

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1283—2011

剩余电流动作保护器动作特性 检测仪校准规范

Calibration Specification for Residual Current Operated Protective Device
Operated Characteristic Tester

2011-04-12 发布

2011-07-12 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

剩余电流动作保护器动作特性

检测仪校准规范

Calibration Specification for Residual

Current Operated Protective Device

Operated Characteristic Tester

JJF 1283—2011

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 4 月 12 日批准，并自 2011 年 7 月 12 日起施行。

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：河南省计量科学研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：温州市计量技术研究院

本规范由全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

崔广新（河南省计量科学研究所）

王 昊（中国计量科学研究所）

朱卫民（河南省计量科学研究所）

参加起草人：

周晓华（温州市计量技术研究所）



目 录

1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(3)
5.1 分断时间	(3)
5.2 剩余电流	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(5)
7.1 外观检查	(5)
7.2 分断时间校准	(5)
7.3 剩余电流校准	(6)
7.4 使用示波器校准	(7)
8 校准结果表达	(7)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A 校准证书内页格式	(9)
附录 B 测量结果不确定度评定	(12)
附录 C 数字存储示波器时间坐标测量和修正方法	(15)

剩余电流动作保护器动作特性检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于剩余电流动作保护器动作特性检测仪（以下简称 RCD 检测仪）的校准。

2 引用文件

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB 13955—2005 剩余电流动作保护装置安装和运行

GB 16916.1—2003 家用和类似用途的不带过流保护的剩余电流动作断路器 (RCCB) 第 1 部分：一般规则

GB/Z 6829—2008 剩余电流动作保护电器的一般要求

IEC 61557-6: 2007 交流 1 000 V 和直流 1 500 V 以下低压配电系统中电气安全 用于测试、测量或监控保护的装置 第 6 部分：TT、TN 和 IT 系统中剩余电流装置 (RCD) 的有效性 (Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a. c and 1 500 V d. c—Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures—Part 6: Effectiveness of residual current devices (RCD) in TT, TN and IT systems)

使用本规范时，应注意使用上述引用文件的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 剩余电流动作保护电器 residual current operated protective device

简称剩余电流保护器 (RCD, residual current protective device)，在正常运行条件下能接通、承载和分断电流，以及在规定条件下当剩余电流达到规定值时能使触头断开的机械开关电器或组合电器。功能相同的产品也称作剩余电流动作断路器 (RCCB, residual current operated circuit-breaker)，对地泄漏电流断路器 (ELCB, Earth leakage current circuit-breaker)，接地故障电流断路器 (GFCI, ground fault current interrupter) 等。

3.2 剩余电流 (I_{Δ}) residual current (I_{Δ})

流过 RCD 主回路电流瞬时值的矢量和（用有效值表示，规范中的剩余电流也指 RCD 检测仪模拟产生的剩余电流）。

3.3 剩余动作电流 residual operating current

使 RCD 在规定条件下动作的剩余电流值。

3.4 剩余不动作电流 residual non-operating current

在该电流或低于该电流时，RCD 在规定条件下不动作的剩余电流值。

3.5 分断时间 break time of RCD

从突然施加剩余动作电流瞬间起到所有极电弧熄灭瞬间为止所经过的时间间隔。

3.6 脉动直流电流 pulsating direct current

在每一个额定工频周期内，用角度表示至少为 150° 的一段时间间隔内，电流值为 0 或不超过直流 6 mA 的脉动波形电流。

3.7 电流滞后角 current delay angle

通过相位控制，使电流导通的起始时刻滞后的用角度表示的时间。

注：试验用剩余电流波形有正弦交流电流和脉动直流电流，正弦交流电流信号起始点一般以相位表示，脉动直流电流信号起始点一般以电流滞后角表示。每一个工频周期内，电流滞后角为 0° 时，脉动直流波形为正弦波半波，称为半波整流脉动直流电流，持续时间用角度表示为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ；滞后角为 90° 时，波形为正弦半波的一半，持续时间为 $90^\circ \sim 180^\circ$ ；滞后角为 135° 时，波形为正弦半波四分之一，持续时间为 $135^\circ \sim 180^\circ$ 。脉动直流电流持续期间电流瞬时值大于零的是正极性脉冲，电流瞬时值小于零的是负极性脉冲。

