



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—201X

尖峰信号发生器校准规范

Calibration Specification for Spike Generator

(征求意见稿)

201X-XX-XX 发布

201X-XX-XX 实施

国家质量监督检验检疫总局

发布

尖峰信号发生器

校准规范

Calibration Specification for
Spike Generator

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：中国电子科技集团公司第十研究所
中国计量科学研究院

参加起草单位：XXXXX

XXXXX

XXXXX

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：

参加起草人：

目 录

引 言.....	III
1 范围.....	1
2 引用文件.....	错误！未定义书签。
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 外观及工作正常性检查.....	4
7.2 GJB 151B CS106 尖峰信号波形的校准.....	错误！未定义书签。
7.3 GJB 151A、GJB 152A CS106 尖峰信号波形的校准.....	错误！未定义书签。
7.4 DO-160G 尖峰信号波形.....	错误！未定义书签。
7.5 GJB 181 尖峰信号波形校准.....	错误！未定义书签。
8 校准结果.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 尖峰信号发生器校准记录格式.....	9
附录 B 尖峰信号发生器校准证书内页格式.....	11
附录 C 尖峰信号发生器校准不确定度评定示例.....	13

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。

本规范为首次发布。

尖峰信号发生器校准规范

1 范围

本规范适用于尖峰信号

2 术语

下列术语和定义适用

2.1 上升时间

脉冲波形的上升沿从

2.2 下降时间

脉冲波形的下降沿从

2.3 脉冲宽度 (0%-0%)

脉冲波形从上升沿峰

2.4 脉冲宽度 (50%-0%)

脉冲波形从上升沿峰值的 50% 处到下降沿峰值的 0% 处经过的时间。

2.5 反向脉冲宽度

在一个脉冲波形中存在正极性和负极性部分，其中负极性部分的脉冲波形从下降沿峰值的 0% 处到上升沿峰值的 0% 处经过的时间。

3 概述

尖峰信号发生器主要由信号发生器、变压器等组成，用于模拟沿电网传播的尖峰电压信号对电子仪器设备的冲击过程，检验被测电子设备承受加到电源线上的电压尖峰信号能力，评价设备或分系统以及航空机载设备受到尖峰信号干扰时的性能。尖峰信号的波形如图 1 所示。其中：

