

中华人民共和国国家标准

GB/T 17627—2019

代替 GB/T 17627.1—1998, GB/T 17627.2—1998

低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备

High-voltage test techniques for low-voltage equipment—
Definitions, test and procedure requirements, test equipment

(IEC 61180:2016, MOD)

2019-12-10 发布

2020-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 通用要求	6
5 直流电压试验	14
6 交流电压试验	16
7 冲击电压试验	19
8 标准测量系统	21
附录 A (资料性附录) 测量不确定度	23
附录 B (资料性附录) 电压测量不确定度评定示例	29
附录 C (资料性附录) 大气修正	33
参考文献	35



仪器服务网
YIQIFUWU.COM

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 17627.1—1998《低压电气设备的高电压试验技术 第一部分:定义和试验要求》和 GB/T 17627.2—1998《低压电气设备的高电压试验技术 第二部分:测量系统和试验设备》。

本标准与 GB/T 17627.1—1998 和 GB/T 17627.2—1998 相比,主要技术变化如下:

- 将 GB/T 17627.1—1998 和 GB/T 17627.2—1998 合并成为 GB/T 17627;
- 删除了 GB/T 17627.1—1998 中“9 冲击电流试验”相关内容;
- 删除了 GB/T 17627.1—1998 中“10 合成试验”相关内容;
- 删除了 GB/T 17627.1—1998 的“附录 A 合成试验的布置”;
- 增加了规范性引用文件 JJF 1059.1(见第 2 章);
- 增加了刻度因数的术语定义(见 3.3.7);
- 增加了关于允许误差和不确定度的术语定义,包括标准不确定度、合成不确定度、扩展不确定度、包含因子、A 类评定、B 类评定等(见 3.7);
- 增加了测量系统和试验步骤(见 4.3);
- 增加了认可测量系统及其组件的试验和试验要求(见 4.4);
- 增加了附录 A“测量不确定度的评定与表示”;
- 增加了附录 B“测量不确定度评定实例”;
- 增加了附录 C“大气修正”。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 61180:2016《低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备》。

本标准与 IEC 61180:2016 的主要差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(∟)进行了标示。

本标准与 IEC 61180:2016 的技术性差异及其原因如下:

- 关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件。调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 2421.1 代替了 IEC 60068-1:2013;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16896.1 代替了 IEC 61083-1:2001;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16896.2 代替了 IEC 61083-2:2013;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.1—2011 代替了 IEC 60060-1:2010;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.2—2013 代替了 IEC 60060-2:2010;
 - 增加引用了 GB/T 4706.1;
 - 增加了规范性引用文件 JJF 1059.1—2012;
 - 删除了 IEC 60335(所有部分)。
- IEC 61180 频率范围为 45 Hz~65 Hz,考虑到 60 Hz 对我国电网不适用,故将频率范围定为 45 Hz~55 Hz,以便与 GB/T 311.1 相一致(见 6.1.1.1)。
- IEC 61180 要求测量系统溯源至国家标准或国际标准,考虑到我国计量体系的实际情况,修改为溯源至国家基准或标准(见 4.3.1)。

本标准做了下列编辑性修改:

- 按 GB/T 1.1—2009 的要求,规范了范围一章的编写;

- 将 IEC 61180 中使用的部分计量单位改为我国法制计量单位；
- 对 IEC 61180 图 5 中的标注有误之处做出相应修改；
- 对 IEC 61180 图 A.1 和图 A.2 的注释中的符号有误处做出相应修改；
- 结合我国不确定度评定的要求和习惯,对 IEC 61180 附录 B 进行了重新编写；
- 对附录 C.2.3 中的符号有误处做出相应修改；
- 修改了参考文献。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会(SAC/TC 163)归口。

本标准起草单位:中国电力科学研究院有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司、国网经济技术研究院有限公司、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、国网河北省电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、中国长江电力股份有限公司、宁波职业技术学院、苏州华电电气股份有限公司、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、河南许继仪表有限公司、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、江苏省计量科学研究院、重庆大学、中国合格评定国家认可中心、国网湖南省电力有限公司供电服务中心(计量中心)、国网湖北省电力有限公司计量中心、平高集团有限公司、广州供电局有限公司荔湾供电局、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、烟台东方威思顿电气有限公司。

本标准主要起草人:雷民、李强、岳长喜、王亭、余佶成、崔东、贾转转、危鹏、李振强、朱太云、任稳柱、徐莹、陈志勇、孙冲、曹晓波、刘民、朱振华、杨树锋、张旭、沈建位、姜杏辉、郭守贤、琚泽立、丁彬、王伟、戚凯、金鑫、潘宝祥、王有元、陈迪、杨茂涛、李恺、王海元、汪司珂、郭玥、张友鹏、李江帆、满玉岩、郝晓光、杨景刚、郑一鸣、邓文栋。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 17627.1—1998；
- GB/T 17627.2—1998。

低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备

1 范围

本标准规定了：

- 一般适用性和特定适用性的术语定义；
- 试品和试验的一般要求；
- 试验电压的产生和测量方法；
- 试验程序；
- 试验结果的评估方法及接受准则；
- 认可测量装置及其核查方法的要求；
- 测量不确定度。

注 1：测量不确定度的表示与评定示例参见附录 A 和附录 B。

若使用替代的试验程序，宜由相关技术委员会规定。

值得注意的是，若试品含有限压装置，其试验结果可能会受影响，宜由相关技术委员会为该类产品提供技术指导。

本标准适用于交流额定电压不高于 1 kV，或直流额定电压不高于 1.5 kV 的电气设备的直流、交流、冲击绝缘试验及试验设备。

相关技术委员会可依据本标准规定有高压试验要求的低压电气设备的型式试验和例行试验。

试验设备包括电压发生器和测量系统，测量系统中的测量设备应能通过适当的屏蔽方法避免外部的干扰和耦合，简单的比对测试足以确保其测量结果有效。

本标准不适用于电气或电子设备的电磁兼容试验。

注 2：冲击电压和电流的组合测试参见 GB/T 17626.5。

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/T 2421.1 电工电子产品环境试验 概述和指南(GB/T 2421.1—2008, IEC 60068-1:2013, IDT)

GB 4706.1 家用和类似用途电器的安全 第 1 部分:通用要求(GB 4706.1—2005, IEC 60335-1:2010, IDT)

GB/T 16896.1 高电压冲击测量仪器和软件 第 1 部分:对仪器的要求(GB/T 16896.1—2005, IEC 61083-1:2001, MOD)

GB/T 16896.2 高电压和大电流试验测量用仪器和软件 第 2 部分:对冲击电压和冲击电流试验用软件的要求(GB/T 16896.2—2016, IEC 61083-2:2013, MOD)

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义及试验要求(IEC 60060-1:2010, 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 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验(IEC 60664-1:2007,IDT)

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 通用术语和定义

3.1.1

电气间隙 clearance

两个导电部件之间在空气中的最短距离。

[GB/T 16935.1—2008,定义 3.2]

3.1.2

爬电距离 creepage distance

两个导电部件之间沿固体绝缘材料表面的最短距离。

[GB/T 16935.1—2008,定义 3.3]

3.2 放电特性及试验电压

3.2.1

破坏性放电 disruptive discharge

与电气作用下绝缘发生故障有关的现象。试验时绝缘完全被放电桥接,并使电极间的电压实际降低到零。

[GB/T 16927.1—2011,定义 3.1.1]

3.2.2

耐受电压 withstand voltage

耐受试验中,表征试品绝缘性能的规定的预期电压值。

[GB/T 16927.1—2011,定义 3.2.4]

注:除非另有规定,耐受电压是指标准大气条件下的值(见 4.2)。

3.3 有关测量系统试验的定义

3.3.1

校准 calibration

在规定条件下,建立标示值和按参考标准的测量结果之间关系的一组操作。

注:校准包括刻度因数的确定。

3.3.2

型式试验 type test

根据一个或多个代表测量系统的样本所进行的符合性试验。

注:测量系统的型式试验可以理解为,对相同设计的整套测量系统或单个组件在工作条件下检测其性能的试验。

3.3.3

例行试验 routine test

每个单套测量系统或其组件加工期间或加工后进行的符合性试验。

注:例行试验可理解为对每个整套测量系统或每个组件在工作条件下检测其性能的试验。

3.3.4

性能试验 performance test

对整套测量系统在工作条件下检测其性能的试验。

[GB/T 16927.2—2013, 定义 3.7.4]

3.3.5

试验设备 test equipment

用于生成和测量施加到试品的试验电压或电流所需的完整设备。

3.3.6

标准测量系统 reference measuring system

其校准可溯源到相关国家标准,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压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。

[GB/T 16927.2—2013, 定义 3.1.4]

3.3.7

刻度因数 scale factor

与测量仪器的读数相乘便得到整个测量系统输入量值的因数。

注 1: 对不同的标定测量范围、不同的频率范围或不同的波形,一个测量系统可以有多个刻度因数。

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 16927.2—2013, 定义 3.3]

3.3.8

标定刻度因数 assigned scale factor

F

最近一次性能试验所确定的测量系统的刻度因数。

注: 一个测量系统可有多个标定刻度因数。例如,该系统有几个测量范围,每个范围可具有不同的刻度因数。

[GB/T 16927.2—2013, 定义 3.3.5]

3.4 直流电压试验的有关特性

3.4.1

试验电压值 value of the test voltage

试验电压的算术平均值。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 5.1.1]

3.4.2

纹波 ripple

相对于直流电压算术平均值的周期性偏差。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 5.1.2]

3.4.3

纹波幅值 ripple amplitude

纹波的最大值与最小值之差的一半。

注: 在纹波波形近似正弦时,纹波幅值可由实际有效值乘以 $\sqrt{2}$ 。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 5.1.3]

3.4.4

纹波因数 ripple factor

纹波幅值与试验电压值之比。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 5.1.4]

3.5 交流电压试验的有关特性

3.5.1

交流电压峰值 peak value

正负半波峰值的平均值。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 6.1.1]

3.5.2

有效值 r.m.s. value

一个完整周期中电压值的平方的平均值的平方根。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 6.1.3]

3.5.3

真有效值 true r.m.s. value

真有效值如式(1)所示：

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

0 —— 交流的周期性波形中的($t=0$)时刻, 便于进行积分计算；

T —— 整数倍的周期时间；

$i(t)$ —— 电流的瞬时值。

注 1: 真有效值可以根据任意周期的数字化记录计算获得, 只要具有足够数量的采样点。

注 2: 在不同频率下, 无法提供真有效值精确的计算公式。

3.5.4

总谐波畸变率 total harmonic distortion; THD

交变量中谐波分量的有效值与基波有效值的比值。

[GB/T 2900.33—2004, 定义 551-20-13]

3.6 冲击电压试验相关特性(图 1)

