Guía del Usuario

Septiembre, 31
28022 - Madrid
Tlf: 913000191
Email: idm@idm-instrumentos.es
Web: www.idm-instrumentos.es

Manual de medición de la resistencia

© 2020 HIOKI E.E. CORPORATION

A_UG_RM0002E01

Introducción

Este documento se centra en la resistencia (R) representada en la ecuación eléctrica básica V = IR y ofrece precauciones para la medición basadas en las propiedades de los objetivos de medición. Dichos objetivos van desde resistencias muy estables hasta resistencias de aislamiento inestables, por lo que es necesario considerar las precauciones específicas que se aplican a cada una de ellas. Además, los métodos de medición y las consideraciones clave difieren significativamente dependiendo de si el valor de la resistencia se mide en kiliohmios (o menos) o en megaohmios (o más).
Esperamos que este documento sea una herramienta útil para comprender los métodos de medición de resistencia adecuados.

Contenidos

Introducción 2
1. ¿Qué es la resistencia? 3
-1. Causas de la resistencia 3
-2. Resistencia de diversos objetos y materiales 4
2. Métodos de medición de la resistencia 6
-1. Clasificación según el método de conexión 6
-2. Clasificación en función de la frecuencia de medición 7
3. Fuentes de error en la medición de la resistencia 8
-1. Efectos de la resistencia del cableado 8
-2. Efectos de la fuerza electromotriz 9
-3. Efectos del ruido térmico 11
-4. Efectos de la corriente de fuga 12
-5. Efectos de la absorción dieléctrica 13
-6. Efectos del ruido de fricción 13
-7. Objetivos de medición delicados 14
-8. Efectos del ruido externo 15
(1) Efectos del ruido inductivo 15
(2) Efectos del ruido conductivo 16
-9. Efectos de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire 18
(1) Efectos de la temperatura 18
(2) Efectos de los movimientos aéreos 18
(3) Efectos de la humedad 19
-10. Métodos de sondeo 19

1. ¿Qué es la Resistencia?

-1. Causas de la resistencia

A efectos de este documento, la resistencia se refiere a la resistencia eléctrica. Como propiedad, expresa la dificultad con la que fluye una corriente eléctrica, y se expresa mediante el ohmio (Ω). El recíproco de la resistencia (1/Ω) es la conductancia, que se expresa en siemens (S). A excepción de algunos campos como la electroquímica, la conductancia se utiliza raramente.

Cuando se produce una diferencia de potencial V entre dos terminales, la carga eléctrica (en forma de electrones o huecos) se desplaza hacia el electrodo de polaridad opuesta. La resistencia se opone a este movimiento. Según la ley de Ohm, la corriente I puede venir dada por:

$$I = \frac{V}{R}$$

Esta ecuación indica que a medida que la diferencia de potencial V aumenta, y que la resistencia R disminuye, la corriente I aumentará.
La resistencia R puede venir dada por:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

donde ρ es la resistividad, l es la longitud y S es el área de la sección transversal.

Esta ecuación indica que la resistencia aumenta con la longitud y la delgadez. De este modo, los valores de resistencia varían con el tamaño físico, pero se puede suponer razonablemente que se ajustan al rango descrito en la figura 3.

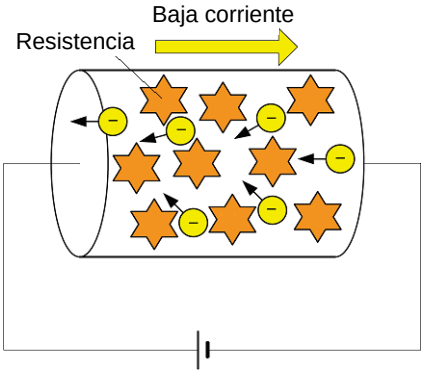


Figura 1 Alta resistencia

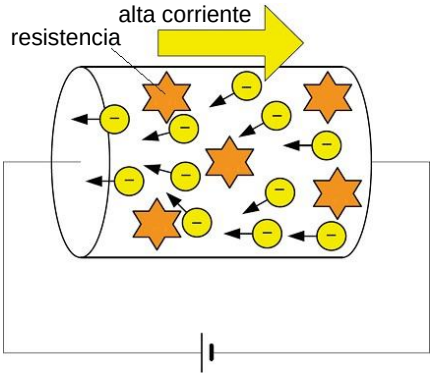


Figura 2 Baja resistencia

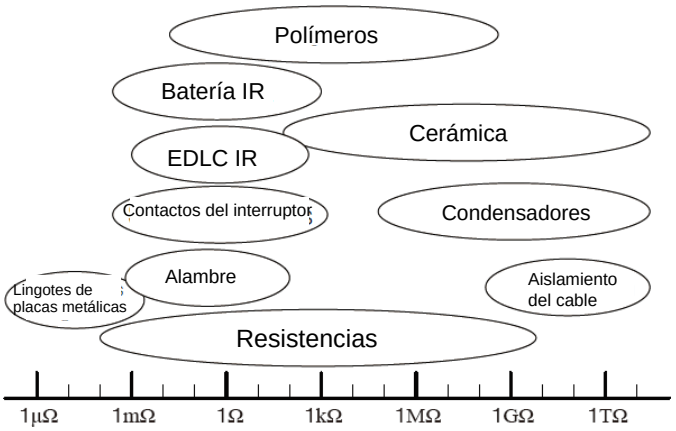


Figura 3 Varios objetivos de medición y sus valores de resistencia

-2. Resistencia de diversos objetos y materiales

- Resistencias

  Las resistencias que se encuentran habitualmente en los productos eléctricos conocidos suelen oscilar entre 1 Ω y 10 MΩ. Las resistencias en derivación utilizadas como aplicación especial para detectar la corriente en baterías y motores van desde unos 0,1 mΩ a 1 Ω, mientras que las utilizadas en circuitos que manejan altas tensiones son de unos 1 GΩ debido a la necesidad de evitar la generación de calor, que viene dada por V2/R.

- Cable

  Dado que el valor de la resistencia del cable aumenta con la longitud, se utiliza la unidad Ω/m para expresar la resistencia del conductor. El cable AWG24 (0,2sq), como el que se utiliza en el interior de los aparatos, tiene una resistencia elevada -90 mΩ/m-, mientras que el cable AWG6 (14sq) que se utiliza en los cables de alimentación tiene una resistencia mucho menor -alrededor de 1,3 mΩ/m (y 0,13 mΩ/m para 150sq).

  El aislamiento de los cables debe estar hecho de un material que resista el flujo de corriente. Dado que las rutas de corriente de fuga aumentan en número a medida que un cable es más largo, se utiliza la unidad Ωm para expresar la resistencia del aislamiento de los cables. Entre los materiales utilizados para fabricar el aislamiento se encuentran el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno (PE) y el teflón (TE). La resistencia de aislamiento típica es de 10 GΩ/m o superior para los cables aislados con cloruro de polivinilo, de 100 GΩ/m o superior para los cables aislados con polietileno y de 1.000 GΩ/m o superior para los cables aislados con teflón.

- Resistencia de los contactos del interruptor y del relé

  Los circuitos cableados que transportan corrientes de decenas de amperios consumen energía del orden de varios vatios con una resistencia de apenas 1 mΩ. En consecuencia, los disyuntores y otros contactos de conmutación de los circuitos cableados de alta corriente tienen valores de resistencia muy inferiores a 1 mΩ. Los relés de potencia, los disyuntores y otros componentes están diseñados para ser utilizados en circuitos cableados de alta corriente. Por esa razón, sus contactos se corroerán gradualmente hasta que eventualmente la continuidad se pierda por completo si la corriente de energización cae a una corriente del orden de los microamperios, lo que requiere precaución.

