

Retroalimentación y Estabilidad

(1a parte)

Dr. José Ernesto Rayas Sánchez

Algunas de las figuras de esta presentación fueron tomadas de las páginas de internet de los autores de los textos:

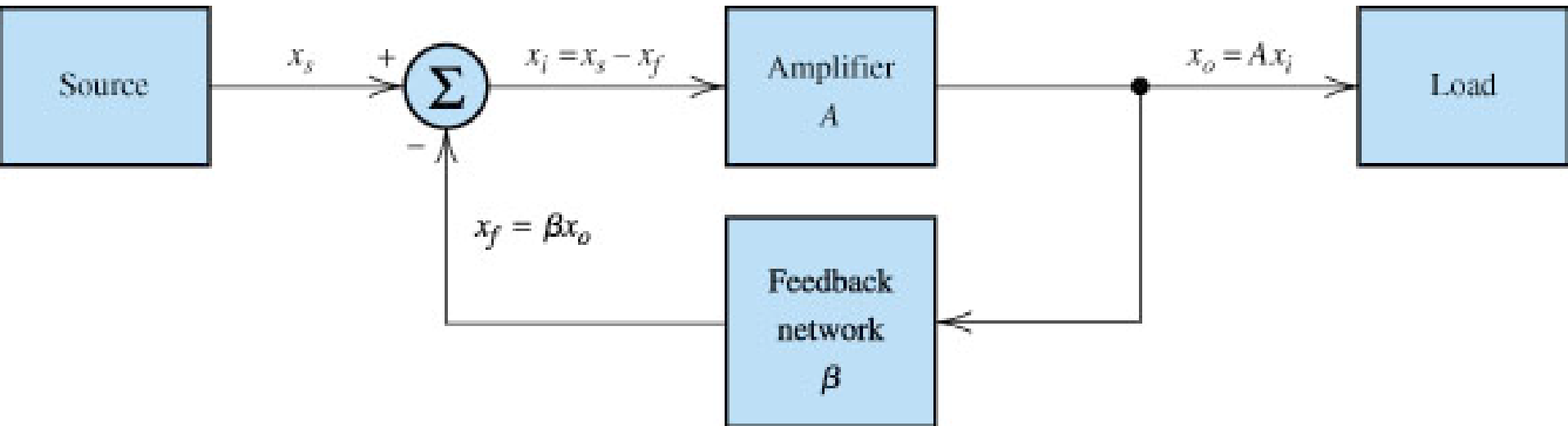
A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

A.R. Hambley, *Electronics: A Top-Down Approach to Computer-Aided Circuit Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2000.

Introducción

- La retroalimentación consiste en tomar parte de la salida de un sistema y regresarlo a la entrada
- Ventajas de la retroalimentación negativa:
 - Mejorar niveles de impedancias
 - Aumenta el ancho de banda
 - Reduce la sensibilidad a la variación de parámetros
 - Reduce la distorsión
 - Aumenta la inmunidad al ruido
- Desventajas de la retroalimentación negativa:
 - Reduce la ganancia
 - Aumenta los riesgos de inestabilidad

Amplificador Genérico Retroalimentado



$$x_i = x_s - x_f$$

$$x_f = \beta x_o$$

$$x_o = Ax_i$$

$$x_o = A(x_s - x_f) = A(x_s - \beta x_o) \quad A_f \equiv \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

A_f Ganancia del amplificador retroalimentado

$A\beta$ Ganancia de lazo

$$\text{si } A\beta \gg 1, A_f \approx \frac{1}{\beta}$$

De-sensibilidad de la Ganancia

‘A’ es altamente dependiente de los parámetros del dispositivo activo, de los niveles de polarización, de la temperatura, etc.

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} \quad \frac{\partial A_f}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \left(\frac{A}{1 + A\beta} \right) = \frac{1}{(1 + A\beta)^2}$$

Un cambio pequeño en A produce un cambio en A_f dado por

$$\Delta A_f = \frac{\Delta A}{(1 + A\beta)^2}$$

El cambio fraccional en A_f es

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{\Delta A}{(1 + A\beta)^2} \frac{1 + A\beta}{A} = \frac{\Delta A / A}{1 + A\beta}$$

Ampliación del Ancho de Banda

$$A(s) = \frac{A_M}{1 + s/\omega_H}$$

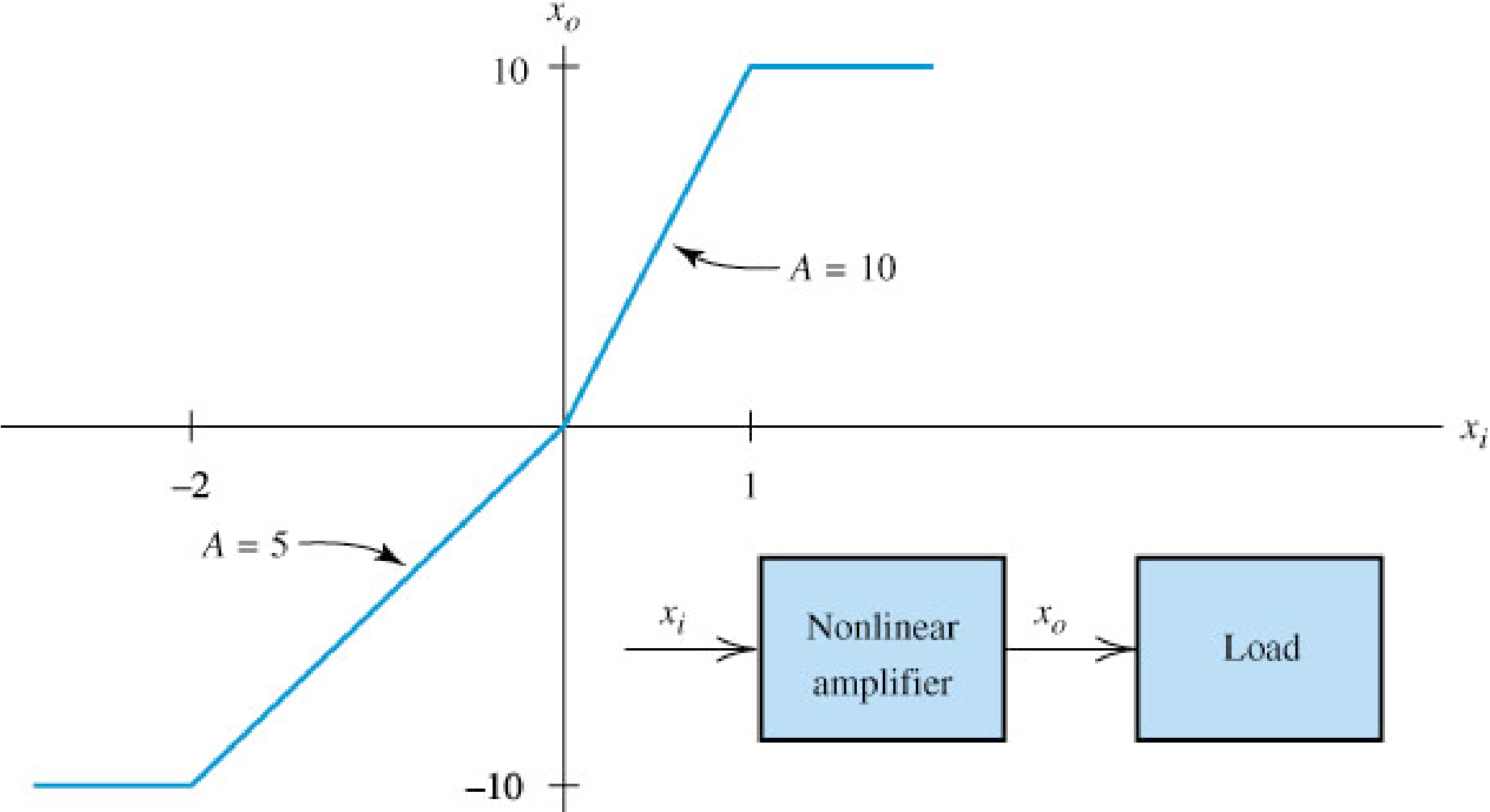
A_M ganancia a frecuencias medias
 ω_H frecuencia de corte en altas

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{\frac{A_M}{1 + s/\omega_H}}{1 + \frac{A_M\beta}{1 + s/\omega_H}} = \frac{A_M}{1 + s/\omega_H + A_M\beta} = \frac{\frac{A_M}{1 + A_M\beta}}{1 + \frac{s}{\omega_H(1 + A_M\beta)}}$$

