

JJF (电子)

中华人民共和国工业和信息化部计量技术规范

JJF (电子) 0004—2015

安规综合测试仪校准规范

Calibration Specification for Safety Parameter Tester

2015-10-31 发布

2015-12-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

安规综合测试仪校准规范

Calibration Specification for

Safety Parameter Tester

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
> JJF (电子) 0004-2015
> 代替 JJG (电子) 05048-91
> XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

归口单位：电子计量技术委员会

起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

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：

陆 强 (中国电子科技集团公司第二十研究所)

武丽仙 (中国电子科技集团公司第二十研究所)

朱毅勇 (中国电子科技集团公司第二十研究所)

目 录

引 言	94
1 范围	95
2 概述	95
3 计量特性	95
3.1 耐电压直流电压	95
3.2 耐电压交流电压	95
3.3 击穿报警电流	96
3.4 电压持续时间	96
3.5 绝缘试验电压	96
3.6 绝缘电阻	96
3.7 接地导通试验电流	96
3.8 接地导通电阻	96
3.9 泄漏试验电压	96
3.10 泄漏电流	96
4 校准条件	96
4.1 环境条件	96
4.2 测量标准及其它设备	96
5 校准项目及校准方法	97
5.1 工作正常性检查	97
5.2 耐电压直流电压校准	97
5.3 耐电压交流电压校准	98
5.4 击穿报警电流校准	98
5.5 耐电压持续时间校准	99
5.6 绝缘试验电压校准	99
5.7 绝缘电阻示值校准	100
5.8 接地导通试验电流校准	100
5.9 接地导通电阻校准	101

5.10 接地导通报警预置电阻校准	101
5.11 泄漏试验电压校准	102
5.12 泄漏电流校准	102
6 校准结果表达	104
7 复校时间间隔	104
附录 A 校准记录格式	105
附录 B 测量不确定度评定示例	109

引言

本规范编制依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》中要求进行编写, 测量不确定度评定部分依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行编写, 替代 JJG (电子) 05048-91《DA-1 型电气安全参数测试仪试行检定规程》。

与 JJG (电子) 05048-91 相比, 除按照 JJF 1071-2010 对章节进行调整编辑外, 主要技术变化如下:

- 适用范围为安规综合测试仪, 去掉了型号限制;
- 重新限定了安规综合测试仪的计量特性 (见 3);
- 增加了耐电压测试功能特性参数的校准 (见 5.2~5.7);
- 增加了接地导通报警预置电阻的校准 (见 5.12);
- 采用了新的校准条件和校准方法 (见 5);

安规综合测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于安规综合测试仪的首次校准、后续校准和使用中的检验。

2 概述

安规综合测试仪是测试被测件是否满足相应电气安全要求的仪器, 主要包含向被测件输出需要的交直流试验电压或电流, 设定报警门限电流或电阻, 试验达到设定的时间自动切断输出等功能。

安规综合测试仪主要由基准电压、基准电流、电压调节器、电流调节器、电压测量、电流测量、声光报警、指示装置、控制单元等模块组成, 用于对各类电器、电子设备进行绝缘、耐电压、接地导通和泄漏电流测试, 其组成框图如图 1 所示。

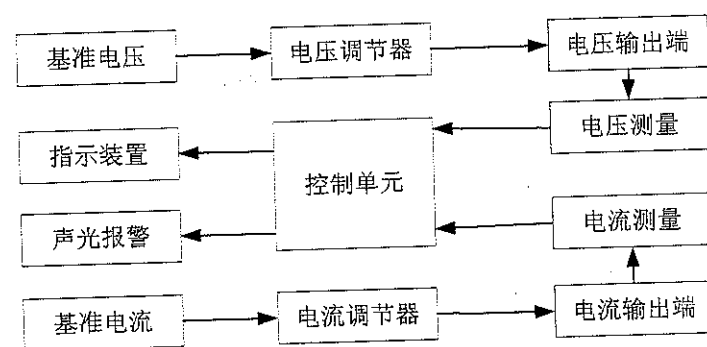


图 1 安规综合测试仪组成框图

3 计量特性

3.1 耐电压直流电压

范围: 0.1kV~6kV, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

3.2 耐电压交流电压

范围: 0.1kV~5kV, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

3.3 击穿报警电流

范围: 0.05mA~50mA, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

3.4 电压持续时间

范围: 1s~999.9s, 最大允许误差: $\pm 5\%$ 。

3.5 绝缘试验电压

范围: 10V~1000V, 最大允许误差: $\pm 10\%$ 。

3.6 绝缘电阻

测量范围: $1\text{M}\Omega \sim 10\text{G}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 20\%$ 。

3.7 接地导通试验电流

范围: 3A~30A (50Hz), 最大允许误差: $\pm 5\%$ 。

3.8 接地导通电阻

测量范围: $10\text{m}\Omega \sim 600\text{m}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

3.9 泄漏试验电压

泄漏试验电压最大允许误差为 $\pm 5\%$ 。

3.10 泄漏电流

测量范围: 0.05mA~10mA, 最大允许误差: $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

4.1.2 相对湿度: 35%~65%。

4.1.3 供电电源: $(220 \pm 11)\text{V}$, $(50 \pm 1)\text{Hz}$, 电源波形失真 $\leq 5\%$ 。

4.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

4.1.5 应配备保障校准人员安全的绝缘橡胶垫、手套和良好的接地线。

4.2 测量标准及其它设备

4.2.1 耐电压测试仪校准装置:

a) 交流电压测量范围: 0.1kV~5kV, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

b) 直流电压测量范围: 0.1kV~6kV, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

c) 电流测量范围: 0.05mA~50mA, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

d) 电压持续时间测量范围: 0.1s~999.9s, 最大允许误差: $\pm 1\%$ 。

4.2.2 数字多用表:

a) 直流电压测量范围: 1V~1000V, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

b) 交流电压测量范围: 1V~700V, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

c) 直流电流测量范围: 0.05mA~20mA, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

d) 交流电流测量范围: 0.05mA~20mA, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$ 。

