

中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

JJF(电子) 0064─2021

二极管反向恢复时间测试系统校准规范

Calibration Specification for Diode Reverse Recovery Time Test System

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

**JJF(电子) 0064**─**2021**

二极管反向恢复时间测试系统校准规范

Calibration Specification for Diode Reverse Recovery Time Test System

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

彭益炜 （工业和信息化部电子第五研究所）

顾 林 （工业和信息化部电子第五研究所）

张贝贝 （工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

李胜海（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

目 录

[引 言 III](#_Toc1339)

[1 范围 1](#_Toc12193)

[2 引用文件 1](#_Toc25998)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc16664)

[4 概述 1](#_Toc8310)

[5 计量特性 2](#_Toc11933)

[5.1 波形显示单元 2](#_Toc14552)

[5.2 反向恢复时间 2](#_Toc4035)

[5.3 反向恢复峰值电流 2](#_Toc12062)

[5.4 脉冲宽度 2](#_Toc5612)

[5.5 正向电压 2](#_Toc16210)

[5.6 反向电压 2](#_Toc25698)

[6 校准条件 2](#_Toc8538)

[6.1 环境条件 2](#_Toc30254)

[6.2 测量标准及其他设备 2](#_Toc25577)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc26558)

[7.1 外观和附件检查 3](#_Toc31)

[7.2 工作正常性检查 3](#_Toc27282)

[7.3 自校准检查 3](#_Toc29414)

[7.4 波形显示单元 4](#_Toc7054)

[7.5 反向恢复时间 4](#_Toc21144)

[7.6 反向恢复峰值电流 5](#_Toc30884)

[7.7 脉冲宽度 5](#_Toc19057)

[7.8 正向电压/反向电压 6](#_Toc22764)

[8 校准结果表达 7](#_Toc29388)

[9 复校时间间隔 8](#_Toc8807)

[附录A 9](#_Toc29779)

[附录B 12](#_Toc4870)

[附录C 15](#_Toc5499)

# 引 言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量名词术语》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考了JJG 490-2002《脉冲信号发生器检定规程》、JJF 1236-2010《半导体管特性图示仪校准规范》和JJF(电子) 0001-2015《半导体器件动态参数测试系统校准规范》的脉冲参数、电流参数等相关内容。

本规范为首次发布。

二极管反向恢复时间测试系统校准规范

# 1 范围

本规范适用于新制造、使用中及修理后的二极管反向恢复时间测试系统的校准。

# 2 引用文件

JJG 262-1996《模拟示波器检定规程》

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

3.1 反向恢复时间

二极管从正向导通状态突然转变为反向状态时，电流为零时刻到反向电流减小到规定电流Igrr时刻的时间间隔，如图1所示。

I

0

Itrr

Igrr

trr

t

图1 反向恢复时间波形图

# 4 概述

二极管反向恢复时间测试系统由供电模块、电压调节模块、信号发生器、待测二极管底座（正极端插孔和负极端插孔）、波形显示单元等组成。二极管反向恢复时间测试系统是用于二极管反向恢复特性的测试和二极管筛选测试的关键设备。

# 5 计量特性

## 5.1 波形显示单元

5.1.1 扫描时间系数

范围：0.5ns/div ~0.5s/div，最大允许误差：±2%；

范围：1s/div ~20s/div，最大允许误差：±10%。

5.1.2 垂直偏转系数

范围：1mV/div ~5V/div，最大允许误差：±2%。

## 5.2 反向恢复时间

范围：10ns ~2µs，最大允许误差：±7%。

## 5.3 反向恢复峰值电流

范围：1mA ~30A，最大允许误差：±8%。

## 5.4 脉冲宽度

范围：1µs～10µs，最大允许误差：±7%。

## 5.5 正向电压

范围：1mV~40V，最大允许误差：±5%。

## 5.6 反向电压

范围：1mV~40V，最大允许误差：±5%。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(20±5)℃；

6.1.2 相对湿度：≤80%；

6.1.3 电源电压及频率：(220±22)V，(50±1)Hz；

6.1.4 周围无影响仪器正常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 示波器校准仪

时标周期测量范围：1ns~5s，最大允许范围：±0.01%；

电压测量范围：200µV~100V，最大允许范围：±(0.25%~0.5%)；

DC电压输出范围：-200V~+200V，最大允许范围：±0.25%。

6.2.2 数字示波器

带宽不小于1000 MHz；

直流增益最大允许误差：±2%；

增量时间测量精度：±0.02%。

6.2.3 电流传感器(电流探头)

