

中华人民共和国能源行业标准

NB / T 42023 — 2013

试验数据的测量不确定度处理

Handling of Measurement Uncertainties in Testing Data

(STL TR3-2008, Handling of Measurement Uncertainties in testing and
Test Documents, MOD)

2013-11-28 发布

2014-04-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本原则 5

 4.1 测量链的溯源校准 5

 4.2 测量不确定度的评定步骤 6

 4.3 限制条件 6

5 测量不确定度的表述 6

6 扩展不确定度的限值 7

7 校准间隔时间推荐表 8

8 符合性的评定和报告 9

 8.1 目的 9

 8.2 基本原则 9

 8.3 符合性评定 10

9 测量系统的不确定度评定 11

10 评定测量不确定度的示例 11

附录 A（规范性附录） 测量不确定度的评定 12

附录 B（规范性附录） 评定测量不确定度的示例 14

附录 C（资料性附录） 短时交流电流测量系统不确定度评定计算示例 27

附录 D（资料性附录） 特殊情况 41

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。
本标准为首次制定。

本标准修改采用了国际短路试验联盟 STL（Short-circuit Testing Liasion）技术报告 第 3 部分 STL TR3—2008《试验和试验文件的测量不确定度处理》。

本标准与 STL TR3—2008 相比，主要技术性差异如下：

- 增加了范围（见第 1 章）；
- 增加了术语和定义（见第 3 章）；
- 增加了评定测量系统不确定度的依据标准 JJF 1059.1—2012（见第 4 章）；
- 修改了测量链的量值溯源中不确定度分量的符号，与 NB/T 42024—2013《大容量实验室以标准分流器为基准的大电流测量系统的溯源》相统一（见 4.1）；
- 删除了扩展不确定度限值的正负号（见第 6 章）；
- 修改了表 3 备注中引用文件（见第 6 章）；
- 增加了测量系统的不确定度评定（见第 9 章）；
- 增加了评定测量不确定度的示例（见第 10 章）；
- 修改了附录 A；
- 修改了附录 B 中错误的公式 [见附录 B 中式（B.13）]。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由能源行业短路试验技术标准化技术委员会（NEA/TC10）归口。

本标准主要起草单位：西安高压电器研究院有限责任公司。

本标准参加起草单位：中国电力科学研究院、辽宁高压电器产品质量检测有限公司、上海电气输配电试验中心有限公司、沈阳变压器研究院股份有限公司、深圳电气科学研究所。

本标准起草人：王安、任稳柱、张益民、赵庆斌、张实、田恩文、姚斯立、杜炜、阎对丰、李向阳、杨海芳、郭立新、罗时聪、陈奎、田文革、肖敏英、邓永辉。

试验数据的测量不确定度处理

1 范围

本标准规定了对试验测量数据的测量不确定度进行评定和报告编写的一般程序, 以及扩展不确定度的限值。

本标准适用于高电压和大电流试验测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 1984—2003 高压交流断路器(IEC 62271-100: 2001, MOD)

GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第2部分: 测量系统(IEC 60060-2: 2010, MOD)

GB/T 16927.4—2014 高电压和大电流试验技术 第4部分: 试验电流和测量系统的定义和要求(IEC 62475: 2010, MOD)

GB/T 27025—2008 检测和校准实验室能力的通用要求(IEC 17025: 2005, IDT)

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

EN ISO/IEC 13005: 1999 测量不确定度表示指南(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)

STL TR1—2004 大容量实验室数据处理方法(Technical Report on Harmonisation of Data Processing Methods for High Power Laboratories)

ILAC G8: 1996 技术规范符合性的评定和报告指南(Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification)

3 术语和定义

GB/T 16927.2—2013、JJF 1059.1—2012 和 EN ISO/IEC 13005: 1999 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 测量系统及性能记录

3.1.1

测量系统 measuring system

用于进行测量的整套装置。用于获取或计算测量结果的软件也是测量系统的一部分。

注1: 测量系统通常包括以下组件:

- 转换装置, 包括将装置接入电流回路的端子或与电流回路的耦合连接, 以及接地连接;
- 连接转换装置的输出端到采集和记录系统(并附有衰减、终端和匹配阻抗或网络)的传输系统;
- 采集和记录系统(或测量仪器);
- 数据处理软件。

仅由以上某些组件组成或基于非传统原理的测量系统, 只要符合本标准规定的不确定度要求也是可以接受的。

注2: 测量系统所处的环境, 如与带电体、载流导体和接地物体的净距, 周围有无电场或磁场都可能明显影响测量结果及其不确定度。

[GB/T 16927.4—2014, 定义3.1.1]

3.1.2

性能记录 **record of performance**

使用者建立并保存的测量系统的详细记录,是描述系统和表明系统达到标准所列要求的证明文件。文件中应包含初始性能试验结果和历次性能试验结果,以及性能校核结果和相应性能试验(校核)的周期。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.1.2]

3.1.3

认可测量系统 **approved measuring system**

满足 GB/T 16927.2—2013 和 GB/T 16927.4—2014 的要求的测量系统。

3.1.4

标准测量系统 **reference measuring system**

通过校准可溯源到相关国家和/或国际基(标)准,且具有足够准确度和稳定性的测量系统。在进行特定波形和特定电流范围内的同时比对测量中,该系统用于认可其他的测量系统。

注 1: 满足本标准要求的标准测量系统可作为认可测量系统使用,但认可测量系统不能作为标准测量系统使用。

注 2: 改写 GB/T 16927.4—2014, 定义 3.1.4。

3.2 测量系统组件

3.2.1

转换装置 **converting device**

将被测量转换成测量仪器可记录或显示的量值的装置。

注 1: 转换装置在很多情况下也可称作传感器。

注 2: 改写 GB/T 16927.4—2014, 定义 3.2.1。

3.2.2

分流器 **current-converting shunt**

将被测电流按比例转化为电压的电阻元件。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.2.2]

3.2.3

标准分流器 **reference shunt**

通过校准可溯源到相关国家和/或国际基(标)准,且具有足够准确度和稳定性的分流器。在进行特定波形和特定电流范围内的同时比对测量中,该分流器用于校准其他的分流器。

3.2.4

电流互感器 **current transformer**

包含有变流器的转换装置,在正常使用条件下,其二次电流基本正比于一次电流;对正确的连接方式,其相位差近似为零。

注: 电流互感器通常设计在单一频率下使用,但也可以通过特殊设计使之适用于宽频率范围。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.2.3]

3.2.5

传输系统 **transmission system**

将转换装置的输出信号传输到测量仪器的一套装置。

注 1: 传输系统一般由带终端阻抗的同轴电缆组成,还可包括转换装置与测量仪器之间所连接的衰减器、放大器或其他装置,例如,光纤系统包括光发射器、光缆和光接收器以及相应的放大器。

注 2: 传输系统可全部或部分地归入转换装置和测量仪器中。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.2.5]

3.2.6

测量仪器 **measuring instrument**

单独或与外加装置一起进行测量的装置。

注 1：采集和记录系统也是测量仪器的一种。

注 2：改写 GB/T 16927.4—2014，定义 3.2.6。

3.3 刻度因数

3.3.1

测量系统的刻度因数 **scale factor of a measuring system**

与测量仪器的读数相乘便得到整个测量系统的输入量值的因数。

注 1：对不同的电流测量范围、不同的频率范围或不同的波形，一个测量系统可有多多个刻度因数。

注 2：直接显示输入量值的测量系统，其标称刻度因数为 1。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.3.1]

3.3.2

转换装置的刻度因数 **scale factor of a converting device**

与转换装置的输出量值相乘便得到其输入量值的因数。

注：转换装置的刻度因数可以是无量纲的（例如电流互感器的变比），也可以是有量纲的（例如分流器的阻抗）。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.3.2]

3.3.3

传输系统的刻度因数 **scale factor of a transmission system**

与传输系统的输出量值相乘便得到其输入量值的因数。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.3.3]

3.3.4

测量仪器的刻度因数 **scale factor of a measuring instrument**

与仪器的读数相乘便得到其输入量值的因数。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.3.4]

3.4 有关不确定度的定义

3.4.1

容差 **tolerance**

测量值与规定值之间的允许差值。

注 1：此差值应区别于测量的不确定度。

注 2：测得的试验电流应在规定试验电流的给定容差范围内。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.6.1]

3.4.2

（测量）不确定度 **uncertainty (of measurement)**

表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数。

注 1：不确定度是不带符号的正数。

注 2：电流测量的不确定度不应与规定试验电流的容差相混淆。

[GB/T 16927.4—2014，定义 3.6.2]

3.4.3

标准不确定度 **standard uncertainty**

u

以标准偏差表示的测量不确定度。

注 1: 标准偏差与被测值估计值有关, 与被测值有相同的量纲。

注 2: 某些情况下, 可以使用测量的相对标准不确定度, 测量的相对标准不确定度是标准不确定度除以被测值, 因此是无量纲值。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.3]

3.4.4

合成标准不确定度 **combined standard uncertainty**

u_c

当测量结果由若干个其他分量的值求得时, 测量值的标准不确定度等于各分量的方差或协方差总和的平方根的正值, 需依据各分量对测量结果的影响权重来进行计算。

注: 改写 GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.4。

3.4.5

扩展不确定度 **expanded uncertainty**

U

确定测量结果区间的量, 合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。

注: 扩展不确定度非常接近本标准较早版本中的总不确定度。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.5]

3.4.6

覆盖因子 (包含因子) **coverage factor**

k

为求得扩展不确定度, 与合成标准不确定度相乘的数字因子。

注: 对 95%覆盖概率和正态 (高斯) 概率分布, 包含因子 k 约为 2。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.6]

3.4.7

(不确定度的) A 类评定 **Type A evaluation (of uncertainty)**

采用对一系列观测值进行统计分析来评定标准不确定度的方法。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.9]

3.4.8

(不确定度的) B 类评定 **Type B evaluation (of uncertainty)**

采用对一系列观测值进行非统计分析来评定标准不确定度的方法。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.6.10]

3.5 有关测量系统试验的定义

3.5.1

校准 **calibration**

在规定条件下, 为确定测量仪器或测量系统所指示的量值、实物量具或参考物质所代表的量值, 与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。

注 1: 此术语基于不确定度方法。

注 2: 原则上, 指示值与测量的关系结果可通过校准标定图表示。

注 3: 校准包括刻度因数的确定。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.7.1]

3.5.2

性能试验 **performance test**

在工作条件下检测整套测量系统性能的试验。

[GB/T 16927.4—2014, 定义 3.7.4]

4 基本原则

评定测量系统不确定度原则上依据 JJF 1059.1—2012 和 EN ISO/IEC 13005: 1999。

由于所使用的测量组件多种多样, 根据上述标准要求又要考虑到整个测量环节中众多影响因素, 很难具体计算每一个测量结果的不确定度。为使不确定度的评定具有实用性和经济性, 建议按本标准进行合理简化。因此不确定度值的有效性没有必要限定到某一个测量值, 可以将测量不确定度值的有效性扩展到测量链获得的所有测量值上, 评定不确定度时要考虑所有的测量和随机条件。现有的信息是评定测量不确定度的基础, 包括可以使用的现有试验数据、图纸, 例如来自于过去经验、实验室之间相互比对试验、观察值、性能试验等。测量不确定度评定所需的技术视相应的试验条件而定, 不论在何种情况下都应该遵从以下三点:

- a) 基本共识;
- b) 各独立测量不确定度分量对结果的影响权重;
- c) 保证有足够多的试验及其结果。

4.1 测量链的溯源校准

- a) 测量链的量值溯源是测量不确定度评定的基础, 测量链一般包含以下几个组成部分:
 - 1) 传感器, 如电流、电压传感器 (传感器不确定度分量用符号 u_s 表示);
 - 2) 传输系统, 如光纤传输系统 (传输系统不确定度分量用符号 u_{TS} 表示);
 - 3) 采集和记录系统, 如暂态记录仪、示波器 (采集和记录系统不确定度分量用符号 u_{AR} 表示);
 - 4) 数据处理软件, 如有效值计算 (数据处理软件不确定度分量用 u_{SW} 表示)。
- b) 测量不确定度的评定以可溯源的测量链校准为基础, 一般有两种校准方法:
 - 1) 整体校准法;
 - 2) 组件校准法。

4.1.1 整体校准法

整体校准法由一个标准测量系统对完整的测量链进行校准。

只要整个测量链的组成结构不变, 其校准证书上出具的测量不确定度可以应用到所有采用此测量链测得的数据。另外, 还应考虑使用条件的影响, 如测量链的环境条件、测量量程等。如果使用条件不能完全保持一致, 应确定或预计环境差异的影响, 并在测量不确定度中予以考虑。

4.1.2 组件校准法

由于实际使用的测量链差异很大, 并且这些组件的组合形式可能多种多样, 所以, 从经济性的角度来看, 对每种技术组合进行整体校准不合理。因此, 可采用组件校准法确定测量链的不确定度。

测量链中每个单独组件的不确定度由各自可溯源的校准独立评定, 包括各个校准设备的不确定度, 并应考虑特定情况或随机情况的影响。

整个测量链的测量不确定度由各组件的不确定度合成得出。

假定每一组件的不确定度 u_i 之间互不关联、各自独立, 则整体测量链的扩展不确定度 U (置信概率为 95%) 可用式 (1) 得出:

$$U = k \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_n^2} \quad k = 2 \quad (1)$$