4 概述

RCD 检测仪可以模拟产生剩余电流，是用于检测 RCD 的剩余动作电流、剩余不动作电流和不同剩余动作电流下分断时间的计量仪器，RCD 检测仪分在线检测型和离线检测型。在线检测型一般用于在线检测供电回路已安装运行中的 RCD 的动作特性，产生的剩余电流作为检测中 RCD 的负载功率被消耗，定点输出的剩余电流用来测量 RCD 的分断时间和剩余不动作电流，自动测量功能一般输出步进增加的模拟剩余电流，用来测量 RCD 的剩余动作电流。在线检测型 RCD 检测仪输出剩余电流持续时间一般为 $(40 \sim 2\,000) \text{ ms}$ ；离线检测型适合于 RCD 离线状态下的批量检测，一般具有独立的剩余电流产生回路和输出端口，剩余电流一般可以在输出范围内连续调整且可在较长时间（至 10 s）内或持续输出，具有分断时间和剩余电流测量功能选择。RCD 检测仪原理框图如图 1。

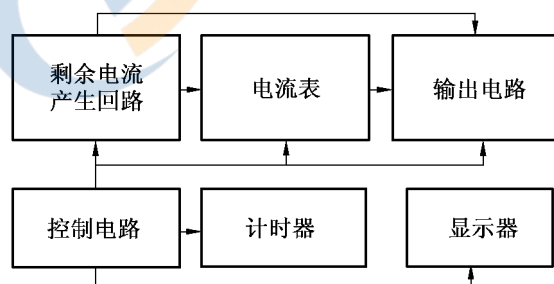


图 1 RCD 检测仪原理框图

分断时间测量时，RCD 检测仪对 RCD 突然施加剩余动作电流，RCD 检测仪的计时器测量突然施加剩余动作电流至 RCD 动作的时间间隔即为 RCD 的动作时间；剩余动作电流测量时，RCD 检测仪以一定速率输出一连续或步进增加的剩余电流，RCD 检测仪记录的 RCD 动作时的剩余电流即为 RCD 的剩余动作电流；剩余不动作电流测量时，RCD 检测仪输出额定剩余动作电流 0.5 倍的剩余电流且持续一段时间（ $\geq 300 \text{ ms} \sim 500 \text{ ms}$ ），持续时间内 RCD 不动作即可确定剩余不动作电流符合要求。