转换系数最大允许误差：±1%；

脉冲电流峰值：不小于30A。

6.2.4 二极管组

6.2.4.1 反向恢复时间二极管组

应覆盖被校测试系统的测量范围，且稳定性好；例如：参考值：(10±10%)ns、(50±10%)ns、(100±10%)ns、(1.8±10%)μs、(2±10%)μs等。

6.2.4.2 正向电压/反向电压二极管组

应覆盖被校测试系统的测量范围，且稳定性好；例如：参考值：(1±10%)mV、(800±10%)mV、(1±10%)V、(5±10%)V、(18±10%)V、(40±10%)V等。

6.2.4.3 反向恢复峰值电流二极管组

应覆盖被校测试系统的测量范围，且稳定性好；例如：参考值：(30±10%)A、(1±10%)A、(5±10%)μA、(10±10%)μA等。

根据被校测试系统的计量特性，选取对应的二极管组。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 外观和附件检查

7.1.1被校二极管反向恢复时间测试系统外观应无缺陷，且无影响正常工作及正确读数的机械损伤；开关、旋钮、按键插座应通断分明，旋转灵活平滑、换位准确、连接牢固。

## 7.2 工作正常性检查

7.2.1接通设备电源，将被校二极管反向恢复时间测试系统按说明书规定时间开机预热，检查各功能应正常。

## 7.3 自校准检查

7.3.1 按仪器的说明书要求，对于带自校准的测试系统，应先对测试系统进行自校准检查，确认被校测试系统自检通过，方可进行下面的校准步骤。

## 7.4 波形显示单元

带波形显示单元的测试系统，扫描时间系数和垂直偏转系数的校准，按照“模拟示波器检定规程”(JJG 262-1996)进行。

## 7.5 反向恢复时间

7.5.1 将被校系统的二极管底座接入二极管，读取被校系统的指示值，并记录到附录A表A.4的指示值一栏中。

**+**

二极管反向恢复时间测试系统

数字示波器

二极管

输入端

**——**

图2 反向恢复时间校准示意图

7.5.2 将二极管反向恢复时间测试系统的二极管底座接入二极管后，按使用说明书要求与数字示波器阻抗匹配并串连，如图2所示。

7.5.3 将数字示波器的触发模式选为正常触发，扫描模式选为单次扫描，调整示波器的垂直旋钮、水平旋钮和扫描时间旋钮，使波形图清晰稳定地显示在屏幕上，如图3所示。

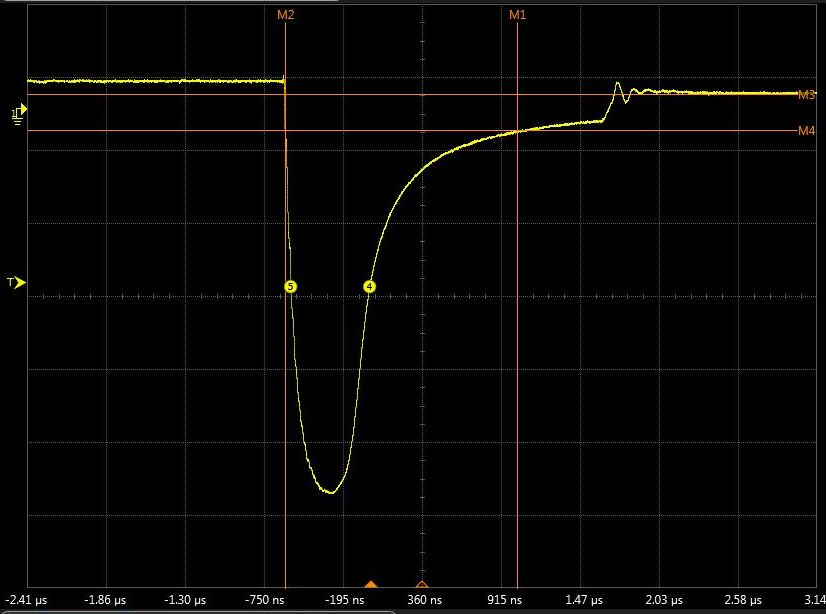


图3 反向恢复时间波形示意图

7.5.4 根据反向恢复时间定义，使用数字示波器的光标测量功能，测量反向恢复时间，并记录在附录A表A.4的标准值一栏中。

7.5.5 反向恢复时间相对误差按式(1)计算，并记录在附录A表A.4的误差一栏中：

(1)