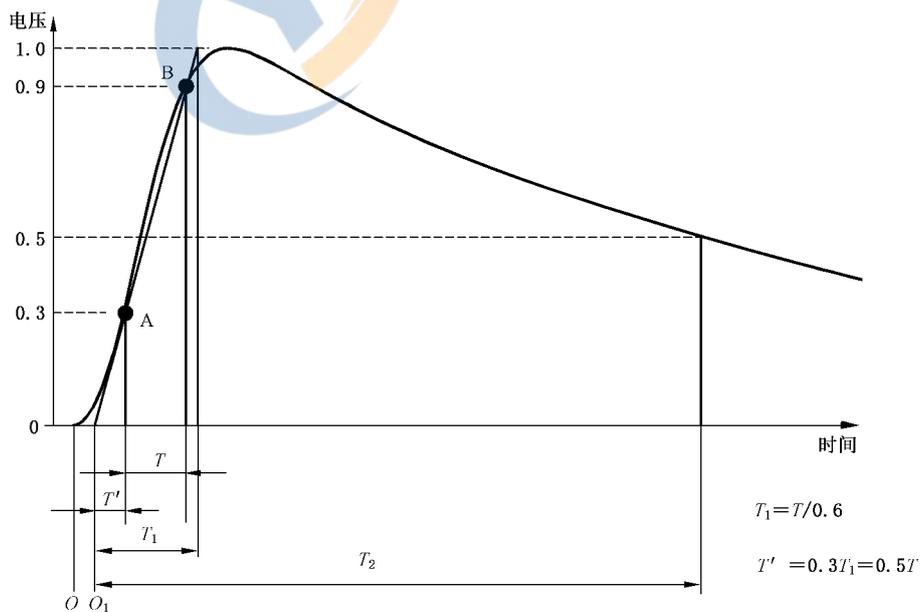


图 1 冲击电压全波时间参数

3.6.1

冲击电压 impulse voltage

迅速上升到峰值然后缓慢地下降到零的非周期瞬态电压。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 7.1.1]

3.6.2

峰值 peak value

最大值。

3.6.3

试验电压值 value of the test voltage

没有过冲或振荡的冲击电压峰值。

注：波形的过冲以及震荡在标准冲击规定范围内，峰值的确定参考 GB/T 16927.1—2011。

3.6.4

波前时间 front time

T_1

视在参数，定义为试验电压曲线峰值的 30% 和 90% (图 1 中点 A 和 B) 之间时间间隔 T 的 1/0.6 倍。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 7.1.17]

3.6.5

视在原点 virtual origin

O_1

试验电压曲线中相对于 A 点超前 $0.3T_1$ 的瞬间。(如图 1 所示)

注：对于具有线性时间刻度的波形，它为通过波前部分的 A、B 两点所画直线与时间轴的交点。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 7.1.18]

3.6.6

半峰值时间 time of half-value

T_2

视在参数，定义为从视在原点 O_1 到试验电压曲线下降到峰值一半时刻之间的时间间隔(如图 1 所示)。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 7.1.21]

3.6.7

记录曲线 recorded curve

电压试验数据的图形或数字化的表示。

[GB/T 16927.1—2011, 定义 7.1.5]

3.7 容差和不确定度的有关定义

3.7.1

容差 tolerance

测量值与规定值之间的允许差值。

[GB/T 16927.2—2013, 定义 3.6.1]

3.7.2

测量不确定度 uncertainty of measurement

利用可获得的信息，表征赋予被测量量值分散性的非负参数。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.12]

注：在本标准中，所有不确定度规定为在 95% 置信水平下的值。

3.7.3

误差 error

测得的量值与参考量值之差。

[GB/T 16927.2—2013, 定义 3.6.2]

3.7.4

标准不确定度 standard uncertainty

u

以标准偏差表示的测量结果的不确定度。

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。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.13]

3.7.5

合成标准不确定度 combined standard uncertainty

u_c

由在一个测量模型中各输入量的标准测量不确定度获得的输出量的标准测量不确定度。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.16]

3.7.6

扩展不确定度 expanded uncertainty

U

合成标准测量不确定度与包含因子的乘积, 该因子取决于测量模型中输出量的概率分布类型及所选取的包含概率。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.18]

注: 由于包含概率小于 100% (见 3.7.7), 试验电压真值可能落在不确定度的限值之外。

3.7.7

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值因子。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.21]

注: 对 95% 包含概率和正态 (高斯) 概率分布, 包含因子约为 $k=2$ 。

3.7.8

A 类评定 type A evaluation

在规定测量条件下测得的量值用统计分析方法进行的测量不确定度分量的评定。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.14]

3.7.9

B 类评定 type B evaluation

用不同于测量不确定度 A 类评定的方法对测量不确定度分量进行的评定。

[JJF 1059.1—2012, 定义 3.15]

4 通用要求

4.1 一般要求

除非有关标准另有规定, 试品应清洁、干燥, 与周围环境达到平衡稳定, 并应根据本标准相关条款规

定施加电压。特定类型试品的试验程序,应由有关标准规定,并考虑如下因素:

- 试验结果的准确度要求;
- 被观测现象的随机性以及被测特性与极性的关系;
- 重复施加电压引起绝缘逐渐劣化的可能性。

还包括使用的极性、用两种极性试验时极性的顺序、加压次数和加压时间间隔以及任何的调整和预处理。

试验设备与试品之间的连接线应直接相连并尽可能短,应避免连接成环路以使冲击波前的振荡最小化。引线应尽可能靠近,以尽量减少引线之间的区域。

上述要求也应适用于测量系统,例如需要校准的试验设备和标准测量系统。

试验设备的制造商应提供有关试验设备特性的信息,以便对试品进行高压试验时,产生的电压在允许的限值范围内。

4.2 试验程序以及对试验设备进行确认的大气条件

试验程序以及试验设备确认的大气条件,应符合 GB/T 2421.1 相关规定:

- 温度:15 °C~35 °C;
- 气压:86 kPa~106 kPa;
- 相对湿度:25%~75%;
- 绝对湿度: $\leq 22 \text{ g/m}^3$ 。

试验期间的实际大气条件应予以记录。

当大气条件在此规定的范围内时,不需要根据温度、湿度和气压对试验电压进行修正。

当大气条件不在此规定的范围内时,经协商,参见附录 C 提供的有关方法,对试验电压进行修正。

4.3 测量系统和试验程序

4.3.1 概述

认可测量系统需进行初始试验,并在其整个使用寿命期间进行周期性的性能试验(周期要求见 4.3.2)。初始试验包括型式试验和例行试验。

性能试验应证明测量系统能够测量拟测量的试验电压,且满足本标准给出的不确定度要求,而且该测量可溯源到相应的国家基准或标准。只有在其性能记录中包含系统布置和工作条件的情况下(要求详见 4.3.3),测量系统才能被认可。

测量系统的主要要求是在规定工作条件范围内的稳定性,以保证其刻度因数在长时间内保持恒定。

标定刻度因数通过性能试验校准确定,校准应溯源至国家基准或标准。使用者采用本标准的规定校准其测量系统时,应保证该校准是由能胜任的人员使用标准测量系统和合适的操作程序进行。

使用者也可选择由国家计量机构或有资质的校准实验室来进行性能试验,从而确保校准溯源至国家基准或标准。

不论采取何种方式,使用者应将试验数据存入性能记录中。

4.3.2 性能试验周期

为保持测量系统的性能,应对标定刻度因数进行周期性的性能试验。一般情况下性能试验的周期不大于 1 年。若设备制造商另有说明,并已有长期稳定性的经验证明,可根据实际情况确定试验周期。

当测量系统经过大修或回路布置超出性能记录给出的使用范围时,均应进行性能试验。

4.3.3 性能记录的要求

所有试验结果以及获取这些结果的条件均应保存在由使用者建立并保存的性能记录中(根据有关

法规和质量体系规定以纸质文件或电子文档存储),性能记录应包含测量系统各个组件的唯一性标识,而且保证测量系统的性能完整连续可查。

性能记录至少包括以下信息:

- 测量系统的一般说明;
- 测量系统的型式试验和例行试验结果;
- 测量系统的后续性能试验结果。

测量系统的一般说明通常由测量系统的主要指标和功能组成,比如:额定工作电压、波形、净距范围、工作时间或电压最大施加频次。对许多测量系统而言,传输系统以及高压和接地布置的信息是重要的。如果需要,测量系统的组件说明还应包括测量仪器的型号和相关文件。

4.3.4 不确定度

按本标准进行测量的不确定度应根据 JJF 1059.1—2012 进行评定。测量不确定度应与容差相区别。试验合格与否仅取决于测量值和评价标准,测量结果的不确定度不用于进行是否合格判断。评定不确定度的程序可按 JJF 1059.1—2012 以及本标准给出的方法进行,4.4.7 中给出的简化程序适用于高电压试验中常用的仪表设备和测量布置。但是,使用者也可从 JJF 1059.1—2012 中选取其他合适的程序,附录 A 和附录 B 简要给出了这些程序。

通常,需要考虑的被测量是测量系统的刻度因数。但是在某些情况下还应考虑其他量值,例如冲击电压的时间参数及其误差。

注 1: 对特殊的转换装置其他量是常用的。例如,分压器是由使用范围内的分压比及其不确定度进行表征,电压互感器则由变比误差、相位差和相应的不确定度进行表征。

依据 JJF 1059.1—2012,测量的不确定度由 A 类和 B 类(见 4.4.7)不确定度分量合成评定。各分量可从测量结果、制造商手册、校准证书以及测量期间影响因素的合理估算值中获得,例如,4.4 中所述的温度影响、负载影响、动态特性以及长期和短期稳定性等影响因素。其他影响因素,如测量仪器的有限分辨率,在必要时也应包括在内。

不确定度应以包含概率近似为 95% 的扩展不确定度给出,在正态分布的假定下,包含因子 $k=2$ 。

注 2: 本标准中,刻度因数和电压测量的不确定度(4.4.1~4.4.6)是用相对不确定度来表示的,而不是 JJF 1059.1—2012 通常考虑的绝对不确定度。

4.4 认可测量系统及其组件的试验和试验要求

4.4.1 校准-确定刻度因数

应依据规定的性能试验进行校准来确定测量系统的标定刻度因数。对标定的测量范围,标定刻度因数是唯一值。如果需要,不同的标定测量范围可规定不同刻度因数。

整套测量系统的刻度因数通过与标准测量系统进行比对确定。

用于校准的输入电压应与被测电压具有相同的类型、频率或波形。如不满足此条件,应估算相关不确定度分量。

校准时溯源至国家计量机构的标准测量系统与被校测量系统并联连接,并采取措施避免转换装置和测量仪器间的接地环路。对两个测量系统同时读数,由标准测量系统读到的每次测量的输入量除以被校测量系统的相应读数,求得该次测量的刻度因数 F_i 值。重复该测量 n 次求取被校测量系统在某一电压 U_g 下的刻度因数平均值 F_g ,平均值由式(2)给出:

$$F_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{i,g} \dots\dots\dots (2)$$

F_g 的相对标准差 s_g 由式(3)给出:

$$s_g = \frac{1}{F_g} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_{i,g} - F_g)^2} \dots\dots\dots (3)$$

平均值 F_g 的 A 类相对标准不确定度 u_g 由式(4)给出(参见附录 A):

$$u_g = \frac{s_g}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4)$$

通常独立读数 $n=10$ 已足够。

对交、直流电压的测量,独立读数可通过施加试验电压读取 n 个读数或施加 n 次电压读取每次读数来求得。对冲击电压则是施加 n 次冲击。

标定刻度因数通过在标定测量范围的最小值、最大值以及至少 3 个近乎相等间隔的中间值下(见图 2)直接与标准测量系统比对确定。标定刻度因数 F 为 h 个电压水平下记录到的所有刻度 F_g 因数的平均值,如式(5)所示:

$$F = \frac{1}{h} \sum_{g=1}^h F_g \text{ (其中 } h \geq 5 \text{)} \dots\dots\dots (5)$$

