

INSTRUMENTAÇÃO ELECTRÓNICA

Trabalho de Laboratório

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

INTRODUÇÃO:

Um amplificador diferencial é essencialmente um circuito constituído por um amplificador operacional de elevado ganho de tensão $A(10^4 - 10^6)$, elevada razão de rejeição em modo comum CMRR ($>10^4$) e muito baixa corrente de entrada, ligado numa montagem subtractiva.

As mais importantes imperfeições de um amplificador operacional são a sua tensão de "offset" ou desvio de tensão à entrada, as correntes de polarização das entradas e a rejeição de modo comum.

O desvio de tensão à entrada pode ser tomado em consideração colocando uma fonte de tensão equivalente em série com um dos dois terminais de entrada. As duas correntes de polarização I_{b1} e I_{b2} podem ser modeladas por duas fontes de corrente.

Para o estudo do amplificador diferencial assumimos que o amplificador operacional é um dispositivo ideal. Isto significa valores infinitos para o ganho, largura de banda, CMRR e impedância de entrada e zero para os desvios de tensão à entrada, correntes de polarização e impedância de saída. Estes e diversos outros parâmetros são especificados pelos fabricantes.

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL OU SUBTRATOR

É possível obter um subtrator de tensões pela combinação de um amplificador inversor com um amplificador não inversor.

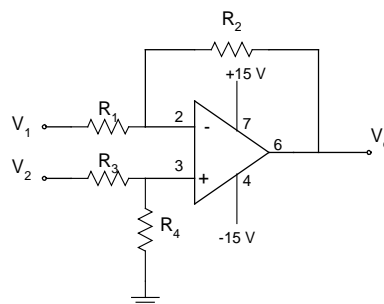


Figura 1 - Amplificador subtrator

Obtenha a função de transferência pelo princípio da sobreposição.

$$\left(\text{resultado: } V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_2 \right)$$

Considere agora $R_1=R_3$ e $R_2=R_4$. **Qual o valor da nova função de transferência ?**

(resultado: $V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$)

Obtivemos uma amplificação da diferença das duas entradas.

A função de transferência deste circuito é obtida pelas quatro resistências independentemente das propriedades do amplificador operacional.

Quando comparamos as propriedades deste novo amplificador subtrator com o próprio amplificador operacional verificamos que:

- As suas resistências de entrada são muito mais pequenas, R_1 na entrada inversora e R_3+R_4 na entrada não inversora.
- O seu ganho é muito menor, mas mais estável devido às resistências.
- A razão de rejeição em modo comum CMRR é em geral menor devido à má tolerância das resistências.

DETERMINAÇÃO DO CMRR:

A razão de rejeição em modo comum CMRR (common mode rejection ratio) é definida como a razão entre o ganho em modo diferencial e o ganho em modo comum.

Determinação do CMRR do circuito da figura 1:

Supondo que as resistências têm uma precisão relativa ε de $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ e ε_4 , então $R_i = R_i^*(1 + \varepsilon_i)$, com $i=1$ até 4 e R_i^* o valor nominal de R_i . Supondo também que $\varepsilon \ll 1$ e que $R_1^* = R_3^*$ e $R_2^* = R_4^*$ (da condição para amplificador subtrator).

A tensão em modo diferencial pode ser escrita como $V_d = V_1 - V_2$.

O ganho da função de transferência para esta tensão de entrada é $A_d = V_o / V_d \approx -\frac{R_2}{R_1}$.

A tensão de modo comum pode ser escrita como V_c ou $V_1 = V_2 = V_c$.

A função de transferência para este sinal será

$$A_c = V_o / V_c = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)} \approx \frac{R_2^*}{R_1^* + R_2^*} (\varepsilon_1 + \varepsilon_4 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3)$$

(Tente chegar a esta expressão para o ganho em modo comum, considerando o amp-op ideal, isto é o CMRR do amp-op será infinito)

Como o sinal do erro relativo não é conhecido, tomamos o módulo $|\varepsilon|$ em cada caso para encontrarmos o pior caso do CMRR, resultando:

$$CMRR = Ad / Ac = \frac{1 + R_2 / R_1}{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3| + |\varepsilon_4|}$$

(Tente chegar a esta expressão).