  Dado que los interruptores utilizados en los circuitos electrónicos estándar llevan una corriente de energización de 1 A o menos, su resistencia de contacto es del orden de decenas de miliohmios. Sus contactos suelen estar chapados en oro para poder obtener un contacto estable con corrientes de energización que se miden en microamperios.

  El valor de la resistencia de los interruptores que utilizan goma conductora varía significativamente en función de la cantidad de presión aplicada. La resistencia de contacto es bastante alta, en torno a 1 kΩ, pero se caracterizan por un nivel extremadamente alto de durabilidad de los contactos.

  Cuando están en estado abierto, la resistencia del interruptor es de 10 MΩ o superior. La resistencia de aislamiento inicial viene determinada en gran medida por las propiedades aislantes de la carcasa, pero disminuye con el uso debido a los trozos de material de contacto que se desprenden con el tiempo y al polvo acumulado del entorno.

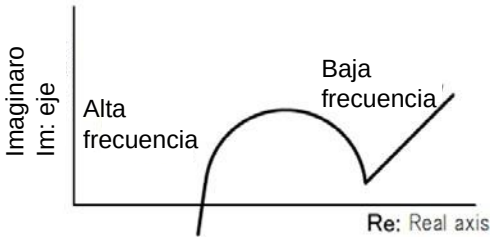
- Resistencia del conector

  Al igual que ocurre con la resistencia de los contactos de los interruptores y relés, los requisitos de los circuitos cableados de alta corriente y los conectores de señalización son diferentes. Cuando se diseñan conectores para contactos de alta corriente, se hace hincapié en reducir la resistencia de los contactos. Por el contrario, los contactos de señalización están chapados en oro, y el énfasis está en la estabilidad bajo cargas minúsculas. Los materiales utilizados para fabricar las carcasas de los conectores son las poliamidas (PAs, o nylons) y el tereftalato de polibutileno (PBT). Dado que las poliamidas tienen un bajo rendimiento aislante, es necesario tener precaución cuando se mide la alta resistencia.

- Resistencia interna (IR) de la batería y del condensador eléctrico de doble capa (EDLC)

  La resistencia interna (IR) de las baterías y los condensadores eléctricos de doble capa está relacionada con la facilidad con la que se pueden obtener grandes corrientes de estos componentes. Mientras que la resistencia interna de una batería que produce una gran corriente de 10 A podría ser extremadamente baja, de alrededor de 1 mΩ, no sería raro que la resistencia interna de una pila de botón de iones de litio superara los 100 Ω.

  Dado que la resistencia interna de las pilas presenta características de frecuencia y que las fases de tensión y corriente difieren, para evaluar la propiedad se utiliza un método de diagramación conocido como gráfico de Cole-Cole, como el que se muestra en la figura 4. En las inspecciones de envío realizadas como parte de los procesos de fabricación, la



  resistencia efectiva (el componente del eje real) a 1 kHz proporciona una forma sencilla de gestionar la resistencia interna.

Figura 4 Impedancia de la batería

- Condensadores

  Dado que los condensadores almacenan una carga eléctrica entre los electrodos, cuanto mayor sea el valor de la resistencia entre los electrodos, mejor. En consecuencia, la resistencia entre los electrodos de un condensador se conoce como resistencia de aislamiento. Normalmente, la resistencia de aislamiento es de al menos 10 GΩ para los condensadores cerámicos y de 100 kΩ para los electrolíticos.

2. Métodos de medición de la resistencia

Los métodos para medir la resistencia pueden clasificarse según el método utilizado para conectar el voltímetro, el amperímetro u otro instrumento, así como la frecuencia utilizada para realizar la medición.

-1. Clasificación según el método de conexión

En general, para medir la resistencia se utiliza el método del puente y el de la caída de potencial.

- Método del puente

El método del puente era el medio más común para medir la resistencia antes de 1980, un periodo en el que todavía no se habían desarrollado diversas tecnologías de circuitos electrónicos (véase la figura 5). Este método, que no requería ningún circuito electrónico complejo, podía aplicarse fácilmente con un galvanómetro de alta sensibilidad y una resistencia estándar de alta precisión. Los ingenieros desarrollaron diversas variantes del método del puente, como el método del doble puente Kelvin (véase la figura 6), muy adecuado para medir valores de resistencia bajos, y el método de la impedancia de CA, que puede utilizarse con inductores y condensadores. En la actualidad, estos métodos han sido sustituidos por medidores de baja resistencia y medidores LCR.

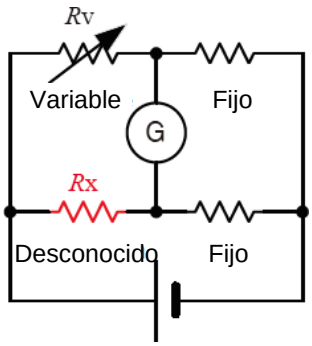


Figura 5 Puente de Wheatstone

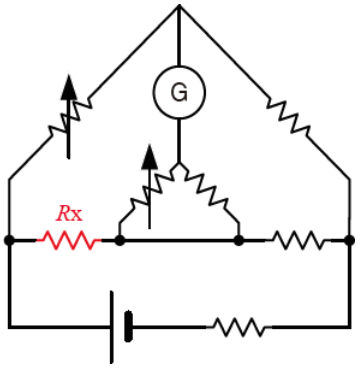


Figura 6 Puente doble Kelvin

- Método de caída de potencial

Este método, que también se conoce como el método del voltímetro-amperímetro, cobró importancia con el desarrollo de los circuitos electrónicos. La corriente I se mide con un amperímetro de alta precisión, y la tensión V se mide con un voltímetro. A continuación se puede calcular la resistencia mediante la ley de Ohm (R = V / I).

La figura 7 ilustra las conexiones utilizadas para medir la baja resistencia. En la medición de bajas resistencias, la componente de error debida a la caída de tensión provocada por el amperímetro puede resultar problemática. La tensión se detecta a través del objetivo de medición RX para que no se detecte la caída de tensión del amperímetro.

La figura 8 ilustra las conexiones utilizadas para medir la alta resistencia. En la medición de alta resistencia, la corriente de fuga que fluye hacia el voltímetro puede resultar problemática. Para evitar que esta corriente de fuga afecte a los resultados de la medición, el amperímetro se conecta en serie con el objetivo de medición RX, y el voltímetro mide la caída de tensión de RX, así como el amperímetro.

Los multímetros digitales (DMM) de alta precisión se utilizan como amperímetro y voltímetro en el método de caída de potencial, mientras que los instrumentos diseñados exclusivamente para la medición de la resistencia (conocidos como ohmímetros) integran ambas funciones en un único dispositivo. Los instrumentos diseñados para medir valores de resistencia inferiores a 1 kΩ constan de una fuente de corriente constante y un voltímetro para evitar fluctuaciones en la tensión detectada debido a factores como las fluctuaciones en la resistencia de los contactos. Por el contrario, el uso de una corriente constante para medir valores de resistencia elevados, de 1 MΩ o superiores, da lugar a una dispersión extremadamente larga

tiempos de carga de la capacitancia, por lo que es más conveniente utilizar un instrumento que conste de una fuente de tensión constante y un amperímetro. Los medidores LCR de uso general constan de una fuente de alimentación con una resistencia de salida del orden de decenas de ohmios junto con un amperímetro y un voltímetro, de modo que pueden acomodar una amplia gama de objetivos de medición.

