

《雷击计数器校验仪校准规范》 试验报告

《雷击计数器校验仪校准规范》编写组

2023 年 8 月

《雷击计数器校验仪校准规范》试验验证报告

1. 概述（试验目的）

规范编制组按校准规范中规定的主要校准项目进行校准，验证该校准规范的正确性、可行性和可操作性。

2. 样品选型

规范编制组选取三种校验仪作为校准对象，详细参数见表 1，

表 1 校准样品基本信息

名 称	型 号	出厂编号	制 造 厂
雷击计数器校验仪	ZCJS-II	2203018	武汉南电至诚电力设备有限公司
雷击计数器校验仪	WDCZ-11	无	武汉武高电测电气有限公司
雷击计数器校验仪	ZGS-J2	J1801007	苏州华电电气股份有限公司
避雷器防电计数器校验仪	GC301	2018931	南京长创科技有限公司

3. 试验条件

3.1 环境条件

试验地点：茅店山 B201

实验室条件：温度 20.0℃，相对湿度 65%

试验日期：2023.3.29～2023.8.10

3.2 测量标准

表 2 测量标准基本信息

设备名称	测量范围	准确度等级或最大允许误差或不确定度
数字存储示波器	频率：DC～1GHz 电压幅度：(0.001～100)V	电压幅度 MPE：±1.5%
高压探头	电压：(0.01～15)kV 直流衰减比 1000：1 带宽：DC～50MHz	直流衰减比：MPE：±2%
数字多用表	AC：(0.03～100)mA	$U(k=2)：\pm(0.10\% \times \text{读数} + 0.04\% \times \text{量程})$

4. 试验项目和方法

4.1 开路峰值电压校准

试验中采用校准规范中的第 7.3.3 条校准方法校准样品相应校准项目开路峰值电压。

4.2 工频电流校准

试验中采用校准规范中的第 7.3.4 条校准方法校准样品相应校准项目工频电流。

5. 试验结果验证

5.1 试验结果分析

在规定的试验条件下，采用校准规范中的方法，结果符合设备的指数指标要求。

5.2 一致性评价

在规定的试验条件下，采用校准规范中的方法，结果符合设备的指数指标要求。

5.3 试验验证结论

验证结果表明规范项目和技术要求合理、方法正确，可操作性较强。

5.4 附录（试验记录）

实验记录一：

样品名称	样品型号	出厂编号	制造厂商
雷击计数器校验仪	ZCJS-II	2203018	武汉南电至诚电力设备有限公司
1、开路峰值电压测量：			
被校显示值(V)	实测值(V)	示值误差(V)	测量不确定度 U_{rel} ($k=2$)
1536	1551	-15	3%

实验记录二：

样品名称	样品型号	出厂编号	制造厂商
雷击计数器校验仪	WDCZ-11	无	武汉武高电测电气有限公司
1、开路峰值电压测量：			
被校显示值(kV)	实测值(kV)	示值误差(kV)	测量不确定度 U_{rel} ($k=2$)
1.60	1.66	-0.6	3%

实验记录三：

样品名称	样品型号	出厂编号	制造厂商
雷击计数器校验仪	ZGS-J2	J1801007	苏州华电电气股份有限公司
1、开路峰值电压测量：			

被校设定值 (V)	实测值 (V)	示值误差 (V)	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$
900	912	-12	3%
1200	1235	-35	3%
1600	1579	21	3%

实验记录四：

样品名称	样品型号	出厂编号	制造厂商
避雷器防电计数器校验仪	GC301	2018931	南京长创科技有限公司
1、开路峰值电压测量：			
被校设定值 (V)	实测值 (V)	示值误差 (V)	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$
600	637	-37	3%
1200	1223	-23	3%
2、工频电流测量：			
被校显示值 (mA)	实测值 (mA)	示值误差 (mA)	测量不确定度 $U (k=2)$
0.22	0.24	-0.02	0.03mA
0.60	0.62	-0.02	0.03mA
1.51	1.52	-0.01	0.03mA
3.35	3.36	-0.01	0.03mA
5.00	5.01	-0.01	0.03mA

雷击计数器校验仪工频电流测量不确定评定实例

B.1 概述

B.1.1 环境条件：环境温度：22.3℃；相对湿度：65%。

B.1.2 被测对象：雷击计数器校验仪。

B.1.3 标准器：数字多用表。

表 B.1 计量标准器

设备名称	测量范围	准确度等级
数字多用表	(0.03~100)mA	$\pm (0.10\% \times \text{读数} + 0.04\% \times \text{量程})$

