

XI Kalibrieren von LC-Messbrücken und Messgeräten

XI.1 Kalibrieren von Kapazitätsmessgeräten mit Standardkapazitäten

X.1.1 Messaufbau

Für die Kalibrierung stehen folgende Normale (*Standard Capacitor, Bild XI.2*) von General Radio zur Verfügung:

Nennwert	Typ	Seriennummer	Prüfmittelnummer
100 pF	1404-B	500	KL30070
1 nF	1404-A	2994	KL30037
10 nF	1409-L	6806	KL30035
100 nF	1409-T	8432	KL30036
1 μ F	1409-Y	5620	KL30038

Die Modelle 1404 besitzen Koaxialsteckbuchsen, zwischen deren Innenleitern die Normalkapazität liegt (Bild XI.1). Zum Anschluss werden –sofern mitgeliefert– die Leitungen der Messbrücke verwendet, deren Außenleiter möglichst nahe an den Anschlussklemmen gemeinsam geerdet werden. Weitere Angaben aus dem Kalibrierschein der Normale (Kalibrierwerte, Testpegel etc.) und herstellerspezifische Geräteangaben werden befolgt. Alle relevanten Details zum Messaufbau (Anschluss, Pegel, Frequenz) werden im Kalibrierschein vermerkt.

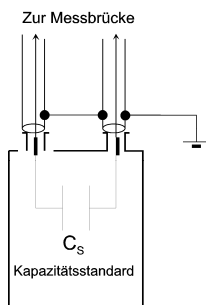


Bild XI.1a Anschluss 1404



Bild XI.1b 2-poliger Messadapter (OPEN)



Bild XI.1c Anschluss GR1409

Die Kapazitäten 1409 werden zwischen den Anschlussklemmen H und L dreipolig am Kalibriergegenstand gemessen, wobei die Gehäuseklemme G mit einem geerdeten Punkt der Messschaltung verbunden sein muss. Dazu dienen speziell angefertigte Messadapter mit koaxialen, gemeinsam geschirmten Buchsen, die unter die Steckanschlüsse der Standards geklemmt werden können (s. Bild XI.1b und XI.1c). Gleichbleibende Übergangswiderstände werden durch Anziehen der Schraubklemmen mit 3/8 Zoll- bzw. Eigenbau-Vielzahn­nüssen bei einem Drehmoment von 0,4 Nm erreicht.

In jedem Fall sind die Angaben der Kalibrierscheine der Normale mit den Testfrequenzen 100 Hz, 1 kHz und 10 kHz bei entsprechendem Pegel zu beachten. Falls die Messbrücke ohne Messleitungen geliefert wird, erfolgt der Anschluss, um Streukapazitäten so gering wie möglich zu halten, mittels geschirmter Laborleitungen (BNC-Leitung und Messadapter). Im Zweifelsfall sind die Anweisungen der Gerätespezifikation zu befolgen.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5..5.11	von: PF am: 08.01.09	von: PF am: 08.01.09	XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	1 von 11

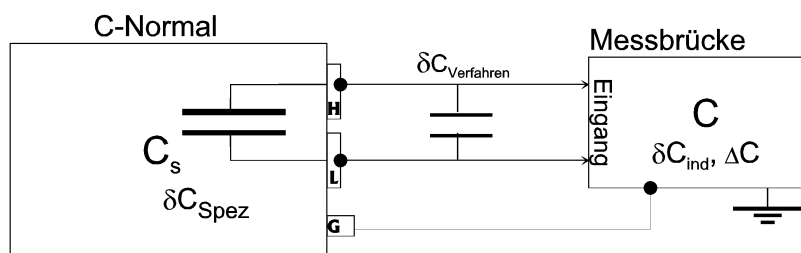


Bild XI.2 General Radio 1409 Standardkapazität

Wenn möglich werden Offsetfehler des Kalibriergegenstandes durch eine Null-Messung mit offenen Anschlüssen und mit Kurzschlussbrücke über den Enden des Messadapters (Anschlussebene) korrigiert. Dazu sind ggf. die Herstellerangaben des Kalibriergegenstandes zu beachten, bzw. die Laborleitungen vom Normal abzuziehen und auf einer isolierten Unterlage ist die Nullmessung durchzuführen. Die Korrektur erfolgt mit dem Messadapter und offenen Eingangsklemmen (wie Bild XI.1b).

Der Referenzwert (Kalibrierwert) ist dem Kalibrierschein der Kapazitätsnormale bei den entsprechenden Frequenzen zu entnehmen.