5 计量特性

5.1 分断时间

测量范围：(20~5 000) ms

最大允许误差：±4 ms，分断时间<40 ms

±10%×读数，分断时间≥40 ms

分辨力：≤1 ms

5.2 剩余电流

输出范围：(3~1 500) mA

最大允许误差：±(3.5%~10%)×读数

注：1. 以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

2. 计量特性以产品技术指标为准。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度

(15~28)℃

6.1.2 相对湿度

(30~75)%

6.1.3 电源

电压：220 (1±5%) V

频率：50 (1±1%) Hz

失真度：≤2%

6.1.4 无影响正常工作的机械振动和电磁干扰

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 定时分断开关（以下简称分断开关）

a) 能以施加标称剩余动作电流起始点为定时起始时刻，按设定的时间间隔分断电路，设定的时间间隔作为标准分断时间校准 RCD 检测仪的分断时间。

b) 分断时间范围

(20~5 000) ms

c) 分断时间最大允许误差

±(0.1%×T+1) ms

式中：T——分断时间设置值。

d) 分辨力

≤10 ms

e) 分断能力

≥500 mA

6.2.2 真有效值电流表（以下简称电流表）

a) 测量范围

(0~3 000) mA

b) 最大允许误差

$\pm (1\% \sim 3\%) \times \text{读数}$

c) 分辨力

0.01 mA 或相对于读数 $\leq 0.1\%$

6.2.3 数字存储示波器（以下简称示波器）

a) 带宽

≥ 20 MHz

b) 垂直分辨力

≥ 11 位或具有高分辨力采集模式

c) 电压有效值测量最大允许误差

$\pm 1.5\% \times \text{读数}$ （垂直偏转系数 100 mV/格~5 V/格时）

d) 时间间隔测量最大允许误差

$\pm (0.1\% \times t + 1)$ ms

式中： t ——时间间隔测量值。

e) 记录长度

≥ 100 k 采样点

6.2.4 标准交流电阻箱或无感电阻（以下简称取样电阻）

a) 电阻范围

(0.5~2 000) Ω

b) 最大允许误差

$\pm 0.1\%$

c) 温度系数

优于 $\pm 0.0025\%/^{\circ}\text{C}$

d) 功率符合测量剩余电流要求

6.2.5 1:1 隔离变压器

a) 绝缘电阻

输入、输出间，输入、输出和外露可接近导体间 ≥ 20 M Ω 。

b) 绝缘强度

输入、输出间，输入、输出和外露可接近导体间承受有效值 3 kV、50 Hz 正弦交流电 1 min 无飞弧、无击穿。

c) 输出功率符合被校准 RCD 检测仪要求

d) 无附加波形失真

6.2.6 分断开关、电流表、取样电阻等校准设备组成的校准电路电感应可以忽略不计，且无附加波形失真。

6.2.7 RCD 检测仪校准装置

技术指标符合 6.2.1、6.2.2、6.2.6 要求。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

RCD 检测仪外观无缺陷，不应有影响正常工作的机械损伤；输入、输出插座牢固；按键操作方便、灵活可靠；显示清晰完整；标记准确并符合相关要求。

7.2 分断时间校准

使用 RCD 检测仪校准装置校准时按仪器说明书连接设备；使用其他设备校准时离线检测型 RCD 检测仪按图 2 连接设备，有接地线的在线检测型 RCD 检测仪按图 3 连接设备，无接地线的在线检测型 RCD 检测仪按图 4 连接设备。

分断开关设置剩余动作电流与测量值一致，RCD 检测仪产生剩余电流启动分断开关计时，电路分断后记录 RCD 检测仪测量分断时间。



图 2 离线检测型 RCD 检测仪校准

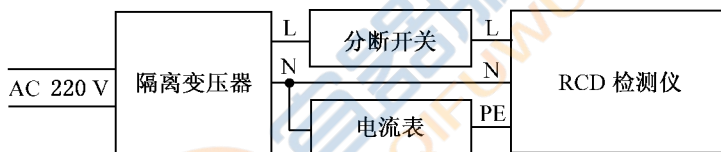


图 3 有接地线在线检测型 RCD 检测仪校准

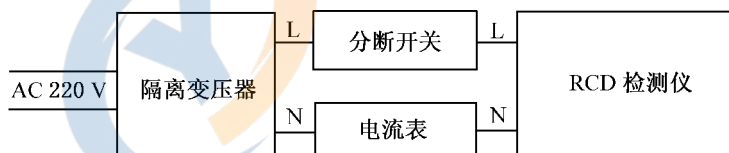


图 4 无接地线在线检测型 RCD 检测仪校准

7.2.1 设置 RCD 检测仪剩余电流（未作特别说明时均指正弦交流电流） $1 \times 30 \text{ mA}$ ，相位 0° ，分断开关设置分断时间 20 ms，50 ms，100 ms，200 ms，500 ms，1 s，2 s，5 s 或接近值校准分断时间，每点测量一次。最大分断时间选择 $(0.9 \sim 0.95) \tau$ （ τ 为 RCD 检测仪测量分断时间最大值）且不必超过 5 s。

7.2.2 RCD 检测仪剩余电流相位设置为 180° ，按 7.2.1 时间点校准分断时间。

7.2.3 改变 RCD 检测仪剩余电流值，相位设置为 0° ，电流 $1 \times I_{\Delta n}$ （ $I_{\Delta n}$ 为国家标准的 RCD 的额定剩余动作电流标准值，指 30 mA 及其以下值），在 6 mA，10 mA，100 mA，200 mA，300 mA，500 mA，1 A 中选择两个剩余电流值，按 7.2.1 时间点校准分断时间。

7.2.4 设置 RCD 检测仪剩余电流 30 mA 和 $I_{\Delta n}$ 中其他两点，相位设置为 0° ，在 $5 \times I_{\Delta n}$ （或 $1 \times I_{\Delta n}$ 相同电流值）按 7.2.1 时间点校准分断时间，测量最大值不必超过 500 ms。

