

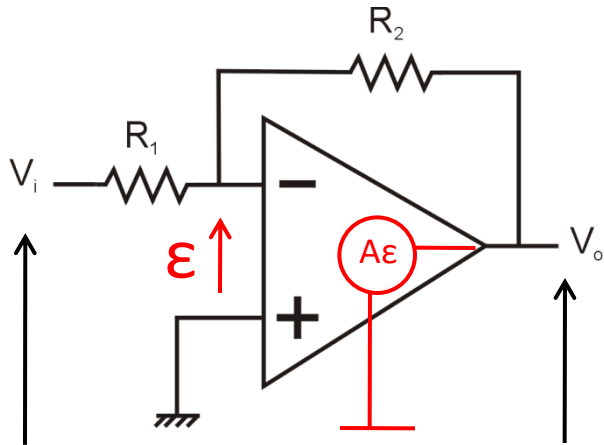
Electrónica

Amplificador operacional real
Curso 2025 – Prof. Jorge Runco

Amplificador operacional real

- Los AO modernos tienen características que se aproximan a las del AO ideal.
- En la mayoría de los casos se puede hacer un diseño suponiéndolo ideal.
- Sin embargo en muchas ocasiones en que es importante conocer los efectos debidos a las características no ideales.
- A continuación vamos a ver estos efectos.

Efectos de una ganancia de lazo abierto finita



$$V_o = -\frac{\varepsilon}{A}$$

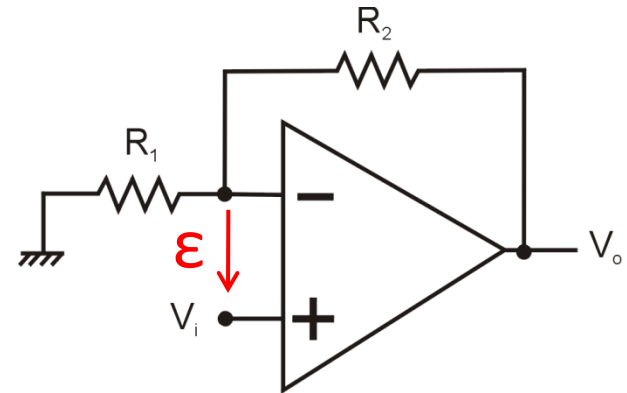
igualando corrientes en R_1 y R_2

$$\frac{V_i - \varepsilon}{R_1} = \frac{\varepsilon - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{1}{A} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} \right]$$

- Consideramos al AO ideal, salvo que A es finita.
- La expresión anterior es la ganancia de tensión a lazo cerrado con A finito.
- Recordemos A es la ganancia de tensión a lazo abierto, que antes consideramos idealmente infinita.

$$\varepsilon = \frac{V_o}{A}$$



$$-V_i + \varepsilon - i_1 R_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad i_1 = -\frac{V_i - \varepsilon}{R_1}$$

$$-V_i + \varepsilon + i_2 R_2 + V_o = 0 \quad \Rightarrow \quad i_2 = \frac{V_i - \varepsilon - V_o}{R_2}$$

Igualando las corrientes en R_1 y R_2

$$\frac{\varepsilon - V_i}{R_1} = \frac{V_i - \varepsilon - V_o}{R_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{V_o}{A} - V_i}{R_1} = \frac{V_i - \frac{V_o}{A} - V_o}{R_2}$$

Igualando las corrientes en R_1 y R_2

$$\frac{\mathcal{E} - V_i}{R_1} = \frac{V_i - \mathcal{E} - V_o}{R_2} \Rightarrow \frac{\frac{V_o}{A} - V_i}{R_1} = \frac{V_i - \frac{V_o}{A} - V_o}{R_2}$$

