

Instrumentos de Medición de Corriente Continua

Luis Paretto Quispe

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Resumen— Con el presente artículo se pretende asistir, a los estudiantes de cursos relacionados a circuitos eléctricos, en la utilización apropiada de los instrumentos de medición de corriente continua analógicos. Se demuestra que los voltímetros, miliamperímetros y micro amperímetros introducen un efecto de carga que altera el funcionamiento normal del circuito.

Abstract— In this article is intended to guide students in basic courses in electrical and electronic circuits on the appropriate use of the analog instruments of direct current. It shows that the voltmeters, Milliammeters and Microammeters produce a load that alters the normal functioning of the circuit.

Palabras Claves—Efecto de carga, Instrumentos de medición de corriente directa, Multímetros, Voltímetros, Amperímetros, Miliamperímetros, Microamperímetro.

I. INTRODUCCIÓN

Se ha observado que los estudiantes que se inician en un curso de laboratorio de circuitos eléctricos de corriente continua (CC), por lo general no toman en cuenta los errores que introducen los instrumentos de medición debido a que no consideran que un instrumento de medición dispone de características eléctricas, tales como la sensibilidad, linealidad, exactitud y precisión, resolución, y otros que influyen sobre la operación normal del circuito bajo prueba. En el presente artículo se mostrará, por su importancia, la característica de sensibilidad y el efecto de carga que altera el funcionamiento normal del circuito bajo prueba así como el valor medido.

A. Sensibilidad

La Sensibilidad (S), véase ecuación 1, es el recíproco de la corriente de deflexión a plena escala del movimiento de la bobina móvil de un instrumento de medición de corriente continua (voltímetro, amperímetro), dada en Ohmios por Voltios (Ω/v).

$$S = \frac{1}{I_{dpe}} \quad (1)$$

donde I_{dpe} : corriente de deflexión a plena escala.

Cuanto más pequeña sea la corriente de deflexión de plena escala será mayor la sensibilidad de instrumentos y de mejor calidad.

1) Sensibilidad de un Voltímetro

Cuando se adiciona en serie una resistencia multiplicadora al medidor de bobina móvil, se obtiene la estructura de un Voltímetro Analógico de Corriente Continua, como se muestra en la Figura 1. Cada resistencia multiplicadora limita el flujo de corriente continua hacia el galvanómetro, debiendo éste ser como máximo I_{dpe} . Por ejemplo, para un voltímetro multirango con corriente de deflexión máxima del galvanómetro de 50 μA ($S=20 K\Omega/V$), para los rangos de 10 v, 50 v y 250 v; los valores de resistencia para cada escala deberán ser 200K Ω , 1M Ω y 5M Ω respectivamente.

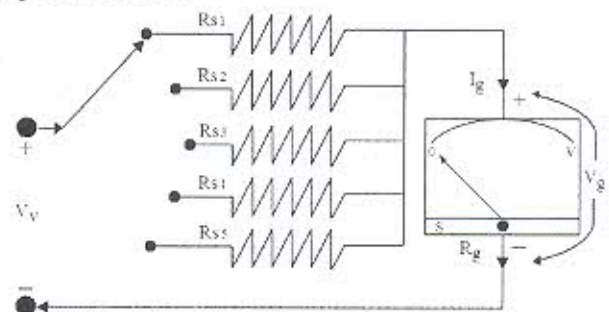


Fig. 1. Estructura de un voltímetro de corriente continua

2) Sensibilidad del amperímetro

Un amperímetro de corriente continua está compuesto por el galvanómetro de bobina móvil y un arreglo resistivo en paralelo (shunt) para conformar cada una de las escalas del amperímetro, tal como se muestra en la figura 2.

