

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) 0049─ 2020

微秒级脉冲分流器校准规范

Calibration Specification of [microsecond](https://www.baidu.com/link?url=I3GadmyQwSUxGQGocdzIlmZnlihlqFdUUaudhYz68h5SpLToFxzubLXQ4yByS_mUEyLByKmmcNlmb24YPU9kAZfEbHYvrg8QQGkmX4g9mLS&wd=&eqid=c2ad47c1003b8b6e000000035e7c0e71" \t "_blank) Pulse Shunt

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

微秒级脉冲分流器

校准规范

Calibration Specification of [microsecond](https://www.baidu.com/link?url=I3GadmyQwSUxGQGocdzIlmZnlihlqFdUUaudhYz68h5SpLToFxzubLXQ4yByS_mUEyLByKmmcNlmb24YPU9kAZfEbHYvrg8QQGkmX4g9mLS&wd=&eqid=c2ad47c1003b8b6e000000035e7c0e71" \t "_blank) Pulse Shunt

**JJF(电子)0049**─**2020**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子技术标准化研究院

参加起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

中国计量科学研究院

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：

张 珊（中国电子技术标准化研究院）

刘 冲（中国电子技术标准化研究院）

李 洁（中国电子技术标准化研究院）

参加起草人：

阚劲松（中国电子技术标准化研究院）

梁双港（中国电子科技集团公司第二十研究所）

高 英（中国计量科学研究院）

目 录

[引言 VI](#_Toc42775636)

[1 范围 1](#_Toc42775637)

[2 概述 1](#_Toc42775638)

[3 计量特性 1](#_Toc42775639)

[3.1 分流电阻 1](#_Toc42775640)

[3.2 上升时间 1](#_Toc42775641)

[3.3 短期稳定性 1](#_Toc42775642)

[4 校准条件 1](#_Toc42775643)

[4.1 环境条件 1](#_Toc42775644)

[4.2 测量标准及其他设备 2](#_Toc42775645)

[5 校准项目和校准方法 2](#_Toc42775646)

[5.1 外观及工作正常性检查 2](#_Toc42775647)

[5.2 分流电阻 2](#_Toc42775648)

[5.3 上升时间 4](#_Toc42775649)

[5.4 短期稳定性 5](#_Toc42775650)

[6 校准结果表达 5](#_Toc42775651)

[7 复校时间间隔 5](#_Toc42775652)

[附录A 7](#_Toc42775653)

[附录B 9](#_Toc42775654)

[附录C测量不确定度评定示例 11](#_Toc42775655)

引言

本规范依据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》编写。

本规范为首次发布。

微秒级脉冲分流器校准规范

1 范围

本规范适用于额定输入电流1mA～2000A，阻值范围1mΩ～100Ω的微秒级脉冲分流器的校准。

2 概述

脉冲分流器是广泛用在脉冲功率领域的一种重要的脉冲电流测量器具，因有一定的带宽，可以忽略其上升时间对于脉冲电流幅度稳定部分测量影响，其主要作用是将被校准脉冲电流转换为脉冲电压信号，再通过后续的脉冲电压测量部分对转换来的脉冲电压信号进行测量。

脉冲分流器是能产生与施加电流成比例的电压信号的电阻器。为了减小误差通常设计为四端结构，如图1所示，阻值一般在1mΩ到100Ω之间，可以测量的脉冲电流信号范围从几安到几十千安甚至上百千安。



图 1 脉冲分流器原理图

3 计量特性

3.1 分流电阻

频率范围：50Hz～10kHz；

额定输入电流：1mA～2000A；

分流电阻范围：

（1）1mΩ～10mΩ，基本误差：±0.4%；

（2）10mΩ～100Ω，基本误差：±0.5%。

3.2 上升时间

范围：0.1μs～50μs。

3.3 短期稳定性

在规定的环境条件下，给脉冲分流器施加额定输入电流，在某一规定的时间间隔内（最短1min，最长30min。有说明书的也可按照说明书要求）的输出电压稳定性：±（0.3%～0.5%）。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度：20℃±1℃；

