



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—20XX

消谐电阻器测试仪校准规范

Calibration Specification for Harmonic Suppression Resistor Tester

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

消谐电阻器测试仪校准规范

Calibration Specification for Harmonic
Suppression Resistor Tester

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中航长城计量测试（南京）有限公司
中国电子技术标准化研究院
江苏省计量科学研究院

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范起草人：

伍源（中航长城计量测试（南京）有限公司）
宋扬（中航长城计量测试（南京）有限公司）
赵昭（中国电子技术标准化研究院）
吴融会（中航长城计量测试（南京）有限公司）
韩倩（中航长城计量测试（南京）有限公司）

参加起草人：

韦建（江苏省计量科学研究院）

目 录

引 言	V
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	2
4.1 输出电压	2
4.2 电流	2
4.3 峰值因数	错误！未定义书签。
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	9
附录 B	11
附录 C	13

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》及 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

消谐电阻器测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于输出电压 5kV 及以下的消谐电阻器测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

Q/GDW415-2010 《电磁式电压互感器用非线性电阻型消谐器技术规范》

JJG795-2016 《耐电压测试仪检定规程》

注：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 概述

消谐电阻器测试仪（以下简称测试仪）是供非线性电阻型消谐器测试的专用仪器。其核心原理是采用伏安特性测试法，测量消谐电阻器的伏安特性。

测试仪通常由电子调压器、升压变压器、测量电路、开关电源、测控单元和主控制器等组成。主控制器根据设定电流值调节数控模块输出电压；流过消谐电阻器电流达到设定电流值时，主控制器自动记录输出电压；主控制器根据电流、电压计算消谐电阻器实时电阻。

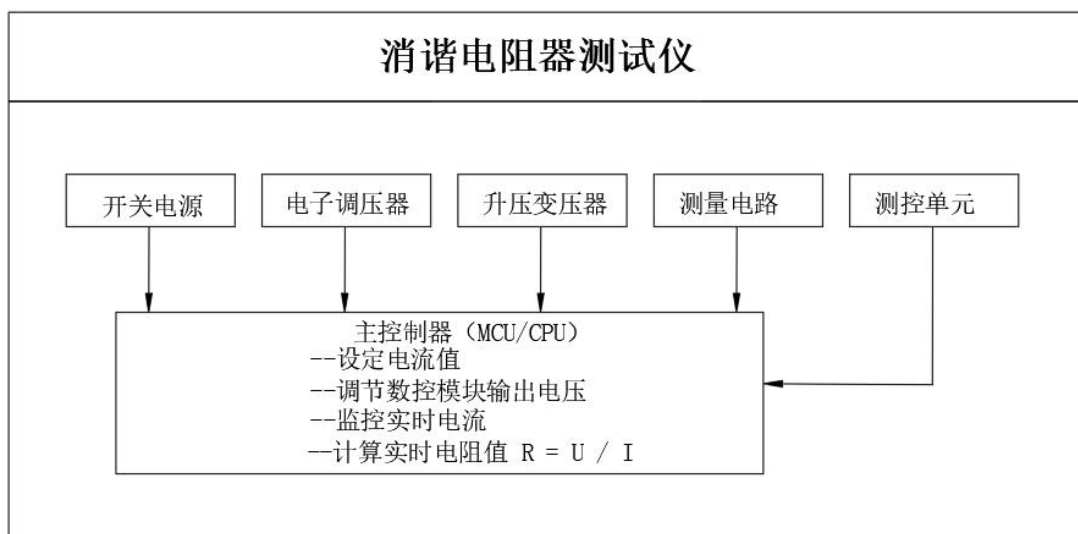


图 1 消谐电阻器测试仪原理图

4 计量特性

4.1 输出电压

交流电压输出范围: AC 50Hz 10 V ~5000 V,

直流电压输出范围: DC 10V ~3500V,

最大允许误差: $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 。

4.2 电流

交流电流测量范围: AC 50Hz 0.01mA ~20mA,

最大允许误差: $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 。

直流电流测量范围: DC 0.01mA ~50mA,

最大允许误差: $\pm 1.5\% \sim \pm 2\%$ 。

4.5 峰值因数

最大允许误差: ± 0.07 。

注: 以上技术指标不作合格性判别, 仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度: $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.2 相对湿度: 20%~80%, 无凝露。

