

Impedanzmessung - Grundlegende Messmethoden



Bild 1: Hioki LCR-Meter IM3523

Die Impedanz ist eine wichtige Größe in der Elektrotechnik, sobald Wechselspannungen im Spiel sind. Die passiven Bauelemente Spule (Induktivität/L), Kondensator (Kapazität/C) und ohm'scher Widerstand gehören zum Grundbakasten jeder Schaltung und ihre Spezifizierung und Prüfung sind enorm wichtig. Aber auch die Impedanz von Leitungen, Batterien und ganzen Baugruppen ist je nach Anwendung von großer Bedeutung.

Impedanz-Analysator und LCR-Meter

Es gibt einen kleinen, feinen Unterschied zwischen diesen beiden Messgeräten. Viele Hersteller bieten neben Impedanz-Analysatoren auch dediziert LCR-Meter an.

LCR-Meter

Ein LCR-Meter verwendet üblicherweise einen festen Satz an Test-Frequenzen und Test-Spannungen, um feste Kenngrößen wie L, C und R zu ermitteln und numerisch anzuzeigen. Sinn und Zweck ist, die elektronischen Bauelemente Spule, Kondensator und Widerstand in Abhängigkeit von einer bestimm-

ten Frequenz in ihren elektronischen Eigenschaften zu charakterisieren, zu prüfen und zu klassifizieren. Zudem können Entwickler von Baugruppen wie Schwingkreisen oder Filtern die verwendeten Bauteile mit der interessierenden Frequenz prüfen.

Impedanz-Analysator

Ein Impedanz-Analysator dagegen kann zusätzlich Frequenzbereiche dynamisch per Sweep durchlaufen („wobbeln“). Die Impedanz-Parameter können damit nicht nur als feste Werte numerisch, sondern als Kurven grafisch dargestellt werden. Die Übergänge zwischen den Gerätetypen sind jedoch fließend, da manche LCR-Meter mit vielen Testfrequenzen arbeiten. Die somit ermittelten vielen Parameter können dann zu einer Kurve interpoliert werden. Umgekehrt können Impedanz-Analysatoren ähnlich einem LCR-Meter mit einer festen Frequenz feste Impedanz-Parameter ermitteln.

Was ist Impedanz?

Unter der Impedanz versteht man in der Elektrotechnik den Wechselstrom-Widerstand. So wie der

Gleichstrom-Widerstand (nach dem Ohm'schen Gesetz $R = U / I$) gibt auch die Impedanz bei einem zweipoligen Netzwerk-Element das Verhältnis von Spannung zu Stromstärke an. Der Unterschied zwischen Gleich- und Wechselgrößen entsteht, weil bei Wechselgrößen zwischen Spannung und Strom eine Phasenverschiebung bestehen kann. Neben dem rein Ohm'schen Widerstand R wirken im Wechselstromkreis auch Induktivitäten (L , Spulen) und Kapazitäten (C , Kondensatoren). Diese sorgen für eine Phasenverschiebung, weil durch ihre Wirkung der Strom gegenüber der Spannung „vorauselt“ (C) oder sich „verspätet“ (L). Dadurch ist der Wechselstrom-Widerstand eine komplexe Größe. Sie setzt sich zusammen aus einem Realteil (d. h. dem Anteil der Impedanz, an dem keine Phasenverschiebung auftritt) und einem Imaginärteil (d. h. dem Anteil, an dem eine Phasenverschiebung auftritt). Der Betrag der komplexen Impedanz ist der Scheinwiderstand.

In der Praxis messen Impedanz-Messgeräte die Impedanz oder den Widerstand gegen den Fluss eines Wechselstroms (AC). Schließt man ein elektrisches Gerät, zum Beispiel einen E-Motor, an eine Wechselstrom-Quelle an, so fließt Strom durch die Schaltkreise des Geräts. Die Impedanz wird berechnet, indem die Spannung in einem solchen Stromkreis durch ihren Strom dividiert wird. Kurz gesagt, die Impedanz kann als Begrenzung des Stromflusses in einem Wechselstromkreis beschrieben werden. Die Impedanz wird durch das Symbol „Z“ dargestellt und wie der Gleichstrom-Widerstand in Ohm (Ω) gemessen. Je höher die Impedanz, desto mehr Widerstand besteht gegen den Stromfluss.

