A Stitch in Time

TML GmbH
ELEKTROTECHNIK MIT LEIDENSCHAFT.

www.tml-shop.de

Megger.

„A Stitch in Time“

Der vollständige Leitfaden für die elektrische Isolationswiderstandsmessung

TML GmbH
ELEKTROTECHNIK MIT LEIDENSCHAFT.

TML GmbH
Mommsenstraße 2
DE-04329 Leipzig

0341/252449-0
0341/252449-19
info@tml-gmbh.de

www.tml-shop.de

Megger

INHALT **SEITE**

WAS IST „GUTE“ ISOLATION?....3
WAS MACHT DIE ISOLATION SCHLECHT?....4
WIE DER ISOLATIONSWIDERSTAND GEMESSEN WIRD....5
WIE DIE WIDERSTANDSWERTE INTERPRETIERT WERDEN....6
FAKTOREN, DIE DIE ISOLATIONSWIDERSTANDSWERTE BEEINFLUSSEN....8
ARTEN VON ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSUNGEN....10
PRÜFSPANNUNG IM VERGLEICH ZU GERÄTEBEWERTUNG....16
WECHSELSTROMPRÜFUNGEN IM VERGLEICH ZU GLEICHSTROM....17
VERWENDUNG DES DC-DIELEKTRIK-PRÜFSATZES....18
PRÜFUNGEN WÄHREND DES TROCKNENS DER GERÄTE....18
AUSWIRKUNG DER TEMPERATUR AUF DEN ISOLATIONSWIDERSTAND....21
AUSWIRKUNGEN VON FEUCHTIGKEIT....23
VORBEREITUNG DER BETRIEBSMITTEL AUF DIE PRÜFUNG....24
SICHERHEITSVORKEHRUNGEN....26
ANSCHLÜSSE ZUR MESSUNG DES ISOLATIONSWIDERSTANDS VON ELEKTROGERÄTEN....27
ZUSÄTZLICHE HINWEISE ZUR VERWENDUNG EINES MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTS....33
INTERPRETATION-MINDESTWERTE....36
MINDESTWERTE FÜR DEN ISOLATIONSWIDERSTAND....38
MESSUNGEN MIT MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDMESSGERÄTEN MIT MEHRFACHSPANNUNG....42
SCHRITTSPANNUNGSMETHODE....48
VERWENDUNG EINER SCHUTZKLEMME....50
BUCHSEN, ENDVERSCHLÜSSE UND ISOLATOREN....54
ÖLLEISTUNGSSCHALTER FÜR DEN AUSSENBEREICH....57
EINRICHTEN EINES WARTUNGSPROGRAMMS....60
WIE OFT SOLLTEN SIE PRÜFEN?....60
MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTE MIT 5, 10 UND 15 KV....62
MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTE MIT 1 KV....63

WAS IST „GUTE“ ISOLATION?

Jede elektrische Leitung in Ihrer Anlage, ob in einem Motor, Generator, Kabel, Schalter, Transformator usw., ist sorgfältig mit einer Art elektrischer Isolation versehen. Das Kabel selbst ist in der Regel aus Kupfer oder Aluminium, was bekanntermaßen ein guter Leiter für den elektrischen Strom ist, der Ihre Geräte versorgt. Die Isolation muss genau das Gegenteil von einem Leiter sein: Sie sollte Strom widerstehen und den Strom auf seinem Weg entlang des Leiters halten.

Um die Isolationswiderstandsmessung zu verstehen, müssen Sie nicht in die Mathematik von Elektrizität eindringen, aber eine einfache Gleichung – das Ohmsche Gesetz – kann sehr hilfreich beim Verständnis vieler Aspekte sein. Selbst wenn Sie schon einmal von diesem Gesetz gehört haben, kann es eine gute Idee sein, es im Licht der Isolationswiderstandsmessung erneut zu lesen.

Der Zweck der Isolation um einen Leiter ist sehr ähnlich dem eines Wasserrohrs, und das Ohmsche Gesetz der Elektrizität kann durch einen Vergleich mit Wasserfluss leichter verstanden werden. In Abb. 1 zeigen wir diesen Vergleich. Durch Druck einer Pumpe auf das Wasser fließt es entlang der Leitung (Abb. 1a). Wenn das Rohr eine Leckage aufweist, würden Sie Wasser vergeuden und etwas Wasserdruck verlieren.

Beim Strom ist Spannung wie der Pumpendruck, wodurch Strom entlang des Kupferdrahts fließt (Abb. 1b). Wie in einer Wasserleitung besteht ein gewisser Widerstand gegen den Fluss, aber der ist entlang des Drahts wesentlich geringer als durch die Isolation.

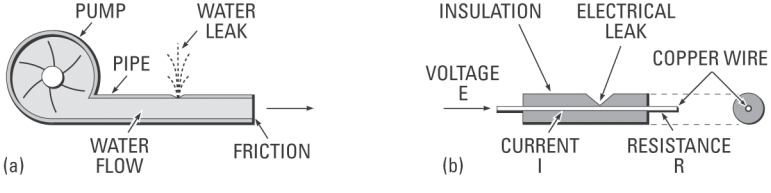


Abbildung 1: Vergleich des Wasserdurchflusses (a) mit elektrischem Strom (b).

Mit gesundem Menschenverstand erkennen wir: je höher die Spannung, desto mehr Strom fließt. Und: je geringer der Widerstand des Drahtes, desto mehr Strom fließt bei gleicher Spannung.

Tatsächlich ist dies das Ohmsche Gesetz, das auf diese Weise in folgender Gleichung ausgedrückt wird:

$$E = I \times R$$

wobei E = Spannung in Volt

I = Strom in Ampere

R = Widerstand in Ohm

Beachten Sie aber: Keine Isolation ist perfekt (hat einen unendlichen Widerstand), also fließt immer etwas Strom entlang der Isolation oder durch sie zur Erde. Ein solcher Strom mag nur ein Millionstel Ampere (ein Mikro-Ampere) betragen, aber das ist die Grundlage für Isolationsmessgeräte. Beachten Sie auch, dass eine höhere Spannung tendenziell zur Folge hat, dass mehr Strom durch die Isolation fließt. Diese geringe Menge Strom würde natürlich einer guten Isolation nicht schaden, aber zu einem Problem werden, wenn die Isolation beschädigt ist.

Jetzt fassen wir unsere Antwort auf die Frage „Was ist ‚gute' Isolation?" noch einmal zusammen. Wir haben festgestellt, dass im Wesentlichen „gut" einen relativ hohen Widerstand gegen Strom bedeutet. Bei der Beschreibung eines Isoliermaterials bedeutet „gut" auch „die Fähigkeit, einen hohen Widerstand aufrechtzuerhalten". Eine geeignete Art der Widerstandsmessung kann Ihnen also sagen, wie „gut" die Isolation ist. Wenn Sie in regelmäßigen Abständen Messungen vornehmen, können Sie außerdem Trends in Bezug auf Verschlechterungen prüfen (weitere Informationen hierzu finden Sie später).

WAS MACHT DIE ISOLATION SCHLECHT?

Wenn Ihre elektrische Anlage und die Geräte neu sind, sollte die elektrische Isolation in erstklassigem Zustand sein. Darüber hinaus haben Hersteller von Drähten, Kabeln, Motoren usw. ihre Isolationen für den Einsatz in der Industrie stetig verbessert. Dennoch ist selbst heute noch die Isolation vielen Einwirkungen ausgesetzt, die zu ihrem Versagen führen können, z. B. mechanische Beschädigung, Vibration, übermäßige Hitze oder Kälte, Schmutz, Öl, korrosive Dämpfe, Feuchtigkeit aus Prozessen oder einfach nur die Feuchtigkeit an einem schwülen Tag.

Diese widrigen Umstände für die Isolation wirken im Lauf der Zeit in unterschiedlichem Ausmaß auf sie ein – zusammen mit den vorhandenen elektrischen Spannungen. Wenn kleine Löcher oder Risse entstehen, dringen Feuchtigkeit und Fremdkörper in die Oberflächen der Isolation ein und bieten einen

niederohmigen Widerstandspfad für Ableitstrom. Wenn dies erst einmal begonnen hat verstärken sich die verschiedenen negativen Auswirkungen tendenziell gegenseitig, was dazu führt, dass zu viel Strom durch die Isolation abgeleitet wird.

Manchmal ist der Rückgang des Isolationswiderstands plötzlich, z. B. bei einer Überflutung der Geräte. In der Regel fällt er jedoch allmählich ab, wodurch bei regelmäßiger Überprüfung viel Zeit zur Erkennung bleibt. Solche Prüfungen ermöglichen eine geplante Überholung vor einem Betriebsausfall. Wenn keine Prüfungen durchgeführt werden, kann z. B. ein Motor mit schlechter Isolation nicht nur bei Berührung gefährlich sein, wenn Spannung anliegt, sondern auch brennen. Was zunächst eine gute Isolation war, ist nun teilweise zu einem Leiter geworden.

WIE DER ISOLATIONSWIDERSTAND GEMESSEN WIRD

Sie haben gesehen, dass eine gute Isolation einen hohen Widerstand aufweist, eine schlechte Isolation hingegen einen relativ geringen Widerstand. Die tatsächlichen Widerstandswerte können höher oder niedriger sein, abhängig von Faktoren wie Temperatur oder Feuchtigkeitsgehalt der Isolation (der Widerstand fällt mit steigender Temperatur oder Feuchtigkeit). Mit einem geringen Dokumentationsaufwand und etwas gesundem Menschenverstand können Sie jedoch anhand der Werte, die nur relativ sind, ein gutes Bild von den Isolationsbedingungen erhalten.

Das Megger Isolationswiderstandsmessgerät ist ein kleines, tragbares Gerät, das Ihnen einen direkten Wert für den Isolationswiderstand in Ohm oder Megaohm liefert. Bei einer guten Isolation liegt der Widerstand in der Regel im Megaohm-Bereich.

Das Megger Isolationswiderstandsmessgerät ist im Wesentlichen ein Hochohmmeter mit eingebautem Gleichstromgenerator. Dieses Messgerät ist mit einer speziellen Konstruktion aus Strom- und Spannungsspulen ausgestattet, wodurch der tatsächliche Ohmwert direkt und unabhängig von der tatsächlich angelegten Spannung abgelesen werden kann. Diese Methode ist zerstörungsfrei, d. h., sie verursacht keine Verschlechterung der Isolation.

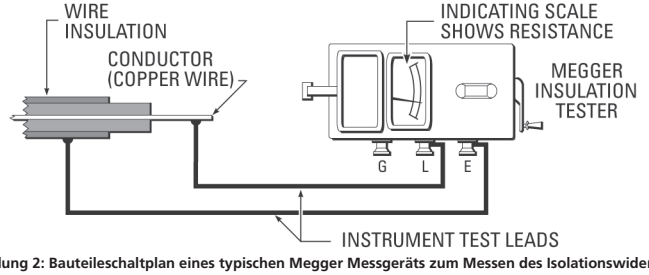


Abbildung 2: Bauteileschaltplan eines typischen Megger Messgeräts zum Messen des Isolationswiderstands.

Der Generator kann von Hand gekurbelt, batterie- oder netzbetrieben werden und erzeugt eine hohe Gleichspannung, die einen kleinen Strom durch und über den Oberflächen der zu prüfenden Isolation verursacht (Abb. 2). Dieser Strom (in der Regel bei einer angelegten Spannung von 500 Volt oder mehr) wird vom Ohmmeter gemessen, das eine Skala zur Anzeige hat. Abb. 3 zeigt eine typische Skala, in der die Erhöhung der Widerstandswerte von links bis Unendlich abgelesen werden können bzw. bis zu einem Widerstand, der zu hoch ist, um gemessen werden zu können.

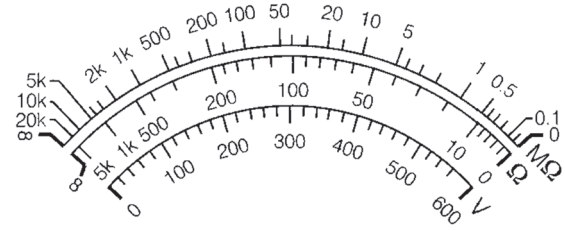


Abbildung 3: Übliche Skala auf dem Megger Isolationswiderstandsmessgerät.

WIE DIE WIDERSTANDSWERTE INTERPRETIERT WERDEN

Wie bereits erwähnt, sollten die Isolationswiderstandswerte als relative Werte angesehen werden. Sie können bei einem Motor oder einer Maschine, die drei Tage hintereinander geprüft wurde, sehr unterschiedlich ausfallen. Trotzdem bedeutet dies keine schlechte Isolation. Die wichtige Information daran ist die Tendenz der Messwerte über einen bestimmten Zeitraum, da sie verringernden Widerstand zeigt und vor auftretenden Problemen warnt. Regelmäßige Messungen sind daher der beste Ansatz für die vorbeugende Instandhaltung elektrischer Geräte. Dazu können Datenblätter verwendet werden, wie sie in Abb. 4 zu sehen sind.

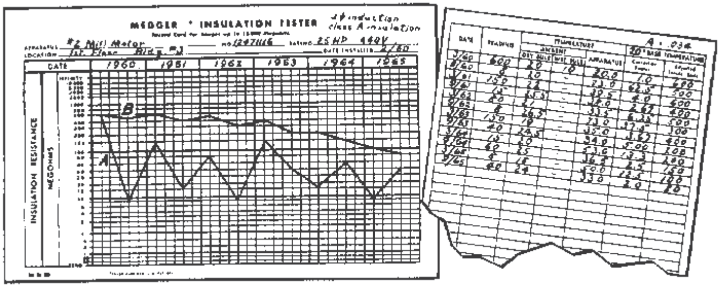


Abbildung 4: Übliche Aufzeichnung des Isolationswiderstands eines Mühlenmotors. Kurve A zeigt Prüfwerte wie gemessen an; Kurve B zeigt die gleichen Werte auf 20 °C korrigiert (vgl. Seite 22), so dass ein klarer Abwärtstrend zu einem unsicheren Zustand zu erkennen ist. Auf der Rückseite der Karte (rechts) werden die Prüfdaten aufgezeichnet.

Der Abstand zwischen den Prüfungen (monatlich, zweimal im Jahr, einmal im Jahr usw.) hängt von der Art, dem Standort und der Bedeutung der Geräte ab. Beispielsweise kann ein kleiner Pumpenmotor oder ein kurzes Steuerkabel für einen Prozess in Ihrem Werk von entscheidender Bedeutung sein. Erfahrung ist der beste Lehrer bei der Einrichtung der geplanten Zeiträume für Ihre Geräte.

Sie sollten diese regelmäßigen Prüfungen jedes Mal auf die gleiche Weise durchführen. Verwenden Sie also die gleichen Prüfanschlüsse und legen Sie die gleiche Prüfspannung für die gleiche Zeit an. Außerdem sollten Sie Prüfungen bei ungefähr der gleichen Temperatur durchführen oder sie auf die gleiche Temperatur korrigieren. Eine Aufzeichnung der relativen Feuchtigkeit in der Nähe des Geräts zum Zeitpunkt der Prüfung ist ebenfalls hilfreich bei der Bewertung des Messwerts und des Trends. In späteren Abschnitten werden die Temperaturkorrektur und die Auswirkungen der Feuchtigkeit behandelt.

Hier einige allgemeine zusammenfassende Beobachtungen darüber, wie Sie regelmäßige Isolationswiderstandsmessungen durchführen können und was Sie mit dem Ergebnis tun sollten:

Zustand	Was zu tun ist
(a) Geeignete bis hohe Werte und gut gewartet.	**Kein Grund für Bedenken.**
(b) Geeignete bis hohe Werte, aber mit konstanter Tendenz zu niedrigeren Werten.	**Lokalisieren und beheben Sie die Ursache und beobachten Sie den Abwärtstrend.**
(c) Niedrige Werte, aber gut gewartet.	**Zustand ist wahrscheinlich akzeptabel, aber die Ursache für niedrige Werte sollte überprüft werden.**
(d) So niedrig, dass sie unsicher sein könnten.	**Reinigen, austrocknen oder anderweitig die Werte erhöhen, bevor die Geräte in Betrieb genommen werden. (Nasse Geräte beim Austrocknen prüfen.)**
(e) Geeignete oder hohe Werte, die vorher gut aufrechterhalten wurden, aber plötzlich abnehmen.	**Führen Sie Prüfungen in häufigeren Abständen durch, bis die Ursache für die niedrigen Werte gefunden und behoben ist; oder bis die Werte sich dauerhaft auf einer niedrigeren Ebene eingependelt haben, die aber betriebssicher ist; oder bis die Werte so niedrig sind, dass es unsicher ist, das Gerät in Betrieb zu behalten.**

FAKTOREN, DIE DIE ISOLATIONSWIDERSTANDSWERTE BEEINFLUSSEN

Denken Sie daran, dass der gemessene Widerstand (der Isolation) durch die angelegte Spannung und den resultierenden Strom bestimmt wird (R = E/I). Es gibt eine Reihe von Dingen, die sich auf den Strom auswirken, z. B. die Temperatur der Isolation und die Feuchtigkeit, wie im vorherigen Abschnitt erwähnt. Sehen wir uns jetzt die Art des Stromflusses durch die Isolation und die Auswirkungen der Dauer an, für die Spannung angelegt wird.

Strom, der durch und entlang einer Isolation fließt, besteht teilweise aus einem relativ gleichmäßigen Strom in Ableitwegen über der Isolationsoberfläche. Strom fließt auch durch das Volumen der Isolation. Wie in Abb. 5 gezeigt, besteht der Gesamtstrom tatsächlich aus drei Komponenten:

1. **Kapazitätsladestrom**
   Strom, der hoch anfängt und absinkt, nachdem die Isolation auf die volle Spannung aufgeladen wurde (ähnlich wie der Wasserdurchfluss in einem Gartenschlauch beim ersten Aufdrehen des Hahns).

2. **Absorptionsstrom**
   Ebenfalls ein zunächst hoher Strom, der dann abfällt (aus Gründen, die unter dem Abschnitt „Zeit-Widerstandsmethode“ besprochen werden).

3. **Leitungs- oder Ableitstrom**
   Ein niedriger und sowohl durch und über die Isolation im Wesentlichen gleich bleibender Strom.

Wie in Abb. 5 gezeigt, ist der Gesamtstrom die Summe der drei Komponenten, und es ist dieser Strom, der direkt von einem Mikroamperemeter oder in Megaohm bei einer bestimmten Spannung mittels eines Megger Geräts (Ohmmeter) gemessen werden kann. Da der Gesamtstrom von der Zeit abhängt, in der die Spannung angelegt wird, können Sie jetzt sehen, warum das Ohmsche Gesetz (R = E/I) theoretisch nur zu einer unendlichen Zeit gilt (was bedeutet, dass ewig gewartet werden muss, bevor eine Messung durchgeführt wird).

