

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1672—2017

---

## 电快速瞬变脉冲群模拟器校准规范

Calibration Specification for Electrical Fast Transient/Burst Simulators



2017-11-20 发布

2018-02-20 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 电快速瞬变脉冲群模拟器

## 校准规范

Calibration Specification for Electrical Fast  
Transient/Burst Simulators

JJF 1672—2017

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：江苏省计量科学研究院

广东省计量科学研究院

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：**

唐 虹（辽宁省计量科学研究院）

黄 攀（中国计量科学研究院）

郝 松（辽宁省计量科学研究院）

**参加起草人：**

赵品彰（江苏省计量科学研究院）

常志方（广东省计量科学研究院）

施 滨（上海市计量测试技术研究院）

郭 浩（辽宁省计量科学研究院）



## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
3.1 脉冲群 .....	( 1 )
3.2 耦合夹 .....	( 1 )
3.3 耦合网络 .....	( 1 )
3.4 去耦网络 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 2 )
5.1 脉冲群发生器 .....	( 2 )
5.2 脉冲群发生器接耦合去耦网络 .....	( 3 )
5.3 脉冲群发生器接容性耦合夹 .....	( 3 )
6 校准条件 .....	( 4 )
6.1 环境条件 .....	( 4 )
6.2 测量标准及其他设备 .....	( 4 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 5 )
7.1 脉冲群发生器的校准 .....	( 5 )
7.2 脉冲群发生器接耦合去耦网络的校准 .....	( 6 )
7.3 脉冲群发生器接容性耦合夹的校准 .....	( 7 )
8 校准结果 .....	( 8 )
9 复校时间间隔 .....	( 8 )
附录 A 电快速瞬变脉冲群模拟器校准记录格式 .....	( 9 )
附录 B 电快速瞬变脉冲群模拟器校准证书内页格式 .....	( 16 )
附录 C 校准不确定度评定示例 .....	( 23 )
附录 D 传感器板尺寸及结构 .....	( 27 )

## 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 17626.4—2008《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》及 IEC 61000-4-4:2012《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。



# 电快速瞬变脉冲群模拟器校准规范

## 1 范围

本规范适用于符合 GB/T 17626.4—2008《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》及 IEC 61000-4-4:2012《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》中要求的电快速瞬变脉冲群发生器、耦合去耦网络及容性耦合夹的校准，也适用于电磁兼容抗扰度综合测试系统中的电快速瞬变脉冲群模拟器部分的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17626.4—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

IEC 61000-4-4:2012 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验  
(Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Electrical fast transient/burst 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

下列术语和定义适用于本规范。

### 3.1 脉冲群 burst

数量有限且清晰可辨的脉冲序列或持续时间有限的振荡。

### 3.2 耦合夹 coupling clamp

在与受试线路没有任何电连接情况下，以共模形式将骚扰信号耦合到受试线路的、具有规定尺寸和特性的一种装备。

### 3.3 耦合网络 coupling network

用于将能量从一个线路传送到另一个线路的电路。

### 3.4 去耦网络 decoupling network

用于防止施加到受试设备上的电快速瞬变电压影响其他不被试验的装置、设备和系统的电路。

## 4 概述

电快速瞬变脉冲群模拟器（以下简称脉冲群模拟器）包括电快速瞬变脉冲群发生器、耦合去耦网络及容性耦合夹。脉冲群模拟器主要用于模拟沿电网传播或从信号线耦合的电快速瞬变脉冲群对电子仪器设备的冲击过程，考察被测试电子仪器设备的抗电快速瞬变脉冲群的能力。电快速瞬变脉冲群发生器（以下简称脉冲群发生器）主要由高压

源、充电电阻、储能电容器、高压开关、波形网络等组成。耦合去耦网络由耦合网络和去耦网络两部分构成，用于交、直流电源端口的验收试验。容性耦合夹由耦合夹及两端高压同轴接头构成，用于输入、输出和通讯端口上的连接线的验收试验。单脉冲波形及脉冲群波形分别如图 1 和图 2 所示。

