

贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) 61-2022

数字 LCR 测量仪校准规范

Calibration Specification for Digital LCR Measuring Instrument

20 XX-XX-XX 发布

20 XX-XX-XX 实施

贵州省市场监督管理局 发布

数字 LCR 测量仪校准规范

Calibration Specification for

Digital LCR Measuring Instrument

JJF (黔) 61—2022

归口单位：贵州省市场监督管理局

主要起草单位：贵州航天计量测试技术研究所

贵州省计量测试院

本规范委托贵州航天计量测试技术研究所负责解释

本规范主要起草人：

李金阳（贵州航天计量测试技术研究所）

黄贤武（贵州航天计量测试技术研究所）

邓 兵（贵州省计量测试院）

参加起草人：

王嵘嶙（贵州省计量测试院）

王伟伟（贵州航天计量测试技术研究所）

袁 文（贵州航天计量测试技术研究所）

韩 成（贵州省计量测试院）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(3)
5.1 LCR 测量仪的主、副参量	(3)
5.2 测试信号	(4)
6 校准条件	(4)
6.1 环境条件	(4)
6.2 测量标准及其他设备	(4)
7 校准项目和校准方法	(6)
7.1 校准项目	(6)
7.2 校准方法	(7)
8 校准结果表达	(12)
8.1 校准记录	(12)
8.2 校准证书	(12)
9 复校时间间隔	(13)
附录 A 校准原始记录格式	(14)
附录 B 校准证书内页格式	(16)
附录 C 校准不确定度评定示例	(18)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行编制。

数字 LCR 测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于工作频率 10 Hz~30 MHz, 准确度 0.01 级及以下的数字 LCR 测量仪(以下简称 LCR 测量仪)的校准, 也适用于数字电容表、数字电感表及数字宽频阻抗分析仪的校准。

本规范不适用于传统交流平衡式电桥和射频阻抗分析仪。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 2073-1990 损耗因数计量器具检定系统框图

JJG 2075-1990 电容计量器具检定系统框图

JJG 2076-1990 电感计量器具检定系统框图

SJ/T 10297-1991 LCR 测量仪技术条件

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; 凡是不注明日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 主参量 major parameter

工作频率范围内, 起主要作用的交流阻抗参量, 包含阻抗元件电感器 (L)、电容器 (C) 和电阻器 (R) 量值。

3.2 副参量 secondary parameter

工作频率范围内, 起次要作用的交流阻抗正交分量。这里特指电容器的损耗因数 (D) 量值。

4 概述

LCR 测量仪，又称为 LCR 数字电桥，是带有微处理器的自动测量电感器、电容器、电阻器等无源元件的 LCR 量值及其损耗因数等参量的测量仪器，供生产线上元件评估、实验室中元件筛选和阻抗元件计量使用。

按测量原理分为两类：一类是将计算机技术、数字电路技术、数据采集技术应用到传统交流电桥上，完成自动平衡、自动补偿、自动计算和数字显示等功能，工作频率上限 100 kHz。另一类是采用电压矢量比例法及自动平衡电桥法的测量技术，如图 1 所示，工作频率达到 30 MHz，由程控正弦波信号源、输入测量电路、放大器、精密量程电阻、移相器、数模转换器和转换开关、相敏检波器、积分器、微处理器和显示器等部件组成；其工作测量原理：被测阻抗 Z_x 与内附标准交流阻抗 R_r 流过相同的电流，形成比例关系