XI.1.2 Messunsicherheitsbudget Skizze des Messaufbaus:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

C_s ermittelter Wert der Standardkapazität (Kalibrierwert) zum Zeitpunkt der letzten Kalibrierung. Die tatsächliche Abweichung des Kalibrierwertes des Normals vom richtigen Wert wird zu Null mit den aus dem Kalibrierschein entnehmbaren Unsicherheitsintervallen angenommen (normalverteilt mit $k=2$, s. Angabe im Kalibrierschein)

C Gemessener Kapazitätswert am Kalibriergegenstand
Ergebnisse der Kapazitätsmessung werden über eine Stichprobenlänge $n>2$ reproduziert und gemittelt. Die Standardunsicherheit wird geometrisch zu den Unsicherheitsbeträgen addiert (Typ A Unsicherheiten).

Gesuchte Größe:

ΔC Abweichung der Anzeige des Kalibriergegenstandes vom Kalibrierwert

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XI.1 Kalibrieren von Kapazitätsmessgeräten mit Standardkapazitäten.XLS“

zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe: 5..5.11	erstellt von: PF am: 08.01.09	geprüft/genehmigt von: PF am: 08.01.09	Kapitel XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	Seite 2 von 11
----------------------------	--	---	--	--------------------------

XI.2 Kalibrieren von Kapazitätsmessgeräten an Zwischenwerten mit selbst eingemessenen Normalen

XI.2.1 Messaufbau

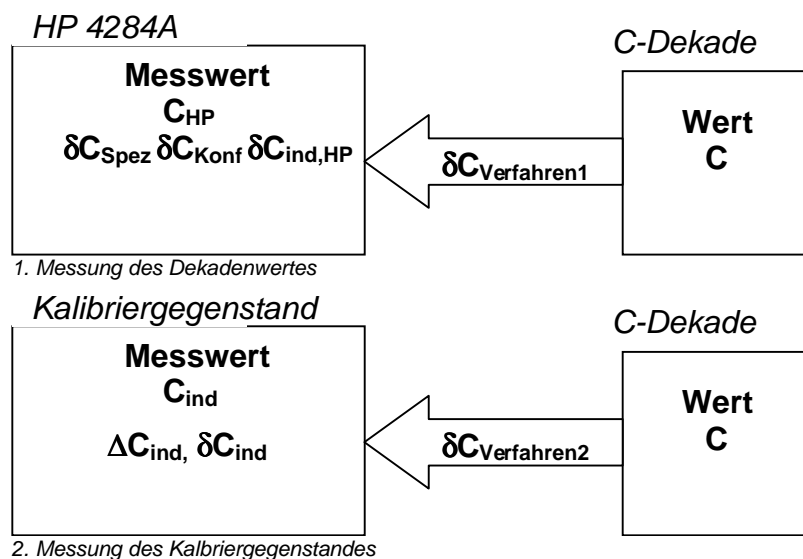
Zusammen mit der Messbrücke HP 4284A und schaltbaren variablen Kapazitäten (C-Dekaden) können im rückgeführten Bereich mit eingemessenen Normalen Kalibrierungen von Kapazitätsmessgeräten durchgeführt werden.

Dekade	Typ	Bereich	Prüfmittelnummer
GenRad 1413	koaxialer Anschluss	1pF bis 1µF	KL30104
Time 1071	Bananenbuchsen	10 pF bis 100 µF	KL30001

Zur Kalibrierung an Zwischenwerten (abweichende Werte von den kalibrierten Werten der GenRad Standardkapazitäten) wird in aufeinanderfolgenden Messungen zunächst der genaue Wert der Dekade bestimmt und dieses Ergebnis als Kalibrierwert für den Kalibriergegenstand herangezogen. Messaufbau und -Verfahren zur Direktmessung der Kapazität entsprechen den in Kapitel XII.1.1 beschriebenen Details.

Offset-Korrekturmessungen werden auf der Anschlussebene der Dekaden durchgeführt. Die Time-Dekade wird dreipolig, zwischen HIGH und LOW und Verbindung der Gehäuseklemme mit einem geerdeten Punkt der Messschaltung, angeschlossen. Nach der Messung der Dekade an HP4284A wird mit der so eingemessenen Kapazität die Abweichung des Messwertes des Kalibriergegenstand vom Kalibrierwert bestimmt. Bei Anschluss des Kalibriergegenstandes ist zur Minimierung der Messunsicherheit auf identischen Messaufbau und -anschluss zu achten.

