



ELECTROTECNIA Y ELECTRÓNICA

(Mecánica - Electromecánica - Computación)

TRABAJO DE APLICACIÓN Nº 09

Preparado por: Ing. P. Morcelle del Valle, Ing. A. Cassino, Ing. G. Renzi, Ing. G. Pello, Ing. R. Mingillo, Ing. J.P. Cardacce, Ing. C. Wall. Revisado por : Ing. F Blasetti

INSTRUMENTOS Y MEDICIONES.

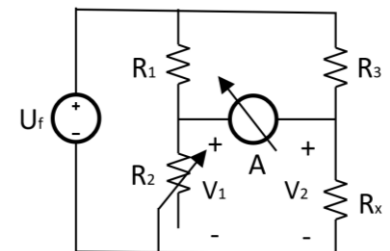
Puente de Wheatstone; medición de resistencias y otras aplicaciones. Voltímetro y amperímetro, digitales y analógicos; alcance (rango); instrumentos elementales y su adaptación para cubrir diferentes alcances. Errores. Medición de resistencias con voltímetro y amperímetro; conexiones corta y larga. Wattímetro; medición de potencia activa monofásica trifásica en circuitos de tres y cuatro hilos, con cargas equilibradas y desequilibradas.

REPASAR: Análisis de circuitos, leyes de Kirchhoff y Ohm en continua y en alterna. Divisor de tensión y divisor de corriente. Puente de Wheatstone. Diagramas fasoriales. Sistemas trifásicos.

EJERCICIO Nº 01:

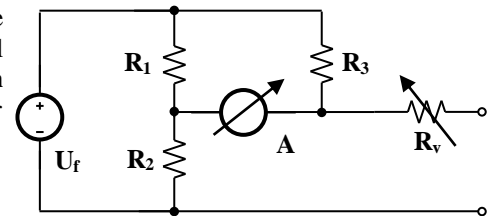
En la figura, $R_1=500\ \Omega$ y $R_3=200\ \Omega$. El puente está equilibrado cuando R_2 se ajusta a $125\ \Omega$.

Determine la resistencia desconocida R_x .



EJERCICIO Nº 02:

En el circuito de la figura se muestra un puente de Wheatstone preparado para medir resistores. La fuente U_f es de tensión continua de 12 V . Los resistores utilizados son de valor $R_1 = R_2 = R_3 = 5.600\ \Omega$. El amperímetro se puede considerar ideal. R_v es un resistor de regulación que permite estabilizar el puente cuando se conecta un resistor desconocido.



- Se conecta un resistor y se regula R_v hasta que el amperímetro marca corriente nula. El valor registrado es $263\ \Omega$. Determinar el valor del resistor desconocido. Explicar los pasos seguidos.
- Si el resistor de regulación es de $2.700\ \Omega$. ¿Cuál es el rango de medición posible del puente?
- El resistor de regulación tiene una limitación mecánica que permite hacer cambios de a $10\ \Omega$. Calcular los cambios mínimos (conocido como regulación) que se observarán en el amperímetro.

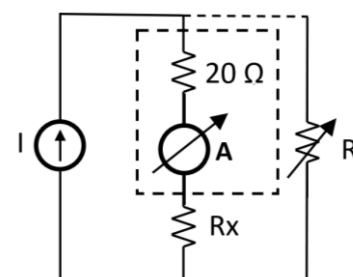
EJERCICIO Nº 03:

Un modelo de amperímetro consta de un amperímetro ideal en serie con un resistor de $20\ \Omega$. Está conectado con una fuente de corriente y con un resistor desconocido R_x , como se muestra en la figura.

Se registran las lecturas del amperímetro.

Al añadirse un potenciómetro R y ajustarse hasta que la lectura del amperímetro disminuya a la mitad de su lectura anterior, $R=65\ \Omega$.

¿Cuál es el valor de R_x ?



EJERCICIO Nº 04:

- Se dispone de un miliamperímetro de $5\ \Omega$ de resistencia interna que es capaz de medir hasta 8 mA . Calcular la resistencia que se le debe conectar, para transformarlo en amperímetro que mida hasta 8 A .
- Un voltímetro de $105\ \Omega$ de resistencia interna es capaz de medir hasta 20 mV . Calcular la resistencia que se le debe conectar para transformarlo en voltímetro que mida hasta 200 V .