式中：Δ*t*rr—反向恢复时间的相对误差，%；

*t*rr0—被校系统的指示值，μs；

*t*rr1—数字示波器读取的值(标准值)，μs。

7.5.6 根据被校系统的计量特性，选择不同值的二极管接入到被校系统中，按照7.5.1~7.5.4步骤中的方法进行校准，并分别将测量结果记录在附录A表A.4中。

## 7.6 反向恢复峰值电流

7.6.1 将二极管反向恢复时间测试系统的二极管底座接入二极管后，按使用说明书要求与电流传感器、数字示波器串连，如图4所示。

二极管反向恢复时间测试系统

数字示波器

输入端

**+**

**——**

电流传感器

（电流探头）

输出端

输入端

图4 反向恢复峰值电流校准示意图

7.6.2 将数字示波器的触发模式选为正常触发，扫描模式选为单次扫描，调整示波器的垂直旋钮、水平旋钮和扫描时间旋钮，使波形图清晰稳定地显示在屏幕上，如图1所示。

7.6.3 根据反向恢复峰值电流的定义，调用数字示波器光标测量功能，测量反向恢复峰值电流，并记录在附录A表A.5中。

7.6.4 根据被校系统的计量特性，选择不同值的二极管接入到被校系统中，按照7.6.1~7.6.3步骤中的方法进行校准，并分别将测量结果记录在附录A表A.5中。

## 7.7 脉冲宽度

7.7.1 将二极管反向恢复时间测试系统的二极管底座接入二极管后，按使用说明书要求与数字示波器阻抗匹配并串连，如图2所示。

7.7.2 将数字示波器的触发模式选为正常触发，扫描模式选为单次扫描，调整示波器的垂直旋钮、水平旋钮和扫描时间旋钮，使波形图清晰稳定地显示在屏幕上，如图5所示。

7.7.3 使用数字示波器光标测量功能，测量正脉冲信号前沿的中心点到后沿的中心点的时间间隔，即为脉冲宽度值，并记录在附录A表A.6的标准值一栏中。

7.7.4 脉冲宽度相对误差按式(2)计算，并记录在附录A表A.6的误差一栏中：

(2)

式中：Δ*T*—脉冲宽度的相对误差，%；

*T*x—被校系统的标称值，μs；

*T*k—数字示波器的读数值(标准值)，μs。

7.7.5 根据被校系统的计量特性，选择不同值的二极管接入到被校系统中，按照7.7.1~7.7.4步骤中的方法进行校准，并分别将测量结果记录在附录A表A.6中。

V

0

t

W

图5 脉冲宽度波形示意图

## 7.8 正向电压/反向电压

7.8.1 将二极管反向恢复时间测试系统的二极管底座接入二极管后，按使用说明书要求与数字示波器阻抗匹配并串连，如图2所示。

7.8.2 将数字示波器的触发模式选为正常触发，扫描模式选为单次扫描，调整示波器的垂直旋钮、水平旋钮和扫描时间旋钮，使波形图清晰稳定地显示在屏幕上，如图6所示。

V

0

t

V正

V反

图6 正向电压/反向电压波形示意图

7.8.3 使用数字示波器光标测量功能，测量正向电压/反向电压，并记录在附录A表A.7、A.8的标准值一栏中。

7.8.4 正向电压/反向电压相对误差按式(3)计算，并记录在附录A表A.7、A.8的误差一栏中：

(3)

式中：Δ*V*—脉冲幅度的相对误差，%；

*V*x—被校系统的标称值，V；

*V*k—数字示波器的读数值(标准值)，V。

7.8.5 根据被校系统的计量特性，选择不同值的二极管接入到被校系统中，按照7.8.1~7.8.4步骤中的方法进行校准，并分别将测量结果记录在附录A表A.7、A.8中。

# 

# 8 校准结果表达

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；

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

二级管反向恢复时间测试系统复校时间间隔一般不超过12个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，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。

# 附录A

原始记录格式

A.1外观和附件检查

表A.1 外观和附件检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 附件检查 |  |

A.2工作正常性检查

表A.2 工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 工作正常性检查 |  |

A.3 自校准检查

表A.3 自校准检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 自校准检查 |  |

A.4　反向恢复时间

表A.4　反向恢复时间

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准值/(ns/μs/ms) | 指示值(ns/μs/ms) | 相对误差(%) |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.5　反向恢复峰值电流

表A.5　反向恢复峰值电流

|  |
| --- |
| 反向恢复峰值电流/A |
|  |
|  |
|  |
|  |

A.6　脉冲宽度

表A.6　脉冲宽度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标称值/μs | 标准值/μs | 相对误差/% |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.7　正向电压

