

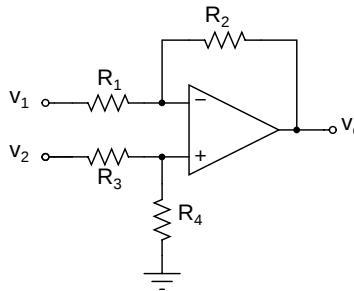
Amplificadores de Instrumentación

Manuel Toledo - INEL 5205 Instrumentación

26 de agosto de 2009

Amplificador Diferencial

La ganancia de voltaje del amplificador diferencial simple



puede calcularse de

$$v_O = \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Para tener la misma ganancia con respecto a las dos entradas, necesitamos que

$$\frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} = \frac{R_2}{R_1}$$

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

$$R_1/R_2 = R_3/R_4$$

en cuyo caso

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

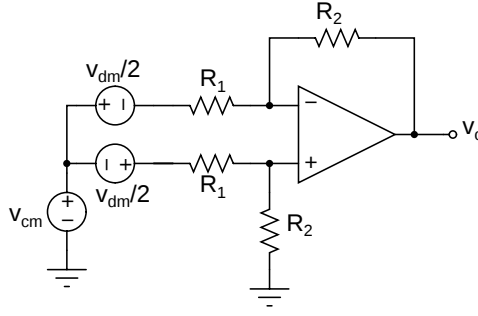
Si definimos

$$v_{cm} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

y

$$v_{dm} = v_2 - v_1$$

el circuito anterior puede representarse como sigue



para el caso en que $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$.

La ganancia de modo diferencial se define como

$$A_{dm} = \frac{v_O}{v_{dm}}$$

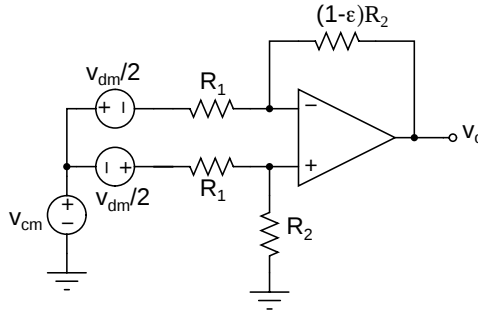
Para el circuito anterior, $A_{dm} = -R_2/R_1$. La ganancia de modo común se define como

$$A_{cm} = \frac{v_O}{v_{cm}}$$

y es cero si las resistencias son perfectas y el AO ideal.

A_{cm} debido a error en las resistencias

En caso de que las resistencias tengan un error, $A_{cm} \neq 0$ y debe calcularse. Por ejemplo si una de las resistencias R_2 es mas pequeña por un factor ϵ ,



y

$$v_O = \frac{1 + (1 - \epsilon) R_2/R_1}{1 + R_1/R_2} v_2 - \frac{(1 - \epsilon) R_2}{R_1} v_1$$

Para calcular A_{cm} , permitamos que $v_{dm} = 0$ de tal modo que $v_1 = v_2 = v_{cm}$, y

$$\begin{aligned} A_{cm} &= \frac{1 + \frac{(1-\epsilon)R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} - \frac{(1-\epsilon)R_2}{R_1} \\ &= \frac{1 + \frac{(1-\epsilon)R_2}{R_1} - \frac{(1-\epsilon)R_2}{R_1} \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \\ &= \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} - \frac{\epsilon R_2}{R_1} - \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{\epsilon R_2}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \end{aligned}$$

Expandiendo y cancelando, obtenemos que

$$A_{cm} = \frac{v_O}{v_{cm}} = \frac{\epsilon R_2}{R_1 + R_2}$$

La *razón de rechazo al modo común* (*common-mode rejection ratio*, CMRR) se define como la razón entre el valor absoluto de las dos ganancias,

$$CMRR = \frac{A_{dm}}{A_{cm}} = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{\frac{\epsilon R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{R_1 + R_2}{\epsilon R_1}$$

y a menudo se expresa en decibeles,

$$CMRR_{dB} = 20 \log \frac{R_1 + R_2}{\epsilon R_1}$$

El CMRR puede optimizarse ajustando a mano una de las resistencias (reduciendo así ϵ experimentalmente) para reducir v_O mientras las entradas están conectadas al mismo voltaje.