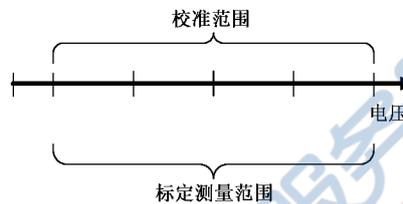


图 2 全电压范围内的比对校准

取各个 A 类标准不确定度中的最大值作为标定刻度因数 F 的标准不确定度(见图 3),如式(6)所示:

$$u_A = \max_{g=1}^h u_g \dots\dots\dots (6)$$

F 中非线性度的影响估计为一个 B 类标准不确定度,由式(7)表示:

$$u_{B0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{g=1}^h \left| \frac{F_g}{F} - 1 \right| \dots\dots\dots (7)$$

若以修约值 F_0 作为标定刻度因数,在评估刻度因数的扩展不确定度时,应将修约值 F_0 和 F 的差值作为 B 类不确定度分量考虑。

应在校准证书中给出 h 个电压水平下对应的每个刻度因数及其不确定度。

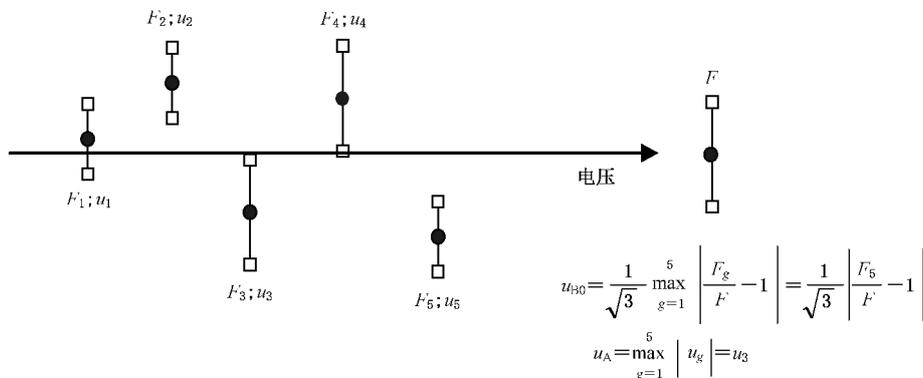


图 3 校准的不确定度分量(最少取 5 个电压水平的示例)

4.4.2 负载影响

首先以最小负荷(仅使用参考测量系统)进行比较试验,并且以设备制造商允许的最大负荷(电阻、电容、电感或它们的任何组合)重复试验。

负荷影响的不确定度分量依据式(8)计算:

$$u_{B1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{F_{\text{Maxload}}}{F_{\text{Minload}}} - 1 \right| \dots\dots\dots (8)$$

本项试验尤其适用于当电压不是直接在试品高压侧端口测量的情况。

4.4.3 动态特性

4.4.3.1 概述

一个组件或测量系统的响应特性试验应在能代表其使用条件的条件下进行,尤其是接地体和带电体的距离。优选的动态特性测量方法是:对直流和交流电压测量其幅频响应;对冲击电压在标称时段的上限和下限分别确定其刻度因数和时延参数。

注:有关单位阶跃响应测量的附加信息见 GB/T 16927.2—2013 附录 C。

动态特性的相对标准不确定度的 B 类评估方法由式(9)给出:

$$u_{B2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^k \left| \frac{F_i}{F} - 1 \right| \dots\dots\dots (9)$$

式中:

k —— 在一个频率范围内的,或在一个定义标称时段的冲击时延参数内确定的刻度因数的次数;

F_i —— 单独的刻度因数;

F —— 标称时段内刻度因数的平均值。

4.4.3.2 幅频响应的确定

向系统或组件施加一已知幅值的正弦输入,测量其输出,该试验通常在低电压下进行。测量在一个合适的频率范围内重复进行,刻度因数的偏差应按 4.4.3.1 中式(9)进行计算。

4.4.3.3 冲击电压测量系统的标准方法

用校准刻度因数(见 4.4.1)时得到的冲击电压的记录来确定标称时段的限值,应按 4.4.3.1 中式(9)对电压及时延参数的不确定度分量进行计算。

注:有关单位阶跃响应测量和计算见 GB/T 16927.2—2013 附录 C。

4.4.4 短时稳定性

在适当的预期使用时间内,对测量系统连续(对冲击测量系统则以标定的最大频次)施加标定测量范围的最大电压,在刚刚达到最大电压时,立即测量刻度因数,并在电压降低前立即重复测量。

电压施加时间不能长于标定工作时间,但可限制到一个足以达到平衡的时间。

注:短时稳定性试验宜包括转换装置的自热效应。

试验结果是在电压施加时间内刻度因数变化的一个估算值,在这段时间内,可获得一 B 类估算的标准不确定度分量,如式(10)所示:

$$u_{B3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_{\text{after}}}{F_{\text{before}}} - 1 \right| \dots\dots\dots (10)$$

式中:

F_{before} 和 F_{after} 分别是短时稳定性试验前和后的刻度因数。

4.4.5 长期稳定性

应对刻度因数在一段时间内的稳定性进行考虑和评估。通常是以在一个预定的使用时间段 T_{use} (一般至下一次校准)内不确定度分量的有效性来评估,评估可以采用制造商提供的数据或以一系列性能试验结果为依据。评定的结果是刻度因数变化的一个估算值。以 B 类标准不确定度分量进行评估,如式(11)所示:

$$u_{\text{B4}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_2}{F_1} - 1 \right| \cdot \frac{T_{\text{use}}}{T_2 - T_1} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

F_1 和 F_2 分别是在时间 T_1 和 T_2 进行的两个连续的性能试验的刻度因数。

在可得到许多性能试验结果的情况下,长期稳定性可由 A 类分量的形式来表征,如式(12)所示:

$$u_{\text{B4}} = \frac{T_{\text{use}}}{T_{\text{mean}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_m} - 1 \right)^2}{n(n-1)}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

重复的性能试验结果为刻度因数 F_i 及其平均值 F_m 和重复的平均时间间隔 T_{mean} 。

注:长期稳定性通常规定以一年为周期。

4.4.6 环境温度影响

测量系统的刻度因数可能受环境温度影响,这可以通过在不同环境温度下确定刻度因数来定量计算,或基于组件的特性来计算。试验或计算的详细资料应存入性能记录中。

试验和计算的结果是由于环境温度变化引起的刻度因数变化的一种估算。其 B 类相对标准不确定度由式(13)给出:

$$u_{\text{B5}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_T}{F} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

F_T ——所关注的温度下的刻度因数;

F ——校准时温度下的刻度因数。

如果 F_0 和 F 的偏差超过 1%,宜对刻度因数进行修正。

注:自热效应包含在短时稳定性试验中。

当环境温度在一个很宽的温度范围内变化时,可对刻度因数使用温度修正系数。任何温度修正应在性能记录中列出。一旦使用了温度修正系数,可将温度修正系数的不确定度 u_{B5} 作为不确定度分量。

4.4.7 刻度因数的不确定度计算

4.4.7.1 概述

本条给出了评估一个测量系统的标定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,这些假定在许多情况下是真实的。但是宜在每一独立的情形下予以验证。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假定具有矩形分布;
- c) 最大的三个不确定度分量具有近似相等的值。

基于上述假定提供了一个刻度因数 F 的扩展不确定度评定程序,该程序适用于测量系统的校准以及使用认可测量系统进行测量。

校准的扩展不确定度 U_{cal} 由标准测量系统的校准不确定度和在本条中阐明的其他量的影响估算得到。例如,标准测量系统稳定性和校准期间的环境参数等。

试验量测量值的扩展不确定度 U_{M} 是由认可测量系统的刻度因数的校准不确定度和在 4.4 中讨论的其他量的影响估算求得,例如,测量系统的稳定性,校准证书中没有考虑的测量过程中的环境参数。

评估不确定度的其他方法在 JJF 1059.1—2012 给出,同时也在附录 A 和附录 B 中给出。

4.4.7.2 校准不确定度

刻度因数校准的相对扩展不确定度 U_{cal} 是由标准测量系统的不确定度和在本条中阐述的 A 类和 B 类不确定度计算而来的,如式(14)所示:

$$U_{\text{cal}} = k \cdot u_{\text{cal}} = 2 \sqrt{u_{\text{ref}}^2 + u_{\text{A}}^2 + \sum_{i=0}^N u_{\text{Bi}}^2} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- k ——包含因子,对应于约 95% 的包含概率,且为正态分布, $k=2$;
- u_{ref} ——标准测量系统在其校准时的刻度因数的合成不确定度;
- u_{A} ——在刻度因数校准过程中统计的 A 类不确定度;
- u_{B0} ——在刻度因数校准过程中确定的标准不确定度的非线性分量;
- 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的分量,以 B 类分量估算(附录 A)。这些分量和标准测量系统相关,由非线性、短时和长期不稳定性等因素产生。根据 4.4.2~4.4.6,既可由附加测量计算也可由其他数据源估算,如果校准期间其他量,如其短时稳定性、测量的分辨率,对认可测量系统的影响是重要的,则应考虑在内。

在以上假定不成立的情况下,可参见附录 A 给出的程序,或如果需要,可采用 JJF 1059.1—2012 给出的程序。

B 类不确定度分量的个数 N 可因不同类型的试验电压(见第 5 章至第 7 章)而不同,更多的有关 B 类不确定度分量的信息在相关条款中给出。

4.4.7.3 使用认可测量系统的测量不确定度

使用认可测量系统进行试验时,使用者应进行试验电压值测量的扩展不确定度估算。然而,也可以结合校准证书,在测量条件的某一限定范围内给出其估算。

测量试验电压值的相对扩展不确定度 U_{M} ,由认可测量系统在校准中确定的标称刻度因数的合成标准不确定度和本条款阐述的 B 类不确定度分量计算得出,如式(15)所示:

$$U_{\text{M}} = k \cdot u_{\text{M}} = 2 \sqrt{u_{\text{cal}}^2 + \sum_{i=0}^N u_{\text{Bi}}^2} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

- k ——包含因子,对应于约 95% 的包含概率,且为正态分布, $k=2$;
- u_{M} ——使用认可测量系统测量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_{cal} ——在校准中给出的认可测量系统的刻度因数的合成标准不确定度(见 4.4.7.2);
- u_{Bi} ——由第 i 个影响量产生的认可测量系统合成标准不确定度的分量,以 B 类分量估算。这些分量和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,根据 4.4.2~4.4.6,既可由附加测量确定,也可由其他数据源估算确定,还应考虑其他重要影响因素,如认可测量系统仪器的显示分辨率等。

校准证书可包含校准不确定度 U_{cal} 的信息及当在规定条件下使用时认可测量系统的试验电压值的相对扩展测量不确定度 U_{M} 的信息。

在 4.4.7.1 提及的假定不成立的情况下,可参见附录 A 给出的程序,或如果需要,可采用 JJF 1059.1—2012 中给出的程序。

B 类不确定度分量个数 N 可随测量量类型的不同而不同(见第 5 章~第 7 章,电压和时间参数)。

4.4.8 时间参数测量的不确定度计算(仅对冲击电压)

4.4.8.1 概述

当冲击电压的时间参数在规定的范围内时,冲击电压的认可测量系统应能在规定的 uncertainty 限值内准确测量时间参数(T_1, T_2)。对波前时间,该规定范围通常是指标称时段。可通过比对法或组合法给出实验论据。

