

Ein Leitfaden für Niederohmmessungen

Megger[®]
Power on



Inhalt

EINFÜHRUNG 3

Eine kurze Geschichte der Niederohm-Messgeräte 4

WARUM NIEDEROHMMESSUNGEN? 4

Was ist eine Niederohmmessung? 5

Was verrät eine Niederohmmessung dem Anwender? 5

Welche Probleme machen eine Prüfung notwendig? 5

Kosten sparen durch Niederohmmessungen 5

Branchen mit erheblichen Widerstands-Problemen 6

Für welche Geräte sind Niederohmmessungen notwendig? 6

Motoranker 6

Automobilmontage 7

Energieerzeugung und -verteilung 7

Transformatoren 7

Unterbrechungsfreie Stromversorgung – Polbrücken 7

Einsatz in Zementwerken und anderen rohstoffverarbeitenden Bereichen 8

Leistungsschalter 8

Flugzeugmontage 8

Band- und Drahtverbindungen zwischen Eisenbahnsegmenten (Schienenverkehrsbranche) 9

Graphitelektroden 9

Schweißpunkt oder -naht 9

Kabeltrommeln 10

Messen des Kabelwiderstands mehradriger Kabel mit mindestens 3 Adern 10

Mit Niederohmmessungen das Drehmoment einstellen 11

WIE WIRD EIN NIEDRIGER WIDERSTAND GEMESSEN? 12

Zwei-, Drei- und Vier-Leitungs-Gleichstrommessungen 12

Messungen mit zwei Leitungen 13

Dreileitermessungen 13

Vierleitermessungen 13

GLEICHSTROM VS. WECHSELSTROM 13

Der Unterschied zwischen Durchgangsprüfung und geringem Widerstand 14

Prüfmodi 14

Modelle aus den 1970er- und 1980er-Jahren 14

10-Ampere-Modelle 14

Modelle für 100 Ampere und höher 14

WIE FUNKTIONIERT EIN MIKROOHMMETER? 15

Sicherheit 15

Prüfung an spannungslosen Prüflingen 15

Gebrauch und Missbrauch von Mikroohmmetern 16

Prüfstromauswahl 16

Sonden- und Leitungsauswahl 16

Prüfungen im sehr niederohmigen Bereich 17

ARTEN VON PRÜFGERÄTEN – WELCHES WÄHLEN? 17

Milliohmmeter 17

10-Ampere-Mikroohmmeter 17

Mikroohmmeter mit 100 Ampere und höher 18

Nominaler vs. absoluter Prüfstrompegel 18

Automatische Bereichsermittlung 19

Schutzart 19

AUSWERTUNG/INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

20

Wiederholbarkeit

20

Stichprobenmessungen/Basiserwartungen für Messwerte

20

Verlauf

21

Leistungsschalter

21

Notstrom-Batteriesysteme

21

Messen von Systemkomponenten

23

Hohe Ströme bei Niederohmmessungen

23

Mögliche Fehlerquellen/Qualitätssicherung

23

Messleitungen/-klemmen

23

Genauigkeitsangaben

24

Störung

24

Versorgung mit dem angegebenen Prüfstrom unter Last

25

Messung auf einer stabilen Plattform

25

Materialwiderstand

25

Temperatureinflüsse

26

Auswirkungen von Feuchtigkeit

26

Hintergrundrauschen, Strom und Spannung

26

Kompensation von thermischer EMK/Seebeck-Spannung

27

Kontaktwiderstand bei Verschmutzung

27

Rauschverhältnis und induzierte Ströme

27

Hot-Spots

28

Kalibrierung im Feld

28

ANHÄNGE

29

Prüfung von Transformatoren

29

Kontakt-zu-Kontakt-Prüfungen bei Gleichstrommotoren

29

Prüfung von Batterie-Polbrücken

31

Rampenprüfung

31

Wheatstone- und Kelvin-Brücken

32

Wheatstone-Brücke

32

Kelvin-Brücke

32

Mikroohm- und Milliohm-Anwendungsliste für DLRO

33

ÜBERSICHT ÜBER DIE PRODUKTE VON MEGGER

35

DLRO100-Serie

35

DLRO10/DLRO10X

35

DLRO10HD/DLRO10HDX

36

DLRO600

36

DLRO200

36

MOM2

37

MJÖLNER200/MJÖLNER600

37

MOM690A

38

MOM200A/MOM600A

38

BT51

38

247000-Serie

39

Duplex-Anschluss-Messleitungssystem

39

PRODUKTVERGLEICHS-TABELLE

40

ABBILDUNGEN

| | | | |
|---|----|---|----|
| Abb. 1: Qualitative Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Manganin | 3 | Abb. 21: Sonden-/Leitungskonfigurationen | 17 |
| Abb. 2: Sammelschienenverbindungen | 7 | Abb. 22: Verlaufsanalyse von Niederohmmesswerten | 22 |
| Abb. 3: Einfache Polbrücke mit zwei Kontaktflächen | 7 | Abb. 23: Klemme C1 wird mit dem Ende der zu prüfenden Schaltung verbunden | 22 |
| Abb. 4: Parallele Brücken auf einem großen Batteriekomplex | 8 | Abb. 24: Durchführung der gleichen Prüfung wie in Abb. 23 mit Duplex-Handspitze | 22 |
| Abb. 5: Messung des Widerstands am Trägerstreifen | 8 | Abb. 25: Korrekte und falsche Platzierung der Sonden | 24 |
| Abb. 6: Prüfung von Graphitbutzen auf gleichmäßige Dichte (Ohm/Zoll) | 9 | Abb. 26: Grundarten von Sonden | 24 |
| Abb. 7: Messreihen über eine Schweißnaht | 9 | Abb. 27: Widerstandskurven in Abhängigkeit von der Temperatur für Eisen, Kupfer und Kohlenstoff | 26 |
| Abb. 8: Bestimmung der restlichen Kabellänge auf einer Trommel | 10 | Abb. 28: Korrosion an Leistungsschalter | 27 |
| Abb. 9: Konventioneller Test, eine Kelvin-Klemme an jedem der Enden einer Ader eines mehradrigen Kabels | 10 | Abb. 29: Rauschen | 27 |
| Abb. 10: C2 und P2 sind als separate Kabel vom Messgerät zu einer der Adern dargestellt. | 11 | Abb. 30: Hot-Spots | 28 |
| Abb. 11: C1 ist mit einer benachbarten Ader am gleichen Ende des mehradrigen Kabels verbunden. | 11 | Abb. 31: Kontakt-zu-Kontakt-Prüfung am Rotor eines Gleichstrommotors | 29 |
| Abb. 12: P1 ist mit einer weiteren Ader am gleichen Ende des mehradrigen Kabels verbunden. | 11 | Abb. 32: Prüfdaten von Schleifenwicklungen | 30 |
| Abb. 13: Am anderen Ende des Kabels ist die unmarkierte Ader mit C1 zu sehen, die mit der Ader verbunden ist. | 11 | Abb. 33: Kommutator mit 24 Spulen in Serie | 30 |
| Abb. 14: Reduzierung der Kontaktfläche durch Überdrehen | 12 | Abb. 34: Prüfdaten von Wellenwicklungen | 30 |
| Abb. 15: Typische Verbindungen, die geprüft werden sollen | 12 | Abb. 35: Spulenanordnung bei Wellenwicklung | 31 |
| Abb. 16: Typische Fehler, die durch Niederohmmessungen verhindert werden können | 12 | Abb. 36: Zielwert-Widerstand eine Polbrücke | 31 |
| Abb. 17: Auswahl der optimalen Messtechnik | 12 | Abb. 37: Zielwert-Widerstand parallele Polbrücken | 31 |
| Abb. 18: Vereinfachtes Beispiel einer 4-Leiter-Messung | 13 | Abb. 38: Wheatstone-Brückenschaltung | 32 |
| Abb. 19: Grundlegendes Funktionsschema | 15 | Abb. 39: Kelvin-Brückenschaltung | 32 |
| Abb. 20: ASTM-Norm B193-65 | 17 | Abb. 40: DLRO100-Serie | 35 |
| | | Abb. 41: DLRO10/DLRO10X | 35 |
| | | Abb. 42: DLRO10HD | 36 |
| | | Abb. 43: DLRO600 | 36 |
| | | Abb. 44: DLRO200 | 37 |
| | | Abb. 45: MOM2 | 37 |
| | | Abb. 46: MJÖLNER200 | 37 |
| | | Abb. 47: MJÖLNER600 | 37 |
| | | Abb. 48: MOM690A | 38 |
| | | Abb. 49: MOM200A/MOM600A | 38 |
| | | Abb. 50: BT51 | 38 |
| | | Abb. 51: DLRO247000 | 39 |
| | | Abb. 52: Duplex-Anschlussmessleitungen | 39 |

Einführung

Die quantitative Untersuchung von Stromkreisen entstand 1827, als Georg Simon Ohm sein berühmtes Buch „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet“ veröffentlichte, in dem er seine vollständige Theorie der Elektrizität darlegte. In diesem bahnbrechenden Werk führte er den Zusammenhang oder das „Gesetz“ ein, das seinen Namen trägt:

$$\text{Widerstand } (R) = \text{Spannung } (U) / \text{Strom } (I)$$

Damals waren noch keine Normen für Spannung, Strom und Widerstand entwickelt worden. Das Ohmsche Gesetz drückte die Tatsache aus, dass die Größe des in einem Stromkreis fließenden Stroms proportional zu den elektrischen Kräften oder dem Druck und umgekehrt proportional zu einer Eigenschaft des Stromkreises ist, die als Widerstand bekannt ist. Natürlich standen ihm für das Messen dieser Größen unsere heutigen Einheiten Volt, Ampere und Ohm nicht zur Verfügung.

Zu dieser Zeit entwickelten Labore Widerstandselemente aus Eisen, Kupfer oder anderen verfügbaren Legierungen. Die Labore benötigten stabile Legierungen, die von Ort zu Ort transportiert werden konnten, um die zu prüfenden Messwerte zu bestätigen. Das Normmaß für das Ohm musste temperaturstabil und nur minimal vom daran angeschlossenen Material abhängen.

Im Jahre 1861 wurde ein Komitee zur Entwicklung eines Standardmaßes für den Widerstand gegründet. Dieses Komitee umfasste eine Reihe berühmter, uns heute gut bekannter Männer, darunter James Clerk Maxwell, James Prescott Joule, Lord William Thomson Kelvin und Sir Charles Wheatstoneⁱ. Im Jahre 1864 wurde eine Spule aus Platin-Silber-Legierungsdraht in einem mit Paraffin gefüllten Behälter als Standard verwendet. Diese wurde 20 Jahre lang verwendet, während nach einem zuverlässigeren Standard geforscht wurde. Diese Forschungen wurden fortgesetzt, solange das alte National Bureau of Standards (NBS), jetzt bekannt als National Institute of Standards and Technology (NIST), den Standard für das „Ohm“ kontrollierte. Heute verwendet die Industrie eine Manganin-Legierung, weil sie einen niedrigen Temperaturkoeffizienten hat und sich daher ihr Widerstand mit der Temperatur sehr wenig verändert. Melvin B. Stouts „Basic Electrical Measurements“ hebt die wichtigsten Eigenschaften von Manganin hervor.

Tabelle 1: Die wichtigsten Eigenschaften von Manganin

| Zusammensetzung in % | Spezifischer Widerstand | | Temperaturkoeffizient pro °C | Thermische EMK gegenüber Kupfer $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--|
| | Mikroohm für Kubikzentimeter | Ohm pro Circular Mil Fuß | | |
| Cu 84 % Mn 12 % Ni 4 % | 44 $\mu\Omega$ | 264 Ω | * $\pm 0,00001$ ° | 1,7 |

* Manganin zeigt keinerlei Veränderung von 20 bis 30 °C.

i Swoope's Lessons in Practical Electricity; Achtzehnte Ausgabe; Erich Hausmann, E.E., ScD.; Seite 111.

Die thermische EMK gegen Kupfer zeigt die Thermolement-Aktivität des Materials, wobei eine Spannung durch einfaches Verbinden zweier verschiedener Metalle erzeugt wird. Ziel ist es, die Thermolement-Aktivität zu minimieren, da sie Fehler in die Messung einführt.

Beim metrischen System werden die Maße in Metern angegeben und der Widerstand für einen Kubikmeter des Materials bestimmt. Praktischere Einheiten basieren jedoch auf einem Kubikzentimeter. Beim in den USA verwendeten System wird der Widerstand in Ohm pro mil Fuß definiert. Der Drahtdurchmesser wird in Circular mils (0,001)ⁱⁱ und die Länge in Fuß gemessen.

Abb. 1 zeigt den temperaturabhängigen Widerstand für Manganindraht bei 20 °C. Bei Manganin-Shunts verschiebt sich die 20-°C-Kurve nach 50 °C, da dieses Material aufgrund des Einsatzzwecks bei einer höheren Temperatur verwendet wird. Die Manganin-Legierung wurde für den Einsatz in Spulen für stabile Messbedingungen bei 20 °C Umgebungstemperatur entwickelt.

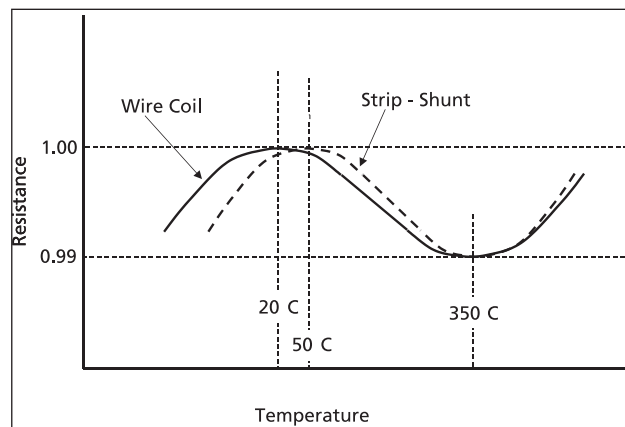


Abb. 1: Qualitative Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Manganinⁱⁱⁱ

ii Swoope's Lessons in Practical Electricity; Achtzehnte Ausgabe; Erich Hausmann, E.E., ScD.; Seite 118.
iii Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout; 1950; Seite 61.

Die Legierung wird modifiziert für Materialstreifen, die für Mess-Shunts verwendet werden, die bei einer höheren Umgebungstemperatur bis zu 50 °C verwendet werden.

Der Zweck dieser Broschüre ist es, dem Ingenieur, Techniker oder Anwender dabei zu helfen zu verstehen:

- was die Gründe für Niederohmmessungen sind
- wie man eine Niederohmmessung durchführt
- wie man das richtige Gerät für die Prüfanwendung wählt
- wie man die Ergebnisse interpretiert und verwendet

Eine kurze Geschichte der Niederohm-Messgeräte

Das Original DUCTER™-Mikroohmmeter^{iv} wurde 1908 von Evershed & Vignoles (eine der Firmen, die sich zu Megger entwickelte und das erste Isolationswiderstandsmessgerät entwickelte) entwickelt und verwendete das Kreuzspulenmesswerk, das bereits im Isolationswiderstandsmessgerät verwendet wurde. Dieses erste Design entwickelte sich in den 1920er-Jahren zu Feldgeräten, die aufgrund der Empfindlichkeit der Spule (bezüglich einer horizontalen Ausrichtung) zum Zeitpunkt der Messung ein Nivellierungsverfahren erforderten. Diese frühen Modelle ließen sich nicht gut transportieren und waren empfindlich gegen Stöße und Vibrationen.

Fünfzig Jahre lang waren tragbare Niederohm-Messgeräte analoge Geräte. 1976 entwickelte die James G. Biddle Company (eine weitere Firma, die schließlich zu Megger wurde) auf vielfachen Kundenwunsch ein digitales Niederohm-Messgerät (Digital Low Resistance Ohmmeter) und brachte es auf den Markt. Dieses Gerät war unter dem Markennamen DLRO bekannt. Schließlich hat die James G. Biddle Company 10-A- und 100-A-Versionen des DLRO herausgebracht, darunter ein Single-Box-Design für einige Versionen, das den Prüfprozess vereinfachte, und ein Modell mit erweiterter Reichweite.

Durch die Übernahme von Programma Electric AB hat Megger sein Programm mit Hochstrom-Niederohm-Messgeräten (LROs) verstärkt.

Das MOM (Mikro-Ohm-Meter) war Ende der siebziger Jahre eines der ersten Produkte von Programma Electric AB und wurde in den folgenden Jahrzehnten durch MJÖLNER und MOM2 ergänzt. Das MJÖLNER ist von einer Transformator- auf eine Schaltregler-Technologie umgestiegen, die das Prüfgerät wesentlich leichter macht. Die neueste Innovation ist das MOM2, das mit einer patentierten Ultra-Kondensator-Technologie den hohen Strom erzeugt. Sie ermöglicht es, mit einem tragbaren Gerät mit einem Gewicht von weniger als 1 kg über 200 A zu erreichen.

Diese Art von Instrument hat der Industrie eine Reihe von Jahren gut gedient, und die verschiedenen Versionen helfen den Endnutzern weiterhin dabei, Probleme zu lösen. Die Elektronik- und Batterietechnologie sind jedoch so

weit fortgeschritten, dass eine beträchtliche Anzahl von Verbesserungen an den Modellen der 70er-Jahre vorgenommen werden konnte. Die neu entwickelten Niederohmmeter von Megger bieten Datenspeicher- und Downloadmöglichkeiten, zusätzliche Prüfmodi, geringeres Gewicht, verlängerte Batterielebensdauer etc.

Warum Niederohmmessungen?

Die Niederohmmessung ermöglicht das Erkennen von Widerstandselementen, die über zulässige Werte gestiegen sind. Der Betrieb von elektrischen Betriebsmitteln hängt von einem kontrollierten Stromfluss innerhalb der Auslegungsparameter des jeweiligen Betriebsmittels ab. Das ohmsche Gesetz schreibt vor, dass für eine bestimmte Energiequelle, die mit Wechsel- oder Gleichstrom betrieben wird, die Stromaufnahme vom Widerstand der Schaltung oder Komponente abhängt.

Im modernen Zeitalter der Elektronik werden erhöhte Anforderungen an alle Aspekte elektrischer Schaltungen gestellt. Vor Jahren reichte es aus, 0,01 Ohm messen zu können, aber in der heutigen industriellen Elektronikumgebung muss der Prüfspezialist im Feld Messungen durchführen können, die eine Wiederholbarkeit innerhalb weniger Mikrohm oder weniger gewährleisten. Diese Arten von Messungen erfordern die einzigartigen Möglichkeiten einer Vierleiterprüfung mit einem Niederohmmeter, die unter „Vierleitermessungen“ auf Seite 13 beschrieben werden.

Niederohmmessungen sind erforderlich, um Langzeitschäden an bestehenden Anlagen zu vermeiden und Energieverschwendung in Form von Wärme zu minimieren. Sie zeigen alle Störungen im Stromfluss auf, die eine Maschine daran hindern könnten, ihre volle Leistung zu erbringen oder im Fehlerfall zu wenig Strom fließen zu lassen, um Schutzeinrichtungen zu aktivieren.

Anhand regelmäßiger Prüfungen kann ein Ausgangszustand beurteilt oder können unerwartete Veränderungen der Messwerte erkannt werden. Die Verlaufstendenz dieser Daten hilft, mögliche Fehlerzustände anzuzeigen und zu prognostizieren. Übermäßige Messwertänderungen deuten darauf hin, dass Korrekturmaßnahmen erforderlich sind, um einen größeren Ausfall zu verhindern. Bei Feldmessungen sollte der Anwender über Referenzwerte verfügen, die für das zu prüfende Gerät gelten (der Hersteller sollte diese Angaben in den mit dem Gerät gelieferten Unterlagen oder auf dem Typenschild angeben). Handelt es sich bei den Prüfungen um eine Wiederholung früherer Prüfungen, so kann anhand dieser Aufzeichnungen auch der Bereich der zu erwartenden Messungen eingegrenzt werden.

Wenn der Anwender bei der Durchführung von Prüfungen die Ergebnisse und die Bedingungen, unter denen die Prüfung durchgeführt wurde, aufzeichnet, werden diese Informationen zum Ausgangspunkt für eine Datenbank, mit der alle Veränderungen aufgrund von Ermüdung, Korrosion, Vibration, Temperatur oder anderen Bedingungen, die am Prüfstandort auftreten können, identifiziert werden können.

iv Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout; 1950; Seite 61.

Was ist eine Niederohmmessung?

Eine Niederohmmessung ist typischerweise die Messung eines Widerstands unter 1 Ohm. In diesem Bereich ist es wichtig, Prüfgeräte zu verwenden, die durch den Messleitungswiderstand und/oder den Kontaktwiderstand zwischen der Sonde und dem zu prüfenden Material verursachten Fehler minimieren. In diesem Bereich können außerdem beständige elektrische Spannungen am Messobjekt (z. B. thermische elektromotorische Kräfte (EMK) an Verbindungsstellen zwischen verschiedenen Metallen) Fehler verursachen, die identifiziert werden müssen.

Um eine Messung zur Kompensation der Fehler zu ermöglichen, wird ein vierpoliges Messverfahren mit einem reversiblen Prüfstrom und einem geeigneten Kelvin-Brückenmessgerät eingesetzt. Niederohmmeter sind speziell für diese Anwendungen entwickelt worden. Zusätzlich reicht der Messbereich bei einigen dieser Messgeräte nach oben bis in den Kiloohmbereich, was die unteren Bereiche einer Wheatstone-Brücke abdeckt (siehe „Wheatstone- und Kelvin-Brücken“ auf Seite 32 für eine Erläuterung der einzelnen Methoden). Der untere Bereich vieler Niederohmmeter löst 0,1 Mikrohm auf. Ein solcher Messbereich ist für eine Reihe von Niederohmmessungen erforderlich.

Was verrät eine Niederohmmessung dem Anwender?

Der Widerstand (R) ist die Eigenschaft einer Schaltung oder eines Elements, welcher für einen gegebenen Strom bestimmt, in welchem Maß die elektrische Energie gemäß der Formel $W=I^2R$ in Wärme umgewandelt wird. Die praktische Einheit dafür ist das Ohm. Die Niederohmmessung zeigt dem aufmerksamen Anwender an, wann der Zustand eines elektrischen Geräts sich verschlechtert hat oder ob er sich gerade verschlechtert.

Veränderungen im Widerstand eines niederohmigen Elements gehören zu den zuverlässigsten und schnellsten Anzeichen für eine Verschlechterung zwischen zwei Kontaktstellen. Alternativ können die Messwerte auch mit „gleichen“ Prüfobjekten verglichen werden. Dazu gehören Schienenverbindungen, Erdungsverbindungen, Leistungsschalterkontakte, Schalter, Transformatorwicklungen, Polbrückenverbindungen, Motorwicklungen, Käfigzugstangen, Stromschienen mit Kabelverbindungen und gebündelte Erdungsverbindungen.

Die Messung warnt den Anwender vor Änderungen, die im Vergleich zur ersten und/oder nachfolgenden Messung stattgefunden haben. Diese Veränderungen können durch eine Reihe von Einflüssen wie Temperatur, chemische Korrosion, Vibrationen, Verlust des Anpressdrucks zwischen Passflächen, Ermüdung und falsche Handhabung verursacht werden.

Diese Messungen müssen in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, um eventuelle Veränderungen nachvollziehen zu können. Beim Vergleich von Daten aus dem Sommer und Winter können saisonale Veränderungen sichtbar werden.

Welche Probleme machen eine Prüfung notwendig?

Vorausgesetzt, dass ein Gerät korrekt installiert wurde, führen Temperatur, Zyklen, Ermüdung, Vibrationen und Korrosion zu einer allmählichen Verschlechterung des Widerstandswerts eines elektrischen Gerätes. Die Folgen dieser Einflüsse bauen sich über einen gewissen Zeitraum auf, bis ein Niveau erreicht ist, bei dem das Gerät nicht mehr richtig arbeitet. Der kritische Verschlechterungsfaktor hängt von der Anwendung ab.

Der Verschleiß durch Umwelt- und Chemikalieneinflüsse ist unaufhaltsam. Auch Luft oxidiert organische Materialien, während das Eindringen von Feuchtigkeit, Öl und Salz Anschlüsse noch schneller verschleiben lässt. Chemische Korrosion kann die Querschnittsfläche eines Elements angreifen, wodurch die Fläche verkleinert und damit der Widerstand des Bauteils erhöht wird. Elektrische Belastungen, insbesondere anhaltende Überspannungen oder Impulse, können dazu führen, dass Schweißnähte sich lösen. Mechanische Belastungen durch Vibrationen während des Betriebs können ebenfalls zu einem Verschleiß von Anschlüssen und damit zu einem Anstieg des Widerstandes führen. Diese Veränderungen führen, basierend auf der Formel $W=I^2R$, zu einer übermäßigen Erhitzung an der Stelle, an der das Bauteil den Nennstrom führt. Zum Beispiel:

6000 A über eine 1- $\mu\Omega$ -Schiene = 36 Watt.

*6000 A über eine 100-m Ω -Schiene = 3600 Kilowatt,
was zu einer Überhitzung führt.*

Wenn diese Probleme nicht behoben werden, können sie zum Ausfall des elektrischen Systems mit den betroffenen Komponenten führen. Eine Überhitzung führt letztendlich zum Ausfall durch Verbrennen, wodurch ein Stromkreis unterbrochen werden kann.

Notstromversorgungen sind ein gutes praktisches Beispiel dafür, wie eine Verschlechterung unter normalen Betriebsbedingungen auftreten kann. Änderungen des Stromflusses führen zu einer Ausdehnung und Kontraktion der Klemmenanschlüsse, wodurch diese sich lösen oder korrodieren können. Zudem sind die Anschlüsse Säuredämpfen ausgesetzt, was zu einer weiteren Zersetzung führt. Diese Veränderungen haben eine Verringerung der Kontaktfläche zwischen zwei Oberflächen und damit eine Erhöhung des Übergangswiderstands zwischen diesen Oberflächen zur Folge, was letztendlich zu einer übermäßigen Erhitzung an der Verbindungsstelle führt.

Kosten sparen durch Niederohmmessungen

Sie können feststellen, dass sich eine stromführende Verbindung mit der Zeit erwärmt. Die Wärmemenge ist abhängig vom Widerstand der Verbindung, der Stromstärke und natürlich auch von der Zeit.

Es liegt also auf der Hand, dass eine Verbindung, die heiß wird, immer heißer wird und, wenn man Glück hat, über ein Wärmebild erkannt wird oder, wenn man nicht so viel Glück hat, erkannt wird, wenn die Lichter ausgehen, weil die Anschlüsse ausbrennen und die Schutzvorrichtung ausgelöst wird.

Aber was ist, wenn Sie keine Wärmebildkamera verwenden können, weil es keine direkte Sichtlinie zu den Anschlüssen gibt? Diese Stellen können tief im Inneren eines Gehäuses vor sich hinschmoren und erst dann entdeckt werden, wenn es zu spät ist.