Por lo tanto $\omega_{Hf} = \omega_H(1 + A_M\beta)$

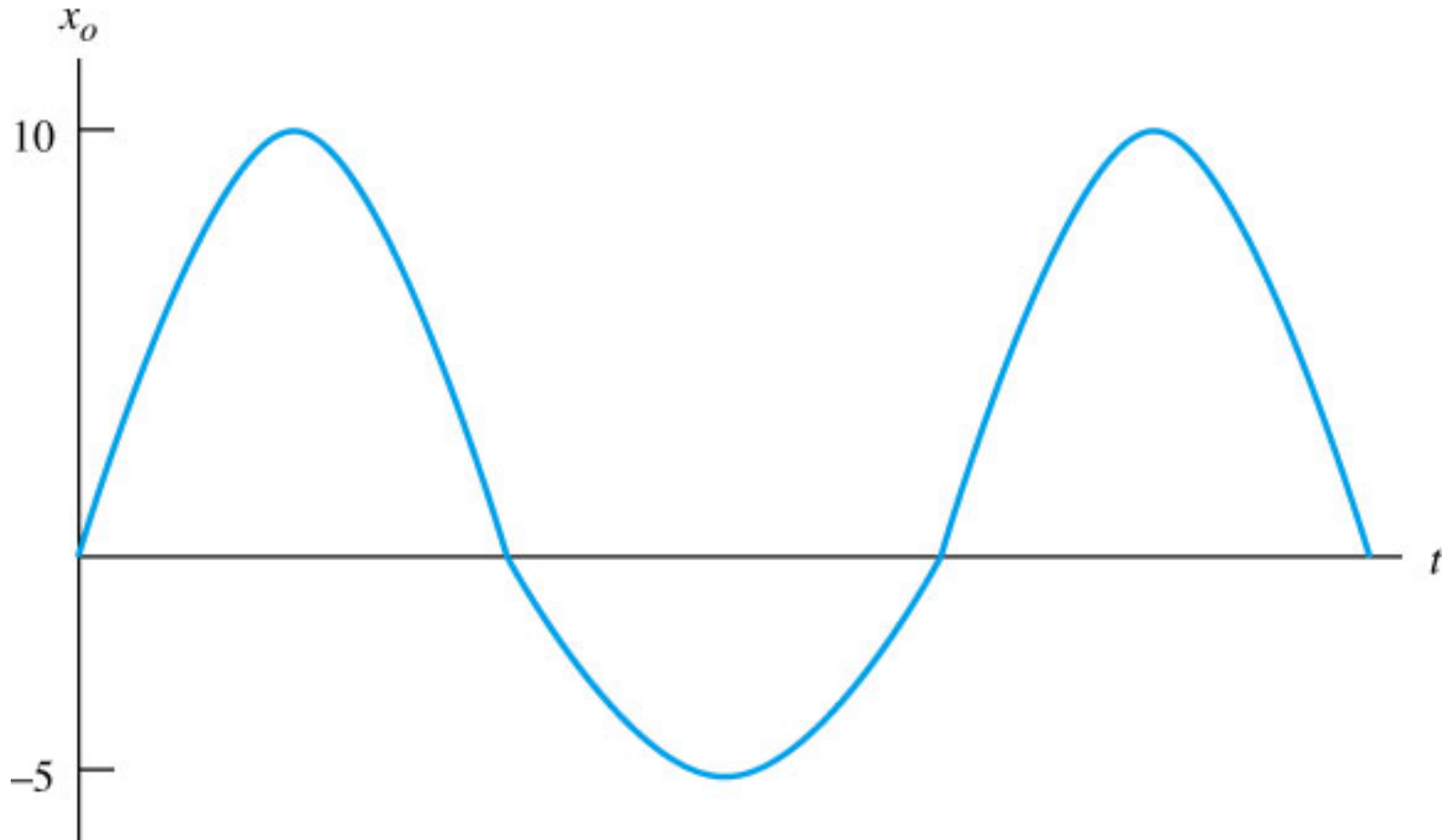
Análogamente se puede demostrar que $\omega_{Lf} = \omega_L/(1 + A_M\beta)$

Distorsión No-Lineal

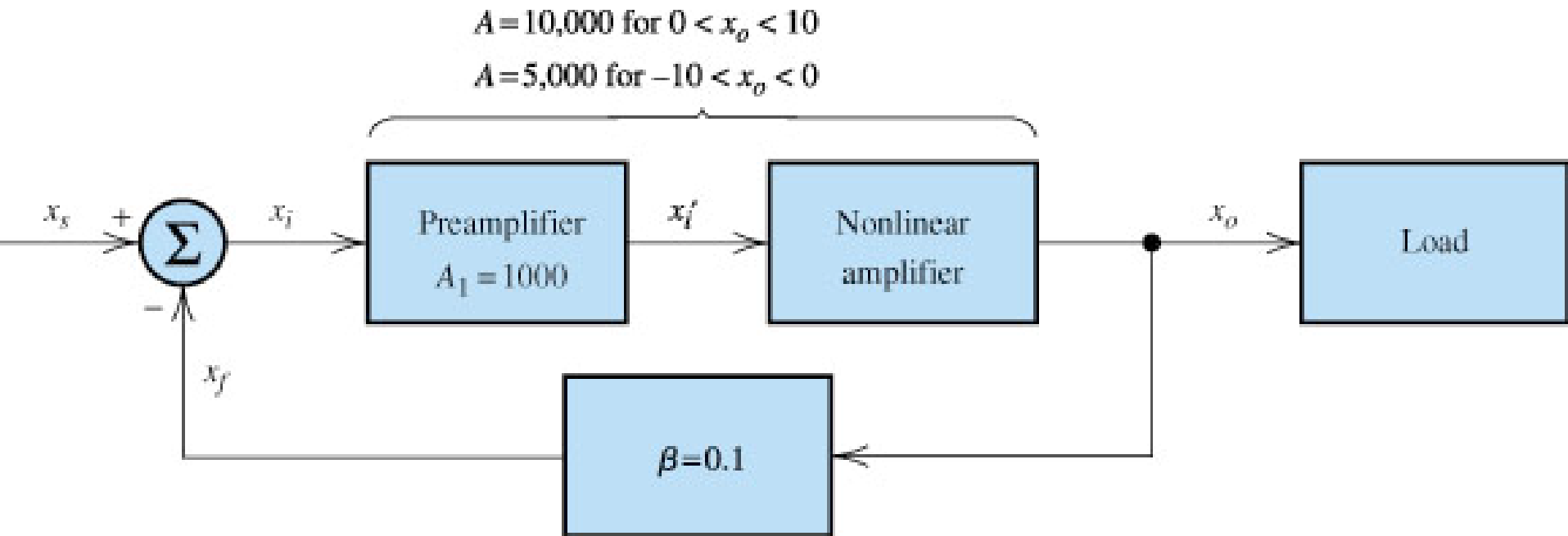


Distorsión No-Lineal (cont.)

Si $x_i = \text{sen}(\omega t) \dots$



Reducción de la Distorsión No-Lineal

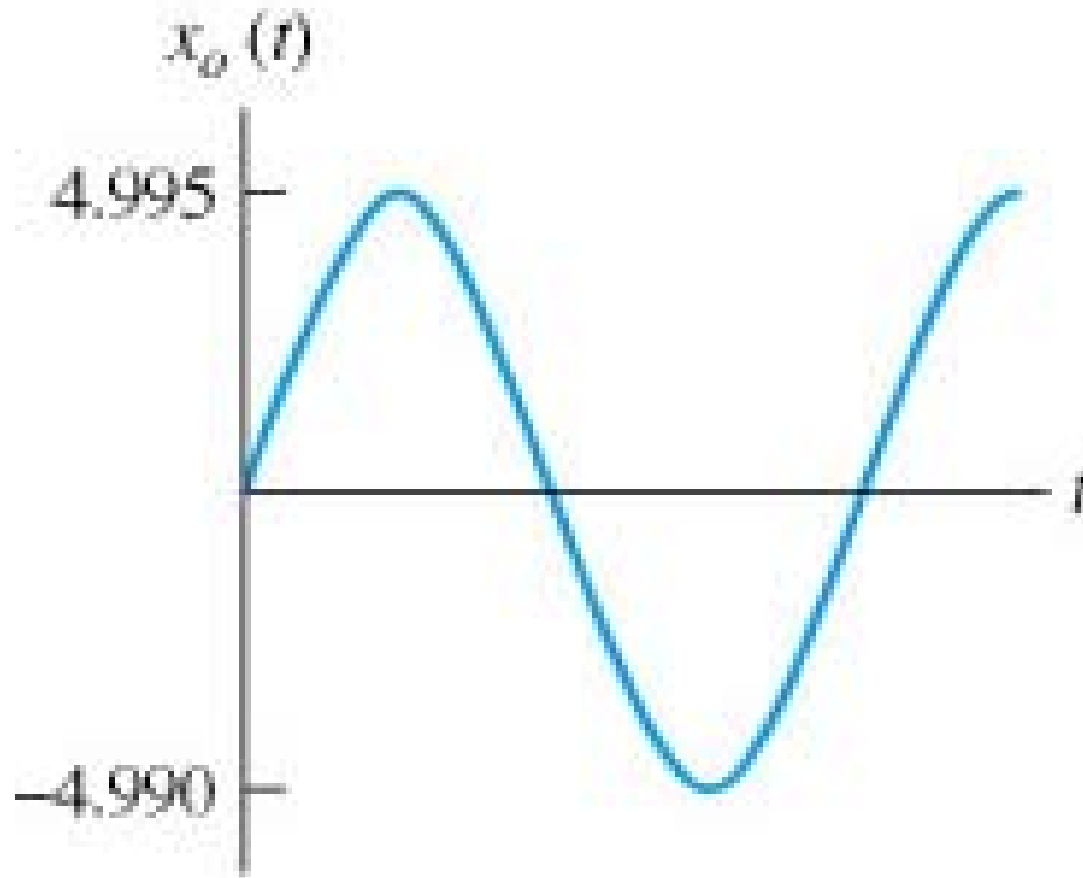


$$A_f = \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

como $A\beta \gg 1$ para $-10 < x_o < +10$, $A_f \approx \frac{1}{\beta} = 10$

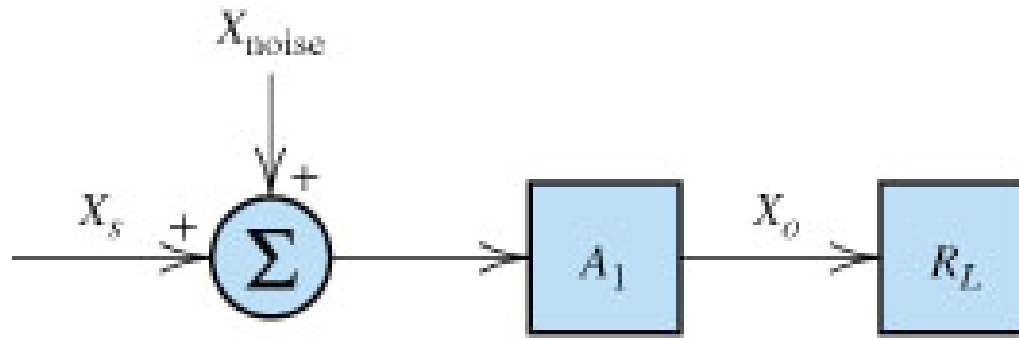
Reducción de la Distorsión No-Lineal (cont.)

