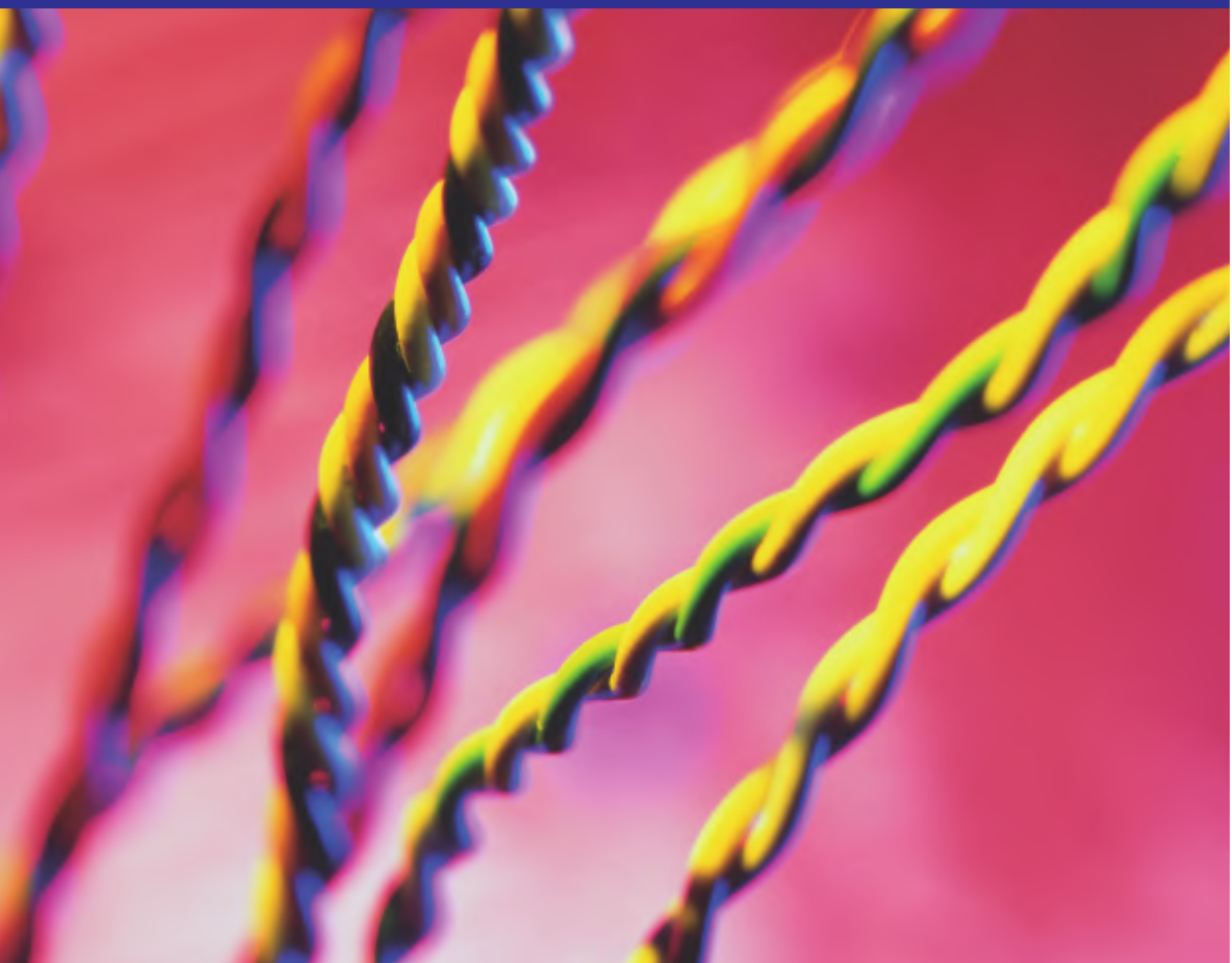


Técnicas industriales para la medida de corrientes

JUAN MANUEL OLIVERAS SEVILLA

Los ingenieros de mantenimiento disponen de una amplia variedad de cursos para realizar la medición de intensidades de corriente de forma segura y eficiente



La medida de intensidades de corriente con equipos portátiles se realiza generalmente trabajando bajo tensión, de forma que es necesario reducir, en la medida de nuestras posibilidades, cualquier situación de riesgo para el operario, la instrumentación o la instalación. En la práctica el problema se agrava cuando hay que realizar la conexión de las puntas de prueba de los transductores de intensidad bajo potencial eléctrico. Hoy día existen para el ingeniero de mantenimiento una amplia variedad de recursos para poder realizar las medidas de forma segura y eficiente. El conocimiento de las mismas ayudará a escoger la más conveniente para cada ocasión.

Podemos remontarnos al año 1830, cuando el físico francés Ampère bautizó con el nombre de "galvanómetro" a un instrumento que utilizaba para medir "la corriente galvánica". Hoy día, se da el nombre de galvanómetro a todos los instrumentos de extrema sensibilidad que carecen de sistema transductor, sea cual fuere su sistema motor. No habiendo sistema transductor, el instrumento consiste en un sistema indicador únicamente. El más utilizado es el galvanómetro magnetoeléctrico.

