

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1691—2018

绕组匝间绝缘冲击电压试验仪校准规范

Calibration Specification for Impulse Voltage Testers
for Winding Interturn Insulation



2018-02-27 发布

2018-05-27 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

绕组匝间绝缘冲击

电压试验仪校准规范

Calibration Specification for Impulse Voltage

Testers for Winding Interturn Insulation

JJF 1691—2018

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：山东省计量科学研究院

广东省计量科学研究院

山东省计量检测中心

镇江市计量检定测试中心

参加起草单位：常州市计量测试技术研究所

青岛艾诺智能仪器有限公司

常州同惠电子股份有限公司

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：

李道民（山东省计量科学研究院）

古 颖（广东省计量科学研究院）

汪心妍（山东省计量检测中心）

曹剑秋（镇江市计量检定测试中心）

参加起草人：

李 鑫（常州市计量测试技术研究所）

王岩崧（青岛艾诺智能仪器有限公司）

赵浩华（常州同惠电子股份有限公司）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 峰值	(1)
3.2 波前时间	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 输出冲击电压峰值	(2)
5.2 波前时间	(2)
5.3 冲击电压波对称性	(2)
5.4 波形重合性	(2)
5.5 波形面积相对差异量	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 所使用的计量标准器	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果表达	(5)
8.1 校准证书	(5)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 输出冲击电压峰值测量不确定度评定示例	(7)
附录 B 校准原始记录格式	(10)
附录 C 校准证书内页格式	(12)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 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。

本规范为首次发布。



绕组匝间绝缘冲击电压试验仪校准规范

1 范围

本规范适用于最高输出电压峰值不大于 15 kV 的模拟式和数字式绕组匝间绝缘冲击电压试验仪（以下简称绕组匝间试验仪）的校准。

本规范不适用于交直流电压输出的耐电压测试仪，输出电压波形为正弦波、波前截断的雷电冲击波及矩形冲击波的耐电压测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB 4793.1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分：通用要求

GB/T 22719.2 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第二部分：试验限值

JB/T 7080 绕组匝间绝缘冲击电压试验仪

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。

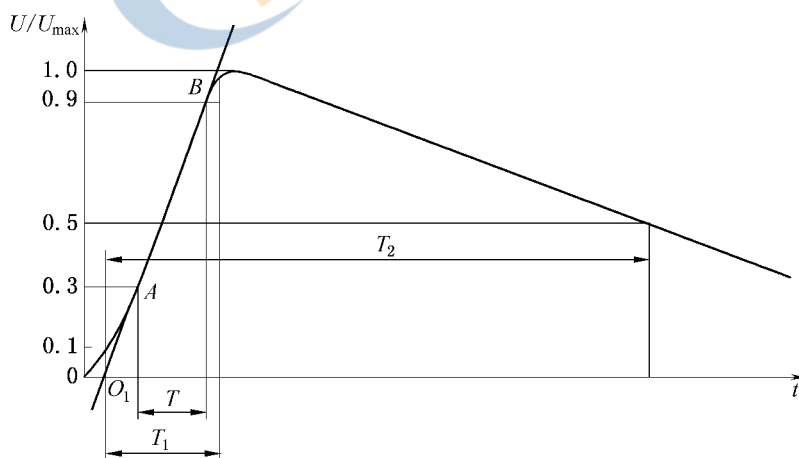
3 术语

3.1 峰值 peak

对于平滑的冲击波形，波形曲线偏离零线的最大值。

3.2 波前时间 wave front time

对于平滑的冲击波形，在波形上取幅值为电压峰值规定比例的 A 和 B 两点，从电压波形曲线的 A 点上升到 B 点所经历的时间 T 的 1.67 倍。如图 1 所示。



说明： $T_1 = 1.67T$

图 1 绕组匝间试验仪冲击电压波形时间参数的确定

4 概述

绕组匝间试验仪是测试绕组（或线圈）匝间绝缘性能的仪器。其基本原理为：将具有规定峰值和波前时间的冲击电压波形交替（或同时）施加于同一设计的被测试绕组和基准绕组（或线圈）上，利用冲击电压在两者中引起的衰减振荡波形的差异，来检测绕组（或线圈）绝缘是否良好。目前比较先进的匝间测试仪器可以预先存储基准绕组的试验波形，在测试过程中直接调出与被测试绕组的试验波形进行比较，这种情况下，仅需将冲击电压施加于被测试绕组。

