

XV Millivoltkalibrierung an Keithley 181 und Keithley 263

XVI.1 Indirekte Erzeugung kleiner Spannungen mit Keithley 263

Die Quelle Keithley 263 (s. Kapitel III) kann neben direkter Spannungserzeugung (oder Erzeugung am Multifunktionskalibrator 5700A) im Gleichstrommodus zusammen mit kalibrierten Widerständen dazu genutzt werden Kleinstspannungen indirekt zu liefern. Mit den bekannten Zusammenhängen des Ohmschen Gesetzes können dabei die entsprechende Spannungspunkte errechnet werden. An induktivitäts- und thermospannungsarmen Festwiderständen (z.B. Burster 1240, Bild XV.1) erfolgt der Anschluss der Stromquelle wie in Bild XV.2 zusammen mit dem Kalibriergegenstand. Gezeigt ist die Vergleichsmessung am eigenen Nanovoltmeter Keithley 181. Durch die hohe Compliance Spannung von 12 V des Stromtreibers wird der Ausgangsstrom fast unabhängig vom Lastwiderstand immer konstant gehalten. Im Millivoltbereich kann die Quelle also bedenkenlos eingesetzt werden. Sehr kleine Spannungen erfordern eine Beruhigungszeit von ca. 2 Minuten und den Einsatz der Zero Funktion an der Quelle um ggf. Offsetspannungen am Messobjekt zu ermitteln.



Bild XV.1 Festwiderstände Burster 1240. Anschluss in 4-Draht Technik

In der Regel ist die richtige Konfiguration mit GUARD durchzuführen, sollte aber aufgrund der guten Performance der Quelle (fast) unerheblich sein. Im Zweifelsfall sind die Herstellerangaben und die Angaben aus dem Betriebshandbuch zu Rate zu ziehen. Gute Ergebnisse erzielt dieses Messverfahren für die Erzeugung von 1 μ V bis 200 mV bei



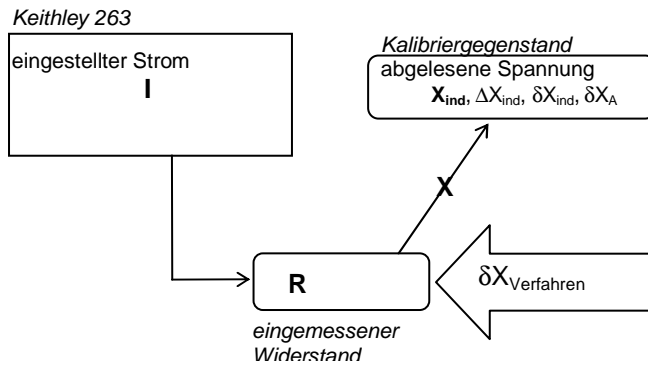
Bild XV.2 - Millivoltkalibrierung an Stromquelle Keithley 263: An der Quelle eingestellt sind 10 μ A an 100,0019 Ω . Mit dem korrigierten Wert aus dem Kalibrierschein (9,99884 μ A) ergibt sich rechnerisch eine Spannung 0,999902 mV. Das eigene Nanovoltmeter zeigt 0,99997 mV. Die Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen werden als Reproduktionsauswertungen im Messunsicherheitsbudget berücksichtigt.

Verwendung von Messströmen von >20 nA bis 20 μ A über Widerständen von 100 Ω bis 10 k Ω .

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XV Millivoltkalibrierung	1 von 4

XV.2 Messunsicherheitsbudget

Skizze des Messverfahrens:



Modellgleichung:

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich aus

$$X_{ind} - \Delta X_{ind} + \delta X_{ind} + \delta X_A + \delta X_{Verfahren} = R \cdot I$$

die für die Berechnung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit maßgebliche Modellgleichung:

$$\Delta X_{ind} = X_{ind} + \delta X_{ind} + \delta X_A + \delta X_{Verfahren} - R \cdot I$$

Messunsicherheitsbudget:

Für die dem Ergebnis beizuordnende Standardmessunsicherheit ergibt sich daraus:

$$u^2(\Delta X_{ind}) = u^2(x_{ind}) + c_X^2 \left(u^2(\delta X_{ind}) + u^2(\delta X_A) + u^2(\delta X_{Verfahren}) \right) + c_R^2 u^2(R) + c_I^2 u^2(I)$$

Gleichung für die dem Ergebnis ΔX beizuordnende relative erweiterte Messunsicherheit (k=2):

$$W_{rel}(\Delta X) = \frac{2u(\Delta X)}{X} \quad (\text{Bezogen auf den Kalibrierwert } X = R \cdot I)$$

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: PF am: 08.01.2009	geprüft/ genehmigt von: PF am: 08.01.2009	Kapitel XV Millivoltkalibrierung	Seite 1 von 4
---------------------------	----------------------------------------------	--------------------------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------

XV.3 Messung kleiner Spannungen am Nanovoltmeter Keithley 181

XV.3.1 Messung im Vergleich (Substitutionsverfahren)

