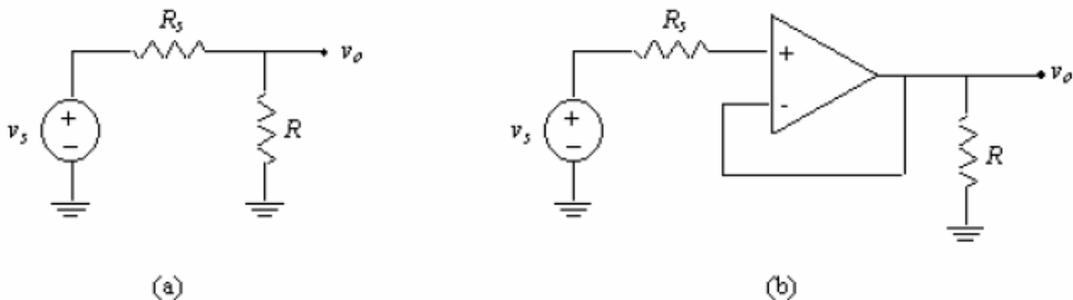
O circuito seguidor de tensão constitui uma das aplicações mais comuns do amplificador operacional (buffer).



O seguidor de tensão implementa um ganho unitário entre a entrada e a saída, resultado que à primeira vista poderia parecer destituído de aplicação prática.

$$\frac{v_o}{v_s} = 1$$

Na Figura abaixo apresentam-se dois circuitos que ilustram a utilidade prática do seguidor de tensão: em (a) a carga encontra-se ligada diretamente à fonte, cuja resistência interna introduz um divisor resistivo, ao passo que em (b) a fonte e a carga são intercaladas de um seguidor de tensão.



Identificam-se as seguintes diferenças entre estes dois circuitos: no primeiro caso a tensão na carga é inferior aquela disponibilizada pela fonte,

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{R}{R + R_s} < 1$$

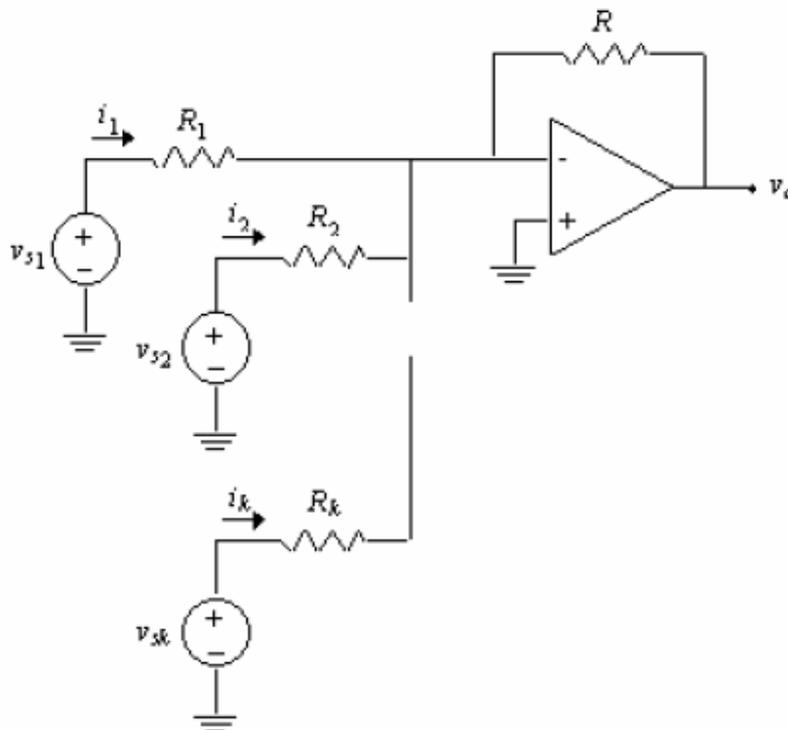
e é a fonte de sinal quem fornece a potência à carga. Pelo contrário, no caso do circuito em (b) verifica-se a igualdade

$$v_o = v_s$$

designadamente como resultado do ganho infinito e das impedâncias de entrada infinita e de saída nula do amplificador operacional. Neste caso é o amplificador operacional e não a fonte de sinal quem fornece potência à carga. Estas características justificam os títulos de circuito seguidor de tensão ou isolador. O circuito seguidor de tensão pode ser encarado como caso limite da montagem não-inversora. Com efeito, e como se indica na Figura b acima os dois circuitos coincidem quando a resistência R_1 tende para infinito, situação durante a qual o valor da resistência R_2 é irrelevante, exceto quando infinito, dado ser nula a corrente respectiva.

Somador Inversor

A montagem inversora pode ser utilizada para implementar a soma pesada de sinais eléctricos (Figura abaixo).



