Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Electrónica

ELECTRÓNICA II

NOTAS DE CLASE

Amplificadores de Instrumentación

Edición 2009

Índice

1. Amplificador de Instrumentación Ideal

Los Amplificadores de Instrumentación son amplificadores diferenciales con las siguientes características:

- Z_{id} y $Z_{ic} \to \infty$ (para que no lo afecte la carga)
- $Z_0 \to 0$ (para que no afecte la fuente de entrada)
- Av exacta y estable (1 – 1000) y controlable
- $F_R \to \infty$
- Bajo offset y deriva para trabajar con entradas de continua y pequeñas.

USO: Amplificador de señal de bajo valor, con alta componente en modo común. Por ejemplo la salida de un transductor.

Veamos la configuración más simple:

2. El Amplificador Diferencial

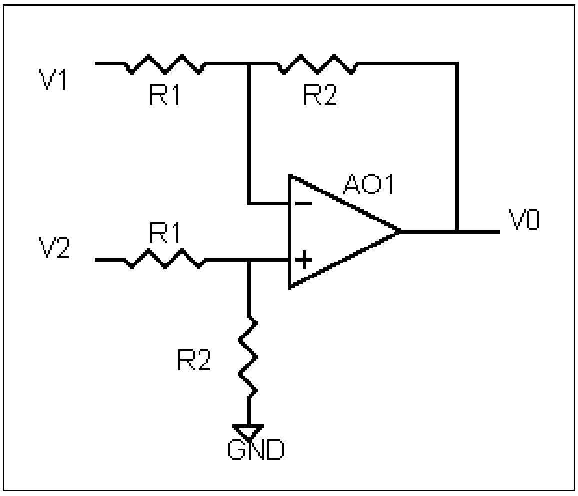

***Fig.** 1*

2.1 ¿Dónde falla esta configuración típica?

a) El principal problema es que las impedancias no son infinitas. Carga a las etapas previas.

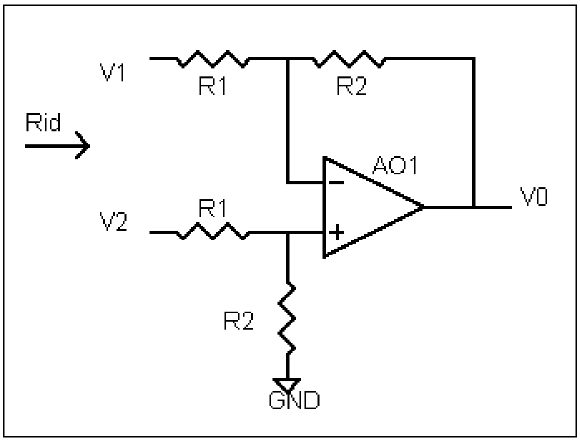

***Fig.** 2*

$$R_{id} = 2\,R_1$$

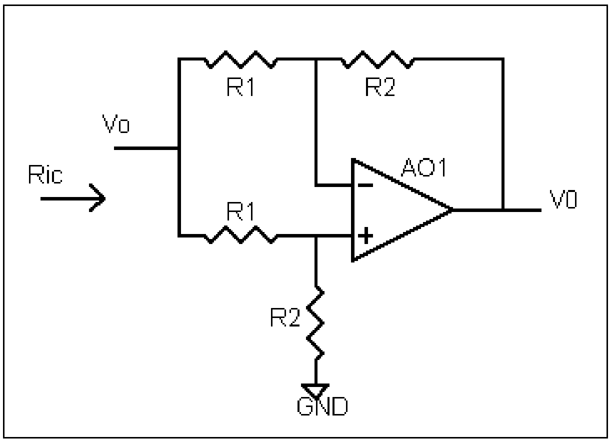

***Fig.** 3*

$$R_{ic} = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

b) ¿Como ajusto la ganancia? Tengo que variar dos resistencias simultáneamente y con mucha precisión.