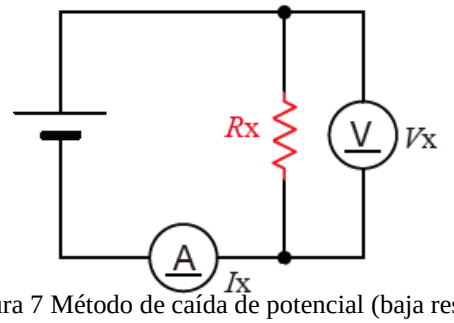


Figura 7 Método de caída de potencial (baja resistencia)

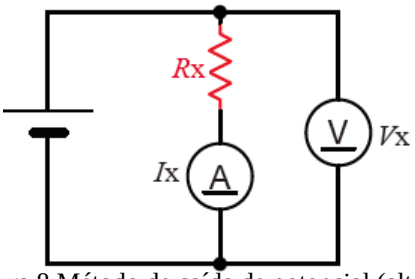


Figura 8 Método de caída de potencial (alta resistencia)

Referencia: Manual de Ingeniería Eléctrica, Instituto de Ingenieros Eléctricos de Japón

-2. Clasificación en función de la frecuencia de medición

La fuente de alimentación, el amperímetro y el voltímetro pueden utilizar una señal de CC (véase la figura 9) o una señal de CA (véase la figura 10). Los instrumentos de medición que utilizan el método de CC incluyen los multímetros digitales (DMM), los medidores de baja resistencia de CC y los medidores de resistencia de aislamiento, mientras que los que utilizan el método de CA incluyen los medidores LCR y los medidores de baja resistencia de CA.

En general, el método de CC permite realizar mediciones de mayor precisión. Además del hecho de que las fuentes de tensión de referencia, las resistencias de referencia y los amplificadores que componen los circuitos de medición pueden funcionar con un mayor nivel de estabilidad en el dominio de la CC, los patrones utilizados para calibrar los instrumentos de medición presentan una mayor precisión con las señales de CC. Además, gran parte de la corriente fluye hacia la capacitancia parásita cuando se mide la resistencia de aislamiento utilizando una señal de CA, lo que provoca un drástico deterioro de la precisión.

El método de CA se utiliza en aplicaciones en las que la medición mediante una señal de CC no es una opción. Por ejemplo, como no es posible hacer pasar una corriente continua a través de un condensador, la capacitancia (es decir, la impedancia del condensador) no puede medirse utilizando una corriente continua. Del mismo modo, el método de corriente alterna se utiliza en situaciones en las que hay fuerza electromotriz de corriente continua, por ejemplo, cuando se mide la resistencia interna de las baterías.

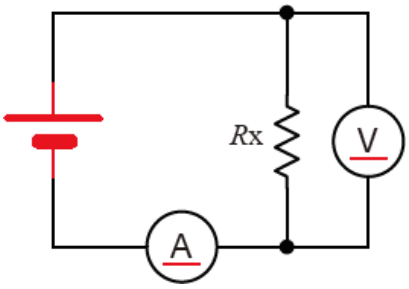


Figura 9 Método CC

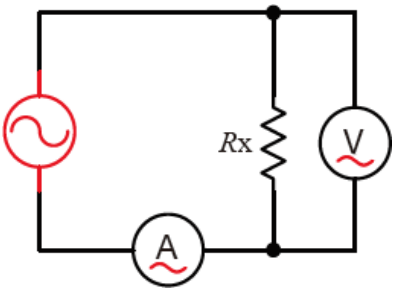


Figura 10 Método CA

3. Fuentes de error en la medición de la resistencia

Para medir la resistencia de forma estable, hay que abordar una serie de posibles impedimentos. Entre ellos se encuentran:

Efectos de la resistencia del cableado
Efectos de la fuerza electromotriz
Efectos del ruido térmico
Efectos de la corriente de fuga
Efectos de la absorción dieléctrica
Efectos del ruido de fricción Objetivos de medición delicados
Efectos del ruido externo
Efectos de la temperatura, la humedad y los movimientos del aire Método de sondeo

-1. Efectos de la resistencia del cableado

Para realizar una medición, es necesario cablear el instrumento de medición con el objetivo de medición. La tabla 1 ofrece un ejemplo de la resistencia del cableado. Dado que los cables de medición suministrados por los fabricantes de instrumentos de medición utilizan un cable AWG20 a AWG24, los valores de resistencia de ida y vuelta son del orden de cientos de miliohmios. Por lo general, se emplea cable de cobre, y éste presenta una dependencia de la temperatura del 0,4%/°C. En consecuencia, podemos concluir que es imposible mantener los efectos de la resistencia del cableado por debajo de 10 mΩ. La resistencia de contacto se produce donde las sondas de medición hacen contacto con el objetivo de medición. Si se utilizan sondas nuevas chapadas en oro y se presiona sobre ellas con suficiente fuerza, es posible mantener la resistencia de contacto por debajo de 1 mΩ. Sin embargo, dado que las superficies de las sondas se contaminan con soldadura, aceite, óxido, polvo y otras sustancias con el uso a lo largo del tiempo, no es raro que la resistencia de contacto supere 1 Ω al final de la vida útil de una sonda. Con objetivos de medición como la goma conductora, la resistencia de contacto puede incluso alcanzar o superar 1 kΩ.

En la configuración de medición de resistencia de dos cables ilustrada en la figura 11, los valores de resistencia de cableado (o resistencia de contacto) RC1 y RC2 se suman al valor de resistencia del objetivo de medición RX. Por las razones anteriores, sería difícil medir un valor de resistencia inferior a 1 Ω de forma estable utilizando este método de dos hilos.

Valor medido = RC1 + RX + RC4 cuando se utiliza el método de dos hilos.

El método de cuatro hilos ilustrado en la figura 12 puede utilizarse para reducir drásticamente el impacto de la resistencia del cableado. Normalmente, el voltímetro tiene una resistencia de entrada extremadamente alta, por lo que la corriente de medición no fluye hacia RC2 y RC3. La corriente de medición I fluye desde RC1 y desde RX a RC4. Como el voltímetro detecta la caída de tensión a través del objetivo de medición RX, la medición puede realizarse sin que se vea afectada por RC1 a RC4. Los óhmetros de alta precisión tienen una resistencia de entrada del voltímetro de 100 GΩ o superior.

Valor medido = RX cuando se utiliza el método de los cuatro hilos.

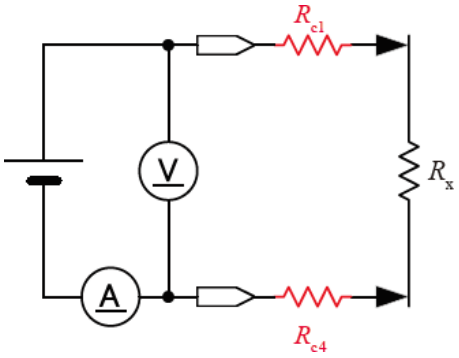


Figura 11 Medición de la resistencia a dos hilos

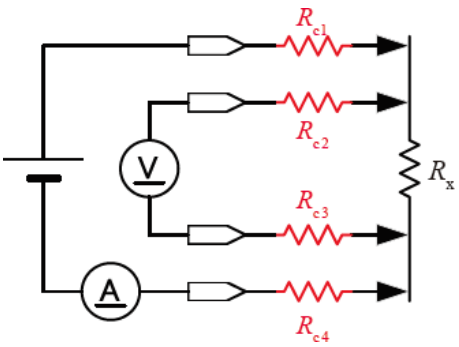


Figura 12 Medición de la resistencia a cuatro hilos

Tabla 1 Ejemplo de valores de resistencia para diferentes calibres de cable

AWG	sq	Resistance
AWG28	0.08sq	220mΩ/m
AWG26	0.12sq	140mΩ/m
AWG24	0.2sq	90mΩ/m
AWG22	0.3sq	58mΩ/m
AWG20	0.5sq	38mΩ/m
AWG18	0.75sq	23mΩ/m
AWG16	1.25sq	15mΩ/m