XI.2.2 Messunsicherheitsbudget



Abgelesene Größen:

C_{ind} Gemessener (abgelesener) Wert am Kalibriergegenstand bei Messung der Dekade

C_{HP} Gemessener Wert an HP4284A bei Messung der Dekade. Kalibrierwert für den Kalibriergegenstand

Ergebnisse werden über eine Stichprobenlänge $n > 2$ reproduziert und gemittelt. Die Standardunsicherheit wird geometrisch zu den Unsicherheitsbeträgen addiert (Typ A Unsicherheiten).

Gesuchte Größe:

ΔC_{ind} Abweichung des abgelesenen Wertes am Kalibriergegenstand vom Kalibrierwert der Kapazität

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

$$W_{rel}(\Delta C) = 2 \frac{u(\Delta C)}{C_{HP}} \quad (\text{bezogen auf den Kalibrierwert})$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XII.2 Kalibrieren von Kapazitätsmessgeräten an Zwischenwerten.XLS“

zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe: 5..5.11	erstellt von: PF am: 08.01.09	geprüft/ genehmigt von: PF am: 08.01.09	Kapitel XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	Seite 2 von 11
----------------------------	--	--	--	--------------------------

XI.2.3 Wechselstromwiderstand

Neben einer Kalibrierung im Kapazitäts- und Induktivitätsbereich wird die Anzeige von LCR-Messgeräten in der Regel ebenfalls im Wechselstromwiderstandsbereich geprüft und kalibriert. Dazu stehen Kalibrierwiderstände des Typs Burster 1240 zur Verfügung. Ähnlich zur Kalibrierung von Kondensatoren mit selbst eingemessenen Normalen werden die Widerstandswerte und v.a. deren Frequenzverhalten im NF-Bereich über die Messbrücke Hewlett Packard 4284A ermittelt. Zur Verifikation dieser Annahme wurden zusätzlich in indirekter Messung über Wechselstromquelle (Fluke 5700A) und Präzisionsmultimeter (HP 3458) Widerstandswerte und Frequenzverhalten mit den Messungen des LCR-Meters verglichen.

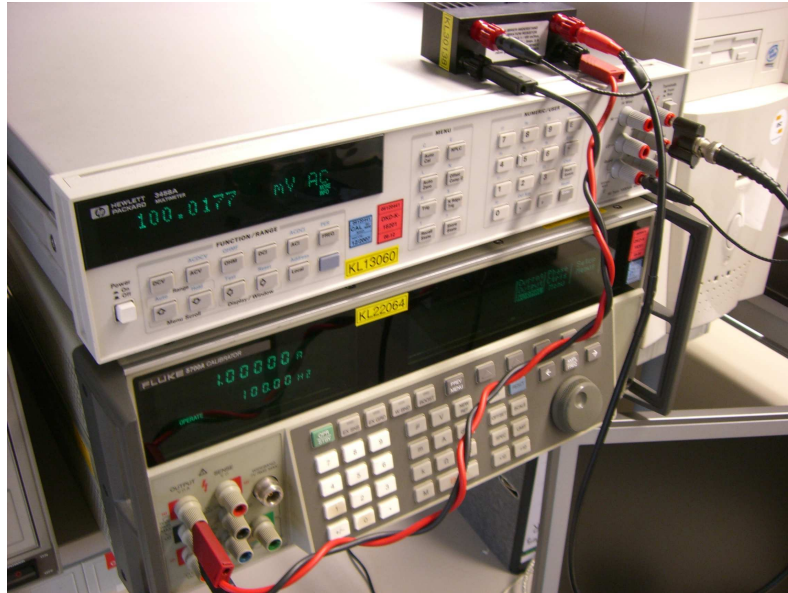


Bild XI.2.3.1 Verifikation der AC-Widerstandswerte

Die Verifikation liefert dazu für kleine induktive Lasten am Kalibrator (ca. bis 100 Ω, <400 μH) und kleiner Impedanzabweichungen zwischen Quelle und Multimeter sehr gute Übereinstimmungen der Frequenzgangkorrekturen (bezogen auf DC). Darüber wurden die Ergebnisse aufgrund der unbekanntenen Einflüsse der Last am Kalibrator mit einem Bezugspunkt von 100 Hz ermittelt.