Wie Sie in den unten beschriebenen Prüfmethoden sehen werden, lesen Sie in der Praxis einen Wert, der der scheinbare Widerstand ist – ein nützlicher Wert für die Diagnose von Problemen, was Ihr Anliegen ist.

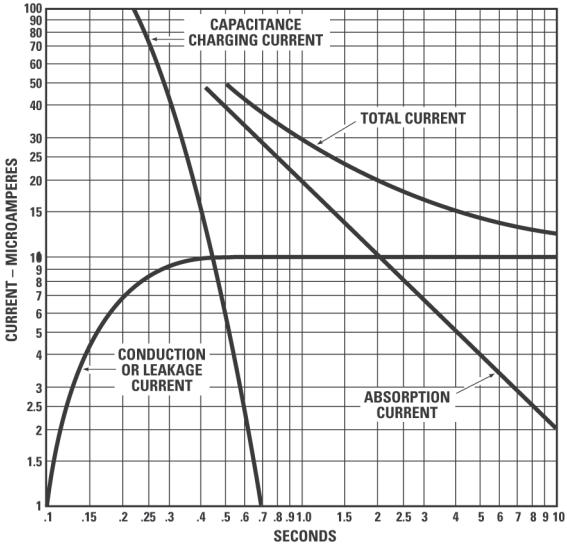


Abbildung 5: Kurven, die die während der Gleichstrom-Isolationswiderstandsmessung gemessenen Stromkomponenten zeigen.

In Abb. 5 sehen Sie außerdem, dass der Ladestrom relativ schnell verschwindet, wenn der Prüfling aufgeladen wird. Größere Einheiten mit mehr Kapazität brauchen länger, um geladen zu werden. Dieser Strom ist auch die gespeicherte Energie, die nach der Prüfung zunächst durch Kurzschlüsse und Erdung der Isolation entladen wird. **ERGREIFEN SIE IMMER DIESE SICHERHEITSMASSNAHME.**

In Abb. 5 können Sie außerdem sehen, dass der Absorptionsstrom je nach Art der Isolation relativ langsam abnimmt. Diese gespeicherte Energie muss am Ende einer Prüfung ebenfalls freigegeben werden und benötigt dafür eine längere Zeit als der Kapazitätsladestrom – etwa vier Mal so lange, wie die Spannung angelegt wurde.

Bei guter Isolation sollte der Leitungs- oder Ableitstrom sich bis zu einem konstanten Wert aufbauen, der für die angelegte Spannung konstant ist, wie in Abb. 5 zu sehen. Jede Erhöhung des Ableitstroms mit der Zeit ist ein Hinweis auf Probleme, wie in den im folgenden Abschnitt beschriebenen Prüfungen beschrieben.

Vor dem Hintergrund, wie sich die Zeit auf die Bedeutung der Gerätemesswerte auswirkt, sehen wir uns jetzt drei gängige Prüfmethoden an: (1) Kurzzeit- oder Stichprobenmessung; (2) Zeit-Widerstände; und (3) Schritt- oder Mehrfachspannungsmessungen.

ARTEN VON ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSUNGEN

Kurzzeit- oder Stichprobenmessung

Bei dieser Methode schließen Sie einfach das Megger Gerät über die zu prüfende Isolation an und bedienen es einen kurzen, festgelegten Zeitraum lang (60 Sekunden werden in der Regel empfohlen). Wie schematisch in Abb. 6 dargestellt, haben Sie einfach einen Punkt auf einer Kurve mit erhöhten Widerstandswerten ausgewählt. Häufig ist der Wert für 30 Sekunden niedriger, für 60 Sekunden höher. Beachten Sie auch, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie der Zustand der Isolation sich auf Ihren Messwert auswirken.

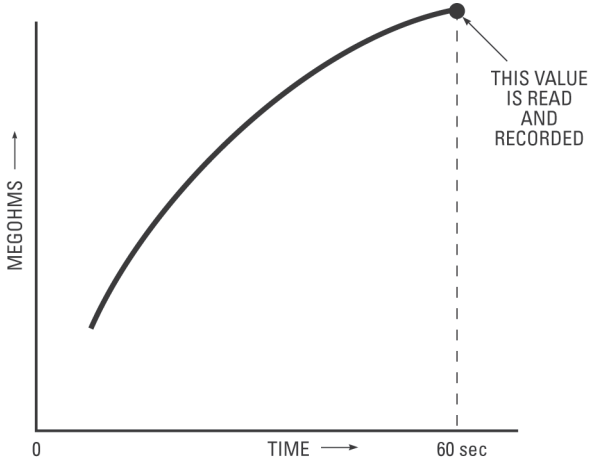


Abbildung 6: Typische Kurve des Isolationswiderstands (in Megaohm) im Lauf der Zeit für die Prüfmethode „Kurzzeitmessung“ oder „Stichprobenmessung“.

Wenn das zu prüfende Gerät eine sehr geringe Kapazität aufweist, wie z. B. eine kurze Ausführung der Hausverdrahtung, ist nur eine Stichprobenmessung erforderlich. Die meisten Geräte sind jedoch kapazitiv, und daher kann die erste Stichprobenmessung an Geräten in Ihrem Werk ohne vorherige Prüfungen nur ein grober Richtwert dafür sein, wie gut oder schlecht die Isolation ist. Seit vielen Jahren haben Wartungsexperten die 1-Megaohm-Regel angewendet, um den zulässigen unteren Grenzwert für den Isolationswiderstand festzulegen. Die Regel kann folgendermaßen angegeben werden:

Der Isolationswiderstand sollte ca. 1 MΩ pro 1.000 Volt der Betriebsspannung betragen, wobei der Mindestwert bei einem Megaohm liegen sollte.

Ein Motor mit einer Nennspannung von 2.400 Volt sollte beispielsweise einen Mindestisolationswiderstand von 2,4 Megaohm aufweisen. In der Praxis liegen Megaohmwerte in neuen Geräten oder bei gutem Zustand der Isolation in der Regel deutlich über diesem Mindestwert.

Wenn Sie regelmäßig Messungen durchführen und aufzeichnen, können Sie den tatsächlichen Zustand der Isolation besser beurteilen. Jeder dauerhafte Abwärtstrend ist in der Regel ein Hinweis auf Probleme, selbst wenn die Messwerte möglicherweise höher als die empfohlenen Mindestwerte sind. Und solange Ihre regelmäßigen Werte konstant sind, können sie gleichermaßen auch dann in Ordnung sein, wenn sie unter den empfohlenen Mindestwerten liegen. Die Kurven in Abb. 7 zeigen das typische Verhalten des Isolationswiderstands unter wechselnden Betriebsbedingungen. Die Kurven wurden mit einem Megger Gerät über einen Zeitraum von mehreren Monaten aufgezeichnet.

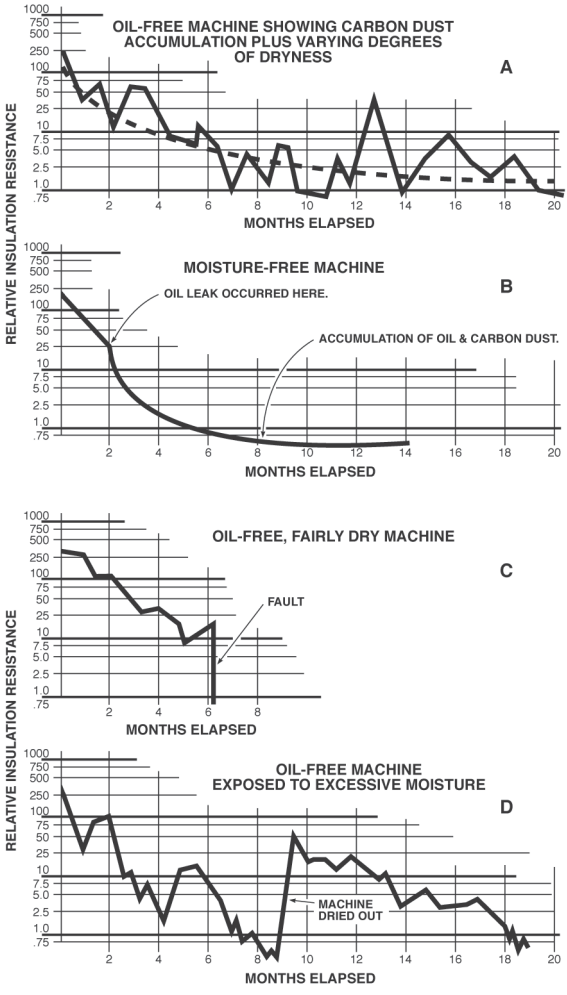


Abbildung 7: Typisches Verhalten des Isolationswiderstands über einen Zeitraum von mehreren Monaten unter wechselnden Betriebsbedingungen (Kurven, die aus Stichprobenmessungen mit einem Megger Gerät aufgezeichnet werden).

Zeit-Widerstandsmethode

Diese Methode ist relativ unabhängig von der Temperatur und kann Ihnen oft aufschlussreiche Informationen ohne Aufzeichnungen früherer Prüfungen liefern. Sie beruht auf dem Absorptionseffekt einer guten Isolation im Vergleich zu dem einer feuchten oder verschmutzten Isolation. Sie nehmen einfach aufeinander folgende Messungen zu bestimmten Zeiten vor und beachten die Unterschiede in den Messwerten (siehe Kurven, Abb. 8). Prüfungen mit dieser Methode werden manchmal als Absorptionsprüfungen bezeichnet.

Beachten Sie, dass eine gute Isolation eine kontinuierliche Steigerung des Widerstands (weniger Strom – siehe Kurve A) über einen bestimmten Zeitraum (in etwa 5 bis 10 Minuten) aufweist. Dies wird durch den oben erwähnten Absorptionsstrom verursacht. Eine gute Isolation zeigt diesen Aufladungseffekt viel länger als die Zeit, die dafür erforderlich ist, die Kapazität der Isolation zu aufzuladen.

Wenn die Isolation viel Feuchtigkeit oder Verunreinigungen enthält, wird der Absorptionseffekt durch einen hohen Ableitstrom maskiert, der bei einem relativ konstanten Wert bleibt, wodurch der Widerstand niedrig bleibt (denken Sie daran: R = E/I).

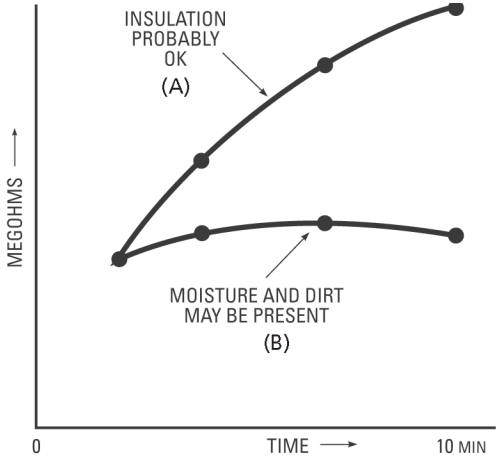


Abbildung 8: Typische Kurven mit dielektrischem Absorptionseffekt in einer „Zeit-Widerstandsprüfung" an kapazitiven Geräten, z. B. einer großen Motorwicklung.

Die Zeit-Widerstandsprüfung ist auch sinnvoll, weil sie unabhängig von der Gerätegröße ist. Die Erhöhung des Widerstands für eine saubere und trockene Isolation erfolgt auf die gleiche Weise, ob ein Motor nun groß oder klein ist. Sie können daher mehrere Motoren vergleichen und Standards für neue Modelle festlegen, unabhängig von deren Nennleistung.

Abb. 9 zeigt, wie eine 60-Sekunden-Prüfung für eine gute und vielleicht für eine schlechte Isolation aussehen würde. Wenn die Isolation in gutem Zustand ist, ist der 60-Sekunden-Messwert höher als der 30-Sekunden-Messwert.

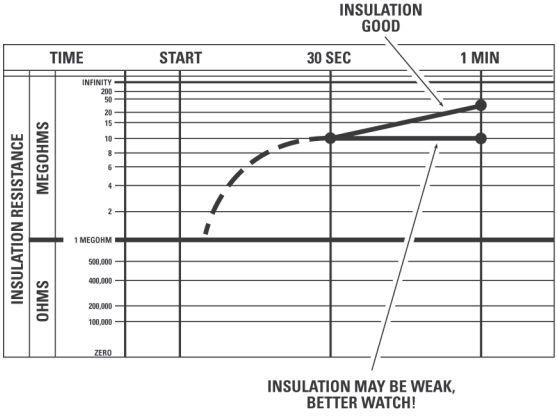


Abbildung 9: Typische Kartendarstellung einer Zeit-Widerstandsprüfung oder Doppelmessung.

Ein weiterer Vorteil dieser Doppelmessung, wie sie manchmal auch genannt wird, besteht darin, dass Sie ein klareres Bild erhalten, selbst wenn eine Stichprobenmessung ergibt, dass die Isolation in einem guten Zustand ist.

Angenommen, der Stichprobenmesswert für einen Synchronmotor betrug 10 Megaohm. Nehmen wir nun an, dass die Doppelmessung aufzeigt, dass der Isolationswiderstand gleichmäßig bei 10 Megaohm gehalten wird, während Sie die Spannung bis zu 60 Sekunden lang halten. Das bedeutet, dass sich Schmutz oder Feuchtigkeit in den Wicklungen befinden kann, was beobachtet werden sollte. Wenn der Zeiger einen allmählichen Anstieg zwischen der 30-Sekunden- und der 60-Sekunden-Prüfung anzeigt, können Sie andererseits ziemlich sicher sein, dass die Wicklungen in gutem Zustand sind.

Zeit-Widerstandsprüfungen an großen rotierenden elektrischen Maschinen – insbesondere bei hohen Betriebsspannungen – erfordern hohe Isolationswiderstandsbereiche und eine sehr konstante Prüfspannung. Ein robuster netzbetriebener Megger Prüfsatz dient genau diesem Zweck. Ebenso ist ein solches Instrument besser für große Kabel, Buchsen, Transformatoren und Schaltanlagen geeignet.

Dielektrisches Absorptionsverhältnis

Das Verhältnis von zwei Zeit-Widerstandswerten (z. B.einem 60-Sekunden-Messwert geteilt durch einen30-Sekunden-Messwert) wird als dielektrisches Absorptionsverhältnis bezeichnet. Es ist hilfreich bei der Erfassung von Informationen über die Isolation. Wenn das Verhältnis ein 10-Minuten-Messwert geteilt durch einen 1-Minuten-Messwert ist, wird der Wert als Polarisationsindex bezeichnet.

Mit von Hand gekurbelten Megger Geräten ist es wesentlich einfacher, die Prüfung nur 60 Sekunden lang durchzuführen, wobei der erste Messwert nach 30 Sekunden genommen wird. Wenn Sie ein netzbetriebenes Megger Gerät haben, erhalten Sie die besten Ergebnisse, indem Sie die Prüfung 10 Minuten lang ausführen und Messungen nach 1 Minute und nach 10 Minuten nehmen, um den Polarisationsindex zu erhalten. Tabelle I gibt Werte der Verhältnisse und entsprechenden relativen Bedingungen der Isolation an, für die sie stehen.

TABLE I — Condition of Insulation Indicated by Dielectric Absorption Ratios*

INSULATION CONDITION	60/30-SECOND RATIO	10/1-MINUTE RATIO (POLARIZATION INDEX)
Dangerous	—	Less than 1
Questionable	1.0 to 1.25	1.0 to 2***
Good	1.4 to 1.6	2 to 4
Excellent	Above 1.6**	Above 4**

*These values must be considered tentative and relative—subject to experience with the time-resistance method over a period of time.
**In some cases, with motors, values approximately 20% higher than shown here indicate a dry brittle winding which will fail under shock conditions or during starts. For preventive maintenance, the motor winding should be cleaned, treated, and dried to restore winding flexibility.
***These results would be satisfactory for equipment with very low capacitance such as short runs of house wiring.

PRÜFSPANNUNG IM VERGLEICH ZUR GERÄTEBEWERTUNG

Folgende Gleichstrom-Prüfspannungen werden häufig für Routinewartungen verwendet:

Geräte-Wechselstrom-Einstufung	Gleichstrom-Prüfspannung
bis zu 100 Volt	100 bis 250 Volt
440 bis 550 Volt	500 bis 1.000 Volt
2.400 Volt	1.000 bis 2.500 Volt oder höher
4.160 Volt und höher	1.000 bis 5.000 Volt oder höher

Prüfspannungen, die für die Nachweisprüfung der Geräte verwendet werden, sind wesentlich höher als Prüfspannungen bei der Routinewartung. Obwohl es keine veröffentlichten Branchennormen für maximale Gleichstrom-Nachweisprüfspannungen gibt, die mit rotierenden Geräten verwendet werden können, wird üblicherweise der unten angegebene Plan verwendet. Für bestimmte Empfehlungen zu Ihren Geräten sollten Sie sich an den Hersteller des Geräts wenden.

Nachweisprüfspannungen für rotierende Anlagen:

Wechselstrom-Werksprüfung = 2 x Typenschild-Nennleistung + 1.000 Volt

Gleichstrom-Nachweisprüfung bei Installation = 0,8 x Wechselstrom-Werksprüfung x 1,6

Gleichstrom-Nachweisprüfung nach Wartung = 0,6 x Wechselstrom-Werksprüfung x 1,6

Beispiel.:

Motor mit 2.400 VAC Typenschild –
Wechselstrom-Werksprüfung = 2(2.400) +1.000 = 5.800 VAC

Max. Gleichstrom-Prüfung bei Installation = 0,8(5.800)1,6 = 7.424 VDC

Max. Gleichstrom-Prüfung nach Wartung = 0,6(5.800)1,6 = 5.568 VDC

WECHSELSTROM-PRÜFUNGEN IM VERGLEICH ZU GLEICHSTROM

Wir haben bis jetzt über die Prüfung mit Gleichstrom-Spannung gesprochen, aber nun geht es um Wechselstrom-Prüfungen und den Unterschied zwischen den beiden. Erinnern Sie sich, dass die Art des Stroms erwähnt wurde, der in der Isolation durch Gleichstrom produziert wird? (Der anfänglich Stoß von Ladestrom, der Abfall mit der Zeit bis zum Absorptionsstrom, und nach noch mehr Zeit der gleich bleibende Leitungsstrom.) Sie haben erfahren, dass bei der Isolationswiderstandsmessung der Leitungs- oder Ableitstrom die Informationen liefert, die wir benötigen.

