



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)0104—2023

直流断路器安秒特性测试仪

校准规范

Calibration Specification for DC Circuit Breaker Operating

Characteristics Testers

(报批稿)

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

直流断路器安秒特性测试仪校准规范

Calibration Specification for DC Circuit
Breaker Operating Characteristics Testers

JJF(电子)0104—2023

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

参加起草单位：浙江科畅电子股份有限公司

广东电网有限责任公司汕头供电局

柳州市计量技术测试研究所

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：

朱镇杰（广电计量检测集团股份有限公司）

吕东瑞（广电计量检测集团股份有限公司）

张 辉（广电计量检测集团股份有限公司）

徐静霞（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

陈书欣（浙江科畅电子股份有限公司）

陈 昕（广东电网有限责任公司汕头供电局）

杜瀚霖（柳州市计量技术测试研究所）

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 纹波系数	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 直流电流	2
5.2 电流纹波系数	2
5.3 输出电流稳定性	2
5.4 输出电流的持续时间	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其它设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 外观及通电检查	3
7.2 直流电流	3
7.3 电流纹波系数	5
7.4 输出电流稳定性	6
7.5 输出电流的持续时间	6
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 校准原始记录格式	9
附录 B 校准证书内页格式	11
附录 C 测量结果的不确定度评定示例	12

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJG1001-2011《通用计量术语及定义》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。

直流断路器安秒特性测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于直流断路器安秒特性测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

DL/T 459-2017 电力用直流电源设备

DL/T 1397.4-2014 电力直流电源系统用测试设备通用技术条件第4部分：直流断路器动作特性测试系统

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 纹波系数 ripple factor

直流电源输出回路，脉动直流电量的峰值与谷值之差（或称峰-峰值）的一半，与直流电量平均值之比。

[DL/T 459-2017，术语 3.1.12]

4 概述

直流断路器安秒特性测试仪（以下简称测试仪）用于对电力用直流电源系统的微型和塑壳专用直流断路器的过载保护动作时间、短路（瞬动）保护动作时间、定时限可返回时间（不脱扣持续时间）和上下级断路器之间的级差配合进行测量或验证。测试仪主要由数据处理单元、DAC 数模转换器、信号调理单元、电流放大输出单元、人机交互单元、供电单元等组成，其原理框图如下图 1 所示。

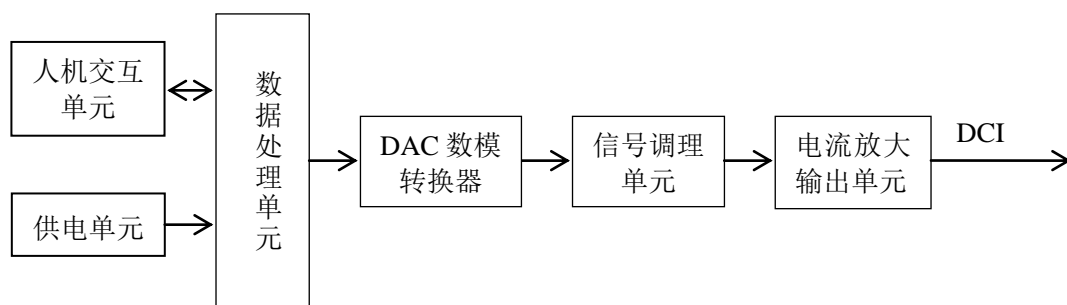


图 1 测试仪基本原理框图

5 计量特性

5.1 直流电流

范围: (1~1500)A, 最大允许误差: $\pm(0.5\%\sim3\%)$ 。

5.2 电流纹波系数

$\leq 5\%$ 。

5.3 输出电流稳定性

在测试仪说明书规定的时间间隔内 (无规定的按 5min): $\leq 5\%$ 。

5.4 输出电流的持续时间

范围: 0.1ms~9999s, 最大允许误差: $\pm 0.2\%$ 。

注: 以上技术指标不作为合格性判断依据, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度: $\leq 75\%$ 。

6.1.3 由市电供电的测试仪, 电源有如下要求:

电压: $220\text{V}\pm 22\text{V}$; 频率: $50\text{Hz}\pm 0.5\text{Hz}$;

