Retro-alimentación

Manuel Toledo Quiñones
Assistant Professor

INEL 5207
Analog Systems Design

Electrical and Computer Engineering Department
University of Puerto Rico
Mayaguez, Puerto Rico

28 de enero de 2008

1. Función de Error

Podemos observar que, en general

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{A}{1+\beta A} \\ &= \frac{A}{T}\frac{1}{1+\frac{1}{T}} \\ &= A_{ideal}\frac{1}{1+\frac{1}{T}} \end{aligned}$$

donde

$$A_{ideal} = \lim_{\beta A \to \infty} A_f = \frac{A}{T}$$

Observando que $T = \beta A$, podemos establecer que

$$A_{ideal} = \frac{1}{\beta}$$

obtenemos que

$$A_f = \frac{1}{\beta}\frac{1}{1+\frac{1}{T}}$$

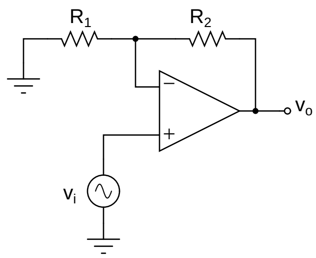
La cantidad

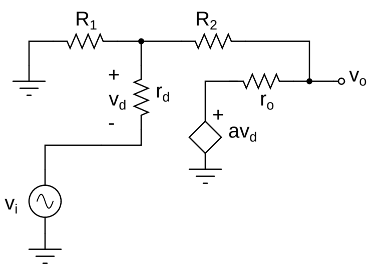
$$\frac{1}{1+\frac{1}{T}}$$

expresa cuanto se aparta la ganancia de nuestro amplificador del caso ideal. Por esto es a veces denominada la *función de error*.

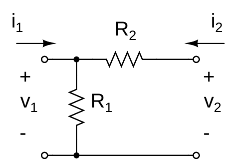
2. Análisis del Amplificador No Invertidor

Considere el circuito del amplificador sin inversión:





La red de retro-alimentación es:



Utilizando el método de análisis para circuitos retro-alimentados,

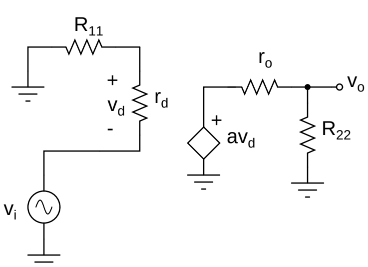
$$R_{11} = \frac{v_1}{i_1} \mid_{v_2=0} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{22} = \frac{v_2}{i_2} \mid_{i_1=0} = R_1 + R_2$$

y

$$\beta = \frac{v_1}{v_2} \mid_{i_1=0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Al amplificador sin retro-alimentación que debemos analizar es:



Por inspección obtenemos que

$$v_d = \frac{r_d}{r_d + R_{11}} v_i$$

$$v_o = \frac{R_{22}}{r_o + R_{22}} a v_d$$

$$A = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_{22}}{r_o + R_{22}} a \frac{r_d}{r_d + R_{11}}$$

Con este resultado y la expresión que determinamos anteriormente para β, obtenemos la razón de retorno,

$$T = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_{22}}{r_o + R_{22}} a \frac{r_d}{r_d + R_{11}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Es razonable esperar que para cualquier diseño correcto, $r_d \gg R_{11}$ y $r_o \ll R_1 + R_2$. Así que en todos los casos de interés, para la configuración que estamos discutiendo

$$T \approx \frac{aR_1}{R_1 + R_2} = a\beta$$

Utilizando la expresión

$$A_f = \frac{1}{\beta} \frac{1}{1 + \frac{1}{T}}$$

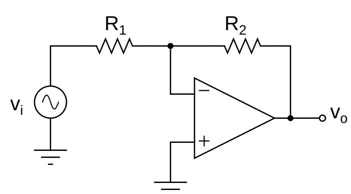
obtenemos que

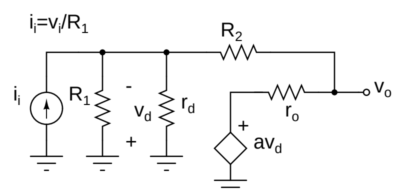
$$A_f = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{1 + \frac{1}{a\beta}}$$

3. Análisis del Amplificador Invertidor

En el amplificador invertidor la retro-alimentación se establece muestreando el voltaje de salida y sustrayendo corriente en la entrada. Consecuentemente, a ganancia que obtenemos al aplicar el método de análisis es $A_f = \frac{v_o}{i_i}$.

El siguiente diagrama muestra el circuito:





La red de retro-alimentación es simplemente R_2. Utilizando el método de análisis para circuitos retro-alimentados,

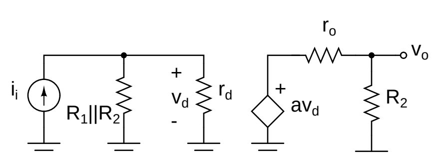
$$R_{11} = \frac{v_1}{i_1} \mid_{v_2=0} = R_2$$

$$R_{22} = \frac{v_2}{i_2} \mid_{v_1=0} = R_2$$

y

$$\beta = \frac{i_1}{v_2} \mid_{v_1=0} = -\frac{1}{R_2}$$

Al amplificador sin retroalimentación que debemos analizar es:



Por inspección obtenemos que

$$v_d = -(R_1 \mid\mid R_2 \mid\mid r_d) i_i$$

$$v_o = \frac{R_2}{r_o + R_2} a v_d$$

$$A = \frac{v_o}{i_i} = -\frac{R_2}{r_o + R_2} a (R_1 \mid\mid R_2 \mid\mid r_d)$$

Así que

$$T = A\beta = a \frac{R_1 \mid\mid R_2 \mid\mid r_d}{r_o + R_2}$$

Es razonable esperar que para cualquier diseño correcto, $r_d \gg (R_1 \mid\mid R_2)$ y $r_o \ll R_2$. Así que en todos los casos de interés, para la configuración que estamos discutiendo

$$T \approx a \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

que es la misma expresión que obtuvimos para el amplificador sin inversión.

La ganancia del amplificador con retro-alimentación es

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{v_o}{i_i} = \frac{1}{\beta} \frac{1}{1 + \frac{1}{T}} \\ &= -R_2 \frac{1}{1 + \frac{1}{T}} \end{aligned}$$

La ganancia de voltaje puede obtenerse utilizando la relación $v_i = R_1 i_i$,

$$A_{vf} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{T}}$$

La fuente de corriente ve una resistencia R_{if} igual a

$$R_{if} = \frac{R_1 \mid\mid R_2}{1 + a\frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Si removemos la resistencia R_1 obtenemos que

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_n} &= \frac{1 + \frac{aR_1}{R_1 + R_2}}{R_1 \mid\mid R_2} - \frac{1}{R_1} \\ &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} + \frac{a}{R_2} - \frac{1}{R_1} \\ &= \frac{1 + a}{R_2} \end{aligned}$$

Así que

$$R_n = \frac{R_2}{1 + a}$$

El pequeño valor de R_n explica porque el concepto de tierra virtual funciona tan bien. La fuente de voltaje v_i ve una resistencia de entrada igual a

$$R_{in} = R_1 + R_n \approx R_1$$