$\frac{U_x}{Z_x} = \frac{U_r}{R_r}$ ，分别测量被测阻抗元件的实部与虚部（电阻和电抗），通过内部微处理器计

算公式 $Z_x = \frac{U_x}{U_r} R_r$ 计算得到被测阻抗，直接显示各类阻抗参数。

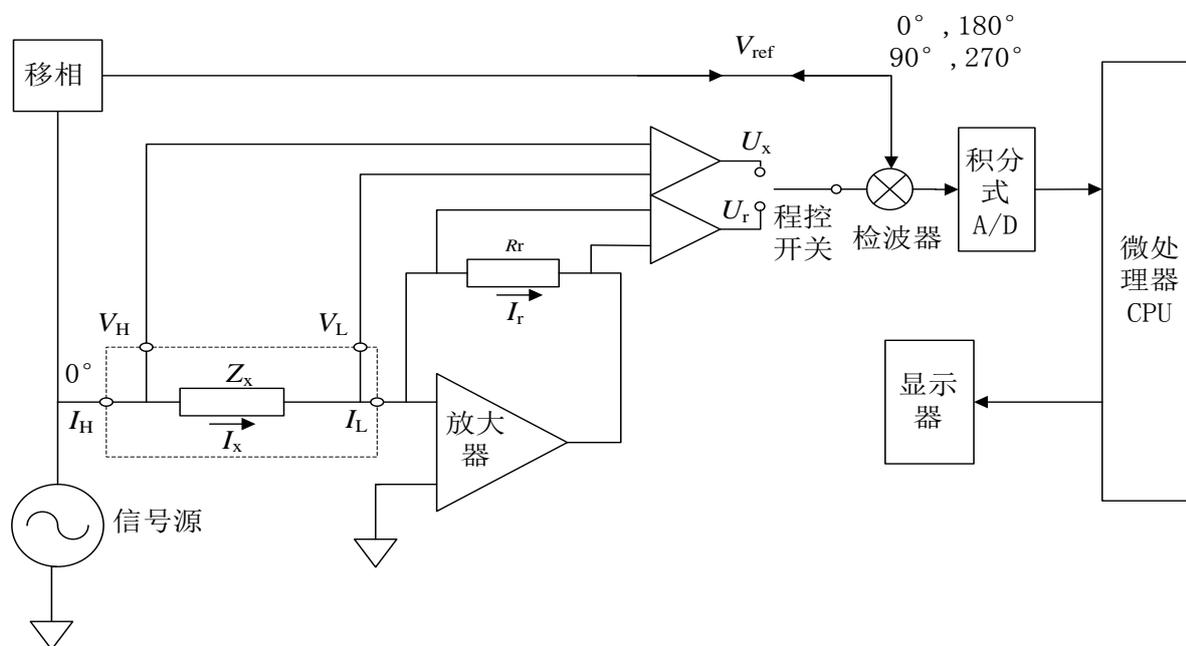


图 1 电压矢量比例法 LCR 测量仪测量原理图

LCR 测量仪按测量的连接方式及屏蔽方式可分为四端/五端方式(H_{cur} -大电流、 H_{pot} -高电位、 L_{cur} -小电流、 L_{pot} -低电位四个信号测量端和一个 GND 屏蔽端)、两端/三端方式

(H、L 两个信号测量端和一个 GND 屏蔽端)。按测量等效电路模式可分为串联等效测量和并联等效测量两种模式。

5 计量特性

5.1 LCR 测量仪的主、副参量

5.1.1 主、副参量的测量范围及显示位数见表 1。

表 1 主、副参量测量范围及显示位数

测量参数		测量范围	显示位数
主参量	电感值	1 μ H~10 kH	3 位半~6 位半
	电容值	1 pF~1 F	
	交流电阻值	1 m Ω ~100 M Ω	
副参量	损耗因数	0.00001~10	

5.1.2 示值误差

LCR 测量仪为宽频率测量范围的多量程测量仪器，其示值误差用仪器制造商给出的计算公式 (1) 或曲线图表示。

$$\gamma_{lim} = \pm \alpha [1 + K_1(X) + K_2(V) + K_3(f) + K_4(D, Q) + K_5(v)] \times 100\% \quad (1)$$

式中：

γ_{lim} ——主参量允许的相对误差极限；

α ——用百分数表示的主参量准确度级别；

$K_1(X)$ ——与测量读数和量程有关的函数；

$K_2(V)$ ——与测量电压有关的函数；

$K_3(f)$ ——与测量频率有关的函数；

$K_4(D, Q)$ ——与损耗因数 D 或品质因数 Q 有关的函数；

$K_5(v)$ ——与测量速率有关的函数。

LCR 测量仪的准确等级由基本量程和主频率下的最大允许误差确定，LCR 测量仪的各准确度等级和最大允许误差见表 2。

表 2 准确度级别和最大允许误差

准确度级别	0.01 级	0.02 级	0.05 级	0.1 级	0.2 级	0.5 级	1 级	2 级	5 级
最大允许误差 ($\pm\alpha$ %)	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
工作频率范围	10 Hz~10 MHz		10 Hz~30 MHz						
注： α 指用百分数表示的主参量准确度级别。									

5.2 测试信号

5.2.1 测试频率

频率范围：10 Hz~30 MHz；

最大允许误差： $\pm 0.01\%$ 。

5.2.2 测试电平

测试电平可分为恒压、恒流两种输出方式。

电压范围：5 mV~10 V 有效值，最大允许误差： $\pm (1\sim 10)\%$ 。

电流范围：50 μ A~20 mA 有效值，最大允许误差： $\pm (1\sim 10)\%$ 。

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

LCR 测量仪应在表 3 规定的环境条件下进行校准。

表 3 校准环境条件

影响量	参比值	允许偏差值		
		0.01、0.02 准确度等级	0.05、0.1 准确度等级	0.2~5 准确度等级
环境温度	20 $^{\circ}$ C	± 1 $^{\circ}$ C	± 2 $^{\circ}$ C	± 2 $^{\circ}$ C
相对湿度	50 %	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$
电源电压	220 V	± 22 V		
电压频率	50 Hz	± 1 Hz		
外磁场	无影响	/		

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准器具的选用原则

校准所选用标准器具的最大允许误差应不超过表 4 的规定。采用校准装置开展校准

时, 由校准装置 (标准器具和其他设备)、连接线缆、环境条件因素等引入总的测量结果扩展不确定度应小于被校LCR测量仪允许误差的1/3。

表4 标准器具的最大允许误差

被校 LCR 测量仪 准确度等级	标准器具的最大允许误差与被校 LCR 测量仪的最大允许误差之比	
	主参量 (L、C、R)	副参量 (D)
0.01~0.5	$\leq 1/4$	$\leq 1/3$
1、2、5	$\leq 1/5$	$\leq 1/4$

