



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

汽车电瞬态抗扰性试验脉冲发生器 校准规范

Calibration Specification for Road Vehicles- Electrical Transient Immunity Test

Pulse Generators

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

汽车电瞬态抗扰性试验脉冲发
生器校准规范

Calibration Specification for Road
Vehicles- Electrical Transient Immunity
Test Pulse Generators

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：广电计量检测集团股份有限公司
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

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（广电计量检测集团股份有限公司）
XXX（中国计量科学研究院）
XXX（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

XXX（广电计量检测集团股份有限公司）
XXX（中国计量科学研究院）
XXX（广东省计量科学研究院）
XXX（江苏省计量科学研究院）

目录

引言.....	2
1 范围.....	3
2 引用文件.....	3
3 术语和计量单位.....	3
3.1 脉冲宽度.....	3
3.2 猝发.....	3
3.3 猝发宽度.....	3
3.4 猝发间隔时间.....	3
3.5 脉冲重复时间.....	3
3.6 试验脉冲.....	3
4 概述.....	4
5 计量特性.....	4
5.1 试验脉冲 1.....	4
5.2 试验脉冲 2a.....	5
5.3 试验脉冲 2b.....	5
5.4 试验脉冲 3a.....	6
5.5 试验脉冲 3b.....	6
6 校准条件.....	7
6.1 环境条件.....	7
6.2 测量标准及其他设备.....	7
7 校准项目和校准方法.....	8
7.1 校准项目.....	8
7.2 校准方法.....	9
8 校准结果表达.....	12
9 复校时间间隔.....	13
附录 A 原始记录内页格式.....	14
附录 B 校准证书内页格式.....	20
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例.....	26

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。

本规范参考了下列文件：

GB/T 21437.2-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法
第 2 部分：沿电源线的电瞬态传导发生器和抗扰性

ISO 7637-2:2011 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法第
2 部分：沿电源线的电瞬态传导发生器和抗扰性 (Road vehicles—Elcctrical disturbances
from conduction and coupling—Part 2:Electrical transient conduction along supply lines only)

本规范为首次发布。

汽车电瞬态抗扰性试验脉冲发生器校准规范

1 范围

本规范适用于汽车电气/电子部件电瞬态传导发射和抗扰性试验的脉冲发生器的校准。

2 引用文件

GB/T 21437.2-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬态传导发生器和抗扰性

GB/T 29259-2012 道路车辆 电磁兼容术语

ISO 7637-2:2011道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法第2部分：沿电源线的电瞬态传导发生器和抗扰性（Road vehicles-Electrical disturbances from conduction and coupling-Part 2:Electrical transient conduction along supply lines only）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡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（和计量单位）适用于本规范。

3.1 脉冲宽度 pulse duration

脉冲值上升到10%峰值至下降到10%峰值之间的持续时间。

3.2 猝发 burst

由复杂的电压变化序列组成的瞬态。

3.3 猝发宽度 burst duration

在单个猝发中，一系列复杂瞬变电压变化所需要的时间。

3.4 猝发间隔时间 time between bursts

一个猝发结束到下个猝发开始之间的时间。

3.5 脉冲重复时间 pulse repetition time

在一个猝发中，两个重复脉冲起点之间的间隔时间。

3.6 试验脉冲 test pulse

对被测装置施加的代表性脉冲。

4 概述

汽车电瞬态抗扰性试验脉冲发生器（以下简称脉冲发生器）是汽车电子系统传导和瞬态骚扰电磁兼容性能测试的主要设备，用于模拟车辆正常运行时产生的各种典型电磁骚扰脉冲，从而进行车辆电子系统的抗扰度测试。脉冲发生器一般由系统电源、电容、具有内阻的脉冲形成网络组成；系统电源为电容充电，测试时闭合开关，电压经脉冲形成网络产生试验脉冲，由脉冲输出端输出，其结构如图 1 所示。