Tolerancia de las resistencias

El caso que hemos visto asume que el error es en solo una resistencia. La tolerancia p de las resistencias implica un error potencial en el valor de cada una de las cuatro resistencias. El peor caso ocurre cuando el balance que implica la ecuación

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

es afectado de tal modo que $R_1 \rightarrow (1 - p)R_1$, $R_2 \rightarrow (1 + p)R_2$, $R_3 \rightarrow (1 + p)R_3$ y $R_4 \rightarrow (1 - p)R_4$. Re-establecer el balance requiere usar

$$\frac{(1 + p)R_4}{(1 - p)R_3} = \frac{(1 - p)R_2}{(1 + p)R_1}$$

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{(1 - p)^2 R_2}{(1 + p)^2 R_1} \simeq (1 - p)^4 \frac{R_2}{R_1} \approx (1 - 4p) \frac{R_2}{R_1}$$

lo que equivale, en termino de nuestro análisis previo, a un $\epsilon = 4p$.

CMRR del AO

Aun si las resistencias son perfectas, existe un error debido a la ganancia de modo común del AO.

$$\begin{aligned} v_O &= a(v_P - v_N) + a_{cm}v_{cm} \\ &= a \left(v_P - v_N + \frac{a_{cm}}{a}v_{cm} \right) \\ &= a \left(v_P - v_N + \frac{v_{cm}}{CMRR} \right) \end{aligned}$$

Si tomamos $v_P = v_N$, v_{cm} representa el voltaje en cualquiera de los dos terminales de entrada del AO. De esta ecuación se puede observar que el termino $v_{cm}/CMRR$ tiene el mismo efecto que un cambio en el voltaje de *offset* V_{OS} de magnitud

$$\Delta V_{OS} = v_{cm}/CMRR$$

Ejemplo: Las resistencias son perfectas, $R_2 = 10R_1$, $CMRR = 90dB$ ($\mu A741$) y se aplica un voltaje $v_1 = v_2 = 10V$ al amplificador diferencial.

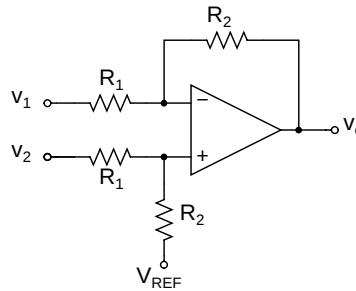
$$v_{cm} = v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10V/11$$

$$v_O = 11 \times \frac{10V/11}{10^{90/20}} = 11 \times 0.29mV \sim 3.2mV$$

El CMRR del AO baja a medida que la frecuencia de la señal común aumenta. Por ejemplo, el CMRR del $\mu A741$ es aproximadamente $54dB$ a $10kHz$.

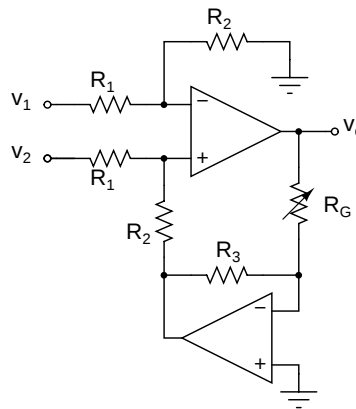
Adición de un *offset*

El siguiente circuito



permite la inyección de un voltaje V_{REF} en la salida del amplificador diferencial. Observe que la ganancia con respecto a V_{REF} es 1.

Ganancia proporcional a R_G

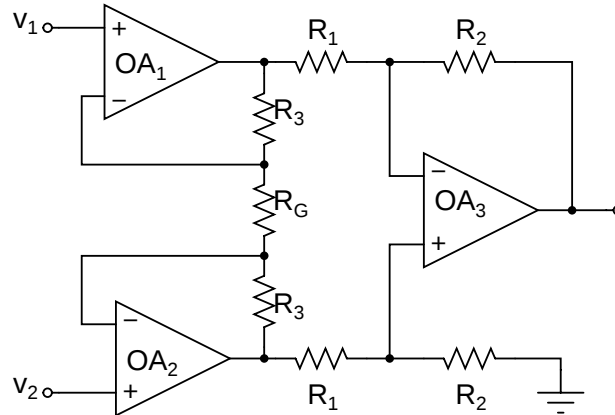


$$v_O = \frac{R_2}{R_1} \frac{R_G}{R_3} (v_2 - v_1)$$

Amplificador de Instrumentación

Los amplificadores de Instrumentación son amplificadores diferenciales que generalmente proveen varias características deseables, tales como un CMRR alto, niveles de V_{OS} , I_B e I_{OS} bajos y estables, e impedancia de entrada alta para ambas entradas. Los siguientes diagramas muestran varios modos de construir amplificadores de instrumentación usando AO.

AI con tres AO



$$\frac{v_O}{v_2 - v_1} = \left(1 + 2\frac{R_3}{R_G}\right) \frac{R_2}{R_1}$$

Ejemplo: Diseñe un AI con ganancia variable entre $1V/V$ y $100V/V$ usando un potenciómetro $R_G = 100k\Omega$.

AI con dos AO