El galvanómetro magnetoeléctrico, cualquiera que sea su tipo, se asemeja en su construcción al sistema magnetoeléctrico de los instrumentos comunes. Consiste en una bobina móvil, un imán permanente, un núcleo central y un dispositivo indicador. Este último, más frecuentemente, suele ser un haz de luz proyectado sobre una escala transparente. Este haz de luz es producido por el filamento de una pequeña lámpara incandescente; y se refleja en un espejo fijado a la parte móvil del instrumento, proyectando sobre la escala graduada y transparente una mancha circular o rectangular, como muestra la *figura 1*.

La *figura 2* muestra esquemáticamente el funcionamiento del galvanómetro magnetoeléctrico de espejo que, por sus características, lo llamaremos luminoso. La bobina móvil (B) está suspendida mediante dos cintas metálicas finas, la superior (C) y la inferior (D). Un sistema óptico (A) proyecta un haz de luz a un espejo cóncavo (E) fijado a la bobina móvil. El haz de luz reflejado en el espejo se proyecta a una escala transparente (F).

La utilización de los galvanómetros con la escala colocada a la distancia de 1 metro o más es bastante incómoda, aunque presenta la ventaja de permitir variar su sensibilidad variando la distancia entre la escala y el galvanómetro.

Resulta conveniente utilizar galvanómetros de una construcción lo más compacta posible. Para ello se utiliza un sistema óptico complejo. Este sistema consiste en un conjunto de espejos planos y cilíndricos donde el haz de luz, después de reflejarse sucesivamente en los espejos, se proyecta finalmente en la escala.

Sirva de ejemplo el sistema representado en la *figura 3*. Este sistema es de doble reflexión y amplificación óptica.

En este sistema los componentes indicados son:

- a) lámpara.
- b) lente.
- c) espejo sobre la parte móvil.
- d) espejo cilíndrico.
- e) espejo plano.
- f) escala transparente.

Los galvanómetros electrodinámicos son similares al anterior, pero el imán ha sido sustituido por un electroimán por el que también circula la corriente a medir; la desviación es proporcional al cuadrado de la intensidad y puede detectar corrientes alternas.

Estos sistemas tienen varias características que aumentan la sensibilidad del instrumento, como son:

1. El ángulo de reflexión, que es el doble del ángulo de desviación de la parte móvil.
2. La longitud "activa" del haz de luz, que es mayor que la de una aguja indicadora.
3. El peso de la parte móvil del instrumento y, en consecuencia, su momento de inercia, que es pequeño en comparación con los de los instrumentos de aguja.
4. Descarta toda posibilidad de error de paralaje.

Con los galvanómetros de indicación luminosa, por ser instrumentos de alta sensibilidad, de clase 0,1, podemos realizar medidas para casos en los que el circuito a verificar tenga resistencias muy bajas; ése es el caso de las resistencias shunt.

Hablemos seguidamente de las distintas técnicas actuales para la medida industrial de las intensidades de corriente.

Tecnologías para la medida industrial de corrientes

Las tecnologías de lectura de corrientes más comunes son: el shunt de corriente de baja resistencia, el transformador de corriente, el sensor de efecto Hall y la bobina Rogowski. Además, últimamente se están aplicando técnicas con fibra óptica basadas en el efecto magnetoóptico de Faraday.

Seguidamente hablaremos brevemente de cada una de ellas estableciendo los principios en los que se basan, marcando sus diferencias y ventajas a la hora de medir la corriente eléctrica.

Shunt de corriente

El shunt de corriente de baja resistencia es la solución de menor coste, ofreciendo una lectura sencilla con buena precisión. Su empleo es por tanto una solución popular para la medición de corriente.

En la *figura 4* podemos ver varios tipos de shunt.

La resistencia del shunt, que ha de estar calibrada, tiene un valor resistivo muy bajo. Por lo general, están provistos de cuatro bornes al igual que las resistencias patrón, como muestra la *figura 5*, que presenta una resistencia shunt sin su cuerpo protector. Esto permite evitar errores causados por la resistencia de contactos. A los bornes señalados con I se conecta el circuito y los bornes E sirven para la conexión del milivoltímetro.

La confección de las resistencias shunt por el aficionado no es demasiado difícil. Los materiales más interesantes son el cobre o la manganina, como se deduce de la *tabla 1*; ya que empleando otros se producen tensiones térmicas en las uniones, lo que puede falsear los resultados de las mediciones.

Los valores inferiores a un ohmio se pueden obtener con hilo de cobre. Con la *tabla 2*, confeccionada con ayuda de una hoja de cálculo en Excel, podemos determinar la longitud necesaria, eligiendo la sección (diámetro) de modo que no se produzca una carga de corriente demasiado elevada que pueda producir el calentamiento y la alteración del valor de resistencia. Como límite superior se puede admitir una densidad de corriente de 5 A/mm².

Sólo hemos de tener en cuenta que la resistencia de un conductor viene dada por:

RESUMEN

La medida de intensidades de corriente con equipos portátiles se realiza generalmente trabajando bajo tensión, de forma que es necesario reducir en la medida de nuestras posibilidades cualquier situación de riesgo para el operario, la instrumentación o la instalación. En la práctica, el problema se agrava cuando hay que realizar la conexión de las puntas de prueba de los transductores de intensidad bajo potencial eléctrico. Actualmente existen para el ingeniero de mantenimiento una amplia variedad de recursos para poder realizar las medidas de forma segura y eficiente. El conocimiento de las mismas ayudará a escoger la más conveniente para cada ocasión.