表A.7　正向电压

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标称值/V | 标准值/V | 相对误差/% |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.8　反向电压

表A.8　反向电压

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标称值/V | 标准值/V | 相对误差/% |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# 附录B

校准证书内页格式

B.1外观和附件检查

表B.1 外观和附件检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 附件检查 |  |

B.2工作正常性检查

表B.2 工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 工作正常性检查 |  |

B.3 自校准检查

表B.3 自校准检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 自校准检查 |  |

B.4　反向恢复时间

表B.4　反向恢复时间

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标准值(ns/μs/ms) | 指示值(ns/μs/ms) | 相对误差(%) | 扩展不确定度/%(*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.5　反向恢复峰值电流

表B.5　反向恢复峰值电流

|  |  |
| --- | --- |
| 反向恢复峰值电流/A | 扩展不确定度/A(*k*=2) |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

B.6　脉冲宽度

表B.6　脉冲宽度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值/μs | 标准值/μs | 相对误差/% | 扩展不确定度/%  (*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.7　正向电压

表B.7　正向电压

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值/V | 标准值/V | 相对误差/% | 扩展不确定度/%  (*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.8　反向电压

表B.8　反向电压

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值/V | 标准值/V | 相对误差/% | 扩展不确定度/%  (*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# 附录C

测量不确定度评定示例

**C.1** 反向恢复时间测量结果不确定度的评定

C.1.1 测量方法

采用示波器对二极管反向恢复时间进行校准。

C.1.2 测量模型

(C.1)

式中：*y*—反向恢复时间，ns；

*t*rr—示波器读数值，ns；

*δy*1—示波器分辨力的影响量，ns；

*δy*2—示波器准确度的影响量，ns；

*δy*3—测量重复性的影响量，ns。

灵敏系数不确定度传播律：

灵敏系数*c*1=，*c*2=，*c*3=，*c*4=

C.1.3 不确定度来源

1. 由示波器分辨力引入的不确定度分量*u*1；
2. 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*2；
3. 由示波器幅度测量准确度引入的不确定度分量*u*3；
4. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4；

C.1.4 标准不确定度评定

C.1.4.1 由示波器分辨力引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器分辨力为±1ps，为均匀分布，包含因子为，最差的点为10ns，相对值为0.01%，则标准不确定度分量为：

C.1.4.2 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，时间测量准确度是由示波器的增量时间测量精度所决定的，则增量时间测量精度为：

为均匀分布，包含因子为，最差的点为10ns，相对值为0.02%，则标准不确定度分量为：

C.1.4.3 由示波器幅度测量引入的不确定度分量*u*3

用 B 类标准不确定度评定。根据技术指标可知，幅度测量准确度是由示波器直流增益精度所决定的，则直流增益精度为：±2%，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.1.4.4 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校系统的二极管反向恢复时间进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.1：

表C.1　反向恢复时间测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/μs | 3.012 | 3.013 | 3.014 | 3.016 | 3.016 | 3.014 | 3.013 | 3.013 | 3.014 | 3.015 |
| /μs | 3.014 | | | | | | | | | |
| / | 0.044% | | | | | | | | | |

*u*4=0.044%

C.1.5 合成标准不确定度

反向恢复时间的测量不确定度汇总于表C.2中。

表C.2　反向恢复时间测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 标准不确定度 |
| *u*1 | 示波器分辨力 | B类 | 均匀 |  | 0.0058% |
| *u*2 | 示波器时间测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 0.012% |
| *u*3 | 示波器幅度测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 1.15% |
| *u4* | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 0.044% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

**C.2** 反向恢复峰值电流测量结果不确定度的评定

C.2.1 测量方法

采用电流传感器和示波器对反向恢复峰值电流进行校准。

C.2.2 测量模型

(C.2)

式中：*y*—反向恢复峰值电流，A；

*I*—示波器读数值，A；

*δy*1—示波器准确度的影响量，A；

*δy*2—电流传感器准确度的影响量，A；

*δy*3—测量重复性的影响量，A。

灵敏系数不确定度传播律：

灵敏系数*c*1=，*c*2=，*c*3=

C.2.3 不确定度来源

1. 由示波器测量准确度引入的不确定度分量*u*1；
2. 由电流传感器测量准确度引入的不确定度分量*u*2；
3. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*3；

C.2.4 标准不确定度评定

C.2.4.1 由示波器测量准确度引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器最大允许误差为±1%，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.2.4.2 由电流传感器测量准确度引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的电流传感器最大允许误差为±1%，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.2.4.3 由测量重复性引入的不确定度分量*u*3