Im Gegensatz dazu liefert die Prüfung mit Wechselstrom einen Ladestrom, der extrem hoch im Vergleich zu den anderen Arten ist; der Ableitstrom ist relativ gering. Wechselstrom wird häufig für Hochspannungsmessungen verwendet; die Spannung wird auf einen bestimmten Punkt erhöht, um zu sehen, ob die Isolation einer bestimmten Spannung widerstehen kann. Es handelt sich um eine GO/NO-GO-Prüfung, die eine Verschlechterung der Isolation verursachen kann, im Gegensatz zur Gleichstrom-Prüfung, die im Wesentlichen zerstörungsfrei ist.

Wenn eine Wechselstrom-Prüfspannung verwendet wurde und Sie Gleichstrom-Prüfungen als Alternative verwenden möchten, müssen Sie die maximale Gleichstrom-Prüfspannung etwas erhöhen, um äquivalente Ergebnisse zu erzielen.

In einigen Fällen ist die Wechselstrom-Prüfung möglicherweise besser für die Prüfung von Geräten geeignet (d. h., wenn die Geräte vorgeschriebenen Standards entsprechen). Sie steigern die Spannung bis zum ausgewählten Wert, und das Gerät besteht entweder die Prüfung oder auch nicht. Mit der Gleichstrom-Prüfung erhalten Sie ein eher qualitatives Bild. Sie können den Ableitstrom messen, wenn Sie die Spannung erhöhen und bestimmte Werte des Isolationswiderstands ermitteln.

Mit steigender Größe der Geräte bieten Gleichstrom-Prüfungen gegenüber Wechselstrom-Prüfungen auch deutliche wirtschaftliche Vorteile. Mit steigender Prüfspannung nehmen sowohl die Kosten als auch das Gewicht von Wechselstrom-Geräten deutlich schneller zu als bei vergleichbaren Gleichstrom-Messgeräten. Das liegt daran, dass der Wechselstrom-Prüfsatz den Ladestrom liefern muss, der in den größeren Maschinen sehr hoch wird und bleibt. Wie bereits zuvor erläutert, sinkt die Spannung bei Gleichstrom-Prüfungen nach dem ersten Ladezeitraum schnell.

Im Überblick werden Gleichstrom-Prüfsätze fast ausschließlich für die Hochspannungswartung und im Feld aus den folgenden Gründen eingesetzt:

1. Geringere Kosten
2. Geringeres Gewicht
3. Geringere Größe
4. Zerstörungsfrei
5. Bessere Informationen, sowohl in Qualität als auch in Quantität

VERWENDUNG DES DC-DIELEKTRIK-PRÜFSATZES

Ein Megger Gerät, das den Isolationswiderstand direkt in Ohm und Megaohm messen kann, ist die beste Wahl für routinemäßige Wartungsarbeiten im Werk. Einige Werke, insbesondere mit höheren Nennspannungen der Geräte, verwenden jedoch ein anderes Megger Produkt – den Dielektrik-Prüfsatz. Daher sollten Sie dieses Gerät und seine Verwendung in Isolationswiderstandsmessungen kennen.

Mit dem Dielektrik-Prüfsatz kann der Isolationswiderstand mit den gleichen Prüfmethoden wie für das Megger Gerät beschrieben bestimmt werden, d. h. mit Kurzzeit-, Zeit-Widerstands- und Schrittspannungsprüfungen. Er ist auch für andere Zwecke vorgesehen, für Isolationswiderstandsmessungen bietet er aber Folgendes: (1) eine einstellbare Ausgangsspannung und (2) eine Überwachung des resultierenden Stroms in Mikroampere. Die Megger DC-Dielektrik-Prüfsätze sind mit Spannungsausgängen von 5 bis 160 kV erhältlich.

Die Kurven in Abb. 5 werden als Strom im Vergleich zur Zeit dargestellt, ebenso wie die Kurven für Isolationswiderstandsmessungen an typischen Geräten am Ende dieses Handbuchs. Megger liefert ein Diagrammpapier, das es leicht macht, die Megaohm der Isolationswiderstandsmessungen aus den Spannungs- und Strommesswerten aufzuzeichnen.

PRÜFUNGEN WÄHREND DES TROCKNENS VON GERÄTEN

Nasse Elektrogeräte sind eine Gefährdung für alle Wartungstechniker. Wenn das Gerät mit Süßwasser in Kontakt kam, trocknen Sie es direkt. Wenn es jedoch Salzwasser ist, müssen Sie zunächst das Salz mit Süßwasser abwaschen. Andernfalls hinterlassen Sie sehr korrosive Salzablagerungen auf Metall- und Isolierflächen sowie in den Fugen der Isolation. Mit Feuchtigkeit bilden diese Ablagerungen einen sehr guten Leiter für Elektrizität. Außerdem sollten Sie mit einem geeigneten Lösungsmittel Öl oder Fett von der Isolation entfernen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, elektrische Geräte auszutrocknen, je nach ihrer Größe und Tragbarkeit. Sie können Heißluft, einen Herd, einen Stromkreislauf durch Leiter oder eine Kombination dieser Techniken verwenden. Lokale Werksbedingungen und Einrichtungen, zusammen mit Informationen von den Geräteherstellern, können als Leitfaden für die beste Methode für Ihre Geräte dienen.

In einigen Fällen oder bei bestimmten Geräten muss das Trocknen möglicherweise nicht durchgeführt werden. Sie können dies anhand von Isolationswiderstandsmessungen überprüfen, wenn Sie über Aufzeichnungen früherer Prüfungen mit dem Gerät verfügen. Wenn eine Trocknung erforderlich ist, sind solche Aufzeichnungen ebenfalls hilfreich, um zu bestimmen, wann die Isolation frei von Feuchtigkeit ist.

HINWEIS: Nasse Geräte sind anfällig für Spannungsausfälle. Daher sollten Sie zumindest in den frühen Stadien eines Trockenvorgangs ein Megger Niederspannungsprüfgerät (100 oder 250 V DC) verwenden. Wenn kein Niederspannungsprüfgerät verfügbar ist, kann es durch langsames Starten eines 500 Volt-Prüfgeräts ersetzt werden.

Viele Prüfgeräte verfügen über einen zusätzlichen Messbereich in Kiloohm (kΩ). Diese Messung erfolgt in der Regel nur mit wenigen Volt und ist die ideale Erstmessung für geflutete Geräte. Dieser Bereich wird <u>unter</u> dem Megaohmbereich gemessen und kann daher als Maßstab für die Überwachung des Trockenprozesses dienen. Wenn eine Kiloohmmessung durchgeführt wird, wurde die Isolation gründlich mit Flüssigkeit getränkt, kann jedoch rückgewonnen werden. Sie können das Gerät abwechselnd prüfen und trocknen und die Messwerte beobachten, bis Sie den Megaohmbereich erreichen. Zu dem Zeitpunkt können dann höhere Spannungsprüfungen eingesetzt werden.

Betrachten wir als Beispiel für die Bedeutung früherer Messungen einen 100 PS-Motor, der überflutet wurde. Nach der Reinigung zeigt eine Stichprobenmessung mit dem Megger Prüfgerät 1,5 Megaohm an. Sie würden spontan wahrscheinlich sagen, dass dies in Ordnung ist. Wenn frühere Aufzeichnungen den Isolationswiderstand zwischen 1 und 2 Megaohm zeigten, wären Sie sicher.

Wenn hingegen die bisherigen Aufzeichnungen die normalen Widerstandswerte von 10 bis 20 MΩ anzeigen würden, wüssten Sie, dass noch Feuchtigkeit in den Motorwicklungen vorhanden ist.

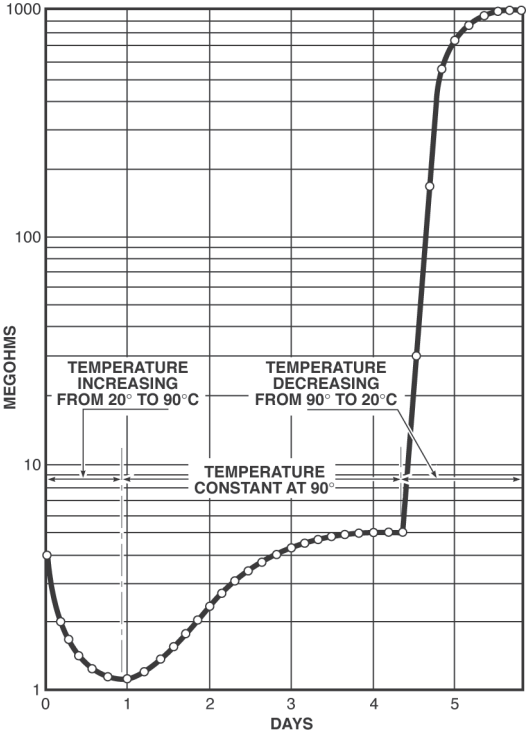


Abbildung 10: Typische Trockenkurve, bei der alle vier Stunden 1-Minuten-Messungen des Isolationswiderstands durchgeführt werden.

Die typische Trocknungskurve für einen Gleichstrommotoranker (Abb. 10) gibt an, wie sich der Isolationswiderstand ändert. Im ersten Teil des Verlaufs nimmt der Widerstand wegen der höheren Temperatur tatsächlich ab. Dann steigt er bei konstanter Temperatur mit fortschreitender Trocknung an. Schließlich steigt er auf einen hohen Wert an, da die Raumtemperatur (20 °C) erreicht wird.

Beachten Sie: Wenn Sie Isolationswiderstandsmessungen während des Trocknens durchführen und Messwerte von früheren Prüfungen an den trockenen Geräten haben, wissen, wann Sie den sicheren Wert für das Gerät erreicht haben.
Sie können eine Zeit-Widerstandsprüfung verwenden, die in regelmäßigen Abständen (z. B. einmal pro Schicht) durchgeführt wird, mit dem dielektrischen Absorptionsverhältnis oder dem Polarisationsindex.

AUSWIRKUNG DER TEMPERATUR AUF DEN ISOLATIONSWIDERSTAND

Der Widerstand der Isoliermaterialien verringert sich deutlich mit einer Erhöhung der Temperatur. Wie wir gesehen haben, sind Prüfungen mit der Zeit-Widerstands- und der Schrittspannungsmethode relativ unabhängig von Temperaturauswirkungen, da sie relative Werte liefern.

Wenn Sie zuverlässige Vergleiche zwischen den Messwerten vornehmen möchten, sollten Sie die Werte auf eine Basistemperatur wie 20 °C korrigieren oder alle Messwerte bei ungefähr derselben Temperatur nehmen (was normalerweise nicht allzu schwierig ist). Im Folgenden finden Sie einige allgemeine Anleitungen zur Temperaturkorrektur.

Eine Faustregel lautet:

Halbieren Sie pro 10 °C Temperaturerhöhung den Widerstand oder verdoppeln Sie diesen pro 10 °C Temperaturabfall.

Zum Beispiel wird ein Widerstand von 2 Megaohm bei 20 °C auf $^1/_2$ Megaohm bei 40 °C reduziert.

Jede Art von Isoliermaterial hat einen unterschiedlichen Grad der Widerstandsänderung in Bezug auf Temperatur. Es wurden jedoch Faktoren entwickelt, um die Korrektur von Widerstandswerten zu vereinfachen. Tabelle II zeigt solche Faktoren für rotierende Geräte, Transformatoren und Kabel. Sie multiplizieren die erhaltenen Messwerte mit dem Faktor, der der Temperatur entspricht (die Sie messen müssen).

Angenommen, Sie verfügen über einen Motor mit einer Klasse A-Isolation und erhalten einen Messwert von 2,0 Megaohm bei einer Temperatur (in den Wicklungen) von 40 °C (104 °F). Aus Tabelle II ersehen Sie bei 40 °C in der nächsten Spalte (für Klasse A) den Faktor 4,80. Ihr korrigierter Widerstandswert lautet dann:

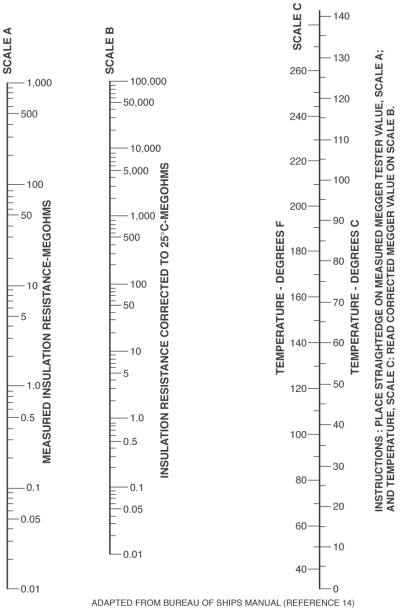
2,0 Megaohm	x	4,80 =	9,6 Megaohm
(Messwert bei 40 °C)	(Korrektur	(korrigierter Faktor für Klasse A-Isolation bei 40 °C)	Messwert für 20 °C bzw. 68 °F)

Beachten Sie, dass der Widerstand bei 20 °C (68 °F) im Vergleich zum Messwert bei 40 °F fast fünfmal höher ist. Die Referenztemperatur für Kabel wird als 15,6 °C (60 °F) angegeben. Am wichtigsten ist jedoch, dass Sie konsistent und korrekt dieselbe Basis verwenden.

Tabelle II: Temperaturkorrekturfaktoren*

TEMP		ROTATING EQUIP		OIL-FILLED TRANSFORMERS	CABLES							
°C	°F	CLASS A	CLASS B		CODE NATURAL	CODE GR-S	PERFORMANCE NATURAL	HEAT RESIST. NATURAL	HEAT RESIST. & PERFORM. GR-S	OZONE RESIST. NATURAL GR-S	VARNISHED CAMBRIC	IMPREGNATED PAPER
0	32	0.21	0.40	0.25	0.25	0.12	0.47	0.42	0.22	0.14	0.10	0.28
5	41	0.31	0.50	0.36	0.40	0.23	0.60	0.56	0.37	0.26	0.20	0.43
10	50	0.45	0.63	0.50	0.61	0.46	0.76	0.73	0.58	0.49	0.43	0.64
15.6	60	0.71	0.81	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	68	1.00	1.00	1.00	1.47	1.83	1.24	1.28	1.53	1.75	1.94	1.43
25	77	1.48	1.25	1.40	2.27	3.67	1.58	1.68	2.48	3.29	4.08	2.17
30	86	2.20	1.58	1.98	3.52	7.32	2.00	2.24	4.03	6.20	8.62	3.20
35	95	3.24	2.00	2.80	5.45	14.60	2.55	2.93	6.53	11.65	18.20	4.77
40	104	4.80	2.50	3.95	8.45	29.20	3.26	3.85	10.70	25.00	38.50	7.15
45	113	7.10	3.15	5.60	13.10	54.00	4.15	5.08	17.10	41.40	81.00	10.70
50	122	10.45	3.98	7.85	20.00	116.00	5.29	6.72	27.85	78.00	170.00	16.00
55	131	15.50	5.00	11.20			6.72	8.83	45.00		345.00	24.00
60	140	22.80	6.30	15.85			8.58	11.62	73.00		775.00	36.00
65	149	34.00	7.90	22.40				15.40	118.00			
70	158	50.00	10.00	31.75				20.30	193.00			
75	167	74.00	12.60	44.70				26.60	313.00			

*Corrected to 20°C for rotating equipment and transformers; 15.6°C for cable.



ADAPTED FROM BUREAU OF SHIPS MANUAL (REFERENCE 14)

Nomogramm der Temperaturkorrekturwerte für Megger Messwerte (korrigiert auf 25 °C). Für rotierende Maschinen mit Isolation der Klasse B.

AUSWIRKUNGEN VON FEUCHTIGKEIT

Wir haben an verschiedenen Punkten in diesem Handbuch über das Vorhandensein von Feuchtigkeit in der Isolation und deren sehr deutlichem Einfluss auf Widerstandswerte gesprochen. Sie könnten daher erwarten, dass eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit (Feuchtigkeitsgehalt) der Umgebungsluft den Isolationswiderstand beeinträchtigen könnte. Und das kann tatsächlich in unterschiedlichen Ausmaßen der Fall sein.

Wenn das Gerät regelmäßig über der Taupunkttemperatur (der Temperatur, bei der der Wasserdampf in der Luft als Flüssigkeit kondensiert) arbeitet, wird der Prüfmesswert normalerweise durch die Luftfeuchtigkeit nicht wesentlich beeinflusst. Selbst wenn das zu prüfende Gerät im Leerlauf betrieben wird, gilt das Gleiche, solange die Temperatur über dem Taupunkt liegt.

Bei der oben genannte Aussage wird davon ausgegangen, dass die Isolationsflächen frei von Verunreinigungen sind, wie z. B. bestimmten Fusseln und Säuren oder Salzen, die die Eigenschaft haben, Feuchtigkeit zu absorbieren (sie werden von Chemikern als „hygroskopische" (flüssigkeitsbindende) oder „deliqueszente" (zerfließende) Materialien bezeichnet). Ihr Vorhandensein könnte sich unvorhersehbar auf die Messwerte auswirken; sie sollten entfernt werden, bevor die Prüfungen durchgeführt werden.

Bei Elektrogeräten geht es vor allem um die Bedingungen auf den exponierten Oberflächen, wo Feuchtigkeit kondensiert und den Gesamtwiderstand der Isolation beeinflusst. Studien zeigen jedoch, dass sich in den Rissen und Spalten der Isolation Tau bildet, bevor er an der Oberfläche sichtbar wird. Taupunktmessungen geben Aufschluss darüber, ob solche unsichtbaren Zustände vorliegen, und verändern die Prüfergebnisse.

Als Teil Ihrer Instandhaltungsunterlagen ist es daher ratsam, zumindest zu notieren, ob die Umgebungsluft trocken oder feucht war, als die Prüfung durchgeführt wurde. Es sollte auch notiert werden, ob die Temperatur über oder unter der Umgebungstemperatur lag. Wenn Sie wichtige Geräte prüfen, notieren Sie die Umgebungstemperatur am Verdunstungs- und am Trockenthermometer, von denen der Taupunkt und die prozentuale relative oder absolute Luftfeuchtigkeit abgeleitet werden kann.

VORBEREITUNG DER BETRIEBSMITTEL AUF DIE PRÜFUNG

1. Außer Betrieb nehmen

Schalten Sie das Gerät aus. Öffnen Sie die Schalter. Nehmen Sie das Gerät vom Strom. Trennen Sie die Verbindung von anderen Geräten und Stromkreisen, einschließlich Leerlauf- und Schutzerdungsverbindungen (vorübergehend für die Arbeiter). Siehe **Sicherheitshinweise**, Seite 26.