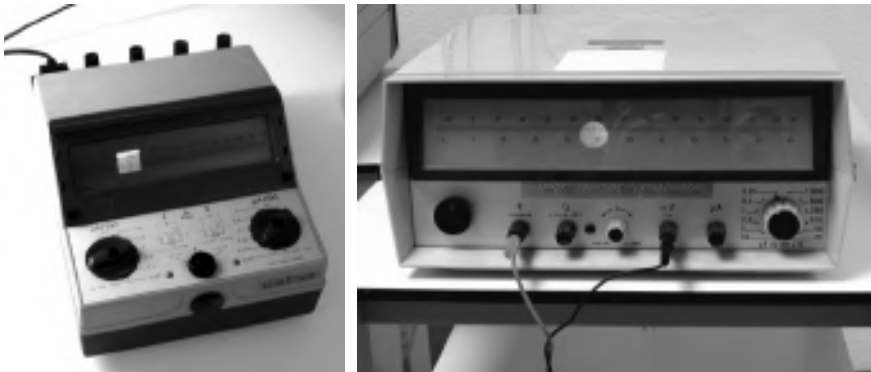


Figura 1. Tipos de galvanómetros con indicación luminosa.

$$R = (\rho \cdot L) / S$$

Siendo

L la longitud del conductor en m.

ρ la resistividad en $\rho \text{ mm}^2/\text{m}$.

S sección del conductor en mm^2 .

Además, el coeficiente de temperatura a da la variación de resistencia por 1ρ y por grado C, de una resistencia R sometida a una variación de temperatura Dt. De modo que el aumento de resistencia viene dado por:

$$DR = R \cdot a \cdot Dt$$

Los shunts de hilo muy fino hay que bobinarlos sobre un soporte o forma,

pero los hilos más gruesos se pueden bobinar al aire, es decir, sin soporte. Además, hay que tener en cuenta que en la operación de bobinado puede resultar alterada la resistencia del hilo; en efecto, si el hilo se estira, su sección disminuye y su resistencia aumenta.

La resistencia confeccionada de acuerdo con la *tabla 2* se comprueba con un puente y se corrige cuando sea necesario. Después de su montaje en el instrumento que se desea construir, se ajusta para las condiciones de servicio.

En general, los shunt que se utilizan con instrumentos portátiles o de

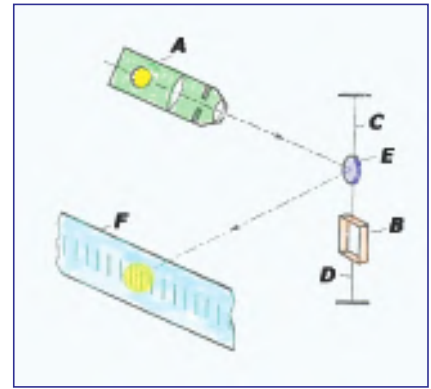


Figura 2. Esquema de funcionamiento del galvanómetro luminoso.

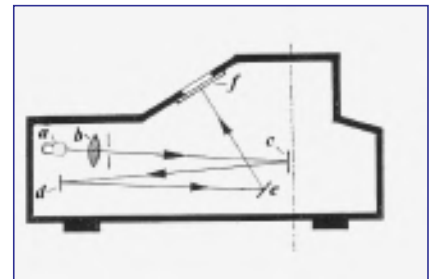


Figura 3. Sistema de doble reflexión y amplificador óptico.

laboratorio se prevén para una caída de tensión de 60 mV. Para instrumentos de tablero se emplean los shunt con caídas normalizadas de: 30; 45; 60; 100; 120; 150; 300 mV. Los shunt se clasifican, según su exactitud, en cinco clases: 0,05, 0,1; 0,2; 0,5 y 1%. Cuando el instrumento (milivoltímetro) se conecta con el shunt mediante cables, su calibración se efectúa en conjunto con los cables.

Como ya es sabido, los métodos de medición se dividen en los cuatro grupos principales: métodos voltiamperimétricos (técnicos), métodos de cero (puentes), métodos de deflexión y

Figura 4. Distintos tipos de shunt.