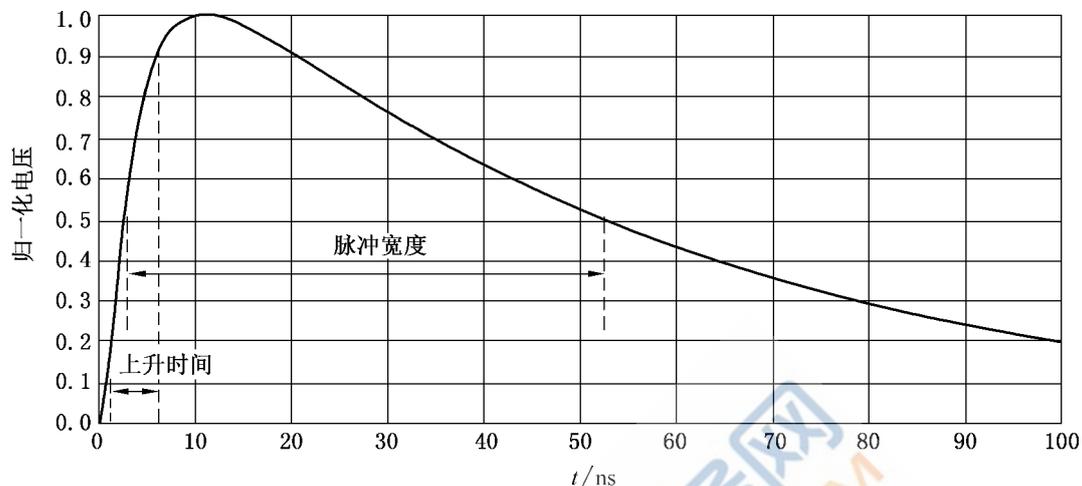


图 1 单脉冲波形图

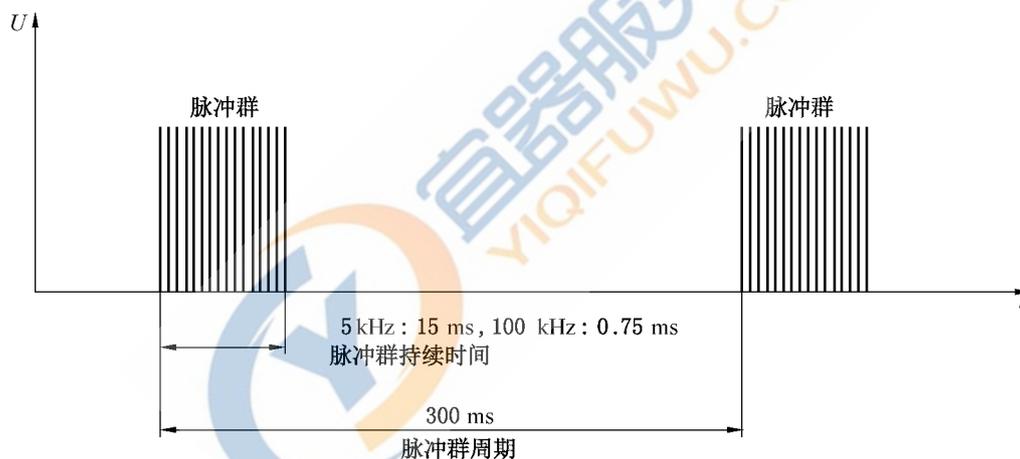


图 2 脉冲群波形图

## 5 计量特性

### 5.1 脉冲群发生器

#### 5.1.1 脉冲电压峰值

脉冲电压峰值如表 1 所示。

表 1 脉冲群发生器脉冲电压峰值

脉冲电压峰值设定值 kV	50 $\Omega$ 负载脉冲电压峰值 标称值/kV	1 000 $\Omega$ 负载脉冲电压峰值 标称值/kV
0.25	0.125	0.24
0.5	0.25	0.48
1	0.5	0.95
2	1	1.9
4	2	3.8

50  $\Omega$  负载脉冲电压峰值最大允许误差： $\pm 10\%$ ，  
1 000  $\Omega$  负载脉冲电压峰值最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