7.2.5 设置 RCD 检测仪剩余电流 30 mA，电流滞后角设置 0° ，选择脉动直流电流功能，在 $2 \times I_{\Delta n}$ （或 $1.4 \times I_{\Delta n}$ 或 $1 \times I_{\Delta n}$ 相同电流值）按 7.2.1 时间点校准分断时间，正极性脉冲、负极性脉冲各测量一次。

7.2.6 RCD 检测仪分断时间测量功能输出剩余电流应与标称值一致，如有显著差异应在报告中注明。

7.3 剩余电流校准

7.3.1 按图 2、图 3 或图 4 连接设备，RCD 检测仪剩余电流相位设置为 0° 或 180° ，分断开关设置剩余动作电流和分断时间适当。一般设置剩余动作电流同测量值一致，只要电流表测量误差满足要求，分断时间应尽量短， $0.5 \times I_{\Delta n}$ 、 $1 \times I_{\Delta n}$ 校准时一般设置分断时间（100~500）ms， $5 \times I_{\Delta n}$ 测量时设置（20~200）ms。

7.3.2 剩余电流连续可调的 RCD 检测仪，在剩余电流测量状态，按 5 mA，10 mA，15 mA，30 mA，50 mA，100 mA，150 mA，200 mA，300 mA，500 mA，1 A，1.5 A 或接近值校准剩余电流，每点测量一次。

7.3.3 剩余电流定点输出的 RCD 检测仪在 $0.5 \times I_{\Delta n}$ ， $1 \times I_{\Delta n}$ ， $2 \times I_{\Delta n}$ ， $5 \times I_{\Delta n}$ 校准各点剩余电流，每点测量一次。

7.3.4 设置 RCD 检测仪剩余电流 30 mA，选择脉动直流电流功能，电流滞后角设置 0° ，在 $0.5 \times I_{\Delta n}$ 和 $2 \times I_{\Delta n}$ （或 $1.4 \times I_{\Delta n}$ 或 $1 \times I_{\Delta n}$ 相同电流值）校准剩余电流，正极性脉冲、负极性脉冲各测量一次。

7.3.5 改变电流滞后角为 90° 、 135° ，重复 7.3.4。

7.3.6 设置 RCD 检测仪剩余电流 30 mA，选择半波整流脉动直流电流（叠加 6 mA 平滑直流电流）功能，在 $0.5 \times I_{\Delta n}$ 和 $2 \times I_{\Delta n}$ （或 $1.4 \times I_{\Delta n}$ 或 $1 \times I_{\Delta n}$ 相同电流值）校准剩余电流，正极性脉冲、负极性脉冲各测量一次，记录剩余电流值和平滑直流电流分量值。

7.3.7 设置 RCD 检测仪剩余电流 30 mA，相位 0° 或 180° ，设置分断开关剩余动作电流 30 mA、分断时间 200 ms，在自动测量状态校准剩余电流，校准可只测量一次，分别记录 RCD 检测仪显示值和电流表测量值。

7.3.8 剩余电流波形验证。

7.3.8.1 按图 2、图 3 或图 4 连接设备，按图 2 连接设备时，RCD 检测仪电源应使用隔离变压器同市电隔离。以取样电阻替代电流表，适当选择取样电阻，使剩余电流在取样电阻上压降 >1 V，取样电阻上的电压接入示波器，信号取样部分设备连接如图 5 所示。设置分断开关剩余动作电流、分断时间适当，示波器设置为：高分辨力采集模式，记录长度 ≥ 100 k 采样点，带宽限制 20 MHz，耦合方式直流，输入阻抗 $1\text{ M}\Omega$ ，扫描时间系数、垂直偏转系数适当，使示波器能记录到全部剩余电流脉冲，屏幕显示波形幅度大于 5 格。



图 5 信号取样部分设备连接图（图中 R 为取样电阻）

7.3.8.2 查看剩余电流波形，应为正弦波且无明显波形畸变，初始相位应与标称值一致。

7.3.8.3 查看剩余脉动直流电流波形，电流滞后角应与标称值一致；在每一个额定工频周期内，用角度表示至少为 150° 的一段时间间隔内电流值为 0 或不超过直流 6 mA；剩余交流电流或剩余脉动直流电流叠加的平滑直流电流应与标称值一致。