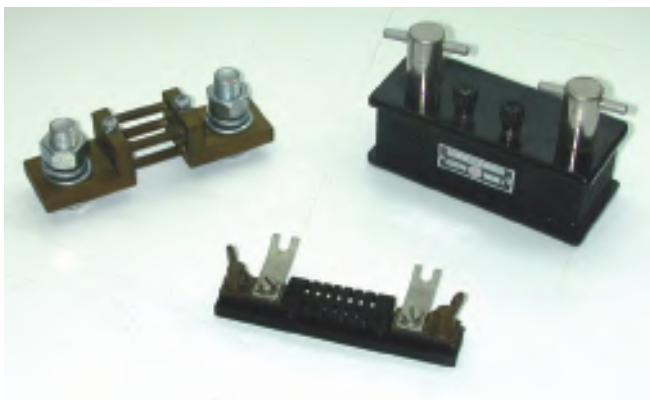


Figura 5. Shunt sin cuerpo protector.



métodos de compensación. Cada uno de estos métodos tiene su campo de aplicación que se rige por la precisión requerida, por el alcance de la magnitud medida y por la disponibilidad del equipo. Nosotros, en resumen, estamos realizando la medida de la resistencia shunt por el método técnico o voltiamperimétrico consistente en alimentar con una fuente de c.c. un circuito que contiene la resistencia a medir, y midiendo la caída de tensión en la resistencia examinada y la intensidad de corriente que la origina, calcularemos por medio de la Ley de Ohm el valor de la resistencia. En general, la exactitud de este método no es alta, pero depende de la clase de instrumentos empleados y del tiempo de duración de la medición. El eventual problema radica en el calentamiento de la resistencia medida, lo que origina la variación de sus características durante la medición. Con cierta práctica se pueden efectuar las mediciones en poco tiempo y con bastante exactitud si utilizamos instrumentos de alta sensibilidad y de alta precisión.

El bajo costo y su alta confiabilidad hacen del shunt de corriente de baja resistencia una solución popular para la medición de corrientes. Empero, dado que el shunt es prioritariamente un elemento resistivo, la pérdida de potencia es proporcional al cuadrado de la corriente que pasa por la resistencia. Esto supone un inconveniente cuando se trabaja con intensidades elevadas.

Transformador de corriente

El transformador de corriente usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente primaria a una corriente secundaria de menor valor. Es un aparato pasivo que no necesita circuitos adicionales para su control, aunque presenta el inconveniente de la posible saturación del material ferrítico que constituye su núcleo, cuando la corriente primaria es muy alta. Una vez magnetizado el núcleo del transformador, éste presentará histéresis degradándose su precisión con la única solución de proceder a su desmagnetización.

Sensor de efecto Hall

El efecto Hall es una consecuencia de la fuerza que se ejerce sobre una carga eléctrica en movimiento cuando se encuentra sometida a la acción de un

Material	Resistividad ρ a 20 °C	Coefic. de Temp. ρ a 20 °C
Plata	0,0165	0,0036
Cobre	0,0175	0,004
Oro	0,0178	0,0039
Aluminio	0,029	0,004
Cinc	0,063	0,004
Latón	0,075	0,0035
Estaño	0,12	0,0045
Plomo	0,21	0,004
Niquelina	0,42	0,00023
Manganina	0,43	0,00002
Constantan	0,5	0,00002

Tabla 1. Características de algunos materiales.

campo eléctrico y un campo magnético. En 1879 el físico E. Hall descubrió que cuando un conductor sobre el que circulaba corriente era colocado en un campo magnético de dirección per-

pendicular a la misma, podía medirse una pequeña diferencia de potencial en la dirección perpendicular a la corriente y al campo. Ese efecto es conocido como efecto Hall.

Tabla 2. Resistencia e intensidad admisible de hilos de cobre.

Diámetro mm	Sección mm ²	Resistencia ohm/m	Densidad de corriente en A/mm ²			
			1 Corriente (A)	2,55 Corriente (A)	5 Corriente (A)	6 Corriente (A)
0,05	0,002	8,917	0,002	0,005	0,010	0,012
0,1	0,008	2,229	0,008	0,020	0,039	0,047
0,15	0,018	0,991	0,018	0,045	0,088	0,106
0,2	0,031	0,557	0,031	0,080	0,157	0,188
0,25	0,049	0,357	0,049	0,125	0,245	0,294
0,3	0,071	0,248	0,071	0,180	0,353	0,424
0,35	0,096	0,182	0,096	0,245	0,481	0,577
0,4	0,126	0,139	0,126	0,320	0,628	0,754
0,45	0,159	0,110	0,159	0,405	0,795	0,954
0,5	0,196	0,089	0,196	0,500	0,981	1,178
0,6	0,283	0,062	0,283	0,721	1,413	1,696
0,7	0,385	0,045	0,385	0,981	1,923	2,308
0,8	0,502	0,035	0,502	1,281	2,512	3,014
0,9	0,636	0,028	0,636	1,621	3,179	3,815
1	0,785	0,022	0,785	2,002	3,925	4,710
1,5	1,766	0,010	1,766	4,504	8,831	10,598
1,8	2,543	0,007	2,543	6,486	12,717	15,260
2	3,140	0,006	3,140	8,007	15,700	18,840
2,5	4,906	0,004	4,906	12,511	24,531	29,438
3	7,065	0,002	7,065	18,016	35,325	42,390
3,5	9,616	0,002	9,616	24,521	48,081	57,698
4	12,560	0,001	12,560	32,028	62,800	75,360
4,5	15,896	0,001	15,896	40,535	79,481	95,378
5	19,625	0,001	19,625	50,044	98,125	117,750
5,5	23,746	0,001	23,746	60,553	118,731	142,478
6	28,260	0,001	28,260	72,063	141,300	169,560