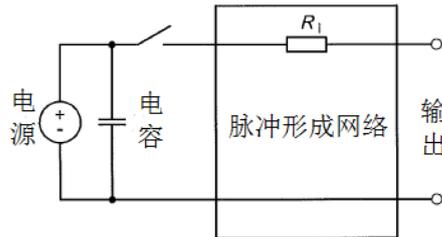


图 1 模拟器结构示意图

5 计量特性

5.1 试验脉冲 1

试验脉冲 1 如图 2 所示，试验脉冲 1 参数的技术要求见表 1。

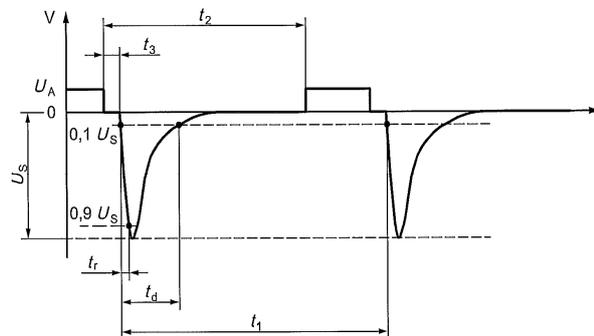


图 2 试验脉冲 1 波形

表 1 试验脉冲 1 参数的技术指标

参数	12V 系统				24V 系统			
	无负载		10Ω 负载		无负载		50Ω 负载	
	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差
脉冲峰值 U_S/V	- 75 ~ - 150	±10%	- 37.5 ~ - 75	±20%	- 300 ~ - 600	±10%	- 150 ~ - 300	±20%
脉冲宽度 t_d/ms	2	±20%	1.5	±20%	1	±20%	1	±20%
脉冲上升 时间 $t_r/\mu s$	1	- 0.5~0	/	/	3	- 1.5~0	/	/

脉冲重复时间 t_1/s	≥ 0.5
----------------	------------

5.2 试验脉冲 2a

试验脉冲 2a 如图 3 所示，试验脉冲 2a 参数的技术要求见表 2。

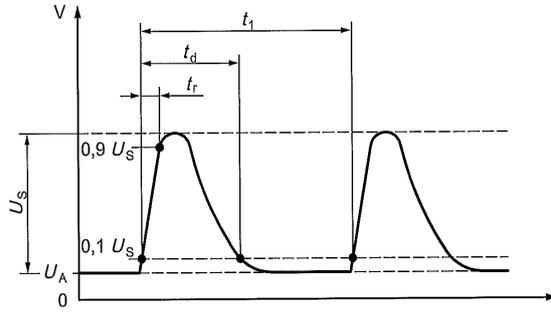


图3 试验脉冲2a波形

表 2 试验脉冲 2a 参数的技术指标

参数	12V 系统				24V 系统			
	无负载		2Ω 负载		无负载		2Ω 负载	
	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差
脉冲峰值 U_s/V	37~112	±10%	18.5~56	±20%	37~112	±10%	18.5~56	±20%
脉冲宽度 $t_d/\mu s$	50	±20%	12	±20%	50	±20%	1	±20%
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$	1	- 0.5~0	/	/	1	- 0.5~0	/	/
脉冲重复时间 t_1/s	0.2~0.5							

5.3 试验脉冲 2b

试验脉冲 2b 如图 4 所示，试验脉冲 2b 参数的技术要求见表 3。

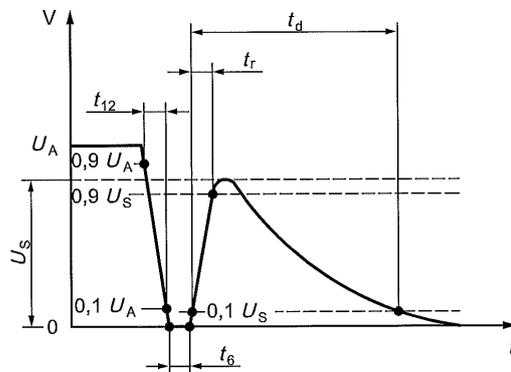


图4 试验脉冲2b波形

表 3 试验脉冲 2b 参数的技术指标

参数	12V 系统		24V 系统	
	无负载		无负载	
	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差
脉冲峰值 U_S/V	10	$\pm 10\%$	20	$\pm 10\%$
脉冲宽度 t_d/s	0.2~2	$\pm 20\%$	0.2~2	$\pm 20\%$
脉冲下降时间 t_{12}/ms	1	$\pm 50\%$	1	$\pm 50\%$
脉冲上升时间 t_r/ms	1	$\pm 50\%$	1	$\pm 50\%$
保持时间 t_6/ms	1	$\pm 50\%$	1	$\pm 50\%$