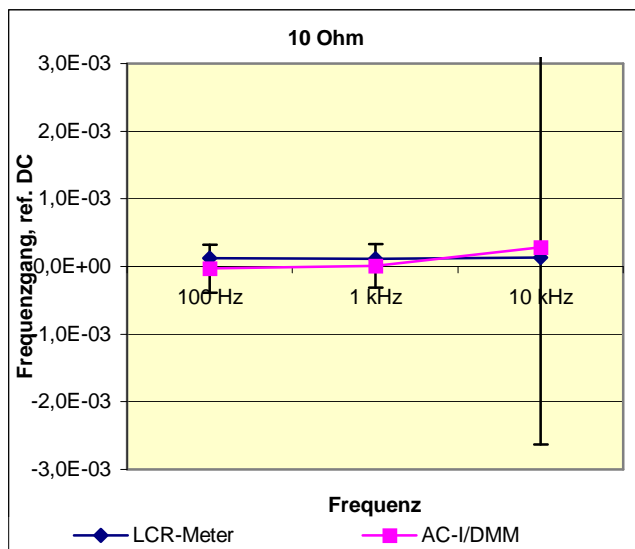


Bild XI.2.3.2a Wechselstromwiderstand 10 Ω Verifikation

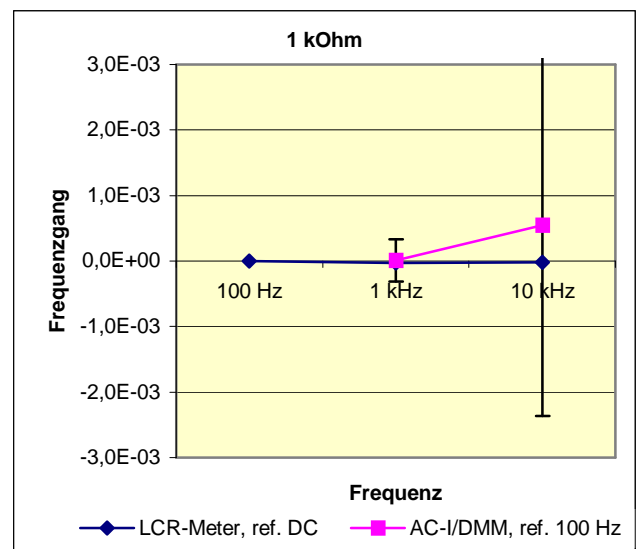


Bild XI.2.3.2b Wechselstromwiderstand 1 kΩ Verifikation

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5..5.11	von: PF am: 08.01.09	von: PF am: 08.01.09	XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	3 von 11

Modellgleichung:

Die Modellgleichung für die Kalibrierung von Wechselstromwiderstand¹ $\leq 100 \Omega$ auf Basis der Verifikationsmessung formuliert sich zu

$$R_{Anz} - \Delta R = R_{AC} \cdot K_U K_I K_{Drift} K_{Rin}$$

und $> 100 \Omega$ auf Basis der Messungen am LCR Messgerät HP 4284A

$$R_{Anz} - \Delta R = R_{AC} \cdot K_R K_{Drift}$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der mitgeltenden Excel-Tabelle

- „Messunsicherheiten - Kapitel XI - Kalibrieren von Wechselstromwiderstand.XLS“

zu entnehmen, die Ergebnisse werden im Leistungsnachweis aufgeführt.

¹ sowohl Widerstände und Messgeräte

Ausgabe: 5..5.11	erstellt von: PF am: 08.01.09	geprüft/ genehmigt von: PF am: 08.01.09	Kapitel XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	Seite 4 von 11
----------------------------	--	--	--	--------------------------

XI.3 Kalibrieren von Induktivitätsmessgeräten mit Standardinduktivitäten

XI.3.2 Messaufbau

Für die Kalibrierung stehen folgende Normale (*Standard Inductor, Bild XI.3*) von General Radio zur Verfügung:

Nennwert	Typ	Seriennummer	Prüfmittelnummer
100 μ H	1482-B	9370	KL30069
1 mH	1482-E	19605	KL30032
10 mH	1482-H	19512	KL30048
100 mH	1482-L	5866	KL30068
1 H	1482-P	19647	KL30047