4.2.3 高压负载电阻

额定电压: 不小于 500V; 电阻范围: $10\text{k}\Omega \sim 10\text{M}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 5\%$ 。

4.2.4 兆欧表标准电阻器

额定电压: 不小于 1000V; 电阻范围: $1\text{M}\Omega \sim 10\text{G}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 5\%$ 。

4.2.5 标准电阻箱 (四端)

额定电流: 30A; 电阻范围: $10\text{m}\Omega \sim 600\text{m}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$ 。

4.2.6 标准电压源

电压范围: 10mV~20V, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$ 。

4.2.7 可调稳压/稳流源:

a) 电压范围: 10V~250V, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$;

b) 电流范围: 0.05mA~10mA, 最大允许误差: $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$ 。

5 校准项目及校准方法

5.1 工作正常性检查

安规综合测试仪应有保证正确使用的必要标志, 不应有引起测量错误和影响安全性能的缺陷, 不允许有影响计量性能和操作安全的外观缺陷, 应具有预置功能、切断功能和报警功能, 能够正常工作, 将检查结果记录于附录 A “工作正常性检查” 项中。

5.2 耐电压直流电压校准

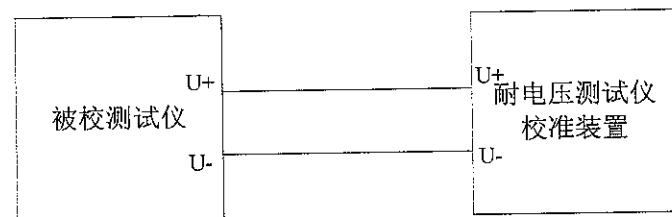


图2 耐电压输出电压校准的连接示意图

5.2.1 采用直接测量法,按照图2将被校测试仪耐压输出端与耐电压测试仪校准装置的电压测量端直接连接。

5.2.2 被校测试仪的校准点选取,最大量程应在10%~100%量程范围均匀选取不少于5点,其余量程选取不少于3点。

5.2.3 将被校测试仪设置为直流耐压输出,校准装置设置为直流电压测量。调节被校测试仪输出电压至校准点 U_x ,读取校准装置直流电压示值 U_n ,将数据记录于附录A表A.1中。

5.3 耐电压交流电压校准

5.3.1 采用直接测量法,按照图2将被校测试仪耐压输出端与耐电压测试仪校准装置的电压测量端直接连接。

5.3.2 被校测试仪的校准点选取,最大量程应在10%~100%量程范围均匀选取不少于5点,其余量程选取不少于3点。

5.3.3 将被校测试仪设置为交流耐压输出,校准装置设置为交流电压测量。调节被校测试仪输出电压至校准点电压 U_x ,读取校准装置交流电压示值 U_n ,数据记录于附录A表A.2中。

5.4 击穿报警电流校准

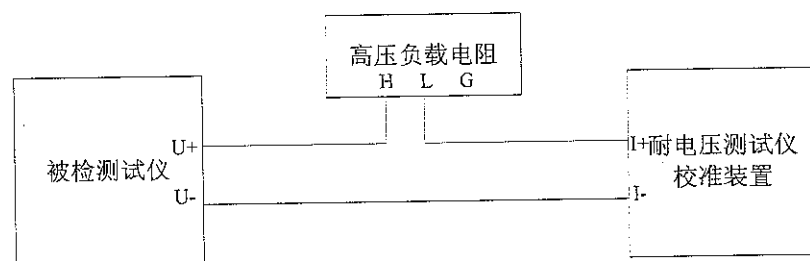


图3 耐电压击穿报警电流校准的连接示意图

5.4.1 采用直接测量法,按照图3将被校测试仪耐压输出端经高压负载电阻与耐电

压测试仪校准装置的电流测量端连接成闭合回路。

5.4.2 根据被校测试仪击穿报警电流范围均匀选取3~5个校准点,设定击穿报警电流门限值 I_x 。

5.4.3 设置高压负载电阻阻值,应使得回路电流达到设定击穿报警电流门限时,被校测试仪的输出电压不大于高压负载电阻的额定电压,不小于被校测试仪额定电压的十分之一,且不小于500V。

5.4.4 设置被校测试仪为交流输出,耐电压测试仪校准装置为交流电流测量。

5.4.5 启动被校测试仪输出,缓慢调节测试仪输出电压,并注意观察校准装置电流读数,当回路电流增大到被校测试仪发出警报并切断输出时读取校准装置电流测量值 I_n ;或者设置校准装置保持当前回路最大电流值,测试仪切断输出时校准装置所保持示值即为电流测量值 I_n ,将数据记录于附录A表A.3中。