Si $x_i = 0.5 \text{ sen}(\omega t) \dots$

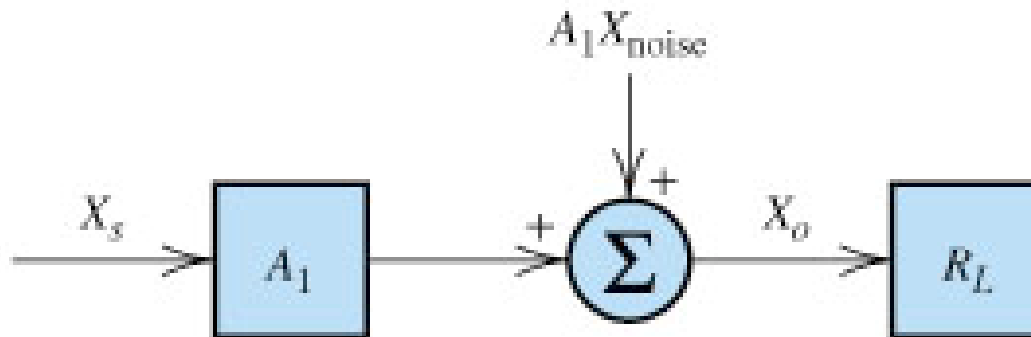


Modelado de Amplificadores con Ruido

Señal de ruido referida a la entrada



Señal de ruido referida a la salida



Relación Señal a Ruido (SNR)

$$SNR = \frac{P_{señal}}{P_{ruido}}$$

$$P_{señal} = \frac{(A_1 X_s)^2}{R_L}$$

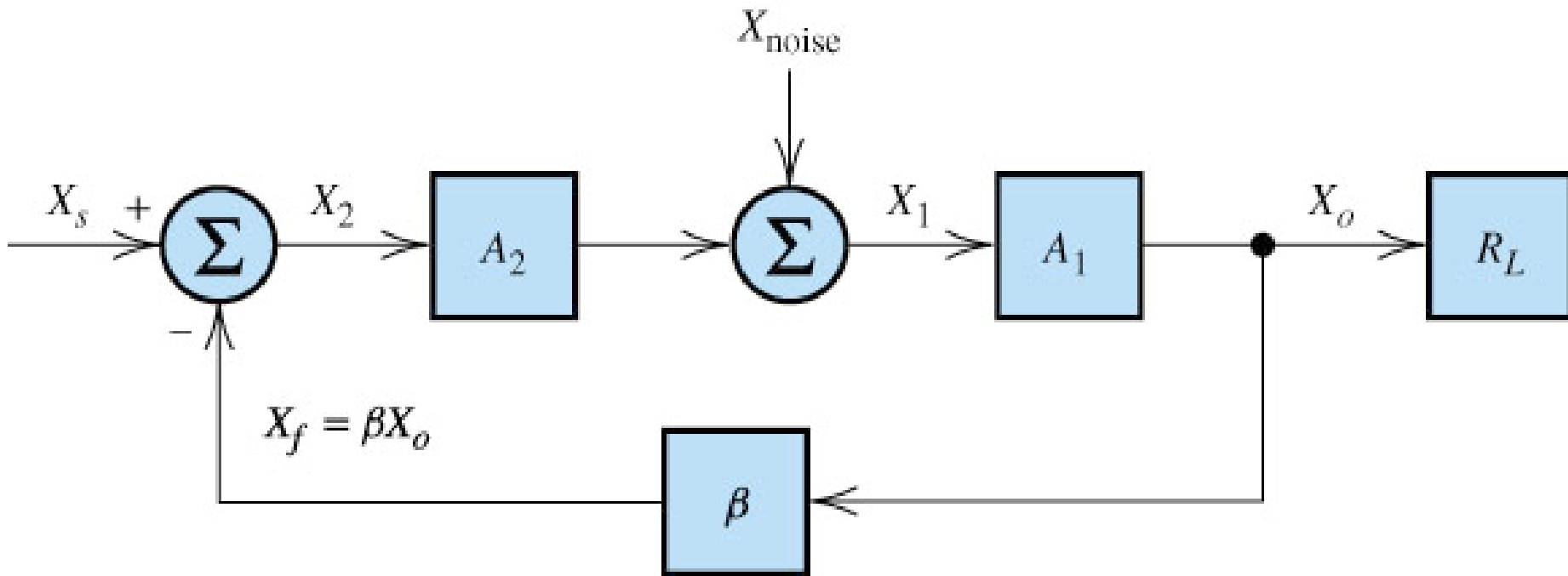
$$P_{ruido} = \frac{(A_1 X_{noise})^2}{R_L}$$

$$SNR = \frac{X_s^2}{X_{noise}^2}$$

$$SNR_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_{señal}}{P_{ruido}} \right)$$

$$SNR_{dB} = 20 \log \left(\frac{X_s}{X_{noise}} \right)$$

SNR en un Amplificador Retroalimentado



$$X_2 = X_s - \beta X_o \quad X_1 = A_2 X_2 + X_{noise} \quad X_o = A_1 X_1$$

$$X_o = A_1 [A_2 (X_s - \beta X_o) + X_{noise}]$$

$$X_o = X_s \frac{A_1 A_2}{1 + A_1 A_2 \beta} + X_{noise} \frac{A_1}{1 + A_1 A_2 \beta}$$

$$SNR_f = \frac{X_{sf}^2}{X_{noise_f}^2}$$

$$SNR_f = SNR \times A_2^2$$

Ejercicios de Tarea

Resolver problemas 8.1, 8.5, 8.9, 8.11 y 8.13 del libro de texto

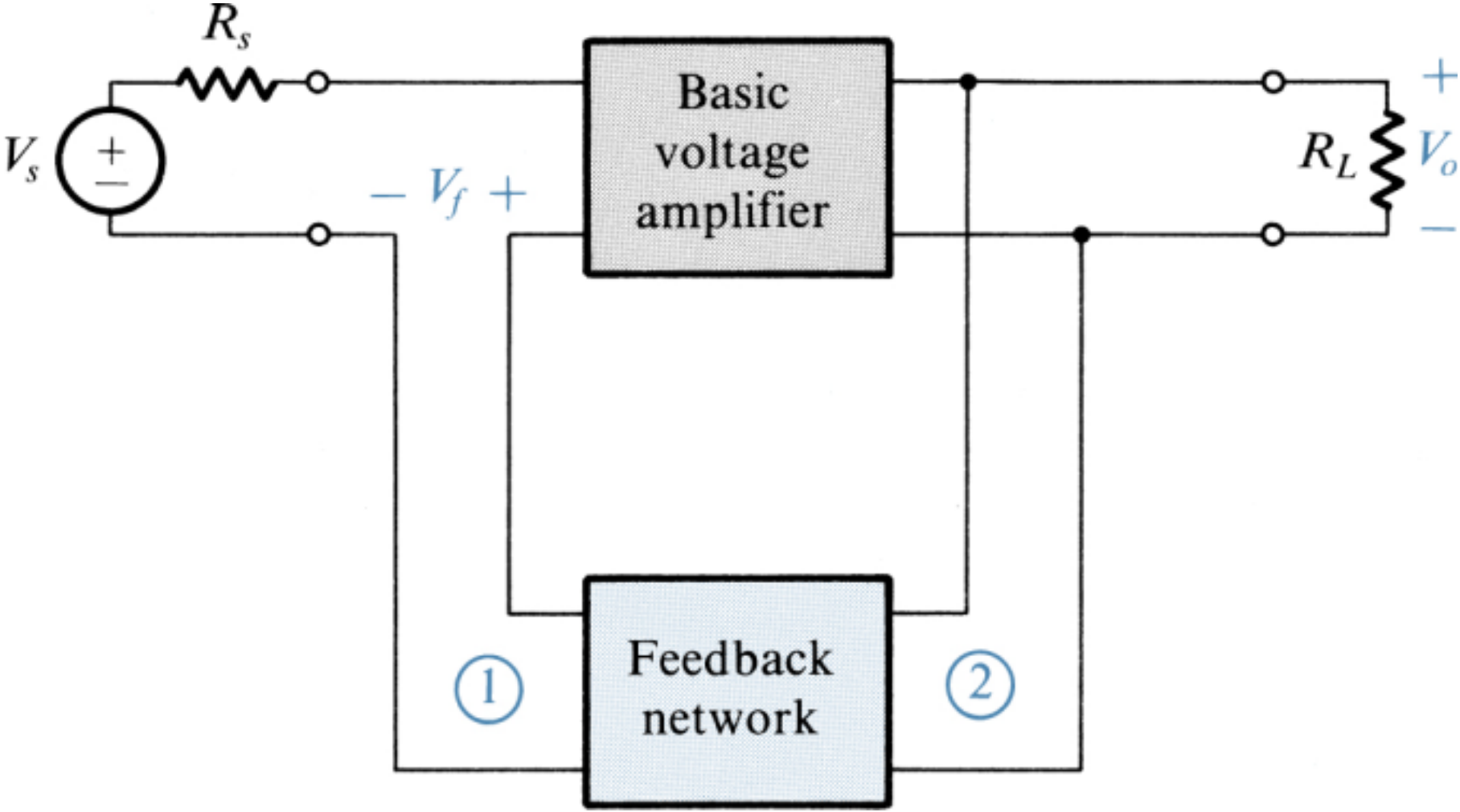
Tipos de Amplificadores

- Amplificadores de Voltaje
- Amplificadores de Corriente
- Amplificadores de Transresistencia
- Amplificadores de Transconductancia

