

Apéndices

Víctor Manuel Sánchez Esquivel/Antonio Salvá Calleja



Apéndice A

Instrucciones de operación del medidor de potencia

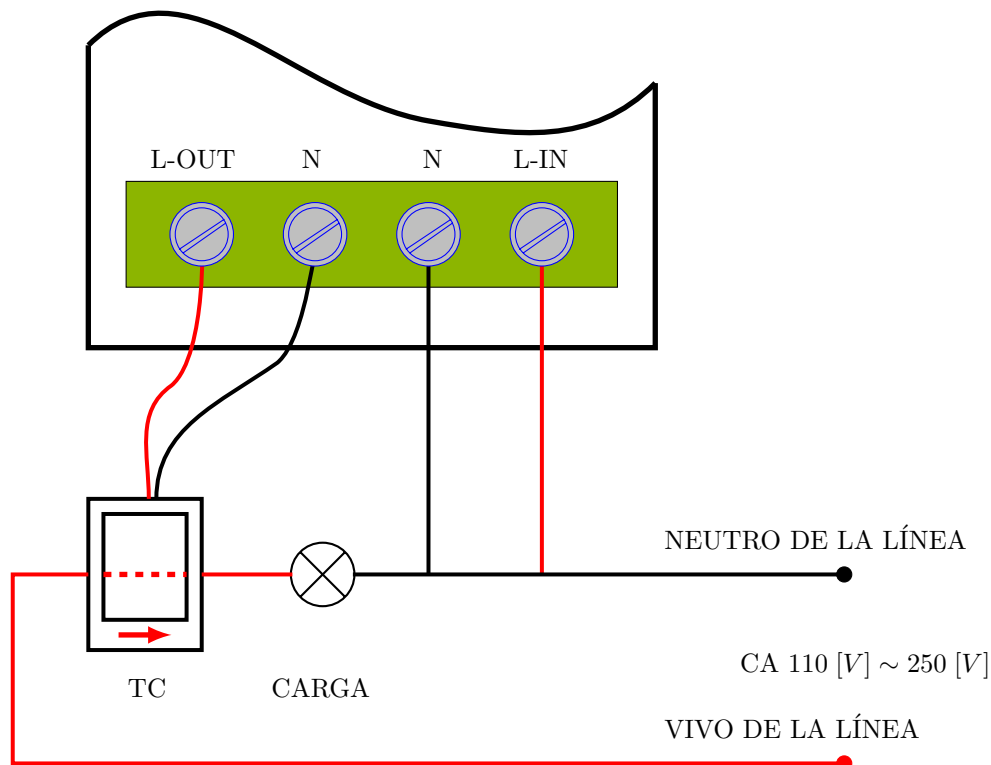


Figura A.1. Diagrama para medir la potencia promedio de una carga eléctrica.

1. Instrucciones de alambrado (de izquierda a derecha)

L-OUT: Alambre rojo del Transformador de Corriente (TC).

N: Alambre negro del Transformador de Corriente (TC).

N: Neutro de la línea.

L-IN: Vivo de la línea.

2. Instrucciones del botón

- a) Presione brevemente el botón para encender/apagar la luz de fondo.

b) Presione más tiempo (3 [s]) para eliminar las lecturas de energía (kwh) anteriores.

3. Verifique la dirección de la flecha en el TC

La dirección invertida no permite realizar las lecturas de la potencia y el factor de potencia.

Apéndice B

El Amplificador Operacional

El amplificador operacional se puede considerar, esencialmente, una fuente de voltaje controlada por voltaje en el que la ganancia de voltaje diferencial, A_d , es muy grande. El modelo elemental del amplificador operacional se exhibe en la figura B.1. Este dispositivo electrónico consta de varias terminales, pero por simplicidad, en la figura no se muestran todas.

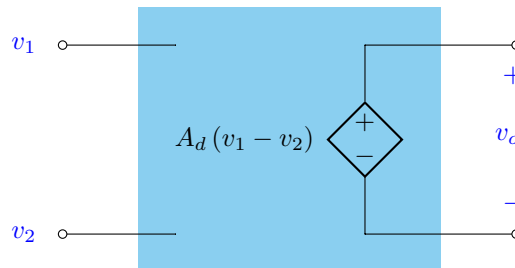


Figura B.1. Modelo fundamental del Amplificador Operacional.