Kritische Stromversorgungen versagen regelmäßig wegen überhitzter Anschlüsse aufgrund des Durchbrennens von hochohmigen Verbindungen. Aufgrund ihrer kritischen Natur ist eine regelmäßige Isolation und Wartung nahezu unmöglich.

Denken Sie an Krankenhäuser und Rechenzentren. Gesundheit und Daten sind wahrscheinlich zwei der kritischsten, aber anfälligsten Anlagentypen, bei denen jedoch die geringste Ausfallzeit für die Wartung von geschlossenen Schaltanlagen und Schaltschrank-Sammelschienensystemen zur Verfügung stehen.

Mit der Formel $W=I^2R$ können wir die Verlustleistung über eine oder mehrere Verbindungen abschätzen.

Bei einer 10-kA-Verbindung mit einem Widerstand von 0,1 mΩ beträgt die Verlustleistung 10 kW. Bei einer 10-kA-Verbindung mit einem Widerstand von 1 mΩ beträgt die Verlustleistung 100 kW.

Bei einer 6-kA-Verbindung mit einem Widerstand von 0,1 μΩ beträgt die Verlustleistung 36 W. Bei einer 6-kA-Verbindung mit einem Widerstand von 100 mΩ beträgt die Verlustleistung 3.600 kW.

Einfach gesagt, wandelt die Verlustleistung sich in Wärme um.

Der Einsatz eines DLRO zur Überprüfung des Übergangswiderstands von Schaltgeräten, überlappenden Verbindungen an Sammelschienen und Kabelschuhanschlüssen vor dem Einschalten der Stromversorgung ist der einzig sichere Weg, um zu verhindern, dass schlechte Anschlüsse zu katastrophalen Ausfällen führen können.

Branchen mit erheblichen Widerstands-Problemen

In Branchen, in denen große Mengen an elektrischer Energie verbraucht werden, müssen Niederohmmessungen mit Mikroohmmetern in die Wartungsarbeiten einbezogen werden. Ein zu hoher Widerstand verursacht nicht nur eine unerwünschte Erhitzung, die eine Gefahr darstellen kann, sondern auch Energieverluste, die die Betriebskosten erhöhen; letztlich wird für die Energie gezahlt, die nicht genutzt werden kann.

Darüber hinaus gibt es Branchen, in denen es kritische Spezifikationen für Verbindungen gibt, um zuverlässige Anschlüsse an „Erder“ zu gewährleisten. Schlechte Anschlüsse vermindern die Wirksamkeit der Erdung und können bei größeren Überspannungen zu erheblichen Problemen mit der Netzqualität und/oder zu katastrophalen Ausfällen führen. Eine Reihe von Unterbaugruppen-Herstellern liefert Komponenten an Flugzeughersteller,

die niederohmige Anschlüsse an die Flugzeugzelle vorschreiben. Polbrücken zwischen den Zellen eines Notstrombatteriesystems erfordern ebenfalls einen sehr geringen Widerstand.

Betroffene Branchen sind u. a.:

- **Energieerzeugungs- und -verteilungsunternehmen**
- **Chemieanlagen**
- **Raffinerien**
- **Minen**
- **Eisenbahnen**
- **Telekommunikationsunternehmen**
- **Automobilhersteller**
- **Flugzeughersteller**
- **Alle, die USV-Notstrom-Systeme einsetzen**

Für welche Geräte sind Niederohmmessungen notwendig?

Wie wir gezeigt haben, finden Mikroohmmeter in einer Vielzahl von Industriezweigen Anwendung und können helfen, eine Reihe von Problemen zu identifizieren, die zu einem Geräteausfall führen können. In der allgemeinen Fertigungsindustrie müssen Motorwicklungen, Leistungsschalter, Sammelschienenverbindungen, Spulen, Masseverbindungen, Schalter, Schweißverbindungen, Blitzableiter, Kleintransformatoren und resistive Komponenten auf niedrigen Widerstand geprüft werden.

Nachfolgend sind einige der typischen Anwendungen aufgeführt.

Motoranker

Ankerwicklungen können geprüft werden, um Kurzschlüsse zwischen benachbarten Spulen oder Leitern zu erkennen. Kurzschlussläufer im Rotor können sich von den Endplatten lösen, was zu Leistungsverlusten führt. Wenn ein Motor an Leistung zu verlieren scheint, muss eine Niederohmmessung durchgeführt werden. Alternativ können Messungen durchgeführt werden, wenn die Lager bei einem regelmäßigen oder jährlichen Stillstand ausgetauscht werden.

■ Kontakt-zu-Kontakt-Prüfungen bei Gleichstrommotoren

Stab-zu-Stab-Prüfungen an Rotoren von Gleichstrommotoren werden durchgeführt, um offene oder kurzgeschlossene Spulen zu identifizieren. Diese Prüfungen werden mit gefederten Handsonden durchgeführt. Dies ist eine dynamische Methode, um den Zustand der Wicklungen und der Lötverbindungen zur Steigleitung an den Kommutatorsegmenten zu bestimmen. Bei regelmäßiger Überprüfung der Prüfdaten können die Auswirkungen einer Überhitzung durch übermäßigen Temperaturanstieg erkannt werden.

Ausführlichere Informationen finden Sie in den Anhängen unter dem Abschnitt „Stab-zu-Stab-Prüfungen bei Gleichstrommotoren“.

Automobilmontage

Kabelleitungen zu einem „Roboter“-Punktschweißgerät werden durch die Bewegungen des Roboters kontinuierlich gebogen. Schließlich kann es zu Materialermüdung kommen, die zum Bruch von Litzen führen kann. Dies führt zu einem hohen Leitungswiderstand mit Leistungsverlust an der Schweißnaht, was zu einer schlechten Punktschweißung (Nugget) oder sogar zum Totalausfall der Maschine führen kann.

Energieerzeugung und -verteilung

Hochstromverbindungen, Anschlüsse und Stromschienen

Stromschienen in einem Stromnetz bestehend aus überlappenden Verbindungen und anderen Anschlüssen versorgen die Elemente im System mit Strom. Diese Schraubverbindungen können durch Vibrationen und Korrosion beschädigt werden (siehe Abb. 2). Die Schrauben werden mit einem bestimmte Drehmoment angezogen, und die schnellste und wirtschaftlichste Art, die Qualität der Verbindung zu bestimmen, ist die Messung des Widerstands dieser Verbindung. Der Anwender sollte über historische Daten verfügen, um eine Aussage über die Eignung der Verbindung treffen zu können. Wenn Fehler nicht korrigiert werden, können Leistungsverluste und/oder übermäßige Erhitzung zu einer Verschmelzung am Anschluss führen.

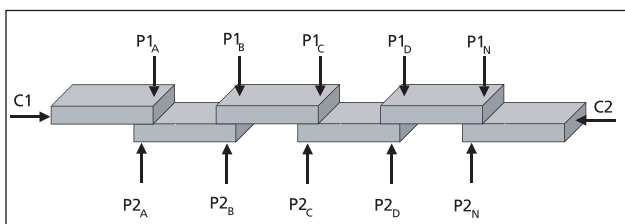


Abb. 2: Sammelschienenverbindungen

Transformatoren

Transformatorwicklungsprüfungen werden im Werk und dann regelmäßig im Feld durchgeführt. Der Werkstest wird bei Umgebungstemperatur durchgeführt. Ein zweiter Werkstest ist eine Erwärmungsprüfung, um zu prüfen, ob der Widerstand der Wicklungen bei Nennleistung innerhalb des vorgesehenen Temperaturanstiegsverhaltens bleibt.

Große Transformatoren haben sowohl an der Primär- als auch an der Sekundärwicklung „Abgriffe“. Der Zustand der Abgriffe muss überprüft werden, da diese sekundären Abgriffe täglich bedient werden und übermäßigem Verschleiß und Vibrationen ausgesetzt sind, da das Stromverteilungssystem die Last auf den verschiedenen Kreisläufen ausgleicht. Die Abgriffe auf der Primärseite sind wichtig für größere Anpassungen in der Stromverteilung und müssen geprüft werden, um sicherzustellen, dass eine niederohmige Verbindung für die neue Leistungsübertragung verfügbar ist. Die Anschlüsse

an den Abgriffen können bei Nichtgebrauch korrodieren und aufgrund des hohen Stromflusses überhitzen (was zu einem Brand führen kann).

Nähere Informationen finden Sie im Abschnitt „Prüfung von Transformatoren“ in den Anhängen.

Unterbrechungsfreie Stromversorgung – Polbrücken

Bei in Reihe geschalteten Industriebatterien werden die Polbrücken (bleibeschichtete Kupferschienen) an den Polen benachbarter Batterien (+) an (-) mit Edelstahlschrauben befestigt. Diese Flächen werden gereinigt, gefettet und mit einem vorgegebenen Drehmoment angezogen. Wie bereits erwähnt, sind sie Vibrationen, chemischer Korrosion und Hitze aufgrund der mit der Anwendung verbundenen Aufladung und hohen Stromentladungen ausgesetzt. Der schnellste und beste Weg, die Qualität der Verbindungen zu bestimmen, ist die Messung des Widerstandes zwischen den beiden benachbarten Batteriepolen (siehe Abb. 3 und 4).

Dies ist die einzige Feldanwendung, bei der der Anwender Messungen an einem unter Spannung stehenden System durchführt. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Prüfung von Batterie-Polbrücken“ in den Anhängen.

Bitte beachten Sie, dass es in einem Batteriesystem verschiedene Niveaus von „Erhaltungsladeströmen“ gibt und das Testverfahren diesen Stromfluss berücksichtigen muss. Eine Prüfung erfolgt, indem der Prüfstrom zum Erhaltungsladestrom hinzugefügt wird, eine zweite Prüfung erfolgt mit einem dem Erhaltungsladestrom entgegengesetzten Prüfstrom. Diese beiden Messwerte werden gemittelt, um den „ohmschen“ Wert der Verbindung zu bestimmen.

Standardverfahren sehen regelmäßige Messungen vor, da die Erfahrung der Vergangenheit gezeigt hat, dass Polbrücken eines der schwächsten Elemente im Betrieb eines Batteriesystems sind. Ohne regelmäßige Prüfungen können hochohmige Verbindungen entstehen. Dies kann dazu führen, dass die Batterie bei Bedarf nicht genügend Strom liefern kann oder die Kombination eines Stromstoßes mit Wasserstoffgas aus den Batteriezellen einen Brand im Batteriesystem verursacht und die USV zerstört.

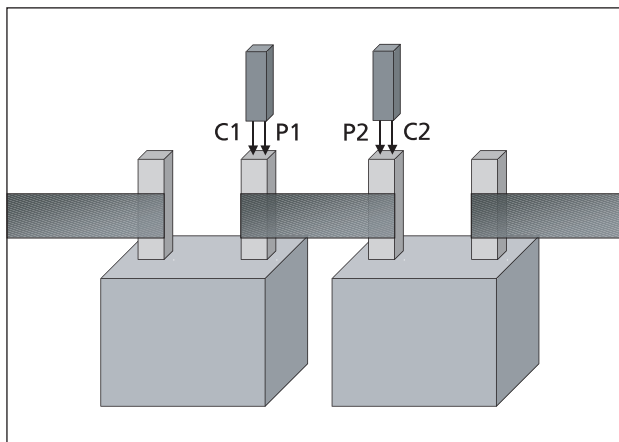


Abb. 3: Einfache Polbrücke mit zwei Kontaktflächen

Trägerstreifen halten die Platten in einer Zelle. Die Platten hängen von den Trägerstreifen in die Flüssigkeit in der Zelle. Ist der Widerstand der Schweißnähte, mit denen die Pole mit den Trägerstreifen verbunden sind, zu hoch, kann die Batterie nur begrenzt Strom führen. Neben der Messung des Widerstandes an der Polbrücke kann ein Mikroohmmeter auch verwendet werden, um die Qualität dieser Schweißnähte zu messen (siehe Abb. 5).

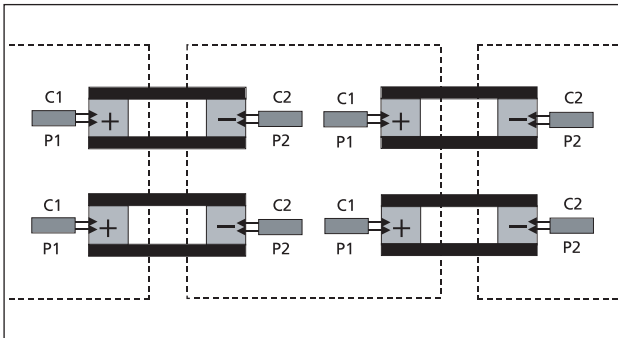


Abb. 4: Parallele Brücken auf einem großen Batteriekomplex

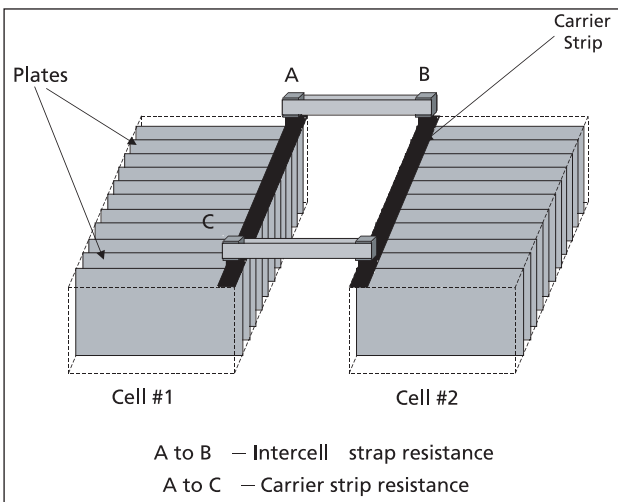


Abb. 5: Messung des Widerstands am Trägerstreifen

Einsatz in Zementwerken und anderen rohstoffverarbeitenden Bereichen

Das elektrische System in einem Zementwerk oder einer anderen Rohstoffverarbeitungsanlage umfasst Motoren, Relais, Trennschalter etc. Die Prüfung dieser leistungsfähigen Elemente im Rahmen eines regelmäßigen Programms oder bei größeren Umbauten ist für den laufenden Betrieb der Anlage von entscheidender Bedeutung. Die Qualität der Stromverbindungen kann schwache Elemente oder Anschlüsse im System aufzeigen.

Hinweis: Zementstaub ist chemisch aktiv (korrosiv) und greift metallische Verbindungen an.

Leistungsschalter

Durch Lichtbogenbildung an den Anschlüssen eines Leistungsschalters können sich verkohlte Schichten bilden, was die spannungsführende Kontaktfläche verkleinert oder verschleißt und so zu erhöhtem Widerstand und Erwärmung führt. Dies verschlechtert die Wirksamkeit des Leistungsschalters und kann zum Ausfall eines aktiven Übertragungssystems und damit zum Verlust eines Umspannwerks führen. Bei der Planung einer Prüfung muss der Anwender bezüglich der Prüfstromanforderungen die IEC62271-100 (mindestens 50 A) ANSI und ANSI C37.09 (mindestens 100 A) beachten. Wenn Tests an großen Öl-Leistungsschaltern durchgeführt werden, ist das beste Gerät eines, das den Strom hochfährt, ihn für eine gewisse Zeit hält und dann herunterfährt (siehe „Rampenprüfung“ auf Seite 31).

Wenn Gleichstrom durch eine Schaltung mit einem Stromwandler (Current Transformer, CT) geführt wird, wird der CT magnetisiert. Das Problem dabei ist, dass die positive Flanke im Gleichstrom eine Transiente verursachen kann, die das Relais auslösen könnte. Ein Gleichstrom mit großer Welligkeit ist besonders problematisch.

Vorsicht ist geboten, wenn eine Messung über einen Stromwandler durchgeführt wird, da hohe Gleichströme den Stromwandler sättigen und ihn hinsichtlich möglicher Fehler desensibilisieren können. Außerdem kann eine Welligkeit des Prüfstroms zum Auslösen von Leistungsschaltern führen.

Eine sorgfältige Positionierung der Stromsonden sollte dies verhindern, und die auf der Stromkurve vorhandene Wellenform kann durch Trennen der Messleitungen minimiert werden. Alternativ kann ein Prüfgerät mit Rampenfunktion und geglättetem Gleichstrom verwendet werden.

Flugzeugmontage

Um eine zuverlässige Bezugsmasse innerhalb eines Flugzeugs zu gewährleisten, ist eine Schutzleiterwiderstandsprüfung aller elektrischen und mechanischen Verbindungen des Hauptrahmens erforderlich. Diese physikalischen „Schutzleiter“-Verbindungen sorgen für eine gleichmäßige Ableitung der statischen Elektrizität zu den Ableitern an der Hinterkante der Flügel und des Leitwerks. Dieser Ableitweg reduziert die Gefahr von Blitzschäden an der Avionik im Falle eines Blitzeinschlags.

Im Laufe der Zeit müssen die Verbindungen zwischen Ableitern für statische Aufladungen, Antennen, Steuergestänge und Batteriepolen überprüft werden. Die Integrität einer geschweißten Abgasanlage muss ebenfalls überprüft und dokumentiert werden.

Im Normalbetrieb beeinträchtigt übermäßige statische Elektrizität den Betrieb der meisten Navigations- und Kommunikationssysteme nicht. Die besten (niederohmigsten) Verbindungen verbessern die Leistung solcher Systeme.

Band- und Drahtverbindungen zwischen Eisenbahnsegmenten (Schienenverkehrsbranche)

Im Bereich des Schienenverkehrs sind die Verbindungen Vibrationen ausgesetzt, wenn die Räder über die Schienen fahren (jedes Klick-Klack verursacht Vibrationen an der Verbindung zwischen Band und Schiene). Diese Verbindungen sind Teil des Steuerungssystems, das dem Anwender die Standorte der verschiedenen Züge anzeigt. Innerhalb des Schienensystems kommuniziert eine Telefonanlage über die Schienenleiter. Der Widerstand dieser Verbindungen ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Kontrollsystems. Bei Systemen mit drei Schienen ist die dritte Schiene die aktive Stromquelle für den Motor, und der Leistungsverlust über eine hochohmige Verbindung (z. B. eine schlechte Thermit-Verbindung) reduziert die Effizienz des Transportsystems. Der Anwender kann einen 1,5-Meter-Schienenabschnitt ohne Verbindung auswählen, eine Messung durchführen und dann einen 1,5-Meter-Schienenabschnitt mit Verbindung messen, um die Qualität der Verbindung zu bestimmen. Als Faustregel gilt, dass diese Messungen innerhalb weniger Mikrohm (oder $\pm 5\%$) liegen sollten.

Graphitelektroden

Graphitelektroden haben eine negative Temperaturabhängigkeit des Widerstands (mit steigender Temperatur des Elements nimmt der Widerstandswert ab). Graphitbutzen werden als Zylinder mit großem Durchmesser extrudiert und können bis zu zwei Meter lang sein. Einer der Einsatzbereiche für diese großen Butzen ist in Aluminiumraffinerien, wo mit hohen Strömen (150.000 A) Bauxiterz zu hochwertigem Aluminium reduziert wird.

Zur Überprüfung der Dichte der Graphitextrusion werden Niederohmmessungen durchgeführt. Aufgrund der Größe der Elektroden erfordert diese Prüfung spezielles Prüfzubehör, um den Prüfstrom über die Oberfläche der Enden einzubringen und eine gleichmäßige Stromdichte über das gesamte Volumen des Prüflings zu gewährleisten. Die Spannungsmessabgriffe werden dann über eine definierte Länge des Prüfstücks angeschlossen, um die „Ohm pro Längeneinheit“ zu bestimmen (siehe Abb. 6).

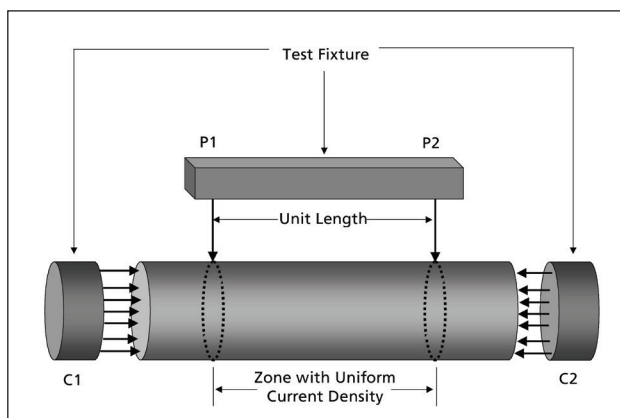


Abb. 6: Prüfung von Graphitbutzen auf gleichmäßige Dichte (Ohm/Zoll)

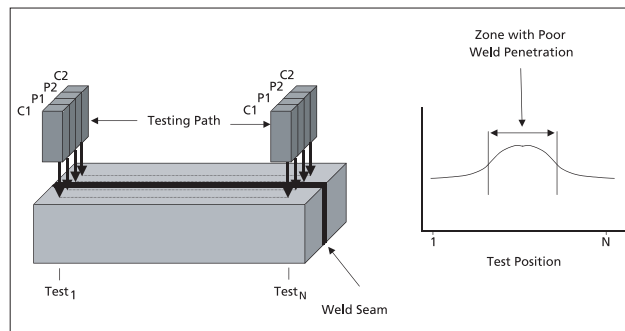


Abb. 7: Messreihen über eine Schweißnaht

Schweißpunkt oder -naht

Die Qualität einer Punktschweißung kann durch Messung des Widerstandes zwischen den verbundenen Materialien bestimmt werden. Die Qualität einer Schweißnaht kann durch eine Reihe von Prüfungen entlang der Schweißnaht bestimmt werden. Die Messwerte sollten innerhalb eines engen Bereichs liegen. Ein Anstieg der Messwerte gefolgt von einem Sinken zeigt, dass die Gleichmäßigkeit der Schweißnaht außerhalb der Spezifikation liegt. Um die Messung korrekt durchzuführen, muss der Anwender eine Vorrichtung fertigen, um die Sonden in einem festen Verhältnis zueinander zu fixieren. Die Messwerte werden dann an verschiedenen Stellen der Schweißnaht erfasst und aufgetragen (siehe Abb. 7). Diese Messwerte liegen in der Regel im Mikrohm-Bereich und erfordern besondere Sorgfalt bei der Konstruktion der Prüfvorrichtung.

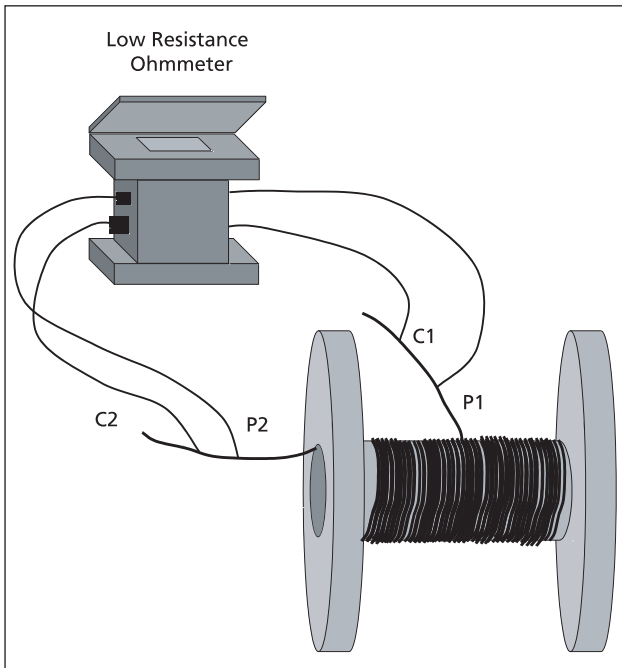


Abb. 8: Bestimmung der restlichen Kabellänge auf einer Trommel

Kabeltrommeln

Eine Trommel mit isoliertem Kupferdraht hat vermutlich ein Etikett, auf dem der Leiterquerschnitt und der Widerstand pro Längeneinheit abzulesen sind. Wenn ein Rest Draht auf der Trommel verbleibt, nachdem ein Teil verwendet worden ist, kann die verbleibende Länge durch Messung des Drahtwiderstandes und Berechnung mit Hilfe der Angaben zum Widerstand pro Längeneinheit berechnet werden (siehe 8).

Alternativ kann der Anwender, wenn das Etikett zerstört wurde, eine definierte Drahtlänge abschneiden, dieses Musterstück messen und den Widerstand pro Längeneinheit bestimmen. Dieser Wert kann dann mit dem Messwert des verbleibenden Drahtes auf der Trommel zur Berechnung der Restlänge verwendet werden. Die Temperatur der Kabelrolle wird in etwa der Temperatur des Musterstücks entsprechen. Obwohl die Innentemperatur der Trommel etwas abweichen kann, ist eine vernünftige Schätzung der verbleibenden Kabellänge möglich. Wenn der Anwender die Temperaturdiagramme in „Temperatureinflüsse“ auf Seite 26 berücksichtigt, kann die Ungenauigkeit abgeschätzt werden. Diese Vorgehensweise gilt auch für Aluminium- und Stahldrähte, sofern der Draht isoliert ist, um Kurzschlüsse zwischen benachbarten Drahtschlingen zu vermeiden.

Messen des Kabelwiderstands mehradriger Kabel mit mindestens 3 Adern

Bei der Messung des Kabelwiderstands wird standardmäßig die Strom- und Spannungsleitung an jedem Ende der zu prüfenden Ader angeschlossen (siehe Abb. 9).

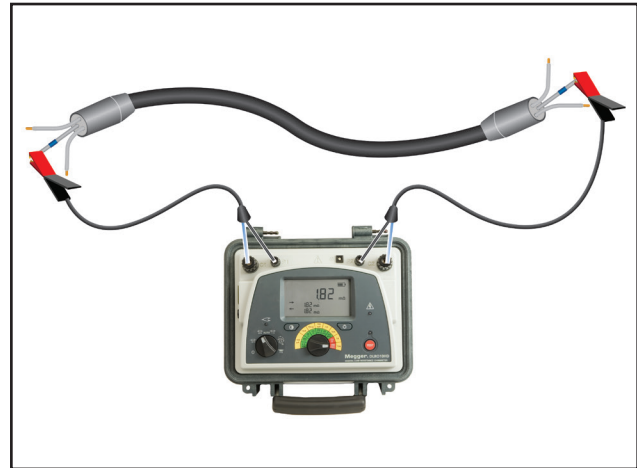


Abb. 9: Konventioneller Test, eine Kelvin-Klemme an jedem der Enden einer Ader eines mehradrigen Kabels

Wenn das Kabel zu lang ist, um Verlängerungs-Messleitungen zu verwenden, oder durch die Etagen eines Gebäudes führt, kann die oben beschriebene Methode nicht verwendet werden. Es gibt jedoch eine mögliche Konfiguration der Messleitungen, mit der der Widerstand jeder Ader des Kabels mit dem DLRO an einem Ende des zu prüfenden Kabels genau gemessen werden kann. Die Strom- und Spannungsmessleitungen müssen einzeln und nicht nach Kelvin-Art angeschlossen werden.