-2. Efectos de la fuerza electromotriz

➢ Error de medición

En la medición de resistencia, la corriente de medición IX fluye hacia el objetivo de medición RX, y se detecta la caída de tensión RXIX a través del objetivo de medición. Cuando existe una fuerza electromotriz en el trayecto a lo largo del cual se detecta esta tensión, el valor medido incluirá un componente de error (véase la figura 13). Algunos ejemplos de fuerza electromotriz son los siguientes:

- Fuerza electromotriz térmica
- Fuerza electromotriz de la batería
- La tensión de offset del voltímetro

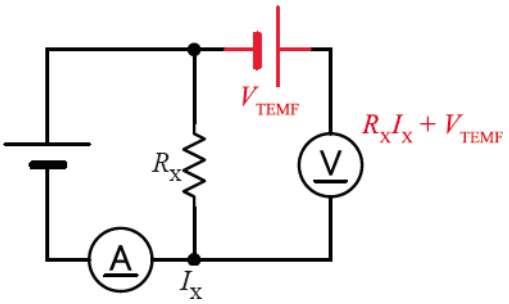


Figura 13 Adición de la fuerza electromotriz a una tensión continua detectada

La fuerza electromotriz se refiere a una diferencia de potencial que se produce en el punto de contacto entre dos metales diferentes (véase la figura 14). En concreto, se produce en los puntos en los que las sondas entran en contacto con el objetivo de medición, y en las conexiones entre los

instrumentos de medición y los cables de medición. La magnitud de la fuerza electromotriz varía con la temperatura del entorno de medición, aumentando la fuerza electromotriz a medida que aumenta la diferencia de temperatura. En general, las sondas de medición y los objetivos de medición están hechos de materiales diferentes, y el instrumento de medición y el objetivo de medición no están a la misma temperatura. Al sostener un objeto de medición, su temperatura aumenta, y el calor corporal de las manos también calienta las sondas. Incluso si tiene cuidado con estos efectos, sería extremadamente difícil limitar la fuerza electromotriz a 1 μV o menos. Además, cuando se utiliza un único relé estable para conmutar entre varios objetivos de medición, la bobina del relé calentará los contactos del mismo, generando una fuerza electromotriz de unos 10 μV en los contactos. Como ejemplo, un instrumento de medición que se utiliza para medir un objetivo de medición con un valor de resistencia real de 1 Ω con una fuerza electromotriz de 10 μV utilizando una corriente de medición de 1 mA indicaría el siguiente valor:

$$\frac{1\ \Omega \times 1\ \mathrm{mA} + 10\ \mu\mathrm{V}}{1\ \mathrm{mA}} = 1.01\ \Omega$$

Como puede ver, la lectura incluye un componente de error del 1% respecto al valor real de la resistencia.

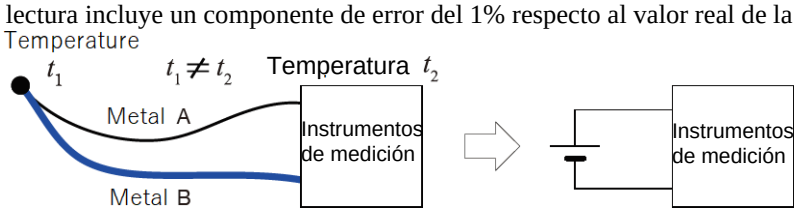


Figura 14 Generación de la fuerza electromotriz

Las tensiones de offset del voltímetro varían entre 1 μV y 10 mV. La tensión de offset del instrumento de medida puede excluirse mediante el uso regular de su función de ajuste a cero.

La resistencia interna (IR) es un indicador de la capacidad de una batería para suministrar corriente. La fuerza electromotriz que se produce al medir la resistencia interna de una batería no es proporcional a la fuerza electromotriz térmica (véase la figura 15). Las pilas secas tienen una fuerza electromotriz de 1,5 V, mientras que los módulos de baterías para vehículos eléctricos tienen una fuerza electromotriz del orden de cientos de voltios.

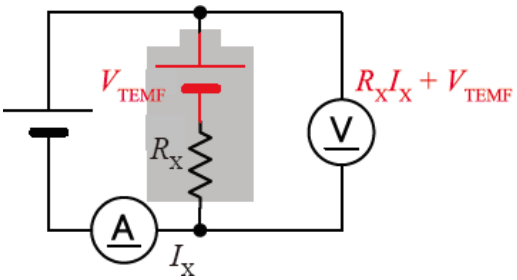


Figura 15 Efectos de la fuerza electromotriz de una batería

- Métodos para reducir la fuerza electromotriz

Para reducir los efectos de la fuerza electromotriz se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Aumentar la tensión de detección utilizando una gran corriente de medición
- Utilizar una señal de detección de CA

Si cambiamos la corriente de medición en el ejemplo anterior de fuerza electromotriz de 1 mA a 100 mA, la componente de error puede reducirse al 0,01%:

$$\frac{1\ \Omega \times 100\ \text{mA} + 10\ \mu\text{V}}{100\ \text{mA}} = 1.0001\ \Omega$$

Sin embargo, es necesario tener precaución ya que este cambio también someterá al objetivo de medición a la potencia dada por RI2.

Como se muestra en la figura 16, la solución fundamental es utilizar una señal de detección de CA. Se considera que tanto la fuerza electromotriz térmica como la fuerza electromotriz de la batería actúan como CC estable durante cortos periodos de tiempo del orden de varios segundos, y se pueden segregar por región de frecuencia utilizando una señal de detección de CA. Los instrumentos de medición con una función de compensación de la tensión de offset (OVC) pueden eliminar la fuerza electromotriz haciendo que la corriente de medición sea una forma de onda de pulso, que puede crearse por cualquiera de los dos métodos: encendiendo y apagando la corriente de medición, o invirtiendo la polaridad de la corriente de medición.

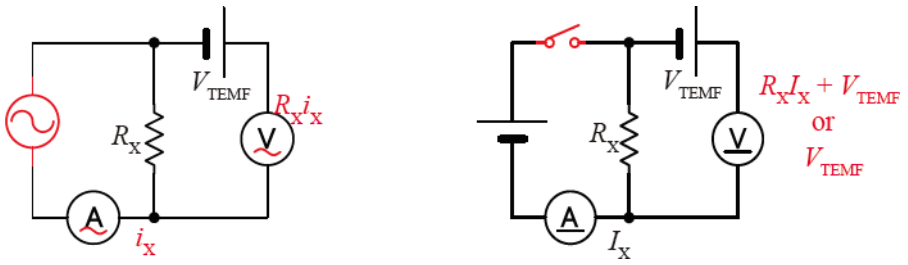


Figura 16 Uso de una señal de detección de CA

-3. Efectos del ruido térmico

Los objetos que tienen resistencia tienen ruido térmico en virtud de sus propiedades. La magnitud del ruido térmico vvTN viene dada por donde k es la constante de Boltzmann (1,3810-12 J/K), T es la temperatura absoluta, B es el ancho de banda y R es el valor de la resistencia.

$$vv_{TN} = \sqrt{4kTBR}$$

Al medir la resistencia, el ruido térmico vvTN se añade a la tensión detectada RXIX, como se muestra en la figura 17. La magnitud del ruido térmico con un tiempo de medición de 1 segundo es la siguiente: $vv_{TN} \approx 10\ \text{nV}_{PP}$ when R is 100 Ω.

vvTN ≈ 1 μV PP cuando R es de 1 MΩ.

vvTN ≈ 0,1 mV PP cuando R es de 10 GΩ.

