



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—Electrical 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。

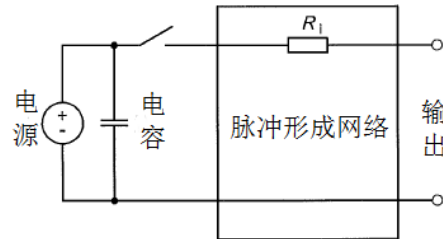


图 1 模拟器结构示意图

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。

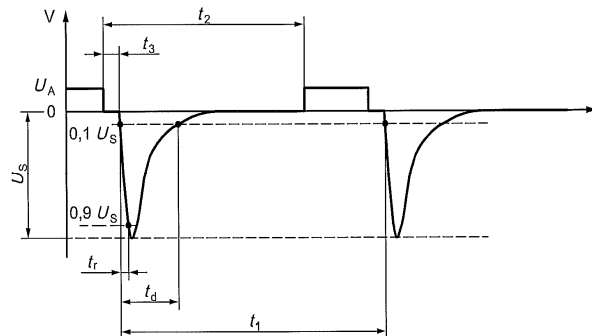


图 2 试验脉冲 1 波形

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。

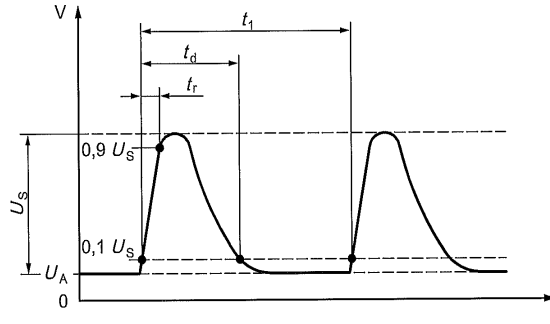


图3 试验脉冲2a波形

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	$\pm 10\%$	18.5~56	$\pm 20\%$	37~112	$\pm 10\%$	18.5~56	$\pm 20\%$
脉冲宽度 $t_d/\mu s$	50	$\pm 20\%$	12	$\pm 20\%$	50	$\pm 20\%$	1	$\pm 20\%$
脉冲上升时间 $t_r/\mu s$	1	-	/	/	1	-	/	/
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。

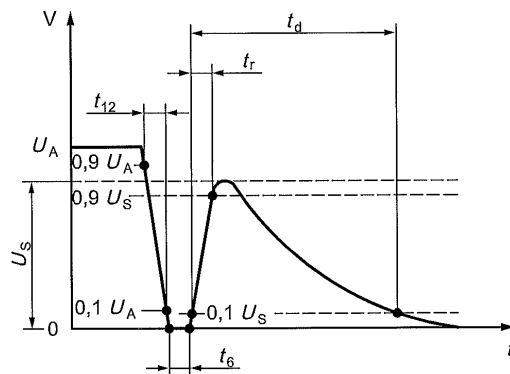


图4 试验脉冲2b波形

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。

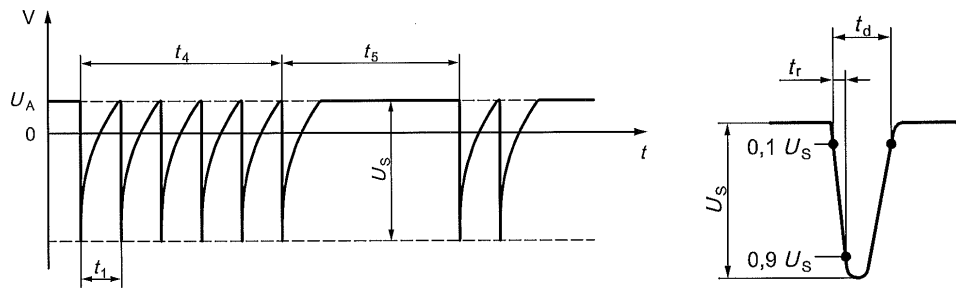


图 5 试验脉冲 3a 波形

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							
猝发宽度 t_4/ms	10							
猝发间隔时间 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。

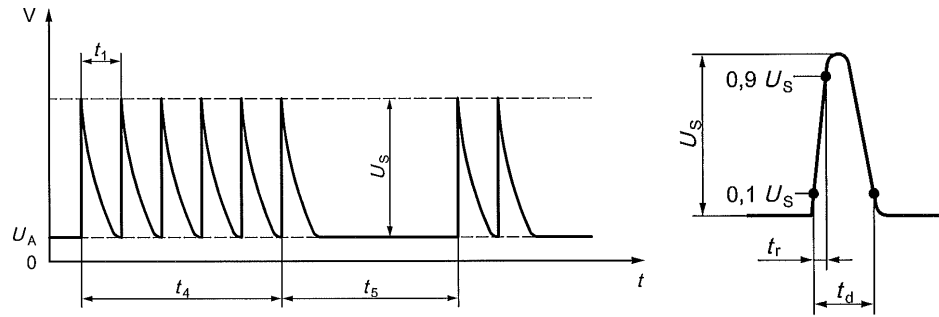


图6 试验脉冲 3b 波形

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。

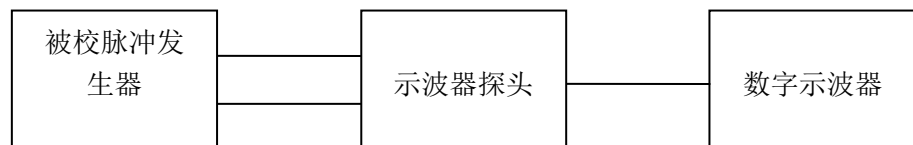


图 6 试验脉冲无负载状态校准连接示意图

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。

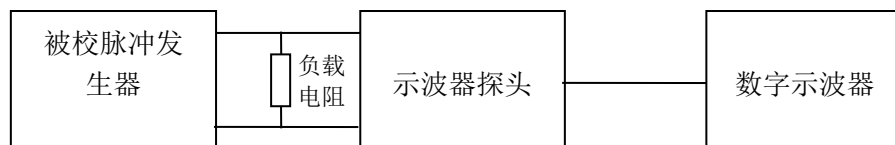


图 7 试验脉冲负载状态校准连接示意图

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。

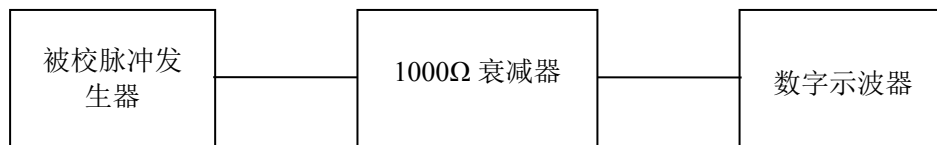


图 8 试验脉冲 3a/3b 无负载状态校准连接示意图

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, 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					

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	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	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, 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					

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： $u_2=0.0029ms$ ，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

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