电压: $380\text{V}\pm 38\text{V}$; 频率: $50\text{Hz}\pm 0.5\text{Hz}$ 。

6.1.4 其他: 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 直流标准电流表

测量范围: (1~2000) A, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 。

6.2.2 直流数字电压表

测量范围: (0.1~100) V, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$

6.2.3 电流探头

直流电流测量范围: (1~2000) A, 幅值最大允许误差: $\pm 5\%$;

交流电流测量范围: (0.1~100) A, 幅值最大允许误差: $\pm 5\%$;

带宽不低于 1MHz。

6.2.4 真有效值数字电压表

测量范围: $50\mu\text{V}\sim 10\text{V}$, 最大允许误差: $\pm 2\%$;

带宽不低于1MHz。

6.2.5 数字示波器

直流增益最大允许误差： $\pm 1.5\%$ ；

时基最大允许误差： $\pm 5 \times 10^{-4}$ ；

带宽不低于20MHz。

6.2.6 负载电阻

电阻范围： $1\text{m}\Omega \sim 2\Omega$ ，额定负载功率： $\geq 5\text{kW}$ 。

6.2.7 直流分流器

电阻范围： $0.1\text{m}\Omega \sim 1\Omega$ ，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

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 校准项目表

序号	校准项目	校准方法条款
1	外观及通电检查	7.2
2	直流电流	7.3
3	电流纹波系数	7.4
4	输出电流稳定性	7.5
5	输出电流的持续时间	7.6

7.2 外观及通电检查

被校测试仪外观应整洁完好，无影响仪器正常工作的机械损伤；各种必要的标志应清晰准确；金属外壳或框架上应有明显的接地端钮及接地标志。检查各种调节旋钮、按键应灵活可靠。通电检查，仪器应能正常工作。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.3 直流电流

7.3.1 标准表法

7.3.1.1 接线如图 2 所示。根据输出电流值选择适合量程的直流标准电流表，被校测试仪的电流输出端连接直流标准电流表的电流输入端。

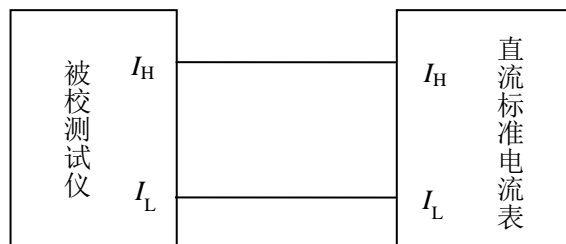


图 2 直流电流校准接线图（标准表法）

7.3.1.2 在被校测试仪的电流量程范围内均匀选取至少 5 个校准点，应包括量程的 10%、50%、100% 点或附近点。按照选取的校准点设置被校测试仪输出直流电流值，读取被校测试仪的电流示值 I_x 和直流标准电流表的电流示值 I_s ，数据记录于附录 A 表 A.2 中。按公式 (1) 或 (2) 计算直流电流示值误差。

$$\Delta I = I_x - I_s \quad (1) \quad \gamma_1 = \frac{\Delta I}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ_1 ——电流的示值相对误差，用百分数表示；

ΔI ——电流的示值绝对误差，A；

I_x ——被校测试仪的电流示值，A；

I_s ——直流标准电流表的电流示值，A。

7.3.2 直流分流器法

7.3.2.1 接线如图 3 所示。根据输出电流值选择适合量程的直流分流器，被校测试仪的电流输出端连接直流分流器的电流测量端。同时直流数字电压表接在直流分流器的电位端钮。

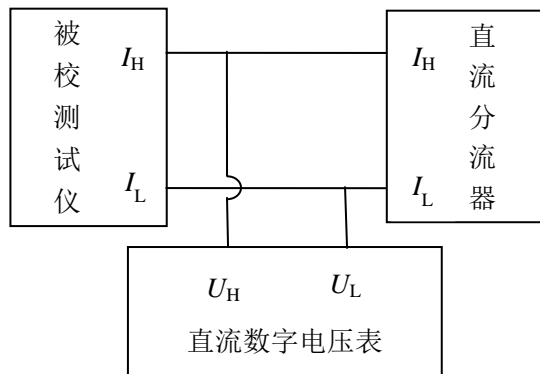


图 3 直流电流校准接线图（直流分流器法）

7.3.2.2 在被校测试仪的电流量程范围内均匀选取至少 5 个校准点，应包括量程的

10%、50%、100%点或附近点。按照选取的校准点设置被校测试仪输出直流电流值，读取被校测试仪的电流示值 I_x 和直流标准电压表的电压示值 U_s ，数据记录于附录 A 表 A.2 中。按公式 (3) 或 (4) 计算直流电流示值误差。

$$\Delta I = I_x - \frac{U_s}{R} \quad (3) \quad \gamma_1 = \frac{I_x - U_s / R}{I_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