注:时间参数 uncertainty 估算得出的是绝对 uncertainty 值。

4.4.8.2 时间参数的校准 uncertainty

n 次冲击电压的波前时间 T_1 应由被校测量系统(标记为 X)以及标准测量系统(标记为 N)同时测量,可以假定忽略标准系统的误差,则波前时间的平均误差如式(16)所示:

$$\Delta T_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{1X,i} - T_{1N,i}) \dots\dots\dots (16)$$

实验标准差如式(17)所示:

$$s(\Delta T_1) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{1X,i} - T_{1N,i})^2} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$\Delta T_{1,i}$ ——系统 X 和系统 N 测量的第 i 次波前时间的差。

注 1: 通常需要不大于 $n=10$ 次的独立的读数。

注 2: 通常波前时间由系统 X 和系统 N 用于确定峰值刻度因数的相同记录求取。

由 $s(\Delta T_1)$, 可算出 A 类标准 uncertainty, 如式(18)所示:

$$u_A = \frac{s(\Delta T_1)}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (18)$$

比对在一个合适的电压下进行,至少需用两个波前时间,包括测量系统认可的标称时段的最小和最大 T_1 值。在标称时段中间,可增加一个另外的 T_1 值,时间参量的 A 类标准 uncertainty 可从不同的 T_1 值确定的单个 uncertainty 中的最大值来求得。对每个不同的 T_1 值,可按上述方法计算平均误差 $\Delta T_{1,j}$, 对 $m \geq 2$ 平均误差的总平均如式(19)所示:

$$\Delta T_{1m} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Delta T_{1,j} \dots\dots\dots (19)$$

用单个 $\Delta T_{1,j}$ 值与其平均值 ΔT_{1m} 之最大差值来确定 B 类 uncertainty u_B , 如式(20)所示:

$$u_B = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{j=1}^m |\Delta T_{1,j} - \Delta T_{1m}| \dots\dots\dots (20)$$

更一般地,标准测量系统 N 可由如同其校准证书中标明的标称时段一样,也可用同样的方式由其波前时间的平均误差 ΔT_{1ref} 来表征。被校系统 X 本身引起的波前时间测量结果误差如式(21)所示:

$$\Delta T_{1cal} = \Delta T_{1m} + \Delta T_{1ref} \dots\dots\dots (21)$$

时间参数校准的扩展 uncertainty 等于所得平均误差 ΔT_{1cal} uncertainty, 由式(22)确定:

$$U_{cal} = k \cdot u_{cal} = 2 \sqrt{u_{ref}^2 + u_A^2 + u_B^2} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

u_{cal} ——被校测量系统的平均波前时间误差 ΔT_{1cal} 的合成标准 uncertainty;

$k=2$ ——包含因子,对应于约 95% 的包含概率,且为正态分布;

- u_{ref} ——标准测量系统平均波前时间的误差 ΔT_{1ref} 的合成标准不确定度；
 - u_A ——被校测量系统平均波前时间误差 ΔT_{1m} 的 A 类标准不确定度；
 - u_B ——被校测量系统平均波前时间误差 ΔT_{1m} 的 B 类标准不确定度。
- 在特殊情况下,扩展不确定度 U_{cal} 的其他分量可能很重要,应加以考虑。

4.4.8.3 使用认可测量系统的时间参数测量不确定度

使用认可测量系统时,使用者应进行时间参数测量的扩展不确定度估算,然而也可以结合校准证书,在测量条件的某一限定范围内给出其估算。

如果时间参数的校准扩展不确定度小于本标准规定的时间参数测量的扩展不确定度的 70%,则通常可假定所用认可测量系统时间参数测量的不确定度 U_M 等于 U_{cal} 。

时间参数测量的扩展不确定度 U_M 应按式(23)进行计算:

$$U_M = k \cdot u_M = 2 \sqrt{u_{cal}^2 + \sum_{i=1}^N u_{Bi}^2} \dots\dots\dots (23)$$

式中:

- u_{cal} ——被校测量系统平均波前时间误差 ΔT_{1cal} 的合成标准不确定度；
- k ——包含因子,对应于约 95% 的包含概率,且为正态分布, $k=2$ ；
- u_{Bi} ——由第 i 个影响量产生的认可测量系统冲击时间参数的合成标准不确定度的分量,以 B 类分量估算。这些分量和认可测量系统的正常使用有关,由例如长期不稳定性,软件影响等因素产生,也可由不理想的冲击波形产生。依据 4.4.2~4.4.6,既可由附加测量确定,也可由其他数据源估算确定,在某些情况下,还应考虑其他影响,例如,认可测量系统的显示分辨率。
- u_M ——用认可测量系统测得的冲击电压时间参数的合成标准不确定度,在一个预定的使用期间内有效。

在特殊情况下,计算 U_M 时考虑到扩展不确定度的其他分量可能很重要,如在冲击电压波前叠加振荡的情况。

当用认可测量系统测量无振荡的冲击电压时,可用在校准时确定的相关时间参数结果误差 ΔT_{1cal} 来修正所测得的时间参数 T_{1meas} ,如式(24)所示:

$$T_{1corr} = T_{1meas} - \Delta T_{1cal} \dots\dots\dots (24)$$

该程序也适用于其他时间参数。

5 直流电压试验

5.1 一般要求

由于在低压设备领域,直流电压绝缘试验与交流电压绝缘试验在局部放电、泄漏电流和电压持续时间上对绝缘的影响不同。因此,直流电压绝缘试验不能由等峰值的交流电压试验替代。

5.2 试验电压

5.2.1 对试验电压的要求

5.2.1.1 电压波形

除非有关标准另有规定,施加于试品上的试验电压应是纹波因数不大于 3% 的直流电压。

纹波因数的校核需在最恶劣的负载条件下进行,若纹波形状接近正弦波,可以用其真有效值乘以

$\sqrt{2}$ 来描述波动幅值。

试验过程中,需保持直流电压的纹波没有显著增加,并需保持直流电压于恒定的算术平均值,直至回路跳闸。

5.2.1.2 容差

除非有关标准另有规定,在整个试验过程中试验电压测量值和规定电压值之间允许有 $\pm 3\%$ 的偏差。

5.2.2 试验电压的产生

试验电压一般用整流回路或可控电子回路产生。对试验电源的要求很大程度上取决于试品的类型和试验条件。这些要求主要由电源所提供的试验电流的数值和特性确定。

电源特性应使试品电容在适当短的时间内充电。电源包括其储能电容,应足以提供泄漏、吸收和局部放电电流,以维持试验电压在 $\pm 3\%$ 的容差范围内。

5.2.3 试验电压的测量

5.2.3.1 认可测量系统的要求

5.2.3.1.1 概述

一般要求是测量电压值(算术平均值)的扩展不确定度 $U_M \leq 3\%$ 。

当纹波幅值在 5.2.1.1 中规定的限值以内时,不确定度极限值不应超过上述规定。

注: 注意可能出现交流电压耦合到测量系统并影响测量仪器的读数。

5.2.3.1.2 不确定度分量

对于直流电压测量系统,扩展测量不确定度 U_M 应按照 4.4.7.3 以 95% 包含概率进行评估,如果需要,还可参见附录 A、附录 B 进行评定。为评定不确定度分量所需进行的试验在表 1 中给出。某些情况下,其他分量可能显得重要时,应另外加以考虑。

5.2.3.1.3 测量电压变化的动态特性

对按照以每秒试验电压的 1% 的规定速率上升或下降的直流电压的测量,高压测量系统的时间常数应不大于 0.25 s。

注: 一般来说,用于测量试验电压值(即算术平均值)的仪器不受纹波的影响。然而,如果使用了具有快速响应的仪器时,有必要保证测量不受纹波的不利影响。

5.2.3.2 认可测量系统的试验

为了鉴定直流电压测量系统的资格以及评估其测量扩展不确定度,依据 4.4,应进行表 1 中的试验。型式试验和例行试验的结果可以从制造商的数据里获得,例行试验应在每一个组件上进行。

表 1 直流电压认可测量系统要求的试验

试验项目	型式试验	例行试验	性能试验
负荷影响	4.4.2		
动态特性	4.4.3		
刻度因数校准		4.4.1	4.4.1

表 1 (续)

试验项目	型式试验	例行试验	性能试验
短时稳定性		4.4.4	
长期稳定性	4.4.5		4.4.5(若适用)
环境温度影响	4.4.6		

5.3 试验程序

施加到试品电压应从足够低的数值开始,以防止瞬变过程引起的过电压的影响;然后应缓慢地升高电压,以便能在仪表上准确读数,但也不应太慢,以免试品在接近试验电压 U 时耐压的时间过长。如果当电压高于 $75\%U$ 时以 $5\%U/s$ 的速率上升,通常能满足上述要求。将试验电压值保持规定的时间后,通过适当的电阻使滤波电容和试品电容放电来降低电压。

耐受电压的持续时间应根据试品的电阻和电容决定的达到稳态电压分布的时间来确定。若有关标准会没有规定,则耐受电压试验持续时间为 60 s。电压的极性或每种极性电压的施加次序,以及任何不同于上述规定的要求应由有关标准规定。

除非有相关标准另有规定,如果测试设备没有发生跳闸,则满足耐受试验要求。

除非有关标准另有规定,试验设备在型式试验时跳闸电流应设定为 10 mA。

在例行试验时,跳闸电流可设置为更低的保护水平。

6 交流电压试验

6.1 试验电压

6.1.1 对试验电压的要求

6.1.1.1 电压波形

试验电压一般应是频率为 45 Hz~55 Hz 的交流电压,通常称为工频试验电压。有些特殊试验,有关标准可规定频率低于或高于这一范围。

试验电压的波形应为近似正弦波,其峰值和有效值的比值应在 $\sqrt{2} \pm 3\%$ 的范围内;试验电压值为有效值。

在满负载条件下,总谐波畸变率应小于 5%。

注:尽管电压峰值是击穿非常重要的一个因素,但低压设备领域习惯于用有效值规定试验电压。

6.1.1.2 容差

除非有关标准会另有规定,在整个试验过程中试验电压测量值和规定电压值之间允许有 $\pm 3\%$ 的偏差。

6.1.2 试验电压的产生

以下两种方案可供选择:

方案 A:

在试验电压下,试品的预期短路电流和电压发生器跳闸电流应符合表 2 的要求。

表 2 试验回路的最小电流

试验电压 V	最小电流 mA	
	预期短路电流	跳闸电流
$\leq 4\ 000$	200	100
$> 4\ 000$ 且 $\leq 10\ 000$	80	40
$> 10\ 000$	40	20

注：与 GB 4706.1 要求相同。

如果大电容量负载进行交流试验存在困难,则可用直流电压替代进行,其中试验电压等于交流电压峰值。有关标准应规定,直流电压试验替代交流电压试验的适用范围。

方案 B:

如果试验电压是由受控电子回路产生,则要求在表 2 所示跳闸电流下,由泄漏、吸收和局部放电电流造成的电压降不超过 3%。

6.1.3 试验电压的测量

6.1.3.1 认可测量系统的要求

6.1.3.1.1 概述

一般要求是在其额定频率下测量试验电压值(峰值/ $\sqrt{2}$ 或 r.m.s 值)的扩展不确定度为 $U_M \leq 3\%$ 。

6.1.3.1.2 不确定度分量

对于交流电压测量系统,扩展不确定度 U_M 应根据 4.4.7 以 95% 包含概率进行评定。为评定不确定度分量所需进行的试验在表 3 中给出。有些情形下,其他分量可能显得重要,则应另外加以考虑。