B.1.4 测量方法：直接测量法。用数字多用表交流电流功能测出计数器校验仪的输出实际值 I 。

B.2 测量模型

$$\Delta I = I_x - I_s$$

式中

ΔI ——被校计数器校验仪示值误差，mA；

I_x ——被校计数器校验仪显示值，mA；

I_s ——数字多用表显示值，mA；

B.3 不确定度传播率

由于各分量相互独立，则合成标准不确定度 $u_c(\Delta I)$ 为：

$$u_c^2(\Delta I) = c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s)$$

其中灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_x} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_s} = -1$$

B.4 标准不确定度分量来源

- 1) A类分量：测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$ ；
- 2) B类分量：被校计数器校验仪分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I_x)$ ；
- 3) B类分量：数字多用表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$ ；
- 4) 环境条件影响、电源稳定度等影响量引入的不确定度分量忽略不计。

B.5 测量不确定度的评定

下面以工频电流 3.3mA 测量点为例子进行工频电流测量不确定度分析。

B.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$

测量重复性引入的标准不确定度分量按 A 类评定。被校雷击计数器校验仪输出 10 次 3.3mA 工频电流，用数字多用表进行 10 次等精度测量，测量结果如表 2 所示。

表 B.2 工频电流测量重复性数据

测量次数 n	被校显示值/mA	实测值/mA	示值误差/mA
1	3.35	3.37	-0.02
2	3.35	3.36	-0.01
3	3.31	3.33	-0.02
4	3.40	3.42	-0.02
5	3.38	3.42	-0.04
6	3.38	3.39	-0.01
7	3.38	3.40	-0.02
8	3.38	3.41	-0.03
9	3.38	3.40	-0.02
10	3.38	3.39	-0.01
平均值	--	3.389	-0.02
$s(y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$	---	---	0.01

根据表 2 中的数据，由贝塞尔公式计算出电压测量示值读数变化的实验标准差：

$$s(I_x) = 0.01\text{mA}$$

校准时取单次测量结果，由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(I_x) = s(I_x) = 0.01\text{mA}$$

B.5.2 被校计数器校验仪分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I_x)$

根据被校计数器校验仪工频电流技术指标：其分辨力 0.01mA，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则被校仪器分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(I_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.01\text{mA}}{2\sqrt{3}} \approx 0.003\text{mA}$$

B.5.3 数字多用表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$

数字多用表的最大允许误差为 $\pm (0.10\% \times 3.3\text{mA} + 0.04\% \times 10\text{mA})$ ，设为均匀分布，取其半

宽 b 为 0.0073mA，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ 则：

$$u(I_s) = \frac{b}{k} = 0.004\text{mA}$$

B. 5. 4 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总表如下所示。

表 B. 3 不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	分类	分布	分量值
$u_1(I_x)$	测量重复性	A	正态	0.01mA
$u_2(I_x)$	被校计数器校验仪	B	均匀	0.003mA
$u(I_s)$	数字多用表最大允许误差	B	均匀	0.004mA

B. 5. 5 合成标准不确定度

在测量不确定度评定中，当重复性引入的标准不确定度分量大于被校仪器的分辨力所引入的不确定度分量时，可以不考虑分辨力所引入的不确定度分量。当重复性引入的不确定度分量小于被校仪器的分辨力所引入的不确定度分量时，应该用分辨力引入的不确定度分量代替重复性分量。

因 $u_2(I_x) < u_1(I_x)$ ，故此时可以不考虑分辨力所引入的不确定度分量 $u_2(I_x)$ 。

$u(I_s)$ 、 $u_1(I_x)$ 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_{1c} = \sqrt{u_1(I_x)^2 + u(I_s)^2} \approx 0.011\text{mA}$$

