



河北省地方计量技术规范

JJF (冀) 159-2019

数字式 LCR 测量仪校准规范

Calibration Specification of Digital LCR Measuring Instrument

2019-04-18 发布

2019-07-01 实施

河北省市场监督管理局 发布

数字式 LCR 测量仪校准规范

Calibration Specification of Measuring Digital

LCR Instrument

JJF (冀) 159-2019

归口单位：河北省市场监督管理局

起草单位：河北省计量监督检测研究院

本规范主要起草人：

白力军（河北省计量监督检测研究院）

李德亨（河北省计量监督检测研究院）

赵冬松（河北省计量监督检测研究院）

李凌云（河北省计量监督检测研究院）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	1
4.1 工作频率.....	1
4.2 信号电平.....	1
4.3 测量参量.....	2
4.4 损耗因数.....	2
4.5 内部直流偏置.....	2
5 校准条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测量标准及其他设备.....	2
6 校准项目和校准方法	3
6.1 校准项目	3
6.2 校准方法	3
7 校准结果表达.....	8
8 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量结果不确定度评定示例	9
附录 B 校准证书内页格式	12

引言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

数字式 LCR 测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于工作频率范围为 20Hz~1MHz 的数字式 LCR 测量仪（以下简称 LCR 测量仪）的校准，也适用于数字式电感表、数字式电容表的校准。

2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJG 441—2008 交流电桥

SJ/T 10298—1991 LCR 测量仪测试方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本规范。

3 概述

数字式 LCR 测量仪，也称自动阻抗测量仪，主要用于测量电路或电子元器件的电感(L)、电容(C)、电阻(R)等参数的测量仪器。通常由信号源、电桥电路、矢量电压比检测器和数字控制及显示部分组成。其测试端口分别有两端、三端、四端对及五端。

LCR 的测量仪一般采用电流电压法测试技术，测量复数电压与复数电流计算阻抗量值。原理如图 1：当 DUT(Device Under Test)接入电路时，放大器的负反馈配置自动使得 OP 输入端虚地。 V_x 准确测定 DUT 两端电压（DUT 的 Low 电位是 0）， V_r 与 R_r 测得 DUT 电流 I_x ，由此可计算 Z_x 。

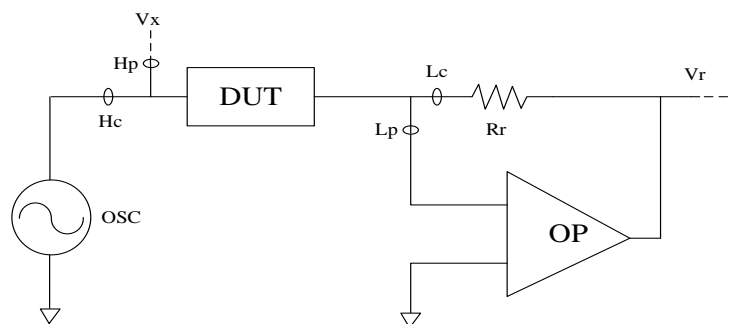


图 1 LCR 测量仪原理图

图中： V_x ——矢量电压表；
 V_r ——矢量电压表；
 R_r ——参考电阻。

4 计量特性

4.1 工作频率

4.1.1 工作范围：20Hz~1MHz。

4.1.2 最大允许误差： $\pm 0.01\%$ 。校准时以生产厂家仪器说明书为准。

4.2 信号电平

4.2.1 工作范围：10mV~10V，固定或可调。固定电压一般为 1V。

4.2.2 最大允许误差：±10%。

4.3 测量参量

4.3.1 电感测量范围：0.001μH~10kH；

4.3.2 电容测量范围：0.0001pF~1F；

4.3.3 电阻测量范围：0.0001Ω~10MΩ；

LCR 测量仪根据电感、电容、电阻三个参数确定其准确度等级的，其准确度等级和最大允许误差见表 1：

表 1 数字式 LCR 测量仪准确度等级及最大允许误差

准确度等级	0.02 级	0.05 级	0.1 级	0.2 级
最大允许误差	±0.02%	±0.05%	±0.1%	±0.2%
准确度等级	0.5 级	1 级	2 级	5 级
最大允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%

