Mit der 4-Draht-Messung Qualität und Zuverlässigkeit von Kabeln verbessern

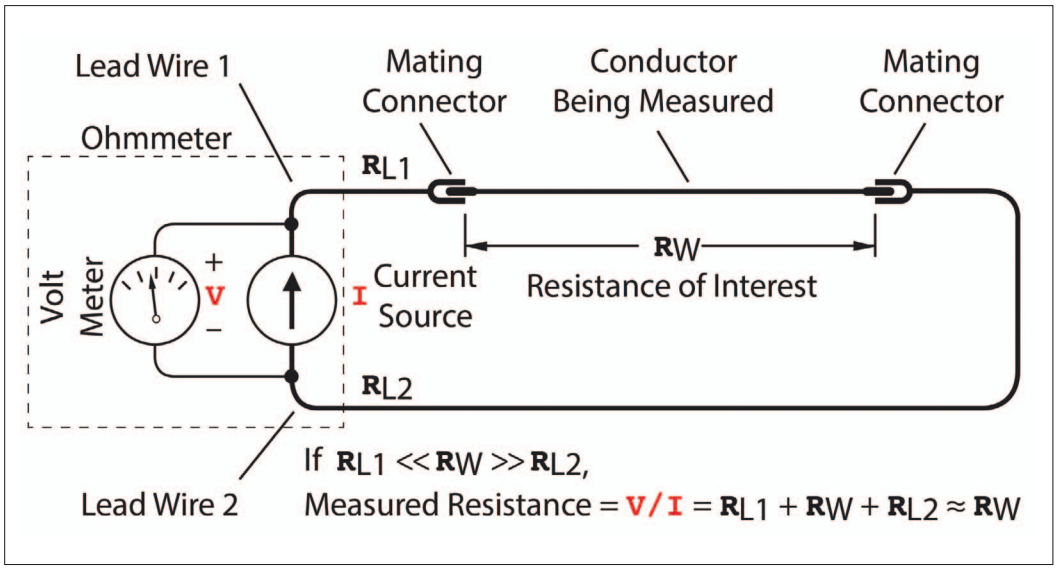
Ein How-to-Guide

Durch die Vier-Draht-Kelvin-Messung lassen sich Widerstandswerte von unter 0,1 Ohm genau messen, indem der Eigenwiderstand der Zuleitungsdrähte, die das Messgerät mit dem zu messenden Bauteil verbinden, eliminiert wird. Eine qualitativ hochwertige Digital Multimeter (DMM)-Testleitung von 24 Zoll Länge mit Bananensteckern an beiden Enden weist normalerweise einen natürlichen Widerstand von etwa 0,1 Ohm auf. Bei der Verwendung zweier solcher Kabel, die an den Prüfling angeschlossen sind, kann man davon ausgehen, dass mindestens 0,2 Ohm des Messwertes von den Messleitungen allein beigesteuert werden. Darüber hinaus führt die geringste Verschmutzung des Bananensteckers, sei es durch Fingerabdrücke, Staub oder Korrosion, zu einem zusätzlichen Widerstand. Ebenso lassen verbogene Leitungsdrähte oder Stecker den gemessenen Wert variabel erscheinen.

Präzise niederohmige Widerstandsmessungen sind erforderlich, wenn z. B. Kabel getestet werden, die hohen Strom führen sollen, oder wenn in medizinischen und militärischen Anwendungen besondere Zuverlässigkeit gewährleistet sein muss. Bei Kabeln, die einer Übertragung von Strom in Wechselstromverteilern oder Funksendern dienen, besteht durch niederohmige Verbindungen, die zu hochohmig sind, die reelle Gefahr von Feuer oder Explosion. Obwohl Kabel, die beispielsweise in medizinischen Anwendungen verwendet werden, keinen nennenswerten Strom führen, können unsichere Verbindungen zu hauchdünnen Drähten, die einen Monitor mit hochpräzisen Sensoren verbinden, zu lebenskritischen Messfehlern oder zu Fehlfunktionen der Schaltung führen.