6.2.2 主要标准器具

校准所用的主要标准器具见表5。根据采用的校准方法及被校LCR测量仪的实际需求进行选择, 其量值及频率特性应覆盖被校LCR测量仪的量程及频率范围。

表5 校准用主要标准器具一览表

标准器具名称	主要技术性能	用途
标准电感器组 (箱)	电感值范围: $1 \mu\text{H} \sim 10 \text{H}$ 最大允许误差: $\pm (0.002\% \sim 0.05\%)$ 工作频率范围: $10 \text{Hz} \sim 100 \text{kHz}$	校准低频、中频 LCR 测量仪电感值 (L) 参量示值误差
模拟标准电感器组标准	电感值范围: $1 \text{H} \sim 10^4 \text{H}$ 最大允许误差: $\pm (0.05\% \sim 0.2\%)$ 工作频率范围: $10 \text{Hz} \sim 1 \text{kHz}$	
高频标准电感器组	电感值范围: $1 \mu\text{H} \sim 10 \text{mH}$ 最大允许误差: $\pm (0.1\% \sim 1\%)$ 工作频率范围: $100 \text{kHz} \sim 30 \text{MHz}$	扩频校准 LCR 测量仪电感值 (L) 参量示值误差
标准电容器组 (箱)	电容值范围: $1 \text{pF} \sim 10 \text{mF}$ 最大允许误差: $\pm (0.001\% \sim 0.5\%)$ 工作频率范围: $10 \text{Hz} \sim 100 \text{kHz}$	校准低频、中频 LCR 测量仪电容值 (C) 参量示值误差
模拟标准电容器组标准	电容值范围: $1 \mu\text{F} \sim 1 \text{F}$ 最大允许误差: $\pm (0.02\% \sim 0.25\%)$ 工作频率范围: $10 \text{Hz} \sim 1 \text{kHz}$	
高频标准电容器组	电容值范围: $1 \text{pF} \sim 0.1 \mu\text{F}$ 最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 2\%)$ D 值: $\leq \pm 0.0003$ 工作频率范围: $100 \text{kHz} \sim 30 \text{MHz}$	扩频校准 LCR 测量仪电容值 (C) 参量示值误差
电容标准损耗箱	组合电容损耗因数的容量值范围: $100 \text{pF} \sim 0.1 \mu\text{F}$ 损耗因数值范围: $0.00001 \sim 10$ 最大允许误差: $\pm (0.1\% \sim 2\%)$ 读数 $\pm 5 \times 10^{-5}$	校准低频 LCR 测量仪电容损耗因数值 (D) 参量示值误差

表5 校准用主要标准器具一览表(续)

标准器具名称	主要技术性能	用途
高频电容损耗角正切标准	容量: 5 pF、20 pF、50 pF、100 pF、300 pF、1000 pF; 初损耗值 $\leq 3 \times 10^{-5}$, 不确定度: 1×10^{-5} ; 大损耗值: 1×10^{-3} 、 2.5×10^{-3} 、 4×10^{-3} 、 5.5×10^{-3} , 不确定度: 5×10^{-5} ; 频率: 1 MHz	校准高频 LCR 测量仪电容损耗因数值(D)参量示值误差
标准交直流电阻器(箱)	电阻值范围: 1 m Ω ~100 M Ω 最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 0.5\%)$ 时间参数: 1 ns~100 μ s 频率范围: 100 Hz~100 kHz	校准低频、中频 LCR 测量仪交流电阻值(R)参量示值误差
宽频标准电阻器组	电阻值范围: 1 m Ω ~1 M Ω 最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 0.5\%)$ 频率范围: 100 kHz~30 MHz	扩频校准 LCR 测量仪交流电阻值(R)参量示值误差
频率计数器	频率范围: 1 Hz~30 MHz 最大允许误差: 优于 $\pm 1 \times 10^{-5}$	LCR 测量仪测试频率的校准检查
交流数字电压表	频率范围: 10 Hz~100 kHz 测量电压范围: 1 mV~100 V 有效值 最大允许误差: 优于 $\pm 1\%$	中、低频 LCR 测量仪测试电平电压的校准检查
高频有效值电压表或示波器	频率范围: 100 kHz~100 MHz 测量电压范围: 1 mV~10 V 有效值 电压最大允许误差: 优于 $\pm 3\%$	扩频校准检查 LCR 测量仪高频测试电平电压
标准宽频 LCR 测量仪	测量范围: 量值及频率特性覆盖被校测量仪的量程及频率范围 最大允许误差: 优于表 4 要求	采用替代校准测量法时作为测量标准

6.2.3 其他校准用附件

- a) 清零校准专用短路器;
- b) 清零校准专用开路器;
- c) BNC 适配器;
- d) BNC 到 BNC 扩展测试线。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 6。

表 6 LCR 测量仪校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	测试频率准确度	7.2.2
2	测试电平准确度	7.2.3
3	电感示值误差	7.2.4
4	电容示值误差	
5	电阻示值误差	
6	损耗因数示值误差	7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