4.4 损耗因数

4.4.1 测量范围：0.0001~1。

4.4.2 最大允许误差：±10%，校准时以生产厂家仪器说明书为准。

4.5 内部直流偏置

4.5.1 偏置电压：(0~20)V，最大允许误差：±0.5%。

4.5.2 偏置电流：(0~2)mA，最大允许误差：±0.5%。

注：偏置电压、偏置电流误差以 LCR 测量仪说明书为准，不作合格性判定。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温湿度条件见表 2：

表 2 环境温湿度条件

准确度等级	温度/℃	相对湿度/%
0.02 级	20±1	50±10
0.05 级、0.1 级	20±2	50±20
0.2 级及以下	20±2	50±30

5.1.2 供电电源：220V±22V，50Hz±1Hz；

5.1.3 周围无影响校准系统正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

校准用计量标准器具的不确定度不应超过被校仪器不确定度或最大允许误差的三分之一，还应满足表 3 要求：

表 3 校准用主要设备

序号	名称	测量范围	允许误差
1	标准电容器(箱)	1pF~1F	校准频率：100Hz(≥10μF时)、1kHz、1MHz。 允许误差：100Hz、1kHz为：±(0.01%~0.1%)； (1~1000)pF 在(1~13)MHz 为：±(0.1%~1%)。

表 3 (续) 校准用主要设备

序号	名称	测量范围	允许误差
2	交/直流标准电阻器(箱)	0.001Ω~1MΩ	1kHz 时: ±(0.01%~0.05%); 1MHz 时: ±(0.05%~0.5%)。
3	标准电感器(箱)	1μH~1H	±(0.01%~0.5%)
4	标准损耗因数箱	0.0001~1	±1%D±0.5×10 ⁻⁴
5	频率计数器	10Hz~1MHz	±1×10 ⁻⁵
6	数字多用表或有 效值电压表	电压(DC~1MHz): 1 mV~20V; 频率: 20Hz~1MHz; 输入阻抗: ≥10MΩ。	直流电压: ±1×10 ⁻³ ; 交流电压: ±3×10 ⁻² 。

注: 标准电容、标准电阻和标准电感连接端分别有两端、三端、四端对。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 4:

表 4 校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	工作频率	3.1	5.2.2
2	信号电平	3.2	5.2.3
3	电感、电容、电阻	3.3	5.2.4
4	损耗因数	3.4	5.2.5
5	内部直流偏置	3.5	5.2.6

6.2 校准方法

LCR 测量仪应在校准条件下放置 8h 以上。校准前, 应根据说明书的要求进行预热, 一般不少于 30min。

6.2.1 外观检查

LCR 测量仪铭牌、标志应清晰、正确、完整; 机壳、端钮等不应有碰伤或松动现象; 附件和使用说明书齐全。

6.2.2 通电检查

通电后 LCR 测量仪显示器、各指示灯应能正常指示, 各种功能应正常; 各种开关和按键应能正常工作。

6.2.3 工作频率

6.2.3.1 校准点的选取

无具体规定时, 在 LCR 测量仪工作频率范围内只校准 10ⁿ (n 为整数, 且 n≥1) 点, 包括最低和最高频率点, 固定频率的 LCR 测量仪应逐点校准。同时参考被校 LCR 测量仪使用说明书中对校准点的建议, 并可根据实际情况和被校单位的要求选取校准点。