式中, 每一组件不确定度 u_i 都包含其校准不确定度分量和影响因素分量, 只要其中一个组件的不确定度发生改变, 扩展不确定度 U 就应进行重新评定。

只要符合设定环境条件, 此特定测量链的不确定度可以应用到所有采用此特定测量链所测得的数据上。不确定度应考虑到此测量链所有的随机环境, 一旦测量环境变化较大, 超出了设定的环境限值, 应该把由此引起的重大不确定度影响分量计入扩展不确定度中。

4.2 测量不确定度的评定步骤

不确定度结果应当摘录在性能记录中。

可以自由选择评定工具来计算测量不确定度，可以手动计算，也可以借助软件计算。无论哪种情况，都必须在不确定度预算表中列出所有不确定度分量。具体步骤如下：

- a) 校准。
 - 将所有试验系统中用到的测量链及/或组件进行可溯源的校准；
 - 考虑每个影响因素的不确定度分量。
- b) 测量的描述。
 - 测量任务格式化；
 - 简述测量原理、测量方法；
 - 测量链文件化，如果必要，需将各组件文件化。
- c) 如果可能，需考虑显著修正量的定义和应用，考虑系统偏差。
- d) 将所有已知不确定度进行分量列表。
 - 从校准文件和测量设备数据库中提取数据；
 - 考虑敏感因数。
- e) 给定影响因素符合性描述。
 - 环境条件（如温度、湿度等）；
 - 测量条件（如测量量程等）；
 - 当使用条件不符合设定条件时，需修正相应的不确定度分量。
- f) 不确定度分量关系描述。
- g) 扩展不确定度的计算。
 - 计算各相关不确定度分量的均方根；
 - 计算扩展不确定度（置信概率为 95%， $k=2$ ）。
- h) 测量数据的完整描述。
 - 将扩展不确定度 U 赋予测量值 y ($y \pm U$)；
 - U 适用于所有设定条件下的测量值 y 。

4.3 限制条件

本标准规定了试验标准及试验客户确定的允许测量不确定度与试验过程中产生的测量不确定度间的关系。

当必须减少测量不确定度以符合测量不确定度的允许值时，应遵循以下步骤：

- a) 限定随机环境因素的影响；
- b) 用有较小不确定度分量的测量组件替换测量链中不确定度较大的测量组件；
- c) 根据特定测量工作重新校准测量链，以达到减小测量不确定度的目的。

5 测量不确定度的表述

5.1 根据 GB/T 27025—2008，对于以下情况，测量不确定度应在试验报告中给出：

- a) 测量不确定度关系到试验结果的应用时；
- b) 试验客户要求出具相关测量不确定度时；
- c) 当前测量不确定度可能引起对测量结果相对于测量限值的符合性产生争议时。

5.2 根据 GB/T 27025—2008，测量不确定度应该被表述于具有校准效力的信息资料中，如校准证书或者计量说明书等。

- a) 测量结果的数值通常应保留到与测量不确定度对应的小数位数。
- b) 测量结果应表述为数字+单位。如果需要，单位前可加数量级前缀。典型的数量级前缀按表 1 执行。

表1 典型的数量级前缀

前缀名称	前缀符号	因数
皮	p	$x \cdot 10^{-12}$
纳	n	$x \cdot 10^{-9}$
微	μ	$x \cdot 10^{-6}$
毫	m	$x \cdot 10^{-3}$
千	k	$x \cdot 10^3$
兆	M	$x \cdot 10^6$
吉	G	$x \cdot 10^9$
太	T	$x \cdot 10^{12}$

c) 测量结果应保留到三位有效数字，因此所有测量数值应在 1.00~999 之间。
测量结果表述方式规范见表 2。

表2 测量结果表述方式规范

序号	测量结果	报告值
1	1.00A	1.00A
2	50 024V	50.0kV
3	0.007 115 Ω	7.12m Ω

根据以上规定，表述方式引起的不确定度分量能限定在 0.5%之内，如果对由表述方式引起的测量不确定度有更高要求时，可以考虑保留四位有效数字。

5.3 根据 GB/T 27025—2008，测量结果后必须带有相应的测量不确定度。测量不确定度应与测量值单位相同，例如 $t = (28.4 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 。或者，为方便与标准中要求的不确定度或容差进行比较，必要时，用百分数表示（例如，根据 GB/T 16927.2—2013，冲击电压峰值的扩展不确定度不应大于 3%）。

6 扩展不确定度的限值

试验标准规定的扩展不确定度限值见表 3。

GB 1984—2003 在第 6 章规定了扩展不确定度的限值。

使用测量系统每次测量的额定值（例如短路电流、试验电压以及恢复电压）的扩展不确定度不应大于 5%（ $k=2$ ）。

表3 试验标准规定的扩展不确定度限值

测量量	扩展不确定度限值	实际试验中 频率范围	备注
交流关合、开断电压	5%		见 GB 1984—2003
TRV	5%	直流到 50Hz	见 GB 1984—2003
预期 TRV 和 ITRV	5%	直流到 20MHz	见 GB 1984—2003
交流关合、开断电流	5%		见 GB 1984—2003
引入电流（对应于预期 TRV）	5%		见 GB 1984—2003

表 3（续）

测量量	扩展不确定度限值	实际试验中 频率范围	备注
引入电流	5%	1000Hz	见 GB 1984—2003
背对背电容器		4250Hz	
辅助电压和电流	5%	直流到 200Hz	见 GB 1984—2003
行程曲线	3%	直流到 200Hz	见附录 D
时间（关合、开断、燃弧、 持续时间、TRV 测量）	5%		
小于 1μs 的时间	10%		
温度	2.0℃		
温升	2.0K		
相对湿度（30%~95%）	5%		
大气压力	1.0hPa		
气体和液体压力	5%		
软件计算	见 STL TR1—2004		
注：TRV——瞬态恢复电压；ITRV——初始瞬态恢复电压。			

7 校准间隔时间推荐表

推荐的电压测量设备校准间隔时间见表 4。
推荐的电流及其他测量设备校准间隔时间见表 5。

表 4 推荐的电压测量设备校准间隔时间

应用	装置	影响量	需要检查的测量特性	推荐校准间隔
电压测量	电阻分压器	电阻或电容参数	变比	2 年
		频率响应	变比	2 年
		温度	变比	1 次
		邻近效应	变比	1 次
		线性度	变比	2 年
		长期稳定性	变比	2 年
		短期稳定性	变比	1 次
	电容及阻容分压器	试验回路的负载	变比	5 年
		低压部分的分流电阻 对低频响应的限制	频率	5 年
		匹配电缆对低频 特性的限制	频率	5 年
		杂散电容对高压 部分的影响	频率	5 年
		输出电流的限值	频率	5 年
		组件的电感	频率	5 年

表 5 推荐的电流及其他测量设备校准间隔时间

应用	装置	影响量	需要检查的测量特性	推荐校准间隔
电流测量	分流器	热效应	电阻值	2 年
		老化	频率响应	5 年
	电流互感器	限制直流响应	变比	5 年
		剩磁	变比	5 年
		频响上限	频率响应	5 年
		电磁耦合	频率响应	5 年
		负载	电阻值（仅针对于分流负载）	2 年
	罗哥夫斯基线圈	限制直流响应	线圈积分器	1 年
		频响上限	频率响应	5 年
		电磁耦合	频率响应	5 年
		外接电源	频率响应	5 年
信号处理	滤波及光电传输	稳定性		
		可靠性		
		准确度	灵敏度	1 年
		线性度	线性度	1 年
		外接电源	线性度	1 年
		频率响应	频率响应	1 年
		输入阻抗	频率响应	1 年
		共模	频率响应	1 年
记录装置	软件			每个软件版本 ^a
	暂态记录仪	分辨率位数	准确度	1 年
		采样率	采样速率	1 年

^a 软件的校准间隔要求见 STL TR1—2004。

8 符合性的评定和报告

8.1 目的

本章是为了协助实验室根据试验技术规范、试验标准或客户的要求对试验结果做出符合性（或不符合性）的评定和报告。

所用的方法应符合 ILAC G8: 1996。

8.2 基本原则

为了给出符合性（或不符合性）的评定和报告，必须提供试验结果及其测量不确定度。提供的测量不确定度应包括置信概率以及相应计算。通常置信概率不得低于 95%。

测量不确定度必须在产品标准、试验标准、技术规范、用户要求以及本标准给出的限值以内。

测量不确定度的计算应按照规范性引用文件提出的国家认可的文件（如 ISO 导则或者 STL 导则）

实施，所有试验设备应进行校准，所有校准应尽可能地溯源到国家标准或国际标准。

测量系统的扩展不确定度必须满足本标准第 6 章中规定的限值。

8.3 符合性评定

在对测量值与规定试验容差进行比较、做出符合性评定时，必须考虑测量不确定度。

考虑到测量不确定度的概念，符合性评定通常是接受规定风险的事件，该风险是指不能保证测量值一定处于规定限值之内。事实上，95%的置信概率意味着有 5%的概率测量值 x 会落在 $(x-U, x+U)$ 范围以外，这里 U 是扩展不确定度。

根据（有或无测量不确定度时）测量值的位置，判断其是否在规定限值范围内会出现很多不同的情况，它取决于技术规范如何规定测量不确定度，如图 1 所示。

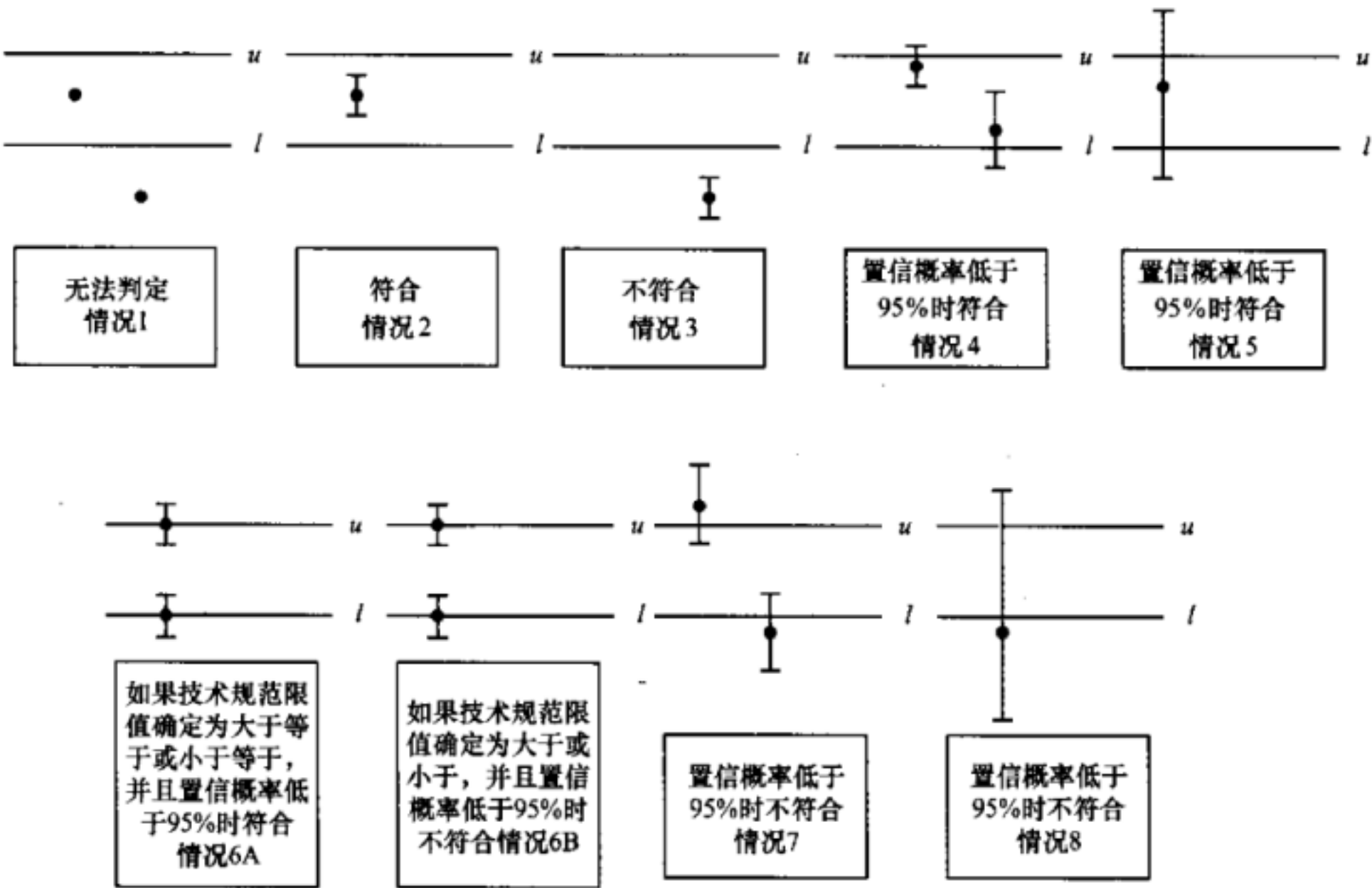
两种简单情况如下：

- 如果测量不确定度没有计算或不适用，就不能进行符合性评定（图 1 中情况 1）；
- 如果技术规范清楚地规定了测量值的不确定度区间 $(x-u, x+u)$ 必须处在规定限值的范围内，可以直接进行符合或不符合评定（图 1 中情况 2 和情况 3）。