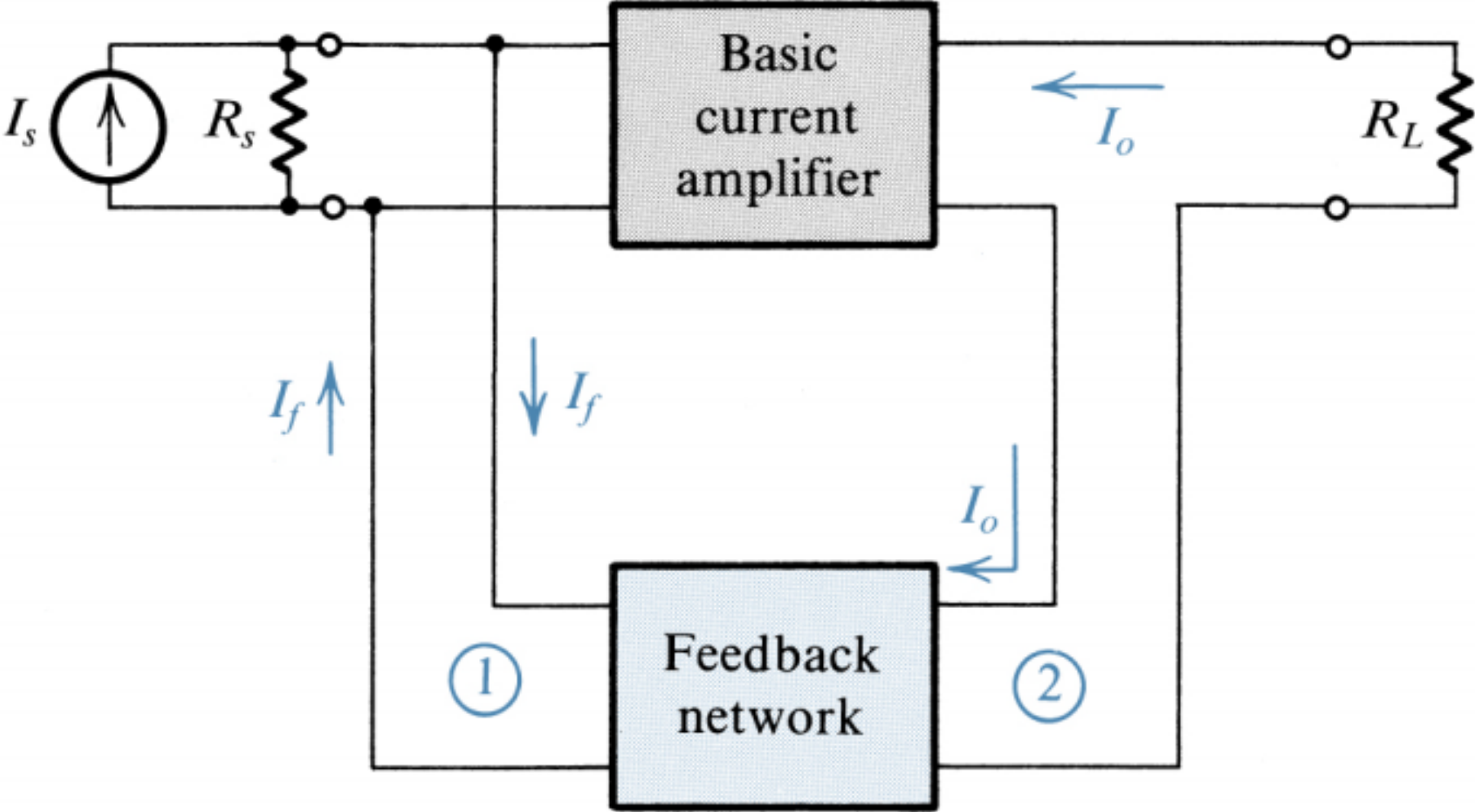
Topologías de Retroalimentación

- Retroalimentación Serie-Paralelo (S-P), o Mezclado de Voltaje/Sensado de Voltaje
- Retroalimentación Paralelo-Serie (P-S), o Mezclado de Corriente/Sensado de Corriente
- Retroalimentación Paralelo-Paralelo (P-P), o Mezclado de Corriente/Sensado de Voltaje
- Retroalimentación Serie-Serie (S-S), o Mezclado de Voltaje/Sensado de Corriente

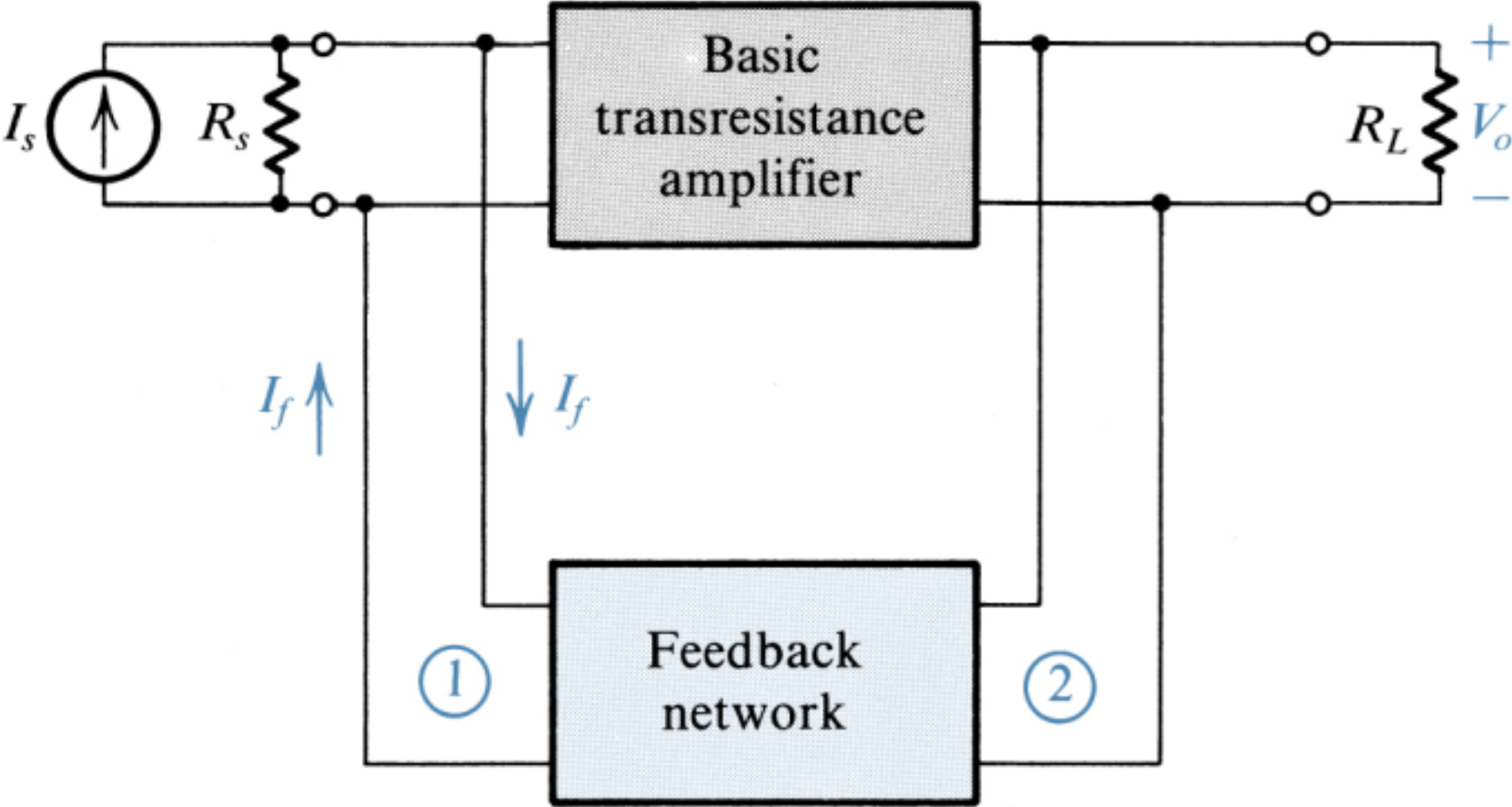
Retroalimentación Serie-Paralelo (S-P)



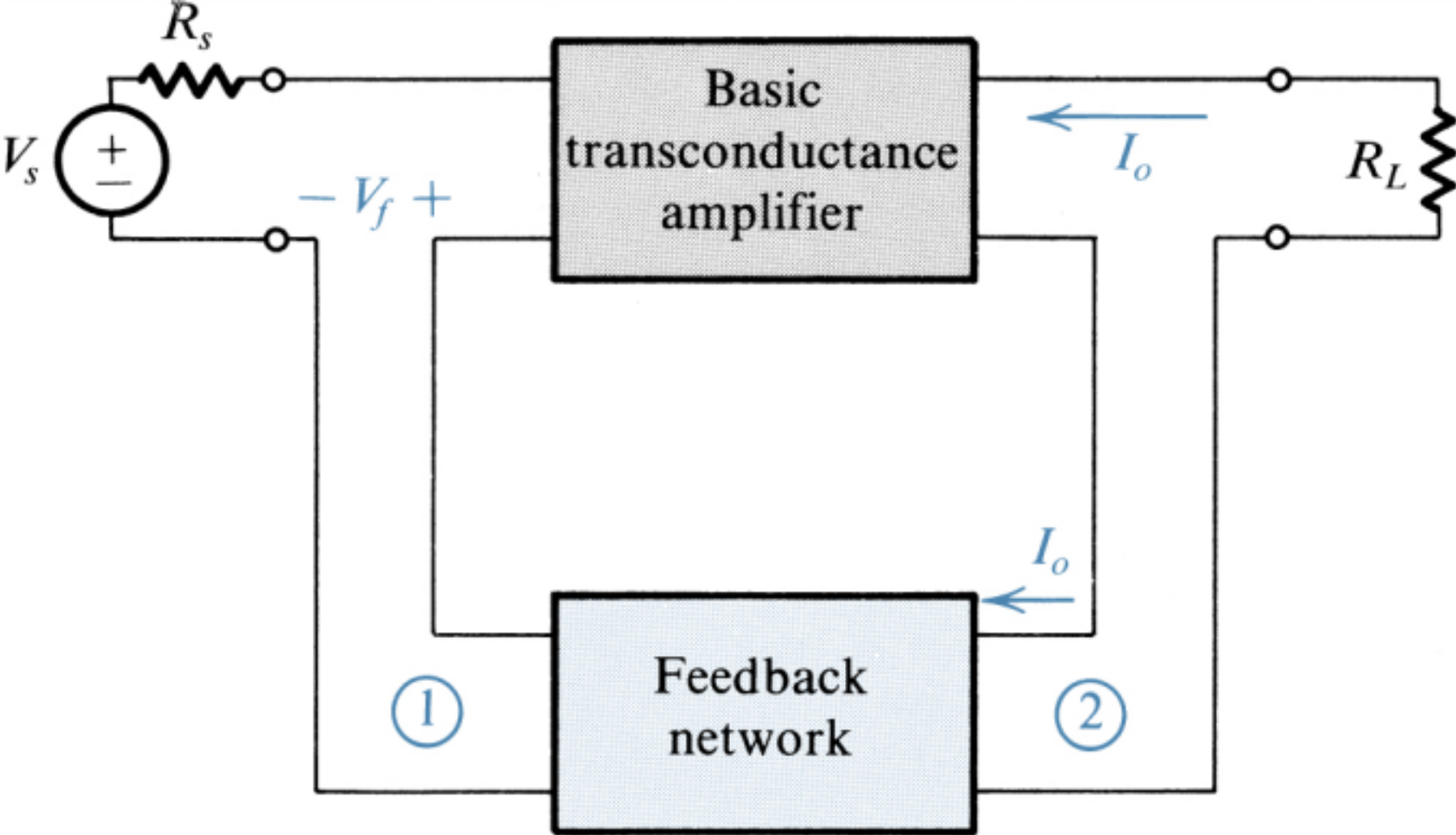
Retroalimentación Paralelo-Serie (P-S)