Schritt 1: Strom- und Spannungsleitungen C2 und P2 mit der zu prüfenden Ader verbinden. In Abb. 10 ist es die Ader mit der blauen Markierung.

Schritt 2: Schließen Sie die Stromleitung C an eine benachbarte Ader an. In Abb. 11 ist es die unmarkierte Ader.

Schritt 3: Schließen Sie die Spannungsleitung P1 an eine weitere Ader an. In Abb. 12 ist es die Ader mit der roten Markierung.

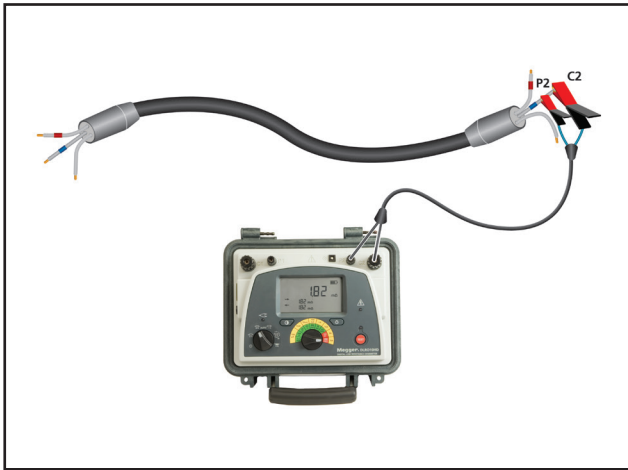


Abb. 10: C2 und P2 sind als separate Kabel vom Messgerät zu einer der Adern dargestellt.

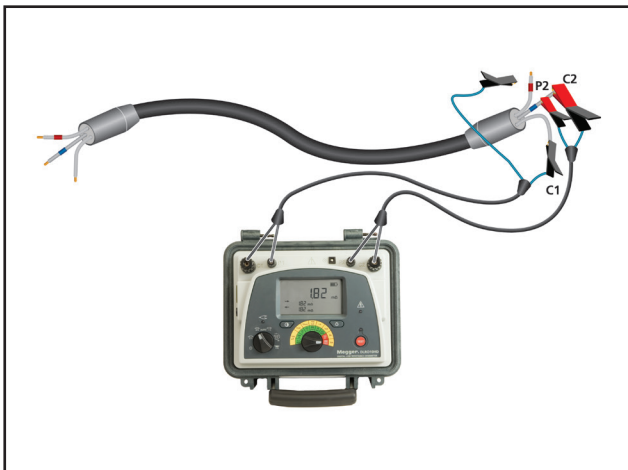


Abb. 11: C1 ist mit einer benachbarten Ader am gleichen Ende des mehradrigen Kabels verbunden.

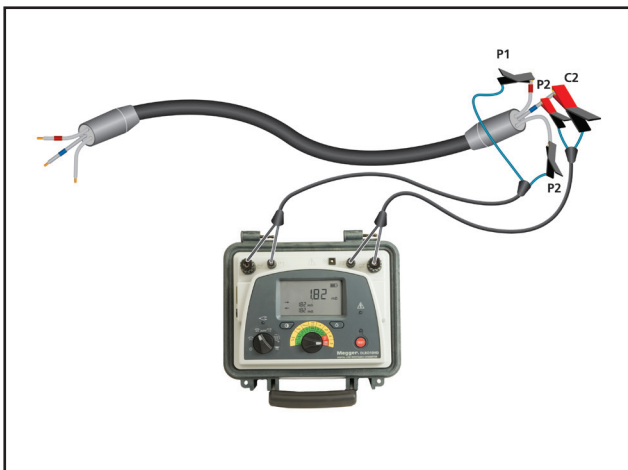


Abb. 12: P1 ist mit einer weiteren Ader am gleichen Ende des mehradrigen Kabels verbunden.

Schritt 4: Verbinden Sie am anderen Ende des Kabels Ader C1 mit Ader 1 und Ader 3 über eine Kurzschlussbrücke mit Ader 1, wobei darauf zu achten ist, dass sich die Ader mit dem Anschluss P1 auf der Innenseite des Kabels befindet.

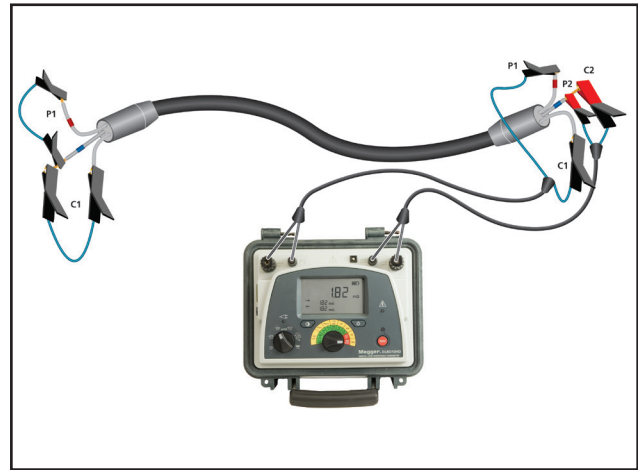


Abb. 13: Am anderen Ende des Kabels ist die unmarkierte Ader mit C1 zu sehen, die mit der Ader mit der blauen Markierung verbunden ist (der zu prüfenden Ader) und die Ader mit der roten Markierung mit P1, die mit der Ader mit der blauen Markierung verbunden ist (der zu prüfenden Ader).

Diese einfache Konfiguration (siehe Abb. 13) zeigt, dass der Widerstand von langen mehradrigen Kabeln durch die Verwendung von 2 Adern des Kabels als Teil des Messkreises gemessen werden kann.

Mit Niederohmmessungen das Drehmoment einstellen

Eine eher seltene Anwendung für das DLRO ist die Verwendung von Niederohmmessungen für die Montage von verschraubten Bauteilen auf ein bestimmtes Drehmoment.

Wenn Überlappungsverbindungen von Stromschienen oder Anschlussfahnen zu fest angezogen werden, wird das Material der Verbindung gewölbt, und statt einer besseren Verbindung nimmt der Widerstand zu, da der Flächenkontakt sich verformt. Deshalb hat jede Verbindung und jeder Anschluss in einem System normalerweise ein durch den Hersteller vorgegebenes Drehmoment.

Aber es gibt noch einen weiteren wichtigen Aspekt. Wenn sich in der Verbindung beim Anziehen auf ihr Drehmoment Schmutz befindet, kann der höhere Widerstand unentdeckt bleiben, und die Verbindung beginnt eine Reise auf der Abwärtsspirale in Richtung Überhitzung, Lichtbogenbildung und letztendlich Ausfall.

Aber was ist, wenn es für die Verbindung kein vom Hersteller vorgegebenes Drehmoment gibt? Das DLRO kann während des Anziehens verwendet werden, um sicherzustellen, dass der Widerstand der Verbindung optimal ist, bevor sie unter Spannung gesetzt und in Betrieb genommen wird.

Bei durchgesteckten Schraubverbindungen war das Verhältnis zwischen Festigkeit und optimalem Flächenkontakt schon immer problematisch.

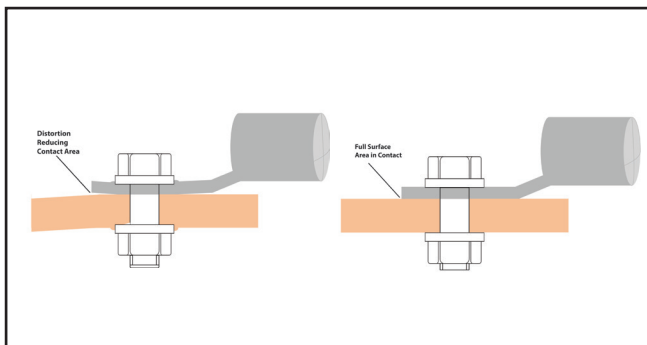


Abb. 14: Reduzierung der Kontaktfläche durch Überdrehen

Aus diesem Grund und um den Flächenkontakt zu verbessern, verwenden viele Platten- und Sammelschienensysteme Klemm-, Überlapp- oder Sandwichverbindungen (siehe Abb. 14). Bei Baugruppen, die extremer Hitze und Vibrationen ausgesetzt sind, können die genannten Probleme sehr schnell dramatisch werden, weshalb wir uns mehr und mehr dem Einsatz aufwendiger Verschlussmechanismen zur Aufrechterhaltung des Kontaktwiderstandes gegenüber sehen.

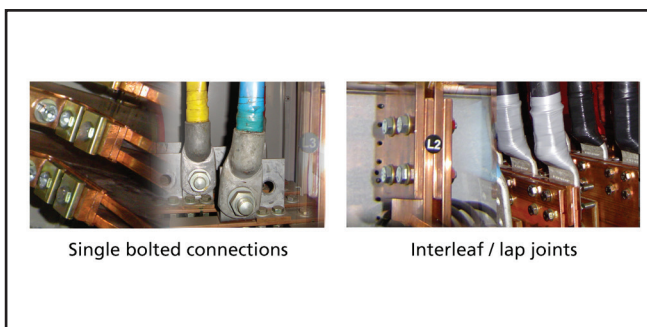


Abb. 15: Typische Verbindungen, die geprüft werden sollen

Mit einem DLRO zur Messung der Effektivität dieser Verbindungsarten (siehe Abb. 15) können die Ergebnisdaten gesammelt werden, und mit Hilfe von prädiktiven Wartungstechniken, die sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt haben, um potenzielle Ausfälle einer Verbindung oder einer Baugruppe von verbundenen Teilen zu identifizieren, lassen sich frühzeitig steigende Widerstände erkennen (siehe Abb. 16).



Abb. 16: Typische Fehler, die durch Niedrohmmessungen verhindert werden können

Wie wird ein niedriger Widerstand gemessen?

Zwei-, Drei- und Vier-Leitungs-Gleichstrommessungen

Warum haben wir Widerstandsmessgeräte, von denen manche nur zwei Messleitungen, manche drei und manche sogar vier Messleitungen haben? Die Antwort hängt vom Grad der Information ab, die die Messung liefern muss, und von der Größe des zu messenden Widerstandes. Widerstandswerte decken einen weiten Bereich von Mikroohm bis zu Tausenden von Megaohm ab. 17 zeigt den Messbereich, in dem jeder Gerätetyp am besten funktioniert.

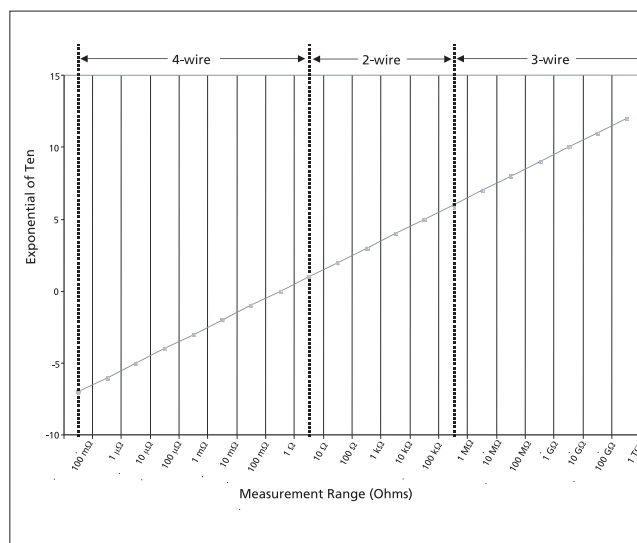


Abb. 17: Auswahl der optimalen Messtechnik

Messungen mit zwei Leitungen

Zweileiter-Prüfungen sind die einfachste Methode und dienen der allgemeinen Beurteilung eines Schaltungselements, Leiters oder der Leiterführung in einer Schaltung. Die Zweileiterkonfiguration ist vielen Anwendern am vertrautesten, da sie auch bei den meisten Multimetern zum Einsatz kommt. Sie wird in der Regel dann eingesetzt, wenn der Kontaktwiderstand der Sonde, der Serienleitungswiderstand oder die parallelen Ableitwiderstände die Qualität der Messung nicht über einen für den Anwender akzeptablen Punkt hinaus verschlechtern.

Der gemessene Wert enthält die Widerstände der Messleitung und des Übergangs zur Sonde, was dem Messwert einige Dutzend Milliohm zum tatsächlichen Widerstand hinzufügt. In den meisten Fällen macht dies in der Praxis für den Messwert nur einen geringen Unterschied, aber wenn der Messwert unter 1 Ohm liegt, kann die Zweileitermethode leicht einen Fehler, der mehrere Prozent betragen kann, in den gemessenen Widerstandswert einführen.

Die Spezifikationen einiger Handmessgeräte geben einen Bereich von 200 Milliohm bei einer Empfindlichkeit von einem Milliohm an. Der Leitungswiderstand kann negiert werden, aber es bleiben die Kontaktwiderstände, die sich bei jeder Messung ändern können. Die Kontaktwiderstände können an jeder Sonde im Bereich von 35 Milliohm liegen und mit der Temperatur des zu untersuchenden Materials variieren.

Die Zweileiter-Prüfmethode eignet sich am besten für Messwerte über 10,00 Ohm bis hin zu 1,0–10,0 Megaohm.

Dreileitermessungen

Dreileiter-Gleichstromprüfungen sind für sehr hohe Widerstände vorgesehen und werden typischerweise für Messungen über 10 Megaohm verwendet. Normalerweise verbinden wir diese Art von Prüfungen mit der diagnostischen Isolationswiderstandsmessung. Die Prüfmethode verwendet eine dritte Messleitung als Abschirmung und ermöglicht es, Widerstände parallel zum Prüfkreis aus der Messung zu eliminieren. Dieser Parallelwiderstand ist in der Regel deutlich geringer als der gemessene Isolationswiderstand. Tatsächlich kann er in sehr ausgeprägten Fällen den Isolationswiderstand so effektiv kurzschließen, dass eine aussagekräftige Messung ohne den Einsatz einer Abschirmungsschaltung nicht möglich ist.

Diese Prüfmethode wird in den Megger-Broschüren „A Stitch in Time“ und „A Guide To Diagnostic Insulation Testing Above 1 kV“ beschrieben und illustriert.

Vierleitermessungen

Vierleiterprüfungen sind die genaueste Methode bei der Messung von Stromkreisen unter 10 Ohm, da diese Methode Fehler aufgrund von Leitungs- und Kontaktwiderständen ausschließt. Dies ist die Prüfmethode, für die

Mikroohmmeter eingesetzt werden. Die Vierleiter-Gleichstrommessung verwendet zwei Strom- und zwei Spannungsleitungen (siehe Abb. 18). Die Vierleiter-Gleichstrommessung negiert die Fehler durch die Sondenleitung und eventuelle Kontaktwiderstände in der Endablesung und sorgt so für genauere Messungen.

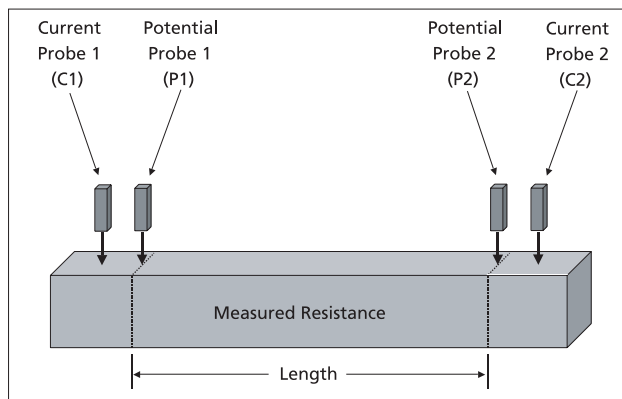


Abb. 18: Vereinfachtes Beispiel einer 4-Leiter-Messung

GLEICHSTROM vs. WECHSELSTROM

Hier geht es um die Auswahl des richtigen Prüfstroms. Ein Gleichstromgerät sollte verwendet werden, um den reinen Widerstand einer Schaltung oder eines Gerätes zu messen. Ein Wechselstromgerät wird für Anwendungen wie z. B. Erdungsprüfungen oder Impedanzprüfungen verwendet.

Mit einem speziellen Impedanzmessgerät werden Industriebatterien geprüft. Das Wort Impedanz zeigt an, dass ein Messwert einen Widerstand und eine Reaktanz enthält, die entweder eine induktive oder eine kapazitive Komponente sein kann.

Diese Messungen werden im Rahmen eines Batteriewartungsprogramms durchgeführt; typischerweise wird ein Mikroohmmeter zur Überprüfung der Brückenverbindung verwendet.

Drei- oder Vierleiter-Wechselstrom-Messsysteme werden für Prüfungen an „Erden“ mit speziellen Frequenzen eingesetzt, die die Messfehler von 50/60 Hz-Erdströmen ausschließen. Der Einsatz von Wechselstrom verhindert, dass der Prüfstrom im Boden Ionen polarisiert, wodurch sich die Bedingungen und damit die Messwerte verändern. Dieses Themengebiet ist für die Bereiche Stromverteilung und Telekommunikation interessant. Der Pfad mit niedrigem Erdwiderstand ist erforderlich, um das Potenzial des Erdungskabels zum Potenzial der „Erde“ aufrechtzuerhalten. Die elektrische Leistung des Stromversorgungssystems minimiert die Gefahr von Stromschlägen, da für die Energie aus Blitzschlägen und anderen statischen Spannungen, die das Stromversorgungssystem beeinflussen können, ein Weg zur Erde zur Verfügung gestellt wird. Das Gleiche gilt für Telefonanlagen,

da eine hochohmige Erde zu übermäßigem Lärm auf den Sprach- und Datenverbindungen führen kann (siehe Megger-Broschüre „Getting Down to Earth“ für weitere Informationen zu Erdwiderstandsprüfungen). Beide Branchen benötigen nicht nur einen niedrigen Erdwiderstand, sondern auch niederohmige „Wechselstrom-/Gleichstrom-Verbindungen“ zwischen der Erde und den stromführenden Kreisen.

Der Unterschied zwischen Durchgangsprüfung und geringem Widerstand

Einfach ausgedrückt zeigt uns eine Durchgangsprüfung, dass wir an beiden Enden des gleichen Kabels angeschlossen sind. Dies geschieht in der Regel als 2-Leiter-Prüfung mit einem Widerstandswert von 10 mΩ oder höher. In vielen Fällen ist dies akzeptabel für einen Wert, der bei einer Zertifizierung erfasst wird. Es ist jedoch zu beachten, dass die Durchgangsprüfung auch mit einem Signal wie einem Summer oder einer Prüflampe durchgeführt werden kann.

Niederohmmessungen können bei 0,1 μΩ beginnen und legen häufig Kontaktprobleme bei Verbindungen und Anschlüssen offen, die sich als Schwachstellen erweisen können. Bei solchen Prüfungen wird die 4-Leiter-Prüfmethode verwendet, die nicht anfällig ist für Widerstände an der Messleitung oder der Sonde/Klemme gegenüber dem zu prüfenden Gerät, wie es bei der 2-Draht-Durchgangsprüfung der Fall sein kann.

Prüfmodi

Die in den 1970er- und 1980er-Jahren entwickelten digitalen Mikroohmmeter boten gewöhnlich zwei Betriebsarten, die jeweils für spezifische Anwendungen ausgelegt waren. Aktuelle Mikroprozessor-Technologie hat es neueren Geräten ermöglicht, zusätzliche Modi zu ergänzen und damit die Möglichkeiten dieser Modelle zu erweitern. Im Folgenden finden Sie einen kurzen Überblick über die Arten von Prüfmodi, die für die Instrumente früherer Jahrgänge zur Verfügung stehen:

Modelle aus den 1970er- und 1980er-Jahren

Dauermodus: Erlaubt das Fließen des Prüfstroms und eine Messung, wenn die Strom- und Spannungsmessabgriffe den Prüfling berühren. Dieser Betriebsmodus wird in der Regel eingesetzt, wenn spiralförmige Federspitzen-Messleitungen verwendet werden, und ist die übliche Methode bei der Durchführung von Feldprüfungen. Die Batterielebensdauer wird verlängert, da der Prüfstrom nur während der Prüfung fließt.

Moment-Modus: Erfordert das Anschließen beider Messleitungen an den Prüfling. Die Messung wird durchgeführt, wenn der Schalter in die Position „Kurzzeitig“ geschaltet wird. Dieser Betriebsmodus wird verwendet, wenn getrennte Strom- und Spannungsleitungen an den Prüfling angeschlossen werden.

10-Ampere-Modelle

Normaler Modus: Der Anwender schließt alle vier Messleitungen an und drückt die Test-Taste am Gerät, um eine Prüfung zu beginnen. Das Gerät prüft den Durchgang der Prüfanschlüsse und lässt dann einen Vorwärts- und Rückwärtsstrom fließen. Der Messwert wird für einen kurzen Zeitraum (10 Sekunden) angezeigt.

Auto-Modus: Ermöglicht die Messung von Vorwärts- und Rückwärtsströmen (der Mittelwert wird angezeigt), indem alle vier Sonden angeschlossen werden. Jedes Mal, wenn die Sonden entfernt und wieder an die Last angeschlossen werden, wird eine weitere Prüfung durchgeführt. Dieser Modus, der dem Dauermodus älterer Instrumente ähnelt, ist eine ausgezeichnete zeitsparende Methode, wenn Batteriebrücken mit Handspitzen getestet werden. Er hat zusätzlich den Vorteil, dass bei der Verwendung von Handspitzen die Kontakterkennung einen guten Kontakt vor dem Anlegen hoher Ströme sicherstellt. Dadurch wird ein Lichtbogen bei der Berührung vermieden, der die Prüfspitzen erodiert und die potenziell die Oberfläche des Prüflings beschädigt.

Dauermodus: Ermöglicht, dass an demselben Prüfling wiederholt Messungen durchgeführt werden. Sind die Messleitungen angeschlossen und die Test-Taste gedrückt, wird alle festgelegten Sekunden eine Messung durchgeführt, bis der Stromkreis unterbrochen wird.

Unidirektionaler Modus: Lässt den Strom nur in eine Richtung fließen. Diese Art der Messung negiert zwar keine beständigen elektrischen und magnetischen Felder, beschleunigt aber den Messvorgang. In vielen Prüfsituationen, wie z. B. Batteriebrückenprüfungen, ist es nicht notwendig, eine Prüfung mit Rückwärtsstrom am Prüfling durchzuführen. Dieser Modus wird auch verwendet, wenn Objekte mit induktiven Eigenschaften wie Motoren und Transformatoren geprüft werden.

Modelle für 100 Ampere und höher

Normaler Modus: Der Anwender schließt alle vier Messleitungen an und drückt die Test-Taste am Gerät, um eine Prüfung zu beginnen. Das Gerät prüft den Durchgang der Prüfanschlüsse und lässt dann den Prüfstrom fließen.

Dauermodus: Wird verwendet, um die Prüfbedingungen für einen bestimmten Zeitraum zu überwachen. Nachdem die Messleitungen angeschlossen und die Test-Taste gedrückt worden sind, werden die Prüfwerte alle festgelegten Sekunden aufgezeichnet, bis die Test-Taste erneut gedrückt wird oder der Kontakt mit einer der Prüfsonden unterbrochen wird.

Auto-Modus: Aufgrund der hohen Prüfströme schließt der Anwender die Stromleitungen an, wählt den gewünschten Prüfstrom aus und drückt dann die Test-Taste. Sobald die Spannungsleitungen angeschlossen sind, beginnt eine Prüfung. Um eine weitere Prüfung durchzuführen, unterbricht der Anwender den Kontakt mit den Spannungsmessabgriffen und stellt ihn dann wieder her. Dies ist ein ausgezeichneter Modus für die Messung einzelner Verbindungen in einer Stromschiene.

Wie funktioniert ein Mikroohmmeter?

Ein Mikroohmmeter verwendet zwei interne Messkreise. Die Stromversorgung speist über zwei Leitungen, die üblicherweise als C1 und C2 bezeichnet werden, einen Strom in den Prüfling ein und misst die Stärke des Stroms. Gleichzeitig messen zwei Sonden (normalerweise als P1 und P2 bezeichnet) die Spannung über den Prüfling hinweg. Das Gerät berechnet dann intern den Widerstand des Prüflings.

Warum führt dieser Ansatz zu einem Messwert, der unabhängig von Leitungswiderstand und Übergangswiderstand ist?

Den kompletten Messkreis haben wir in 19 dargestellt. Der Strom wird über die Leitungen C1 und C2 in den Prüfling eingespeist. Der fließende Strom ist abhängig vom Gesamtwiderstand dieser Schleife und der verfügbaren Leistung, um den Strom durch diesen Widerstand zu drücken. Da dieser Strom gemessen wird und der gemessene Wert in nachfolgenden Berechnungen verwendet wird, hat der Schleifenwiderstand, einschließlich des Kontaktwiderstandes der Kontakte C1 und C2 und des Leitungswiderstandes von C1 und C2, keinen Einfluss auf das Endergebnis.

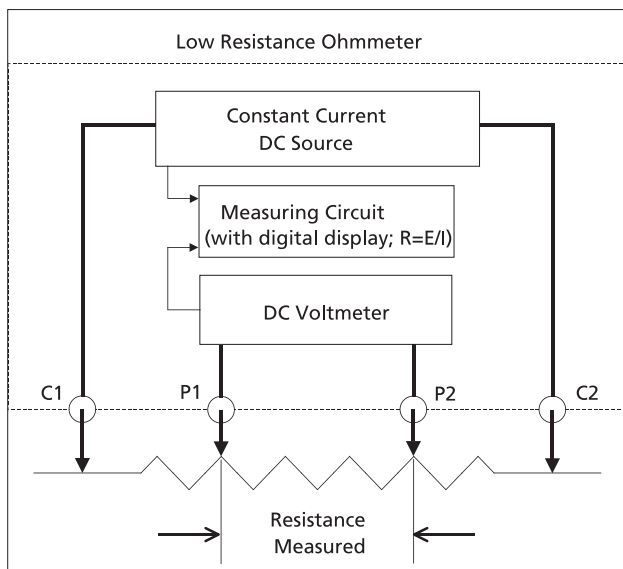


Abb. 19: Grundlegendes Funktionsschema

Wenn wir nach dem ohmschen Gesetz einen Strom durch einen Widerstand leiten, erzeugen wir am Widerstand einen Spannungsabfall. Diese Spannungsdifferenz wird von den Sonden P1 und P2 erfasst. Das Voltmeter, an das diese Sonden intern angeschlossen sind, hat eine hohe Impedanz, die einen Stromfluss in dieser Potenzialschleife verhindert. Da kein Strom fließt, entsteht kein Spannungsabfall am Kontaktwiderstand der Kontakte P1 und P2, und somit hat dies keinen Einfluss auf die von den Sonden erkannte Potenzialdifferenz (Spannung). Da außerdem kein Strom durch die P-Leitungen fließt, wirkt sich ihr Widerstand nicht auf den Messwert aus.