6.1.3.1.3 动态特性

考虑到不确定度的要求,预计工作在单一基频 f_{nom} 下的测量系统,其幅频响应应处在图 4 标明的区域内。图中成对的数字分别表示限值线拐点处对应的归一化频率(对数刻度)和允许偏差。测量系统从在 $f_{nom} \sim 7f_{nom}$ 范围内的特性应由试验或回路分析来检验,此区域外的幅频响应仅作为信息给出。

测量系统也可在一段基波频率范围内进行认可(如在 45 Hz~55 Hz 范围内)。这种情况下,从最低基波频率 f_{nom1} 至最高基波频率 f_{nom2} ,刻度因数应稳定在 $\pm 1\%$ 以内。在 $f_{nom1} \sim 7f_{nom2}$ 范围内的幅频响应应处于图 5 中表明的区域内,图中成对的数字分别表示限值线拐点处对应的归一化频率(对数刻度)和允许偏差。应由试验或回路分析来证明测量系统从 $f_{nom1} \sim 7f_{nom2}$ 之间的特性,此区域外的幅频响应仅作为信息给出。

动态特性的特殊要求由相关标准具体规定。

注 1: 满足上述要求的测量系统可认为其频率响应适合测量试验电压的谐波总畸变率(THD)。

注 2: 对标明区域外的频率响应,虽然不做要求,但其的确很好地代表了实际情况。

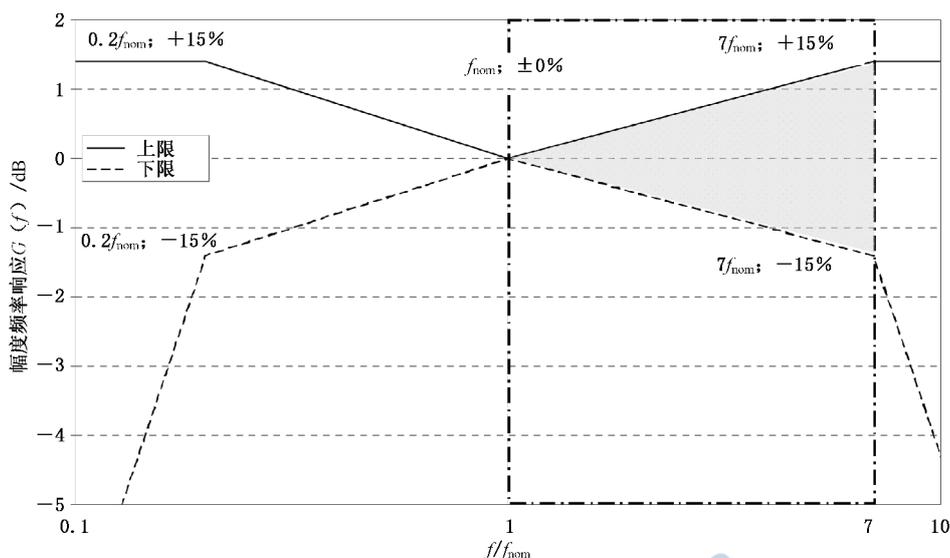


图 4 用于单个基波频率 f_{nom} [试验频率为 $(1\sim 7)f_{nom}$] 的测量系统的可接受的归一化幅频响应区域

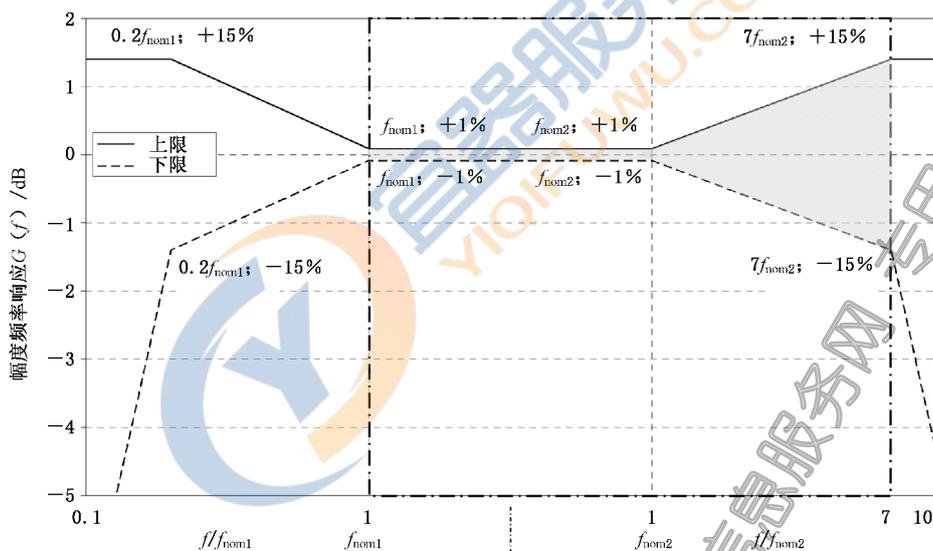


图 5 用于基波频率 $f_{nom1} \sim f_{nom2}$ 范围 (试验频率为 $f_{nom1} \sim 7f_{nom2}$) 的测量系统的可接受的归一化幅频响应区域

6.1.3.2 动态特性试验

为了确定动态特性,向测量系统输入一已知幅值(通常为低电压)的正弦波,测量其输出。在 1 倍至 7 倍的测试频率范围内重复这种测量。结果应符合 6.1.3.1 要求。

6.1.3.3 认可测量系统的试验

为了鉴定测量系统及其组件的资格以及评估测量系统的扩展不确定度,依据 4.4,应进行表 3 中的试验。

型式试验和例行试验的结果可以从制造商的数据中获得,例行试验应在每一组件上进行。

表 3 交流电压认可测量系统要求的试验

试验项目	型式试验	例行试验	性能试验
刻度因素校准		4.4.1	4.4.1
负荷影响	4.4.2		
动态特性	4.4.3/6.1.3.2		
短时稳定性		4.4.4	
长期稳定性	4.4.5		4.4.5(若适用)
环境温度影响	4.4.6		

6.2 试验程序

试验电压均匀地从 0 V 升高到试验电压值, 升压时间不超过 5 s。

试验电压施加时间由有关标准规定, 并且在频率为 45 Hz~55 Hz 范围内与频率无关。如果有关标准未规定试验电压的施加时间, 则耐受试验的持续时间为 60 s。

对于例行试验, 跳闸电流可调整至较低保护水平。

除非有相关标准另有规定, 如果测试设备没有发生跳闸, 则满足耐受试验要求。

考虑安全因素, 宜将试验电流控制在 3 mA 以内。

7 冲击电压试验

7.1 试验电压

7.1.1 一般要求

对于冲击测量系统, 需进行性能试验证明测量系统动态性能满足相应被测量的要求, 各种干扰低于规定限制。

7.1.2 对试验电压的要求

7.1.2.1 标准冲击电压

标准冲击电压是指波前时间 T_1 为 1.2 μs , 半波峰值时间 T_2 为 50 μs 的光滑的雷电冲击全波。表示为 1.2/50 μs 冲击(图 6)。相关标准应考虑试验类型和试验对象规定其他冲击电压波形, 并定义试验电压的值。

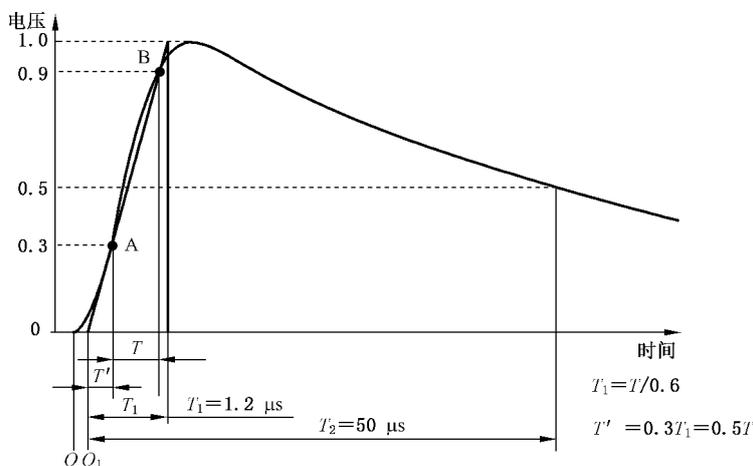


图 6 标准冲击电压波形

7.1.2.2 标准冲击电压的容差

除非有关标准另有规定,标准冲击电压的容差应满足以下要求:

- 峰值 $\pm 3\%$;
- 波前时间 $\pm 30\%$;
- 半峰值时间 $\pm 20\%$ 。

常用冲击电压发生器回路在波前部分峰值 90% 以下的振荡对试验结果的影响一般是可以忽略的。冲击波形一般为单向。

在特殊情况下,例如在低阻抗试品(如大电容器),可能无法将冲击波形调整在所规定的容差之内或无法保持振荡或过冲在规定限值之内或无法避免极性翻转。这些情况有关标准应予以规定,并按照GB/T 16927.1—2011 相关条款的规定。

7.1.3 试验电压的产生

试验电压一般由冲击电压发生器产生,冲击电压发生器主要由许多电容器组成,电容器先由直流电源并联充电,然后串联对包含试品在内的回路放电。

7.1.4 试验电压的测量和冲击波形的确定

试验电压值和试验电压的时间参数应通过认可测量系统进行测量。测量应在试品接入回路时进行,通常对每个试品都要校核冲击波形。但是具有相同设计和相同尺寸的几个试品,在同一个条件下进行试验,只需要校核一次。对电容量较大负载进行试验时不能获得规定允许的容差范围内的冲击波形的情况时,可能需要调整试验设置或设备。

注:对于破坏性放电见GB/T 16927.1—2011 第7章。

当试品的阻抗对试验电压的幅值和波形参数的影响可忽略时,可以不连接试品对冲击电压发生器直接进行测量。在使用此测量技术之前应进行验证。

根据试验回路参数,通过计算不能作为确定冲击波形的依据。可能有必要通过多次冲击保持操作的一致性。

7.2 试验程序

7.2.1 冲击电压波形的确认

应在不低于 50% 峰值电压下对试品的冲击电压波形进行确认。在试品相同的情况下,同一试验序列开始前只需要进行一次确认。

7.2.2 冲击电压试验

对试品施加每个极性各5次的冲击电压,如果没有发生破坏性放电或部分击穿,则认为通过试验。

注1:也可能出现非自持破坏性放电,此时试品被火花放电或电弧短暂桥接。这种情况下,试品上的电压会短暂地降到零或非常低的值。根据试验回路和试品的特性,可能出现绝缘强度的恢复,甚至可能试验电压达到更高的数值,这种情况视作破坏性放电,除非有关标准另有规定。

注2:固体介质中发生的破坏性放电会造成绝缘性能丧失,在液体或者气体介质中的破坏性放电可能造成绝缘性能的暂时丧失。

有关标准应规定适用于部分击穿的识别和评估准则。

7.3 试验电压的测量

7.3.1 对认可测量系统的要求

一般要求为:

- 测量电压值的扩展不确定度 $U_{M1} \leq 3\%$;
- 测量定义波形的时间参数的扩展不确定度 $U_{M3} \leq 10\%$ 。

注：对于电压跌落的测量不给出建议，因为设备委员会在这方面还没有规定要求。

7.3.2 不确定度分量

对于冲击电压测量系统， U_M 的扩展不确定度应以95%的包含概率进行评估。为评定不确定度分量所需进行的试验在表4中给出，有些情况下，其他分量可能显得重要，应另外加以考虑。