5.4.6 设置被校测试仪直流输出,校准装置为直流电流测量,重复5.4.5步骤,对直流模式下击穿报警电流进行校准,数据记录于附录A表A.3中。

5.5 耐电压持续时间校准

5.5.1 采用直接测量法,按照图2将被校测试仪耐压输出端与耐电压测试仪校准装置的电压测量端直接连接。

5.5.2 设置被校测试仪为定时方式,调节被校测试仪交流输出电压大于校准仪计时触发电压,按时间设置范围均匀选取3~5个校准点,设置定时时间为校准点 T_x 。

5.5.3 启动被校测试仪电压输出,当测试仪自动切断输出后,由耐电压测试仪校准装置读取电压持续时间示值 T_n ,将数据记录于附录A表A.4中。

5.6 绝缘试验电压校准

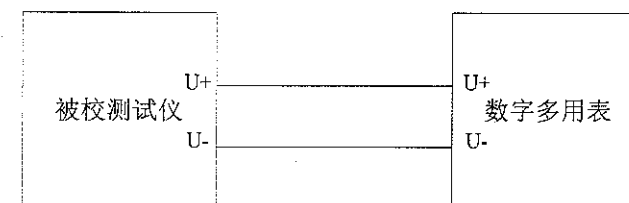


图4 绝缘试验电压校准的连接示意图

5.6.1 采用直接测量法,按照图4将被校测试仪绝缘输出端与数字多用表电压测量端直接连接。

5.6.2 根据被校测试仪的绝缘试验电压范围均匀选取校准 3~5 个校准点。设置试验电压启动被校测试仪输出, 读取数字多用表电压测量值, 将数据记录于附录 A 表 A.5 中。

5.7 绝缘电阻校准

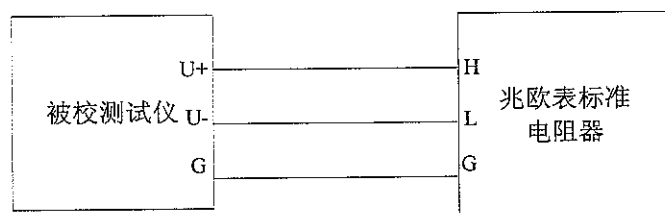


图 5 绝缘电阻示值校准的连接示意图

5.7.1 采用标准电阻器法, 按照图 5 将被校测试仪的绝缘测量端及屏蔽端与兆欧表标准电阻器的电阻端及屏蔽端分别连接。

5.7.2 绝缘电阻校准点选取, 在不同的试验电压量程内均匀的选取不少于 5 个校准点, 并包括下限和上限的接近值。

5.7.3 调节兆欧表标准电阻器的电阻值至校准点 R_n , 读取被校测试仪的示值 R_x , 将数据记录于附录 A 表 A.6 中。

5.8 接地导通试验电流校准

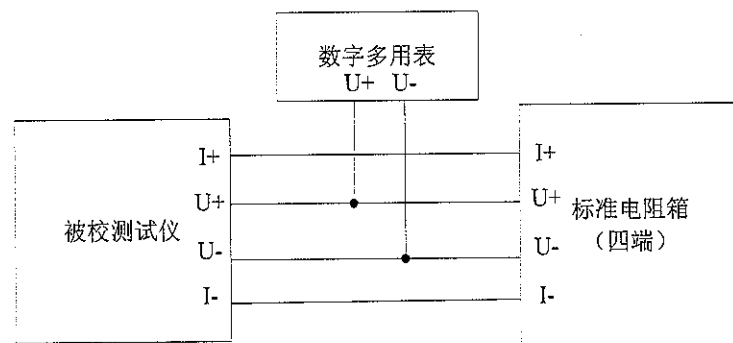


图 6 试验电流校准的连接示意图

5.8.1 采用标准数字表法, 按照图 6 将被校测试仪的电流输出端及电压采样端与四端标准电阻器连接, 将数字多用表电压测量端并联到四端标准电阻箱电压采样端。

5.8.2 根据被校测试仪试验电流范围, 均匀的选取不少于 3 个校准点, 并包括上限的接近值。设置标准电阻箱电阻值 R_n , 使得校准时, 流过电阻箱的电流值不大于其额定电流。

5.8.3 按照校准点设定试验电流 I_x , 读取数字多用表电压示值 U_n , 被校测试仪试验

电流的测量值 I_n 按照公式 (1) 计算。将数据记录于附录 A 表 A.7 中。

$$I_n = \frac{U_n}{R_n} \quad (1)$$

式中

I_n ——测试仪接地导通试验电流的测量值, A;

U_n ——数字多用表电压示值, V;

R_n ——标准电阻箱设定值, Ω 。

5.9 接地导通电阻校准

5.9.1 采用标准电阻箱法, 按照图 7 将被校测试仪电流输出端和电压采样端分别与四端标准电阻箱的电流端和电压端连接。

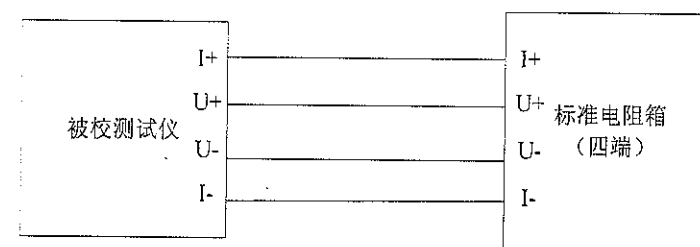


图 7 接地导通电阻示值校准的连接示意图

5.9.2 校准点选取, 在测试仪电阻基本量程内 (一般以 25A 为基本电流量程) 均匀的选取不少于 5 个校准点, 并包括上限和下限的接近值。其他量程的校准点不少于 2 点。