Si planteamos un amplificador diferencial genérico resulta:

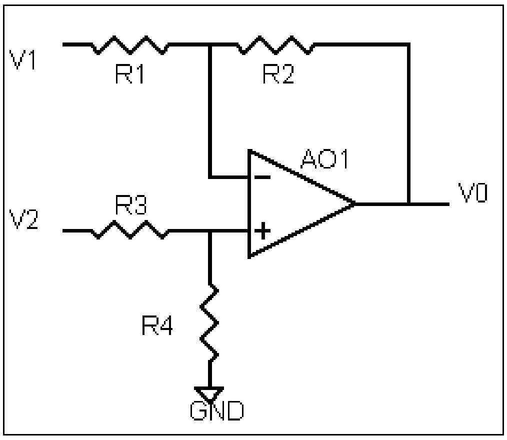

***Fig.** 4*

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1}\,V_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left[1 + \frac{R_2}{R_1}\right]V_2$$

Descomponiendo V_1 y V_2 en sus componentes a modo común y a modo diferencial. Es decir:

$$V_1 = V_c + \frac{V_d}{2} \quad \text{y} \quad V_2 = V_c - \frac{V_d}{2}$$

Reemplazando V_1 y V_2 en la ecuación de la V_0 y trabajando resulta:

$$V_0 = -\frac{1}{2}\left[\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right] V_d + \frac{R_1\, R_4 - R_2\, R_3}{R_1\left(R_3 + R_4\right)} V_c$$

Donde:

$$V_d = V_1 - V_2 \qquad y \qquad V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Entonces resulta:

$$A_d = -\frac{1}{2}\left[\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right]$$

$$A_c = \frac{R_1\, R_4 - R_2\, R_3}{R_1\left(R_3 + R_4\right)}$$

Si,

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

entonces:

$$A_c = 0 \quad y \quad A_d = -\frac{R_2}{R_1}$$

Resultando así un amplificador diferencial.

El AD básico tiene bajas prestaciones (pensado como amplificador de instrumentación):

Debo modificar dos componentes para variar la ganancia Ad.

Es difícil conseguir factores de rechazo (CMRR) altos. El factor de rechazo se degrada por dos causas:

- El factor de rechazo (CMRR) debido a la dispersión o desapareamiento de las resistencias.
- El factor de rechazo (CMRR) propio de los AO.

El CMRR total del circuito resulta:

$$\frac{1}{CMRR_{TOTAL}} = \frac{1}{CMRR_{AO}} + \frac{1}{CMRR_{RESISTENCIAS}}$$

$$CMRR_{TOTAL} = CMRR_{AO} \; // \; CMRR_{RESISTENCIAS}$$

Es como un paralelo. El CMRR Total será menor que el menor de los dos.

c) La $Z_i \neq \infty$ no tiende a infinito.

Una solución seria el circuito que veremos a continuación.

3. Amplificador de instrumentación – Configuración Básica

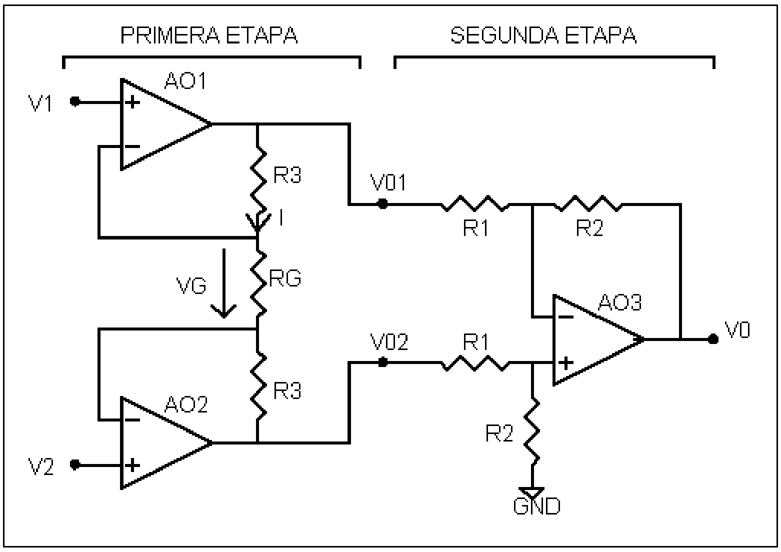

Fig. *5*

Transferencia de la etapa de entrada:

$$\left.\begin{aligned} V_G &= V_1 - V_2 \\ I &= \frac{V_1 - V_2}{R_G} \end{aligned}\right\} \qquad \boxed{V_{01} - V_{02} = \frac{V_1 - V_2}{R_G}\,\left(R_3 + R_G + R_3\right)}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V_{01} - V_{02}}{V_1 - V_2} = \frac{\left(2\,R_3 + R_G\right)}{R_G}$$