6.2.3.2 示值误差

选用合适的线缆连接 LCR 测量仪的测量端和频率计数器的输入端, 如图 2 所示。

按照 5.2.2.1 选取校准点, 被校 LCR 测量仪频率示值误差按公式 (1)、(2) 计算:

$$\Delta f = f_0 - f_s \quad (1)$$

$$\delta_f = (\Delta f / f_s) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δf ——LCR 测量仪频率绝对误差，Hz；

f_0 ——LCR 测量仪频率的标称值，Hz；

f_s ——频率计数器的显示值，Hz；

δ_f ——LCR 测量仪频率的相对误差，%。

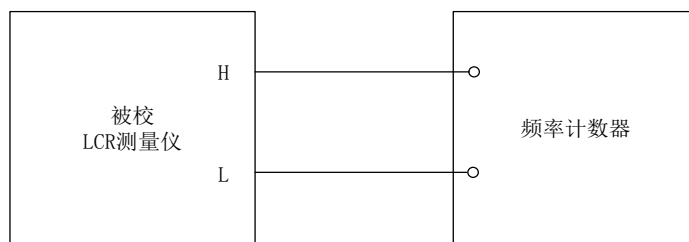


图 2 频率校准接线图

6.2.4 信号电平

6.2.4.1 校准点的选取

在选定频率点校准 LCR 测量仪的信号电平，一般只选取 1V 作为校准点，或者参考被校 LCR 测量仪使用说明书中对校准点的建议，并可根据实际情况和被校单位的要求选取校准点。

6.2.4.2 示值误差

选用合适的线缆连接 LCR 测量仪的测量端和电压表的输入端如图 3 所示：

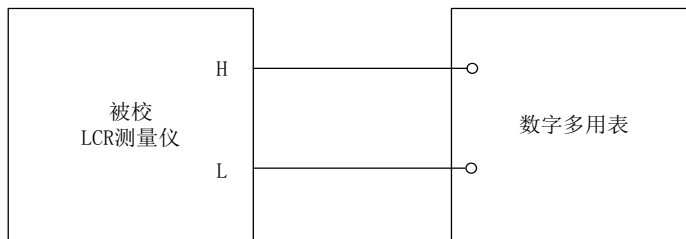


图 3 电压校准接线图

按照 5.2.3.1 选取校准点，被校 LCR 测量仪信号电平示值误差按公式 (3)、(4) 计算：

$$\Delta V = V_0 - V_s \quad (3)$$

$$\delta_v = (\Delta V / V_s) \times 100\% \quad (4)$$

式中：

ΔV ——LCR 测量仪信号电平的绝对误差，V；

V_0 ——LCR 测量仪信号电平的标称值，(V)；

V_s ——电压表的显示值，(V)。

δ_v ——LCR 测量仪信号电平的相对误差，%。

6.2.5 电感、电容、电阻的校准

6.2.5.1 校准条件的选择和通用操作：

a) 工作频率的选择：应按 LCR 测量仪说明书所规定的频率或用户要求的频率下校准。若无此规定，可按表 4 列出的 LCR 标准量值选择校准工作频率。

表 4 根据 LCR 标准量值选择工作频率

L	C	R	校准工作频率
<1mH	<1000pF	<10k Ω	1MHz
1mH~1H	10pF~1 μ F	1 Ω ~1M Ω	1kHz
>1H	>1 μ F	>1M Ω	100Hz, 120Hz

b) 信号电平的选择：应按 LCR 测量仪说明书规定选择信号电平，若无此规定，应在标准器允许使用的额定电压值范围内，选择使 LCR 测量仪具有最多稳定显示位数的最小电平下进行校准，通常为 1V。

c) 基本量程的选择：应根据 LCR 测量仪说明书的规定选择基本量程，无此项规定时，一般将准确度最高的量程作为基本量程，有自动量程的可选用自动量程。

d) 等效电路的选择：应根据 LCR 测量仪说明书的规定进行，如无此规定，因阻抗值与频率有关，所以应遵循阻抗低用串联等效电路，阻抗高用并联等效电路校准的原则。通常阻抗值低于 1k Ω 时采用串联等效电路，阻抗值高于 1k Ω 时采用并联等效电路。一般情况下，电感选用串联等效电路；电容 1pF~1 μ F 选用并联等效电路，大于 1 μ F 选用串联等效电路；电阻 1 Ω ~1k Ω 时选用串联等效电路，大于 1k Ω 选用并联等效电路。有等效电路自动选择功能的可选此功能。