Como se indica en la ecuación definitoria, el ruido térmico puede reducirse mediante los dos métodos siguientes:

- Aumentar la tensión detectada para que sea suficientemente mayor que el ruido térmico realizando una medición de alta tensión (alta corriente)
- Aumentar el tiempo de medición para reducir el ancho de banda B

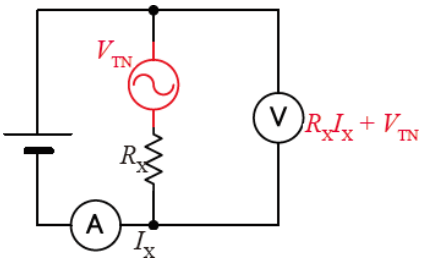


Figura 17 Efectos del ruido térmico

-4. Efectos de la corriente de fuga

Cuando la resistencia de entrada del voltímetro y la resistencia de aislamiento del cable de medición son bajas, la corriente fluye fuera del objetivo de medición, introduciendo otro componente de error (véase la figura 18).

- Resistencia de entrada del voltímetro

  La resistencia de entrada de un voltímetro típico es de 10 MΩ, aunque puede llegar a ser de unos 10 GΩ en algunos instrumentos. En las mediciones de alta resistencia en las que la resistencia de entrada del voltímetro puede resultar problemática, resulta eficaz insertar el amperímetro en un lugar en el que la corriente de fuga del voltímetro no tenga ningún efecto, como se muestra en la figura 8, o medir la corriente después de aplicar una tensión constante, como se muestra en la figura 19.

- Resistencia del aislamiento del cable

  La resistencia del aislamiento de un cable varía mucho en función del material utilizado y del grado de absorción de la humedad. La resistencia del aislamiento de los cables que se suelen utilizar varía de la siguiente manera:
  Resina de fluorocarbono (PTFE) > Polietileno (PE) > Cloruro de polivinilo (PVC) > Nylon (PA)

  Cuando se utilizan cables con aislamiento de cloruro de polivinilo para medir valores de resistencia elevados superiores a 1 GΩ, el contacto con los cables introducirá un gran error. Incluso si no hay contacto directo entre los cables, se puede introducir un componente de error igualmente grande al colocar los cables de bajo aislamiento sobre una alfombra conductora o un marco metálico o al sostenerlos en las manos. Para contrarrestar los problemas relacionados con la resistencia del aislamiento de los cables, es importante no sólo utilizar cables bien aislados, sino también proteger (apantallar) las líneas de detección de corriente (véase la figura 19). La entrada de corriente de fuga desde la resistencia de aislamiento RC al amperímetro puede evitarse dirigiéndola a la línea de protección. El uso de la protección es una forma muy eficaz de contrarrestar el ruido.

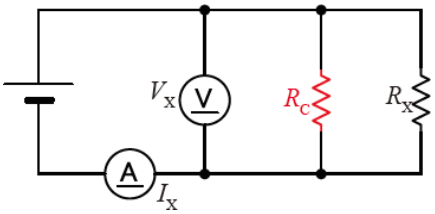


Figura 18 Efectos de la corriente de fuga

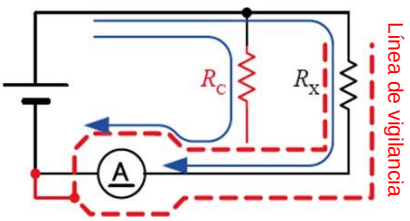


Figura 19 Tratamiento de la corriente de fuga

-5. Efectos de la absorción dieléctrica

Cuando se mide una resistencia alta, el valor medido puede seguir aumentando durante un periodo de tiempo que va desde decenas de segundos hasta varios minutos. Por ejemplo, considere una aplicación en la que se mide un condensador con una elevada constante dieléctrica utilizando cables revestidos con un aislamiento de cloruro de polivinilo. Una de las causas de este fenómeno es la corriente de absorción que se produce cuando las cargas del interior del aislante se polarizan a diferentes velocidades (véase la figura 20).

Cuando la causa es el cable, el problema puede resolverse utilizando cables con aislamiento de teflón o polietileno, que tienen una corriente de absorción menor. También es muy eficaz utilizar cables que protejan las líneas de detección de corriente. También es importante medir la corriente después de aplicar una tensión, como se ha descrito en el apartado anterior.

Cuando el propio objeto de medición tiene una alta absorción dieléctrica, como es el caso de un condensador de alto dieléctrico, la única opción es utilizar un tiempo de medición adecuadamente largo.

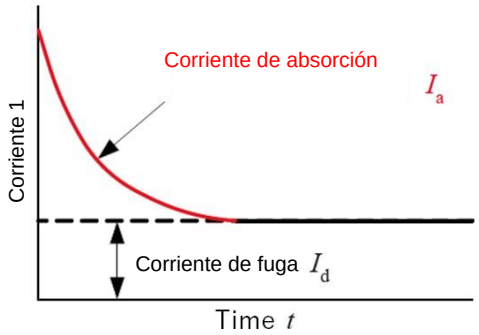


Figura 20 Cambio en la corriente de fuga debido a la absorción dieléctrica

Fuente: Namba, Noriyuki y Kaneko, Fumitaka (1980) Electrical materials, Science and engineering books

-6. Efectos del ruido de fricción

El simple hecho de mover ligeramente un cable de medición puede hacer que el valor medido fluctúe enormemente. Este fenómeno se debe a la electricidad estática resultante de la fricción entre el conductor del cable y su aislamiento. La carga generada por esta fricción fluye en forma de corriente hacia zonas de baja impedancia, como se muestra en la figura 21. Si la corriente inducida por la fricción fluye hacia la resistencia RX, se producirá la tensión de ruido RXIF, por lo que este fenómeno es especialmente pronunciado durante la medición de alta resistencia.

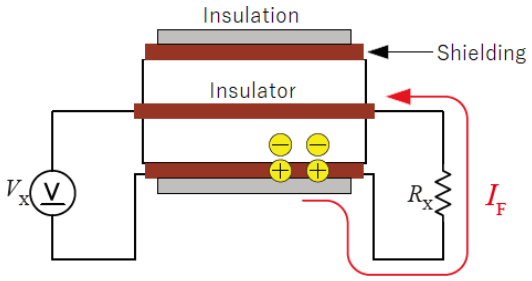


Figura 21 Generación de ruido de fricción

Para reducir el ruido de fricción, es necesario sobre todo evitar las vibraciones y las flexiones. Como medida relacionada con los cables, se puede añadir una capa semiconductora en el interior del apantallamiento, como se muestra en la figura 23. Al añadir una capa

semiconductora, se puede evitar que la capa de apantallamiento roce con la capa aislante, que tiene un gran efecto de carga por fricción, suprimiendo así la generación de ruido por fricción.

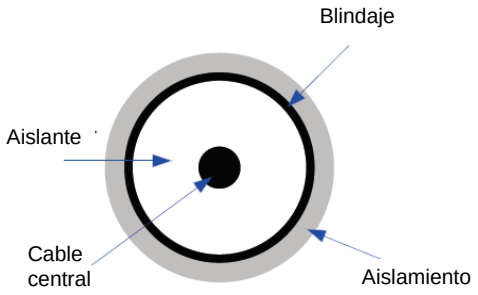


Figura 22 Cable apantallado normal

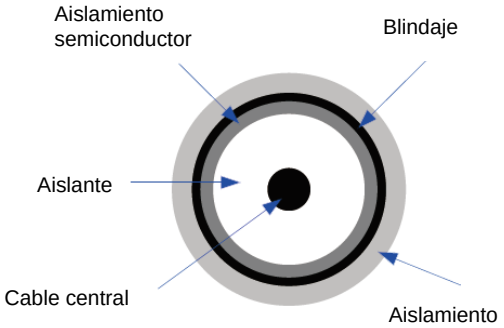


Figura 23 Ejemplo de cable de bajo ruido

La figura 24 compara el ruido de un cable con aislamiento de polietileno con el de un cable de bajo ruido cuando cada uno se dobla como se ilustra en el cableado mostrado en la figura 21. Dado que el extremo del cable está terminado con 100 MΩ, la corriente causada por la fricción debería ser aproximadamente igual a la tensión generada dividida por 100 MΩ. Mientras que el cable de polietileno estándar transporta una corriente de ruido de 200 pA a 300 pA, prácticamente no se observa ruido en el cable de bajo ruido.

