



河南省地方计量技术规范

JJF(豫)195—2015

交流电阻器校准规范

Calibration Specification for AC Resistance

2016—01—07 发布

2016—03—10 实施

河南省质量技术监督局 发布

交流电阻器校准规范

Calibration Specification for AC Resistance

JJF(豫)195—2015

归口单位：河南省质量技术监督局

主要起草单位：河南省计量科学研究院

参加起草单位：安阳市质量技术监督检验测试中心
信阳市质量技术监督检验测试中心

本规范委托起草单位负责解释

本规程主要起草人：

朱小明（河南省计量科学研究所）

周秉时（河南省计量科学研究所）

王 卓（河南省计量科学研究所）

陆新东（河南省计量科学研究所）

李锦华（河南省计量科学研究所）

参加起草人：

宋好琦（安阳市质量技术监督检验测试中心）

张莹莹（信阳市质量技术监督检验测试中心）

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	(1)
5 计量特性	(1)
5.1 示值误差	(1)
5.2 准确度等级和最大允许误差	(2)
5.3 定标频率	(2)
5.4 交直流转换误差	(2)
5.5 角差	(2)
5.6 时间常数	(2)
5.7 残余电阻	(3)
5.8 残余电感	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准记录表格	(7)
附录 B 校准证书内页格式	(9)
附录 C 测量结果不确定度评定示例	(10)

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》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范参照了 IEC 60477—2—1979《实验室用电阻器 第 2 部分：实验室用交流电阻器》有关内容。本规范是首次制定。

交流电阻器校准规范

1 范围

本规范适用于准确度等级为 0.01 级~10 级、电阻值范围为 $10^{-3}\Omega\sim 10^7\Omega$ 、频率范围为 0~100kHz 的实验室用单值或多值电阻器、电阻箱的校准。

2 引用文件

JJG 166—1993 直流电阻器检定规程

JJG 982—2003 直流电阻箱检定规程

JB/T 8225—1999 实验室直流电阻器

JB/T 10057—1999 测量用交流电阻箱

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(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 交流电阻时间常数 time constant of AC resistance

交流电阻时间常数是表述交流电阻器残余分量的参数,是交流电阻器串联等效电感与直流电阻的比值或是并联等效电容与直流电阻的乘积,单位为秒(s)。

3.2 交流电阻的交直流转换误差 AC/DC resistance transform

电阻器在交流状态下电阻值相对直流状态下电阻值的偏差,用百分数(%)表示。

3.3 交流电阻角差 phase angle error of AC resistance

电阻器在交流状态下阻抗的虚部与实部的比值,表征电路中电流和电压间的相角差,单位为弧度(rad)。

3.4 残余电感 residual inductance

当交流电阻器所有开关器件均置于零位时,交流电阻器输出端的电感值。交流电阻器的残余电感应保证交流电阻器低阻的时间常数指标和频率指标,单位为亨(H)。

4 概述

交流电阻器是在交流状态下,寄生电感与电容影响非常小的电阻器,多采用双股绕制或分段绕制工艺制作。交流电阻器可分为单值电阻器、多值电阻器和电阻箱等。在参考条件下,每只交流电阻器或每个步进盘都有各自相应的准确度等级。

交流电阻器广泛应用于工业技术、信息技术和航空航天等领域。

5 计量特性

5.1 示值误差

交流电阻器示值相对误差表达形式为

$$\delta = \frac{R - R_x}{R_x} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ ——示值相对误差；

R ——交流电阻标称值， Ω ；

R_x ——交流电阻实际值， Ω 。

5.2 准确度等级和最大允许误差

交流电阻器相应的准确度等级和最大允许误差应符合表 1 的规定。

表 1 准确度等级和最大允许误差

准确度等级	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
最大允许误差	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

5.3 定标频率

5.3.1 交流电阻器应有明确的定标频率，每一准确度等级的交流电阻器频率指标应优先自以下频率中选取：100kHz、50kHz、20kHz、10kHz、5kHz、2kHz、1kHz、500Hz、200Hz、100Hz、50Hz。