Ein Hochstromausgang ist eines der kennzeichnenden Merkmale eines echten Mikroohmmeters. Gängige Multimeter liefern nicht genügend Strom, um die Strombelastbarkeit von Verbindungen, Schweißnähten und dergleichen unter realen Betriebsbedingungen zuverlässig anzuzeigen. Gleichzeitig wird eine geringe Spannung benötigt, da die Messungen typischerweise am extrem niedrigen Ende des Widerstandsspektrums durchgeführt werden. Nur der Spannungsabfall über dem gemessenen Widerstand ist von Interesse und bewegt sich im Millivoltbereich.

Gute Geräte warnen den Anwender vor offenen Stromkreisen an den Messleitungen, während einige Modelle über eine automatische Messbereichsauswahl verfügen.

Sicherheit

Der Prüfpezialist oder -techniker, der mit dem Prüfling in Kontakt kommt, ist für die Sicherheit verantwortlich. Die meisten Feldprüfungen werden an spannungslosen Stromkreisen durchgeführt. Bei der Prüfung magnetischer Bauteile kann es zu einer Sättigung der Wicklung kommen. Der Anwender sollte einen Kurzschluss über die Wicklung schalten, um die in der Wicklung gespeicherte Energie abzuleiten, und dann einen Spannungstest durchführen, um den Prüfling in neutralem Zustand zu überprüfen. Einige Geräte haben Anzeigeleuchten an den Prüfspitzen, um den Anwender darauf aufmerksam zu machen, dass ein Objekt unter Spannung steht.

Eine Batteriebrücken-Prüfung stellt eine spezielle Situation dar, da die Batterien angeschlossen bleiben müssen. Der Anwender ist verpflichtet, bei diesen Prüfungen isolierte Handschuhe, eine Gesichtsmaske und eine Körperschürze als Schutz zu verwenden. Dies ist eines der wenigen Male, wenn elektrische Widerstandsprüfungen im Feld an unter Spannung stehenden Systemen durchgeführt werden. Spezielle Sonden, die für den 600-V-Betrieb ausgelegt sind, sind für die neueren Geräte für diese Prüfungen erhältlich.

Der Einsatz von Geräten mit Messwertspeicherung erhöht die Sicherheit, da der Anwender die Messwerte nicht zwischen den einzelnen Prüfungen aufschreiben muss.

Prüfung an spannungslosen Prüflingen

Als allgemeine Sicherheitsmaßnahme sollten Prüfungen immer an spannungslosen Prüflingen durchgeführt werden. Für die Durchführung von Prüfungen an unter Spannung stehenden Stromkreisen sind spezielle Schulungen und Geräte erforderlich. Einige Geräte sind mit intern abgesicherten Eingangsschaltungen ausgestattet, die das Gerät schützen, wenn es versehentlich an einen unter Spannung stehenden Prüfling angeschlossen wird. Aufgrund der niedrigen Eingangsimpedanz der internen Stromzufuhr gängiger Geräte verhalten sie sich als Stromsenke, wenn sie an einen unter Spannung stehenden Stromkreis angeschlossen werden.

Gebrauch und Missbrauch von Mikroohmmetern

Die effektive Bedienung eines Mikroohmmeters setzt voraus, dass der Anwender die richtigen Messleitungen verwendet. Batteriebetriebene Geräte sind auf einen bestimmten Leitungswiderstand ausgelegt, basierend auf der Durchführungsdauer der Prüfsequenz. Die spezifizierten Leitungen ermöglichen für den Prüfzyklus eine angemessene Stromaufnahme aus der Stromversorgung. Wenn Leitungen mit einem höheren Widerstand verwendet werden, kann der für die Prüfung verwendete Strom niedriger sein, als das Messgerät benötigt. Dies kann zu einem problematischen Signal-Rausch-Verhältnis führen, das die Genauigkeit und/oder Wiederholbarkeit der Messung verringern kann.

Bei der Verwendung von Leitungen mit Widerstandswerten, die geringer sind als spezifiziert, ist der Prüfzyklus für das Gerät kürzer als erwartet. Dies kann zweckmäßig sein, wenn das Messgerät in einem Testprogramm mit hohem elektrischem Hintergrundrauschen eingesetzt werden soll. Der Einsatz von Spezialleitungen mit Abschirmung kann für diese Einsätze mit hohem Rauschen ebenfalls eine Lösung sein.

Ein häufiger Fehler im Feld ist die Verwendung eines Mikroohmmeters, um den Widerstand einer Erde zu messen. Diese Anwendung ist nicht korrekt, da die Erd-Prüfmethode ein Gerät erfordert, das das Testsignal mit einer bekannten Frequenz und einem bekannten Strompegel umschaltet. Ein für diesen Einsatz verwendetes Mikroohmmeter liefert eine fehlerhafte Anzeige, da der Erdstrom einen unzulässigen Einfluss auf die Messung hat.

Ein echtes Erdungs-Messgerät arbeitet im Wesentlichen zwar wie ein Mikroohmmeter, d. h., es bringt in den Prüfling einen Strom ein und misst den Spannungsabfall darüber. Die Erde führt jedoch typischerweise zahlreiche Ströme, die von anderen Quellen, wie z. B. dem Versorgungsunternehmen, stammen. Diese stören die Gleichstrommessung mit einem Mikroohmmeter. Ein echtes Erdungs-Messgerät arbeitet hingegen mit einer definierten alternierenden Rechteckwelle in einer Frequenz, die sich von den Oberschwingungen des Versorgungsunternehmens unterscheidet. Auf diese Weise kann es eine diskrete, rauschfreie Messung durchführen.

Prüfstromauswahl

Je nach gewähltem Gerät kann die Prüfstromauswahl manuell oder automatisch erfolgen. Der Anwender sollte den höchsten für die Prüfung geeigneten Strom wählen, um das beste Signal-Rausch-Verhältnis für die Messung zu erhalten. Bei Geräten mit möglichen Stromstärken über 10 A ist darauf zu achten, eine Erwärmung des Prüflings zu minimieren, da diese zu einer Änderung seines Widerstands führen würde.

Geräte zur Prüfung von Leistungsschaltern messen bei wesentlich höheren Strömen. Bei Hochstrompfaden wie Oberleitungsverbindungen, Stromschienen und Leistungsschaltern ist es wichtig, die Messung mit möglichst hohem Strom durchzuführen, um beschädigte Strompfade erkennen zu können. Phänomene, die als „Hot-Spots“ bezeichnet werden, erwärmen den Strompfad bei hohen Strömen, die Hitze erhöht den Widerstand zusätzlich und verschlimmert so

die Situation. Dieses Problem muss erkannt werden, bevor es innerhalb der Nennströme auftritt und ein Problem verursacht.

Um den Normen für Leistungsschalter zu entsprechen, sind bei Niederohmmessungen mindestens 50 A (IEC) und 100 A (ANSI) erforderlich.

In Leistungsschaltern wurden Verunreinigungen beobachtet, die für höhere Widerstandswerte als erwartet gesorgt haben. Durch die Verwendung eines hohen Stroms kann die Verschmutzung durchbrochen werden, und der Anwender erhält so den richtigen Wert.

Speziell für die Prüfung von Transformatoren entwickelte Geräte verfügen über eine spezielle Hochspannungs-Leistungsstufe, um zu Beginn einer Prüfung die Wicklung zu sättigen. Diese Instrumente schalten dann in einen niedrigeren Konstantstrommodus, um die Wicklung am Transformator zu messen.

Wichtig ist auch, dass das Gerät den Transformator nach Abschluss der Messung entlädt. Andernfalls können beim Abschalten tödliche Spannungen auftreten. Eigens dafür geeignete Prüfgeräte mit diesen integrierten Funktionen sind verfügbar.

Warnhinweis: Verwenden Sie niemals ein nicht dediziertes Niederohmmessgerät zur Messung des Wicklungswiderstands an einem Leistungstransformator, da tödliche Spannungen auftreten können, wenn eine Wicklung nicht korrekt entladen wird, bevor die Leitungen getrennt werden.

Sonden- und Leitungsauswahl

Die Spannungs- und Stromleitungen werden entweder separat oder an eine Sonde angeschlossen. Bei Sonden wird der Spannungsanschluss mit einem P gekennzeichnet. Die Anschlüsse werden so mit dem Prüfling in Kontakt gebracht, dass die zu P gehörigen Kontakte bzw. Leitungen aufeinander zu liegen kommen. Die Stromkontakte werden dann außerhalb oder von den Spannungsanschlüssen wegweisend positioniert. Dadurch fließt der Strom mit einer gleichmäßigeren Stromdichte über den Prüfling.

Für anspruchsvollere Prüfungen werden separate Messleitungen verwendet und die Stromanschlüsse werden um den 1,5-fachen Umfang des Prüflings von den Spannungsanschlüssen entfernt angebracht. Die ASTM-Norm B193-65 enthält Richtlinien für die Durchführung einer Messung mit gleichmäßiger Stromdichte. Diese Norm schlägt vor, die Stromsonden von den Spannungsmessabgriffen um das 1,5-fache des Querschnitts des Prüflings entfernt zu halten. Abb. 20 Seite zeigt eine normgerechte Prüfung an einem zylindrischen Prüfling.

Der Einsatz von Sonden, Kelvin-Klemmen oder C-Klemmen wird den meisten Anforderungen im Feld gerecht, da der Anwender für gewöhnlich wiederholte Messungen unter den gleichen Bedingungen durchführt. Die scharfen Spitzen der Sonden sollten für zukünftige Prüfungen eine Markierung auf dem Prüfling hinterlassen. In manchen Situationen kann ein Markierstift den Prüfbereich anzeigen, und die genauen Positionen der Sonden sind aufgrund der Markierungen durch die Sonden erkennbar.

Die Leitungen sind in verschiedenen Längen erhältlich, um den

unterschiedlichen Anforderungen im Feld gerecht zu werden. Die Sondenauswahl erfolgt aus getrennten Strom- und Spannungsleitungen mit Klemmen zum Anschluss an den Prüfling. Sonden mit Spiralfederspitzen haben Spannungs- und Stromsonden im gleichen Griff. Die Kennzeichnung mit „P“ auf der Sonde gibt die Position auf dem Prüfling an, an dem die Messung durchgeführt wird. Diese Sondenanordnung stellt eine praktische Methode für wiederholte Messungen dar (ideal für Prüfungen an Brückenverbindungen in USV-Batterieversorgungssystemen).

Kelvin-Klemmen und C-Klemmen haben die Strom- und Spannungsanschlüsse 180° voneinander entfernt und bieten somit getrennte Strom- und Spannungsanschlüsse. Die Größe des Klemmenanschlusses bestimmt die Auswahl. Siehe Abb. 21 für die verschiedenen Sonden-/Leitungskonfigurationen.

Hinweis: Die Reihenfolge des Anschlusses von Spannungs- und Stromklemmen spielt keine Rolle. Verbinden Sie jedoch niemals die Spannungsklemme mit der Stromklemme, da dies aufgrund des Spannungsabfalls an der Stromanschlussstelle am Prüfling zu einem Fehler in der Messung führt.

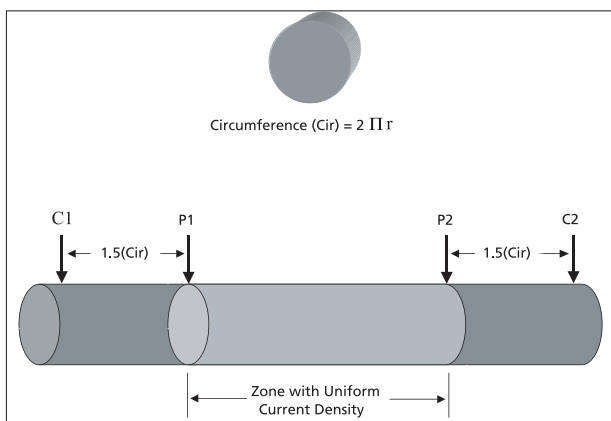


Abb. 20: ASTM-Norm B193-65

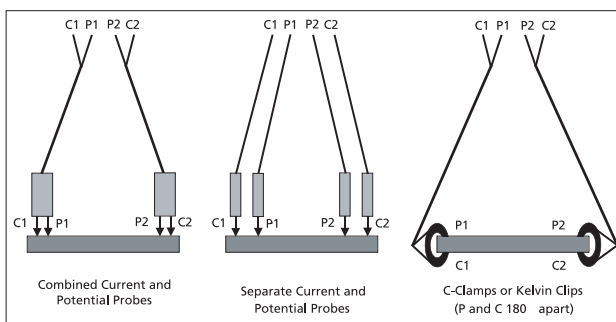


Abb. 21: Sonden-/Leitungskonfigurationen

Prüfungen im sehr niederohmigen Bereich

Bei Messungen sehr nah an der Grenze von Genauigkeit und Empfindlichkeit werden Faktoren, die bei herkömmlichen Tests keine Rolle spielen, signifikant.

Bei Niederohmmessungen können thermische EMKs (elektromotorische Kräfte), auch Seebeck-Spannung genannt, Spannungsgradienten am Prüfling erzeugen. Obwohl nur im Millivolt-Bereich und ohne oder

mit geringem Einfluss auf gängige Multimeter-Tests, können diese Schwankungen von mehreren Nachkommastellen verursachen. Eine solche Instabilität untergräbt den Zweck einer hochgenauen Messung. Darüber hinaus können Wechselstromstörungen durch nahegelegene elektrische oder magnetische Felder hervorgerufen werden oder durch die Erhaltungsladung von Notstrombatteriesystemen oder durch undichte Schalter, elektrische Ungleichgewichte usw. auftreten.

Dieses Problem lässt sich leicht überwinden, indem die Werte in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung gemessen und dann gemittelt werden. Einige Modelle erreichen dies anhand eines manuell betätigten Umkehrschalters, während andere die beiden Messungen automatisch durchführen und dann den Mittelwert anzeigen. Wenn eine unidirektionale Messung erforderlich ist (um Zeit zu sparen, wie z. B. bei Batteriebrückenprüfungen), kann das Prüfgerät eine Override-Funktion haben. Eine weitere ausgeklügelte Technik misst automatisch die Größe und Steigung der thermischen EMKs und zieht sie vom angezeigten Messwert ab.

Die einfachste Technik ist jedoch, mit hohem Strom zu prüfen, wenn es sich um einen Hochstrompfad handelt. Da die gemessene Spannung deutlich höher als die thermische EMK-Spannung ist, bleibt die Genauigkeit erhalten. Diese einfache Methode spart auch Zeit, da keine Umkehr der Polarität erforderlich ist.

Arten von Prüfgeräten – welches wählen?

Milliohmmeter

Wie der Name schon sagt, ist ein Milliohmmeter weniger empfindlich als ein Mikroohmmeter, mit Messmöglichkeiten im Milliohm- statt im Mikrohm-Bereich (Mindestauflösung 0,01 Milliohm). Dieser Gerätetyp wird normalerweise für die allgemeine Überprüfung von Schaltkreisen und Komponenten verwendet. Milliohmmeter sind in der Regel auch günstiger als Mikroohmmeter, was sie zu einer guten Wahl macht, wenn Messempfindlichkeit und -auflösung weniger kritisch sind. Der maximale Prüfstrom beträgt typischerweise weniger als 2 A und kann bis zu lediglich 0,2 A betragen.

10-Ampere-Mikroohmmeter

Das tragbare Feld-Mikroohmmeter mit einem maximalen Prüfstrom von 10 A ist für die meisten Anwender das „Arbeitspferd“, da es die meisten Feldanwendungen abdeckt. Der Ausgangsstrom von 10 A liefert nicht nur einen komfortablen und geeigneten Prüfstrom durch den Prüfling, sondern ermöglicht auch ein geringeres Gerätegewicht und einen verbesserten Batteriebetrieb.



Die besten 10-A-Mikroohmmeter bieten einen Messbereich von 0,1 Mikroohm bis 2.000 Ohm mit einer Auflösung von 0,1 Mikroohm am unteren Ende des Bereichs und einer Genauigkeit von $\pm 0,2\%$, $\pm 0,2$ Mikroohm. Bei einigen Geräten können verschiedene Messmodi gewählt werden, die für verschiedene Arten von Prüfbedingungen geeignet sind. Die Messmodi können manuelle, automatische oder kontinuierliche Prüfungen oder Hochleistungsprüfungen an Wicklungen sein.

Nachfolgend finden Sie eine Liste mit einer Auswahl der wichtigsten Anwendungsbereiche für Widerstandsmessungen mit Gleichstrom für 10-A-Mikroohmmeter.

- **Schalter- und Kontaktunterbrecher-Widerstand**
- **Stromschienen- und Kabelverbindungen**
- **Rahmenverbindungen von Flugzeugen und statische Steuerkreise**
- **Integrität einer Schweißverbindung**
- **Polbrücken zwischen Batteriezellen**
- **Resistive Komponenten (Qualitätskontrolle)**
- **Widerstand von Kleintransformatoren und Motorwicklungen**
- **Schienen- und Leitungsverbindungen**
- **Widerstand von Metalllegierungen, Schweißstellen und Sicherungen**
- **Graphitelektroden und sonstige Verbundstrukturen**
- **Widerstände von Drähten und Kabeln**
- **Senderantennen- und Blitzableiterausgleiche**

Mikroohmmeter mit 100 Ampere und höher

Nach IEC62271-100 erfordert die Prüfung des Übergangswiderstandes von Hochspannungs-Wechselstromschaltern einen Prüfstrom mit einem beliebigen Wert zwischen 50 A und dem Nenn-Betriebsstrom. Laut ANSI C37.09 sollte der Prüfstrom mindestens 100 A betragen. Die meisten Stromversorger ziehen es vor, mit höheren Strömen zu prüfen, da dies als repräsentativer für die Arbeitsbedingungen gilt.

Es sind tragbare Mikroohmmeter erhältlich, die zwischen 100 A und 600 A (abhängig vom Lastwiderstand und der Versorgungsspannung) liefern können. Die besten Geräte haben eine Messauflösung von 0,1 Mikroohm und ermöglichen einen variablen Prüfstrom für ein breiteres Anwendungsspektrum. Wird ein Test erst bei 10 A und dann bei einem höheren Strom durchgeführt, kann der Anwender die Wartungsanforderungen für den Leistungsschalter besser verstehen.

Wie bereits erwähnt, wurden bei Leistungsschaltern Verunreinigungen festgestellt, die für höhere Messwerte als erwartet gesorgt haben. Durch die Verwendung eines hohen Stroms kann die Verschmutzung durchbrochen werden, und der Anwender erhält so den richtigen Wert.

Zusätzlich zu Leistungsschaltern verwenden Stromversorger und Prüffirmen Mikroohmmeter mit höheren Strömen an anderen Hochspannungsgeräten, wie z. B.:

- **Kabel**
- **Kabelverbindungen**
- **Oberleitungsverbindungen**
- **Erdungsverbindungen**
- **Blitzableitungen**
- **Schweißnähte**
- **Sammelschienen**
- **Schaltanlagen im Allgemeinen**

Wenn ein Mikroohmmeter mit 100 A (oder mehr) verwendet wird, sollten Sie sich über bestimmte technische Probleme im Zusammenhang mit Prüfungen bei hohen Strömen im Klaren sein. Einige Anwender haben gezeigt, dass sie eine Prüfung mit 10 A durchführen und dann verbesserte Widerstandswerte mit Prüfströmen von 100 A (oder mehr) sehen. Dieser Unterschied in den Messungen wirft die Frage auf, ob ein zusätzlicher Wartungsbedarf besteht. Streng genommen sagt das Ohmsche Gesetz nicht aus, dass ein höherer Strom für die Messung benötigt wird. In der Gleichung $R = U/I$ ist die Stärke des Stroms nicht definiert. Handelt es sich hier um eine Situation, in der der hohe Strom Verunreinigungen von den Kontakten abstrahlen lässt und gleichzeitig die Kontakte miteinander verschweißt? Der Anwender muss sich darüber bewusst sein, dass dadurch ein mögliches Problem in einem Stromverteilungssystem überdeckt und notwendige Wartungsarbeiten umgangen werden könnten.

Anwender sollten sich auch darüber im Klaren sein, dass Hochstrommessgeräte für den Einsatz bei hohen Strömen vorgesehen sind. Ihre Genauigkeit kann bei kleinen Strömen, insbesondere bei der Messung kleiner Widerstände, erheblich abnehmen.

Nominaler vs. absoluter Prüfstrompegel

Batteriebetriebene digitale Mikroohmmeter haben unterschiedliche Prüfströme, die vom gewählten Widerstandsbereich abhängen. Im niedrigsten Bereich wird der höchste Strompegel und mit steigenden Widerständen wird ein zunehmend geringerer Strom eingesetzt. Nimmt der Widerstandsbereich um den Faktor 10 zu, verringert sich der Prüfstrom um den Faktor 10. Dies ermöglicht ein Gleichgewicht von Gewicht und Funktion; denn wenn der Strom mit steigenden Widerständen erhöht würde, würde dieses Feldgerät viel von seiner Tragbarkeit einbüßen, und seine Nützlichkeit für Feldprüfungen würde deutlich abnehmen. In Kraftwerken, Umspannwerken und Verteilungsanlagen sind die Prüfgeräte Störungen durch hohe Ströme ausgesetzt, die in der Umgebung erzeugt werden. Der Anwender muss einen Prüfstrompegel bestimmen, mit dem sich möglichst genaue und wiederholbare Messungen erzielen lassen.

Industriestandard-Prüfströme wurden ursprünglich nach dem Entwicklungsstand der Messtechnik entwickelt. Zu Beginn der technologischen Entwicklung wurden enorme Ströme benötigt, um

einen messbaren Spannungsabfall an einem Prüfling mit geringfügigem Widerstand zu erhalten. Nach dem Ohmschen Gesetz würde ein typisches Messgerät mit einem Millivolt-Vollausschlag 100 A benötigen, um einen so geringen Widerstand wie ein Mikroohm zu messen. Das das Mikroohm die bevorzugte Maßeinheit für niederohmige Tests ist, waren 100-A-Messgeräte der Standard in den frühen Jahren der Messgeräte.

Leider hat dies dazu geführt, dass die Prüfgeräte groß, schwer zu bewegen und nur bedingt einsetzbar waren. Die Entwicklung von Kreuzspulenmesswerken mit einem Ausgleich von Spannung und Strom in zwei getrennten Spulen, die den Zeiger antreiben, führte zu einem dramatischen Anstieg der Empfindlichkeit und senkte die benötigten Prüfströme auf das bekannte 10-A-Niveau. Natürlich haben Mikroprozessoren die Empfindlichkeit moderner Geräte weiter erhöht. Dieser Prozess wird jedoch durch die Notwendigkeit einer angemessenen Rauschunterdrückung begrenzt. Mikroohmmeter messen bei Pegeln, die mehrere Zehnerpotenzen niedriger liegen als bei herkömmlichen Multimetern. Das Rauschen wird im Vergleich dazu groß und macht die Rauschunterdrückung zu einem zentralen Faktor für die Funktion des Gerätes. Das Prüfgerät muss daher ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis erreichen und einhalten können.

Prüfgeräte, die große Prüfströme ausgeben, werden immer noch häufig verwendet, jedoch hauptsächlich für Prüfungen an bestimmten Gerätetypen. Der limitierende Faktor am oberen Ende ist vor allem die Wärmeentwicklung. Prüfungen bei zu hohem Strom können zu einer Verfälschung der Messungen aufgrund von Wärme führen, den Prüfling schädigen und sogar zum Verschweißen von Kontakten führen. Bestimmte Gerätetypen wie Hochspannungs-Wechselstromschuttschalter (siehe IEC62271-100) haben ausreichend große Leiter und Kontaktflächen, um Ströme von mehreren hundert Ampere ohne diese schädlichen Auswirkungen zu übertragen.

Bei der Prüfung von Spulen, Transformatoren oder anderen magnetischen Bauelementen ist der Prüfstrombedarf aufgrund der induktiven Eigenschaften dieser Bauelemente kritisch. Industrienormen können festgelegte hohe Ströme erfordern. Die Auswahl ist in der Regel ein Kompromiss zwischen verschiedenen Faktoren, wie oben beschrieben, mit stärkerem Blick auf die Praktikabilität als auf wissenschaftlich begründete Anforderungen. Hochentwickelte Prüfgeräte gleichen den Strom automatisch mit der Last ab, um maximale Präzision und minimale Wärmeeinwirkung zu erzielen, sodass es nicht notwendig ist, beim Prüfvorgang bestimmte, vorgewählte Werte vorzugeben. Einige Hersteller spezifizieren über 200 Ampere für SF6-Schalterkontakte, um die Oxidation an den Kontaktflächen zu überwinden.

Hinweis: Das Kelvin-Brückenmessgerät, mit dem Messungen im Bereich unter 1 Mikroohm durchgeführt wurden, setzt einen Prüfstrom von ca. 5 A ein.

Automatische Bereichsermittlung

Die Automatische Bereichsermittlung eines Instruments ermöglicht dem Anwender den vollen Einsatz der Prüfsonden. Ein Gerät mit Auto-Bereichsermittlung wählt automatisch den Bereich aus, um die beste Nutzung des Displays zu gewährleisten, die empfindlichste Anzeige für die Messung zu liefern und die Auflösung des Messwertes zu optimieren.

Bei einer Reihe von Messungen kann der Anwender seine Zeit optimal nutzen.

Schutzart

Irgendwo im Kleingedruckten (in den Spezifikationen) der meisten Produktinformationen von Prüfgeräten befindet sich eine Angabe zur IP-Schutzart, eine Zahl, die dem Anwender wichtige Informationen liefert. Die IP-Schutzart verrät dem Anwender, ob ein Prüfgerät für eine Anwendung und/oder Prüfumgebung geeignet ist.

„IP“ steht für „Ingress Protection“. Das ist der Grad, in dem das Gerät dem Eindringen von Fremdkörpern standhalten kann. Das IP-Schutzsystem wurde von der IEC (International Electrotechnical Commission) in ihrer Norm 529 festgelegt und dient dem Anwender als Leitfaden, um die Lebensdauer des Gerätes zu verlängern. Es kann dem Anwender auch helfen, eine fundiertere Kaufentscheidung zu treffen, indem er sicherstellt, dass das Testgerät für den Einsatz in der Arbeitsumgebung des Anwenders ausgelegt ist.

Die IP-Schutzart besteht aus zwei Zahlen, die jeweils eine bestimmte Eigenschaft beschreiben. Die Bezeichnung zeigt an, wie gut der Gegenstand gegen das Eindringen von Fremdkörpern, sowohl Feuchtigkeit als auch Staub, abgedichtet ist (je höher die Zahl, desto besser der Schutzgrad). Was würde eine typische Schutzart von IP54 einem Käufer über die Anwendungsmöglichkeiten eines Modells sagen? Wenn Sie zeigen wollen, dass Sie sich gut auskennen, dann liegt IP fünf vier, nicht IP vierundfünfzig vor. Jede Ziffer gibt eine separate Schutzart an, nicht beide Ziffern gemeinsam.