#### 5.1.2 脉冲上升时间

标称值：5 ns，  
最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

#### 5.1.3 脉冲宽度

标称值：50 ns，  
最大允许误差： $\pm 30\%$  (50  $\Omega$  负载)，  
(-15~100) ns (1 000  $\Omega$  负载)。

#### 5.1.4 脉冲重复频率

标称值：5 kHz、100 kHz，  
最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

#### 5.1.5 脉冲群持续时间

5 kHz 脉冲重复频率：标称值 15 ms，  
100 kHz 脉冲重复频率：标称值 0.75 ms，  
最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

#### 5.1.6 脉冲群周期

标称值：300 ms，  
最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

### 5.2 脉冲群发生器接耦合去耦网络

#### 5.2.1 脉冲电压峰值

脉冲电压峰值如表 2 所示。

表 2 脉冲群发生器接耦合去耦网络脉冲电压峰值

脉冲电压峰值设定值 kV	50 $\Omega$ 负载脉冲电压峰值 标称值/kV
0.25	0.125
4	2

最大允许误差： $\pm 10\%$ 。

#### 5.2.2 脉冲上升时间

标称值：5.5 ns (50  $\Omega$  负载)，  
最大允许误差： $\pm 1.5$  ns。

#### 5.2.3 脉冲宽度

标称值：45 ns (50  $\Omega$  负载)，  
最大允许误差： $\pm 15$  ns。

### 5.3 脉冲群发生器接容性耦合夹

#### 5.3.1 脉冲电压峰值

脉冲电压峰值如表 3 所示。

表 3 脉冲群发生器接容性耦合夹脉冲电压峰值

脉冲电压峰值设定值 kV	50 $\Omega$ 负载脉冲电压峰值 标称值/kV
0.25	0.125
2	1

最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

### 5.3.2 脉冲上升时间

标称值：5 ns (50  $\Omega$  负载)，

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

### 5.3.3 脉冲宽度

标称值：50 ns (50  $\Omega$  负载)，

最大允许误差： $\pm 30\%$ 。

## 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 电源电压及频率： $(220 \pm 22)$  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 400 MHz，

采样率不小于 2 GSa/s，

幅度测量最大允许误差： $\pm 2\%$ ，

时基最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-4}$ ，

具有 50  $\Omega$  输入阻抗。

#### 6.2.2 50 $\Omega$ 衰减器

分压比不小于 200 : 1，不确定度：优于 2.5%，

频率响应：100 MHz 以下，优于  $\pm 1$  dB，

(100~400) MHz，优于  $\pm 3$  dB，

输入直流阻抗：50  $\Omega$ ，

输入阻抗最大允许误差： $\pm 2\%$ ，

可承受脉冲电压峰值：不小于 8 kV。

#### 6.2.3 1 000 $\Omega$ 衰减器

分压比不小于 200 : 1，不确定度：优于 2.5%，

频率响应：100 MHz 以下，优于  $\pm 1$  dB，

(100~400) MHz，优于  $\pm 3$  dB，

输入直流阻抗：1 000  $\Omega$ ，  
 输入阻抗最大允许误差： $\pm 2\%$ ，  
 可承受脉冲电压峰值：不小于 8 kV。

#### 6.2.4 传感器板

尺寸及结构见附录 D。

### 7 校准项目和校准方法

校准项目如表 4 所示。

表 4 校准项目表

序号	校准项目	
1	脉冲群发生器	外观及工作正常性检查
		脉冲电压峰值
		脉冲上升时间
		脉冲宽度
		脉冲重复频率
		脉冲群持续时间
		脉冲群周期
2	脉冲群发生器 接耦合去耦网络	脉冲电压峰值
		脉冲上升时间
		脉冲宽度
3	脉冲群发生器 接容性耦合夹	脉冲电压峰值
		脉冲上升时间
		脉冲宽度

#### 7.1 脉冲群发生器的校准

##### 7.1.1 外观及工作正常性检查

被校脉冲群发生器的开关、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；被校脉冲群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。