绕组匝间试验仪分为两组交替输出型试验仪和单输出记忆型试验仪。

5 计量特性

5.1 输出冲击电压峰值

绕组匝间试验仪最高输出冲击电压峰值不大于 15 kV。

输出电压峰值容差一般为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 3\%$ ，优先推荐 $\pm 3\%$ 。

5.2 波前时间

绕组匝间试验仪输出第一个冲击电压波的波前时间为 $0.2^{+0.3}_{-0.1} \mu\text{s}$ 或 $1.2 \mu\text{s}$ （容差一般为 $\pm 30\%$ ），优先推荐 $0.2 \mu\text{s}$ 。

5.3 冲击电压波对称性

两组交替输出型试验仪输出的两组冲击电压波最大允许偏差一般为 1% 。

5.4 波形重合性

单输出记忆型试验仪每次输出的冲击电压波间的最大允许偏差一般为 1% 。

5.5 波形面积相对差异量

波形面积相对差异量的限值由制造者说明书给出。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；湿度： $\leq 80\% \text{RH}$ 。

电源电压： $(220 \pm 11) \text{V}$ ；频率： $(50 \pm 0.5) \text{Hz}$ 。

应配备保障校准人员安全的绝缘橡胶垫、手套和良好的接地线。

6.2 所使用的计量标准器

6.2.1 同轴衰减器

阻值： $1 \text{k}\Omega$ 。

6.2.2 纯电阻型分压器

阻值：不小于 $1 \text{k}\Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；

方波响应时间：不超过 5ns 。

6.2.3 数字存储示波器

带宽不小于 200 MHz。

6.2.4 绕组线圈

校准波形面积相对差异量可使用耐受电压不低于被校绕组匝间测试仪最高输出电压峰值的绕组线圈作为电感性负载。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

绕组匝间测试仪的校准项目见表 1。可以根据客户要求选择校准其中的项目。

表 1 绕组匝间测试仪校准项目一览表

序号	项目名称	计量特性条款	校准方法条款
1	输出冲击电压峰值	5.1	7.2.1
2	波前时间	5.2	7.2.2
3	冲击电压波对称性	5.3	7.2.3
4	波形重合性偏差	5.4	7.2.4
5	波形面积相对差异量	5.5	7.2.5

注：冲击电压对称性适用于两组交替输出型测试仪，波形重合性适用于单输出记忆型测试仪。

7.2 校准方法

7.2.1 输出冲击电压峰值

绕组匝间测试仪输出冲击电压峰值的示值误差用式 (1) 表示：

$$\delta_U = \frac{U_x - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_U ——输出冲击电压峰值相对误差，%；

