

# 福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1060—2014

---

## 电机定子试验装置校准规范

Calibration Specification for Motor Stator Testing System

2014-07-15 发布

2014-10-15 实施

---

福建省质量技术监督局 发布

# 电机定子试验装置校准规范

Calibration Specification for Motor Stator Testing System

JJF ( 闽 ) 1060 —2014

---

本规范经福建省质量技术监督局 2014 年 07 月 15 日批准，并自 2014 年 10 月 15 日起实施。

归 口 单 位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：福建省计量科学研究院

参加起草单位：宁德市计量所

本规范由福建省计量科学研究院负责解释。

**本规范主要起草人：**

池 辉（福建省计量科学研究院）

方 杰（福建省计量科学研究院）

林景星（福建省计量科学研究院）

**参加起草人：**

王榕模（福建省计量科学研究院）

黄 洪（福建省计量科学研究院）

李建康（宁德市计量所）

## 目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 漏电流	(1)
3.2 过冲量	(1)
3.3 有效信号	(1)
3.4 空载电压	(1)
3.5 测量电流	(1)
3.6 测量电压	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 电气安全性能	(2)
5.3 耐电压设定值误差	(2)
5.4 漏电流示值误差	(3)
5.5 耐压功能输出交流电压的失真度	(3)
5.6 绝缘电阻测量电压	(3)
5.7 绝缘电阻示值误差	(3)
5.8 直流电阻测量电流重复性	(3)
5.9 直流电阻示值误差	(3)
5.10 匝间绝缘冲击电压波前时间	(3)
5.11 匝间绝缘冲击电压峰值示值误差	(3)
5.12 匝间绝缘波形故障判别功能	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准用计量仪器	(4)

---

7 校准项目和校准方法·····	(4)
7.1 校准项目·····	(4)
7.2 校准方法·····	(4)
8 校准结果表达·····	( )
8.1 校准数据处理 ·····	(12)
8.2 校准证书·····	(12)
8.3 校准结果的不确定度评定·····	(12)
9 复校时间间隔·····	(12)
附录 A 冲击电压波前时间和冲击电压峰值截取方法说明·····	(13)
附录 B 匝间绝缘测试接线方法及判别规则·····	(15)
附录 C 试验装置校准记录 (式样) ·····	(17)
附录 D 校准证书校准结果内页内容·····	(19)
附录 E 试验装置校准测量不确定度评定 (示例) ·····	(22)

## 引 言

本规范按照 JJF 1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考 JJG 795-2004《耐电压测试仪检定规程》、JJG 837-2003《直流低电阻表检定规程》、JJG 1005-2005《电子式绝缘电阻表检定规程》、JB/T 9615.1-2000《交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验方法》编制而成。

本规范为首次制定。

# 电机定子试验装置校准规范

## 1 范围

本规范适用于三相（或单相）交流电机散嵌绕组或成型电机定子试验装置（以下简称试验装置）技术性能的校准。

其他类似技术性能的试验装置也可参照本规范进行校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 795-2004 耐电压测试仪检定规程

JJG 837-2003 直流低电阻表检定规程

JJG 1005-2005 电子式绝缘电阻表检定规程

GB/T 16927.1-2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

JB/T 9615.1-2000 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡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 漏电流 leakage current

对样品施加工频高压后，在施加电压两极和样品间流过的泄漏电流。

### 3.2 过冲量 overshooting

测量冲击电压峰值时，由测量标准装置引入的过冲。

### 3.3 有效信号 effective signal

测量冲击电压峰值时，扣除测量标准器引入的过冲量后的量。

### 3.4 空载电压 no-load voltage

冲击电压源不带负载时，输出的冲击电压峰值。

### 3.5 测量电流 measuring current

测量直流电阻时，试验装置输出的直流测试电流。

### 3.6 测量电压 measuring voltage

测量绝缘电阻时，试验装置输出的直流测试电压。

## 4 概述

试验装置是用于开展三相（或单相）交流电机散嵌绕组或成型电机定子的试验装置，具有工频耐压、绝缘电阻、绕组直流电阻和匝间绝缘耐压等测试功能。利用计算机控制技术，设置各项目控制参数和限值，并进行数据处理，给出测试结论。其原理框图见图 1。

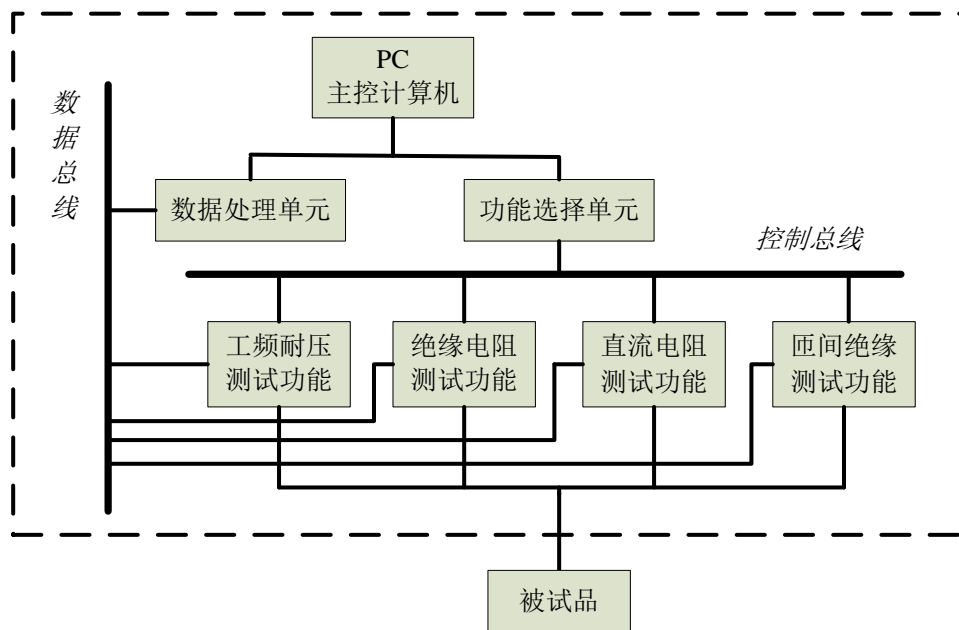


图 1 电机定子试验装置原理示意框图

## 5 计量特性

### 5.1 外观要求及工作正常性检查

5.1.1 试验装置应有明显的铭牌标识，其内容包括仪器名称、型号规格、出厂编号、生产单位等信息。

5.1.2 试验装置外接样品的测量线路应完好无损，机柜应可靠接地。

5.1.3 试验装置的操作开关应能正常闭合和断开，调压装置或按钮应有效，各操作控制继电器能正常工作。

5.1.4 试验装置的计算机控制软件功能正常，接上参考标准样品后能正常进行检验测试工作。

### 5.2 电气安全性能

5.2.1 绝缘电阻应不小于  $100\text{M}\Omega$ 。

5.2.2 施加  $50\text{Hz}$  交流正弦波电压  $1.5\text{kV}$ ，历时  $1\text{min}$ ，不应出现击穿或飞弧现象。