7.4 使用示波器校准

如果分断开关不能给出准确分断时间，或者对于特定的剩余电流波形电流表不能测量出有效值电流时，可以使用示波器测量。

7.4.1 设备连接、设置同 7.3.8.1。

记录完整剩余电流脉冲，按示波器停止键冻结波形，打开光标测量，使用时基放大功能使光标步进量 $< 0.1 \text{ ms}$ ，光标分别置于剩余电流脉冲起始点和终止点，使用 Δt 测量功能测量分断时间。

Δt 测量分辨力大于 1 ms 时，使用两个光标分别测量出脉冲起始点和终止点坐标 t_1 、 t_2 ，分断时间由 $t = t_2 - t_1$ 计算。直接测量出的坐标一般并不是准确坐标值，需要修正，坐标测量和修正方法见附录 C。

7.4.2 调整示波器水平扫描时间系数，在屏幕上显示几个完整波形，打开有效值电压测量功能，垂直光标分别置于需要测量信号的起始点和终止点，两光标之间时间间隔应为测量信号周期整数倍，选择测量介于光标之间有效值，按取样电阻值换算成剩余电流值。

7.5 测量剩余电流值较大时，应考虑分断开关分断能力，校准与分断时间无关量时，可使用短路线短路分断开关。

注：1. 对于可以工作在 110 V、380 V 或其他特定电源下的 RCD 检测仪，使用隔离变压器或工频电源输出相应电压和频率的电源，根据用户要求校准分断时间和剩余电流；对于可以产生 5 A~500 A 剩余电流的 RCD 检测仪，使用 0.1 级以上电流互感器替代校准电路中电流表，按 1、2、5 的序列或用户要求校准 $\geq 5 \text{ A}$ 剩余电流。

2. 可以使用真有效值响应电压表测量有效值电压校准剩余电流。

8 校准结果表达

校准后的 RCD 检测仪出具校准证书或校准报告，校准证书或报告应至少应包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告编号，每页及总页数的标识；
- e) 委托方名称和地址；
- f) 被校准 RCD 检测仪信息；
- g) 校准日期；
- h) 校准所依据技术规范的标识；
- i) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境条件；

- k) 校准结果及其测量不确定度，校准结果给出标准值、测量值、标称值、实际值；
- l) 校准、核验等签名标识；
- m) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

由用户根据使用情况自主决定，一般建议复校时间间隔为 1 年。



附录 A

校准证书内页格式

1. 分断时间校准（正弦交流）

标准值/ms	测量值/ms				测量结果 不确定度
	$1 \times 30 \text{ mA}/0^\circ$	$1 \times 30 \text{ mA}/180^\circ$	$1 \times \text{mA}/0^\circ$	$1 \times \text{mA}/0^\circ$	
20					
50					
100					
200					
500					
1 000					
2 000					
5 000					

标准值/ms	测量值/ms			测量结果 不确定度
	$5 \times 30 \text{ mA}/0^\circ$	$5 \times \text{mA}/0^\circ$	$5 \times \text{mA}/0^\circ$	
20				
50				
100				
200				
500				

脉动直流

标准值/ms	测量值/ms		测量结果 不确定度
	$2 \times 30 \text{ mA}/0^\circ$ （正极性脉冲）	$2 \times 30 \text{ mA}/0^\circ$ （负极性脉冲）	
20			
50			
100			
200			
500			
1 000			
2 000			
5 000			

2. 剩余电流校准（正弦交流）

标称值		实际值/mA	测量结果 不确定度
电流倍乘×	电流/mA		

自动测量功能

标称值	显示值/mA	实际值/mA	测量结果不确定度
1×30 mA/自动			

脉动直流

标称值		实际值/mA		测量结果 不确定度
电流倍乘×	电流/mA	正极性脉冲	负极性脉冲	
0.5	30/0°			
2	30/0°			
0.5	30/90°			
2	30/90°			
0.5	30/135°			
2	30/135°			