5.4 试验脉冲 3a

试验脉冲 3a 如图 5 所示，试验脉冲 3a 参数的技术要求见表 4。

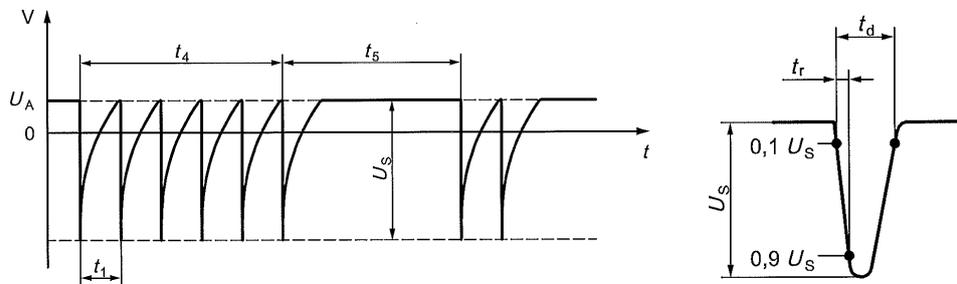


图 5 试验脉冲 3a 波形

表 4 试验脉冲 3a 参数的技术指标

参数	12V 系统				24V 系统			
	无负载		50Ω 负载		无负载		50Ω 负载	
	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差
脉冲峰值 U_S/V	- 112~ - 220	$\pm 10\%$	- 56~ - 110	$\pm 20\%$	- 150~ - 300	$\pm 10\%$	- 75~ - 150	$\pm 20\%$
脉冲宽度 t_d/ns	150	$\pm 30\%$	150	$\pm 30\%$	150	$\pm 30\%$	150	$\pm 30\%$
脉冲上升 时间 t_r/ns	5	$\pm 30\%$	5	$\pm 30\%$	5	$\pm 30\%$	5	$\pm 30\%$
脉冲重复 时间 $t_1/\mu s$	100							
突发宽度 t_4/ms	10							
突发间隔 时间 t_5/ms	90							

5.5 试验脉冲 3b

试验脉冲 3b 如图 6 所示，试验脉冲 3b 参数的技术要求见表 5。

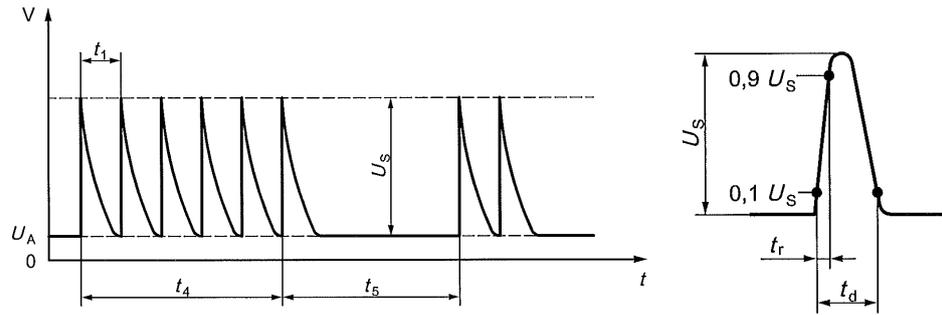


图 6 试验脉冲 3b 波形

表 5 试验脉冲 3b 参数的技术指标

参数	12V 系统				24V 系统			
	无负载		50Ω 负载		无负载		50Ω 负载	
	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差	范围	最大允许误差
脉冲峰值 U_s/V	75~150	±10%	37.5~75	±20%	150~300	±10%	75~150	±20%
脉冲宽度 t_d/ns	150	±30%	150	±30%	150	±30%	150	±30%
脉冲上升时间 t_r/ns	5	±30%	5	±30%	5	±30%	5	±30%
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$	100							
猝发宽度 t_4/ms	10							
猝发间隔时间 t_5/ms	90							

