

MEDIDA DE RESISTENCIAS CON EL PUENTE DE WHEATSTONE

1. Generalidades

Los procedimientos de medición denominados métodos de cero, o también, *puentes de medida*, son los de máxima precisión y, por lo tanto, los más empleados en laboratorios de medida y cuando se requiere una elevada exactitud.

En estos procedimientos, se determina el valor de la magnitud buscada mediante la comparación de la misma con los valores de patrones regulables de resistencias, reactancias, etc. La comparación resultará válida cuando el aparato indicador (generalmente un galvanómetro) indique cero (corriente nula) en una determinada rama del circuito de medida.

Los valores obtenidos con estos procedimientos no están afectados por los errores ni por la calibración del aparato indicador. La exactitud depende, exclusivamente, de la sensibilidad del galvanómetro o de cualquier otro aparato indicador que se utilice. La exactitud de la medida también es independiente del valor de la tensión utilizada para la medida.

El circuito utilizado en estos métodos de medida es un cuadripolo con dos bornes de entrada y dos bornes de salida que recibe el nombre de *puente*. En los bornes de entrada se conecta la fuente de alimentación y en los bornes de salida el instrumento medidor o indicador de cero, el cual ha de ser muy sensible.

El circuito además de la fuente y el indicador está constituido por cuatro impedancias conectadas como se muestra en la figura 1, constituyendo lo que se denomina un puente de dos brazos. En este puente se podrá variar adecuadamente uno o más parámetros del circuito y obtener un estado de equilibrio en el cual desaparece la diferencia de potencial entre los bornes a los cuales está conectado el dispositivo indicador de cero.

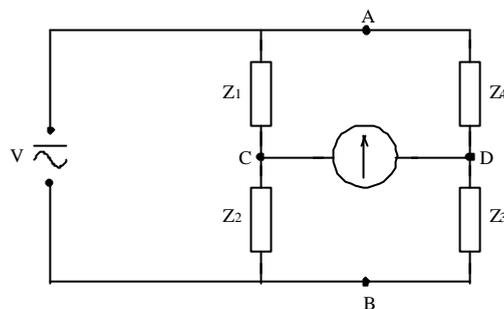


Fig. 1

2. Puentes de medida de corriente continua

Estos puentes se caracterizan por que la fuente de alimentación es de corriente continua, por ejemplo una batería de pilas y los brazos están constituidos exclusivamente por resistencias. Se utilizan exclusivamente para la medida de resistencias.

2.1. Puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone se muestra en la figura 2 y está constituido por cuatro resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 , de las cuales una de ellas es desconocida y su valor debe determinarse.

El estado de equilibrio del puente se consigue cuando la corriente I_g en el galvanómetro es nula, o sea cuando:

$$I_g = 0$$

lo que implica que la diferencia de potencial entre los puntos C y D ha de ser nula, es decir:

$$V_{CD} = 0$$

En el nudo A, según la 1ª ley de Kirchhoff, se tiene:

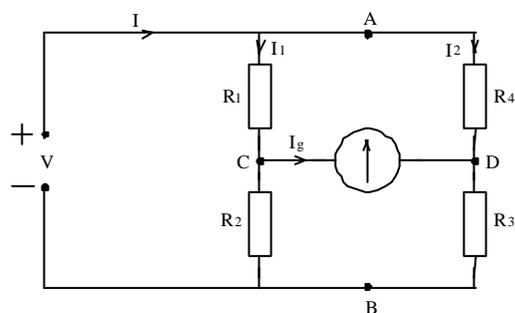


Fig. 2

$$I = I_1 + I_2$$

Por lo tanto, las caídas de tensión en las resistencias R_1 y R_4 son:

$$V_{AC} = I_1 R_1$$

$$V_{AD} = I_2 R_4$$

Como se supone que $I_g = 0$, las intensidades en la parte inferior de los brazos del puente serán iguales a las de la parte superior.

Por tanto, las caídas de tensión en las resistencias R_2 y R_3 son:

$$V_{CB} = I_1 R_2$$

$$V_{DB} = I_2 R_3$$

Ahora bien, la condición $V_{CD} = 0$ impuesta en el equilibrio implica que:

$$V_{AC} = V_{AD}$$

$$V_{CB} = V_{DB}$$

y sustituyendo los valores correspondientes:

$$I_1 R_1 = I_2 R_4$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_3$$

dividiendo estas dos expresiones queda:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

de modo que:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

Si la resistencia desconocida R_X es R_1 , su valor será:

$$R_X = R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

que es la condición de equilibrio del puente de Wheatstone.

