



Bobina de Rogowski

Ing. Ricardo Dias

Medidas Eléctricas

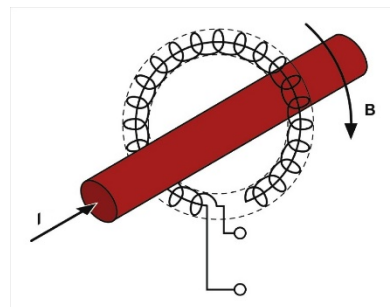
(Asignatura E0208)

Los sensores contruidos a partir de bobinas son ampliamente conocidos [1]. Su función de transferencia $v(t) = f(B)$ se obtiene a partir de la ley de Faraday:

$$v(t) = -n \cdot \frac{d\phi}{dt} = -n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} = -\mu_0 \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH}{dt}$$

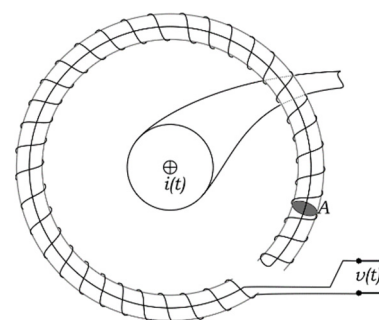
donde ϕ es el flujo magnético que atraviesa una bobina de área A y n espiras.

En el caso de la bobina de Rogowski, si bien la señal de salida es la tensión inducida, su principio de funcionamiento se basa más en la ley de Ampere que en la de Faraday.



La ley de Ampere establece, en parte, que "la integral de línea de la intensidad de campo magnético (H) alrededor de una trayectoria cerrada es proporcional a la corriente (I) total que atraviesa cualquier superficie limitada por ese camino". En una bobina de Rogowski, la constante de proporcionalidad es la inductancia mutua, M .

Si se coloca una bobina de largo l en presencia de un campo magnético, la tensión de salida que se obtendrá será la suma de las tensiones inducidas en cada espira. Si se dispone la bobina de tal manera que envuelva a un conductor por el que circula una dada corriente (variable en el tiempo), se tendrá entonces:



$v(t) = -\mu_0 \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot n \cdot A}{l} \cdot \frac{di}{dt}$, que también se puede escribir como:

$v(t) = M \cdot \frac{di}{dt}$, donde M es la inductancia mutua de la bobina de Rogowski, considerada respecto del conductor que lleva la corriente a medir.

Está claro que, dado que la tensión aparece solo cuando se producen cambios en el flujo magnético, la bobina de Rogowski no será apta para mediciones de corriente continua.

Aunque el principio de funcionamiento fue descrito ya en 1887 por Chattock y Rogowski [2], el tipo particular de sensor devanado uniformemente a lo largo de un soporte no magnético, relativamente largo, de forma circular o rectangular, es el que se conoce comúnmente como bobina de Rogowski, después de la descripción dada por Rogowski y Steinhaus en 1912 [3]. Se la suele llamar también, aunque raramente, bobina de Chattock (o de Rogowski-Chattock). Según algunos autores

[1], el principio de funcionamiento fue descrito antes por Chattock en 1887, y no estaría claro que Rogowski conociera sus dichos, pues no los cita en su artículo.

Actualmente su uso se ha incrementado notablemente como transductor de corriente. Entre otras ventajas, permite medir corrientes alternas en un rango muy amplio, ya que al no incluir núcleos ferromagnéticos, tiene un comportamiento lineal desde el orden de los mA hasta varios centenares de A. También, gracias a su baja inductancia, permite registrar transitorios de corriente con tiempos de frente de hasta algunos nanosegundos (gran ancho de banda). [6]

Así, en comparación con los TA, tiene una excelente linealidad (no tiene núcleos saturables), no existe el potencial peligro de una apertura del secundario, y tienen un bajo costo; esto ha hecho que estén reemplazando a los TA en múltiples aplicaciones (transductores de medidores de energía eléctrica, por ejemplo).