##### 7.1.2 脉冲电压峰值

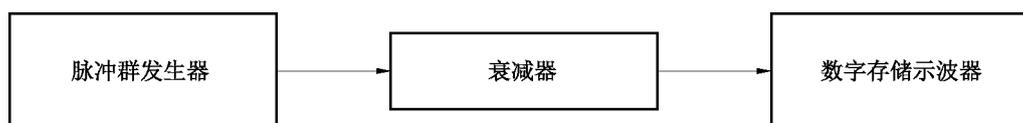


图 3 脉冲群发生器校准连接示意图

设备连接如图 3 所示。按说明书要求进行预热。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，数字存储示波器输入阻抗设置为 50  $\Omega$ ，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。分别在 50  $\Omega$  衰减器和 1 000  $\Omega$  衰减器下，测量不同设定电压下的

脉冲电压峰值。数字存储示波器电压峰值测量值和衰减器分压比的乘积作为脉冲电压峰值校准结果，记录在附录 A. 2 中。

### 7.1.3 脉冲上升时间

设备连接如图 3 所示。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以第一峰值  $10\% \sim 90\%$  的间隔时间作为脉冲上升时间。分别在  $50\ \Omega$  衰减器和  $1\ 000\ \Omega$  衰减器下，测量不同设定电压下的脉冲上升时间，记录在附录 A. 3 中。

### 7.1.4 脉冲宽度

设备连接如图 3 所示。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以峰值电压  $50\%$  到  $50\%$  的间隔时间作为脉冲宽度。分别在  $50\ \Omega$  衰减器和  $1\ 000\ \Omega$  衰减器下，测量不同设定电压下的脉冲宽度，记录在附录 A. 4 中。

### 7.1.5 脉冲重复频率

设备连接如图 3 所示。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，设定电压为  $4\ \text{kV}$ ，数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，调节数字存储示波器使三至四个脉冲显示于屏幕中央。分别在  $50\ \Omega$  衰减器和  $1\ 000\ \Omega$  衰减器下，测量脉冲重复频率，记录在附录 A. 5 中。

### 7.1.6 脉冲群持续时间

设备连接如图 3 所示。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，设定电压为  $4\ \text{kV}$ ，数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，调节数字存储示波器使一组完整的脉冲群显示于屏幕中央。分别在  $50\ \Omega$  衰减器和  $1\ 000\ \Omega$  衰减器下，测量不同设定频率下的脉冲群持续时间，记录在附录 A. 6 中。

### 7.1.7 脉冲群周期

设备连接如图 3 所示。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，设定电压为  $4\ \text{kV}$ ，数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，调节数字存储示波器使三至四组脉冲群显示于屏幕中央。分别在  $50\ \Omega$  衰减器和  $1\ 000\ \Omega$  衰减器下，测量不同设定频率下的脉冲群周期，记录在附录 A. 7 中。

## 7.2 脉冲群发生器接耦合去耦网络的校准

### 7.2.1 脉冲电压峰值

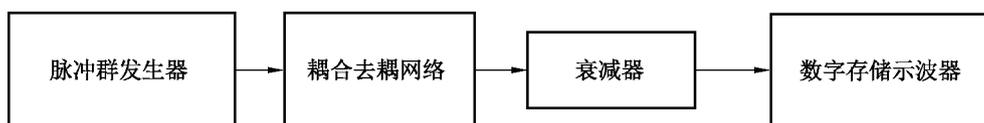


图 4 脉冲群发生器接耦合去耦网络校准连接示意图

设备连接如图 4 所示。耦合去耦网络与衰减器间通过连接适配器相连，且耦合去耦网络输出端与连接适配器之间的连接应尽可能短，不超过  $0.1\ \text{m}$ 。设置脉冲群发生器为电源端口同时耦合输出模式 ( $L1+L2+L3+N+PE$  或  $L+N+PE$ )，分别设定电压为  $0.25\ \text{kV}$  和  $4\ \text{kV}$ 。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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  $50\ \Omega$  衰减器下，测量  $L1$  ( $L$ ) 线路的脉冲电压峰

