

Kenta Ikeda, Senior Staff
Hidekazu Masuda, Senior Staff

Hioki E.E. Corporation (Traducido por Instrumentos de Medida, S.L.)

1. INTRODUCCION

Actualmente, hay una demanda de medida de corriente en el campo de la electrónica de potencia que debe tener una alta precisión y banda ancha, donde los productos típicos incluyen sistemas de conversión de potencia como acondicionadores de potencia e inversores. Desde el lanzamiento en 1971 de la Pinza de Medida CT-300 (ver Imagen 1), Hioki ha suministrado gran variedad de sensores de corriente (ver Imagen 2) diseñados para aplicaciones específicas de medida. Este documento describe las características de los sensores de corriente Hioki considerando algunos puntos clave en la medida de corriente, centrándose en una alta precisión y banda ancha en la medida de corriente.



Figure 1
Current Sensor CT-300, launched in 1971



Figure 2
Hioki zero-flux current sensors

2. METODOS DE DETECCION USADOS EN SENSORES DE CORRIENTE

Los sensores de corriente utilizan una amplia gama de métodos de detección. Entre ellas, muchos detectan la corriente usando un elemento de conversión magnética insertado en el interior del núcleo magnético o un bobinado creando un núcleo magnético, dependiendo de la corriente que fluya en el conductor bajo prueba. Así pues, cada método de detección esta caracterizado por sus propias ventajas y desventajas, siendo difícil satisfacer todos los requerimientos de medida con un solo método de detección. Hioki proporciona sensores de corriente de alta precisión, banda ancha usando el método “zero-flux” (también conocido como “lazo cerrado” o método de balance magnético), el cual combina dos técnicas de detección.

En el método “zero-flux”, el cual se basa en un circuito de feedback negativo que incluye un circuito magnético como los mostrados en las Imágenes 3 y 4, una corriente se hace pasar a través de una bobina por lo que se cancela el flujo magnético producido en el núcleo por la corriente bajo medida. Este método tiene la ventaja de minimizar los efectos de la no linealidad de los materiales magnéticos dado que el flujo magnético operacional se puede controlar y así mantener en un nivel muy bajo.

Los sensores de corriente de alta precisión Hioki, usan el método “zero-flux”, el cual combina el método “flux-gate” y el método de transformador de corriente (CT) mostrados en la Imagen 3. El metodo “flux-gate” permite una deteccion basada en una corriente DC. Ya que este método no requiere el uso de ningún semiconductor, proporciona las ventajas de un bajo offset de voltaje, alta estabilidad con variaciones de temperatura, y una excelente estabilidad a largo plazo. Hioki proporciona sensores de corriente con una precisión de 0.02% rdg. y una banda de 3.5 MHz, haciendo de ellos unos de los instrumentos de su tipo mejor desarrollados en el mundo.

Adicionalmente, la compañía toma la ventaja de la estabilidad a alta temperatura del método “flux-gate” para suministrar productos con un rango de trabajo de temperatura entre -40°C y 85°C .

Por contraste, los sensores de banda ancha usan un diseño “zero-flux” que combina un elemento Hall y el método del transformador de corriente (CT) como se muestra en la Imagen 4, proporcionando una banda de medida que se extiende desde DC hasta un máximo de 120 MHz. Desde que Hioki produce sus propios elementos Hall que sirven de llave para los dispositivos de detección magnética en este diseño con características de alta sensibilidad y bajo ruido, estos sensores son ideales para su uso en aplicaciones donde formas de onda minúsculas de corriente deben ser observadas en combinación con un osciloscopio.

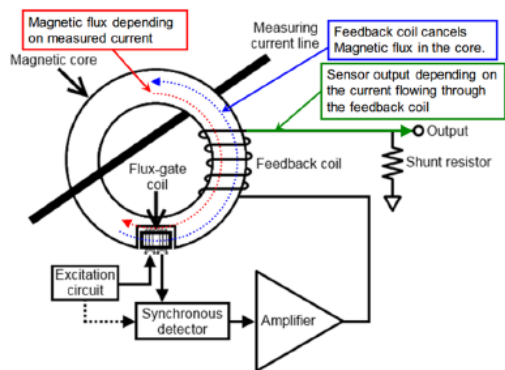


Figure 3
Zero-flux method (flux-gate type)

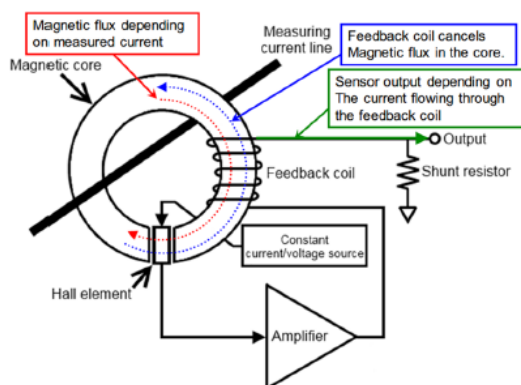


Figure 4
Zero-flux method (Hall element type)

3. DIFERENCIAS EN LA ARQUITECTURA DEL SENSOR DE CORRIENTE

Los sensores de corriente se pueden categorizar dependiendo del diseño ya sean de tipo “toroidal” o de tipo “pinza”.