5.9.3 调节标准电阻箱电阻值至校准点, 待被校测试仪输出电流稳定后读取被校测试仪的电阻示值, 将数据记录于附录 A 表 A.8 中。

5.10 接地导通报警预置电阻校准

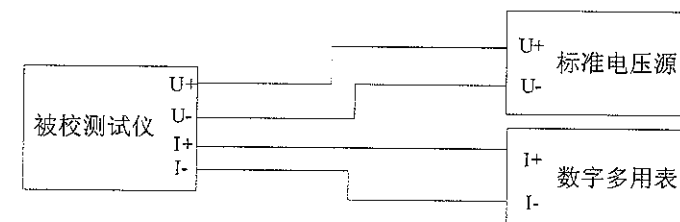


图 8 接地导通报警预置电阻校准的连接示意图

5.10.1 采用标准电压源法, 按照图 8 将被校测试仪电流输出端和数字多用表电流测

量端连接, 将测试仪电压采样端和标准电压源的电压输出端连接。

5.10.2 接地导通电阻预置误差一般在 $0.1\ \Omega$ 点校准, 可根据实际情况增加校准点。

5.10.3 由测试仪输出预定试验电流, 缓慢调节标准电压源接近校准点, 直至测试仪报警装置报警, 读取电压源电压值 U_n 和数字多用表电流值 I_n , 接地导通预置电阻测量值 R_n 按公式 (2) 计算, 数据记录于附录 A 表 A.9 中。

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} \quad (2)$$

式中:

R_n ——测试仪接地导通预置电阻的实际值, Ω ;

U_n ——标准电压源输出电压值, V;

I_n ——数字多用表电流测量值, A。

5.11 泄漏试验电压校准

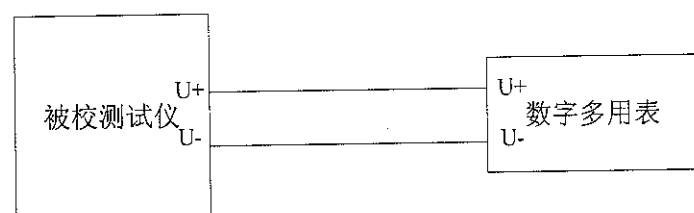


图9 泄漏试验电压校准的连接示意图

5.11.1 对自身提供泄漏试验电压的测试仪需要对其试验电压进行校准。采用直接测量法, 按照图9将被校测试仪泄漏试验电压输出端和数字多用表电压测量端直接连接。

5.11.2 对于可调节输出的测试仪试验电压校准点至少包含: 最大输出电压值、最小输出电压值、220V 输出电压值和 110V 电压值 (如果包括)。

5.11.3 按照由小到大的顺序设置输出电压值, 由数字多用表读取输出电压测量值, 数据记录于附录 A 表 A.10 中。

5.12 泄漏电流校准

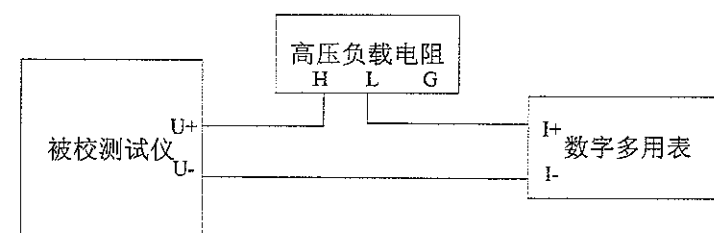


图10(a) 试验电压法校准泄漏电流的连接示意图

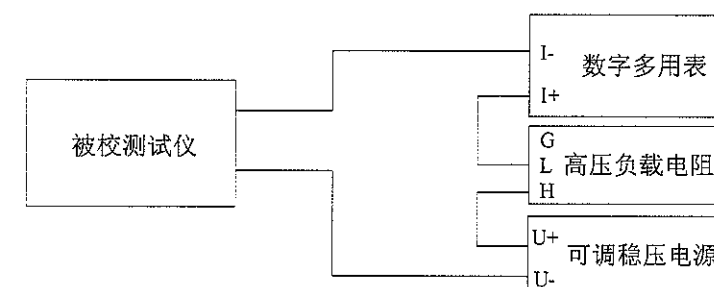


图10(b) 标准数字表法校准泄漏电流的连接示意图

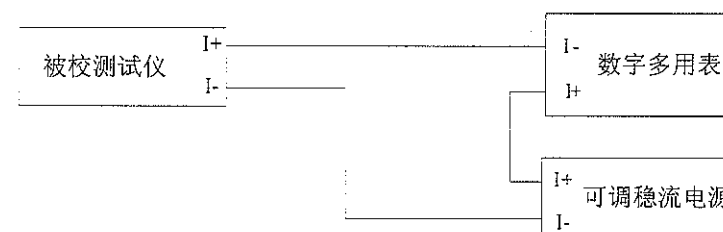


图10(c) 标准数字表法校准泄漏电流的连接示意图

5.12.1 对自身提供泄漏试验电压的测试仪, 泄漏电流的校准采用试验电压法, 按照图10(a)将被校测试仪试验电压端与高压负载电阻、数字多用表电流测量端连接为闭合回路。

5.12.2 在泄漏电流 20%~100%量程内均匀选取校准点, 且不少于 4 点。调节测试仪试验电压输出或调节高压负载电阻使得测试仪泄漏电流示值至校准点 I_x , 读取数字多用表泄漏电流的测量值 I_n , 将数据记录于附录 A 表 A.11 中。

5.12.3 对自身无泄漏试验电压的测试仪, 泄漏电流示值误差的校准可采用标准数字表法, 按照图10(b)或10(c)接线。

5.12.4 在泄漏电流 20%~100%量程内均匀选取校准点, 且不少于 4 点。调节稳压 (稳流) 电源输出或调节高压负载电阻使得测试仪泄漏电流示值至校准点 I_x , 读取数字多用表电流的测量值 I_n , 将数据记录于附表 A 表 A.11 中。

6 校准结果表达

校准完成后的测试仪应出具校准证书。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) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页和总页数的标识;
- 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。

