**中华人民共和国国家计量技术规范**

 JJF ××××-××××

LCR测量仪校准规范

Calibration Specification for LCR Meter

(征求意见稿)

××××⎯××⎯××发布 ××××⎯××⎯××实施

**国家市场监督管理总局** 发 布

LCR测量仪校准规范

Calibration Specification for LCR Meter

JJF XXXX-XX

归 口 单 位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

 X X X（起草人所在单位名称）

参加起草人：

 X X X（起草人所在单位名称）

目 录

[引言 II](#_Toc162940580)

[1 范围 1](#_Toc162940581)

[2 引用文件 1](#_Toc162940582)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc162940583)

[3.1 基本测量范围 intrinsic measuring range 1](#_Toc162940584)

[3.2 扩展测量范围 expanded measuring range 1](#_Toc162940585)

[4 概述 2](#_Toc162940586)

[5 计量特性 2](#_Toc162940587)

[5.1 示值误差 2](#_Toc162940588)

[5.2 工作频率 2](#_Toc162940589)

[5.3 工作电压 3](#_Toc162940590)

[6 校准条件 3](#_Toc162940591)

[6.1 环境条件 3](#_Toc162940592)

[6.2 测量标准及其他设备 4](#_Toc162940593)

[7 校准项目和校准方法 4](#_Toc162940594)

[7.1 校准项目 4](#_Toc162940595)

[7.2 校准方法 4](#_Toc162940596)

[8 校准结果表达 9](#_Toc162940597)

[9 复校时间间隔 9](#_Toc162940598)

[附录A LCR测量仪校准不确定度评定示例 10](#_Toc162940599)

[附录B 校准原始记录格式 13](#_Toc162940600)

[附录C 校准证书内页格式 16](#_Toc162940601)

[附录E](#_Toc162940602) **[错误！未定义书签。](#_Toc162940602)**

引言

本规范依据国家计量技术规范JJF1071—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、JJF1001—2011通用计量术语及定义、JJF 1023—1991常用电学计量名词术语（试行）编制。

本规范是首次制定的国家计量校准规范。

LCR测量仪校准规范

# 范围

 本规范适用于工作频率范围为10 Hz~13 MHz的具有电感（L）、电容（C）、交流电阻（R）及副参数损耗因数（D）测量功能的LCR测量仪的校准，也适用于具有上述单一测量功能或组合测量功能的仪表的校准。本规范不适用于手动平衡交流电桥的校准。

# 引用文件

 本规范引用了下列文件：

 JJG183—2017标准电容器检定规程

 JJG441—2008交流电桥检定规程

 JJG726—2017标准电感器检定规程

 JJF1636—2017交流电阻箱校准规范

 JJG2073—1990损耗因数计量器具检定系统表

 IEC477—2 2022实验室用交流阻器

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

# 术语和计量单位

## 基本测量范围 intrinsic measuring range

LCR测量仪测量范围内，允许误差最小（准确度最高）的测量范围。

## 基本误差 intrinsic error

LCR测量仪在参考条件下，基本测量范围内的示值误差。

## 扩展测量范围 expanded measuring range

LCR测量仪测量范围内，除去基本测量范围以外的其它测量范围。

# 概述

LCR测量仪又称数字阻抗电桥、RLC测量仪或低频阻抗分析仪等，是测量电感（L）、电容（C）、电阻（R）主副参数的仪表。LCR测量仪一般由正弦交流激励电源、比较器（包括被测元件和量程电阻器）、相量电压比检测器、积分器、A/D转换器、数控和显示电路等部分组成。其工作原理是采用自动平衡等电流条件下测量被测元件与内附标准量程电阻的相（矢）量电压比例的方法，给出被测元件的量值。常见测量原理图见图1：