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 环境温度：(23±5) °C。
- 相对湿度：≤80%。
- 供电电源：(220±10) V，(50±1) Hz。
- 其它：周围无影响正常校准工作的电磁干扰及机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字示波器

带宽不小于400MHz；

直流增益最大允许误差：±1.5%；

时基最大允许误差：±1×10⁻⁴。

6.2.2 示波器电压探头

直流衰减比不小于 10:1，最大允许误差：±2%；

最大输入电压不小于 600V；

带宽不小于 30MHz；

输入阻抗： $\geq 1\text{M}\Omega$ ，最大允许误差：±3%。

6.2.3 50 Ω 、1000 Ω 衰减器

分压比不小于 200:1，不确定度：优于 2.5%；

频率响应： $\leq 100\text{MHz}$ ，±1dB，

(100~400) MHz，±3dB；

直流输入阻抗：50 Ω 、1000 Ω ，

输入阻抗最大允许误差：±2%。

6.2.4 无感负载电阻

标称阻值：2 Ω 、10 Ω 、50 Ω ；

最大允许误差：±1.0%；

直流功率不小于 25W。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目			校准方法条款
1	试验脉冲1	无负载状态	脉冲峰值	7.2.2
			脉冲下降时间	
			脉冲宽度	
			脉冲重复时间	
		负载状态	脉冲峰值	
			脉冲宽度	
2	试验脉冲2a	无负载状态	脉冲峰值	7.2.3
			脉冲上升时间	
			脉冲宽度	
			脉冲重复时间	
		负载状态	脉冲峰值	

			脉冲宽度	
			脉冲重复时间	
3	试验脉冲2b	无负载状态	脉冲峰值	7.2.4
			脉冲上升时间	
			脉冲下降时间	
			脉冲宽度	
			保持时间	
4	试验脉冲3a	无负载 负载状态	脉冲峰值	7.2.5
			脉冲上升时间	
			脉冲宽度	
			脉冲重复时间	
			猝发宽度	
			猝发间隔时间	
5	试验脉冲3b	无负载 负载状态	脉冲峰值	7.2.6
			脉冲上升时间	
			脉冲宽度	
			脉冲重复时间	
			猝发宽度	
			猝发间隔时间	

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校脉冲发生器的外观应完好，各开关、按键等调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤，说明书、及配套附件应齐全。被校脉冲发生器按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常。

7.2.2 试验脉冲 1

7.2.2.1 无负载状态

a) 按图 6 连接仪器。

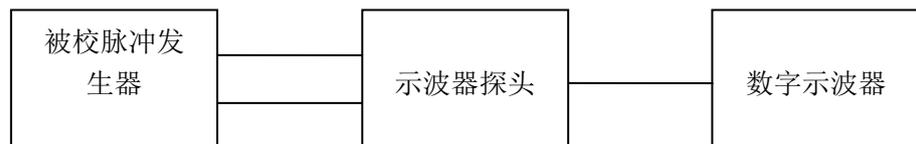


图 6 试验脉冲无负载状态校准连接示意图

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 1, 试验电压 U_A 设置为零, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 设置数字示波器触发模式为自动, 输入阻抗 $1M\Omega$, 调节数字示波器的垂直偏转系数和扫描时间, 使数字示波器能观测到试验脉冲的完整波形。读取试验脉冲的 U_S 、 t_r 、 t_d 和 t_1 , 记录在附录 A.2 中。

d) 设置试验电压为 24V 系统, 重复 c) 到 d)。

7.2.2.2 负载状态

a) 按图 7 连接仪器。

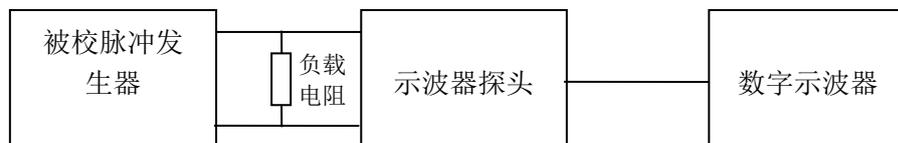


图 7 试验脉冲负载状态校准连接示意图

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统, 脉冲发生器输出端接 10Ω 负载。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 1, 试验电压 U_A 设置为零, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 按 7.2.2.1 d) 设置数字示波器, 读取试验脉冲的 U_S 、 t_d 和 t_1 , 记录在附录 A.3 中。