EJERCICIO N° 05:

A partir de un galvanómetro de **tensión máxima 10 mV** y **corriente máxima 1 mA**, se pretende construir un **medidor analógico** con rangos: **0,1 A; 1 A y 10 A** (como amperímetro) y **1 V, 10 V y 100 V** (como voltímetro).

Explicar los circuitos que permiten conseguir dichos rangos. Encontrar las ecuaciones de funcionamiento de los mismos y determinar los valores de sus componentes. ¿Cuáles son las características de cada instrumento en los distintos rangos?

EJERCICIO N° 06:

Si se pretende construir un **medidor digital** sobre la base de un conversor analógico-digital capaz de convertir tensiones de hasta **+/- 5 V** en un resistor de **1 kΩ** y para los mismos rangos de corriente y tensión del Ejercicio N° 5, ¿son válidos los mismos circuitos que para el caso de dicho ejercicio? ¿Por qué? En caso afirmativo determinar los nuevos valores de sus componentes, si corresponde. ¿Cuáles son ahora las características de cada instrumento en los distintos rangos?

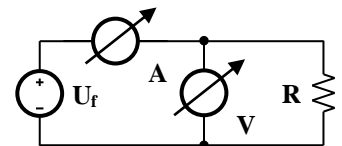
EJERCICIO N° 07:

Se dispone de una fuente de tensión real de la cual se desconocen su resistencia interna y su tensión de vacío. Se dispone solamente de un voltímetro para realizar la medida. Primero se le conecta un resistor de **1 kΩ** y la tensión que se mide en bornes es de **13,5 V**, luego se agrega otro resistor en paralelo del mismo valor y la tensión medida es de **12,8 V**.

- Si se supone que entre una medición y otra la fuente no cambió sus propiedades. Determinar la tensión de vacío y la resistencia interna de la fuente suponiendo instrumento ideal.
- Si el voltímetro tiene una resistencia interna de **100 kΩ**. Calcular las medidas que se obtienen en cada caso.
- ¿Cuál es el error relativo en la medida de ambas magnitudes?

EJERCICIO N° 08:

En la figura se observa un circuito implementado para determinar el valor de un resistor desconocido utilizando el método del voltímetro amperímetro, en este caso con una conexión corta (voltímetro en bornes del resistor incógnita). La fuente de alimentación es de **10 V** de corriente continua.



- Si los instrumentos pueden considerarse ideales. Determinar el valor del resistor si la corriente medida es de **0,04 A**.
- Suponer ahora que los instrumentos son reales. Se puede estimar que el voltímetro tiene una resistencia interna de **100kΩ** y que el amperímetro de **12 Ω**. Determinar los valores medidos por los instrumentos y calcular el error cometido en la medida considerando el valor real del resistor en función de los valores obtenidos en el inciso a).
- Modificar el circuito de medida e implementar la conexión larga. Volver a determinar las indicaciones de los instrumentos y el error cometido en la medida. ¿Conviene la conexión corta o la larga? Justificar la respuesta.

EJERCICIO N° 09:

Se desea medir el valor de un resistor cuya resistencia nominal es de **500 Ω**. Se dispone para ello de una fuente de tensión continua de **100 V**, de un amperímetro con resistencia interna **R_a = 0,1 Ω** y de un voltímetro con resistencia interna **R_v = 100 kΩ**.

- Utilizando el concepto de resistencia crítica, determinar la conexión más conveniente a efectos de minimizar el error debido al método de medida.
- Dibujar los esquemas circuitales de las dos configuraciones e indicar cual de las dos corresponde a la respuesta del punto a).

EJERCICIO N° 10:

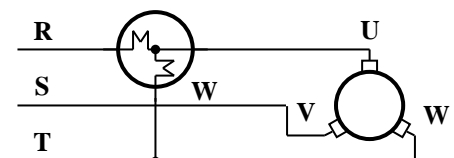
Se desea conocer la potencia en un motor de corriente alterna monofásico. Para realizar dicha tarea se dispone de un amperímetro y un voltímetro cuyas resistencias internas son datos. El motor puede considerarse como un resistor de **R=30Ω** en serie con un inductor de **L=16 mH** y está conectado a una fuente de tensión alterna de **220 V** eficaz y **f=50Hz**.