En la figura B.2 se observa el símbolo para representar al amplificador operacional. La terminal ① es la terminal de entrada inversora, la ② corresponde a la terminal de entrada no inversora y la número ③ es la terminal de la salida.

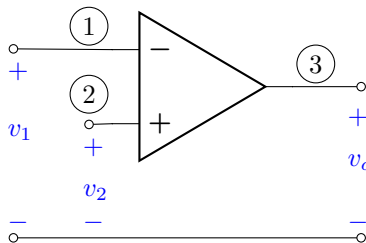


Figura B.2. Símbolo del amplificador operacional.

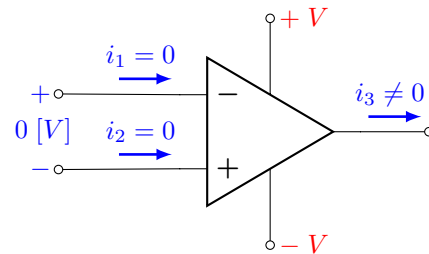


Figura B.3. Amplificador operacional ideal con sus terminales de alimentación.

El amplificador operacional tiene varias características importantes que lo hacen muy versátil en un número ingente de aplicaciones. No obstante, nuestro estudio se enfoca únicamente al modelo del *amplificador operacional ideal* y del cual sólo se tienen en cuenta tres características. A saber: la impedancia de entrada se puede considerar *infinita* mientras que la impedancia de salida *nula*, como se puede apreciar en la figura B.1. Si la ganancia A_d se considera *infinita*, entonces al llevar a cabo el análisis de un circuito eléctrico que contenga un amplificador operacional, en el par de terminales de entrada ambos voltajes son simultáneamente idénticos, como se visualiza en la figura B.3.

Para clarificar estas ideas, considere del circuito eléctrico de la figura B.4, del cual se desea encontrar la relación entre el voltaje de salida $V_o(s)$ y el voltaje de entrada $V_i(s)$, esto es, la función de transferencia $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$.

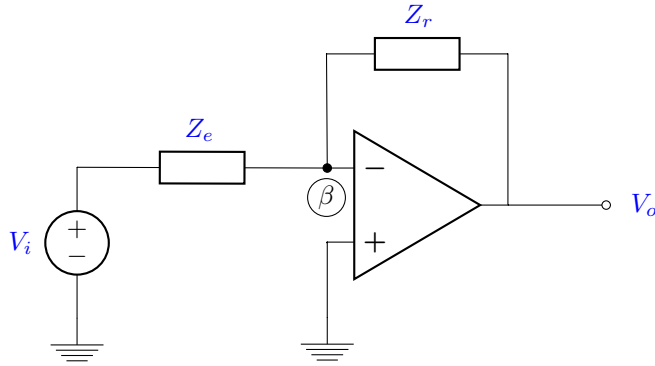


Figura B.4. Amplificador operacional con retroalimentación negativa.

A partir del análisis por nodos y después de que se ha transformado la fuente de voltaje V_i en una fuente de corriente, la ecuación de nodos resulta

$$\left(\frac{1}{Z_e} + \frac{1}{Z_r} + \frac{1}{\infty}\right)V_\beta(s) - \left(\frac{1}{Z_r}\right)V_o(s) = \frac{V_i(s)}{Z_r}$$

Pero dado que $V_\beta(s) = 0$, ¿por qué?, se tiene

$$-\left(\frac{1}{Z_r}\right)V_o(s) = \frac{V_i(s)}{Z_r}$$

así

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_r(s)}{Z_e(s)} \quad (\text{B.1})$$

es la relación entre los voltajes de la salida y la entrada que se busca.

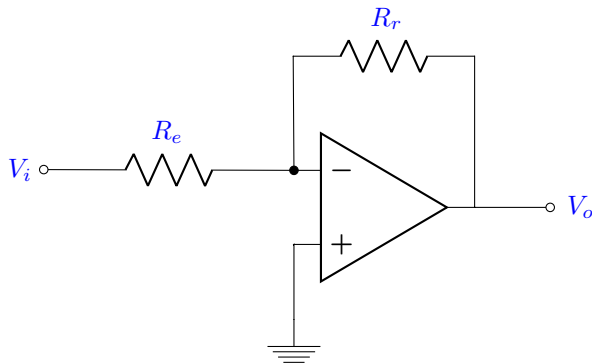


Figura B.5. Amplificador de voltaje inversor de ganancia finita.