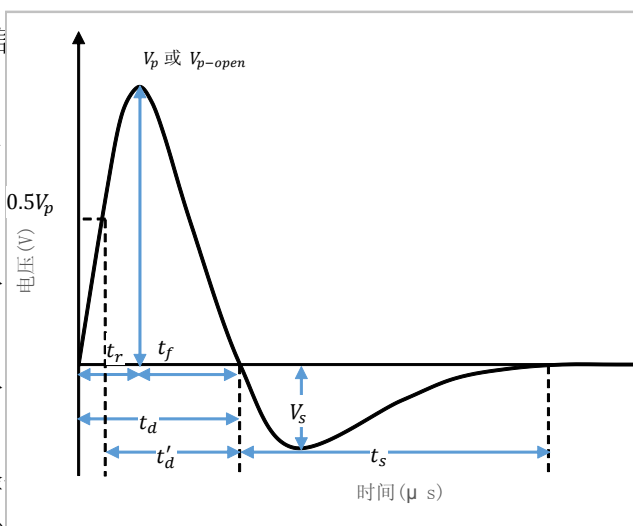


图 1 所示。其中：

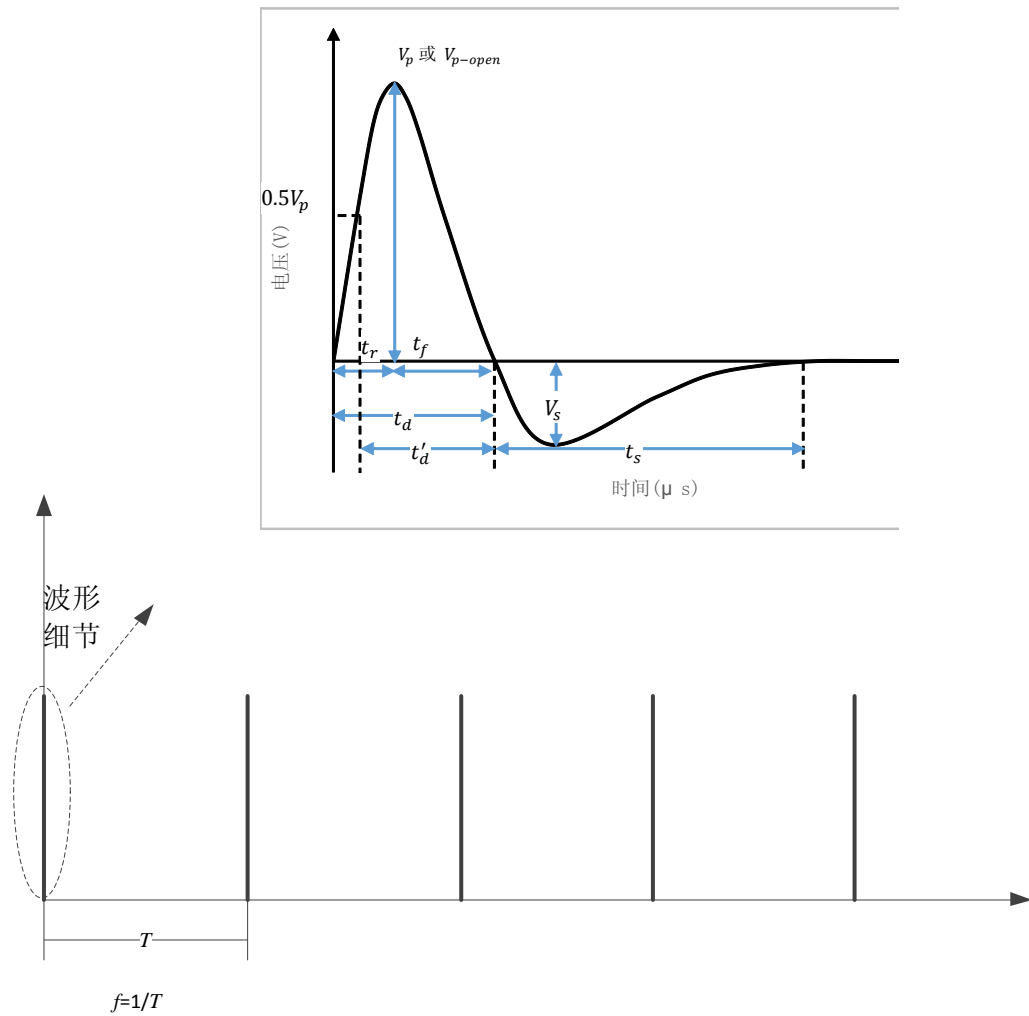


图 1 尖峰信号波形

4 计量特性

- 4.1 电压峰值(V_p)
- 4.2 反相电压峰值(V_s)
- 4.3 上升/下降时间(t_r)
- 4.4 脉冲宽度 (0%-0%) (t_d)和脉冲宽度 (50%-0%) (t'_d)
- 4.5 反向脉冲宽度(t_s)
- 4.6 脉冲重复频率(f)
- 4.7 开路电压峰值(V_{p-open})
- 4.8 源阻抗 (r)

5 校准条件

5.1 环境条件

5.2 环境温度：(23±5)°C

5.3 相对湿度：<80%

5.4 电源电压及频率：(220±11)V，(50±1)Hz

5.5 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

5.6 测量标准及其他设备

5.6.1 数字示波器

带宽：不小于100MHz，

幅度测量最大允许误差：±2%，

时间测量最大允许误差：±1×10⁻⁴。

5.6.2 电压探头

衰减比不小于100:1，最大允许误差：±2%，

带宽不小于100MHz，

可承受脉冲电压峰值：不小于600V。

5.6.3 5欧无感电阻

电阻值5Ω，最大允许误差：±5%。

5.6.4 50欧负载电阻

电阻值50Ω，最大允许误差：±2.5%。

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

6 校准项目和校准方法

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目表

序号	校准项目
1	外观及工作正常性检查
2	电压峰值(V_p)
3	开路电压峰值(V_{p_open})
4	反相电压峰值(V_s)
5	上升/下降时间(t_r)
6	脉冲宽度(0%-0%)(t_d)和脉冲宽度(50%-0%)(t'_d)
7	反向脉冲宽度(t_s)

8	脉冲重复频率(f)
9	源阻抗(r)

6.1 外观及工作正常性检查

被校尖峰信号发生器的开关、旋钮、按键等应能够正常工作。仪器不应有影响电气性能的机械损伤。将检查结果记录在附录 A.1 中。

6.2 电压峰值

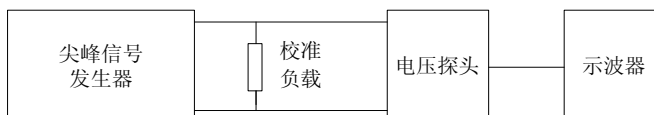


图 2 尖峰信号发生器的带载校准接线示意图

6.2.1 设备连接图如图 2 所示；

6.2.2 选择尖峰信号发生器的输出脉宽（如果可选）；

6.2.3 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压，设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值，设置示波器的输入阻抗为 $1\text{M}\Omega$ ，适当调节示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕的中央，脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%；

6.2.4 逐渐加大尖峰信号发生器输出，使示波器上显示的峰值电压，达到规定的电压限制，利用光标读取示波器测量脉冲波形的电压峰值 V_p ，将 V_p 和此时发生器指示值 V_i 记录到附录 A.2 中；

6.2.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小，调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性，重复 6.2.2~6.2.4；

6.2.6 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小，选择不同的输出脉宽，重复 6.2.2~6.2.2。