U_x ——输出冲击电压峰值示值（或设定值），kV；

U_n ——输出冲击电压峰值实际值，kV。

a) 绕组匝间测试仪输出冲击电压峰值测量线路见图 2。

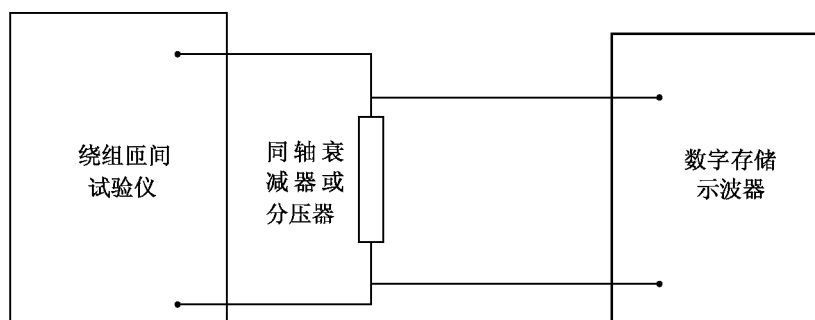


图 2 绕组匝间测试仪输出冲击电压峰值和波前时间测量线路

校准输出冲击电压峰值可使用同轴衰减器或纯电阻型分压器（优先推荐同轴衰减器）

b) 波峰部分波形有振荡或过冲，且幅度大于5%峰值时，应将波形振荡中心线的最高峰值中心线作为输出冲击电压峰值。

c) 绕组匝间试验仪量程满度值为 U_m ，在量程内选取包括10%、50%和100%（或最近刻度点）的3~5点分别进行校准。

d) 输出为单极性的应在产品提供的有效输出范围的上、下限各选一点，具有正、负极性输出的应分别测量正、负极性输出冲击电压峰值。

注：对只能确定输出冲击电压峰值设定值的绕组匝间试验仪，每个设定输出冲击电压峰值 U_x 连续测量两次（间隔至少2s），两次测量的平均值作为输出冲击电压峰值实际值 U_n 。

7.2.2 波前时间

绕组匝间试验仪波前时间的误差用式（2）和式（3）表示：

$$\delta_T = \frac{T_x - T_n}{T_n} \times 100\% \quad (2)$$

$$\Delta T = T_x - T_n \quad (3)$$

式中：

δ_T ——波前时间相对误差，%；

ΔT ——波前时间绝对误差， μs ；

T_x ——波前时间标称值， μs ；

T_n ——波前时间实际值， μs 。

a) 波前时间测量线路见图2。校准波前时间可使用同轴衰减器或纯电阻型分压器（优先推荐同轴衰减器）。

b) 当电压冲击波有振荡时，且振荡峰值超过峰值5%时，可将其振荡波形中心线作为波前波形。

注：对只能确定波前时间设定值的绕组匝间试验仪，对设定波前时间 T_x 连续测量两次（间隔至少2s），以其两次测量的平均值作为波前时间实际值 T_n 。

7.2.3 冲击电压波对称性

两组交替输出型试验仪冲击电压波对称性偏差用式（4）表示：

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_p} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ ——冲击电压波对称性偏差，%；

ΔU ——两通道冲击电压峰值实际值的最大差值，kV；

U_p ——两通道冲击电压峰值实际值的平均值，kV。

两组交替输出型试验仪两个输出端并接一线圈，试验仪对线圈分别施加冲击电压波，用示波器观察其波形，用公式（4）计算其冲击电压波对称性偏差。

7.2.4 波形重合性

单输出记忆型试验仪波形重合性偏差用式（5）表示：

$$\beta = \frac{\Delta U_{\max}}{U_p} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

- β ——波形重合性偏差，%；
 ΔU_{\max} ——三次冲击电压峰值实际值的最大差值，kV；
 U_p ——三次冲击电压峰值实际值的平均值，kV。

单输出记忆型绕组试验仪输出端接一线圈，试验仪对线圈施加冲击电压波，用数字存储示波器记录3次冲击电压波波形，用公式（5）计算其波形重合性偏差。

7.2.5 波形面积相对差异量

a) 两组交替输出型试验仪波形面积相对差异量测量线路见图3。

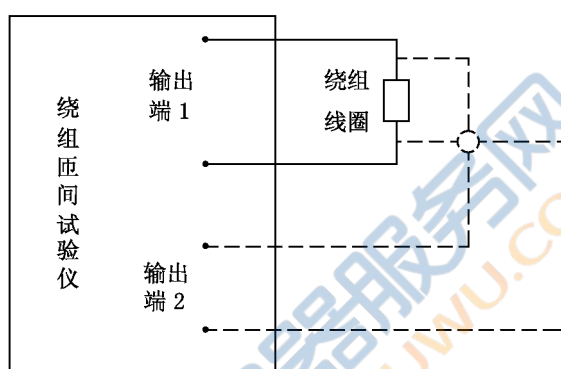


图3 两组交替输出绕组匝间试验仪波形面积测量线路

b) 单输出记忆型试验仪波形面积相对差异量测量线路见图4。

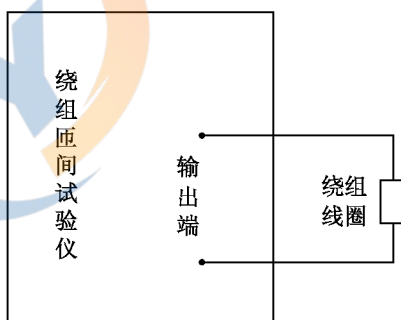


图4 单输出记忆型绕组匝间试验仪波形面积测量线路

两组交替输出型试验仪：仪器两个输出端并接一线圈，仪器两个输出端对线圈施加冲击电压波，由绕组匝间试验仪读出其波形面积相对差异量；单输出记忆型试验仪：仪器输出端接一线圈，仪器对线圈施加冲击电压波，由绕组匝间试验仪读出其波形面积相对差异量。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；

- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- 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) 送校单位的名称和地址；
- 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) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- 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，以及签发日期；
- 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 A，校准证书（报告）内页格式见附录 B。

绕组匝间试验仪校准结果的测量不确定度按 JJF 1059.1 的要求评定，不确定度评定的示例见附录 A。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。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

输出冲击电压峰值测量不确定度评定示例

A.1 概述

环境条件：温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，湿度 $\leq 80\% \text{RH}$ 。

测量标准：数字式存储示波器、同轴衰减器等。

被测对象：5 级绕组匝间绝缘冲击电压试验仪。

测量过程：用数字式存储示波器、同轴衰减器对输出冲击电压峰值、波前时间进行独立的重复测量。

评定结果的适用范围：符合上述条件的测量，一般可直接使用本不确定度的评定方法。校准 5 级及其以下级别的模拟式及数字式绕组匝间冲击电压试验仪（以下简称绕组匝间试验仪）可直接引用本不确定度的评定结果。

A.2 测量模型

$$\Delta U = U_x - U_n \quad (\text{A.1})$$

$$\Delta T = T_x - T_n \quad (\text{A.2})$$

式中：

ΔU ——输出冲击电压峰值的示值误差；

U_n ——输出冲击电压峰值实际值；

U_x ——输出冲击电压峰值示值（或设定值）；

ΔT ——波前时间的示值误差；

T_n ——波前时间实际值；

T_x ——波前时间标称值。

A.3 测量不确定度的来源分析

根据测量模型，被校绕组匝间试验仪测量不确定度将取决于输入量 U_x 、 T_x 和 U_n 、 T_n 的不确定度。以下分别对 4 个输入量的标准不确定度进行评定。

A.4 标准不确定度的评定

不确定度主要来源于被校绕组匝间试验仪测量重复性引入的不确定度分量、示波器的分辨力引入的不确定度分量和标准器准确度引入的不确定度分量。

A.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

选择一台 5.0 级绕组匝间试验仪，在本规范要求的环境条件下，温度和相对湿度稳定，用数字式存储示波器、同轴衰减器对输出冲击电压峰值、波前时间进行独立的重复测量 10 次。对输出冲击电压峰值示值 5 kV 及其视在波前时间的测量结果如表 A.1 所示。

表 A.1 输出冲击电压峰值示值及其视在波前时间的测量结果

序号	实测值	
	5 kV	0.2 μ s
1	4.76	0.250
2	4.80	0.254
3	4.82	0.230
4	4.77	0.254
5	4.79	0.260
6	4.73	0.264
7	4.75	0.252
8	4.85	0.248
9	4.75	0.254
10	4.79	0.248

5 kV 点：

$$\text{算术平均值: } \bar{V}_x = \frac{\sum_{i=1}^n U_{x_i}}{n} = 4.781 \text{ kV}$$

$$\text{单次测得值的实验标准差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{x_i} - \bar{U}_x)^2}{n-1}} = 0.037 \text{ kV}$$

实际工作中取一次读数为测量结果，故重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = s = 0.037 \text{ kV}$$

同理，0.5 μ s 点，重复性引入的标准不确定度分量为： $u_1 = 0.0091 \mu$ s

A.4.2 示波器分辨力引入的不确定度分量 u_2

示波器电压分辨力为 0.01 kV。它在 ± 0.005 kV 的区间内服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此标准不确定度 $u_2 = 0.005 \text{ kV} / \sqrt{3} = 0.0029 \text{ kV}$ 。

示波器时间分辨力为 0.002 μ s。它在 ± 0.001 μ s 的区间内服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此标准不确定度 $u_2 = 0.001 \mu\text{s} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-4} \mu\text{s}$ 。