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校系统的反向恢复峰值电流进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.3：

表C.3　反向恢复峰值电流测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/A | 3.12 | 3.13 | 3.12 | 3.14 | 3.15 | 3.15 | 3.14 | 3.12 | 3.15 | 3.14 |
| /A | 3.132 | | | | | | | | | |
| / | 0.39% | | | | | | | | | |

*u*3=0.39%

C.2.5 合成标准不确定度

反向恢复峰值电流的测量不确定度汇总于表C.4中。

表C.4　反向恢复峰值电流测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 标准不确定度 |
| *u*1 | 示波器测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 0.58% |
| *u*2 | 电流传感器测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 0.58% |
| *u*3 | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 0.39% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

**C.3** 脉冲宽度测量结果不确定度的评定

C.3.1 测量方法

采用示波器对脉冲宽度进行校准。

C.3.2 测量模型

(C.3)

式中：*y*—脉冲宽度，μs；

*T*—示波器读数值，μs；

*δy*1—示波器准确度的影响量，μs；

*δy*2—示波器建立时间的影响量，μs；

*δy*3—示波器分辨力的影响量，μs；

*δy*4—测量重复性的影响量，μs。

灵敏系数不确定度传播律：

灵敏系数*c*1=，*c*2=，*c*3=，*c*4=

C.3.3 不确定度来源

1. 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*1；
2. 由示波器建立时间引入的不确定度分量*u*2；
3. 由示波器分辨力引入的不确定度分量*u*3；
4. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4；

C.3.4 标准不确定度评定

C.3.4.1 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，时间测量准确度是由示波器的增量时间测量精度所决定的，则增量时间测量精度为：

为均匀分布，包含因子为，最差的点为10ns，相对值为0.02%，则标准不确定度分量为：

C.3.4.2 由示波器建立时间引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，示波器建立时间是由示波器的上升时间决定的，则示波器的上升时间为71.7ps，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.3.4.3 由示波器分辨力引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器分辨力为±1ps，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.3.4.4 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校系统的脉冲宽度进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.5：

表C.5　脉冲宽度测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/μs | 1.996 | 1.997 | 1.996 | 1.997 | 1.998 | 1.996 | 1.997 | 1.996 | 1.998 | 1.997 |
| /μs | 1.997 | | | | | | | | | |
| / | 0.041% | | | | | | | | | |

*u*4=0.041%

C.3.5 合成标准不确定度

脉冲宽度的测量不确定度汇总于表C.6中。

表C.6　脉冲宽度测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 标准不确定度 |
| *u*1 | 示波器测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 0.58% |
| *u*2 | 示波器建立时间 | B类 | 均匀 |  | 0.004% |
| *u*3 | 示波器分辨力 | B类 | 均匀 |  | 0.000058% |
| *u*4 | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 0.041% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

**C.4** 脉冲幅度测量结果不确定度的评定

C.4.1 测量方法

采用示波器对脉冲幅度进行校准。

C.4.2 测量模型

(C.4)

式中：*y*—脉冲幅度，V；

*V*—示波器读数值，V；

*δy*1—示波器准确度的影响量，V；

*δy*2—示波器分辨力的影响量，V；

*δy*3—测量重复性的影响量，V。

灵敏系数不确定度传播律：

灵敏系数*c*1=，*c*2=，*c*3=，*c*4=

C.4.3 不确定度来源

1. 由示波器测量准确度引入的不确定度分量*u*1；
2. 由示波器幅度Y的分辨力量化误差引入的不确定度分量*u*2；
3. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*3；

C.4.4 标准不确定度评定

C.4.4.1 由示波器测量准确度引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器最大允许误差为±1%，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.4.4.2 由示波器幅度Y的分辨力量化误差引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器ADC位数12位，为均匀分布，包含因子为，则标准不确定度分量为：

C.4.4.3 由测量重复性引入的不确定度分量*u*3

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校系统的脉冲幅度进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.7：

表C.7　脉冲幅度测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/V | 2.72 | 2.73 | 2.72 | 2.73 | 2.72 | 2.72 | 2.72 | 2.71 | 2.73 | 2.72 |
| /V | 2.722 | | | | | | | | | |
| / | 0.23% | | | | | | | | | |

*u*3=0.23%

C.4.5 合成标准不确定度

脉冲幅度的测量不确定度汇总于表C.8中。

表C.8　脉冲幅度测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 标准不确定度 |
| *u*1 | 示波器测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 0.58% |
| *u*2 | 示波器分辨力 | B类 | 均匀 |  | 0.025% |
| *u*3 | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 0.23% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_