7 复校时间间隔

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。建议复校时间间隔不超过 12 个月, 必要时可随时送校, 仪器修理或调整后应及时校准。

附录 A

校准记录格式

A.1 工作正常性检查

工作正常性: 正常 ☐ 不正常 ☐

A.2 校准结果

表 A.1 直流输出电压

示值/kV	测量值/kV	测量不确定度 (k=)

表 A.2 交流输出电压

示值/kV	测量值/kV	测量不确定度 (k=)

表 A.3 击穿报警电流

功能	示值/mA	测量值/mA	测量不确定度(k=)
交流 (50Hz)			
直流			

表 A.4 电压持续时间

示值/s	测量值/s	测量不确定度(k=)

表 A.5 绝缘试验电压

示值/V	测量值/V	测量不确定度(k=)

表 A.6 绝缘电阻

量程	标准值/MΩ	示值/MΩ	测量不确定度(k=)

表 A.7 接地导通试验电流

示值/A	电压测量值/V	电阻标准值/Ω	测量不确定度(k=)

表 A.8 接地导通电阻

量程	标准值/mΩ	示值/mΩ	测量不确定度(k=)

表 A.9 接地导通报警预置电阻

电流/A	设定值/mΩ	测量值/mΩ	测量不确定度(k=)

表 A.10 泄漏试验电压

示值/V	测量值/V	测量不确定度(k=)

表 A.11 泄漏电流

示值/mA	测量值/mA	测量不确定度(k=)

附录 B

测量不确定度评定

B.1 耐电压交流电压测量不确定度评定

B.1.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$U_x = U_0 + \Delta$$

式中:

U_x ——安规综合测试仪交流电压设定值;

U_0 ——耐电压测试仪校准装置交流电压测量值;

Δ ——电压设定值与电压测量值之差。

B.1.2 主要不确定度来源

B.1.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.1.2.2 耐电压测试仪校准装置测量电压有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.1.2.3 耐电压测试仪校准装置测量误差引入的标准不确定度分量。

B.1.3 标准不确定度分量评定

B.1.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪设置为交流耐电压输出, 设定值为 1.00kV, 由耐电压测试仪校准装置在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: kV):

1.013 1.014 1.015 1.015 1.016
1.015 1.016 1.016 1.015 1.015

$$\overline{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 1.015 \text{ kV}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \overline{X})^2}{10 \times (10 - 1)}} = 0.0003$$

B.1.3.2 由耐电压测试仪校准装置测量电压的有效位数取舍引入的标准不确定度分量

u_{B1}

按 B 类方法评定, 校准装置的修约区间为 0.001kV, 即 $\delta_x = 0.001/1$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.001}{1 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00029$$

B.1.3.3 耐电压测试仪校准装置交流电压测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 校准装置在 1.00kV 时的最大允许误差为: $\pm 0.2\%$ 读数 ± 2 个字, 即 $a = 0.004$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0024$$

B.1.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.0003^2 + 0.00029^2 + 0.0024^2} \approx 0.0024 = u_{B2}$$

B.1.5 扩展不确定度

因 $u_c \approx u_{B2}$, 所以 u_c 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则被校测试仪交流电压设定值为 1.00kV 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = \sqrt{3} \times 0.0024 = 0.42\%$$

B.2 耐电压直流电压测量不确定度评定

B.2.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$U_x = U_0 + \Delta \quad (\text{B.2})$$

式中:

U_x —— 安规综合测试仪直流电压设定值;

U_0 —— 耐电压测试仪校准装置直流电压测量值;

Δ —— 电压设定值与电压测量值之差。

B.2.2 主要不确定度来源

B.2.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.2.2.2 耐电压测试仪校准装置测量电压有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.2.2.3 耐电压测试仪校准装置测量误差引入的标准不确定度分量。

B.2.3 标准不确定度分量评定

B.2.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪设置为直流耐电压输出, 设定值为 1.00kV, 由耐电压测试仪校准装置在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: kV):

1.011	1.011	1.011	1.012	1.012
1.011	1.010	1.010	1.011	1.011

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 1.011 \text{ kV}$$

测量重复性引入标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10 - 1)}} = 0.0002$$

B.2.3.2 由耐电压测试仪校准装置测量电压的有效位数取舍引入的标准不确定度分量

u_{B1}

按 B 类方法评定, 校准装置的修约区间为 0.001kV, 即 $\delta_x = 0.001/1$, 按均匀分布,

取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.001}{1 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00029$$

B.2.3.3 耐电压测试仪校准装置交流电压测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 校准装置在 1.00kV 时的最大允许误差为: $\pm 0.2\%$ 读数 ± 2 个字,

即 $a = 0.004$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0024$$

B.2.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.0002^2 + 0.00029^2 + 0.0024^2} \approx 0.0024 = u_{B2}$$

B.2.5 扩展不确定度

因 $u_c \approx u_{B2}$, 所以 u_c 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则被校测试仪直流电压设定值为 1.00kV 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = \sqrt{3} \times 0.0024 = 0.42\%$$

B.3 击穿报警电流测量不确定度评定

B.3.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$I_x = I_0 + \Delta \quad (\text{B.3})$$

式中:

I_x ——安规综合测试仪电流设定值;

I_0 ——耐电压测试仪校准装置电流测量值;

Δ ——电流设定值与电流测量值之差。

B.3.2 主要不确定度来源

B.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量:

B.3.2.2 耐电压测试仪校准装置测量电流的有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.3.2.3 耐电压测试仪校准装置的测量误差引入的标准不确定度分量。