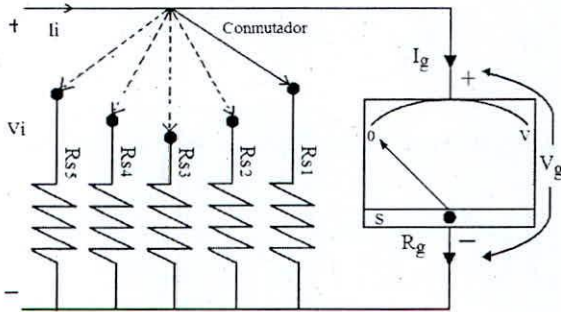


Fig. 2.- Estructura de un amperímetro CC.

B. Efecto de Carga

Se produce por efecto de la resistencia interna del instrumento de medición de corriente continua.

1) Resistencia interna de un instrumento de medición de corriente continua

Tal como se observa en las figuras 1 y 2, los instrumentos de corriente continua analógicos presentan entre sus terminales de entrada un valor resistivo denominada resistencia de entrada del instrumento (R_i), que para el caso del voltímetro debe ser de un valor muy alto (idealmente ∞ ohmios); y para el amperímetro de un valor muy bajo (idealmente 0 ohmios).

Seguidamente, se muestra las expresiones de cálculo de la resistencia entrada del voltímetro y amperímetro de corriente continua analógica respectivamente.

a) Efecto de carga del Voltímetro

Del circuito de la figura 1 se tiene:

$$V_i = I_g (R_{sk} + R_g) = (R_{sk} + R_g) / S \tag{2}$$

$$R_v = (R_{sk} + R_g) = S \cdot V_i \tag{3}$$

Donde;

- R_i : resistencia de entrada del voltímetro.
- R_{sk} : resistencia multiplicadora de la k-ésima escala.
- R_g : resistencia del galvanómetro.
- V_i : voltaje de trabajo.
- I_g : corriente a través del galvanómetro.
- S : sensibilidad del voltímetro.

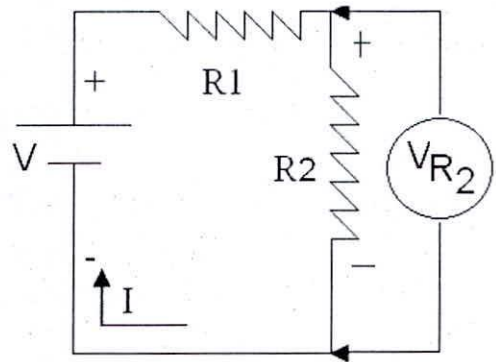


Fig. 3.- Circuito para medir efecto de carga del voltímetro.

En el circuito de la figura 3, se desea determinar el valor de la tensión V_2 sobre R_2 teniendo en cuenta que el voltímetro es de característica ideal, por consiguiente este no introduce error por efecto de carga.

$$V_{R_2} = \frac{V \cdot R_2}{R_1 + R_2} \tag{4}$$

Por otro lado ahora considerando la resistencia equivalente del voltímetro R_v , este va a introducir variación en los parámetros eléctricos del circuito bajo prueba. De acuerdo al circuito de la figura 4 se deduce que la tensión V'_{R_2} que el voltímetro va a mostrar es:

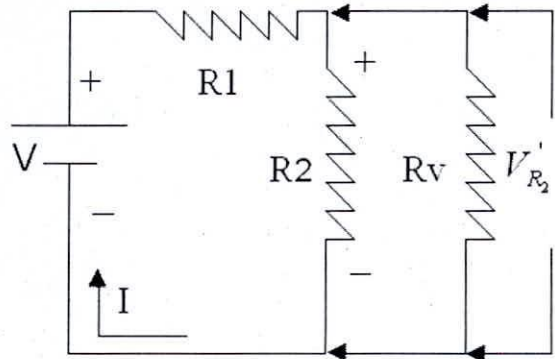


Fig. 4.- Efecto de la R_v .

$$V'_{R_2} = \frac{V \cdot R_2}{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_v}} \tag{5}$$

Luego teniendo en cuenta (4) y (5) se obtiene el error introducido por efecto de carga del voltímetro:

$$e_{R_v} = V_{R_2} - V'_{R_2} \tag{6}$$

$$e_{R_V} = V \cdot R_2 \frac{R_1 + R_2 / R_V}{(R_1 + R_2) \left(R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_V} \right)} \quad (7)$$

