

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

振铃波模拟器校准规范

Calibration Specification for Ring Wave Simulators

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

振铃波模拟器校准规范
Calibration Specification for Ring Wave
Simulators

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

广东省计量科学研究院东莞计量院

浙江省计量科学研究院

参与起草单位：中国计量科学研究院

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：

XXX（广东省计量科学研究院）

XXX（广东省计量科学研究院东莞计量院）

XXX（浙江省计量科学研究院）

参加起草人：

XXX（广东省计量科学研究院东莞计量院）

XXX（中国计量科学研究院）

XXX（广东省计量科学研究院东莞计量院）

XXX（浙江省计量科学研究院）

目录

| | |
|---------------------------------|----|
| 引言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 引用文件..... | 1 |
| 3 术语 | 1 |
| 4 概述 | 1 |
| 5 计量特性 | 2 |
| 6 校准条件 | 6 |
| 6.1 环境条件 | 6 |
| 6.2 测量标准 | 6 |
| 7 校准项目和校准方法..... | 7 |
| 7.1 外观及工作正常性检查 | 8 |
| 7.2 振铃波发生器的校准 | 8 |
| 7.3 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络的校准..... | 9 |
| 7.4 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络的校准..... | 12 |
| 7.5 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络的校准..... | 13 |
| 8 校准结果的表达..... | 15 |
| 9 复校时间间隔..... | 15 |
| 附录 A 原始记录内页格式 | 16 |
| 附录 B 校准证书内页格式 | 24 |
| 附录 C 主要项目校准不确定度评定示例..... | 32 |

引言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范参考 GB/T 17626.12-2023《电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验》及 IEC 61000-4-12:2017《电磁兼容-试验和测量技术-振铃波抗扰度试验》(Electromagnetic compatibility - Testing and measurement techniques-Ring wave immunity test) 中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

振铃波模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于符合GB/T 17626.12-2023及IEC61000-4-12:2017中要求的振铃波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振铃波发生器及耦合去耦网络的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 17626.12-2023 《电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验》

IEC61000-4-12:2017 《电磁兼容-试验和测量技术-振铃波抗扰度试验》

(Electromagnetic compatibility - Testing and measurement techniques-Ring wave 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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 振铃波 ring wave

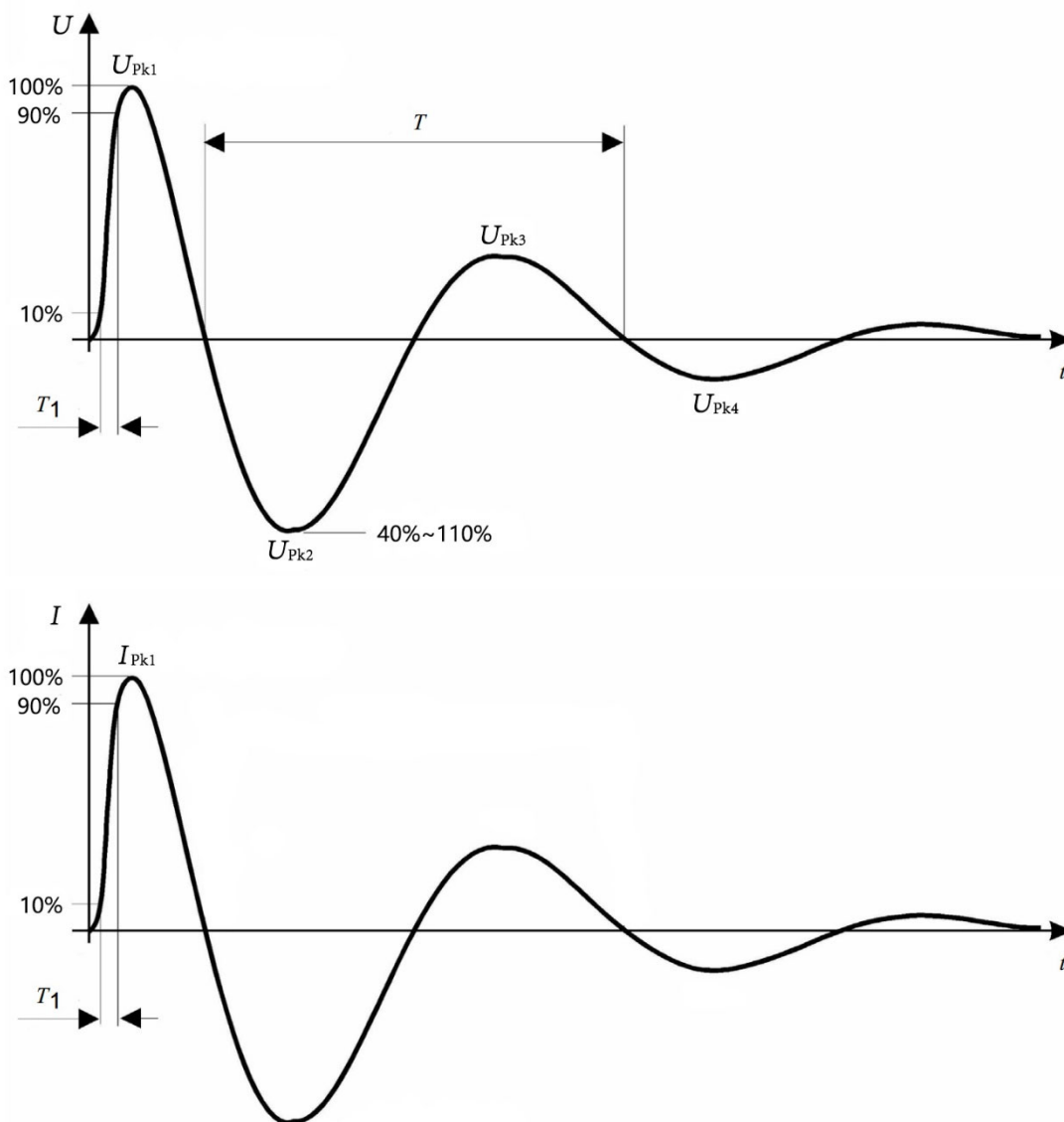
阻尼时间常数约为一个周期的衰减振荡。

3.2 振荡频率 oscillation frequency

第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间的倒数。

4 概述

振铃波模拟器可以指单独的振铃波发生器,也可以由振铃波发生器和耦合去耦网络组成。振铃波模拟器主要用于模拟振铃波干扰对电子设备的影响,检验被测电子仪器设备对振铃波这种具有陡坡特性的脉冲现象的抗扰度。振铃波模拟器结构主要由直流高压发生器、充电电路、振荡电路线圈、阻抗转换网络、控制及信号显示等部分组成。振铃波模拟器开路电压和短路电流波形示意图如图1所示。