e) 开路 and 短路校零操作：有校零功能的 LCR 测量仪首先进行开路或短路校零操作。无校零功能的，应在开路情况下测量并记录电容的初始示值 C_0 ；在短路情况下测量并记录电感、电阻的初始示值 L_0 和 R_0 。

f) 直流偏置设置为“关”，测量速度选择“慢速”。

5.2.4.2 校准点的选取

若无具体要求，在 LCR 测量仪的量程范围内，选择 10^n （“n”为自然整数）的量值点进行校准。同时参考 LCR 测量仪使用说明书中对校准点的建议，并可根据实际情况和用户的要求选取校准点。

5.2.4.3 电感

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器，按 5.2.4.1 的规定进行相应设置，根据标准器的端口形式不同，采用图 4~图 7 中不同的接线方式。

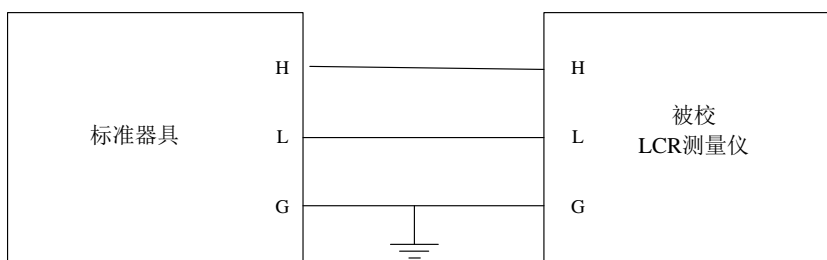


图 4 直接测量法连接示意图

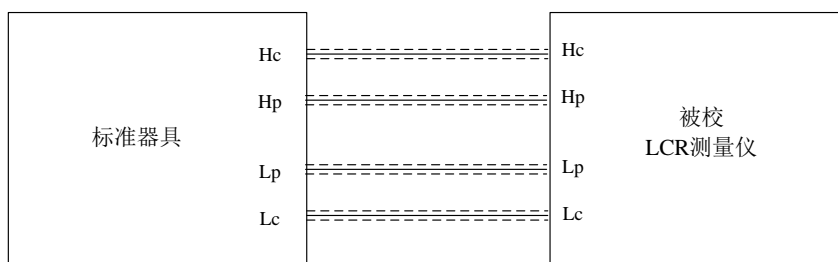


图5 四端口结构标准器连接示意图

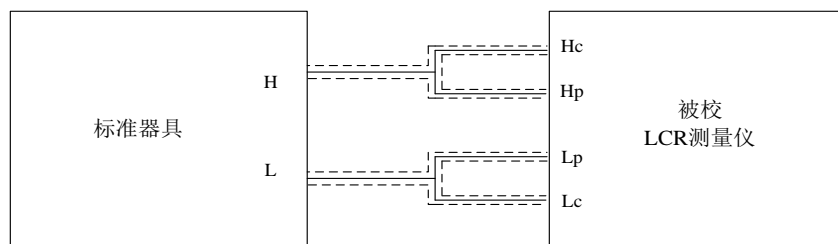


图6 两端口结构标准器连接示意图

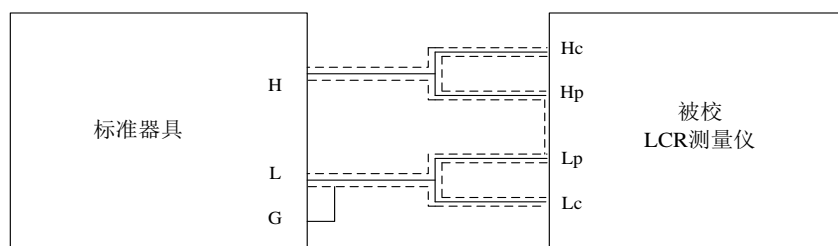


图7 三端结构标准器连接示意图

b) 按照 5.2.4.2 选取校准点, 读取并记录 LCR 测量仪电感示值, 其示值误差按公式 (5)、(6) 计算:

$$\Delta L = L_x - L_0 - L_s \quad (5)$$

$$\delta_L = (\Delta L / L_s) \times 100\% \quad (6)$$

式中:

ΔL ——LCR 测量仪电感示值的绝对误差, H;

L_x ——LCR 测量仪电感显示值, H;

L_0 ——LCR 测量仪电感初始示值, 有校零功能的 LCR 测量仪, 计算时不包含该项, H;

L_s ——标准电感器 (箱) 的标准值, H;

δ_L ——LCR 测量仪电感示值的相对误差, %。

6.2.5.4 电容

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器, 按 5.2.4.1 的规定进行相应设置, 根据标准器的端口形式不同, 采用图 3~图 6 中不同的接线方式。

b) 按照 5.2.4.2 选取校准点, 读取并记录 LCR 测量仪电容示值, 其示值误差按公式 (7)、(8) 计算:

$$\Delta C = C_x - C_0 - C_s \quad (7)$$

$$\delta_c = (\Delta C / C_s) \times 100\% \quad (8)$$

式中:

ΔC ——LCR 测量仪电容示值的绝对误差, F;

C_x ——LCR 测量仪电容显示值, F;

C_0 ——LCR 测量仪电容初始示值，有校零功能的 LCR 测量仪，计算时不包含该项，F；
 C_s ——电容标准的标准值，F；
 δ_c ——LCR 测量仪电容示值的相对误差，%。

6.2.5.5 电阻

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器，按 5.2.4.1 的规定进行相应设置，根据标准器的端口形式不同，采用图 3~图 6 中不同的接线方式。

b) 按照 5.2.4.2 选取校准点，读取并记录 LCR 测量仪电阻示值，其示值误差按公式 (9)、(10) 计算：

$$\Delta R = R_x - R_0 - R_s \quad (9)$$

$$\delta_R = (\Delta R / R_s) \times 100\% \quad (10)$$

式中：

ΔR ——LCR 测量仪电阻示值的绝对误差， Ω ；

R_x ——LCR 测量仪电阻显示值， Ω ；

R_0 ——LCR 测量仪电阻初始示值，有归零功能的 LCR 测量仪，计算时不包含该项， Ω ；

R_s ——标准电阻的标准值， Ω ；

δ_R ——LCR 测量仪电阻示值的相对误差，%。

6.2.6 损耗因数

6.2.6.1 校准点的选取

在 LCR 测量仪损耗因数的量程范围内均匀选取 3~10 个点进行校准。

6.2.6.2 示值误差

采用直接测量法进行校准。从表 3 中选择标准损耗因数箱，根据标准器的端口形式不同，采用图 3~图 6 中不同的接线方式。按照选取的校准点，读取并记录 LCR 测量仪损耗因数示值，其示值误差一般用绝对误差形式表示，按公式 (11) 计算：

$$\Delta D = D_x - D_s \quad (11)$$

式中：

ΔD ——LCR 测量仪损耗因数示值绝对误差；

D_x ——LCR 测量仪损耗因数显示值；

D_s ——损耗因数标准器的标准值。

6.2.7 内部直流偏置

具有内部直流偏置的仪器进行此项校准，根据 LCR 测量仪的说明书确定其直流偏压(偏流)值进行设置，按图 2 连接 LCR 测量仪的测量端和数字多用表的输入端。

6.2.7.1 偏置电压

其示值误差按公式 (12)、(13) 计算：

$$\Delta V = V_0 - V_s \quad (12)$$

$$\delta_v = (\Delta V / V_s) \times 100\% \quad (13)$$

式中：

ΔV ——LCR 测量仪偏置电压绝对误差，V；

V_0 ——LCR 测量仪偏置电压显示值，V；

V_s ——电压表显示的偏值电压实际值，V；

δ_v ——LCR 测量仪偏置电压相对误差，%。

6.2.7.2 偏置电流

其示值误差按公式 (14)、(15) 计算:

$$\Delta I = I_0 - I_S \quad (14)$$

$$\delta_I = (\Delta I / I_S) \times 100\% \quad (15)$$

式中:

ΔI ——LCR 测量仪偏置电流绝对误差, A;

I_0 ——LCR 测量仪偏置电流显示值, A;

I_S ——电流表显示的偏值电流实际值, A,

δ_I ——LCR 测量仪偏置电流相对误差, %。

7 校准结果

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书应至少包括以下信息:

- a) 标题, 如“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书或报告的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明; _____
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

8 复校时间间隔

用户根据使用情况自主决定, 一般建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

测量结果不确定度评定示例

A.1 测量过程

用电感箱、电容箱、交直流电阻箱作标准，将电感箱或电容箱或电阻箱与被校 LCR 测量仪对接，在被校 LCR 测量仪上读得相应得读数，被校 LCR 测量仪示值减去标准值得被校 LCR 测量仪的示值误差。由此可知，其示值的测量不确定度来源于被校 LCR 测量仪读数和电感箱或电容箱、电阻箱。下面选取 100mH、100 μ F、1k Ω 为例进行示值测量结果的不确定评定。

A.2 测量模型

$$\text{电感: } L_X = L_N + \Delta L$$

式中： ΔL ——被校电感示值误差；
 L_X ——被校电感显示读数；
 L_N ——标准电感值。

$$\text{电容: } C_X = C_N + \Delta C$$

式中： ΔC ——被校电容示值误差；
 C_X ——被校电容显示读数；
 C_N ——标准电容值。

$$\text{电阻: } R_X = R_N + \Delta R$$

式中： ΔR ——被校电阻示值误差；
 R_X ——被校电阻显示读数；
 R_N ——标准电阻值。

A.3 校准结果最佳估计值的计算

由于整个校准装置稳定性、重复性很好，每个被校点只取一次测量值作为其校准结果，故校准结果的最佳估计值为：

$$\text{电感: } L_X = L_N + \Delta L$$

$$\text{电容: } C_X = C_N + \Delta C$$

$$\text{电阻: } R_X = R_N + \Delta R$$

A.4 方差和传播系数

A.4.1 电感

传播系数：

$$c(L_N) = \partial f / \partial L_N = 1$$

$$c(\Delta L) = \partial f / \partial \Delta L = 1$$

方差：

$$u^2(L_X) = c^2(L_N) u^2(L_N) + c^2(\Delta L) u^2(\Delta L)$$

A.4.2 电容

传播系数：

$$c(C_N) = \partial f / \partial C_N = 1$$

$$c(\Delta C) = \partial f / \partial \Delta C = 1$$

方差:

$$u^2(C_X) = c^2(C_N) u^2(C_N) + c^2(\Delta C) u^2(\Delta C)$$

A. 4.3 电阻

传播系数:

$$c(R_N) = \partial f / \partial R_N = 1$$

$$c(\Delta R) = \partial f / \partial \Delta R = 1$$

方差:

$$u^2(R_X) = c^2(R_N) u^2(R_N) + c^2(\Delta R) u^2(\Delta R)$$

A. 5 标准不确定度一览表（见下表）

表 1 标准不确定度一览表

项目	标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$
电感	$u(L_N)$	电感箱	$2.89 \times 10^{-2} \text{mH}$
	$u(\Delta L)$	测量重复性	$3.13 \times 10^{-3} \text{mH}$
电容	$u(C_N)$	电容箱	$1.15 \times 10^{-2} \mu\text{F}$
	$u(\Delta C)$	测量重复性	$2.01 \times 10^{-3} \mu\text{F}$
电阻	$u(R_N)$	电阻箱	$5.77 \times 10^{-5} \text{k}\Omega$
	$u(\Delta R)$	测量重复性	$9.19 \times 10^{-6} \text{k}\Omega$