γ_1 ——电流的示值相对误差，用百分数表示；

ΔI ——电流的示值绝对误差，A；

I_x ——被校测试仪的电流示值，A；

U_s ——直流数字电压表的电压示值，V；

R ——直流分流器的电阻值， Ω 或者 $m\Omega$ ；

I_s ——直流标准电流表的示值，A。

7.4 电流纹波系数

7.4.1 接线如图 4 所示。

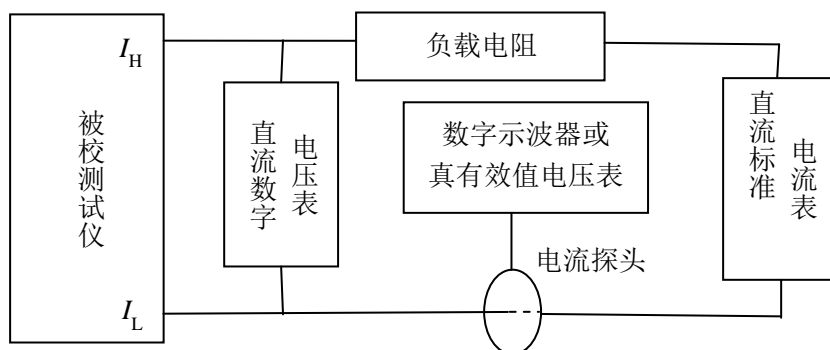


图 4 电流纹波系数校准接线示意图

7.4.2 设置输出电流在满度值附近，选择适当的负载电阻，使直流数字电压表的示值接近最大值。设置数字示波器输入阻抗 $1M\Omega$ ，交流耦合，从数字示波器或真有效值电压表测量纹波电压的有效值 U_{rms} ，计算电流纹波系数，数据记录于附录 A 表 A.3 中。按公式 (5) 计算电流纹波系数 γ 。

$$\gamma = \frac{K \times U_{rms}}{I_m} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

γ ——被校测试仪的纹波系数，用百分数表示；

U_{rms} ——被校测试仪的纹波电压有效值，V；

I_{m} ——直流标准电流表示值，A；

K ——电流探头交流电流/电压转换比例系数，A/V。

7.5 输出电流稳定性

7.5.1 接线如图2或图3所示。设置被校测试仪输出恒定电流值 I_{con} 为最大直流电流的30%。

7.5.2 在被校测试仪说明书规定的时间间隔内（无规定的按5min）测量5次，读取直流标准电流表或直流数字电压表的最大值和最小值，数据记录于附录A表A.4中。按公式（6）或（7）计算输出电流稳定性。

$$\gamma_{st} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{con}}} \times 100\% \quad (6) \quad \gamma_{st} = \frac{(U_{\text{max}} - U_{\text{min}})/R}{I_{\text{con}}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