La arquitectura del tipo “toroidal” elimina cualquier tipo de abertura en la superficie del núcleo magnético, lo que hace fácil obtener características uniformes a lo largo de toda la circunferencia del núcleo y permite una construcción de sensores de corriente extremadamente precisos. Sin embargo, este diseño requiere que el cable bajo pruebas se desconecte para que pueda pasar a través del sensor, haciendo imposible la conexión del sensor a un equipo en funcionamiento.

Por contraste, la arquitectura del tipo “pinza” introducen una abertura en el núcleo magnético, permitiendo situarlo alrededor del cable a medir. Al no ser necesario desconectar el cable bajo prueba con el diseño tipo “pinza”, es fácil medir un equipo en funcionamiento. Sin embargo, la introducción de la abertura en el núcleo magnético hace difícil obtener características uniformes a lo largo de toda la circunferencia del núcleo. Como resultado, los sensores de corriente tipo “pinza” generalmente muestran menor precisión de medida y la posición del conductor tiene un efecto mayor que en sus equivalentes tipo “toroidal”. Como consecuencia, es más difícil obtener medidas con buena reproducibilidad. Hioki toma la ventaja de su experiencia adquirida a lo largo de los años desarrollando sensores de corriente para ofrecer sensores de corriente tipo “pinza” con una alta precisión. Las características de estos equipos se describen a continuación.

4. FACTORES A TENER EN CUENTA CUANDO SE ELIGE UN SENSOR DE CORRIENTE

El aspecto más importante a la hora de hacer medidas de alta precisión con un sensor de corriente es la selección de un sensor de corriente que sea apropiado para la medida a realizar.

Muchos sensores de corriente de alta precisión (ej. Los que tienen precisión de 0.1% o menos) usan el método de salida en corriente, pero los sensores de corriente de alta precisión de Hioki usan el método de salida en voltaje. Mientras que la salida en corriente es generalmente considerada como proveedora de señal de calidad de transmisión superior, la salida en voltaje suministra numerosas ventajas como formato de salida para los sensores de corriente. Las siguientes secciones describen los factores a tener en cuenta cuando se elige un sensor de corriente mientras que exploran en las ventajas de la salida en voltaje.

4.1 Idoneidad del Rango del Sensor de Corriente y Banda de Medida

Para medir una corriente dada con un alto grado de precisión, se requiere un sensor de corriente cuyo rango sea apropiado para la magnitud de la corriente a medir. Por ejemplo, si una corriente de 5 A es medida usando dos sensores de corriente con las mismas especificaciones de precisión, una con un rango de 10 A y otra con un rango de 500 A, los resultados pueden indicar que el sensor con rango de 10 A, que está más cerca de la magnitud de la medida en cuestión, es mejor en términos de precisión y reproducibilidad. Hay que tener cuidado ya que Hioki define sus rangos de corriente para sus sensores en valores RMS, sin embargo muchos de los sensores de corriente hacen esto usando los valores de pico.

Como añadido, es importante verificar que todas las frecuencias de los componentes de la corriente a medir están incluidas en la banda de medida del sensor de corriente.

4.1 Precisión definida para Amplitud y Fase en la Banda de medida

Para la mayoría de los sensores de corriente de alta precisión usado en combinación con medidores de potencia, la precisión de la amplitud se define solo para la corriente DC y para frecuencias comerciales (50 Hz/60 Hz), y la precisión de fase se define en raras ocasiones.

De hecho, es difícil definir la precisión de la amplitud y fase en la región de altas frecuencias para la salida de corriente que se usa generalmente en los sensores de corriente de alta precisión. Hay que tener cuidado dado que muchos fabricantes solo publican gráficos de características típicas para frecuencias distintas a las frecuencias comerciales. Desde que los sensores Hioki utilizan voltaje como salida, es posible definir la precisión de la amplitud y de la fase a lo largo de toda la banda de medida. Ya que la precisión de la amplitud y la precisión de la fase se consideran críticas en la precisión de la medida de potencia, es importante verificar que la precisión de fase ha sido definida cuando se ha elegido un sensor de corriente, particularmente uno que se vaya a usar en la medida de potencia.