Veamos que ocurre para una señal a modo común en la entrada:

Aparece en la salida de la primera etapa ya que Avc = 1 para la primera etapa (observar que son circuitos seguidores).

Transferencia de la segunda etapa:

$$V_0 = -\left(V_{01} - V_{02} \right) \frac{R_2}{R_1}$$

La transferencia total resulta del producto de las ganancias:

$$V_0 = -\left(V_1 - V_2 \right) \left(\frac{2 R_3}{R_G} + 1 \right) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_0}{V_2 - V_1} = \left(\frac{2 R_3}{R_G} + 1 \right) \frac{R_2}{R_1}$$

Este circuito cumple con los requisitos.

Con R_G puedo ajustar la ganancia, evitando el ajuste de dos resistencias simultáneamente como en el circuito anterior.

Pero aparece otra consideración: aquí el ajuste es no lineal, ya que R_G esta en el denominador. Veremos en el punto 4 una variante a este circuito para solucionar este problema.

Que ocurre con el factor de rechazo en el circuito completo:

Genéricamente:

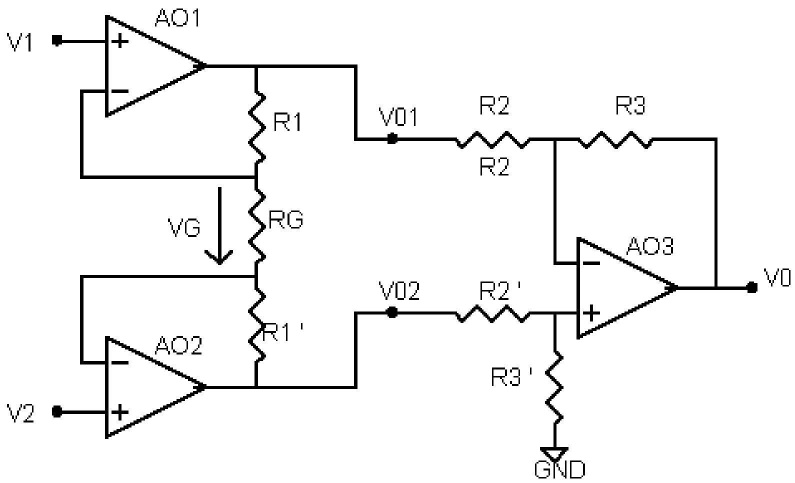

***Fig.** 6*

Si $\quad \dfrac{R_3}{R_2} = \dfrac{R_3'}{R_2'} \quad \Rightarrow \quad CMRR_{\ RESISTENCIAS} \rightarrow \infty$

Realmente: $\quad \dfrac{R_3}{R_2} \neq \dfrac{R_3'}{R_2'}$

Por lo que resulta que existe un factor de rechazo debido al desapareamiento de las resistencias:

$$CMRR_{\ RESISTENCIAS} = \left(1 + \frac{R_1}{R_G} + \frac{R_1'}{R_G} \right) \frac{1}{2} \, \frac{R_2\, R_3' + R_2'\, R_3 + 2\, R_3\, R_3'}{R_2\, R_3' - R_3\, R_2}$$

NOTA: Si este amplificador se arma en forma discreta la R_3' está constituida por una resistencia fija y un preset de la siguiente manera:

$$(\ 0{,}9\, R_3'\ fija\ +\ 0{,}2\, R_3'\ un\ preset\ variable)$$

Aunque en la práctica lo usual es utilizar toda la configuración integrada. Utilizando integrados del tipo del INA114 de Burr-Brown.

Además los amplificadores operacionales tienen un factor de rechazo distinto de infinito.