6.2.7 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出，断开示波器连接；

6.3 开路电压峰值



图 3 尖峰信号发生器的空载校准接线示意图

6.3.1 设备连接图如图 3 所示；

6.3.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压，设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值，设置示波器的输入阻抗为 $1\text{M}\Omega$ ，适当调节示波器使一个完整的脉冲

波形显示于屏幕的中央，脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%；

6.3.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出，使示波器上显示的峰值电压，达到规定的电压限值，利用光标读取示波器测量脉冲波形的开路电压峰值 V_{p-open} ，将 V_{p-open} 和此时发生器指示值 V_m 记录到附录 A. 3；

6.3.4 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小，调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性，重复 6.3.2~6.3.3；

6.3.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出，断开示波器连接；

6.4 反相电压峰值

6.4.1 反向电压峰值测试则设备连接图如图 2 所示；

6.4.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压，设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值，设置示波器的输入阻抗为 $1M\Omega$ ，适当调节示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕的中央，脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%；

6.4.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出，使示波器上显示的峰值电压，达到规定的电压限值，利用光标读取示波器测量脉冲波形的反向电压峰值 V_s ，将 V_s 和此时发生器指示值 V_m 记录到附录 A. 4 中

6.4.4 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小，调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性，重复 6.4.2~6.4.3；

6.4.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出，断开示波器连接；

6.5 上升/下降时间

6.5.1 若需要在带载条件下进行测试，设备连接图如图 2 所示。若在空载条件下进行测试，设备连接图如图 3 所示；

6.5.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压，设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值，设置示波器的输入阻抗为 $1M\Omega$ ，适当调节示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕的中央，脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%；

6.5.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出，使示波器上显示的峰值电压，达到规定的电压限值，读取从峰值 0% 处到峰值 100% 处的上升时间 t_r ，读取从峰值 100% 处到峰值 0% 处的下降时间 t_f 。记录在附录 A. 5 中。

6.5.4 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小，调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性，重复 6.5.2~6.5.3；

6.5.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出，断开示波器连接；

6.6 脉冲宽度(0%-0%)和脉冲宽度(50%-0%)

6.6.1 若需要在带载条件下进行测试,设备连接图如图 2 所示。若为空载条件下进行测试,设备连接图如图 3 所示;

6.6.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压,设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值,设置示波器的输入阻抗为 $1\text{M}\Omega$,适当调节示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕的中央,脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%;

6.6.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出,使示波器上显示的峰值电压,达到规定的电压限值,读取从上升沿峰值的 0% 处到下降沿峰值的 0% 处的脉冲宽度为 t_d ,读取从上升沿峰值的 50% 处到下降沿峰值的 0% 处的脉冲宽度为 t'_d 。记录在附录 A.6 中。

6.6.4 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小,调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性,重复 6.6.1~6.6.3;

6.6.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出,断开示波器连接;

6.7 反向脉冲宽度

6.7.1 则设备连接图如图 2 所示;

6.7.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压,设置尖峰信号发生器重复频率为一个较大值,设置示波器的输入阻抗为 $1\text{M}\Omega$,适当调节示波器使一个完整的脉冲波形显示于屏幕的中央,脉冲波形幅度覆盖屏幕的 80%;

6.7.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出,使示波器上显示的峰值电压,达到规定的电压限值,读取反向脉冲宽度 t_s 。记录在附录 A.6 中。

6.7.4 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小,调节尖峰信号发生器的输出极性为负极性,重复 6.7.2~6.7.3;

6.7.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出,断开示波器连接;

6.8 脉冲重复频率

6.8.1 若需要在带载条件下进行测试,设备连接图如图 2 所示。若为空载条件下进行测试,设备连接图如图 3 所示;

6.8.2 设置尖峰信号发射器的输出为正极性和最小电压,设置示波器的输入阻抗为 $1\text{M}\Omega$;

6.8.3 逐渐加大尖峰信号发生器输出,使示波器上有稳定的波形显示;

6.8.4 设置尖峰信号发生器输出脉冲的重复频率,适当调节示波器使被测信号显示几个周期,读取示波器测量频率值 f ,记录在附录 A.8 中;

6.8.5 将尖峰信号发生器的输出电压调整为最小并关闭输出,断开示波器连接;

6.9 源阻抗

6.9.1 根据 6.2 和 6.3 的测量结果，按照式(1)计算尖峰信号发生器的内阻 r ，将结果记录在附录 A.9 中；

$$r=R_1(V_{p_open}/V_p-1) \quad (1)$$

式中：

r ——尖峰信号发生器的源阻抗

R_1 ——负载电阻值

V_{p_open} ——发生器输出端不接入负载电阻时，测量的电压峰值

V_p ——发生器输出端接入负载电阻时，测量的电压峰值

7 校准结果

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。

8 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 尖峰信号发生器校准记录格式

尖峰信号发生器校准记录格式

A.1 外观及工作正常性检查 _____

A.2 电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	电压峰值实测值 V_p
	正极性		
	负极性		