A massa virtual do AmpOp implementa a soma das correntes fornecidas pelas fontes de sinal,

$$i_i = \frac{v_{s_i}}{R_i}$$

e a resistência R converte-as na tensão

$$v_o = -R \sum_{i=1}^k i_i = -\left(\frac{R}{R_1} v_{s1} + \frac{R}{R_2} v_{s2} + \dots + \frac{R}{R_k} v_{sk}\right)$$

Uma das aplicações do somador é um conversor digital-analógico. Por exemplo $R_1=R$, $R_2=R/2$, $R_3=R/4$... $R_k=R/2^{k-1}$, então a expressão da tensão na saída do AmpOp é

$$v_o = -(2^{k-1} b_k + \dots + 8b_4 + 4b_3 + 2b_2 + b_1)$$

Por exemplo, com as palavras digitais 10011 e 00001 temos os valores da tensão na saída:

$$v_o = -(16 + 0 + 0 + 2 + 1) = -19 \quad \text{V}$$

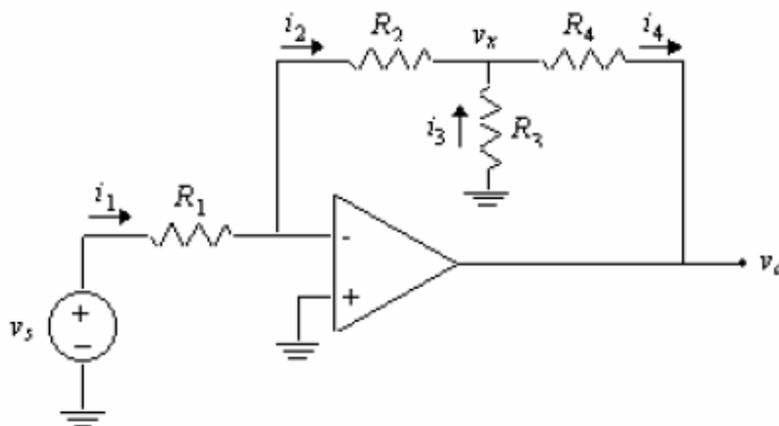
$$v_o = -(0 + 0 + 0 + 0 + 1) = -1 \quad \text{V}$$

Amplificador Inversor

Uma das limitações da montagem inversora simples é a dificuldade de na prática construir amplificadores com, simultaneamente, elevados ganho e resistência de entrada. Na montagem inversora simples, a especificação de um ganho de tensão elevado, $-R_2/R_1$, convida a estabelecer um valor nominal relativamente pequeno para a resistência R_1 , ao passo que a exigência de uma elevada resistência de entrada, dada por

$$R_i = \frac{v_s}{i_1} = R_1$$

Recomenda-se exatamente o oposto. Um modo de “driblar” esta limitação é a utilização do circuito representado na Figura abaixo:



determinação da corrente que incide na massa virtual

$$i_1 = \frac{v_s}{R_1} = i_2$$

determinação da tensão vx

$$v_x = 0 - R_2 i_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_s$$

obtenção da expressão da corrente nas resistências R3 e R4, e respectivamente,

$$i_3 = -\frac{v_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_3} v_s$$

$$i_4 = i_2 + i_3 = \frac{v_s}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_3} v_s$$

e, finalmente, determinação da tensão no nó de saída do AmpOp

$$v_o = v_x - R_4 i_4 = -\frac{R_2}{R_1} v_s - \left(\frac{R_4}{R_1} v_s + \frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3} v_s \right)$$

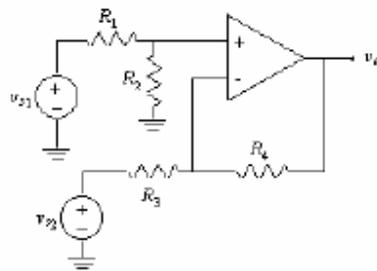
Da relação resulta a expressão do ganho da montagem

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

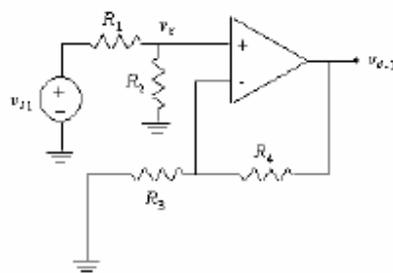
na qual se inscreve a possibilidade de obter, simultaneamente, ganho e resistência de entrada elevados.