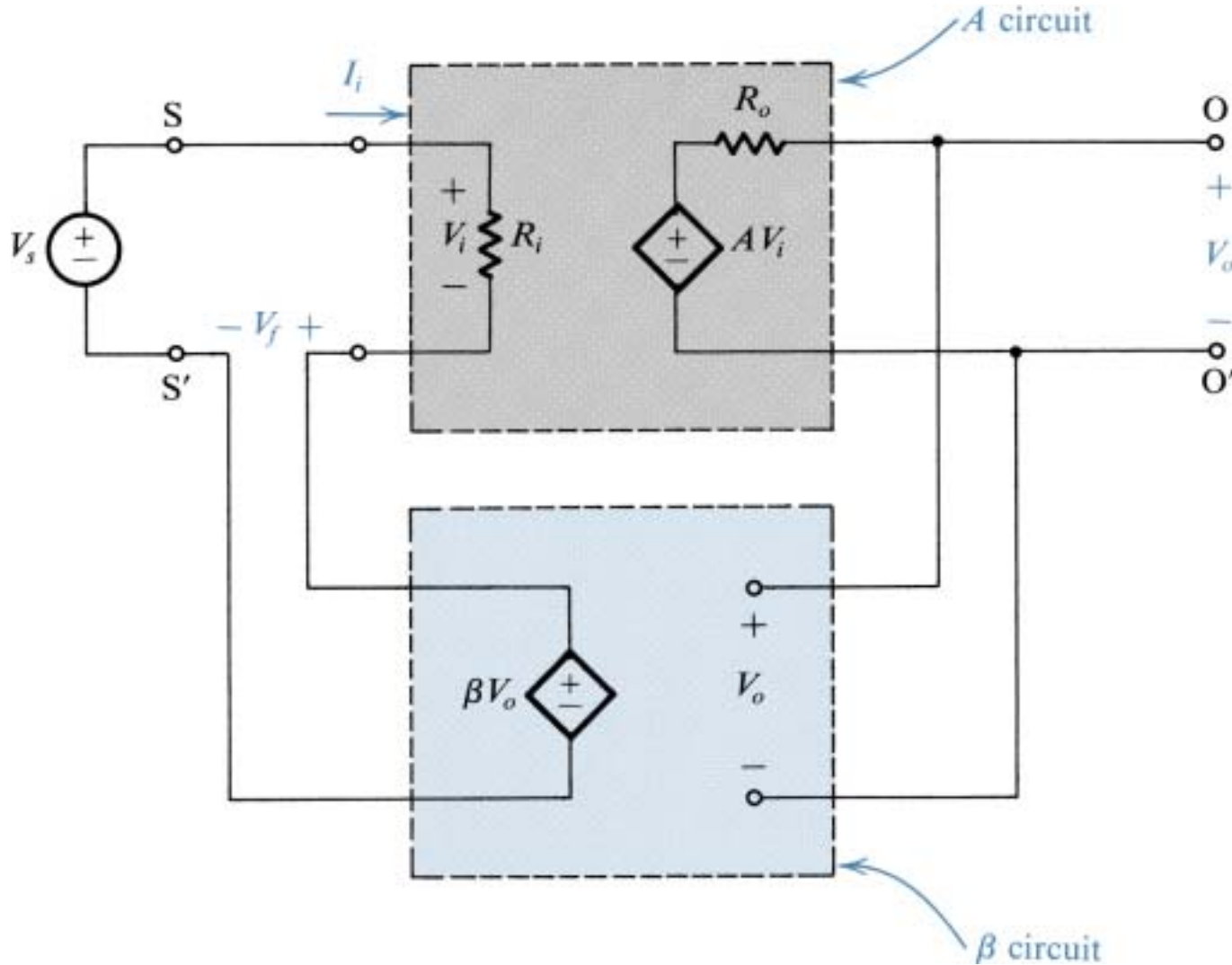
Retroalimentación Paralelo-Paralelo (P-P)



Retroalimentación Serie-Serie (S-S)



Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Ideal)



A_f :

$$V_o = AV_i$$

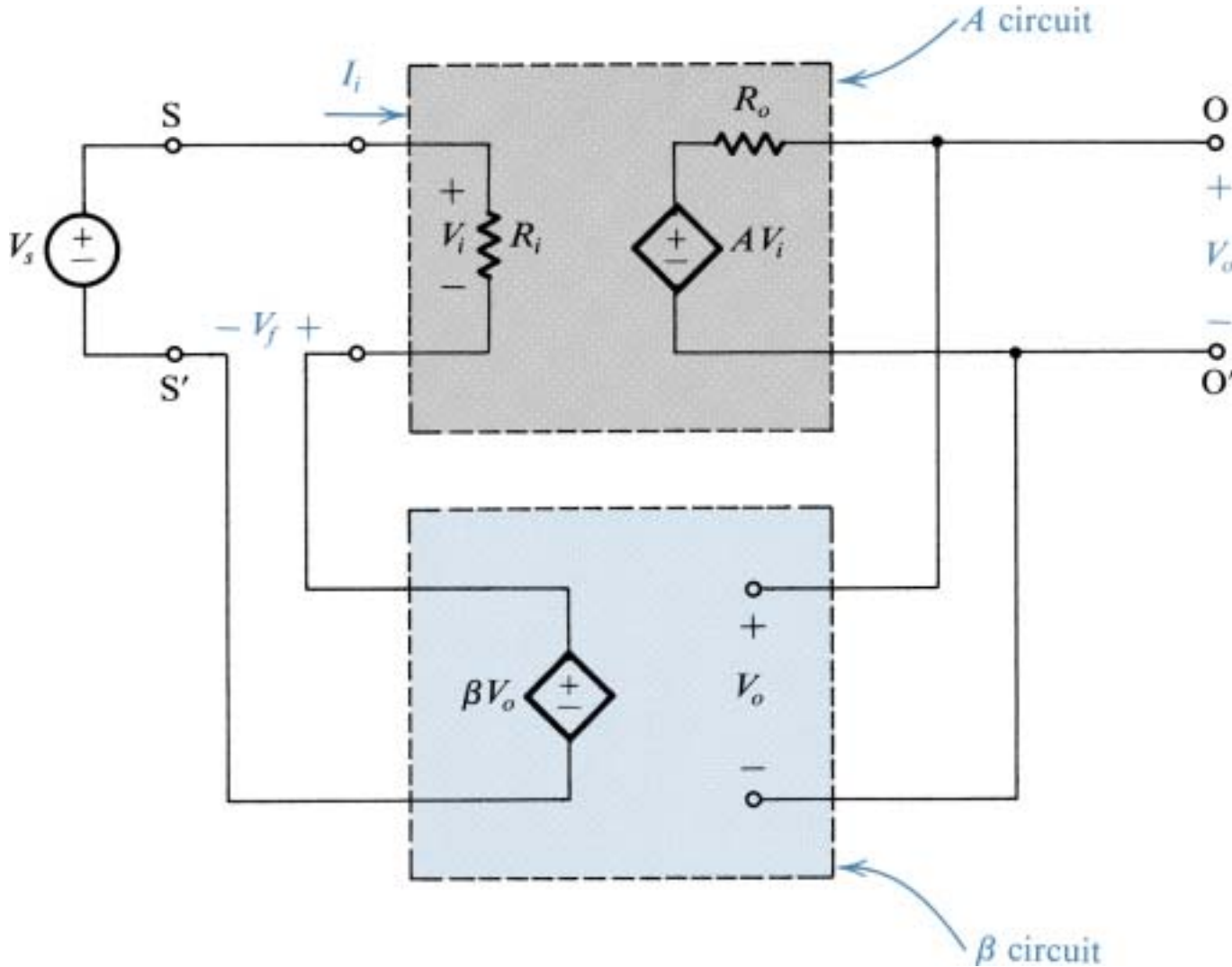
$$V_i = V_s - V_f$$

$$V_i = V_s - \beta V_o$$

$$V_o = A(V_s - \beta V_o)$$

$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Ideal)