5.1.3 供电电源:

交流供电电压: $220\text{ V} \pm 11\text{ V}$;

频率: $50\text{ Hz} \pm 0.5\text{ Hz}$ 。

5.1.4 周围无影响仪器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

5.2.1 直流高电压分压器

额定工作电压不小于被校测试仪的直流输出电压;

准确度等级优于 0.1 级。

5.2.2 交流高电压分压器、高电压电容分压器

额定工作电压不小于被校测试仪的交流输出电压;

准确度等级优于 0.1 级。

5.2.3 交直流高电压表

测量范围应覆盖被校测试仪输出电压范围;

准确度等级优于 0.2 级。

5.2.4 交流数字电压表、直流数字电压表、交流峰值电压表

测量范围应覆盖标准分压器输出电压范围, 且其输入阻抗应与所连接标准分压

器匹配;

最大允许误差优于被校测试仪输出电压允许误差的十分之一。

5.2.5 交流数字电流表、直流数字电流表

测量范围应覆盖测试仪测量范围;

准确度优于 0.2 级。

5.2.6 高压负载电阻

额定工作电压不小于被校测试仪额定电压的 1.2 倍;

功率: 不小于 250W。

最大允许误差优于 $\pm 5\%$ 。

5.2.7 峰值因数表

测量范围: 0~6;

准确度等级优于 0.5 级。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1

表 1 消谐电阻器测试仪校准项目一览表

序号	项目名称
1	输出电压
2	电流
3	峰值因数

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

a) 被校测试仪名称、型号、制造商、出厂编号、额定输入电压和频率、输出参数额定值、端钮标准等信息应齐全,接线端子、开关、按键、拨盘功能正常,无松动、损伤、脱落。各种功能标志应齐全完整;测试仪配备的专用测试线、使用说明书等附件应齐全。

b) 通电后,开关、按键、显示屏和各种状态指示灯(标志)应工作正常。

c) 在规定的环境条件下,测量标准和被校测试仪应先在室内静置不少于 2 小时,使其温度与室内环境温度趋于一致,防止仪器表面及内部产生凝露。确认无异常后按各自的说明书和实际工作需要加电预热;仪器说明书无明确预热要求时,开机预热时间不小于 30 min。

6.2.2 输出电压

6.2.2.1 高电压表法

按照图 2 所示连接仪器，在量程范围内均匀选取 5~10 个点，调节测试仪输出电压为校准点 V_x ，读取交直流高电压表实测值 V_s ，按公式（1）、（2）计算测试仪输出电压的示值误差。

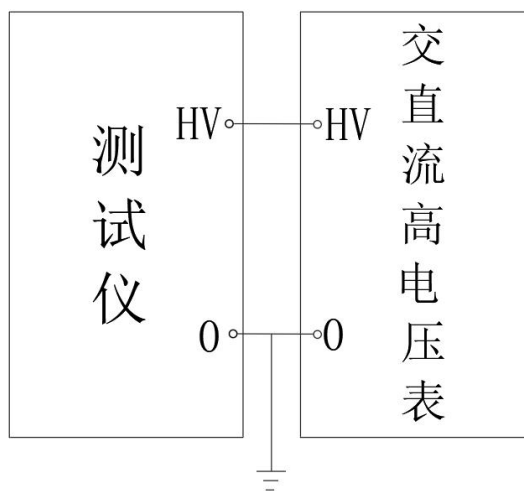


图 2 高电压表法输出电压校准示意图

$$\Delta V = V_x - V_s \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{V_x - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中： ΔV ——被校测试仪输出电压绝对误差，V；