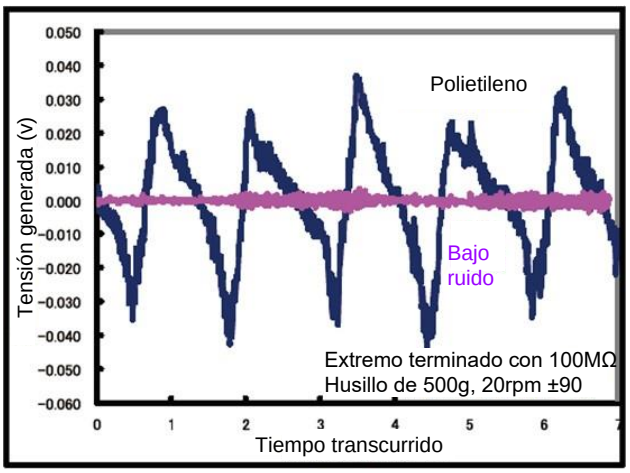


Figura 24 Ruido de fricción cuando se doblan los cables

-7. Objetivos de medición delicados

Dado que las características de componentes como los elementos de magnetorresistencia (elementos MR) utilizados en los cabezales de los discos duros, los contactos de señal, las perlas de ferrita utilizadas para contrarrestar la EMI y los infladores de los airbags varían en respuesta a ligeras corrientes y voltajes de medición, se requiere un cuidado especial durante la medición de estos componentes.

Una pequeña unidad de disco duro de 3,5 pulgadas puede almacenar 1 terabyte de datos en forma de información magnética que es leída por un elemento de RM que tiene una potencia admisible del orden de los microvatios. Por esta razón, medir el componente con una corriente superior a 1 mA podría dañar fácilmente el elemento.

La contaminación en los contactos de la señal (que consiste en películas de óxido y otros contaminantes) se destruye fácilmente con tensiones superiores a 100 mV. Por esta razón, la medición de contactos degradados que han sido utilizados durante un largo período de tiempo con un alto voltaje puede hacer que incluso los contactos defectuosos que están cerca de un estado aislado muestren continuidad, dando un resultado de paso erróneo (véase la figura 25).

Las bolas de ferrita utilizadas para contrarrestar el ruido en las líneas de señal no fallan con corrientes de unos 100 mA. Sin embargo, una corriente del orden de decenas de miliamperios magnetizará el material magnético que contienen, cambiando sus características de impedancia. Y el iniciador de un inflador de airbag generará chispas si se somete a una corriente superior a 100 mA.

Para medir elementos como éstos, se utiliza un instrumento de medición cuya tensión cuando las sondas no están conectadas al objetivo de medición (conocida como su tensión de circuito abierto) está limitada a 20 mV en una técnica conocida como prueba de circuito seco.

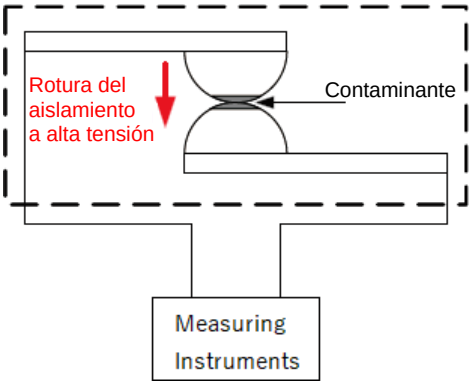


Figura 25 Medición de contactos de señal contaminados con una alta tensión

-8. Efectos del ruido externo

El ruido puede clasificarse como se muestra en la figura 26. Esta sección se centrará en el ruido inductivo y el ruido conductivo, que suelen causar problemas en la práctica.

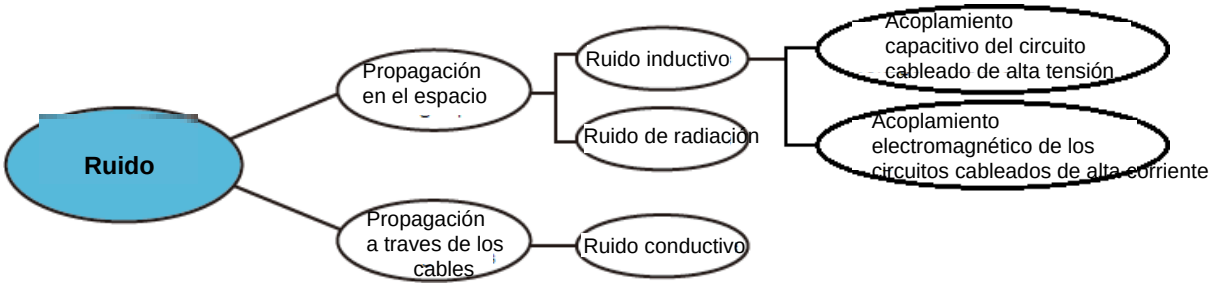


Figura 26 Tipos de ruido

(1) Efectos del ruido inductivo

Los componentes como los cables de alimentación, las bombillas fluorescentes, las electroválvulas y las pantallas de los ordenadores emiten grandes cantidades de ruido. Las siguientes fuentes de ruido pueden afectar a la medición de la resistencia:

- Acoplamiento capacitivo de circuitos cableados de alta tensión
- Acoplamiento electromagnético de circuitos cableados de alta corriente

a. Acoplamiento capacitivo de circuitos cableados de alta tensión

La cantidad de corriente que fluye desde un circuito cableado de alta tensión puede variar enormemente dependiendo de la capacitancia acoplada. Como ejemplo, se induciría una corriente de unos 38 nA si una línea eléctrica comercial de 100 V y el cableado utilizado en la medición de la resistencia sufrieran un acoplamiento capacitivo a 1 pF.

$$\mathrm{I} = \frac{V}{Z} = 2\pi \cdot 60\ \mathrm{Hz} \cdot 1\ \mathrm{pF} \cdot 100\ \mathrm{V_{rms}} = 38\ \mathrm{nA_{rms}}$$

Cuando se mide una resistencia de 1 Ω con una corriente de 100 mA, el efecto de este fenómeno es sólo de aproximadamente 0,4 ppm y puede ignorarse con seguridad. Sin embargo, cuando se mide una resistencia de 1 MΩ con una corriente de 10 µA, el efecto alcanza el 0,38%. De esta manera, se debe tener precaución con respecto al acoplamiento capacitivo de los circuitos cableados de alta tensión durante la medición de alta resistencia. Tenga en cuenta que el apantallamiento electrostático del cableado y de los objetivos de medición es una contramedida eficaz (véase la figura 27).