7.2.1.1 校准前检查

a) 外观及附件检查：外形完好，铭牌名称、制造厂家、型号和编号等标识应清晰，前后面板各功能键、按钮或转换开关、输入输出接口、电源等应有清晰的功能标记，外壳、端钮等不应有影响正常工作的机械碰伤，附件齐全；

b) 通电检查各测量功能、量程切换及测量窗口显示应正常。

7.2.1.2 校准前预热预调

应根据仪器说明书的要求进行预热和预调，包括电容功能开路清零和电感、电阻功能短路清零。

7.2.2 测试频率准确度

LCR 测量仪技术说明书有具体校准频率要求的，按照要求确定校准频率点。若没有具体规定，按 10^n Hz 频率点（ n 为整数，且 $n \geq 1$ ）选择校准频率点，并兼顾最低频率点和最高频率点。所有校准频率设置点的信号参考电平优选 0.1 V 设置。

采用频率计数器测量被校 LCR 测量仪设定的测试频率值，测得的频率值按公式(2)、公式(3)计算误差。

$$\Delta f = f_0 - f_s \quad (2)$$

$$\gamma_f = (\Delta f / f_s) \times 100\% \quad (3)$$

式中：

Δf ——LCR 测量仪的测试频率绝对误差，Hz；

f_0 ——LCR 测量仪的测试频率设置标称值, Hz;

f_s ——频率计数器的读数值, Hz;

γ_f ——LCR 测量仪测试频率的相对误差。

7.2.3 测试电平准确度

测试电平的信号频率点设置条件参照 7.2.2 规定进行, 测试电平大小按照被校 LCR 测量仪技术说明书规定的 ACV 和 (或) ACI 电平值进行校准。若无规定, 按内附标准交流电阻量限条件, 推荐测试电平校准点见表 7。

表 7 LCR 测量仪推荐测试电平校准点

内附标准交流电阻量限	AC 信号电平推荐校准点	
	ACV	ACI
100 m Ω ~100 k Ω	10 mV、0.1 V、0.5 V、1 V、5 V	100 μ A、1 mA、10 mA、20 mA

根据测试电平大小及频率高低, 选用适当的标准交流数字电压表或高频有效值电压表或示波器, 直接测量或在标准交流电阻 (优于 0.2 级) 上加流测压取样的方法, 测量被校 LCR 测量仪设定的测试电平值。测得的电压值按公式 (4)、公式 (5) 计算误差。

$$\Delta V = V_0 - V_s \quad (4)$$

$$\gamma_V = (\Delta V / V_s) \times 100\% \quad (5)$$

式中:

ΔV ——LCR 测量仪的测试信号电压绝对误差, V;

V_0 ——LCR 测量仪的测试信号电平设置标称值, V;

V_s ——电压标准测量仪器的读数值, V;

γ_V ——LCR 测量仪测试信号电平的相对误差。

7.2.4 电感、电容及电阻示值误差

7.2.4.1 校准条件的选择

a) LCR 测量仪对校准频率、测试电平及输出方式、测量等效电路模式有具体规定要求时, 按规定要求进行校准。若无具体规定, 校准条件选择按表 8 的规定, 选取工作电平为 1V 或 1mA。

表 8 LCR 测量仪校准条件选择

测试频率	<i>L</i>		<i>C</i>		<i>R</i>	
	量限范围	电平输出方式/测量等效电路模式	量限范围	电平输出方式/测量等效电路模式	量限范围	电平输出方式/测量等效电路模式
100 Hz	> 1 H	恒压/并联	> 1 μ F	恒流/串联	> 1 M Ω	恒压/并联
100 Hz	1 μ H~100mH	恒流/串联	1 pF~1 μ F	恒压/并联	0.01 Ω ~1 M Ω	0.01 Ω ~1 k Ω : 恒流/串联 1 k Ω ~1 M Ω : 恒压/并联
	100mH~1H	恒压/并联				
1 kHz	1 μ H~10 m H	恒流/串联	1 pF~100 nF	恒压/并联		
	100 mH~1 H	恒压/并联	100 nF~1 μ F	恒流/串联		
10 kHz	1 μ H~1 mH	恒流/串联	1 pF~10 nF	恒压/并联		
	1 mH~100 mH	恒压/并联	10 nF~100 nF	恒流/串联		
100 kHz	1 μ H~100 μ H	恒流/串联	1 pF~1 nF	恒压/并联		
	100 μ H~10mH	恒压/并联	1 nF~10 nF	恒流/串联		
1 MHz	1 μ H~10 μ H	恒流/串联	1 pF~100 pF	恒压/并联		
	10 μ H~10mH	恒压/并联	100 pF~1 nF	恒流/串联		
10 MHz	1 μ H~10 μ H	恒流/串联	1 pF~10 pF	恒压/并联		
	10 μ H~1mH	恒压/并联	10 pF~1000 pF	恒流/串联		
30 MHz	1 μ H~10 μ H	恒流/串联	1 pF~10 pF	恒压/并联		
	10 μ H~100 μ H	恒压/并联	10 pF~1000 pF	恒流/串联		

b) 测量电路模型的选择, 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, 根据测试频率和 LCR 阻抗元件的测量范围, 计算阻抗值的大小, 低于 100 Ω 时采用串联等效电路, 高于 10 k Ω 时采用并联等效电路, 介于 100 Ω 至 10 k Ω 的特性阻抗依据具体情况合理选择, 或选择与标准器具溯源证书中所给电感值、电容值及电阻值的等效电路模型测试方式一致。串联等效电路测量模式一般采用恒流模式测量, 并联等效电路测量模式则采用恒压模式测量。