4.1.2 相对湿度：≤75%；

4.1.3 电源要求：(220±22)V、(50±1)Hz；

4.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

4.2 测量标准及其他设备

4.2.1 多功能校准源

频率范围：50Hz～10kHz；

交流电流范围：1mA～10A，最大允许误差：±0.1%。

4.2.2 单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源

脉冲形式：单次阶跃正极性平顶方波；

上升时间：不大于30μs；

脉冲电流10A～1200A，最大允许误差：±0.5%；

顶部平坦度：±0.1%。

4.2.3 交流标准电流源

频率范围50Hz～1kHz；

额定功率范围1W～1000W；

输出电流范围10A～2000A，最大允许误差：±（0.05%～0.1%）。

4.2.4 单脉冲电流源

上升时间：不大于15ns；

脉冲电流输出幅度范围：10A～200A。

4.2.5 数字示波器

带宽：大于100MHz；

水平时基：10μs/div～50s/div，最大允许误差：±1%；

垂直幅度：10mV/div～2V/div，最大允许误差：±3%；

输入阻抗：1MΩ。

4.2.6 数字多用表

脉冲电压测量范围：±（0.1V～40V），最大允许误差：±0.1%；

采样速率：≥50×103Sa/s；

输入阻抗：≥1MΩ；

带宽：≥100kHz。

5 校准项目和校准方法

5.1 外观及工作正常性检查

5.1.1 被校脉冲分流器应结构完好，脉冲分流器不应有影响正常工作的机械碰伤，不应有接触不良的现象，并记录于附录A.1中；

5.1.2 被校脉冲分流器产品名称、制造厂家、仪器型号和编号等均应有明确标记，并记录于附录A.1中；

5.1.3 校准人员应按照被校脉冲分流器使用说明书的要求接线、供电，检查被校脉冲分流器是否能正常工作，并记录于附录A.1中。

5.2 分流电阻

5.2.1 多功能校准源法（1kHz～10kHz，1mA～10A）

仪器连接如图2所示。将多功能校准源和被校脉冲分流器的输入端相连；将数字多用表和被校脉冲分流器的输出端相连。

校准点的选取按照输入电流分别为额定电流的10%、50%、80%、100%，频率为被校频率的上、下限进行选取。

调整多功能校准源至规定值，读取数字多用表电压值*U*2，脉冲分流器按式（1）计算，并记录在附录A表A.2中。



图 2 多功能校准源法校准示意图

……………………………………………… ()

脉冲分流器误差按式（2）计算，并记录在附录A表A.2中：

……………………………………………… ()

式（1）、式（2）中：

*δ*——微秒级脉冲分流器电阻值相对误差；

*U*2——微秒级脉冲分流器输出电压实测值，V；

*I*1——微秒级脉冲分流器输入电流值，A；

*R*X——微秒级脉冲分流器标称电阻值，Ω；

*R*N——微秒级脉冲分流器实测电阻值，Ω。

5.2.2 交流标准电流源法（1kHz，10A~2000A）

仪器连接如图3所示。将交流标准电流源和被校脉冲分流器的输入端相连；将数字多用表和被校脉冲分流器的输出端相连。

校准点的选取按照输入电流分别为额定电流的10%、50%、80%、100%下进行选取。

调整交流标准电流源至规定值，读取数字多用表电压值*U*2，并记录在附录A表A.3中。



图 3交流标准电流源法校准示意图

……………………………………………… ()

微秒级脉冲分流器误差按式（4）计算，并记录在附录A表A.2中：

……………………………………………… ()

式（3）、式（4）中：

*δ*——微秒级脉冲分流器电阻值相对误差；

*U*2——微秒级脉冲分流器输出电压实测值，V；

*I*1——微秒级脉冲分流器输入电流值，A；

*R*X——微秒级脉冲分流器标称电阻值，Ω；

*R*N——微秒级脉冲分流器实测电阻值，Ω。

5.2.3 单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源法（30μs，10A～1200A）

仪器连接如图4所示。将单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源和被校微秒级脉冲分流器的输入端相连；将数字多用表和被校微秒级脉冲分流器的输出端相连。

校准点的选取按照输入电流分别为额定电流的10%、50%、80%、100%下进行选取。

调整单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源至规定值，设置数字多用表工作于上升沿触发模式，采样速率50kSa/s，触发后，读取幅度稳定后数字多用表电压值U2，并记录在附录A表A.4中。



图 4 单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源法校准示意图

……………………………………………… ()

脉冲分流器误差按式（6）计算，并记录在附录A表A.2中：

……………………………………………… ()