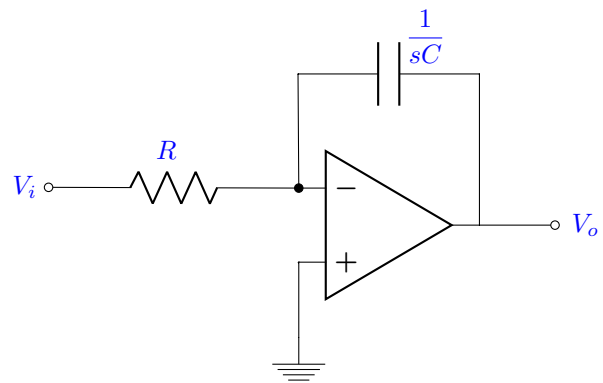


Figura B.6. Integrador.

Si las impedancias $Z_e(s)$ y $Z_r(s)$ se sustituyen por las resistencias R_e y R_r , respectivamente, como se muestra en la figura B.5; se tiene el *amplificador inversor de ganancia finita*. Su relación entrada-salida es

$$v_o(t) = -\frac{R_r}{R_e}v_i(t) \quad (\text{B.2})$$

Asimismo, para el circuito eléctrico de la figura B.6, es asequible demostrar que la relación entrada-salida es

$$v_o(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t v_i(\tau)d\tau + v_o(0) \quad (\text{B.3})$$

Los resultados anteriores se pueden generalizar, al considerar el teorema de superposición. De manera que la señal en la terminal de la salida del amplificador operacional de la figura B.7 es

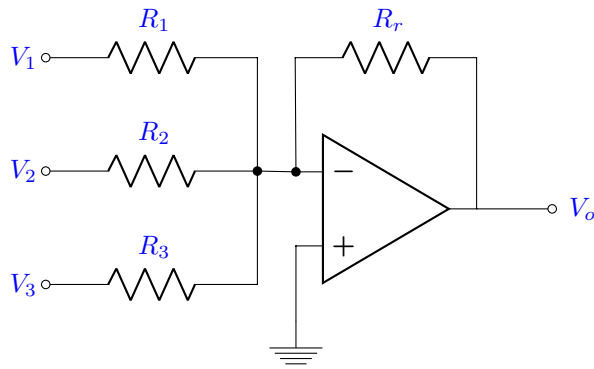


Figura B.7. Sumador.

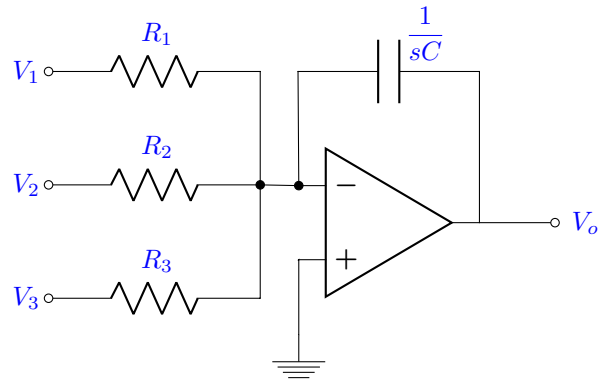


Figura B.8. Integrador.

$$v_o(t) = - \left[\frac{R_r}{R_1} v_1(t) + \frac{R_r}{R_2} v_2(t) + \frac{R_r}{R_3} v_3(t) \right]$$

y la correspondiente al amplificador operacional de la figura B.8, resulta

$$v_o(t) = - \left[\frac{1}{CR_1} \int_0^t v_1(\tau) d\tau + \frac{1}{CR_2} \int_0^t v_2(\tau) d\tau + \frac{1}{CR_3} \int_0^t v_3(\tau) d\tau \right] + v_o(0)$$

Finalmente, se encuentra la relación entrada-salida de los circuitos eléctricos de la figura B.9.