值，其他线路开路。数字存储示波器电压峰值测量值和衰减器分压比的乘积作为脉冲电压峰值校准结果。重复上述过程，测量每一线路的脉冲电压峰值，记录在附录 A.8 中。

### 7.2.2 脉冲上升时间

设备连接如图 4 所示。耦合去耦网络与衰减器间通过连接适配器相连，且耦合去耦网络输出端与连接适配器之间的连接应尽可能短，不超过 0.1 m。设置脉冲群发生器为电源端口同时耦合输出模式（ $L1+L2+L3+N+PE$  或  $L+N+PE$ ），分别设定电压为 0.25 kV 和 4 kV。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以第一峰值 10%~90% 的间隔时间作为脉冲上升时间。在  $50\ \Omega$  衰减器下，测量 L1（L）线路的脉冲上升时间，其他线路开路。重复上述过程，测量每一线路的脉冲上升时间，记录在附录 A.9 中。

### 7.2.3 脉冲宽度

设备连接如图 4 所示。耦合去耦网络与衰减器间通过连接适配器相连，且耦合去耦网络输出端与连接适配器之间的连接应尽可能短，不超过 0.1 m。设置脉冲群发生器为电源端口同时耦合输出模式（ $L1+L2+L3+N+PE$  或  $L+N+PE$ ），分别设定电压为 0.25 kV 和 4 kV。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以峰值电压 50%~50% 的间隔时间作为脉冲宽度。在  $50\ \Omega$  衰减器下，测量 L1（L）线路的脉冲宽度，其他线路开路。重复上述过程，测量每一线路的脉冲宽度，记录在附录 A.10 中。

## 7.3 脉冲群发生器接容性耦合夹的校准



图 5 脉冲群发生器接容性耦合夹校准连接示意图

### 7.3.1 脉冲电压峰值

设备连接如图 5 所示。将传感器板置于容性耦合夹中，带有连接器的一端边缘与下面耦合板边缘对齐，且传感器板连接器端与脉冲群发生器注入端分别置于容性耦合夹的两侧。传感器板与衰减器间通过连接适配器相连，且连接适配器接地端应与接地参考平板良好接地。传感器板与衰减器间的距离不超过 0.1 m。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，分别设定电压为 0.25 kV 和 2 kV。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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  $50\ \Omega$  衰减器下，测量脉冲电压峰值，数字存储示波器电压峰值测量值和衰减器分压比的乘积作为脉冲电压峰值校准结果，记录在附录 A.11 中。

### 7.3.2 脉冲上升时间

设备连接如图 5 所示。将传感器板置于容性耦合夹中，带有连接器的一端边缘与下面耦合板边缘对齐，且传感器板连接器端与脉冲群发生器注入端分别置于容性耦合夹的两侧。传感器板与衰减器间通过连接适配器相连，且连接适配器接地端应与接地参考平

板良好接地。传感器板与衰减器间的距离不超过 0.1 m。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，分别设定电压为 0.25 kV 和 2 kV。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以第一峰值 10%~90% 的间隔时间作为脉冲上升时间。在  $50\ \Omega$  衰减器下，测量脉冲上升时间，记录在附录 A.12 中。

### 7.3.3 脉冲宽度

设备连接如图 5 所示。将传感器板置于容性耦合夹中，带有连接器的一端边缘与下面耦合板边缘对齐，且传感器板连接器端与脉冲群发生器注入端分别置于容性耦合夹的两侧。传感器板与衰减器间通过连接适配器相连，且连接适配器接地端应与接地参考平板良好接地。传感器板与衰减器间的距离不超过 0.1 m。设置脉冲群发生器为同轴输出模式，分别设定电压为 0.25 kV 和 2 kV。数字存储示波器输入阻抗设置为  $50\ \Omega$ ，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。以峰值电压 50%~50% 的间隔时间作为脉冲宽度。在  $50\ \Omega$  衰减器下，测量脉冲宽度，记录在附录 A.13 中。

## 8 校准结果

电快速瞬变脉冲群模拟器校准后，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

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的。因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，推荐复校时间间隔为 1 年。