B.3.3 标准不确定度分量评定

B.3.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校安规综合测试仪击穿报警电流设定为 2.00mA, 由耐电压测试仪校准装置在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下(单位: mA):

2.006	2.008	2.009	2.010	2.006
2.002	2.006	2.009	2.010	2.009

其中:

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 2.0075 \text{ mA}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10-1)}} / 2 = 0.0004$$

B.3.3.2 耐电压测试仪校准装置测量电流的有效位数取舍引入的标准不确定度分量

u_{B1}

按 B 类方法评定, 校准装置的修约区间为 0.001mA, 即 $\delta_x = 0.001/2$, 按均匀分

布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.001}{2 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00014$$

B.3.3.3 耐电压测试仪校准装置测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 校准装置在 2.00mA 时的最大允许误差为: $\pm 0.2\%$ 读数 ± 2 个字, 即 $a = 0.006$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.006}{\sqrt{3}} = 0.0035$$

B.3.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.0004^2 + 0.00014^2 + 0.0035^2} \approx 0.0035 = u_{B2}$$

B.3.5 扩展不确定度

因 $u_c \approx u_{B2}$, 所以 u_c 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则被校测试仪击穿报警电流设定值为 2.00mA 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = \sqrt{3} \times 0.0035 = 0.61\%$$

B.4 电压持续时间测量不确定度评定

B.4.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$T_x = T_0 + \Delta \quad (\text{B.4})$$

式中:

T_x —— 安规综合测试仪持续时间设定值;

T_0 —— 耐电压测试仪校准装置持续时间测量值;

Δ —— 时间设定值与时间测量值之差。

B.4.2 主要不确定度来源

B.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.4.2.2 耐电压测试仪校准装置测量时间的有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.4.2.3 耐电压测试仪校准装置的测量误差引入的标准不确定度分量。

B.4.3 标准不确定度分量评定

B.4.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪的电压持续时间设置为 30s, 由耐电压测试仪校准装置在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: s):

29.96	29.96	29.96	29.94	29.94
29.94	29.97	29.94	29.94	29.95

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 29.95\text{s}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10-1)}} / 30 = 0.00012$$

B.4.3.2 耐电压测试仪校准装置测量时间有效位数取舍引入的标准不确定度分量

u_{B1}

按 B 类方法评定, 校准装置的修约区间为 0.01s, 即 $\delta_x = 0.01/30$, 按均匀分布,

取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.01}{30 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.0001$$

B.4.3.3 耐电压测试仪校准装置的测量误差引入的标准不确定分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 校准装置在 30s 时的最大允许误差为: $\pm 0.5\%$ 读数 ± 1 个字,

即 $a = 0.005$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0031$$

B.4.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.00012^2 + 0.0001^2 + 0.0031^2} \approx 0.0031 = u_{B2}$$

B.4.5 扩展不确定度

因 $u_c \approx u_{B2}$, 所以 u_c 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则被校测试仪电压持续时间设定值为 30s 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = \sqrt{3} \times 0.0031 = 0.54\%$$

B.5 绝缘试验电压测量不确定度评定

B.5.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$U_x = U_0 + \Delta \quad (\text{B.5})$$

式中:

U_x —— 安规综合测试仪电压设定值;

U_0 —— 数字多用表直流电压测量值;

Δ —— 设定值与测量值之差。

B.5.2 主要不确定度来源

B.5.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.5.2.2 数字多用表测量直流电压的有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.5.2.3 数字多用表直流电压的测量误差引入的标准不确定度分量。

B.5.3 标准不确定度分量评定

B.5.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪绝缘试验电压设置为 500V, 由数字多用表在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: V):

497.2 497.2 497.2 497.2 497.2
497.2 497.2 497.2 497.2 497.2

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 497.2 \text{ V}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10-1)}} = 0$$

B.5.3.2 数字多用表测量直流电压有效位数取舍引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 数字多用表的修约区间为 0.1V, 即 $\delta_x = 0.1/500$, 按均匀分布,

取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.1}{500 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00006,$$

自由度 $\nu_1 = \infty$ 。

B.5.3.3 数字多用表测量直流电压的测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 数字多用表在 500V 时的最大允许误差为: $\pm 0.0035\%$, 即

$\alpha = 0.000035$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.000035}{\sqrt{3}} = 0.00002,$$

设 u_{B2} 的不可信度为 10%, 即 $\nu_2 = 50$ 。

B.5.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.00006^2 + 0.00002^2} = 0.00063\%$$

$$\text{有效自由度 } \nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{B1}^4}{\nu_1} + \frac{u_{B2}^4}{\nu_2}} = \frac{0.000063^4}{\frac{0.00006^4}{\infty} + \frac{0.00002^4}{50}} = 4922.8, \text{ 取 } \nu_{\text{eff}} = 4922$$

B.5.5 扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$, $\nu_{\text{eff}} = 4922$ 查 t 分布表得, 包含因子 $k_p = 1.96$, 被校测试仪绝缘试验电压设定值为 500V 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_p u_c = 1.96 \times 0.000063 = 0.013\%$$

B.6 绝缘电阻测量的不确定度评定

B.6.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$R_x = R_0 + \Delta \quad (\text{B.6})$$

式中:

R_x ——被校安规综合测试仪示值;

R_0 ——兆欧表标准电阻器的标称值;

Δ ——设定值与标称值之差。

B.6.2 主要不确定度来源

B.6.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.6.2.2 兆欧表标准电阻器不准引入的标准不确定度分量。

B.6.3 标准不确定度分量评定

B.6.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将兆欧表标准电阻器设置为 $100\text{M}\Omega$, 由被校测试仪在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: $\text{M}\Omega$):