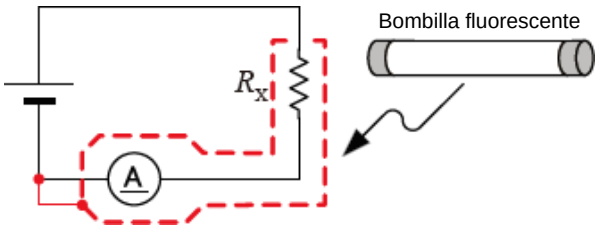


Figura 27 Blindaje electrostático cerca del cableado de alta tensión

b. Acoplamiento electromagnético de los circuitos cableados de alta corriente

Los circuitos cableados de alta corriente generan un campo magnético. Los transformadores con un gran número de espiras y las bobinas de choque emiten campos magnéticos aún más fuertes. La tensión inducida por estos campos magnéticos se ve afectada por la distancia y la superficie, pero se inducirá una tensión de aproximadamente 0,75 µV en una espira de 10 cm2 situada a 10 cm de un cable de alimentación comercial de 1 A.

$$\nu\nu = \frac{d\Phi\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{\mu_0 IS}{2\pi r}\right) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \cdot}{r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60\ \mathrm{Hz} \cdot 0.001\ \mathrm{m^2} \cdot 1\ \mathrm{A_{rms}}}{0.1\ \mathrm{m}} = 0.75\ \mu\mathrm{V_{rms}}$$

Al medir una resistencia de 1 mΩ con una corriente de 1 A, el efecto de este fenómeno es del 0,07%. Cuando se realiza una medición de alta resistencia, las tensiones de detección más altas hacen que, en general, no resulte problemático. Entre los medios eficaces para minimizar los efectos del acoplamiento electromagnético se encuentran la segregación de las líneas que emiten ruido de los cables de detección de tensión utilizados en la medición de resistencia y el trenzado de cada uno de ellos (véase la figura 28).

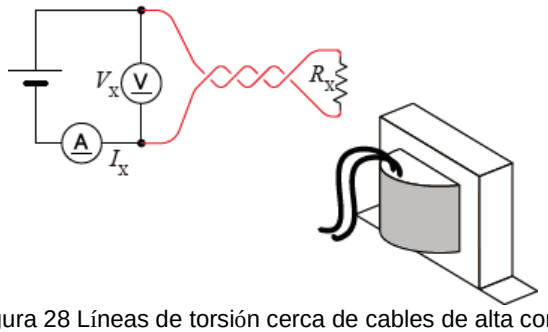


Figura 28 Líneas de torsión cerca de cables de alta corriente

(1) Efectos del ruido conductivo

El ruido conductivo se desplaza por una vía distinta a la del ruido inductivo, que se superpone a los objetivos y cables de medición. El ruido conductivo se refiere al ruido que se superpone a las líneas de alimentación y a las líneas USB u otras líneas de control.

Las líneas eléctricas están conectadas a varios tipos de equipos, como motores, soldadores e inversores. Mientras estos aparatos están en funcionamiento y cada vez que se ponen en marcha y se paran, fluye un gran pico de corriente hacia la fuente de alimentación. Este pico de corriente y la impedancia del cableado en las líneas de alimentación provocan un gran pico de tensión en las líneas de alimentación y en las líneas de tierra de la fuente de alimentación que tiene el potencial de afectar a los instrumentos de medición.

Del mismo modo, se puede inyectar ruido en el circuito de medición desde las líneas de control de un controlador. El ruido de la fuente de alimentación del controlador y el ruido emitido por componentes como el convertidor CC-CC dentro del controlador pueden perturbar un instrumento de medición a través de su cableado USB o de E/S externas (véase la figura 29).

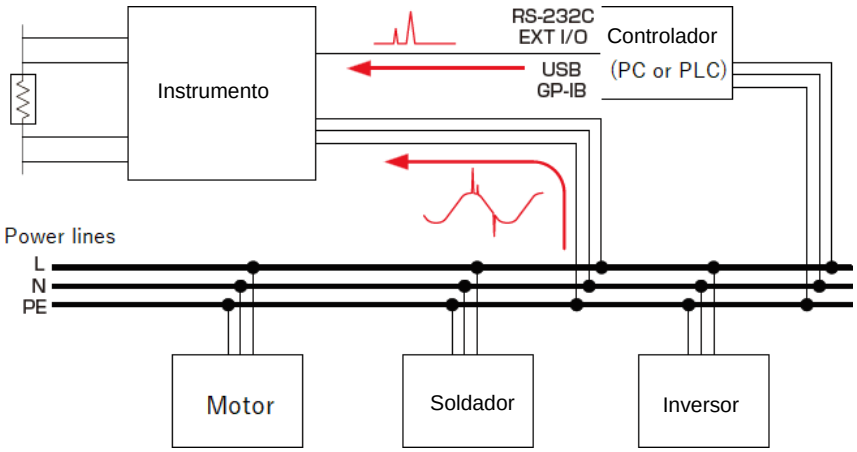


Figura 29 Invasión de ruido conductivo

Las siguientes medidas, ilustradas en la figura 30, son efectivas una vez que se ha identificado el camino por el que el ruido está invadiendo el circuito de medición:

a) Separe las líneas de alimentación.
   Es conveniente que los equipos de potencia, soldadores y dispositivos similares sean alimentados por un circuito diferente al del instrumento de medida.
b) Añada un filtro de modo común (estrangulador EMI) a la vía por la que el ruido accede al circuito.
   Utilice un filtro de modo común con una impedancia lo más alta posible. Cuantos más añada, más eficaces serán.
c) Aislar las líneas.
   Es muy eficaz aislar ópticamente las líneas de control. También es eficaz aislar las líneas de alimentación con un transformador de corte de ruido. Sin embargo, tenga en cuenta que si utiliza una línea de tierra común a ambos lados del aislamiento, la eficacia de esta medida disminuirá.

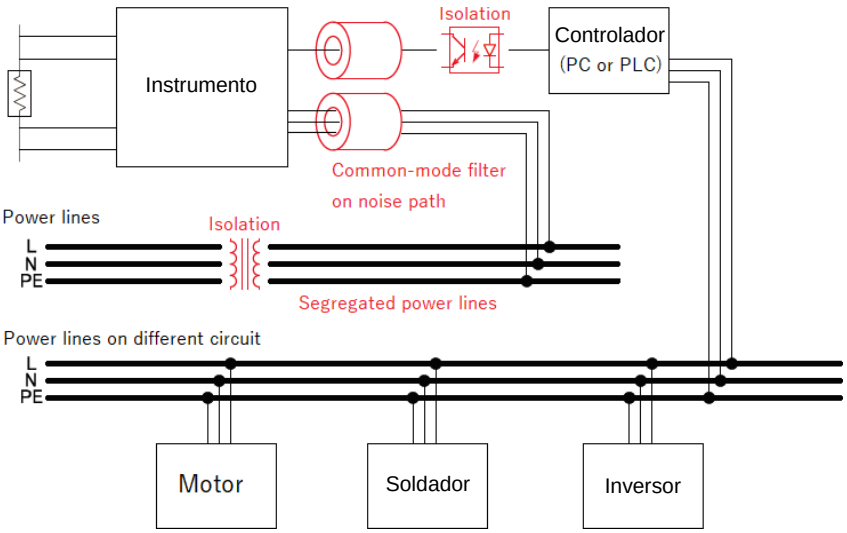


Figura 30 Contramedidas contra el ruido conductivo

-9. Efectos de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire

Cuando se requiere un alto grado de precisión en la medición, es necesario prestar atención también al entorno de medición.