c) 被校 LCR 测量仪为高准确度或高工作频率的情况下, 校准应采用四端对的阻抗标准器具进行连接, 所有外屏蔽导体也应连接在一起。

7.2.4.2 开路 and 短路归零操作

a) 有归零功能的 LCR 测量仪, 在校准 LCR 示值误差前, 需进行开路 and 短路归零操作。达到仪器说明书规定的预热时间后, 按照被校 LCR 测量仪技术说明书规定的方法, 使用清零校准专用开路器和专用清零短路器, 检查开路清零 and 短路清零功能应正常。

b) 无归零功能的 LCR 测量仪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 。

7.2.4.3 校准点的选取原则

在 LCR 测量仪的测量范围内选取量值为 10^n (n 为自然数) 的点进行校准。

注: 当客户特殊要求时, 可根据客户要求选取校准点。

7.2.4.4 直接测量法

根据被校 LCR 测量仪的测量端口形式的不同, 分别选择相应合适的标准器具阻抗参数类型和测量端口形式, 四端口结构标准器连接示意图见图 2, 三端口结构标准器连接示意图见图 3, 两端口结构标准器连接示意图图 4。

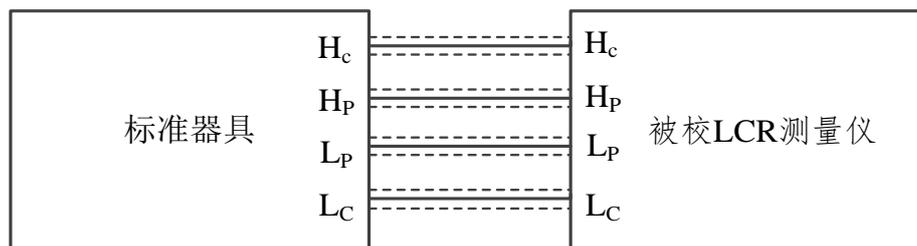


图 2 四端口结构标准器连接示意图

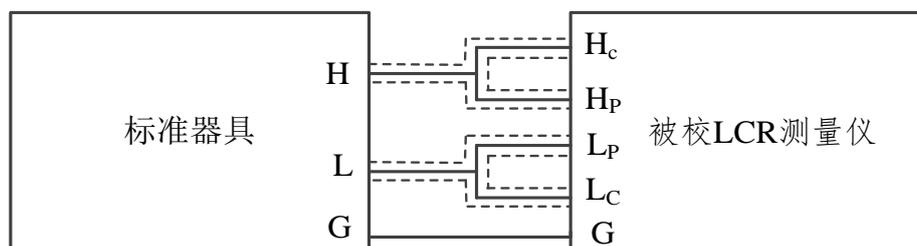


图 3 三端口结构标准器连接示意图

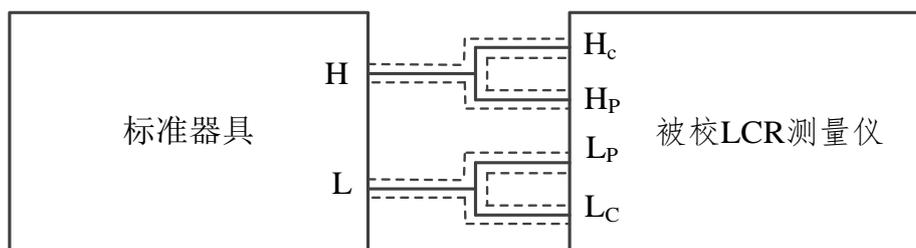


图4 两端口结构标准器连接示意图

校准步骤：根据校准点选择相应量值的标准器具，读取并记录 LCR 测量仪的示值。按公式（6）、公式（7）分别计算 LCR 测量仪的电感值、电容值、电阻值的示值误差：

$$\Delta Z = Z_x - Z_0 - Z_s \quad (6)$$

$$\gamma_z = (\Delta Z / Z_s) \times 100\% \quad (7)$$

式中：

ΔZ ——被校 LCR 测量仪的电感或电容或电阻示值的绝对误差；

Z_x ——被校 LCR 测量仪的电感或电容或电阻示值；

Z_0 ——被校 LCR 测量仪的电感或电容或电阻初始示值，有归零功能的 LCR 测量仪计算时不包含该项；

Z_s ——标准电感器或标准电容器或标准电阻器的标准值；

γ_z ——被校 LCR 测量仪电感或电容或电阻示值的相对误差。

7.2.4.5 替代测量法

替代测量法连接示意图见图 5。根据被校 LCR 测量仪的测量端口形式的不同，分别选择相应合适的过渡标准（标准阻抗器具）和标准 LCR 测量仪的阻抗参数类型和测量端口形式。