γ ——被校测试仪输出电压相对误差，%；

V_x ——被校测试仪输出电压示值，V；

V_s ——交直流高电压表实测值，V。

6.2.2.2 高电压分压器法

按照图 3 或图 4 所示连接仪器，在量程范围内均匀选取 5~10 个点，调节测试仪输出电压为校准点 V_x ，按公式（3）、（4）计算测试仪输出电压的示值误差。

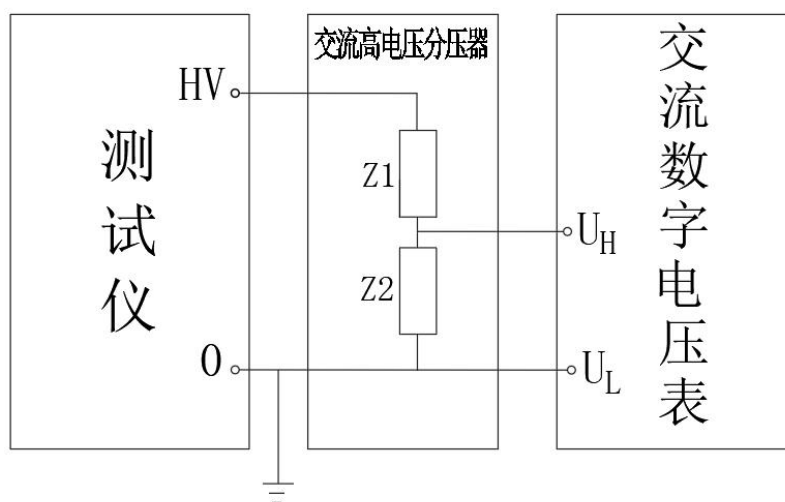


图 3 交流高电压分压器法输出电压校准示意图

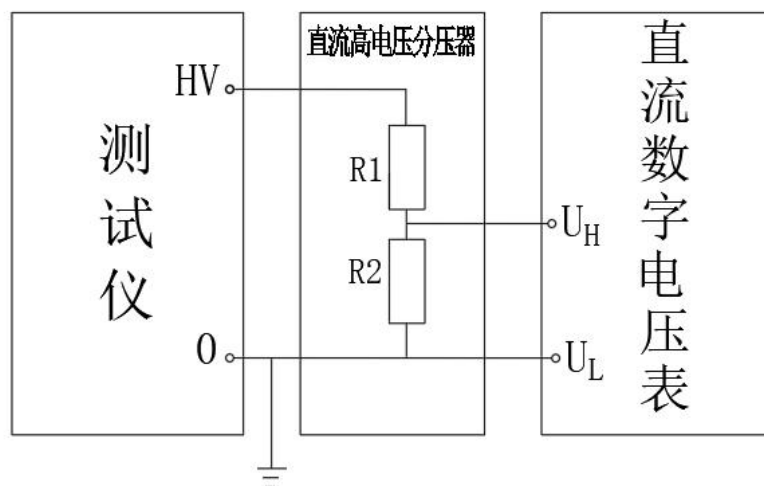


图 4 直流高电压分压器法输出电压校准示意图

$$\Delta V = V_x - K \cdot V_s \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{\Delta V}{K \cdot V_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中： ΔV ——被校测试仪的输出电压示值绝对误差，V；

γ ——被校测试仪的输出电压示值相对误差，%；

V_x ——被校测试仪的输出电压示值，V；

V_s ——交流或直流数字电压表实测值，V；

K ——高电压分压器电压分压比。

6.2.3 电流

具有交流及直流输出电压的测试仪应对交流及直流电流分别进行校准。按图 5 所示连接仪器，调整输出电压至 $0.1U_H$ ，且不低于 500V，平稳调节高压负载电阻 R_L 的阻值，