También brindan aislación galvánica entre el circuito primario y el de medición. Y no produce efectos de carga sobre el circuito de medida, ya que el acoplamiento magnético suele ser del orden de algunos nanohenry. [6]

Son comunes las soluciones prácticas de tipo flexible, aunque en general son menos exactas que las rígidas, debido a una peor uniformidad en la distribución de las espiras, y a posibles diferencias de ubicación durante su uso corriente respecto de la posición durante su calibración. Por otra parte, la alineación de los extremos suele también ser un inconveniente, que puede paliarse con conectores concéntricos adecuados, muchas veces roscados.



Son además relativamente simples de diseñar, aunque es de fundamental importancia una distribución uniforme del devanado a lo largo del soporte, para conseguir que la señal de salida no dependa de la posición relativa de la bobina respecto del conductor que lleva la corriente a medir.

La señal de salida, así como la sensibilidad, pueden incrementarse aumentando el área de las espiras, aunque para un funcionamiento correcto (de acuerdo a la ley de Ampere) se debe cuidar de que el flujo sea homogéneo en cada una de ellas.

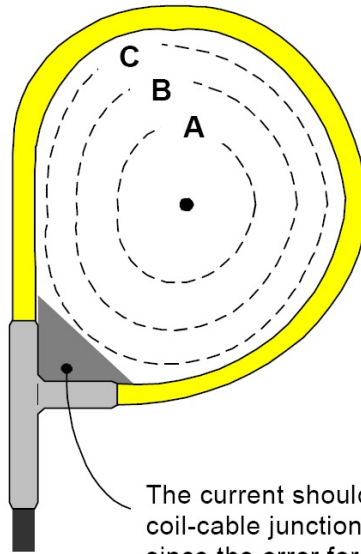


La integral de línea de la ley de Ampere requiere una bobina de sección nula (espesor o ancho nulos), en esas condiciones, la tensión de salida sería independiente de la forma de paso y de la posición que tome el conductor por el que circula la corriente a medir en relación con la ventana de la bobina (la forma y distribución del flujo en la bobina).

En la práctica, el arrollamiento helicoidal de la bobina representa un cierto volumen, y como resultado, la misma presenta un error debido a la posición, que usualmente es bajo. El error mínimo se consigue cuando todas las espiras tienen la misma sección y están uniformemente distribuidas a lo largo de un contorno circular.

Por esta razón, la bobina es devanada sobre un soporte de sección pequeña. También es importante la posición del conductor de retorno; ambos terminales deben estar en el mismo extremo de la bobina, por ejemplo; cuando la bobina se devana sobre un conductor coaxial, el conductor central del mismo puede ser utilizado como retorno.

El error asociado a la posición que toma el conductor que lleva la corriente a medir, relacionado como se dijo por pequeñas variaciones en la uniformidad de la distribución del devanado y de la sección de las espiras, puede ser del orden de alguna unidad porcentual del valor de calibración. En la figura se muestra la variación de la exactitud, que es mayor cuando la posición del conductor cuya corriente se pretende medir está más cerca de la unión de los extremos de la bobina, pudiendo llevar el error al $\pm 4\%$. [7]



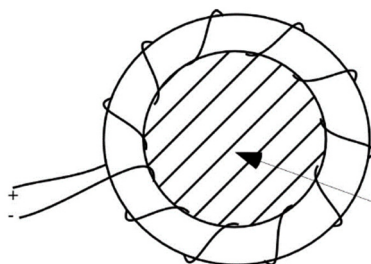
POSITIONAL ACCURACY OF A STANDARD ROGOWSKI COIL -
% error with a point source of current

Type	A	B	C
Miniature Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 3\%$
Standard Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$

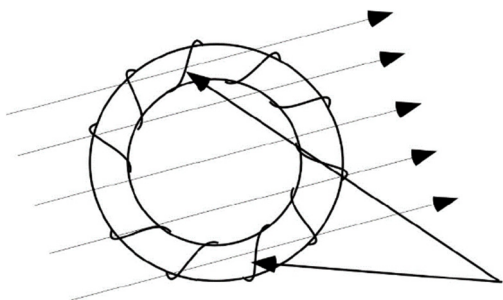
The current should not be positioned close to the coil-cable junction (shown by the shaded area) since the error for this region is greater.