## 附录 A

## 电快速瞬变脉冲群模拟器校准记录格式

A.1 外观及工作正常性检查\_\_\_\_\_

A.2 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲电压峰值

衰减器阻抗	电压设定值 kV	数字示波器 电压测量值/V	衰减器分压比	电压实测值 kV
50 $\Omega$	0.25			
	0.5			
	1			
	2			
	4			
	-0.25			
	-0.5			
	-1			
	-2			
	-4			
1 000 $\Omega$	0.25			
	0.5			
	1			
	2			
	4			
	-0.25			
	-0.5			
	-1			
	-2			
	-4			

## A.3 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲上升时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	
1 000 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	

## A.4 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲宽度

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	
1 000 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	

## A.5 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲重复频率

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	重复频率实测值/kHz
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## A.6 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲群持续时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	持续时间实测值/ms
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## A.7 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲群周期

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	周期实测值/ms
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## A.8 耦合去耦网络脉冲电压峰值

衰减器阻抗	线路	电压设定值 kV	数字示波器 电压测量值/V	衰减器分压比	电压实测值 kV
50 $\Omega$	L1 (L)	0.25			
		4			
		-0.25			
		-4			
	L2	0.25			
		4			
		-0.25			
		-4			
	L3	0.25			
		4			
		-0.25			
		-4			
	N	0.25			
		4			
		-0.25			
		-4			
	PE	0.25			
		4			
		-0.25			
		-4			

## A.9 耦合去耦网络脉冲上升时间

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	L1 (L)	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L2	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L3	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	N	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
PE	0.25		
	4		
	-0.25		
	-4		

## A.10 耦合去耦网络脉冲宽度

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	L1 (L)	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L2	0.25	
		4	

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	L2	-0.25	
		-4	
	L3	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	N	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	PE	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	

## A.11 容性耦合夹脉冲电压峰值

衰减器阻抗	电压设定值 kV	数字示波器 电压测量值/V	衰减器分压比	电压实测值 kV
50 $\Omega$	0.25			
	2			
	-0.25			
	-2			

## A.12 容性耦合夹脉冲上升时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	2	
	-0.25	
	-2	

## A.13 容性耦合夹脉冲宽度

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	2	
	-0.25	
	-2	

## A.14 校准不确定度



## 附录 B

## 电快速瞬变脉冲群模拟器校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查\_\_\_\_\_

B.2 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲电压峰值

衰减器阻抗	电压设定值/kV	电压实测值/kV
50 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	
1 000 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	

## B.3 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲上升时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	
1 000 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	

## B.4 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲宽度

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	0.25	

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	
1 000 $\Omega$	0.25	
	0.5	
	1	
	2	
	4	
	-0.25	
	-0.5	
	-1	
	-2	
	-4	

## B.5 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲重复频率

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	重复频率实测值/kHz
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## B.6 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲群持续时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	持续时间实测值/ms
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## B.7 电快速瞬变脉冲群发生器脉冲群周期

衰减器阻抗	电压设定值/kV	重复频率设定值/kHz	周期实测值/ms
50 $\Omega$	4	5	
		100	
1 000 $\Omega$		5	
		100	

## B.8 耦合去耦网络脉冲电压峰值

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	电压实测值/kV
50 $\Omega$	L1 (L)	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L2	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L3	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	N	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	PE	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	

## B.9 耦合去耦网络脉冲上升时间

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	L1 (L)	-0.25	
		-4	
		-0.25	
		-4	
	L2	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L3	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	N	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	PE	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	

## B.10 耦合去耦网络脉冲宽度

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	L1 (L)	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	L2	0.25	
		4	

衰减器阻抗	线路	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	L2	-0.25	
		-4	
	L3	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	N	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	
	PE	0.25	
		4	
		-0.25	
		-4	

## B.11 容性耦合夹脉冲电压峰值

衰减器阻抗	电压设定值/kV	电压实测值/kV
50 $\Omega$	0.25	
	2	
	-0.25	
	-2	

## B.12 容性耦合夹脉冲上升时间

衰减器阻抗	电压设定值/kV	上升时间实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	2	
	-0.25	
	-2	