Mit dem o.g. Kalibrierverfahren lassen sich des Weiteren am Nanovoltmeter Keithley 181 Spannungsquellen im Vergleich (Substitutionsverfahren) kalibrieren. Der Kalibriergegenstand wird hierzu am mV-Eingang (Spezial-Adapter mit niedrigen Thermospannungen) des Gerätes angeschlossen und Ergebnisse in den mV-Bereichen abgelesen. Aufwärmzeiten von 1 bis 4 Stunden sind dabei empfehlenswert. Entsprechend der besten Performance des Gerätes sind nach durchgeführter Offset-Korrektur (ZERO) mit Kurzschluss über den Anschlussklemmen (am besten an Schraubklemmen des zu vermessenen Spannungsausgangs oder mit Kupferkurzschlussbrücke) nach Anlegen der zu messenden Spannung die Funktionen DAMPING und FILTER zu aktivieren. Korrekturen werden im Gerät meist nur für den gewählten Bereich gespeichert, wodurch über RANGE bereits vorher die richtige Einstellung getroffen werden muss. Für stabile Messergebnisse werden Einschwingzeiten der Messwerte von >2 Minuten vorausgesetzt. Im Modus HIRES ist eine Anzeige von 6 ½ Stellen bei Auflösungen bis zu 1 nV möglich.

Messunsicherheit:

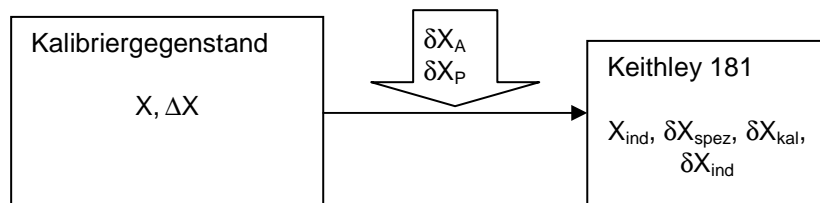
Durch den zweimaligen Anschluss und das Ablesen der Messwerte sind jeweils die Unsicherheitsbeiträge $u(\delta X_{ind})$, $u(\delta X_{Verfahren})$ und $u(\delta X_A)$ im „worst case“ doppelt zu verbuchen. Das **Messunsicherheitsbudget** (s. XV.2) für die dem Ergebnis beizuordnende Standardmessunsicherheit ändert sich demnach zu:

$$u^2(\Delta X_{ind}) = u^2(x_{ind}) + 2c_X^2 \left(u^2(\delta X_{ind}) + u^2(\delta X_A) + u^2(\delta X_{Verfahren}) \right) + c_R^2 u^2(R) + c_I^2 u^2(I)$$

XV.3.2 Direkte Messung am Nanovoltmeter

Neben Messung im Vergleich erfolgt in direkter Messung sofort der Anschluss des Kalibriergegenstandes am Nanovoltmeter. Die Geräteeinstellungen sind XV.3.1 zu entnehmen. Gemäß der Rekalibrierung des Gerätes im 12 monatigen Intervall enthält das Messunsicherheitsbudget Anteile für die Jahresspezifikation aus den Herstellerangaben, die über die Konformitätsprüfung gewährleistet werden.

Skizze des Messverfahrens:



Modellgleichung:

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich aus

$$X - \Delta X = X_{ind} + \delta X_A + \delta X_P + \delta X_{ind} + \delta X_{Drift} + \delta X_{kal}$$

Gemäß DKD-3:2002 Abschnitt 4 ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis ΔX beizuordnende relative erweiterte Messunsicherheit ($k=2$):

$$W_{rel}(\Delta X) = \frac{2u(\Delta X)}{X} \quad (\text{Bezogen auf den Kalibrierwert } X)$$

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: PF am: 08.01.2009	geprüft/genehmigt von: PF am: 08.01.2009	Kapitel XV Millivoltkalibrierung	Seite 1 von 4
---------------------------	----------------------------------------------	-------------------------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------

XV.4 Ergebnis

Da in den allen Fällen (Erzeugung über Widerstand, Vergleichsmessung, direkte Messung) die Messunsicherheiten immer größer oder gleich der Unsicherheiten aus XV.3.2 der Direktmessmethode sind, können diese Ergebnisse als Obergrenze der Messunsicherheit herangezogen werden.

Kalibrierwert	$U_{\max}(\Delta X)$
0 μ V bis 2 mV	0,3 μ V
2 mV bis 200 mV	$14 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,74 \mu$ V

Die zu Grunde liegenden **Zahlenwerte und Ergebnisse** der Berechnungen für die einzelnen Bereiche sind der mitgeltenden Excel-Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XV- Millivoltkalibrierung“

zu entnehmen, die Ergebnisse werden im Leistungsnachweis aufgeführt.

Mit den unterschiedlichen Verfahren stehen gute Methoden zur Verfügung die unterschiedlichen Geräte für Kleinstspannungserzeugung gegeneinander zu prüfen und die Messunsicherheiten zu verifizieren.

Die **Rückführung** wird durch die

- DKD-kalibrierte Stromquelle/ Spannungsquelle Keithley 263 selbst und zusammen mit
- ausgemessenen Widerständen (eigene Akkreditierung) und zusätzlich durch
- die Aufnahme der Messpunkte +/-1 mV und +/- 10mV im Kalibrierprotokoll des DKD-kalibrierten Kalibrators 5700A

sichergestellt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XV Millivoltkalibrierung	2 von 4