Die erste Ziffer bezieht sich auf das Eindringen von Partikeln und gibt an, in welchem Ausmaß feste Gegenstände in das Gehäuse eindringen können. Ein Wert von „5“ bedeutet „staubgeschützt“, sowie geschützt vor Eindringen mit einem Draht bis zu 1,0 mm. Es gibt nur eine höhere Kategorie: „staubdicht“.

Die zweite Ziffer bezieht sich auf die Feuchtigkeit. Ein Wert von „4“ bedeutet einen Schutz vor „Spritzwasser, egal aus welcher Richtung“. Die höheren Werte von 5 bis 8 stehen für Schutz vor „Strahlwasser“ und „vorübergehendes“ oder „kontinuierliches“ Eintauchen.

Angenommen, ein in Frage kommendes Gerät hat die Schutzart IP43. Was würde das dem Anwender über seine Einsatzmöglichkeiten sagen? Kann es in einem Steinbruch oder Zementwerk umfassend genutzt werden? Kaum! Die Partikelschutzklasse 4 steht für Schutz vor „Objekten gleich oder größer als 1 mm“. Das ist ein Felsbrocken im Vergleich zu den Partikeln, die typischerweise bei diesen industriellen Prozessen entstehen. Fliegender Staub könnte das Gerät außer Betrieb setzen.

Angenommen, das Gerät hat die Schutzart IP42. Eine Feuchtigkeitsschutzklasse von 2 steht für einen Schutz vor „Tropfwasser“. Daher wäre es nicht beständig gegen Sprühnebel. Wenn ein Gerät in einer Umgebung eingesetzt wird, die seine Schutzart überschreitet, bedeutet dies, dass der Anwender sehr bald ein neues Gerät benötigen wird. Wie

wäre es mit einer Schutzart von IP40? Eine Feuchtigkeitsschutzklasse von 0 bedeutet, dass das Gerät **nicht** gegen das Eindringen von Flüssigkeiten geschützt ist.

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die verschiedenen Schutzarten und deren Bedeutung für den Anwender:

Tabelle 2: Schutz vor Eindringen

| Erste Ziffer | Beschreibung |
|--------------|--|
| 0 | Nicht geschützt |
| 1 | Objekte gleich oder größer als 50 mm Geschützt gegen den Kontakt mit dem Handrücken |
| 2 | Objekte gleich oder größer als 12,5 mm Geschützt gegen Eindringen mit gelenkigem Finger |
| 3 | Objekte gleich oder größer als 2,5 mm Geschützt gegen Eindringen mit einem Werkzeug |
| 4 | Objekte gleich oder größer als 1 mm Geschützt gegen Eindringen mit einem Draht |
| 5 | Staubgeschützt |
| 6 | Staubdicht |

Tabelle 3: Schutz gegen Eindringen von Flüssigkeiten

| Zweite Ziffer | Beschreibung |
|---------------|--|
| 0 | Nicht geschützt |
| 1 | Senkrecht tropfendes Wasser |
| 2 | Wassertropfen, Gehäuse bis 15° geneigt |
| 3 | Sprühwasser, bis zu einem Winkel von 60° zur Senkrechten |
| 4 | Spritzwasser, jede Richtung |
| 5 | Strahlwasser, jede Richtung |
| 6 | Starkes Strahlwasser, jede Richtung |
| 7 | Temporäres Eintauchen in Wasser |
| 8 | Kontinuierliches Eintauchen in Wasser |

Auswertung/Interpretation der Ergebnisse

Wiederholbarkeit

Ein hochwertiges Mikroohmmeter liefert wiederholbare Messwerte innerhalb der Genauigkeitsspezifikationen für das Gerät. Eine typische Genauigkeitsspezifikation beträgt $\pm 0,2\%$ vom Messwert, ± 2 LSD (niederwertigste Stelle, Least Significant Digit). Bei einem Messwert von 1.500,0 erlaubt diese Genauigkeitsspezifikation Abweichungen von $\pm 3,2$ ($0,2\% \times 1.500 = 3$; $2 \text{ LSD} = 0,2$).

Zusätzlich muss beim Messwert der Temperaturkoeffizient berücksichtigt werden, wenn die Umgebungstemperatur von der Standard-Kalibriertemperatur abweicht.

Stichprobenmessungen/ Basiserwartungen für Messwerte

Stichprobenmessungen können sehr wichtig sein, um den Zustand eines elektrischen Systems zu verstehen. Der Anwender sollte eine Vorstellung davon haben, in welchem Bereich sich der zu erwartende Messwert bewegen wird, basierend auf dem Datenblatt des Systems oder dem Typenschild des Lieferanten. Anhand dieser Informationen können Abweichungen identifiziert und analysiert werden. Ein Vergleich kann auch mit Daten, die auf ähnlichen Geräten gesammelt wurden, durchgeführt werden.

Wie bereits erwähnt, sollte das Datenblatt oder Typenschild eines Gerätes die für seinen Betrieb relevanten elektrischen Daten enthalten. Der Spannungs-, Strom- und Leistungsbedarf kann zur Abschätzung des Widerstandes einer Schaltung verwendet werden, und die Betriebsspezifikation kann zur Bestimmung der zulässigen Änderungen an einem Gerät verwendet werden (z. B. ändern sich bei Batteriepolbrücken die Anschlusswiderstände mit der Zeit). Verschiedene nationale Normen geben Anhaltspunkte für regelmäßige Prüfzyklen.

Die Temperatur des Gerätes hat einen starken Einfluss auf den zu erwartenden Messwert. Beispielsweise unterscheiden sich die an einem heißen Motor gesammelten Daten von einer Messung am kalten Motor zum Zeitpunkt der Installation. Wenn sich der Motor erwärmt, steigen die Widerstandswerte. Der Widerstand von Kupferwicklungen reagiert auf Temperaturschwankungen, die auf den Grundeigenschaften des Werkstoffes Kupfer beruhen. Eine detailliertere Betrachtung der Auswirkungen von Temperaturunterschieden ist im Anhang enthalten. Anhand der Typenschilddaten eines Motors kann die zu erwartende prozentuale Widerstandsänderung durch die Temperatur mit Hilfe von Tabelle 4 für Kupferwicklungen oder der dieser Tabelle zugrundeliegenden Gleichung abgeschätzt werden.

Verschiedene Materialien haben unterschiedliche Temperaturkoeffizienten. Dadurch variiert die Temperaturkorrekturgleichung in Abhängigkeit vom zu prüfenden Material.

Tabelle 4: Kupfer: Temperatur-/Widerstandsverhältnis

| Temperatur °C (°F) | Widerstand $\mu\Omega$ | Veränderung in % |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| -40 (-40) | 764,2 | -23,6 |
| 32 (0) | 921,5 | -7,8 |
| 68 (20) | 1.000,0 | 0,0 |
| 104 (40) | 1.078,6 | 7,9 |
| 140 (60) | 1.157,2 | 15,7 |
| 176 (80) | 1235,8 | 23,6 |
| 212 (100) | 1.314,3 | 31,4 |
| 221 (105) | 1.334,0 | 33,4 |

$$R(\text{Ende der Prüfung})/R(\text{Beginn der Prüfung}) \\ = (234,5 + T(\text{Ende der Prüfung})) / (234,5 + T(\text{Beginn der Prüfung}))$$

Verlauf

Zusätzlich zum Vergleich von Messungen mit einem Mikroohmmeter mit einem voreingestellten Standard (Stichprobe) müssen die Ergebnisse gespeichert und mit früheren und zukünftigen Messungen verglichen werden. Die Protokollierung von Messungen auf Standardformularen und Erfassung der Daten in einer zentralen Datenbank verbessert die Effizienz des Prüfbetriebs. Frühere Prüfdaten können vom Anwender eingesehen und die Bedingungen vor Ort ermittelt werden.

Die Entwicklung einer Tendenz bei den Messwerten hilft dem Anwender, besser vorherzusagen, wann eine Verbindung, Schweißnaht, ein Anschluss oder ein anderes Bauteil unsicher wird, und die notwendigen Reparaturen durchzuführen. Denken Sie daran, dass eine Zustandsverschlechterung ein langsamer Prozess sein kann. Elektrische Geräte sind mechanischen Bewegungsabläufen oder thermischen Zyklen ausgesetzt, die die Leitungen, Kontakte und Anschlüsse ermüden können. Zusätzlich können diese Komponenten auch chemischen Angriffen aus der Atmosphäre oder von Menschenhand ausgesetzt sein. Regelmäßige Tests und die Aufzeichnung der Ergebnisse liefern eine Datenbank mit Werten, mit der Verläufe bei den Widerstandswerten erkannt werden können.

Hinweis: Bei regelmäßigen Messungen sollte der Anwender die Sonden immer an der gleichen Stelle am Prüfling anschließen, um vergleichbare Prüfbedingungen zu gewährleisten.

Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt, bei denen die Verlaufserstellung dem Anwender helfen kann, fundiertere Wartungsentscheidungen zu treffen:

Leistungsschalter

Wie bereits erwähnt, erhöht der mechanische Verschleiß der Leistungsschalterkontakte, der die Fläche der Kontaktflächen verringert, gemeinsam mit Funkenbildung und/oder Lichtbogenbildung, den Widerstand an den Arbeitsanschlüssen. Dies erzeugt Wärme, die die Funktionsfähigkeit des Leistungsschalters verringern kann. Regelmäßige Messungen zeigen das Maß, in dem der Kontaktwiderstandswert ansteigt. Wenn diese Werte mit der ursprünglichen Herstellerspezifikation verglichen werden, kann entschieden werden, weiterzumachen oder zu reparieren. Durch die Verfolgung des Verlaufs der Messwerte erhält der Anwender eine Vorstellung davon, wann der Leistungsschalter gewartet werden muss, bevor ein Schaden entsteht.

Notstrom-Batteriesysteme

Die Schnittstelle zwischen den Anschlussklemmen und den Polbrücken von Notstrom-Batteriesystemen ist chemischen Angriffen durch die saure Atmosphäre, Temperaturveränderungen durch die Lade- und Entladeströme und mechanischen Belastungen durch Vibrationen ausgesetzt. Jeder dieser Faktoren kann dazu führen, dass sich der Widerstandswert der Verbindung verschlechtert, was bei einer kritischen Leistungsentladung zu einem Brand (aufgrund des höheren Wasserstoffgehalts in der umgebenden Luft) führen kann.

Batteriesysteme erfordern sorgfältige Aufmerksamkeit, da Ersatzbatterien sowohl teuer als auch nicht von der Stange erhältlich sind. Ein Ausfall kann dazu führen, dass ein Batteriesystem für einige Wochen außer Betrieb ist. Durch regelmäßige Messungen des Widerstands an den Polbrücken werden alle Anschlüsse identifiziert, die sich seit der letzten Prüfung verschlechtert haben, und es können Korrekturmaßnahmen geplant werden.

Hinweis: Bei Verbindungen mit überdurchschnittlich hohen Widerstandswerten sollte der Anwender die Schrauben nicht nachziehen, da dadurch der weiche Bleianschluss überbeansprucht wird. Übermäßiges Anziehen löst das Problem nicht. Die korrekte Vorgehensweise besteht darin, die Brücken zu demontieren, zu reinigen, zu fetten und dann mit den Schrauben, die auf das vom Hersteller angegebene Drehmoment angezogen werden, wieder zu verbinden. Alle Anschlüsse sollten sich innerhalb eines engen Toleranzbereichs von ± 10 bis 20 % befinden.

Bei diesen und vielen anderen Systemen kann der Zeitverlust für die Reparatur defekter Geräte im Vergleich zu den Kosten für eine wochenlange Außerbetriebnahme gering sein. Mit regelmäßigen Prüfungen können viele Probleme vermieden werden. Die Analyse der Daten anhand früherer Werte und angemessener Standards ermöglicht es dem Anwender, den richtigen Zeitpunkt für Korrekturmaßnahmen zu wählen.

Der Wert eines Systems liegt darin, bei Bedarf zu funktionieren. Ein Betrieb hängt davon ab, dass viele Systeme jederzeit verfügbar sind. Wenn Elemente versagen, gibt es einen Produktionsverlust, und es wird Zeit für Notreparaturen verschwendet. Die Durchführung und Analyse von regelmäßigen Niederohmmessungen sparen Unternehmen Geld, da sie dabei helfen, Probleme zu identifizieren, bevor sie zu einem katastrophalen Ausfall führen.

Das Praxisbeispiel in Abb. 22 zeigt, wie eine Verlaufserstellung bei regelmäßig durchgeführten Niederohmmessungen, dem Anwender kritische Informationen liefern kann.

Bei den Niederohmmessungen an den Litzenkabeln von Punktschweißroboter Nr. 23 sammelt der Anwender Daten, um abzuschätzen, wann die Ermüdung des Stromleiters die Qualität des Schweißnuggets beeinträchtigt. Die Prüfdaten beginnen mit den Angaben des Kabelherstellers. Das Beispiel zeigt, dass eine Widerstandserhöhung von bis zu 10 % als akzeptabel gilt.

In diesem Fall werden die Messungen nach einer bestimmten Anzahl von Schweißvorgängen durchgeführt. Beachten Sie bei der Darstellung dieser Daten die Änderungsrate, wenn sich die Messwerte dem Ende der Lebensdauer des Litzenkabels nähern. Der kritische Faktor könnte ein länger anhaltender Kontakt mit einem chemischen Lösungsmittel gewesen sein. In anderen Betrieben ist der kritische Faktor die Zeit, wobei die Prüfungen saisonal oder nach einer bestimmten Anzahl von Tagen durchgeführt werden.

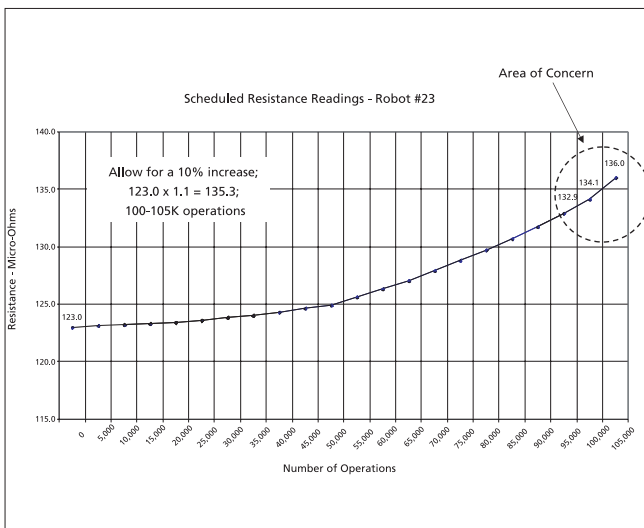


Abb. 22: Verlaufsanalyse von Niederohmmesswerten

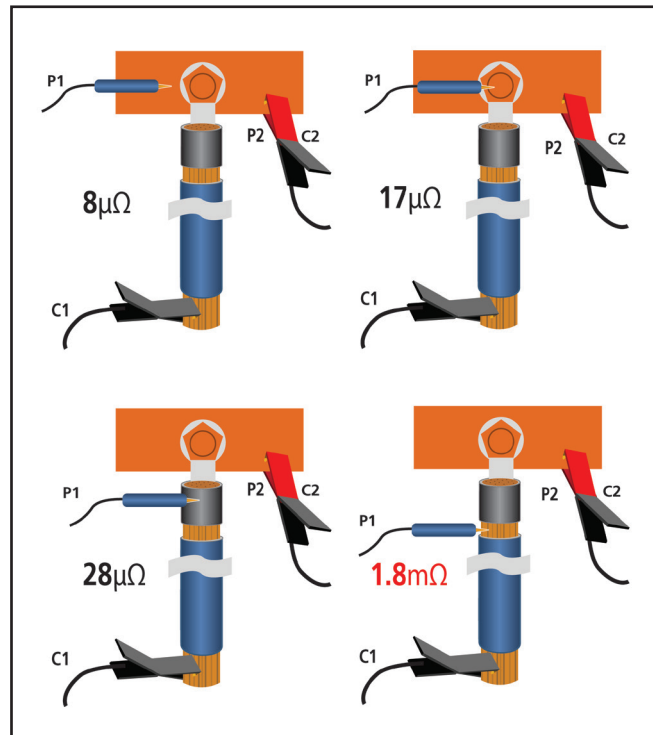


Abb. 23: Klemme C1 wird mit dem Ende der zu prüfenden Schaltung verbunden

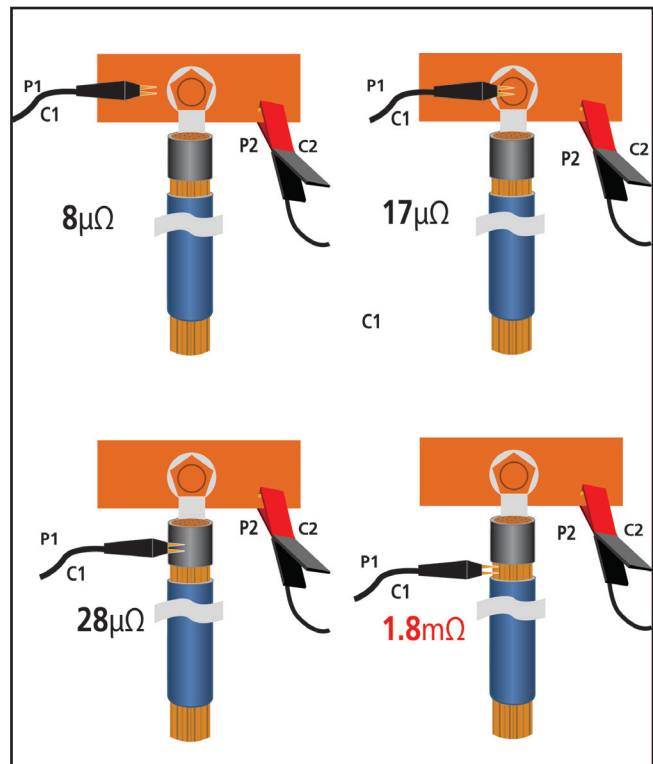


Abb. 24: Durchführung der gleichen Prüfung wie in Abb. 23 mit Duplex-Handspitze

Messen von Systemkomponenten

Bei der Verwendung von geteilten Strom- und Spannungsmessleitungen besteht die Möglichkeit, fehlerhafte Bauteile und Anschlüsse zu lokalisieren, indem an jedem Anschluss oder jeder Verbindung die Erhöhung des Widerstands geprüft wird.

Ein Beispiel ist die Messung des Widerstandes an der Verbindung Kabel-Kabelschuh oder Kabelschuh-Schraubverbindung, während das Kabel mit einem System verbunden ist.

In Abbildungen 23 und 24 ist eine Kelvin-Prüfklemme dargestellt, die für die C2- und P2-Verbindungen an eine Stromschiene angeschlossen ist, obwohl diese Verbindungen auch leicht mit separaten Klemmen ausgeführt werden könnten.

Abb. 23 zeigt eine große C1-Klemme, die an das Ende des zu prüfenden Stromkreises, in diesem Fall das Ende eines Kabels, angeschlossen wird. Eine einzelne Sondenspitze wird für den Anschluss P1 verwendet, um den Punkt, an dem die Messung erforderlich ist, einfach zu erreichen.

In Abb. 24 wird eine Duplex-Handspitze verwendet, um die gleichen Prüfungen durchzuführen. Es werden annähernd die gleichen Widerstandswerte gemessen, obwohl sie in der Praxis aufgrund der Stromdichtedifferenz, die durch den unterschiedlichen C1-Anschlusspunkt entsteht, geringfügige Unterschiede aufweisen.

Die Ergebnisse der Prüfung in Abb. 24 zeigen einen Widerstandssprung von fast $1,8 \text{ m}\Omega$ an der Verbindung zwischen Kabel und Crimp-Kabelschuh. Dies würde mit einer Durchgangsprüfung mit 200 mA oder einem Multimeter nicht erkannt werden. Dieser zusätzliche Widerstand wird steigen, bis er schließlich einen Zusammenbruch oder sogar einen Brand verursacht. In seiner jetzigen Form führt der zusätzliche Widerstand mindestens zu Leistungsverlusten.

Hohe Ströme bei Niederohmmessungen

Niederohmmessungen sind gut dazu geeignet, resistive Elemente zu identifizieren, die sich im Laufe der Zeit aufgrund von Umgebungsbedingungen ändern. Zu den Umwelteinflüssen, die Geräte oder Materialien beeinträchtigen können, gehören Temperatur, Rauschen oder induzierte Ströme, thermische EMK/Seebeck-Spannung, Ermüdung, Korrosion, Vibrationen, Oxidation, Hot-Spots (siehe „Mögliche Fehlerquellen/Qualitätssicherung“ auf Seite 23 unten).

Niederohmmessungen liegen typischerweise unter 1 A, daher ist es wichtig, dass die Fehler der Prüfmittel minimiert werden. Um diese Fehler so weit wie möglich zu minimieren, verwenden Sie die Vierleiter-Prüfmethode (Kelvin), die genaue Ergebnisse liefert, wenn ein niedriger Widerstand gemessen wird.

- **Hohe Ströme werden von den internationalen Prüfnormen für Hochspannungs-Leistungsschalter und von Megger empfohlen (Umgang mit Erhitzungs-Problemen).**
- **Höhere Prüfströme erhöhen die Wahrscheinlichkeit für gute und zuverlässige Prüfergebnisse.**
- **Schlechte Ergebnisse bei niedrigen Strömen zeigen nicht immer an, dass sich ein Kontakt in einem schlechten Zustand befindet (Verschmutzung), ebensowenig wie ein gutes Ergebnis einen guten Kontaktzustand anzeigt (Hot-Spots).**

Die internationalen Normen für die Prüfung von Hochspannungs-Leistungsschaltern finden Sie in IEC 622 7 1 und IEEE C32.09.

Prüfstrom (Gleichstrom)

- **Mindestens 50 A (IEC): 100 A (ANSI)**

Mögliche Fehlerquellen/Qualitätssicherung

Der Anwender kann Niederohmmessungen dadurch beeinträchtigen, dass er ein ungeeignetes Prüfgerät wählt oder die Temperatur am Prüfplatz nicht ermittelt und auf dem Prüfdatenblatt vermerkt. Vor einer Prüfung kann die Vorbereitung der Oberflächen entscheidend sein. Schwere Zunder- oder Oxidschichten müssen entfernt werden, um eine saubere Oberfläche freizulegen und gute Stromanschlüsse zu gewährleisten.

Messleitungen/-klemmen

Die Spezifikation eines Gerätes muss eine Auflistung mit Empfehlungen für geeignete Messleitungen enthalten. Der Anwender sollte immer prüfen, ob die richtigen Leitungen verwendet werden, da diese zwar gleich aussehen können, aber unterschiedliche Widerstände haben, die den maximalen Strom, den das Gerät erzeugen kann, begrenzen können.

Verwenden Sie keinen Thermoelement-Verlängerungsdraht anstelle von Kupferleitungen, da das abweichende Material zu unregelmäßigen Daten führt, die sich mit den Jahreszeiten ändern.

Auch die Auswahl der Sonde ist von zentraler Bedeutung. Hochstromprüfungen erfordern zuverlässige Verbindungen zur Arbeitsfläche, da ein hoher Widerstand an der Kontaktstelle den zu erwartenden Prüfstrom begrenzen kann, was zu einem schlechten Signal-Rausch-Verhältnis mit unregelmäßigen Ergebnissen führt. Der Einsatz von ungeeigneten Sonden für die jeweilige Anwendung kann zu unzuverlässigen Ergebnissen führen.

In allen Fällen werden Prüfungen mit Stromeinspeisung und Spannungsmessungen an getrennten Stellen am Bauteil durchgeführt. Spannungs-Prüfklemmen dürfen niemals an den Stromanschluss angeschlossen werden, da der Spannungsabfall an der Stromschnittstelle zur Spannungsmessung addiert wird und einen Fehler im Messwert verursacht. Der ideale Stromanschluss speist den Strom oberhalb der Spannungs-Messposition ein. Wenn diese Punkte nahe beieinander liegen, werden die Verbindungen mit Kelvin-Klemmen- oder C-Klemmen hergestellt, die Strom in einem Winkel von 180° zum Spannungsanschluss einspeisen (siehe Abb. 25).

Die Messleitungen sind auf batteriebetriebene Messgeräte abgestimmt, um sicherzustellen, dass dem Prüfling der Prüfstrom zugeführt wird.

Und schließlich werden die Sonden dafür konstruiert, dass sie eine elektrische Verbindung mit dem Prüfling herstellen. Sie sind nicht für die Reinigung von Oberflächen, Öffnen von Dosen usw. bestimmt.

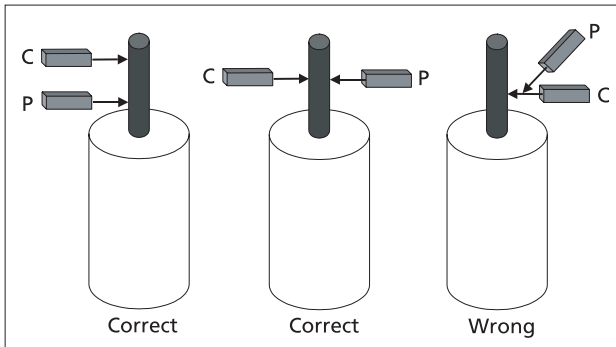


Abb. 25: Korrekte und falsche Platzierung der Sonden

Die Sonden sind in fünf Grundausführungen erhältlich. Jede Sonde ist für spezifische Feld- und/oder Anwendungssituationen ausgelegt. Abb. 26 zeigt einige der verschiedenen Arten.

Festspitze: Wirtschaftliche und leichte Sonden.

Kelvin-Klemmen: Verfügen über Gabelstecker am äußeren Ende und Krokodilklemmen mit isolierten, versilberten oder vergoldeten Backen.

Lineare Federspitzen: Sind mit Federspitzen versehen, die in den Griff zurückgleiten, um Unebenheiten der Oberfläche auszugleichen. Sind für saubere Oberflächen konzipiert, da sie nicht durch Schmutz auf Oberflächen „schneiden“ können.

Spiralfederspitzen: Die Spitzen rotieren und pressen sich in den Sondenkörper ein, sodass die Sonden jeden Fett- oder Oberflächenfilm durchbrechen und eine genaue Messung gewährleisten. Zusätzlich hinterlassen diese Sonden eine Markierung auf der Prüflingsoberfläche, um die Punkte zu identifizieren, an denen die Prüfung durchgeführt wurde. Bei der Verwendung dieser Sonden ist Vorsicht geboten, wenn die zu berührende Fläche empfindlich gegenüber Druckstellen ist.