如果技术规范仅仅规定了测量值必须在试验限值以内，而没有规定如何考虑测量不确定度时，则会出现另外不同的情况。

特别地列出以下几种情况，并假设计算测量不确定度时的置信概率为 95%：

- a) 如果测量值在规定的限值内，但部分不确定度区间超出了限值，则不可能评定其符合性。如果可接受的置信概率低于 95%，可以给出其符合的声明（图 1 中情况 4 和情况 5）。
- b) 如果测量值恰好处在规定的限值上，部分不确定度区间超出限值且部分不确定度区间处在区间内，则不可能进行符合性或不符合性评定。如果可接受的置信概率低于 95%，且技术规范限值确定为小于等于或大于等于，则可给出符合的声明（图 1 中情况 6A 和情况 6B）。
- c) 如果测量值超出了规定的限值，但部分不确定度区间在限值以内，则不可能进行不符合性评定。如果可接受的置信概率低于 95%，可以给出不符合的声明（图 1 中情况 7 和情况 8）。



注：●为测量值， l 为容差的下限， $|$ 为不确定度区间， u 为容差的上限。

图 1 符合性判定情况图

9 测量系统的不确定度评定

测量系统的不确定度评定见附录 A。

10 评定测量不确定度的示例

评定测量不确定度的示例见附录 B 和附录 C。

附 录 A
(规范性附录)
测量不确定度的评定

A.1 概述

本附录给出了评定一个测量系统的刻度因数的扩展不确定度的简单程序。该程序基于很多假定，这些假定在许多情形下是真实的。但是应该在每一独立的情况下予以验证。主要假定如下：

- a) 测量量之间没有相关性；
- b) 用 B 类方法评定的标准不确定度分量具有矩形分布；
- c) 最大的三个不确定度分量具有近似相等的幅值。

这些假定提供了一个刻度因数 F 的扩展不确定度的评定程序，该刻度因数 F 既适用于校准状况也适用于其他延伸条件下认可测量系统在测量中的应用。

校准的相对扩展不确定度 U_{cal} 是由确定刻度因数时的标准不确定度、标准系统的校准不确定度和其他影响量的估算得到的，例如，测量系统的稳定性和校准期间的环境参数等。

一个试验量的测量值的扩展不确定度 U_{mes} 是由认可测量系统刻度因数的校准不确定度和其他量的影响估算求得的，例如，测量系统的稳定性、测量过程中的环境参数等。

A 类和 B 类不确定度分量的计算方法见 GB/T 16927.2—2013 和 GB/T 16927.4—2014。

评定不确定度的其他方法见 JJF 1059.1—2012。

A.2 认可测量系统整体法溯源时测量不确定度评定

A.2.1 认可测量系统校准的不确定度

刻度因数校准的相对扩展不确定度 U_{cal} 由标准测量系统的不确定度、A 类和 B 类不确定度计算而得：

$$U_{\text{cal}} = k \cdot u_{\text{ccal}} = 2 \sqrt{u_{\text{cref}}^2 + u_F^2 + \sum_{i=1}^N u_{\text{Bi}}^2} \quad (\text{A.1})$$

式中：

- k ——包含因子，对应于约 95% 的覆盖概率，且为正态分布， $k = 2$ ；
- u_{ccal} ——认可测量系统在校准时的刻度因数的合成标准不确定度；
- u_{cref} ——标准测量系统在校准时的刻度因数的合成标准不确定度；
- u_F ——在刻度因数确定中统计的 A 类不确定度；
- u_{Bi} ——由第 i 个影响量产生的刻度因数的合成标准不确定度分量，以 B 类分量给出。这些分量与标准测量系统有关，由非线性、短时和长期不稳定性等因素产生。如果校准期间其他分量（例如短时稳定性、测量的分辨率）对认可测量系统的影响是重要的，则必须将这些分量考虑在内。

在以上假定不成立的情况下，可采用 JJF 1059.1—2012 规范中给出的程序。

如果测量系统的标定刻度因数是由其组件的刻度因数计算得到的，则组件校准的标准不确定度必须结合测量系统的其他条件和环境条件综合来考虑。

A.2.2 使用认可测量系统的测量不确定度

使用者应估算测量扩展不确定度。可以结合校准证书，在测量条件的一个限定的范围内进行估算。

测量值的相对扩展不确定度 U_{mes} 由认可测量系统在校准中得到的刻度因数的合成标准不确定度和 B 类不确定度分量计算得出：

$$U_{\text{mes}} = k \cdot u_{\text{cmes}} = 2 \sqrt{u_{\text{ccal}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{\text{Bi}}^2} \quad (\text{A.2})$$

式中:

- k ——包含因子, 对应于约 95% 的覆盖概率, 且为正态分布, $k=2$;
- u_{cmes} ——认可测量系统的合成标准不确定度, 在预定的使用时间 (例如一个校准时间间隔) 内有效;
- u_{ccal} ——在校准中确定的认可测量系统的刻度因数的合成标准不确定度;
- u_{Bi} ——由第 i 个影响量引起的认可测量系统的合成标准不确定度的分量, 以 B 类分量评定。这些分量与认可测量系统的正常使用有关, 由非线性、短时和长期不稳定性等因素产生, 依据既可由附加测量确定, 也可由其他数据源估算确定, 还应考虑其他影响, 如认可测量系统的显示分辨率。

注: 校准证书可包含校准不确定度信息 U_{cal} 及在规定条件下使用认可测量系统测量试验电流的相对扩展不确定度 U_{mes} 的信息。

在以上假定不成立的情况下, 可采用 JJF 1059.1—2012 规范中给出的程序。

A.3 认可测量系统组件法溯源时测量不确定度评定

测量链中每个单独组件的不确定度由各自可溯源的校准独立进行评定, 包括各个校准设备的不确定度, 并应考虑特定情况或随机情况的影响。

整个测量链的测量不确定度由各组件的不确定度合成得出。

假定整个测量链包含 n 个组件, 每一组件的不确定度 u_i 之间互不关联, 各自独立, 则整体测量链的扩展不确定度 U (置信概率为 95%) 可由式 (A.3) 得出:

$$U = k \cdot \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_n^2} \quad k=2 \quad (\text{A.3})$$

式中, 每一组件标准不确定度 u_i 都包含有其校准不确定度分量和影响因素分量, 只要其中一个组件的标准不确定度发生改变, 扩展不确定度 U 就应进行重新评定。

只要符合设定环境条件, 此特定测量链的不确定度可以应用到所有采用此特定测量链所测得的数据上。不确定度应考虑到此测量链所有的随机环境, 一旦测量环境变化较大, 超出了设定的环境限值, 应该把由此引起的重大不确定度影响分量计入扩展不确定度中。

依据本标准、GB/T 16927.2—2013 和 GB/T 16927.4—2014 对测量系统出具的试验数据进行不确定度评定。

附录 B
(规范性附录)
评定测量不确定度的示例

B.1 测量链的数学模型

依据 EN ISO/IEC 13005: 1999 建立模型是评定不确定度的基础。本附录将讨论测量系统的通用评定模型——梯形网络。

B.1.1 梯形网络表示的测量系统

假设一个测量系统包含一个或几个传输组件，如图 B.1 所示。

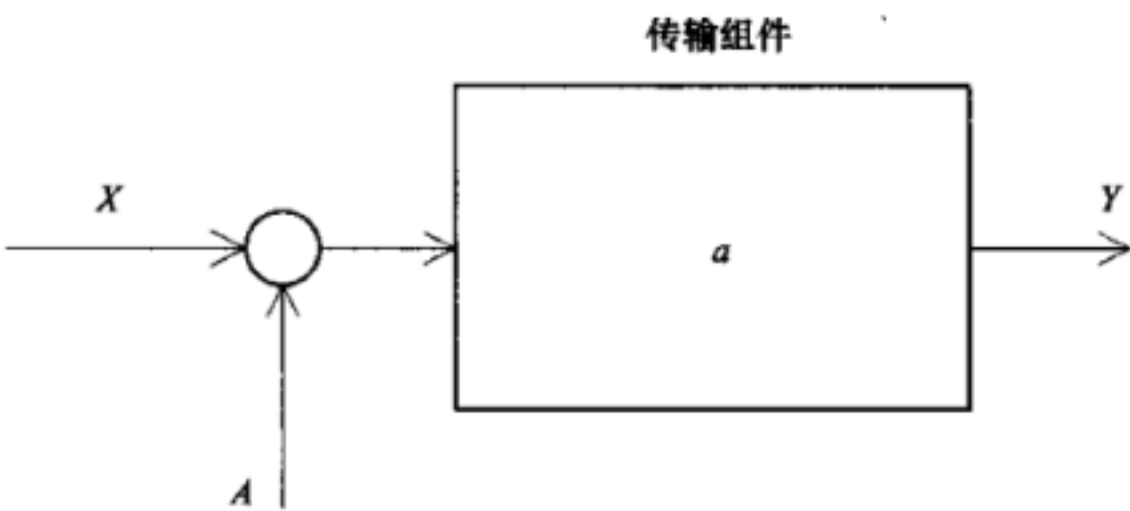


图 B.1 梯形网络的传输组件

与传输组件相关的过程模型的数学表达式为：

$$Y = a \times (X + A) \tag{B.1}$$

式中：

- Y —— 输出量，例如测量结果；
- a —— 影响量，乘数，例如刻度因数；
- X —— 输入量；
- A —— 影响量，加数，例如零点漂移。

在实际情况下，测量系统一般包含传感器、传输系统、测量仪器和系数标定四个组件，如图 B.2 所示。如果必要，可以很容易地引入更多的组件。

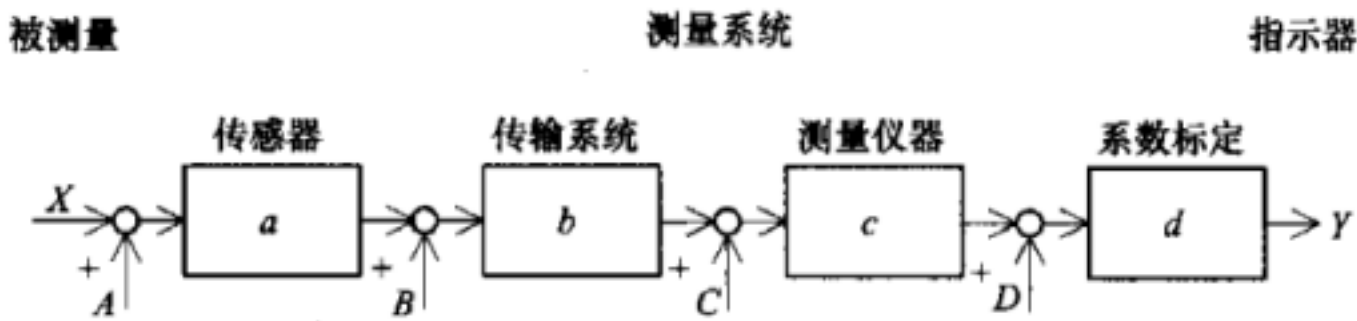


图 B.2 以梯形网络表示的测量系统

该过程模型的数学描述为：

$$Y = g(X, Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = d \times \{D + C + b \times [B + a \times (A + X)]\} \tag{B.2}$$

乘数和加数影响量以它们的参考值（用下标 0 表示）与偏离量（用 Δ 表示）之和表示。例如：

$$\left. \begin{aligned} a &= a_0 + \sum_{i=1}^n \Delta a_i = a_0 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta a_i}{a_0} \right) \\ A &= A_0 + \sum_{i=1}^m \Delta A_i \end{aligned} \right\} \tag{B.3}$$

如果显示装置直接提供测量值，并且传输元件的零点漂移已经调整，则满足：

$$\left. \begin{aligned} a_0 \times b_0 \times c_0 \times d_0 &= 1 \\ A_0 = B_0 = C_0 = D_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.4})$$

B.1.2 计算模型

在一次测量中，已知传输组件 (a, b, \dots, D) 和输出量 Y ，需要得到输入量 X 。为获取计算模型，需要求解方程 B.2 的输入量 X ，即：

$$X = f(Y, Z_1, Z_2, \dots, Z_N) = \frac{Y}{abcd} - \frac{D}{abc} - \frac{C}{ab} - \frac{B}{a} - A \quad (\text{B.5})$$

假设影响变量 Z_i 的估计值等于它们的参考值，并且满足式 (B.4) 的条件，输入量 X 的估计值为 x ，则：

$$x = f(y, z_1, z_2, \dots, z_N) = y \quad (\text{B.6})$$

式中：

y, z_i —— 数据 Y 和 Z_i 的估计值。

B.1.3 测量标准不确定度的计算

如果根据式 (B.5) 得到的模型函数 f 的非线性可以忽略（例如泰勒近似变换的一阶值就足够时）并且所有考虑的数据都不相关 [例如数据 Z_i 和 Z_j (i 不等于 j) 的协方差 $\text{cov}(Z_i, Z_j)$ 等于零]，估计值 x 的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为：

$$u_c = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial Y} \Big|_{y, z_1, \dots, z_N} \right)^2 \times u^2(y) + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial Z_i} \Big|_{y, z_1, \dots, z_N} \right)^2 \times u^2(z_i) \right]^{1/2} \quad (\text{B.7})$$

式中：

$u(y), u(z_i)$ —— 与估计值 y 和 z_i 相关的标准不确定度。

模型函数 f 对 Z_i 的偏导数 $\partial f / \partial Z_i$ 在估计值 z_i 处获得的值的 Z_i 称为敏感系数，它用来描述估计值 z_i 的变化对 x 的影响程度。

z_i 变化 Δz_i 引起值 x 的改变量 Δx 可写作 $(\partial f / \partial Z_i) \times \Delta z_i$ 。如果改变量由与 z_i 估计值有关的标准不确定度产生，则相应的改变量为 $(\partial f / \partial Z_i) \times u(z_i)$ 。测量的不确定预算表中将该改变量作为 Z_i 对测量不确定度 $u_c(x)$ 的贡献量。