表4 认可冲击电压测试系统试验要求

试验项目	型式试验	例行试验	性能试验
校准刻度因素		4.4.1	4.4.1
时间参数		4.4.8	4.4.8
负荷影响	4.4.2		
动态特性	4.4.3		
短期稳定性		4.4.4	
长期稳定性	4.4.5		4.4.5(若适用)
环境温度效应	4.4.6		

7.3.3 动态特性

当时间参数测量的扩展不确定度不大于10%时，则测量系统的动态特性满足对性能记录中指定波形的标称时间下的峰值电压与时间参数进行测量的要求。

7.3.4 测量仪器的要求

测量仪器应符合 GB/T 16896.1 和 GB/T 16896.2 的要求。

8 标准测量系统

8.1 标准测量系统的技术指标

8.1.1 直流电压

对直流电压测量，标准测量系统在其使用范围内的扩展不确定度 $U_M \leq 1\%$ 。不确定度不应受纹波系数最高达3%的纹波影响。

8.1.2 交流电压

对交流电压测量，标准测量系统在其使用范围内的扩展测量不确定度 $U_M \leq 1\%$ 。

8.1.3 冲击电压

依据 GB/T 16927.2—2013，标准测量系统在其使用范围内，冲击电压峰值的扩展不确定度 $U_{M1} \leq 1\%$ ；时间参数的扩展测量不确定度 $U_{M3} \leq 5\%$ 。

8.2 标准测量系统的校准

8.2.1 概述

应通过 8.2.2 的试验方法表明标准测量系统符合 8.1 给出的相关要求。

8.2.2 校准方法:比较测量

应通过与较高级标准测量系统的相关试验电压下进行比对测量的校准来证明标准测量系统的性能符合要求,此较高级标准测量系统应溯源到国家基准或标准。

对冲击电压,应施加能覆盖标称时段的一个或多个不同波前时间的波形。

注:对较高级的标准测量系统的要求是:对电压的扩展不确定度 $U_{M1} \leq 0.5\%$;对时间参数(仅对冲击电压)的扩展不确定度 $U_{M3} \leq 3\%$ 。

8.3 标准测量系统的校准周期

校准周期由国家规定确定。如果没有规定,宜每年至少进行一次校准。

8.4 标准测量系统的使用

标准测量系统仅宜用于性能试验的比对测量。然而,如果一个标准测量系统根据本标准的要求进行维护,并且需表明此种应用不会影响标准测量系统的性能,则标准测量系统可作为认可测量系统使用。认可测量系统不能用作标准测量系统。

附 录 A
(资料性附录)
测量不确定度

A.1 概述

4.4 描述了在适用于和完全满足高压测量的通常条件下评定测量不确定度的一个简化程序。然而,在有些情况下,有必要或期望用一个更复杂的方法来评定不确定度。

本附录给出了针对这些状况如何处理说明,附录 B 给出了一个应用案例。

每个量的测量都会存在一些不足,测量的结果只是测量量“真”值的一个近似(“估算”)。测量不确定度是对测量水平的描述,使用者可以用其比较和权衡测量结果,例如从不同的实验室获得的测量结果。测量不确定度提供了关于测量结果是否在标准规定的限值内的信息。目前,JJF 1059.1—2012 是我国估算测量不确定度的主要标准依据。

JJF 1059.1—2012 提供了在各种不确定度水平下的各种测量不确定度的评定和表达的一般规则。由于高电压测量领域的准确性和复杂性,有必要从 JJF 1059.1—2012 中提炼出一套评定高压测量特定参数不确定度的具体规则。与 JJF 1059.1—2012 的基本原理一致,不确定度按照其评定方法分为两类。两种方法都基于影响量的概率分布和基于以方差或标准偏差定量表示的标准不确定度。可对两类不确定度进行同一处理并对被测量的合成标准不确定度进行评定。在本标准的范围内,扩展不确定度的包含概率应约为 95%。

本附录给出了 JJF 1059.1 的基本原理和在高压测量中如何去确定不确定度的示例。一般的高电压测量中,本标准给出的公式和实例对于不相关的输入量是有效的。

A.2 补充定义

A.2.1

可测量的量 measurable quantity

现象、物体或材料可以定性辨识和定量确定的特征。

A.2.2

量值 value of a quantity

一般由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小。

A.2.3

被测量 measurand

作为测量对象的特定量。

A.2.4

方差 variance

在其预期的可能性意义上,随机变量的偏差的平方期望值。

A.2.5

相关性 correlation

两个或几个随机变量在其分布范围内相互的关系。

A.2.6

包含概率 coverage probability

数值分布的百分率,通常是大百分率,作为理应属于被测量的测量结果。

A.3 模型函数

每一测量可以用一个函数关系 f 描述,如式(A.1)所示:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

Y ——被测量;

X_i ——编号从 1 到 N 的不同的输入量。

在 JJF 1059.1—2012 规范中,函数模型 f 包含所有的测量值、影响量、修正值、修正系数、物理常数和任何可能对 Y 值和其不确定度有重要影响的其他数据。此模型函数可以以一个单项或多项的解析式或数字表达式表示,或是它们的组合,一般来说,输入量 X_i 是随机变量,以具有指定概率分布的观测值 x_i (输入估计值)表示,并与 A 类或 B 类的标准不确定度 $u(x_i)$ 相关联。两种类型的不确定度按照 JJF 1059.1—2012 进行合成得到输出估算量 y 的标准不确定度 $u(y)$ 。

注 1: 式(A.1)中的模型函数也分别对于输入和输出估算值 x_i 和 y 有效。

注 2: 在一系列观测值中,第 k 个 X_i 量的观测值用 x_{ik} 表示。

A.4 标准不确定度的 A 类评定

A 类评估方法适用于随机变化的量,其中 n 个独立观测值在相同的测量条件下获得。一般说来,可假定 n 个观测值 x_{ik} 具有正态(高斯)概率分布(图 A.1)。

注: X_i 可以是用一系列观测值 x_{ik} 表示的刻度因数、试验电压值或时间参数。

n 个观测值 x_{ik} 的算数平均值 \bar{x}_i 定义如式(A.2)所示:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

该式认为是 X_i 的最佳估算值。其 A 类标准不确定度等于实验标准差平均值,如式(A.3)所示:

$$u(\bar{x}_i) = s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中 $s(x)$ 是各观测值的实验标准差,如式(A.4)所示:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$s^2(x_i)$ 和 $s^2(\bar{x}_i)$ 分别称为样本方差和平均方差,观测数 $n \geq 10$, 否则, A 类标准不确定度的可靠性应用有效自由度来校核(参见 A.8)。

某些情况下,可采用以往很明确的条件下得到的大量观测来综合估算方差 s_p^2 , 然后再进行少量的 n ($n=1, 2, 3, \dots$) 个类似的测量,用 $u(\bar{x}_i) = s_p / \sqrt{n}$ 来估算标准不确定度,这种方法优于用式(A.3)进行的估算。

A.5 标准不确定度的 B 类评定

B 类评估方法适用于除一系列观察的统计分析以外的所有情况。B 类不确定度采用科学判断进行评定,这种判断基于观测值为 x_i 的输入量 X_i 的可能变化的所有可用信息,如:

- a) 量的估算方法；
- b) 测量系统及其组件的校准不确定度；
- c) 分压器和测量仪器的非线性；
- d) 动态特性,如刻度因数随频率或冲击波形的变化；
- e) 短时稳定性,自热；
- f) 长期稳定性,漂移；
- g) 测量期间的环境条件；
- h) 周围物体的邻近效应；
- i) 仪器或计算结果采用的软件的影响；
- j) 数字仪器的有限分辨率、模拟量仪器的读数。

输入量和不确定度信息可从以下方面获得,如:实际的或以前的测量、校准证书、手册中数据、标准、制造商规范以及相关仪器或材料特性的知识等。以下情况的不确定度的 B 类评定可认为是确定的:

- a) 常常已知单个输入值 x_i 及其标准不确定度 $u(x_i)$,如单个测量值、修正值或从参考文献查到的参考值。该值(x_i)及其不确定度可用于模型函数式(A.1)。若 $u(x_i)$ 为未知,则宜从其他相关不确定度数据计算求得或根据经验估算。
- b) 可将标准不确定度与包含因子 k 的乘积作为装置的不确定度。如校准证书中的数字电压表的扩展不确定度 U (参见 A.7)。当电压表用于复杂的测量系统时,其不确定度分量为:

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

k ——包含因子,对应于约 95% 的包含概率,且为正态分布, $k=2$;

可用置信度代替扩展不确定度和包含因子的方式进行表述,如 68.3%、95.45% 或 99.7%。

一般来讲可以假定如图 A.1 所示的正态分布,则上述置信度的表述分别对应包含因子 $k=1$ 、 $k=2$ 或 $k=3$ 。

- c) 输入量 X_i 的估算值 x_i 落在具有一定概率分布 $p(x_i)$ 的 a_- 至 a_+ 区间内。通常,没有 $p(x_i)$ 的详细知识,可假定其可能值为矩形分布(图 A.2),那么 X_i 的期望值即为该区间的中间点 \bar{x}_i ,如式(A.6)所示:

$$\bar{x}_i = \frac{(a_- + a_+)}{2} \dots\dots\dots (A.6)$$

相关的标准不确定度如式(A.7)所示:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$$a = (a_- - a_+)/2。$$

某些情况下,采用其他概率分布可能更适合,如四边形、三角形或正态分布。

注:对三角形分布,标准不确定度为 $u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}}$;对正态分布, $u(x_i) = \sigma$ 。也就是说,矩形分布的标准不确定度比

其他分布的标准不确定度要大。

JJF 1059.1—2012 指出,如果特殊影响已在 A 类不确定度中考虑了,则 B 类不确定度不应二次计算。而且,不确定度的评定应是实际的并依据标准不确定度来进行,以避免因个人因素或其他安全保险原因求得比按 JJF 1059.1—2012 方法求得的还要大的不确定度。通常输入量 X_i 应予以调整或修正以减小幅值的系统影响,如根据温度系数或电压线性。但是,仍应考虑与该修正相关联的不确定度 $u(x_i)$ 。

当使用数字记录仪进行重复冲击测量时,可能会出现不确定度分量二次计算的情况,如刻度因数的校准。 n 个测量值的分散性产生 A 类不确定度分量,但这种分散性可能部分地是由记录仪的分辨率不

够或其内部噪声造成的,可不必再次考虑分辨率的全部影响,仅需在 B 类不确定度中考虑很小的一部分即可。但是,如果在冲击电压试验期间数字记录仪仅测得一个测量值,则分辨率有限这一因素应在 B 类不确定度中考虑。

B 类不确定度评定要求对相关的物理关系、影响量和测量技术具有广博的知识和经验。由于评估本身不是可得到唯一解答的精确科学,有经验的试验工程师可能用不同的方式判断测量过程,得到不同的 B 类不确定度,这种情况很常见。

A.6 合成标准不确定度

用 A 类或 B 类方法评定的每一输入量 X_i 的估算值 x_i 的相应标准不确定度 $u(x_i)$, 计算输出量的标准不确定度的方法见式(A.8):