A.3 开路电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	开路电压峰值实测值 V_{p-open}
	正极性		
	负极性		

A.4 反向电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	反向电压峰值实测值 V_s
	正极性		
	负极性		

A.5 上升/下降时间

极限值/V	脉冲极性	上升时间 (0~100%) t_r	下降时间 (100%~0%) t_f
	正极性		
	负极性		

A.6 脉冲宽度 (0%~0%) 和脉冲宽度 (50%~0%)

极限值/V	脉冲极性	脉冲宽度 (0%~0%) t_d	脉冲宽度 (50%~0%) t'_d
	正极性		
	负极性		

A.7 反向脉冲宽度

极限值/V	脉冲极性	反向脉冲宽度 (0%~0%) T_s
	正极性	
	负极性	

A.8 重复频率

仪器设定/Hz	重复频率

A.9 源阻抗

极限值/V	脉冲极性	发生器 指示值 V_m	开路电压 峰值 V_{p-open}	电压峰值 V_p	内阻计算值 r
	正极性				

附录 B 尖峰信号发生器校准证书内页格式

尖峰信号发生器校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

B.2 电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	电压峰值实测值 V_p	$U(k=2)$
	正极性			
	负极性			

B.3 开路电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	开路电压峰值实测值 V_{p-open}	$U(k=2)$
	正极性			
	负极性			

B.4 反向电压峰值

极限值/V	脉冲极性	发生器指示值 V_m	反向电压峰值实测值 V_s	$U(k=2)$
	正极性			
	负极性			

B.5 上升/下降时间

极限值/V	脉冲极性	上升时间 (0~100%) t_r	下降时间 (100%~0%) t_f	$U(k=2)$
	正极性			
	负极性			

B.6 脉冲宽度 (0%-0%) 和脉冲宽度 (50%-0%)

极限值/V	脉冲极性	脉冲宽度 (0%~0%) t_d	脉冲宽度 (50%-0%) t'_d	$U(k=2)$
	正极性			
	负极性			

B.7 反向脉冲宽度

极限值/V	脉冲极性	反向脉冲宽度 (0%~0%) T_s	$U(k=2)$
	正极性		
	负极性		

B.8 重复频率

仪器设定Hz	重复频率	$U(k=2)$

B.9 源阻抗

极限值/V	脉冲极性	发生器 指示值 V_m	开路电压 峰值 V_{p-open}	电压峰值 V_p	内阻计算值 r	$U(k=2)$
	正极性					

附录 C 尖峰信号发生器校准不确定度评定示例

尖峰信号发生器校准不确定度评定示例

C.1 源阻抗不确定度评定

C.1.1 测量模型

使用示波器8104和示波器探头PPE6KV校准尖峰信号发生器开路电压峰值和电压峰值。依据校准原理，源阻抗的测量模型：

$$r=R(V_{p_open}/V_p - 1) \quad (1)$$

式中：

r ——源阻抗

R ——负载电阻值， R 阻值为 50Ω

V_{p_open} ——开路电压峰值

V_p ——电压峰值

C.1.2 不确定度来源

根据式（1），引入的不确定度分量来源包括：

- 1) 负载电阻阻值不准确引入的不确定度分量 $u_{1rel}(R)$ ；
- 2) 开路电压峰值测量不准引入的不确定度分量 $u_{2rel}(V_{p_open})$ ；
- 3) 电压峰值测量不准引入的不确定度分量 $u_{3rel}(V_p)$ ；

对各分量求偏导，得到 u_1 的灵敏系数 c_1 为：

$$c_1 = \frac{\partial r}{\partial R} = \frac{V_{p_open}}{V_p} - 1 = 0.349$$

u_2 的灵敏度系数 c_2 为：

$$c_2 = \frac{\partial r}{\partial V_{p_open}} = \frac{R}{V_p} = 0.121$$

u_3 的灵敏度系数 c_3 为：

$$c_3 = \frac{\partial r}{\partial V_p} = \frac{-RV_{p_open}}{V_p^2} = -0.163$$

由于在测量过程中一些其他非理想因素的影响，引入的不确定度分量包括：

- 4) 开路电压峰值测量重复性引入的不确定度分量 $u_{4rel}(V_{p_open})$ ；
- 5) 电压峰值测量重复性引入的不确定度分量 $u_{5rel}(V_p)$ ；

C.1.3 标准不确定度的评定

C.1.3.1 负载电阻阻值不准确引入的不确定度分量 $u_1(R)$

负载电阻阻值最大允许误差为 $\pm 2.5\%$ ，则区间半宽度 $a=2.5\%$ ，在区间内均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_{1rel}(R) = \frac{a}{k} = 1.44\%$$

C.1.3.2 开路电压峰值测量不准引入的不确定度分量 $u_2(V_{p_open})$

示波器光标测量准确度指标为 $\pm 2\%$ ，则区间半宽度 $a=2\%$ ，在区间内均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_{21 \text{ rel}} (V_{p_open}) = a/k = 0.02/\sqrt{3} = 1.16\%$$