e) 设置试验电压为 24V 系统, 脉冲发生器输出端接 50Ω 负载, 重复 c) 到 d)。

7.2.3 试验脉冲 2a

7.2.3.1 无负载状态

a) 按图 6 连接仪器。

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 2a, 试验电压 U_A 设置为零, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 按 7.2.2.1 d) 设置数字示波器, 读取试验脉冲的 U_S 、 t_r 和 t_d , 记录在附录 A.4 中。

e) 设置试验电压为 24V 系统, 重复 c) 到 d)。

7.2.3.2 负载状态

a) 按图 7 连接仪器。

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 2a, 试验电压 U_A 设置为零, 输出端接 2Ω 负载, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 按 7.2.2.1 d) 设置数字示波器, 读取试验脉冲的 U_S 和 t_d , 记录在附录 A.5 中。

e) 设置试验电压为 24V 系统, 重复 c) 到 d)。

7.2.4 试验脉冲 2b

a) 按图 6 连接仪器。

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 2b, 试验电压 U_A 设置为零, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 按 7.2.2.1 d) 设置数字示波器, 读取试验脉冲的 U_S 、 t_r 、 t_{12} 、 t_d 和 t_6 , 记录在附录 A.6 中。

e) 设置试验电压为 24V 系统, 重复 c) 到 d)。

7.2.5 试验脉冲 3a

7.2.5.1 无负载状态

a) 按图 8 连接仪器。

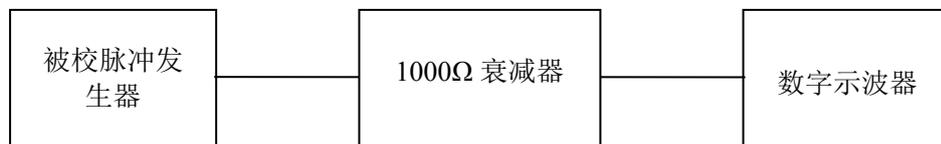


图 8 试验脉冲 3a/3b 无负载状态校准连接示意图

b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。

c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 3a, 试验电压 U_A 设置为零, 脉冲发生器输出接 1000Ω 衰减器, 调节脉冲峰值为校准点。

d) 设置数字示波器触发模式为自动, 输入阻抗 50Ω , 调节数字示波器的垂直偏转系数和扫描时间, 使数字示波器能观测到试验脉冲的单个脉冲波形。读取试验脉冲的 U_S 、 t_r 和 t_d , 记录在附录 A.7 中。

e) 调节数字示波器的扫描时间, 使数字示波器能观测到试验脉冲的完整波形。读取试验脉冲的 t_1 、 t_4 和 t_5 , 记录在附录 A.7 中。

f) 设置试验电压为 24V 系统, 重复 c) 到 e)。

7.2.5.2 负载状态

a) 按图 9 连接仪器。



图9 试验脉冲 3a/3b 负载状态校准连接示意图

- b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。
- c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 3a，试验电压 U_A 设置为零，脉冲发生器输出接 50 Ω 衰减器，调节脉冲峰值为校准点。
- d) 按 7.2.5.1 d) 设置数字示波器，读取试验脉冲的 U_s 、 t_r 和 t_d ，记录在附录 A.8 中。
- e) 调节数字示波器的扫描时间，使数字示波器能观测到试验脉冲的完整波形。读取试验脉冲的 t_1 、 t_4 和 t_5 ，记录在附录 A.8 中。
- f) 设置试验电压为 24V 系统，重复 c) 到 e)。