Wie werden Widerstand und Impedanz gemessen?

Die meisten modernen Digital-Multimeter beherrschen heute, neben Spannungs- und Strommessung, auch die Gleichstrom-Widerstandsmessung. Genaugenommen wird der Widerstandswert allerdings nicht selbst gemessen, sondern



Autor:

Ernst Bratz

Meilhaus Electronic

www.meilhaus.com

unter Verwendung von

Bildmaterial und Informationen

von Hioki



Bild 2: Hioki Impedanz-Analysator IM3570

berechnet. Denn Digital-Multimeter messen als Basisgröße zunächst einmal nur Spannung. Nach dem ohmschen Gesetz

$$\text{Widerstand} = \text{Spannung} / \text{Strom}$$

$$R = U / I$$

kann der elektrische Widerstand ermittelt werden, indem man an diesen Widerstand einen bekannten Strom anlegt und die Spannung misst. Dazu haben Digital-Multimeter eine DC-Konstantstromquelle. Aus dem bekannten Strom und der gemessenen Spannung wird nun der Widerstand berechnet und angezeigt.

Zu den Instrumenten, die die Impedanz messen können, gehören wie schon beschrieben, LCR-Messgeräte und Impedanz-Analysatoren. Es gibt eine Reihe von Methoden, mit denen die Impedanz gemessen werden kann:

Bridge-Methode

Diese Methode verwendet eine Brückenschaltung, um einen unbekannten Widerstand zu berechnen. Dies erfordert, dass die Balance-Einstellung mit einem Galvanometer durchgeführt wird. Obwohl die Technik ein hohes Maß an Genauigkeit bietet (etwa 0,1 %), ist sie nur schlecht für Hochgeschwindigkeitsmessungen geeignet.

I-V-Methode

Diese Methode berechnet die Impedanz, indem die Spannungen über einen Stromdetektions-Widerstand und eine unbekannte Impedanz gemessen werden. Es kann auch verwendet werden, um Prüflinge zu messen, die geerdet sind.

Mit steigender Impedanz wird die Technik allerdings immer anfälliger für die Einflüsse des Voltmeters.

RF I-V-Methode

Diese Methode verwendet das gleiche grundlegende Messprinzip wie die I-V-Methode. Es ermöglicht die Messung der Hochfrequenz-Impedanz durch die Verwendung einer Schaltung, die der charakteristischen Impedanz eines Hochfrequenz-Koaxial-Kabels und eines Hochfrequenz-Koaxial-Steckverbinders entspricht. Es ist schwierig, diese Technik für die Breitbandmessung zu verwenden, da das Messfrequenzband durch den Transformator des Prüfkopfes begrenzt ist.

Automatisch ausbalanciertes Brückenverfahren

Diese Methode verwendet das gleiche grundlegende Messprinzip wie die Brückenmethode. Es deckt ein breites Frequenzband (1 mHz bis 100 MHz) ab. Diese Abdeckung erstreckt sich jedoch nicht auf hohe Frequenzen. Viele LCR-Messgeräte verwenden diese Technik.

Jede dieser Methoden bietet ihre eigenen Vor- und Nachteile. Es empfiehlt sich, vor der Auswahl der Messmethode klar zu definieren, welche Art von Impedanz gemessen werden soll.

Verwendung eines Impedanz-Messgeräts

Die Methoden zur Messung der Impedanz variieren mit dem verwendeten Gerät. Das LCR-Messgerät IM3523 von Hioki (Bild 1) kann beispielsweise die Impedanz mit hoher Genauigkeit über

einen weiten Bereich von Messfrequenz-Einstellungen messen. Neben der normalen Messung misst dieses Gerät kontinuierlich und schnell verschiedene Parameter unter verschiedenen Bedingungen (Messfrequenz und Signalpegel). Der Anwender kann zur Vereinfachung der Bedienung bis zu 60 Sätze von Messbedingungen und bis zu 128 Korrekturwerte für Offen-/Kurzschluss- und Kabellängen-Korrektur speichern. Gruppen von Einstellungen werden schnell gleichzeitig geladen, um die Arbeitseffizienz zu verbessern. Darüber hinaus können mit den externen Steuerterminals des Geräts schneller automatisierte Testlinien erstellt werden.