高压探头测量精度 $\pm 2\%$ ，则区间半宽度 $a=2\%$ ，在区间内均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_{22 \text{ rel}} (V_{p_open}) = a/k = 0.02/\sqrt{3} = 1.16\%$$

以上三项不确定度来源互不相关，因此

$$u_{2 \text{ rel}} = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 1.64\%$$

C. 1. 3. 3 电压峰值测量不准引入的不确定度分量 $u_3(V_{p_load})$

示波器光标测量准确度指标为 $\pm 2\%$ ，则区间半宽度 $a=2\%$ ，在区间内均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_{31 \text{ rel}} (V_{p_open}) = a/k = 0.02/\sqrt{3} = 1.16\%$$

高压探头测量精度 $\pm 2\%$ ，则区间半宽度 $a=2\%$ ，在区间内均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_{32 \text{ rel}} (V_{p_open}) = a/k = 0.02/\sqrt{3} = 1.16\%$$

以上三项不确定度来源互不相关，因此

$$u_{3 \text{ rel}} = \sqrt{u_{31}^2 + u_{32}^2} = 1.64\%$$

C. 1. 3. 4 开路电压峰值测量重复性引入的不确定度分量 $u_{4 \text{ rel}} (V_{p_open})$

使用 WR8104 示波器和 PPE6kV 示波器探头对进行开路电压 400V 进行独立重复测量 10 次，数据如下：

次数	1	2	3	4	5
实测值(V)	558.42	558.48	558.53	558.78	558.56
次数	6	7	8	9	10
实测值(V)	558.62	558.68	558.60	558.91	558.79

由重复性引入的不确定度

$$u_{4 \text{ rel}} (V_{p_open}) = 0.027\%$$

C. 1. 3. 5 电压峰值测量重复性引入的不确定度分量 $u_{5 \text{ rel}} (V_p)$

使用 WR8104 示波器和 PPE6kV 示波器探头对进行开路电压 400V 进行独立重复测量 10 次，数据如下：

次数	1	2	3	4	5
实测值(V)	414.21	414.17	414.15	414.00	414.07
次数	6	7	8	9	10
实测值(V)	414.95	414.05	414.00	414.91	414.00

由重复性引入的不确定度

$$u_{5 \text{ rel}} (V_p) = 0.088\%$$

C. 1. 4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量汇总表如表5所示。

表5 输出电平不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
1	$u_{1\text{rel}}(R)$	负载电阻阻值不准确	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.44%
2	$u_{2\text{rel}}(V_{p_open})$	开路电压峰值测量	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.64%
3	$u_{3\text{rel}}(V_p)$	电压峰值测量	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.64%
4	$u_{4\text{rel}}(V_{p_open})$	开路电压峰值测量重复性	A	——	——	0.027%
5	$u_{5\text{rel}}(V_p)$	电压峰值测量重复性	A	——	——	0.088%

C.1.5 相对合成标准不确定度

经分析， u_2 与 u_3 之间相关系数为1，其余分量之间彼此不相关，合成标准不确定度计算公式如下：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + 2c_2 c_3 u_2 u_3 + u_4^2 + u_5^2$$

根据表5，相对合成标准不确定度为： $u_{c\text{rel}}=0.7\%$

C.1.6 扩展不确定的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=2u_{c\text{rel}}=1.4\% \quad (k=2)$$

C.2 电压峰值/开路电压峰值不确定度评定

C.2.1 不确定度来源

- 1) 测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$ ；
- 2) 探头衰减器分压比引入的不确定度分量 u_3 。
- 3) 示波器光标测量准确度引入的不确定度分量 u_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分量 $u_{1\text{rel}}$

测量重复性引入的不确定度，按A类方法评定。设置尖峰信号发生器输出电压100V，利用示波器，连续测量电压最大值10次，数据如下：

次数	1	2	3	4	5
实测值 (V)	402	398	402	398	402
次数	6	7	8	9	10
实测值 (V)	402	402	398	398	402

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 400.4\text{V}$$

$$\text{单次试验的标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.066\text{V}$$

测量重复性的不确定度 $u_{1\text{rel}} = s/\bar{x} = 0.52\%$ 。

C.2.2.2 探头衰减器分压比引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

衰减器分压比引入的不确定度，按 B 类方法评定。根据衰减器技术说明书得知其分压比最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，则取区间半宽度 $a=2\%$ ，假设概率分布为均匀分布，置信概率为 100% 时，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$ 为：

$$u_{2\text{rel}} = a/k = 2\% / \sqrt{3} = 1.16\%$$

C.2.2.3 示波器光标测量准确度引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$

示波器光标测量准确度引入的不确定度，按 B 类方法评定。由于数字存储示波器测量电压最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，则取区间半宽度 $a=2\%$ ，假设概率分布为均匀分布，置信概率为 100% 时，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$ 为：

$$u_{3\text{rel}} = a/k = 2\% / \sqrt{3} = 1.16\%$$

C.2.3 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量汇总表如表 C.1 所示。

表 C.1 电压峰值不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
1	$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	A	——	——	0.52%
2	$u_{2\text{rel}}$	衰减器分压比	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.16%
3	$u_{3\text{rel}}$	示波器光标测量准确度	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.16%