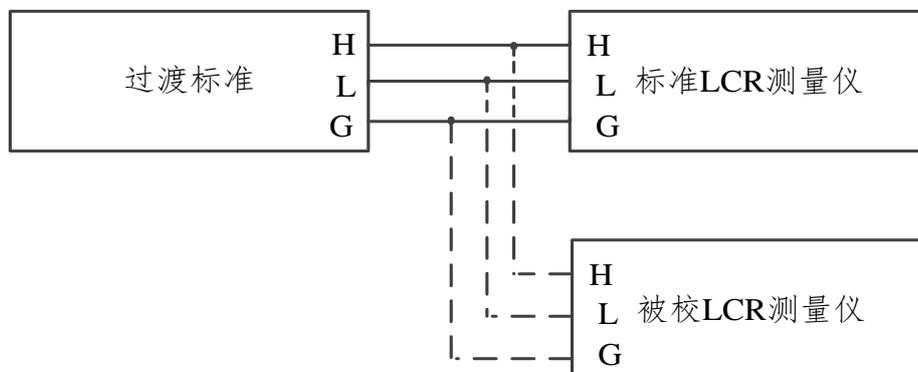


图5 替代测量法连接示意图

校准步骤：用标准 LCR 测量仪直接测量过渡标准的值，经过归零处理的测量结果即为标准值；被校 LCR 测量仪与标准 LCR 测量仪采用相同的测量条件，然后直接测量过渡标准的值，经过归零处理的结果即为测量值；按公式（8）、公式（9）分别计算被校 LCR 测量仪的电感值、电容值、电阻值示值误差：

$$\Delta Z = Z_x - Z_s \quad (8)$$

$$\gamma_z = (\Delta Z / Z_s) \times 100\% \quad (9)$$

式中：

ΔZ ——被校 LCR 测量仪电感或电容或电阻示值的绝对误差；

Z_x ——被校 LCR 测量仪经过归零处理的电感或电容或电阻测量值；

Z_s ——标准 LCR 测量仪经过归零处理的电感或电容或电阻测量值；

γ_z ——被校 LCR 测量仪电感或电容或电阻示值的相对误差。

7.2.5 损耗因数示值误差

选择合适的标准损耗箱或高频电容器损耗值，根据标准损耗箱的端口形式不同，进行相应的端口接线；根据校准点设定标准损耗箱的输出值，读取并记录被校 LCR 测量仪的损耗因数示值；按公式（10）计算被校 LCR 测量仪的损耗因数示值误差：

$$\Delta D = D_x - D_s \quad (10)$$

式中：

ΔD ——被校 LCR 测量仪损耗因数示值的绝对误差；

D_x ——被校 LCR 测量仪损耗因数的测量示值；

D_s ——标准损耗箱的实际值。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录格式见附录 A。

8.2 校准证书

校准证书内页格式见附录 B。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；

- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如证书编号），每页及总页数的标识；表明报告结束的清晰标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识（如型号、产品编号、生产商等）；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A

校准原始记录格式

第 页 共 页

委托单位:			记录编号:			
通讯/地址:			仪器设备名称:			
型号/规格:		出厂编号:		制造单位:		
仪器外观及通电检查:						
不确定度或准确度或最大允许误差						
仪器设备接收日期:						
环境温度: °C		相对湿度: %		其他:		
校准地点:						
校准所依据文件:						
校准所使用的计量标准装置/主要仪器						
名称	型号/规格	出厂编号	测量范围	不确定度或准确度 或最大允许误差	证书编号	有效期

校准原始记录格式 (续)

第 页 共 页

一、测试频率准确度:					
设定值		实测值		示值误差	
二、测试电平准确度:					
设定值		实测值		示值误差	
三、示值误差:					
1.电感					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
2.电容					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
3.电阻					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
4.损耗因数					
测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)	

校准员: _____ 年 月 日 核验员: _____ 年 月 日

附录B

校准证书内页格式

证书编号：

校准机构授权说明：					
校准所使用的计量标准装置/主要仪器					
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)	
校准所依据/参照的技术文件（代号、名称）：					
样品接收日期：					
温度	℃	相对湿度	%	其他	
地点					

注：

- 1 未经本机构书面授权，不得部分复制证书；
- 2 本证书的校准结果仅对本次所校准的对象有效；
- 3 被校计量器具修理后，应立即重新校准；
- 4 在使用过程中，如对被校准计量器具的技术指标产生怀疑，请重新校准；
- 5 本证书仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。

校准结果

第 页 共 页

证书编号:

一、测试频率准确度:					
设定值		实测值		示值误差	
二、测试电平准确度:					
设定值		实测值		示值误差	
三、示值误差:					
1.电感					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
2.电容					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
3.电阻					
等效模式	测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)
4.损耗因数					
测试电平	标准值	显示值	示值误差	校准结果不确定度 ($k=2$)	

附录 C

校准不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 环境条件：温度：20.3℃，相对湿度：50%；

C.1.2 测量标准：四端口标准电容器 100 nF/1 kHz、四端口标准电感器 1 H/1 kHz、四端口标准电阻 1 kΩ/1 kHz、标准损耗箱 1.0000/1 kHz。