7.2.6 试验脉冲 3b

7.2.6.1 无负载状态

- a) 按图 8 连接仪器。
- b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。
- c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 3b，试验电压 U_A 设置为零，脉冲发生器输出接 1000 Ω 衰减器，调节脉冲峰值为校准点。
- d) 重复 7.2.5.1 d) 到 f)，记录结果于附录 A.9 中。

7.2.6.2 负载状态

- a) 按图 9 连接仪器。
- b) 设置被校脉冲发生器试验电压为 12V 系统。
- c) 设置脉冲发生器输出波形为试验脉冲 3b，试验电压 U_A 设置为零，脉冲发生器输出接 50 Ω 衰减器，调节脉冲峰值为校准点。
- d) 重复 7.2.5.2 d) 到 f)，记录结果于附录 A.10 中。

8 校准结果表达

脉冲发生器校准后，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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- 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

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

A.2 试验脉冲 1

A.2.1 无负载状态

表 A.2 试验脉冲 1 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$				
脉冲宽度 t_d/ms				
24 V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$				
脉冲宽度 t_d/ms				

A.2.2 负载状态

表 A.3 试验脉冲 1 负载状态脉冲参数

12V 系统, 10 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 t_d/ms					
24V 系统, 50 Ω 负载					

脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 t_d/ms					

A.3 试验脉冲 2a

A.3.1 无负载状态

表 A.4 试验脉冲 2a 无负载状态脉冲参数

12V 系统					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					
24V 系统					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					

A.3.2 负载状态

表 A.5 试验脉冲 2a 负载状态脉冲参数

12V 系统, 2 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					
24V 系统, 2 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					

A.4 试验脉冲 2b

表 A.6 试验脉冲 2b 脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ms				
脉冲下降时间 t_{12}/ms				
脉冲宽度 t_d/s				
保持时间 t_6/ms				
24V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ms				
脉冲下降时间 t_{12}/ms				
脉冲宽度 t_d/s				
保持时间 t_6/ms				

A.5 试验脉冲 3a

A.5.1 无负载状态

表 A.7 试验脉冲 3a 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				
24V 系统				

脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				

A.5.2 负载状态

表 A.8 试验脉冲 3a 负载状态脉冲参数

12V 系统, 50Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					
24V 系统, 50Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

A.6 试验脉冲 3b

A.6.1 无负载状态

表 A.9 试验脉冲 3b 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				
24V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				

A.6.2 负载状态

表 A.10 试验脉冲 3b 负载状态脉冲参数

12V 系统, 50 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

24V 系统, 50Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

B.2 试验脉冲 1

B.2.1 无负载状态

表 B.2 试验脉冲 1 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$				
脉冲宽度 t_d/ms				
24 V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$				
脉冲宽度 t_d/ms				

B.2.2 负载状态

表 B.3 试验脉冲 1 负载状态脉冲参数

12V 系统, 10 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 t_d/ms					
24V 系统, 50 Ω 负载					

脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 t_d/ms					

B.3 试验脉冲 2a

B.3.1 无负载状态

表 B.4 试验脉冲 2a 无负载状态脉冲参数

12V 系统					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					
24V 系统					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					

B.3.2 负载状态

表 B.5 试验脉冲 2a 负载状态脉冲参数

12V 系统, 2 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					
24V 系统, 2 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲宽度 $t_d/\mu s$					

B.4 试验脉冲 2b

表 B.6 试验脉冲 2b 脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ms				
脉冲下降时间 t_{12}/ms				
脉冲宽度 t_d/s				
保持时间 t_6/ms				
24V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ms				
脉冲下降时间 t_{12}/ms				
脉冲宽度 t_d/s				
保持时间 t_6/ms				

B.5 试验脉冲 3a

B.5.1 无负载状态

表 B.7 试验脉冲 3a 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				
24V 系统				

脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				

B.5.2 负载状态

表 B.8 试验脉冲 3a 负载状态脉冲参数

12V 系统, 50 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					
24V 系统, 50 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

B.6 试验脉冲 3b

B.6.1 无负载状态

表 B.9 试验脉冲 3b 无负载状态脉冲参数

12V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				
24V 系统				
脉冲参数	设定值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V				
脉冲上升时间 t_r/ns				
脉冲宽度 t_d/ns				
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$				
猝发宽度 t_4/ms				
猝发间隔时间 t_5/ms				

