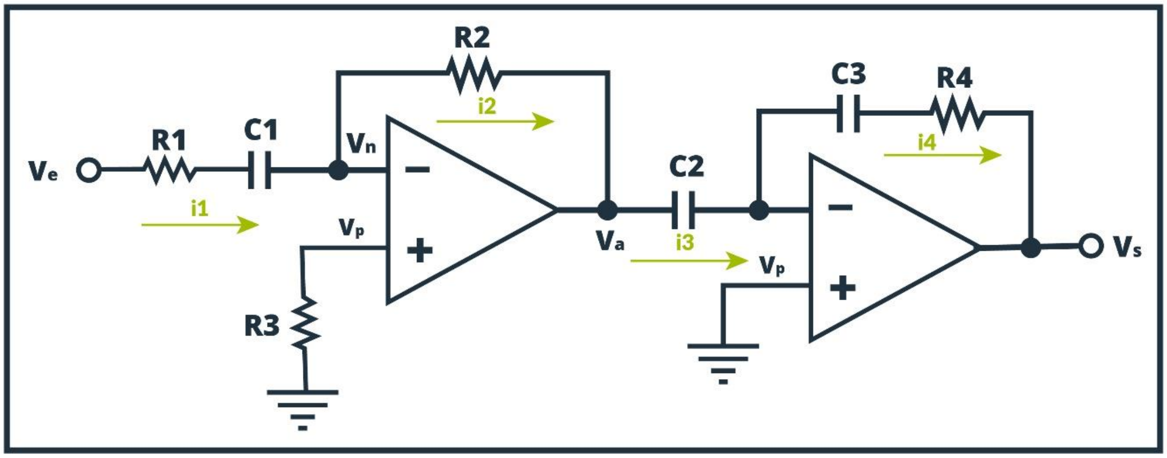
Función de transferencia en amplificadores operacionales

Unidad de Apoyo para el Aprendizaje

Ejemplo 3. Obtener la función de transferencia correspondiente al siguiente circuito con Op-Amp.



En este caso tenemos un sistema de dos etapas, representadas por $\Delta_1 = \left[\frac{V_a(s)}{V_e(s)}\right]$ y $\Delta_2 = \left[\frac{V_s(s)}{V_a(s)}\right]$, de tal forma que, para obtener la función de transferencia del sistema, tenemos que $\Delta = \Delta_1 * \Delta_2$, quedando de esta forma:

$$\Delta = \frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \left[\frac{V_a(s)}{V_e(s)}\right]\left[\frac{V_s(s)}{V_a(s)}\right]$$

Para el análisis separamos cada uno de los amplificadores y podemos realizar uno igual a los realizados en los ejemplos anteriores.

Para el análisis del amplificador 1:

Para este ejemplo, consideramos el uso de impedancias, de tal forma que:

$$Z_1 = \frac{1}{C_1 s} + R_1 = \frac{1 + R_1 C_1 s}{C_1 s}$$

Por medio del esquema eléctrico podemos observar que:

$$i_1(s) = i_2(s)$$

Analizando los nodos por medio de Ley de Ohm, tenemos:

(a)

$$\frac{V_e(s) - V_n(s)}{Z_1} = \frac{V_n(s) - V_a(s)}{R_2}$$

Por las características del Amplificador, sabemos que $V_n(s) = V_p(s)$, tal que $V_p(t) = 0$ por su conexión a tierra, tenemos que:

(b)

$$V_n(s) = V_p(s) = 0$$

Sustituyendo valores de (b) en (a), tenemos:

(c)

$$\frac{V_e(s)}{Z_1} = \frac{-V_a(s)}{R_2}$$

Despejando y obteniendo la relación $\frac{V_a(s)}{V_e(s)}$, a partir de (c), tenemos:

(d)

$$\frac{V_a(s)}{V_e(s)} = -\frac{R_2}{Z_1}$$

Sustituyendo Z_1 en (d), tenemos:

$$\frac{V_a(s)}{V_e(s)} = -\frac{R_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{\frac{1 + R_1 C_1 s}{C_1 s}} = -\frac{R_2 C_1 s}{1 + R_1 C_1 s}$$

Dando como resultado:

(e)

$$\Delta_1 = \frac{V_a(s)}{V_e(s)} = -\frac{R_2 C_1 s}{1 + R_1 C_1 s}$$

Para el amplificador 2:

Para esta parte del análisis, vamos a considerar las impedancias:

$$Z_3 = \frac{1}{C_2 s}$$

$$Z_4 = \frac{1}{C_3 s} + R_4 = \frac{1 + R_4 C_3 s}{C_3 s}$$

Del esquema, podemos ver que:

$$i_3(s) = i_4(s)$$

Analizando los nodos por medio de Ley de Ohm, tenemos:

(f)

$$\frac{V_a(s) - V_n(s)}{Z_3} = \frac{V_n(s) - V_s(s)}{Z_4}$$

Por las características del Amplificador, sabemos que $V_n(s) = V_p(s)$, tal que $V_p(t) = 0$ por su conexión a tierra, tenemos que:

(g)

$$V_n(s) = V_p(s) = 0$$

Sustituyendo valores de (g) en (f), tenemos:

(h)

$$\frac{V_a(s)}{Z_3} = \frac{-V_s(s)}{Z_4}$$

Despejando y obteniendo la relación $\frac{V_s(s)}{V_a(s)}$, a partir de (h), tenemos:

(i)

$$\frac{V_s(s)}{V_a(s)} = -\frac{Z_4}{Z_3}$$

Sustituyendo Z_3 y Z_4 en (i), tenemos:

$$\frac{V_s(s)}{V_a(s)} = -\frac{\frac{1 + R_4 C_3 s}{C_3 s}}{\frac{1}{C_2 s}} = -\frac{C_2 s[1 + R_4 C_3 s]}{C_3 s}$$

Dando como resultado:

(j)

$$\Delta_2 = \frac{V_s(s)}{V_a(s)} = -\frac{C_2 s[1+R_4 C_3 s]}{C_3 s}$$

Para la función de transferencia:

A partir de (e) y (j), podemos obtener:

$$\Delta = \frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \left[\frac{V_a(s)}{V_e(s)}\right]\left[\frac{V_s(s)}{V_a(s)}\right]$$

De tal forma que:

$$\Delta = \frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \left[\frac{V_a(s)}{V_e(s)}\right]\left[\frac{V_s(s)}{V_a(s)}\right] = \left[-\frac{R_2 C_1 s}{1 + R_1 C_1 s}\right]\left[-\frac{C_2 s[1 + R_4 C_3 s]}{C_3 s}\right]$$

Obteniendo la función de transferencia del sistema:

$$\Delta = \left[\frac{R_2 C_1 s}{1 + R_1 C_1 s}\right]\left[\frac{C_2 s[1 + R_4 C_3 s]}{C_3 s}\right]$$