Explicitar el circuito de medida y determinar la potencia del motor para los dos casos siguientes:

- Instrumentos teóricos.
- Instrumentos reales con **R_v = 1000 Ω** y **R_a = 5 Ω**.
- Determinar el resultado el error relativo cometido al utilizar los instrumentos reales.

EJERCICIO N° 11:

Se desea monitorear la potencia desarrollada por un motor trifásico de una cinta transportadora. Para ello se conectan 2 wattímetros. El sistema es perfecto de tensiones eficaces **220/380 V**.



- ¿Como debe conectarse el segundo wattímetro? Justificar.
- En un momento dado el motor está operando en condiciones mecánicas estables. Si la corriente de la fase R toma un



valor de **14,6 A** eficaces, el ángulo es de **30°** y la tensión de la fase R tiene un ángulo nulo. Determinar la lectura de los wattímetros y la potencia que está desarrollando el motor. Justificar los pasos seguidos.

EJERCICIO N° 12:

Un generador trifásico perfecto trifilar conectado en estrella con tensión eficaz de fase $U_f = 240 \text{ V}$, alimenta a una carga en triángulo de $Z_t = 10 - j25 \Omega$ y a otra carga en estrella de $Z_e = 10 + j10 \Omega$ (ambas equilibradas).

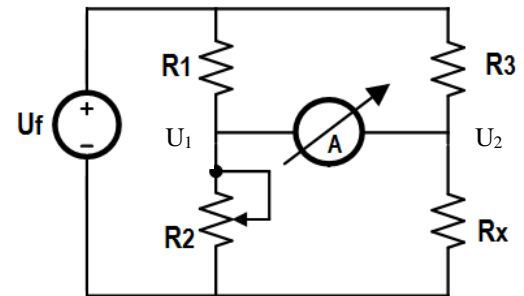
- Realizar el circuito completo. Hallar la potencia media total entregada a cada una de las cargas del sistema.
- Utilizando wattímetros, explicar cómo se determina la potencia total del circuito y calcularla.

EJERCICIOS RESUELTOS

Aclaración: Debe observarse que en la resolución de estos ejercicios se efectúan planteos, explicaciones, justificaciones, y nada se da por sobreentendido.

EJERCICIO N° 13

Un puente de Wheatstone tiene $R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$. R_2 se ajusta hasta que ninguna corriente fluya por el amperímetro. En ese punto $R_2 = 3,2 \text{ k}\Omega$. ¿Cuál es el valor de la resistencia desconocida?



RESOLUCIÓN:

La resistencia desconocida R_x está conectada al puente como se indica en la figura. La resistencia variable se ajusta hasta que no fluya corriente por el amperímetro. En esta condición $U_1 = U_2$ y se dice que el puente está equilibrado.

Como no fluye corriente por el amperímetro, R_1 y R_2 se comportan como si estuvieran en serie, lo mismo ocurre con R_3 y R_x .

Al aplicar el principio del divisor de tensión, cuando la corriente por el amperímetro es nula, la corriente I_1 por la rama R_1 - R_2 es:

$$I_1 = \frac{U_f}{R_1 + R_2}$$

y la corriente I_2 por la rama R_3 - R_x , es:

$$I_2 = \frac{U_f}{R_3 + R_x}$$

Por lo tanto, las tensiones son:

$$U_1 = \frac{U_f}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$U_2 = \frac{U_f}{R_3 + R_x} \cdot R_x$$

Como en condición de equilibrio $U_1 = U_2$, igualando las expresiones anteriores se obtiene:

$$\frac{R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{R_x}{(R_3 + R_x)}$$

de donde es posible obtener el valor de la resistencia incógnita, como:

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

y reemplazando valores:

$$R_x = 3,2 \text{ k}\Omega$$

EJERCICIO N° 14

Dados dos resistores: R_1 marcado como de resistencia **8 Ω** y R_2 marcado como de resistencia **25 k Ω** .

Para verificar la veracidad de dichas marcas, se utiliza el método de voltímetro y amperímetro para medir el valor de la resistencia.

Se conocen $R_A = 2 \Omega$, $R_V = 10 \text{ k}\Omega$ y se dispone de una batería de $U_B = 12 \text{ V}$

- Indicar la conexión más conveniente de los instrumentos para realizar cada una de las mediciones.