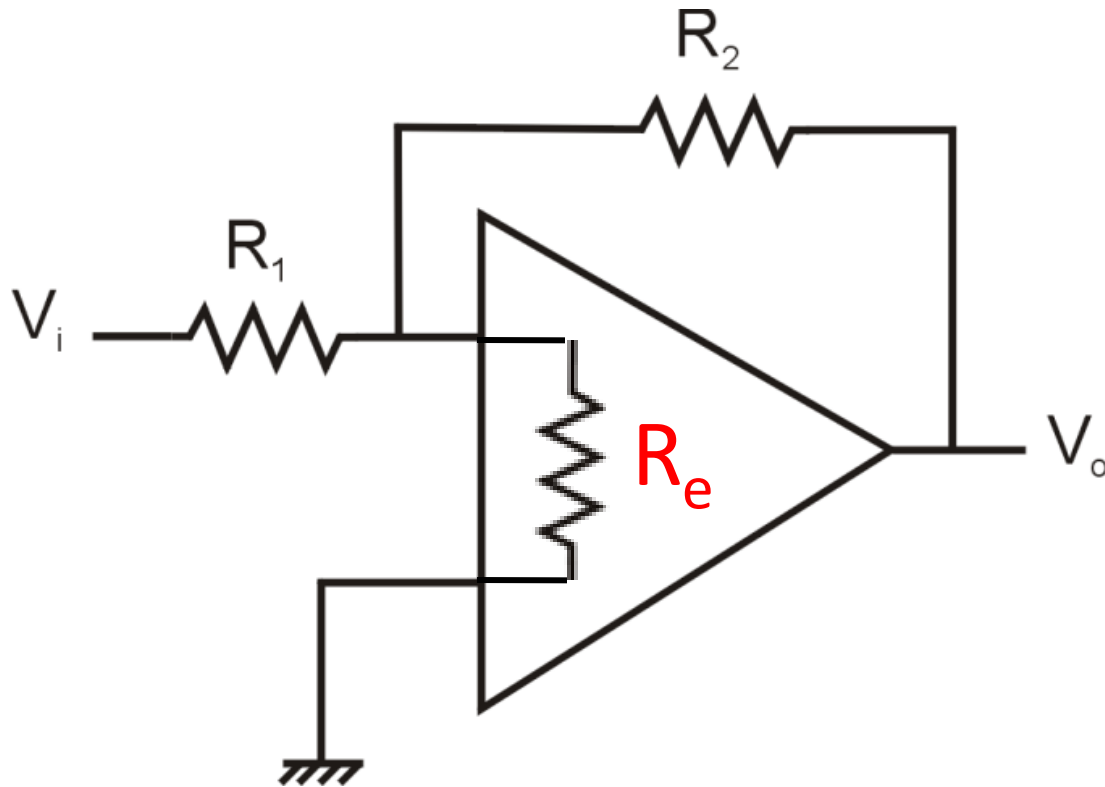
$$\frac{R_2}{R_1} \frac{V_o}{A} - V_i \frac{R_2}{R_1} = V_i - \frac{V_o}{A} - V_o$$

$$\frac{R_2}{R_1} \frac{V_o}{A} + \frac{V_o}{A} + V_o = V_i + V_i \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{V_o}{A} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + V_o = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$V_o \left(1 + \left(\frac{1}{A}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right) = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \cancel{R_2} / \cancel{R_1}}{1 + (\cancel{1/A})(1 + \cancel{R_2} / \cancel{R_1})} \Leftarrow$$

Efecto de la resistencia de entrada finita



$$-v_i + i_1 R_1 + \mathcal{E} = 0 \quad \Rightarrow \quad i_1 = \frac{v_i - \mathcal{E}}{R_1}$$

$$-v_o - i_2 R_2 + \mathcal{E} = 0 \quad \Rightarrow \quad i_2 = \frac{\mathcal{E} - v_o}{R_2}$$

$$\mathcal{E} = -\frac{v_o}{A} \quad i_1 = i_2 + i_e \quad i_e = \frac{\mathcal{E}}{R_e}$$