假设影响参数 a, b, \dots, D 的估计值等于它们的参考值，并且满足式 (B.4) 的条件，则与计算模型相关的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 以及相对合成标准不确定度 $u_c(x)/|x|$ 为：

$$u_c(x) = \left[y^2 \left(\frac{u^2(a)}{a_0^2} + \frac{u^2(b)}{b_0^2} + \frac{u^2(c)}{c_0^2} + \frac{u^2(d)}{d_0^2} \right) + u^2(y) + u^2(A) + \frac{u^2(B)}{a_0^2} + \frac{u^2(C)}{(a_0 b_0)^2} + \frac{u^2(D)}{(a_0 b_0 c_0)^2} \right]^{1/2} \quad (\text{B.8})$$

$$\frac{u_c(x)}{|x|} = \left\{ \frac{u^2(a)}{a_0^2} + \frac{u^2(b)}{b_0^2} + \frac{u^2(c)}{c_0^2} + \frac{u^2(d)}{d_0^2} + \frac{1}{y^2} \left[u^2(y) + u^2(A) + \frac{u^2(B)}{a_0^2} + \frac{u^2(C)}{(a_0 b_0)^2} + \frac{u^2(D)}{(a_0 b_0 c_0)^2} \right] \right\}^{1/2} \quad (\text{B.9})$$

式中：

$u(a), u(b), \dots, u(D)$ —— 与参数 a, b, \dots, D 估计值相关的标准不确定度。

如式 (B.8) 所示，测量的标准不确定度 $u_c(x)$ 以及相对标准不确定度 $u_c(x)/|x|$ 取决于被测变量 x 的值。因此，测量的相对不确定度在被测变量 x 很小时将达到很大值。在这种情况下，应该调整测量量程，以提高测量不确定度。

B.2 短时电流有效值的测量

B.2.1 简介

本章给出了评定短时电流测量链中测量不确定度的示例。

使用方框图表示测量系统的主要配置。需要考虑的影响量和变量在适当的位置叠加在不同组件的输出变量上，从而叠加到下一个组件的输入量上。

如果使用影响变量的最大偏离量进行不确定度分析，计算的扩展不确定度将会是整个测量链的最大不确定度。考虑这种最坏的条件，可以很容易地将分析的有效性扩展到变量的边界条件（例如周围温度的波动）。

B.2.2 测量系统描述

- 测量任务：测量回路短时电流的有效值（50kA 以下）。
- 测量原理：分流器将短路大电流转变为低电压，测量低电压即可准确得到短路大电流。
- 测量系统：将分流器、0.5m 双绞线连接、10:1 衰减器（阻容型）、光纤传输系统（包括模拟发送器、20m 光纤、模拟接收器）通过 10m 同轴电缆连接到测量计算机的模拟/数字转换器。用测量软件显示和计算数据，如图 B.3 所示。

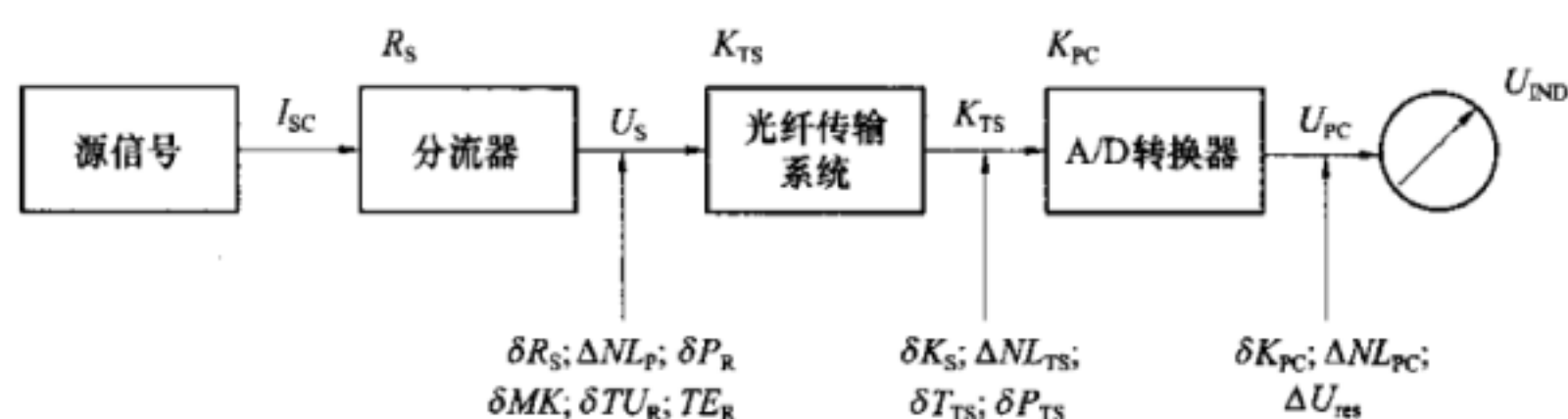


图 B.3 电流测量系统结构图

测量在室内环境下进行，所有测量组件都接受过定期的校准。

B.2.3 测量的不确定度的确定

步骤一：模型公式

$$I_{sc} = U_s / R_s \quad (B.10)$$

$$U_s = (U_{TS} \cdot 100) / [(100 + \delta R_s + \Delta NL_R + \delta P_R + \delta MK + \delta TU_R + \delta TE_R) \cdot k_{TS}] \quad (B.11)$$

$$U_{TS} = (U_{PC} \cdot 100) / [(100 + \delta k_{TS} + \Delta NL_{TS} + \delta T_{TS} + \delta P_{TS}) \cdot k_{PC}] \quad (B.12)$$

$$U_{PC} = (U_{IND} \cdot 100) / (100 + \delta K_{PC} + \Delta NL_{PC} + \Delta U_{res}) \quad (B.13)$$

步骤二：各参量说明及其不确定度分析

- $I_{sc}(A)$ ：短时电流的有效值。
最终结果。
- $U_s(V)$ ：分流器上的电压降。
中间结果。
- $R_s(\Omega)$ ：测量分流器的阻值（50kA 以下）。
 - 阻值： 33.5×10^{-6} ；
 - 扩展不确定度： 7.88×10^{-8} ；
 - 包含因子：2；
 - B 类分量属于正态分布；
 - 分流器的包含测量不确定度的校准值。

注：标定的分流器阻值是在校准中由稳定电流下的测量列（如 10 次测量值）得到的。上面的扩展不确定度与分流器校准时的扩展不确定度相对应。

- $\delta R_s(\%)$ ：分流器的长期稳定性。
 - B 类分量属于矩形分布；
 - 值：0%；

- 3) 区间半宽度: 0.65%;
- 4) 估计值。

注: 该值可以通过前两次的校准值来计算。

- e) $\Delta NL_R(\%)$: 分流器的非线性。
 - 1) B 类分量属于矩形分布;
 - 2) 值: 0%;
 - 3) 区间半宽度: 0.36%;
 - 4) 在校准中通过试验确定 (估计) 该值。

注: 在下表中, 可找到分流器线性偏差的估计值。在不同的校准电流下分流器的电阻值不同, 与参考值对应的相对偏差也不相同, 不同校准电流下分流器电阻值相对于参考值的偏差见表 B.1。

表 B.1 分流器电阻值相对于参考值的偏差表

序号	R Ω	相对于 R_s 的偏差 %
1	33.5×10^{-6}	0
2	33.59×10^{-6}	0.27
3	33.45×10^{-6}	-0.15
4	33.43×10^{-6}	-0.21
5	33.62×10^{-6}	0.36
6	33.47×10^{-6}	-0.09

根据 GB/T 16927.2—2013, 需要使用相对于平均观察值的最大偏差来确定分流器的非线性。

参考值 $R_s=33.5 \times 10^{-6}\Omega$;

平均观测值 $R_s=33.51 \times 10^{-6}\Omega$ 。

与平均观测值的最大偏差为 $0.11 \times 10^{-6}\Omega$ (序号 5), 与平均观测值的相对偏差为 0.33%。但与参考值的最大相对偏差 (序号 5) 更高 (0.36%)。

考虑到最苛刻的条件, 这个示例中需要选用与参考值的最大相对偏差而不是选择与平均值的最大相对偏差。在这里仅仅给出这种方法的一个示例 (表格仅用来示例, 并不用来分析)。

- f) $\delta P_R(\%)$: 分流器的安装位置。
 - 1) B 类分量属于矩形分布;
 - 2) 值: 0%;
 - 3) 区间半宽度: 0.2%;
 - 4) 估计值。
- g) $\delta MK(\%)$: 分流器的连接线。
 - 1) B 类分量属于矩形分布;
 - 2) 值: 0%;
 - 3) 区间半宽度: 0%;
 - 4) 测量线的电阻 (远小于 1Ω , 双绞线) 与光发送器的输入电阻 ($1M\Omega$) 相比较, 很小, 其影响可以忽略。
- h) $\delta TU_R(\%)$: 分流器环境温度的影响。
 - 1) B 类分量属于矩形分布;
 - 2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.09%;

4) 分流器的温度系数为 $3 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ (见制造商提供的指导书, 材料常数)。

当周围温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 时最大的偏差为 $\pm 9 \times 10^{-4}$ (最坏情况下)。

i) $\delta TE_R(\%)$: 通流 50kA 时分流器自身发热的影响。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.3%;

4) 在 50kA、100ms 电流下 (最坏情况, 因为是最大电流), 分流器自身发热为 10K (试验估计)。这将导致 0.3% 的偏差。在试验序列间歇很短时, 需要考虑累积效应。

j) k_{TS} : 传输系统的刻度因数 (TS)。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0.101;

3) 扩展不确定度: 0.002;

4) 包括因子: 2;

5) 整个光纤传输系统的刻度因数包括校准时的不确定度。

k) $U_{TS}(V)$: 传输系统的输出值。

中间结果。

l) $\delta k_{TS}(\%)$: 传输系统刻度因数的长期稳定性。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.1%;

4) 估计值;

5) 可以通过前两次的校准估计该值。

m) $\Delta NL_{TS}(\%)$: 传输系统刻度因数的非线性。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.05%;

4) 校准值或估计值。

n) $\delta T_{TS}(\%)$: 环境温度对传输系统刻度因数的影响。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.01%;

4) 估计值;

5) 使用的传输系统在制造商提供的限值之内。

o) $\delta P_{TS}(\%)$: 传输系统的安装位置。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.1%;

4) 估计值。

p) k_{PC} : 包括软件在内的计算机 A/D 转换器的刻度因数。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 10;

3) 扩展不确定度: 0.05;

4) 包含因子: 2;

5) 计算机 A/D 输入卡传输因子的校准值包括软件及其不确定度在内。

注: 例如, 可以通过软件校准获得该值。这里使用值 10, 是为了抵消安装在传输系统前的分压器的系数。

q) $U_{PC}(V)$: A/D 转换器输出信号。

中间结果。

r) $\delta k_{PC}(\%)$: 包括软件在内的计算机 A/D 转换器的刻度因数的长期稳定性。

1) 值: 10;

2) 扩展不确定度: 0.05;

3) 包含因子: 2;

4) 可以通过前两次校准估计该值。

s) $\Delta NL_{PC}(\%)$: 包括软件在内的计算机 A/D 转换器刻度因数的非线性。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.02%;

4) 来自校验值(软件校验)或估计值。

t) $\delta U_{res}(V)$: 包括软件在内的计算机 A/D 转换器刻度因数的分辨率误差。

1) B 类分量属于矩形分布;

2) 值: 0%;

3) 区间半宽度: 0.000 25V;

4) 显示装置的最小分辨率为 12 位、测量量程的 0.025%, 相对误差取决于测量值;

5) 测量量程为 2V 时, 等于最大偏差 0.000 5V。

例如: 测量量程为 2V 的 A/D 转换器, 其最大分辨率误差等于 0.000 5V; 在 $U_{IND}=1.256V$ 时相对误差约等于 0.04%, $U_{IND}=1.8V$ 时相对误差等于 0.028%; 为了与测量值无关, 分辨率误差使用绝对值。

u) $U_{IND}(V)$: 电压的输出值。

1) 常数;

2) 值: 1.256V;

3) 显示值。

v) 试验结果及其不确定度。

1) 试验结果参量: I_{SC} ;

2) 值: 37 120A;

3) 相对扩展不确定度: 2.3%;

4) 包含因子: 2.0;

5) 置信概率: 95%。

这是相对扩展不确定度, 是通过标准不确定度乘以包含因子 $k=2$ 确定的。

注: 严格意义上来说, 显示的测量不确定度仅仅适用于瞬时输出电压 U_{IND} , 它是与电流值相关的数值。

这是因为各影响变量并不以相对值的形式单独列入不确定度分析。以绝对值出现的变量 (R_S 、 u_{TS} 、 k_{PC} 以及 U_{res}) 会导致扩展不确定度的变化, 扩展不确定度用输入值 (U_{IND}) 的相对值显示。

与这个类似, 同样适用于用绝对值表示扩展不确定度时测量不确定分量用相对值表示的情况。

只有扩展不确定度自身值及其影响因素使用相对或绝对值表示或使用, 扩展不确定度才与输入保持独立; 然而在这种情况下, 以绝对值表示的分量对扩展不确定度的影响很小。

当电流从起始值近似为 $I_{SC}=5000A$ (对应于显示电压 U_{IND} 近似等于 0.15V) 时, 只改变相对扩展不确定度数值小数点右边第二个数字。