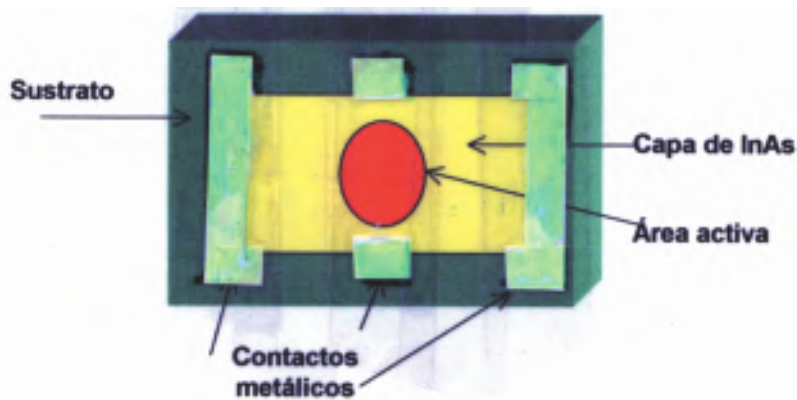


Figura 6. Esquema básico del sensor Hall.



Figura 7. Pinzas amperimétricas con sensor Hall.

Un sensor de efecto Hall es una delgada oblea de material semiconductor o una película de semiconductor depositada sobre un sustrato dieléctrico, como lo indica la *figura 6*.

La mayoría de los sensores modernos se basan en semiconductores de GaAs o InAs porque dan tensiones de Hall bastante grandes. Sobre un sustrato de tipo cerámico se hace crecer una capa, por ejemplo de InAs, a la que se le fijan unos contactos metálicos. En el centro de esta capa se forma un área denominada área activa, de suerte que esta zona queda libre de efectos de bordes. Estas áreas son muy pequeñas, del orden de 0,13 mm de diámetro y 0,25 mm de espesor.

La señal obtenida del sensor Hall puede ser procesada para dar una señal digital o analógica. De modo que cuando se desea obtener una salida digital los sensores se denominan interruptores Hall. Y cuando se

requiere que la salida sea proporcional a la señal que se desea medir, se denominan sensores Hall de tipo lineal. Estos últimos son los empleados para la medida de corrientes.

Al colocar el sensor en el campo magnético producido por la corriente a medir, se medirá una tensión de salida proporcional al campo magnético. Dado que el campo magnético está caracterizado por su densidad de flujo y orientación, el sensor trabajará correctamente cuando la densidad de flujo sea suficiente y la orientación sea la correcta.

Los sensores de efecto Hall lineales son perfectos para la medición de corrientes, cubriendo un rango que se extiende desde pocos miliamperios hasta cientos de amperios. La realización práctica aparece en forma de pinzas amperimétricas como la mostrada en la *figura 7*, donde se encuentra una sonda en forma de pinza junto con el

sensor y electrónica vinculada con el procesamiento de la medida.

El sensor de efecto Hall está capacitado para medir corrientes muy altas, empero presenta alta deriva por temperatura y la necesidad de circuitos externos de control.

La lectura de la corriente es un problema bastante más difícil que el de la medida de la tensión. De suerte que las generaciones actuales de medidores eléctricos de intensidad deben tener una capacidad de manejo de altas corrientes. Un aliado importante a la hora de realizar estas medidas lo encontramos en el uso de la bobina Rogowski.

Bobina Rogowski

La bobina de Rogowski es una bobina uniformemente arrollada en un núcleo de material no magnético de sección transversal constante, distribuido en forma de lazo cerrado. La forma más simple es la de un toroide circular cerrado y rígido, o abierto y flexible para que pueda cerrarse sobre sí mismo y facilitar de esta forma su montaje alrededor de un conductor por el que circula la corriente a medir.

La idea del transformador Rogowski es aplicar la Ley de Ampère, que establece que la corriente que circula por un conductor es proporcional a la integral de circulación de la intensidad de campo magnético alrededor de un camino cerrado que rodea a dicho conductor.

$$I = \int H \, dl$$

La idea anterior puede expresarse también diciendo que la bobina Rogowski, cuyo principio de funcionamiento se conoce desde 1912, se basa en medir los cambios del campo magnético que se produce alrededor de un hilo portador de corriente para producir una señal de voltaje, la cual es proporcional a la derivada de la corriente (di/dt), para lo que se necesita un integrador que convierta apropiadamente la señal. Antiguamente la idea de crear un integrador que fuera estable y exacto durante la vida del medidor era bastante complicada, afortunadamente hoy, y gracias a la electrónica, esta tarea es más fácil. En la *figura 8* presentamos un esquema simplificado de la bobina con su integrador.