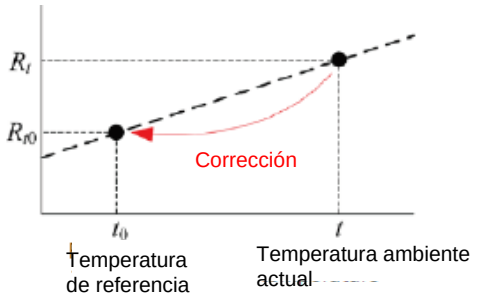
(1) Efectos de la temperatura

El cableado de cobre utilizado en motores, transformadores, solenoides y otros dispositivos presenta una dependencia de la temperatura de aproximadamente 0,4%/°C, lo que significa que los valores medidos obtenidos durante el verano y el invierno diferirán entre un 5% y un 10%. Cuando se miden valores de resistencia con dependencia de la temperatura, como los del hilo de cobre, se utiliza una técnica conocida como corrección de la temperatura para corregir los valores medidos a valores de resistencia para una temperatura específica (la temperatura de referencia). También es necesario gestionar la resistencia del hilo de bobinado utilizando valores corregidos por la temperatura para poder utilizar el mismo criterio de juicio al enviar y recibir los productos.

Los medios de medición de la temperatura utilizados en el proceso de corrección de la temperatura incluyen bombillas de resistencia de platino, termopares y termómetros de radiación que miden directamente la temperatura del objetivo de medición.

$$R_t = R_{t0} \times \{1 + \alpha_{t0} \times (t - t_0)\}$$

R_t Valor de resistencia observado [Ω]
R_{t0} Valor de resistencia corregido [Ω]
t_0 Temperatura de referencia [℃]
t Temperatura ambiente actual [℃]
α_{t0} Coeficiente de temperatura a t_0 [1/℃]



(2) Efectos de los movimientos aéreos

Si las constantes de tiempo térmico del objetivo de medición y del termómetro difieren, el movimiento del aire, por ejemplo de un acondicionador de aire, hará que el valor indicado por el termómetro difiera de la temperatura del objetivo de medición, como se muestra en la figura 31. Por esta razón, es posible que no se puedan obtener los beneficios esperados de la corrección de la temperatura cuando se mide un transformador grande.

Además, la fuerza electromotriz térmica causada por los movimientos del aire será inestable cuando se realicen mediciones con tensiones minúsculas.

En ambos casos, es necesario tener en cuenta la necesidad de limitar las variaciones de temperatura bloqueando los movimientos de aire.

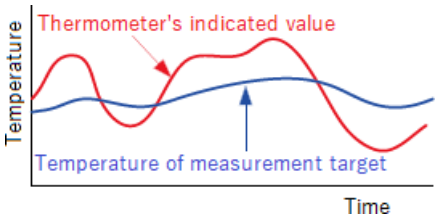


Figura 31 Cuando la constante térmica del objeto de medición es grande

(3) Efectos de la humedad

La humedad es el enemigo cuando se miden grandes valores de resistencia superiores a 1 MΩ. Las fugas pueden producirse a través de diversas vías, como la propia superficie del objeto de medición (véase la figura 32), los conectores (véase la figura 33) y los cables. Es necesario tener cuidado cuando se utilizan conectores de nylon debido a la necesidad de resistencia a las llamas o cables de cloruro de polivinilo debido a la necesidad de resistencia a la intemperie.

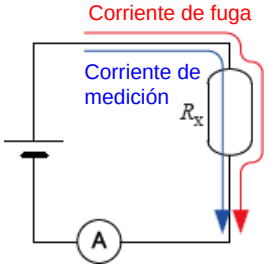


Figura 32 Fuga a través de la superficie del objeto de medición

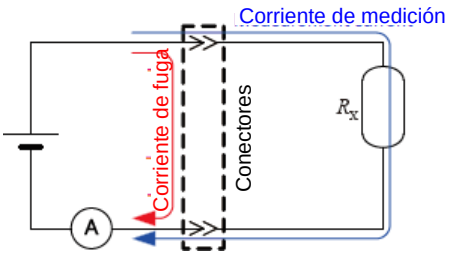


Figura 33 Fuga del conector

-10. Métodos de sondeo

Cuando el objetivo de la medición es un objeto con anchura y grosor, por ejemplo una placa o un bloque, o una resistencia de detección de corriente (resistencia de derivación) con una resistencia inferior a 100mΩ, resulta difícil obtener una medición precisa utilizando cables de tipo clip o pin. El uso de dichos cables puede hacer que los valores medidos varíen en varios puntos porcentuales hasta varias decenas de puntos porcentuales dependiendo de la presión y el ángulo de contacto. Por ejemplo, los valores medidos variaron de la siguiente manera en un intento de medir una placa metálica con dimensiones de 300 (W) × 370(L) × 0,4(t) mm:1.1mΩ when using 0.2 mm pitch pin-type leads.

De 0,92 mΩ a 0,97 mΩ cuando se utilizan cables tipo pin de 0,5 mm de paso.

De 0,85 mΩ a 0,95 mΩ cuando se utilizan cables tipo clip.

Además, debido a que los valores de resistencia para las resistencias de detección de corriente se definen para los componentes cuando están montados en una placa de circuito impreso, la realización de mediciones con un cable tipo pin en los terminales de dicho componente no dará el valor de resistencia deseado. Este fenómeno no se debe a factores como la resistencia de contacto entre la sonda y el objetivo de medición, sino a la distribución de la corriente en el objetivo de medición.

La figura 34 muestra un ejemplo de trazado de líneas equipotenciales para una placa metálica. La densidad de corriente es mayor cuando los intervalos entre las superficies equipotenciales están más cerca y menor cuando están más separadas, lo que refleja la relación entre el viento y los gráficos de distribución de la presión utilizados en la previsión meteorológica. La figura ilustra cómo el gradiente de potencial varía significativamente cerca del punto en el que se inyecta la corriente. Esta variación se debe al hecho de que la corriente está en proceso de propagarse hacia la placa metálica, aumentando la densidad de corriente en esa zona. Por esta razón, cuando los terminales de detección de tensión se colocan cerca del punto en el que se inyecta la corriente, los cambios mínimos en la posición del contacto se asocian con cambios significativos en el valor medido.

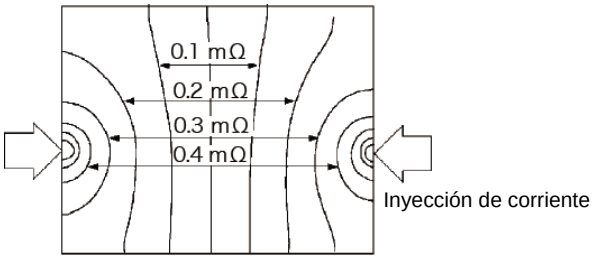


Figura 34 Líneas equipotenciales en una placa metálica

(300 [W] × 370 [L] × 0.4 [t] mm)

*Las líneas de equipotencial se trazaron cada 50 μV después de inyectar una corriente de 1 A en los puntos finales.

Para evitar este tipo de efecto, es conveniente detectar la tensión en una posición situada dentro de los puntos de inyección de corriente. En general, la distribución de la corriente se habrá uniformado en los puntos que se encuentran dentro de los puntos de inyección de corriente por un factor de al menos 3 veces la anchura (W) o el grosor (t) del objetivo de medición. Como se muestra en la figura 35, es deseable que los terminales de detección se sitúen al menos 3W o 3t dentro de los terminales de la fuente.

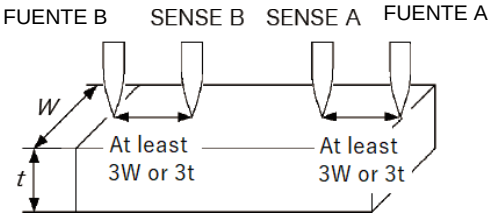


Figura 35 Ubicaciones de sondeo para un objetivo de medición que es ancho o grueso

Septiembre, 31
28022 - Madrid
Tlf; 913000191
Email:idm@idm-instrumentos.es
Web: www.idm-instrumentos.es