C-Klemmen: Ein Strom fließt durch die C-Klemme und das Schraubgewinde, während die Spannung an einem vom Klemmenmetall isolierten Vierpunkt-Amboss anliegt.

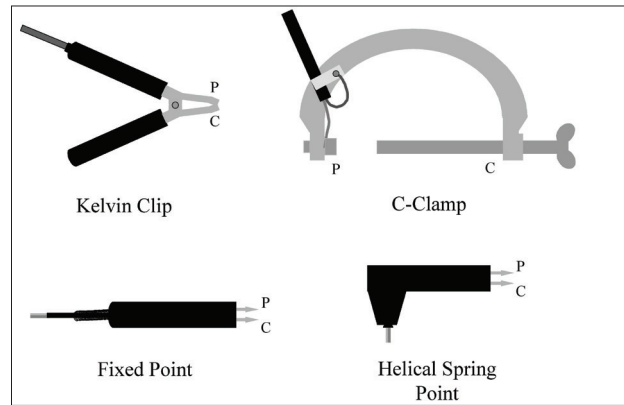


Abb. 26: Grundarten von Sonden

Genauigkeitsangaben

Hochwertige Mikroohmmeter zeigen ihre Genauigkeit in Form von „ $\pm X, X$ % vom Messwert, $\pm X$ LSD“ an. Hüten Sie sich bei Messgeräten vor Genauigkeitsangaben, die als Prozent des Messbereichs und nicht als Prozent des Messwertes angegeben sind. Während diese Genauigkeitsangaben gleich aussehen können, würden die Messungen an einem Gerät mit einer Messgenauigkeit in % des Messbereichs weniger genaue Messwerte liefern.

Die Auflösung eines Messgerätes ist typischerweise die Hälfte der niederwertigsten Stelle (LSD), die in der Genauigkeitsangabe angegeben ist. Die Größenordnung der LSD wirkt sich auf die Wiederholbarkeit der Messung aus. Eine große LSD-Zahl hängt mit einer geringen Empfindlichkeit des Gerätes zusammen, was der Messung einen zusätzlichen Fehler hinzufügt.

Überprüfen Sie den Temperaturkoeffizienten des ausgewählten Gerätes. Der Temperaturkoeffizient (% des Messwertes pro Grad) wird mit der Differenz zwischen der Temperatur am Prüfort und der Kalibrationstemperatur des Gerätes multipliziert und wirkt sich auf die Genauigkeit der Feldmessungen aus. Ein Gerät mit einer Genauigkeitsangabe von $+ 0,2$ %/°C sollte nicht im Feld eingesetzt werden, da es am besten in einem Labor mit konstanter Umgebung eingesetzt wird.

Alle diese Eigenschaften müssen dem Anwender bei der Auswahl des Prüfgerätes bekannt sein.

Störung

Ein starkes elektrisches Feld, eine Flussverkettung mit einem Hochstromkreis oder eine durch einen Hochspannungsleiter induzierte Spannung können Störungen am Prüfort verursachen. Zusätzlich können Erdströme Rauschen auf einem Leiter verursachen. Störungen können die Empfindlichkeit verringern und zu instabilen Messwerten führen. Ein Gerät mit geringer Rauschunterdrückung oder Brummdämpfung kann stabil sein, wenn es auf dem Prüfstand getestet wird, aber unter bestimmten Feldbedingungen unzuverlässig werden.

Moderne Elektronik kann den Rauschpegel erkennen und einige Geräte zeigen anhand dessen an, wenn zu starkes Rauschen vorhanden ist, um eine aussagekräftige Messung vorzunehmen.

Eine einfache Technik zur Minimierung von Rauschen ist die Messung bei hohen Strömen, da dadurch das gemessene Signal größer wird als das Rauschen.

Versorgung mit dem angegebenen Prüfstrom unter Last

Batteriebetriebene digitale Mikroohmmeter haben unterschiedliche Prüfströme, die vom gewählten Widerstandsbereich abhängen. Im niedrigsten Bereich wird der höchste Strompegel und mit steigenden Widerständen wird ein zunehmend geringerer Strom eingesetzt (nimmt der Widerstandsbereich um den Faktor 10 zu, verringert sich der Prüfstrom um den Faktor 10). Dies ermöglicht ein effektives Gleichgewicht zwischen Gewicht und Funktionalität.

Der vom Gerät gelieferte Ausgangsstrom ist unwesentlich, da das Gerät zum Zeitpunkt der Prüfung den tatsächlichen Prüfstrom misst. Das Gerät muss jedoch in der Lage sein, einen ausreichenden Strom zu liefern, um in der Gegenwart typischen Rauschens für ein klares Signal zu sorgen. Ein typisches Gerät kann eine Toleranz von 10 % bis 20 % bei maximalem Strom haben. Für eine gute Spannungsmessung muss der Strom jedoch stabil gehalten werden. Der kritische Faktor für die Messung ist die Spannungsmessung über die Spannungsleitungen (Ohmsches Gesetz).

Nur bei Transformatoren ist der Prüfstrom kritisch aufgrund der magnetischen Eigenschaften der Transformatorwicklungen. Es wird ausreichend Strom benötigt, um die Wicklung zu sättigen, danach wird mit einem geringeren Konstantstrom die Messung durchgeführt.

Messung auf einer stabilen Plattform

Ein spannungsfreier Prüfling bietet eine stabile Plattform für die Messung. Unter Spannung stehende Schaltungen können für eine instabile Prüfplattform sorgen. Ein Beispiel hierfür ist die Prüfung von Batterie-Polbrücken an einem USV-System. Die Lade- bzw. Entladeströme können zu Rauschen an den zu messenden Polbrücken führen und gleichzeitig die Widerstandswerte erhöhen (durch Erwärmung der Brücke und ihrer Anschlüsse).

Bei der Datenerfassung muss der Anwender die Testbedingungen definieren. Wie bereits erwähnt, kann die Temperatur einen wesentlichen Einfluss auf die durchgeführten Messungen haben. Der Anwender muss die Temperatur notieren und alle elektrischen Geräte, die im Prüfbereich betrieben werden, dokumentieren.

Materialwiderstand

Leiter mit den gleichen Abmessungen haben unterschiedliche Widerstände, wenn sie aus unterschiedlichen Materialien bestehen, da die Anzahl der freien Elektronen in unterschiedlichen Stoffen variiert. Wir erfassen diese Unterschiede mit dem Begriff Materialwiderstand, d. h. dem Widerstand einer Materialprobe mit definierten Abmessungen.

Während Wissenschaftler dazu neigen, Materialwürfel als Standardmaß zu verwenden (ein Würfel mit einer Kantenlänge von einem cm oder einem Zoll), sind Leiter in der Regel kreisförmig, sodass ein kreisförmiger Standard für den praktischen Einsatz wichtig ist.

Der Materialwiderstand wird in Ohm-circular mil pro Fuß definiert, d. h., das ist der Widerstand (in Ohm) eines Materialstücks mit einem Fuß Länge und einem Querschnitt von einem circular mil. Er ist für eine Temperatur von 20 °C definiert.

Tabelle 5 zeigt die Widerstände für eine Reihe von leitenden Materialien an^v:

In den meisten Feldanwendungen bestimmt der Anwender die Eignung einer Feldmessung anhand einer vorgewählten Spezifikation. In den meisten Fällen stammen diese Spezifikationen von folgender Formel ab (bei 20 °C):

$$R = \rho L/A$$

ρ = Materialwiderstand in Ohm-circular mil pro Fuß.

L = Abstand zwischen zwei Punkten auf dem Material, in Fuß.

A = Querschnittsfläche gemessen in circular mils.

Tabelle 5: Materialwiderstände verschiedener Leiter

| Material | Mikroohm | | Ohm-circ. mil pro Fuß |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Inch ³ | |
| Aluminium | 2,83 | 1,11 | 17,0 |
| Kohlenstoff (Graphit) | 700 | 275 | 4.210 |
| Konstantan (Cu 60 %, Ni 40 %) | 49 | 19,3 | 295 |
| Kupfer (geglüht) | 1,72 | 0,68 | 10,4 |
| Eisen (99,98 % rein) | 10 | 3,94 | 60,2 |
| Blei | 22 | 8,66 | 132 |
| Manganin (Cu 84 %, Ni 4 %, Mn 12 %) | 44 | 17,3 | 264 |
| Quecksilber | 95,78 | 37,7 | 576 |
| Platin | 9,9 | 3,9 | 59,5 |
| Silber | 1,65 | 0,65 | 9,9 |
| Wolfram | 5,5 | 2,17 | 33,1 |
| Zink | 6,1 | 2,4 | 36,7 |

v Electrical Meterman's Handbook; Dritte Ausgabe; 1965; Seite 479

Temperatureinflüsse

Widerstandsmessungen sind temperaturabhängig. Wurden die Originaldaten bei einer Temperatur ausgelesen, aber später Prüfungen bei anderen Temperaturen durchgeführt, sind Daten über diese Temperaturen erforderlich, um zu ermitteln, ob die Messwerte in Ordnung sind. Nicht alle Materialien reagieren in gleichem Maße auf Temperaturänderungen. Aluminium, Stahl, Kupfer und Graphit haben spezifische Temperaturkoeffizienten, mit denen zusammenhängt, wie stark die Veränderungen aufgrund der Temperatur am Prüfort sein können.

Niederohmmessungen beruhen darauf, dass der Anwender die Prüfungen innerhalb des Betriebstemperaturbereichs des Geräts durchführt (der Anwender muss sich über die Bedingungen vor Ort im Klaren sein). Wenn der Anwender Messwerte außerhalb des Toleranzbereichs erhält, besteht einer der ersten Schritte darin, den Messwert des Geräts mit einem geeigneten Kalibrier-Shunt zu überprüfen.

Wie bereits erwähnt, sind Widerstandsmessungen temperaturabhängig. Der Widerstand aller reinen Metalle nimmt mit steigender Temperatur zu. Die proportionale Widerstandsänderung für ein bestimmtes Material mit einer Temperaturänderung in Höhe einer Grundeinheit wird als Temperaturkoeffizient des Widerstands für dieses Material bezeichnet. Die Temperaturkoeffizienten werden als relative Widerstandserhöhung bei einem Temperaturanstieg von einem Grad ausgedrückt. Während die meisten Materialien positive Temperaturkoeffizienten haben (Widerstand steigt mit steigender Temperatur), haben Kohlenstoffgraphit-Materialien negative Temperaturkoeffizienten (Widerstand sinkt mit steigender Temperatur).

Tabelle 6 zeigt die Temperaturkoeffizienten des Widerstandes für ausgewählte Materialien an^{vi}:

Tabelle 6: Widerstands-Temperaturkoeffizienten

| Material | Pro °C | Pro °F |
|-------------------------|------------------|------------------|
| Aluminium | 0,0038 | 0,0021 |
| Kohlenstoff (0–1850 °C) | -0,00025 | -0,00014 |
| Konstantan (0–100 °C) | Vernachlässigbar | Vernachlässigbar |
| Kupfer (bei 20 °C) | 0,00393 | 0,00218 |
| Eisen | 0,0050 | 0,0028 |
| Blei | 0,0043 | 0,0024 |
| Manganin (0–100 °C) | Vernachlässigbar | Vernachlässigbar |
| Quecksilber | 0,00090 | 0,00050 |
| Platin | 0,0038 | 0,0021 |
| Silber | 0,0040 | 0,0021 |
| Wolfram | 0,0045 | 0,0025 |
| Zink | 0,0037 | 0,0021 |

Abb. 27 zeigt die temperaturabhängigen Widerstandskurven für einige dieser Materialien an (basierend auf einem Basiswert von 1000 Mikrohm bei 20 °C).

vi Electrical Meterman's Handbook; Dritte Ausgabe; 1965; Seite 480

Bei einer Messung an einem bestimmten Material kann der Anwender die Änderung des Widerstands aufgrund einer Temperaturänderung berechnen, indem er den Widerstand bei der Referenztemperatur mit dem Temperaturkoeffizienten des Widerstands und der Temperaturänderung multipliziert:

$$R_2 - R_1 = (R_1)(a)(T_2 - T_1)$$

R_1 = Widerstand des Leiters bei der Referenztemperatur

R_2 = Widerstand des Leiters bei der Messung

T_1 = Referenztemperatur

T_2 = Temperatur, bei der die Messung durchgeführt wird

a = Temperaturkoeffizient des Widerstandes für das zu prüfende Material

Der Anwender muss auch die Spezifikationen zur Betriebs- und Lagertemperatur des verwendeten Geräts kennen, um sicherzustellen, dass es für die Umgebung, in der es verwendet wird, geeignet ist.

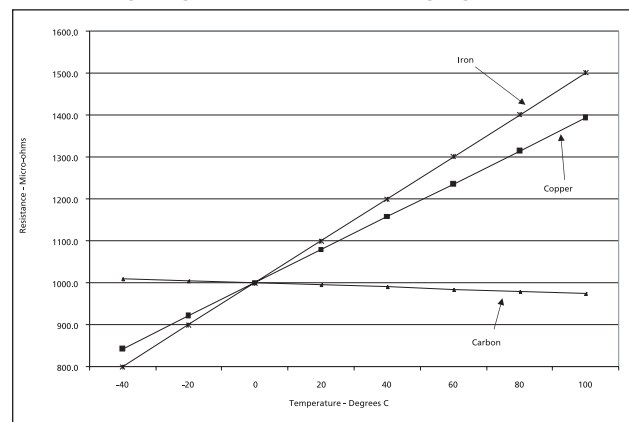


Abb. 27: Widerstandskurven in Abhängigkeit von der Temperatur für Eisen, Kupfer und Kohlenstoff

Auswirkungen von Feuchtigkeit

Die relative Feuchtigkeit des Prüflings sollte keine Auswirkungen auf den Widerstandswert haben, es sei denn, das Material ist hygroskopisch; in diesem Fall wird bei höherer Luftfeuchtigkeit mehr Feuchtigkeit in den Prüfling aufgenommen. Dies verändert die Messbedingungen und beeinflusst den gemessenen Wert. Die meisten Leiter sind allerdings nicht hygroskopisch. Da die Geräte typischerweise auf einen Arbeitsbereich von 0 bis 95 % relativer Luftfeuchtigkeit ausgelegt sind, vorausgesetzt, dass die Feuchtigkeit nicht tatsächlich auf dem Gerät kondensiert, wird eine korrekte Anzeige erzielt.

Hintergrundrauschen, Strom und Spannung

Widerstandsmessungen können durch statische Spannungen und Rippelströme (elektrisches Rauschen) am Prüfling beeinträchtigt werden. Der Anwender sollte sich über die Rauschunterdrückung des verwendeten Geräts im Klaren sein. Der Wechsel zu einem anderen Modell kann dem Anwender helfen, eine Messung an einem schwierigen Prüfort durchzuführen.

Die Größe des vom Gerät verwendeten Prüfstroms beeinflusst die Fähigkeit des Geräts, Rauschen zu unterdrücken. Ein Prüfstrom von 10 A ermöglicht eine wesentlich bessere Rauschunterdrückung als ein Prüfstrom von 0,1 A. Achten Sie jedoch auch darauf, nicht zu hohe Prüfströme zu verwenden, da diese den Prüfling durch Erwärmung verändern oder beschädigen können ($W = I^2R$). Bei Verwendung von 100 A anstelle von 10 A wird der Prüfling um das 100-fache des Werts des niedrigeren Prüfstroms erwärmt. Verwenden Sie also einen geeigneten Prüfstrom basierend auf dem Nennstrom.

Die Leerlaufspannung ist bei den meisten Mikroohmmetern niedrig. Bei Messungen an Transformatorwicklungen wird zusätzliche Leistung benötigt, um die Wicklung zu sättigen und das Messgerät schneller stabilisieren zu können. Geräte, die für diese Art von Anwendung ausgelegt sind, haben eine höhere Leerlaufspannung (im Bereich 50 V Gleichstrom), um die für die Sättigung der Wicklungen benötigte Energie zu liefern. Dann wird die Widerstandsmessung in einem Konstantstrombetriebsmodus durchgeführt.

Kompensation von thermischer EMK/ Seebeck-Spannung

Thermische EMK/Seebeck-Spannung entsteht, wenn verschiedene leitende Materialien Teil desselben Stromkreises sind, oder bei unterschiedlichen Temperaturen. Die Auswirkungen können durch Erhöhen des für die Prüfung verwendeten Stroms überwunden werden. Eine Erhöhung des Stroms reduziert zwar den Fehler, Sie sollten dennoch sichergehen, dass er aufgrund der Erwärmungsproblematik nicht zu hoch ist, siehe Tabellen unten:

Tabelle 7: Stromstärkenfehler in Prozent

| Stromstärke | Spannung | Fehler | | |
|-------------|----------|--------|-------|--------|
| | | Cu-Ni | Cu-Al | Cu-Ag |
| 1 A | 50 µV | 400 % | 200 % | 20 % |
| 10 A | 500 µV | 40 % | 20 % | 2 % |
| 100 A | 5 mV | 4 % | 2 % | 0,2 % |
| 600 A | 30 mV | 0,7 % | 0,3 % | 0,03 % |

Tabelle 8: Temperatur der leitenden Materialien

| Übergang | µV/°C |
|-------------------------|-------|
| Kupfer – Kupfer | < 0,3 |
| Kupfer – Gold | 0,5 |
| Kupfer – Silber | 0,5 |
| Kupfer – Messing | 3 |
| Kupfer – Nickel | 10 |
| Kupfer – Blei – Zinnlot | 1–3 |
| Kupfer – Aluminium | 5 |
| Kupfer – Kovar | 40 |
| Kupfer – Kupferoxid | > 500 |

Kontaktwiderstand bei Verschmutzung

Der Kontaktwiderstand ist der Widerstand gegen den Stromfluss durch ein geschlossenes Kontaktpaar. Manchmal ist ein hoher Strom erforderlich, um den Kontaktpunkt und seine Umgebung zu durchbrechen, zu schmelzen oder zu erweichen, wodurch die Kontaktfläche vergrößert und somit der Widerstand verringert wird.

Beispiel.: Ein Leistungsschalter wird geprüft, und sein Hauptkontakt zeigt einen Widerstand von 300 Mikrohm bei einem Prüfstrom von 100 A an. Die Prüfung wird mit einem Prüfstrom von 600 A wiederholt und ein Widerstand von 80 Mikrohm gemessen, der Test wird dann mit einem Prüfstrom von 100 A erneut wiederholt, das Ergebnis ist dieses Mal erneut 80 Mikrohm.



Abb. 28: Korrosion an Leistungsschalter

Rauschverhältnis und induzierte Ströme

Es ist üblich, dass in einer Hochstromumgebung Rauschen vorhanden ist, daher muss das Messsignal größer als das vorhandene Rauschen sein, um ein genaues Ergebnis zu erhalten:

- **Niederohmmessung von 50 Ω**
- **1 A => Prüfsignal 50 µV**
- **10 A => Prüfsignal 500 µV**
- **100 A => Prüfsignal 5 mV**
- **600 A => Prüfsignal 30 mV**

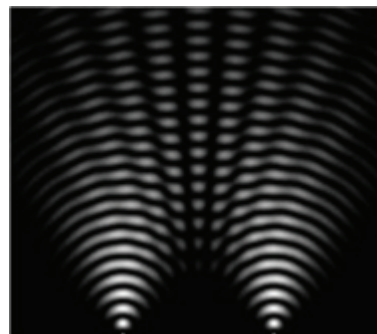


Abb. 29: Rauschen

Hot-Spots

Hot-Spots von beschädigten Kontakten verringern die Fähigkeit des Kontakts, Nenn- oder Überlastströme zu führen, was je nach Kontaktzustand zu Temperaturanstiegen führen kann.



Abb. 30: Hot-Spots

An der Stelle, an der ein Hot-Spot erkannt wird, kann ein wesentlich höherer Temperaturanstieg als insgesamt gemessen auftreten, was den Widerstand und die Brandgefahr erhöhen würde:

- **Hot-Spots sind die Quelle von Hochfrequenzwellen (Oberschwingungen). Wenn diese Wellen an einer Stelle auflaufen, verursachen sie durch Resonanzerscheinungen Schäden am Gerät.**
- **HotSpots zeigen einen drohenden Ausfall der Anlage an.**
- **Sie sind Quellen für den Verlust elektrischer Energie (Wackelkontakte).**
- **Hot-Spots sind die Hauptursache für größere Explosionen von elektrischen Geräten.**
- **Sie sind einer der Hauptgründe für den Ausfall von Stromtransformatoren (insbesondere in Hochspannungskreisen).**

Kalibrierung im Feld

Die Kalibrierung von Mikroohmmetern kann im Feld mit Hilfe eines Messwiderstands überprüft werden. Die Kalibrierung erfolgt mit individuellen Strom- und potentiellen 12er-Kupferleitungen, um eine korrekte Stromverteilung durch den Shunt und eine genaue Potenzialmessung zu gewährleisten. Beachten Sie, dass die „Prüfsonden“ keine für die Überprüfung der Gerätekalibrierung geeignete Positionierung der Leitungen ermöglichen. Sie können jedoch zur Bestimmung der relativen Kalibrierung des Gerätes verwendet werden.

Tabelle 8: Handelsüblicher Messwiderstand

| Widerstandswert $\pm 0,25\%$ | Nennstrom |
|------------------------------|-----------|
| 10 Ω | 1 mA |
| 1 Ω | 10 mA |
| 0,10 Ω | 100 mA |
| 0,01 Ω | 1 A |
| 0,0010 Ω | 10 A |
| 0,0001 Ω | 100 A |

Diese Kalibrier-Messwiderstände in Verbindung mit einem Kalibrierzertifikat, das auf nationalen Normen beruht, helfen dem Außendiensttechniker, dem Kunden die Genauigkeit der durchgeführten Prüfungen zu demonstrieren.

Anhänge

Prüfung von Transformatoren

Regelmäßige Prüfungen von Transformatoren können helfen, Probleme zu erkennen, die die Systemleistung beeinträchtigen und zu unerwarteten Ausfällen führen können. Der Gleichstromwiderstand einer Transformatorwicklung kann die Innentemperatur der Wicklung anzeigen, wenn der Widerstand bei Umgebungstemperatur mit dem Widerstand im heißen Zustand verglichen wird. Die ideale Prüfmethode ist die Widerstandsmessung im Minutentakt, während die heiße Wicklung abkühlt. Wenn diese Daten angezeigt werden, kann der Widerstand zum Zeitpunkt Null geschätzt werden. Diese Prüfung ist eine der vorgeschriebenen Prüfungen bei der Herstellung des Transformators und kann auch im Feld durchgeführt werden, wenn auf den Transformator zugegriffen wird, solange er noch erwärmt ist.

Eine typische Prüfung kann eine übermäßige Überhitzung der Spulen durch Ermüdung oder Korrosion der inneren Spule und/oder der internen Anschlüsse aufzeigen. Niederohmmessungen an Transformatoren werden für kleine, mittlere und große Einzel- und große Mehrphasen- und Autotransformatorwicklungen eingesetzt. Die Prüfungen werden durchgeführt an:

- **Doppelten Wicklungen, bei denen der Prüfstrom durch die Wicklungen in entgegengesetzter Polarität geschaltet ist.**
- **Stern-Stern-Wicklungen mit und ohne Neutralleiter; der Schenkel der anderen Wicklung wird mit der Potenzialleitung verbunden, um die Spannung am internen Anschluss zu messen.**
- **Stern-Dreieck-Wicklungen; eine Überbrückung wird verwendet, um den Strom von der Sternwicklung an die Dreieckswicklung anzuschließen (dieser Testmodus verkürzt die Prüfdauer).**
- **Dreieck-Dreieck-Wicklungen; die Prüfdauer kann verbessert werden, indem die Überbrückung mit der Primär- und Sekundärseite der gleichen Phase in entgegengesetzter Polarität verbunden wird.**

Abgriffe dienen der Verbesserung der Spannungsregelung und werden täglich angepasst. Übermäßiger Verschleiß und Lockerung durch Vibrationen können mit Niederohmmessungen erkannt werden. Aufeinanderfolgende Prüfungen können an sekundären Stufenschaltern durchgeführt werden (Kurzschluss-Stufenschalter). Große Transformatoren haben viele Abgriffstellen, was die Prüfdauer verkürzt, da der Prüfstrom zwischen den Prüfungen nicht abgeschaltet werden darf. Prüfungen an Primärseitenabgriffen (offene Abgriffe) müssen als Einzelprüfungen durchgeführt werden, wobei der Prüfstrom zwischen den Prüfungen abgeschaltet wird.

Das Mikroohmmeter muss über eine ausreichende Strombelastbarkeit verfügen, um die Wicklungen sättigen zu können. Die Dauer der Prüfung hängt vom verfügbaren Prüfstrom ab. Große Transformatoren erfordern vor der Durchführung der Prüfungen besondere Aufmerksamkeit. Die Isolation zwischen den Wicklungen speichert Energie, ähnlich dem Dielektrikum in einem Kabel, und muss entladen werden, bevor eine Prüfung durchgeführt werden kann.

Bei der Prüfung von Drehstromtransformatoren treten Wechselwirkungen zwischen Primär- und Sekundärwicklung auf. Dies wird am deutlichsten, wenn Transformatoren mit Stern- und Dreieckwicklungen geprüft werden, und kann minimiert werden, indem der Prüfstrom sowohl durch Primär- als auch Sekundärwicklungen fließt. Der Nettoeffekt besteht darin, dass die gegenseitige Kopplung zwischen den Wicklungen reduziert und der Umlaufstrom in der Dreieckswicklung minimiert wird.

Der empfohlene Prüfstrom liegt zwischen 1–10 % des Nennstroms, jedoch nicht über 15 %. Über 15 % verursachen eine Erwärmung und damit eine erhebliche Beeinflussung des Widerstandswerts. Geringere Prüfströme reduzieren die Belastung im Magnetkern der Wicklung, erhöhen aber die Prüfdauer.

Große Prüfströme erzeugen große Kräfte im Kern und können Schäden verursachen und Wärme erzeugen, die sich auf den Widerstandswert auswirkt.

Wichtig ist auch, dass das Gerät den Transformator nach Abschluss der Messung entlädt. Andernfalls können beim Abschalten tödliche Spannungen auftreten. Eigens dafür geeignete Prüfgeräte mit diesen integrierten Funktionen sind verfügbar.

Warnhinweis: Verwenden Sie niemals ein nicht dediziertes Niederohmmeter, um den Wicklungswiderstand an einem Leistungstransformator zu messen. Tödliche Spannungen können auftreten, wenn eine Wicklung nicht korrekt entladen wird, bevor die Messleitungen abgeklemmt werden.