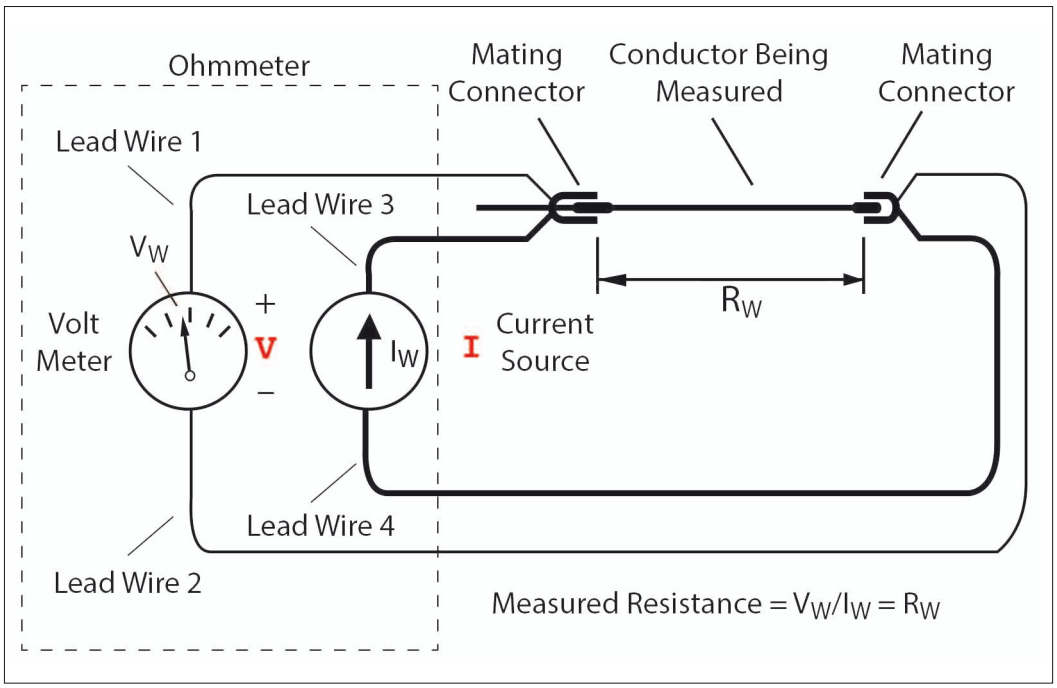
Was ist eine 4-Draht-Messung?

Das Ohmsche Gesetz definiert den Widerstand R als das Verhältnis der Spannung U auf einer Komponente zu dem durch sie hindurchfließenden Strom I: R = U/I. Um den Widerstand zu messen, wird Teststrom an einen Draht gelegt und der folgende Spannungsabfall ermittelt. Daraus wiederum wird



Autor:
Ernst Bratz, Marketingleiter bei Meilhaus Electronic
Nach Unterlagen von CAMI Research Inc

Meilhaus Electronic GmbH
www.meilhaus.de



der Widerstand, wie in Bild 1 dargestellt, berechnet.

Gemessen wird der Widerstand, RW, zwischen den beiden kompatiblen Pins des Leiters. Allerdings ist in der Schaltung auch der Widerstand der Leitungsdrähte RL1 und RL2 enthalten, so dass der Spannungsabfall, der bei der Berechnung verwendet wird, alle drei dieser Widerstände mit einschließt. In vielen Situationen ist der Leitungsdrahtwiderstand viel niedriger als der Widerstand des Leiters oder der zu messenden Komponente, und kann daher ignoriert werden.

In einigen Situationen nähert sich der Widerstand RW jedoch dem Widerstandswert der zu seiner Messung verwendeten Leitungsdrähte und das führt zu einer ungenauen Anzeige. Korrigieren lässt sich das durch Verschieben der Spannungsmesspunkte zu den Endpunkten der Verbindungsstifte, wodurch jeglicher Spannungsabfall in den Zuleitungsdrähten umgangen wird, siehe Bild 2.

4-Draht-Messung

Das Ohmmeter scheint nun vier Leitungsdrähte zu haben. Da wir jetzt vier statt zwei Drähte verwenden, bezeichnen wir diesen Ansatz als „4-Draht-Messung“ oder alternativ als „4-Draht-Kelvin-Messung“, zu Ehren des britischen Physikers Lord Kelvin aus dem 19. Jahrhundert, der diese Messung ursprünglich entwickelt hat.