在电流量程内均匀选取至少 5 个点，记录数字电流表实测值 I_s ，按公式（5）、（6）计算测试仪电流示值误差示值误差。

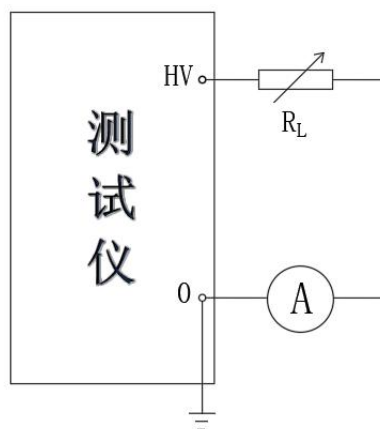


图 5 电流校准示意图

$$\Delta I = I_x - I_s \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (6)$$

式中： ΔI ——被校测试仪电流示值绝对误差，mA；

γ ——被校测试仪电流示值相对误差，%；

I_x ——被校测试仪的电流示值，mA；

I_s ——交流或直流数字电流表实测值，mA。

6.2.4 峰值因数

6.2.4.1 峰值因数表法

按图 6 所示连接仪器，调节测试仪至额定输出电压 10%、50%、100% 分别测量，读取峰值因数表实测值 CF_0 ，按公式（7）计算测试仪峰值因数示值误差。

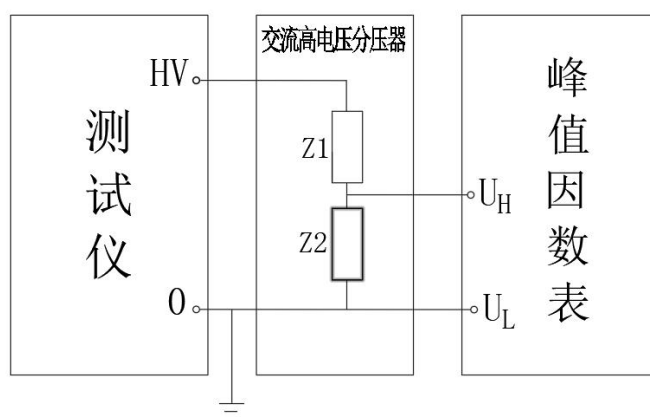


图 6 峰值因数表法校准示意图

$$\Delta CF = CF_{ind} - CF_0 \quad (7)$$

式中： ΔCF ——被校测试仪峰值因数示值绝对误差，；

CF_{ind} ——被校测试仪峰值因数示值；

CF_0 ——峰值因数表峰值因数实测值。

6.2.4.2 交流数字电压表法

按图 7 所示连接仪器，调节测试仪至额定输出电压 10%、50%、100% 分别测量，读取交流数字电压表的峰峰值 V_P 和真有效值 V_{RMS} ，按公式 (8) 计算测试仪峰值因数示值误差。

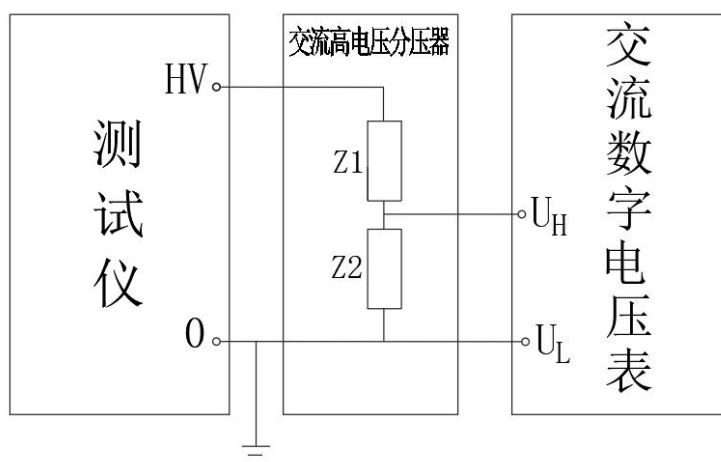


图 7 交流数字电压表法校准示意图

$$\Delta CF = CF_{ind} - \frac{V_P}{V_{RMS}} \quad (8)$$

式中： ΔCF ——被校测试仪峰值因数示值绝对误差；

CF_{ind} ——被校测试仪峰值因数示值；

V_P ——交流数字电压表峰峰值，V；

V_{RMS} ——交流数字电压表真有效值，V。

7 校准结果表达

校准结束后应出具校准证书。校准证书至少包含以下信息：

- 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），每页和总页数的标识；
- 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) 如果与校准结果有效性应用有关时，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声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过 12 个月。送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。经修理或调整后的消谐电阻器测试仪应校准后再使用。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 输出电压