随着电流上升, 绝对分量的影响继续下降。

注：如果分量的绝对值 U_{res} 以 10 次方的速度提高，则只有从电流 $I_{sc}=32\ 000\text{A}$ 和/或 $U_{IND}=1.1\text{V}$ 开始，才能获得总体有效性。

由于最坏情况估计值是各不确定度分量评定的基础，所以如果满足前面提到的边界条件，测量不确定度分析的结果应与现场情况无关。

注：以电流近似值 $I_{sc}=5000\text{A}$ 作为起始（最大为 50kA ）确定的测量不确定度，在提及的边界情况以内，对所有的测量值均有效。

B.3 TRV 电压峰值的测量

B.3.1 测量系统的描述

在大容量试验室进行试验需要测量瞬态恢复电压的峰值（TRV 峰值）。使用校准过的分压器作为传感器。分压器的输出电压由校准过的暂态记录器测量。

测量任务：频率为 400Hz 、电压持续时间大约 1s 、峰值为 59.5kV （待测值）的交流电压 TRV 峰值。

观察方法：直接法。

测量原理：分压器将高电压转换成低电压，用暂态记录仪测量低电压值即可得到高电压值。

测量步骤：在试验回路中连接分压器。分压器的输出通过 30m 同轴电缆传输到记录室的暂态记录仪 TR 上，如图 B.4 所示。

为了计算测量的不确定度，假设：

- 暂态记录仪上的显示电压为 59.52kV ；
- 分压器变比为 5952V/V ；
- 暂态记录仪上的垂直分辨率为 12 位；
- 暂态记录仪的量程为 10V ；
- 试验回路的温度为 13°C ；
- 记录室温度为 21°C 。

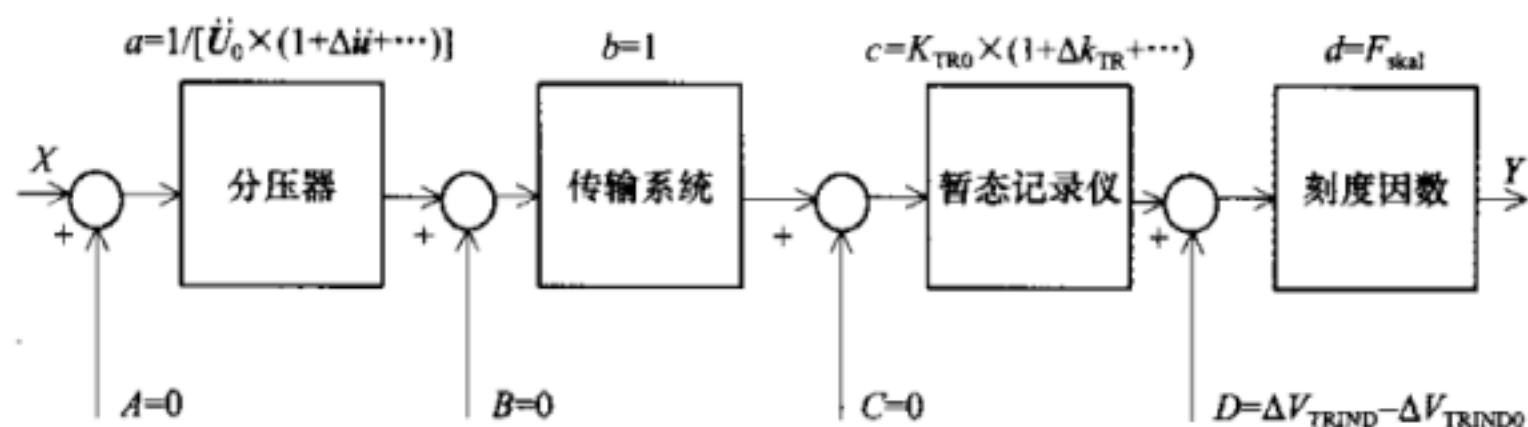


图 B.4 电压测量系统结构图

B.3.2 测量不确定度的确定

步骤一：模型公式

$$X = Y / (a \times b \times c \times d) - D / (a \times b \times c) - C / (a \times b) - B / a - A \quad (\text{B.14})$$

$$a = 1 / [\vec{U}_0 \times (1 + \Delta \vec{u} + \Delta \vec{u}_n + \Delta \vec{u}_{temp} + \Delta \vec{u}_{kstab} + \Delta \vec{u}_{istab} + \Delta \vec{u}_{prox})]$$

$$b = 1$$

$$c = K_{TR0} \times (1 + \Delta k_{TR} + \Delta k_{TRn} + \Delta k_{TRtemp} + \Delta k_{TRkstab} + \Delta k_{TRistab})$$

$$d = F_{skal}$$

$$A = 0$$

$$B = 0$$

$$C = 0$$

$$D = \Delta V_{TRIND} - \Delta V_{TRIND0}$$

$$\Delta \ddot{u}_{\text{temp}} = \alpha_{\text{g}} \times \Delta t_{\text{g}}$$

$$\Delta k_{\text{TRtemp}} = \alpha_{\text{TR}} \times \Delta t_{\text{TR}}$$

步骤二：各参量说明及其不确定度分析

a) $X(\text{V})$ ：待测电压。

结果。

b) $Y(\text{V})$ ：暂态记录仪显示的电压。

1) 常量；

2) 值：59 520V；

3) 选择该值是因为它为暂态记录仪输入范围的 100%。

c) $\ddot{U}_0(\text{V/V})$ ：分压器变比。

1) 常量；

2) 值：59 520V；

3) 该值取自校准证书，它包含了传输光线、暂态记录仪输入阻抗（10M）以及频率（400Hz）的影响。

d) $\Delta \ddot{u}$ ：分压器变化的偏差（相对值）。

1) B 类分量为正态分布；

2) 值：0；

3) 扩展不确定度：0.035；

4) 包含因子：2。

注：该值取自校准证书。

e) $\Delta \ddot{u}_0$ ：由非线性引起的分压器变比的偏差（相对值）。

1) B 类分量为矩形分布；

2) 值：0；

3) 区间半宽度：0.01V。

注：该值取自校准证书。

f) $\Delta \ddot{u}_{\text{temp}}$ ：由温度引起分压器变比的偏差（相对值）。

中间结果。

g) $\Delta \ddot{u}_{\text{kstab}}$ ：分压器变比短时稳定性（相对值）。

1) B 类分量为矩形分布；

2) 值：0；

3) 区间半宽度：0。

注：该值取自校准证书。

h) $\Delta \ddot{u}_{\text{lstab}}$ ：分压器变比长期稳定性（相对值）。

1) B 类分量为矩形分布；

2) 值：0；

3) 区间半宽度：0。

注：分压器每年都进行校准，两个校准间隔间没有发现变化。

i) $\Delta \ddot{u}_{\text{prox}}$ ：由临近效应引起的分压器变比偏差（相对值）。

1) B 类分量为矩形分布；

2) 值：0；

3) 区间半宽度：0.005。

注：根据经验，分压器位置的影响可以估计。假设临近金属表面距离大于 1m。

j) K_{TR0} : 暂态记录仪的变比。

- 1) 常数;
- 2) 值: 1。

注: 该值取自校准证书。

k) Δk_{TR} : 暂态记录仪的变比的偏差 (相对值)。

- 1) B 类分量为正态分布;
- 2) 值: 0;
- 3) 扩展不确定度: 0.014;
- 4) 包含因子: 2。

注: 该值取自校准证书。

l) Δk_{TRn} : 由非线性引起的暂态记录仪变比的偏差 (相对值)。

- 1) B 类分量为矩形分布;
- 2) 值: 0;
- 3) 区间半宽度: 0.000 17。

注: 该值取自校准证书。

m) Δk_{TRtemp} : 由温度引起的暂态记录仪变比偏差 (相对值)。
中间结果。

n) $\Delta k_{TRkstab}$: 暂态记录仪变比短时稳定性 (相对值)。

- 1) B 类分量为矩形分布;
- 2) 值: 0;
- 3) 区间半宽度: 0.001。

注: 该值取自暂态记录仪的数据表, 至少提前 1h 开机。

o) $\Delta k_{TRlstab}$: 暂态记录仪变比长期稳定性 (相对值)。

- 1) B 类分量为矩形分布;
- 2) 值: 0;
- 3) 区间半宽度: 0.015。

注: 暂态记录仪每年都进行校准, 两个校准间隔间最大变化小于 $\pm 0.5\%$ 。

p) F_{skal} (V/V): 暂态记录仪需要调整的总刻度因数。

- 1) 常数;
- 2) 值: 5952。

q) ΔV_{TRIND} (V): 暂态记录仪数字分辨率引起的显示值的偏移。

- 1) B 类分量为矩形分布;
- 2) 值: 0V;
- 3) 区间半宽度 = $0.5 \times 10V / (2^{12} \times 0.4) = 0.003\ 1V$ 。

注: 分辨率 12 位, 输入范围 10V, 使用范围不小于 40%;

r) ΔV_{TRIND0} (V): 暂态记录仪数字分辨率引起的显示零值的偏移。

- 1) B 类分量为矩形分布;
- 2) 值: 0V;
- 3) 区间半宽度 = $0.5 \times 10V / (2^{12} \times 0.4) = 0.003\ 1V$ 。

注: 分辨率 12 位, 输入范围 10V, 使用范围 $\geq 40\%$;

s) α_a (K^{-1}): 分压比的温度系数。

- 1) 常数;
- 2) 值: $0.000\ 25K^{-1}$ 。

注：该值取自分压器的校准证书。

- t) Δt_{t} (K): 试验回路温度与参考温度的偏差。
- 1) B类分量为矩形分布;
 - 2) 值: 0K;
 - 3) 区间半宽度: 12K。

注 1: 试验场的环境稳定度: 与基准温度 23℃ 的差别在 ±10K 以内。

注 2: 分压器的温升。在信号持续时间为 1s 时, 分压器温度升高大约 2K (估计值)。

注 3: 连续测量之间的间隙为几分钟。

注 4: 假设热容量效应可以忽略。

- u) α_{TR} (K⁻¹): 暂态记录仪变比的温度系数。
- 1) 常数;
 - 2) 值: 0.0K⁻¹。

注: 温度在 (23.0±2.5)℃ 范围内有效。

- v) Δt_{TR} (K): 记录室测量温度与参考温度的偏差。
- 1) B类分量为矩形分布;
 - 2) 值: 0K;
 - 3) 区间半宽度: 0K。

注: 在测量时记录室的温度等于参考温度 (23.0±2.5)℃, 因此温度的影响可以忽略。

步骤三: 不确定度预算分析

不确定度预算分析见表 B.2。

表 B.2 不 确 定 度 预 算 分 析

量	值	标准不确定度	灵敏度系数	不确定度贡献值
Y	59 520.0V			
a	$168.01 \times 10^{-6} \text{V/V}$	$3.15 \times 10^{-6} \text{V/V}$		
b	1.0V/V	0.0V/V		
c	1.000 00V/V	$7.59 \times 10^{-3} \text{V/V}$		
d	5952.0V/V	0.0V/V		
A	0.0V	0.0V		
B	0.0V	0.0V		
C	0.0V	0.0V		
D	0.0V	$2.53 \times 10^{-3} \text{V}$		
\bar{U}_0	5952.0V/V			
$\Delta \bar{u}$	0.0	0.017 5	60 000	1000V
$\Delta \bar{u}_n$	0.0	5.77×10^{-3}	60 000	340V
$\Delta \bar{u}_{\text{temp}}$	0.0	1.73×10^{-3}		
$\Delta \bar{u}_{\text{stab}}$	0.0	0.0	0.0	0.0V
$\Delta \bar{u}_{\text{stab}}$	0.0	0.0	0.0	0.0V
$\Delta \bar{u}_{\text{prox}}$	0.0	2.89×10^{-3}	60 000	170V

表 B.2 (续)

量	值	标准不确定度	灵敏度系数	不确定度贡献值
K_{TR0}	1.0V/V			
Δk_{TR}	0.0	7.00×10^{-3}	-60 000	-420V
Δk_{TRn}	0.0	98.1×10^{-6}	-60 000	-5.8V
Δk_{TRtemp}	0.0	0.0		
$\Delta k_{TRistab}$	0.0	577×10^{-6}	-60 000	-34V
$\Delta k_{TRlstab}$	0.0	2.89×10^{-3}	-60 000	-170V
F_{skal}	5952.0V/V			
ΔV_{TRIND}	0.0V	$1.79 \times 10^{-3}V$	-6000	-11V
ΔV_{TRIND0}	0.0V	$1.79 \times 10^{-3}V$	6000	11V
α_q	$250.0 \times 10^{-6}K^{-1}$			
Δt_{il}	0.0K	6.93K	15	100V
α_{TR}	0.0			
Δt_{TR}	0.0K	0.0K		0.0V
X	59 520V	1200V	0.0	

- a) 结果如下：
- 1) 量： X 。
 - 2) 值： 59 520V。
 - 3) 相对扩展不确定度： 4.0%。
 - 4) 包含因子： 2。
 - 5) 置信概率： 95%。
- b) 满足以下条件计算得到的不确定度有效：
- 1) 分压器距离临近金属表面的距离不小于 1m；
 - 2) 分压器周围的温度为 $(23 \pm 10) ^\circ C$ ；
 - 3) 记录室内温度为 $(23.0 \pm 2.5) ^\circ C$ ；
 - 4) 使用暂态记录仪的输入范围不小于 40%。