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中, c_i 为敏感系数,其意义为输入量 x_i 的微小变化影响输出量 y 的程度,其值可从模型函数 f 进行偏微分直接求得(参见式 A.9),也可用等效数值法或实验的方法求得。 c_i 的符号可正可负。若输入量是不相关量,则不必考虑其符号,因为只有标准不确定度的平方值才会在下一步骤中用到。

$$c_i = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{X_i=x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

N 个标准不确定度 $u_i(y)$ (参见式 A.8) 与输出量的合成不确定度 $u_c(y)$ 的关系遵循“不确定度传递定律”:

$$u_c^2(y) = u_1^2(y) + u_2^2(y) + \dots + u_N^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

由式(A.10)可知, $u_c(y)$ 为平方根的正值,即:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

若输出量 Y 是输入量 X_i 的积或商,可用类似的表达式如式(A.10)和式(A.11)求得相对不确定度 $u_c(y)/|y|$ 和 $u_c(x_i)/|x_i|$ 。在输入量不相关的情况下,“不确定度传递定律”对两种函数计算模型均适用。

对存在相关性的情况,在“不确定度传递定律”中将出现线性项,并且敏感系数也有相应的符号了。例如用同一台仪器测量两个或多个输入量的场合就会出现相关性。为避免复杂的计算,以适当的修正和不确定度在模型函数 f 中增添附加的输入量可消除相关性。某些情况下,相关输入量的存在甚至会减小合成不确定度,因此,对于复杂不确定度的分析,为达到非常精确的不确定度评估,宜考虑相关性。

A.7 扩展不确定度

在高电压和大电流测量领域,如同大多数其他工业应用一样,要求相应于约 95% 包含概率的不确定度已足够了。可将合成标准不确定度 $u_c(y)$ 乘以包含因子 k 来求取扩展不确定度,如式(A.12)所示:

$$U = k u_c(y) \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

U ——扩展不确定度。

包含因子 $k=2$ 用在 y 属于正态分布且 $u_c(y)$ 有足够的可靠度,即 $u_c(y)$ 的有效自由度足够大(参见 A.8) 的场合,否则应取 $k>2$ 以使 $p=95\%$ 。

注 1: 在某些早期的标准中采用术语“总不确定度”,大多数情况下,该术语解释为包含因子 $k=2$ 的扩展不确定度。

注 2: 由于不确定度定义为正值, U 的符号总是正的。在用 U 表示不确定度区间时,可通过引用 k 表述为 $\pm U$ 。

A.8 有效自由度

通常,在如下场合可以假定扩展不确定度具有正态分布:具有近似大小的数值和很明确的概率分布(正态、矩形等)的几个不确定度分量(如 $N \geq 3$)组成合成标准不确定度的场合;以及 A 类不确定度是依据 $n \geq 10$ 个重复观测值估算的场合。对电压测量系统的校准,这些条件均满足。若正态分布的假定不合理,需采用 $k > 2$ 的值以使包含概率达到约 95%。适当的包含因子可依据标准不确定度 $u_c(y)$ 的有效自由度 ν_{eff} 来确定,如式(A.13)所示:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中 $u_i(y)$ 由式(A.8)给出,其中 $i=1,2,\dots,N$, ν_i 为相应的自由度,其可靠的取值方法如下:

- $\nu_i = n - 1$ ——适用于由 n 个独立观测得到的 A 类不确定度;
- $\nu_i \geq 50$ ——适用于由校准证书给出的 B 类不确定度,且表明包含概率不小于 95% 的情形;
- $\nu_i = \infty$ ——假定在区间 a_- 至 a_+ 之间为矩形分布的 B 类不确定度,见图 A.2。

据此,可按式(A.13)计算有效自由度,而包含因子则由表 A.1 中选取。表中数值是依据 t 分布且包含概率为 95.45% 确定的。若 ν_{eff} 不是整数,则可用插值或截尾取 ν_{eff} 为下一个较小的整数。

表 A.1 有效自由度 ν_{eff} 对应的包含因子 k ($p=95.45\%$)

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2.00

A.9 不确定度汇总

测量不确定度汇总是依据模型函数 f 对不确定度所有分量及数值的详细分析,宜以与表 A.2 相同或类似的表格形式将相关数据进行保存以备复查。最后一行说明测量结果 y 的值,合成不确定度 $u_c(y)$ 以及有效自由度 ν_{eff} 。

A.10 测量结果表述

在校准证书以及测试报告中,被测量 Y 的结果应表示为 $y \pm U$,并注明包含概率约为 95%,扩展不确定度 U 应修约到不超过 2 位有效数字。若修约后使数值减小超过 $0.05U$,则应向上修约。被测量估计值 y 应修约到其末位与不确定的末位一致。

示例 1:电压测量结果可用下列方式之一表述:

- (227.2 ± 2.4) kV;
- 227.2 × (1 ± 0.011) kV;
- 227.2 × (1 ± 1.1 × 10⁻²) kV。

并应加注说明包含概率 p 以及包含因子 k ,当取 $k=2$ 时,不必说明 p 。

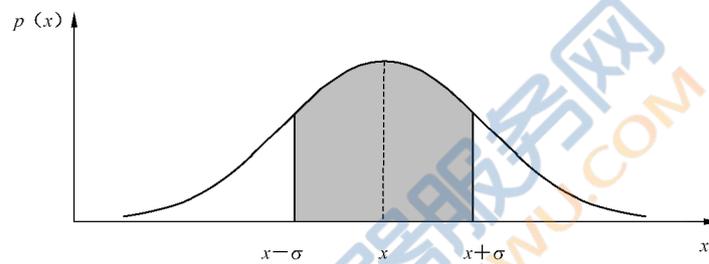
示例 2:推荐采用下列完整表述,括号中内容适用于 $\nu_{\text{eff}} < 50$,即 $k > 2.05$ (见表 A.1)的场合:

“被报告的扩展不确定度表述为测量不确定度乘以包含因子 $k=2$ ($k=XX$),相应于包含概率约为 95% 的正态分布 (t 分布,有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=YY$)。测量的标准不确定度按照 GB/T 16927.2—2013 的方法进行评定”。

表 A.2 不确定度汇总表

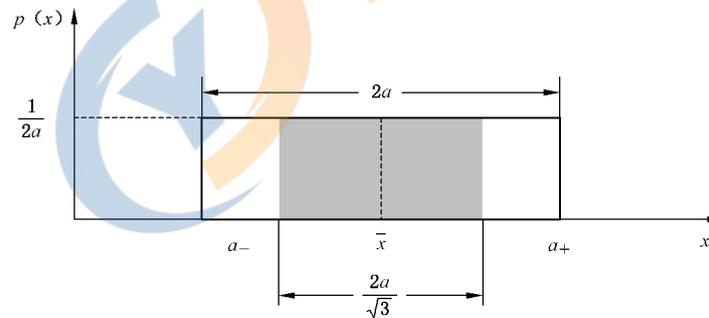
量 X_i	值 x_i	标准不确定度 分量 $u(x_i)$	自由度 ν_i / ν_{eff}	敏感系数 c_i	合成标准不确 定度分量 $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	ν_2	c_2	$u_2(y)$
:	:	:	:	:	:
X_N	x_N	$u(x_N)$	ν_N	c_N	$u_N(y)$
Y	y		ν_{eff}		$u_c(y)$

注：有效软件可从商业市场获取，也可由使用者从通用软件自行开发，以采用模型函数 f 中对表 A.2 的量进行自动计算。



注：阴影区域表示 \bar{x}_{ik} 的标准不确定度范围。

图 A.1 正态概率分布 $p(x)$



注：阴影区域表示 \bar{x}_i 的标准不确定度范围。

图 A.2 矩形分布 $p(x)$

附录 B

(资料性附录)

电压测量不确定度评定示例

B.1 概述

认可的校准实验室对一额定电压 500 V 的交流测量系统(用 X 表示)进行校准。校准方法是在 $V_{X\max}=500$ V 以下,将试品与参考测量系统(用 N 表示)进行比较。参考系统 N 在 20 °C 时的刻度因数和相对扩展不确定度分别为 $F_N=1.025$ 和 $U_N=0.8\%$ ($k=2$),包括长期稳定性不确定度分量的估算值。

在校准期间,环境温度为 (15 ± 2) °C。因 N 的刻度因数在 20 °C 下校准,根据其温度系数校正 -0.3% ,在 15 °C 下的实际值为 $F_N=1.022$ 。然而,该校正不是非常准确,此外,由于在校准期间温度变化在 ± 2 °C 以内, F_N 的可能值被假定为在具有矩形分布的 F_N 附近的 ± 0.001 内。比较测量在 $V_{X\max}$ 的约 20%,40%,60%,80% 和 100% 的 $h=5$ 个电压等级下进行。在每个电压等级下,对于测量的 $n=10$ 个电压 V_N 和 V_X 同时读数。对动态特性,短期稳定性,温度范围和干扰的进一步调查显示,其对试品的刻度因数 F_X 的影响在 $\pm 0.2\%$ 以内。根据制造商的数据其长期稳定性直到下一次校准前均估计为 $\pm 0.3\%$ 。

B.2 模型函数

计算 F_X 的模型函数及其合成标准不确定度可以写成如下形式。两套测量系统显示的交流电压 V 的值相同(见表 B.1),如式(B.1)所示:

$$V = F_N V_N = F_X V_X \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

由此导出计算被校测量系统刻度因数的基本式,如式(B.2)所示:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} F_N \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

如上所述,两套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及其不确定度。这些影响因素分别记为:对参考测量系统为 $\Delta F_{N,1}, \Delta F_{N,2}, \dots$;对被校测量系统为 $\Delta F_{X,1}, \Delta F_{X,2}, \dots$ 。一般来说,影响刻度因数 F_N 和 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,修正值具有相反的符号。不确定度分量与相关的刻度因数 F_N 或 F_X 相关,并以类似于 A.5 中所述的方式进行评估,即假设在 $\pm a_i$ 区间内是矩形概率分布,则其标准不确定度 $u_i = a_i / \sqrt{3}$,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。 $\Delta F_{N,m}$ 或 $\Delta F_{X,i}$ 不一定总是有误差(或假定误差可以忽略不计),这种情况下仅需考虑其不确定度 u_i 。

基本式(B.2)加上分量 $\Delta F_{N,m}$ 和 $\Delta F_{X,i}$ 可求得确定刻度因数 F 的完整模型函数及其合成标准不确定度。由于可忽略影响量之间的相关性,式(B.2)可用下述一般形式(B.3)表示:

$$F_X - \sum_i \Delta F_{X,i} = \frac{V_N}{V_X} (F_N - \sum_m \Delta F_{N,m}) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

注 1: 根据定义,加入等式两边的误差项带负号,定义为 $\Delta F = \text{显示值} - \text{正确值}$ 。

对于某些情况,交流测量系统的刻度因数 F_X 可以表示为式(B.4):

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} (F_N - \Delta F_N) + \sum_{i=1}^5 \Delta F_{X,i} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

ΔF_N ——标准测量系统在较低温度下产生的分量;

- $\Delta F_{X,1}$ —— 商的非线性产生的分量；
- $\Delta F_{X,2}$ —— 被测系统短期不稳定性产生的分量；
- $\Delta F_{X,3}$ —— 被测系统长期不稳定性产生的分量；
- $\Delta F_{X,4}$ —— 被测系统动态特性产生的分量；
- $\Delta F_{X,5}$ —— 被测系统温度变动产生的分量。