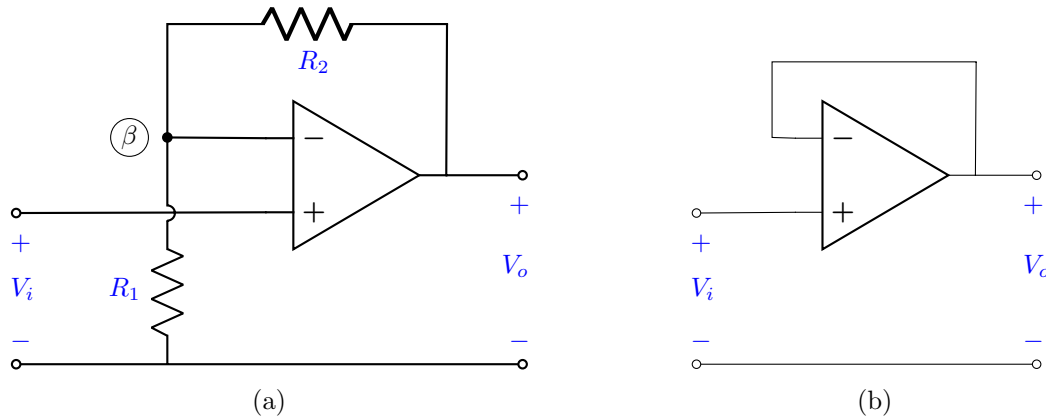


Figura B.9. (a) Amplificador de voltaje no inversor de ganancia finita. (b) Seguidor de voltaje.

En el circuito eléctrico de la figura B.9a, en primer lugar, se debe notar que

$$v_\beta(t) = v_i(t)$$

y que la ecuación de nodos para el nodo β es

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\infty} \right) v_\beta(t) - \left(\frac{1}{R_2} \right) v_o(t) = 0$$

con las dos ecuaciones anteriores y álgebra elemental, se tiene

$$v_o(t) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_i(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_i(t) \tag{B.4}$$

Este circuito eléctrico se denomina *amplificador de voltaje no inversor de ganancia finita*.

El circuito eléctrico de la figura B.9b es un caso particular del que se muestra en la figura B.9a; si se considera que $R_1 = \infty$ (*circuito abierto*) y $R_2 = 0$ (*corto circuito*). Por lo que la relación entrada-salida, a partir de la ecuación B.4, resulta ser

$$v_o(t) = v_i(t) \tag{B.5}$$

este circuito eléctrico recibe el nombre de *seguidor de voltaje*. También se conoce como *amplificador de aislamiento* (buffer amplifier) pues separa o aísla a un circuito eléctrico de otro.

Bibliografía

- Desoer, C. A. and Kuh, E. S., *Basic Circuit Theory*. New York: McGraw-Hill Company, 1969.
- Huelsman, L. P., and Allen P. E., *Introduction to the Theory and Design of Active Filters*, USA: McGraw-Hill, 1980.
- Johnson, D. E., Hilburn, J. L., Johnson, J. R., Scott, P. D., *Basic Electric Circuit Analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- Dorf, R. C., Svoboda, J. A., *Circuitos Eléctricos*. México, D. F.: Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V., 2011.
- Hayt, W. H., Kemmerly, J. E., Durbin S. M., *Análisis de circuitos eléctricos en ingeniería*. México: McGraw-Hill, 2012.
- Franco, S. , *Design With Operational Amplifiers And Analog Integrated Circuits*, California: McGraw-Hill Education, 2015.

Apéndice C

Material para las prácticas del Laboratorio de Circuitos Eléctricos

- 1 Capacitor de $0.22 \mu F$
- 1 Capacitor de $270 pF$
- 1 Capacitor de $560 pF$
- 1 Capacitor de $2.7 nF$
- 1 Capacitor de $5.6 nF$
- 1 Capacitor de $22 \mu F$
- 4 Capacitores de $0.01 \mu F$
- 4 Capacitores de $0.1 \mu F$
- 1 Resistor de 56Ω , 10 Watt
- 1 Resistor de 100Ω , 0.5 Watt
- 1 Resistor de 470Ω , 0.5 Watt
- 2 Resistores de 2200Ω , 0.5 Watt
- 2 Resistores de 100000Ω , 0.5 Watt
- 2 Resistores de 1000000Ω , 0.5 Watt
- 3 Resistores de 10000Ω , 0.5 Watt
- 11 Resistores de 1000Ω , 0.5 Watt
- 1 Diodo 1N4001 o equivalente
- 2 Pilas de 9 Volts
- 1 Trimpot de 100000Ω
- 1 Amplificador Operacional TL082 o equivalente
- 1 Reactor de 20 watts para lámpara fluorescente