La fuerza electromotriz (FEM) inducida en la bobina de núcleo de aire viene dada por:

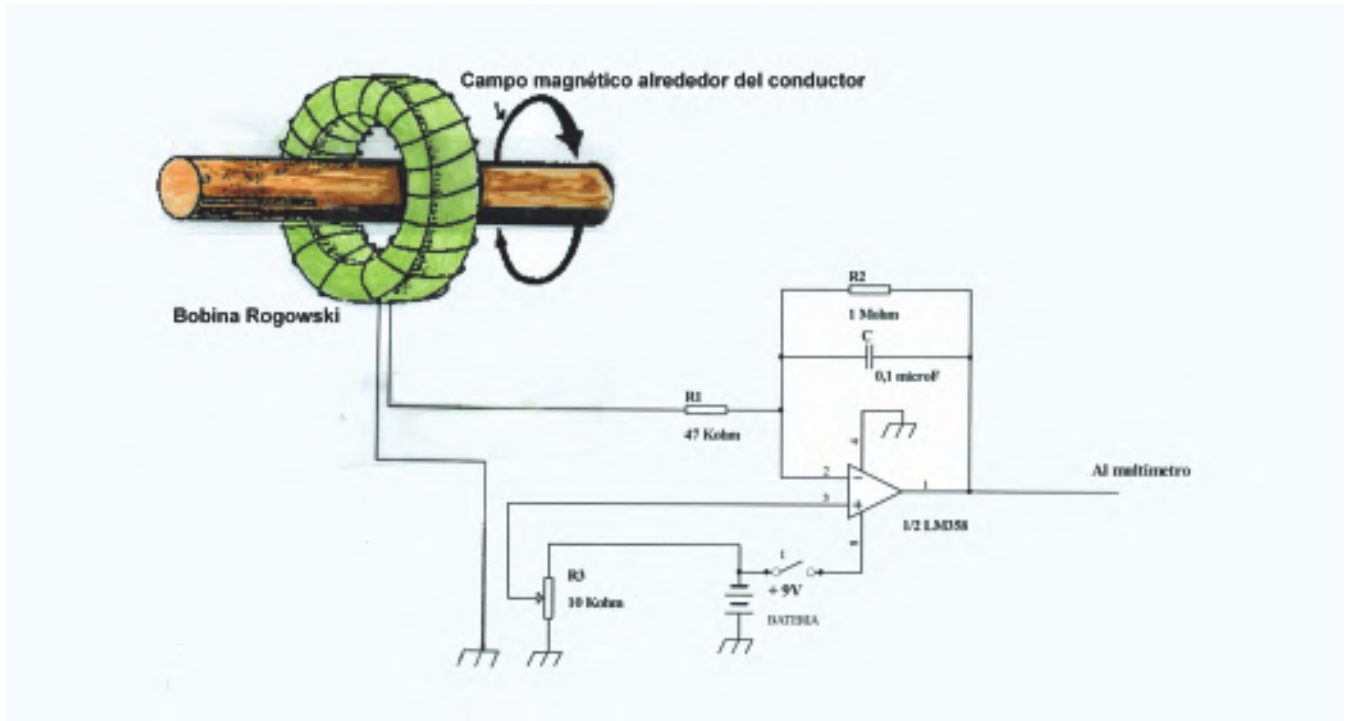


Figura 8. Bobina Rogowski con integrador.

$$FEM = M \cdot di/dt$$

Donde el término constante M es la inductancia mutua de la bobina Rogowski, y tiene como unidad al henrio (H). La salida de voltaje de la bobina depende solamente de los cambios en la corriente primaria. Al ser la salida de la bobina proporcional a la derivada del tiempo de la corriente, es necesario usar un integrador para convertirlo al formato $i(t)$. Cuando se conecta la salida de la bobina Rogowski a un circuito basado en un operacional, en este caso un LM358, haciendo de integrador con alimentación simple, hacer un medidor con una bobina Rogowski es tan sencillo como con el shunt. Empero la bobina Rogowski permite la separación galvánica de la tierra de medición con respecto a la tierra del sistema de potencia, siendo esto muy ventajoso con respecto a los shunt.

A la entrada no inversora del amplificador operacional LM358 se ha colocado una tensión de referencia, con una batería de 9 V para que el sistema sea portátil, que actúa de masa virtual, ya que como trabajamos con fuente simple, necesitamos un valor de referencia para obtener la pendiente de integración.

Al ser la bobina Rogowski de núcleo de aire, no tiene histéresis, saturación o problemas de no lineali-

dad. Como valor añadido, tiene una elevada capacidad para manejar altas corrientes, siendo el límite superior teórico de la bobina el voltaje de ruptura del mismo aire.

La tensión de salida del integrador V_{salida} viene dada por la expresión:

$$V_{salida} = M \cdot I / T_i$$

Siendo M la inductancia mutua entre el conductor y la bobina, T_i la constante de tiempo del integrador e I la corriente que se quiere medir.

La expresión anterior la podemos expresar en la forma siguiente:

$$V_{salida} = S \cdot I$$

Siendo S la sensibilidad del transductor Rogowski, expresada en mV/A . La sensibilidad es el factor de proporcionalidad entre la señal de medida obtenida y la corriente a medir. Depende de la inductancia mutua de la bobina, pero también del método de integración que se emplee. Como la bobina se comporta como un integrador a frecuencias elevadas, esto supone que para la medida de corrientes de alta frecuencia no es necesario un circuito integrador si se utiliza una impedancia de terminación suficientemente pequeña.

Un punto importante a considerar es el rango de frecuencias en el que puede trabajar la bobina, es decir, su ancho de banda. Para definirlo co-

rrrectamente hay que indicar a partir de qué frecuencia es capaz de medir, además de la frecuencia máxima a la que la señal de medida se corresponde con la corriente a medir.