T : 振荡周期; T_1 : 上升时间; P_{kx} : 第 x 个 U/I 峰值 ($x=1, 2, 3, 4$),
图 1 振铃波的波形 (开路电压和短路电流)

5 计量特性

5.1 振铃波发生器

5.1.1 开路电压峰值 (U_{Pk1})

电压范围: (0.25~8) kV

最大允许误差: $\pm 10\%$

第一个峰值极性: 正、负

5.1.2 开路电压上升时间

标称值: 0.5 μs

最大允许误差: $\pm 30\%$

5.1.3 电压振荡频率

标称值：100 kHz

最大允许误差：±10%

5.1.4 衰减

$$0.4 < U_{Pk2} / U_{Pk1} < 1.1$$

$$0.4 < U_{Pk3} / U_{Pk2} < 0.8$$

$$0.4 < U_{Pk4} / U_{Pk3} < 0.8$$

5.1.5 重复率

≥1 次/min

5.1.6 短路电流峰值：

电流范围：见表 1

最大允许误差：±10%

第一个峰值极性：正、负

表 1 振铃波模拟器短路电流峰值与开路电压对应关系

| 开路电压峰值/kV | 短路电流峰值/A (输出阻抗 12 Ω) | 短路电流峰值/A (输出阻抗 30 Ω) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 0.25 | 20.8 | 8.33 |
| 0.5 | 41.7 | 16.7 |
| 1.0 | 83.3 | 33.3 |
| 2.0 | 166.7 | 66.7 |
| 4.0 | 333.3 | 133.3 |
| 6.0 | 500.0 | 200.0 |
| 8.0 | 666.7 | 266.7 |

5.1.7 短路电流上升时间：(0.2~1.0) μs

5.2 振铃波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：(0.25~8) kV

最大允许误差：±10%

第一个峰值极性：正、负

5.2.2 开路电压上升时间

标称值：0.5 μ s

最大允许误差： $\pm 30\%$

5.2.3 电压振荡频率

标称值：100 kHz

最大允许误差： $\pm 10\%$

5.2.4 衰减

$0.4 < U_{Pk2} / U_{Pk1} < 1.1$

$0.4 < U_{Pk3} / U_{Pk2} < 0.8$

$0.4 < U_{Pk4} / U_{Pk3} < 0.8$

5.2.5 重复率

≥ 1 次/min

5.2.6 相移： $0^\circ \sim 360^\circ$ ，最大允许误差： $\pm 10^\circ$

5.2.7 残余振铃波电压

不应超过最大试验电压 15%或耦合去耦网络额定电压峰值 2 倍中的较高值。

5.2.8 非期望振铃波电压

不应超过最大试验电压 15%。

5.2.8 短路电流峰值

电流范围：(20.8~666.7) A

最大允许误差：见表 2

第一个峰值极性：正、负

表 2 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值最大允许误差

| 耦合去耦网络额定电流 | 最大允许误差 |
|---------------------------|--------------------|
| 额定电流 ≤ 16 A | $\pm 10\%$ |
| 16 A < 额定电流 ≤ 32 A | $\pm 10\%$ |
| 32 A < 额定电流 ≤ 63 A | $-25\% \sim +10\%$ |

5.2.9 短路电流上升时间：(0.2~1.0) μ s

5.3 振铃波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 (U_{Pk1})

电压范围：（0.25~6）kV

最大允许误差：±10%

5.3.2 开路电压上升时间

标称值：0.5 μs

最大允许误差：±30%

5.3.3 电压振荡周期

标称值：10 μs

最大允许误差：±10%

5.3.4 衰减

$0.4 < U_{Pk2} / U_{Pk1} < 1.1$

$0.4 < U_{Pk3} / U_{Pk2} < 0.8$

$0.4 < U_{Pk4} / U_{Pk3} < 0.8$

5.3.5 重复率

≥1 次/min

5.3.6 短路电流峰值

电流范围：（8.33~200）A

最大允许误差：±10%

5.3.7 短路电流上升时间：（0.2~1.0）μs

5.4 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络

5.4.1 开路电压峰值（ U_{Pk1} ）

电压范围：（0.25~6）kV

最大允许误差：±10%

5.4.2 开路电压上升时间

标称值：0.5 μs

最大允许误差：±30%

5.4.3 电压振荡周期

标称值：10 μs

最大允许误差：±10%

5.4.4 衰减

$0.4 < U_{Pk2} / U_{Pk1} < 1.1$

$$0.4 < U_{Pk3} / U_{Pk2} < 0.8$$

$$0.4 < U_{Pk4} / U_{Pk3} < 0.8$$

5.4.5 重复率

$$\geq 1 \text{ 次/min}$$

5.4.6 短路电流峰值

电流范围：（8.33～200）A

最大允许误差：±10%

5.4.7 短路电流上升时间：（0.2～1.0）μs

注1：以上技术指标不做合格性判别，仅供参考。

注2：其它指标范围的振铃波模拟器可参照执行。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（23±5）℃。

6.1.2 相对湿度：≤80%。

6.1.3 电源电压及频率：（220±11）V，（50±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

6.2.1 数字示波器

带宽不小于500 MHz；

幅度测量最大允许误差：±2%；

时基最大允许误差：±1×10⁻⁴。

6.2.2 差分电压探头

衰减比不小于100:1，最大允许误差：±2%；

带宽不小于20 MHz；

脉冲电压峰值：不小于8 kV；

输入电阻：不小于10 kΩ。

6.2.3 电流传感器

转换系数最大允许误差：±2%；

带宽不小于6 MHz；

脉冲电流峰值：不小于700 A。

7 校准项目和校准方法

校准项目如表 3 所示。

表 3 校准项目

| 序号 | 校准项目 | |
|----|---------------------|----------|
| 1 | 外观及工作正常性检查 | |
| 2 | 振铃波发生器 | 开路电压峰值 |
| | | 开路电压上升时间 |
| | | 电压振荡频率 |
| | | 衰减 |
| | | 重复率 |
| | | 短路电流峰值 |
| | | 短路电流上升时间 |
| 3 | 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络 | 开路电压峰值 |
| | | 开路电压上升时间 |
| | | 电压振荡频率 |
| | | 衰减 |
| | | 重复率 |
| | | 短路电流峰值 |
| | | 短路电流上升时间 |
| | | 残余振铃波电压 |
| | | 非期望振铃波电压 |
| | | 相移 |
| 4 | 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络 | 开路电压峰值 |
| | | 开路电压上升时间 |
| | | 电压振荡周期 |
| | | 衰减 |
| | | 重复率 |
| | | 短路电流峰值 |
| | | 短路电流上升时间 |

| | | |
|---|--------------------|----------|
| 5 | 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络 | 开路电压峰值 |
| | | 开路电压上升时间 |
| | | 电压振荡周期 |
| | | 衰减 |
| | | 重复率 |
| | | 短路电流峰值 |
| | | 短路电流上升时间 |

7.1 外观及工作正常性检查

被校振铃波发生器的开关、旋钮、按键应能够正常工作，无影响电气性能的机械损伤，被校振铃波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。将检查结果记录在附录 A.1 中。所有测试仪器按规定时间预热。

7.2 振铃波发生器的校准

7.2.1 开路电压峰值

仪器连接如图 2 所示。设置振铃波发生器为高压端口输出模式并输出振铃波，调节数字示波器使一个完整的振铃波波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} ，分别在输出阻抗设置为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的开路电压峰值，记录在附录 A.2 中。

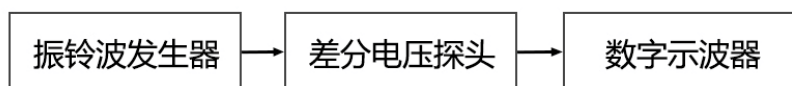


图 2 振铃波发生器开路电压校准连接示意图

7.2.2 开路电压上升时间

仪器连接和设置同 7.2.1。调节数字示波器使振铃波波形起始点至开路电压峰值 U_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 的 10% ~ 90% 的时间间隔作为上升时间，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的开路电压上升时间，记录在附录 A.3 中。

7.2.3 电压振荡频率

仪器连接和设置同 7.2.1。使用数字示波器测量第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间间隔，其倒数数值作为电压振荡频率，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的开路电压振荡频率，记录在附录 A.4

中。

7.2.4 衰减

仪器连接和设置同 7.2.1。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 、 U_{Pk2} 、 U_{Pk3} 和 U_{Pk4} ，以开路电压峰值电压绝对值与前一个峰值电压绝对值的比值作为衰减结果，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的衰减，记录在附录 A.5 中。

7.2.5 重复率

仪器连接和设置同 7.2.1。调节数字示波器使三至四个振铃波形完整显示于屏幕中央，测量两个相邻振铃波之间的间隔时间，从而计算得出 1 分钟内的出现的脉冲电压个数，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量重复率，记录在附录 A.6 中。

7.2.6 短路电流峰值

仪器连接如图 3 所示。将振铃波发生器的输出端短接，短路线穿过电流传感器的感应端，短路线的电阻应小于 0.1Ω 。设置振铃波发生器输出电压和输出阻抗，并输出振铃波，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量短路电流峰值 I_{Pk1} ，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的短路电流峰值，记录在附录 A.7 中。

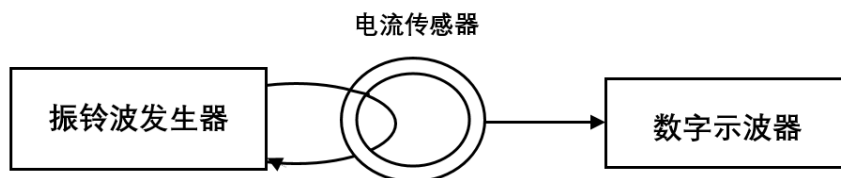


图 3 振铃波发生器短路电流校准连接示意图

7.2.7 短路电流上升时间

仪器连接和设置同 7.2.5。调节数字示波器使振铃波波形起始点至短路电流峰值 I_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量短路电流峰值 I_{Pk1} 的 10%~90% 的时间间隔作为上升时间，分别在输出阻抗为 12Ω 和 30Ω 时测量不同设定电压大小和极性下的短路电流上升时间，记录在附录 A.8 中。

7.3 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络的校准

7.3.1 开路电压峰值

仪器连接如图 4 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相连。设置振铃波发生器为电源线耦合输出模式，输出阻抗为 12Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} ，测量不同设定电压大小和极性下的开路电压峰值，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.9 中。

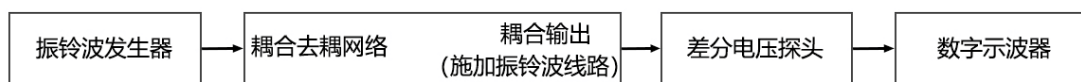


图 4 振铃波发生器接耦合去耦网络开路电压校准连接示意图

7.3.2 开路电压上升时间

仪器连接和设置同 7.3.1。调节数字示波器使振铃波波形起始点至开路电压峰值 U_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 10%~90%的时间间隔作为开路电压上升时间，测量不同设定电压大小和极性下的开路电压上升时间，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.10 中。

7.3.3 电压振荡频率

仪器连接和设置同 7.3.1。使用数字示波器测量第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间间隔，其倒数作为电压振荡频率，测量不同设定电压大小和极性下的开路电压振荡频率，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.11 中。

7.3.4 衰减

仪器连接和设置同 7.3.1。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 、 U_{Pk2} 、 U_{Pk3} 和 U_{Pk4} ，以开路电压峰值电压绝对值与前一个峰值电压绝对值的比值作为衰减结果，测量不同设定电压大小和极性下的衰减，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.12 中。

7.3.5 重复率

仪器连接和设置同 7.3.1。调节数字示波器使三至四个振铃波形完整显示于屏幕中央，测量两个相邻振铃波之间的间隔时间，从而计算得出 1 分钟内的出现的脉冲电压个数，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.13 中。

7.3.6 短路电流峰值

仪器连接如图 5 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，将耦合输出端短接，短路线穿过电流传感器的感应端，短路线的电阻应小于 0.1Ω 。设置振铃波发生器为电源线耦合输出模式，输出阻抗为 12Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量不同设定电压大小和极性下的短路电流峰值，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.14 中。

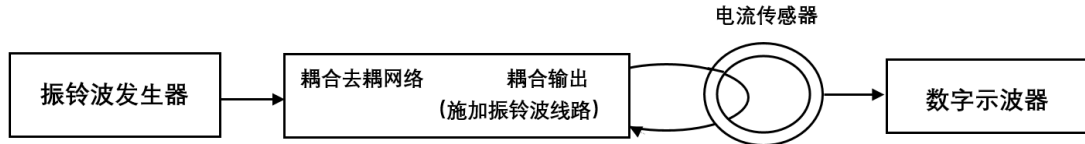


图 5 振铃波发生器接耦合去耦网络短路电流校准连接示意图

7.3.7 短路电流上升时间

仪器连接和设置同 7.3.6。调节数字示波器使振铃波波形起始点至短路电流峰值 I_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量短路电流峰值 I_{Pk1} 10%~90%的时间间隔作为上升时间，测量不同设定电压大小和极性下的短路电流上升时间，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.15 中。

7.3.8 残余振铃波电压

仪器连接如图 6 所示。差分电压探头连接去耦网络电源端口的耦合线和地线。设置振铃波发生器为电源线耦合输出模式并输出最大电压，输出阻抗为 12Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量波形最大峰值为残余振铃波电压，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.16 中。

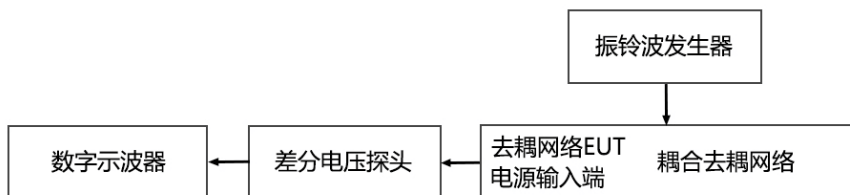


图 6 振铃波发生器接耦合去耦网络残余振铃波电压校准接线示意图

7.3.9 非期望振铃波电压

仪器连接如图 7 所示。耦合去耦网络电源输入端口开路，差分电压探头与耦合输出端口其中一条未施加振铃波线路及地线相连。设置振铃波发生器为电源线

耦合输出模式并输出最大电压，输出阻抗为 12Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量非期望振铃波电压，改变电源线耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.17 中。

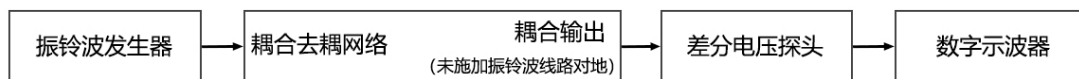


图 7 振铃波发生器接耦合去耦网络非期望振铃波电压校准接线示意图

7.3.10 相移

仪器连接如图 8 所示。耦合去耦网络电源输入端口与 EUT 电源相连，差分电压探头与耦合输出端相连。设置振铃波发生器为电源线 L (L1、L2、L3) -N 耦合输出模式，电压为 1 kV，调节数字示波器使一个完整周期的电压波形及振铃波形显示于屏幕中央。使用数字示波器测量振铃波信号与零相位参考点之间的时间间隔，按照公式 (1) 计算相位。改变振铃波发生器相位设定值，重复上述过程，将校准结果记录在附录 A.18 中。

$$\theta = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ \quad (1)$$

式中：

θ ——相位角实测值，(°)；

Δt ——时间间隔实测值，(ms)；

T ——EUT 电压信号周期实测值，(ms)。



图 8 振铃波发生器接耦合去耦网络相移校准接线示意图

7.4 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络的校准

7.4.1 开路电压峰值

仪器连接如图 4 所示。耦合去耦网络辅助设备端 (AE) 所有线路对地短接，差分电压探头与耦合输出端相连。设置振铃波发生器为高压端口输出模式，电压为耦合去耦网络的最大额定电压，输出阻抗为 30Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量不同耦合输出线路的开路电压峰值 U_{Pk1} ，记录在附录 A.19 中。

7.4.2 开路电压上升时间

仪器连接和设置同 7.4.1。调节数字示波器使振铃波波形起始点至开路电压峰值 U_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 10%~90%的时间间隔作为开路电压上升时间，改变耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.20 中。

7.4.3 电压振荡周期

仪器连接和设置同 7.4.1。使用数字示波器测量第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间间隔，改变耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.21 中。

7.4.4 衰减

仪器连接和设置同 7.4.1。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 、 U_{Pk2} 、 U_{Pk3} 和 U_{Pk4} ，以开路电压峰值电压绝对值与前一个峰值电压绝对值的比值作为衰减结果，测量不同设定电压大小和极性下的衰减，改变耦合输出线路，重复上述过程，记录在附录 A.22 中。

7.4.5 重复率

仪器连接和设置同 7.4.1。调节数字示波器使三至四个振铃波形完整显示于屏幕中央，测量两个相邻振铃波之间的间隔时间，从而计算得出 1 分钟内的出现的脉冲电压个数，改变耦合输出线路，记录在附录 A.23 中。

7.4.6 短路电流峰值

仪器连接如图 5 所示。耦合去耦网络辅助设备端所有线路对地短接，将耦合输出端短接，短路线穿过电流传感器的感应端，短路线的电阻应小于 0.1Ω 。设置振铃波发生器为高压端口输出模式，电压为耦合去耦网络的最大额定电压，输出阻抗为 30Ω ，调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央，使用数字示波器测量不同耦合输出线路的短路电流峰值 I_{Pk1} ，记录在附录 A.24 中。

7.4.7 短路电流上升时间

仪器连接和设置同 7.4.6。调节数字示波器使振铃波波形起始点至短路电流峰值 I_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量不同耦合输出线路的短路电流峰值 I_{Pk1} 的上升时间，记录在附录 A.25 中。

7.5 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络的校准

7.5.1 开路电压峰值

仪器连接如图 4 所示。耦合去耦网络辅助设备端 (AE) 所有线路对地短接, 耦合方式为所有线路对地耦合, 耦合输出端所有线路相连。设置振铃波发生器为高压端口输出模式, 电压为耦合去耦网络的最大额定电压, 输出阻抗为 30Ω , 调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央, 使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} , 记录在附录 A.26 中。

7.5.2 开路电压上升时间

仪器连接和设置同 7.5.1。调节数字示波器使振铃波波形起始点至开路电压峰值 U_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 的上升时间, 记录在附录 A.27 中。

7.5.3 电压振荡周期

仪器连接和设置同 7.5.1。调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。使用数字示波器测量第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间间隔, 记录在附录 A.28 中。

7.5.4 衰减

仪器连接和设置同 7.5.1。使用数字示波器测量开路电压峰值 U_{Pk1} 、 U_{Pk2} 、 U_{Pk3} 和 U_{Pk4} , 以开路电压峰值电压绝对值与前一个峰值电压绝对值的比值作为衰减结果, 测量不同设定电压大小和极性下的衰减, 改变电源线耦合输出线路, 重复上述过程, 记录在附录 A.29 中。

7.5.5 重复率

仪器连接和设置同 7.5.1。调节数字示波器使三至四个振铃波形完整显示于屏幕中央, 测量两个相邻振铃波之间的间隔时间, 从而计算得出 1 分钟内的出现的脉冲电压个数, 记录在附录 A.30 中。

7.5.6 短路电流峰值

仪器连接如图 5 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, 耦合输出端所有线路对地短接, 短路线穿过电流变换器的感应端, 短路线的电阻应小于 0.1Ω 。设置振铃波发生器为高压端口输出模式, 电压为耦合去耦网络的最大额定电压, 输出阻抗为 30Ω , 调节数字示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央, 使用数字示波器测量短路电流峰值 I_{Pk1} , 记录

在附录 A.31 中。

7.5.7 短路电流上升时间

仪器连接和设置同 7.5.6。调节数字示波器使振铃波波形起始点至短路电流峰值 I_{Pk1} 显示于屏幕中央并占屏幕足够空间。使用数字示波器测量短路电流峰值 I_{Pk1} 的上升时间，记录在附录 A.32 中。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。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

原始记录内页格式

A.1 外观及工作正常性检查:

A.2 振铃波发生器开路电压峰值

| 电压设定值 /kV | 输出阻抗设 定值/ Ω | 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 ($k=2$) |
|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.3 振铃波发生器开路电压上升时间

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定 值/ Ω | 上升时间标称 值/ μs | 开路电压上升时间实 测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.4 振铃波发生器电压振荡频率

| 电压设定值 /kV | 输出阻抗设 定值/ Ω | 振荡频率标 称值/kHz | 第一个峰值后第一 个和第三个过零点 之间的时间间隔 / μs | 振荡频率 实测值 /kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|--------------|-----------------------|-----------------|--|---------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.5 振铃波发生器衰减

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定值/ Ω | 第一个峰值电压 U_{Pk1}/V | 第二个峰值电压 U_{Pk2}/V | U_{Pk2}/U_{Pk1} | 第三个峰值电压 U_{Pk3}/V | U_{Pk3}/U_{Pk2} | 第四个峰值电压 U_{Pk4}/V | U_{Pk4}/U_{Pk3} | 不确定度($k=2$) |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

A.6 振铃波发生器重复率

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定值/ Ω | 相邻两个振铃波形之间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值次/min | 不确定度($k=2$) |
|----------|-------------------|----------------------|-------------|---------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.7 振铃波发生器短路电流峰值

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定值/ Ω | 数字示波器电压测量值/V | 电流传感器转换系数 | 短路电流峰值实测值/A | 不确定度($k=2$) |
|----------|-------------------|--------------|-----------|-------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.8 振铃波发生器短路电流上升时间

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定值/ Ω | 短路电流上升时间实测值/ μs | 不确定度($k=2$) |
|----------|-------------------|----------------------|---------------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

A.9 振铃波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 ($k=2$) |
|------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.10 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 上升时间标称 值/ μs | 开路电压上升时间实 测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.11 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络电压振荡频率

| 耦合线路 | 电压设定值 /kV | 振荡频率标 称值/kHz | 第一个峰值后第一 个和第三个过零点 之间的时间间隔 / μs | 振荡频率 实测值 /kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|------|--------------|-----------------|--|---------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.12 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络衰减

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 第一个峰值电压 $U_{Pk1}/$ V | 第二个峰值电压 $U_{Pk2}/$ V | $U_{Pk2}/$ U_{Pk1} | 第三个峰值电压 $U_{Pk3}/$ V | $U_{Pk3}/$ U_{Pk2} | 第四个峰值电压 $U_{Pk4}/$ V | $U_{Pk4}/$ U_{Pk3} | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

A.13 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络重复率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波形之间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|----------------------|--------------|---------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.14 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 数字示波器电压测量值/V | 电流传感器转换系数 | 短路电流峰值实测值/A | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|--------------|-----------|-------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.15 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值/ μ s | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|----------------------|---------------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

A.16 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络残余振铃波电压

| 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 | 残余振铃波电压 实测值/kV | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|--------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.17 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络非期望振铃波电压

| 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 | 非期望振铃波电 压实测值/kV | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|----------|--------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

A.18 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络相移

| 耦合线路 | 电压设定 值/kV | 相位设定 值/ $^{\circ}$ | EUT 电压信 号周期/ms | 时间间隔测 量值/ms | 相位实测值 / $^{\circ}$ | 不确定度 ($k=2$) |
|------|--------------|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

A.19 振铃波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 ($k=2$) |
|------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.20 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 上升时间标称值/ μs | 开路电压上升时间实测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|------------------------|----------------------------|----------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.21 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络电压振荡频率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 振荡频率标称值/kHz | 振荡频率实测值/kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|-------------|-------------|----------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.22 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络衰减

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 第一个峰值电压 | 第二个峰值电压 | U_{Pk2}/U_{Pk1} | 第三个峰值电压 | U_{Pk3}/U_{Pk2} | 第四个峰值电压 U_{Pk4}/V | U_{Pk4}/U_{Pk3} | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| | | U_{Pk1}/V | U_{Pk2}/V | | U_{Pk3}/V | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

A.23 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络重复率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波形之间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------|--------------|----------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

A.24 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 数字示波器电压测量值/V | 电流传感器转换系数 | 短路电流峰值实测值/A | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|--------------|-----------|-------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

A.25 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------------|----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

A.26 振铃波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 ($k=2$) |
|----------|--------------|-----------|--------------|----------------|
| | | | | |

A.27 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 电压设定值/kV | 上升时间标称值/ μs | 开路电压上升时间实测值 | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|------------------------|-------------|----------------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|-----|--|
| | | /μs | |
| | | | |

A.28 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络电压振荡频率

| 电压设定值/kV | 振荡频率标称值/kHz | 振荡频率实测值/kHz | 不确定度(k=2) |
|----------|-------------|-------------|-----------|
| | | | |

A.29 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络衰减

| 电压设定值/kV | 第一个 | 第二个 | $U_{Pk2}/$ U_{Pk1} | 第三个 | $U_{Pk3}/$ U_{Pk2} | 第四个 | $U_{Pk4}/$ U_{Pk3} | 不确定度 (k=2) |
|----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| | 峰值电 压 $U_{Pk1}/$ V | 峰值电 压 $U_{Pk2}/$ V | | 峰值电 压 $U_{Pk3}/$ V | | 峰值电 压 $U_{Pk4}/$ V | | |
| | | | | | | | | |

A.30 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络重复率

| 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波形之 间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度(k=2) |
|----------|--------------------------|--------------|-----------|
| | | | |

A.31 振铃波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 | 数字示波器电 压测量值/V | 电流传感器转 换系数 | 短路电流峰值实测 值/A | 不确定度(k=2) |
|----------|------------------|---------------|-----------------|-----------|
| | | | | |

A.32 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值/μs | 不确定度(k=2) |
|----------|----------------|-----------|
| | | |

附录 B

校准证书内页格式

B.1 振铃波发生器开路电压峰值

| 电压设定值 /kV | 输出阻抗设 定值/ Ω | 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 ($k=2$) |
|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.2 振铃波发生器开路电压上升时间

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定 值/ Ω | 上升时间标称 值/ μs | 开路电压上升时间实 测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.3 振铃波发生器电压振荡频率

| 电压设定值 /kV | 输出阻抗设 定值/ Ω | 振荡频率标 称值/kHz | 第一个峰值后第一 个和第三个过零点 之间的时间间隔 / μs | 振荡频率 实测值 /kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|--------------|-----------------------|-----------------|--|---------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.4 振铃波发生器衰减

| 电压设 | 输出 | 第一 | 第二 | $U_{Pk2}/$ | 第三 | $U_{Pk3}/$ | 第四个 | $U_{Pk4}/$ | 不确定 |
|-----|----|----|----|------------|----|------------|-----|------------|-----|
| | | | | | | | | | |

| 定值 /kV | 阻抗 设定 值/ Ω | 个峰 值电 压 $U_{Pk1}/$ V | 个峰 值电 压 $U_{Pk2}/$ V | U_{Pk1} | 个峰 值电 压 $U_{Pk3}/$ V | U_{Pk2} | 峰值电 压 $U_{Pk4}/$ V | U_{Pk3} | 度($k=2$) |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

B.5 振铃波发生器重复率

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定 值/ Ω | 相邻两个振铃波 形之间的时间间 隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|-----------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.6 振铃波发生器短路电流峰值

| 电压设定值 /kV | 输出阻抗设 定值/ Ω | 数字示波器 电压测量值 /V | 电流传感 器转换系 数 | 短路电流峰值实 测值/A | 不确定度 ($k=2$) |
|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.7 振铃波发生器短路电流上升时间

| 电压设定值/kV | 输出阻抗设定值/ Ω | 短路电流上升时间实测值 / μs | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

B.8 振铃波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 ($k=2$) |
|------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.9 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 上升时间标称 值/ μs | 开路电压上升时间实 测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.10 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络电压振荡频率

| 耦合线路 | 电压设定值 /kV | 振荡频率标 称值/kHz | 第一个峰值后第一 个和第三个过零点 之间的时间间隔 / μs | 振荡频率 实测值 /kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|------|--------------|-----------------|--|---------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.11 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络衰减

| 耦合线 | 电压设 | 第一 | 第二 | $U_{Pk2}/$ | 第三 | $U_{Pk3}/$ | 第四个 | $U_{Pk4}/$ | 不确定 |
|-----|-----|----|----|------------|----|------------|-----|------------|-----|
| | | | | | | | | | |

| 路 | 定值 /kV | 个峰 值电 压 $U_{Pk1}/$ V | 个峰 值电 压 $U_{Pk2}/$ V | U_{Pk1} | 个峰 值电 压 $U_{Pk3}/$ V | U_{Pk2} | 峰值电 压 $U_{Pk4}/$ V | U_{Pk3} | 度($k=2$) |
|---|-----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

B.12 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络重复率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波 形之间的时间间 隔测量值/s | 重复率实测值 次 /min | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|------------------------------|------------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.13 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络短路电流峰值

| 耦合线路 | 电压设定值 /kV | 数字示波器 电压测量值 /V | 电流传感 器转换系 数 | 短路电流峰值实 测值/A | 不确定度 ($k=2$) |
|------|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.14 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值 / μ s | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|--------------------------|---------------|
| | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

B.15 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络残余振铃波电压

| 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 | 残余振铃波电压 实测值/kV | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|--------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.16 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络非期望振铃波电压

| 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 | 非期望振铃波电 压实测值/kV | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|----------|--------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

B.17 振铃波发生器接电源线耦合去耦网络相移

| 耦合线路 | 电压设定 值/kV | 相位设定 值/ $^{\circ}$ | EUT 电压信 号周期/ms | 时间间隔测 量值/ms | 相位实测值 / $^{\circ}$ | 不确定度 ($k=2$) |
|------|--------------|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

B.18 振铃波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 ($k=2$) |
|------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.19 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 上升时间标称值/ μ s | 开路电压上升时间实测值/ μ s | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|------------------|----------------------|---------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.20 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络电压振荡频率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 振荡频率标称值/kHz | 振荡频率实测值/kHz | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|-------------|-------------|---------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.21 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络衰减

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 第一个峰值电压 | 第二个峰值电压 | U_{Pk2}/U_{Pk1} | 第三个峰值电压 | U_{Pk3}/U_{Pk2} | 第四个峰值电压 | U_{Pk4}/U_{Pk3} | 不确定度($k=2$) |
|------|----------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|---------------|
| | | U_{Pk1}/V | U_{Pk2}/V | | U_{Pk3}/V | | U_{Pk4}/V | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

B.22 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络重复率

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波形之间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------|--------------|----------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

B.23 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流峰值

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 数字示波器电压测量值/V | 电流传感器转换系数 | 短路电流峰值实测值/A | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|--------------|-----------|-------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

B.24 振铃波发生器接非对称互联线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 耦合线路 | 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|------|----------|----------------------------|----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

B.25 振铃波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 ($k=2$) |
|----------|--------------|-----------|--------------|----------------|
| | | | | |

B.26 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络开路电压上升时间

| 电压设定值/kV | 上升时间标称值/ μs | 开路电压上升时间实测值/ μs | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|------------------------|----------------------------|----------------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

B.27 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络电压振荡周期

| 电压设定值/kV | 振荡频率标称值/ kHz | 振荡频率实测值/ kHz | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|-----------------|--------------|----------------|
| | | | |

B.28 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络衰减

| 电压设定值/kV | 第一个 峰值电 压 $U_{Pk1}/$ V | 第二个 峰值电 压 $U_{Pk2}/$ V | $U_{Pk2}/$ U_{Pk1} | 第三个 峰值电 压 $U_{Pk3}/$ V | $U_{Pk3}/$ U_{Pk2} | 第四个 峰值电 压 $U_{Pk4}/$ V | $U_{Pk4}/$ U_{Pk3} | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|
| | | | | | | | | |

B.29 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络重复率

| 电压设定值/kV | 相邻两个振铃波形之 间的时间间隔测量值/s | 重复率实测值 次/min | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|--------------------------|--------------|----------------|
| | | | |

B.30 振铃波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 | 数字示波器电 压测量值/V | 电流传感器转 换系数 | 短路电流峰值实测 值/A | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|------------------|---------------|-----------------|----------------|
| | | | | |

B.31 振铃波发生器接对称互联线耦合去耦网络短路电流上升时间

| 电压设定值/kV | 短路电流上升时间实测值/ μ s | 不确定度 ($k=2$) |
|----------|----------------------|----------------|
| | | |

附录 C

主要项目校准不确定度评定示例

1 开路电压峰值校准不确定度评定

1.1 测量模型及不确定度传播律

1.1.1 测量模型

使用数字示波器校准振铃波模拟器开路电压峰值。

$$y = V$$

式中：

y——开路电压峰值测量值，kV；

V——数字示波器示值，kV。

1.1.2 不确定度传播律

各输入量独立不相关，可得不确定度传播率：

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

1.2 标准不确定度的评定

1.2.1 测量重复性引入的不确定度 $u_{1rel}(y)$

重复测量振铃波模拟器的开路电压峰值的 10 次数据见表 1

表 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 | 2.013 | 2.022 | 2.027 | 2.031 | 2.018 | 2.025 | 2.016 | 2.019 | 2.031 | 2.026 |

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 2.023 \text{ kV}$$

其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 $u_1(y) = 0.006 \text{ kV}$ ， $u_{1rel}(y) = 0.3\%$ 。

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

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

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

1.2.3 数字示波器电压测量引入的不确定度分量 $u_{3rel}(y)$

数字示波器电压测量最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

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

1.2.4 数字示波器读数分辨力引入的不确定度分量 $u_{4rel}(y)$

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，则 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ ，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

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

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

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

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 2。

表 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 $u_{1rel}(y)$ | 0.3% | —— |
| 差分电压探头衰减比 $u_{2rel}(y)$ | 1.16% | 均匀分布 |
| 数字示波器电压测量 $u_{3rel}(y)$ | 1.16% | 均匀分布 |
| 数字示波器读数分辨力 $u_{4rel}(y)$ | 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

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

1.4 扩展不确定度

$$U_{rel} = ku_{crel}(y) = 3.6\% \quad (k=2)$$

2 开路电压上升时间校准不确定度评定

2.1 测量模型及不确定度传播律

2.1.1 测量模型

使用数字示波器校准振铃波模拟器开路电压上升时间。

$$T = T_r$$

式中：

T ——脉冲上升时间测量值，ns；

T_r ——数字示波器上升时间示值，ns。

2.1.2 不确定度传播律

$$u_c^2(T) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial T}{\partial T_{ri}} \right)^2 u^2(T_{ri}) = \sum_{i=1}^N [c_i u(T_{ri})]^2 = u^2(T_r)$$

2.2 标准不确定度的评定

2.2.1 测量重复性引入的不确定度 $u_{1rel}(T)$

重复测量振铃波模拟器的开路电压上升时间的 10 次数据见表 3。

表 3 开路电压上升时间 10 次测量数据

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 示值 /ns | 523 | 529 | 520 | 518 | 526 | 514 | 523 | 527 | 519 | 524 |

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 522.3\text{ns}$$

其单次试验的标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4.6\text{ns}$$

不确定度 $u_1(y) = 4.6\text{ns}$, $u_{1\text{rel}}(y) = 0.9\%$ 。

2.2.2 测量标准的带宽限制引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(T)$

标准器由数字示波器（带宽 1000MHz）和差分电压探头（带宽 40MHz）组成，则测量标准的瞬态响应时间为 $t_r = \sqrt{\left(\frac{0.35}{1}\right)^2 + \left(\frac{0.35}{0.04}\right)^2} = 8.7\text{ns}$ ，被测的振铃波模拟器开路电压上升时间为 523ns， $n=523\text{ns}/8.7\text{ns}=60.1$ ，则测量标准的上升时间引入的测量误差为 $\delta = \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}} - 1 = 0.014\%$ ，设误差为均匀分布，则测量标准的频带限制引入的不确定度分量为

$$u_{2\text{rel}}(T) = 0.014\%/\sqrt{3} = 0.01\%$$

2.2.3 数字示波器上升时间读数分辨力引入的不确定度 $u_{3\text{rel}}(T)$

数字示波器上升时间读数分辨力为 1ns，按均匀分布，则上升时间读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_{3\text{rel}}(T) = \frac{1\text{ns}}{2 \times \sqrt{3} \times 523\text{ns}} \times 100\% = 0.06\%$$

2.2.4 数字示波器上升时间不准引入的不确定度 $u_{4\text{rel}}(T)$

在数字示波器带宽远大于被测信号带宽的情况下，数字示波器上升时间的测量准确度由其时基准确度决定。根据数字示波器的技术指标，其时基准确度为 2.5×10^{-6} ，按均匀分布，引入的不确定度分量为

$$u_{4\text{rel}}(T) = \frac{2.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 1.5 \times 10^{-6}$$

因 $u_{4\text{rel}}(T)$ 的值远小于上升时间读数分辨力引入的不确定度 $u_{3\text{rel}}(T)$ ，故忽略 $u_{4\text{rel}}(T)$ 。

2.3 合成标准不确定度的计算

开路电压上升时间标准不确定度分量汇总见表 4。

表 4 开路电压上升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 $u_{1\text{rel}}(T)$ | 0.9% | —— |
| 测量标准的带宽限制 $u_{2\text{rel}}(T)$ | 0.01% | 均匀分布 |
| 上升时间读数分辨力 $u_{3\text{rel}}(T)$ | 0.06% | 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

$$u_{\text{crel}}(y) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(T) + u_{2\text{rel}}^2(T) + u_{3\text{rel}}^2(T)} = 0.91\%$$

2.4 扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}}(T_r) = 1.9\% \quad (k=2)$$

3 短路电流峰值校准不确定度评定

3.1 测量模型及不确定度传播律

3.1.1 测量模型

使用数字示波器校准振铃波模拟器短路电流峰值。

$$y = A$$

式中：

y——短路电流峰值测量值，kA；

A——经电流传感器转换后数字示波器的示值，kA。

3.1.2 不确定度传播律

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

3.2 标准不确定度的评定

3.2.1 测量的重复性引入的不确定度 $u_{1rel}(y)$

重复测量振铃波模拟器的短路电流峰值的 10 次数据见表 5

表 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 | 335 | 338 | 333 | 337 | 336 | 338 | 332 | 334 | 333 | 336 |

其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 335.2 \text{ kA}$$

其单次试验的标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.2 \text{ kA}$$

不确定度 $u_1(y) = 2.2 \text{ kA}$ ， $u_{1rel}(y) = 0.7\%$ 。

3.2.2 电流传感器转换系数误差引入的不确定度 $u_{2rel}(y)$

电流变换器转换系数最大允许误差 $\pm 1\%$ ，设为均匀分布，则

$$u_{2rel}(y) = 1\% / \sqrt{3} = 0.58\%$$

3.2.3 数字示波器电压测量引入的不确定度分量 $u_{3rel}(y)$

数字示波器电压测量最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，设为均匀分布，则

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

3.2.4 数字示波器读数分辨力引入的不确定度分量 $u_{4rel}(y)$

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，则 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ ，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

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

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

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

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 6

表 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 | 0.7% | —— |
| 电流变换器转换系数 | 0.58% | 均匀分布 |
| 数字示波器电压测量 | 1.16% | 均匀分布 |
| 数字示波器读数分辨力 | 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

$$u_{crel}(y) = \sqrt{u_{1rel}^2(y) + u_{2rel}^2(y) + u_{3rel}^2(y) + u_{4rel}^2(y)} = 1.53\%$$

3.4 扩展不确定度

$$U_{rel} = ku_{crel}(y) = 3.1\% \quad (k=2)$$