$R_{if} :$

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i}$$

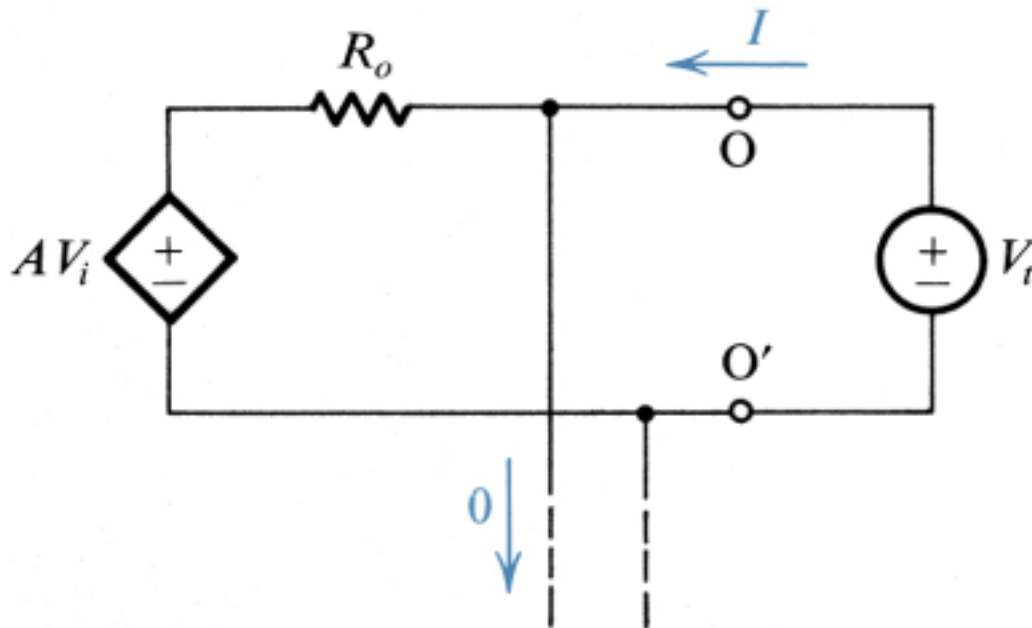
$$R_{if} = \frac{V_s}{V_i / R_i}$$

$$V_i = V_s - \beta V_o$$

$$V_i = V_s - A\beta V_i$$

$$R_{if} = R_i(1 + A\beta)$$

Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Ideal)



$R_{of} :$

$$R_{of} = \left. \frac{V_t}{I} \right|_{V_s=0}$$

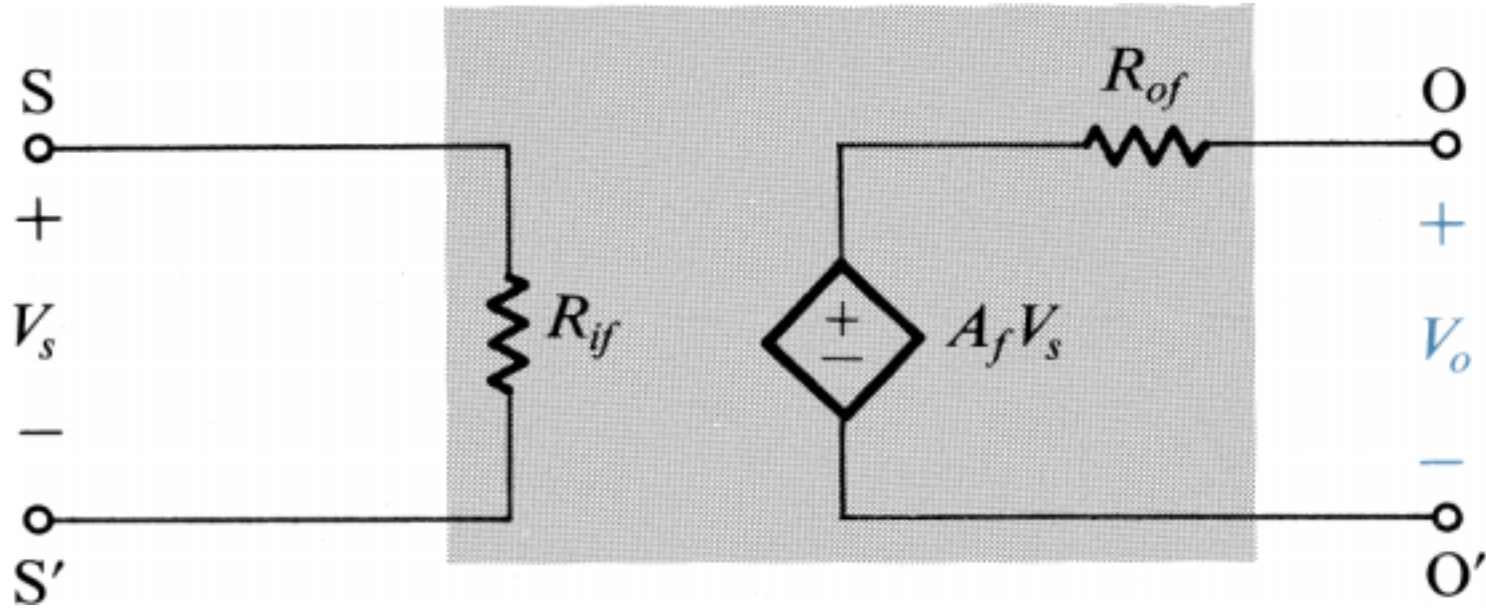
$$I = \frac{V_t - AV_i}{R_o}$$

$$V_i = -\beta V_o = -\beta V_t$$

$$I = \frac{V_t + A\beta V_t}{R_o}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A\beta}$$

Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Ideal)