2. Stellen Sie fest, was genau in der Prüfung enthalten ist.

Überprüfen Sie die Installation sehr sorgfältig, um festzustellen, welche Geräte angeschlossen und in der Prüfung enthalten sind, insbesondere, wenn es schwierig oder teuer ist, zugehörige Betriebsmittel und Stromkreise zu trennen. Achten Sie besonders auf Leiter, die von der Installation weg führen. Dies ist sehr wichtig, denn je mehr Geräte in einer Prüfung enthalten sind, desto niedriger ist der Messwert, und der tatsächliche Isolationswiderstand der betreffenden Betriebsmittel kann durch die der zugehörigen Geräte maskiert werden.

Es ist natürlich immer möglich, dass der Isolationswiderstand der vollständigen Installation (ohne jegliche Trennung) zufriedenstellend hoch ist, insbesondere für

eine Stichprobenprüfung. Er kann auch höher sein als der Bereich des verwendeten Megger Geräts. In diesem Fall würde nichts durch die Trennung der Komponenten gewonnen, da der Isolationswiderstand der einzelnen Teile immer noch höher wäre.

Für eine erste Prüfung kann es notwendig sein, die Komponenten zu trennen, auch wenn Kosten für Arbeit und Aufwand anfallen, und die einzelnen Komponenten separat zu prüfen. Prüfen Sie außerdem alle Komponenten, die miteinander verbunden sind. Wenn diese Informationen aufgezeichnet sind, ist es u. U. bei zukünftigen Prüfungen nicht erforderlich, die Komponenten zu trennen, es sei denn, es werden unerklärlich niedrige Messwerte beobachtet.

3. Entladung der Kapazität

Es ist sehr wichtig, dass die Kapazität vor und nach einer Isolationswiderstandsmessung entladen wird. Sie sollte etwa viermal so lange entladen werden, wie die Prüfspannung in einer vorherigen Prüfung angelegt wurde.

Megger Geräte sind für diesen Zweck häufig mit Entladeschaltungen ausgerüstet. Wenn keine Entladefunktion vorhanden ist, sollte ein Entladestick verwendet werden. Lassen Sie Betriebsmittel mit hoher Kapazität (d. h. Kondensatoren, große Wicklungen usw.) kurzgeschlossen, bis sie wieder aktiviert werden können.

4. Stromableitung an Schaltern

Wenn das Gerät für die Isolationswiderstandsmessung heruntergefahren wird, stellen Sie sicher, dass die Messwerte nicht durch Ableitungen über oder durch Schalter oder Sicherungsblöcke usw. beeinflusst werden. Eine solche Ableitung kann den tatsächlichen Isolationswiderstand des zu prüfenden Geräts überlagern. Vgl. Verwendung einer **Schutzklemme**, Seite 50.

Andernfalls kann Strom von einer stromführenden Leitung in das Gerät abgeleitet werden und zu inkonsistenten Messwerten führen, insbesondere wenn die stromführende Leitung Gleichstrom ist. Eine solche Ableitung kann jedoch in der Regel erkannt werden, indem der Zeiger des Megger Geräts zum Zeitpunkt der Verbindung der Messleitungen mit dem Gerät vor dem Betrieb des Geräts beobachtet wird. Bevor Sie diese Beobachtungen vornehmen, stellen Sie sicher, dass alle Kapazitäten durch Kurzschluss oder Erdung des Geräts entladen sind.

VORSICHT: Schließen Sie niemals ein Megger Isolationswiderstandsmessgerät an stromführende Leitungen oder Anlagen an. Verwenden Sie das Prüfgerät oder eine seiner Leitungen oder Zubehörteile niemals für einen Zweck, der in diesem Handbuch nicht beschrieben ist.

SICHERHEITSVORKEHRUNGEN

Beachten Sie alle Sicherheitsregeln bei der Außerbetriebnahme von Geräten. Trennen Sie die Trennschalter. Prüfen Sie die Geräte auf Fremd- oder induzierte Spannungen. Wenden Sie Erdungen für die Arbeiter an.

Denken Sie daran, dass bei der Arbeit an Hochspannungsgeräten aufgrund der Nähe zu stromführenden Hochspannungsgeräten immer die Gefahr besteht, dass Spannungen in den geprüften Geräten oder den verbundenen Leitungen induziert werden. Entfernen Sie also zur Durchführung einer Prüfung nicht die Erdung der Arbeiter. Es ist ratsamer, das Gerät, z. B. einen Wandler oder Leistungsschalter, von dem exponierten Bus oder der exponierten Leitung zu trennen, sodass Letzteres geerdet bleibt. Tragen Sie beim Anschließen der Messleitungen an das Gerät und während des Betriebs des Megger Geräts Gummihandschuhe.

Das zu prüfende Gerät darf keinen Strom führen!

Informationen hierzu finden Sie auf Seite 24 unter
Vorbereitung der Betriebsmittel auf die Prüfung.

Wenn neutrale oder andere Erdungsverbindungen getrennt werden müssen, stellen Sie sicher, dass sie zu diesem Zeitpunkt nicht stromführend sind und dass während der Trennung keinen anderen Geräten der erforderliche Schutz fehlt.

Achten Sie besonders auf Leiter, die nicht von dem zu prüfenden Stromkreis weg führen, und stellen Sie sicher, dass sie von jeder Stromquelle ordnungsgemäß getrennt wurden.

Stromschlaggefahr durch Prüfspannung

Beachten Sie die Nennspannung des Megger Geräts und lassen Sie die entsprechende Vorsicht walten. Große Elektrogeräte und -kabel verfügen in der Regel über eine ausreichende Kapazität, um eine gefährliche Energiemenge aus dem Prüfstrom zu speichern. Vergewissern Sie sich, dass diese Kapazität nach der Prüfung und vor der Handhabung der Messleitungen entladen wird. Siehe auch **Entladen der Kapazität**, Seite 25.

Explosions- und Brandgefahr

Soweit bekannt, besteht keine Brandgefahr bei der normalen Verwendung eines Megger Isolationswiderstandsmessgeräts. Es besteht jedoch eine Gefahr, wenn Geräte in entflammbaren oder explosionsgefährdeten Bereichen geprüft werden.

Leichte Funkenbildung kann in folgenden Situationen auftreten:

(1) Beim Anbringen der Messleitungen an Geräten, in denen die Kapazität nicht vollständig entladen wurde

(2) Während einer Prüfung können Lichtbögen durch oder über eine fehlerhafte Isolation auftreten

(3) Nach einer Prüfung, wenn Kapazität entladen wird

VORSICHT:

Setzen Sie das Gerät nicht in einer explosionsfähigen Atmosphäre ein.

Vorschläge:

Für (1) und (3): Arrangieren Sie fest installierte Erdungsvorrichtungen und Prüfleitungen auf einem Punkt, an dem Geräteverbindungen in sicherer Atmosphäre hergestellt werden können.

Für (2): Verwenden Sie Niederspannungsprüfgeräte oder einen Serienwiderstand.

Für (3): Trennen Sie die Messleitungen mindestens 30 bis 60 Sekunden nach einer Prüfung nicht. Dadurch bleibt Zeit für die Kapazitätsentladung.

ANSCHLÜSSE ZUR MESSUNG DES ISOLATIONSWIDERSTANDS VON ELEKTROGERÄTEN

Die folgenden Diagramme zeigen, wie Sie ein Megger Isolations-widerstandsmessgerät an verschiedene Arten von Elektrogeräten anschließen. Die Diagramme zeigen grundsätzlich auch, wie Geräte von anderen Stromkreisen getrennt werden müssen, bevor das Gerät angeschlossen wird.

Diese Abbildungen sind typisch und dienen als Orientierungshilfe für die Prüfung des Isolationswiderstands von praktisch allen Arten von Betriebsmitteln und Leitern.

Bevor Sie mit den Prüfungen fortfahren, lesen Sie den Artikel zur **Vorbereitung der Betriebsmittel auf die Prüfung**, Seite 24.

WICHTIG! Das Megger Isolationswiderstandsmessgerät misst, welcher Widerstand zwischen den Klemmen anliegt. Dazu gehören Serien- oder Parallelableitströme durch Isolation oder über deren Oberfläche.

1. Wechselstrommotoren und -startgeräte

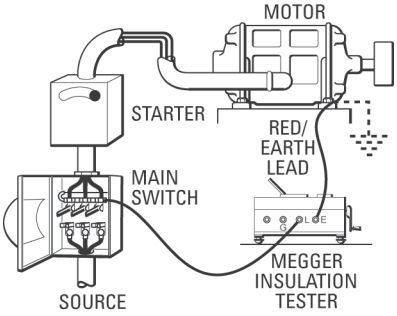


Abbildung 11

Anschlüsse für die Prüfung des Isolationswiderstands von Motoren, Starten von Geräten und Anschließen von parallelen Leitungen. Beachten Sie, dass der Anlasserschalter für die Prüfung in der Position „ein“ steht. Es ist immer vorzuziehen, die Komponenten zu trennen und sie separat zu prüfen, um festzustellen, wo Schwachstellen bestehen.

2. Gleichstromgeneratoren und -motoren

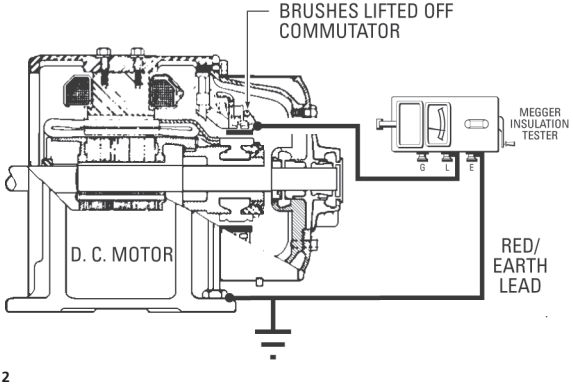


Abbildung 12

Wenn die Buchsen wie angegeben angehoben sind, können die Buchsenmontage und die Feldspulen separat vom Anker geprüft werden. Ebenso kann der Anker allein geprüft werden. Wenn die Buchsen abgesenkt sind, ist die Prüfung der Buchsenmontage, der Feldspulen und des Ankers kombiniert.

3. Installation der Verkabelung

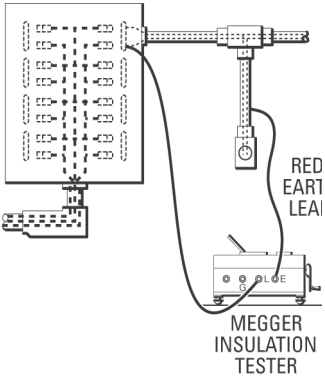


Abbildung 13

Anschlüsse für die Prüfung zum separaten Erden jedes Stromkreises, ausgehend vom Energiezähler.

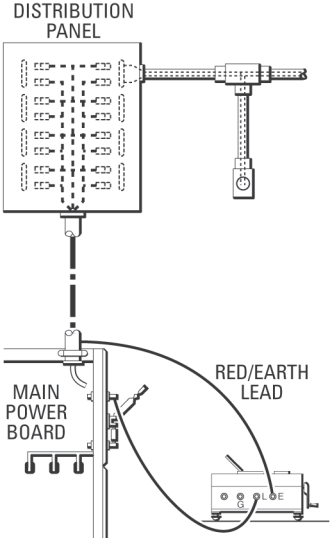


Abbildung 14

Anschlüsse an der Netzanschlussplatine, von der aus das gesamte System auf einmal auf Masse geprüft werden kann, sofern alle Schalter im Energiezähler geschlossen sind.

4. Geräte, Messgeräte, Instrumente und sonstige elektrische Betriebsmittel

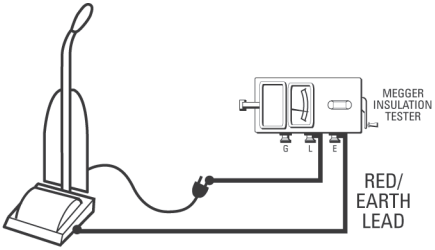


Abbildung 15

Anschlüsse zum Prüfen eines Geräts. Die Prüfung wird zwischen dem Leiter (Heizeinheit, Motor usw.) und exponierten Metallteilen durchgeführt. Das Gerät muss von jeder Stromquelle getrennt und auf einem isolierenden Material abgelegt werden.

5. Steuer-, Signal- und Kommunikationskabel

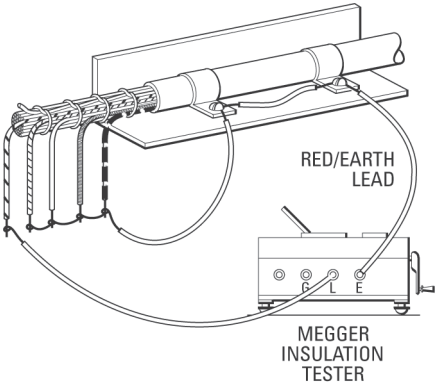


Abbildung 16

Anschlüsse zum Prüfen des Isolationswiderstands eines Drahts in einem mehradrigen Kabel gegenüber allen anderen Drähten und der Ummantelung zusammen.

6. Netzkabel

Anschlüsse zum Prüfen des Isolationswiderstands eines Netzkabels. Beim Prüfen des Kabels ist es in der Regel am besten, beide Enden zu trennen, um das Kabel allein zu prüfen und um Fehler zu vermeiden, die durch eine Ableitung an oder durch Schalttafeln oder Tableauplatten auftreten können. Siehe auch **Verwendung einer Schutzklemme**, Seite 50.

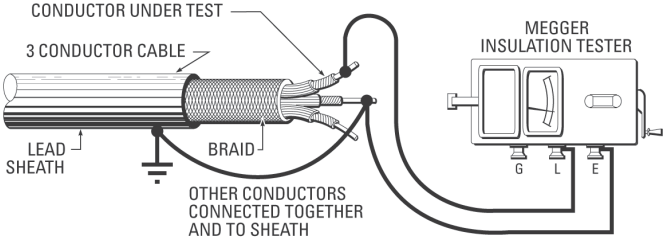


Abbildung 17

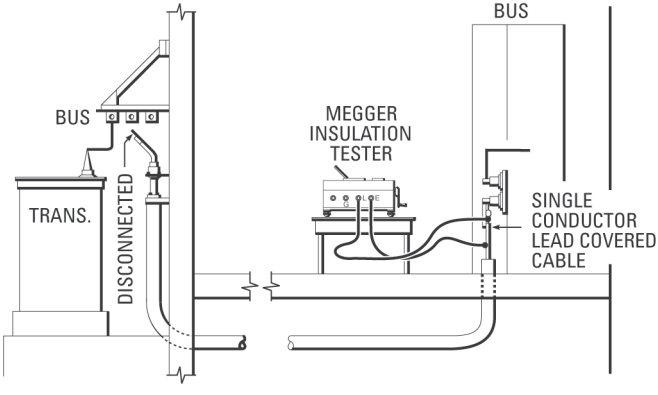


Abbildung 18

7. Netztransformatoren

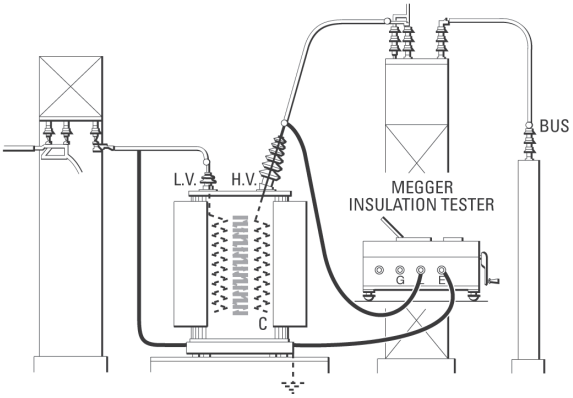


Abbildung 19

Anschlüsse zum Prüfen des Isolationswiderstands der Hochspannungswicklungen und -buchsen des Transformators und des Hochspannungstrennschalters, parallel, mit Bezug auf die Niederspannungswicklung und Masse. Beachten Sie, dass die Niederspannungswicklung für diese Prüfung geerdet ist.

8. Wechselstromgeneratoren

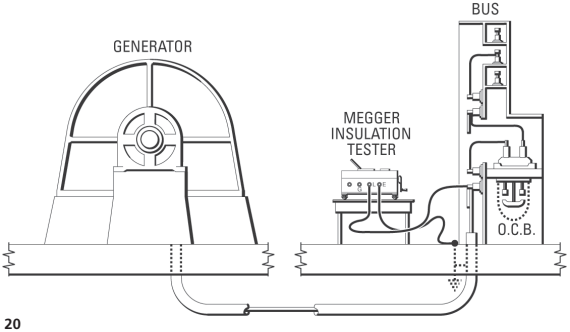


Abbildung 20

Mit diesem Anschluss besteht der Isolationswiderstand für Generatorstatorwicklung und das Anschlusskabel kombiniert. Um entweder die Statorwicklung oder das Kabel selbst zu prüfen, muss das Kabel an der Maschine getrennt werden.

ZUSÄTZLICHE HINWEISE ZUR VERWENDUNG EINES MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTS

Prüfleitungen

Minderwertige oder defekte Prüfleitungen führen zu fehlerhaften und irreführenden Ergebnissen von Isolationswiderstandsmessungen. Seien Sie in dieser Hinsicht vorsichtig.

Nicht isolierte Leitungen

Um Fehler aufgrund der Isolation von Kabeln zu vermeiden, platzieren Sie das Megger Gerät in der Nähe des nicht geerdeten zu prüfenden Anschlusses oder Leiters des Geräts und schließen Sie ein kurzes Stück leichten, blanken Draht direkt von der Leitungsklemme des Geräts an das Gerät an. Wenn die Schutzklemme verwendet wird, kann sie ähnlich behandelt werden. Ein Volldraht der Stärke 18 oder 20 reicht aus. Die Leitung darf nur an den Anschlüssen an das Instrument und das Gerät angeschlossen werden.

Mit dieser Anschlussmethode von der Leitungsklemme wird die Qualität der Isolation, sofern vorhanden, von der Erd- oder Masseleitung unwichtig.

Isolierte Leitungen

Wenn das Ergebnis von der Isolation von Leitungen abhängt, müssen diese haltbar sein und aus hochwertigem Isoliermaterial bestehen. Ölbeständiger, synthetischer, gummiisolierter, einadrig leitender Litzendraht der Stärke 14 wird empfohlen. Die Außenummantelung sollte glatt sein, ohne Außengeflecht. Für den Anschluss an die Geräteklemmen sollten Schlaufen angepasst werden, und robuste Klemmfedern werden für den Anschluss an das Gerät oder den Stromkreis während der Prüfung empfohlen. Es kann eine beliebige Leitungslänge verwendet werden. Verbindungen sind zu vermeiden.

