



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1741—2019

浪涌（冲击）模拟器校准规范

Calibration Specification for Surge Simulators

2019-09-27 发布

2019-12-27 实施

国家市场监督管理总局 发布

浪涌（冲击）模拟器
校准规范

Calibration Specification for
Surge Simulators

JJF 1741—2019

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：辽宁省计量科学研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：广东省计量科学研究院

江苏省计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

郝 松（辽宁省计量科学研究院）

黄 攀（中国计量科学研究院）

林浩宇（中国计量科学研究院）

参加起草人：

唐 虹（辽宁省计量科学研究院）

刘文刚（广东省计量科学研究院）

赵品彰（江苏省计量科学研究院）

施 滨（上海市计量测试技术研究院）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 浪涌 (冲击)	(1)
3.2 波前时间	(1)
3.3 持续时间	(1)
3.4 残余浪涌 (冲击) 电压	(2)
3.5 非期望浪涌 (冲击) 电压	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(4)
5.1 浪涌发生器	(4)
5.2 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络	(4)
5.3 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络	(6)
5.4 浪涌发生器接对称互联线耦合去耦网络	(7)
5.5 通信浪涌发生器	(8)
5.6 通信浪涌发生器接耦合去耦网络	(9)
6 校准条件	(9)
6.1 环境条件	(9)
6.2 测量标准及其他设备	(9)
7 校准项目和校准方法	(10)
7.1 浪涌发生器的校准	(11)
7.2 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络的校准	(13)
7.3 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络的校准	(16)
7.4 浪涌发生器接对称互联线耦合去耦网络的校准	(17)
7.5 通信浪涌发生器的校准	(18)
7.6 通信浪涌发生器接耦合去耦网络的校准	(19)
8 校准结果	(20)
9 复校时间间隔	(20)
附录 A 原始记录格式	(21)
附录 B 校准证书内页格式	(33)
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例	(44)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》中的要求进行编写。

本规范参考 GB/T 17626.5《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》及 IEC 61000-4-5:2014《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。



浪涌（冲击）模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于符合 GB/T 17626.5《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》及 IEC 61000-4-5:2014《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》中要求的浪涌（冲击）发生器及耦合去耦网络的校准，也适用于电磁兼容抗扰度综合测试系统中的浪涌（冲击）模拟器部分的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

IEC 61000-4-5:2014 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验 (Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Surge immunity test)

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 术语和计量单位

GB/T 17626.5 中定义的及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 浪涌（冲击） surge

沿线路或电路传送的电流、电压或功率的瞬态波，其特征是先快速上升后缓慢下降。

3.2 波前时间 front time

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

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

3.3 持续时间 duration

浪涌（冲击）电压的持续时间为浪涌（冲击）电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔，单位为 μs 。

浪涌（冲击）电流（差模）的持续时间是一个虚拟参数，定义为浪涌（冲击）电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应时间间隔的 1.18 倍，单位为 μs 。

浪涌（冲击）电流（共模）的持续时间是一个虚拟参数，定义为浪涌（冲击）电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应时间间隔的 1.04 倍，单位为 μs 。

用于非屏蔽户外对称通信线的浪涌模拟器短路电流持续时间定义为浪涌（冲击）电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应时间间隔，单位为 μs 。

3.4 残余浪涌（冲击）电压 residual surge voltage

去耦网络电源输入端测得的施加浪涌（冲击）线路与地之间的浪涌（冲击）电压，单位为 V。

3.5 非期望浪涌（冲击）电压 unwanted surge voltage

耦合网络输出端测得的未施加浪涌（冲击）线路与地之间的浪涌（冲击）电压，单位为 V。

4 概述

浪涌（冲击）模拟器包括浪涌（冲击）发生器及耦合去耦网络。浪涌（冲击）模拟器主要用于模拟电力系统开关和雷电产生的浪涌（冲击）对电子仪器设备的干扰，考察被测试电子仪器设备的抗浪涌（冲击）的能力。浪涌（冲击）发生器（以下简称浪涌发生器）主要由高压源、充电电阻、储能电容器、阻抗匹配电阻及波形网络等组成。耦合去耦网络可分为电源线耦合去耦网络和互联线耦合去耦网络。每个耦合去耦网络由耦合网络和去耦网络两部分构成。浪涌（冲击）模拟器特性主要包括开路电压波形参数和短路电流波形参数。浪涌发生器输出端开路电压及短路电流波形示意图分别如图 1 和图 2 所示。用于非屏蔽户外对称通信线的浪涌（冲击）模拟器（以下简称通信浪涌模拟器）包括通信浪涌发生器及耦合去耦网络。通信浪涌开路电压和短路电流波形示意图如图 3 和图 4 所示。

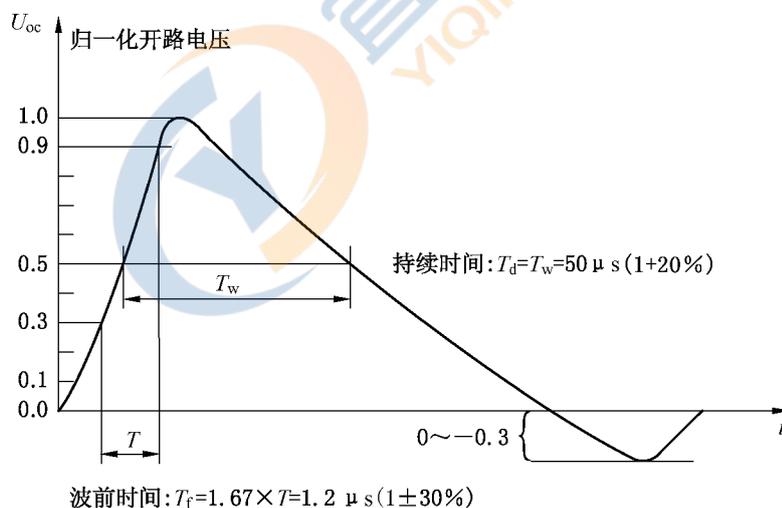


图 1 浪涌发生器输出端开路电压波形示意图

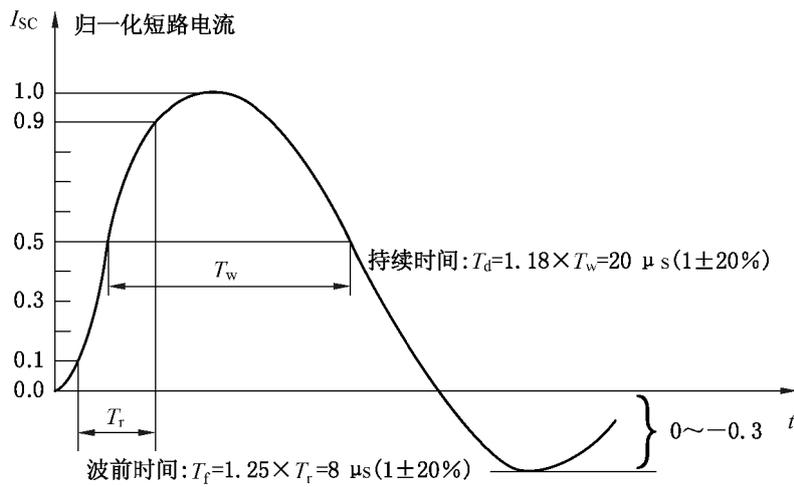


图 2 浪涌发生器输出端短路电流波形示意图

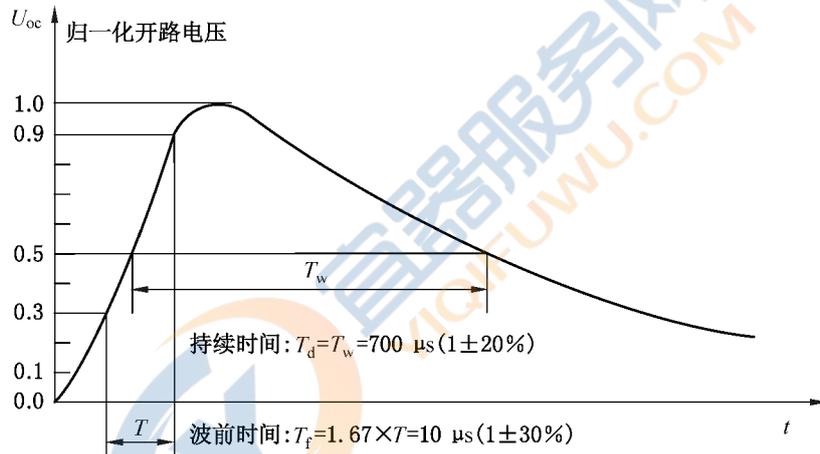


图 3 用于非屏蔽户外对称通信线的浪涌开路电压波形示意图

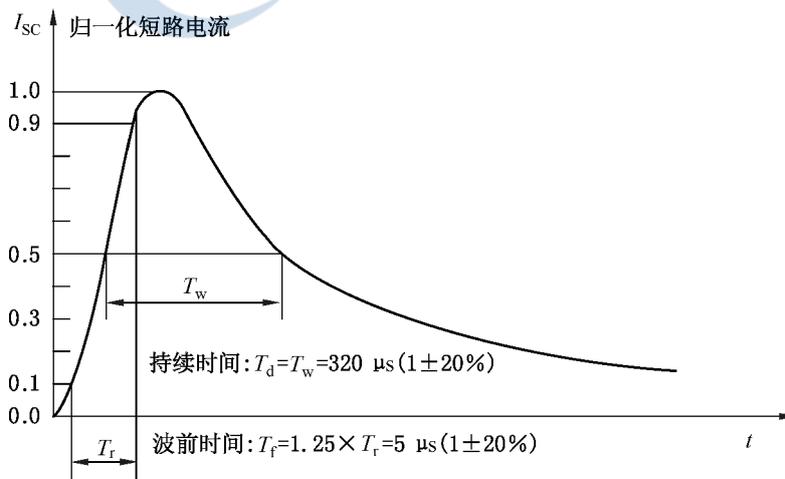


图 4 用于非屏蔽户外对称通信线的浪涌短路电流波形示意图

5 计量特性

5.1 浪涌发生器

5.1.1 开路电压峰值

电压范围：(0.5~4) kV；

最大允许误差：±10%；

极性：正、负。

5.1.2 开路电压波前时间

标称值：1.2 μs；

最大允许误差：±30%。

5.1.3 开路电压持续时间

标称值：50 μs；

最大允许误差：±20%。

5.1.4 开路电压下冲

不大于开路电压峰值实测值的 30%。

5.1.5 短路电流峰值

电流范围：(0.25~2) kA；

短路电流峰值与开路电压峰值对应关系如表 1 所示；

最大允许误差：±10%；

极性：正、负。

表 1 浪涌发生器短路电流峰值与开路电压对应关系

开路电压峰值设定值/kV	短路电流峰值标称值/kA
0.5	0.25
1.0	0.5
2.0	1.0
4.0	2.0

5.1.6 短路电流波前时间

标称值：8 μs；

最大允许误差：±20%。

5.1.7 短路电流持续时间

标称值：20 μs；

最大允许误差：±20%。

5.1.8 短路电流下冲

不大于短路电流峰值实测值的 30%。

5.2 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络

5.2.1 开路电压峰值

电压范围：(0.5~4) kV；

最大允许误差如表 2 所示；
极性：正、负。

表 2 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络开路电压峰值最大允许误差

额定电流	最大允许误差	
	18 μF (线-线)	9 $\mu\text{F}+10 \Omega$ (线-地)
额定电流 $\leq 16 \text{ A}$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
16 A $<$ 额定电流 $\leq 32 \text{ A}$		
32 A $<$ 额定电流 $\leq 63 \text{ A}$		$-15\% \sim +10\%$
63 A $<$ 额定电流 $\leq 125 \text{ A}$		$-20\% \sim +10\%$
125 A $<$ 额定电流 $\leq 200 \text{ A}$		$-25\% \sim +10\%$

5.2.2 开路电压波前时间

标称值：1.2 μs ；
最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

5.2.3 开路电压持续时间

标称值：50 μs ；
最大允许误差如表 3 所示。

表 3 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络开路电压持续时间最大允许误差

额定电流	最大允许误差	
	18 μF (线-线)	9 $\mu\text{F}+10 \Omega$ (线-地)
额定电流 $\leq 16 \text{ A}$	$(-10 \sim +10) \mu\text{s}$	$(-25 \sim +10) \mu\text{s}$
16 A $<$ 额定电流 $\leq 32 \text{ A}$	$(-15 \sim +10) \mu\text{s}$	$(-30 \sim +10) \mu\text{s}$
32 A $<$ 额定电流 $\leq 63 \text{ A}$	$(-20 \sim +10) \mu\text{s}$	$(-35 \sim +10) \mu\text{s}$
63 A $<$ 额定电流 $\leq 125 \text{ A}$	$(-25 \sim +10) \mu\text{s}$	$(-40 \sim +10) \mu\text{s}$
125 A $<$ 额定电流 $\leq 200 \text{ A}$	$(-30 \sim +10) \mu\text{s}$	$(-45 \sim +10) \mu\text{s}$

5.2.4 残余浪涌（冲击）电压

不大于开路电压峰值最大设定值的 15%和额定电压峰值的 2 倍中的较大者。

5.2.5 非期望浪涌（冲击）电压

不大于开路电压峰值最大设定值的 15%。

5.2.6 短路电流峰值

电流范围：(40~2 000) A；
短路电流峰值与开路电压峰值对应关系如表 4 所示；
最大允许误差： $\pm 10\%$ ；
极性：正、负。

表 4 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值与开路电压对应关系

开路电压峰值设定值/kV	短路电流峰值标称值	
	18 μ F (线-线)	9 μ F+10 Ω (线-地)
0.5	0.25 kA	41.7 A
1.0	0.5 kA	83.3 A
2.0	1.0 kA	166.7 A
4.0	2.0 kA	333.3 A

5.2.7 短路电流波前时间

短路电流波前时间如表 5 所示。

表 5 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合方式	标称值	最大允许误差
18 μ F (线-线)	8 μ s	$\pm 20\%$
9 μ F+10 Ω (线-地)	2.5 μ s	$\pm 30\%$

5.2.8 短路电流持续时间

短路电流持续时间如表 6 所示。

表 6 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合方式	标称值	最大允许误差
18 μ F (线-线)	20 μ s	$\pm 20\%$
9 μ F+10 Ω (线-地)	25 μ s	$\pm 30\%$

5.2.9 相位

范围： $0^\circ \sim 360^\circ$ ；

最大允许误差： $\pm 10^\circ$ 。

5.3 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络

5.3.1 开路电压峰值

标称值：4 kV；

最大允许误差： $\pm 10\%$ ；

极性：正、负。

5.3.2 开路电压波前时间

标称值：1.2 μ s；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

5.3.3 开路电压持续时间

开路电压持续时间标称值如表 7 所示；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

表 7 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合方式	开路电压持续时间标称值
线-地, 40 Ω , 0.5 μF	38 μs
线-地, 40 Ω , 气体放电管	42 μs
线-线, 40 Ω , 0.5 μF	42 μs
线-线, 40 Ω , 气体放电管	47 μs

5.3.4 短路电流峰值

短路电流峰值标称值如表 8 所示；

最大允许误差： $\pm 20\%$ ；

极性：正、负。

表 8 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

耦合方式	开路电压峰值设定值	短路电流峰值标称值
40 Ω , 0.5 μF	4 kV	87 A
40 Ω , 气体放电管	4 kV	95 A

5.3.5 短路电流波前时间

短路电流波前时间标称值如表 9 所示；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

表 9 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合方式	短路电流波前时间标称值
40 Ω , 0.5 μF	1.3 μs
40 Ω , 气体放电管	1.5 μs

5.3.6 短路电流持续时间

短路电流持续时间标称值如表 10 所示；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

表 10 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合方式	短路电流持续时间标称值
40 Ω , 0.5 μF	13 μs
40 Ω , 气体放电管	48 μs

5.4 浪涌发生器接对称互联线耦合去耦网络

5.4.1 开路电压峰值

标称值：2 kV；

最大允许误差： $\pm 10\%$ ；

极性：正、负。

5.4.2 开路电压波前时间

标称值：1.2 μs ；

最大允许误差：±30%。

5.4.3 开路电压持续时间

标称值：45 μs；

最大允许误差：±30%。

5.4.4 短路电流峰值

开路电压设定值：2 kV；

短路电流标称值：48 A；

最大允许误差：±20%；

极性：正、负。

5.4.5 短路电流波前时间

标称值：1.5 μs；

最大允许误差：±30%。

5.4.6 短路电流持续时间

标称值：45 μs；

最大允许误差：±30%。

5.5 通信浪涌发生器

5.5.1 开路电压峰值

电压范围：(0.5~4) kV；

最大允许误差：±10%；

极性：正、负。

5.5.2 开路电压波前时间

标称值：10 μs；

最大允许误差：±30%。

5.5.3 开路电压持续时间

标称值：700 μs；

最大允许误差：±20%。

5.5.4 短路电流峰值

电流范围：(12.5~100) A；

短路电流峰值如表 11 所示；

最大允许误差：±10%；

极性：正、负。

表 11 通信浪涌发生器短路电流峰值与开路电压对应关系

开路电压峰值设定值/kV	短路电流峰值标称值/A
0.5	12.5
1.0	25
2.0	50
4.0	100

5.5.5 短路电流波前时间

标称值：5 μs ；

最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

5.5.6 短路电流持续时间

标称值：320 μs ；

最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

5.6 通信浪涌发生器接耦合去耦网络

5.6.1 开路电压峰值

标称值：4 kV；

最大允许误差： $\pm 10\%$ 。

5.6.2 开路电压波前时间

标称值：8 μs ；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

5.6.3 开路电压持续时间

标称值：250 μs ；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

5.6.4 短路电流峰值

开路电压设定值：4 kV；

短路电流标称值：145 A；

最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

5.6.5 短路电流波前时间

标称值：3.2 μs ；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

5.6.6 短路电流持续时间

标称值：250 μs ；

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

注：以上技术指标不用于合格性判别，仅供参考。校准时，以技术说明书中所列的技术参数为准。

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：20%~80%。

6.1.3 电源要求：(220 \pm 11) V，(50 \pm 1) Hz。

6.1.4 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字存储示波器

带宽不小于 100 MHz；

幅度测量最大允许误差： $\pm 2\%$ ；

时基最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-4}$ 。

6.2.2 差分电压探头

衰减比不小于 100 : 1，最大允许误差： $\pm 2\%$ ；

带宽不小于 2 MHz；

可承受脉冲电压峰值：不小于 4 kV。

6.2.3 电流变换器

转换系数最大允许误差： $\pm 2\%$ ；

带宽不小于 1 MHz；

脉冲电流峰值：不小于 2 kA。

6.2.4 电容

标称值：18 μF ；

可承受脉冲电压峰值：不小于 4 kV。

7 校准项目和校准方法

校准项目如表 12 所示。

表 12 校准项目表

序号	校准项目
1	浪涌发生器
	外观及工作正常性检查
	开路电压峰值
	开路电压波前时间
	开路电压持续时间
	开路电压下冲
	短路电流峰值
	短路电流波前时间
2	浪涌发生器 接电源线耦合去耦网络
	开路电压峰值
	开路电压波前时间
	开路电压持续时间
	残余浪涌（冲击）电压
	非期望浪涌（冲击）电压
	短路电流峰值
	短路电流波前时间
短路电流持续时间	
	相位

表 12 (续)

序号	校准项目	
3	浪涌发生器 接非对称互联线 耦合去耦网络	开路电压峰值
		开路电压波前时间
		开路电压持续时间
		短路电流峰值
		短路电流波前时间
		短路电流持续时间
4	浪涌发生器 接对称互联线 耦合去耦网络	开路电压峰值
		开路电压波前时间
		开路电压持续时间
		短路电流峰值
		短路电流波前时间
		短路电流持续时间
5	通信浪涌发生器	开路电压峰值
		开路电压波前时间
		开路电压持续时间
		短路电流峰值
		短路电流波前时间
		短路电流持续时间
6	通信浪涌发生器 接耦合去耦网络	开路电压峰值
		开路电压波前时间
		开路电压持续时间
		短路电流峰值
		短路电流波前时间
		短路电流持续时间

7.1 浪涌发生器的校准

7.1.1 外观及工作正常性检查

被校浪涌发生器的开关、旋钮、按键应能够正常工作，不应有影响电气性能的机械损伤；被校浪涌发生器应设有接地端子，并标明接地符号，接地线应完好无损。按说明书要求进行预热。将检查结果记录在附录 A.1 中。

7.1.2 开路电压峰值

设备连接如图 5 所示。若浪涌发生器高压输出端已内置 $18\ \mu\text{F}$ 电容，则图 5 中无需

连接电容。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同设定电压下的开路电压峰值，记录在附录 A.2 中。

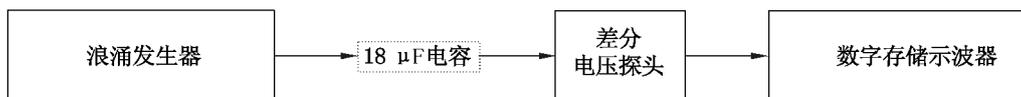


图 5 浪涌发生器开路电压校准接线示意图

7.1.3 开路电压波前时间

按照 7.1.2 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 30%~90% 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。测量不同设定电压下的开路电压波前时间，记录在附录 A.3 中。

$$T_{VF} = 1.67 \times T \quad (1)$$

式中：

T_{VF} ——开路电压波前时间， μs ；

T ——开路电压峰值 30%~90% 的时间间隔， μs 。

7.1.4 开路电压持续时间

按照 7.1.2 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果。测量不同设定电压下的开路电压持续时间，记录在附录 A.4 中。

7.1.5 开路电压下冲

按照 7.1.2 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量开路电压下冲电压峰值，将其与开路电压峰值的比值作为开路电压下冲校准结果。测量不同设定电压下的开路电压下冲，记录在附录 A.5 中。

7.1.6 短路电流峰值

设备连接如图 6 所示。将 18 μF 电容输出端与浪涌发生器输出端短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 0.1 Ω ）穿过电流变换器的感应端。若浪涌发生器高压输出端已内置 18 μF 电容，则图 6 中无需连接电容。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同开路电压峰值设定值对应的短路电流峰值，记录在附录 A.6 中。

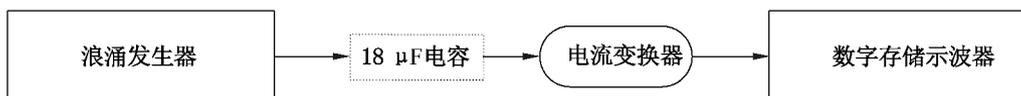


图 6 浪涌发生器短路电流校准接线示意图

7.1.7 短路电流波前时间

按照 7.1.6 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 10%~90% 的时间间隔 T_r ，按公式 (2) 计算短路电流波前时间。测量不同设定电压下的短路电流波前时间，记录在附录 A.7 中。

$$T_{IF} = 1.25 \times T_r \quad (2)$$

式中：

T_{if} ——短路电流波前时间， μs ；

T_r ——短路电流峰值 10%~90% 的时间间隔， μs 。

7.1.8 短路电流持续时间

按照 7.1.6 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔 T_w ，按公式 (3) 计算短路电流持续时间。测量不同设定电压下的短路电流持续时间，记录在附录 A.8 中。

$$T_d = 1.18 \times T_w \quad (3)$$

式中：

T_d ——短路电流持续时间， μs ；

T_w ——短路电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔， μs 。

7.1.9 短路电流下冲

按照 7.1.6 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量下冲峰值电流，将其与短路电流峰值的比值作为短路电流下冲校准结果。测量不同设定电压下的短路电流下冲，记录在附录 A.9 中。

7.2 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络的校准

7.2.1 开路电压峰值

设备连接如图 7 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，差分电压探头与施加浪涌线路的耦合输出端相连。设置浪涌发生器为电源线耦合输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同设定电压下的开路电压峰值。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的开路电压峰值，记录在附录 A.10 中。

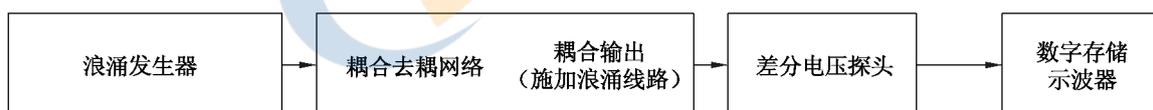


图 7 浪涌发生器接耦合去耦网络开路电压校准接线示意图

7.2.2 开路电压波前时间

按照 7.2.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。在不同设定电压下，测量峰值 30%~90% 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的开路电压波前时间，记录在附录 A.11 中。

7.2.3 开路电压持续时间

按照 7.2.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。在不同设定电压下，以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果。改变电源线耦合输出线路，重复上述过

程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的开路电压持续时间，记录在附录 A. 12 中。

7.2.4 残余浪涌（冲击）电压

设备连接如图 8 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，差分电压探头与施加浪涌线路去耦网络电源输入端口相连。设置浪涌发生器为电源线耦合输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量最大设定电压下的残余浪涌（冲击）电压。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的残余浪涌（冲击）电压，记录在附录 A. 13 中。

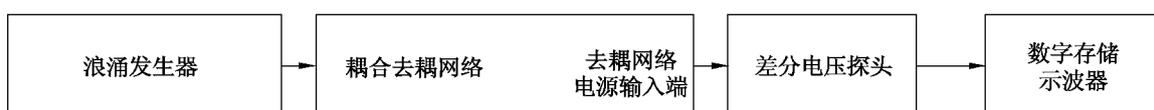


图 8 浪涌发生器接耦合去耦网络残余浪涌（冲击）电压校准接线示意图

7.2.5 非期望浪涌（冲击）电压

设备连接如图 9 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，差分电压探头与耦合输出端口其中一条未施加浪涌线路及地线相连。设置浪涌发生器为电源线耦合输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量最大设定电压下的非期望浪涌（冲击）电压。改变测量线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的非期望浪涌（冲击）电压，记录在附录 A. 14 中。

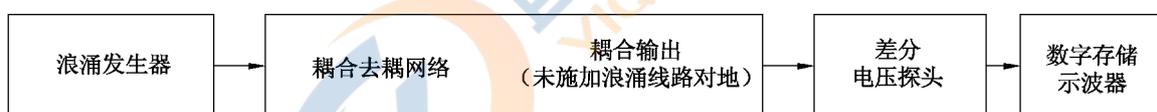


图 9 浪涌发生器接耦合去耦网络非期望浪涌（冲击）电压校准接线示意图

7.2.6 短路电流峰值

设备连接如图 10 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，将耦合输出施加浪涌线路短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 0.1Ω ）穿过电流变换器的感应端。设置浪涌发生器为电源线耦合输出模式，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同开路电压设定值下的短路电流峰值。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的短路电流峰值，记录在附录 A. 15 中。

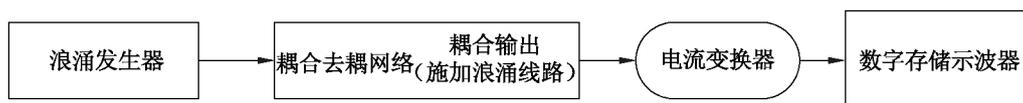


图 10 浪涌发生器接电源线耦合去耦网络短路电流校准接线示意图

7.2.7 短路电流波前时间

按照 7.2.6 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。在不同设定电压下，测量峰值 $10\% \sim 90\%$ 的时间间隔 T_r ，按公式 (2)

计算短路电流波前时间。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的短路电流波前时间，记录在附录 A. 16 中。

7.2.8 短路电流持续时间

按照 7.2.6 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。在不同设定电压下，测量电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔 T_w ，耦合方式为 $18 \mu\text{F}$ 即线-线耦合时，按公式 (3) 计算短路电流持续时间。耦合方式为 $9 \mu\text{F}+10 \Omega$ 即线-地耦合时，按公式 (4) 计算短路电流持续时间。改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，测量电源线耦合输出每一种耦合线路的短路电流持续时间，记录在附录 A. 17 中。

$$T_d' = 1.04 \times T_w \quad (4)$$

式中：

T_d' ——线-地耦合时短路电流持续时间， μs ；

T_w ——短路电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔， μs 。

7.2.9 相位

设备连接如图 11 所示。耦合去耦网络电源输入端口与市电相连，差分电压探头与耦合输出施加浪涌线路相连。

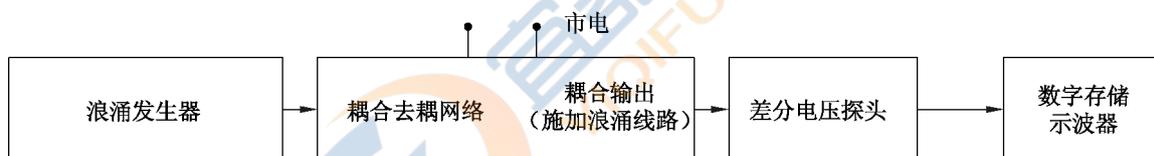


图 11 浪涌发生器接耦合去耦网络相位校准接线示意图

设置浪涌发生器为电源线 L (L1、L2、L3) -N 耦合输出模式，电压为 1 kV，调节数字存储示波器使一个完整周期的市电波形及浪涌（冲击）信号显示于屏幕中央，如图 12 所示。

测量浪涌（冲击）信号与零相位参考点之间的时间间隔，按公式 (5) 计算相位。改变浪涌发生器相位设定值，重复上述过程，将校准结果记录在附录 A. 18 中。

$$\theta = \frac{\Delta t}{t_0} \times 360 \quad (5)$$

式中：

θ ——相位角实测值， $(^\circ)$ ；

Δt ——时间间隔实测值，ms；

t_0 ——输出电压信号周期，ms。

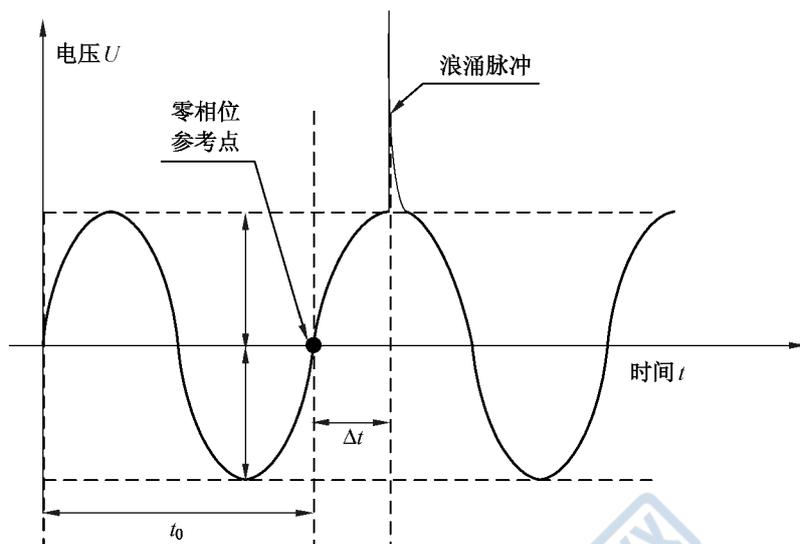


图 12 浪涌发生器接耦合去耦网络相位校准波形示意图

7.3 浪涌发生器接非对称互联线耦合去耦网络的校准

7.3.1 开路电压峰值

设备连接如图 7 所示。耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，差分电压探头与施加浪涌线路耦合输出端口相连。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，电压为 4 kV，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，测量开路电压峰值。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的开路电压峰值，记录在附录 A.19 中。

7.3.2 开路电压波前时间

按照 7.3.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 30%~90% 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的开路电压波前时间，记录在附录 A.20 中。

7.3.3 开路电压持续时间

按照 7.3.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的开路电压持续时间，记录在附录 A.21 中。

7.3.4 短路电流峰值

设备连接如图 10 所示。耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，将施加浪涌线路耦合输出端口短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 0.1Ω ）穿过电流变换器的感应端。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，电压为 4 kV，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，测量短路电流峰值。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的短路电流峰值，记录在附录 A.22 中。

7.3.5 短路电流波前时间

按照 7.3.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 10%~90% 的时间间隔 T_r ，按公式 (2) 计算短路电流波前时间。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的短路电流波前时间，记录在附录 A.23 中。

7.3.6 短路电流持续时间

按照 7.3.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔 T_w ，按公式 (3) 计算短路电流持续时间。改变耦合输出线路，重复上述过程，测量每一种耦合线路的短路电流持续时间，记录在附录 A.24 中。

7.4 浪涌发生器接对称互联线耦合去耦网络的校准

7.4.1 开路电压峰值

设备连接如图 7 所示。耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，耦合方式为所有线路对地耦合，使线路阻抗为 40 Ω 。耦合输出端所有线路相连。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，电压为 2 kV，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量开路电压峰值，记录在附录 A.25 中。

7.4.2 开路电压波前时间

按照 7.4.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 30%~90% 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。记录在附录 A.26 中。

7.4.3 开路电压持续时间

按照 7.4.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果，记录在附录 A.27 中。

7.4.4 短路电流峰值

设备连接如图 10 所示。耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，耦合方式为所有线路对地耦合，使线路阻抗为 40 Ω 。耦合输出端所有线路对地短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 0.1 Ω ）穿过电流变换器的感应端。设置浪涌发生器为高压端口输出模式，电压为 2 kV，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，测量短路电流峰值，记录在附录 A.28 中。

7.4.5 短路电流波前时间

按照 7.4.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 10%~90% 的时间间隔 T_r ，按公式 (2) 计算短路电流波前时间。记录在附录 A.29 中。

7.4.6 短路电流持续时间

按照 7.4.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔 T_w ，按公式 (3) 计算短路电流持续时间。记录在附录 A.30 中。

7.5 通信浪涌发生器的校准

7.5.1 开路电压峰值

设备连接如图 13 所示。通信浪涌发生器 $40\ \Omega$ 输出阻抗端与差分电压探头相连。调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同设定电压下的开路电压峰值，记录在附录 A. 31 中。

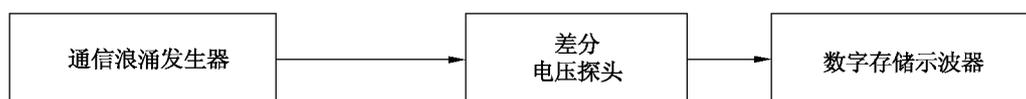


图 13 通信浪涌发生器开路电压校准接线示意图

7.5.2 开路电压波前时间

按照 7.5.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 $30\% \sim 90\%$ 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。测量不同设定电压下的开路电压波前时间，记录在附录 A. 32 中。

7.5.3 开路电压持续时间

按照 7.5.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果。测量不同设定电压下的开路电压持续时间，记录在附录 A. 33 中。

7.5.4 短路电流峰值

设备连接如图 14 所示。将通信浪涌发生器 $40\ \Omega$ 输出阻抗端短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 $0.1\ \Omega$ ）穿过电流变换器的感应端。调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量不同开路电压峰值设定值对应的短路电流峰值，记录在附录 A. 34 中。

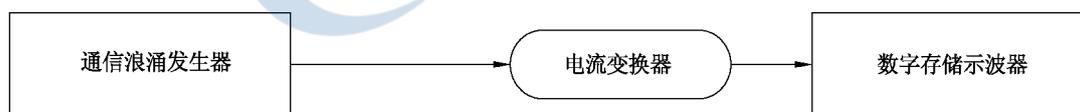


图 14 通信浪涌发生器短路电流校准接线示意图

7.5.5 短路电流波前时间

按照 7.5.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量第一峰值 $10\% \sim 90\%$ 的时间间隔 T_r ，按公式 (2) 计算短路电流波前时间。测量不同设定电压下的短路电流波前时间，记录在附录 A. 35 中。

7.5.6 短路电流持续时间

按照 7.5.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为短路电流持续时间校准结果。测量不同设定电压下的短路电流持续时间，记录在附录 A. 36 中。

7.6 通信浪涌发生器接耦合去耦网络的校准

7.6.1 开路电压峰值

设备连接如图 15 所示。通信浪涌发生器 $15\ \Omega$ 输出阻抗端与耦合去耦网络相连，耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，耦合方式为一对线路对地耦合，线路阻抗为 $27.5\ \Omega$ 。耦合输出端将被测耦合线对短接。设置通信浪涌发生器电压为 $4\ \text{kV}$ ，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量每对线路对地开路电压峰值，记录在附录 A.37 中。

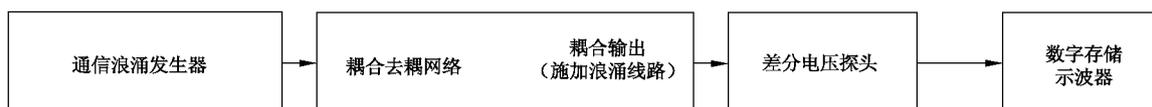


图 15 通信浪涌发生器接耦合去耦网络开路电压校准接线示意图

7.6.2 开路电压波前时间

按照 7.6.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量峰值 $30\% \sim 90\%$ 的时间间隔 T ，按公式 (1) 计算开路电压波前时间。测量每对线路对地开路电压波前时间，记录在附录 A.38 中。

7.6.3 开路电压持续时间

按照 7.6.1 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。以电压上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为开路电压持续时间校准结果，测量每对线路对地开路电压持续时间，记录在附录 A.39 中。

7.6.4 短路电流峰值

设备连接如图 16 所示。通信浪涌发生器 $15\ \Omega$ 输出阻抗端与耦合去耦网络相连，耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，耦合方式为一对线路对地耦合，线路阻抗为 $27.5\ \Omega$ 。耦合输出端将被测耦合线对短接，短路线（尽可能短，电阻应小于 $0.1\ \Omega$ ）穿过电流变换器的感应端。设置通信浪涌发生器电压为 $4\ \text{kV}$ ，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。测量每对线路对地短路电流峰值，记录在附录 A.40 中。

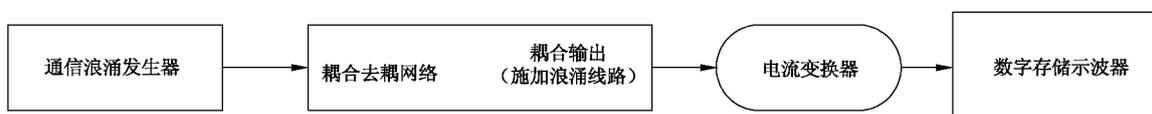


图 16 通信浪涌发生器接电源线耦合去耦网络短路电流校准接线示意图

7.6.5 短路电流波前时间

按照 7.6.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲上升沿波形显示于屏幕中央。测量第一峰值 $10\% \sim 90\%$ 的时间间隔 T_r ，按公式 (2) 计算短路电流波前时间。测量每对线路对地短路电流波前时间，记录在附录 A.41 中。

7.6.6 短路电流持续时间

按照 7.6.4 进行连接、设置，调节数字存储示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏

幕中央。以电流上升到 50% 峰值和下降到 50% 峰值两点之间所对应的时间间隔作为短路电流持续时间校准结果，测量每对线路对地短路电流持续时间，记录在附录 A.42 中。

8 校准结果

浪涌（冲击）模拟器校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- 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），每页及总页数的标识；
- 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) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，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说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

A.2 浪涌（冲击）发生器开路电压峰值

电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
0.5				
1.0				
2.0				
4.0				
-0.5				
-1.0				
-2.0				
-4.0				

A.3 浪涌（冲击）发生器开路电压波前时间

电压 设定值/kV	波前时间 标称值/ μs	第一峰值 30%到 90%的时间间隔 的测量值 μs	系数	开路电压波前时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	1.2		1.67		
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.4 浪涌（冲击）发生器开路电压持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	开路电压持续时间实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	50		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

A.5 浪涌（冲击）发生器开路电压下冲

电压设定值/kV	数字示波器电压测量值/V	差分电压探头衰减比	开路电压下冲实测值/kV	开路电压下冲	不确定度 ($k=2$)
0.5					
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.6 浪涌（冲击）发生器短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值标称值/kA	数字示波器电压测量值/V	电流变换器转换系数	短路电流峰值实测值/kA	不确定度 ($k=2$)
0.5	0.25				
1.0	0.5				
2.0	1.0				
4.0	2.0				
-0.5	-0.25				
-1.0	-0.5				
-2.0	-1.0				
-4.0	-2.0				

A.7 浪涌（冲击）发生器短路电流波前时间

电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值 10% 到 90% 的时间间隔的测量值/ μs	系数	短路电流波前时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	8		1.25		
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.8 浪涌（冲击）发生器短路电流持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	50% 峰值到 50% 峰值间时间间隔测量值/ μs	系数	短路电流持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	20		1.18		
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.9 浪涌（冲击）发生器短路电流下冲

电压设定值/kV	数字示波器电压测量值/V	电流变换器转换系数	短路电流下冲实测值/kA	短路电流下冲	不确定度 ($k=2$)
0.5					
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.10 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) -PE	0.5				
	1.0				
	2.0				
	4.0				
	-0.5				
	-1.0				
	-2.0				
	-4.0				

A.11 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合 线路	电压设 定值/kV	波前时间 标称值/ μs	第一峰值 30%~90%的 时间间隔的测量值/ μs	系数	开路电压波前时 间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) - PE	0.5	1.2		1.67		
	1.0					
	2.0					
	4.0					
	-0.5					
	-1.0					
	-2.0					
	-4.0					

A.12 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	持续时间 标称值/ μs	开路电压持续时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) -PE	0.5	50		
	1.0			
	2.0			
	4.0			
	-0.5			
	-1.0			
	-2.0			
	-4.0			

A.13 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络残余浪涌（冲击）电压

耦合线路	电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	残余浪涌（冲击） 电压实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) -PE					

A.14 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络非期望浪涌（冲击）电压

耦合 线路	测量 线路	电压设定 值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	非期望浪涌（冲击） 电压实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1-PE						

A.15 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值

耦合 方式	耦合 线路	电压设 定值/kV	电流峰值 标称值/kA	数字示波器 电压测量值 V	电流变换器 转换系数	短路电流峰值 实测值/kA	不确 定度 ($k=2$)
18 μ F	L1 (L) - N	0.5	0.25				
		1.0	0.5				
		2.0	1.0				
		4.0	2.0				
		-0.5	-0.25				
		-1.0	-0.5				
		-2.0	-1.0				
		-4.0	-2.0				
9 μ F+ 10 Ω	L1 (L) - PE	0.5	41.7				
		1.0	83.3				
		2.0	166.7				
		4.0	333.3				
		-0.5	-41.7				
		-1.0	-83.3				
		-2.0	-166.7				
		-4.0	-333.3				

A.16 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	波前时间标称值 μs	第一峰值 10%~90% 的时间间隔的测量值/ μs	系数	短路电流波前时间实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
18 μF	L1 (L) - N	0.5	8		1.25		
		1.0					
		2.0					
		4.0					
		-0.5					
		-1.0					
		-2.0					
		-4.0					
9 μF + 10 Ω	L1 (L) - PE	0.5	2.5		1.25		
		1.0					
		2.0					
		4.0					
		-0.5					
		-1.0					
		-2.0					
		-4.0					

A.17 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	持续时间标称值 μs	50%峰值到50%峰值间时间间隔测量值/ μs	系数	短路电流持续时间实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
18 μF	L1 (L) - N	0.5	20		1.18		
		1.0					
		2.0					
		4.0					
		-0.5					
		-1.0					
		-2.0					
		-4.0					

A.17 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流持续时间（续）

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	持续时间 标称值 μs	50%峰值到 50%峰值间 时间间隔 测量值/ μs	系数	短路电流 持续时间 实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
$9\ \mu\text{F}+10\ \Omega$	L1 (L) -PE	0.5	25		1.04		
		1.0					
		2.0					
		4.0					
		-0.5					
		-1.0					
		-2.0					
		-4.0					

A.18 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络相位

耦合线路	电压设定值 kV	相位设定值 ($^{\circ}$)	时间间隔 测量值/ms	电压信号周 期/ms	相位实测值 ($^{\circ}$)	不确定度 ($k=2$)
L (L1) -N	1.0	0				
		90				
		180				
		270				
L2-N		0				
		90				
		180				
		270				
L3-N		0				
		90				
		180				
		270				

A.19 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
D1-PE	4.0				
	-4.0				

A.20 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值30%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	开路电压波前时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0	1.2		1.67		
		-4.0					
GDT	D1-PE	4.0					
		-4.0					

A.21 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	开路电压持续时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0			
		-4.0			
GDT	D1-PE	4.0			
		-4.0			

A.22 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	电流峰值标称值/A	数字示波器电压测量值/V	电流变换器转换系数	短路电流峰值实测值/A	不确定度($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0	87				
		-4.0	-87				
GDT	D1-PE	4.0	95				
		-4.0	-95				

A.23 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值10%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	短路电流波前时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0	1.3		1.25		
		-4.0					
GDT	D1-PE	4.0	1.5				
		-4.0					

A.24 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	50%峰值到50%峰值间时间间隔测量值/ μs	系数	短路电流持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0	13		1.18		
		-4.0					
GDT	D1-PE	4.0	48				
		-4.0					

A.25 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压峰值

电压设定值/kV	数字示波器电压测量值/V	差分电压探头衰减比	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
2.0				
-2.0				

A.26 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压波前时间

电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值30%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	开路电压波前时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	1.2		1.67		
-2.0					

A.27 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	开路电压持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	45		
-2.0			

A.28 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值标称值/A	数字示波器电压测量值/V	电流变换器转换系数	短路电流峰值实测值/kA	不确定度 ($k=2$)
2.0	48				
-2.0	-48				

A.29 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流波前时间

电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值10%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	短路电流波前时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	1.5		1.25		
-2.0					

A.30 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流持续时间

电压设定值/kV	持续时间 标称值/ μs	50%峰值到50%峰值 间时间间隔测量值/ μs	系数	短路电流持续 时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	45		1.18		
-2.0					

A.31 通信浪涌（冲击）发生器开路电压峰值

电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
0.5				
1.0				
2.0				
4.0				
-0.5				
-1.0				
-2.0				
-4.0				

A.32 通信浪涌（冲击）发生器开路电压波前时间

电压 设定值/kV	波前时间 标称值/ μs	第一峰值30%到90% 的时间间隔的测量值 μs	系数	开路电压波前时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	10		1.67		
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.33 通信浪涌（冲击）发生器开路电压持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值 μs	开路电压持续时间实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	700		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

A.34 通信浪涌（冲击）发生器短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值 标称值/A	数字示波器 电压测量值/V	电流变换器 转换系数	短路电流峰值 实测值/A	不确定度 ($k=2$)
0.5	12.5				
1.0	25				
2.0	50				
4.0	100				
-0.5	-12.5				
-1.0	-25				
-2.0	-50				
-4.0	-100				

A.35 通信浪涌（冲击）发生器短路电流波前时间

电压设定值/kV	波前时间 标称值/ μs	第一峰值 10%~90%的 时间间隔的测量值/ μs	系数	短路电流波前 时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	5		1.25		
1.0					
2.0					
4.0					
-0.5					
-1.0					
-2.0					
-4.0					

A.36 通信浪涌（冲击）发生器短路电流持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	320		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

A.37 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	数字示波器 电压测量值/V	差分电压探头 衰减比	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0				
	-4.0				

A.38 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合线路	电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值30%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	波前时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
T1T2-PE	4.0	8		1.67		
	-4.0					

A.39 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	持续时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
T1T2-PE	4.0	250		
	-4.0			

A.40 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流峰值

耦合线路	电压设定值/kV	电流峰值标称值/A	数字示波器电压测量值/V	电流变换器转换系数	短路电流峰值实测值/A	不确定度($k=2$)
T1T2-PE	4.0	145				
	-4.0	-145				

A.41 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合线路	电压设定值/kV	波前时间标称值/ μs	第一峰值10%~90%的时间间隔的测量值/ μs	系数	波前时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
T1T2-PE	4.0	3.2		1.25		
	-4.0					

A.42 浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	持续时间实测值/ μs	不确定度($k=2$)
T1T2-PE	4.0	250		
	-4.0			

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（冲击）发生器开路电压峰值

电压设定值/kV	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
0.5		
1.0		
2.0		
4.0		
-0.5		
-1.0		
-2.0		
-4.0		

B.3 浪涌（冲击）发生器开路电压波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	1.2		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B.4 浪涌（冲击）发生器开路电压持续时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	50		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B.5 浪涌（冲击）发生器开路电压下冲

电压设定值/kV	开路电压下冲	不确定度 ($k=2$)
0.5		
1.0		
2.0		
4.0		
-0.5		
-1.0		
-2.0		
-4.0		

B.6 浪涌（冲击）发生器短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值标称值/kA	短路电流峰值实测值/kA	不确定度 ($k=2$)
0.5	0.25		
1.0	0.5		
2.0	1.0		
4.0	2.0		
-0.5	-0.25		
-1.0	-0.5		
-2.0	-1.0		
-4.0	-2.0		

B.7 浪涌（冲击）发生器短路电流波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	8		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B.8 浪涌（冲击）发生器短路电流持续时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	20		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B.9 浪涌（冲击）发生器短路电流下冲

电压设定值/kV	短路电流下冲	不确定度 ($k=2$)
0.5		
1.0		
2.0		
4.0		
-0.5		
-1.0		
-2.0		
-4.0		

B.10 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) -PE	0.5		
	1.0		
	2.0		
	4.0		
	-0.5		
	-1.0		
	-2.0		
	-4.0		

B.11 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) - PE	0.5	1.2		
	1.0			
	2.0			
	4.0			
	-0.5			
	-1.0			
	-2.0			
	-4.0			

B.12 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) - PE	0.5	50		
	1.0			
	2.0			
	4.0			
	-0.5			
	-1.0			
	-2.0			
	-4.0			

B.13 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络残余浪涌（冲击）电压

耦合线路	电压设定值/kV	残余浪涌（冲击） 电压实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1 (L) -PE			

B.14 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络非期望浪涌（冲击）电压

耦合线路	测量线路	电压设定值/kV	非期望浪涌（冲击） 电压实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
L1-N				

B.15 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值

耦合阻抗	耦合线路	电压设定值 kV	电流峰值标称值 A	短路电流峰值实测值 kA	不确定度 ($k=2$)
18 μF	L1 (L) - N	0.5	250		
		1.0	500		
		2.0	1 000		
		4.0	2 000		
		-0.5	-250		
		-1.0	-500		
		-2.0	-1 000		
		-4.0	-2 000		
9 μF + 10 Ω	L1 (L) - PE	0.5	41.7		
		1.0	83.3		
		2.0	166.7		
		4.0	333.3		
		-0.5	-41.7		
		-1.0	-83.3		
		-2.0	-166.7		
		-4.0	-333.3		

B.16 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合阻抗	耦合线路	电压设定值 kV	标称值 μs	实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
18 μF	L1 (L) - N	0.5	8		
		1.0			
		2.0			
		4.0			
		-0.5			
		-1.0			
		-2.0			
		-4.0			
9 μF + 10 Ω	L1 (L) - PE	0.5	2.5		
		1.0			
		2.0			
		4.0			
		-0.5			
		-1.0			
		-2.0			
		-4.0			

B.17 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合阻抗	耦合线路	电压设定值 kV	标称值 μs	实测值 μs	不确定度 ($k=2$)
18 μF	L1 (L) - N	0.5	20		
		1.0			
		2.0			
		4.0			
		-0.5			
		-1.0			
		-2.0			
		-4.0			
9 μF + 10 Ω	L1 (L) - PE	0.5	25		
		1.0			
		2.0			
		4.0			
		-0.5			
		-1.0			
		-2.0			
		-4.0			

B.18 浪涌（冲击）发生器接电源线耦合去耦网络相位

耦合线路	电压设定值/kV	相位设定值/ ($^{\circ}$)	相位实测值/ ($^{\circ}$)	不确定度 ($k=2$)
L (L1) -N	1.0	0		
		90		
		180		
		270		
L2-N		0		
		90		
		180		
		270		
L3-N	1.0	0		
		90		
		180		
		270		

B.19 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
D1-PE	4.0		
	-4.0		

B.20 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μ s	实测值/ μ s	不确定度 ($k=2$)
0.5 μ F	D1-PE	4.0	1.2		
		-4.0			
GDT	D1-PE	4.0			
		-4.0			

B.21 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μ s	实测值/ μ s	不确定度 ($k=2$)
0.5 μ F	D1-PE	4.0			
		-4.0			
GDT	D1-PE	4.0			
		-4.0			

B.22 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	电流峰值 标称值/A	短路电流峰值 实测值/A	不确定度 ($k=2$)
0.5 μ F	D1-PE	4.0	87		
		-4.0	-87		
GDT	D1-PE	4.0	95		
		-4.0	-95		

B.23 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μ s	实测值/ μ s	不确定度 ($k=2$)
0.5 μ F	D1-PE	4.0	1.3		
		-4.0			
GDT	D1-PE	4.0	1.5		
		-4.0			

B.24 浪涌（冲击）发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合方式	耦合线路	电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5 μF	D1-PE	4.0	13		
		-4.0			
GDT	D1-PE	4.0	48		
		-4.0			

B.25 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压峰值

电压设定值/kV	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
2.0		
-2.0		

B.26 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	1.2		
-2.0			

B.27 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压持续时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	45		
-2.0			

B.28 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值标称值/A	短路电流峰值实测值/kA	不确定度 ($k=2$)
2.0	48		
-2.0	-48		

B.29 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	1.5		
-2.0			

B.30 浪涌（冲击）发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流持续时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
2.0	45		
-2.0			

B.31 通信浪涌（冲击）发生器开路电压峰值

电压设定值/kV	开路电压峰值实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
0.5		
1.0		
2.0		
4.0		
-0.5		
-1.0		
-2.0		
-4.0		

B.32 通信浪涌（冲击）发生器开路电压波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	10		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B.33 通信浪涌（冲击）发生器开路电压持续时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	700		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B. 34 通信浪涌（冲击）发生器短路电流峰值

电压设定值/kV	电流峰值标称值/A	短路电流峰值实测值/A	不确定度 ($k=2$)
0.5	12.5		
1.0	25		
2.0	50		
4.0	100		
-0.5	-12.5		
-1.0	-25		
-2.0	-50		
-4.0	-100		

B. 35 通信浪涌（冲击）发生器短路电流波前时间

电压设定值/kV	标称值/ μs	实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	5		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B. 36 通信浪涌（冲击）发生器短路电流持续时间

电压设定值/kV	持续时间标称值/ μs	持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
0.5	320		
1.0			
2.0			
4.0			
-0.5			
-1.0			
-2.0			
-4.0			

B. 37 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压峰值

耦合线路	电压设定值/kV	开路电压峰值 实测值/kV	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0		
	-4.0		

B. 38 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压波前时间

耦合线路	电压设定值/kV	波前时间 标称值/ μs	波前时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0	8		
	-4.0			

B. 39 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络开路电压持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	持续时间 标称值/ μs	持续时间实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0	250		
	-4.0			

B. 40 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流峰值

耦合线路	电压设定值/kV	电流峰值 标称值/A	短路电流峰值实测值/A	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0	145		
	-4.0	-145		

B. 41 通信浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流波前时间

耦合线路	电压设定值/kV	波前时间 标称值/ μs	波前时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0	3.2		
	-4.0			

B. 42 浪涌（冲击）发生器接耦合去耦网络短路电流持续时间

耦合线路	电压设定值/kV	持续时间 标称值/ μs	持续时间 实测值/ μs	不确定度 ($k=2$)
T1T2-PE	4.0	250		
	-4.0			

附录 C

主要项目校准不确定度评定示例

C.1 开路电压峰值校准不确定度评定

C.1.1 测量模型及不确定度传播律

C.1.1.1 测量模型

$$y = A \times V$$

式中：

y ——开路电压峰值测量值，kV；

A ——衰减器分压比；

V ——数字存储示波器示值，V。

C.1.1.2 不确定度传播律

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2$$

C.1.2 标准不确定度的评定

C.1.2.1 测量重复性引入的不确定度 $u_{1\text{rel}}(y)$

重复测量浪涌发生器的开路电压峰值的 10 次数据见表 C.1。

表 C.1 开路电压峰值 10 次测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/kV	2.02	1.98	2.02	2.04	2.02	2.03	2.03	2.01	2.05	2.02

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 2.02 \text{ kV}$$

单次试验的标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.006 \text{ kV}$$

不确定度 $u_1(y) = 0.006 \text{ kV}$ ， $u_{1\text{rel}}(y) = 0.3\%$

C.1.2.2 差分电压探头衰减比不准引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(y)$

差分电压探头的衰减比最大允许误差 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

$$u_{2\text{rel}}(y) = 2\% / \sqrt{3} = 1.16\%$$

C.1.2.3 数字存储示波器电压测量引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}(y)$

数字存储示波器电压测量最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

$$u_{3\text{rel}}(y) = 2\% / \sqrt{3} = 1.2\%$$

C.1.2.4 数字存储示波器读数分辨力的引入的不确定度分量 $u_{4\text{rel}}(y)$

设读取脉冲幅度 0% 和 100% 时因读数分辨力引入的最大相对误差分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 ，

则最大相对误差相等, 即 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, 根据仪器指标 $\varepsilon = \pm 0.5\%$, 按均匀分布, 则每次测量引入的不确定度分量为

$$u_{41\text{rel}}(y) = u_{42\text{rel}}(y) = 0.5\% / \sqrt{3} = 0.289\%$$

2 次测量相对独立, 则因读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_{4\text{rel}}(y) = \sqrt{u_{41\text{rel}}^2(y) + u_{42\text{rel}}^2(y)} = 0.41\%$$

C.1.3 合成标准不确定度的计算

开路电压峰值标准不确定度分量汇总见表 C.2。

表 C.2 开路电压峰值标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	标准不确定度分量	分布类型
测量结果的重复性 $u_{1\text{rel}}(y)$	0.3%	——
差分电压探头衰减比 $u_{2\text{rel}}(y)$	1.16%	均匀分布
数字存储示波器电压测量 $u_{3\text{rel}}(y)$	1.2%	均匀分布
数字存储示波器读书分辨力 $u_{4\text{rel}}(y)$	0.41%	均匀分布

以上各项标准不确定度分量互不相关, 所以合成标准不确定度为

$$u_{\text{crel}}(y) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(y) + u_{2\text{rel}}^2(y) + u_{3\text{rel}}^2(y) + u_{4\text{rel}}^2(y)} = 1.8\%$$

C.1.4 扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}}(y) = 4\% \quad (k=2)$$

C.2 开路电压波前时间校准不确定度评定

C.2.1 测量模型及不确定度传播律

C.2.1.1 测量模型

$$T_{\text{vf}} = 1.67 \times T$$

式中:

T_{vf} ——脉冲上升时间测量值, μs ;

T ——30%峰值和 90%峰值两点之间所对应时间间隔数字存储示波器示值, μs 。

C.2.1.2 不确定度传播律

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2$$

C.2.2 标准不确定度的评定

C.2.2.1 测量重复性引入的不确定度 $u_{1\text{rel}}(T_{\text{vf}})$

重复测量浪涌发生器的开路电压波前时间的 10 次数据见表 C.3。

表 C.3 开路电压波前 10 次测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值 μs	1.10	1.14	1.10	1.10	1.14	1.14	1.17	1.17	1.14	1.10

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 1.13 \mu\text{s}$$

单次试验的标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.028 \mu\text{s}$$

不确定度 $u_1(T_{\text{VF}}) = 0.028 \mu\text{s}$, $u_{1\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = 2.48\%$

C.2.2.2 测量标准的频带不充分宽引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(T_{\text{VF}})$

标准器由数字存储示波器（带宽 100 MHz）和差分电压探头（带宽 2 MHz）组成，

则测量标准的瞬态响应时间为 $t_r = \sqrt{\left(\frac{0.35}{0.1}\right)^2 + \left(\frac{0.35}{0.002}\right)^2} = 175 \text{ ns}$ ，被测的浪涌发生器开路电压波前时间为 $1.2 \mu\text{s}$ ，上升时间定义为 $1.0 \mu\text{s}$ ， $n = 1.0 \mu\text{s} / 175 \text{ ns} = 5.7$ ，则测量标准的上升时间引入的测量误差为 $\delta = \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}} - 1 = 1.53\%$ ，设误差为均匀分布，则测量标准的频带不充分宽引入的不确定度分量为

$$u_{2\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = 1.53\% / \sqrt{3} = 0.89\%$$

C.2.2.3 数字存储示波器游标测量分辨力引入的不确定度 $u_{3\text{rel}}(T_{\text{VF}})$

设读取脉冲幅度的 0% 和 100% 时因游标测量分辨力引入的相对误差分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 ，读取脉冲幅度的 30% 和 90% 时因游标测量分辨力引入的相对误差分别为 ϵ_3 和 ϵ_4 ，读取脉冲幅度的 30% 和 90% 对应的时刻刻度时因游标测量分辨力引入的相对误差分别为 ϵ_5 和 ϵ_6 ；假设 6 次的判读误差均相等，即 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = \epsilon_4 = \epsilon_5 = \epsilon_6 = \epsilon$ ，设误差为均匀分布，又假定 $\epsilon = 0.5\%$ ，则 $u_{31\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = u_{32\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = u_{33\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = u_{34\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = u_{35\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = u_{36\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$ 则测量标准读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_{3\text{rel}}(T_{\text{VF}}) = \sqrt{u_{31\text{rel}}^2(T_{\text{VF}}) + u_{32\text{rel}}^2(T_{\text{VF}}) + u_{33\text{rel}}^2(T_{\text{VF}}) + u_{34\text{rel}}^2(T_{\text{VF}}) + u_{35\text{rel}}^2(T_{\text{VF}}) + u_{36\text{rel}}^2(T_{\text{VF}})} \\ = 0.7073\%$$

C.2.3 合成标准不确定度的计算

开路电压波前时间标准不确定度分量汇总见表 C.4。

表 C.4 开路电压波前时间标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	标准不确定度分量	分布类型
测量结果的重复性 $u_{1\text{rel}}(T_{\text{VF}})$	2.48%	——
测量标准上升时间 $u_{2\text{rel}}(T_{\text{VF}})$	0.89%	均匀分布
数字存储示波器 游标测量分辨力 $u_{3\text{rel}}(T_{\text{VF}})$	0.7073%	均匀分布

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度为

$$u_{\text{crel}}(T_{\text{vf}}) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(T_{\text{vf}}) + u_{2\text{rel}}^2(T_{\text{vf}}) + u_{3\text{rel}}^2(T_{\text{vf}})} = 2.8\%$$

C.2.4 扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}}(T_{\text{vf}}) = 6\% \quad (k = 2)$$

C.3 短路电流峰值校准不确定度评定

C.3.1 测量模型及不确定度传播律

C.3.1.1 测量模型

$$y = C \times V$$

式中：

y —— 短路电流峰值测量值，kA；

C —— 电流变换器转换系数，A/V；

V —— 数字存储示波器脉冲电压峰值示值，V。

C.3.1.2 不确定度传播律

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2$$

C.3.2 标准不确定度的评定

C.3.2.1 测量的重复性引入的不确定度 $u_{1\text{rel}}(y)$

重复测量浪涌发生器的短路电流峰值的 10 次数据见表 C.5。

表 C.5 短路电流峰值 10 次测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值 kA	1.01	0.98	1.04	1.05	1.03	1.03	1.03	1.01	1.05	1.02

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 1.03 \text{ kA}$$

单次试验的标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.007 \text{ kA}$$

不确定度 $u_1(y) = 0.007 \text{ kA}$ ， $u_{1\text{rel}}(y) = 0.7\%$

C.3.2.2 电流变换器转换系数误差引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(y)$

电流变换器转换系数最大允许误差 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

$$u_{2\text{rel}}(y) = 2\% / \sqrt{3} = 1.16\%$$

C.3.2.3 数字存储示波器测量电压引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}(y)$

数字存储示波器测量电压最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

$$u_{3\text{rel}}(y) = 2\% / \sqrt{3} = 1.2\%$$

C.3.2.4 数字存储示波器读数分辨力的引入的不确定度分量 $u_{4\text{rel}}(y)$

设读取脉冲幅度 0% 和 100% 时因读数分辨力引入的最大相对误差分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 ，

则最大相对误差相等, 即 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, 根据仪器指标 $\varepsilon = \pm 0.5\%$, 按均匀分布, 则每次测量引入的不确定度分量为:

$$u_{41\text{rel}}(y) = u_{42\text{rel}}(y) = 0.5\% / \sqrt{3} = 0.289\%$$

2 次测量相对独立, 则因读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_{4\text{rel}}(y) = \sqrt{u_{41\text{rel}}^2(y) + u_{42\text{rel}}^2(y)} = 0.41\%$$

C.3.3 合成标准不确定度的计算

短路电流峰值不确定度分量汇总见表 C.6。

表 C.6 短路电流峰值标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	标准不确定度分量	分布类型
测量结果的重复性 $u_{1\text{rel}}(y)$	0.7%	——
电流变换器转换系数 $u_{2\text{rel}}(y)$	1.16%	均匀分布
数字存储示波器电压测量 $u_{3\text{rel}}(y)$	1.2%	均匀分布
数字存储示波器读数分辨力 $u_{4\text{rel}}(y)$	0.41%	均匀分布

以上各项标准不确定度分量互不相关, 所以合成标准不确定度为

$$u_{\text{crel}}(y) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(y) + u_{2\text{rel}}^2(y) + u_{3\text{rel}}^2(y) + u_{4\text{rel}}^2(y)} = 1.9\%$$

C.3.4 扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}}(y) = 4\% \quad (k=2)$$