Kontakt-zu-Kontakt-Prüfungen bei Gleichstrommotoren

Sonden mit Spiralfederspitzen werden zur Messung des Widerstandes zwischen den Rotorkontakten eines Gleichstrommotors verwendet (siehe Abb. 31). Diese Prüfung wird typischerweise mit 10 A Stromstärke und den typischen Spulenwiderständen im Bereich von 6000 Mikroohm durchgeführt. Diese Prüfungen dienen dazu, gebrochene oder lose Schweißnähte oder Lötverbindungen zwischen den Spulen und Kommutatorkontakten zu identifizieren. Die Widerstandswerte sollten konsistent bleiben. Bei einem erwärmten Motor können die Werte aufgrund der Temperatur der Spulen höher sein. Wenn die Spulen abkühlen, können die Widerstandswerte auf einen früheren Referenzwert fallen, der bei Umgebungstemperatur aufgezeichnet wurde.

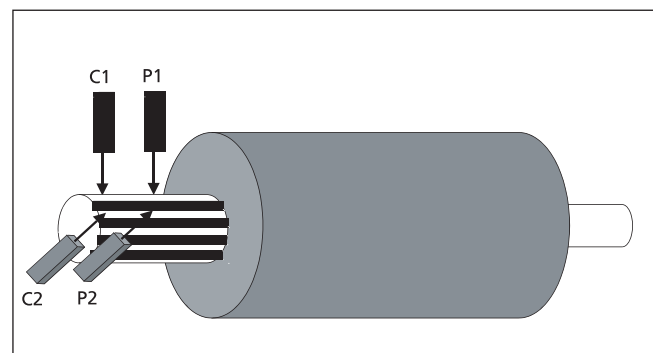


Abb. 31: Kontakt-zu-Kontakt-Prüfung am Rotor eines Gleichstrommotors

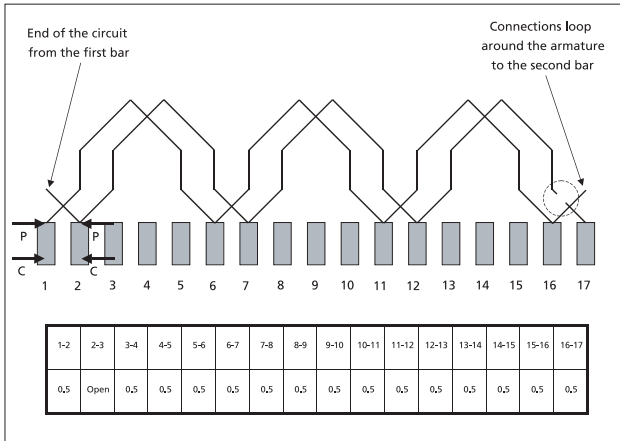


Abb. 32: Prüfdaten von Schleifenwicklungen

Abb. 32 zeigt eine Schleifenwicklung, bei der die Wicklungen an nebeneinander liegenden Kontakten angeschlossen sind. Für eine Prüfung sollte die Stromsonde am Ende der Kommutatorleiste und die Spannungsmessabgriff am Anschluss an die Wicklung (die Steigleitung an der Kommutatorleiste) platziert werden. Der Anwender misst den Widerstand der Wicklungen zwischen den einzelnen zu prüfenden Kontakten (1–2, 2–3, 3–4, etc.). In diesem Beispiel gibt es möglicherweise eine schwache Lötstelle zwischen den Kontakten 4 und 5 und einen Bruch in der Spule zwischen den Kontakten 12 und 13 (das Gerät zeigt dies als offen an).

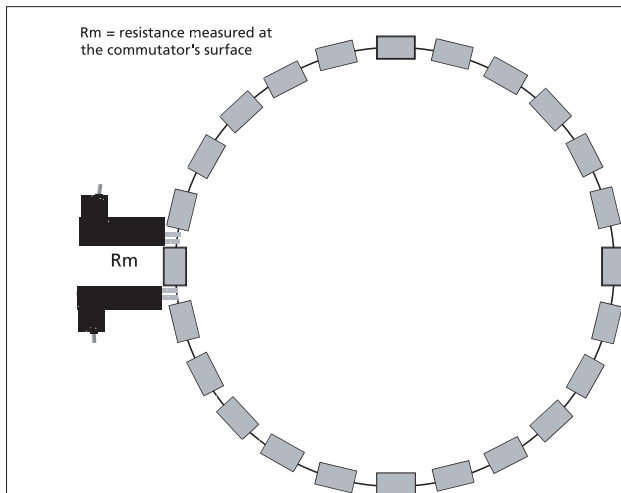


Abb. 33: Kommutator mit 24 Spulen in Serie

In Abb. 33 (Schleifenwicklung, 24 Spulen) sind alle Spulen in Reihe geschaltet.

Der Widerstand jeder Spule wird mit dem Widerstand aller anderen parallel geschalteten Spulen gemessen. Die primäre Frage für den Anwender ist, was einen akzeptablen Wert für eine bestimmte Spule (R_m) darstellt, da die verbleibenden 23 parallel geschalteten Spulen den Widerstand der zu prüfenden Spule verringern. In diesem Beispiel wird angenommen, dass der Widerstand der Spule vor dem Einsetzen in den Motor (R_c) 1 A betrug.

Der erwartete Widerstand kann durch diese Gleichung berechnet werden:

$$\text{Erwarteter } R_m = (R_c)(\text{Anzahl der zu prüfenden Spulen})(\text{Anzahl der parallel geschalteten Spulen})/(\text{Anzahl der zu prüfenden Spulen} + \text{Anzahl der parallel geschalteten Spulen}).$$

In diesem Beispiel:

$$\text{Erwarteter } R_m = (1 \text{ A})(1)(23)/(1 + 23)$$

$$\text{Erwarteter } R_m = 0,958 \text{ A}$$

Abb. 34 zeigt eine Wellenwicklung, ein weiteres Verfahren für das Wickeln von hochohmigen Spulen in einem Motor. In diesem Beispiel läuft die Spule von Kommutatorkontakt 1 zu 6 zu 11 zu 16 und kommt dann wieder zum Anker zu Kommutatorkontakt 2 zurück (in Reihe geschaltet). Wenn der Anwender zwischen Kontakten 1 und 2 misst, prüft er den Widerstand der gewickelten Spule (die komplette Schleife). In diesem Beispiel gibt es einen Bruch in der Spule zwischen den Kontakten 12 und 17. Dieses Problem wird sichtbar, wenn Sie die Kontakte 2 und 3 messen, da sie die Anfangs- und Endkontakte der Schleife sind.

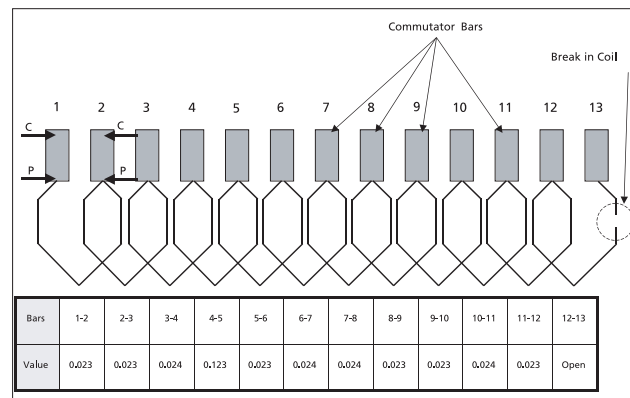


Abb. 34: Prüfdaten von Wellenwicklungen

Abb. 35 auf der folgenden Seite zeigt den Anschluss eines Kollektors mit Wellenwicklung an die internen Spulen und Prüfsondenanschlüsse an die einzelnen Kommutatorkontakte. Dies ist ein vereinfachtes Layout, da der schwere Ring die Reihenschaltung aller Spulen im Anker zeigt. Ein Gleichstrommotor hat unterschiedliche Anzahlen von Spulen, abhängig von seiner Leistung und Nennspannung. In diesem Beispiel (Prüfungen von Kontakt Nr. 1 zu Kontakt Nr. 2) sind zwei Spulen in Serie und neunzehn parallel. Wenn eine Spule im Ring offen ist, ist die Messung von Kontakt Nr. 1 zu Kontakt Nr. 2 der Serienwert der beiden Spulen. Sind die Prüfsonden über der offenen Spule angeschlossen, wird der Gesamtwiderstand der anderen 19 Spulen angezeigt.

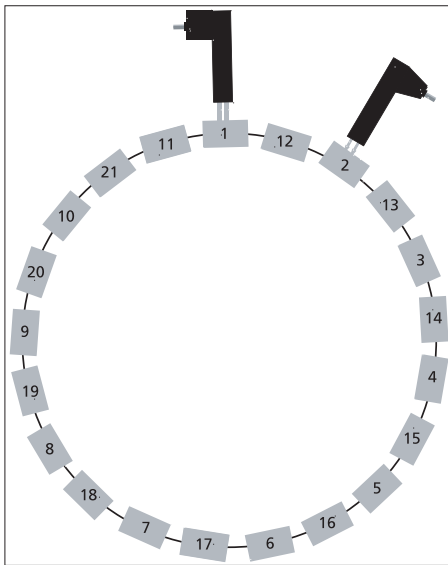


Abb. 35: Spulenanordnung bei Wellenwicklung

Prüfung von Batterie-Polbrücken

Wenn Polbrücken von Batterien geprüft werden, sollte der Anwender Basis- oder Zielwerte haben, um diese mit den tatsächlichen Ergebnissen zu vergleichen.

Die folgenden Beispiele zeigen, wie diese Zielwerte ermittelt werden:

Beispiel 1: In Abb. 36 misst der Anwender den Widerstand (R_0) über eine einzelne Polbrücke (beide Seiten des Pols). Die Brücken auf jeder Seite der Klemme haben einen Widerstand von 20 Mikroohm und die Anschlüsse an den Polen haben jeweils einen Widerstand von 5 Mikroohm. Unter diesen Bedingungen beträgt der Zielwiderstand, den der Anwender messen möchte, 15 Mikroohm. Eine signifikante Abweichung von diesem Widerstand im tatsächlichen Messwert würde auf einen Wackelkontakt hindeuten.

Beispiel 2: Abb. 37 zeigt Pole, die durch Trägerstreifen mit einem Widerstand von 100 Mikroohm parallel geschaltet sind. In diesem Fall beträgt der Zielwiderstand, den der Anwender messen möchte, 14 Mikroohm.

Bei einer offenen Brücke zwischen Pol „a“ und Pol „b“ wäre der Widerstandswert deutlich höher als das Ziel, siehe folgende Rechnung:

$$R_{a-b} = R_{a-c} + R_{c-d} + R_{b-d}$$

$$R_{a-b} = 100 + 15 + 100$$

$$R_{a-b} = 215 \mu\Omega$$

Zusätzliche Prüfungen können zwischen den gleichen Klemmen gleicher Polarität einer Zelle durchgeführt werden. Eine solche Prüfung hilft bei der Bestimmung der Qualität der Schweißnähte zwischen Pol und Befestigungsstange und schwerwiegender Probleme mit der inneren Stange, an die die Platten geschweißt werden, da alle in Reihe geschaltet sind. In diesem Beispiel sollte der gemessene Widerstand zwischen gleichartigen Polen an der gleichen Zelle im Bereich von 100 Mikroohm liegen.

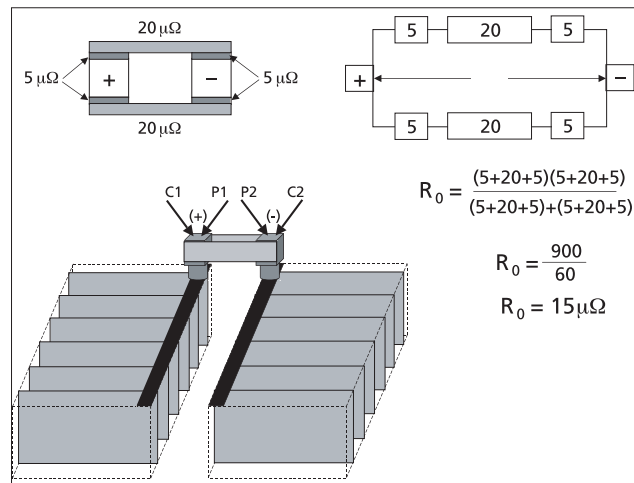


Abb. 36: Zielwert-Widerstand eine Polbrücke

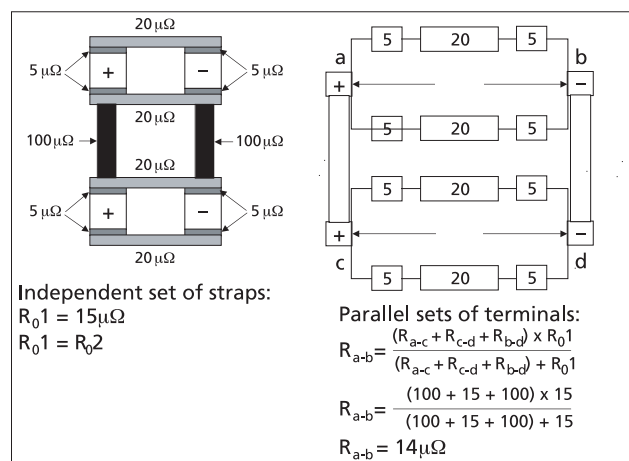


Abb. 37: Zielwert-Widerstand parallele Polbrücken

Rampenprüfung

Eine Rampenprüfung liefert eine kontrollierte „Rampe“ des Ausgangsstroms von 0 bis zur gewünschten Höhe. Dies ist besonders nützlich, wenn Schutzrelais vorhanden sind, typischerweise in Form von Differenzialrelais.

Bei der Prüfung des Kontaktwiderstandes eines Leistungsschalters überwacht ein Differenzialrelais die Leitung auf einen plötzlichen Stromanstieg, der ein Wechselstromsignal sein könnte. Erfolgt der Stromanstieg zu schnell, erkennt das Differenzialrelais dies als Fehler und löst den Leistungsschalter aus, wie es auch unter normalen Betriebsbedingungen der Fall wäre.

Durch die Erhöhung des Stromflusses mit einer langsameren Geschwindigkeit, die variabel und konfigurierbar ist, können niederohmige Prüfgeräte mit einer Vielzahl von Schutzrelais mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten verwendet werden.

Das bedeutet, dass die Schutzrelais an Ort und Stelle bleiben können und es darauf verzichtet werden kann, das Schutzrelais während der Prüfung

abzuschalten.

Schutzrelais sind auch empfindlich gegenüber einer Wechselstromwelligkeit, die im Ausgangsstrom des Prüfgeräts auftreten kann. Diese Welligkeit kann wie ein möglicher Fehler aussehen, z. B. wie ein Wechselstromsignal, und auch den zu prüfenden Leistungsschalter auslösen.

Ist das ein Grund, diese Relais beizubehalten?

Ein Ausgang mit geglättetem Strom ermöglicht es, Schutzvorrichtungen während der Prüfung beizubehalten und somit die Sicherheit für den Anwender zu maximieren.

Wheatstone- und Kelvin-Brücken

Eine Wheatstone-Brücke kann verwendet werden, um einen Widerstand zu messen, indem ein unbekannter Widerstand mit Präzisionswiderständen bekannter Größe verglichen wird. Eine Kelvin-Doppelbrücke ist eine Variante der Wheatstone-Brücke und kann zur Messung sehr niedriger Widerstände verwendet werden.

Wheatstone-Brücke

Eine bahnbrechende Methode zur Widerstandsmessung wurde 1833 von S. H. Christie entwickelt und von Sir Charles Wheatstone veröffentlicht. Die einfachste Anordnung ist ein quadratisches Muster aus vier Widerständen mit einem Galvanometer über einer Diagonale und einer Batterie über der anderen (siehe Abb. 38). Zwei der Widerstände haben bekannte Werte in geeigneter Höhe und bestehen aus dem Verhältnisarm ($A + B$). Ein dritter Widerstand hat einen bekannten Wert, der in kleinen Schritten über einen weiten Bereich verändert werden kann und daher als Rheostatarm (R) bezeichnet wird. Der vierte ist der gemessene Widerstand, der unbekannte Arm (X).

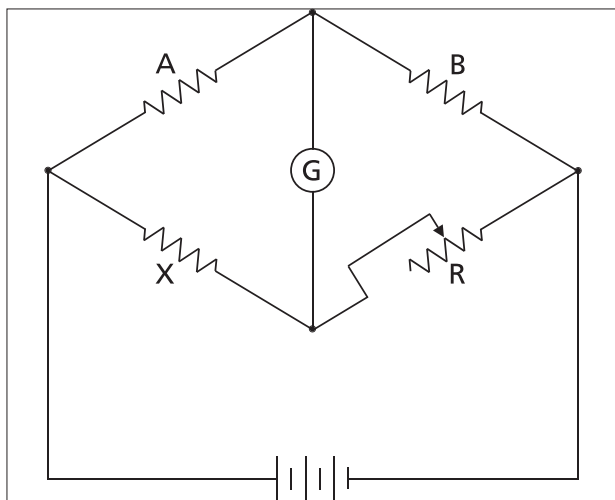


Abb. 38: Wheatstone-Brückenschaltung^{vii}

Die Brücke gilt als symmetrisch, wenn der Rheostatarm so eingestellt (optimiert) worden ist, dass der Strom so aufgeteilt wird, dass kein Spannungsabfall mehr am Galvanometer angezeigt wird, es also nicht mehr ausschlägt. Der zu messende

vii Electrical Meterman's Handbook; Dritte Ausgabe; 1965; Seite 479

Widerstand kann errechnet werden aus dem Verhältniswiderstand und dem eingestellten Wert am Regelwiderstand. Die Grundformel lautet:

$$X = B/A \times R$$

Dabei gilt:

B und A sind die Verhältniswiderstände

R ist der Rheostat

Die Wheatstone-Brücke kann für eine Vielzahl von Bereichen genutzt werden und wird in der Regel für alle Arten von Messungen bis auf die höchsten und niedrigsten verwendet. Sie ist für den Bereich von ca. 1 bis 100.000 A geeignet.

Kelvin-Brücke

Die Kelvin-Brücke (auch bekannt als Thomson-Brücke) wird für Präzisionsmessungen unterhalb des typischen Bereichs der Wheatstone-Brücke verwendet. Sir William Thomson (Lord Kelvin) entwickelte das Konzept um 1854. Die klassische Anordnung besteht aus sechs Widerständen in einem Rechteck, die von einem Galvanometer halbiert werden (siehe Abb. 39). Ein vergleichsweise großer Strom wird durch den unbekanntem Widerstand und einen bekannten Widerstand mit geringem Wert geleitet. Das Galvanometer vergleicht die Spannungsabfälle über diese beiden Widerstände mit der Doppelverhältnis-Schaltung aus den anderen vier Widerständen.

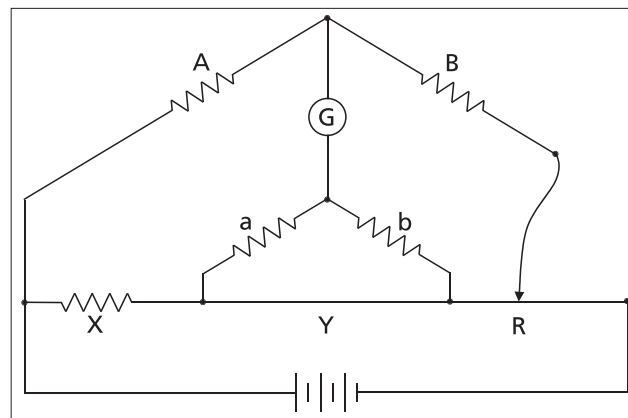


Abb. 39: Kelvin-Brückenschaltung^{viii}

Bei sehr niedrigen Widerständen hat die Kelvinbrücke den Vorteil, dass Fremdwiderstände von Leitungen und Kontakten durch das System der Doppelverhältnisarme aufgehoben werden. Die Widerstände der Anschlussleitungen sind in Reihe mit den hochohmigen Armen geschaltet und nicht mit den Referenz- oder den geprüften Widerständen. Die beiden Verhältniswiderstands-Paare (A/B , a/b) sind zueinander parallel geschaltet und mit dem Galvanometer verbunden. Ein Paar (a/b) ist mit der Unbekannten (X) und dem Referenzstandard (R) in Reihe geschaltet. Letzteres ist ein einstellbarer niedriger Widerstand, meist ein Manganin-Stab mit Schleifkontakt. Bei Potenzialausgleich über die beiden Parallelkreise entspricht der unbekannte Widerstand dem Parallelverhältnis multipliziert

viii Electrical Meterman's Handbook; Dritte Ausgabe; 1965; Seite 480

mit dem eingestellten Referenzwiderstand.

$$X = A/B \times R$$

Ein Verbindungsglied (Y), manchmal auch Joch genannt, überbrückt das Verhältnispaar (a/b), das ansonsten mit der Unbekannten und dem Standardwiderstand in Reihe geschaltet ist, hat aber nur minimale Auswirkungen auf die Genauigkeit der Messung, solange die beiden Paare mit parallelen Verhältniswiderständen exakt gleich gehalten werden (A zu a, B zu b). Leitungs- und Kontaktwiderstände sind im Wert der Verhältnispaare enthalten und können durch einen extrem niedrigen Widerstand des Jochs aufgehoben werden. Durch einen geringen Jochwiderstand können auch die in Kelvinbrücken häufig verwendeten hohen Prüfströme ohne unerwünschte Erwärmungseffekte geleitet werden.

Mikroohm- und Milliohm-Anwendungsliste für DLRO

Luftfahrt

- Montage von Komponenten
- Zusammenschaltung von Geräten
- Reparatur und Wartung

Bahn, einschließlich Straßenbahn und U-Bahn

- Fahrzeuge und Infrastruktur
- Hochstrom-Schienenverbindungen
- Signalanlagen

Marine

- Stromverkabelung
- Schutzsysteme
- Verbindungen an Ship-to-Shore-Kranen
 - Kabel
 - Anschlusspunkte
- Prüfung von Kathodenschutzsystemen

Öl- und Gasleitungen

- Verbindungen zwischen Schweißstellen
- Erdungssysteme

Automobil- und Elektrofahrzeuge

- Batterieanschlüsse

- Schweißqualität
- Qualität von Crimp-Verbindungen
- Montage von Roboterschweißkabeln

Kabelhersteller

- Qualitätskontrolle
- Kabellänge

Komponentenhersteller

- Qualitätskontrolle
 - Widerstände, Induktivitäten, Drosseln

Alle Arten von mechanisch montierten Verbindungen, die niedrige Widerstände haben müssen

- Geschraubt
- Geschweißt
- Komprimiert
- Verpresst
- Gelötet
- Leitfähiger Klebstoff
- Verbindungen, in Abhängigkeit von
 - Belastung
 - Vibrationen
 - Hitze
 - Kälte
 - Korrosion
 - Ermüdung

Kabelhersteller

- Motoren und Generatoren
- Kurzschlüsse in Spulen und zwischen Phasen
- Stab-zu-Stab-Prüfungen
- Spulen-Gleichgewicht – Vergleich zwischen Kaltzustand und Volllaststrom

Weltraumforschung und -technik

- Strukturelle Metallverbindungen

- Metall-zu-Metall-Erdungsnetzwerk
- Kohlefaser zu Metall
- Kohlefaser zu Kohlefaser

Rechenzentren

- Während der Installation
 - Hauptpanel-Stromversorgung
 - USV-Stromversorgung
 - Generator-Stromversorgung
 - Überprüfung des Widerstands von Schutzvorrichtungen
 - Sammelschienen-Paralleleinspeisungen
 - Sammelschienen-Überlappverbindungen
 - Optimaler Widerstand über Drehmoment
 - Kabelschuh zu Sammelschienenverbindungen
 - Fehlersuche bei Verbindungen Kupferkabel-Kabelschuh-Sammelschiene
- Während der Wartung
 - Verwendung von Trenddaten zu allen oben genannten Aspekten
 - Überprüfung nach der Reparatur

Medizintechnik

- Erdungs- und Kontaktierungssysteme zum Schutz gegen
 - Mikro-Stromschläge
 - Makro-Stromschläge
- Auf neuen, in Betrieb befindlichen, vollständig oder teilweise angeschlossenen Systemen
- Jeder medizinische Standort ist alle 12 Monate zu prüfen

Robotik

- Verkabelungen und Anschlüsse, die einer Beanspruchung/Bewegung/Vibration unterliegen
- Verbindung von Bauteilen zur Minimierung statischer Aufladung
- Erdung der Maschine
- Schweißleitungen des Punktschweißroboters

Elektrische Infrastruktur

- Transformatorwicklungen
- Verkabelung und Erdung von Umspannwerken
- Stufenschalter
- Widerstandsprüfung von Batterie-Polbrücken
- Messung Kabelwiderstand an einem Ende
- Kabellänge
- Identifikation paralleler Versorgungen im angeschlossenen Zustand
- Fehlersuche bei Kabel-Kabelschuh-Verbindungen
- Kontrolle montierter Anschlüsse

Übersicht über die Produkte von Megger

Megger bietet mit seinem umfassenden Sortiment an Niederohmmessgeräten und Mikroohmmetern Lösungen zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit elektrischer Systeme. Eine Übersicht über die verschiedenen von Megger angebotenen Produkte wird nachstehend aufgeführt.

Für weitere Informationen zu diesen und vielen anderen Megger-Produkten kontaktieren Sie uns bitte unter 866-254-0962. Oder besuchen Sie unsere Website de.megger.com für die aktuellsten Nachrichten, Produkt- und Serviceinformationen rund um die Uhr.

DLRO100-Serie

Das DLRO100 bietet eine einzigartige Auswahl an digitalen 100-A-Mikroohmmetern. Nie zuvor waren Sicherheit nach CAT IV 600 V, Schutzart IP54 für Staub und Wasser und eine leichte, schnellladende Lithium-Ionen-Batterie-Technologie für ein Mikroohmmeter mit einer Dauerausgabe von 100 A verfügbar.

Das DLRO100 ist äußerst flexibel und bietet Niederohmmessungen für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen, auch in Bereichen ohne Netzanschluss. Einige Anwendungsbeispiele sind Schaltgeräte, Leistungsschalter-Kontaktwiderstände, Sammelschienen- und Kabelverbindungen, Draht- und Kabelwiderstände, Blitzschutzleiterverbindungen, Schweißverbindungen, Masseanschlüsse und -verbindungen.

Megger ist bei der Entwicklung der neuen DLRO100-Serie keine Kompromisse eingegangen. Die Reihe bietet eine einzigartige Kombination von Funktionen, einschließlich DualGround™-Prüfungen, einstellbare Stromrampenprüfungen, hohe Störfestigkeit, Prüfungen mit kontinuierlicher 100-A-Abgabe und sogar Fernsteuerung, die dennoch klein und leicht ist.