C.2.4 合成标准不确定度的评定

根据表 C.1，假设各不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2 + u_{3\text{rel}}^2} = 1.7\%$$

C.2.5 扩展不确定的评定

$$U_{\text{rel}} = 2 \times u_{\text{crel}} = 3.4\% \quad (k=2)$$

C.3 反向电压峰值不确定度评定

不确定度评定方法见“电压峰值/开路电压峰值不确定度评定”。

C.4 上升时间校准不确定度评定

C.4.1 测量模型

采用直接测量的测量模型为

$$y = t_r$$

式中：

y——尖峰信号上升时间测量值；

t_r ——数字存储示波器测量上升时间示值。

C.4.2 不确定度来源

- 1) 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel} ;
- 2) 测量装置带宽不充分引入的不确定度分量 u_{2rel} ;
- 3) 数字存储示波器时间间隔测量不准引入的不确定度分量 u_{3rel} 。

C.4.3 标准不确定度的评定

C.4.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel}

测量重复性引入的不确定度,按 A 类方法评定。设置尖峰信号发生器输出电压 400V,利用示波器,连续测量上升时间 10 次,数据如下:

次数	1	2	3	4	5
实测值 (μs)	1.48	1.46	1.52	1.46	1.54
次数	6	7	8	9	10
实测值 (μs)	1.52	1.53	1.54	1.50	1.46

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 1.501 \mu\text{s}$$

$$\text{单次试验的标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.03 \mu\text{s}$$

测量重复性的不确定度 $u_{1rel} = s/\bar{x} = 1.9\%$ 。

C.4.3.2 测量装置带宽不充分引入的不确定度分量 u_{2rel}

标准器由示波器(带宽 1000MHz)和差分电压探头(带宽 400MHz)组成,则测量

标准的瞬态响应时间为 $u_{2rel} = \sqrt{\left(\frac{0.35}{1}\right)^2 + \left(\frac{0.35}{0.4}\right)^2} = 0.94 \text{ns}$, 被测的尖峰信号发生器脉冲

上升时间为 $1.5 \mu\text{s}$, $n = 1.54 \mu\text{s} / 0.94 \text{ns} = 6.2 \text{E}-4$, 则测量标准的频带不充分宽引入的测量误差

为 $\sigma = \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}} - 1 = 1.9 \text{E}-7$, 则取区间半宽度 $a = 1.9 \times 10^{-7}$, 假设概率分布为均匀分布,

置信概率为 100% 时, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 由此引入的标准不确定度分量 u_{2rel} 为:

$$u_{2rel} = a/k = 1.9 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 1.1 \times 10^{-7}$$

C.4.3.3 数字存储示波器时间间隔测量不准引入的不确定度分量 u_{3rel}

数字存储示波器时间间隔测量不准引入的不确定度,按 B 类方法评定。由于数字存储示波器时间间隔测量不准最大允许误差为 $\pm 10 \text{E}-6$, 则取区间半宽度 $a = 1 \times 10^{-5}$, 假设概率分布为均匀分布, 置信概率为 100% 时, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 由此引入的标准不确定度分量 u_{3rel} 为:

$$u_{3rel} = a/k = 1 \times 10^{-5} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-6}$$

C.4.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量汇总表如表 C.2 所示。

表 C.2 上升时间不确定度分量汇总表

序	不确定度	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
---	------	----	------	----	-----	--------

号	分量					
1	u_{1rel}	测量重复性	A	——	——	1.9%
2	u_{2rel}	衰减器分压比	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.1×10^{-7}
3	u_{3rel}	数字存储示波器时间间隔测量不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8×10^{-6}

C.4.5 合成标准不确定度的评定

根据表C.1，假设各不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

$$u_{crel} = \sqrt{u_{1rel}^2 + u_{2rel}^2 + u_{3rel}^2} = 1.9\%$$

C.4.6 扩展不确定的评定

$$U_{rel} = 2 \times u_{crel} = 3.8\% \quad (k=2)$$

C.5 下降时间不确定度评定

不确定度评定方法见“上升时间不确定度评定”。

C.6 脉冲宽度不确定度评定

C.6.1 测量模型

使用示波器和高压示波器探头直接测量尖峰信号发生器输出到 5Ω 负载的脉冲宽度。

以使用WR8104示波器和PP6kV示波器探头校准尖峰信号发生器输出到 5Ω 负载的波形输出为例进行不确定度评定。

C.6.2 不确定度来源

- 1) 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel} ；
- 2) 示波器光标测量不准引入的不确定度分量 u_{2rel} 。