图1 LCR测量仪原理图

# 计量特性

## 示值误差

电感、电容、交流电阻和损耗因数的示值误差均用公式（1）表示，相对示值误差均用公式（2）表示：

$∆=X−S\_{0}−S$ （1）

式中：

$∆$ 示值误差；

X 被校LCR测量仪（显）示值；

$S\_{0}$ 无清零功能的LCR测量仪开路或短路时显示值（有清零功能的 LCR 测量仪计算时不包括该项）；

$S$ 标准值器实际（示值）值。

$δ=\frac{∆}{S}×100\%$ （2）

式中：

$δ$ 相对示值误差。

## 测量频率

测量频率范围：10 Hz～13 MHz，测量频率误差使用公式（3）表示，相对误差使用公式（4）表示：

$∆\_{f}=X\_{f}−S\_{f}$ （3）

式中：

$∆\_{f}$ 设定值误差；

$X\_{f}$ 被校LCR测量仪设定值；

$S\_{f}$ 数字多用表/频率计示值。

$δ\_{f}=\frac{∆\_{f}}{S\_{f}}×100\%$ （4）

式中：

$δ\_{f}$ 被校LCR测量仪设定参数的相对误差。

## 测量电压

交流测量电压范围：5 mV～20 V，固定或可调；直流偏置电压范围：0 mV～50V。电压设定误差使用公式（3）表示，相对误差使用公式（4）表示。

# 校准条件

## 环境条件

按表1所示，根据校准所使用标准器的等级选择环境条件。

**表1 校准环境的参考条件和允许变差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 影响量 | 使用标准器等级 | 参考条件 | 允差变差 |
| 温 度 | 0.002 ~0.05 0.1 ~1  | 20 ℃ | ±1 ℃±2 ℃ |
| 湿 度 | 0.002 ~0.05 0.1 ~1  | 50 %RH | ±15 %RH±30 %RH |
| 交流供电电压 | / | 220 V50 Hz | ±22 V±3 Hz |

注： 被校LCR测量仪放在实验室环境参考条件下，存放4h以上，待仪器稳定后再校准；

## 测量标准及其他设备

### 6.2.1 校准时所需的标准器及配套设备如下：

a) 标准电感器（箱）：1 μH～100 H，（100 Hz~10 kHz）；

b) 标准电容器（箱）：1 pF～10 mF，（50 Hz~13 MHz）；

c) 标准交流电阻器（箱）：1 mΩ～10 MΩ，（50 Hz~1 MHz）；

d) 标准损耗因数箱：0.0001～1，（100 Hz~10 kHz）

e) 频率计：10Hz～13 MHz；

f) 数字多用表：ACV 5 mV～20 V，（10 Hz~10 MHz），DCV 0 V～50 V。

### 6.2.2 标准器选择要求

在LCR测量仪基本测量范围内，校准用标准器及仪器设备最大允许误差绝对值（或不确定度）应不大于被校LCR测量仪相应功能基本误差绝对值的$\frac{1}{4}$。在LCR测量仪扩展测量范围内，校准用标准器应修正后使用。

# 校准项目和校准方法

## 校准项目

校准项目见表2：

**表2 校准项目一览表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 校准方法条款 |
| 1 | 外观和功能检查 | 7.2.1 |
| 2 | 测量频率 | 7.2.2 |
| 3 | 测量电压 | 7.2.3 |
| 4 | 主参数（电感L、电容C、电阻R）示值误差 | 7.2.4 |
| 5 | 副参数（损耗因数D）示值误差 | 7.2.4 |

##

## 校准方法

7.2.1 外观和功能检查

a) 被校LCR测量仪外形结构完好，外露件等不应损坏或脱落，机壳、端钮等不应有影响正常工作的机械碰伤，按键无卡死或接触不良的现象；

b) 被校LCR测量仪产品名称、制造厂家、仪器型号、编号及各功能键按钮等均应有明确标记；

c) 把被校LCR测量仪的电源电压开关设置在220V位置，（若被校LCR测量仪的工作电压为110V，则必须加降压变压器）通电预热。若生产厂无规定，则预热时间为30分钟。

d) 检查被校LCR测量仪工作是否正常，如：自检功能是否全部通过、指示数字是否有缺损，按键功能是否正常等；对于触摸屏幕，应能正常进行各参数的设置。

7.2.2 测量频率校准

按图2，将被校LCR测量仪测量端（一般为高端电流测量端口）与频率计的输入端连接，设置LCR测量仪的测量频率，记录频率计的显示值。被校LCR测量仪测量频率的误差及相对误差分别按公式（3）、（4）计算。测量频率固定的LCR测量仪选取其固定的频率作为校准点；测量频率可变的LCR测量仪，将其允许误差最小时的测量频率作为频率校准点。