注2：本示例中， ΔF_N 由刻度因数 F_N 的修正值及其不确定度分量组成，项 $\Delta F_{X,1} \sim \Delta F_{X,5}$ 仅对刻度因数 F_X 有影响。为了方便，不确定度分量 $\Delta F_{X,1} \sim \Delta F_{X,5}$ 直接与 F_X 相关联，即已经考虑了这些输入量的敏感系数。

B.3 标准不确定度评定

B.3.1 F_N 的不确定度分量

参考测量系统的校准扩展不确定度 $U_N = 0.8\%$ ($k=2$)，采用 B 类不确定度评定方法，可得其产生的标准不确定分量为 $u_{B1} = 0.8\% / 2 \times 1.022 \approx 4.0 \times 10^{-3}$ 。

B.3.2 校准过程中温度变化产生的不确定度分量

在校准期间温度变化在 $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 以内， F_N 的可能值被假定为在具有矩形分布的 F_N 附近的 ± 0.001 内，采用 B 类不确定度评定方法， $u_{B2} = 0.001 / \sqrt{3} \approx 0.58 \times 10^{-3}$ 。

B.3.3 A 类不确定度分量

参考测量系统 N 与被校系统 X 在单个电压下的比对测量产生 10 对测量值 V_N 和 V_X ，由此可计算之商值 V_N/V_X 、相应的平均值以及实验标准差 $s(V_N/V_X)$ 。在表 B.1 中给出了在约 $40\% V_{Xmax}$ 的电压等级下测量值的示例。以相同的方式，分别在 $h=5$ 个不同电压（参见表 B.2）下获得商 V_N/V_X 和标准差 $s(V_N/V_X)$ 。

表 B.1 在 500 V 的 40% 电压下的比较测量结果

测量次数	参考系统 V_N V	被校系统 V_X V	商 V_N/V_X
1	191.4	190.8	1.003 1
2	191.6	190.9	1.003 7
3	190.7	189.9	1.004 2
4	189.9	189.0	1.004 8
5	190.9	189.9	1.005 3
6	191.2	190.3	1.004 7
7	191.3	190.4	1.004 7
8	191.2	190.4	1.004 2
9	190.6	189.9	1.003 7
10	191.3	190.7	1.003 1
V_N/V_X 在约 $40\% V_{Xmax}$ 时的算数平均值			1.004 2
实验标准差 $s(V_N/V_X)$			0.73×10^{-3}

表 B.2 $h=5$ 个电压下的测量结果汇总 ($V_{Xmax}=500\text{ V}$)

序号	电压大小 $\%V_{Xmax}$	V_N/V_X	$s(V_N/V_X)$
1	18	1.003 2	0.71×10^{-3}
2	38	1.004 2	0.73×10^{-3}
3	63	1.004 5	0.81×10^{-3}
4	83	1.006 5	0.68×10^{-3}
5	100	1.010 1	$0.85 \times 10^{-3} (=s_{max})$
算术平均值	—	1.005 7	—

在表 B.2 中五个 V_N/V_X 的商的平均值是 1.005 7。为保守起见, V_N/V_X 的 A 类标准不确定度应根据式(A.3)以最大标准差 $s_{max}=0.85 \times 10^{-3}$ 评估得出, 如式(B.5)所示:

$$u_A = \frac{s_{max}}{\sqrt{n}} = \frac{0.85 \times 10^{-3}}{\sqrt{5}} = 0.27 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (B.5)$$

B.3.4 被校系统 X 的非线性产生的不确定度分量

从 V_N/V_X 的平均值的标准偏差可得到系统 X 非线性。在 V_{Xmax} 为 100% 时, 最大偏差为 $a_1=1.010 1-1.005 7=4.4 \times 10^{-3}$ (参见表 B.2)。根据式(A.7), 非线性因素引起的 V_N/V_X 的 B 类标准不确定度因此为 $a_1/\sqrt{3}=2.54 \times 10^{-3}$ 。该值乘以相关灵敏度系数 c_1 , 可得到 B 类不确定度分量值, 如式(B.6)、式(B.7)所示:

$$c_1 = \partial F_X / \partial (V_N/V_X) = F_N - \Delta F_N = 1.025 - 0.003 \times 1.025 = 1.022 \dots\dots\dots (B.6)$$

$$u_{B3} = \frac{a_1}{\sqrt{3}} (F_N - \Delta F_N) = \frac{4.4 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} \times 1.022 \approx 2.6 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (B.7)$$

B.3.5 被校系统 X 的短期稳定性产生的不确定度分量

被校系统 X 短期稳定性对试品刻度因数 F_X 的影响在 $\pm 0.2\%$ 以内。假定其为矩形分部, 可得其产生的 B 类不确定度分量值为 $u_{B4}=0.2\%/\sqrt{3} \times F_X \approx 1.19 \times 10^{-3}$ 。

B.3.6 被校系统 X 的长期稳定性产生的不确定度分量

根据制造商的数据其长期稳定性直到下一次校准前均估计为 $\pm 0.3\%$ 。假定其为矩形分部, 可得其产生的 B 类不确定度分量值为 $u_{B5}=0.3\%/\sqrt{3} \times F_X \approx 1.78 \times 10^{-3}$ 。

B.3.7 被校系统 X 产生的其他不确定度分量

被校系统 X 动态特性、温度变化影响产生的不确定分量评定方法及大小与短期稳定性相同, 即 $u_{B4}=u_{B6}=u_{B7}=1.19 \times 10^{-3}$ 。

B.4 合成标准不确定度

将所有输入量的数值及其标准不确定度代入模型式(B.4)的右侧, 用附录 A 中给出的公式对模型公式进行手工计算, 也可借助于适用于计算不确定度的专业软件进行计算。计算结果见表 B.3, 表中最后一行给出了标定刻度因数 F_X 的合成标准不确定度及其有效自由度, $\nu_{eff}=180$ 表示 F_X 可能值属正态

分布,因此 $k=2$ 是有效的(参见附录 A 中表 A.1)。不确定度的评估不是精确计算,因此不需要保留太多的有效数字。

B.5 扩展不确定度

最后,认可测量系统完整的校准结果由标定刻度因数及其扩展不确定度表示:

$$F_X = 1.028 \pm 11 \times 10^{-3} = 1.028 \times (1 \pm 0.011), \text{包含概率不少于 } 95\% (k=2)$$

标定刻度因数的相对扩展不确定度为 $U=1.1\%$ 。由于该数值已考虑了长期稳定性引起的不确定度分量,如果在下一次校准之前中间进行的性能校核结果表明其刻度因数是稳定的,那么上述 F_X 值可作为该认可测量系统在下次校准之前的试验电压的扩展不确定度(见 4.4)。

表 B.3 标定刻度因数 F_X 的不确定度汇总

量	数值	标准不确定度分量	自由度	灵敏系数	合成标准不确定度分量
F_N	1.025	0.004^a	50	1.005 7	4.0×10^{-3}
ΔF_N	0.003	$0.000 577^b$	∞	-1.005 7	-0.58×10^{-3}
V_N/V_X	1.005 7	$0.27 \times 10^{-3 a}$	9	1.022	0.28×10^{-3}
$\Delta F_{x,1}$	0	$2.60 \times 10^{-3 b}$	∞	1	2.6×10^{-3}
$\Delta F_{x,2}$	0	$1.19 \times 10^{-3 b}$	∞	1	1.2×10^{-3}
$\Delta F_{x,3}$	0	$1.78 \times 10^{-3 b}$	∞	1	1.8×10^{-3}
$\Delta F_{x,4}$	0	$1.19 \times 10^{-3 b}$	∞	1	1.2×10^{-3}
$\Delta F_{x,5}$	0	$1.19 \times 10^{-3 b}$	∞	1	1.2×10^{-3}
F_X	1.027 8	—	180	—	5.54×10^{-3}
^a 正态分布。 ^b 矩形分布。					

附 录 C
(资料性附录)
大气修正

C.1 标准参考大气条件

温度： $t_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ；

绝对压力： $p_0 = 101.3\text{ kPa}$ ；

绝对湿度： $h_0 = 11\text{ g/m}^3$ 。

101.3 kPa 的压力相当于 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时水银气压计中汞柱高度为 760 mm 高度。如果气压计水银柱高度是 $H\text{ mm}$ 时，则用 kPa 表示的大气压力近似为：

$$p = 0.133\ 3H\text{ kPa}$$

不考虑水银柱高度的温度修正。不应使用能自动修正压力的气压计。

C.2 大气修正系数

C.2.1 一般要求

实验室正常条件按照 GB/T 2421.1 中的规定：

温度： $15\text{ }^\circ\text{C} \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ ；

大气压力： $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ ；

相对湿度： $25\% \sim 75\%$ 。

在实验室施加的试验电压按照 GB/T 16927.1—2011 的规定：

$$U = K_t \cdot U_0 \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

U ——施加的试验电压；

U_0 ——规定的试验电压；

K_t ——大气修正因数。

施加的试验电压与大气修正因数 K_t 成正比例关系， K_t 是下列两个因数的乘积：

$$K_t = k_1 \times k_2 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

k_1 ——空气密度修正因数；

k_2 ——湿度修正因数。

C.2.2 湿度修正因数 k_2

目前对低压设备不规定进行湿度修正，但当相对湿度大于 80% 时，破坏性放电会变得不规则，特别是当破坏性放电发生在绝缘表面时。

C.2.3 空气密度修正因数 k_1

空气密度修正因数 k_1 取决于相对空气密度 δ ，一般可表达为：

$$k_1 = \delta^m \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

其中,指数 m 由 GB/T 16935.1—2008 中图 A.1 的曲线 1 给出,其与试品电气间隙 d 的关系如下:

当 $0.001 \text{ mm} < d \leq 0.01 \text{ mm}$, $m = 0.916 3$;

当 $0.01 \text{ mm} < d \leq 0.062 5 \text{ mm}$, $m = 0.330 5$;

当 $0.062 5 \text{ mm} < d \leq 1 \text{ mm}$, $m = 0.636 1$;

当 $1 \text{ mm} < d \leq 10 \text{ mm}$, $m = 0.853 9$;

当 $10 \text{ mm} < d \leq 100 \text{ mm}$, $m = 0.924 3$ 。

当温度 t 和 t_0 以摄氏度表示,大气压力 p 和 p_0 单位相同时(如 kPa),相对空气密度为:

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t} \quad \dots\dots\dots(\text{C.4})$$

当 $0.8 < k_1 < 1.05$ 时温度修正是可靠的。

GB/T 16935.1—2008 中所规定的试验电压适用于海拔 2 000 m。空气密度校正系数可适用于任何海拔的地区,在 2 000 m 的地区认为 $p_0 = 80 \text{ kPa}$ 是绝对压力。



参 考 文 献

- [1] GB/T 311.1 绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则
 - [2] GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术
 - [3] GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
-





中华人民共和国
国家标准
低压电气设备的高电压试验技术
定义、试验和程序要求、试验设备

GB/T 17627—2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

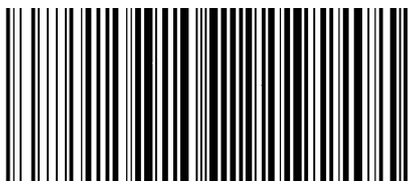
服务热线: 400-168-0010

2019年11月第一版

*

书号: 155066 · 1-63994

版权专有 侵权必究



GB/T 17627-2019