Si la bobina dispone de integrador, el ancho de banda es el rango de frecuencias para el que la ganancia de la tensión de salida de la bobina respecto de la corriente es constante y el desfase es de 90° , lo que equivale a decir que sea proporcional a la derivada de la corriente, de tal forma que al integrar esta señal se obtiene una proporcional a la intensidad a medir.

En el caso de que la bobina sea autointegrable, es decir, cuando se comporta como un integrador, el

Figura 9. Bobina Rogowski con integrador comercial.





Figura 10. Conjunto de medida con bobina Rogowski.

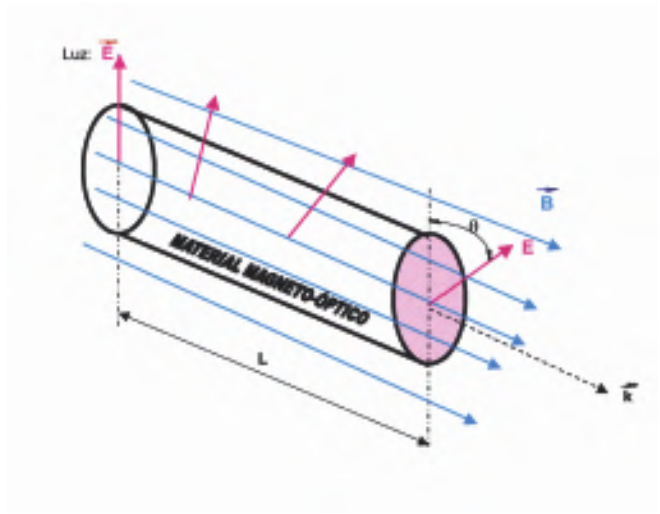


Figura 11. Efecto magneto-óptico de Faraday.

rango de frecuencias en el que la bobina funciona correctamente es aquel para el que la ganancia cae 20 dB por década y el desfase respecto a la tensión inducida es de -90° , que son las condiciones para que se comporte como un integrador. Todo lo anterior se resume con el estudio de los diagramas de Bode para la bobina Rogowski mediante los cuales se puede obtener su ancho de banda.

Una realización comercial de esta bobina junto con su circuito integrador la tenemos en la *figura 9*.

Lo único que nos hace falta para poder realizar la medida de intensidad es un polímetro de características adecuadas. En la *figura 10*, se representa el conjunto completo de medida: bobina Rogowski, integrador y multímetro.

Transductores ópticos de intensidad

Los transductores ópticos son dispositivos físicos que modifican alguna de las propiedades de la luz que viaja por ellos, al encontrarse inmersos en un campo magnético cuya intensidad es variable con el tiempo. Uno de los fenómenos más utilizados se denomina efecto magneto-óptico de Faraday, o más comúnmente rotación Faraday.

Su mecanismo de acción se fundamenta en que un rayo de luz con una polarización arbitraria puede expresarse como una combinación de dos componentes ortogonales polarizadas linealmente, o bien como una combinación de dos componentes ortogonales polarizadas de forma circular, a derecha e izquierda.

El efecto Faraday descubierto en 1845 por Michael Faraday es, básicamente, un proceso de modulación óptica, es decir, un proceso de rotación del plano de polarización de un rayo de luz polarizado linealmente, y de forma proporcional al campo magnético que atraviesa el material. La constante de proporcionalidad entre el ángulo de rotación y la intensidad que fluye por el conductor se denomina constante de Verdet. La ley que define el ángulo de rotación es:

$$\theta = \mu_r \cdot v \cdot \int H \cdot dl$$

Donde:

θ es la rotación que sufre la componente de luz introducida en el material

μ_r es la permeabilidad relativa del medio.

v es la constante de Verdet del material. Es éste un valor empírico que muestra la proporcionalidad entre el campo y la rotación del plano de polarización para varios materiales. Depende de la longitud de onda de la luz y de la temperatura del material. Empero recientes investigaciones han revelado que existe un espesor del material magneto-óptico para el que el giro de Faraday no depende de la temperatura.

Para el caso más común que la luz se desplace por el interior de un material magneto-óptico de longitud L en la dirección del vector unitario k , como muestra la *figura 11*, sometida a la acción de un campo magnético externo B .

El ángulo de rotación del vector

campo eléctrico de la luz θ viene dado por la expresión:

$$\theta = v \cdot B \cdot L$$

Ya que no existen detectores que midan directamente el grado de polarización de la luz, siendo por tanto necesario utilizar otro polarizador que permita pasar sólo componentes luminosas en ciertas direcciones, realizándose de esta forma una transformación del grado de polarización de la luz en potencia óptica.

La medida de la intensidad se realiza de esta forma como una relación entre la potencia óptica de entrada y la potencia óptica de la salida:

$$P_{\text{salida}} / P_{\text{entrada}} = A i(t)$$

Donde A es una constante de diseño.

El material ampliamente utilizado para la construcción de estos sensores son los cristales YIG (Yttrium Iron Garnet).

Los sensores de corriente basados en el efecto magneto-óptico de Faraday están codificados en amplitud, siendo por tanto necesario establecer una relación entre el campo magnético medido y la corriente. Para solventar este problema se diseñan configuraciones en las que la luz recorra un camino cerrado en torno a la corriente a medir. El teorema de Ampère garantiza que el efecto Faraday acumulado en un bucle cerrado está directamente determinado por la intensidad de la corriente.