C.6.3 标准不确定度的评定

C.6.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel}

测量重复性引入的不确定度，按A类方法评定。设置尖峰信号发生器输出电压400V，利用示波器，连续测量脉冲宽度10次，数据如下：

次数	1	2	3	4	5
实测值 (μs)	5.03	4.93	5.02	5.03	4.98
次数	6	7	8	9	10
实测值 (μs)	5.02	5.03	5.01	4.92	4.91

测量重复性的不确定度 $u_{1rel} = s/\bar{x} = 0.99\%$ 。

C.6.3.2 示波器光标测量不准引入的不确定度分量 u_{2rel}

示波器光标测量不准的最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，区间半宽度 $a=1\%$ ，概率分布为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_2 = a/k = 2\% / \sqrt{3} = 0.58\%$$

C.6.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量汇总表如表C.3所示。

表C.3 脉冲宽度不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
1	u_{1rel}	测量重复性	A	—	—	0.99%
2	u_{2rel}	数字存储示波器时间间隔测量不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.58%

C.6.5 合成标准不确定度的评定

根据表C.1，假设各不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

$$u_{crel} = \sqrt{u_{1rel}^2 + u_{2rel}^2} = 1.2\%$$

C.6.6 扩展不确定的评定

$$U_{rel} = 2 \times u_{crel} = 2.4\% (k=2)$$

C.7 反向脉冲宽度不确定度评定

不确定度评定方法见“脉冲宽度不确定度评定”。

C.8 脉冲重复频率不确定度评定

C.8.1 测量模型

采用直接测量的测量模型为

$$y=f$$

式中：

y ——尖峰信号重复频率测量值，Hz；

f ——数字存储示波器测量频率示值，Hz。

C.8.2 不确定度来源

1) 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel} ；

2) 数字存储示波器频率测量不准引入的不确定度分量 u_{2rel} 。

C.8.3 标准不确定度的评定

C.8.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel}

测量重复性引入的不确定度，按 A 类方法评定。设置尖峰信号发生器输出电压 400V，利用示波器，连续测量重复频率 10 次，数据如下：

次数	1	2	3	4	5
实测值 (Hz)	9.706	9.592	9.695	9.645	9.751
次数	6	7	8	9	10
实测值 (Hz)	9.742	9.703	9.729	9.731	9.692

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 9.6986 \text{ Hz}$$

$$\text{单次试验的标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.048$$

测量重复性的不确定度 $u_{1\text{rel}} = s/\bar{x} = 0.5\%$ 。

C.8.3.2 数字存储示波器频率测量不准引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

WR8104 示波器频率测量不准最大允许误差为 $\pm 1.5 \times 10^{-6}$ [采用时间间隔测量指标]，则取区间半宽度 $a = 1.5 \times 10^{-6}$ ，均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的标准不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$ 为：

$$u_{3\text{rel}} = a/k = 1.5 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = 8.7 \times 10^{-7}$$

C.8.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量汇总表如表C.4所示。

表C.4 脉冲重复频率不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
1	$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	A	——	——	0.5%
2	$u_{2\text{rel}}$	数字存储示波器频率测量不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	8.7×10^{-7}

C.8.5 合成标准不确定度的评定

根据表C.1，假设各不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 0.5\%$$

C.8.6 扩展不确定的评定

$$U_{\text{rel}} = 2 \times u_{\text{crel}} = 1.0\% (k=2)$$

附录 D 常用标准规定的尖峰信号波形

目前，军用和民用领域主要定义了两类尖峰波形，一类用于检测军用设备和分系统抗电压尖峰的能力，其波形是GJB 151B-2013《军用设备和分系统 电磁发射和敏感度要求与测量》定义的CS106波形；一类用于检测机载设备抗电压尖峰的能力，主要是民用机载设备，其波形是RTCA/DO-160G 2010《机载设备的环境条件和测试程序》第17部分定义的尖峰波形。

另外，由于一些依据旧版标准设计的老型军用设备和分系以及飞机仍在服役，国内对此类设备仍存在较大量的检测需求，因此依据旧版标准设计的尖峰信号发生器仍然广泛使用，从而存在着普遍的校准需求。目前，上述的旧版标准主要为：GJB 151A-97《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求》/GJB152A-97《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》和GJB 181-86《飞机供电特性及对用电设备的要求》。