B. 5. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，开路峰值电压的扩展测量不确定度为：

$$U_{1c} = k u_{1c} = 0.022\text{mA} \approx 0.03\text{mA}$$

B. 5. 7 工频电流示值误差不确定度结果表示

工频电流 3.3mA 测量点示值误差的扩展测量不确定度为 $U = 0.03\text{mA}$ ， $k = 2$

雷击计数器校验仪开路电压峰值测量不确定评定实例

C.1 概述

C.1.1 环境条件：环境温度：22.3℃；相对湿度：65%。

C.1.2 被测对象：雷击计数器校验仪。

C.1.3 标准器：数字示波器、高压探头。

表 C.1 计量标准器

设备名称	测量范围	准确度等级/测量不确定度
数字示波器	频率：DC~1GHz 电压：(0.001~100)V	电压 MPE: ±1.5%
高压探头	电压：(0.01~10)kV 直流衰减比 1000: 1 带宽：DC~75MHz	直流衰减比：MPE: ±2%

C.1.4 测量方法：直接测量法。用数字示波器和高压探头直接测量被校计数器校验仪的开路峰值电压值。

C.2 测量模型

根据测量方法，被校计数器校验仪的开路电压峰值的示值误差表达式为：

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

式中：

ΔV ——开路电压峰值示值误差，V；

V_x ——被校标称值，V；

V_s ——数字示波器读数值，V；

K ——直流衰减比。

C.3 不确定度传播率

由于各分量相互独立，则合成标准不确定度 $u_c(\Delta V)$ 为：

$$u_c^2(\Delta V) = c_1^2 u^2(V_x) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(K)$$

其中灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_x} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_s} = -K \quad c_3 = \frac{\partial \Delta V}{\partial K} = -V_s$$

C.4 标准不确定度分量来源

- 1) A 类分量：测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(V_x)$ ；
- 2) B 类分量：数字示波器最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$ ；
- 3) B 类分量：高压探头直流衰减比引入的标准不确定度分量 $u(K)$ ；
- 4) 非重复性的修正系数、示波器直流垂直精度、测量系统的-3dB 带宽度等影响量引入的不确定分量忽略不计；
- 5) 环境条件影响、电源稳定度影响量引入的不确定度分量忽略不计。

C.5 测量不确定度评估

下面以开路峰值电压 1600V 测量点为例子进行其测量不确定度分析。

C.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(V_x)$

测量重复性引入的标准不确定度分量按 A 类评定。被校计数器校验仪输出 10 次 1600V 电压，用数字存储示波器及高压探头进行 10 次等精度测量，测量结果如表 2 所示。

表 C.2 开路电压峰值测量重复性数据

测量次数 n	实测值/V
1	1598
2	1579
3	1589
4	1598
5	1599
6	1578
7	1579
8	1588
9	1602
10	1592
平均值	1590.2
$s(y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$	9.1

根据表 2 中的数据，由贝塞尔公式计算出电压实测读数变化的实验标准差：

$$s(V_x) = 9.1V$$

校准时取单次测量结果，由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(V_x) = s(V_x) = 9.1V$$

因被校计数器校验仪开路电压峰值为标称值，因此不单独考虑分辨力影响。

C. 5. 2 数字示波器最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

不考虑数字示波器本地噪声、采样率等因素影响，数字示波器的最大允许误差为 $\pm 1.5\%$ ，设为均匀分布，取其半宽 a 为 1.5% ，包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ 则：

$$u(V_s) = \frac{a \times V_s}{k} = 0.0139V$$

C. 5. 3 高压探头直流衰减比引入的标准不确定度分量 $u(K)$

依据高压探头上级溯源证书，其直流衰减比 K 的最大允许误差为 $\pm 3\%$ ，设为均匀分布，取其半宽 b 为 2% ，包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ 则：

$$u(K) = \frac{b \times K}{k} = 11.5$$

C. 5. 4 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总表如下所示。

表 C. 3 不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	分类	分布	分量值
$u(V_x)$	测量重复性引入	A	正态	9.1V
$u(V_s)$	数字示波器最大允许误差	B	均匀	0.0139V
$u(K)$	高压探头直流衰减比不确定度	B	均匀	11.5

C. 5. 4 合成标准不确定度

$u(V_s)$ 、 $u(V_x)$ 、 $u(K)$ 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(V_x)^2 + K^2 u(V_s)^2 + V_s^2 u(K)^2} \approx 24.8V$$

C. 5. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，开路峰值电压的扩展测量不确定度为：

$$U_c = k u_c = 50V$$

相对不确定度为:

$$U_{\text{rel}} \approx 3\%$$

C. 5. 6 开路电压峰值不确定度结果表示

开路电压峰值 1600V 的扩展测量不确定度为 $U_{\text{rel}} = 3\%$, $k = 2$