B.6.2 负载状态

表 B.10 试验脉冲 3b 负载状态脉冲参数

12V 系统, 50 Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_S/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

24V 系统, 50Ω 负载					
脉冲参数	设定值	标称值	实测值	示值误差	不确定度($k=2$)
脉冲峰值 U_s/V					
脉冲上升时间 t_r/ns					
脉冲宽度 t_d/ns					
脉冲重复时间 $t_1/\mu s$					
猝发宽度 t_4/ms					
猝发间隔时间 t_5/ms					

附录 C

不确定度评定示例

C.1 脉冲峰值测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

用示波器对脉冲发生器试验脉冲1的脉冲峰值带载状态进行测量，测量模型为：

$$U_x = kU_0$$

式中：

U_x —被校脉冲发生器的电压标称值；

k —示波器电压探头直流衰减比；

U_0 —示波器的电压实测值。

C.1.2 标准不确定度评定

不确定度来源主要有：数字示波器电压测量最大允许误差，负载电阻误差引起的峰值电压误差引入的不确定度分量，示波器电压探头直流衰减比误差引入的不确定度分量，数字示波器示值分辨力引入的不确定度分量。

C.1.2.1 数字示波器电压测量最大允许误差引入的不确定度分量 u_1

数字示波器直流增益最大允许误差为 $\pm 1.5\%$ ，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，不确定度分量 $u_1 = 1.5\% / \sqrt{3} = 0.87\%$ 。

C.1.2.2 负载电阻最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

负载电阻最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，脉冲峰值测量时对峰值电压的影响按 1% 计算，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，不确定度分量 $u_2 = 1\% / \sqrt{3} = 0.58\%$ 。

C.1.2.3 示波器电压探头的直流衰减比误差引入的不确定度分量 u_3

示波器电压探头衰减比最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，不确定度分量 $u_3 = 1\% / \sqrt{3} = 0.58\%$

C.1.2.4 数字示波器电压示值分辨力引入的不确定度分量 u_4

测量输出电压 100V 时，示波器的分辨率为 0.1V，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，不确定度分量为 $u_4 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029V$ ，试验脉冲峰值为 100V 时，不确定度分量 $u_4 = 0.029\%$ 。

C.1.2.5 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

按照重复性测量要求对脉冲发生器脉冲 1 负载脉冲峰值进行连续 10 次，结果如下

表 (V):

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	-105.9	-105.1	-105.9	-105.7	-104.9
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	-105.9	-104.9	-106.0	-105.1	-105.7
平均值 \bar{x}_n	-105.51		标准差 s	0.45	

$$\text{则 } u_{A=S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x}_n)^2}{(n-1)}} = 0.45\text{V}, \text{ 相对不确定度分量 } u_A = 0.45\%$$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨率引入的误差, 因此由分辨率引入的不确定度分量 u_4 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者。

C.1.3 合成标准不确定度的计算

C.1.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源 (x_i)	a_i	k_i	$u(x_i)$
数字示波器最大允差引入的不确定度分量 u_1	1.5%	$\sqrt{3}$	0.87%
负载电阻误差引入的不确定度分量 u_2	1%	$\sqrt{3}$	0.58%
示波器探头直流衰减比误差引入的不确定度分量 u_3	1%	$\sqrt{3}$	0.58%
示值分辨率引入的不确定度分量 u_4	0.1V	$\sqrt{3}$	0.029% (舍弃)
测量重复性引入的不确定度分量 u_A	0.45%	1	0.45%