5.3.2 校准交流电阻器电阻值时，应使用额定的交流电流值，同时为获得稳定的电阻值，电流对电阻器要有足够的作用时间。

5.4 交直流转换误差

定标频率下，交直流电阻转换误差应不超过该点所示最大允许误差的 1/4，同时交、直流误差均应符合表 1 规定。

5.5 角差

角差在不同定标频率下的最大允许值见表 2。

表 2 角差的最大允许值

频率	最大允许值	
	0.05 级及以上	0.1 级及以下
0~1kHz	$1 \times 10^{-4} \text{ rad}$	$5 \times 10^{-4} \text{ rad}$
1kHz~10kHz	$1 \times 10^{-3} \text{ rad}$	$5 \times 10^{-3} \text{ rad}$
10kHz~100kHz	$1 \times 10^{-2} \text{ rad}$	$5 \times 10^{-2} \text{ rad}$

5.6 时间常数

时间常数应在定标频率下或 1kHz 下测量,交流电阻的时间常数不应大于其标称值。

5.7 残余电阻

对十进制电阻盘均有零位档的交流电阻箱,残余电阻值不应超过其最小步进电阻值最大允许误差的 50%,若制造厂标明有残余电阻,以制造厂标称值为准,此允许误差不应大于最小步进电阻值最大允许绝对误差的 5 倍。

对于十进制电阻盘没有零位档的交流电阻箱,残余电阻值应为无零位档十进盘的最小步进值,其允许误差应为该盘最小步进电阻值的允许绝对误差。

5.8 残余电感

残余电感不应大于其标称值,且最大不应超过 $10\mu\text{H}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准时温湿度参考条件

校准时参考条件见表 3。

表 3 校准时参考条件要求

影响量	准确度等级	校准时参考条件
环境温度	0.01~0.02	$20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
	0.05~10	$20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
相对湿度	所有等级	40%~70%

注:交流电阻器必须在参考条件下,稳定 24 小时后进行校准。

6.1.2 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 计量标准器,其准确度等级要求见表 4。

表 4 标准器和被校仪器准确度等级对应表

被校电阻器 准确度等级	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
标准器准 确度等级	0.002	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2

6.2.2 校准交流电阻器时,由标准器、辅助设备及环境条件等因素所引起的扩展不确定度应不超过被校交流电阻器最大允许误差的 1/3。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 5。

表 5 校准项目表

编号	项目名称	计量特性条款	校准方法条款
1	外观及正常性检查	—	7.2.1
2	残余电阻	5.7	7.2.2
3	残余电感	5.8	7.2.3
4	示值误差	5.2	7.2.4
5	交直流转换误差	5.4	7.2.5
6	角差	5.5	7.2.5
7	时间常数	5.6	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 外观及正常性检查

1) 交流电阻器应无影响电气性能的机械损伤,其开关、按键和接口等应到位可靠,旋钮应牢固且调节正常。

2) 交流电阻器的铭牌以及面板或机箱上宜有以下主要标志。

产品名称、型号、电阻标称值、准确度等级、时间常数、定标频率、残余电感、额定电流、制造厂、出厂编号。

3) 用万用表或电阻表对交流电阻器进行初步测量,检查电阻器是否有断路或短路现象。

7.2.2 残余电阻

测量交流电阻器残余电阻误差时,标准器应比被校交流电阻器高两个等级,测量频率为最小盘定标频率。测量前应将每个十进电阻盘在最大范围内来回转动不少于三次,然后使示值置于零位或者各盘的最末位。测量应重复进行三次,取三次测量结果的平均值作为测量结果。

注:残余电阻误差可在电阻示值误差测量前进行。

7.2.3 残余电感

残余电感用数字式 LCR 测量仪或数字阻抗测试仪来测量,测量频率为最小盘定标频率。测量前应将每个十进电阻盘在最大范围内来回转动不少于三次,然后使示值置于零位或者各盘的最末位。测量应重复进行三次,取三次测量结果的平均值作为测量结果。