式（5）、式（6）中：

*δ*——微秒级脉冲分流器电阻值相对误差；

*U*2——微秒级脉冲分流器输出电压实测值，V；

*I*1——微秒级脉冲分流器输入电流值，A；

*R*X——微秒级脉冲分流器标称电阻值，Ω；

*R*N——微秒级脉冲分流器实际电阻值，Ω。

5.3 上升时间

仪器连接如图5所示。将单次阶跃正极性平顶方波脉冲电流源或脉冲电流源和被校微秒级脉冲分流器的输入端相连；将数字示波器和被校脉冲分流器的输出端相连。

给脉冲分流器施加规定的电流值，同时用接在脉冲分流器输出端的数字示波器直接读出上升时间*t*，并记录在附录A表A.5中。



图 5上升时间校准示意图

5.4 短期稳定性

按图2连接设备。调节输入电流为额定电流的100%或某一量值，输出稳定后，每60s（或按说明书要求）记录五次，并将数字多用表的数值记录在附录A表A.6中，并从所有的测量值中选取最大值和最小值。

被校脉冲分流器的短期稳定性按式（7）计算，并记录在附录A表A.6中：

……………………………………… (7)

式中：

*S*——被校脉冲分流器的短期稳定性；

*R*max——规定的时间间隔内被校脉冲分流器的最大测量电阻，Ω；

*R*min——规定的时间间隔内被校脉冲分流器的最小测量电阻，Ω；

*R*—— 被校脉冲分流器的标称电阻值，Ω。

6 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、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。

7 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过1年。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

* 1. **外观及工作正常性检查**

表A.1外观检查记录表

|  |
| --- |
| 外观检查：合格 □ 不合格 □： |

* 1. **脉冲分流器阻值**

表A.2脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：正弦波电流1mA～10A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

表A.3脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：正弦波电流10A～1200A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

表A.4脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：单次正极性阶跃脉冲电流10A～1200A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

* 1. **上升时间**

表A.5脉冲分流器上升时间记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 上升时间*T*N/s | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* 1. **短期稳定性**

表A.6脉冲分流器短期稳定性记录表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 测试时间 | 分流器输出电压值*U*2/mV | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 短期稳定性*S* | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
| 100%*I*N | 50 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

附录B

校准证书内页格式

1. **外观及工作正常性检查**

表B.1外观检查记录表

|  |
| --- |
| 外观检查：合格 □ 不合格 □： |

1. **脉冲分流器阻值**

表B.2脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：正弦波电流1mA~10A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

表B.3脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：正弦波电流10A～1200A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

表B.4脉冲分流器阻值记录表（额定输入电流：单次正极性阶跃脉冲电流10A~1200A）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率*f*/Hz | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 误差  / mΩ | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

1. **上升时间**

表B.5脉冲分流器上升时间记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率 | 上升时间*T*N/s | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

1. **短期稳定性**

表B.6脉冲分流器短期稳定性记录表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入电流*I*1/A | 频率 | 时间 | 分流器输出电压值*U*2/mV | 实测电阻值*R*N/ mΩ | 短期稳定性*S* | 测量不确定度  *U*(*k=*2) |
| 100%*I*N | 50Hz |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

附录C测量不确定度评定示例

C.1概述

用标准电流源法对100A，1V，50Hz， 0.01Ω的脉冲分流器进行校准。标准器为数字多用表8508A、标准电流源2000A，50Hz。

C.2测量模型

设标准电流源输出电流值*I*1，同时用接在脉冲分流器电位端钮的数字多用表读出电压值*U*2，测得实际值

………………………………………… (C.1)

式（C.1）中：

*U*2——脉冲分流器输出电压实测值，V；

*I*1——脉冲分流器输入电流值，A；

*R*N——脉冲分流器实际电阻值，Ω。

C.3标准不确定度评定

C.3.1基本误差的不确定度评定

C.3.1.1 重复性引入的标准不确定度*u*A

用A类标准不确定度评定。选一稳定微秒级脉冲分流器，输出电流100A，在相同温湿度下、短时间内，同一校准人员条件下，连续独立测量10次，其结果见表C.1：

表C.1脉冲分流器测量重复性记录

|  |  |
| --- | --- |
| 次数 | 测量值（mΩ） |
| 1 | 9.975 |
| 2 | 9.974 |
| 3 | 9.975 |
| 4 | 9.976 |
| 5 | 9.978 |
| 6 | 9.975 |
| 7 | 9.977 |
| 8 | 9.974 |
| 9 | 9.975 |
| 10 | 9.970 |
| 平均 | 9.9749 |