A. 6 计算标准不确定度分量

A. 6.1 电感箱、电容箱、电阻箱引入的不确定度分量 $u(S)$

标准装置的最大允许误差引起的标准不确定度分量 $u(S)$ ，采用 B 类方法进行评定。服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则： $u(L) = \frac{a}{k}$ ，计算结果如下：

$$\text{电感: } u(L) = \frac{a}{k} = \frac{0.05\% \times 100}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-2} \text{mH}$$

$$\text{电容: } u(C) = \frac{a}{k} = \frac{0.02\% \times 100}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-2} \mu\text{F}$$

$$\text{电阻: } u(R) = \frac{a}{k} = \frac{0.01\% \times 1}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5} \text{k}\Omega$$

A. 6.2 LCR 测试仪测量重复性给出的不确定度分量

用 LCR 测试仪分别对电感箱、电容箱、交直流电阻箱的 100 mH、100 μ F、1k Ω 点进

行 10 次重复测量，测量数据如下表（表 2）：

由于 LCR 测试仪电感、电容、电阻分辨力引入的不确定度分量已包含在重复性的测量列中，故不单独计算。

表 2 测量数据一览表

测量点 测量次数	实际值 x_i		
	电感：100mH	电容：100 μ F	电阻：1k Ω
1	100.058	99.963	1.00020
2	100.060	99.965	1.00021
3	100.062	99.962	1.00019
4	100.058	99.966	1.00019
5	100.056	99.961	1.00020
6	100.056	99.967	1.00020
7	100.059	99.964	1.00022
8	100.052	99.965	1.00020
9	100.061	99.967	1.00020
10	100.054	99.964	1.00021
\bar{x}_i	100.0576	99.9644	1.000202
$s_i = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$	3.13×10^{-3} mH	2.01×10^{-3} μ F	9.19×10^{-6} k Ω

A.7 合成标准不确定度：

$$\text{电感： } u(L_X) = \sqrt{u^2(L_N) + u^2(\Delta L)} = 2.91 \times 10^{-2} \text{ mH}$$

$$\text{电容： } u(C_X) = \sqrt{u^2(C_N) + u^2(\Delta C)} = 1.17 \times 10^{-2} \mu\text{F}$$

$$\text{电阻： } u(R_X) = \sqrt{u^2(R_N) + u^2(\Delta R)} = 5.84 \times 10^{-5} \text{ k}\Omega$$

A.8 测量结果不确定度的报告表示

取包含因子 $k=2$ ，则 100 mH、100 μ H、1k Ω 点测量结果的扩展不确定度分别为：

$$\text{电感： } U = k \times u(L_X) = 5.8 \times 10^{-2} \text{ mH}$$

$$\text{电容： } U = k \times u(C_X) = 2.3 \times 10^{-2} \mu\text{F}$$

$$\text{电阻： } U = k \times u(R_X) = 1.2 \times 10^{-4} \text{ k}\Omega$$

换算成相对扩展不确定度：

$$\text{电感： } U_{\text{rel}} = 0.06\%$$

$$\text{电容： } U_{\text{rel}} = 0.023\%$$

$$\text{电阻： } U_{\text{rel}} = 0.012\%$$

附录 B

校准证书内页格式

一、工作频率校准：

标称频率	实际频率	示值误差

二、信号电平校准：

信号频率	标称电压	实际电压	示值误差

三、电感测量值校准：

测试频率	标准值	显示值	示值误差	测量不确定度

四、电容测量值校准：

测试频率	标准值	显示值	示值误差	测量不确定度

五、电阻测量值校准：

测试频率	标准值	显示值	示值误差	测量不确定度

六、损耗因数测量值校准：

测试频率	电容值	标准值	显示值	示值误差

七、内部直流偏置校准：

标称值	实际值	示值误差