4.2 Versatilidad

Los sensores que producen salida de voltaje tienen la ventaja de poder ser usados en una gran cantidad de aplicaciones de medida dado que es fácil conectarlos no solo a medidores de potencia, sino a otros equipos como DMM, osciloscopios y registradores.

4.3 Alto ratio S/N

Los sensores de corriente de alta precisión Hioki, están diseñados para producir 2 V a la salida cuando miden la corriente establecida. Por ejemplo, cuando usamos el modelo Hioki CT6863 (rango 200 A), 2 V AC serán la entrada de un medidor de potencia cuando se midan 200 A AC. Desde que los medidores de potencia aceptan entrada de corriente incorporando resistencias shunt en sus circuitos de entrada, incluso señales de sensores de corriente que producen corriente a su salida, se convierten en señales de voltaje para su procesamiento.

Si usamos un sensor de corriente de alta precisión con un ratio de conversión de 1500:1 para medir una corriente de 200 A AC, el voltaje medido por el medidor de potencia será como el siguiente para una resistencia shunt típica de valores 0.5Ω y 0.1Ω :

$$133.3 \text{ mA} \times 0.5 \Omega = 66.65 \text{ mV AC}$$

$$133.3 \text{ mA} \times 0.1 \Omega = 13.33 \text{ mV AC}$$

Los niveles de señal medidos por el medidor de potencia serán 2 V (con el diseño de Hioki) y de 13.33 mV a 66.65 mV (para un diseño de salida de corriente), que ilustra como el diseño de Hioki da un mayor ratio S/N que los sensores de corriente que se basan en la salida de corriente.

4.5 Fácil Ajuste y Calibración

Desde que los sensores de corriente Hioki generan voltaje a su salida, tienen la ventaja de ser fácilmente ajustables y calibrados. Como consecuencia, su definida precisión se puede extender e incluir el cable de salida. Adicionalmente, los sensores Hioki se pueden fabricar con longitudes de cable configurables de modo que el proceso de ajuste puede compensar las minúsculas pérdidas de voltaje que se puedan producir por la resistencia del cable.

Los sensores de corriente de alta precisión Hioki, se pueden calibrar no solo para DC y frecuencias comerciales, también para la región de altas frecuencias. A continuación se muestran algunos ejemplos de puntos de calibración para los sensores de corriente Hioki (la trazabilidad se mantiene para cada punto de frecuencia):

Amplitud: \pm DC, 50 Hz, 60 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 300 kHz, 700 kHz, 1 MHz

Fase: 50 Hz, 60 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 300 kHz, 700 kHz, 1 MHz

5. PRECAUCIONES EN MEDIDAS DE ALTA PRECISION

Esta sección presenta algunas precauciones que se deben tener en cuenta cuando se usa un sensor de corriente para medir corriente con un alto grado de precisión, basado en la experiencia que Hioki ha adquirido a lo largo de los años desarrollando sensores de corriente.

5.1 Posicionamiento del Conductor en el Centro del Sensor

Todos los sensores de corriente están expuestos a los efectos de la posición del conductor, y la magnitud de estos efectos se incrementa con la medida de frecuencia. Incluso sensores de corriente del tipo “toroidal” con buenas características muestran significantes efectos a frecuencias de 10 kHz y superiores. La precisión de la medida de un sensor de corriente se define siempre en la posición central del sensor. Cuando se está midiendo a altas frecuencias, es particularmente importante asegurar alta precisión, medidas altamente reproducibles posicionando el conductor en el centro del sensor.

5.2 Mantener los Conductores Cercanos lejos del Sensor de Corriente

Los sensores de corriente funcionan detectando el campo magnético producido cuando una corriente circula a través del cable a medir. Como resultado, están afectados en una medida no pequeña por cualquier corriente que circule por conductores cercanos. Estos efectos son particularmente pronunciados en corrientes de alta frecuencia. Consecuentemente, es recomendable mantener los conductores cercanos lo más alejados posible del sensor de corriente para que la corriente objetivo pueda ser medida con un alto nivel de precisión. Estos efectos son particularmente significantes para corrientes de alta frecuencia, y deben ser considerados cuando se usa cualquier tipo de sensor de corriente.