B.4 软件校准

B.4.1 简介

如前所述，测量不确定度不仅来自测量链中硬件组件。确定测量结果的软件算法也可能对测量链的扩展不确定度造成严重影响。包括处理软件算法在内的测量链如图 B.5 所示。

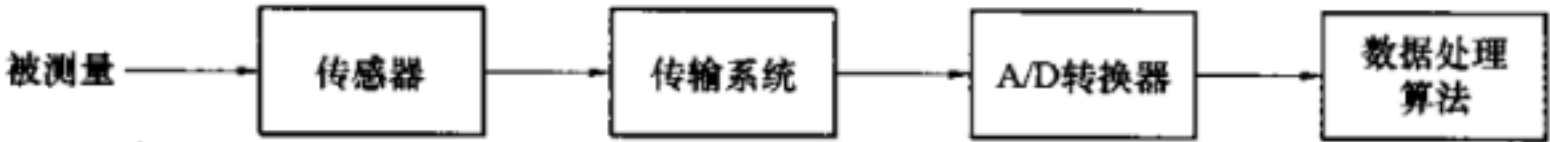


图 B.5 包括处理软件算法在内的测量链

因此有必要对软件算法进行性能测试，并获取其测量不确定度。

在对试验室常规数据处理的算法进行校准时，须使用试验数据发生器（TDG），并按照 STL TR1—2014 执行。

B.4.2 计算实例

下面的例子描述了如何确定计算的有效值算法的不确定度。

采用规定的 8 个标准数据波形，并且计算相对于每个标准数据波形的最大偏差。为了简便起见，只列出了标准数据波形 1 的参数表，见表 B.3。

表 B.3 标准数据波形 1 的参数表

半波	基准有效值 kA	计算的有效值 kA	相对偏差 F_i %
1	—	—	—
2	0.707	0.711 4	0.62
3	0.707	0.701 7	0.75
4	0.707	0.709 9	0.41
5	0.707	0.703 6	0.48
6	0.707	0.708 8	0.25
7	0.707	0.704 7	0.33
8	0.707	0.708 0	0.14
9	0.707	0.705 4	0.23
10	0.707	0.707 6	0.08
11	0.707	0.705 9	0.16
12	0.707	0.707 3	0.04
13	0.707	0.706 2	0.11
14	0.707	0.707 1	0.01
15	0.707	0.706 3	0.10
16	0.707	0.706 9	0.01
17	0.707	0.706 4	0.08
18	0.707	0.706 8	0.03
19	—	—	—

根据表 B.3，得到：

$$a_1 = \max(F_i) = 0.75\%$$

须按照同样的方法确定其余 7 个最大偏差。

- a) 参考波形 2: $a_2 = 0.36\%$ 。
- b) 参考波形 3: $a_3 = 1.35\%$ 。
- c) 参考波形 4: $a_4 = 0.76\%$ 。
- d) 参考波形 5: $a_5 = 0.79\%$ 。
- e) 参考波形 6: $a_6 = 0.78\%$ 。
- f) 参考波形 7: $a_7 = 0.29\%$ 。
- g) 参考波形 8: $a_8 = 0.39\%$ 。

假设偏差为矩形分布，STL 将极限 a 定义为所有 n 个偏差的最大值，即：

$$a = \max(a_1, \dots, a_8) = 1.35\%$$

将 a 值代入式 (B.15)，即可得到试验中计算的有效值算法的不确定度：

$$\begin{aligned} U &= 2\sqrt{\frac{1}{3}\max(a)^2} \\ &= 1.56\% \end{aligned} \tag{B.15}$$

这种计算得到的不确定度相当于标准测量不确定度，在依据 EN ISO/IEC 13005：1999 确定测量链的扩展不确定度时，可以直接作为一个分量。

关于 TDG 的使用以及标准数据波形的详情，可参考 STL TR1—2004。

附录 C
(资料性附录)

短时交流电流测量系统不确定度评定计算示例

C.1 概述

附录 C 给出了根据附录 A 的方法对短时交流电流测量系统进行不确定度评定的计算示例，同时参考了 NB/T 42024—2013《大容量实验室以标准分流器为基准的大电流测量系统的溯源》和 GB/T 16927.4—2014。

短时交流电流测量系统（记为 X）由罗哥夫斯基线圈（含积分放大器）和波形记录仪以及进行数据处理读数的软件组成。标定测量范围有效值为 3kA~120kA，峰值为 7.5kA~300kA。短时交流电流标准测量系统（记为 N）由标准分流器和波形记录仪以及进行数据处理读数的软件组成。标定测量范围有效值为 1kA~140kA，最大峰值为 350kA。由一个被认可的校准实验室在用户实验室使用系统 N 对系统 X 进行校准。对系统 X 测量不确定度的评定按照峰值和有效值分别进行。

校准试验是对系统 X 与系统 N 进行比对，在 $a=2$ 个电流水平下进行，保证最大校准电流不低于系统 X 标定测量范围最大值的 5%。线性度试验是对系统 X 与系统 N 进行比对，在 $b=6$ 个电流水平下进行，其中一个电流水平应等于系统 X 最高电流水平，所选取的电流按照最高电流水平的 10%、20%、40%、60%、80%、100%进行。

C.2 示例 1：短时交流电流测量系统的有效值刻度因数校准及其校准不确定度的评定（比对法）

校准试验电流类型为对称电流，电流持续时间为 100ms，两个电流水平电流有效值为 3kA 和 12kA 各 10 次，系统 N 的刻度因数和测量电流有效值的扩展不确定度为 23℃ 下， $F_N = 24.23\text{kA/V}$ 、 $U_N = 0.6\%$ ($k=2$)，包括长期稳定性这一不确定度分量。

校准期间，环境温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，由于系统 N 的刻度因数是在 23℃ 下校准的，因此根据资料按温度系数为 0.005% 对刻度因数 F_N 进行修正，经计算对 25℃ 下的实际 F_N 影响很小，忽略不计，取 $F_N = 24.23\text{kA/V}$ 。但是这种修正不是很精确，因为环境温度变化范围为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，而且标准分流器经使用后本体温度一般比环境温度高，所以假定 F_N 的可能值在 F_N 的 $\pm 0.3\%$ ($0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$) 范围内服从矩形分布。对试验回路施加短时电流，每次施加需要间隔一段较长的时间满足标准分流器的正常使用条件。

系统 N 测量电流为 I_N 。用于计算 F_X 值及其合成标准不确定度的模型方程见式 (C.1)，理想情况下，两套测量系统显示的是同一个短时交流测试电流 I （如图 C.1 所示），即：

$$I = I_N = F_X V_X \tag{C.1}$$

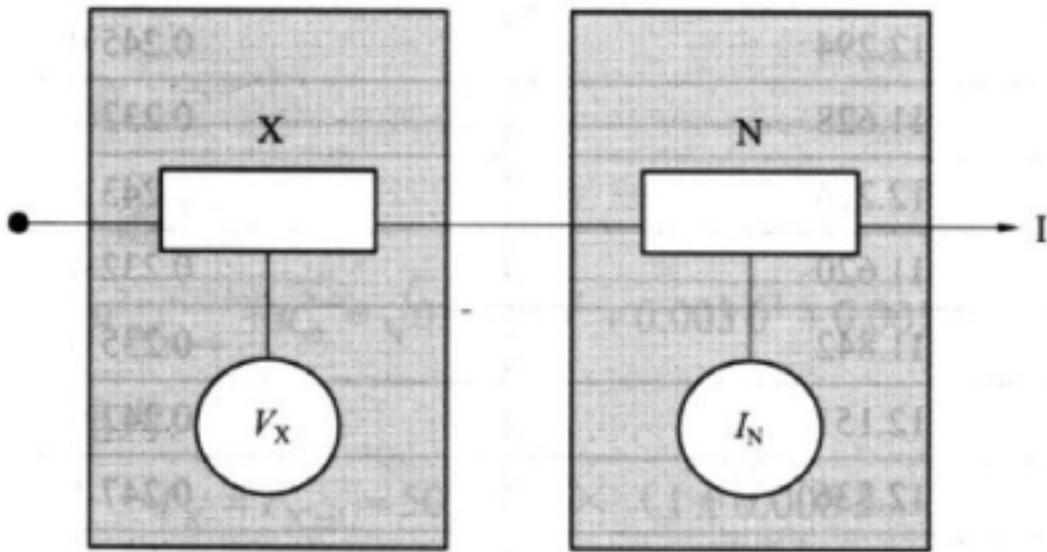


图 C.1 校准系统 X 和标准系统 N 的比对示意图

由此导出计算被校测量系统刻度因数的基本等式：

$$F_x = \frac{I_N}{V_x}$$

(C.2)

在每个电流水平下系统 X 与系统 N 的比对测量产生 10 对测量值 I_N 和 V_x ，由此可计算 F_x 、相应的平均值以及实验标准偏差 $s(F_x)$ [根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.2.1.1 式 (2) 计算]。表 C.1、表 C.2 给出了约 3kA 和 12kA 电流下测量值的示例。试验电流水平 $g=2$ 下的 F_x 、相应的平均值以及实验标准偏差见表 C.3。

表 C.1 3kA 电流比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	3.106	0.062 2	49.935 7
2	3.036	0.060 5	50.181 8
3	2.954	0.059 2	49.898 6
4	3.002	0.060 1	49.950 1
5	2.971	0.059 6	49.849 0
6	2.875	0.057 4	50.087 1
7	2.923	0.058 3	50.137 2
8	3.085	0.061 6	50.081 2
9	2.906	0.058 1	50.017 2
10	3.133	0.062 5	50.128 0
F_x 的平均值			50.026 6
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.002 263

$$u_g = u(F_x) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.002\,263}{\sqrt{10}} = 0.000\,716$$

(C.3)

12kA 电流比对测量结果见表 C.2。

表 C.2 12kA 电流比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	12.056	0.241 0	50.024 9
2	11.755	0.234 5	50.127 9
3	12.294	0.245 0	50.179 6
4	11.628	0.232 7	49.969 9
5	12.224	0.243 8	50.139 5
6	11.620	0.232 4	50.000 0
7	11.842	0.235 8	50.220 5
8	12.151	0.242 0	50.210 7
9	12.336	0.247 1	49.923 1
10	11.497	0.229 5	50.095 9
F_x 的平均值			50.089 2
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.002 085

$$u_g = u(F_X) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.002\,085}{\sqrt{10}} = 0.000\,659 \tag{C.4}$$

电流水平 $g=2$ 比对测量结果汇总见表 C.3。

表 C.3 电流水平 $g=2$ 比对测量结果汇总

电流水平数 g	电流水平 $I_{x\max}$ 的百分数	F_X	$s_g(F_X)$	u_{xg}
1	2.5%	50.026 6	0.002 3	0.000 716 ($=u_{\max}$)
2	10%	50.089 2	0.002 1	0.000 659
平均值		50.057 9		

据此，通过与标准系统进行比对得到的刻度因数可评定为：

$$F_X = 50.057\,9 \tag{C.5}$$

F_X 的不确定度评定为：

$$u_F = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^2 \left| \frac{\bar{F}_g}{F} - 1 \right| \right)^2 + \left[\max_{g=1}^2 (u_g) \right]^2} = \sqrt{\frac{1}{3} (0.000\,625)^2 + (0.000\,716)^2} = 0.000\,80 \tag{C.6}$$

表 C.4 列出标定刻度因数 F_X 的不确定度预算及相对标准不确定度计算结果，表 C.4 中最后一行给出了其有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=142$ （依据 GB/T 16927.4—2014 附录 A.13 确定），表示 F_X 可能值属正态分布，因此 $k=2$ 是有效的。

表 C.4 标定刻度因数 F_X 的不确定度预算

量	值	自由度	合成相对标准不确定度分量
F_X 的相对标准不确定度分量 ^a	0.000 80	9	0.000 80
系统 N 的相对扩展不确定度 ^a	0.006 0	50	0.003 0
系统 N 温度变化分量 $\Delta F_{N,\text{temp}}$ ^b	0.003 0	∞	0.001 7
系统 N 数据处理软件相对扩展不确定度 ^a	0.003 91	50	0.002 0
F_X	50.057 9	142	0.004 1
^a 正态分布。 ^b 矩形分布。			

表 C.4 中的合成相对标准不确定度为：

$$u_{\text{cal}} = \sqrt{u_{F_X}^2 + u_{F_N}^2 + u_{\Delta F_{N,\text{temp}}}^2 + u_{\text{soft}}^2} = \sqrt{0.000\,80^2 + 0.003\,0^2 + 0.001\,7^2 + 0.002\,0^2} = 0.004\,1 \tag{C.7}$$