图2 工作频率校准接线示意图

7.2.3 测量电压校准

按图3，将被校LCR测量仪测量端（一般为高端电流的芯和皮）与数字多用表的输入端连接，设置LCR测量仪的测量电压，数字表选择交流电压测量功能，记录数字多用表的显示值。测量电压固定的LCR测量仪选取其固定的测量电压作为校准点；测量电压可变的LCR测量仪，将其允许误差最小时的测量电压作为电压校准点。直流偏置电压为可选校准内容，若有需求可按用户指定电压设置LCR测量仪偏置电压，数字表选择直流电压测量功能，记录数字多用表的显示值。被校LCR测量仪测量电压的误差及相对误差分别按公式（3）、（4）计算。



图3 工作频率校准接线示意图

7.2.4 主参数（电感L、电容C、电阻R）和副参数（损耗因数D）示值误差校准

7.2.4.1 校准前参数状态设置

 a) 校准电压：通常选择在1 V电压下进行校准，也可根据说明书规定或用户要求设置。

 b) 校准频率：通常先按表3选取被测量频率，以校准LCR测量仪的基本误差，也可根据说明书规定或用户要求设置。并建议测量频率范围覆盖50/60 Hz至10 MHz。

**表3基本测量范围的频率设置**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率设置 | 1 kHz | 100/120 Hz |
| 电感（L） | $\leq $1 H | $>$1 H |
| 电容（C） | $\leq $1 μF | $>$1 μF |
| 电阻（R） | $<$1 MΩ | $\geq $1 MΩ |
| 损耗因数（D） | 0.0001~1 | / |

 c) 等效线路：通常根据所测量参数阻抗值（Z）大小选择等效电路模型测量。选择原则是，低阻抗值时选择串联电路模型（小于100 Ω），中等阻抗值时可选择串联或并联等效模型（100 Ω~1000 Ω），高阻抗值时选择并联电路模型（大于1000 Ω）。

 d) 其他设置：校准时可能用到的其他设置（若有），可按表4内容进行选择设置：

**表4其他项目设置**

|  |  |
| --- | --- |
| 设置项目 | 设置状态 |
| 测量速度 | 慢速 |
| 测试线长度 | 1 m/0 m |

 e) 开路及短路校准：在进行示值误差校准前，对有清零设置的LCR测量仪，应按生产厂规定的操作程序，进行开路和短路的零位示值校准。短路清零时使用仪器专用的短路器或将测试夹具短接；开路清零时使用仪器专用的开路器或将测试夹具处于开路状态。若使用自带短路或开路功能的标准器（箱）进行校准，应先接好测试线之后进行相应的短路（开路）校准，并在后续测量过程中尽量不改变测试线位置。对没有清零设置的LCR测量仪，应首先测量并记录短路状态下电感、电阻功能的初始示值L0、R0及开路状态下电容功能的初始示值C0（用于计算其示值误差），之后再接入各标准器进行校准。

7.2.4.2 主参数（电感L、电容C、电阻R、）和副参数（损耗因数D）校准内容选择

电感（L）、电容（C）、电阻（R）、损耗因数（D）标准器（箱）的范围应覆盖被校LCR测量仪的基本测量范围以及扩展测量范围中常用的部分。标准器（箱）一般使用十进制选值方式，并选择一个主参数在某个十进制区间内连续密集选值以及在多个频率条件下选值对被校LCR测量仪进行校准。

建议的十进制选值及频率选择范围见表5：

**表5 建议的十进制选值范围及频率选择范围**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率选值 | 100/120 Hz | 1 kHz | 10 kHz | 100 kHz | 1 MHz |
| 电感（L） | 1 mH~100 H | 1 μH~1 H | 1 μH~10 mH | / | / |
| 电容（C） | 1 pF~1 mF | 1 pF~100 μF | 1 pF~1 μF | 1 pF~1000 pF | 1 pF~1000 pF |
| 电阻（R） | 1 mΩ~1 MΩ | 1 mΩ~1 MΩ | 100 Ω~10 kΩ | 100 Ω~10 kΩ | / |
| 损耗因数（D） | 0.0001~1 | 0.0001~1 | 0.0001~1 | / | / |