7.2.4 示值误差

示值误差校准在参考条件下进行,根据被校的等级指数、标称值,可采用直接测量法、同标称值替代法和数字电压表法三种校准方法。

7.2.4.1 直接测量法

当交流电阻测量仪或装置比被校交流电阻器高两个准确度等级时,可采用直接测量法。被校交流电阻器电阻值 R_x 的校准结果为:

$$R_X = R_S \quad (2)$$

式中:

R_X ——被校交流电阻校准值;

R_S ——交流电阻测量仪示值。

7.2.4.2 同标称值替代法

当电阻测量仪器或装置达不到比被校交流电阻器高两个准确度等级,而又有与被校交流电阻器同标称值且比被校高两个准确度等级的标准交流电阻器时,可采用同标称值替代法。

替代法是用电阻测量仪依次测量标准交流电阻器的示值和被校交流电阻器的示值,其校准结果为:

$$R_X = R_N + (A_X - A_S) \quad (3)$$

式中:

R_X ——被校交流电阻校准值;

R_N ——标准交流电阻示值;

A_S ——测量标准交流电阻时测量仪器的示值;

A_X ——测量被校交流电阻时测量仪器的示值。

7.2.4.3 数字电压表法

在参考条件下,利用恒流源以及数字电压表通过测量被校交流电阻器上的电压,从而确定被校交流电阻器的电阻值。在测量装置引入的扩展不确定度小于被检等级指数的 1/3 时,便可测得被校交流电阻器的值。

7.2.5 交直流转换误差和角差

当用比被校交流电阻器高两个准确度等级的交流电阻测量仪或装置来测量被校交流电阻器时,可采用直接测量法,常用的交流电阻测试仪为数字式 LCR 测量仪或数字阻抗测试仪等。

1) 设置交流电阻测量仪主测量参数为交流电阻,副测量参数为品质因数;

2) 根据被校交流电阻器的定标频率和额定功率设置交流电阻测试仪的测试频率和工作电压;

3) 交流电阻测试仪的示值为 R 和 Q , 则被校交流电阻器的交直流转换误差 γ_X 和角差 δ_X 分别为:

$$\gamma_X = \frac{R_X - R_{0X}}{R_{0X}} \quad (4)$$

$$\delta_X = Q$$

式中:

γ_X ——被校交流电阻的交直流转换误差;

δ_X ——被校交流电阻的角差;

R_{0X} ——被校交流电阻器的直流电阻值;

R_x ——被校交流电阻器的交流电阻值；

Q ——被校交流电阻器的品质因数。

7.2.6 时间常数

交流电阻的时间常数可以通过测量交流电阻器的角差计算得到。若定标频率为 f , 被测交流电阻角差为 δ_x , 则交流电阻的时间常数 τ_x 为

$$\tau_x = \frac{\delta_x}{2\pi f} \quad (6)$$

式中：

τ_x ——被校交流电阻器时间常数；

δ_x ——被校交流电阻器角差；

f ——被校交流电阻器定标频率。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准后的交流电阻器, 出具校准证书。校准证书应给出校准结果及测量不确定度。

校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“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, 应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关, 应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 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说明；
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

8.2 校准结果数据处理

校准结果的数据应先计算后修约, 修约应遵循四舍五入及偶数法则, 修约到允许误差的 $1/10$ 。测量结果的扩展不确定度末位应与校准结果末位保持一致。

9 复校时间间隔

校准时间间隔由用户根据实际使用情况自行确定,建议复校时间间隔为1年。

附录 A

校准原始记录表格

表 A.1 交流电阻校准值

测 量 值 示 值	频 率				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

表 A.2 交直流转换误差

测 量 值 示 值	频 率	DC	Hz	Hz	Hz

表 A.3 角差

角 差 示 值	频 率	Hz	Hz	Hz

表 A.4 时间常数

时间常数 示值	频率 Hz	Hz	Hz

表 A.5 残余电阻

频率	测量值			平均值
	1	2	3	
Hz				

表 A.6 残余电感

频率	测量值			平均值
	1	2	3	
Hz				

附录 B

校准证书内页格式

证书编号：

序号	校准项目	校准结果	测量不确定度
1	残余电阻		
2	残余电感		
3	示值误差		
4	交直流转换误差		
5	角差		
6	时间常数		

校准员：

核验员：

附录 C

测量结果的不确定度评定示例

交流电阻测量结果的不确定度评定

C.1、校准依据及方法

依据本规范和 JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》进行校准和不确定度评定。

校准方法:使用 0.02 级 1689RLC 数字电桥标准装置,校准 0.1 级 ZX38A 交流电阻箱 1kΩ 点,将交流电阻箱按相应接口接入,直接读取 1689RLC 数字电桥显示的电阻值。