Stellen Sie nach dem Anschließen der Leitungen an das Instrument und unmittelbar vor dem Anschließen an das Gerät sicher, dass keine Ableitung von Leitung zu Leitung vorliegt. Bedienen Sie dafür das Instrument, das einen unendlichen Wert ausgeben sollte. Korrigieren Sie geringe Ableitungen nicht, indem Sie versuchen, den Unendlichkeits-Einsteller auf einem Hochbereichsmessinstrument zurückzusetzen. Führen Sie dann die Prüfenden der Leitungen zusammen, um sicherzustellen, dass sie nicht getrennt oder beschädigt sind.

Bei Stromprüfungen mit Megger Isolationswiderstandsmessgeräten im hohen Bereich (50.000 Megaohm) muss die Leitungsprüfungsleitung bei einem hohen Wert gehalten werden, so dass sie nicht in die Messung eingeht. Die abgeschirmte Messleitung, deren Abschirmung mit der Schutzvorrichtung verbunden ist, verhindert, dass Ableitungen über ihre Anschlüsse oder durch das Leitungsisoliermaterial gemessen werden.

Gebrauchsanweisung

Das unmarkierte Ende des abgeschirmten Kabels muss an die Leitungs- und Schutzklemmen des Megger Instruments angeschlossen werden. Die Endklemme an die Leitungs- und die Seiten(schutz)klemme zur Abschirmung. Die Klemme am Leitungskabel ist ordnungsgemäß mit dem zu prüfenden Gerät verbunden. Die äußere Schutzklemme kann an den Teil des zu prüfenden Geräts angeschlossen werden, den der Benutzer abschirmen möchte. Der Leiter, der bei der Herstellung dieser Verbindung eingesetzt wird, muss für die Nennspannung des verwendeten Megger Instruments isoliert sein.

Auswirkung der Kapazität

Die Kapazität des zu prüfenden Geräts muss bis zur Nenn-Gleichspannung des Megger Isolationsmessgeräts aufgeladen und 30 bis 60 Sekunden lang gehalten werden, bevor eine endgültige Messung durchgeführt wird. Stellen Sie sicher, dass die Kapazität entladen ist, indem Sie das Gerät kurz vor dem Anschließen der Messleitungen kurzschließen und erden. Siehe **Entladen der Kapazität**, Seite 25.

HINWEIS: Die Kapazität verursacht, dass der Zeiger in Richtung Null bewegt wird, während das Gerät auf den neuesten Stand gebracht wird, und dass er über den Vollanschlag hinaus in Richtung Unendlichkeit ausschlägt, wenn der Generator langsamer wird. Hierbei handelt es sich lediglich um die Ladung, die in die und aus der Kapazität und durch die ablenkende Spule des Ohmmeters fließt.

Kapazitätseffekte sind am deutlichsten bei großen Generatoren, in Netz- und Kommunikationskabeln, die länger als hundert Meter sind, und in Kondensatoren. Im Allgemeinen sind diese Effekte gering mit einer Kapazität von weniger als 0,01 F. Sie werden deutlicher, wenn sich die Kapazität und/oder die Empfindlichkeit des Geräts erhöht. Die Hochleistungsproduktreihe von Megger Isolationswiderstandsmessgeräten kann bei großen Kondensatoren mit guten Ergebnissen verwendet werden, insbesondere, wenn sie von der Netzleitung statt mit der Handkurbel betrieben werden.

Betriebsdauer

Ein sehr wichtiger Aspekt bei der Durchführung von Isolationswiderstandsmessungen ist die Zeit, die für das Erreichen des Maximalwerts bei der Messung des Isolationswiderstands erforderlich ist. Die Zeit zum Laden der geometrischen Kapazität ist sehr kurz – in der Regel nicht mehr als ein paar Sekunden – und das, was zu einer weiteren Verzögerung beim Erreichen der vollen Ladung führt, ist ein dielektrischer Absorptionseffekt. Es kann Minuten oder sogar Stunden dauern, bis diese Elektrifizierungszeit abgeschlossen ist und bis der Zeiger ein absolutes Maximum erreicht.

Kurzzeitmessungen

Bedienen Sie bei Kurzzeitmessungen des Isolationswiderstands das Gerät für eine festgelegte Dauer von 30 Sekunden oder 1 Minute, und messen Sie am Ende dieser Zeit. Kurbeln Sie gleichmäßig mit Schlupfgeschwindigkeit weiter, bis der Messwert genommen wurde. Erstellen Sie zukünftige Messungen mit der gleichen Betriebszeit.

Zeit-Widerstandsmethode

Wenn Sie ein Handkurbelgerät verwenden, betreiben Sie es 1 Minute lang ununterbrochen. Nehmen Sie am Ende der ersten 30 Sekunden eine Messung vor und einer weitere am Ende der Minute.

Bei Verwendung eines motorbetriebenen oder gleichrichterbetriebenen Geräts sind die Zeitintervalle in der Regel 1 Minute und 10 Minuten ab der Zeit, an der die Prüfspannung angelegt wird. Alternativ können Zeit-Widerstandskurven 10 bis 30 Minuten oder länger dauern.

Spannungsskalen

Einige Isolationswiderstandsmessgeräte können mit einer Spannungsskala geliefert werden, um vor der Isolationswiderstandsmessung die Spannungsfreiheit zu prüfen. Wie im Abschnitt**Sicherheitsvorkehrungen** erläutert, sollten Isolationswiderstandsmessgeräte jedoch niemals an stromführende Leitungen oder Geräte angeschlossen werden, wenn sie in einem der Isolationsmess- oder Widerstandsmessmodi betrieben werden.

INTERPRETATION-MINDESTWERTE

Der Isolationswiderstand der elektrischen Geräte wird von vielen Variablen beeinflusst, z. B. dem Gerätedesign, der Art des verwendeten Isoliermaterials, einschließlich Klebemittel und Imprägnierverbundstoffe, der Dicke der Isolation und ihres Bereichs, der Sauberkeit, der Feuchtigkeit und der Temperatur. Damit Isolationswiderstandsmessungen eine schlüssige Art der Messung des Zustands der zu prüfenden Geräte sind, müssen diese Variablen berücksichtigt werden.

Nachdem das Gerät in Betrieb genommen wurde, sind Faktoren wie das Design des Geräts, die Art des verwendeten Isoliermaterials und dessen Dicke sowie der Bereich keine Variablen mehr, so dass minimale Isolationswiderstandswerte innerhalb angemessener Toleranzen festgelegt werden können. Die Variablen, die berücksichtigt werden müssen, nachdem das Gerät in Betrieb genommen wurde, und zu dem Zeitpunkt, zu dem die Isolationswiderstandsmessungen durchgeführt werden, sind Sauberkeit, Feuchtigkeit, Temperatur und mechanische Schäden (z. B. Brüche).

Gute Variablenverwaltung

Die wichtigsten Anforderungen an den zuverlässigen Betrieb von elektrischen Geräten sind Sauberkeit und die Verhinderung des Eindringens von Feuchtigkeit in die Isolation. Dies kann als gute Variablenverwaltung angesehen werden und ist bei der Instandhaltung aller Arten von elektrischen Geräten von entscheidender Bedeutung. Die Tatsache, dass der Isolationswiderstand durch Feuchtigkeit und Schmutz beeinträchtigt wird, macht das Megger Isolationswiderstandsmessgerät zu einem wertvollen Werkzeug für die elektrische Instandhaltung. Es ist zum einen ein Anzeichen für Sauberkeit und gute Variablenverwaltung und zum anderen ein Detektor für Verschlechterungen und drohende Probleme.

Zu erwartende Messwerte – Regelmäßige Prüfungen

Es wurden mehrere Kriterien für die Mindestwerte des Isolationswiderstands entwickelt und hier zusammengefasst. Sie sollten als Orientierungshilfe für Geräte in Betrieb dienen. Regelmäßige Prüfungen der zu wartenden Geräte zeigen jedoch in der Regel deutlich höhere Werte als die empfohlenen Mindestwerte.

Es wird daher dringend empfohlen, dass Aufzeichnungen von regelmäßigen Prüfungen aufbewahrt werden, da ein anhaltender Abwärtstrend in der Isolierwiderstandsmessung in der Regel eine Warnung vor drohenden Problemen liefert, obwohl die tatsächlichen Werte höher als die empfohlenen Mindestwerte sein können.

Im Gegensatz dazu muss berücksichtigt werden, dass Geräte in Betrieb niedrigere Werte in den regelmäßigen Prüfungen aufweisen als die empfohlenen Mindestwerte. Das ist nicht besorgniserregend, solange die Werte stabil oder konsistent bleiben. In solchen Fällen besteht nach angemessener Berücksichtigung der Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen zum Zeitpunkt der Prüfung kein Anlass zur Sorge. Dieser Zustand kann durch gleichmäßig verteilte Ableitungen mit harmloser Beschaffenheit verursacht werden, anstatt das Ergebnis einer gefährlichen lokalisierten Schwachstelle zu sein.

Auch hier lassen Aufzeichnungen von Isolationswiderstandsmessungen über einen bestimmten Zeitraum Änderungen erkennen, die eine Untersuchung rechtfertigen können. Der Trend der Kurve kann bedeutsamer sein als die numerischen Werte selbst.

Die Ein-Megaohm-Regel

Viele Jahre lang wurde ein Megaohm weithin als eine zugelassene Untergrenze für den Isolationswiderstand von normalen industriellen elektrischen Geräten verwendet, die bis zu 1000 Volt ausgelegt sind, und wird auch weiterhin für Personen empfohlen, die eventuell nicht mit den Praktiken für Isolationswiderstandsmessungen vertraut sind oder das Problem nicht von einem technischeren Standpunkt aus angehen möchten.

Bei Geräten, die über 1000 Volt ausgelegt sind, wird die Ein-Megaohm-Regel in der Regel als mindestens ein Megaohm pro Tausend Volt angegeben. Obwohl diese Regel etwas willkürlich ist und unter Umständen als eine mangelhafte technische Grundlage kritisiert wird, hat sie sich viele Jahre praktischer Erfahrungen lang bewährt. Sie bietet eine gewisse Sicherheit, dass die Geräte nicht zu feucht oder verschmutzt sind, und hat so viele unnötige Ausfälle verhindert.

Neuere Untersuchungen des Problems haben jedoch zu Formeln für minimale Werte des Isolationswiderstands geführt, die auf der Art des verwendeten Isoliermaterials und der elektrischen und physischen Abmessungen der untersuchten Geräte basieren.

MINDESTWERTE FÜR DEN ISOLATIONSWIDERSTAND

Rotierende Maschinen

Die IEEE-Richtlinie „Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery“ befasst sich mit dem Problem der Erstellung und Interpretation von Isolationswiderstandsmessungen für rotierende Maschinen. Sie prüft die Faktoren, die die Eigenschaften des Isolationswiderstands beeinflussen oder ändern, umreißt und empfiehlt einheitliche Methoden für die Durchführung von Messungen und präsentiert Formeln für die Berechnung der ungefähren minimalen Isolationswiderstandswerte für verschiedene Arten von rotierenden Wechselstrom- und Gleichstrommaschinen. Die Richtlinie gibt Folgendes an:

„Der empfohlene minimale Isolationswiderstand R_m für Wechselstrom- und Gleichstrommaschinenankerwicklungen und für Feldwicklungen von Wechselstrom- und Gleichstrommaschinen kann angegeben werden durch:

$$R_m = kV + 1$$

Dabei gilt:

R_m = empfohlener minimaler Isolationswiderstand in Megaohm bei 40 °C der gesamten Maschinenwicklung

kV = Nennpotenzial von Anschlussklemme zu Anschlussklemme der Maschine, in Kilovolt

Bei Anwendungen, bei denen die Maschine von entscheidender Bedeutung ist, ist es empfehlenswert, die Überholung zu initiieren, wenn der Isolationswiderstand, der deutlich über dem von Gleichung 2 angegebenen Mindestwert lag, deutlich unter diesen Wert fällt.“

Es wird empfohlen, dass Techniker, die rotierende Maschinen bedienen und warten, Kopien der IEEE-Veröffentlichung „Recommended Practices for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery“ erhalten. Diese kann durch ein Schreiben an das IEEE, 345 East 47th St., New York, NY, 10017, erworben werden.

Buchsen

Im Falle von Ölleistungsschalterbuchsen für den Außenbereich hat die Erfahrung gezeigt, dass eine Buchse mit den montierten zugehörigen isolierenden Bauteilen für einen zuverlässigen Betrieb einen Isolationswiderstandswert von über 10.000 Megaohm bei 20 °C aufweisen sollte. Dies setzt voraus, dass das Öl im Tank in gutem Zustand ist, dass der Leistungsschalter von seinen externen Verbindungen zu anderen Geräten getrennt ist und dass der Wetterschutz aus Porzellan abgeschirmt ist. Das bedeutet, dass jede Komponente, wie z. B. die abisolierte Buchse selbst, Querträger, Hubstrebe, unteres Lichtbogenschutzblech usw., einen Isolationswiderstand über diesen Wert aufweisen sollte.

Alle Komponenten, die oberflächlich sauber und trocken sind und Werte unter 10.000 Megaohm aufweisen, sind in der Regel intern durch das Vorhandensein von Feuchtigkeit oder karbonisierten Pfaden zu einem solchen Ausmaß beschädigt, dass sie ohne Überholung nicht zuverlässig für guten Betrieb sind. Dies gilt insbesondere beim Betrieb unter Stoßbelastungen, z. B. bei Störungen durch Blitzeinschlag. Im Fall der abisolierten Buchse selbst müssen der untere Schaft und der obere Wetterschutz entweder perfekt sauber oder abgeschirmt sein, bevor sie aufgrund eines Isolationswiderstandswerts unter 10.000 Megaohm als unzuverlässig eingestuft werden.

Was für abisolierte Ölleistungsschalterbuchsen beschrieben wurde, gilt auch für andere Geräte, z. B. Transformatoren. Da Buchsen und andere zugehörige Bauteile in der Regel sehr hohe Isolationswiderstandswerte aufweisen, ist ein Megger Isolationswiderstandmessgerät mit einem Bereich von mindestens 10.000 Megaohm erforderlich, um solche Geräte zu prüfen. Megger Geräte mit einem Bereich von bis zu 50.000 Megaohm ermöglichen die Beobachtung von Trends zur Verschlechterung bei Buchsen, bevor diese den Wert von 10.000 Megaohm erreichen.

Kabel und Leiter

Kabel- und Leiterinstallationen stellen eine Vielzahl von Bedingungen aus der Sicht des Widerstands der Isolation dar. Diese Bedingungen ergeben sich aus den vielen Arten von Isoliermaterialien, der Nennspannung oder der Dicke der Isolation und der Länge des an der Messung beteiligten Stromkreises. Darüber hinaus erstrecken sich solche Stromkreise in der Regel über große Entfernungen und können starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sein, die einen Einfluss auf die ermittelten Widerstandswerte haben. Die Klemmen von Kabeln und Leitern haben ebenfalls einen Einfluss auf die Prüfwerte, es sei denn, sie sind sauber und trocken oder abgeschirmt.

Die Insulated Cable Engineers Association (ICEA) gibt Mindestwerte des Isolationswiderstands in den Spezifikationen für verschiedene Arten von Kabeln und Leitern an. Diese Mindestwerte gelten für neue einadrig leitende Drähte und Kabel, nachdem sie einer Wechselstrom-Hochspannungsprüfung unterzogen wurden, und basieren auf einem Gleichstrom-Prüfpotential von 500 Volt, das eine Minute lang bei einer Temperatur von 60 °F angelegt wird.

Diese Standardmindestwerte (für einadrig leitende Kabel) basieren auf der folgenden Formel:

$$R = K \log_{10} {}^{D}/_{d}$$

Dabei gilt:

R = Megaohm pro 1000 Fuß Kabel

K = Konstante für Isoliermaterial

D = Außendurchmesser der Leiterisolation

d = Durchmesser des Leiters

Mindestwerte von K bei 60 °F.

Isolationstyp	
Imprägniertes Papier	2.640
Lackierter Kambrik	2.460
Thermoplast-Polyethylen	über 50.000
Polyethylen-Verbundstoff	30.000
Thermoplast-Polyvinyl:	
Polyvinylchlorid 60 °C	500
Polyvinylchlorid 75°C	2.000

Standard	Naturkautschuk	Synthetischer Kautschuk
Code		950
Leistung	10.560	2.000
Hitzebeständig	10.560	2.000
Ozonbeständig	10.000 (Butyl)	2.000
Kerite		4.000

Auf den Seiten 44 und 45 finden Sie Tabellen von $Log_{10} {}^{D}/_{d}$

Der Isolationswiderstand von einem Leiter eines mehradrigen Kabels zu allen anderen und der Ummantelung ist:

$$R = K \log_{10} {}^{D}/_{d}$$

Dabei gilt:

D = Durchmesser über Isolation des äquivalenten Einleiterkabels
= d + 2c + 2b

d = Durchmesser des Leiters (für Sektorkabel entspricht d dem Durchmesser runden Leiters des gleichen Querschnitts)

C = Dicke der Leiterisolation

B = Dicke der Mantelisolation

(Alle Dimensionen müssen in denselben Einheiten angegeben werden)

Transformatoren

Akzeptable Isolationswiderstandswerte für Trocken- und Verbundtransformatoren sollten mit denen von rotierenden Maschinen der Klasse A vergleichbar sein, obwohl keine Standardmindestwerte verfügbar sind.

Ölgefüllte Transformatoren oder Spannungsregler stellen insofern ein spezielles Problem dar, als der Zustand des Öls einen deutlichen Einfluss auf den Isolationswiderstand der Wicklungen hat.

Wenn keine zuverlässigeren Daten vorhanden sind, wird die folgende Formel vorgeschlagen:

$$R = \frac{CE}{\sqrt{kVA}}$$

R = mindestens 1-minütiger 500 V-DC-Isolationswiderstand in Megaohm von Wicklung zu Erde, wobei andere Wicklungen abgeschirmt sind, oder von Wicklung zu Wicklung mit abgeschirmtem Kern

C = eine Konstante für 20 °C-Messungen

E = Nennspannung der zu prüfenden Wicklung

kVA = Nennkapazität der zu prüfenden Wicklung

Bei Prüfungen von Wicklungen gegen Masse mit den anderen Wicklungen oder geerdeten Wicklungen sind die Werte viel geringer als die der Formel.
R in dieser Formel basiert auf trockenem, säurefreiem, schlammfreiem Öl sowie Buchsen und Klemmleisten, die sich in gutem Zustand befinden.