6. PRECAUCIONES EN MEDIDAS DE ALTA PRECISION

La precisión de los sensores de alta precisión Hioki está definida para todas las bandas de frecuencia dentro del dominio de medida. La precisión del sensor de corriente se define habitualmente en el centro del sensor. Sin embargo, no es fácil ajustar la posición de un conductor en el centro exacto del sensor en la práctica actual. La Imagen 5 muestra las características y especificaciones de frecuencia de un sensor de corriente de alta precisión Hioki (Modelo CT6841). La precisión se ha definido para cada región por lo que las especificaciones se cumplen aun cuando la posición del conductor varía.

Adicionalmente, las especificaciones de precisión de los sensores de corriente de alta precisión Hioki incorporan un margen suficiente de funcionamiento. Como resultado, el rendimiento real tiende a ser significativamente mejor que lo que las especificaciones sugieren.

7. SENSORES DE CORRIENTE TIPO PINZA DE ALTA PRECISION

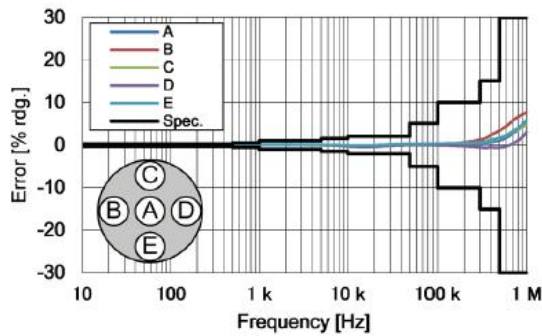


Figure 5
Gain-frequency characteristics



Figure 6
CT6843 high-precision clamp sensor

Como se ha descrito anteriormente, los sensores de corriente tipo “pinza” generalmente aportan poca precisión así como baja reproducibilidad de la medida debido a la abertura en su núcleo magnético. Esta sección presenta algunas de las características del sensor de alta precisión de Hioki CT6843 (rango 200 A), mostrado en la Imagen 6. Las Imágenes 7 a 9 comparan estas características con las del CT6863, un sensor de corriente “toroidal” Hioki con el mismo rango (200 A). Las características de los sensores de corriente tipo “pinza” de Hioki se aproximan a

sus equivalentes “toroidales”, haciendo de ellos más que adecuados para ser usados en medidas de potencia de alta precisión.

Estos sensores tipo “pinza” son capaces de suministrar este nivel de rendimiento debido a que usan una estructura uniforme alrededor de la circunferencia del núcleo magnético, a excepción de la abertura; y porque la abertura en el núcleo está diseñada para minimizar la reluctancia magnética. Esta construcción provoca diseños que proporcionan características uniformes alrededor de toda la circunferencia del núcleo magnético en un sensor tipo “toroidal”.

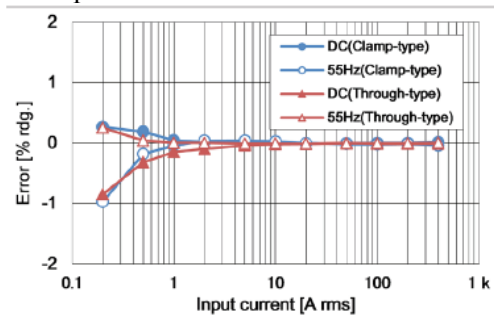


Figure 7
Linearity

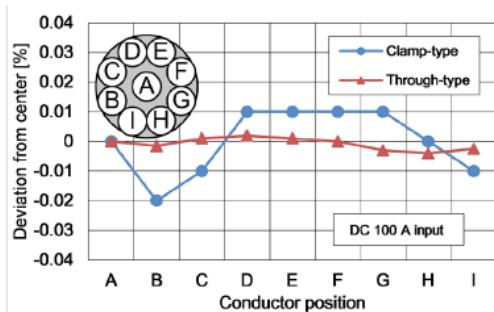


Figure 8
Effects of conductor position

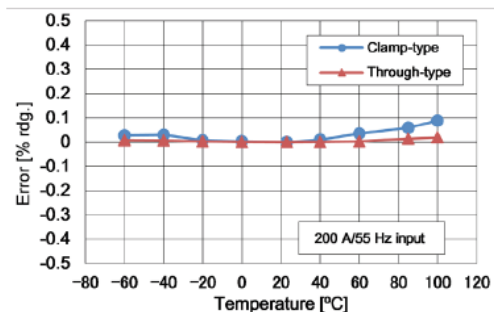


Figure 9
Gain-temperature characteristics

Los sensores de corriente tipo “pinza” de Hioki, están diseñados para proporcionar un fácil manejo así como un alto rendimiento. Por ejemplo, sus pinzas pueden abrirse y cerrarse, y el sensor se mantiene en su sitio, mediante una operación simple y una sola mano. Además, estos sensores pueden trabajar en un rango de temperatura de -40°C a 85°C , permitiendo su uso en una gran variedad de ambientes de pruebas. Como resultado, se pueden utilizar sin problemas en condiciones ambientales extremas, tales como las condiciones de calor del habitáculo del motor en un coche.