Ursachen für Instabilität bei der Impedanzmessung

Abhängig von der verwendeten Messmethode geben Impedanz-Messgeräte unter Umständen bei jeder Messung einen anderen Wert zurück. Wenn sich die Messwerte eines Impedanz-Messgeräts nicht stabilisieren lassen, sollte Folgendes überprüft werden:

Parasitäre Bestandteile der zu messenden Komponenten

Zusätzlich zu den Auslegungswerten für Widerstand und Reaktanz haben Bauteile auch parasitäre Komponenten, die eine Variabilität der Messwerte verursachen. Schon Unterschiede in der Länge der mit Bauteilen verbundenen Leitungen und dem Abstand zwischen ihnen können zum Beispiel zu Abweichungen der Messwerte führen.

Messumgebung

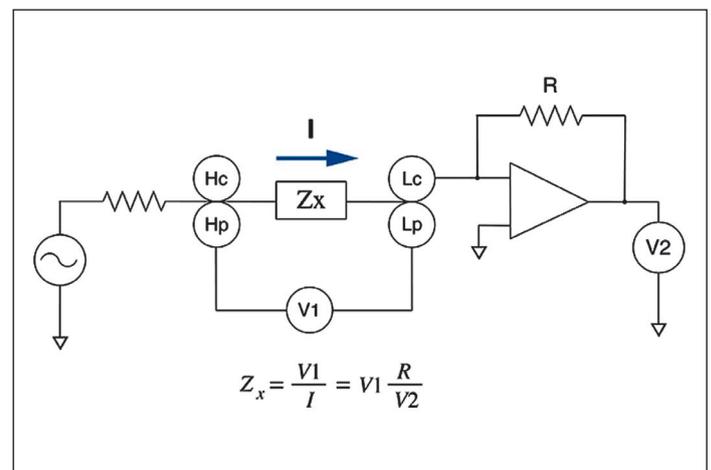
Die Ergebnisse der Impedanzmessung werden durch eine Vielzahl von Bedingungen beeinflusst, darunter auch die Temperatur nicht nur der Widerstände, sondern auch von Kondensatoren und Induktivitäten sowie der Sondenkapazität und der Streukapazität. Daher ist eine stabile, konsistente Messumgebung nötig sowie optimalerweise die Mittelung mehrerer Messungen, anstatt nur eine einzige Messung zur Bestimmung des Wertes zu verwenden.

DC-Bias-Spannung

DC-Bias-Spannung ist eine winzige Spannung, die in Messgeräten und Schaltkreisen auftritt. Zum Beispiel wirkt sie, wenn die Sonde und der Draht aus verschiedenen Materialien bestehen. Die resultierende thermische elektromotorische Kraft verursacht diese Spannung.

Zusammenfassung

Die Impedanz quantifiziert den Widerstand gegen einen Wechselstrom, und seine Messung erfordert ein spezielles Instrument. Da es eine Vielzahl von Messmethoden gibt, ist es wichtig, die beste Methode basierend auf dem Einsatzbereich und den Vor- und Nachteilen jeder Methode auszuwählen. Die Impedanzmessung ist äußerst empfindlich und anfällig für Schwankungen aufgrund von Faktoren wie Frequenz, Messumgebung und DC-Vorspannung. Diese Eigenschaft erfordert spezielle Vorgehensweisen wie die Mittelung mehrerer Messungen, anstatt sich auf nur eine Messung zu verlassen. ◀



$$Z_x = \frac{V_1}{I} = V_1 \frac{R}{V_2}$$

Bild 3: Automatisch ausbalanciertes Brückenverfahren