105 105 105 105 105

105 105 105 105 105

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 105 \text{ M}\Omega$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10-1)}} = 0$$

B.6.3.2 兆欧表标准电阻器不准引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 上级传递兆欧表标准电阻器的测量不确定度为 0.23%, $k=2$,

$$u_{B1} = \frac{a}{k} = \frac{0.0023}{2} = 0.0012$$

B.6.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2} = 0.0012 = u_{B2}$$

B.6.5 扩展不确定度

因 $u_c = u_{B2}$, 所以 u_c 为正态分布, 取置信概率 $p=95\%$, 包含因子 $k=2$, 则被校测试仪绝缘电阻示值 105M Ω 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = 0.23\%$$

B.7 接地导通试验电流测量不确定度评定

B.7.1 数学模型

采用间接测量法, 数学模型为:

$$I_x = \frac{U_0}{R_0} \quad (\text{B.7})$$

式中:

I_x ——被校安规综合测试仪电流示值;

U_0 ——数字多用表直流电压测量值。

R_0 ——大电流标准电阻箱电阻设定值。

B.7.2 主要不确定度来源

B.7.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.7.2.2 数字多用表测量直流电压的测量误差引入的标准不确定度分量;

B.7.2.3 大电流标准电阻箱不准引入的标准不确定度分量。

B.7.3 标准不确定度分量评定

B.7.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

在进行重复性测量时, 设定试验电流为 25A, 标准电阻箱电阻值为 0.100 Ω , 由数字多用表测量在相同校准条件下重复测量 10 次, 数字多用表结果均为 2.442V, 故由重复性引入的测量不确定度分量可以忽略不计。

B.7.3.2 数字多用表测量直流电压测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 数字多用表的允许误差为 $\pm 0.0035\%$, 即 $a = 0.000035$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{a}{k} = \frac{0.000035}{\sqrt{3}} = 0.00002, \text{ 自由度 } \nu_1 = \infty。$$

$$\text{灵敏度系数: } c_U = \frac{\partial I}{\partial U} = \frac{1}{R} = 10$$

B.7.3.3 大电流标准电阻箱不准引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 大电流标准电阻箱的允许误差极限为 $\pm 0.2\%$, 即 $a = 0.002$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.0012, \text{ 自由度 } \nu_2 = \infty。$$

$$\text{灵敏度系数: } c_R = \frac{\partial I}{\partial R} = -\frac{U_0}{R_0^2} = -244.2$$

B.7.4 合成标准不确定度

由数学模型公式可得, 灵敏度系数 $c_1 = 10$, $c_2 = -244.2$, u_{B1} , u_{B2} 彼此相关,

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{B1}^2 + c_2^2 u_{B2}^2} = 0.12\%, \text{ 有效自由度 } \nu_{\text{eff}} = \infty。$$

B.7.5 扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$, $\nu_{\text{eff}} = \infty$, 查 t 分布表可得包含因子 $k_p = 1.96$, 被校测试仪的试验电流为 25A 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_p u_c = 1.96 \times 0.0012 = 0.24\%$$

B.8 接地导通电阻示值测量不确定度评定

B.8.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$R_x = R_0 + \Delta \quad (\text{B.8})$$

式中:

R_x —— 安规综合测试仪指示值;

R_0 —— 大电流低值标准电阻箱的标准值;

Δ —— 设定值与标称值之差。

B.8.2 主要不确定度来源

B.8.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量。

B.8.2.2 大电流低值标准电阻箱不准引入的标准不确定度分量。

B.8.3 标准不确定度分量评定

B.8.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将大电流低值标准电阻箱设置为 100m Ω , 由被校测试仪在相同校准条件下重复测量 10 次 (电流 30A), 测量值如下 (单位: m Ω):

99.8 99.8 99.8 99.8 99.8
99.8 99.8 99.8 99.8 99.8

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 99.8 \text{ m}\Omega$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{10 \times (10 - 1)}} = 0$$

B.8.3.2 大电流标准电阻箱不准引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 大电流标准电阻箱的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$, 即 $a = 0.002$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.0012$$

B.8.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = u_{B1} = 0.0012$$

B.8.5 扩展不确定度

因 $u_c = u_{B1}$, 所以 u_c 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则被校安规综合测试仪接地导通电阻为 99.8m Ω 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 0.0012 \times \sqrt{3} = 0.2\%$$

B.9 接地导通报警预置电阻测量不确定度评定

B.9.1 数学模型

采用间接测量法, 数学模型为:

$$R_x = \frac{U_0}{I_0} \quad (\text{B.9})$$

式中:

R_x —— 安规综合测试仪报警预置电阻设定值;

U_0 —— 标准电压源的输出电压设定值;

I_0 —— 数字多用表的电流测量值。

B.9.2 主要不确定度来源

B.9.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.9.2.2 标准电压源不准引入的标准不确定度分量;

B.9.2.3 数字多用表的电流测量误差引入的标准不确定度分量。

B.9.3 标准不确定度分量评定

B.9.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪报警预置电阻设置为 $100\text{m}\Omega$, 标准电压源输出设置为 1V , 由数字多用表在相同校准条件下重复测量 10 次, 由于数字多用表电流测量最大允许误差为 $\pm 0.0035\%$, 所取舍测量值一直保持不变, 重复性引入的标准不确定度分量忽略不计。

B.9.3.2 标准电压源不准引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 标准电压源在 1V 时最大允许误差为 $\pm 0.2\%$, 按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{a}{k} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.0012, \text{ 自由度 } \nu_1 = \infty。$$