γ_{st} ——被校测试仪输出电流稳定性，用百分数表示；

I_{max} ——直流标准电流表在稳定性时间内电流测得的最大值，A；

I_{min} ——直流标准电流表在稳定性时间内电流测得的最小值，A；

U_{max} ——直流数字电压表在稳定性时间内电压测得的最大值，V；

U_{min} ——直流数字电压表在稳定性时间内电压测得的最小值，V；

R ——直流分流器的电阻值， Ω 或者 $\text{m}\Omega$ ；

I_{con} ——被校测试仪输出的恒定电流值，A。

7.6 输出电流的持续时间

7.6.1 接线如图5所示。

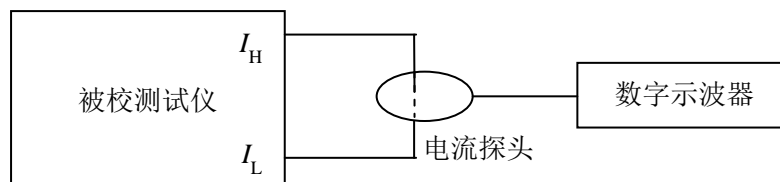


图5 输出电流的持续时间校准接线示意图

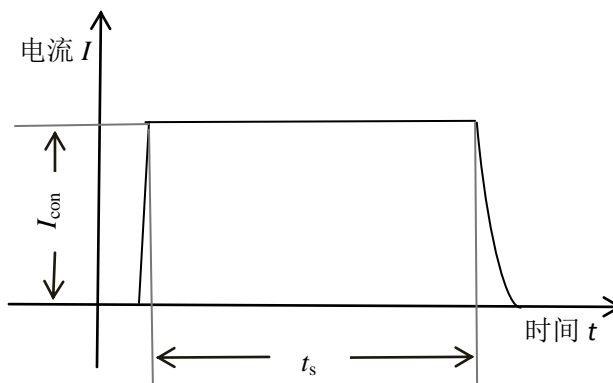


图 6 输出电流的持续时间波形示意图

7.6.2 对被校测试仪时间参数进行测试，在被校测试仪的时间测量范围内均匀选取不少于 3 个校准点，其中 100s 为必选点。按选取的校准点设置被校测试仪输出电流的持续时间 t_x ，设置输出恒定电流值 I_{con} 为最大直流电流的 30%。设置数字示波器输入阻抗 $1M\Omega$ ，直流耦合，调节适当的时基和触发电平，触发方式设置“正常”模式。按下输出电流“启动”键，当被校测试仪发出切断信号时自动或手动终止数字示波器的波形存储。通过数字示波器的光标功能（垂直方式）读取被校测试仪在稳定阶段所经历的时间 t_s （不包括电流上升和下降的时间），数据记录于附录 A 表 A.5 中。按公式（8）或（9）计算输出电流的持续时间示值误差。

$$\Delta t = t_x - t_s \quad (8)$$

$$\gamma_t = \frac{\Delta t}{t_s} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

γ_t ——输出电流的持续时间的示值相对误差，用百分数表示；

Δt ——输出电流的持续时间的示值绝对误差，s；

t_x ——被校测试仪时间设定值，s；

t_s ——数字示波器的时间实测值，s。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- 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) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；

- f) 被校准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和应用有关时, 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。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般为 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

校准原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

□正常□不正常：。

A.2 直流电流

标准表法

标称值	实测值	误差	测量不确定度($k=2$)

直流分流器法

标称值	分流器电阻值	电压表示值	误差	测量不确定度($k=2$)

A.3 电流纹波系数

输出电流值	纹波电压实测值	转换比例系数	纹波系数	测量不确定度($k=2$)

A.4 输出电流稳定性

输出电流 I_{con}	记录时间间隔	输出电流实测值	稳定性	测量不确定度 ($k=2$)
	300s			

A.5 输出电流的持续时间

示值	实测值	误差	测量不确定度 ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

☐正常 ☐不正常：。

B.2 直流电流

标称值	实测值	误差	测量不确定度($k=2$)

B.3 电流纹波系数

输出电流值	纹波电压实测值	纹波系数	测量不确定度($k=2$)

B.4 输出电流稳定性

输出电流 I_{con}	记录时间间隔	稳定性	测量不确定度($k=2$)
	300s		

B.5 输出电流的持续时间

示值	标准值	误差	测量不确定度($k=2$)

附录 C

测量结果的不确定度评定示例

C.1 直流电流测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

按规范校准方法接线，调节被校测试仪输出至校准点，读取直流数字电压的电压示值。

$$\Delta I = I_n - I_x \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔI ——被校测试仪的直流电流示值误差，A；

I_n ——被校测试仪输出值，A；

I_x ——直流标准电流表的电流示值，A。

不确定度传播公式及灵敏度系数，依照公式：

$$u_c^2(\Delta) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 g^2(x_i) \quad (\text{C.2})$$

由于 I_n 、 I_x 独立不相关，由公式(C.2)得到：

$$u_c^2(\Delta) = c_1^2 u^2(I_n) + c_2^2 u^2(I_x)$$

则式中灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_n} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = -1$$

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：测量重复性，标准器引入的不确定度分量，被测仪器示值分辨力引入的不确定度分量，环境条件（温度、湿度、电源、电磁场）影响引起的误差等。测量是在规程规定的环境条件下进行，环境条件影响引起的误差可忽略不计。