La ventaja principal de este procedimiento es que la relación entre las resistencias es siempre la misma cuando no pasa corriente por el galvanómetro, con independencia del valor de la intensidad de corriente; lo que quiere decir no sólo que este valor puede ser cualquiera, sino que puede variar durante la medición, sin influir para nada en el resultado. De aquí se deduce que, como fuentes de alimentación pueden emplearse pilas secas cualesquiera, de valor no necesariamente constante.

La operación de medición se reduce, por lo tanto, a variar los valores de las resistencias conocidas (R_2 , R_3 y R_4), hasta obtener el estado de equilibrio del puente. Esta relación se puede realizar de dos formas.

a) Se regula una sola resistencia R_4 (llamada resistencia de comparación), y se elige una relación de resistencias R_2/R_3 , constante y determinada (figura 3). De esta forma, se obtiene un puente con resistencia escalonada variable.

b) Se toma una resistencia R_4 constante y se regula la relación de resistencias R_2/R_3 . En realidad la resistencia R_2 y R_3 constituyen una sola que, frecuentemente, se construyen en forma de alambre calibrado con un cursor que actúa como nudo móvil B (figura 4). Este dispositivo se denomina **puente de Kirchhoff**.

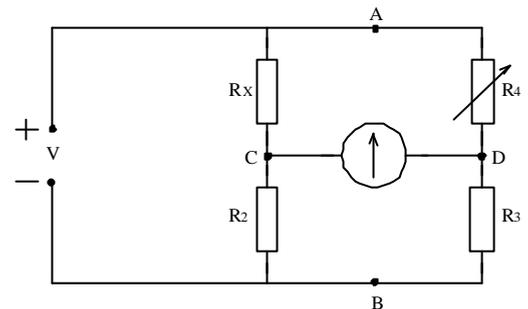


Fig. 3

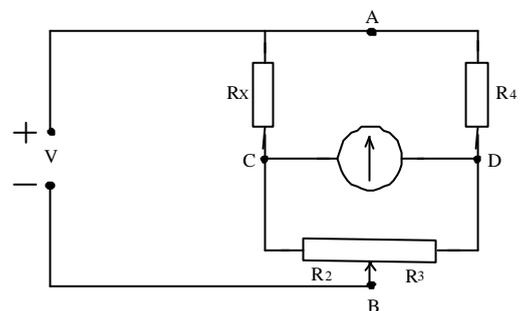


Fig. 4

En cuanto a la tensión de alimentación del puente, la cual no influye en la medida de la resistencia R_X , su valor está limitado por la potencia que pueden disipar cada una de las resistencias que constituyen el puente, incluso la resistencia R_X . Como orientación general, en la tabla se expresan los valores más apropiados para los alcances de resistencias que se citan.

Resistencia R_x	< 1 ?	1?? a 100 ?	100?? a 1 K?	1 K? a 10 K?	10 K? a 100 K?	100 K? a 1 M?
Tensión de alimentación	2 V	4 V	6 V	8 V	10 V	20 V

2.1.1. Errores de medición

Los errores que aparecen en las mediciones realizadas con un puente de Wheatstone, pueden proceder de diferentes causas:

1. El grado de exactitud de las resistencias patrón que constituyen el puente.
2. La agudeza de visión del observador.
3. Las fuerzas electromotrices de origen térmico que se producen en el galvanómetro y en todas las uniones entre metales diferentes.
4. Las variaciones de los valores de las resistencias patrón y de la resistencia medida, debidas a los inevitables cambios de temperatura.
5. La propia resistencia eléctrica de los contactos y de los conductores de unión.

2.1.2. Realización práctica del puente de Wheatstone

En la figura 5 se representa el esquema detallado del puente de Whetstone disponible en el laboratorio. La capacidad de medida es de 1? a 10M? con una precisión de ?0.1%. Se observa que las resistencias de relación están constituidas por una única resistencias con siete puntos de contacto. En la siguiente tabla se representa los siete valores posibles para las resistencias de relación, con la precisión y la tensión de alimentación recomendada:

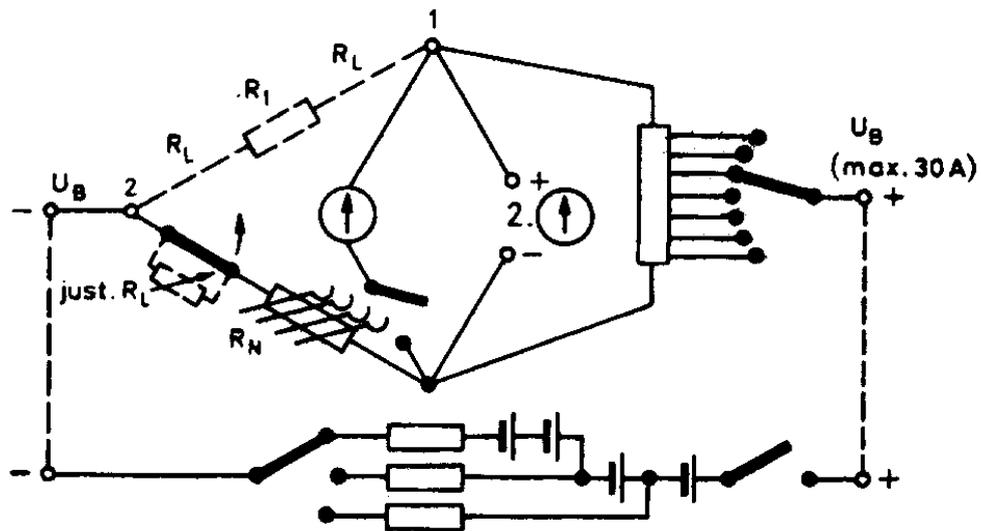


Fig. 5

		U_B ($R_N = 1 \text{ a } 10 ?$)
x 1	0.1 %	1.5 a 2.4 V
x 10		1.5 a 2.5 V
x 100		0.5 a 2.6 V
x 1000		1.6 a 13.1 V
x 10000	0.17 %	U_{max}
x 100000	1.7 %	
x 1000000	17 %	

		I_{max}
1ª década	10 x 100 ?	0.07 A
2ª década	10 x 10 ?	0.17 A
3ª década	10 x 1 ?	0.5 A
4ª década	10 x 0.1 ?	1.5 A



Fig. 7

La resistencia patrón R_N está constituida por cuatro décadas de resistencias de precisión conectadas en serie, cuyos valores se indican en la tabla.

2.1.3. Mediciones con el puente de Wheatstone

2.1.3.1. Medida de resistencias

La aplicación principal del puente es para la medida de resistencias tal y como se ha explicado en los párrafos anteriores.

2.1.3.2. Medida de la resistencia interior de una pila

Para hacer esta medida se utiliza la propia fuerza electromotriz de la pila cuya resistencia interior se quiere determinar para alimentar al puente (figura 8). La operación se inicia regulando las resistencias R_2 , R_3 y R_4 para obtener un estado en el que el galvanómetro indica desviaciones iguales con el cierre y la apertura del pulsador. Esto quiere decir que el incremento de corriente ΔI_1 que se produce al cerrar el pulsador, es igual en la resistencia R_2 y en la R_X , debido a que la intensidad en el galvanómetro no varía. Por esta misma causa ΔI_2 en R_4 es igual en R_3 . Se cumple entonces que:

$$R_X \Delta I_1 = R_4 \Delta I_2$$

$$R_2 \Delta I_1 = R_3 \Delta I_2$$

por lo que:

$$R_X = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

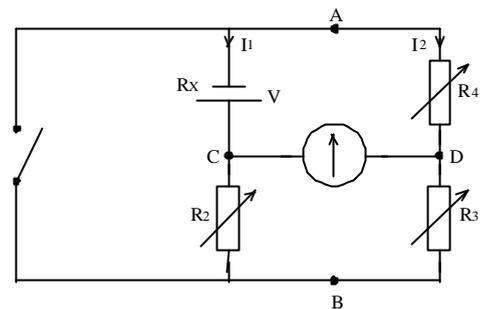


Fig. 8

2.1.3.3. Medida de la resistencia interior de un galvanómetro

Se basa en el puente de la figura 9 donde el galvanómetro cuya resistencia se quiere medir se conecta sustituyendo a la resistencia R_1 , y un pulsador sustituyendo al galvanómetro de cero, manteniendo las tres resistencias variables R_2 , R_3 y R_4 .

Al cerrar el interruptor a de la fuente de alimentación, pasará una corriente por el galvanómetro que producirá una cierta desviación. Es evidente que si esta desviación no experimenta ninguna variación cuando se cierra el pulsador b es que los extremos C y D están al mismo potencial y que se ha logrado el equilibrio del puente tras alcanzar los valores adecuados de R_2 , R_3 y R_4 , siendo:

$$R_X = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

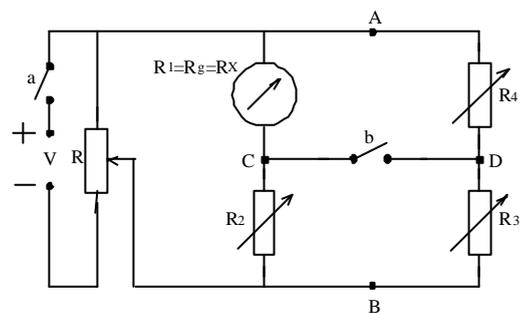


Fig. 9