灵敏度系数: $c_{B2} = \frac{\partial R}{\partial U} = \frac{1}{I_0} = 0.1$

B.9.3.3 数字多用表电流测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 其最大允许误差为: $\pm 0.2\%$, 按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.0012, \text{ 自由度 } \nu_2 = \infty。$$

灵敏度系数: $c_{B3} = \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{U_0}{I_0^2} = -0.01$

B.9.4 合成标准不确定度

由数学模型公式可得, 灵敏度系数 $c_1 = 0.1$, $c_2 = -0.01$, u_{B1} , u_{B2} 彼此不相关,

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{B1}^2 + c_2^2 u_{B2}^2} = 0.42\%, \text{ 有效自由度 } \nu_{\text{eff}} = \infty。$$

B.9.5 扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$, $\nu_{\text{eff}} = \infty$, 查 t 分布表可得包含因子 $k_p = 1.96$, 被校测试仪的报警预置电阻为 $100\text{m}\Omega$ 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_p u_c = 1.96 \times 0.0042 = 0.84\%$$

B.10 泄漏试验电压测量的不确定度评定

B.10.1 数学模型

采用直接测量法, 数学模型为:

$$U_x = U_0 + \Delta \quad (\text{B.10})$$

式中:

U_x ——安规综合测试仪电压设定值;

U_0 ——数字多用表交流电压测量值;

Δ ——电压设定值与输出电压测量值之差。

B.10.2 主要不确定度来源

B.10.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.10.2.2 数字多用表测量交流电压的有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.10.2.3 数字多用表的测量误差引入的标准不确定度分量。

B.10.3 标准不确定度分量评定

B.10.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按 A 类方法评定, 将被校测试仪交流电压设定为 233.2V , 由数字多用表在相同校准条件下重复测量 10 次, 测量值如下 (单位: V):

222.4 222.4 222.4 222.4 222.4
222.4 222.4 222.4 222.4 222.4

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 222.4 \text{ V}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2}{10 \times (10-1)}} = 0$$

B.10.3.2 数字多用表测量交流电压的有效位数取舍引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 数字多用表的修约区间为 0.1V , 即 $\delta_x = 0.1/222.4$, 按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.1}{222.4 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00013, \text{ 自由度 } \nu_1 = \infty。$$

B.10.3.3 数字多用表交流电压测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 数字多用表的允许误差极限为 $\pm 0.06\%$, 即 $a = 0.0006$, 按均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.0006}{\sqrt{3}} = 0.00035$$

设 u_{B2} 的不可信度为 10%, 即 $\nu_2 = 50$ 。

B.10.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.00013^2 + 0.00035^2} = 0.037\%$$

$$\text{有效自由度 } \nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{B1}^4}{\nu_1} + \frac{u_{B2}^4}{\nu_2}} = \frac{0.00037^4}{\frac{0.00013^4}{\infty} + \frac{0.00035^4}{50}} = 62.4, \text{ 取 } \nu_{\text{eff}} = 62。$$

B.10.5 扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$, $\nu_{\text{eff}} = 62$ 查 t 分布表得, 包含因子 $k_p = 2.00$, 被校测试仪试验电压设定为 233.2V 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_p u_c = 2.00 \times 0.00037 = 0.074\%$$

B.11 泄漏电流测量不确定度评定

B.11.1 数学模型

采用直接测量法。数学模型为:

$$I_x = I_0 + \Delta \quad (\text{B.11})$$

式中:

I_x ——安规综合测试仪电流示值;

I_0 ——数字多用表直流电流测量值;

Δ ——电流示值与电流测量值之差。

B.11.2 主要不确定度的来源

B.11.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量;

B.11.2.2 数字多用表测量电流的有效位数取舍引入的标准不确定度分量;

B.11.2.3 数字多用表测量直流电流的测量误差引入的标准不确定度分量;

B.11.3 标准不确定度分量评定

B.11.3.1 重复性引入的标准不确定度分量

按 A 类方法评定, 调节电阻令被校测试仪电流示值 1.000mA, 由数字多用表在相同校准条件下测量 10 次, 测量值如下 (单位: mA):

0.985	0.985	0.985	0.985	0.985
0.985	0.985	0.985	0.985	0.985

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 0.985 \text{ mA}$$

测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - \bar{I})^2}{10 \times (10-1)}} = 0$$

B.11.3.2 数字多用表测量电流的有效位数取舍引入的标准不确定度分量 u_{B1}

按 B 类方法评定, 数字多用表的修约区间为 0.001mA, 即 $\delta_x = 0.001/1$, 按均匀分

布, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{2k} = \frac{0.001}{1 \times 2 \times \sqrt{3}} = 0.00029, \text{ 自由度 } \nu_1 = \infty。$$

B.11.3.3 数字多用表测量误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

按 B 类方法评定, 数字多用表的允许误差为 $\pm 0.05\%$, 按均匀分布, 即 $a = 0.0005$, 取 $k = \sqrt{3}$,

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029$$

设 u_{B2} 的不可信度为 10%, 即 $\nu_2 = 50$ 。

B. 11.4 合成标准不确定度

上述分量彼此不相关,

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0.00029^2 + 0.00029^2} = 0.00041$$

$$\text{有效自由度 } \nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{B1}^4}{\nu_1} + \frac{u_{B2}^4}{\nu_2}} = \frac{0.00041^4}{\frac{0.00029^4}{\infty} + \frac{0.00029^4}{50}} = 199.7, \text{ 取 } \nu_{eff} = 199$$

B. 11.5 扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$, $\nu_{eff}=199$ 查 t 分布表得, 包含因子 $k_p=1.96$, 被校测试仪泄露电流示值为 1.000mA 时, 其测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_p u_c = 1.96 \times 0.00041 = 0.08\%$$