Amplificador da Diferença

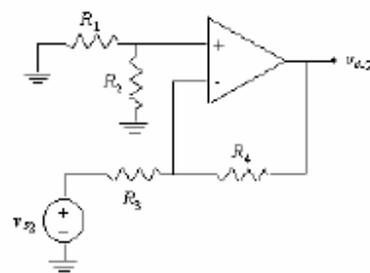
A utilização conjunta das montagens inversora e não-inversora permite realizar um circuito que implementa a amplificação da diferença entre dois sinais



(a)



(b)



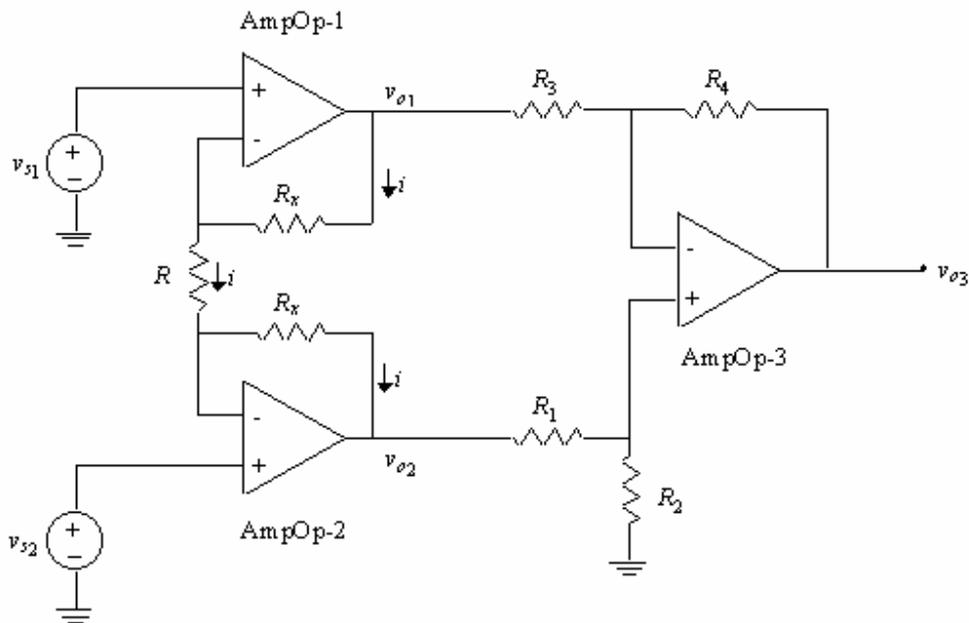
(c)

No caso particular em que se verifica a igualdade entre os quocientes R_4/R_3 e R_2/R_1 :

$$v_o = \frac{R_4}{R_3} (v_{s1} - v_{s2})$$

Amplificador de Instrumentação

O principal inconveniente do amplificador da diferença é o compromisso necessário entre o ganho de tensão e a resistência de entrada vista pelas fontes de sinal. Uma alternativa a este circuito é o amplificador de instrumentação representado na Figura abaixo, neste caso constituído por dois amplificadores não inversores (AmpOps-1 e -2) e um Amplificador da diferença (AmpOp-3). Neste caso, a resistência de entrada vista pelas fontes é infinita (coincidem ambas com a resistência de entrada dos terminais positivos dos AmpOps-1 e -2), e o ganho de tensão é dado pelo produto de dois quocientes entre resistências.



A análise deste circuito pode ser efetuada em três passos:

- (i) determinação das tensões nos nós negativos dos AmpOps-1 e -2;
- (ii) obtenção das expressões das tensões nos respectivos nós de saída;
- (iii) aplicação da expressão do amplificador da diferença para determinar a tensão na saída do circuito.

Assim, verifica-se que:

$$v_1^- = v_1^+ = v_{s1}$$

nos terminais negativo e positivo do AmpOp-1;

$$v_2^- = v_2^+ = v_{s2}$$

nos terminais negativo e positivo do AmpOp-2; as correntes nas resistências R e R_x são, nos sentidos indicados,

$$i = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{R}$$

a corrente nas resistências R_x conduz às tensões nas saídas dos AmpOps-1 e -2

$$v_{o1} = v_1^- + R_x i = v_{s1} + \frac{R_x}{R} (v_{s1} - v_{s2})$$

$$v_{o2} = v_2^- - R_x i = v_{s2} - \frac{R_x}{R} (v_{s1} - v_{s2})$$

respectivamente, cuja diferença

$$v_{o1} - v_{o2} = (v_{s1} - v_{s2}) \left(1 + 2 \frac{R_x}{R}\right)$$

é aplicada ao amplificador implementado pelo AmpOp-3. Assim, admitindo que as resistências no amplificador diferença verificam a igualdade $R_4/R_3=R_2/R_1$, obtém-se

$$v_{o3} = \frac{R_4}{R_3} (v_{o1} - v_{o2}) = (v_{s1} - v_{s2}) \left(1 + 2 \frac{R_x}{R}\right) \frac{R_4}{R_3}$$

relação na qual se inscreve o ganho diferencial

$$\frac{v_{o3}}{(v_{s1} - v_{s2})} = \left(1 + 2 \frac{R_x}{R}\right) \frac{R_4}{R_3}$$