Es gibt in dieser Serie drei Modelle, die alle CAT IV 600 V entsprechen und Prüfungen mit Strömen von 10 A bis 110 A durchführen können. Das Modell im mittleren Preissegment bietet zusätzlich Datenspeicherung und DualGround™-Prüfungen. Das Spitzenmodell bietet die Möglichkeit, mit der DLRO100-Asset-Tag-Windows-App eindeutige Asset-IDs einzugeben, Bluetooth®-Download und Fernbedienung via USB.



Abb. 40: DLRO100-Serie

DLRO10/DLRO10X

Das DLRO10 und das DLRO10X sind in ein stabiles, leichtes Gehäuse eingebaut, welches gleichermaßen im Feld wie im Labor zu Hause ist. Leicht genug, um um den Hals getragen zu werden, sind sie klein genug, um in Bereichen eingesetzt zu werden, die bisher für den Zugang zu eng waren. Das DLRO10 verfügt über ein großes, helles 4,5-stellige LED-Anzeige, während das DLRO10X über eine große, hintergrundbeleuchtete LCD-Anzeige verfügt.

Das DLRO10 zeigt den Mittelwert der Messungen mit Vorwärts- und Rückwärtsstrom an, während das DLRO10X sowohl Einzelmessungen als auch den Mittelwert anzeigt. Das DLRO10X verwendet ein Menüsystem, das durch ein zweiachsiges Paddel gesteuert wird, um dem Anwender die manuelle Auswahl des Prüfstroms zu ermöglichen. Das Gerät bietet außerdem das Herunterladen von Ergebnissen in Echtzeit sowie eine Speicherung im Gerät für das spätere Herunterladen auf einen PC.



Abb. 41: DLRO10/DLRO10X

DLRO10HD/DLRO10HDX

Wie alle Geräte aus der DLRO10-Serie begrenzen das DLRO10HD und das DLROHDX die Ausgangsleistung auf 0,25 W, um den Prüfling nicht zu erwärmen. Das DLRO10HD und das DLROHDX haben jedoch den zusätzlichen Vorteil, dass sie dies mit zwei leistungsstarken, normgemäßen Bereichen kombinieren. Zu den Vorteilen gehören die Möglichkeit, deutlich längere Messleitungen zu verwenden und dadurch Schwachstellen im Stromkreis erkennen zu können, und die Fähigkeit, 10 A mindestens eine Minute lang aufrechtzuerhalten, was bessere Prüfungen induktiver Lasten ermöglicht. Zusätzlich verfügt das DLRO10HDX über einen integrierten Speicher für bis zu 200 Messprotokolle und die Möglichkeit, gespeicherte Prüfungsergebnisse in eine externe Software zu laden.



Abb. 42: DLRO10HD

Die beiden Geräte sind für den Einsatz unter härtesten Bedingungen entworfen und überstehen Stöße, Stürze, Staub und Nässe. Sie können bei Regen eingesetzt werden und sind bei geschlossenem Deckel nach IP65 abgedichtet. Es besteht keine Notwendigkeit, eine unbeabsichtigte Verbindung an den Netzstrom zu befürchten. Hoher Eingangsschutz kann dies wegstecken, ohne dass eine Sicherung auslöst wird.

Das DLRO10HD und DLROHDX werden mit einem Akku oder Netzstrom betrieben, sodass sie für kontinuierliche Prüfungen in einer Produktionslinie oder in Umgebungen mit wiederholtem Gebrauch geeignet sind, selbst wenn der Akku gerade geladen wird. Sie müssen nie darauf warten, dass der Akku aufgeladen ist.

DLRO600

Alle Eigenschaften des DLRO10 und 10X, zudem zusätzlich Strom bis zu 600 A, um den bevorzugten Normen für die Prüfung von Leistungsschalterkontakten zu genügen. Dennoch ist das Gerät mit einem Gewicht von nur 15 kg nach wie vor tragbar.

Der Messbereich von 0,1 Milliohm bis 1 Ohm deckt alle gängigen Anforderungen im Hochstrombereich ab. Der Speicher speichert bis zu 300 Ergebnisse, während eine RS232-Verbindung das Übertragen der Daten auf Drucker oder Laptop ermöglicht. Die zusätzlichen Anpassungsmöglichkeiten für die Daten ermöglichen eine Strombegrenzung auf Standardwerte bis zu 600 A, sodass nicht mehr mehrere Prüfgeräte erforderlich sind, um einer Vielzahl von Normen zu entsprechen.



Abb. 43: DLRO600

DLRO200

Das DLRO200 ist für die Prüfung und Messung von Kontaktwiderständen in Hochspannungs-Leistungsschaltern, Trennschaltern, Sammelschienenverbindungen oder für alle anderen Niederohmmessungen konzipiert. Beide Modelle messen präzise Widerstände im Bereich von 0,1 Mikrohm bis 1 Ohm bei hohen Strömen.

Dieses vielseitige Gerät kann Prüfströme zwischen 10 A und 200 A liefern, abhängig vom Lastwiderstand und der Versorgungsspannung. Das DLRO200 liefert einen ungefilterten Gleichstrom und kann 200 A über einen Gesamtstromschleifenwiderstand von 19 Milliohm liefern (Versorgung > 207 V, 11 Milliohm bei 115 V Netzspannung).

Das einzigartige Design erlaubt es, das Gewicht und die Größe des DLRO200 auf ein Minimum zu reduzieren; das Gerät wiegt weniger als 14,5 kg. Diese geringe Größe und die Schutzart IP54 machen das Prüfgerät gleichermaßen für den Einsatz in der Werkstatt, in der Produktion oder im Feld geeignet.

Neben dem Hinzufügen von Notizen zu den gespeicherten Ergebnissen ermöglicht die alphanumerische Tastatur die direkte Einstellung des Prüfstroms durch Eingabe des gewünschten Wertes. Das DLRO200 überwacht die Kontinuität der Testschaltung und hebt den Prüfstrom schnell auf den gewünschten Wert an. Mit der Tastatur lassen sich auch obere und untere Grenzwerte für das Ergebnis einstellen und die Verwendung zu hoher Ströme verhindern, indem eine obere Grenze für den zulässigen Prüfstrom festgelegt wird.



Abb. 44: DLRO200

MOM2

Das Mikroohmmeter MOM2 ist darauf ausgelegt, den Widerstand an Leistungsschalterkontakten, Sammelschienenverbindungen und weiteren Hochstromverbindungen zu messen.

Das MOM2 verwendet einen Ultra-Kondensator, um den hohen Ausgangsstrom zu erzeugen. Der Ultra-Kondensator kann im Vergleich zu herkömmlichen Kondensatoren sehr viel Energie speichern und dank seines sehr geringen internen Widerstandes sehr hohe Ströme während der Entladung liefern.

Das MOM2 kann überall dort eingesetzt werden, wo ein niedriger Widerstand mit hoher Genauigkeit gemessen werden soll.

Mit dem MOM2 ist es möglich, Messungen mit der DualGround™-Methode vorzunehmen. Das heißt, dass das Prüfobjekt während der gesamten Prüfung beidseitig geerdet wird, was einen sichereren, schnelleren und einfacheren Arbeitsablauf verspricht.

Abb. 45: MOM2



MJÖLNER200/MJÖLNER600

Die Mikroohmmeter MJÖLNER200 und MJÖLNER600 sind wie das MOM2 für die Messung des Widerstandes von Leistungsschalterkontakten, Stromschienenverbindungen und anderen Hochstromverbindungen konzipiert und messen zusätzlich auch Kontaktelemente in Stromschienen.



Abb. 46: MJÖLNER200

Die Fähigkeit des MJÖLNER200, hohe Ströme von bis zu 200 A Gleichstrom abzugeben, erspart dem Anwender Probleme mit falschen Prüfergebnissen durch zu geringen Prüfstrom bei der Prüfung von Hochstromgeräten wie z. B. Leistungsschaltern. Es kann auch Prüfungen von Stromschienen, Leistungsschaltern, Sicherungen usw. mit einem echten, vollständig wellenfremigen Gleichstrom durchführen.

Verwenden Sie das MJÖLNER600 mit seinen starken Leistungsreserven für anspruchsvolle Anwendungen, überlegene Messgenauigkeit und, wenn kontinuierlich 300 Ampere benötigt werden.



Abb. 47: MJÖLNER600

Das MJÖLNER200 und das MJÖLNER600 messen ebenfalls anhand der DualGround™-Methode wie das MOM2 und können überall dort eingesetzt werden, wo ein niedriger Widerstandswert mit hoher Genauigkeit gemessen werden soll.

Mit seinem leichten und robusten Kofferdesign sind das MJÖLNER200 oder das MJÖLNER600 eine ausgezeichnete Wahl, wenn eine tragbare Lösung benötigt wird. Bei geschlossenem Gehäuse hält das Gerät Wasser, Staub oder Sand stand – und es schwimmt sogar.

Optionales Zubehör sind eine Fernbedienung und eine PC-Software.

MOM690A

Das MOM690A ergänzt die Megger-Produktreihe der Mikroohmmeter. Neben der hohen Stromkapazität bietet das MOM690A zudem eine mikroprozessorbasierte Messung, Speicherung und Berichterstellung. Die integrierte Software ermöglicht einzelne Prüfungen oder eine ganze Prüfungsreihe sowie das Speichern der erzielten Ergebnisse.

Mit der optionalen MOMWin™-Software können die Prüfungsergebnisse für weitere Analysen und Berichterstattungen auch auf einen PC exportiert werden. Bereiche werden automatisch festgelegt, Widerstände werden kontinuierlich gemessen, und Prüfungsergebnisse lassen sich automatisch bei einem voreingestellten Prüfstrom erfassen.

Nach der Prüfung eines Leistungsschalters mit einem in seinem Stromkreis montierten Stromwandler, z. B. Kesselleistungs- und GIS-Schalter, empfehlen einige Normen, dass der Stromwandler entmagnetisiert wird. Diese lästige Aufgabe kann dank des Wechselstromausgangs des MOM690 schnell und einfach erledigt werden. Der Wechselstromausgang kann auch als allgemeine Mehrzweck-Stromquelle für verschiedenen Anwendungen verwendet werden.



Abb. 48: MOM690A

MOM200A/MOM600A

Das MOM200A™ ist für die Prüfung und Messung von Kontaktwiderständen in Hochspannungs-Leistungsschaltern, Trennschaltern und Sammelschienenverbindungen konzipiert. Es ist eine ausgezeichnete Wahl, wenn 200 A oder weniger für die Messung benötigt werden.

Das MOM200A eignet sich hervorragend für die Lokalisierung schlechter Verbindungen, da es über lange Zeiträume hinweg 100 A ausgeben kann. Mit einem Messbereich von bis zu 20 Milliohm ist es ideal für die Messung vieler verschiedener Arten von Anschlüssen, und mit seinem Gewicht von 14 kg ist es bequem mitzuführen.

Das MOM600A, mit einem Ausgangsstrom zwischen 100 und 660 A, gibt es in zwei Versionen, eine für 115 V Netzspannung und eine für 230 V.

Zu einem vollständigen MOM200A bzw. MOM600A gehört ein Kabelsatz (einschließlich separater Sensorkabel) und ein Transportkoffer.



Abb. 49: MOM200A/MOM600A

BT51

Wo Wirtschaftlichkeit und einfache Bedienung im Vordergrund stehen, benötigt das DUCTER BT51 von Megger nur die Einstellung von zwei Positionen auf den Bereichswahlschaltern. Bereiche zwischen 2 A und 20 mA sind wählbar, mit einer Auflösung von 1 Milliohm bzw. 0,01 Milliohm.

Das Gerät arbeitet mit einem Prüfstrom von 2 A, zeigt Warnungen an und wird mit Duplex-Handspitzenleitungen geliefert.



Abb. 50: BT51

247000-Serie

Diese traditionelle Produktreihe von Megger steht seit dem Aufkommen der DLRO für Qualität und Zuverlässigkeit und erfreut sich auch heute noch großer Beliebtheit. Jahrzehntlang bewährter Einsatz im Feld hat die Geräte zum Standard in Sachen Robustheit und Tragbarkeit gemacht.

Die drei 10-A-Modelle der Serie bieten höchste Genauigkeit bei einfachster Bedienung:

Kat.- Nr. 247000 bietet das bewährte Dual-Pak-Design, bei dem das Ladegerät ein separates Element ist, das zurückgelassen werden kann, während das Messmodul maximale Mobilität ermöglicht. Wenn es auf Selbstversorgung ankommt.

Kat.- Nr. 247001 vereint das Messmodul und das Ladegerät in einem einzigen Gerät ohne Verlust an Mobilität.

Kat.- Nr. 247002 ist ebenfalls ein Einzelgerät mit einem zusätzlichen Bereich für Extra-Präzision bis zu einer Auflösung von 0,1 mA.



Abb. 51: DLRO247000

Duplex-Anschluss-Messleitungssystem

Das Megger Duplex-Anschluss-Messleitungssystem kann mit den 10-A-DLRO- und BT51-Geräten verwendet werden.



Abb. 52: Duplex-Anschlussmessleitungen

Dieses Messleitungssystem bietet die kostengünstigste und bequemste Möglichkeit, dem Anwender viele Messleitungslängen, einschließlich Verlängerungen, zur Verfügung zu stellen, ebenso wie die Möglichkeit, Messleitungsendstücke für die vielen verschiedenen Anwendungen in der Niederohmmessung anzuschließen.

Ein Satz Messleitungen, alle Endstücke.

Das Herzstück dieses einzigartigen Messleitungssystems sind die maßgeschneiderten Vier-Leitungs-Anschlüsse (zwei in jeder Messleitung), mit dem Endstücke wie Kelvin-Klemmen oder Duplex-Messsonden nach Bedarf gewechselt werden können.

Es gibt zwei Anschlussversionen, von denen eine mit und eine ohne LED-Anzeigeleuchten ausgestattet ist, die mit Geräten der DLRO10-Produktfamilie verwendet werden.

Produktvergleichs-Tabelle



| Technische Daten | BT51 | DLRO10 | DLRO10X | DLRO10HD | DLRO10HDX |
|---|---|---|---|---|---|
| Prüfströme | 2 A | 10 A | 10 A | 0,1–10 A | 0,1–10 A |
| Einstellschritte Prüfstrom | 2 A | Voreingestellte Werte: 100 µA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A | Voreingestellte Werte: 100 µA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A | Voreingestellte Werte: 0,1 mA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A | Voreingestellte Werte: 100 µA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A |
| Maximale Prüfdauer bei maximalem Strom | | 1 A kontinuierlich im induktiven Modus | 1 A kontinuierlich im induktiven Modus | 60 Sek. | 60 Sek. |
| Max. Dauerstrom | 2 A | 10 A | 10 A | 10 A | 10 A |
| Max. Widerstand bei max. Strom | 2 Ω | 1,999 mΩ*** | 1,999 mΩ*** | 250 mΩ | 250 mΩ |
| Messbereich | 2.000 mΩ und 20,00 mΩ | 1,9999 mΩ–1.999,9 Ω | 1,9999 mΩ–1.999,9 Ω | 0 Ω–250 mΩ | 0 Ω–250 mΩ |
| Beste Auflösung | 1 mΩ 0,01 mΩ | 0,1 µΩ | 0,1 µΩ | 0,1 µΩ | 0,1 µΩ |
| Ungenauigkeit | ± 1 % ± 2 Stellen | ± 0,2 % ± 0,2 µΩ | ± 0,2 % ± 0,2 µΩ | ± 0,2 % | ± 0,2 % |
| Wellenfreier Gleichstrom | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Zusätzliche Glättung des Gleichstroms | | | | | |
| DualGround | | | | | |
| Rampe aufwärts/ abwärts (Automatik) | | | | | |
| AC-Entmagnetisierung | | | | | |
| Fernbedienung | | | | | |
| Eingebauter Drucker | | | | | |
| Anwenderdefinierbare hohe und niedrige Prüfgrenzen | | | ■ | | |
| Datenspeicherung | | | ■ | | ■ |
| Memo-Feld für gespeicherte Prüfergebnisse | | | ■ | | |
| PC-Kommunikation | | | RS232 | | USB |
| Batteriebetrieben | ■ | ■ | ■ | ■ ** | ■ ** |
| Messkategorie (CAT)* | | Abnehmbarer Akku CAT III 600 V | Abnehmbarer Akku CAT III 600 V | CAT III 300 V | CAT III 300 V |
| Fremdspannungsschutz | 240 V AC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung | 600 V AC oder DC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung | 600 V AC oder DC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung | 600 V AC oder DC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung | 600 V AC oder DC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung |
| Störfestigkeitsspezifikation | | 100 mV 50/60 Hz (Gegentakt) | 100 mV 50/60 Hz (Gegentakt) | 100 mV 50/60 Hz (Gegentakt) | 100 mV 50/60 Hz (Gegentakt) |
| IP-Schutzart | | | | IP65 geschlossen IP54 offen | IP65 geschlossen IP54 offen |
| Robustes Transportkoffergehäuse | ■ | | | ■ | ■ |
| Gewicht ohne Leitungen | 4,5 kg | 2,6 kg | 2,6 kg | 6,7 kg | 6,7 kg |
| Abmessungen | 245 x 344 x 158 mm | 220 x 100 x 237 mm | 220 x 100 x 237 mm | 315 x 285 x 181 mm | 315 x 285 x 181 mm |



| | DLRO100 | DLRO200 | DLRO200-115 | DLRO600 | Anmerkungen |
|---------|---|---|------------------------------------|---|--|
| | 10–110 A | 10–200 A | | 10–600 A | |
| A, | 1 A (Auch Voreinstellungen mit 10 A, 50 A und 100 A) | 1 A | | 1 A | |
| | 10 min | > 10 Min. | | > 60 Sek. | |
| | 100 A (10 Min.) | 200 A (15 Min.) | | 200 A (15 Min.) | Lange Prüfzeiten können dazu beitragen, Schwachstellen durch Erwärmung zu lokalisieren |
| | 100 mΩ | 19 mΩ | 11 mΩ | 11 mΩ | Subtrahieren Sie den erwarteten Prüf Widerstand, um die max. Messleitungslänge zu berechnen *** Leistungsbegrenzung auf 0,25 W für sensible Anwendungen |
| | 0,1 μΩ–1,999 Ω | 0,1 μΩ–999,9 mΩ | | 0,1 μΩ–999,9 mΩ | |
| | 0,1 μΩ | 0,1 μΩ | | 0,1 μΩ | |
| | ± 0,2 % + 2 μΩ | ± 0,7% + 1 μΩ | | 0,6 % + 0,3 μΩ | |
| | ■ | | | | Ideal für das Prüfen von angeschlossenen Leistungsschaltern mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung |
| | | | ■ | | Kann die meisten Leistungsschalter mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung prüfen |
| | ■ | | | | Wird ohne zusätzliche Ungenauigkeit bei der Prüfung von Leistungsschaltern verwendet, bei denen beide Seiten mit der Erde verbunden sind. |
| | ■ | ■ | ■ | ■ | Ideal für das Prüfen von angeschlossenen Leistungsschaltern mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung |
| | ■ | | | | |
| | Nicht bei allen Modellen | | | | |
| | ■ | ■ | ■ | ■ | Ideal für die schnelle Prüfung mit vorgegebenen Prüfgrenzen |
| | Nicht bei allen Modellen | | | | |
| | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | Nicht bei allen Modellen | | | | |
| | | ■ | ■ | ■ | Notieren Sie sich Probleme oder erforderliche Korrekturmaßnahmen |
| | USB Nicht bei allen Modellen | RS232 | RS232 | RS232 | |
| | ■ ** | | | | * Betrieb mit Netzstrom auch bei leerer Batterie möglich |
| | CAT IV 600 V * Berührungssichere Klemmen | CAT II 300 V | CAT II 300 V | CAT II 300 V | ** Berührungssichere Klemmen reduzieren das Risiko eines Lichtbogenüberschlags in spannungsführenden Umgebungen |
| Prüfung | 600 V AC oder DC Prüfsperre Ohne Auslösen einer Sicherung | | | | Besonders wichtig bei Prüfungen in unmittelbarer Nähe von anliegenden Spannungen |
| | 100 mV 50/60 Hz (Gegentakt) | 5 V (RMS) 50/60 Hz (Gleichtakt) | 5 V (RMS) 50/60 Hz (Gleichtakt) | 5 V (RMS) 50/60 Hz (Gleichtakt) | Zeigt die Fähigkeit der Instrumente an, in Umgebungen mit elektrischem Rauschen zu arbeiten, wie z. B. in Hochspannungs-Umspannwerken. |
| | IP65 geschlossen IP54 offen | IP53 | IP53 | IP53 | Hohe IP-Schutzarten sind ideal für den Betrieb im Freien |
| | ■ | | | | |
| | 7,9 kg | 14,5 kg | 14,5 kg | 14,5 kg | Gewicht ohne Leitungen |
| | 400 x 300 x 200 mm (16 x 12 x 7,9 in) | 410 x 250 x 270 mm (16 x 10 x 11 in) | 410 x 250 x 270 mm | 410 x 250 x 270 mm (16 x 10 x 11 in) | Abmessungen |



| Technische Daten | Mjolner200 | Mjolner600 | MOM2 | MOM200 | MOM600A |
|--|--|--|--|---|---|
| Prüfströme | 5–200 A | 5–600 A | 220 A | 0–200 A | 0–600 A |
| Einstellschritte Prüfstrom | 1 A | 1 A | | | |
| Maximale Prüfdauer bei maximalem Strom | 2 Min | 15 Sek. | 3 Sek. (Entladung) | 20 Sek. | 15 Sek. |
| Max. Dauerstrom | 200 A | 300 A | k. A. | 100 A (15 Min.) | 100 A |
| Max. Widerstand bei max. Strom | 19 mΩ, mit Kabeln | 2 mΩ, mit Kabeln | 2 mΩ, mit Kabeln | 17 mΩ, mit Kabeln | 9 mΩ, mit Kabeln |
| Messbereich | 0 μΩ–999,9 mΩ | 0 μΩ–999,9 mΩ | 0 μΩ–1.000 mΩ | 0 μΩ–19,99 mΩ | 0 μΩ–1.999 mΩ |
| Beste Auflösung | 0,1 μΩ | 0,1 μΩ | 1,0 μΩ | 1,0 μΩ | 1,0 μΩ |
| Ungenauigkeit | ± 0,3 μΩ | ± 0,3 μΩ | ± 1 % + 1 μΩ | ± 1 % + 1 μΩ | ± 1 % + 1 μΩ |
| Wellenfreier Gleichstrom | ■ | ■ | ■ | | |
| Zusätzliche Glättung des Gleichstroms | | | | | |
| DualGround | ■ | ■ | ■ | | |
| Rampe aufwärts/abwärts (Automatik) | ■ | ■ | | | |
| AC-Entmagnetisierung | | | | | |
| Fernbedienung | ■ | ■ | ■ | | |
| Eingebauter Drucker | ■ | ■ | | | |
| Anwenderdefinierbare hohe und niedrige Prüfgrenzen | | | ■ | | |
| Datenspeicherung | ■ | ■ | ■ | | |
| Memo-Feld für gespeicherte Prüfergebnisse | | | | | |
| PC-Kommunikation | USB | USB | Bluetooth | | |
| Batteriebetrieben | | | ■ | | |
| Messkategorie (CAT)* | | | | | |
| Fremdspannungsschutz | | | | | |
| Störfestigkeitsspezifikation | | | | | |
| IP-Schutzart | IP41 | IP41 | IP54 | IP20 | IP20 |
| Robustes Transportkoffergehäuse | ■ | ■ | | | |
| Gewicht ohne Leitungen | 8,8 kg | 13,8 kg | 1,0 kg | 14,6 kg | 24,7 kg |
| Abmessungen | 486 x 392 x 192 mm (19 x 15 x 7,6 in) | 486 x 392 x 192 mm (19 x 15 x 7,6 in) | 217 x 92 x 72 mm (8,5 x 3,6 x 2,8 in) | 280 x 178 x 246 mm (11 x 7 x 9,7 in) | 356 x 203 x 241 mm (14 x 8 x 9,5 in) |

* Bei Messkreisen zur Messung anderer elektrischer Signale (CAT II) müssen die transienten Spannungen vom Anwender berücksichtigt werden, um



| MOM690 | Anmerkungen |
|--|---|
| 0–800 A | |
| Sofortabschaltung | |
| 100 A (10 Min.) | Lange Prüfzeiten können dazu beitragen, Schwachstellen durch Erwärmung zu lokalisieren |
| Mit Kabeln, 600 A 0,5 mΩ | Subtrahieren Sie den erwarteten Prüf Widerstand, um die max. Messleitungslänge zu berechnen *** Leistungsbegrenzung auf 0,25 W für sensible Anwendungen |
| 0 μΩ–200 mΩ | |
| 1,0 μΩ | |
| ± 1% + 1 μΩ | |
| | Ideal für das Prüfen von angeschlossenen Leistungsschaltern mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung |
| | Kann die meisten Leistungsschalter mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung prüfen |
| | Wird ohne zusätzliche Ungenauigkeit bei der Prüfung von Leistungsschaltern verwendet, bei denen beide Seiten mit der Erde verbunden sind. |
| | Ideal für das Prüfen von angeschlossenen Leistungsschaltern mit aktivem Relaisystem ohne Auslösung |
| ■ | |
| | |
| | Ideal für die schnelle Prüfung mit vorgegebenen Prüfgrenzen |
| | |
| | Notieren Sie sich Probleme oder erforderliche Korrekturmaßnahmen |
| ■ | |
| | * Betrieb mit Netzstrom auch bei leerer Batterie möglich |
| CAT I | ** Berührungssichere Klemmen reduzieren das Risiko eines Lichtbogenüberschlags in spannungsführenden Umgebungen Besonders wichtig bei Prüfungen in unmittelbarer Nähe von anliegenden Spannungen Zeigt die Fähigkeit der Instrumente an, in Umgebungen mit elektrischem Rauschen zu arbeiten, wie z. B. in Hochspannungs-Umspannwerken. |
| IP20 | Hohe IP-Schutzarten sind ideal für den Betrieb im Freien |
| | |
| 23,7 kg | Gewicht ohne Leitungen |
| 350 x 270 x 220 mm (14 x 11 x 8,7 in) | Abmessungen |

sicherzustellen, dass sie die Leistungsfähigkeit der Messgeräte nicht überschreiten. Der erwartete Transientenpegel für CAT IV beträgt 6.000 V, für CAT III 4.000 V, für CAT II 2.500 V und für CAT I 1.500 V. Für CAT I können die Transientenpegel auch anders festgelegt werden; die Geräte werden dann entsprechend ausgelegt und geprüft, um sicherzustellen, dass sie den erwarteten Transienten standhalten.

NOTIZEN

NOTIZEN



Megger[®]
Power on

Leitfaden für Niederohmmessungen_de_V02
Das Wort „Megger“ ist eine eingetragene Marke
Copyright © 2017

Megger GmbH
Obere Zeil 2
61440 Oberusel
T +49 (0) 6171 929 87 0
F +49 (0) 6171 929 87 19
info@megger.de