Es ist zu beachten, dass der durch die Spannungsmessschaltung eines 4-Draht-Systems fließende Strom extrem niedrig ist, typischerweise in der Größenordnung von Bruchteilen eines Mikroamperes (sechs oder mehr Größenordnungen weniger als der Quellstrom). Über diese Zuleitungsdrähte tritt praktisch kein Spannungsabfall mehr auf und die Auswirkung auf die Widerstandsmessung ist vernachlässigbar. Wenn also kein Strom durch einen Draht fließt, kommt es auch zu keinem Spannungsabfall, egal wie lang der Draht ist. Das bedeutet nun, dass Leitungsdrähte sehr lang (länger als 3 Meter) sein können, ohne dass dies Auswirkungen auf die Messung hätte. Zum Tragen kommt dieser wichtige Punkt etwa beim Testen großer Kabelbaumgruppen, wo lange Leitungsdrähte unerlässlich sind.

Vorteile

Der große Vorteil einer 4-Draht-Messung liegt also in der Beseitigung des Vorrichtungswiderstandes (Zuleitungsdrähte), was wiederum die Berechnung des genauen Widerstandswertes des UUT ermöglicht. Da bei Messungen mit vier Drähten in der Regel Testströme verwendet werden, die deutlich über den für Zweidrahtprüfungen erforderlichen Strömen liegen, ergibt sich ein zweiter Vorteil: Ein Belastungstest mit hohem Strom (Strom von mindestens 1 A durch jeden Leiter) und einer Verweildauer von 100 ms bis zu vielen Minuten, ermöglicht die Beobachtung eines langsam ansteigenden Widerstandes infolge thermischer Erwärmung, und zeigt mögliche Probleme auf, die bei einem kürzeren Messintervall nicht erkannt würden.

Um mögliche Schäden an Sicherungen oder anderen Komponenten zu vermeiden, die keinen hohen Teststrom führen dürfen, sollte Software, die ein 4-Draht-Messsystem ansteuert, so konfiguriert sein, dass einzelne Drähte von der Messung ausgenommen werden können.

Prüfvorrichtungen für die 4-Draht-Messung bauen

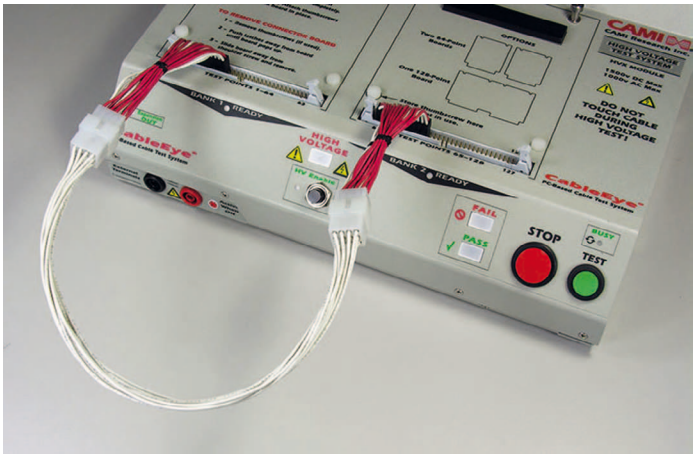
Im Gegensatz zu einem Tisch-DMM mit vier Testanschlüssen (zwei für „Source“ und zwei für „Sense“) bieten moderne Kabelprüfgeräte eine Vielzahl programmierbarer Testanschlüsse, auch Testpunkte genannt, an die der Prüfling angeschlossen werden kann. Typische Kabeltester beginnen mit 128 Testpunkten und können auf Tausende von Punkten erweitert werden.