7.2.4.3 主参数（电感L、电容C、电阻R）和副参数（损耗因数D）功能示值误差校准

a) 使用直接测量法对LCR测量仪的各参数示值误差进行校准。按图4中接线示意图所示，根据所选用标准器（箱）的不同类型，选择相应接线方法，将被校LCR测量仪测量端与标准器（箱）进行连接，并记录示值。被校LCR测量仪示值误差按公式（1）计算，示值相对误差按公式（2）计算。



图4 使用不同接口的标准器（箱）时接线示意图

注：对于少量插片式测量端口的LCR测量仪，应使用转接器将其测量端口转换为四端对接口后再进行校准。

b) 校准电感示值误差时，在保证准确度的前提下，优先选择带屏蔽的电感器作为计量标准。若所使用的标准器不带屏蔽，需按图4（a）的接线方式进行校准，并需保持标准器周边1米范围内不存在铁磁性物品。

c) 校准电容示值误差时，被校LCR测量仪应选则与标准器（箱）相同的等效电路模式，否则电容应按公式（5）进行修正：

$C\_{S}=C\_{P}\left(1+D^{2}\right)$ （5）

式中：

$C\_{S}$ 串联模式时电容值；

$C\_{P}$ 并联模式时电容值；

$D$ 电容损耗值。

d) 校准电阻示值误差时，小于100Ω的低值电阻器标准，应采用四端对或五端口形式。被校LCR测量仪应选择与标准器（箱）相同的等效电路模式，否则电阻应按公式（6）进行修正：

$R\_{P}=R\_{S}\left(1+ω^{2}τ^{2}\right)$ （6）

式中：

$R\_{S}$ 串联模式时电阻值；

$R\_{P}$ 并联模式时电阻值；

$ω^{2}τ^{2}$ 时间常数。

# 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）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。

校准原始记录格式见附录B，校准证书（报告）内页格式见附录C。

# 复校时间间隔

建议复校时间间隔为12个月。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A LCR测量仪校准不确定度评定示例

1 LCR测量仪电感参数示值误差不确定度评定

1.1 测量原理

使用标准电感器，采用直接测量法，对LCR测量仪电感参数测量功能进行校准。

1.2 校准步骤

（1）依照图4接线，将标准电感器接入到LCR测量仪测量端。

（2）待稳定后，记录LCR测量仪示数。

（3）根据记录数据和标准电感器实际值计算LCR测量仪误差。

1.3 数学模型

被校LCR测量仪示值误差可表示为：

$∆\_{L}=L\_{X}−L\_{N}$ （A.1）

式中：

$∆\_{L}$ 被校LCR测量仪电感参数示值误差；

$L\_{X}$ 被校LCR测量仪电感参数示值；

$L\_{N}$ 标准电感器实际值。

$δ\_{L}=\frac{∆\_{L}}{L\_{N}}×100\%$ （A.2）

式中：

$δ\_{L}$ 相对示值误差。

1.4 不确定度分量

1.4.1 重复性引入的不确定度分量*u*1

在校准条件不变的情况下，使用一台型号为7600，编号为7192313，准确度级别为0.05%的LCR测量仪对10mH标准电感器进行10次独立重复测量（见表A.1），得到的测量结果为：

表A.1 10次重复测量数据

mH

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果 | 9.9970 | 9.9967 | 9.9972 | 9.9968 | 9.9973 | 9.9971 | 9.9967 | 9.9969 | 9.9973 | 9.9968 |