Se demuestra que:

$$\frac{1}{CMRR_{Total}} = -\frac{1}{CMRR_{AO_1}} + \frac{1}{CMRR_{AO_2}} + \frac{1}{\left(1 + \dfrac{R_1}{R_G} + \dfrac{R_1'}{R_G}\right) CMRR_{AO_3}} + \frac{1}{CMRR_{Resistencias}}$$

Donde utilizando AO iguales para el 1 y el 2 se pueden anular los dos primeros términos de la ecuación.
Y puede verse que el factor de rechazo del AO3 aparece multiplicado por un factor con lo cual resulta amplificado

Resultando entonces:

$$CMRR_{TOTAL} > CMRR_{SEGUNDA\ ETAPA}$$

Esto se puede ver también conceptualmente de la siguiente forma:

$$CMRR_{AO} = \frac{A_{Vd}}{A_{Vc}}$$

- Analicemos A_{Vc} del conjunto:

Para las señales a modo común la primera etapa se comporta como seguidora, luego resulta:

$$V_{01_C} = V_{1_C}$$
$$V_{02_C} = V_{2_C}$$

Es decir la primera etapa tiene una $A_{Vc\,PRIMERA\ ETAPA} = 1$ luego resulta

$$A_{Vc\ TOTAL} = A_{Vc\ SEGUNDA\ ETAPA}$$

- Analicemos A_{Vd} del conjunto:

Aquí si, la primera etapa tiene ganancia a modo diferencial, resultando entonces:

$$A_{Vd\ TOTAL} = A_{Vd\ PRIMERA\ ETAPA}\ A_{Vd\ SEGUNDA\ ETAPA}$$

Entonces vemos que $A_{Vc\ TOTAL}$ se mantiene igual a una etapa diferencial simple (como la segunda etapa) y la $A_{Vd\ TOTAL}$ aumento, luego resulta:

$$CMRR_{TOTAL} > CMRR_{SEGUNDA\ ETAPA}$$

4. Amplificador de instrumentación con variación de ganancia lineal

Una posible solución a la variación no lineal del circuito anterior con RG es el siguiente circuito:

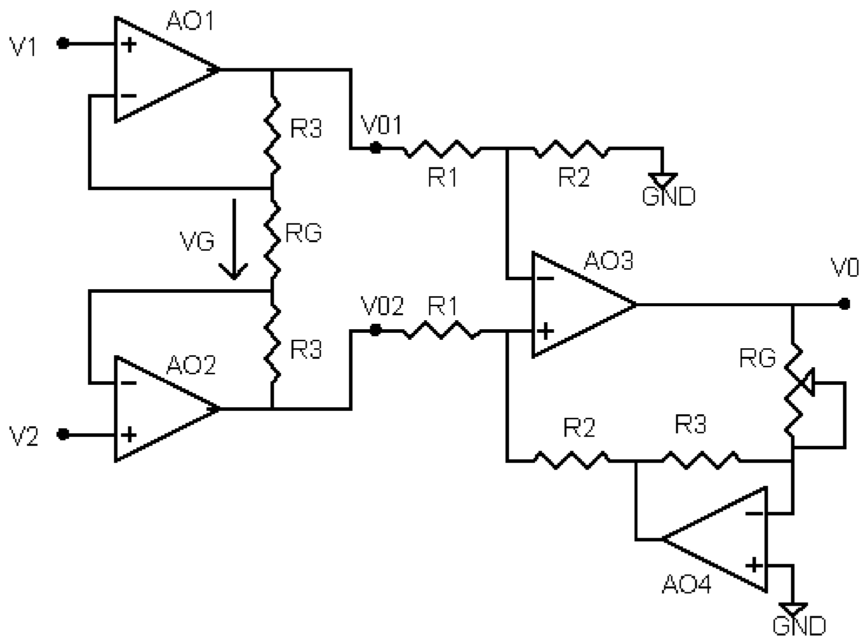

Fig. *7*

Se demuestra que:

$$V_0 = \frac{R_2\, R_F}{R_1\, R_3} \left(V_{02} - V_{01} \right)$$