表 A.2.1 高电压表法

标称值/kV	实测值/kV	误差/kV	不确定度 ($k=2$)

表 A.2.2 高电压分压器法

标称值/kV	分压器低压 臂电压实测 值/V	高电压分压 器电压分压 比	实测值/kV	误差/kV	不确定度 ($k=2$)

A.3 电流

表 A.3.1 电流

示值/mA	实测值/mA	误差/mA	不确定度 ($k=2$)

A.4 峰值因数

表 A.4 峰值因数

示值	实测值	误差	不确定度 ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 输出电压

表 B.2.1 高电压表法

标称值/kV	实测值/kV	误差/kV	不确定度 ($k=2$)

表 B.2.2 高电压分压器法

标称值/kV	分压器低压 臂电压实测 值/V	高电压分压 器电压分压 比	实测值/kV	误差/kV	不确定度 ($k=2$)

B.3 电流

表 B.3.1 电流

示值/mA	实测值/mA	误差/mA	不确定度 ($k=2$)

B.4 峰值因数

表 B.4 峰值因数

示值	实测值	误差	不确定度 ($k=2$)

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 输出电压测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

参照消谐电阻器测试仪校准规范，使用标准交流高电压表测量输出电压。

C.1.2 测量模型

用标准交流高电压表测量交流电压的测量模型为：

$$V_N = V_x \quad (\text{C.1})$$

式中：

V_N ——交流电压标称值，kV；

V_x ——交流电压实测值，kV。

C.1.3 传播系数

$$u^2(V_N) = C_1^2 u^2(V_x)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial V_N}{\partial V_x} = 1$$

C.1.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.1 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	标准交流高电压表允差引入的不确定度 u_2
B 类方法	标准交流高电压表分辨力引入的不确定度 u_3

C.1.5 标准不确定度评定

C.1.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用标准交流高电压表对被测电流 1kV 测量点连续测量 10 次，测量结果见下表 C.2 所示：

表 C.2 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/kV	1.0002	1.0006	1.0004	1.0008	1.0011
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/kV	1.0006	1.0004	1.0007	1.0008	1.0004

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出交流电压的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.263 \text{ V} \quad (\text{C.2})$$

C.1.5.2 标准交流高电压表允差引入的不确定度 u_2

对于交流电压 1kV 点, 标准交流高电压表的最大允许误差为 $\pm(0.2\% \text{读数})=\pm 2 \text{ V}$ 。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{2 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 1.155 \text{ V} \quad (\text{C.3})$$

C.1.5.3 标准交流高电压表分辨力引入的不确定度 u_3

对于交流电压 1 kV 点, 标准交流高电压表分辨力为 0.0001 kV。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{0.1 \text{ V}}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ V} \quad (\text{C.4})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复, 根据“不重复、不遗漏”的原则, 且 $u_3 < u_1$, 故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.1.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.3 交流电压不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.263 V
u_2	标准交流高电压表最大允差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	1.155 V

各不确定度分量相互独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1.185 \text{ V} \quad (\text{C.5})$$

C.1.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 1.185 \text{ V} = 2.369 \text{ V} \quad (\text{C.6})$$

则相对扩展不确定度为:

$$U_r = \frac{2.369 \text{ V}}{1000 \text{ V}} \times 100\% = 0.2369\% \approx 0.24\% \quad (\text{C.7})$$