Si utilizamos como sensor el efecto Faraday de la fibra óptica, podremos resolver el problema de forma

natural. Además, podremos aumentar su sensibilidad aumentando la longitud de fibra bobinada. Sólo tendremos que cuidar el emplear fibra óptica que sea mantenedora de la polarización bien sea lineal o circular, para controlar el estado de polarización de la luz a la entrada del sensor.

El principio de funcionamiento de los medidores de intensidad de corriente basados en la rotación de Faraday es muy sencillo lo primero que se necesita es una fuente de luz polarizada situada en uno de los extremos del material magnetoóptico.

Si se utilizan como emisores de luz diodos LED, debido a que su luz no es polarizada, se emplearán filtros polarizadores lineales conocidos como láminas polaroid tanto para el polarizador como para el analizador que se dispondrá en el extremo opuesto del material magnetoóptico. A continuación, un fotodiodo recoge la luz emitida que ha atravesado el material magnetoóptico. Podemos utilizar una fibra óptica para llevar la luz hasta el polarizador y también para conducirla del analizador hasta el fotodetector que. El haz de luz lleva información del campo magnético producido por la corriente que se desea medir, y que afecta al material magnetoóptico en forma de giro del plano de polarización. Debido a la pequeña potencia lumínica que sale del analizador, es necesario utilizar un amplificador para convertir la potencia lumínica en una señal de voltaje proporcional a la corriente eléctrica que pasa por el conductor. De modo que la señal del fotodiodo es amplificada con un amplificador de transimpedancia y posteriormente por varias etapas de amplificación tensión-tensión, dándonos, en definitiva, una señal proporcional al valor de la corriente que queremos medir.

Conclusiones

En la medida de la intensidad, suele ser preferible la utilización de la pinza amperimétrica al shunt resistivo, a pesar de que el shunt tiene una mayor precisión, ancho de banda y rango dinámico, pues generalmente la utilización del shunt está ligada a la apertura de los circuitos de intensidad.

Los sensores ópticos de intensidad son pequeños, precisos y no presentan los problemas de aislamiento, precisión y respuesta en frecuencia de los transformadores de intensidad que

Tipo de técnica	Shunt de corriente	Transformador de corriente	Efecto Hall	Bobina Rogowski	Rotación de Faraday
Característica					
Linealidad	Muy Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Capacidad de medir altas corrientes	Muy Baja	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Dependencia de la temperatura	Media	Baja	Alta	Muy Baja	Muy Baja
Medida de corriente continua	Si	No	Si	No	Si
Medida de corriente alterna	Si	Si	Si	Si	Si
Saturación e Histéresis	No	Si	Si	No	No

Tabla 3. Comparación entre las distintas técnicas de medida de corriente.

generalmente poseen un núcleo de hierro al silicio de grano orientado presentando una respuesta no lineal debido al proceso de magnetización del núcleo. No ocurre esto con las bobinas Rogowski, que al tener un núcleo de aire presentan una característica lineal en todo el rango de operación. Por otra parte, las resistencias shunt presentan características muy interesantes en cuanto a su linealidad, pero tienen el inconveniente de una disipación considerable de potencia además de tener que intercalar el sensor en el circuito para poder realizar la medida. La bobina de Rogowski no requiere energía adicional para funcionar, por lo que su rendimiento es elevado, existiendo en el comercio barras flexibles sobre las que implementar una bobina de Rogowski, para que se pueda adaptar a diferentes entornos y necesidades de medición. Siendo por tanto la bobina Rogowski un componente de características óptimas para trabajar como sensor lineal de corriente tanto domiciliaria como industrial.

Las ventajas de los métodos magnetoópticos frente a otros métodos más convencionales de medida están basadas en la capacidad de aislamiento que proporcionan y el ancho de banda que alcanzan. En la actualidad se han desarrollado sensores capaces de traducir giros del plano de polarización de la luz debidas a campos magnéticos de señales eléctricas. En particular se están utilizando láminas finas de cobalto que, al tener una constante magnetoóptica o de Verdet muy elevada, dan señales aceptables y medibles.

Para resumir todo lo anterior, una tabla comparativa como la *tabla 3* nos

ayudará a decidir a la hora de inclinarnos por una u otra técnica de medida.

Bibliografía

- Manuales de Fluke.
- Manuales de Chauvin Arnoux.
- Karcz, A.M. *Fundamentos de metrología eléctrica*.
- A. Däschler y M. Jeanrenaud. *Electrotecnia*.
- Werner M. Kohler. *Instrumentos de medida y su uso*.
- William Koon. *Current Sensing for energy metering*.
- Application Engineering. Analog Devices.
- Cooper W., Helfrick A. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*.

AUTOR

Juan Manuel Oliveras Sevilla

Ingeniero técnico en Electricidad con intensificación en Electrónica por la Escuela Politécnica de Cartagena. Técnico superior en prevención de riesgos laborales por ENAE. Desde 1982 trabaja como técnico en la empresa NAVANTIA, antigua Bazán de construcciones navales.