Werte von C bei 20 °C

	60 Hertz	25 Hertz
Betankter ölgefüllter Typ	1,5	1,0
Unbetankter ölgefüllter Typ	30,0	20,0
Trockener oder verbundstoffgefüllter Typ	30,0	20,0

Diese Formel ist für einphasige Wandler vorgesehen. Wenn der zu prüfende Wandler von einem dreiphasigen Typ ist und die drei einzelnen Wicklungen als eine geprüft werden, dann gilt:

E = Nennspannung einer der einphasigen Wicklungen (Phase zu Phase für im Dreieck verbundene Einheiten und Phase zu Neutral für im Stern verbundene Einheiten)

kVA = Nennkapazität der zu prüfenden abgeschlossenen dreiphasigen Wicklung

MESSUNGEN MIT MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDMESSGERÄTEN MIT MEHRFACHSPANNUNG

Trends bei den Wartungspraktiken zeigen den Wert der Prüfungsisolation mit Gleichstromspannungen, die etwas höher sind als der Spitzenwert der Nennwechselspannung der zu prüfenden Geräte. Solche Gleichstromprüfungen wurden in einigen Fällen gezeigt, um nicht destruktive einsetzende Schwachstellen in der Isolation zu erkennen, die anderweitig nicht zu finden wären, außer möglicherweise durch eine Teilentladungserkennung bei nicht destruktiven Wechselstromprüfspannungen.

Das Verfahren umfasst die Anlegung von zwei oder mehr Gleichspannungen und die kritische Überwachung jeglicher Verringerung des Isolationswiderstands an der höheren Spannung. Jede ausgeprägte oder ungewöhnliche Verringerung des Isolationswiderstands für eine vorgeschriebene Erhöhung der angelegten Spannung ist ein Anzeichen für eine beginnende Schwäche.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Vorzüge dieses Verfahrens durch neuere Untersuchungen entstehen, die darauf hinweisen, dass eine ziemlich hohe Gleichspannung dazu verwendet werden kann, Schwächen zu erkennen, ohne die Isolation zu beschädigen. Der maximale Wert der zu verwendenden Spannung hängt vor allem von der Sauberkeit und der Trockenheit der zu prüfenden Isolation ab.

Bei der Durchführung von Prüfungen an der Isolation mit solchen Gleichstromspannungen hat das Ohmmeter-Verfahren mindestens zwei Vorteile. Zunächst werden die vorgeschriebenen Festspannungen in Betrieb geschaltet und eine Instrumentenmessung wird mit dem direkt messenden Ohmmeter durchgeführt. Dies ist eine einfache und reproduzierbare Methode im Vergleich

zu einer, bei der viele verschiedene Spannungen verfügbar sind. Der zweite wichtige Vorteil des Ohmmeters kann durch Abb. 21 erklärt werden. In dieser Abbildung wird die Änderung, die im Ableitstrom auftreten kann, nachdem der Absorptionsstrom verschwunden ist, in Bezug auf den Isolationswiderstand bei drei verschiedenen Spannungen dargestellt. Beachten Sie, dass in der Abbildung zwischen 500 und 1000 Volt keine Änderung des Widerstands angezeigt wird. Dies weist darauf hin, dass die Isolation aufgrund der Anwendung dieser beiden Spannungen nicht verändert wird. Hierbei handelt es sich um eine Annahme. Es ist aber eine Bedingung, die in der Praxis nicht selten vorkommt. Wenn die Isolation auch bei 2500 Volt weiter stabil bleibt, gibt es keine Änderung des gemessenen Isolationswiderstandswerts, der durch die gepunktete Verlängerung der horizontalen Linie in der Abbildung dargestellt wird. Wenn nicht lineare Bedingungen bei einer höheren Spannung auftreten, zeigt die Spannungswiderstandskurve dies deutlich durch einen niedrigeren Widerstandswert, der durch die Abwärtskurve in der Abbildung dargestellt wird. Die Abbildung zeigt daher die einfache Bestimmung der Änderung der Isolationsstabilität durch die Verwendung von drei festen Spannungen, die bei Routinemessungen einfach reproduzierbar sind.

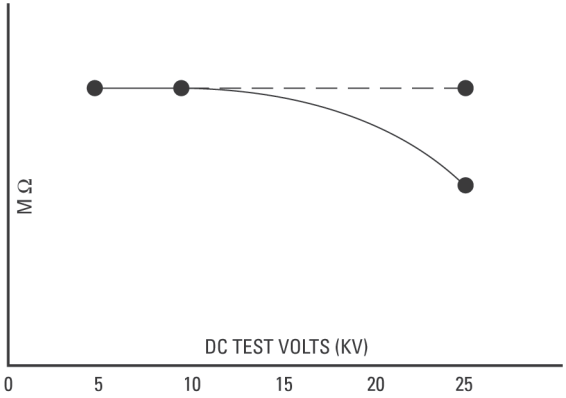


Abbildung 21

Wir möchten betonen, dass die Kurve in Abb. 21 die Widerstandsänderung lediglich aufgrund von Ableitstrom zeigt und nicht den Absorptionsstrom, der eine Zeit lang mit jeder Änderung der Spannung angezeigt werden kann. Es kann notwendig sein, nach jeder Spannungsänderung eine entsprechende Zeit zu warten, bis der Absorptionsstrom verschwindet, bevor ein Messwert ermittelt wird.

WERTE VON $\mathrm{LOG}_{10} \frac{D}{d}$

A.W.G. or C.M.	INSULATION THICKNESS – INCHES												
	.047	.063	.078	.094	.109	.125	.141	.156	.172	.188	.203	.219	.234
14 Sol.	.392	.470	.537	.594	.645	.691	.732	.770	.804	.836	.866	.894	.921
12	.334	.405	.467	.520	.568	.611	.651	.686	.720	.751	.779	.806	.832
10	.283	.348	.404	.453	.498	.538	.575	.609	.641	.670	.698	.723	.748
8	.239	.296	.347	.392	.432	.470	.505	.537	.566	.594	.621	.645	.669
6 Str.		.225	.267	.305	.340	.373	.403	.431	.453	.483	.506	.529	.550
5		.206	.245	.281	.314	.346	.373	.401	.426	.450	.463	.495	.515
4		.187	.224	.257	.289	.318	.345	.371	.395	.418	.440	.460	.480
3		.171	.204	.236	.265	.293	.318	.343	.366	.388	.409	.429	.448
2		.155	.186	.215	.243	.269	.293	.316	.338	.359	.379	.398	.416
1		.139	.168	.195	.220	.244	.267	.288	.309	.328	.347	.365	.382
1/0		.126	.152	.177	.201	.223	.244	.264	.284	.302	.320	.337	.354
2/0		.114	.138	.161	.183	.204	.223	.242	.261	.278	.295	.311	.327
3/0		.102	.125	.146	.166	.185	.204	.221	.238	.255	.271	.286	.301
4/0		.0923	.113	.132	.151	.168	.187	.202	.218	.233	.248	.262	.276
250,000		.0854	.104	.123	.140	.157	.173	.189	.204	.218	.232	.246	.259
300,000		.0787	.0963	.113	.130	.145	.160	.175	.189	.203	.216	.229	.250
350,000		.0731	.0897	.106	.121	.136	.150	.164	.177	.190	.203	.215	.227
400,000		.0688	.0845	.0995	.114	.128	.142	.155	.168	.181	.193	.204	.216
500,000		.0620	.0763	.0901	.103	.116	.129	.141	.153	.165	.176	.187	.198
600,000			.0700	.0853	.0952	.107	.119	.130	.141	.152	.163	.173	.183
700,000			.0686	.0769	.0888	.100	.111	.122	.133	.143	.153	.163	.172
750,000			.0665	.0749	.0861	.0971	.108	.118	.129	.139	.148	.157	.167
800,000			.0644	.0727	.0836	.0943	.105	.115	.125	.135	.144	.154	.163
900,000			.0580	.0687	.0793	.0895	.0994	.108	.120	.128	.137	.146	.155
1,000,000			.0551	.0656	.0755	.0851	.0948	.104	.113	.122	.131	.140	.148
1,250,000			.0500	.0590	.0681	.0770	.0856	.0943	.103	.111	.119	.127	.134
1,500,000			.0456	.0541	.0625	.0708	.0789	.0870	.0946	.102	.110	.116	.125
1,750,000			.0423	.0502	.0581	.0658	.0734	.0810	.0899	.0954	.103	.110	.117
2,000,000			.0397	.0472	.0546	.0619	.0691	.0761	.0830	.0898	.0965	.103	.108
2,500,000			.0357	.0425	.0492	.0558	.0623	.0687	.0750	.0812	.0874	.0934	.0993

Fortsetzung der Werte auf der nächsten Seite.

WERTE VON $\text{LOG}_{10} \frac{D}{d}$

A.W.G. or C.M.	INSULATION THICKNESS – INCHES												
	.250	.266	.281	.297	.313	.328	.344	.359	.375	.391	.407	.422	.438
14 Sol.	.945												
12	.856												
10	.771	.793	814	.834	.853	.871	.889	.906	.922				
8	.691	.712	.731	.751	.770	.787	.804	.821	.836	.851	.866	.880	.894
6 Str.	.570	.590	.608	.626	.643	.660	.676	.699	.706	.720	.734	.746	.760
5	.535	.554	.572	.589	.606	.622	.637	.652	.667	.680	.694	.707	.720
4	.500	.517	.535	.551	.568	.583	.598	.613	.625	.640	.653	.666	.678
3	.466	.483	.500	.516	.532	.547	.562	.576	.589	.603	.615	.628	.640
2	.433	.450	.466	.482	.497	.512	.526	.540	.553	.565	.578	.590	.602
1	.399	.415	.431	.445	.461	.474	.487	.501	.513	.525	.538	.549	.561
1/0	.369	.385	.399	.414	.428	.441	.454	.466	.479	.491	.502	.514	.525
2/0	.342	.356	.370	.384	.397	.410	.422	.435	.446	.458	.469	.480	.490
3/0	.315	.329	.342	.355	.367	.380	.392	.403	.414	.425	.436	.447	.457
4/0	.289	.302	.315	.327	.339	.351	.362	.373	.384	.395	.405	.415	.425
250,000	.272	.284	.296	.309	.320	.331	.342	.352	.363	.373	.383	.392	.402
300,000	.254	.266	.278	.289	.300	.310	.321	.331	.341	.351	.360	.369	.379
350,000	.239	.250	.262	.272	.283	.293	.303	.313	.323	.332	.341	.350	.359
400,000	.227	.236	.249	.259	.269	.279	.289	.298	.308	.317	.326	.334	.343
500,000	.208	.218	.228	.238	.248	.257	.266	.275	.284	.292	.301	.309	.317
600,000	.193	.203	.212	.221	.230	.239	.248	.256	.265	.273	.281	.289	.297
700,000	.181	.191	.199	.209	.217	.225	.234	.242	.250	.258	.266	.273	.281
750,000	.176	.185	.194	.203	.211	.220	.228	.236	.243	.251	.259	.266	.273
800,000	.172	.180	.189	.198	.206	.214	.222	.230	.237	.245	.252	.260	.267
900,000	.164	.172	.180	.189	.196	.204	.212	.219	.227	.234	.242	.249	.255
1,000,000	.157	.165	.173	.181	.189	.196	.203	.211	.218	.225	.232	.239	.245
1,250,000	.142	.150	.157	.165	.172	.179	.186	.192	.199	.206	.212	.219	.225
1,500,000	.132	.139	.146	.153	.159	.166	.172	.179	.185	.190	.197	.204	.210
1,750,000	.123	.130	.136	.143	.149	.155	.162	.168	.174	.180	.185	.191	.197
2,000,000	.116	.122	.128	.135	.141	.145	.153	.159	.164	.170	.176	.181	.187
2,500,000	.105	.111	.117	.122	.128	.134	.139	.144	.150	.156	.160	.165	.170

Um das Verfahren der Durchführung von Isolationswiderstandsmessungen an zwei oder mehr Spannungen besser zu verstehen, werden die folgenden Schritte empfohlen, mit einem Industrie- oder Fahrmotor im 300 bis 1000 Volt-Bereich als Beispiel:

1. Führen Sie eine 1-minütige Megger Geräteprüfung mit 500 Volt als Grundlage für die nachfolgenden Schritte durch.

2. Führen Sie nach einer sorgfältigen Reinigung eine zweite 500 V-Prüfung durch, um die Wirksamkeit der Reinigung zu ermitteln.

3. Wenn der einminütige Isolationswiderstandswert geringer als normal ist oder wenn das Isolationswiderstandsverhältnis von 60 zu 30 Sekunden an diesem Punkt nicht größer als Eins ist, kann es sein, dass ein Trocknungsvorgang angebracht wäre, bevor eine höhere Prüfspannung verwendet wird. Es wird jedoch empfohlen, eine weitere Prüfung mit 1.000 Volt durchzuführen und diese Werte mit denen der 500 V-Prüfung zu vergleichen, um die Notwendigkeit der Trocknung zu ermitteln. Wenn der 1.000 V-Prüfwert deutlich weniger als der bei 500 Volt beträgt, sollte eine Trocknung durchgeführt werden. Wenn die Prüfwerte für 1.000 Volt und 500 Volt ungefähr gleich sind, ist es vernünftig anzunehmen, dass die Entscheidung zur Durchführung einer Trocknung bis zum nächsten Schritt zurückgestellt werden kann.

4. Führen Sie eine Megger Geräteprüfung mit 2.500 Volt durch. Wenn in den 500 und 2.500 V-Prüfwerten keine nennenswerten Unterschiede erkennbar sind, liegt ein guter Beweis dafür vor, dass der betreffende Motor in einem zuverlässigen Zustand ist, soweit es um seine Isolation geht. Andererseits gibt es bei einem deutlichen Unterschied zwischen den beiden Werten gute Anzeichen dafür, dass eine gründlichere Überholung angebracht ist. Wenn die Isolation bei der 2.500 V-Prüfung versagt, nachdem die Schritte 1, 2 und 3 durchgeführt wurden, besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der fragliche Motor im Betrieb ausfallen würde, selbst wenn ein Versuch unternommen würde, ihn nur auf Basis von Niederspannungsprüfungen zu überholen.

Die Mehrfachspannungsmethode kann auch bei der Bestimmung des Vorhandenseins von übermäßiger Feuchtigkeit in der Isolation von Geräten mit vergleichbarer oder höherer Spannung als der höchsten verfügbaren Spannung des verwendeten Megger Messgeräts hilfreich sein. Mit anderen Worten: auch wenn die höchste verfügbare Megger Instrumentenspannung die Isolation nicht über die Nennwerte hinaus belastet, kann eine Zweispannungsprüfung trotzdem das Vorhandensein von Feuchtigkeit aufdecken. Wenn der Isolationswiderstand

zunächst auf der Grundlage einer Kurzzeitmessung geprüft wird (zunächst bei einer Spannung und dann mit höherem Potenzial), zeigt ein niedrigerer Wert des Isolationswiderstands bei der höheren Gleichstrom-Prüfspannung in der Regel das Vorhandensein von Feuchtigkeit an. Die angelegten Spannungen sollten vorzugsweise im Verhältnis von 1 zu 5 liegen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine Änderung von 25 % des Isolationswiderstandswerts mit einem Verhältnis von 1 zu 5 in Prüfspannungen in der Regel durch übermäßige Feuchtigkeit verursacht wird.

Diese Methode basiert nicht auf einer dielektrischen Absorption, sondern bezieht sich auf den Evershed-Effekt. Wie bei Zeit-Widerstandsmessungen hat die Mehrfachspannungsmethode des Isolationswiderstands einen erhöhten Wert, wenn die Messung regelmäßig oder geplant erfolgt.

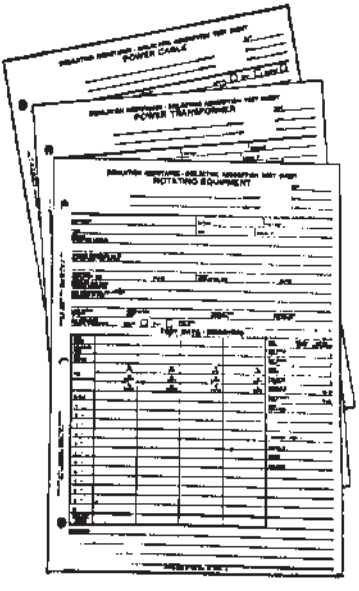


Abbildung 22: Zeit-Widerstandsmessungsformen

SCHRITTSPANNUNGSMETHODE

Für diese Methode benötigen Sie ein Megger Messgerät mit mehreren Spannungen, um zwei oder mehr Spannungen in Schritten anzulegen, z. B. 500 Volt und dann 1000 Volt. Sie suchen nach einer Verringerung des Isolierwiderstands bei der höheren Spannung. Wenn der Widerstand niedriger ist, ist dies ein Anzeichen für eine Isolationsschwäche, die sich nur bei der höheren Spannung manifestiert. Abb. 23 zeigt ein Beispiel, bei dem Sie anstatt stufenweiser Erhöhung der Spannung zuerst bei niedriger Spannung (z. B. 500 Volt) prüfen und nach Entladung der Probe noch einmal mit einer höheren Spannung (z. B. 2.500 Volt) prüfen. Jeder Unterschied in den beiden Prüfungen in Bezug auf Megaohm zeigt Anzeichen von Schwäche bei der höheren Spannung – ein Hinweis darauf, weitere Untersuchungen durchzuführen. Wenn sich die Bedingungen in der Probe verschlechtern, sinkt die Darstellung der höheren Spannung, wie in Abb. 23 gezeigt, im Vergleich zur Darstellung der geringeren Spannung im Megaohmbereich, und die Steigung ist flacher.

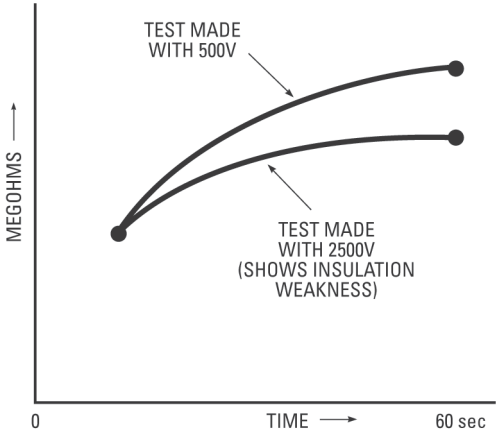


Abbildung 23: Typische Kurven mit der Schrittspannungsprüfung.

Die Theorie hinter der Schrittspannungstechnik ist ein wenig komplex, aber wir werden versuchen, es einfach zu halten. Feuchtigkeit und Schmutz in der Isolation werden in der Regel durch Prüfungen mit Spannungen unter den im Betrieb erwarteten Spannungen angezeigt. Die Auswirkungen von Alterung oder mechanischen Schäden in einer relativ sauberen und trockenen Isolation werden jedoch bei einer Prüfung mit so niedriger Spannung unter Umständen nicht aufgedeckt.

Wenn die Spannung in Schritten erhöht wird, um elektrische Lasten zu erzeugen, die im Betrieb erreicht oder überschritten werden, beeinflussen lokale Schwachpunkte den Gesamtisolationswiderstand zunehmend. Der Widerstand solcher lokalen Störungen nimmt in der Regel schnell ab, wenn die elektrische Last in diesen Bereichen über einen bestimmten Grenzwert hinaus ansteigt. Die Darstellung der aufeinander folgenden Megger Gerätewerte zeigt deutlich den starken Abfall an (siehe Abb. 24).

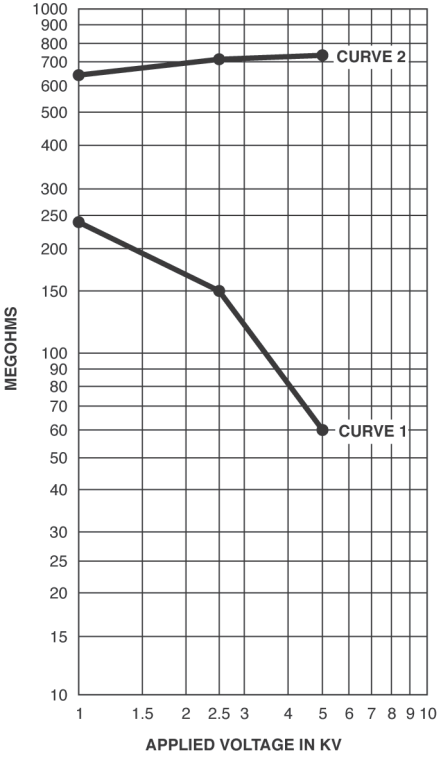


Abbildung 24: Prüfungskurven mit der Schrittspannungsmethode, Vergleich der Ergebnisse mit guter und schlechter Isolation. Kurve 1 (untere Darstellung) zeigt einen expliziten Abfall des Widerstands mit steigender Spannung, was auf ein Problem hinweist. Kurve 2 (obere Darstellung) zeigt die Bedingungen in der gleichen Motorwicklung nach der Reinigung, dem Backen und dem Imprägniervorgang.

Sie müssen die Prüfspannung nur ca. 60 Sekunden lang zwischen den Schritten halten. Dieser kurze Zeitraum wirkt sich nicht auf den Trend der Widerstandsänderung aus. Der festgelegte Zeitraum sollte jedoch immer für ein bestimmtes Gerät gleich sein. In diesem Zeitraum sind möglicherweise noch nicht alle Aufnahmeströme verschwunden, aber Ihre Widerstandsmessungen werden auf der gleichen Basis durchgeführt und sind daher aussagekräftig. Ihre Ergebnisse sind unabhängig von dem Isoliermaterial und der Temperatur, da Sie sich auf die Widerstandsänderung konzentrieren und nicht auf die absoluten Widerstandswerte.

Wie bei den Stichproben- und Zeit-Widerstandsmessungen ist die Schrittspannungsmethode für Sie bei regelmäßiger, planmäßiger Wiederholung sinnvoller.

Die Schrittspannungsmethode ist besonders nützlich bei der Bestimmung des Vorhandenseins von übermäßiger Feuchtigkeit oder anderen Verunreinigungen der Isolation von Geräten, die eine vergleichbare oder höhere Nennspannung haben, als die höchste verfügbare Spannung in Ihrem Megger Messgerät mit mehreren Spannungen. Mit anderen Worten, auch wenn die höchste verfügbare Spannung die Isolation nicht über die Nennwerte hinaus belastet, kann eine Zweispannungsprüfung trotzdem häufig das Vorhandensein von solchen Verunreinigungen aufdecken.

Angenommen, Sie müssen zunächst den Isolationswiderstand mit einer Kurzzeitmessung ermitteln – bei einer Spannung von 500 VDC und dann mit einem höheren Potenzial von 2500 VDC. Obwohl die letztgenannte Spannung im Verhältnis zur Nennspannung des Geräts nominal sein kann, weist ein niedrigerer Wert des Isolationswiderstands bei der höheren Prüfspannung in der Regel auf das Vorhandensein von kontaminierten Brüchen oder anderen Ableitwegen durch die Isolation zur Masse hin.

Die angelegten Spannungen sollten vorzugsweise im Verhältnis von 1 zu 5 oder höher (z. B. 500 und 2500) liegen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass eine Änderung von 25 % des Isolationswiderstandswerts mit einem Verhältnis von 1 zu 5 in Prüfspannungen in der Regel durch übermäßige Feuchtigkeit verursacht wird.

VERWENDUNG EINER SCHUTZKLEMME

Alle Megger Isolationswiderstandsmessgeräte mit einem Bereich von 1000 Megaohm und höher sind mit Schutzklemmen ausgestattet. Zweck dieser Klemme ist die Ermöglichung einer Netzwerkmessung mit drei Anschlüssen, so dass der Widerstand eines von zwei möglichen Wegen direkt bestimmt werden kann. Sie hat den weiteren oder sekundären Zweck der Bereitstellung einer Quelle von gut regulierter Gleichstrom-Spannung mit begrenzter Stromkapazität.

Die Isolation aller elektrischen Betriebsmittel hat zwei Leitungs- oder Ableitwege – einen durch das Isoliermaterial und den anderen über seine Oberflächen. Durch die Bereitstellung einer dritten Prüfklemme im Weg der Oberflächenableitung wird sie in zwei Teile aufgeteilt, wodurch ein Netzwerk mit drei Anschlüssen entsteht, wie in Abb. 25 a dargestellt. In der Praxis kann diese dritte Klemme wie in den Abbildungen 26 bis 38 bereitgestellt werden.

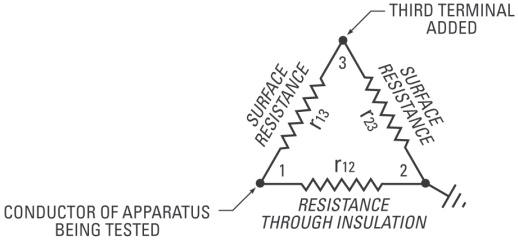


Abbildung 25a

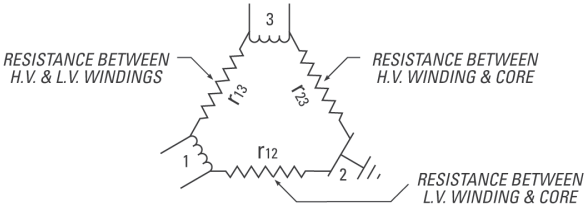


Abbildung 25b

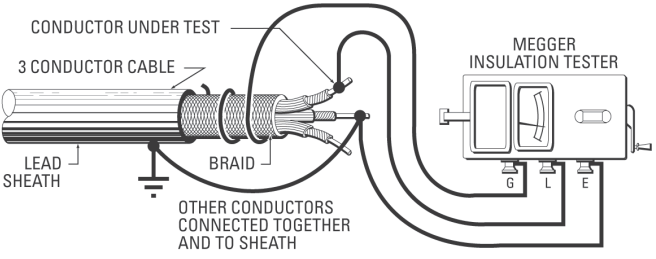


Abbildung 26: Zeigt, wie die Schutzklemme dafür verwendet wird, um die Auswirkungen von Oberflächenableitungen an der freiliegenden Isolation an einem Ende des Kabels zu beseitigen. Siehe auch Abbildungen 28, 30 und 31.

Es gibt auch Fälle, z. B. in zwei Wickeltransformatoren oder mehradrigen Kabeln, bei denen ein Netzwerk mit drei Anschlüssen wie in Abb. 25b dargestellt geformt ist. Die Abbildungen 30 und 33 und andere zeigen die praktische Anwendung dieser Form des Netzwerks mit drei Anschlüssen.

Bei einer Prüfung mit drei Anschlussklemmen mit nur einer Messung wird die Leitungsklemme des Megger Instruments an Klemme 1 angeschlossen (Abb. 25a), die Schutzklemme an Klemme 3 und die Masseklemme an Klemme 2. Dadurch wird der wahre Wert von r_{12} angegeben, vorausgesetzt, r_{23} und R_{13} sind im Wert nicht zu niedrig. Der Strang r_{23}, der über den Megger Instrumentengenerator angeschlossen ist, sollte ca. 1 Megaohm oder höher sein, um eine übermäßige Belastung des Generators zu verhindern und eine zufriedenstellende Generatorspannung aufrechtzuerhalten.

Bei Verwendung der Schutzklemme, insbesondere bei motorbetriebenen oder gleichrichterbetriebenen Megger Geräten, besteht auch die Gefahr, dass ein Lichtbogen zwischen der abgeschirmten Anschlussklemme der Probe und der Masse entsteht. Ein solcher Lichtbogenüberschlag kann zu unerwünschten Störlichtbögen am Kommutator des Instrumentengenerators führen.

Der Strang r_{13}, die einen Nebenschluss für die ablenkende Megger Spule darstellt, sollte mindestens 100 Megaohm haben, um eine Messgenauigkeit von ca. 1 % zu erzielen. Die Genauigkeitszahl von 1 % basiert darauf, dass der R'-Vorschaltwiderstand 1 Megaohm beträgt, was typisch ist. Um präzisere Genauigkeitsbestimmungen zu erhalten, holen Sie den genauen Wert von R' ein, indem Sie an Megger schreiben und die Seriennummer des verwendeten Geräts angeben.

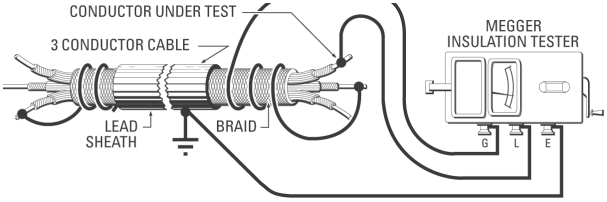


Abbildung 27: Zeigt, wie die Schutzverbindung verwendet wird, um die Auswirkungen von Oberflächenableitungen an der freiliegenden Isolation an beiden Enden eines Kabels zu beseitigen, wenn ein Ersatzleiter im Kabel zum Abschluss der Schutzverbindung verfügbar ist.

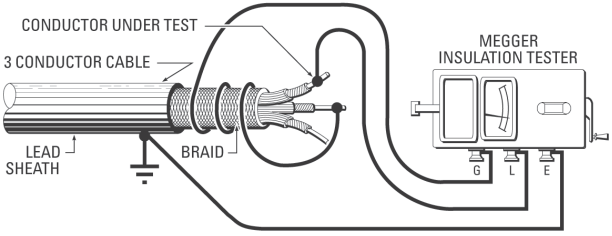


Abbildung 28 zeigt die Verwendung der Schutzverbindung zur Beseitigung der Auswirkungen von Ableitstrom zu Masse, wie in Abbildung 26 gezeigt, und auch die Auswirkungen von Ableitungen an benachbarten Leitern. Beachten Sie, dass der Schutzdraht um die freiliegende Isolation gewickelt und auch an die angrenzenden Leiter angeschlossen ist.

Verwechseln Sie dieses Diagramm nicht mit Abbildung 26, wo der Schutzdraht nur zur freiliegenden Isolation geht und die benachbarten Leiter geerdet sind.

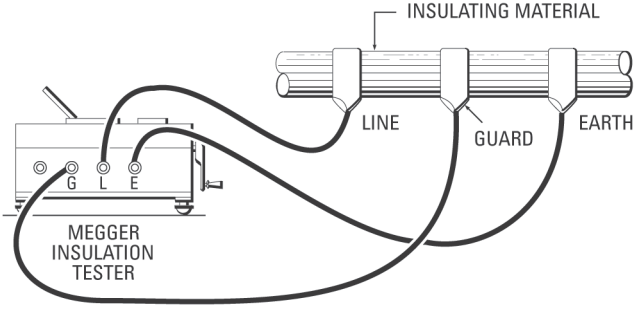


Abbildung 29: zur Vermeidung von Oberflächenableitungen bei der Messung des tatsächlichen Widerstands eines Isolationsbauteils, z. B. einer Hubstange in einem Leistungsschalter.

In Fällen, wie in Abb. 25 a gezeigt, ist die höchste Genauigkeit gewünscht, oder wenn der tatsächliche Widerstand der einzelnen Stränge im Fall von Abb. 25 b gewünscht ist, sind drei Messungen erforderlich, und die folgenden Gleichungen werden verwendet:

$$r_{12} = \frac{R_{12}\,R_{13} - (R')^2}{R_{13} + R'}$$

$$r_{23} = \frac{R_{12}\,R_{23} - (R')^2}{R_{12} + R'}$$

$$r_{13} = \frac{R_{12}\,R_{13} - (R')^2}{R_{12} + R'}$$

Hierbei gilt: R_{12}, R_{23} und R_{13} sind die tatsächlichen Messwerte in Megaohm in allen Klemmen des Netzwerks, die mit den Leitungs- und Erdanschlussklemmen des Megger Instruments mit den Klemmen 3, 1 und 2 an die Schutzklemme des Instruments angeschlossenen sind. R' ist der Wert des Vorschaltwiderstands in Megaohm des verwendeten Instruments. Wenn Sie diese drei Messungen vornehmen, schließen Sie nicht die Leitungsklemme des Instruments an die geerdete Klemme des Netzwerks an, da jede Ableitung über das Instrumentgehäuse zwischen der Erdungsklemme und Masse den gemessenen Widerstand verschiebt.

BUCHSEN, ENDVERSCHLÜSSE UND ISOLATOREN

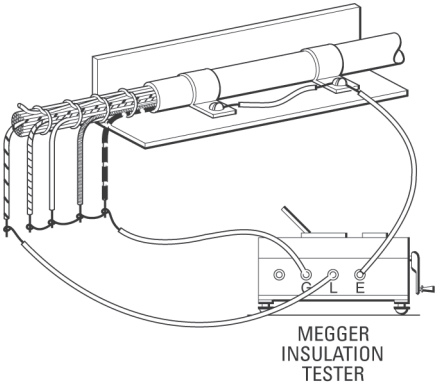


Abbildung 30: Anschlüsse für die Prüfung des Isolationswiderstands zwischen einem Kabel und Masse, ohne dass dies durch Ableitung zu anderen Drähten beeinträchtigt wird. Beachten Sie die Verwendung der Schutzverbindung.

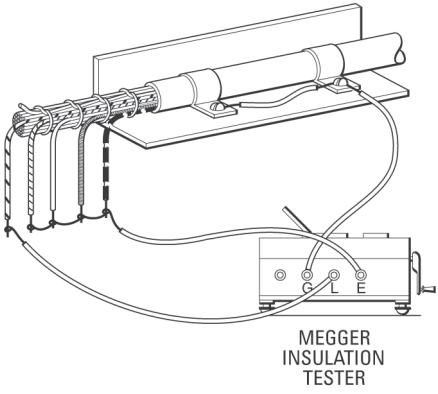


Abbildung 31: Anschlüsse für die Prüfung des Isolationswiderstands zwischen einem Kabel und allen anderen verbundenen Drähten, ohne dass dies durch Ableitung zur Masse beeinträchtigt wird.

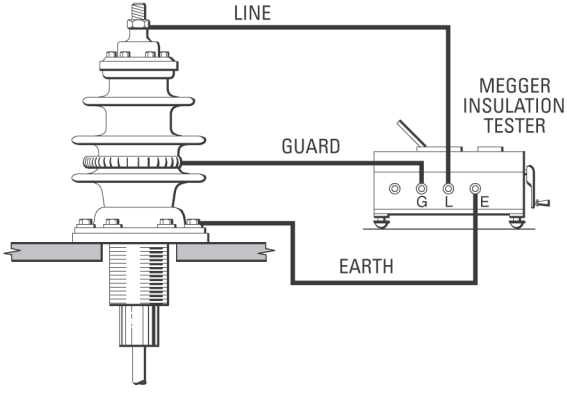


Abbildung 32: Zeigt die Verwendung des Federrings als Schutzverbindung, um die Auswirkungen von Oberflächenableitungen zu beseitigen. Das zu prüfende Gerät muss von allen anderen Geräten getrennt werden.

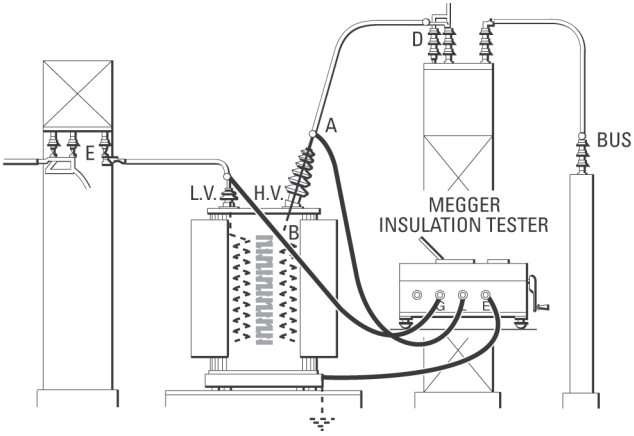


Abbildung 33: Anschlüsse für die Prüfung des Isolationswiderstands der Hochspannungswicklungen und -buchsen des Transformators und des Hochspannung-Trennschalters parallel zur Referenz zur Masse, aber ohne Beeinträchtigung durch Ableitung zwischen den Hoch- und Niederspannungswicklungen durch Verwendung der Schutzverbindung.

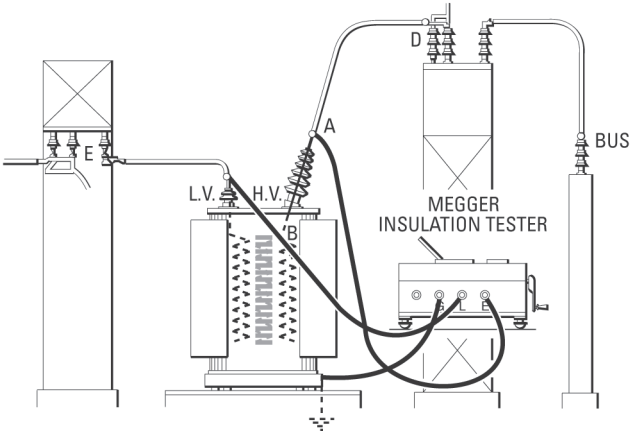


Abbildung 34: Anschlüsse zur Prüfung des Isolationswiderstands zwischen Hoch- und Niederspannungswicklungen ohne Beeinträchtigung durch Ableitung zur Masse.

ÖLLEISTUNGSSCHALTER FÜR DEN AUSSENBEREICH

Die vier Abbildungen (Abb. 35 bis 38) zeigen die üblichen Methoden zur Prüfung von Buchsen und zugehörigen Teilen eines Ölleistungsschalters für den Außenbereich. Die zugehörige Tabelle zeigt das schrittweise Prüfverfahren.

Wenn die Prüfwerte in einem der den vier Schritte unter 10.000 Megaohm liegen, sollte der Inhalt des Tanks abgesenkt oder abgelassen werden, so dass die übermäßigen Verluste durch weitere Prüfungen und Untersuchungen isoliert werden können. Wenn die Prüfwerte in Prüfung Nr. 1 unter 50.000 Megaohm liegen, sollte der Trend des Zustands der betreffenden Buchse durch häufigere Prüfungen beobachtet werden.

Test	Breaker Position	Bushing Energized	Bushing Guarded	Bushing Grounded	Part Measured
1	open	1 (2 to guard)	1	.....	Bushing 1
2	open	1	1	2	Bushing 1 in parallel with cross member
3	open	1 & 2	1 &2	.....	Bushing 1 & 2 in parallel
4	close	1 & 2	1 &2	.....	Bushing 1 & 2 in parallel with lift rod

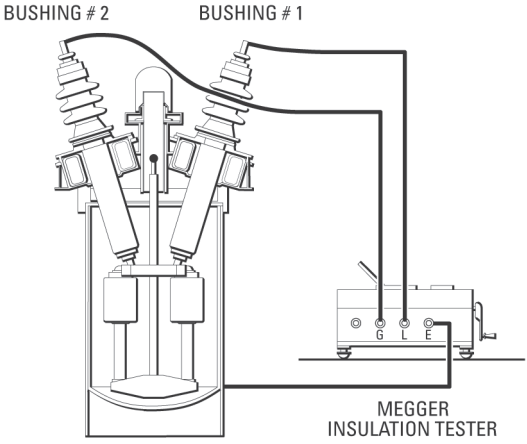


Abbildung 35: Schritt 1

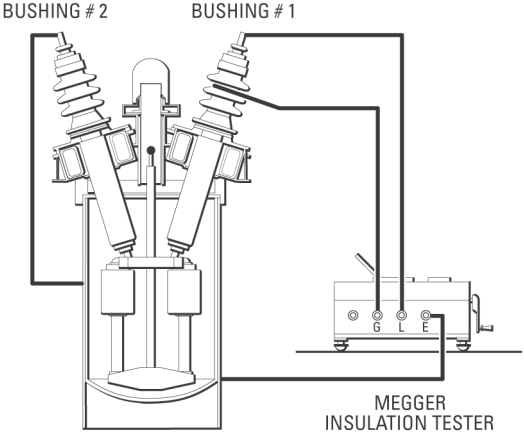


Abbildung 36: Schritt 2

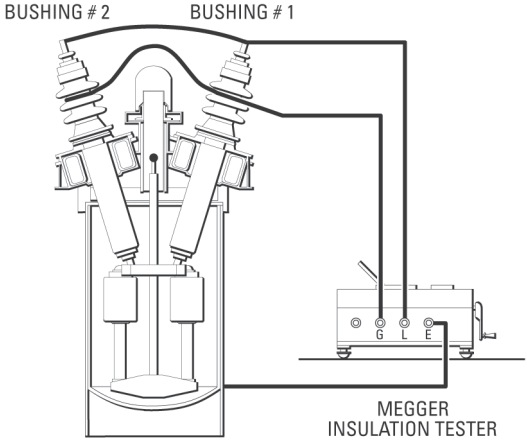


Abbildung 37: Schritt 3

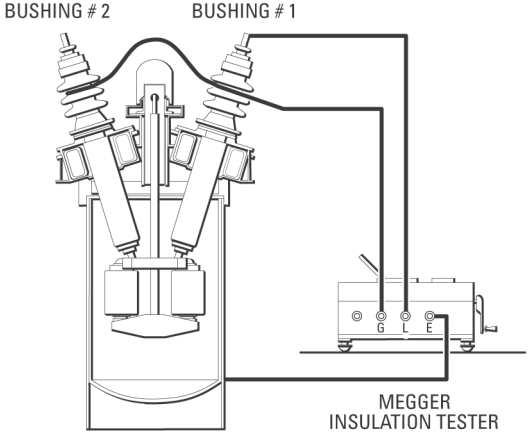


Abbildung 38: Schritt 4

EINRICHTEN EINES WARTUNGSPROGRAMMS

Zum Starten der Isolationswiderstandsmessung gibt es eine allgemeine Regel: Legen Sie Prioritäten fest. Das heißt, prüfen Sie alle elektrischen Geräte und klassifizieren Sie sie nach relativer Wichtigkeit. Wenn beispielsweise der Wechselstrom-Motor in Abteilung A ausfiele, wie würde sich das auf die Gesamtbetriebsproduktion auswirken? Ihre Produktionsmitarbeiter können dazu beitragen und sollten auch an der Idee interessiert sein.

Wenn die Zeit am Anfang es zulässt, prüfen Sie jedes Teil der elektrischen Geräte und erstellen Sie dafür eine Karteikarte. Möglicherweise müssen Sie zunächst mehrere Einheiten kombinieren, aber auf Dauer wird sich der Aufwand auszahlen, Prüfaufzeichnungen für jede einzelne Einheit zu haben. Wenn dann Schwächen in der Isolation sichtbar werden, wird Ihre Aufgabe, das betroffene Teil ausfindig zu machen, einfacher.

In Abb. 40 sehen Sie eine Form von Prüfberichtkarte, die von Megger erhältlich ist. Im Folgenden finden Sie die Art von Informationen, die für Sie wichtiger werden, wenn die Prüfungen in Intervallen wiederholt werden:

1. Name und Standort der Geräte
2. Datumsangaben und Werte der Prüfergebnisse (Erfassung des Ist-Werts zum Zeitpunkt der Prüfung)
3. Bereich, Spannung und Seriennummer des verwendeten Megger Instruments
4. Temperatur des Geräts (insbesondere bei großen Maschinen, Verdunstungs- und Trockentemperatur – für die Bestimmung von Feuchtigkeit und Taupunkt)
5. Isolationswiderstandsmessung, temperaturkorrigiert
6. Eine Darstellung von aufeinander folgenden Messungen, um den Trend zu zeigen und Ausfälle vorhersehen zu können

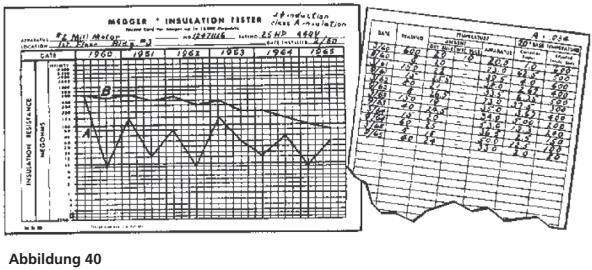


Abbildung 40

WIE OFT SOLLTEN SIE PRÜFEN?

Das hängt von der Größe und Komplexität Ihres Werks ab. Selbst identische Geräte können sich in den erforderlichen Prüfzeiten unterscheiden; die Erfahrung ist Ihr bester Leitfaden. Im Allgemeinen entwickeln jedoch Betriebsanlagen – Motoren, Generatoren usw. – im Vergleich zu Kabeln, Isolatoren und Ähnlichem häufiger Isolationsschwächen. Es sollte je nach Größe der Geräte und der Härte der umgebenden atmosphärischen Bedingungen ein Prüfzeitplan für die Arbeitsausrüstung mit Abständen zwischen 6 und 12 Monaten festgelegt werden. Für die Verdrahtung und Ähnliches gilt, dass Prüfungen einmal pro Jahr in der Regel ausreichen, es sei denn, die Werksbedingungen sind ungewöhnlich hart.

MEGGER ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTE MIT 5 kV, 10 kV und 15 kV

Megger-5-kV-, 10-kV- und 15-kV-Isolations-Prüfgeräte sind für Industrie- und Stromversorgungsanwendungen konzipiert. Alle Megger-Isolations-Prüfgeräte sind robust und zuverlässig für den Hochleistungseinsatz. Sie bieten bis zu CAT IV 1000 V-Sicherheit an allen Anschlüssen und haben ein robustes Polypropylen-Gehäuse mit voller Schutzart IP65 für den Transport. Ein einzigartiges duales Gehäusedesign aller Geräte ermöglicht einen feuerhemmenden Schutz bei gleichzeitiger Robustheit.

Die 10-kV-Geräte entsprechen vollständig der Norm IEEE 43-2000 „Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery“. So kann der Anwender jeden vorhandenen Motor effektiv prüfen. Das 15-kV-Gerät erfüllt vollständig die NETA-Anforderungen für Prüfgeräte über 35 kV.

MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525

Die MIT-Serie besteht aus vier Geräten: zwei 5-kV-Modelle, eine 10-kV-Einheit und eine 15-kV-Einheit. Die Baureihe ist für die Industrie- und Energieverteilung konzipiert. Mit dem MIT515 (5-kV-Modell) können sowohl einfache Go/No-Go-Isolationsprüfungen als auch grundlegende diagnostische Isolationsprüfungen wie der Polarisationsindex (PI) durchgeführt werden. Zwei neue erweiterte Modelle,), MIT1025 (10-kV-Modell) und MIT1525 (15-kV-Modell), bieten Speicher- und diagnostische Isolationsprüfungen. Das MIT1025 und MIT1525 eignen sich für strengere Prüfungen von Geräten mit höherer Spannung.

Megger MIT1525

Die MIT-Geräte verfügen über eine vollständig spezifizierte Schutzklemme/-schaltung, um genaue Ergebnisse in einer Vielzahl von Prüfsituationen zu ermöglichen. Die Prüfungen können mit Batterie oder Wechselstrom durchgeführt werden und profitieren von einer langen Batterielebensdauer und einer schnellen Wiederaufladezeit. Um das Speichern und Verlaufen der Ergebnisse zu unterstützen, enthalten das MIT525, MIT1025 und MIT1525 Speicher und Download auf den PC über USB sowie zusätzliche diagnostische Prüfungen wie Stufenspannung (SV) und Rampenprüfung.

www.tml-shop.de

MEGGER 1-kV-ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSGERÄTE

Megger ist der Erfinder von Isolationswiderstandsmessungen und der weltweit anerkannten Marktführer in diesem Bereich. Das erste Instrument zur Durchführung solcher Prüfungen wurde vor über 100 Jahren eingeführt. Basierend auf wertvollem Kundenfeedback und unserer langjährigen Erfahrung bieten wir ein komplettes Sortiment von 1 kV-Isolationswiderstandsmessgeräten – die Produktreihen MIT400/2, MIT300 und MIT200 – für die unterschiedlichen Anforderungen und Budgets aller Arten von Kunden.

MEGGER MIT400/2-REIHE

Die Isolationswiderstandsmessgeräte der Produktreihe MIT400/2 sind für die Isolationswiderstandsmessung und Durchgangsprüfung vorgesehen und haben ein ergonomischen Design mit den neuesten Messtechniken und Schutz für stromführenden Stromkreise. Sie sind dafür konzipiert, beschwerliche Prüfbedingungen auszuhalten und ausgezeichnete Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit bis zu 200 Gigaohm und bis zu 0,01 Ohm zu liefern.

Die neuesten Isolationswiderstands- und Durchgangsprüfgeräte der Produktreihe MIT400/2 verfügen über eine schnellere Durchgangsprüfung und stabilisierte Isolationsprüfspannungen für genauere und produktivere Installationsprüfungen.

Der Isolationswiderstandsmessung wurde eine Feedbacksteuerung zur Stabilisierung der Prüfspannung auf weniger als +2 % (+2 V) über der Spannung für sicherere und genauere Messungen hinzugefügt.

Variable Prüfspannung ist auch von 10 bis 1000 V erhältlich. Durchgangsprüfungen laufen jetzt komplett automatisch von 0,01 Ohm bis 999 kΩ mit schneller Kontakterkennung bei gleichzeitigem Schutz vor versehentlichem Kontakt mit stromführenden Stromkreisen.

Das Gerät wird Prüffunktionen für Polarisationsindex (PI) und dielektrisches Absorptionsverhältnis (DAR), Speicherung der Prüfergebnisse und Download-Möglichkeiten geliefert.

www.tml-shop.de

MEGGER MIT300-REIHE

Die Produktreihe MIT300 wurde mit dem bewährten Prinzip der aufsteigenden Funktionsmerkmale von Megger entwickelt, ohne dass die Grundqualität verloren geht. Fünf Modelle bilden die Produktreihe, die jeweils auf einem grundlegenden Design aufbauen, um die Qualität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, die das Markenzeichen von Megger sind. MIT300 ist das einfachste Modell, das Kernfunktionen der höchsten Qualität bietet, jedoch keine zusätzlichen Funktionen, die in den Basisanwendungen möglicherweise redundant sind. Für Anwendungen, bei denen eine 1 kV-Prüfung vermieden werden muss, bietet MIT300 nur eine Prüfung mit 250 und 500 V. Zusammen mit Durchgangs- und Spannungswarnungen sowie allen Komfortmerkmalen und Sicherheitsfunktionen, die die Produktreihe auszeichnen, ist dies das bevorzugte Modell für die einfachsten Anwendungen.

Wenn die Basisfunktion noch immer das Ziel ist, aber eine 1 kV-Prüfung erforderlich ist, ist das MIT310 die perfekte Lösung. Mit der Möglichkeit der Arbeit mit höheren Spannungen wurde der sichere Betrieb durch die Aufnahme eines Standardvoltmeters weiter verbessert.

Für diejenigen, die den traditionellen mechanischen analogen Gerätetyp bevorzugen, bietet MIT310A die gleichen Funktionen wie MIT310, jedoch mit einem beweglichen Spulendisplay. Das analoge Display wird durch schwarze Aufkleber auf weißem Hintergrund optimiert, um einen hohen Kontrast und eine verbesserte Sichtbarkeit zu erzielen.

Die Produktreihe wird mit dem vollen Funktionsumfang des MIT320 und MIT330 vervollständigt. MIT320 fügt einen Kiloohm-Bereich für Messungen zwischen den Extremen im Durchgang und der Hochspannung hinzu. Mit dieser Funktion können Messungen von 0,01 Ω bis 999 MΩ kontinuierlich durchgeführt werden. Ein hintergrundbeleuchtetes Display wird durch hintergrundbeleuchtete Auswahlen weiter verbessert, damit sowohl das Setup als auch die Ergebnisse bei schlechten Lichtverhältnissen sichtbar sind. MIT320 bietet auch akustische Alarme sowohl für den Durchgangs- als auch für den Megaohm-Bereich, einstellbar über den gesamten Bereich.

Schließlich bietet MIT330 alles, was für MIT320 beschrieben ist, sowie die Speicherung von bis zu 1000 Ergebnissen, das Herunterladen über einen USB-Anschluss über die mitgelieferte Software und eine Anzeige des verbleibenden Speichers.

Megger MIT310

www.tml-shop.de

Megger MIT230

MEGGER MIT200-REIHE

Benötigen Sie nur grundlegende 1 kV-Isolation und Durchgangsprüfung, wobei die Wirtschaftlichkeit ein wichtiger Aspekt ist? Das muss nicht teuer sein! Megger bietet die einzige hochwertige Reihe von kostengünstigen Prüfgeräten auf dem Markt: die Produktreihe MIT200. Obwohl diese Prüfgeräte im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit entworfen wurden, bedeuten sie keinen Verlust der Qualität und Zuverlässigkeit, die der Name Megger impliziert. Darüber wird auch keine Sicherheit eingebüßt, was ein ernsthaftes Problem bei preiswerten Prüfgeräten ist, die die Kosten auf Risiko von Lichtbogenüberschlägen und Bedienungsfehlern gesenkt haben.

Es sind vier Modelle verfügbar, die sich nur in den angebotenen Prüfspannungen unterscheiden: MIT200 ist ein 500 V-Modell für Standardanwendungen; MIT210 ist ein 1 kV-Modell, bei dem eine höhere Prüfspannung erreicht wird; MIT220 bietet zwei Spannungen, 250 und 500 V, für sensiblere Anwendungen, bei denen eine 1 kV-Prüfung zu vermeiden ist; für das gesamte Spektrum von Anwendungen, bietet MIT230 alle drei Spannungen, 250 V, 500 V und 1 kV.

www.tml-shop.de

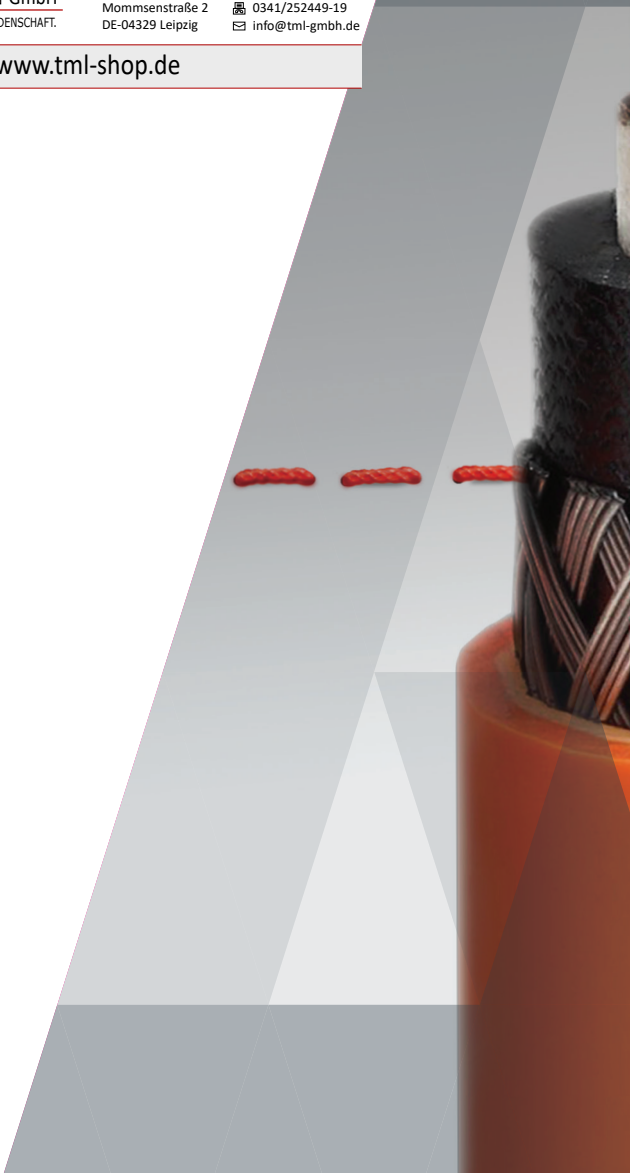
Megger

TML GmbH
ELEKTROTECHNIK MIT LEIDENSCHAFT.

TML GmbH
Mommsenstraße 2
DE-04329 Leipzig

0341/252449-0
0341/252449-19
info@tml-gmbh.de

www.tml-shop.de



Das Wort „Megger“ ist eine eingetragene Marke.

Stitch_2019