最终，校准结果的完整表述为：

$$F_X = F_{X,\text{cal}} = 50.057\,9 \times (1 \pm 0.008\,2)$$

覆盖概率不小于 95% ($k=2$)。

刻度因数校准的扩展不确定度为 $U_{\text{cal}}=0.82\%$ ，使用该测量系统进行的测量不确定度，需要考虑更多不确定度因素。

C.3 示例 2：使用短时交流电流测量系统（认可测量系统）进行的有效值测量不确定度评定

示例 1 中描述了认可短时交流测量系统 X 的校准情况，其刻度因数 $F_x=50.057\ 9$ ，校准的相对扩展不确定度 $U_{cal}=0.82\%(k=2)$ 。其从 12kA~120kA 的线性度通过与标准测量系统（记为 N）进行比对，每一个电流水平通流 3 次，试验电流类型为对称电流，电流持续时间为 100ms，计算出相应的线性度分量。同时对测量系统的动态特性、短时稳定性、环境温度影响以及邻近回路电流试验进行了研究测试，并对 F_x 的影响进行了相应计算。刻度因数 $F_{x,mes}$ 的模型等式及其扩展标准不确定度为：

$$F_{x,mes} = F_{x,cal} - \Delta F_{x,lin} - \Delta F_{x,st} - \Delta F_{x,dyn} - \Delta F_{x,temp} - \Delta F_{x,prox} - \Delta F_{x,sft} \tag{C.8}$$

式中：

- $F_{x,cal}$ —— 比对法测得的刻度因数结果；
- $\Delta F_{x,lin}$ —— 线性度试验分量；
- $\Delta F_{x,st}$ —— 系统短时稳定性分量；
- $\Delta F_{x,dyn}$ —— 系统动态特性分量；
- $\Delta F_{x,temp}$ —— 使用系统的温度间隔引入的分量；
- $\Delta F_{x,prox}$ —— 邻近回路引入的分量；
- $\Delta F_{x,sft}$ —— 数据处理软件引入的分量。

系统的刻度因数值及其不确定度受漂移、温度等因素的影响。式（C.8）列出了本例中的影响分量。一般来说，影响刻度因数 F_x 的每一分量包括误差和标准不确定度。用误差来修正刻度因数，修正值具有与误差相反的符号。不确定度分量评定方法如 GB/T 16927.4—2014 附录 A.5 中所述，即若假定在 $\pm a_i$ 区间内是矩形概率分布，则其扩展不确定度 $u_i = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ；或者，用被校组件的扩展不确定度 U 除以包

含因子 k 来求得。分量 $F_{x,i}$ 并不总是有误差（或假定误差很小可以忽略），此时仅需考虑不确定度分量 u_i 。

a) 系统 X 线性度引入的不确定度分量。

表 C.5~表 C.7 仅列出了部分等级电流的比对测量结果数据，线性度试验结果见表 C.8。

表 C.5 10%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	12.151	0.242 0	50.210 7
2	12.336	0.247 1	49.923 1
3	11.497	0.229 5	50.095 9
F_x 的平均值			50.076 6

表 C.6 20%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	24.324 5	0.486 3	50.019 5
2	23.476 5	0.469 7	49.981 9
3	24.092 6	0.480 1	50.182 5
F_x 的平均值			50.061 3

表 C.7 80%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_X V	F_X
1	93.194	1.863 1	50.020 9
2	96.242	1.932 2	49.809 5
3	95.866	1.918 6	49.966 6
F_X 的平均值			49.932 4

表 C.8 线性度试验结果

电流水平数 g	电流水平 I_{Xmax} 的百分数	F_{Xg}	$\left \frac{F_{Xg}}{F_{Xg}} - 1 \right $
3	10	50.076 6	0.001 258
4	20	50.061 3	0.000 952
5	40	50.101 0	0.001 746
6	60	50.097 2	0.001 670
7	80	49.932 4	0.001 625
8	100	49.813 6	0.004 001
平均值		50.013 7	

依据 GB/T 16927.4—2014 的 5.3 评定相对标准不确定度为：

$$u_{lin} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{g=3}^8 \left| \frac{F_{Xg}}{F_{Xg}} - 1 \right| = 0.002\ 3 \tag{C.9}$$

b) 测量系统的短时稳定性引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.5 在 12kA 电流下对系统 X 进行了短时稳定性试验，对试验结果进行如下计算：

$$u_{st} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_{after}}{F_{before}} - 1 \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{50.193\ 3}{50.093\ 2} - 1 \right| = 0.001\ 2 \tag{C.10}$$

式中：

F_{after} ——短时稳定性试验后测量系统的刻度因数；

F_{before} ——短时稳定性试验前测量系统的刻度因数。

c) 测量系统的温度效应引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.7 在 12kA 电流下对系统 X 进行了-10、50℃的刻度系数试验，按照式 (C.11) 进行计算：

$$u_{temp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max \left| \frac{F_{Ti}}{F_{cal}} - 1 \right| \tag{C.11}$$

式中：

F_{Ti} ——特定温度时的刻度因数；

F_{cal} ——校准确定的刻度因数。

12kA 电流下温度结果见表 C.9。

表 C.9 12kA 电流下温度结果

测量温度	F_x	$\left \frac{F_{Ti}}{F_{cal}} - 1 \right $
-10℃	49.968 0	0.001 796
50℃	50.298 6	0.004 808
校准确定的刻度因数	50.057 9	

取其中最大值，计算如下：

$$u_{temp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.004\,808 = 0.002\,8 \tag{C.12}$$

d) 测量系统的动态特性引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.4 对系统 X 进行了 20、50、1000、5000、10 000Hz 的动态特性试验，试验波形为振荡衰减正弦波，每个频率下正、负极性各 10 次，最大峰值电流为 30kA，动态特性测试结果见表 C.10，不确定度分量按照式 (C.13) 进行计算：

$$u_{dyn} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{i=1}^k \left| \frac{F_i}{\overline{F}} - 1 \right| \tag{C.13}$$

式中：

- k ——在冲击参数范围或频率范围内确定刻度因数的数量；
- F_i ——各个刻度因数；
- \overline{F} ——冲击参数范围或频率范围内刻度因数的平均值。

表 C.10 动态特性测试结果

测量频率 Hz	F_x	$\left \frac{F_i}{\overline{F}} - 1 \right $
20	50.042 6	0.000 158
50	50.050 5	0.000 000
1000	49.937 5	0.002 258
5000	49.897 4	0.003 059
10 000	49.857 4	0.003 858

大容量试验电流波形通常为混频信号，其基波频率为 50Hz，取 F （50Hz）为 \overline{F} 。取其中最大值，按照式 (C.14) 进行计算：

$$u_{dyn} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.003\,858 = 0.002\,2 \tag{C.14}$$

e) 测量系统的邻近回路试验引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.8 对系统 X 进行了邻近回路试验， I_{nearby} 有效值为 96kA， I_{prox} 有效值为 25A，计算公式及结果见式 (C.15)：

$$u_{prox} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{I_{prox}}{I_{nearby}} \right| = 0.000\,15 \tag{C.15}$$

f) 测量系统软件引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.9, 使用 TDG 对系统 X 测试软件进行有效值计算方法评定, 结果其相对扩展不确定度为 0.391% ($k=2$), $u_{X,\text{sft}}=0.002\ 0$ 。

表 C.11 列出了刻度因数 $F_{X,\text{mes}}$ 的不确定度预算及相对标准不确定度计算结果, 自由度依据 GB/T 16927.4—2014 附录 A.13 确定。评定结果包含刻度因数及其合成标准不确定度, 表 C.11 中最后一行给出了其有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=232$, 表示 F_X 可能值属正态分布, 因此 $k=2$ 是有效的。

表 C.11 刻度因数 $F_{X,\text{mes}}$ 的不确定度预算及标准不确定度计算结果

量	值	自由度	合成相对标准不确定度分量
相对扩展不确定度 $F_{X,\text{cal}}^{\text{a}}$	0.008 2	50	0.004 1
$u_{X,\text{lin}}^{\text{b}}$	0.002 3	∞	0.002 3
$u_{X,\text{st}}^{\text{b}}$	0.002 2	∞	0.001 2
$u_{X,\text{dyn}}^{\text{b}}$	0.002 8	∞	0.002 2
$u_{X,\text{temp}}^{\text{b}}$	0.002 4	∞	0.002 8
$u_{X,\text{prox}}^{\text{b}}$	0.000 15	∞	0.000 15
$u_{X,\text{sft}}^{\text{a}}$	0.002 0	50	0.002 0
$F_{X,\text{mes}}$	50.057 9	232	0.006 4
<div><div>^a 正态分布;</div><div>^b 矩形分布。</div></div>			

表 C.11 中的合成标准不确定度 u_{mes} 计算公式为:

$$u_{\text{mes}} = \sqrt{u_{X,\text{cal}}^2 + u_{X,\text{lin}}^2 + u_{X,\text{st}}^2 + u_{X,\text{dyn}}^2 + u_{X,\text{temp}}^2 + u_{X,\text{prox}}^2 + u_{X,\text{sft}}^2}$$
$$= \sqrt{0.004\ 1^2 + 0.002\ 3^2 + 0.001\ 2^2 + 0.002\ 2^2 + 0.002\ 8^2 + 0.000\ 15^2 + 0.002\ 0^2} = 0.006\ 4$$

(C.16)

最终, 系统 X 的刻度因数的完整表述为:

$$F_{X,\text{mes}}=50.057\ 9\times (1\pm 0.013)$$

覆盖概率不小于 95% ($k=2$)。

该测量系统使用时刻度因数的扩展不确定度为 $U_{\text{mes}}=1.3\%$ 。在下一次校准前, 此扩展不确定度值可作为扩展不确定度的最大值。

C.4 示例 3: 短时交流电流测量系统的峰值刻度因数校准及其校准不确定度的评定（比对法）

校准试验电流类型为非对称电流（峰值因数为 2.5），最大电流峰值为 7.5kA 和 30kA 两个电流水平，每个电流水平正、负极性各 10 次，电流持续时间为 100ms，每次施加需要间隔一段较长的时间满足标准分流器的正常使用条件。系统 N 的测量电流峰值的扩展不确定度为:

$$U_{\text{N}}=0.76\%(k=2)$$

包括长期稳定性这一不确定度分量。校准期间, 环境温度为 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$, 考虑到标准分流器的实际工作温度, 假定 F_{N} 的可能值在 $\pm 0.3\%$ ($0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$) 范围内服从矩形分布。

系统 N 测量电流为 I_{N} 。用于计算 F_X 值及其合成标准不确定度的模型方程, 在理想情况下, 两套测量系统显示的是同一个短时交流测试电流 I （如图 C.1 所示），计算公式见式（C.1）。

由此导出计算被校测量系统刻度因数的基本等式, 见式（C.2）。

每个电流水平下, 系统 X 与系统 N 的比对测量产生 10 对测量值 I_{N} 和 V_{X} , 由此可计算 F_X , 相应的

平均值以及实验标准偏差 $s(F_x)$ [依据 GB/T 16927.4—2014 的 5.2.1.1 式 (2) 计算]。表 C.12~表 C.15 给出了+7.5、-7.5、+30kA 和-30kA 电流下测量值的示例。试验电流水平 $g=2$ 下的 F_x 、相应的平均值以及实验标准偏差见表 C.16。

表 C.12 +7.5kA 电流下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	7.189	0.143 1	50.237 6
2	7.322	0.146 4	50.013 7
3	7.822	0.156 4	50.012 8
4	7.492	0.150 2	49.890 8
5	7.465	0.149 3	49.880 2
6	7.303	0.145 9	50.054 8
7	7.537	0.150 5	50.079 7
8	7.672	0.153 6	49.947 9
9	7.505	0.150 3	49.933 5
10	7.634	0.151 9	50.256 7
F_x 的平均值			50.041 7
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.002 458

$$u_g = u(F_x) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.002\,458}{\sqrt{10}} = 0.000\,777$$

(C.17)

表 C.13 -7.5kA 电流下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	-7.788	-0.156 2	49.859 2
2	-7.512	-0.150 0	50.080 0
3	-7.485	-0.149 0	50.234 9
4	-7.321	-0.146 6	49.938 6
5	-7.490	-0.149 3	50.167 4
6	-7.458	-0.149 6	49.852 9
7	-7.709	-0.153 7	50.156 1
8	-7.462	-0.148 7	50.181 6
9	-7.468	-0.149 7	49.886 4
10	-7.665	-0.153 0	50.098 0
F_x 的平均值			50.045 5
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.002 934

$$u_g = u(F_x) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.002\,934}{\sqrt{10}} = 0.000\,928$$

(C.18)

表 C.14 +30kA 电流下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	28.592	0.569 4	50.214 3
2	30.732	0.612 9	50.141 9
3	29.939	0.598 9	49.990 0
4	30.329	0.607 0	49.965 4
5	30.230	0.604 9	49.975 2
6	31.078	0.622 8	49.900 4
7	30.916	0.618 3	50.001 6
8	30.302	0.606 0	50.003 3
9	29.049	0.579 1	50.162 3
10	31.159	0.621 3	50.151 3
F_x 的平均值			50.050 6
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.002 122

$$u_g = u(F_x) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.002\,122}{\sqrt{10}} = 0.000\,671$$

(C.19)

表 C.15 -30kA 电流下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	-31.436	-0.627 8	50.073 3
2	-29.219	-0.585 1	49.938 5
3	-29.004	-0.578 3	50.153 9
4	-30.638	-0.612 6	50.013 1
5	-30.065	-0.602 2	49.925 3
6	-28.952	-0.576 5	50.220 3
7	-30.546	-0.608 6	50.190 6
8	-30.954	-0.618 8	50.022 6
9	-28.949	-0.578 3	50.058 8
10	-30.478	-0.609 0	50.046 0
F_x 的平均值			50.064 2
相对实验标准偏差 $s_g(F_x)$			0.001 978

$$u_g = u(F_x) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0.001\,978}{\sqrt{10}} = 0.000\,626$$

(C.20)