因此，在本附录章节中归纳了上述4中标准规定的波形及其关键参数指标，读者可通过参考这部分内容并结合工作实际选择校准项目并参考有效性判据。

GJB 151B-2013、GJB 151A-97/ GJB152A-97、RTCA/DO-160G 2010和GJB 181-86的尖峰波形分别如

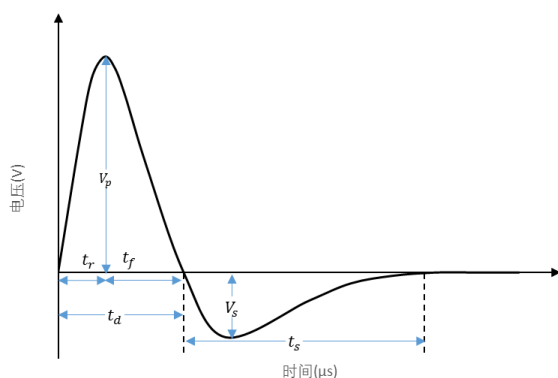


图 4 GJB 151B CS106 尖峰信号波形

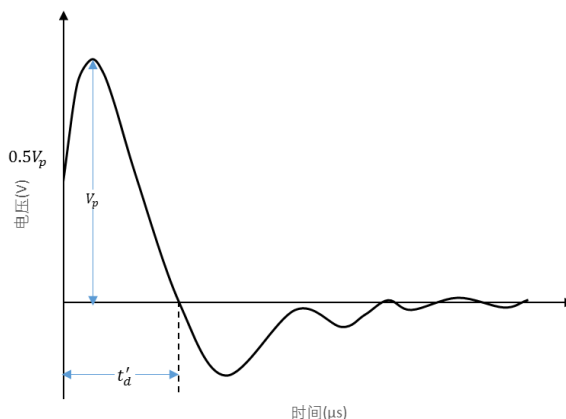


图 5 GJB 151A、GJB 152A 尖峰信号波形

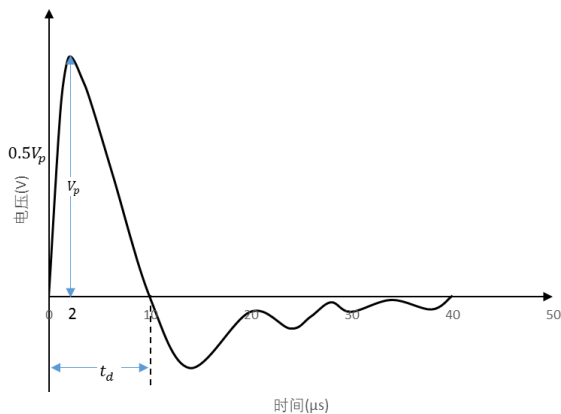


图 6 DO-160G 尖峰信号波形

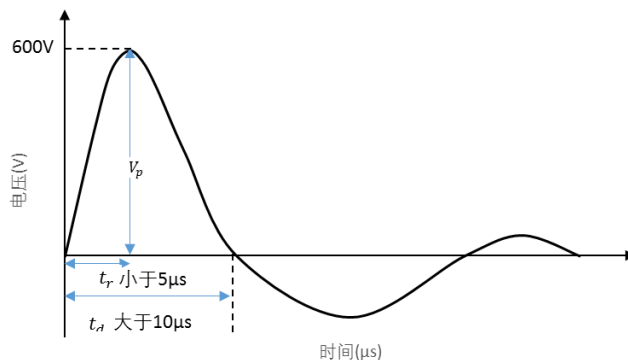


图 7 GJB 181 尖峰信号波形

各标准要求的尖峰信号波形指标见表 2。

表 2 各标准要求的尖峰信号波形指标

标准 指标	GJB 151B	GJB 151A/GJB 152A	DO-160G	GJB 181
源阻抗	$\leq 2\Omega$		$50\Omega \pm 5\Omega$	$50\Omega \pm 5\Omega$
电压峰值	要求能到达限值 400V	0.15μs 脉冲宽波形要求能到达限值 100V、200V; 5μs 脉冲宽波形要求能到达限值 400V; 10μs 脉冲宽波形要求能到达限值 100V、200V;		
开路电压峰值			要求能到达限值 600V	要求能到达限值 600V
反向电压峰值	\leq 峰值电压 30%			
上升时间	$(1.5 \pm 0.5) \mu s$		$\leq 2\mu s$	$< 5\mu s$
下降时间	$(3.5 \pm 0.5) \mu s$			
脉冲宽度 (0%~0%)	$(5 \pm 1.1) \mu s$		$\geq 10\mu s$	$> 10\mu s$
脉冲宽度		典型值 0.15μs、 5μs 和 10μs 的波形分别满足		

(50%~0%)		$\leq 0.15\mu\text{s}$ 、 $\leq 5\mu\text{s}$ 、 $\leq 10\mu\text{s}$		
反向脉冲宽度	$\leq 20\mu\text{s}$			
脉冲重复频率	5Hz~10Hz	3Hz~10Hz	$\geq 0.83\text{Hz}$	$\geq 0.83\text{Hz}$

根据上表中各标准要求指标，需要做两点说明，各标准中针对电压峰值和开路电压峰值只要求波形能达到的最大限值，实际尖峰信号发生器电压值从0V开始，具备连续的输出，可以从0V调整到标准规定的限值；脉冲重复频率也是连续可调输出，一般可调范围为0.5Hz~20Hz。