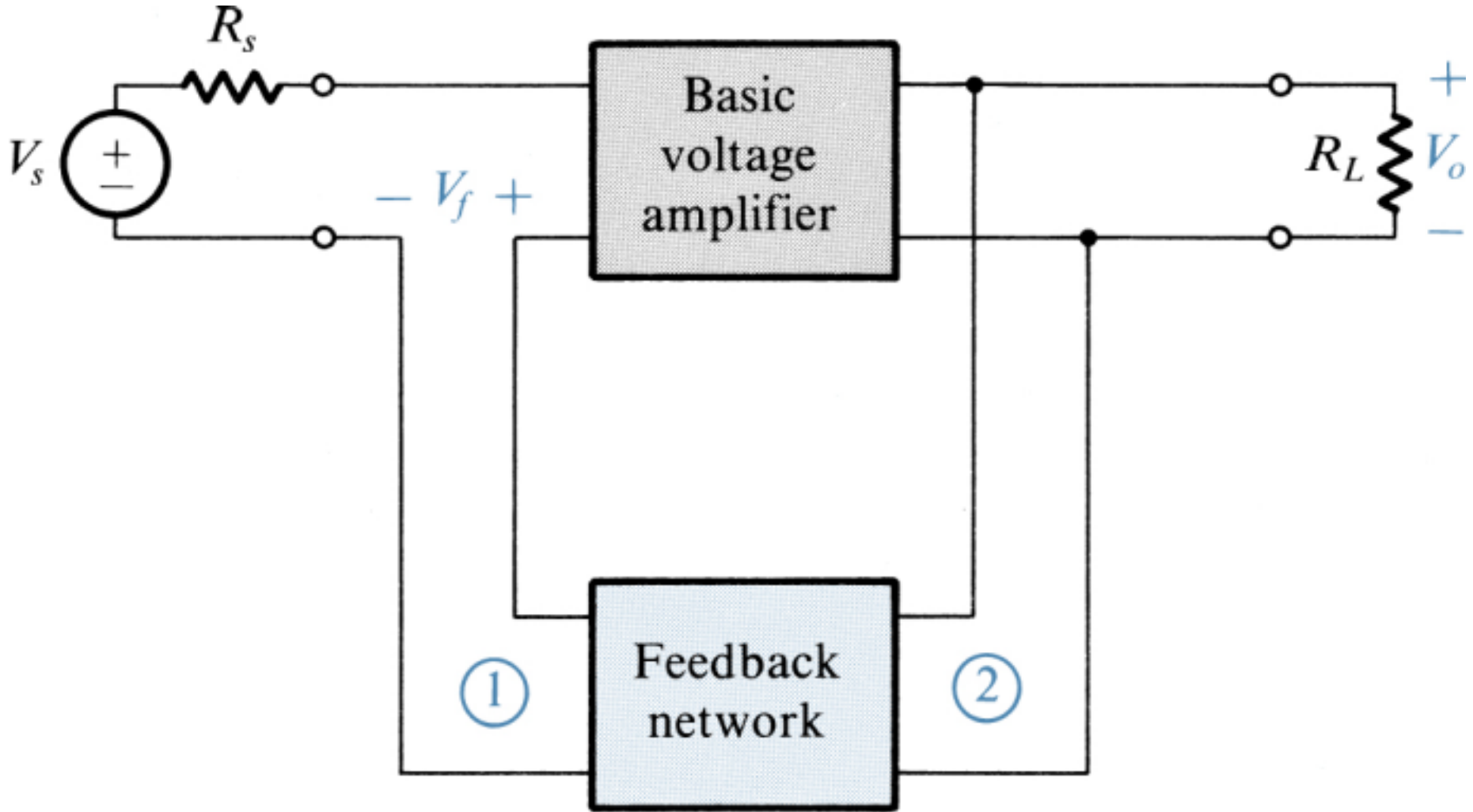


$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

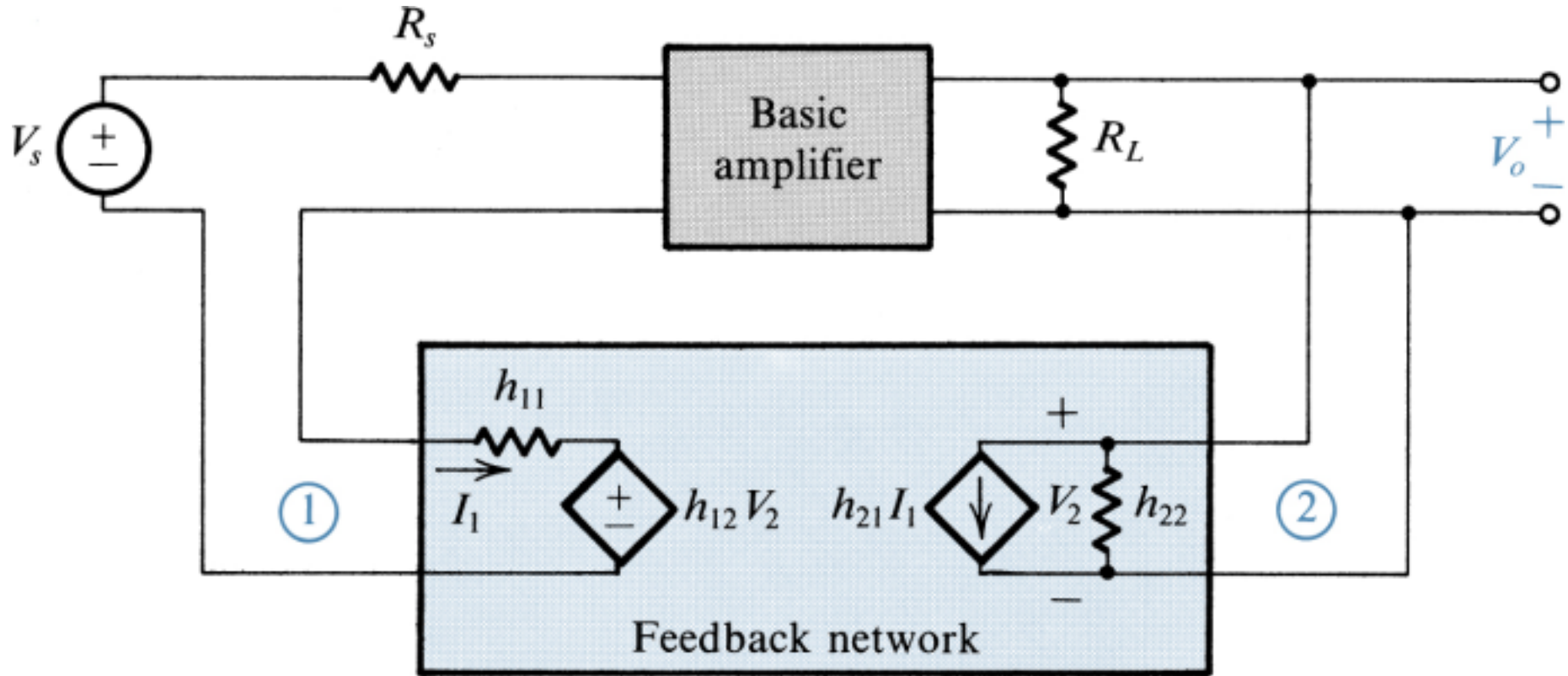
$$R_{if} = R_i(1 + A\beta)$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A\beta}$$

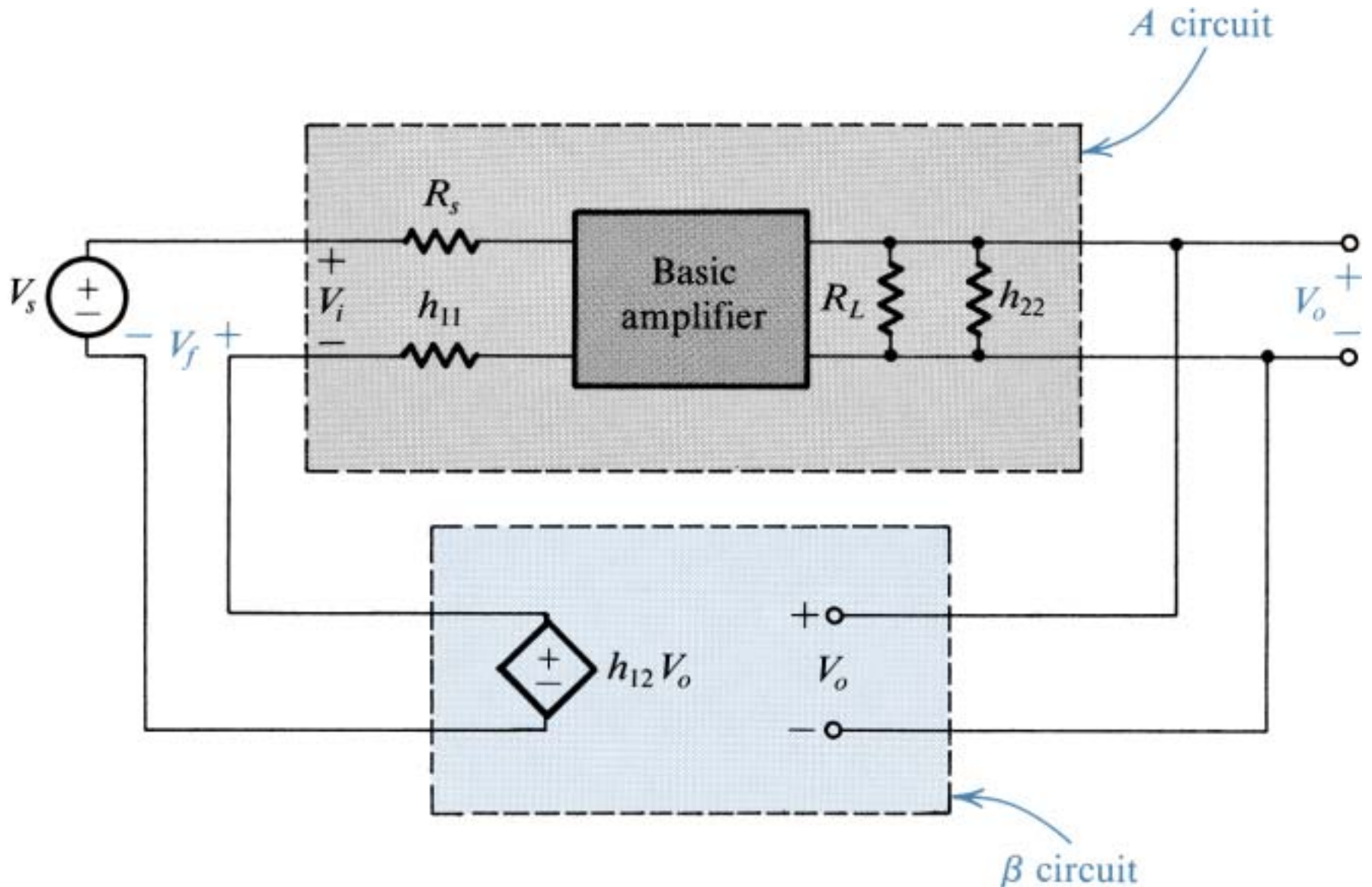
Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Real)



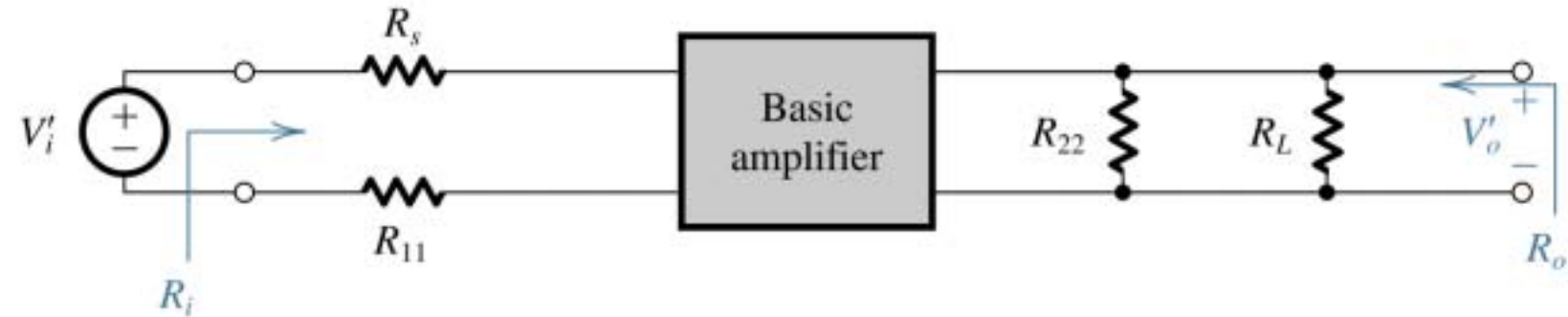
Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Real)



Amp. con Retroalimentación S-P (Caso Real)