C.2 电流测量结果不确定度评定

C.2.1 测量方法

参照消谐电阻器测试仪校准规范，使用标准电流表测量电流示值误差。

C.2.2 测量模型

用标准电流表测量消谐电阻器测试仪的测量模型为：

$$I_s = I_0 \quad (\text{C.8})$$

式中：

I_s ——交流电流示值，mA；

I_0 ——交流电流实测值，mA。

C.2.3 传播系数

$$u^2(I_s) = C_1^2 u^2(I_0)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial I_s}{\partial I_0} = 1$$

C.2.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.4 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	标准电流表允差引入的不确定度 u_2
B 类方法	标准电流表分辨力引入的不确定度 u_3

C.2.5 标准不确定度评定

C.2.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用标准电流表对被测消谐电阻器测试仪连续测量 10 次，测量结果见下表 C.5 所示

表 C.5 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/mA	1.0012	1.0024	1.0008	1.0015	1.0017
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/ mA	1.0011	1.0016	1.0018	1.0014	1.0021

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出交流电流的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.000475 \text{ mA} \quad (\text{C.9})$$

C.2.5.2 标准电流表允差引入的不确定度 u_2

对于 1 mA 校准点, 标准电流表的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ 读数 $=\pm 0.0005$ mA。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.000289 \text{ mA} \quad (\text{C.10})$$

C.2.5.3 标准电流表分辨力引入的不确定度 u_3

对于标准电流表 1 mA, 标准电流表的分辨力为 0.0001 mA。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} = 0.000029 \text{ mA} \quad (\text{C.11})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复, 根据“不重复、不遗漏”的原则, 且 $u_3 < u_1$, 故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.2.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.6 电流示值不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.000475 mA
u_2	标准电流表最大允差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.000289 mA

各不确定度分量相互独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.000556 \text{ mA} \quad (\text{C.12})$$

C.2.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.000556 \approx 0.0012 \text{ mA} \quad (\text{C.13})$$

则相对扩展不确定度为:

$$U_r = \frac{0.0012 \text{ mA}}{1 \text{ mA}} \times 100\% = 0.12\% \quad (\text{C.14})$$

C.3 峰值因数测量结果不确定度评定

C.3.1 测量方法

参照消谐电阻器测试仪校准规范，用峰值因数表读取峰值因数。

C.3.2 测量模型

用峰值电压表测量峰值因数的测量模型为：

$$CF_{ind} = CF_0 \quad (C.15)$$

式中：

CF_{ind} ——峰值因数示值；

CF_0 ——峰值因数实测值；

C.3.3 传播系数

$$u^2(CF_{ind}) = C_1^2 u^2(CF_0)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial CF_{ind}}{\partial CF_0} = 1$$

C.3.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.7 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	峰值因数表允差引入的不确定度 u_2
B 类方法	峰值因数表分辨力引入的不确定度 u_3

C.3.5 标准不确定度评定

C.3.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用标峰值因数表对消谐电阻器测试仪连续测量 10 次，测量结果见下表 C.8 所示

表 C.8 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值	1.414	1.413	1.415	1.414	1.416
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值	1.414	1.414	1.413	1.414	1.415

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出峰值因数的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.000919 \quad (C.16)$$

C.3.5.2 峰值因数表测量允差引入的不确定度 u_2

对于峰值因数 1.414，峰值因数表测量的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ 读数 $=\pm 0.002828$ 。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.002828}{\sqrt{3}} = 0.0016333 \quad (\text{C.17})$$

C.3.5.4 峰值因数表分辨力引入的不确定度 u_3

对于峰值因数 1.414，峰值因数表分辨力为 0.001。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.00029 \quad (\text{C.18})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复，根据“不重复、不遗漏”的原则，且 $u_3 < u_1$ ，故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.3.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.3 峰值因数不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.000919
u_2	峰值因数表最大允差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.001633

各不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.00188 \quad (\text{C.19})$$

C.3.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = \frac{k \cdot u_c}{1.414} \approx 0.27\% \quad (\text{C.20})$$