

Inhaltsverzeichnis

1	Inhalt und Geltungsbereich	2
1.1	Zweck und Ziel.....	2
1.2	Geltungsbereich.....	2
2	Vorbereiten des Kalibriergegenstandes	2
2.1	Beschaffenheits-, Sicherheit- und Funktionsprüfung	2
2.2	Einstellung der Referenz- und Einsatzbedingungen.....	2
3	Kalibrierverfahren	2
3.1	Kalibrierung	2
4	Bewertung der Kalibrierung.....	3
4.1	Auswertung der Messung	3
5	Kennzeichnung des Prüfstatus	3
6	Messunsicherheitsbudget	3
6.1	Angaben zum Kalibriergegenstand	3
6.2	Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung	3
6.3	Messaufbau	3
6.4	Einflussgrößen R	4
6.4.1	Einfluss des Normals	4
6.4.2	Einfluss des Verfahrens	4
6.4.3	Einfluss des Kalibriergegenstandes	4
6.5	Mathematisches Modell der Einflussgrößen.....	4
6.6	Beitrag für das Normal $U(\Omega CAL)$	4
6.7	Beiträge für das Verfahren	5
6.8	Beitrag für den Kalibriergegenstand $U\delta\Omega ind$	6
6.9	Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge	6
6.10	Messunsicherheitsanalyse	6
6.11	Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(\Omega CAL)$	6
6.12	Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens	6
6.13	Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes $u(\delta\Omega ind)$	6
6.14	Unsicherheitsbeitrag des Kalibriergegenstandes	6
6.15	Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge	7
6.16	Erweiterte Messunsicherheit U	7
7	Bezugsdokumente	7
7.1	Mitgeltende Unterlagen.....	7
7.2	Normen.....	7

1 Inhalt und Geltungsbereich

1.1 Zweck und Ziel

Diese Work Instruction beschreibt die Vorgehensweise zur Kalibrierung von Gleichstrom-Widerständen.

Die Kalibrierung erfolgt in Anlehnung an die beschriebene Vorgehensweise der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 8, Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen - Gleichstrom-Widerstände, in ihrer jeweils gültigen Revision.

Die erweiterte Messunsicherheit U für den Kalibrierprozess, berechnet sich nach Richtlinie DKD-3-E2, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, in ihrer jeweils gültigen Revision.

1.2 Geltungsbereich

- Phoenix Contact

2 Vorbereiten des Kalibriergegenstandes

2.1 Beschaffenheits-, Sicherheit- und Funktionsprüfung

Vor Beginn der Kalibrierung ist der Kalibrierstatus aller zur Durchführung der Kalibrierung benötigten Normale und Normalmesseinrichtungen zu prüfen. Gegebenenfalls sind sie zu kalibrieren und zu justieren. Eine Prüfung auf Spannungsfestigkeit wird nicht durchgeführt. Falls erforderlich wird ein entsprechender Nachweis bei der Beschaffung mitbestellt.

Folgende nach *VDI/VDE/DGQ 2622, Blatt 8 vorbereitende Maßnahmen, Prüfungen und Tätigkeiten sind durchzuführen:

- Beschaffenheitsprüfung
- Bestimmung des Isolationswiderstands nach Erfordernis
- Bestimmung des Widerstandswertes

Sichtprüfung auf:

- funktionsrelevanten Beschädigungen
- einwandfreie Befestigung der Anschlussklemmen
- Kalibriergegenstand muss gereinigt sein
- Kennzeichnung des Kalibriergegenstands nach DIN EN 60477, oder einer anderen eindeutige Kennzeichnung

2.2 Einstellung der Referenz- und Einsatzbedingungen

Während der Kalibrierung muss sich der Messaufbau im thermischen Gleichgewicht befinden.

Bei Kalibrierungen abweichend von den Bemessungsbedingungen sind unterschiedliche Temperaturkoeffizienten der Widerstände zu berücksichtigen.

3 Kalibrierverfahren

3.1 Kalibrierung

Kalibrierung nach VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 8. Die Bestimmung des tatsächlichen Widerstandswertes eines Einzelwiderstandes, Widerstandsdekade oder Shunt, erfolgt nach dem Ohm'schen Gesetz.

Hierzu wird vom Kalibrator (5520A/52120A) ein Messstrom erzeugt. Der durch den Widerstand erzeugte Spannungsabfall wird mit einem Multimeter (Agilent 3458A) gemessen. Über die Formel

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

wird der Widerstandswert errechnet.

Als Messleitungen dienen Fluke 5520A-525A/LEADS (High Current 30 A test lead).

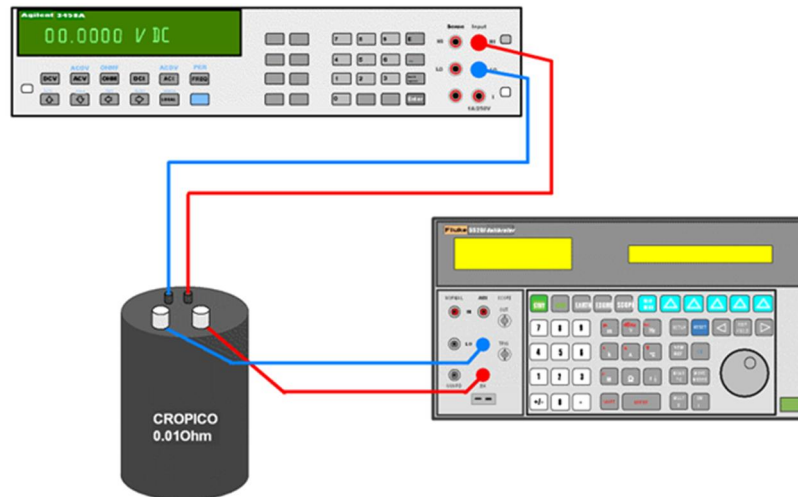


Abbildung 1: Systematische Darstellung des Messaufbaus

Ein hiervon abweichender Messaufbau erfolgt nur, wenn der Hersteller einen anderen Messaufbau empfiehlt.

4 Bewertung der Kalibrierung

4.1 Auswertung der Messung

Aus den ermittelten Messwerten wird von der Auswertesoftware Fluke Metcal ein Kalibrierschein erstellt. Betriebsbedingungen und Messaufbau werden ebenfalls dokumentiert.

5 Kennzeichnung des Prüfstatus

Nach erfolgreicher Kalibrierung wird der Prüfling mit einer Prüfplakette gekennzeichnet. Sie trägt den aktuellen und nächsten Prüfzeitpunkt.

6 Messunsicherheitsbudget

Die erweiterte Messunsicherheit U für den Kalibrierprozess berechnet sich nach Richtlinie DKD-3 in ihrer jeweils gültigen Revision.

Zur Ermittlung der Messunsicherheit eines Gleichstrom-Widerstands werden die folgenden Schritte vorgenommen. Zur Berechnung wird beispielhaft ein Cropico LTD., 0,01 Ohm Normalwiderstand verwendet.

6.1 Angaben zum Kalibriergegenstand

Normalwiderstand zum Messen von DCI.

6.2 Angaben zur Normalmesseinrichtung / Kalibriereinrichtung

Der Multiprodukt-Kalibrator liefert an seinen Ausgang DCV, ACV, DC-Widerstand, DCI, ACI, Kapazität, Gleich- und Wechsellleistung und Temperatursimulation. Zusätzlich ist eine Option zur Kalibrierung von Oszilloskopen vorhanden.

Der Spannungsabfall über den Widerstand wird direkt mit einem Agilent 3458A, oder Keithley 2002, gemessen. Als Messleitungen dienen Fluke 5520A-525A/LEADS.

6.3 Messaufbau

Die Kalibrierung eines Gleichstrom-Widerstands erfolgt durch die Messung des Spannungsabfalls mit einem Multimeter (Agilent 3458A). Der Messstrom wird durch den Kalibrator (Fluke 5520A/52120A) erzeugt. Über das Ohm'sche Gesetz wird der Widerstandswert errechnet.

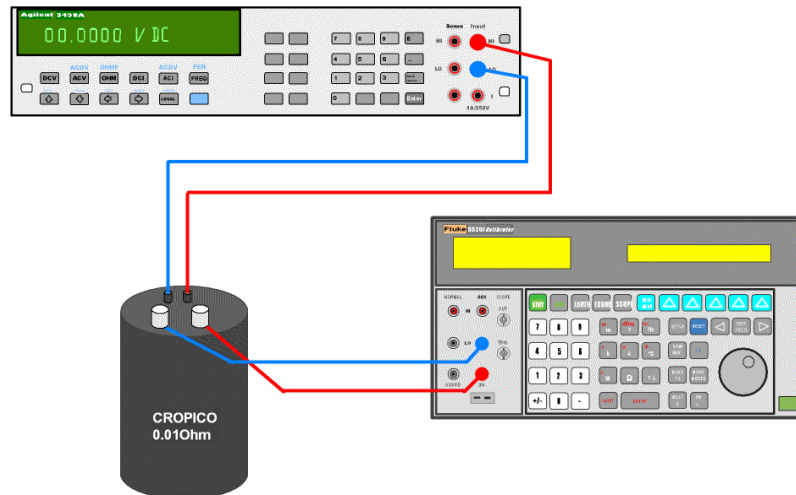


Abbildung 2: Messaufbau zur Kalibrierung eines Gleichstrom-Widerstands

6.4 Einflussgrößen R

6.4.1 Einfluss des Normals

a) Unsicherheitsbeitrag des Normals

6.4.2 Einfluss des Verfahrens

b) Ungeeignete Messleitungen

c) Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand

d) Korrosion

e) Kabelbruch

6.4.3 Einfluss des Kalibriergegenstandes

f) Leckstrom

g) Genauigkeit / Auflösung / Präzision

h) Temperatur

6.5 Mathematisches Modell der Einflussgrößen

Mit den Einflussgrößen wird das mathematische Modell der Messunsicherheit aufgestellt.

$$u_{\text{gesamt}}(\Omega) = \sqrt{u^2(\Omega_{\text{cal}}) + u^2(\delta\Omega_{\text{Verfahren}}) + u^2(\delta\Omega_{\text{ind}}) + (\delta\Omega_{\text{ix}})}$$

Beispielrechnung für 10-mΩ6.6 Beitrag für das Normal $U(\Omega_{\text{CAL}})$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Kalibrators wird aus dem gültigen Kalibrierschein entnommen.

Bereich: 3-10,9999 A

Kalibrierwert: 4 A

$$U(A_{\text{CAL1}}) = 600 \mu\text{A}$$

mit $k=2$

$$U(A_{\text{CAL1}}) = 300 \mu\text{A}$$

Für die Drift des Kalibrators seit seiner letzten Kalibrierung werden die Angaben aus den Herstellerspezifikationen eingesetzt.

Ein Jahres Spezifikation, 99%Confidence Interval

Absolute Uncertainty, $t_{\text{cal}} \pm 5^\circ\text{C}$ Bereich: 0-10,9999 A / $\pm(500\text{ppm of output} + 500 \mu\text{A})$

Bei 4 A ergibt sich hieraus:

$$U(A_{CAL2}) = 2500 \mu A$$

$$U(A_{CAL}) = U(A_{CAL1}) + U(A_{CAL2})$$

$$U(A_{CAL}) = 2500 \mu A + 300 \mu A$$

$$U(A_{CAL}) = 2800 \mu A$$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Multimeters wird aus dem gültigen Kalibrierschein entnommen.

Bereich: -120 bis 120mV DC

Erwarteter Kalibrierwert: 40 mV

$$U(V_{CAL1}) = 0,25 \mu V \quad \text{mit } k=2$$

$$U(V_{CAL1}) = 0,125 \mu V$$

Für die Drift des Multimeters seit seiner letzten Kalibrierung werden die Angaben aus den Herstellerspezifikationen eingesetzt.

Einhahrespezifikation, 99%Confidence Interval

Absolute Uncertainty, $t_{cal} \pm 5^\circ C$

Bereich: -120 bis 120mV DC / $\pm (5\text{ppm of Reading} + 3\text{ppm of Range})$

Bei 40mV DC ergibt sich hieraus:

$$U(V_{CAL2}) = 0,56 \mu V$$

$$U(V_{CAL}) = U(V_{CAL1}) + U(A_{CAL2})$$

$$U(V_{CAL}) = 0,125 \mu V + 0,56 \mu V$$

$$U(V_{CAL}) = 0,685 \mu V$$

$$U(\Omega_{CAL}) = \frac{U(V_{CAL})}{U(A_{CAL})} - 0,01 \Omega$$

$$U(\Omega_{CAL}) = \frac{0,040000685 V}{3,9972 A} - 0,01 \Omega$$

maximal mögliche Messunsicherheit aus Fluke 5520 + Agilent 3458

$$U(\Omega_{CAL}) = 0,00000718 \Omega$$

$$U(\Omega_{CAL}) = 7,18 \mu \Omega$$

6.7 Beiträge für das Verfahren

Messkabel: Für Widerstandsmessungen werden geschirmte Messleitungen der Firma Pomona verwendet (Model: 1167). Bei vorhandenem Vierleiteranschluss am Kalibriergegenstand wird dieser bevorzugt verwendet. Die Schirmung wird auf Guard gelegt.

Wartung und Pflege der Messkabel: Um Fehler durch Kontaktwiderstand / Übergangswiderstand, Korrosion oder Kabelbruch zu verhindern, werden die Kabel regelmäßig visuell und messtechnisch überprüft.

Zur Ermittlung des Messunsicherheitsbeitrags der verschiedenen Typen von Messleitungen wurden Messreihen durchgeführt um die Standardabweichung aus diesen Werten zu ermitteln.

Diese beinhalten eventuelle externe Einflüsse. Für den Bereich 10 mΩ wurde die Standardabweichung aus einer Messreihe von 20 Messwerten ermittelt.

$$U(\delta\Omega_{\text{Verfahren}}) = 3,6 \mu \Omega$$

6.8 Beitrag für den Kalibriergegenstand $U(\delta\Omega_{ind})$

Ein Beitrag durch die Auflösung ergibt sich nicht, da es sich um einen Festwiderstand handelt.

$$U(\delta\Omega_{ind}) = 0 \mu\Omega$$

Eine Standardunsicherheit durch den Widerstand ist aufgrund gleichbleibender Umweltbedingungen nicht zu erwarten $U(s) = 0 \mu\Omega$

6.9 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$U(\Omega_{CAL}) = 7,18 \mu\Omega$$

$$U(\delta\Omega_{Verfahren}) = 3,6 \mu\Omega$$

$$U(\delta\Omega_{ind}) = 0 \mu\Omega$$

$$U(s) = 0 \mu\Omega$$

6.10 Messunsicherheitsanalyse

Jede identifizierte Einflussgröße liefert einen Beitrag zum Messunsicherheitsbudget. Der Einzelbeitrag jeder Einflussgröße ist mit seinem Sensitivitätskoeffizienten c_i zu multiplizieren. Der Sensitivitätskoeffizient beträgt bei allen Unsicherheitsbeiträgen $c = 1$ da zur Berechnung die Grenzwerte der Veränderung des Einflusses angenommen werden. Der Unsicherheitsbeitrag ergibt sich somit aus:

$$u_i(y) = U_i \cdot c_i$$

6.11 Unsicherheitsbeitrag des Normals $u(\Omega_{CAL})$

Der Messunsicherheitsbeitrag des Kalibrators ergibt sich aus dessen Kalibrierung und der Drift. Angenommen wird eine Rechteckverteilung b_i . Bei 1 A ergibt sich hieraus:

$$u(\Omega_{CAL}) = U(\Omega_{CAL}) \cdot b_i \cdot c(\Omega_{CAL})$$

$$u(\Omega_{CAL}) = \frac{7,18 \mu\Omega}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$u(\Omega_{CAL}) = 4 \mu\Omega$$

6.12 Unsicherheitsbeitrag des Verfahrens

Aus entsprechenden Untersuchungen der Messleitungen wurde folgender Wert ermittelt:

$$u(\delta\Omega_{Verfahren}) = U(\delta\Omega_{Verfahren}) \cdot b_i \cdot c(\delta\Omega_{Verfahren})$$

$$u(\delta\Omega_{Verfahren}) = \frac{3,6 \mu\Omega}{\sqrt{3} \cdot 1}$$

$$u(\delta\Omega_{Verfahren}) = 2 \mu\Omega$$

Angenommen wird eine Rechteckverteilung.

6.13 Unsicherheitsbeitrag für die endliche Auflösung des Kalibriergegenstandes $u(\delta\Omega_{ind})$

Kein Beitrag, siehe 6.9

6.14 Unsicherheitsbeitrag des Kalibriergegenstandes

Kein Beitrag

6.15 Zusammenfassung der Unsicherheitsbeiträge

Folgende Beiträge werden in das Messunsicherheitsbudget übernommen:

$$u(\Omega_{CAL}) = 4\mu\Omega$$

$$u(\delta\Omega_{Verfahren}) = 2\mu\Omega$$

$$u(\delta\Omega_{ind}) = 0\mu\Omega$$

$$u(\delta\Omega_{ix}) = 0\mu\Omega$$

6.16 Erweiterte Messunsicherheit U

$$U = k \cdot u(E_x) = 9\mu\Omega$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind in Formsheets FSB70111_DCR.xlsx - Abschätzung der Messunsicherheit Labor FME - abgelegt.

7 Bezugsdokumente**7.1 Mitgeltende Unterlagen**

VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 8

7.2 Normen

- DIN EN ISO 9001**

**Ausgabe lt. aktuellem IMS-Handbuch