## B.13 容性耦合夹脉冲宽度

衰减器阻抗	电压设定值/kV	脉冲宽度实测值/ns
50 $\Omega$	0.25	
	2	
	-0.25	
	-2	

## B.14 校准不确定度



## 附录 C

## 校准不确定度评定示例

## C.1 脉冲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率

## C.1.1.1 测量模型

$$y = A \times V$$

式中：

$y$ ——脉冲峰值电压测量值，kV；

$A$ ——衰减器分压比；

$V$ ——数字存储示波器示值，kV。

## C.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：

$$u_{\text{crel}}^2(y) = c_1^2 u_{\text{rel}}^2(A) + c_2^2 u_{\text{rel}}^2(V)$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial A}, c_2 = \frac{\partial y}{\partial V}$$

## C.1.2 标准不确定度的评定

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

重复测量脉冲群发生器的单脉冲峰值电压为 2 kV 的 10 次数据如下：

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

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

$$\text{单次试验的标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.006 \text{ kV}$$

测量重复性的不确定度  $u_1(y) = 0.006 \text{ kV}$ ， $u_{1\text{rel}}(y) = 0.3\%$ 。

C.1.2.2 衰减器分压比引入的测量不确定度分量  $u_{2\text{rel}}(y)$ 

衰减器的分压比扩展不确定度  $U_{\text{rel}} = 2.5\%$  ( $k=2$ )，则，

$$u_{2\text{rel}}(y) = 2.5\% / 2 = 1.25\%$$

C.1.2.3 数字存储示波器的不确定度分量  $u_{3\text{rel}}(y)$ 

a) 数字存储示波器测量电压引入的不确定度分量

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

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

b) 数字存储示波器读数分辨力的引入的不确定度分量

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  $\epsilon_1$  和  $\epsilon_2$ ，则最大相对误差相等，即  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$ ，根据仪器指标  $\epsilon = \pm 0.5\%$ ，按均匀分布，则每次测量引入的不确定度分量为：

$$u_{3b1rel}(y) = u_{3b2rel}(y) = 0.5\% / \sqrt{3} = 0.289\%$$

2 次测量相对独立，则因读数分辨力引入的不确定度分量

$$u_{3brel}(y) = \sqrt{u_{3b1rel}^2(y) + u_{3b2rel}^2(y)} = 0.41\%$$

数字存储示波器引入的不确定度分量为：

$$u_{3arel}(y) = \sqrt{u_{3arel}^2(y) + u_{3brel}^2(y)} = 1.27\%$$

C.1.2.4 系统失配的不确定度分量  $u_{4rel}(y)$

衰减器输出端驻波比不大于 1.3，数字存储示波器输入端驻波比不大于 1.2，则失配误差限为  $\left[1 + \left(\frac{1.3-1}{1.3+1}\right) \times \left(\frac{1.2-1}{1.2+1}\right)\right]^2 - 1 = 2.4\%$ ，设为反正弦分布，则

$$u_{4rel}(y) = 2.4\% / \sqrt{2} = 1.7\%$$

C.1.3 合成标准不确定度的评定

脉冲电压峰值不确定度分量汇总表如表 C.1 所示。

表 C.1 脉冲电压峰值不确定度分量汇总表

不确定度分量 ( $x_i$ )	标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量	分布类型
测量结果的重复性	0.3%	1	0.3%	/
衰减器误差	1.25%	1	1.25%	均匀分布
数字存储示波器误差	1.27%	1	1.27%	/
失配误差	1.7%	1	1.7%	反正弦分布

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_{crel}(y) = 2.5\%$$

C.1.4 扩展不确定的评定

$$U_{rel} = k u_{crel}(y) = 5\% \quad (k=2)$$

C.2 脉冲上升时间校准不确定度评定

C.2.1 测量模型及不确定度传播率

C.2.1.1 测量模型

$$y = t_r$$

式中：

$y$ ——脉冲上升时间测量值，ns；

$t_r$ ——数字存储示波器示值，ns。

## C. 2. 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

$$u_c^2(y) = c_1^2 u^2(t_r)$$

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial t_r} = 1$$

## C. 2. 2 标准不确定度的评定

C. 2. 2. 1 测量的重复性的不确定度  $u_{1\text{rel}}(y)$ 

重复测量脉冲群发生器的单脉冲上升时间的 10 次数据如下：

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值 ns	5.8	5.8	5.7	5.7	5.8	5.9	5.8	5.7	5.8	5.8