则电感测量值X的最佳估计值可以用10次独立测量结果的平均值来表示：

  mH

使用贝赛尔公式可计算得到单次测量结果的标准差：

 mH （A.3）

因此，单次测量结果的相对标准不确定度u1可由式（A.4）计算得到：

$u\_{1}=\frac{s\left(x\_{k}\right)}{10}mH=2.3×10^{−5}$ （A.4）

1.4.2 标准电感器溯源引入的不确定度分量 *u*2

标准电感器实际值由证书给出，实际值的相对扩展不确定度为*U*rel=3×10-5，且包含因子*k*=2。于是：

 （A.5）

1.4.3 标准电感器年稳定性引入的不确定度分量 *u*3

标准电感器（组）的年稳定性由近两年的证书数值计算得出，10 mH标准电感器近两年由上级标准传递得到的实际值为9.9992mH、9.9993mH。相邻两年变化1×10-5，假定其在该范围内满足矩形分布，于是由标准电感器年稳定性引入的不确定度分量为：

 （A.6）

1.4.4 温湿度变化引入的不确定度分量 *u*4

在本院实验室条件下，温度变化半宽区间为1℃、湿度变化半宽区间为15%RH。标准电感器温度系数为10-6量级，可忽略不计；标准电感器湿度系数为RH。假定其满足矩形分布，于是标准不确定度为：

 （A.7）

1.4.5 其他影响因素

对于外界电磁场及测量线路耦合等因素引起的不确定度分量，若按照校准规范规定的实验环境及实验方法进行校准，其影响可忽略不计。

1.5 相关性

各影响量之间独立不相关，灵敏系数为1。

1.6 不确定度概算

表A.2给出各不确定度分量的汇总表。

表A.2不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量名称 | 输入量 | 评定类型 | 标准不确定度 | 概率分布 | 灵敏度系数 | 不确定度分量 |
| 重复性 | *u*1 | A | 2.3×10-5 | 正态 | 1 | 2.3×10-5 |
| 标准器溯源 | *u*2 | B | 1.5×10-5 | 矩形 | 1 | 1.5×10-5 |
| 标准器年稳定性 | *u*3 | B | 0.58×10-5 | 矩形 | 1 | 0.58×10-5 |
| 温湿度变化 | *u*4 | B | 1.2×10-5 | 矩形 | 1 | 1.2×10-5 |

1.7 合成标准不确定度



1.8 扩展不确定度

对合成标准不确定度，取其置信概率为p=95%，包含因子*k*=2,故扩展不确定度为：



1.9 结果报告

被校LCR测量仪电感参数测量功能测量结果相对扩展不确定度*U*rel=6.2×10-5（*k*=2）

附录B 校准原始记录格式

XXXXX校准原始记录

证书编号：

|  |
| --- |
| 送校仪器信息： |
| 委托单号 |  | 送校单位 |  |
| 名 称 |  | 制造单位 |  |
| 型号/规格 |  | 出厂编号 |  |
| 校准环境条件及地点： |
| 温 度 | ℃ | 地 点 |  |
| 相对湿度 | %  | 其 它 |  |
| 校准所依据的技术文件（代号、名称）：JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示  |
| 校准所使用的主要测量标准： |
| 名 称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级 | 证书编号 | 证书有效期至(YYYY-MM-DD) |
|  |  |  |  |  |

第 页 共 页

XXXXX校准原始记录

证书编号：

|  |
| --- |
| 校准结果记录 |
|  |

 第 页 共 页

XXXXX校准原始记录

证书编号：

|  |
| --- |
| 校准结果记录 |
|  |

**校准员： 核验员： 校准日期： 年 月 日**

第 页 共 页

附录C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

|  |
| --- |
| <校准机构授权说明>校准结果不确定度的评估和表述均符合JJF1059.1的要求。 |
| 校准环境条件及地点： |
| 温 度 | ℃ | 地 点 |  |
| 相对湿度 | %  | 其 它 |  |
| 校准所依据的技术文件（代号、名称）：  |
| 校准所使用的主要测量标准： |
| 名 称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级 | 证书编号 | 证书有效期至(YYYY-MM-DD) |
|  |  |  |  |  |

第X页 共X页

证书编号 XXXXXX-XXXX

校 准 结 果

|  |
| --- |
| （校准项目及校准结果） |

第X页 共X页

证书编号 XXXXXX-XXXX

校 准 结 果

|  |
| --- |
| （校准项目及校准结果） |
| 说明：根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下 个月校准一次。 |
| 声明：1. 仅对加盖“XXXXX校准专用章”的完整证书负责。2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。 |

校 准 员： 核 验 员：

第X页 共X页