A.4.3 标准器准确度引入的不确定度分量

示波器幅度测量误差 $\pm 1\%$ ，可认为在区间内服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$5 \text{ kV 点, } u_3 = 1\% / \sqrt{3} \times 5 \text{ kV} = 0.029 \text{ kV};$$

同轴衰减器衰减量准确度 $\pm 0.1\%$ ，可认为在区间内服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$5 \text{ kV 点, } u_3 = 0.1\% / \sqrt{3} \times 5 \text{ kV} = 0.0029 \text{ kV};$$

示波器时间测量误差为 6.5 ps，可认为在区间内服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$0.2 \mu\text{s} \text{ 点, } u_4 = 6.5 \text{ ps} / \sqrt{3} = 3.8 \times 10^{-6} \mu\text{s}。$$

A.5 合成标准不确定度

通过以上分析，输出冲击电压峰值测量的标准不确定度各分量见表 A.2。

表 A.2 输出冲击电压峰值的标准不确定度分量

符号	来源	标准不确定度分量值/kV
u_1	被检表读数的重复性	0.037
u_2	示波器电压分辨力	0.002 9
u_3	示波器幅度准确度	0.029
u_4	同轴衰减器衰减量准确度	0.002 9

波前时间的标准不确定度各分量见表 A.3。

表 A.3 波前时间的标准不确定度分量

符号	来源	标准不确定度分量值/ μs
u_1	被检表读数的重复性	0.009 1
u_2	示波器时间分辨力	5.8×10^{-4}
u_3	示波器时间准确度	3.8×10^{-6}

根据测量模型得到灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta / \partial U_x = 1 \quad c_2 = \partial \Delta / \partial U_n = -1$$

各影响量相对独立，估算合成标准不确定度：

$$\text{输出冲击电压峰值: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.048 \text{ kV}$$

$$\text{同理, 波前时间: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.009 2 \mu\text{s}$$

A.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ 。

输出冲击电压峰值：5 kV 点， $U = k u_c = 2 \times 0.048 \text{ kV} = 0.10 \text{ kV}$ ；

波前时间：0.2 μs 点， $U = k u_c = 2 \times 0.009 2 \mu\text{s} = 0.019 \mu\text{s}$ 。

附录 B

校准原始记录格式

绕组匝间绝缘冲击电压试验仪校准原始记录

证书编号：

被校仪器信息

委托单位名称			
委托单位地址			
委托仪器名称			
生产单位			
规格型号		仪器编号	

标准设备信息

标准器名称	型号	编号	准确度等级、最大允许误差或不确定度	证书编号

本次校准所用测量标准的溯源性说明：

技术依据：

环境条件 温度： 湿度：

校准地点：

备注：

校准日期：

校准人员： 核验人员：

一、冲击电压峰值

量程（极性）	示值/kV	实测值/kV	误差/%	测量结果的不确定度 ($k =$)

二、波前时间

标称值/ μs	实测值/ μs	误差/ μs	测量结果的不确定度 ($k =$)

三、冲击电压波对称性

通道		
实测值/kV		
波形对称性偏差/%		

四、波形重合性检查：

次数	1	2	3
实测值/kV			
波形重合性偏差/%			

五、波形面积相对差异量（%）

两组交替输出型绕组匝间绝缘冲击电压试验仪 <input type="checkbox"/> 单输出记忆型绕组匝间绝缘冲击电压试验仪 <input type="checkbox"/>

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 ××××××—××××

〈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 JJF 1059.1 的要求。				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）： JJF 1691—2018 绕组匝间绝缘冲击电压试验仪校准规范				
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

证书编号 ××××××—××××

校准结果

一、冲击电压峰值

量程（极性）	示值/kV	实测值/kV	测量结果的不确定度 ($k =$)

二、波前时间

标称值/ μs	实测值/ μs	测量结果的不确定度 ($k =$)

三、冲击电压波对称性

通道			
实测值/kV			
波形对称性偏差/%			

证书编号 ××××××—××××

校准结果

四、波形重合性检查：

次数	1	2	3
实测值/kV			
波形重合性偏差/%			

五、波形面积相对差异量（%）

两组交替输出型绕组匝间绝缘冲击电压试验仪

单输出记忆型绕组匝间绝缘冲击电压试验仪

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“×××××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：