REALIZAÇÃO:

Monte o circuito da figura 1 com resistências de 10 K Ω para R1 e R3 e de 100 K Ω para R2 e R4.

Use o seguinte procedimento para medir o CMRR:

Ligue V1 e V2 a um gerador de sinais (Vi) com uma onda sinusoidal com 0.5V pico a pico e com uma frequência entre 60 e 100 Hz; meça Vi com um voltímetro digital e anote o seu valor. De seguida meça a tensão de saída Vo(CM). Calcule a razão de rejeição em modo comum (CMRR) pela expressão:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}}$$

onde $A_d = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ é o ganho diferencial e $A_{CM} = \frac{V_{o(CM)}}{V_{i(CM)}}$ é o ganho em modo comum.

Compare com o valor determinado usando para isso as expressões anteriormente obtidas em que utiliza os valores medidos das resistências.

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL DE INSTRUMENTAÇÃO

A maior desvantagem do amplificador diferencial anterior (subtrator) é a sua baixa resistência de entrada. Isto pode ser resolvido colocando amplificadores como buffers à entrada, não alterando assim a função de transferência e passando a resistência de entrada do circuito amplificador a ser a resistência de entrada do buffer, portanto muito alta.

Outro aspecto menos bom do amplificador subtrator era o seu baixo CMRR, mas inserindo dois buffers, e no caso destes não terem exactamente o mesmo ganho em malha aberta (muito dificilmente se arranjarão dois ampop's com ganhos exactamente iguais), então o seu valor vem ainda mais baixo. Os ganhos dos dois buffers ficam iguais e independentes dos ampop's.

Para contornar estas dificuldades utiliza-se o circuito seguinte:

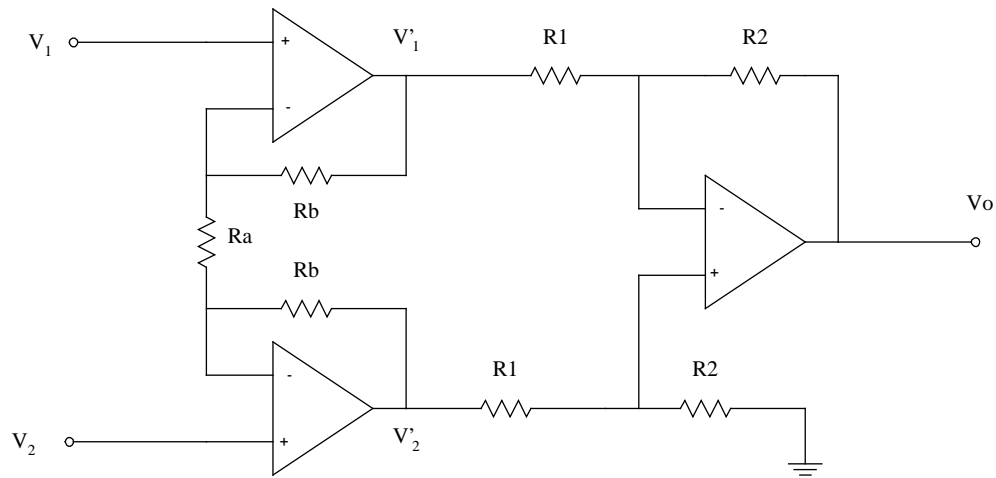


Figura 2 - Amplificador diferencial

Para este circuito o ganho e o CMRR são obtidos da seguinte forma: primeiro consideramos um sinal de entrada de modo comum puro, $V_1=V_2=V_c$, ligado aos terminais não inversores dos amplificadores operacionais 1 e 2. As tensões aos terminais inversores dos ampops também são V_c . Então a queda de tensão aos terminais da resistência R_a é nula, não passando qualquer corrente em R_a e portanto corrente nula também através das resistências R_b . Isto quer dizer $V'_1=V_1$ e $V'_2=V_2$, este circuito comporta-se exactamente igual ao anterior relativamente aos sinais em modo comum.