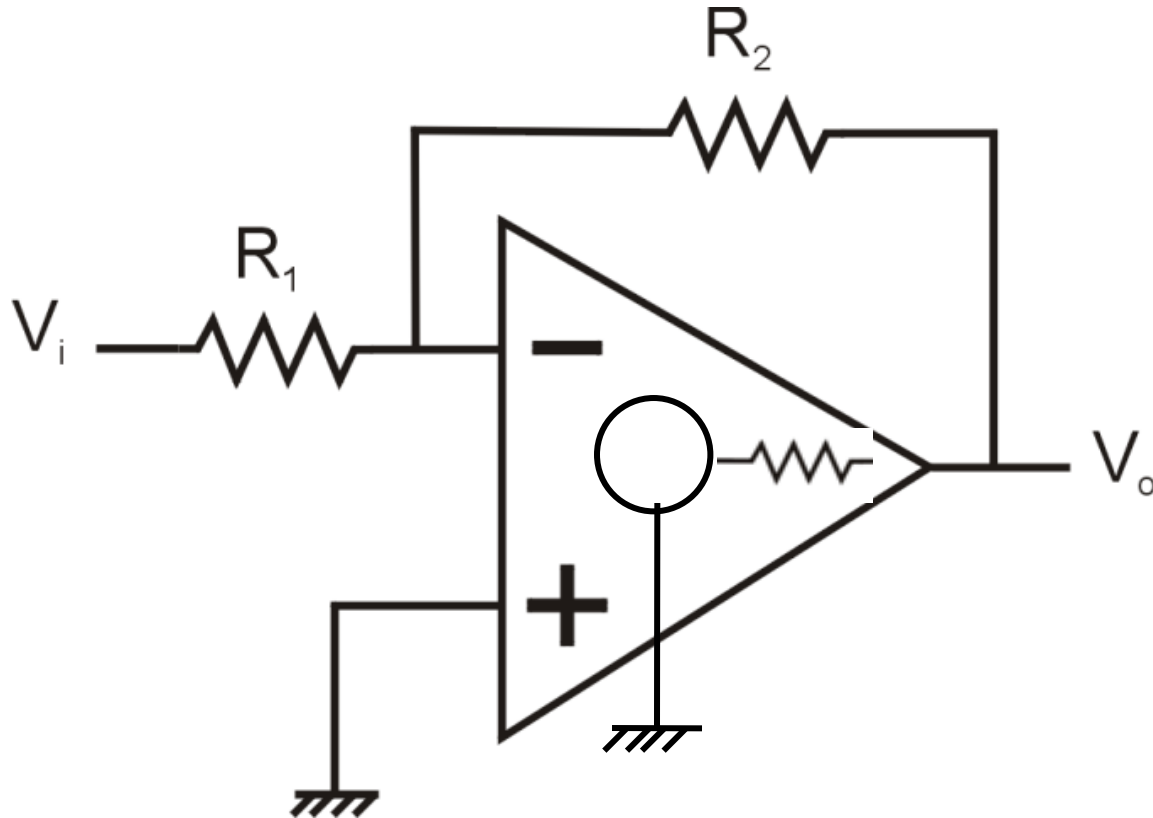
$$\frac{v_i - \mathcal{E}}{R_1} = \frac{\mathcal{E}}{R_e} + \frac{\mathcal{E} - v_o}{R_2}$$

$$\frac{v_i - \mathcal{E}}{R_1} = \frac{\mathcal{E}}{R_e} + \frac{\mathcal{E} - v_o}{R_2} \Rightarrow \frac{v_i}{R_1} + \frac{v_o}{AR_1} = -\frac{v_o}{AR_e} - \frac{v_o}{AR_2} - \frac{v_o}{R_2}$$

$$\frac{v_i}{R_1} = -\frac{v_o}{R_2} \left(\frac{R_2}{AR_e} + \frac{1}{A} + 1 + \frac{R_2}{AR_1} \right)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left(1 + \frac{R_2}{AR_e} + \frac{R_2}{AR_1} \right)} \quad \Leftarrow$$

Efecto de la resistencia de salida no nula



$$\frac{e_1 - e_2}{R_1} = \frac{e_2 - e_3}{R_2} = \frac{e_3 - e_4}{R_o}$$

$$e_2 = \frac{-e_4}{A} \quad e_4 = e_3 \left(\frac{R_2 + R_o}{R_2 - R_o/A} \right)$$

$$e_4 = e_3 \left(1 + \frac{R_o}{R_2} \right)$$

$$\frac{e_3}{e_1} = -\frac{R_2}{R_1} \left[\frac{1}{1 + \left(1 + \frac{R_o}{R_2} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{A}} \right]$$



Efecto del ancho de banda finito

- Cuando aumenta la frecuencia las características del AO se apartan de la condición ideal.
- Esto se puede estudiar con el diagrama de Bode visto en clases anteriores.
- La curva en azul muestra la ganancia de un AO real. Como vemos la ganancia es grande pero el ancho de banda “desilusiona” (Hz)
- Al cerrar el lazo con resistencias ganamos menos pero tenemos más ancho de banda.

AO modelado con una
característica pasa-bajos