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 5.8 \text{ ns}$$

$$\text{单次试验的标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.06 \text{ ns}$$

测量重复性的不确定度  $u_1(y) = 0.06 \text{ ns}$ ， $u_{1\text{rel}}(y) = 1\%$

C. 2. 2. 2 测量装置带宽不充分引入的不确定度分量  $u_{2\text{rel}}(y)$ 

标准器由数字存储示波器（带宽 500 MHz）和衰减器（带宽 400 MHz）组成，则

测量装置的瞬态响应时间为  $t_r = \sqrt{\left(\frac{0.35}{0.5 \times 10^9}\right)^2 + \left(\frac{0.35}{0.4 \times 10^9}\right)^2} \text{ ns} = 1.13 \text{ ns}$ ，被测的电快速瞬变脉冲群发生器单脉冲上升时间为 5 ns，则引入的最大相对误差为：

$$\delta = \frac{\sqrt{5^2 + 1.13^2} - 5}{5} = 2.6\%$$

设为均匀分布，则测量装置带宽不充分引入的不确定度分量为：

$$u_{2\text{rel}}(y) = 2.6\% / \sqrt{3} = 1.5\%$$

C. 2. 2. 3 数字存储示波器时间间隔测量不准引入的不确定度  $u_{3\text{rel}}(y)$ 

根据数字示波器说明书的相关技术指标，在数字示波器 1 V/div 垂直分辨率，10 ns/div 水平分辨率，5 GS/s 采样率下，测量 5 ns 左右的上升时间时，时间间隔测量准确度的有效值为 0.197 ns，即为引入的标准不确定度分量。

$$u_{3\text{rel}}(y) = 0.197/5 = 3.9\%$$

## C. 2. 3 合成标准不确定度的评定

脉冲上升时间不确定度分量汇总表如表 C. 2 所示。

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}}(y) = 4.3\%$$

表 C.2 脉冲上升时间不确定度分量汇总表

不确定度分量 ( $x_i$ )	标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量	分布类型
测量结果的重复性	1%	1	1%	—
测量装置带宽不充分	1.5%	1	1.5%	均匀分布
数字存储示波器时间间隔测量不准确	3.9%	1	3.9%	正态分布

## C.2.4 扩展不确定的评定

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}}(y) = 8.6\% \quad (k=2)$$



## 附录 D

## 传感器板尺寸及结构

传感器板为  $(1\ 050 \pm 5)$  mm  $\times$   $(120 \pm 1)$  mm、厚度不大于 0.5 mm 的金属板。金属板表面绝缘介质厚度为 0.5 mm，且所有表面具有 2.5 kV 绝缘能力。传感器板的一端带有不长于 30 mm 的低阻抗连接器，可与校准所用的适配器相连。传感器板示意图如图 D.1 所示。

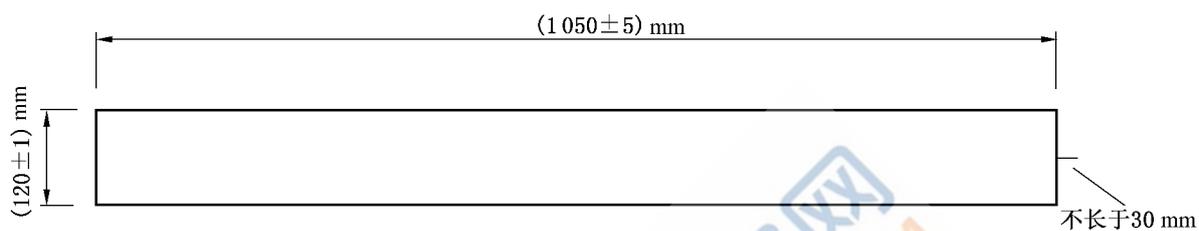


图 D.1 传感器板示意图