Consideremos agora um sinal em modo diferencial puro: $V_1 = -V_2 = 1/2 V_d$, ou

$V_1-V_2=V_d$. A tensão através da resistência R_a é também V_d , o que significa que a corrente através de R_a é V_d/R_a . Esta corrente passa pela resistência R_b , produzindo nela uma queda de tensão de $V_d(R_b/R_a)$. A entrada do amplificador operacional original é agora $V'_1 = V_1 + V_d(\frac{R_b}{R_a})$ e $V'_2 = V_2 - V_d(\frac{R_b}{R_a})$, respectivamente. A sua entrada diferencial é então agora $V'_1 - V'_2 = V_d(1 + 2 * \frac{R_b}{R_a})$.

Assim, o ganho diferencial desta configuração é multiplicado pelo factor $(1 + 2 * \frac{R_b}{R_a})$ enquanto o ganho em modo comum não é alterado. Isto leva a que o CMRR desta configuração seja igualmente multiplicado pelo factor $(1 + 2 * \frac{R_b}{R_a})$ relativamente ao amplificador diferencial original (subtrator).

O ganho em modo diferencial pode ser ajustado alterando em apenas uma resistência, R_a , enquanto que no circuito anterior era necessário variar duas resistências de maneira igual.

REALIZAÇÃO:

Monte o circuito da figura seguinte.

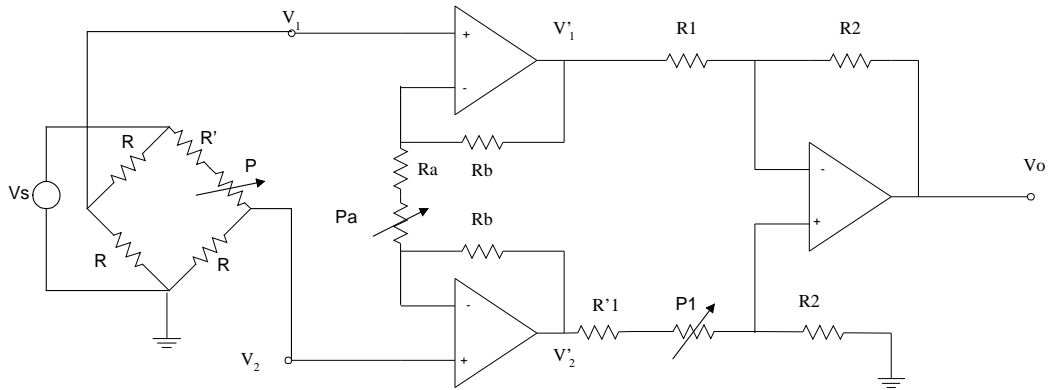


Figura 3 - Montagem do Amplificador Diferencial

Use os seguintes valores de resistências:

$$R = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R' = 8.2 \text{ K}\Omega$$

$$P = 4.7 \text{ K}\Omega$$

$$P_a = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_a = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_b = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_1 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R'1 = 8.2 \text{ K}\Omega$$

$$P1 = 4.7 \text{ K}\Omega$$

Use para V_s um sinal que entenda adequado.

Qual a finalidade do potenciómetro P1 ?

Ajuste o valor de P1 de modo a anular o ganho em modo comum, alterando adequadamente as ligações às entradas do amplificador.

Verifique que o potenciómetro Pa lhe permite alterar o ganho em modo diferencial. Determine entre que valores o pode fazer.

Conclusões: