

Kalibrierung eines 10 kΩ Normalwiderstandes

Autor: DKD

Dieses Beispiel wurde der DKD-3-E1 entnommen (siehe unter S3).

Der Widerstand eines Vierpol-Normalwiderstandes wird nach der Substitutionsmethode durch Vergleich mit einem als Referenznormal wirkenden, kalibrierten Vierpol-Normalwiderstand desselben Nennwertes unter Zuhilfenahme eines 7½-stelligen Digitalmultimeters im Widerstandsmessbereich bestimmt. Die Widerstände befinden sich in einem gut gerührten Ölbad, dessen Temperatur von 23 °C mit einem zentrisch angeordneten Quecksilberthermometer registriert wird. Vor der Messung wird den Widerständen ausreichend Zeit gelassen, sich thermisch zu stabilisieren. Die Vierpolanschlüsse der einzelnen Widerstände werden nacheinander mit den Klemmen des DMM verbunden. Es ist überprüft worden, dass bei dem Messstrom von 100 µA im 10 kΩ-Messbereich des DMM nennenswerte Effekte durch Eigenerwärmung der Widerstände nicht auftreten. Das Messverfahren stellt auch sicher, daß sich äußere Leckwiderstände nur unwesentlich auf das Messergebnis auswirken.

Modellgleichung:

$$R_X = (R_S + \delta R_D + \delta R_{TS}) \times r_C \times r - \delta R_{TX}$$

Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
R_X	Ω	Wert des zu kalibrierenden Widerstandes
R_S	Ω	Wert des Referenzwiderstandes
δR_D	Ω	Drift des Wertes des Referenzwiderstandes seit seiner letzten Kalibrierung
δR_{TS}	Ω	temperaturabhängige Widerstandsänderung des Referenzwiderstandes
δR_{TX}	Ω	temperaturabhängige Widerstandsänderung des zu kalibrierenden Widerstandes
r_C		Korrektionsfaktor für Störspannungen und das Auflösungsvermögen des Digitalmultimeters
r		= R_{ix}/R_{is} Verhältnis der angezeigten Werte des zu kalibrierenden Widerstandes und des Referenzwiderstandes

R_S : Typ B Normalverteilung
 Wert: 10000.053 Ω
 Erweiterte Messunsicherheit: $5 \cdot 10^{-3}$ Ω
 Erweiterungsfaktor: 2

Referenznormal: Der Kalibrierschein des Referenznormals gibt einen Widerstandswert von 10 000,053 Ω ±5 mΩ (Erweiterungsfaktor $k = 2$) bei der Bezugstemperatur von 23 °C an.

δR_D : Typ B Rechteckverteilung
 Wert: $+20 \cdot 10^{-3}$ Ω
 Halbbreite der Grenzen: $10 \cdot 10^{-3}$ Ω

Drift des Widerstandswertes des Referenznormals: Die Drift des Widerstandswertes des Referenzwiderstandes seit seiner letzten Kalibrierung wird aus seiner Kalibriergeschichte auf +20 mΩ mit Abweichungen innerhalb von ±10 mΩ geschätzt.

δR_{TS} : Typ B Rechteckverteilung
 Wert: 0 Ω
 Halbbreite der Grenzen: $2.75 \cdot 10^{-3}$ Ω

Temperaturkorrektur: Die Temperatur des Ölbad es wird mit einem kalibrierten Thermometer zu 23,00 °C registriert. Unter Berücksichtigung der messtechnischen Charakteristika des verwendeten Thermometers und der Temperaturgradienten im Ölbad wird geschätzt, daß die Temperatur der Widerstände innerhalb von ±0,055 K mit der registrierten Temperatur übereinstimmt. Damit ergibt der bekannte Wert $5 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹

des Temperaturkoeffizienten (TK) des Referenzwiderstandes die Grenzen von $\pm 2,75 \text{ m}\Omega$ für Abweichungen vom kalibrierten Widerstandswert, die auf mögliche Abweichungen von der gemessenen Badtemperatur zurückzuführen sind.

δR_{TX} : Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0Ω
Halbbreite der Grenzen: $5,5 \cdot 10^{-3} \Omega$

Temperaturkorrekturen: Die Temperatur des Ölbad es wird mit einem kalibrierten Thermometer zu $23,00 \text{ }^\circ\text{C}$ registriert. Unter Berücksichtigung der messtechnischen Charakteristika des verwendeten Thermometers und der Temperaturgradienten im Ölbad wird geschätzt, daß die Temperatur der Widerstände innerhalb von $\pm 0,055 \text{ K}$ mit der registrierten Temperatur übereinstimmt. Aufgrund der Herstellerangaben wird geschätzt, daß der TK des unbekanntes Widerstandes nicht größer als $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ist, so dass Widerstandsabweichungen des zu kalibrierenden Widerstandes aufgrund möglicher Temperaturabweichungen auf maximal $\pm 5,5 \text{ m}\Omega$ geschätzt werden.

r_C : Typ B Dreieckverteilung
Wert: 1.0
Halbbreite der Grenzen: $1,0 \cdot 10^{-6}$

Widerstandsmessungen: Da für die Beobachtung von R_{ix} und R_{is} dasselbe DMM verwendet wird, sind die Unsicherheitsbeiträge korreliert. Dieser Effekt führt, da das Verhältnis der Widerstände auftritt zu einer Verringerung des Unsicherheitsbeitrages, indem nur die relative Differenz zwischen den Widerstandsanzeigen, die ihre Ursache in systematischen Effekten wie Störspannungen und Geräteauflösung haben, berücksichtigt werden müssen. Die Abweichungen für diese Effekte werden für die einzelnen Anzeigen mit $0,5 \cdot 10^{-6}$ abgeschätzt. Für das Verhältnis ergibt sich eine Dreieckverteilung mit dem Erwartungswert von 1,000 000 0 und Grenzen von $\pm 1,0 \cdot 10^{-6}$.

r : Typ A
Methode der Beobachtung: Direkt
Anzahl der Beobachtungen: 5

Nr.	Beobachtung
1	1.0000104
2	1.0000107
3	1.0000106
4	1.0000103
5	1.0000105

Arithmetischer Mittelwert: 1.00001050000
Standardabweichung der Einzelbeobachtung: $160 \cdot 10^{-9}$
Standardabweichung des Mittelwerts: $70,71 \cdot 10^{-9}$
Freiheitsgrad: 4

Messunsicherheits-Budgets:**R_X:** Wert des zu kalibrierenden Widerstandes

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Index
R _S	10000.053000 Ω	$2.500 \cdot 10^{-3} \Omega$	Normal	1.0	$2.5 \cdot 10^{-3} \Omega$	9.0 %
δR_D	0.020000 Ω	$5.774 \cdot 10^{-3} \Omega$	Rechteck	1.0	$5.8 \cdot 10^{-3} \Omega$	48.1 %
δR_{TS}	0.0 Ω	$1.588 \cdot 10^{-3} \Omega$	Rechteck	1.0	$1.6 \cdot 10^{-3} \Omega$	3.6 %
δR_{TX}	0.0 Ω	$3.175 \cdot 10^{-3} \Omega$	Rechteck	-1.0	$-3.2 \cdot 10^{-3} \Omega$	14.5 %
r _C	1.0000000000	$408.2 \cdot 10^{-9}$	Dreieck	10000	$4.1 \cdot 10^{-3} \Omega$	24.0 %
r	1.00001050000	$70.71 \cdot 10^{-9}$	Normal	10000	$710 \cdot 10^{-6} \Omega$	0.7 %
R _X	10000.178001 Ω	$8.328 \cdot 10^{-3} \Omega$				

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiterungsfaktor	Überdeckungswahrscheinlichkeit
R _X	10000.178 Ω	0.017 Ω	2.00	95% (t-Tabelle 95.45%)