Este error relativo puede ser expresado en forma porcentual como:

$$e_{R_V} (\%) = \frac{e_{R_V}}{V R_2} \cdot 100\% = \frac{100\%}{1 + R_V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad (8)$$

Aquí se observa que si $R_V \gg (R_1 + R_2)$, entonces el $e_{R_V}(\%)$ tiende a cero.

b) Efecto de carga del amperímetro

Del circuito de la figura 2 se tiene:

$$V_i = I_s \cdot R_{sk} = I_g \cdot R_g \quad (9)$$

donde:

- V_i : voltaje de trabajo del amperímetro.
- I_i : corriente de entrada al amperímetro.
- R_{sk} : resistencia shunt de la k-ésima escala.
- R_g : resistencia del galvanómetro.

Por lo tanto la resistencia de entrada R_i del amperímetro será:

$$R_A = R_{sk} // R_g \quad (10)$$

y la corriente total que ingresa al amperímetro es:

$$I_i = I_{sk} + I_g \quad (11)$$

Por consiguiente el valor de la resistencia de entrada (R_A) del amperímetro es:

$$R_A = V_i / I_i = R_g / S \cdot I_i = (I_g \cdot R_g) / I_i \quad (12)$$

Considerando el circuito de la Figura 5, aquí se muestra la ubicación del amperímetro A para registrar el valor de corriente I_{gar} determinamos el valor de la corriente I que registrará en condiciones ideales, o sea que la resistencia R_A es cero ohmios. Por lo tanto el valor de I será:

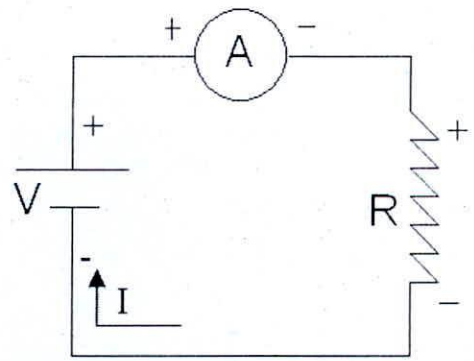


Fig. 5. Circuito para medir efecto de carga del amperímetro.

$$I = \frac{V}{R} \quad (13)$$

Ahora considerando el error introducido por la resistencia interna equivalente del amperímetro, tendremos tomando en cuenta el circuito de la Figura 6:

$$I' = \frac{V}{R + R_A} \quad (14)$$

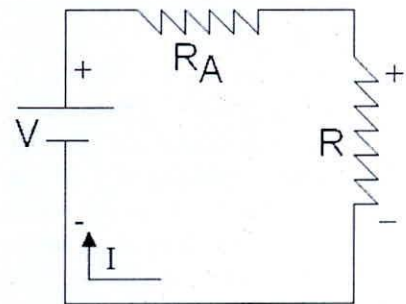


Fig.6. Efecto de la R_A

De (13) y (14) se deduce que el error introducido por el amperímetro será:

$$e_A = I - I' \quad (15)$$

$$e_A = \frac{V \cdot R_A}{R(R + R_A)} \quad (16)$$

En consecuencia el error relativo introducido por el amperímetro viene a ser:

$$e_A (\%) = \frac{e_A}{I} \cdot 100\% = \frac{R_A (100\%)}{R + R_A} \quad (17)$$

Teniendo en cuenta que si $R_A \ll R$, el error relativo porcentual $e_A (\%)$ tiende a cero.

II. PRUEBAS EXPERIMENTALES

A manera de ejemplos, en las Tablas I, II, III y IV, se muestran las mediciones realizadas para comprobar el efecto de carga de los Voltímetros y Microamperímetros.