Adicionalmente, los medidores de potencia de Hioki están diseñados específicamente para ser usados con estos sensores de corriente, permitiéndolos alimentar directamente a estos sensores y detectando automáticamente el modelo. Por este motivo, los sensores de corriente Hioki son ideales para su uso en conjunto con los medidores de potencia en aplicaciones de alta precisión y banda ancha.

8. SENSORES DE CORRIENTE DE BANDA ANCHA TIPO “PINZA”



Figure 10
Wideband current sensor CT6701

Los sensores de corriente de banda ancha de Hioki cuentan con una amplia banda de medida y un bajo nivel de ruido que los sensores de alta precisión descritos anteriormente. De estos productos, el CT6701 (Imagen 10), el cual tiene el mayor rango de conversión de corriente a voltaje de salida (rango de salida) y la mayor banda de frecuencia (ver Imagen 11) de todos los productos Hioki de esta clase,

es ideal para su uso en la observación de ondas de corriente transitorias, ondas de respuesta de alta velocidad como corrientes de pico, y minúsculas ondas de corriente que incluyan gran variedad de componentes de frecuencia.

Como se ha descrito anteriormente, los sensores de corriente de banda ancha usan el método “zero-flux”, el cual utiliza una delgada capa de elemento Hall. Hioki ha desarrollado una delgada capa y bajo ruido de elemento Hall, el cual es la clave en sensores de corriente, para cubrir la demanda del mercado de mejores medidas de baja corriente. Por ejemplo, el modelo CT6701 de Hioki es capaz de suministrar un rango de salida de 1 V/A (10 veces el rango de su predecesor) así como un nivel de ruido bajo. La imagen 12 proporciona la comparación de la forma de onda medida con el modelo anterior, ilustrando como la forma de onda de una corriente de control fluyendo a través de una parte eléctrica de un automóvil, un pequeño motor por ejemplo, puede ser más precisa observándola en el rango de miliamperios.

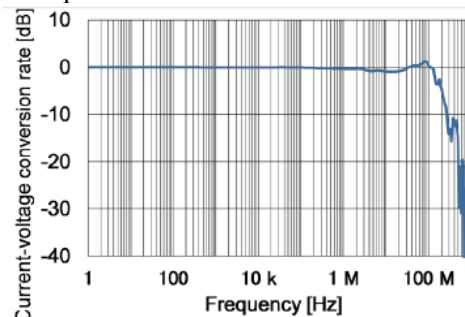


Figure 11
CT6701 amplitude-frequency characteristics (typical)

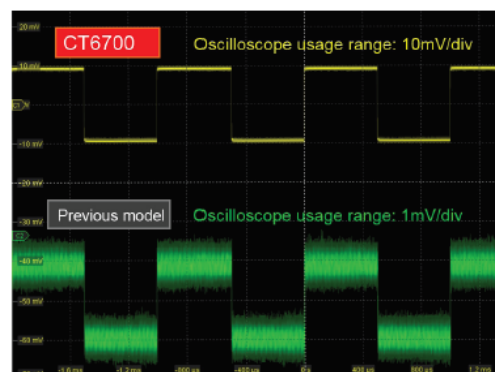


Figure 12
20 mAp-p waveform (comparison with previous Hioki model)

Su uso en combinación con un osciloscopio es ideal para optimizar al máximo los resultados en el ancho de banda de 120 MHz (3-dB).

Por ejemplo, se pueden usar para observar la corriente de control o la corriente de carga en un circuito de conmutación usado en un convertidor de potencia o en un control de motor, la forma de onda de la corriente ON/OFF de un dispositivo semiconductor que realiza una conmutación de alta velocidad o formas de onda con rizado.

9. CONCLUSION

Este documento ha presentado el principio de detección usado por el método “zero-flux”, principales consideraciones a tener cuando se elige un sensor de corriente, precauciones cuando se usan este tipo de instrumentos, y algunas características de los sensores de corriente, haciendo hincapié en los sensores de corriente que ha desarrollado Hioki a lo largo de más de 40 años. Los autores esperan que sirva de ayuda para cualquier persona que realice medidas de corriente en el campo de la electrónica de potencia, el cual demanda medidas de corriente de alta precisión y banda ancha.