



浙江省地方计量校准规范

JJF(浙)1060-2010

浪涌发生器校准规范

Calibration Specification for Surge Generator

2011-01-25 发布

2011-03-01 实施

浙江省质量技术监督局 发布

浪涌发生器校准规范

Calibration Specification for Surge Generator

JJF(浙)1060—2010

本规范经浙江省质量技术监督局于 2011 年 1 月 25 日批准，并自
2011 年 3 月 1 日起施行。

归 口 单 位：浙江省质量技术监督局

主要起草单位：浙江省计量科学研究院

本规范由浙江省计量科学研究院负责解释

本规范的主要起草人:

顾夏珍 (浙江省计量科学研究院)

孙 杰 (浙江省计量科学研究院)

参加起草人:

陈习权 (浙江省计量科学研究院)

陈 婧 (浙江省计量科学研究院)

韩海林 (浙江省计量科学研究院)

目 录

1 范围.....	(1)
2 引用文献.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 浪涌发生器输出端.....	(2)
5.2 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络.....	(3)
6 校准条件.....	(4)
6.1 环境.....	(4)
6.2 校准用设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 外观和结构检查.....	(4)
7.2 浪涌发生器输出端.....	(4)
7.3 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端...	(9)
8 校准结果表达.....	(13)
9 复校时间间隔.....	(13)
附录 A 校准原始记录格式.....	(14)
附录 B 校准证书内页格式.....	(22)
附录 C 浪涌发生器测量结果的不确定度评定.....	(30)

浪涌发生器校准规范

1 范围

本规范规定了无耦合网路的浪涌发生器和带交/直流电源线的耦合/去耦网路的浪涌发生器的校准项目、校准条件、校准方法及校准结果处理,适用于浪涌发生器的校准,也适用于多功能电磁抗扰度的浪涌发生器部分的校准。

2 引用文献

IEC61000-4-5: 2005 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test

GB/T 4365-2003 电工术语电磁兼容

GB/T 17626.5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示

JJF 1071-2000 国家计量校准规范编写规则

使用本规范时,应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 电磁兼容性 electromagnetic compatibility(EMC)

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

3.2 耦合网络 coupling network

能量从一个电路传送到另一个电路的电路。

3.3 去耦网络 decoupling network

用于防止施加到受试设备上的浪涌(冲击)影响其他未试验的装置、设备或系统的电路。

3.4 EUT

受试设备。

3.5 波前时间 front time

浪涌（冲击）电压的波前时间 T_1 是一个虚拟参数，定义为 30%峰值和 90%峰值两点之间所对应时间间隔 T 的 1.67 倍。

浪涌（冲击）电流的波前时间 T_1 是一个虚拟参数，定义为 10%峰值和 90%峰值两点之间所对应时间间隔 T 的 1.25 倍。

3.6 半峰值时间 time to half-value

虚拟起点 O_1 和电压（或电流）下降到半峰值时两点的时间间隔 T_2 。

注：浪涌的半峰值时间 T_2 是一个虚拟参数。

3.7 虚拟起点 O_1 virtual origin O_1

在浪涌电压波形中，它指的是连接脉冲幅度 30%和 90%两点的直线与时间轴的交点。在浪涌电流波形中，它指的是连接脉冲幅度 10%和 90%两点的直线与时间轴的交点。

4 概述

浪涌发生器是电磁兼容抗干扰试验中用到的重要试验仪器之一。主要用于模拟雷电产生的大电压和大电流，并考查电气和电子设备的抗干扰能力。主要由高压源、充电电阻、储能电容、脉冲持续时间形成电阻、阻抗匹配电阻和上升时间形成电感等部件组成。

5 计量特性

5.1 浪涌发生器输出端

5.1.1 1.2/50 μ s 浪涌发生器

5.1.1.1 开路输出电压峰值：(0.5~6) kV $\pm$ 10%；极性：正/负

5.1.1.2 开路输出电压波前时间：1.2(1 $\pm$ 30%) μ s

5.1.1.3 开路输出电压半峰值时间：50(1 $\pm$ 20%) μ s

5.1.1.4 短路输出电流峰值：(0.25~3) kA $\pm$ 10%；极性：正/负

5.1.1.5 短路输出电流波前时间：8(1 $\pm$ 20%) μ s

5.1.1.6 短路输出电流半峰值时间：20(1 $\pm$ 20%) μ s

5.1.2 10/700 μ s 浪涌发生器

- 5.1.2.1 开路输出电压峰值: $(0.5\sim6)\text{ kV}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.1.2.2 开路输出电压波前时间: $10(1\pm 30\%) \mu\text{s}$
- 5.1.2.3 开路输出电压半峰值时间: $700(1\pm 20\%) \mu\text{s}$
- 5.1.2.4 短路输出电流峰值: $(0.0125\sim 0.15)\text{ kA}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.1.2.5 短路输出电流波前时间: $5(1\pm 20\%) \mu\text{s}$
- 5.1.2.6 短路输出电流半峰值时间: $320(1\pm 20\%) \mu\text{s}$
- 5.2 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端
- 5.2.1 线-线(差模)耦合
- 5.2.1.1 开路输出电压峰值: $(0.5\sim 6)\text{ kV}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.2.1.2 开路输出电压波前时间: $1.2(1\pm 30\%) \mu\text{s}$
- 5.2.1.3 开路输出电压半峰值时间: $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-10\mu\text{s}$ (额定电流 $<25\text{A}$);
 $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-15\mu\text{s}$ (额定电流 $25\text{A}\sim 60\text{A}$); $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-20\mu\text{s}$ (额定电流 $25\text{A}\sim 100\text{A}$)
- 5.2.1.4 短路输出电流峰值: $(0.25\sim 3)\text{ kA}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.2.1.5 短路输出电流波前时间: $8(1\pm 20\%) \mu\text{s}$
- 5.2.1.6 短路输出电流半峰值时间: $20(1\pm 20\%) \mu\text{s}$
- 5.2.2 线-地(共模)耦合
- 5.2.2.1 开路输出电压峰值: $(0.5\sim 3)\text{ kV}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.2.2.2 开路输出电压波前时间: $1.2(1\pm 30\%) \mu\text{s}$
- 5.2.2.3 开路输出电压半峰值时间: $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-25\mu\text{s}$ (额定电流 $<25\text{A}$);
 $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-30\mu\text{s}$ (额定电流 $25\text{A}\sim 60\text{A}$); $50\mu\text{s}+10\mu\text{s}/-35\mu\text{s}$ (额定电流 $25\text{A}\sim 100\text{A}$)
- 5.2.2.4 短路输出电流峰值: $(0.042\sim 0.25)\text{ kA}\pm 10\%$; 极性:正/负
- 5.2.2.5 短路输出电流波前时间: $2.5(1\pm 30\%) \mu\text{s}$
- 5.2.2.6 短路输出电流半峰值时间: $25(1\pm 30\%) \mu\text{s}$

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$

6.1.2 相对湿度： $(25 \sim 75) \% \text{Rh}$

6.1.3 电源： $(220 \pm 11) \text{VAC}$ ， $(50 \pm 1) \text{Hz}$

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 校准用设备

6.2.1 高压差分衰减器（探头）

测量范围： $\geq 6 \text{kV}$ ；

输入阻抗： $\geq 1 \text{M}\Omega$ ；

带宽： $\geq 2 \text{MHz}$ ，幅度最大允许误差小于被校误差的 $1/3$ 。

6.2.2 电流变换器

测量范围： $\geq 3 \text{kA}$ ；

带宽： $\geq 2 \text{MHz}$ ，幅度最大允许误差小于被校误差的 $1/3$ 。

6.2.3 数字示波器

带宽： $\geq 200 \text{MHz}$ ，幅度测量最大允许误差： $\pm 1.0\%$ ；

时间测量最大允许误差： $\pm 1.0\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观和结构检查

7.1.1 外观检查

被校浪涌发生器外形结构应完好，面板标识字符应正确、清晰，各功能开关、旋钮和按键等应灵活可靠，装置的开关、旋钮、按键、接口等控制和调节机构应有明确标志，标志符合国家相关技术文件规定，液晶显示字符完整、清晰可读。不应有任何影响仪器计量特性及使用功能的缺陷。

7.1.2 结构检查

浪涌发生器应设有接地端钮，并标明接地符号。

7.2 浪涌发生器输出端

7.2.1 开路输出电压峰值

7.2.1.1 示波器和被校仪器在进行校准前, 开机预热半小时。

7.2.1.2 按图 1 连接仪器。高压差分探头输入端和被校浪涌发生器输出端口相连接, 输出端和数字示波器(以下简称示波器)输入端相连接, 同时把高压差分探头接地端和示波器的接地端口可靠连接。

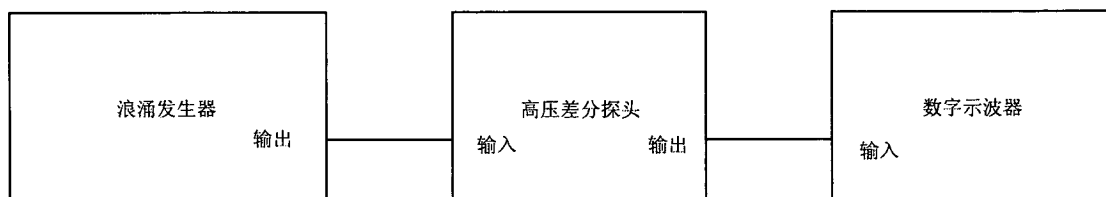
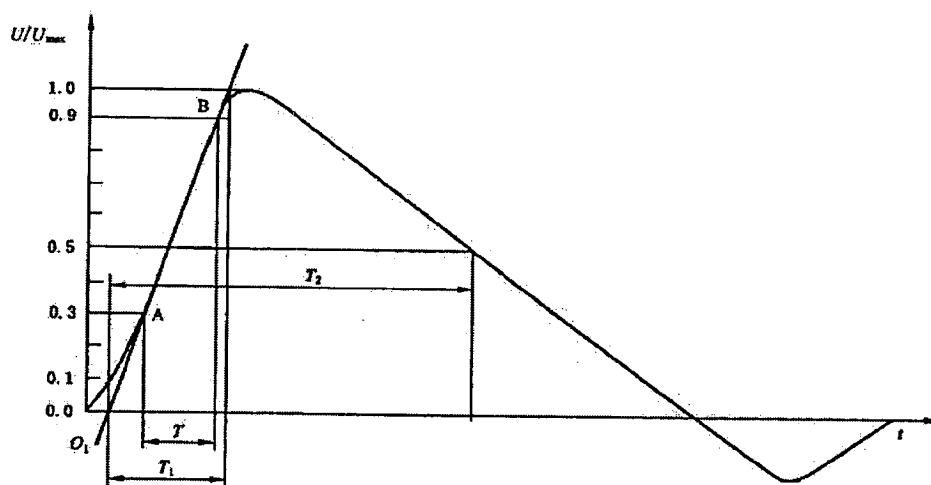


图 1 开路输出电压峰值校准连接

7.2.1.3 设置被校浪涌发生器输出电压为 0.5kV, 波形极性为正, 输出端口为信号输出端, 脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。设置高压差分探头衰减, 示波器设置为 $1\text{M}\Omega$ 输入阻抗, 选择合适的电压档和时间档, 调节触发电平, 捕获模式为样本, 触发模式为正常触发, 触发边沿为上升沿, 然后按下单次触发按钮。

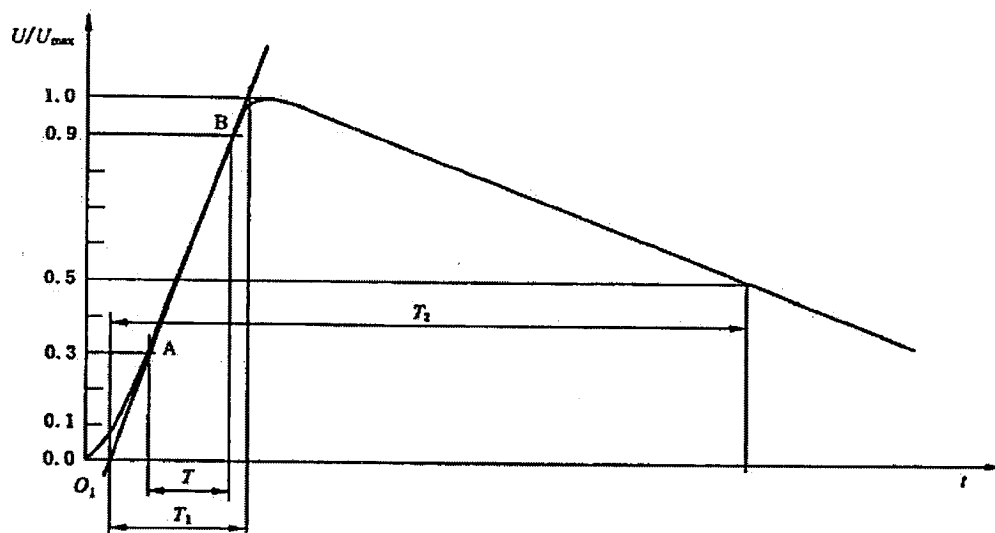
7.2.1.4 按被校浪涌发生器开始键输出电压, 示波器对波形进行捕捉并显示完整波形, 将示波器捕捉到的电压波形存储, 同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能, 1.2/50 μs 浪涌发生器按照图 2 从示波器上读取开路输出电压峰值后根据高压差分探头衰减值进行修正并记录附录 A.2.1 中。10/700 μs 浪涌发生器按照图 3 从示波器上读取开路输出电压峰值后根据高压差分探头衰减值进行修正并记录附录 A.2.3 中。

7.2.1.5 按附录 A.2.1 (或附录 A.2.3) 重新设置被校浪涌发生器的输出电压和极性, 重复步骤 7.2.1.3 和 7.2.1.4。



波前时间: $T_1 = 1.67 \times T = 1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$ 半峰值时间: $T_2 = 50 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

图 2 未连接耦合去耦网络的发生器输出端的开路电压波形(1.2/50 μs)



波前时间: $T_1 = 1.67 \times T = 10 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$ 半峰值时间: $T_2 = 700 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

图 3 开路电压波形(10/700 μs)

7.2.2 开路输出电压波形参数

7.2.2.1 被校浪涌发生器、高压差分探头和示波器连接同 7.2.1.2, 设置同 7.2.1.3。

7.2.2.2 按被校浪涌发生器开始键输出电压, 示波器对波形进行捕捉并显示完整波形, 将示波器捕捉到的电压波形存储, 同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能, 1.2/50 μs 浪涌发生器按照图 2 从示波器上读取 T 并修正为开路输出电压波前时间 T_1 和读取 T_2 为半峰值时间并记录附录 A.2.1 中。

10/700 μ s 浪涌发生器按照图 3 从示波器上读取 T 并修正为开路输出电压波前时间 T_1 和读取 T_2 为半峰值时间并记录附录 A. 2. 3 中。

7. 2. 2. 3 按附录 A. 2. 1 (或附录 A. 2. 3) 重新设置被校浪涌发生器的输出电压和极性, 重复步骤 7. 2. 2. 1 和 7. 2. 2. 2。

7. 2. 3 短路输出电流峰值

7. 2. 3. 1 按图 4 连接仪器。根据电流变换器的方向性, 用阻抗不大于 10m Ω 的短路线正确穿入电流变换器, 电流变换器输出端和示波器输入端相连接。

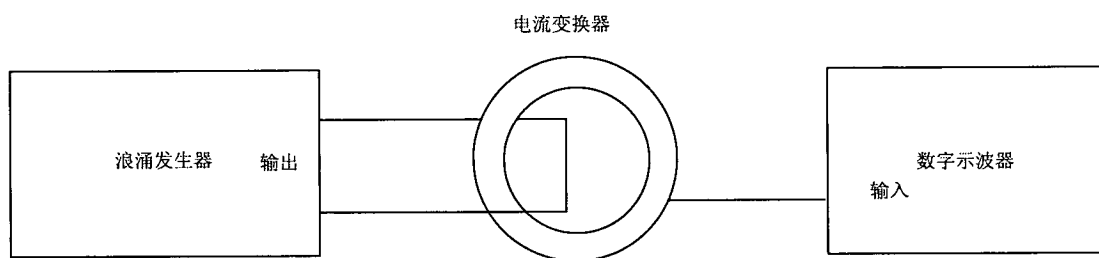
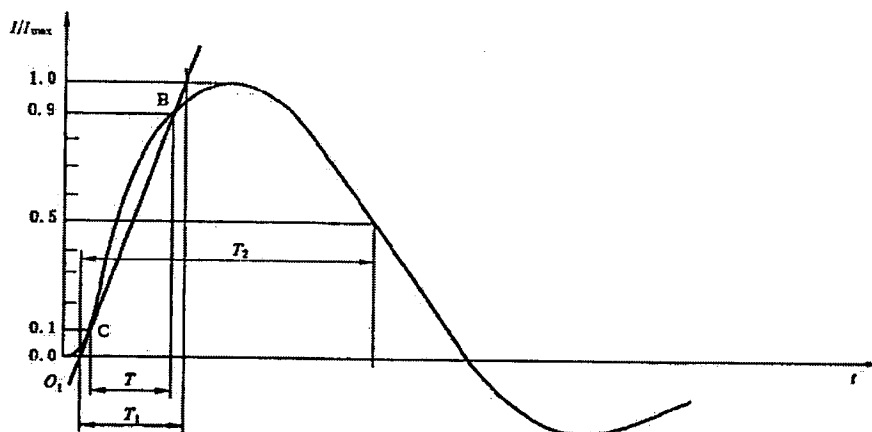


图 4 短路输出电流峰值连接

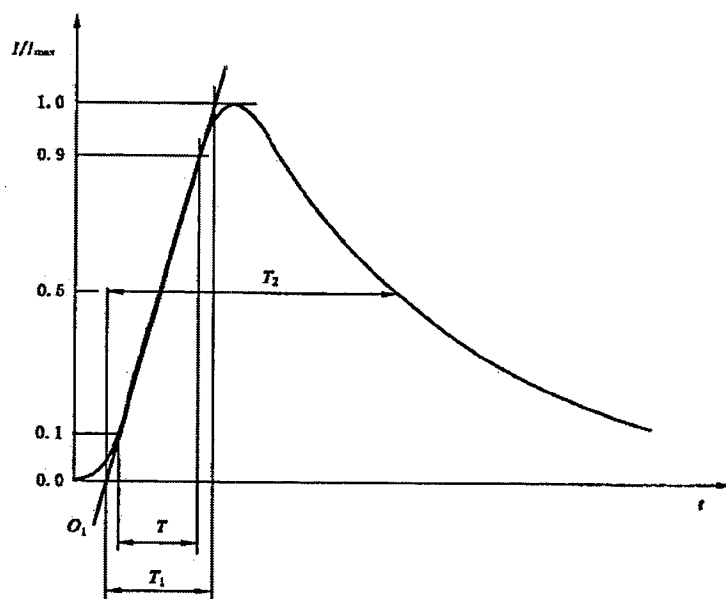
7. 2. 3. 2 设置被校浪涌发生器输出电压为 0. 5kV, 波形极性为正, 输出端口为信号输出端, 脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。示波器设置为 1M Ω 输入阻抗, 选择合适的电压档和时间档, 调节触发电平, 捕获模式为样本, 触发模式为正常触发, 触发边沿为上升沿, 然后按下单次触发按钮。

7. 2. 3. 3 按被校浪涌发生器开始键输出电压, 示波器对波形进行捕捉并显示完整波形, 将示波器捕捉到的电流波形存储, 同时按发生器停止键。采用示波器游标手动测量功能, 1. 2/50 μ s 浪涌发生器按照图 5 从示波器上读取短路输出电流峰值后根据电流变换器衰减值进行修正并记录附录 A. 2. 2 中, 10/700 μ s 浪涌发生器按照图 6 从示波器上读取短路输出电流峰值后根据电流变换器衰减值进行修正并记录附录 A. 2. 4 中。



波前时间: $T_1 = 1.25 \times T = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$ 半峰值时间: $T_2 = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

图 5 未连接耦合去耦网络的发生器输出端的短路电流波形 (8/20 μs)



波前时间: $T_1 = 1.25 \times T = 5 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$ 半峰值时间: $T_2 = 320 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

图 6 短路电流波形 (5/320 μs)

7.2.3.4 按附录 A.2.2 (或附录 A.2.4) 重新设置被校浪涌发生器的输出电压和极性, 重复步骤 7.2.3.2 和 7.2.3.3。

7.2.4 短路输出电流波形参数

7.2.4.1 被校浪涌发生器、电流变换器和示波器连接同 7.2.3.1, 设置同 7.2.3.2。

7.2.4.2 按被校浪涌发生器开始键输出电压, 示波器对波形进行捕捉并显示完整波形, 将示波器捕捉到的电流波形存储, 同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能, 1.2/50 μs 浪涌发生器按照图 5 从示波器上读取 T 并修正

为短路输出电流波前时间 T_1 和读取 T_2 为半峰值时间并记录附录 A.2.2 中，
10/700 μs 浪涌发生器按照图 6 从示波器上读取 T 并修正为短路输出电流波前时间 T_1 和读取 T_2 为半峰值时间并记录附录 A.2.4 中。

7.2.4.3 按附录 A.2.2（或附录 A.2.4）重新设置被校浪涌发生器的输出电压和极性，重复步骤 7.2.4.1 和 7.2.4.2。

7.3 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端

7.3.1 开路输出电压峰值

7.3.1.1 示波器和被校仪器在进行校准前，开机预热半小时。

7.3.1.2 如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为内置单相，则按图 7 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为内置三相，则按图 8 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为外置单相，则按图 9 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为外置三相，则按图 10 连接仪器。高压差分探头输入端和被校浪涌发生器输出端口相连接，输出端和数字示波器输入端相连接，同时把高压差分探头接地端和示波器的接地端口可靠连接。

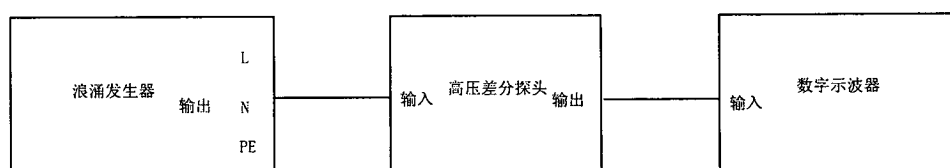


图 7 内置单相耦合/去耦网络开路输出电压峰值校准连接

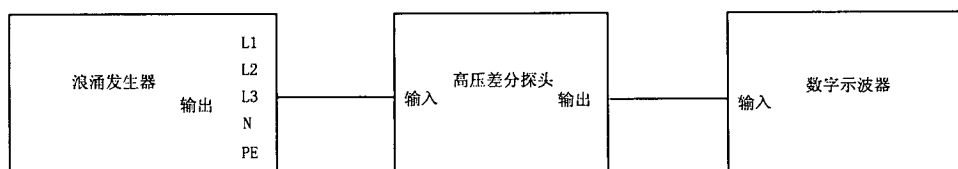


图 8 内置三相耦合/去耦网络开路输出电压峰值校准连接



图 9 外置单相耦合/去耦网络开路输出电压峰值校准连接

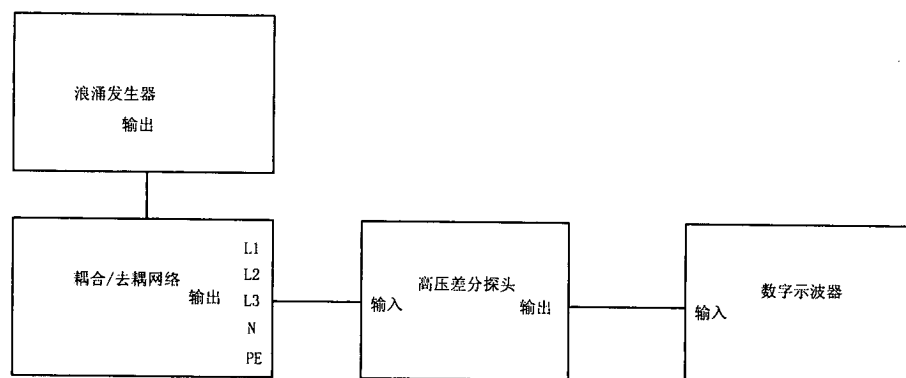


图 10 外置三相耦合/去耦网络开路输出电压峰值校准连接

7.3.1.3 设置被校浪涌发生器输出电压为 0.5kV，波形极性为正，输出端口为差模 L-N（如为三相，则为 L₁-N），脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。设置高压差分探头衰减，示波器设置为 1M Ω 输入阻抗，选择合适的电压档和时间档，调节触发电平，捕获模式为样本，触发模式为正常触发，触发边沿为上升沿，然后按下单次触发按钮。

7.3.1.4 按被校浪涌发生器开始键输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电压波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，按照图 2 从示波器上读取开路输出电压峰值后根据高压差分探头衰减值进行修正并记录附录 A.3.1 或者 A.4.1 中。

7.3.1.5 按附录 A.3.1 或者 A.4.1 重新设置被校浪涌发生器的输出电压、极性、耦合方式及端口，重复步骤 7.3.1.3 和 7.3.1.4。

7.3.2 开路输出电压波形参数

7.3.2.1 被校浪涌发生器、高压差分探头和示波器连接同 7.3.1.2，设置同 7.3.1.3。

7.3.2.2 按被校浪涌发生器开始键输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电压波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，按照图 2 从示波器上读取 T 并修正为开路输出电压波前时间 T₁ 和读取 T₂ 为半峰值时间并记录附录 A.3.1 或者 4.1 中。

7.3.2.3 按附录 A.3.1 或者 A.4.1 重新设置被校浪涌发生器的输出电压、极性、耦合方式及端口，重复步骤 7.3.2.1 和 7.3.2.2。

7.3.4 短路输出电流峰值

7.3.4.1 如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为内置单相，则按图 9 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为内置三相，则按图 10 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为外置单相，则按图 11 连接仪器；如被校浪涌发生器的耦合/去耦网络为外置三相，则按图 12 连接仪器。根据电流变换器的方向性，用尽量短的短路线正确穿入电流变换器，电流变换器输出端和示波器输入端相连接。

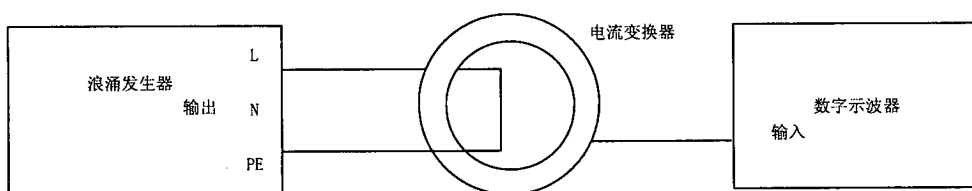


图 9 内置单相耦合/去耦网络短路输出电流峰值校准连接

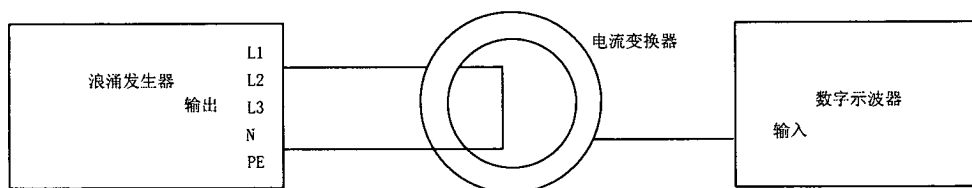


图 10 内置三相耦合/去耦网络短路输出电流峰值校准连接

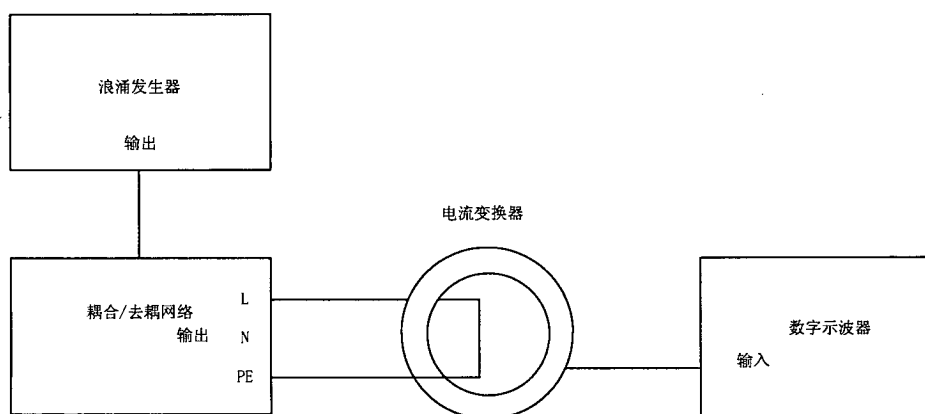


图 11 外置单相耦合/去耦网络短路输出电流峰值校准连接

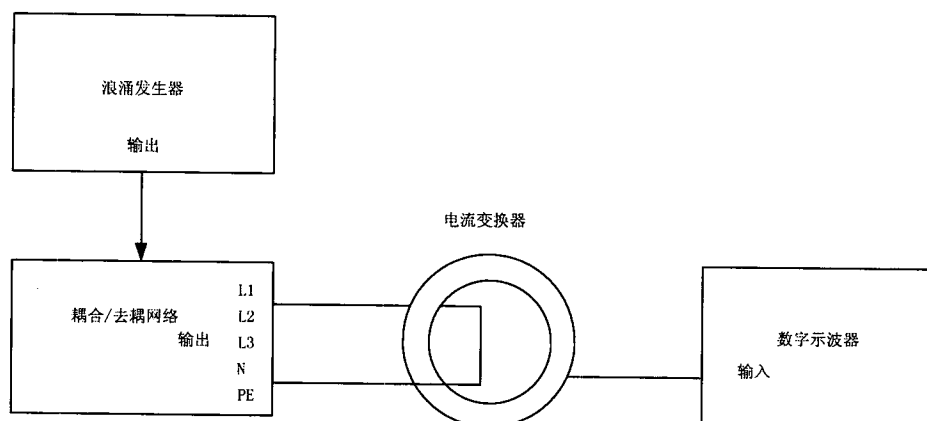


图 12 外置三相耦合/去耦网络短路输出电流峰值校准连接

7.3.4.2 设置被校浪涌发生器输出电压为 0.5kV，波形极性为正，输出端口为差模 L-N（如为三相，则为 L_1 -N），脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。示波器设置为 $1M\Omega$ 输入阻抗，选择合适的电压档和时间档，调节触发电平，捕获模式为样本，触发模式为正常触发，触发边沿为上升沿，然后按下单次触发按钮。

7.3.4.3 按被校浪涌发生器开始键输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电流波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，按照图 5 从示波器上读取短路输出电流峰值后根据电流变换器衰减值进行修正并记录附录 A.3.2 或者 A.4.2 中。

7.3.4.4 按附录 A.3.2 或者 A.4.2 重新设置被校浪涌发生器的输出电压、极性、耦合方式及端口，重复步骤 7.3.4.2 和 7.3.4.3。

7.3.5 短路输出电流波形参数

7.3.5.1 被校浪涌发生器、电流变换器和示波器连接同设置 7.3.4.1，设置同 7.3.4.2。

7.3.5.2 按被校浪涌发生器开始键输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电流波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，按照图 5 从示波器上读取 T 并修正为短路输出电流波前时间 T_1 和读取 T_2 为半峰值时间并记录附录 A.3.2 或者 A.4.2 中。

7.3.5.3 按附录 A.3.2 或者 A.4.2 重新设置被校浪涌发生器的输出电压、极性、耦合方式及端口，重复步骤 7.3.5.1 和 7.3.5.2。

8 校准结果表达

经校准后的浪涌发生器应出具校准证书。校准证书由封面和校准数据组成。证书上的信息应包括：标题、实验室名称和地址；证书或报告的唯一性标识，每页及总页数的标识、送校单位的名称和地址、送校对象的描述和明确标识、进行校准的日期、校准所依据的技术规范、本次校准所用的测量标准的溯源性及有效性说明、校准环境的描述、校准结果及其测量不确定度、校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期。

9 复校时间间隔

浪涌发生器校准时间间隔原则上由用户根据使用情况确定，但推荐为一年。

附录 A

校准原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

A.2 浪涌发生器输出端

A.2.1 开路输出电压峰值和波形参数(1.2/50 μ s):

测试点 (kV)	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.5 $\pm$ 10%		1.2 $\pm$ 30%		40~60	
1.0	1.0 $\pm$ 10%					
2.0	2.0 $\pm$ 10%					
4.0	4.0 $\pm$ 10%					
6.0	6.0 $\pm$ 10%					
-0.5	-0.5 $\pm$ 10%					
-1.0	-1.0 $\pm$ 10%					
-2.0	-2.0 $\pm$ 10%					
-4.0	-4.0 $\pm$ 10%					
-6.0	-6.0 $\pm$ 10%					

A.2.2 短路输出电流峰值和波形参数(1.2/50 μ s):

测试点 (kV)	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.25 $\pm$ 10%		8 $\pm$ 20%		16~24	
1.0	0.5 $\pm$ 10%					
2.0	1.0 $\pm$ 10%					
4.0	2.0 $\pm$ 10%					
6.0	3.0 $\pm$ 10%					
-0.5	-0.25 $\pm$ 10%					
-1.0	-0.5 $\pm$ 10%					
-2.0	-1.0 $\pm$ 10%					
-4.0	-2.0 $\pm$ 10%					
-6.0	-3.0 $\pm$ 10%					

A.2.3 开路输出电压峰值和波形参数(10/700 μ s):

测试点 (kV)	电压峰值 (kV)		波前时间 (μ s)		半峰值时间 (μ s)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	$0.5 \pm 10\%$		$10 \pm 30\%$		560~840	
1.0	$1.0 \pm 10\%$					
2.0	$2.0 \pm 10\%$					
4.0	$4.0 \pm 10\%$					
6.0	$6.0 \pm 10\%$					
-0.5	$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0	$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0	$-2.0 \pm 10\%$					
-4.0	$-4.0 \pm 10\%$					
-6.0	$-6.0 \pm 10\%$					

A.2.4 短路输出电流峰值和波形参数(10/700 μ s):

测试点 (kV)	电流峰值 (kA)		波前时间 (μ s)		半峰值时间 (μ s)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	$0.0125 \pm 10\%$		$5 \pm 20\%$		256~384	
1.0	$0.025 \pm 10\%$					
2.0	$0.050 \pm 10\%$					
4.0	$0.10 \pm 10\%$					
6.0	$0.15 \pm 10\%$					
-0.5	$-0.0125 \pm 10\%$					
-1.0	$-0.025 \pm 10\%$					
-2.0	$-0.050 \pm 10\%$					
-4.0	$-0.10 \pm 10\%$					
-6.0	$-0.15 \pm 10\%$					

A.3 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端 (单相)

A.3.1 开路输出电压峰值和波形参数:

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L-N	$0.5 \pm 10\%$		$1.2 \pm 30\%$		40~60	
1.0		$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
4.0		$4.0 \pm 10\%$					
6.0		$6.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-4.0		$-4.0 \pm 10\%$					
-6.0		$-6.0 \pm 10\%$					
0.5	L-PE	$0.5 \pm 10\%$				25~60	
1.0		$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
3.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-3.0		$-3.0 \pm 10\%$					
0.5	N-PE	$0.5 \pm 10\%$					
1.0		$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
3.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-3.0		$-3.0 \pm 10\%$					

A.3.2 短路输出电流峰值和波形参数:

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L-N	$0.25 \pm 10\%$		$8 \pm 20\%$		16~24	
1.0		$0.5 \pm 10\%$					
2.0		$1.0 \pm 10\%$					
4.0		$2.0 \pm 10\%$					
6.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.25 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
-2.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-4.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-6.0		$-3.0 \pm 10\%$					
0.5	L-PE	$0.042 \pm 10\%$		$2.5 \pm 30\%$		17.5~ 32.5	
1.0		$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
3.0		$0.25 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.042 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
-3.0		$-0.25 \pm 10\%$					
0.5	N-PE	$0.042 \pm 10\%$					
1.0		$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
3.0		$0.25 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.042 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
-3.0		$-0.25 \pm 10\%$					

A.4 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端（三相）

A.4.1 开路输出电压峰值和波形参数：

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-N	$0.5 \pm 10\%$		$1.2 \pm 30\%$		40~60	
1.0		$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
4.0		$4.0 \pm 10\%$					
6.0		$6.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-4.0		$-4.0 \pm 10\%$					
-6.0		$-6.0 \pm 10\%$					
1.0	L2-N	$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
1.0	L3-N	$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
1.0	L2-L1	$1.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
1.0	L3-L2	$1.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
1.0	L3-L1	$1.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					

续上表

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-PE	$0.5 \pm 10\%$		$1.2 \pm 30\%$		25~60	
1.0		$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
3.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-3.0		$-3.0 \pm 10\%$					
1.0	L2-PE	$1.0 \pm 10\%$					
2.0		$2.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
2.0	L3-PE	$2.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					
2.0	N-PE	$2.0 \pm 10\%$					
-2.0		$-2.0 \pm 10\%$					

A.4.2 短路输出电流峰值和波形参数:

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-N	$0.25 \pm 10\%$		$8 \pm 20\%$		16~24	
1.0		$0.5 \pm 10\%$					
2.0		$1.0 \pm 10\%$					
4.0		$2.0 \pm 10\%$					
6.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.25 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
-2.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-4.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-6.0		$-3.0 \pm 10\%$					
1.0	L2-N	$0.5 \pm 10\%$					
2.0		$1.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
-2.0		$-1.0 \pm 10\%$					
1.0	L3-N	$0.5 \pm 10\%$					
2.0		$1.0 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
-2.0		$-1.0 \pm 10\%$					
1.0	L2-L1	$0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
1.0	L3-L2	$0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
1.0	L3-L1	$0.5 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					

续上表

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-PE	$0.042 \pm 10\%$		$2.5 \pm 30\%$		17.5~ 32.5	
1.0		$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
3.0		$0.25 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.042 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
-3.0		$-0.25 \pm 10\%$					
1.0	L2-PE	$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
2.0	L3-PE	$0.17 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
2.0	N-PE	$0.17 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

B.2 浪涌发生器输出端

B.2.1 开路输出电压峰值和波形参数(1.2/50μs)：

测试点 (kV)	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.5±10%		1.2±30%		40~60	
1.0	1.0±10%					
2.0	2.0±10%					
4.0	4.0±10%					
6.0	6.0±10%					
-0.5	-0.5±10%					
-1.0	-1.0±10%					
-2.0	-2.0±10%					
-4.0	-4.0±10%					
-6.0	-6.0±10%					

B.2.2 短路输出电流峰值和波形参数(1.2/50μs)：

测试点 (kV)	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.25±10%		8±20%		16~24	
1.0	0.5±10%					
2.0	1.0±10%					
4.0	2.0±10%					
6.0	3.0±10%					
-0.5	-0.25±10%					
-1.0	-0.5±10%					
-2.0	-1.0±10%					
-4.0	-2.0±10%					
-6.0	-3.0±10%					

B.2.3 开路输出电压峰值和波形参数(10/700μs)：

测试点 (kV)	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.5±10%		10±30%		560~840	
1.0	1.0±10%					
2.0	2.0±10%					
4.0	4.0±10%					
6.0	6.0±10%					
-0.5	-0.5±10%					
-1.0	-1.0±10%					
-2.0	-2.0±10%					
-4.0	-4.0±10%					
-6.0	-6.0±10%					

B.2.4 短路输出电流峰值和波形参数(10/700μs)：

测试点 (kV)	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
	指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	0.0125±10%		5±20%		256~384	
1.0	0.025±10%					
2.0	0.050±10%					
4.0	0.10±10%					
6.0	0.15±10%					
-0.5	-0.0125±10%					
-1.0	-0.025±10%					
-2.0	-0.050±10%					
-4.0	-0.10±10%					
-6.0	-0.15±10%					

B.3 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端（单相）

B.3.1 开路输出电压峰值和波形参数：

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L-N	0.5±10%		1.2±30%		40~60	
1.0		1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
4.0		4.0±10%					
6.0		6.0±10%					
-0.5		-0.5±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
-4.0		-4.0±10%					
-6.0		-6.0±10%					
0.5	L-PE	0.5±10%				25~60	
1.0		1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
3.0		3.0±10%					
-0.5		-0.5±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
-3.0		-3.0±10%					
0.5	N-PE	0.5±10%					
1.0		1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
3.0		3.0±10%					
-0.5		-0.5±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
-3.0		-3.0±10%					

B.3.2 短路输出电流峰值和波形参数：

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L-N	$0.25 \pm 10\%$		$8 \pm 20\%$		16~24	
1.0		$0.5 \pm 10\%$					
2.0		$1.0 \pm 10\%$					
4.0		$2.0 \pm 10\%$					
6.0		$3.0 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.25 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.5 \pm 10\%$					
-2.0		$-1.0 \pm 10\%$					
-4.0		$-2.0 \pm 10\%$					
-6.0		$-3.0 \pm 10\%$					
0.5	L-PE	$0.042 \pm 10\%$		$2.5 \pm 30\%$		17.5~ 32.5	
1.0		$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
3.0		$0.25 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.042 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
-3.0		$-0.25 \pm 10\%$					
0.5	N-PE	$0.042 \pm 10\%$					
1.0		$0.083 \pm 10\%$					
2.0		$0.17 \pm 10\%$					
3.0		$0.25 \pm 10\%$					
-0.5		$-0.042 \pm 10\%$					
-1.0		$-0.083 \pm 10\%$					
-2.0		$-0.17 \pm 10\%$					
-3.0		$-0.25 \pm 10\%$					

B.4 浪涌发生器用于交/直流电源线的耦合/去耦网络受试设备输出端（三相）

B.4.1 开路输出电压峰值和波形参数：

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-N	0.5±10%		1.2±30%		40~60	
1.0		1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
4.0		4.0±10%					
6.0		6.0±10%					
-0.5		-0.5±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
-4.0		-4.0±10%					
-6.0		-6.0±10%					
1.0	L2-N	1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
1.0	L3-N	1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
1.0	L2- L1	1.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					
1.0	L3- L2	1.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					
1.0	L3- L1	1.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					

续上表

测试点 (kV)	耦合 端口	电压峰值 (kV)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-PE	0.5±10%		1.2±30%		25~60	
1.0		1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
3.0		3.0±10%					
-0.5		-0.5±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
-3.0		-3.0±10%					
1.0	L2-PE	1.0±10%					
2.0		2.0±10%					
-1.0		-1.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
2.0	L3-PE	2.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					
2.0	N-PE	2.0±10%					
-2.0		-2.0±10%					

B.4.2 短路输出电流峰值和波形参数：

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-N	0.25±10%		8±20%		16~24	
1.0		0.5±10%					
2.0		1.0±10%					
4.0		2.0±10%					
6.0		3.0±10%					
-0.5		-0.25±10%					
-1.0		-0.5±10%					
-2.0		-1.0±10%					
-4.0		-2.0±10%					
-6.0		-3.0±10%					
1.0	L2-N	0.5±10%					
2.0		1.0±10%					
-1.0		-0.5±10%					
-2.0		-1.0±10%					
1.0	L3-N	0.5±10%					
2.0		1.0±10%					
-1.0		-0.5±10%					
-2.0		-1.0±10%					
1.0	L2- L1	0.5±10%					
-1.0		-0.5±10%					
1.0	L3- L2	0.5±10%					
-1.0		-0.5±10%					
1.0	L3- L1	0.5±10%					
-1.0		-0.5±10%					

续上表

测试点 (kV)	耦合 端口	电流峰值 (kA)		波前时间 (us)		半峰值时间 (us)	
		指示值	实际值	标准值	实测值	标准值	实测值
0.5	L1-PE	0.042±10%		2.5±30%		17.5~ 32.5	
1.0		0.083±10%					
2.0		0.17±10%					
3.0		0.25±10%					
-0.5		-0.042±10%					
-1.0		-0.083±10%					
-2.0		-0.17±10%					
-3.0		-0.25±10%					
1.0	L2-PE	0.083±10%					
2.0		0.17±10%					
-1.0		-0.083±10%					
-2.0		-0.17±10%					
2.0	L3-PE	0.17±10%					
-2.0		-0.17±10%					
2.0	N-PE	0.17±10%					
-2.0		-0.17±10%					

附录 C

浪涌发生器测量结果的不确定度评定

C.1 浪涌发生器开路输出电压峰值示值误差测量结果不确定度的评定

C.1.1 概述

C.1.1.1 测量方法：高压差分探头输入端和被校浪涌发生器输出端口相连接，输出端和数字示波器输入端相连接，同时把高压差分探头接地端和示波器的接地端口可靠连接。设置被校浪涌发生器输出电压为 1kV，波形极性为正，输出端口为信号输出端，脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。设置高压差分探头衰减，并对示波器进行设置。被校浪涌发生器输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电压波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，从示波器上读取开路输出电压峰值后根据高压差分探头衰减值进行修正并记录。实测值与显示值之差为被测的示值误差。

C.1.1.2 环境条件：温度 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $(25 \sim 75)\%$ 。

C.1.1.3 测量标准：数字示波器加高压差分衰减器（探头），电压测量范围 $0.5\text{kV} \sim 6\text{kV}$ ，其中数字示波器示值误差 $\pm 1\%$ ，高压差分衰减器（探头）最大允许误差 $\pm 2\%$ 。

C.1.1.4 被测对象： $0.5\text{kV} \sim 6\text{kV}$ ，最大允许示值误差 $\pm 10\%$ 。

C.1.1.5 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

C.1.2 数学模型

$$\delta = m_o - m_s$$

式中： δ ——被测浪涌发生器开路输出电压峰值示值误差；

m_o ——被测浪涌发生器开路输出电压峰值显示值；

m_s ——数字示波器测量开路输出电压峰值。

C.1.3 不确定度来源分析（增加探头和示波器的阻抗分量）

C.1.3.1 按 C.1.1.1 进行仪器连接、设置和测量，不确定度主要来源于如下几个方面：①数字示波器的开路输出电压峰值测量准确度、②高压差分衰减器（探

头) 衰减准确度、③开路输出电压峰值测量重复性。

C.1.3.1.1 数字示波器的开路输出电压峰值测量准确度

按数字示波器说明书的技术指标, 数字示波器测量误差为 $\pm 1.0\%$, 也即不确定度区间为 $\pm 1.0\%$, 则半宽度 a_1 为 1.0% , 在区间内可认为服从均匀分布, 取概率因子为 $\sqrt{3}$, 则标准不确定度 u_1 为

$$u_1 = \frac{a_1}{k} = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

测 1kV 测量点

$$u_{n1} = 1 \times 0.58\% = 0.0058\text{kV}$$

C.1.3.1.2 高压差分衰减器(探头)衰减准确度

按高压差分衰减器(探头)说明书的技术指标, 测量的误差为 $\pm 2.0\%$, 也即不确定度区间为 $\pm 2.0\%$, 则半宽度 a_2 为 2.0% , 在区间内可认为服从均匀分布, 取概率因子为 $\sqrt{3}$, 则标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = \frac{a_2}{k} = \frac{2.0\%}{\sqrt{3}} = 1.2\%$$

测 1kV 测量点, 则在该点的标准不确定度为:

$$u_{n2} = 1 \times 1.2\% = 0.012\text{kV}$$

C.1.3.1.3 开路输出电压峰值测量重复性

被测浪涌发生器电压输出, 输出 1kV 电压, 重复测量 10 次, 得到测量列(单位 kV): 1.062、1.063、1.063、1.062、1.063、1.065、1.064、1.064、1.065、1.065。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 1.0636\text{kV}$$

实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0.0012\text{kV}$$

该点的标准不确定度

$$u_{n3} = 0.0012\text{kV}$$

C.1.4 合成标准不确定度的评定

C.1.4.1 标准不确定度汇总于表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度来源		类型	标准不确定度	分布类型	概率因子
u_{N1}	数字示波器的开路输出电压峰值测量准确度	B	0.0058kV	均匀分布	$\sqrt{3}$
u_{N2}	高压差分衰减器（探头）衰减准确度	B	0.012kV	均匀分布	$\sqrt{3}$
u_{N3}	开路输出电压峰值测量重复性	A	0.0012kV	/	/

各分量彼此独立不相关。

被测浪涌发生器在 1kV 点处不确定度合成结果如下：

$$u_c(\delta) = \sqrt{u_{N1}^2 + u_{N2}^2 + u_{N3}^2} = 0.013\text{kV}$$

C.1.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，扩展不确定度 $U=k\times u_c=0.026\text{kV}$

C.1.6 测量不确定度报告

浪涌发生器开路输出电压峰值示值校准结果扩展不确定度为：

$$U=0.026\text{kV} \text{（测量点：1kV）}$$

C.2 浪涌发生器开路输出电压半峰值时间示值误差测量结果不确定度的评定

C.2.1 概述

C.2.1.1 测量方法：高压差分探头输入端和被校浪涌发生器输出端口相连接，输出端和数字示波器输入端相连接，同时把高压差分探头接地端和示波器的接地端口可靠连接。设置被校浪涌发生器输出电压为 1kV，波形极性为正，输出端口为信号输出端，脉冲间隔根据被校浪涌发生器说明书设置。设置高压差分探头衰减，并对示波器进行设置。被校浪涌发生器输出电压，示波器对波形进行捕捉并显示完整波形，将示波器捕捉到的电压波形存储，同时按发生器停止键。采用示波器的游标手动测量功能，从示波器上读取半峰值时间并记录。实

测值与显示值之差为被测的示值误差。

C. 2. 1. 2 环境条件：温度 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $(25 \sim 75) \%$ 。

C. 2. 1. 3 测量标准：数字示波器加高压差分衰减器（探头），电压测量范围 $0.5\text{kV} \sim 6\text{kV}$ ，其中数字示波器带宽为 2.5GHz ，时基精度为 3.5ppm ，高压差分衰减器（探头）带宽 10MHz 。

C. 2. 1. 4 被测对象：电压半峰值时间为 $50\mu\text{s}$ ，最大允许示值误差 $\pm 20\%$ 。

C. 2. 1. 5 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

C. 2. 2 数学模型

$$\delta = \frac{m_o - m_s}{m_s}$$

式中： δ ——被测浪涌发生器开路输出电压半峰值时间示值误差；

m_o ——被测浪涌发生器开路输出电压半峰值时间标准值；

m_s ——数字示波器测量开路输出电压半峰值时间值。

C. 2. 3 不确定度来源分析

C. 2. 3. 1 按 C. 2. 1. 1 进行仪器连接、设置和测量，不确定度主要来源于如下几个方面：①数字示波器时基精度引入的误差、②高压差分衰减器（探头）带宽引入的误差、③数字示波器的带宽引入的误差、④开路输出电压半峰值时间测量重复性。

C. 2. 3. 1. 1 数字示波器时基精度引入的误差

按数字示波器说明书的技术指标，数字示波器时基精度为 3.5ppm ，也即不确定度区间为 $\pm 3.5 \times 10^{-6}$ ，则半宽度 a_1 为 3.5×10^{-6} ，在区间内可认为服从均匀分布，取概率因子为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_1 为

$$u_1 = \frac{a_1}{k} = \frac{3.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 2.0 \times 10^{-6}$$

测 $50\mu\text{s}$ 测量点

$$u_{N1} = 50\mu\text{s} \times 3.5 \times 10^{-6} = 0.00018\mu\text{s}$$

C. 2. 3. 1. 2 高压差分衰减器（探头）的带宽引入的误差

按高压差分衰减器（探头）说明书的技术指标，带宽为 10MHz，引入的误差为 $0.35/10 \times 10^6 \text{s}$ 即 $0.035 \mu\text{s}$ ，也即不确定度区间为 $\pm 0.035 \mu\text{s}$ ，则半宽度 a_2 为 $0.035 \mu\text{s}$ ，在区间内可认为服从均匀分布，取概率因子为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = \frac{a_2}{k} = \frac{0.035}{\sqrt{3}} = 0.020 \mu\text{s}$$

该点的标准不确定度为：

$$u_{N2} = 0.020 \mu\text{s}$$

C.2.3.1.3 数字示波器的带宽引入的误差

带宽为 2.5GHz 数字示波器，引入的误差为 $0.35/2.5 \times 10^9 \text{s}$ 即 $0.00014 \mu\text{s}$ ，也即不确定度区间为 $\pm 0.00014 \mu\text{s}$ ，则半宽度 a_3 为 $0.00014 \mu\text{s}$ ，在区间内可认为服从均匀分布，取概率因子为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_3 为

$$u_3 = \frac{a_3}{k} = \frac{0.00014}{\sqrt{3}} = 0.000080 \mu\text{s}$$

该点的标准不确定度为：

$$u_{N3} = 0.000080 \mu\text{s}$$

C.2.3.1.4 开路输出电压半峰值时间测量重复性

被测浪涌发生器电压输出，输出 1kV 电压，重复测量 10 次，得到测量列（单位 μs ）：48.1、48.7、48.9、49.1、48.6、48.5、48.5、49.2、48.7、48.9。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 48.72 \mu\text{s}$$

实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0.32 \mu\text{s}$$

该点的标准不确定度

$$u_{N4} = 0.32 \mu\text{s}$$

C.2.4 合成标准不确定度的评定

标准不确定度汇总于表 C. 2。

表 C. 2 标准不确定度汇总表

不确定度来源		类型	标准不确定度	分布类型	概率因子
u_{N1}	数字示波器时基精度引入的误差	B	$0.00018\mu\text{s}$	均匀分布	$\sqrt{3}$
u_{N2}	高压差分衰减器（探头）的带宽引入的误差	B	$0.020\mu\text{s}$	均匀分布	$\sqrt{3}$
u_{N3}	数字示波器的带宽引入的误差	B	$0.000080\mu\text{s}$	均匀分布	$\sqrt{3}$
u_{N4}	开路输出电压半峰值时间测量重复性	A	$0.32\mu\text{s}$	/	/

各分量彼此独立不相关，被测浪涌发生器在 1kV 50 μs 点处不确定度合成结果如下：

$$u_c(\delta)=\sqrt{u_{N1}^2+u_{N2}^2+u_{N3}^2+u_{N4}^2}=0.32\mu\text{s}$$

C. 2. 5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，扩展不确定度 $U=k\times u_c=0.68\mu\text{s}$

C. 2. 6 测量不确定度报告

浪涌发生器开路输出电压半峰值时间示值校准结果扩展不确定度为：

$$U=0.68\mu\text{s} \quad (\text{测量点：1kV } 50\mu\text{s})$$