En las correspondientes conexiones cuando se mide R_2 la corriente indicada por el amperímetro es **0,5 mA** y cuando se mide R_1 la tensión indicada por el voltímetro resulta **9,7 V**.

- Calcular los valores de R_1 y R_2 utilizando las lecturas de los instrumentos.
- Calcular los valores exactos de R_1 y R_2 y compararlos con los anteriores.
- Calcular los Errores

**RESOLUCIÓN:**

- a. Debemos encontrar primero la **resistencia crítica** en base a los datos de los instrumentos. $R_c = \sqrt{R_v R_A} = \sqrt{10.000 \times 2} = 141 \Omega$.

Por lo tanto, para la resistencia de 8Ω usaremos la conexión corta, ya que es menor que R_c y para la de $25 \text{ k}\Omega$ la conexión larga.

b. Cálculo de R_1

Al estar en conexión corta el voltímetro nos indica la tensión en R_1 . ¿Cuánto indica el amperímetro?

En bornes de este instrumento tenemos $U_A = U_B - U_V = 12 - 9,7 = 2,3 \text{ V}$ y teniendo en cuenta la resistencia interna R_A la corriente es $I = U_A / R_A = 1,15 \text{ A}$.

Entonces haciendo el cociente de las lecturas obtenemos:

$$R_1 = (9,7 \text{ V}) / (1,15 \text{ A}) = 8,435 \Omega$$

Cálculo de R_2

En conexión larga el amperímetro indica la corriente en la R incógnita y el voltímetro la tensión en la batería, ya que está conectado a sus bornes.

Haciendo el cociente de las lecturas obtenemos

$$R_2 = (12 \text{ V}) / (0,0005 \text{ A}) = 24 \text{ k}\Omega$$

- c. Para obtener los valores exactos (siempre sin tener en cuenta los errores propios de los instrumentos) analizamos el error de lectura que se produce en cada método.

En el primer caso el error aparece al no considerar que una parte de la corriente que indica el amperímetro es la que pasa por el voltímetro, pero la podemos calcular:

$$I_V = U_V / R_V = 9,7 / 10.000 = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente en la R incógnita es la diferencia $I_X = I_A - I_V = 1,149 \text{ A}$

$$\text{El valor exacto de } R_1 = 9,7 / 1,149 = 8,442 \Omega$$

En el segundo caso el error es considerar la lectura del voltímetro como válida, sin embargo, éste nos indica la tensión en la batería y no en la R incógnita. Para obtener la tensión en la carga debemos restar la diferencia de potencial que aparece en bornes del amperímetro.

$$U_X = U_V - U_A = 12 - 0,5 \cdot 10^{-3} \times 2 = 11,9995 \text{ V}$$

Haciendo ahora el cociente de la tensión y la corriente obtenemos

$$R_X = U_X / I_A = 11,9995 / 0,5 \cdot 10^{-3} = 23999 \Omega$$

d. Errores absolutos

$$\Delta R_1 = 8,435 - 8,442 = -7 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\Delta R_2 = 24000 - 23999 = 1 \Omega$$

Errores relativos

$$e_1 = \Delta R_1 / R_1 = -8,3 \cdot 10^{-4}$$

$$e_2 = \Delta R_2 / R_2 = 4,2 \cdot 10^{-5}$$

Hay que recordar que los errores relativos son adimensionales.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

En el desarrollo de este **TAP** han resultado importantes los siguientes aspectos:

1. Utilización de puente de Wheatstone para la medición de resistencias y como instrumento de medición de diversas magnitudes a partir de la variación de una o más resistencias del puente.
2. Estudio de los voltímetros y amperímetros elementales, digitales y analógicos, y su adaptación para cubrir diferentes alcances.
3. Introducción al estudio de errores en las mediciones.
4. Medición de resistencias mediante voltímetro y amperímetro. Estudio de la importancia del valor de las resistencias propias de los mismos a los efectos de decidir las conexiones adecuadas para obtener el menor error de medida. Criterio de utilización de la conexión corta y la conexión larga.
5. Estudio del wattímetro y su utilización para la medición de potencia activa en circuitos monofásicos y en circuitos trifásicos de tres y cuatro hilos, con carga equilibrada y desequilibrada.