Die Modelle besitzen drei Buchsen, zwischen HIGH und LOW liegt die Standardinduktivität (Bild XI.3b) während die dritte mit dem Gehäuse verbunden ist. Bei den Messungen ist die Klemme LOW mit der zugehörigen Lasche der Gehäuseklemme zu verbinden. Angaben aus dem Kalibrierschein der Normale (Sollwerte, Teststromstärke, Frequenz) und herstellerspezifische Geräteangaben werden befolgt. Alle relevanten Details zum Messaufbau (Testkabel, Messstromstärke, -Frequenz) werden im Kalibrierschein vermerkt. Zum Anschluss dient ein speziell angefertigter Messadapter (s. XI.1) der unter die HIGH/ LOW Buchsen geklemmt und koaxial belegt werden kann. Eine Kurzschlussmessung zur Offsetkorrektur von Leitungslängen ist durch Messung mit einer Kurschlussbrücke über den Messadapter oder durch umlegen der LOW-Lasche am Normal möglich. Gleichbleibende Übergangswiderstände werden durch Anziehen der Schraubklemmen mit 3/8 Zoll- bzw. Eigenbau-Vielzahnwüssen bei einem Drehmoment von 0,4 Nm erreicht.



Bild XI.3a Genrad Induktivitätsstandard

Das 100 μ H Standard besitzt insgesamt 6 Anschlussbuchsen. Die zu messende Brücke ist dabei mit den oberen Anschlussbuchsen entsprechend HIGH und LOW zu verbinden. Die OFFSET Korrektur und Nullmessung erfolgt durch Umlegen der unteren Lasche von L auf L₀, wodurch die Zuleitungsinduktivität bestimmt werden kann und von der gemessenen Induktivität in Laschenstellung L abgezogen wird (Bild XI.3c).

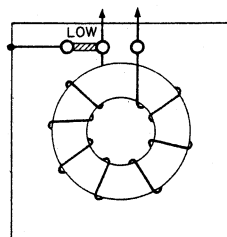


Bild XI.3b 3-poliges Induktivitäts-Standard

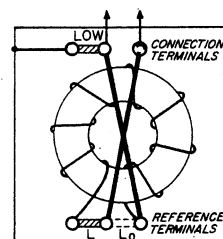
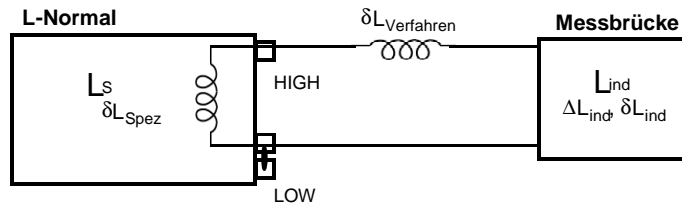


Bild XI.3c GR1482-E

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5..5.11	von: PF am: 08.01.09	von: PF am: 08.01.09	XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	1 von 11

XI.3.3 Messunsicherheitsbudget
Skizze des Messaufbaus:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

L_S ermittelter Wert der Standardinduktivität (Kalibrierwert) zum Zeitpunkt der letzten Kalibrierung. Die tatsächliche Abweichung des Kalibrierwertes des Normals vom richtigen Wert wird zu Null mit den aus dem Kalibrierschein entnehmbaren Unsicherheitsintervallen angenommen (normalverteilt mit $k=2$, s. Angabe im Kalibrierschein)

L_{ind} Gemessener Induktivitätswert am Kalibriergegenstand
Ergebnisse der Induktivitätssmessung werden über eine Stichprobenlänge $n>2$ reproduziert und gemittelt. Die Standardabweichung wird geometrisch zu den Unsicherheitsbeträgen addiert (Typ A Unsicherheiten).

Gesuchte Größe:

ΔL_{ind} Abweichung der Anzeige des Kalibriergegenstandes vom Kalibrierwert des Normals

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

$$W_{rel}(\Delta L_{ind}) = 2 \frac{u(\Delta L_{ind})}{l_s} \text{ (bezogen auf den Kalibrierwert)}$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XI.3 Kalibrieren von Induktivitätsmessgeräten mit Standardinduktivitäten.XLS“
zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe: 5..5.11	erstellt von: PF am: 08.01.09	geprüft/genehmigt von: PF am: 08.01.09	Kapitel XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	Seite 2 von 11
----------------------------	--	---	--	--------------------------

XI.4 Kalibrieren von Induktivitätsmessgeräten an Zwischenwerten mit selbst eingemessenen Normalen