### 5.3 耐压电压设定值误差



交流输出电压的范围为(0.1~3) kV, 容量不小于500VA, 其耐压电压设定值误差不超过±3%。

#### 5.4 漏电流示值误差

漏电流的测量范围为(0.1~100) mA, 误差不超过±3%。

#### 5.5 耐压功能输出交流电压的失真度

输出交流电压的失真度一般不大于5%。

#### 5.6 绝缘电阻测量电压

测量电压波动范围不超过±10%, 输出直流电压一般为500V或1000V。

#### 5.7 绝缘电阻示值误差

绝缘电阻测量范围: 100 Ω~1000M Ω, 误差不超过±10%。

#### 5.8 直流电阻测量电流重复性

恒流源输出的直流电流重复性优于0.05%, 测量电流的大小根据制造厂技术指标确定。

#### 5.9 直流电阻示值误差

直流电阻测量范围: 1mΩ~20kΩ, 其直流电阻示值误差不超过±1%。

#### 5.10 匝间绝缘冲击电压波前时间

输出冲击电压波前时间一般为0.1μs、0.5μs和1.2μs三种规格。推荐为0.5μs。

试验装置输出的冲击电压波形的波前时间应在(0.5μs~1.2μs)范围, 其示值误差不超过±30%。

#### 5.11 匝间绝缘冲击电压峰值示值误差

匝间绝缘功能冲击电压设定范围:(0.5~3) kV, 其设定值误差不超过±10%。

#### 5.12 匝间绝缘波形故障判别功能

在进行匝间绝缘功能测试时, 波形比较和重合性检查功能应正常。

注: 以上技术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

6.1.1 校准时环境温度:(15~30) °C; 相对湿度: ≤75%。

6.1.2 供电电源: 电压(220±11) V, 频率:(50±1) Hz。

6.1.3 校准室内应无影响测量磁场。

## 6.2 校准用测量仪器

校准用测量仪器见表 1。

表 1 校准用测量仪器

序号	设备名称	测量范围	技术指标
1	电压互感器	100V~10kV	0.2 级
2	数字多用表	交流电压: 100mV~750V 直流电压: 100mV~1000V	交流 MPE: $\pm 0.1\%$ 直流 MPE: $\pm 0.05\%$
3	标准电阻	交流电流: 1mA~100mA;	0.01 级
4	高阻箱	1k $\Omega$ ~100G $\Omega$	0.2 级
5	直流标准电阻	0.1 $\Omega$ , 1 $\Omega$ , 10 $\Omega$	0.01 级
6	直流标准电阻箱	0.1 $\Omega$ ~100k $\Omega$	0.01 级
7	数字存储示波器	带宽: 高于 100MHz; 电压量程: 大于 50V	垂直电压精度 MPE: $\pm 1\%$
8	高压衰减器	带宽高于 10MHz; (0.1~10) kV	刻度因子 MPE: $\pm 1\%$ ; 方波响应上升时间 $\leq 0.1\mu\text{s}$
9	冲击分压器	(0.1~10) kV	刻度因子 MPE: $\pm 0.1\%$ ; 方波响应上升时间 $\leq 0.5\mu\text{s}$
10	失真度测量仪	电压输入范围: 不低于 100V	MPE: $\pm 1\%$
11	绝缘电阻表	测量范围不低于 500M $\Omega$ , 测量电压不低于 500V	10 级
12	耐压测试仪	输出交流电压不低于 2.5kV	5 级

注: 也可根据以不低于试验装置最大允许误差三分之一的原则, 选择其他校准用测量仪器。

## 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

校准项目一般为外观及检查、电气安全性能、耐压电压设定值误差、漏电流示值误差、耐压功能输出交流电压失真度、绝缘电阻测量电压、绝缘电阻示值误差、直流电阻测量电流、直流电阻示值误差、匝间绝缘冲击电压波前时间、匝间绝缘冲击电压峰值示值误差、匝间绝缘波形判别功能检查。

## 7.2 校准方法

## 7.2.1 外观及功能性检查

通过目测和操作的方法进行检查。

## 7.2.2 电气安全性能试验

## 7.2.2.1 绝缘电阻测定

非工作状态下,将绝缘电阻表的 L、E 端分别接于工作电源端子和试验装置机壳、电源端子和输出各线路、输出各线路和操作台,测定各部位的绝缘电阻。

## 7.2.2.2 耐压试验

非工作状态下,设定耐压测试仪的击穿报警电流为 5mA,电源端子和操作台、电源端子和输出各线路、输出各线路和操作台施加 50Hz 交流正弦波电压 1.5kV,历时 1min,不应出现击穿或飞弧现象。

## 7.2.3 耐压电压设定值误差校准

耐压电压设定值误差校准方法有直接比较法与直接测量法。其校准连接示意图分别如图 2、图 3。

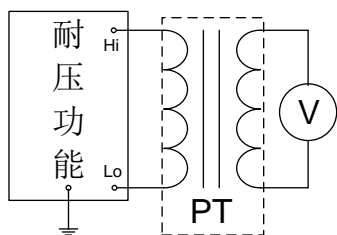


图 2 直接比较法接线图

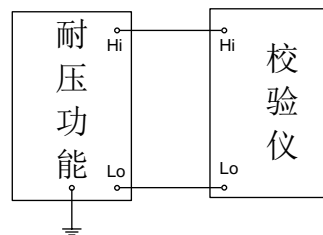


图 3 直接测量法接线图

按图 2 连接校准时,按从小到大的顺序,依次设定(或调节)耐电压输出值  $U_x$  为 (500V)、(1000V)、1500V、2000V、2500V、(3000V),待读数稳定后,由电压表得到读数  $U_v$ ,则输出耐电压实际值  $U_s$  按式 (1) 计算,耐电压设定值误差按式 (2) 或式 (3) 计算。

按图 3 连接校准时,由校验仪直接给出耐电压示值的实际值  $U_s$ 。耐压电压设定值误差按式 (2) 或式 (3) 计算。

$$U_s = k \cdot U_v \quad (1)$$

式中:

$U_s$ ——耐电压示值实际值, V;

$U_v$ ——标准电压表示值, V;

$k$  ——电压互感器变比。

$$\Delta U = U_x - U_s \quad (2)$$

式中:

$\Delta_U$ ——耐压电压设定值误差, V;

$U_x$ ——耐压电压设定值, V;

5

$U_s$ ——耐压电压示值实际值, V。

$$\delta_U = \frac{U_x - U_s}{U_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\delta_U$ ——耐压电压设定值相对误差。

注: 带括号耐电压为可选择校准点, 也可按客户需求选取。

#### 7.2.4 漏电流示值误差校准

漏电流示值误差校准接线图如图 4 所示。

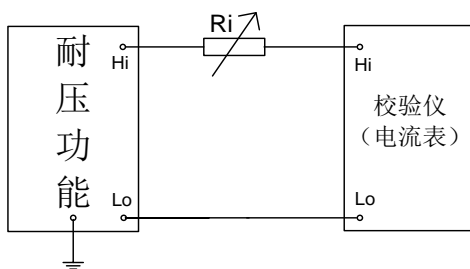


图 4 漏电流示值误差校准接线图

将耐压电压调整至最小, 根据漏电流档位选择合适的可调负载  $R_i$ , 且将  $R_i$  置于最大阻值处, 按图 4 接好线路。启动耐压电压输出, 并缓慢调整其输出, 直至耐压电压输出值不低于 500V, 且漏电流接近校准点时, 固定耐压电压输出, 调整  $R_i$  改变漏电流大小。

漏电流的校准点依次按 (0.5mA)、1mA、2mA、5mA、10mA、15mA、20mA、50mA、100mA 顺序开展校准。同时读取试验装置上漏电流的显示值  $I_x$  和校验仪 (或电流表) 上的漏电流实际值  $I_s$ , 则漏电流的示值误差按式 (4) 或式 (5) 计算。

$$\Delta_I = I_x - I_s \quad (4)$$

式中:

$\Delta_I$ ——漏电流示值误差, mA;

$I_x$ ——试验装置漏电流显示值, mA;

$I_s$ ——漏电流实际值, mA。

$$\delta_I = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$\delta_I$  ——漏电流示值相对误差。

### 7.2.5 耐压功能输出交流电压的失真度校准

输出交流电压的失真度校准接线图如图 5 所示。

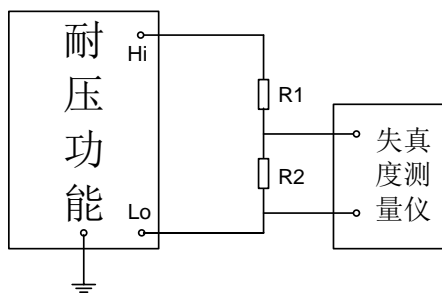


图 5 输出交流电压失真度校准接线图

选择适当的分压器使失真度测量仪输入电压在其允许输入电压范围内, 按图 5 线路连接, 调整输出交流电压到额定值, 由失真度测量仪直接读取交流输出电压的失真度  $U_{\text{thd}}$ 。

### 7.2.6 绝缘电阻测量电压校准

绝缘电阻测量电压校准接线图如图 6 所示。

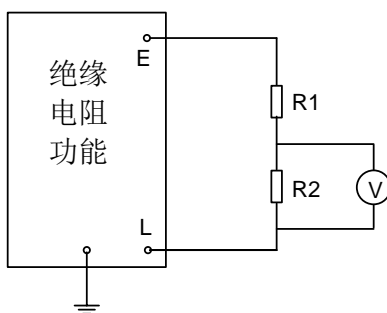


图 6 绝缘电阻测量电压校准接线图

选择适当的分压器, 使得标准电压表的输入电压在其允许范围之内, 启动绝缘电阻测试功能, 读取标准电压表上的直流电压示值  $U_m$ , 则绝缘电阻测量电压  $U_o$  按式 (6) 计算:

$$U_o = l \cdot U_m \quad (6)$$

式中:

$l$  ——分压器分压比;

$U_0$  ——绝缘电阻测量电压实际值, V;

$U_m$  ——标准电压表示值, V。

### 7.2.7 绝缘电阻示值误差校准

绝缘电阻示值误差校准接线图如图 7 所示。

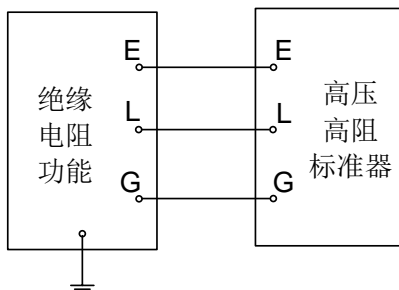


图 7 绝缘电阻示值误差校准接线图

校准绝缘电阻示值误差采用标准电阻器法, 按图 7 线路连接, 校准点的选取按 (1MΩ)、(2MΩ)、(5MΩ)、10 MΩ、20 MΩ、50 MΩ、100 MΩ、200 MΩ、(500 MΩ)、(1000 MΩ)。调节高压高阻标准器到以上相应各校准点, 启动绝缘电阻测试, 读取试验装置上的绝缘电阻显示值  $R_x$ , 则绝缘电阻示值误差按式 (7) 或式 (8) 计算。

$$\Delta_{ZR} = R_x - R_n \quad (7)$$

式中:

$\Delta_{ZR}$  ——绝缘电阻示值误差, MΩ;

$R_x$  ——试验装置绝缘电阻示值, MΩ;

$R_n$  ——绝缘电阻标准值, MΩ。

$$\delta_{ZR} = \frac{R_x - R_s}{R_s} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

$\delta_{ZR}$  ——绝缘电阻示值相对误差。

### 7.2.8 直流电阻测量电流重复性校准

直流电阻测量电流重复性校准接线图如图 8 所示。

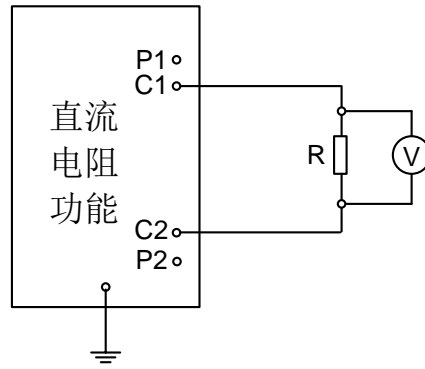


图 8 直流电阻测量电流重复性的校准接线图

选择适当的标准电阻，按图 8 线路连接，采用标准电压表读取电压示值，校准直流电阻测量电流时，应不少于 10 次的重复测量，直流电阻测量电流按式 (9) 计算。直流电阻测量电流重复性按式 (10) 计算。

$$I = \frac{U_r}{R} \quad (9)$$

式中：

$I$  —— 直流电阻测量电流示值，mA；

$U_r$  —— 标准电压表电压示值，V；

$R$  —— 标准电阻标称值， $\Omega$ 。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (10)$$

式中：

$s$  —— 直流电阻测量电流的重复性，mA；

$I_i$  —— 第  $i$  次测量直流电阻测量电流的示值，mA；

$\bar{I}$  ——  $n$  次直流电阻测量电流的平均值，mA。

### 7.2.9 直流电阻示值误差校准

直流电阻示值误差校准接线图如图 9 所示。

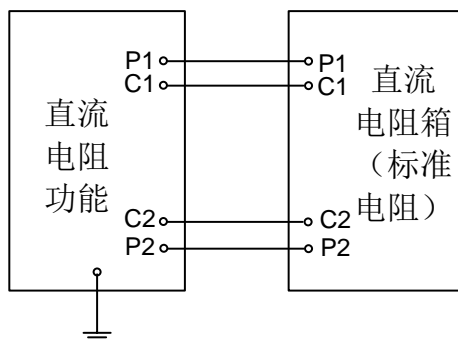


图9 直流电阻示值误差校准接线图

校准直流电阻示值误差采用直流标准电阻器法。按图9接好线路，调节直流标准电阻箱到各校准点 $R_s$ ，启动试验装置的直流电阻功能，读取试验装置的直流电阻示值 $R_x$ ，则直流电阻示值相对误差按式(11)计算。

$$\delta_R = \frac{R_x - R_s}{R_s} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

$\delta_R$ ——直流电阻示值相对误差，%；

$R_x$ ——试验装置直流电阻示值， $\Omega$ ；

$R_s$ ——标准电阻示值， $\Omega$ 。

校准试验装置直流电阻时，校准点选取为(0.1 $\Omega$ )、(0.2 $\Omega$ )、1 $\Omega$ 、2 $\Omega$ 、3 $\Omega$ 、4 $\Omega$ 、5 $\Omega$ 、6 $\Omega$ 、7 $\Omega$ 、8 $\Omega$ 、9 $\Omega$ 、10 $\Omega$ 、20 $\Omega$ 、100 $\Omega$ 、200 $\Omega$ 、1k $\Omega$ 、2k $\Omega$ 、(10k $\Omega$ )、(20k $\Omega$ )。也可按客户要求选择校准点。

注：校准时应消除测量引线带来的误差，方法有：

(1) 将测试线短接，测量引线电阻，对测量结果进行修正；

(2) 采用四端钮式直流电阻箱或四端钮式标准电阻与试验装置的直流电阻测量模块直接相连进行校准。

#### 7.2.10 匝间绝缘冲击电压波前时间校准

匝间绝缘冲击电压波前时间校准接线图如图10所示



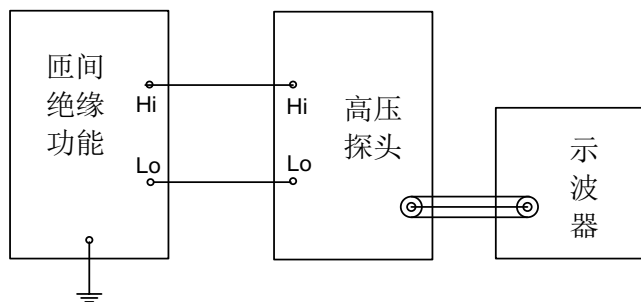


图 10 匝间绝缘冲击电压波前时间校准接线图

按图 10 接好线路，设置试验装置输出一定幅值的匝间绝缘冲击电压，预置好示波器的垂直电压量程，并进行合适的测量功能配置，如时标、触发模式、耦合模式、采集模式。在示波器正常捕获测量波形后，利用示波器的上升时间测量功能，调节时标，直至能够正确分辨被测信号的上升时间，依据波前时间的定义，利用示波器游标，准确截取被测信号的波前时间  $T_f$ 。

#### 7.2.11 匝间绝缘冲击电压峰值示值误差校准

匝间绝缘冲击电压峰值示值误差校准接线图如图 11 所示。

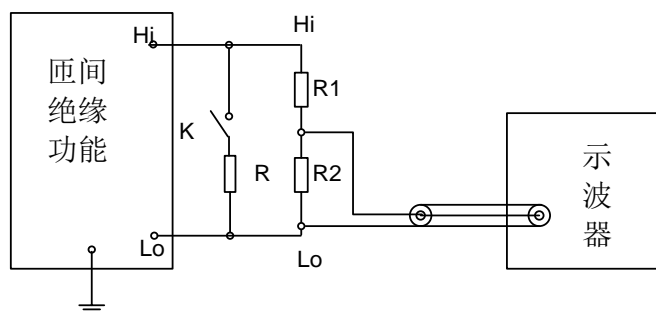


图 11 匝间绝缘冲击电压峰值示值误差校准接线图

按图 11 接好线路，选择的校准点为 (500V)、(1000V)、1500V、2000V、2500V、(3000V)，按以上选取的校准点，依次设定试验装置匝间绝缘冲击电压的幅度  $Y_n$ ，采用示波器获取被测冲击电压响应波形。设置合适的时标，截取被测信号波形的有效信号  $Y_0$ ，利用示波器游标，获取被测冲击电压的峰值  $Y_s$ 。则匝间绝缘冲击电压峰值的示值相对误差按式 (12) 计算

$$\delta_Y = \frac{Y_n - Y_s}{Y_s} \times 100\% \quad (12)$$

式中：

$\delta_Y$  —— 匝间绝缘冲击电压示值相对误差，%；

$Y_n$ ——匝间绝缘冲击电压设定值, kV;

$Y_s$ ——匝间绝缘冲击电压实际值, kV。

其中,  $Y_s$ 按式(13)计算。

$$Y_s = k \cdot Y_0 \quad (13)$$

式中:

$k$ ——冲击分压器用标准方波信号确定的分压比;

$Y_0$ ——示波器截取的峰值有效信号示值, kV。

注 1: 校准时, 当被测信号响应波形出现较大的振荡成分时, 应接入 1k $\Omega$  的无感负载电阻, 以吸收到振荡功率成分, 当被测信号响应较平滑时, 则无需接入负载, 以免对试验装置的匝间绝缘冲击电压发生装置造成影响。

注 2: 匝间绝缘冲击电压波前时间和冲击电压峰值的截取方法见附录 A。

#### 7.2.12 匝间绝缘波形故障判别功能检查

选择一合格被样品, 按附录 B 方法对匝间绝缘测试功能进行功能性检查。

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准数据处理

试验装置校准结果记录于试验装置校准记录(式样)见附录 C。

### 8.2 校准证书

试验装置校准后出具校准证书, 校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 D。

### 8.3 校准结果的不确定度评定

校准结果的不确定度评定按照 JJF 1059.1-2012 进行评定, 不确定度评定示例见附录 E。

注: 当用户要求时, 可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行符合性判定, 进行符合性判定应考虑测量结果的扩展不确定度。

## 9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况, 使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔, 建议复校时间间隔为1年。

## 附录 A

## 冲击电压波前时间和冲击电压峰值截取方法说明

## A.1 冲击电压波前时间截取

设置试验装置输出一定幅值的匝间绝缘冲击电压，预置好示波器的垂直电压量程，并进行合适的测量功能配置，如时标、触发模式、耦合模式、采集模式。保证示波器能够正常的捕获到被测信号的波形。关闭检验装置输出连续脉冲信号的功能，改成输出单一脉冲信号的模式。并且前后两次的测量应保证检验装置的脉冲电压发生装置达到完全放电，防止对后一次测量造成影响。在示波器正常捕获测量波形后，利用示波器的上升时间测量功能，调节时标，直至能够正确分辨被测信号的上升时间，依据波前时间的定义，利用示波器光标，准确截取被测信号的波前时间  $T_f$ 。波前时间的截取方法如图 A-1 所示。其中， $T_f=1.25T_r$ 。

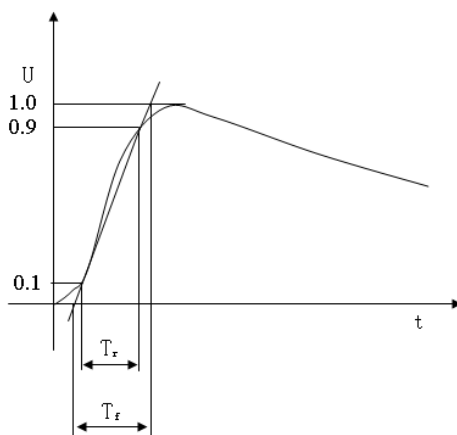


图 A-1 冲击电压波前时间截取

## A.2 冲击电压峰值截取

设置试验装置输出一定幅值的匝间绝缘冲击电压，预置好示波器的垂直电压量程，并进行合适的测量功能配置，如时标、触发模式、耦合模式、采集模式。保证示波器能够正常的捕获到被测信号的波形。关闭检验装置输出连续脉冲信号的功能，改成输出单一脉冲信号的模式。并且前后两次的测量应保证检验装置的脉冲电压发生装置达到完全放电，防止对后一次测量造成影响。在示波器正常捕获测量波形后，利用示波器的上升时间测量功能，调节时标，直至能够正确分辨被测信号的上升时间。将响应曲线的峰值  $V$  扣除测量标准及其他因素引入的干扰量  $\delta\%$  后得到的  $V_p$  即为冲击电压的实际值。其过程方法如图

A-2 所示。

13

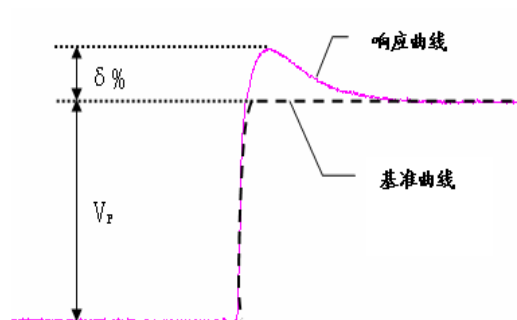


图 A-2 冲击电压峰值截取  
上图中的  $\delta\%$  由测量系统的标准方波验证得到。

## 附录 B

## 匝间绝缘测试接线方法及判别规则

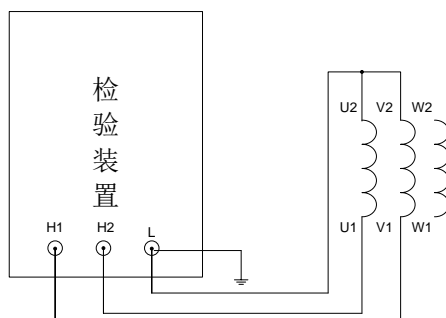
## B.1 测试准备——波形重合性检查

将试验装置两组测试线分别接于同一绕组，或一组测试线分别接于参考绕组和测试绕组，则响应的两衰减振荡波形应基本重合。

## B.2 接线方法

B.2.1  $\Phi$  (相) 接法

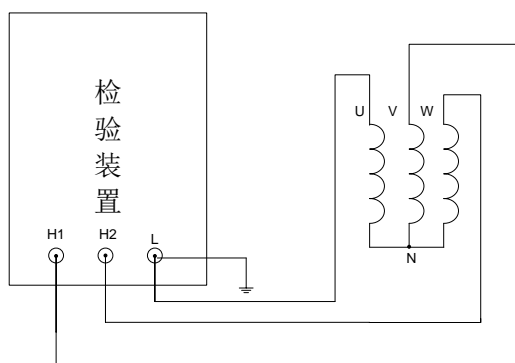
接线图如图 B -1 所示。

图 B -1  $\Phi$  (相) 接法

测试时，可任选一相绕组作为参考绕组，另一相绕组作为测试绕组，在两相上同时施加相同规定峰值冲击电压，比较两衰减振荡波形的同异。再依次转换，进行重复测试，直至比较完成。

## B.2.2 Y (线) 接法

接线图如图 B -2 所示。



B -2 Y (线) 接法

测试时，可任选一组两相串联绕组作为参考绕组，另一组两相串联绕组作为测试绕组，在两绕组上施加相同规定峰值冲击电压，比较两衰减振荡波形的同异。再依次转换，进行重复测试，直至比较完成。

B 2.2.3  $\Delta$  (角) 接法

接线图如图 B -3 所示。

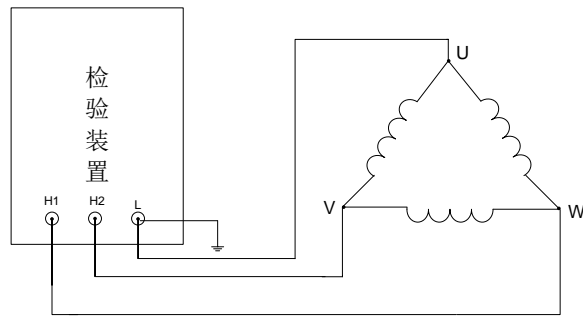


图 B-3 $\Delta$  (角) 接法

测试时，可任选一组两相串联绕组与第三相绕组并联作为参考绕组，另一组两相串联绕组与第三相绕组并联作为测试绕组，在两串联绕组上施加相同规定峰值冲击电压，比较两衰减振荡波形的同异。再依次转换，进行重复测试，直至比较完成。

### B.3 波形判别

若两组测试显示的衰减振荡波形基本重合无显著差异（简称重合），则为正常无故障波形，即被测绕组匝间绝缘无故障。试验装置的各测试波形的面积差与规定设定值比较，判别被样品匝间绝缘是否合格。

## 附录 C

## 试验装置校准记录 (式样)

送校单位				流转号		记录编号	
样品	名称			型号规格		测量范围	
	制造厂			出厂编号		准确度	
标准器	名称	型号规格	出厂编号	证书号	技术特征		
技术依据					温度:		
校准地点					相对湿度:		

## 校准结果:

1. 外观及工作正常性检查:		
2. 绝缘电阻: $\geq$	M $\Omega$	3. 耐电压试验:
4. 耐压电压设定值误差:		
设定值/(kV)	实际值/(kV)	误差/(kV 或%)
5. 漏电流示值误差:		
被检示值/(mA)	实际值/(mA)	误差/(mA 或%)
6. 交流输出电压失真度: /(%)		
7. 绝缘电阻测量电压示值误差: /(V); 误差: /(V 或%)		
8. 绝缘电阻示值误差:		
实际值/(M $\Omega$ )	被检示值/(M $\Omega$ )	误差/( M $\Omega$ 或%)
9. 直流电阻测量电流重复性: mA; s= mA。		

(续表)

送校单位		记录编号	
10. 直流电阻示值误差			
实际值/( $\Omega$ )		被检示值/( $\Omega$ )	
误差/( $\Omega$ 或%)			
11. 匝间绝缘冲击电压波前时间： $\mu$ s；试验电压：kV			
12. 匝间绝缘冲击电压峰值示值误差：			
设定值/(kV)		实际值/(kV)	
误差/(kV 或%)			
13. 匝间绝缘波形故障判别功能检查：			
本次校准测量结果的扩展不确定度：			
耐压电压：			
漏电流：			
绝缘电阻：			
直流电阻：			
冲击电压峰值：			
备注：			

结论		证书编号	
校准	核验	校准日期	年 月 日



## 附录 D

### 校准证书校准结果内页内容

#### D.1 校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内校准）；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校样品的描述和明确标识；
- h) 校准所依据的校准规范名称和代号；
- i) 校准用测量仪器的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

#### D.2 推荐的试验装置校准证书内页格式如下：

## 校准证书校准结果内页 (式样)

一、外观及工作正常性检查: \_\_\_\_\_;

二、绝缘电阻: \_\_\_\_\_;

三、耐电压试验: \_\_\_\_\_;

四、耐压电压设定值误差:

设定值/(kV)	实际值/(kV)	误差/(kV 或%)

五、漏电流示值误差:

被检示值/(mA)	实际值/(mA)	误差/(mA 或%)

六、交流输出电压失真度: \_\_\_\_\_/(%);

七、绝缘电阻测量电压示值误差:

测量值: \_\_\_\_\_/(V); 误差: \_\_\_\_\_/(V 或%);

八、绝缘电阻示值误差:

实际值/(M $\Omega$ )	被检示值/(M $\Omega$ )	误差/( M $\Omega$ 或%)

九、直流电阻测量电流复现性: \_\_\_\_\_ mA;  $s=$  \_\_\_\_\_ mA;

十、直流电阻示值误差:

实际值/( $\Omega$ )	被检示值/( $\Omega$ )	误差/( $\Omega$ 或%)

十一、匝间绝缘冲击电压波前时间: \_\_\_\_\_  $\mu$ s; 试验电压: \_\_\_\_\_ kV;

十二、匝间绝缘冲击电压峰值示值误差:

设定值/(kV)	实际值/(kV)	误差/(kV 或%)

		20
		12

十三、匝间绝缘波形故障判别功能检查：\_\_\_\_\_。

本次校准，测量结果的扩展不确定度：

耐压电压：

漏电流：

绝缘电阻：

直流电阻：

冲击电压峰值：

## 附录 E

## 试验装置校准测量不确定度评定 ( 示例 )

## E.1 耐压电压

## E.1.1 概述

E.1.1.1 环境条件：环境温度 (20±5) °C，相对湿度≤75%

E.1.1.2 测量标准：数字多用表,型号 34411A 测量范围(0~750)V;电压互感器,型号: JDZ-10, 测量范围(0~10)kV (交流电压), 准确度级别 0.2 级。

E.1.1.3 被测对象：电机定子试验装置耐压功能电压部分。

E.1.1.4 测量方法：采用直接比较法测量。设定耐压输出电压  $V_x$ ，读取数字多用表的电压指示值  $V_N$ ，与电压互感器的变比相乘，得到被测电压的实际值，从而计算的被测耐压输出电压的设定值误差。

## E.1.2 数学模型：

$$\Delta V = V_x - kV_N$$

式中：

$\Delta V$ ——电压示值误差，kV；

$V_x$ ——被检耐压电压示值，kV；

$V_N$ ——数字多用表电压示值，V；

$k$ ——电压互感器变比值。

## E.1.3 标准不确定度分量的评定

## E.1.3.1 重复性引入的不确定度分量

重复性条件下，对输出电压 2.5kV 点开展 10 次独立重复测量，结果如表

## E.1

表 E.1

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/(kV)	2.505	2.502	2.506	2.510	2.506	2.504	2.506	2.508	2.503	2.502
均值	2.5052 kV			实验标准差			0.0026kV			

$$u_1 = 0.0026 \text{ kV}。$$

## E.1.3.2 电压互感器等级误差引入的不确定度分量

经上级检定，互感器的等级误差的半宽度为： $a = 2.5 \text{ kV} \times 0.2\% = 0.0050 \text{ kV}$ ，

服从均匀分布。得

$$u_2 = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{kV}。$$

### E.1.3.3 数字多用表测量误差引入的不确定度分量

数字多用表经上级传递合格，2.5kV时，经互感器，数字多用表工作在交流电压100V档，查阅其说明书，在该量程，数字多用表误差半宽为 $a=0.045\text{V}$ 。

$$u_3 = 0.0260\text{V}。$$

### E.1.4 不确定度分量表

表 E.2

序号	不确定度来源	灵敏度系数 $C_i$	不确定度分量 $u_i$
1	重复性	1	0.0026kV
2	电压互感器误差	-1	0.0029kV
3	数字多用表误差	-100	0.0260V

### E.1.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.0047\text{kV}$$

### E.1.6 扩展不确定度：

取包含因子  $k=2$ ，耐压电压 2.5kV 点，其  
测量结果的扩展不确定度  $U=k \cdot u_c=0.0094\text{kV}$   
相对不确定度  $U_{\text{rel}}=0.38\%$ ， $k=2$

## E.2 漏电流

### E.2.1 概述

E.2.1.1 测量环境：环境温度  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度  $\leq 75\%$

E.2.1.2 测量标准：数字多用表,型号 34411A 测量范围(0~3)A;电阻负载箱。

E.2.1.3 被测对象：电机定子试验装置耐压功能漏电流部分

E.2.1.4 测量方法：采用直接比较法，将数字多用表选择电流测量功能，与可调电阻负载箱串联耐压电压输出回路中。同时读取被检漏电流示值  $I_x$  和数字多用表电流显示值  $I_N$ ，即可算得漏电流示值误差。

### E.2.2 数学模型

$$\Delta I = I_x - I_N$$

式中： $\Delta I$ ——漏电流示值误差，mA；

$I_x$ ——被检漏电流示值，mA；

$I_N$ ——数字多用表电流示值, mA;

### E.2.3 标准不确定度分量的评定

#### E.2.3.1 测量重复性引入的不确定度

重复性条件下, 对漏电流 5mA 开展 10 次独立重复测量, 结果如表 E.3

表 E.3

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (kV)	4.967	4.959	4.972	4.953	4.956	4.942	4.957	4.956	4.963	4.972
均值	4.9597kV			实验标准差			0.0092kV			

$$u_1=0.0092\text{mA}$$

#### E.2.3.2 测量标准引入的不确定度

数字多用表经上级传递合格, 测量电流为 5mA 时, 数字多用表误差半宽为  $a=0.0090\text{mA}$

$$u_2=0.0052\text{mA}。$$

### E.2.4 不确定度分量一览表

表 E.4

序号	不确定度来源	灵敏度系数 $C_i$	不确定度分量 $u_i$
1	重复性	1	0.0092mA
3	数字多用表误差	-1	0.0052mA

### E.2.5 合成标准不确定度

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.011\text{mA}$$

### E.2.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 漏电流 5mA 点, 测量结果的扩展不确定度  $U=k \cdot u_c=0.022\text{mA}$ ;

相对不确定度:  $U_{\text{rel}}=0.44\%$ ,  $k=2$ .

## E.3 绝缘电阻

### E.3.1 概述

E.3.1.1 测量环境: 温度 (20~23) °C, 相对湿度 40%~60%

E.3.1.2 测量标准: 可调高阻箱, 型号 ZX119-8, 测量范围: (0.001~10000) MΩ, 最大允许误差  $\pm (0.2\sim2) \%$ 。

E.3.1.3 被测对象：电机定子试验装置绝缘电阻功能

E.3.1.4 测量方法：采用直接比较法，调节可调高值箱电阻到  $R_N$ ，启动绝缘电阻测试功能，读取被检显示值  $R_x$ ，二者示值之差为绝缘电阻示值误差。<sup>15</sup>

E.3.2 数学模型<sup>12</sup>

$$\Delta R = R_x - R_N$$

$\Delta R$ ——绝缘电阻示值误差，M $\Omega$ ；

$R_x$ ——被检绝缘电阻示值，M $\Omega$ ；

$R_N$ ——可调高阻箱电阻实际值，M $\Omega$ 。

E.3.3 标准不确定度分量的评定

E.3.3.1 测量重复性引入的不确定度

重复性条件下，对绝缘电阻 100 M $\Omega$  点开展 10 次独立重复测量，结果如表 E.5

表 E.5

测量次数	测量值/(M $\Omega$ )	平均值/(M $\Omega$ )	实验标准差/(M $\Omega$ )
1	99.95	99.867	0.156
2	99.95		
3	99.84		
4	99.63		
5	99.79		
6	99.68		
7	99.73		
8	100.0		
9	100.1		
10	100.0		

于是得

$$u_1 = 0.156 \text{ M}\Omega$$

E.3.3.2 测量标准引入的不确定度

高阻箱经上级传递合格，100 M $\Omega$  点，误差半宽为  $a=0.2\text{M}\Omega$ ，于是

$$u_2 = 0.115 \text{ M}\Omega。$$

E.3.4 不确定度分量一览表

表 E.6

序号	不确定度来源	灵敏度系数 $C_i$	不确定度分量 $u_i$
1	重复性	1	0.156 M $\Omega$
3	高阻箱误差	-1	0.115 M $\Omega$

E.3.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.194 \text{ M}\Omega$$

## E.3.6 扩展不确定度

25

<sup>12</sup> 取包含因子  $k=2$ ，绝缘电阻 100 MΩ 点，测量结果的扩展不确定度

$$U=k \cdot u_c=0.39\text{M}\Omega$$

相对不确定度  $U_{\text{rel}}=0.39\%$ ， $k=2$

## E.4 直流电阻

## E.4.1 概述

E.4.1.1 测量环境：温度  $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 45%~75%

E.4.1.2 测量标准：直流电阻箱（以下简称检定装置），测量范围： $(0.01\sim 100000)\Omega$ ，准确度：0.01 级；

E.4.1.3 被测对象：电机定子试验装置直流电阻功能

E.4.1.4 测量方法：采用直接比较法，调节直流电阻箱电阻值至  $R_N$ ，启动绝缘电阻测试功能，读取被检显示值  $R_X$ ，二者示值之差为绝缘电阻示值误差。

## E.4.2 数学模型

$$\Delta R=R_X-R_N$$

式中：

$\Delta R$ ——绝缘电阻示值误差， $\Omega$ ；

$R_X$ ——被检直流电阻示值， $\Omega$ ；

$R_N$ ——直流电阻箱电阻实际值， $\Omega$ 。

## E.4.3 标准不确定度分量的评定

## E.4.3.1 测量重复性引入的不确定度

重复性条件下，对绝缘电阻 100  $\Omega$  点开展 10 次独立重复测量，结果如表 E.7

表 E.7

测量次数	测量值/( $\Omega$ )	平均值/( $\Omega$ )	实验标准差/( $\Omega$ )
1	99.98	99.974	0.026
2	99.95		
3	99.94		
4	99.97		
5	99.99		
6	99.98		
7	99.93		
8	100.0		
9	100.0		
10	100.0		

于是得



$$u_1=0.026 \Omega$$

## E.4.3.2 测量标准引入的不确定度

26

直流电阻箱经上级传递合格，100  $\Omega$  点，误差半宽为  $a=0.01\Omega$ ，于是

$$u_2=0.006\Omega。$$

12

## E.4.4 不确定度分量一览表

表 E.8

序号	不确定度来源	灵敏度系数 $C_i$	不确定度分量 $u_i$
1	重复性	1	0.026 $\Omega$
3	直流电阻箱误差	-1	0.006 $\Omega$

## E.4.5 合成标准不确定度

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.027\Omega$$

## E.4.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，直流电阻 100  $\Omega$  点，测量结果的扩展不确定度

$$U=k \cdot u_c=0.054\Omega$$

相对不确定度

$$U_{rel}=0.054\%， k=2$$

## E.5 冲击电压峰值

## E.5.1 概述

E.5.1.1 测量环境：温度（20 $\pm$ 5） $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 45%~75%

E.5.1.2 测量标准：数字存储示波器，型号：MSO7052B，带宽：500M，垂直电压精度： $\pm 1\%$ ；冲击电阻分压器，分压比误差： $\pm 0.5\%$ ，上升时间：小于 100ns。

E.5.1.3 被测对象：电机定子试验装置匝间绝缘功能

E.5.1.4 测量方法：采用直接测量法，设定匝间绝缘冲击电压分支  $V_X$ ，合理设置示波器，包括采集模式、扫描时间，垂直幅度。直至能正确捕获波形。继续调节示波器，直至能够正确分辨出冲击电压波形的上升时间为止，利用示波器游标，截取峰值电压  $V_N$ ，将  $V_N$  与分压器的分压比相乘，即得冲击电压峰值的实际值，于是可得冲击电压峰值的设定值误差。

## E.5.2 数学模型

$$\Delta V=V_X-kV_N$$

式中：

$\Delta V$ ——电压示值误差, kV;

27  $V_x$ ——被检冲击电压峰值设定值, kV;

<sup>12</sup>  $V_N$ ——示波器冲击电压峰值示值, V;

$k$ ——分压器分压比。

### E.5.3 标准不确定度分量的评定

#### E.5.3.1 重复性引入的不确定度

重复性条件下, 对冲击电压 2.0kV 点开展 10 次独立重复测量, 结果如表

#### E.9

表 E.9

测量次数	测量值/(kV)	平均值/(kV)	实验标准差/(kV)
1	2.051	2.042	0.008
2	2.046		
3	2.043		
4	2.047		
5	2.045		
6	2.033		
7	2.026		
8	2.047		
9	2.037		
10	2.045		

于是得

$$u_1=0.008\text{kV}。$$

#### E.5.3.2 冲击分压器误差引入的不确定度

2.0kV 时, 冲击分压器误差半宽  $a=0.010\text{kV}$ , 于是

$$u_2=0.006\text{kV};$$

#### E.5.3.3 示波器幅度测量误差引入的不确定度

数字示波器经上级传递合格, 其 500mV 档的误差半宽  $a=0.005\text{V}$ , 于是

$$u_3=0.003\text{V}$$

### E.5.4 不确定度分量一览表

表 E.10

序号	不确定度来源	灵敏度系数 $C_i$	不确定度分量 $u_i$
1	重复性	1	0.008kV
2	分压器误差	-1	0.006kV
3	示波器误差	-1000	0.003kV

## E.5.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.010 \text{ kV}$$

## E.5.6 扩展不确定度

28

取包含因子  $k=2$ ，冲击电压峰值 2.0kV 点，测量结果的扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 0.020 \text{ kV};$$

相对不确定度

$$U_{\text{rel}} = 1.0\%, \quad k=2$$

---