Como ya se mencionó, al no poseer núcleos ferromagnéticos, tiene una respuesta completamente lineal, por lo que puede ser calibrada a bajas corrientes, aunque se la emplee luego a valores muy altos (se la puede probar con algunos miles de amperes para usarla a decenas de miles de amperes). En la práctica, el límite superior de la corriente medible queda limitado por la máxima tensión de entrada del instrumento de medida de v , o por la rigidez dieléctrica de la bobina u otros componentes. El límite inferior del rango de medida está definido por la sensibilidad del instrumento que se emplee para medir tensión y por el ruido. [4]

Como una de sus desventajas, se puede mencionar que es más sensible a los campos magnéticos de origen externo que un TA [8] (su principio de funcionamiento se basa justamente en la variación del flujo magnético, ya que mide la corriente a partir de la inductancia mutua). Se ve que es importante entonces, disminuir en la medida de lo posible, el lazo de medición que forme la bobina.



Un tamaño excesivo del lazo, favorece la interferencia de campos magnéticos externos, perpendiculares al mismo.

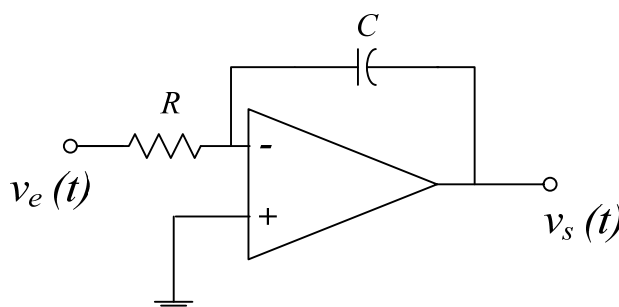


Una construcción toroidal, sin embargo, asegura un buen rechazo de las interferencias perpendiculares a las espiras de la bobina (las dos áreas opuestas producen FEM que se compensan).

Por otra parte, considerando que la tensión de salida es proporcional a la derivada de la corriente, para obtener el valor eficaz de esta última, la primera debe ser integrada. Así, se hace necesario utilizar inicialmente un integrador, que permita obtener $i(t)$ a partir de $\frac{di}{dt}$. Una

solución tradicional lleva al simple uso de un integrador basado en un amplificador operacional, donde:

$$v_s(t) = -\frac{I}{RC} \int v_e(t) dt \quad [5]$$



El gran inconveniente de esta implementación analógica es la dificultad para mantener su exactitud en el tiempo, máxime si se tienen en cuenta las condiciones ambientales en las que muchas veces debe operar (por ejemplo, dentro de un medidor de energía). El problema de construir un integrador analógico estable en el tiempo, ha conspirado contra el uso masivo de estos sensores de corriente. Sin embargo, la implementación de integradores digitales está cambiando esta tendencia, llevando a pensar que, por ejemplo, sea la solución elegida como sensor de corriente en las nuevas generaciones de medidores de energía eléctrica.[5]

Referencias

- [1] Slawomir Tumanski, "Induction coil sensors, a review", Meas. Sci. Technol. 18 (2007) R31–R46, Institute of Physics Publishing.
- [2] Rogowski W and Steinhaus W, 1912, Die Messung der magnetischen Spannung (The measurements of magnetic potential) Arch. Elektrotechnik 1 141–50
- [3] Chattock A P, 1887, On a magnetic potentiometer Phil. Mag. 24 94–6.
- [4] John D. Ramboz, "Machinable Rogowski Coil, Design, and Calibration", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, VOL. 45, NO. 2, April 1996
- [5] William Koon, Analog Devices, Inc, Current sensing for energy metering, Conference Proceedings IIC-China/ESC-China 2002, pp. 321-324, 2002.
- [6] F. J. Arcega, J. A. Artero, "Current sensor based on Rogowski coil", ICREPQ'04, Barcelona, April, 2004.
- [7] Power Electronic Measurements Ltd, Rogowski coil Application Notes, 17th August 2002.
- [8] M. Bombonato, D. D'Amore, "Un componente classico per le misure moderne: la bobina de Rogowski", L'Elettrotecnica, vol. LXXVI, no. 9, Sept. 1989.