半波整流脉动直流（叠加 6 mA 平滑直流电流）

标称值		实际值/mA		测量结果 不确定度
电流倍乘×	电流/mA	正极性脉冲	负极性脉冲	
0.5	30			
2	30			
平滑直流分量				

3. 剩余电流波形验证

正弦交流相位	标称值	实际值
	0°	
	180°	
脉动直流电流滞后角	0°	
	90°	
	135°	
半波整流脉动直流电流波形		
叠加平滑直流电流信号波形		



附录 B

测量结果不确定度评定

B.1 分断时间测量不确定度评定

B.1.1 测量方法

定时分断开关以 RCD 检测仪输出的标称剩余动作电流起始点为定时起始时刻延迟标准分断时间 T_0 后分断电路，RCD 检测仪以其产生标称剩余动作电流起始点为计时起始时刻，电路分断后计时停止，测量出的时间间隔 T 即为本次测量的分断时间。

B.1.2 数学模型

RCD 检测仪测量的分断时间 T 可表示为

$$T = T_i$$

式中： T_i ——第 i 次测量值。

B.1.3 评定不确定度分量

测量结果的不确定度由定时分断开关给出标准分断时间贡献的不确定度分量和被校准 RCD 检测仪测量量值时本身贡献的不确定度分量构成。

B.1.3.1 标准分断时间 T_0 的不确定度分量

分断开关的产生的标准分断时间不确定度来源主要有：对施加的剩余动作电流起始点的判断误差、计时误差和电路分断器件分断电路时的延迟误差，当剩余电流为正弦交流电流时由于信号过零点的噪声等原因对起始点判断的误差最大，一般可以 < 0.5 ms，电路分断器件可以保证延迟时间 < 0.3 ms，两项误差综合后误差可以保证 < 1 ms。校准时使用的分断开关的标准分断时间最大允许误差为 $\pm(0.1\% \times T + 1)$ ms，以典型值 100 ms 为例，最大允许误差为 $\pm(0.1\% \times 100 + 1)$ ms = ± 1.1 ms，其分布可视为均匀分布，标准不确定度为

$$u_1 = \frac{1.1 \text{ ms}}{\sqrt{3}} = 0.635 \text{ ms}$$

由于分断开关最大允许误差为正常使用条件的最大误差，因此在校准条件下其他分量可以忽略不计。

B.1.3.2 RCD 检测仪分断时间测量贡献的不确定度分量

RCD 检测仪分断时间测量不确定度分量有测量分辨力贡献的不确定度分量和测量重复性贡献的不确定度分量，由于校准是在实验室条件下且在较短时间内完成，温度、电源等条件的变化不至于引起测量值的明显改变，这些因素的不确定度分量可以忽略。

测量分辨力的不确定度分量

RCD 检测仪分断时间测量分辨力为 1 ms，其分布为均匀分布，标准不确定度为

$$u_{21} = \frac{1 \text{ ms}}{\sqrt{3}} = 0.577 \text{ ms}$$

测量重复性的不确定度分量

校准一台典型 RCD 检测仪 100 ms 分断时间，重复测量 10 次，测量值为

101, 101, 101, 101, 101, 100, 101, 101, 101, 101 (ms)

重复性贡献的不确定度分量

$$u_{22} = 0.316 \text{ ms}$$

由于 u_{22} 中包含有分辨力贡献的不确定度分量, u_{21} 、 u_{22} 两项是重复项, 取较大一项, 测量量值不确定度分量为

$$u_2 = 0.577 \text{ ms}$$

B.1.4 不确定度分量一览表

i	标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	测量结果分布	标准不确定度分量值
1	u_1	标准设备	均匀	0.635 ms
2	u_{21}	被校准测量分辨力	均匀	0.577 ms
3	u_{22}	被校准测量重复性	正态	0.316 ms

B.1.5 合成标准不确定度

两个分量互不相关, 合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.635^2 + 0.577^2} \text{ ms} = 0.858 \text{ ms}$$

B.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.858 \text{ ms} = 1.7 \text{ ms} \approx 2 \text{ ms}$$