C.1.3 被测对象：数字 LCR 测量仪；

C.1.4 测量方法：采用直接测量法，以标准器实际溯源的量值作为标准量值，记录数字 LCR 测量仪的示值。

C.2 测量模型

根据被校设备和标准器的说明书可知，在标准条件下，温度、湿度等带来的影响可忽略，由此得到：

$$\Delta = Z_x - Z_s \quad (\text{C.1})$$

考虑到数字 LCR 测量仪的分辨力对测量结果的影响，测量模型为：

$$\Delta = Z_x - Z_s + \delta Z_x \quad (\text{C.2})$$

式中：

Δ ——LCR 测量仪的示值绝对误差；

Z_x ——LCR 测量仪的示值；

Z_s ——标准器的实际值；

δZ_x ——标准器的实际值。

C.3 不确定来源

不确定度来源主要包括：

- a) LCR 测量仪测量重复性引入的不确定度 $u_A (Z_x)$ ；
- b) 标准器溯源结果引入的不确定度 $u_1 (Z_s)$ ；
- c) LCR 测量仪分辨力引入的不确定度 $u_2 (\delta Z_x)$ 。

C.4 电感示值误差校准结果的测量不确定度评定

C.4.1 标准不确定度评定

C.4.1.1 LCR 测量仪测量重复性引入的标准不确定度 u_A (Z_x)

以 1 H/1 kHz 标准电感器作为标准, 选择 LCR 测量仪合适的量程, 在相同环境条件下, 重复测量 10 次, 获得数据如表 C.1。

表 C.1 电感重复性测量数据

次数	x_i/H	次数	x_i/H
1	1.0016	6	1.0014
2	1.0013	7	1.0016
3	1.0014	8	1.0015
4	1.0015	9	1.0014
5	1.0015	10	1.0015

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.00147 \text{ H}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00016 \text{ H}$$

$$u_A = 0.00016 \text{ H}$$

C.4.1.2 由标准电感器溯源结果引入的标准不确定度 u_1 (Z_s)

标准电感器经上级计量机构量传合格, 其测量结果的不确定度为 0.0001 H, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_1 = 0.0001 \text{ H} / 2 = 0.00005 \text{ H}$$

C.4.1.3 由 LCR 测量仪的分辨力引入的标准不确定度 u_2 (δZ_x)

被校 LCR 测量仪该量程的分辨力为 0.0001 H, 在 $\pm 0.00005 \text{ H}$ 区间为均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = 0.00005 \text{ H} / \sqrt{3} = 0.000029 \text{ H}$$

C.4.2 合成标准不确定度 u_c

不确定度分量汇总见表 C.2。灵敏系数由公式 (C.2) 计算得到。

表 C.2 不确定度分量汇总表

输入量 X_i	不确定度来源	标准表确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定分量 u_i
Z_x	被校 LCR 测量仪的重复性	0.00016 H	正态	1	0.00016 H
Z_s	标准电感器的溯源结果	0.00005 H	/	-1	-0.00005 H
δZ_x	LCR 测量仪的分辨力	0.000029 H	均匀	1	0.000029 H

考虑到 LCR 测量仪读数的重复性和分辨力存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_1^2} = \sqrt{(0.00016)^2 + (0.00005)^2} \text{ H} = 0.00017 \text{ H}$$

C.4.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$, 取 $k=2$, 由此得到 1 H/1kHz 电感校准结果的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.00017 \text{ H} = 0.00034 \text{ H} \approx 0.00004 \text{ H}$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.04\%$ ($k=2$)。

C.5 电容示值误差校准结果的测量不确定度评定

C.5.1 标准不确定度评定

C.5.1.1 LCR 测量仪测量重复性引入的标准不确定度 $u_A (Z_x)$

以 100 nF/1 kHz 标准电容器作为标准, 选择 LCR 测量仪合适的量程, 在相同环境条件下, 重复测量 10 次, 获得数据如表 C.3。

表 C.3 电容重复性测量数据

次数	x_i/nF	次数	x_i/nF
1	100.00	6	100.00
2	100.01	7	100.00
3	100.00	8	100.01
4	100.00	9	100.01
5	100.01	10	99.99

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 100.003 \text{ nF}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.007 \text{ nF}$$

$$u_A=0.007 \text{ nF}$$

C.5.1.2 由标准电容器溯源结果引入的标准不确定度 u_1 (Z_s)

标准电容器经上级计量机构量传合格，其测量结果的不确定度为 0.004 nF，包含因子 $k=2$ ，则：

$$u_1=0.004 \text{ nF} / 2=0.002 \text{ nF}$$

C.5.1.3 由 LCR 测量仪的分辨力引入的标准不确定度 u_2 (δZ_x)

被校 LCR 测量仪该量程的分辨力为 0.01 nF，在 $\pm 0.005 \text{ nF}$ 区间为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2=0.005 \text{ nF} / \sqrt{3} = 0.0029 \text{ nF}$$

C.5.2 合成标准不确定度 u_c

不确定度分量汇总见表 C.4。灵敏系数由公式 (C.2) 计算得到。

表 C.4 不确定度分量汇总表

输入量 X_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(X_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定分量 u_i
Z_x	被校 LCR 测量仪的重复性	0.007 nF	正态	1	0.007 nF
Z_s	标准电容器的溯源结果	0.002 nF	/	-1	-0.002 nF
δZ_x	LCR 测量仪的分辨力	0.0029 nF	均匀	1	0.0029 nF

考虑到 LCR 测量仪读数的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_1^2} = \sqrt{(0.007)^2 + (0.002)^2} \text{ nF} = 0.0073 \text{ nF}$$