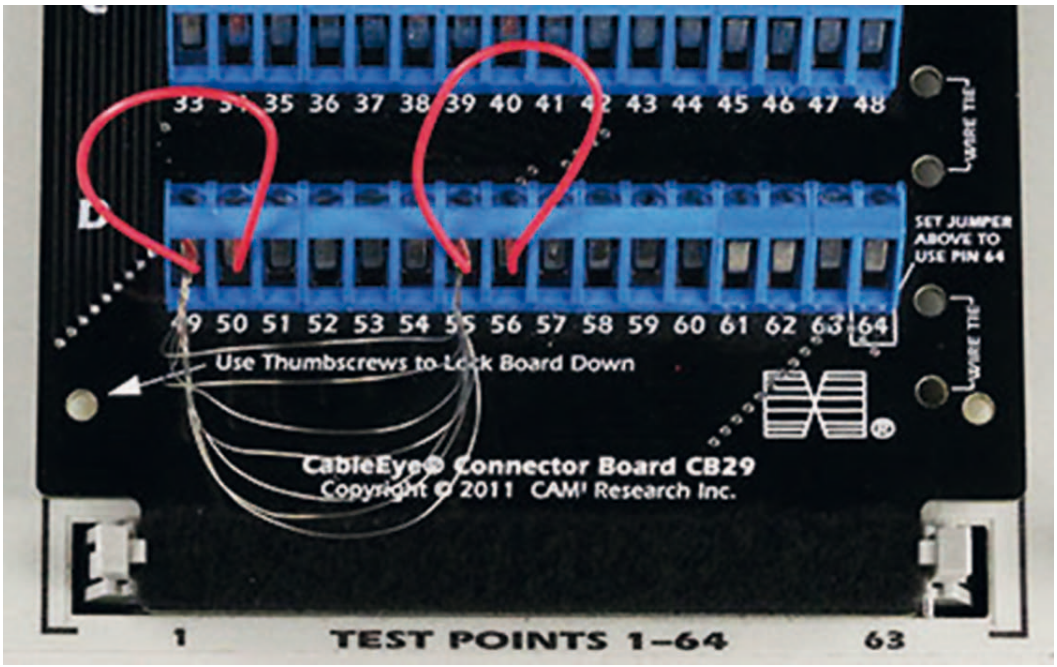
Bei einer beispielhaften 4-Draht-Prüfvorrichtung für ein 12-adriges Kabel sind - wenn wir davon ausgehen, dass es sich bei dem Prüfling um ein Kabel mit zwei Anschlüssen handelt - für beide Anschlüsse identische Prüfvorrichtungen erforderlich. Bild 3 zeigt einen solchen an das CableEye-Testsystem angeschlossenen Prüfling. Es ist zu erkennen, dass 48 Testpunkte für die Prüfung eines 12-adrigen Kabels erforderlich sind.

Beim Bau einer 4-Draht-Testvorrichtung werden der „Quelle“ (Source) normalerweise die ungerade nummerierten Testpunkte und der „Erfassung“ (Sense) die gerade nummerierten Pins zugewiesen. Das kann auch umgekehrt werden, wenn dies der Standard ist. Sobald sich der Anwender jedoch auf einen Standard festgelegt hat, sollten alle Geräte auf diese Weise verkabelt werden. Folgenden zusätzliche Überlegungen sind zu beachten:

1. Da der Source-Pin Strom von 1 A oder mehr führen kann, ist die Verwendung eines Kabels der Stärke 22 Gauge oder mehr zu empfehlen. Da der Sense-Pin nahezu keinen Strom führt, kann der hier verwendete Draht viel dünner sein. Dies ist beispielsweise von Vorteil, wenn zwei Drähte in einem einzigen Pin des Gegensteckers untergebracht werden sollen.

2. Die Länge eines Drahtes in der Testhalterung ist bei 4-Draht-Mes-





sungen unerheblich, da der Leitungsdraht nicht Teil der Widerstandsmessung ist. Dies kann nun besonders vorteilhaft sein, wenn der Prüfling „ortsfern" ist, wenn er zum Beispiel in einer Umgebungskammer in einiger Entfernung von der Testausrüstung platziert ist. Mithilfe von sehr langen Testleitungen, die durch eine abgedichtete Zugangsöffnung in die Kammer geführt werden, lassen sich Präzisionsmessungen aus der Ferne durchzuführen. Trotz ihrer möglicherweise beachtlichen Länge, ist der Widerstand der Testleitung nicht Teil der Messung.