B.2 剩余电流测量不确定度评定

B.2.1 测量方法

分断开关设置剩余动作电流同测量剩余电流一致, 因大部分 RCD 的分断时间 $\leq 100 \text{ ms}$, 设置分断开关分断时间 100 ms , 电流表在剩余电流持续时间内测量剩余电流有效值。

B.2.2 数学模型

RCD 检测仪测量的剩余电流 I 可表示为

$$I = I_i$$

式中: I_i ——第 i 次测量值。

B.2.3 评定标准不确定度分量

测量结果不确定度由有效值电流表测量误差贡献的不确定度分量和测量重复性贡献的不确定度分量构成。

B.2.3.1 有效值电流表测量剩余电流标准不确定度分量

因为有效值电流表需要在很短的剩余电流持续时间内测量出剩余电流的有效值, 测量准确度不会太高, 一般可以保证测量误差绝对值相对于测量值 $\leq 1\%$, 校准时使用的有效值电流表测量最大允许误差为 $\pm 1\%$, 其分布为均匀分布, 测量 30 mA 时, 标准不确定分量为

$$u_1 = \frac{1\% \times 30 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0.173 \text{ mA}$$

由于有效值电流表测量分辨力相对于读数 $\leq 0.1\%$ ，远小于 u_1 ，因此可以忽略，测量允许误差为正常使用条件的最大误差，因此在校准条件下其他分量可以忽略不计。

B.2.3.2 剩余电流测量重复性引入标准不确定度分量 u_2

校准一台典型 RCD 检测仪剩余电流，在 30mA 点重复测量 10 次

31.70, 31.68, 31.63, 31.69, 31.70, 31.65, 31.71, 31.72, 31.67, 31.73 (mA)

测量重复性引入的标准不确定度分量为 $u_2 = 0.031$ mA

B.2.4 不确定度一览表

i	标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	测量结果分布	标准不确定度分量值
1	u_1	标准设备	均匀	0.173 mA
2	u_2	测量重复性	正态	0.031 mA

B.2.5 合成标准不确定度

两个分量互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.173^2 + 0.031^2} \text{ mA} = 0.176 \text{ mA}$$

B.2.6 扩展不确定度

合成标准不确定度由一项均匀分布的主要分量构成，则合成不确定度分布为均匀分布，取 $p=95\%$ ，包含因子 $k=1.65$ ，扩展不确定度为

$$U_{95} = u_c \times 1.65 = 0.176 \text{ mA} \times 1.65 = 0.29 \text{ mA}$$

相对于测量值 30 mA，相对不确定度为

$$U_{95\text{rel}} = 0.29 \text{ mA} \times 100\% / 30 \text{ mA} = 0.97\% \approx 1.0\%$$

附录 C

数字存储示波器时间坐标测量和修正方法

记录需要测量信号，使用 stop 冻结信号，采用时基放大功能把需要测量点细节放大，以光标 1 作为主光标，光标 2 为辅助光标，移动辅助光标至要测量的位置，从辅助光标内侧向远离坐标原点方向缓慢移动主光标，使 Δt 小于主光标末位一个字代表的时间间隔，至主光标末位恰好为整数位置时停止，此时主光标读数 + Δt 就是辅助光标，即测量点的坐标。

数字存储示波器显示光标的时间坐标由于屏幕分辨力限制，实际显示值是不连续的，当光标坐标末位一个字时间间隔大于光标最小步进量时，坐标数（不计小数点的坐标数值）由 999→100→101 即光标时间坐标分辨力改变时，坐标值有一跳变量，坐标是由 100.550 直接跳变至 101，由于坐标是从 0 开始直至可以记录的最大值，这种跳变是连结累加的，也需要累加修正，修正量为 $\pm (\cdots + 45 \text{ ps} + 450 \text{ ps} + 4.5 \text{ ns} + 45 \text{ ns} + 450 \text{ ns} + 4.5 \text{ } \mu\text{s} + \cdots + 45 \text{ ms} + \cdots)$ ，即当测量点光标坐标值前三位 ≥ 101 时，修正量为第三位的 -0.5 个单位，坐标值前三位 = 100 时，修正量为光标坐标第三位的 -0.05 个单位。

这是一般示波器的时间坐标修正方法，使用前应使用标准时间间隔发生器验证示波器是否符合这种变化规律。