C.5.3 扩展不确定度

$U=k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，由此得到 100 nF/1 kHz 电容校准结果的扩展不确定度为：

$$U=2 \times 0.0073 \text{ nF} = 0.0146 \text{ nF} \approx 0.02 \text{ nF}$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.02\%$ ($k=2$)。

C.6 电阻示值误差校准结果的测量不确定度评定

C.6.1 标准不确定度评定

C.6.1.1 LCR 测量仪测量重复性引入的标准不确定度 u_A (Z_x)

以实际值为 0.9999 kΩ/1 kHz 的标准电阻作为标准, 选择被校 LCR 测量仪合适的量程, 在相同环境条件下, 重复测量 10 次, 获得数据如表 C.5。

表 C.5 电阻重复性测量数据表

次数	$x_i/\text{k}\Omega$	次数	$x_i/\text{k}\Omega$
1	1.0000	6	1.0001
2	0.9999	7	1.0000
3	1.0001	8	1.0001
4	1.0000	9	0.9999
5	1.0001	10	1.0001

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.00003 \text{ k}\Omega$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00008 \text{ k}\Omega$$

$$u_A = 0.00008 \text{ k}\Omega$$

C.6.1.2 由标准电阻溯源结果性引入的标准不确定度 $u_1 (Z_s)$

标准电阻经上级计量机构量传, 其溯源结果的不确定度为 0.0005 kΩ, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_1 = 0.0005 \text{ k}\Omega / 2 = 0.00025 \text{ k}\Omega$$

C.6.1.3 由被校 LCR 测量仪的分辨力引入的标准不确定度 $u_2 (\delta Z_x)$

被校 LCR 测量仪 1kΩ/1kHz 的分辨力为 0.0001 kΩ, 在 $\pm 0.00005 \text{ k}\Omega$ 区间为均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = 0.00005 \text{ k}\Omega / \sqrt{3} = 0.000029 \text{ k}\Omega$$

C.6.2 合成标准不确定度 u_c

不确定度分量汇总见表 C.6。灵敏系数由公式 (C.2) 计算得到。

表 C.6 不确定度分量汇总表

输入量 X_i	不确定度来源	标准表确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定分量 u_i
Z_x	被校 LCR 测量仪的重复性	0.00008 kΩ	正态	1	0.00008 kΩ
Z_s	标准标准电阻溯源结果性	0.00025 kΩ	均匀	-1	-0.00025 kΩ
δZ_x	被校 LCR 测量仪的分辨力	0.000029 kΩ	均匀	1	0.000029 kΩ

考虑到被校 LCR 测量仪读数的重复性和分辨力存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_1^2} = \sqrt{(0.00008)^2 + (0.00025)^2} \text{ k}\Omega = 0.00026 \text{ k}\Omega$$

C.6.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$, 取 $k=2$, 由此得到 1 k Ω /1 kHz 校准结果的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.00026 \text{ k}\Omega = 0.00052 \text{ k}\Omega \approx 0.0005 \text{ k}\Omega$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.05\%$ ($k=2$)。

C.7 损耗因数示值误差校准结果的测量不确定度评定

C.7.1 标准不确定度评定

C.7.1.1 LCR 测量仪测量重复性引入的标准不确定度 u_A (Z_x)

以 1.0001/1kHz 损耗因数作为标准值, 选择 LCR 测量仪合适的量程, 在相同环境条件下, 重复测量 10 次, 获得数据如表 C.7。

表 C.7 损耗因数重复性测量数据

次数	x_i	次数	x_i
1	1.0003	6	1.0002
2	1.0003	7	1.0003
3	1.0002	8	1.0002
4	1.0002	9	1.0002
5	1.0003	10	1.0003

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.00025$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00009$$

$$u_A = 0.00009$$

C.7.1.2 由标准损耗箱溯源结果引入的标准不确定度 u_1 (Z_s)

标准损耗箱经上级计量机构量传合格, 其测量结果的不确定度为 0.0001, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_1 = 0.0001 / 2 = 0.00005$$

C.7.1.3 由 LCR 测量仪的分辨力引入的标准不确定度 u_2 (δZ_x)

被校 LCR 测量仪该量程的分辨力为 0.0001, 在 ± 0.00005 区间为均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2=0.00005 / \sqrt{3} =0.000029$$

C.7.2 合成标准不确定度 u_c

不确定度分量汇总见表 C.8。灵敏系数由公式 (C.2) 计算得到。

表 C.8 不确定度分量汇总表

输入量 X_i	不确定度来源	标准表确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定分量 u_i
Z_x	被校 LCR 测量仪的重复性	0.00009	正态	1	0.00009
Z_s	标准损耗箱的溯源结果	0.00005	/	-1	-0.00005
δZ_x	LCR 测量仪的分辨力	0.000029	均匀	1	0.000029

考虑到 LCR 测量仪读数的重复性和分辨力存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去, 则:

$$u_c=\sqrt{u_A^2 + u_1^2} =\sqrt{(0.00009)^2 + (0.00005)^2} =0.00010$$

C.7.3 扩展不确定度

$U=k \times u_c$, 取 $k=2$, 由此得到 1/1kHz 损耗因数校准结果的扩展不确定度为:

$$U=2 \times 0.00010=0.00020 \approx 0.0002。$$