Achten Sie bei sehr langen Source-Drähten mit einem Widerstand von mehr als 5 Ohm darauf, dass die Spannung des 4-Draht-Systems ausreichend ansteigen kann, um den angegebenen Strom durch diesen Draht zu treiben

3. Stellen Sie vor dem Aufbau sicher, dass Ihre Testausrüstung über ausreichend Testpunkte verfügt: ZWEI Testpunkte für jeden Pin in den entsprechenden Steckverbindern. Um die Mindestprüfpunktanforderung zu ermitteln, addieren Sie alle Pins an allen Anschlüssen Ihres Kabels oder Kabelbaums, einschließlich Erdleiter oder Außenleiter, und verdoppeln Sie diese Anzahl

4. Gegenwärtig verwenden mehrere handelsübliche Tester 64-polige zweireihige Verriegelungsköpfe. Für diese Art von Testpunktschnittstellen eignet sich die Verwendung von „Ampmodu"-Steckverbindern oder deren Äquivalente, die aus einem 64-poligen Buchsenkörper und vergoldeten Crimp-and-Poke-Pins bestehen. Diese Steckverbinder verfügen über hochwertige niederohmige Verbindungen zum Sockel, eine Hochspannungsisolation von mehr als 1500 V DC und eine robuste Konstruktion. Wenn Sie mit diesem Steckverbindertyp Armaturen für mehradrige Kabel oder Kabelbäume bauen, können Sie mehrere Steckverbinder mit einem einzigen Ampmodu-Steckverbinder verbinden, um so zu vermeiden, dass wertvolle Testpunkte verschwendet werden. Stellen Sie dabei immer sicher, dass ein ungerade nummerierter Testpunkt ‚n' und der unmittelbar darauffolgende gerade nummerierte Testpunkt in der Reihenfolge ‚n + 1' mit demselben Pin am Gegenstecker verbunden sind.

Welchen Unterschied macht ein Draht?

Die Darstellung der 4-Draht-Messempfindlichkeit beginnt mit einer 8,9 cm langen, 7-poligen 22-Gauge-Leitung, die an zwei Schraubklemmen angeschlossen wird. Die Prüfung erfolgt zwischen den Source-Testpunkten 49 und 55, wobei die zugehörigen Sense-Testpunkte 50 und 56 entsprechend verknüpft sind. Die Drähte werden nun nacheinander durchtrennt. Bei jeder Trennung wird eine Widerstandsmessung durchgeführt, um zu bestimmen, wie der Widerstand mit der Anzahl der intakten Drähte variiert. Bild 4 zeigt die Prüfvorrichtung mit intakten Drähten. Bild 5 zeigt drei durchtrennte und vier intakte Drähte.

Tabelle 1 (Bildschirmbericht des CableEye-Testers, auf dem alle bis auf zwei Drähte durchtrennt sind) fasst zusammen, wie sich der Widerstand und die Verweildauer ändern, wenn Drähte durchtrennt werden. Mit nur noch einem intakten Draht, um den 1 A Test-Strom zu leiten, ist durch bloßes Berühren keine Hitze erkennbar. Dennoch nimmt der Widerstand im Vergleich zu der ursprünglich kurzen Verweildauer von 50 ms geringfügig zu, wenn der Strom für 1 s oder länger fließt.

Strands Remaining	Resistance mΩ Dwell = 50 ms	Resistance mΩ Dwell = 1 ms	Resistance mΩ Dwell = 60 ms
7	3	3	3
6	4	4	4
5	5	5	5
4	6	6	7
3	8	9	9
2	13	13	14
1	21	24	24

Tabelle 1

Schlussfolgerungen

Mithilfe von 4-Draht-Kelvin-Messtechniken lassen sich die Qualität und Zuverlässigkeit von Kabel- und Kabelbaumprodukten verbessern. Präzisionswiderstandsmessungen von weniger als 0,1 Ohm zeigen Verdrahtungsfehler auf, die für weniger empfindliche Messungen nicht sichtbar sind. Dazu gehören auch fehlerhafte Lötverbindungen, fehlerhafte Kräuselungen, versenkte Stifte, Pin-Kontaktverschmutzung, ungeeignete Drahtstärke und spannungsextrudierter Draht.

Widerstandsverluste, die auf Fehler in solchen Anwendungen zurückgehen, die Strom über 1 A führen, resultieren mitunter in übermäßiger Wärmeentwicklung oder einem Brand in der Verdrahtung. Bei Messkreisen, die Eingangssignale von Präzisionssensoren erhalten, kann dies zu einer falschen Meldung oder einem fehlerhaften Betrieb des Schaltkreises führen. Die 4-Draht-Kelvin-Widerstandsmethode ermöglicht nicht nur Milliohm- oder mikroohmempfindliche Messungen, sondern beseitigt auch Auswirkungen von zufälligen Widerständen, die durch Testleitungen oder die Testhalterung entstehen würden. ◄