表 C.16 电流水平 $g=2$ （正、负）、数据组 $\varepsilon=4$ 结果汇总

电流水平数 g	电流水平 I_{amax} 的百分数 %	F_x	$s_g(F_x)$	u_{xg}
1	+2.5	50.041 7	0.002 5	0.000 777
	-2.5	50.045 5	0.002 9	0.000 928
2	+10	50.050 6	0.002 1	0.000 671
	-10	50.064 2	0.002 0	0.000 626
平均值		50.050 5		

据此，通过与标准系统进行比对得到的刻度因数可评定为：

$$F_x = 50.050\ 5 \tag{C.21}$$

F_x 的不确定度评定为：

$$u_F = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{\varepsilon=1}^4 \left| \frac{\bar{F}_\varepsilon}{F} - 1 \right| \right)^2 + \left(\max_{\varepsilon=1}^4 (u_g) \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{3} (0.000\ 274)^2 + (0.000\ 928)^2} = 0.000\ 941 \tag{C.22}$$

表 C.17 列出标定刻度因数 F_x 的不确定度预算及相对标准不确定度计算结果，表 C.17 中最后一行给出了其有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=80$ ，表示 F_x 可能值属正态分布，因此 $k=2$ 是有效的。

表 C.17 中的合成标准不确定度为：

$$u_{\text{cal}} = \sqrt{u_{F_x}^2 + u_{F_N}^2 + u_{\Delta F_{N,\text{temp}}}^2 + u_{\text{soft}}^2} = \sqrt{0.000\ 941^2 + 0.003\ 8^2 + 0.001\ 7^2 + 0.000\ 64^2} = 0.004\ 3 \tag{C.23}$$

表 C.17 标定刻度因数 F_x 的不确定度预算

量	值	自由度 ν_{eff}	合成相对标准不确定度分量
F_x 的相对标准不确定度分量 ^a	0.000 941	9	0.000 941
系统 N 的相对扩展不确定度 ^a	0.007 6	50	0.003 8
系统 N 温度变化分量 $\Delta F_{N,\text{temp}}$ ^b	0.003 0	∞	0.001 7
系统 N 数据处理软件相对扩展不确定度 ^a	0.001 28	50	0.000 64
F_x	50.050 5	80	0.004 3
^a 正态分布； ^b 矩形分布。			

最终，校准结果的完整表述为：

$$F_x = F_{x,\text{cal}} = 50.050\ 5 \times (1 \pm 0.008\ 6)$$

覆盖概率不小于 95% ($k=2$)。峰值刻度因数校准的相对扩展不确定度 $U_{\text{cal}}=0.86\%$ ，使用该测量系统进行测量的不确定度，需要考虑更多不确定度因素。

C.5 示例 4：使用短时交流电流测量系统（认可测量系统）进行的峰值测量不确定度评定

示例 3 中描述了认可交流测量系统 X 的峰值刻度因数校准情况，其刻度因数为 $F_x=50.050\ 5$ ，校准的相对扩展不确定度为 $U_{\text{cal}}=0.86\% (k=2)$ 。其 30kA~300kA 的线性度通过与标准测量系统（记为 N）进行比对，计算出相应的线性度分量。同时对测量系统动态特性、短时稳定性、环境温度影响以及邻近回

路电流试验进行了研究测试，并对 F_x 的影响进行了相应计算。校准刻度因数 $F_{x,mes}$ 的模型等式及其扩展标准不确定度见式 (C.8)。

系统的刻度因数值及其不确定度受漂移、温度等因素的影响。系统的刻度因数均会受到多个参量的影响，如漂移、温度等，它们会影响刻度因数值及其不确定度。式 (C.8) 列出了本例中的影响分量。一般来说，影响刻度因数 F_x 的每一分量包括误差和标准不确定度。用误差来修正刻度因数，修正值具有与误差相反的符号。进行不确定度分量评定时假定在 $\pm a_i$ 区间内是矩形概率分布，则其扩展不确定度 $u_i = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ；或者，用被校组件的扩展不确定度 U 除以包含因子 k 来求得。分量 $F_{x,i}$ 并不总是有误差（或假定误差很小可以忽略），此时仅需考虑不确定度分量 u_i 。

- a) 测量系统线性度引入的不确定度分量。
表 C.18~表 C.23 仅列出了部分等级电流的比对测量结果数据，线性度试验结果见表 C.24。

表 C.18 +10%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	28.592	0.569 4	50.214 3
2	30.732	0.612 9	50.141 9
3	29.939	0.598 9	49.990 0
F_x 的平均值			50.115 4

表 C.19 -10%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	-31.436	-0.627 8	50.073 3
2	-29.219	-0.585 1	49.938 5
3	-29.004	-0.578 3	50.153 9
F_x 的平均值			50.055 2

表 C.20 +20%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	59.360 7	1.185 0	50.093 4
2	61.889 7	1.235 4	50.0969
3	60.634 2	1.209 9	50.115 1
F_x 的平均值			50.101 8

表 C.21 -20%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	62.166 9	1.247 7	49.825 2
2	59.909 1	1.193 7	50.187 7
3	59.360 7	1.186 2	50.042 7
F_x 的平均值			50.004 5

表 C.22 +80%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	242.066 2	4.826 8	50.150 5
2	236.345 1	4.739 8	49.863 9
3	245.790 2	4.915 9	49.999 0
F_x 的平均值			50.004 5

表 C.23 -80%电流水平下比对测量结果

测量次数	标准系统 I_N kA	被试系统 V_x V	F_x
1	246.118 4	4.910 7	50.118 8
2	234.291 5	4.697 7	49.873 7
3	238.617 7	4.768 3	50.042 5
F_x 的平均值			50.011 7

表 C.24 线性度试验结果

电流水平数 g	电流水平 $I_{x\max}$ 的百分数	F_{xg}	$\left \frac{F_{xg}}{F_x} - 1 \right $
3	+10	50.115 4	0.001 857
	-10	50.055 2	0.000 654
4	+20	50.101 8	0.001 585
	-20	50.018 6	0.000 078
5	+40	50.091 2	0.001 373
	-40	50.072 3	0.000 995
6	+60	50.006 0	0.000 330
	-60	50.082 9	0.001 207
7	+80	50.004 5	0.000 360
	-80	50.011 7	0.000 216
8	+100	49.897 6	0.002 497
	-100	49.812 9	0.004 190
平均值		50.022 5	

依据 GB/T 16927.4—2014 的 5.3 评定相对标准不确定度，计算公式及结果见式（C.24）：

$$u_{\text{lin}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{g=1}^{12} \left| \frac{F_{xg}}{F_x} - 1 \right| = 0.002\,419$$

(C.24)

b) 测量系统的短时稳定性引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.5，对系统 X 进行了短时稳定性试验， F_{before} 、 F_{after} 是在非对称电流

最大峰值±30kA 下进行校准，其计算公式及结果见式（C.25）：

$$u_{st} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_{after}}{F_{before}} - 1 \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{50.222\,3}{50.057\,6} - 1 \right| = 0.001\,9 \tag{C.25}$$

c) 测量系统的温度效应引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.7 在非对称电流最大峰值±30kA 下对系统 X 分别进行了-10、50℃各挡位的刻度系数试验，测试结果见表 C.25，计算公式见式（C.26）、式（C.27）。

表 C.25 ±30kA 电流下温度结果

测量温度 ℃	F_x	$\left \frac{F_{T_i}}{F_{cal}} - 1 \right $
-10	49.902 4	0.003 1
50	50.307 9	0.005 0
校准确定的刻度因数	50.057 6	

$$u_{temp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max \left| \frac{F_{T_i}}{F_{cal}} - 1 \right| \tag{C.26}$$

式中：

F_{T_i} ——特定温度 T_i 时的刻度因数；

F_{cal} ——校准确定的刻度因数。

取其中最大值：

$$u_{temp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.005\,0 = 0.002\,9 \tag{C.27}$$

d) 测量系统的动态特性引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.4 对系统 X 进行了 20、50、1000、5000、10 000Hz 的动态特性试验，试验波形为振荡衰减正弦波，每个频率下正、负极性各 10 次，最大峰值电流为 30kA，测量结果见表 C.26，计算公式及结果见式（C.28）、式（C.29）。

表 C.26 动态特性测试结果

测量频率 Hz	F_x	$\left \frac{F_i}{F} - 1 \right $
20	50.042 6	0.000 3
50	50.057 6	0
1000	49.937 5	0.002 4
5000	49.897 4	0.003 2
10 000	49.857 4	0.004 0

$$u_{dyn} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{i=1}^k \left| \frac{F_i}{F} - 1 \right| \tag{C.28}$$

式中：

k ——在冲击参数范围或频率范围内确定刻度因数的数量；

F_i ——各个刻度因数；

\overline{F} ——冲击参数范围或频率范围内刻度因数的平均值。

大容量试验电流波形通常为混频信号，其基波频率为 50Hz，取 F （50Hz）为 \overline{F} 。取其中最大值，计算如下：

$$u_{\text{dyn}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.003\,858 = 0.002\,227$$

(C.29)

e) 测量系统的邻近回路试验引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.8 对系统 X 进行了邻近回路试验， I_{nearby} 电流峰值为 240kA， I_{prox} 电流峰值为 30A，计算公式及结果见式 (C.30)：

$$u_{\text{prox}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{I_{\text{prox}}}{I_{\text{nearby}}} \right| = 0.000\,072$$

(C.30)

f) 测量系统软件引入的不确定度分量。

根据 GB/T 16927.4—2014 的 5.9，使用 TDG 对系统 X 测试软件进行峰值计算方法评定，其相对扩展不确定度为 0.128% ($k=2$)， $u_{\text{X,sft}}=0.000\,64$ 。

表 C.27 列出了刻度因数 $F_{\text{X,mes}}$ 不确定度预算及相对标准不确定度计算结果，自由度依据 GB/T 16927—2014 附录 A.13 确定。评定结果包含刻度因数及其合成标准不确定度，表 C.27 中最后一行给出了其有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=261$ ，表示 F_{X} 可能值属正态分布，因此 $k=2$ 是有效的。

表 C.27 刻度因数 $F_{\text{X,mes}}$ 不确定度预算及不确定度评定结果

量	值	自由度 ν_{eff}	合成相对标准 不确定度分量
相对扩展不确定度 $F_{\text{X,cal}}$ ^a	0.008 6	50	0.004 3
$u_{\text{X,lin}}$ ^b	0.002 419	∞	0.002 419
$u_{\text{X,st}}$ ^b	0.001 9	∞	0.001 9
$u_{\text{X,dyn}}$ ^b	0.002 227	∞	0.002 227
$u_{\text{X,temp}}$ ^b	0.002 969	∞	0.002 969
$u_{\text{X,prox}}$ ^b	0.000 072	∞	0.000 072
$u_{\text{X,sft}}$ ^a	0.000 64	50	0.000 64
$F_{\text{X,mes}}$	50.050 5	261	0.006 5
^a 正态分布； ^b 矩形分布。			

表 C.27 合成标准不确定度 u_{mes} 计算公式为：

$$\begin{aligned} u_{\text{mes}} &= \sqrt{u_{\text{X,cal}}^2 + u_{\text{X,lin}}^2 + u_{\text{X,st}}^2 + u_{\text{X,dyn}}^2 + u_{\text{X,temp}}^2 + u_{\text{X,prox}}^2 + u_{\text{X,sft}}^2} \\ &= \sqrt{0.004\,3^2 + 0.002\,419^2 + 0.001\,9^2 + 0.002\,227^2 + 0.002\,969^2 + 0.000\,072^2 + 0.000\,64^2} \quad (\text{C.31}) \\ &= 0.006\,5 \end{aligned}$$

最终，使用认可的测量系统进行测量时认可测量系统的刻度因数的完整表述为：

$$F_{\text{X,mes}} = 50.050\,5 \times (1 \pm 0.013)$$

覆盖概率不小于 95% ($k=2$)。

该测量系统使用时刻度因数的扩展不确定度 $U_{\text{mes}}=1.3\%$ 。在下一次校准前，此扩展不确定度值可作为扩展测量不确定度的最大值。

附 录 D
(资料性附录)
特 殊 情 况

GB 1984—2003 没有解决的特殊问题:

本附录包含了触头行程测量中的问题。

在关合和开断试验、电流开合试验以及机械操作试验中，必须要记录断路器的触头行程，原因如下:

- a) 按照 GB 1984—2003 中 6.101.1.1，须获得参考机械行程特性。
- b) 在每个试验中确定触头分离时刻，以获得一些参量，例如燃弧时间。

触头行程通常通过直接与触头或操作机构连接的设备获得，因此通常与触头的动作速度不存在线性关系。

在多数情况下，传感器与客户产品有关，并没有进行校准。

同时根据这个测量结果获取产品动作时间和燃弧时间。

GB 1984—2003 声明允许燃弧时间有 1ms 的偏差，意味着利用参考机械行程特性来确定触头分离时刻的时间偏差应不超过 1ms。

在实际试验中，传感器安装位置接近断路器，不可避免地受到干扰。

考虑以上提到的问题，可以得出结论：触头分离的时间有时无法自动获取，可能需要人工参与。

如果无法准确获得触头的分离时刻，可以通过测量电弧电压获取附加信息。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
试验数据的测量不确定度处理
NB/T 42023—2013

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2014年12月第一版 2014年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 2.75印张 82千字
印数 0001—3000册

*

统一书号 155123·2119 定价 23.00元



敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

NB/T 42023-2013 试验数据的测量不确定度处理



1551232119

RMB:23.00

155123.2119

上架建议：规程规范/
电力工程/供用电



关注我,关注更多好书

BZ002109718