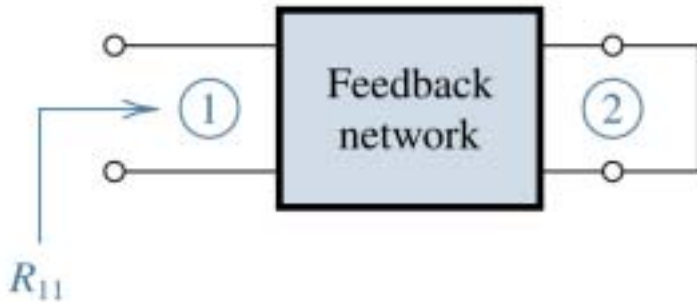


Calculando A y β para el caso S-P

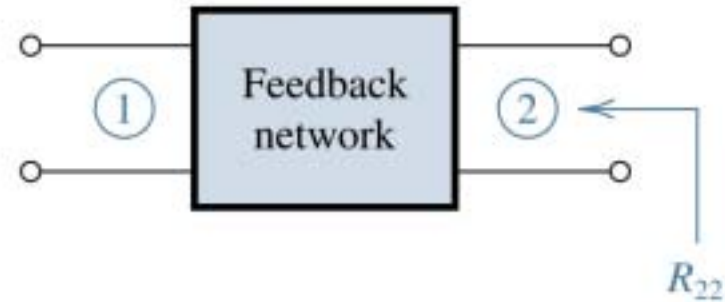


$$A = \frac{V_o'}{V_i'}$$

where R_{11} is obtained from

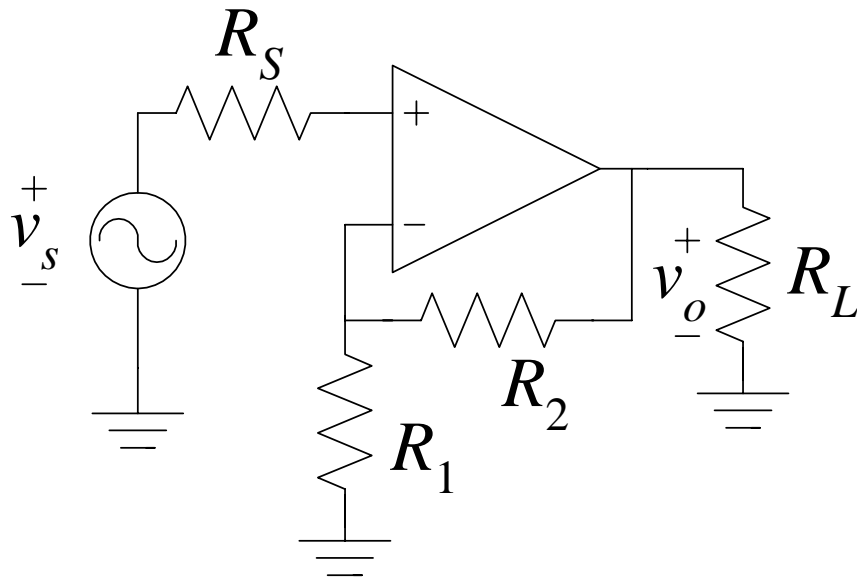


and R_{22} is obtained from



$$\beta = \left. \frac{V_f'}{V_o'} \right|_{I_1=0}$$

Ejemplo de Retroalimentación S-P



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

$$R_L = 2 \text{ K}\Omega$$

$$R_1 = 1 \text{ K}\Omega$$

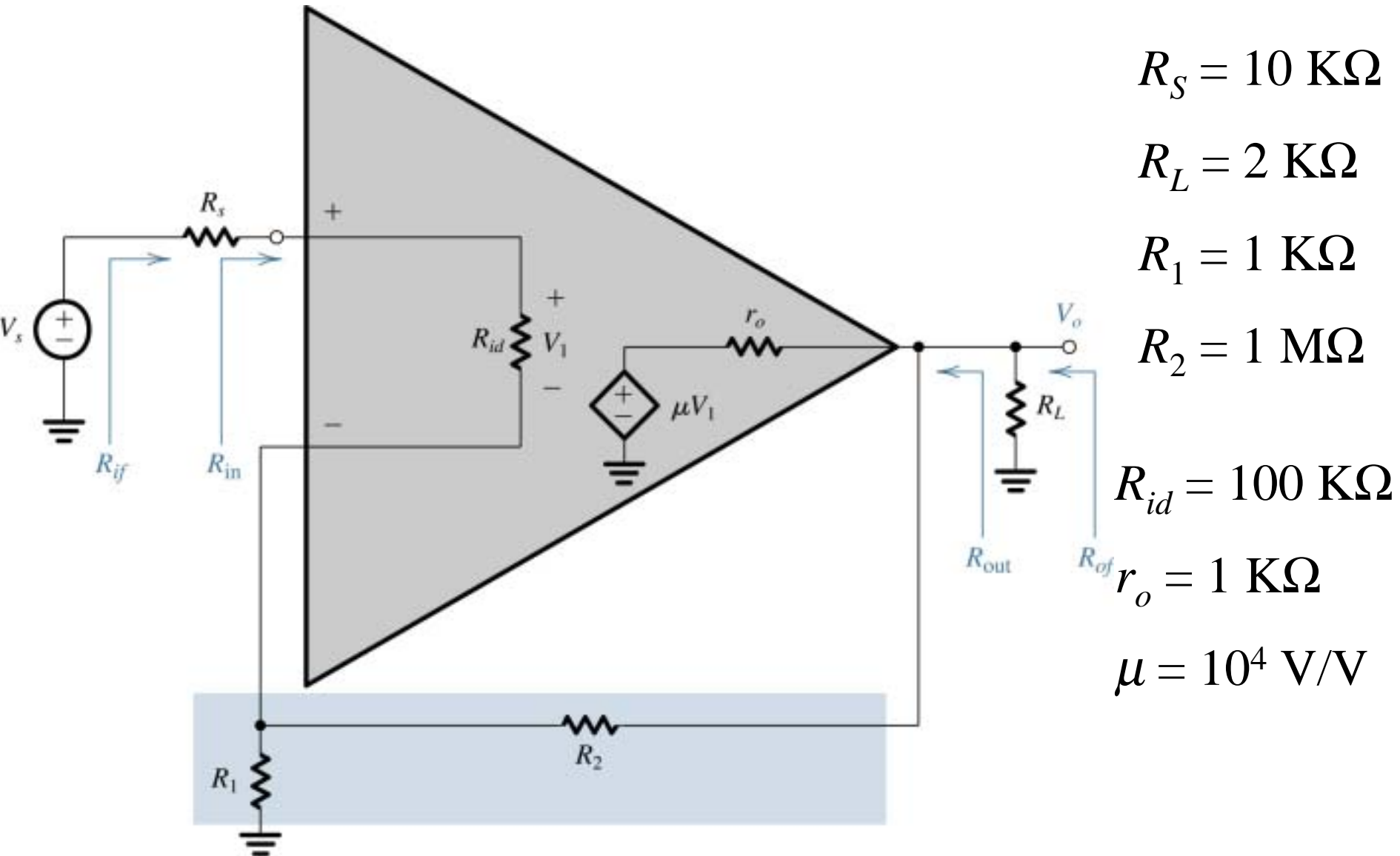
$$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

Especificaciones del Op-Amp:

$$R_{id} = 100 \text{ K}\Omega, r_o = 1 \text{ K}\Omega, \mu = 10^4 \text{ V/V}$$

Calcular la ganancia de voltaje, la impedancia de entrada y la impedancia de salida

Ejemplo de Retroalimentación S-P (cont.)



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

$$R_L = 2 \text{ K}\Omega$$

$$R_1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

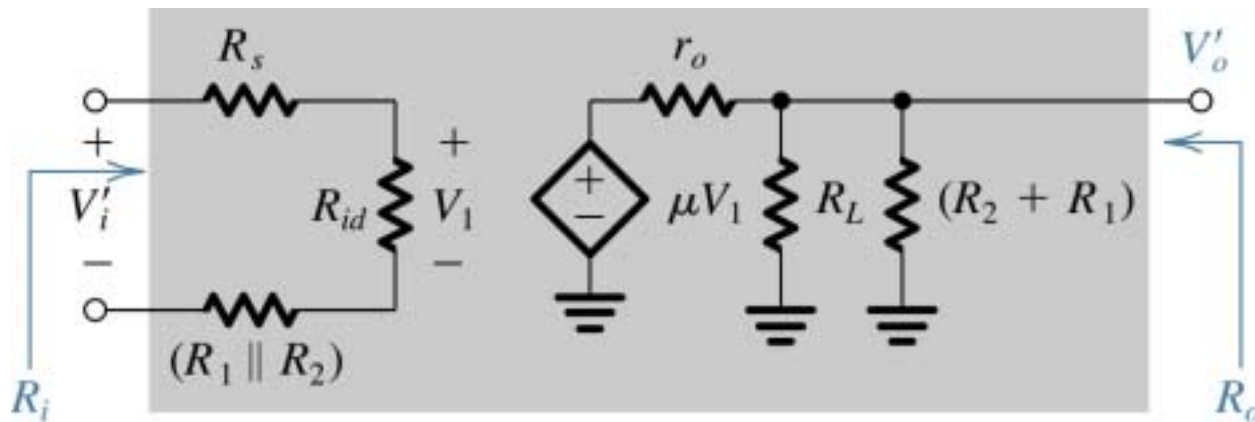
$$R_{id} = 100 \text{ K}\Omega$$

$$r_o = 1 \text{ K}\Omega$$

$$\mu = 10^4 \text{ V/V}$$

Ejemplo de Retroalimentación S-P (cont.)

Para calcular A...



$$A = \frac{V_o'}{V_i'}$$

$$V_1 = V_i' \frac{R_{id}}{R_s + R_{id} + (R_1 \parallel R_2)}$$

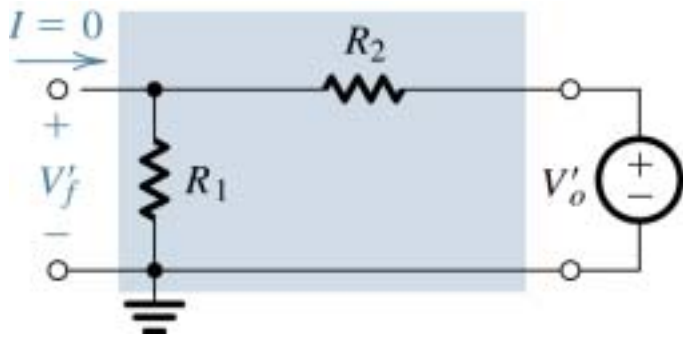
$$V_o' = \mu V_1 \frac{R_L \parallel (R_2 + R_1)}{r_o + R_L \parallel (R_2 + R_1)}$$

$$A = \mu \frac{R_L \parallel (R_2 + R_1)}{r_o + R_L \parallel (R_2 + R_1)} \frac{R_{id}}{R_{id} + R_s + (R_1 \parallel R_2)}$$

$$A \cong 6000$$

Ejemplo de Retroalimentación S-P (cont.)

Para calcular β ...



$$\beta = \frac{V_f'}{V_o'}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cong 10^{-3}$$

Ejemplo de Retroalimentación S-P (cont.)

$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{6000}{7} = 857$$

$$R_{if} = R_i(1 + A\beta) \quad R_i = R_s + R_{id} + (R_1 \parallel R_2) \cong 111\text{K}\Omega$$

$$R_{if} = 777\text{K}\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A\beta} \quad R_o = r_o \parallel R_L \parallel (R_2 + R_1) \cong 667\Omega$$

$$R_{of} = 95.3\Omega$$

Ejercicios de Tarea

Resolver 8.15, 8.17, 8.19, 8.21, 8.23, 8.25 y 8.29 del libro de texto