TABLA I
Medidas con Voltímetro Ganz HDV-2
(Circuito Figura 3)

	ESCALAS							
	6		12		30		60	
	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)
R2=10.01K, VR2(Teor.)=7.14	-	-	6.1	14.57	6.4	10.36	6.5	8.96
R2=101K, VR2(Teor.)=7.7	3.0	61.03	4.1	46.75	5.5	28.57	6.5	15.58

TABLA II
MEDIDAS CON VOLTÍMETRO YOKOGAWA
(Circuito Figura 3)

	ESCALAS							
	3		10		30		100	
	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)	Vr2	Error(%)
R2=10.02K, VR2(Teor.)=7.14	-	-	5.1	28.67	6	16.08	6.8	4.9
R2=149.4K, VR2(Teor.)=8.96	0.66	92.95	1.85	79.35	4	55.36	6.0	33.04

TABLA III
MEDIDAS CON MICROAMPERÍMETRO YOKOGAWA 2051-01
(Circuito Figura 5)

	ESCALAS			
	1000		300	
	I (uA)	Error(%)	I (uA)	Error(%)
R=0.98K, V=0.3, I(Teor.)=300uA	160	46.67	80	73.33
R=0.39K, V=0.2, I(Teor.)=510uA	165	67.65	65	87.25

TABLA IV
MEDIDAS CON MICROAMPERÍMETRO GANZ HDA-2
(CIRCUITO FIGURA 5)

	ESCALAS					
	300		750		1500	
	I (uA)	Error(%)	I (uA)	Error(%)	I (uA)	Error(%)
R=0.997K,V=0.3, I(Teor.)=301uA	225	25.25	268	10.96	280	6.98
R=0.327K,V=0.2, I(Teor.)=610uA	298	51.15	449	26.39	530	13.11

III. CONCLUSIONES

- La sensibilidad del voltímetro Analógico es la especificación eléctrica más importante de este instrumento, nos permite proveer el grado de error sobre el circuito que se está midiendo; observándose que para valores altos de sensibilidad, menor será el efecto de carga del voltímetro.

- Para mediciones de voltaje es recomendable utilizar instrumentos con una sensibilidad del orden de 20 KΩ/v para aplicaciones en los Laboratorios de Circuitos Electrónicos.
- Se confirma que para el caso de los Miliamperímetros y Microamperímetros Analógicos la calidad de estos instrumentos estará determinada por la combinación de máxima sensibilidad con mínimo voltaje de trabajo del medidor de bobina móvil, para que tengan el mínimo efecto de carga posible.
- Para mediciones de corriente con Microamperímetro Analógicos y teniendo en cuenta el mínimo efecto de carga posible, es recomendable utilizar Microamperímetros con una sensibilidad mínima de 50 KΩ/v. y un voltaje de trabajo del medidor de bobina móvil máximo de 100mv, o se debe evaluar esta característica de acuerdo a las necesidades.
- Para mediciones de corriente con Miliamperímetros Analógicos, y teniendo en cuenta los avances tecnológicos logrados en los últimos años; estos instrumentos deberán tener una sensibilidad mínima de 2 KΩ/v. y un voltaje de trabajo del Medidor de Bobina Móvil máximo de 50 mv. para un adecuado trabajo en circuitos electrónicos y eléctricos, o se debe evaluar esta característica de acuerdo a las necesidades.
- De los Miliamperímetros Analógicos Ganz, Yokogawa y Stark, éste último es el que más efecto de carga introduce.
- Con respecto a la sensibilidad de los Miliamperímetros Analógicos Ganz, Yokogawa y Stark, el segundo tiene la menor sensibilidad.

REFERENCIAS

- [1] Manuales de Usuario de los Instrumentos Analógicos DC: GANZ, YOKOGAWA, STARK.
- [2] Stanley Wolf; Instrumentación y Mediciones Electrónicas.

14/02/2005

IMPRESO EN LOS TALLERES GRAFICOS DE
CONTACTO GRAFICO PERU S.R.L.
Telf.: 482-5252 / 381-3992 Fax: 482-7055
E-mail: contacto.graficoperu@gmail.com