XI.4.1 Messaufbau

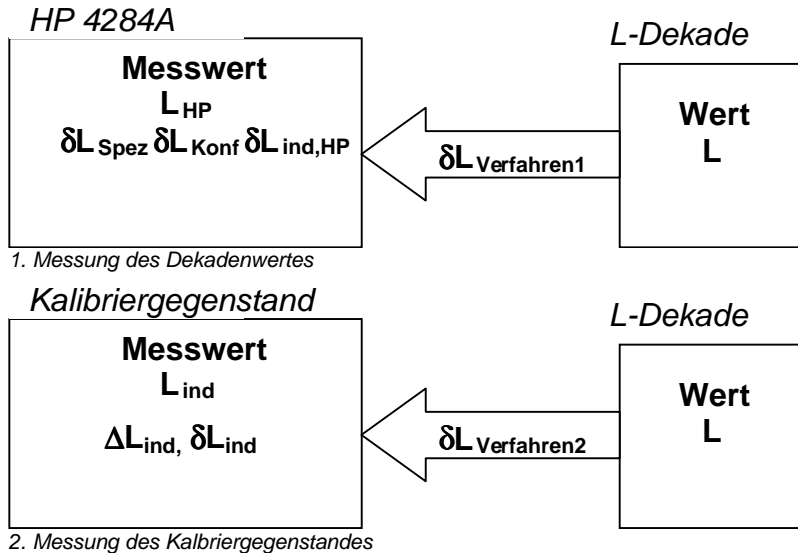
Zusammen mit der Messbrücke HP 4284A und schaltbaren variablen Induktivitäten (L-Dekaden) können im rückgeführten Bereich Kalibrierungen von Induktivitätsmessgeräten analog XI.2 durchgeführt werden. Zum Beispiel an

Dekade	Typ	Bereich	Prüfmittelnummer
nbn 3-250	Bananenbuchsen	1µH bis 4 H	KL30025

Zur Kalibrierung an Zwischenwerten (abweichende Werte von den kalibrierten Werten der GenRad Standardinduktivitäten) wird in aufeinanderfolgenden Messungen zunächst der genaue Wert der Dekade bestimmt und dieses Ergebnis als Kalibrierwert für den Kalibriergegenstand herangezogen. Messaufbau und -Verfahren zur Direktmessung der Kapazität entsprechen den in Kapitel XII.2.1 beschriebenen Details.

Offset-Korrekturmessungen werden auf der Anschlussebene der Dekade durchgeführt. Die Dekade wird dreipolig, zwischen HIGH und LOW und Verbindung der Gehäuseklemme mit einem geerdeten Punkt der Messschaltung, angeschlossen. Nach der Messung der Dekade an HP4284A wird mit der so eingemessenen Induktivität (selbst eingemessenes Normal) die Abweichung des Messwertes des Kalibriergegenstand vom Kalibrierwert bestimmt. Bei Anschluss des Kalibriergegenstandes ist zur Minimierung der Messunsicherheit auf identischen Messaufbau und -anschluss zu achten (1 H bei 10 kHz ist wegen der Resonanzfrequenz nur eingeschränkt möglich).

XI.4.2 Messunsicherheitsbudget



Abgelesene Größen:

L_{ind} Gemessener (abgelesener) Wert am Kalibriergegenstand bei Messung der Dekade

L_{HP} Gemessener Wert an HP4284A bei Messung der Dekade. Kalibrierwert für den Kalibriergegenstand

Ergebnisse werden über eine Stichprobenlänge $n > 2$ reproduziert und gemittelt. Die Standardunsicherheit wird geometrisch zu den Unsicherheitsbeträgen addiert (Typ A Unsicherheiten).

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5..5.11	von: PF am: 08.01.09	von: PF am: 08.01.09	XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	1 von 11

Gesuchte Größe:

ΔL_{ind} Abweichung des abgelesenen Wertes am Kalibriergegenstand vom Kalibrierwert der Kapazität

Gemäß DKD-3:2002 Abschnitt4 ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis C beizuordnende relative erweiterte Messunsicherheit (k=2):

$$W_{rel}(\Delta L) = 2 \frac{u(\Delta L)}{l_{HP}} \text{ (bezogen auf den Kalibrierwert)}$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XI.4 Kalibrieren von Induktivitätsmessgeräten an Zwischenwerten.XLS“

zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe: 5..5.11	erstellt von: PF am: 08.01.09	geprüft/genehmigt von: PF am: 08.01.09	Kapitel XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	Seite 2 von 11
----------------------------	--	---	--	--------------------------

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5..5.11	von: PF am: 08.01.09	von: PF am: 08.01.09	XI Kalibrieren von LC-Messgeräten.	3 von 11