C.1.3 标准不确定度的评定

C.1.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(I_n)$ 。

按上述方法，被校测试仪输出直流电流 100A，对被校测试仪（型号 GDAS 直流断路器安秒特性测试仪）在短时间内重复测量 10 次，被校仪器的示值如下：

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(A)	99.98	99.97	99.98	99.96	99.97	99.968
序号	6	7	8	9	10	
实测值(A)	99.98	99.95	99.92	99.98	99.99	

根据贝塞尔公式：

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.02A$$

因此重复性测量引入标准不确定度为：

$$u(I_n) = s_n(x) = 0.02A$$

C.1.3.2 直流标准电流表引入的标准不确定度 $u(I_s)$ 。

直流标准电流表经校准符合技术指标要求，在直流电压 100A 时的最大允许误差为： $\pm 0.01\%$ ，视其为均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(I_s) = (0.01\% \times 100A) / \sqrt{3} = 0.0058A$$

C.1.3.3 被校测试仪示值分辨力引入的不确定度 $u(\delta I_x)$ 。

被校测试仪在直流电流 100A 时示值分辨力为 0.1A，视其为均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(\delta I_x) = 0.1A / 2\sqrt{3} = 0.029A$$

由于测量重复性包含示值分辨力引入的不确定度分量，为避免重复计算，重复性和示值分辨力误差引入的不确定度分量取大者，因此舍去 $u(I_n)$ 。

C.1.4 合成标准不确定度

电流示值测量结果的不确定度分量如下表所示。

表 C.1 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(I_n)$	测量重复性引入（舍去）	正态分布	1	0.02A
$u(I_s)$	直流标准电流表引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0058A
$u(\delta I_x)$	被校测试仪的分辨力引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.029A

则合成标准不确定为:

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_s) + c_2^2 u^2(I_n)} = 0.03 \text{ A}$$

C.1.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$, 则 $U = k u_c = 0.06 \text{ A}$

C.2 输出电流的持续时间测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

按规范校准方法接线, 调节被校测试仪时间至校准点, 读取示波器的时间示值。

$$\Delta t = t_x - t_s \quad (\text{C.3})$$

式中:

Δt ——被校测试仪输出电流的持续时间示值绝对误差, s;

t_x ——被校测试仪输出电流的时间设定值, s;

t_s ——示波器时间测量值, s。

由于 t_x 、 t_s 独立不相关, 则灵敏系数:

$$u_c^2(\Delta) = c_1^2 u^2(t_x) + c_2^2 u^2(t_s)$$

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial t_x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial t_s} = -1$$

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有: 测量重复性, 标准器引入的不确定度分量, 被测仪器示值分辨力引入的不确定度分量, 环境条件 (温度、湿度、电源、电磁场) 影响引起的误差等。测量是在规程规定的环境条件下进行, 环境条件影响引起的误差可忽略不计。

C.2.3 标准不确定度的评定

C.2.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(t_x)$ 。

按上述方法对时间参数连续测量 10 次, 数据如下:

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(s)	99.98	99.96	99.98	99.96	99.96	99.964
序号	6	7	8	9	10	
实测值(s)	99.98	99.94	99.94	99.98	99.96	

根据贝塞尔公式:

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}} = 0.016s$$

因此重复性测量引入标准不确定度为 $u(t_x)=s_n(x)=0.016s$, 相对不确定度为 0.016%。

C.2.3.2 示波器分辨力引入的标准不确定度 u_1 。

示波器测量 100s 时, 分辨力为 0.01s, 按照均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 因此不确定度为 $u_1 = \frac{0.01s}{2\sqrt{3}} = 0.003s$ 。

C.2.3.3 被校测试仪示值分辨力引入的不确定度 u_2 。

被校测试仪在直流电流 100s 时示值分辨力为 0.1s, 视其为均匀分布, 置信因子 $k_2 = \sqrt{3}$, 因此 $u_2 = \frac{0.1s}{2\sqrt{3}} = 0.029s$ 。

由于测量重复性包含示值分辨力引入的不确定度分量, 为避免重复计算, 重复性和示值分辨力误差引入的不确定度分量取大者, 因此舍去 $u(t_x)$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

电流示值测量结果的不确定度分量如下表所示。

表 C.2 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(t_x)$	测量重复性引入 (舍去)	正态分布	1	0.016s
u_1	示波器分辨力不准引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.003s
u_2	被校测试仪读数分辨力引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.029s

则合成标准不确定为:

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.03s$$

C.2.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$, 则 $U = k u_c = 0.06s$