C.1.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_A^2} = 1.3\%$$

C.1.4 扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 2.6\%, k=2。$$

C.2 脉冲上升时间测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

用数字示波器对脉冲发生器的上升时间进行测量, 测量模型为:

$$t_x = t_r$$

式中：

t_x —被校脉冲发生器上升时间标称值；

t_r —示波器的上升时间实测值。

C.2.2 标准不确定度评定

不确定度来源主要有：数字示波器上升时间测量不确定度分量，示值分辨力引入的不确定度分量，测量重复性引入的不确定度分量。

C.2.2.1 数字示波器上升时间测量不确定度分量 u_1

数字示波器上升时间溯源不确定度 $U_{rel}=5\%$ ， $k=2$ ，则不确定度分量 $u_1=2.5\%$ 。

C.2.2.2 数字示波器示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

数字示波器测量上升时间时分辨力为 $0.01\mu\text{s}$ ，不确定度分量为 $u_2=0.29\delta$ ，因此分辨力引入的不确定度分量为： $u_2=0.0029\mu\text{s}$ ，上升时间为 $1\mu\text{s}$ 时相对不确定度分量 $u_2=0.29\%$ 。

C.2.2.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按照重复性测量要求对脉冲发生器负载脉冲上升时间 $1\mu\text{s}$ 进行连续 10 次，结果如下表(μs)：

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	0.97	0.95	0.98	0.95	0.96
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	0.98	0.96	0.97	0.96	0.96
平均值 \bar{x}_n	0.964 μs		标准差 s	0.0107 μs	

$$\text{则 } u_A=s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(x_i-x_a)^2}{(n-1)}}=0.0107\mu\text{s}, \text{ 相对不确定度分量 } u_A=1.07\%$$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨率引入的误差，因此由分辨率引入的不确定度分量 u_4 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者。

C.2.3 合成标准不确定度的计算

C.2.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源 (x_i)	a_i	k_i	$u(x_i)$
数字示波器上升时间不确定度分量 u_1	5%	2	2.5%
示值分辨力引入的不确定度分量 u_2	0.005	$\sqrt{3}$	0.29% (舍弃)

测量重复性引入的不确定度分量 u_A	1.07%	1	1.07%
----------------------	-------	---	-------

C.2.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_A^2} = 2.7\%$$

C.2.4 扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U_{rel} = k u_c = 5.4\%, k=2。$$

C.3 脉冲宽度测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

用数字示波器对脉冲发生器的脉冲宽度进行测量，测量模型为：

$$t_x = t_d$$

式中：

t_x —被校脉冲发生器脉冲宽度标称值；

t_d —示波器的脉冲宽度实测值。

C.3.2 测量不确定度分量的评定

不确定度来源主要有：数字示波器时间测量不确定度分量，示值分辨力引入的不确定度分量，测量重复性引入的不确定度分量。

C.3.2.1 数字示波器时间测量误差引入的不确定度分量 u_1

数字示波器溯源证书中时间测量不确定度 $U_{rel}=0.1\%$ ， $k=2$ ，则不确定度分量 $u_1=0.05\%$ 。

C.3.2.2 数字示波器示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

数字示波器测量时间 2ms 时分辨力为 0.01ms，不确定度分量为 $u_2=0.29\delta$ ，因此分辨率引入的不确定度分量为： $u_2=0.0029\text{ms}$ ，脉冲宽度 2ms 时相对不确定度分量 $u_2=0.14\%$ 。

C.3.2.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按照重复性测量要求对脉冲发生器负载脉冲宽度 2ms 进行连续 10 次，结果如下表 (ms)：

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	1.97	1.95	1.98	1.95	1.96

测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	1.98	1.96	1.97	1.96	1.96
平均值 \bar{x}_n	1.964ms		标准差 s	0.0107ms	

$$\text{则 } u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x}_n)^2}{(n-1)}} = 0.0107\text{ms}, \text{ 相对不确定度分量 } u_A = 0.54\%$$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨率引入的误差，因此由分辨率引入的不确定度分量 u_4 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者，分辨率引入不确定度分量小于测量重复性，因此舍去。

C.3.3 合成标准不确定度的计算

C.3.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源 (x_i)	a_i	k_i	$u(x_i)$
数字示波器时间测量误差引入的不确定度分量 u_1	0.1%	2	0.05%
示值分辨率引入的不确定度分量 u_2	0.005	$\sqrt{3}$	0.14% (舍弃)
测量重复性引入的不确定度分量 u_A	0.54%	1	0.54%

C.3.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_A^2} = 0.6\%$$

C.3.4 扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 1.2\%, k=2。$$