单次测量实验标准偏差：*S*(x)=0.02%

相对不确定度*u*A=0.02%

C.3.1.2 标准器不准引入的不确定度*u*B的评定

C.3.1.2.1由标准电流源不准引入的不确定度分量*u*B1

根据标准电流源100A，50Hz上级证书给出的测量不确定度为：0.05%，视为均匀分布，置信水平95%，包含因子*k*=，则

*u*B1＝0.05%/=0.029%

C.3.1.2.2由数字多用表测量不准引入的不确定度分量*u*B2

数字多用表8508A交流电压（量程1V，电压值1V）测量的最大允许误差为±0.016%，视为均匀分布，置信水平95%，扩展因子*k*=，则

*u*B2＝0.016%/=0.0092%

C.3.1.3 由微秒级脉冲分流器温度系数引入的不确定度评定

一般情况下，微秒级脉冲分流器在功率范围内使用，微秒级脉冲分流器温度系数的影响可忽略不计。

C.3.1.4 合成标准不确定度

C.3.1.4.1 主要标准不确定度汇总见表C.2。

表C.2主要标准不确定度汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 相对不确定度 |
| *u*A | 测量重复性 | 0.02% |
| *u*B1 | 标准电流源不准 | 0.029% |
| *u*B2 | 数字多用表不准 | 0.0092% |
| *u*B3 | 微秒级脉冲分流器温度系数 | 忽略不计 |

C.3.1.4.2合成标准不确定度的计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得到：

*uc*==0.04%

C.3.1.4.3扩展不确定度的评定

按置信水平*p*=95%，取包含因子*k*=2，扩展不确定度为：

*U*=*ku*c =2*u*C=2×0.04%

相对扩展不确定度*U*rel=0.1%

C.3.2上升时间的不确定度评定

C.3.2.1由测量重复性引入的标准不确定度*u*A

用示波器测量微秒脉冲分流器的上升时间，由示波器直接读出或由光标定位读数，选择型号为1Ω（机身号QJM2017103100056）的微秒脉冲分流器，输入电流为10A，对其上升时间连续重复测量10次，测量值如表C.3所示。

表C.3 10次重复测量值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值(ns) |
| 读数(ns) | 92.3 | 92.6 | 93.1 | 93.0 | 92.5 | 92.6 | 92.9 | 92.7 | 92.6 | 92.5 | 92.68 |

故平均值的实验标准偏差：



则由重复性引入的标准不确定度。

C.3.2.2由脉冲电流源快沿脉冲信号上升时间引入的不确定度*u*B1

数字示波器屏幕观测到的上升时间tr与脉冲电流源快沿脉冲信号上升时间trp，数字示波器本身的建立时间trs之间的关系如下：



由于示波器屏幕显示的时间tr=92.68ns，脉冲电流源的快沿脉冲上升时间为trp=15ns因此示波器实际建立时间trs由计算得出93.89ns。

则n=trp/trs=15/93.89=0.16

计算示波器的上升时间相对误差为：



脉冲电流源引入的不确定度分量服从均匀分布，取包含因子*k*=,则：



脉冲电流源引入的标准不确定度：



C.3.2.3由数字示波器幅度测量引入的不确定度*u*B2

上升时间的测量过程中，需获得波形的顶值、底值、10%和90%的幅度电平，因此，应评价幅度测量引入的标准不确定度分量。该不确定分量主要来源于示波器的垂直分辨力，实验所用示波器的垂直分辨率50线/div,垂直偏转系数2V/div，数字示波器的垂直分辨力为*δ=*4mV，区间半宽度0.5δ，认为服从均匀分布，因此顶值、底值引入的不确定度为1.16mV，由计算可得：



C.3.2.4由数字示波器上升时间测量引入的不确定度*u*B3

数字示波器时间测量准确度是上升时间结果的一个重要的不确定度分量，时间测量准确度主要取决于数字示波器的水平分辨力，数字示波器的水平分辨力为δ=0.4ns，区间半宽度为0.2 ns，设在此区间范围分辨力引入的误差为均匀分布，则数字示波器水平分辨力引入的不确定度为：



C.3.2.5由微秒级脉冲分流器温度系数引入的不确定度*u*B4

一般情况下，微秒级脉冲分流器在功率范围内使用，微秒级脉冲分流器温度系数的影响可忽略不计。

C.3.2.6合成标准不确定度

C.3.2.6.1主要标准不确定度汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 不确定度 |
| *u*A | 测量重复性引入 | 0.078ns |
| *u*B1 | 脉冲电流源快沿脉冲信号上升时间 | 0.7ns |
| *u*B2 | 数字示波器幅度测量不准 | 0.02ns |
| *u*B3 | 数字示波器上升时间测量不准 | 0.23ns |
| *u*B4 | 微秒级脉冲分流器温度系数 | 忽略不计 |

C.3.2.6.2合成标准不确定度的计算

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：



C.3.2.6.3扩展不确定度的计算

按置信水平P＝95％，包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：