校准环境条件:温度:(20±1)℃;相对湿度:(40~70)%;

校准频率:1000Hz;校准电压:1V(1±10%)

C.2、测量模型

$$\Delta R = R - R_x$$

ΔR ——交流电阻测量误差,Ω

R ——交流电阻标称值,Ω

R_x ——交流电阻实际值,Ω

C.3、方差和传播系数

$$u_c^2 = c_1^2 u^2 + c_2^2 u_x^2$$

$$c_1 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_x} = -1$$

C.4、标准不确定度分量的评定

C.4.1 A 类标准不确定度分量评定

用 1689RLC 数字电桥电阻档对被测交流电阻器的 1 kΩ 点电阻值,在符合校准条件下,直接测量 10 次,结果如下:

1.0001	1.0003	1.0000	1.0002	1.0001
1.0002	1.0002	1.0001	1.0000	1.0002

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 9.6 \times 10^{-5}$$

取单次测量结果作为最后结果,则不确定度 u_1 为:

$$u_1 = 9.6 \times 10^{-5} \text{ k}\Omega,$$

$$\text{自由度 } \nu_1 = n - 1 = 9$$

C.4.2 B类标准不确定度分量评定

C.4.2.1 标准装置基本误差引入的不确定度分量

1689 RLC 数字电桥准确度为 0.02%，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = \frac{0.02\% \times 1}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ k}\Omega$$

自由度： $\nu_2 = \infty$

C.4.2.2 环境温度引入的不确定度分量

由实验室环境得出，温度变化带来的误差限为 $\pm 1 \times 10^{-5}$ ，属均匀分布，故：

$$u_3 = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-6} \text{ k}\Omega$$

自由度： $\nu_3 = \infty$

C.4.2.3 数据修约带来的不确定度 u_4

依据校准规范，被交流电阻箱的校准结果应按规则进行修约，修约间隔为允许误差限值的 1/10。属于均匀分布，故

$$u_4 = \frac{0.1 \times 0.1\% \times 1}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-5} \text{ k}\Omega$$

自由度： $\nu_4 = \infty$

C.4.2.4 由标准器分辨率误差带来的不确定度分量

1689 RLC 数字电桥分辨率为 1×10^{-5} ，属均匀分布，故

$$u_5 = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1}{2 \times \sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-6} \text{ k}\Omega$$

自由度： $\nu_5 = \infty$

分辨率引入的不确定度小于重复性带来的不确定度，因此数字电桥分辨率引入的不确定度分量可忽略。

C.5、标准不确定度分析一览表

i	不确定分量 u_i	不确定度来源	测量结果的分布	标准不确定度	自由度
1	u_1	测量结果重复性	正态	$9.6 \times 10^{-5} \text{ k}\Omega$	9
2	u_2	标准器误差	均匀	$1.2 \times 10^{-4} \text{ k}\Omega$	∞
3	u_3	环境温度	均匀	$5.8 \times 10^{-6} \text{ k}\Omega$	∞
4	u_4	数据修约	均匀	$5.8 \times 10^{-5} \text{ k}\Omega$	∞

C.6、合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ k}\Omega$$

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \frac{u_4^4}{\nu_4}} = 1322$$

C.7、扩展不确定度

当 $P=95\%$ 时,根据有效自由度查表得 k 近似于 2,因此取 $k=2$,则

$$U=ku_c=2\times 1.5\times 10^{-4}=3.0\times 10^{-4}\text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{rel}}=0.0003\text{ k}\Omega/1\text{ k}\Omega=0.03\%$$

C.8、结论

通过以上分析可知,交流电阻器测量结果的扩展不确定度 U 小于 1/3 最大允许误差,符合本规范和 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》要求。