



中华人民共和国国家标准

GB/T 16927.3—2010

高电压试验技术 第3部分：现场试验的定义及要求

High voltage test techniques—
Part 3: Definitions and requirements for on-site testing

(IEC 60060-3:2006, MOD)

2010-11-10 发布

2011-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 正常和特殊使用条件	5
5 测量系统的一般试验和校核	5
6 直流电压试验	6
7 交流电压试验	8
8 雷电冲击电压试验	10
9 操作冲击电压试验	14
10 超低频(VLF)电压试验	18
11 衰减型交流电压试验	20

前 言

本部分是根据 IEC 60060-3:2006《高电压试验技术 第 3 部分：现场试验的定义和要求》进行制定的。本部分与 IEC 60060-3:2006 的一致性程度为修改采用。

本部分与 IEC 60060-3:2006 的主要差异：

——按 GB/T 1.1—2009 的规定，对标准的语言表述和格式作了修改；

——适用的电压范围，由最高电压 U_m 大于 1 kV 的设备改为标称电压 3 kV 及以上的系统中的设备；

——在 5.3.2 中，根据中国标准，不推荐使用内部校准器，故删除了“内部或”；

——在 6.4.3 注 2 中，将“可能要求在额定电压下的测量电流高达 0.5 mA”改为“要求在额定电压下的测量电流尽可能地大，应不小于 0.1 mA”；

——在 7.3.1 和 10.3.1 中的注中出现“ $\sqrt{2} \pm 5\%$ ”，与上下文不符，改为“ $\sqrt{2} \pm 15\%$ ”；

——删除了 8.6.2 和 9.6.2 中的注“对于性能递降的绝缘或者非自恢复绝缘的试验推荐使用此程序”；

——分别将图 1、图 2 中 a) 图中的“ $T_1/T_2 = 0.8/50 \mu s$ ”改为“ $T_1/T_2 = 0.8/40 \mu s$ ”。

本部分中各章、条的编排顺序与 IEC 60060-3:2006 基本一致，大部分条文的内容与 IEC 60060-3:2006 相同，不同之处在主要差异中已给予说明。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分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。

本部分负责起草单位：国网电力科学研究院、西安高压电器研究院有限责任公司。

本部分参加单位：河南平高电气股份有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、山东电力研究院、陕西电力科学研究院、国家绝缘子避雷器质量监督检验中心、南方电网技术研究中心、江西省电力科学研究院、湖北省电力试验研究院、北京华泰变压器有限公司、库柏耐吉(宁波)电气有限公司、西安西电变压器有限责任公司、河北省电力研究院。

本部分负责起草人：杨迎建、王建生、雷民、崔东、王亭。

本部分参加人：田恩文、吴义华、潘瑾、尹盈盈、郑素梅、郭建贞、陈玉峰、蒲路、罗旭如、程正、许中、罗维、罗伟、刘成学、沈红、危鹏、吕金壮、蔡汉生。

引 言

由于现场试验不同于制造厂和试验室试验,会受到诸如外部电场和磁场、气候条件等多种外部因素的影响,所以,通常在现场试验过程中不能达到 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 中规定的要求。

现场高电压试验适用于:

- 作为设备现场交接程序的一部分的耐受试验,目的是证明设备从制造厂到现场的运输以及现场的安装符合制造厂的技术要求;
- 现场检修后的耐受试验,目的是证明设备已经修好,且说明设备状态已经适合恢复运行;
- 出于诊断目的的试验,如局部放电测量,目的是证明设备绝缘不存在危险的缺陷,并作为预期寿命的指征。

高电压试验技术

第3部分：现场试验的定义及要求

1 范围

GB/T 16927的本部分适用于下列电压的现场试验和运行状态下的试验,且与GB/T 16927.1有关:

- 直流电压;
- 交流电压;
- 非振荡或振荡型雷电冲击电压;
- 非振荡或振荡型操作冲击电压。

对于特殊试验,采用下述电压:

- 超低频电压;
- 衰减型交流电压。

本部分适用于标称电压3 kV及以上的系统中的设备。由相关的技术委员会负责选取电器、设备和设施的现场试验电压、试验程序和试验电压水平。对与本部分所描述的现场试验电压不同的特殊情况,可以由相关的技术委员会进行规定。

注1:上面列出的不同电压波形对试品(绝缘)提供的作用效果是不相同的。

注2:试验电压水平的选择宜考虑到较大的容许偏差和测量的不确定度。

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 311.1—1997 高压输配电设备的绝缘配合(neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 2900.19—1994 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合(neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eqv IEC 60060-1:1989)

GB/T 16927.2—1997 高电压试验技术 第二部分:测量系统(eqv IEC 60060-2:1994)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。所有与试验程序有关的其他定义见GB/T 16927.1和GB/T 16927.2。

3.1

现场试验 on-site test

在待试电器、设备和设施使用地点进行的试验,同时应尽可能使设备与运行状态一致。

3.2

冲击电压 impulse voltage

刻意施加的非振荡或振荡型瞬态电压,该电压通常快速上升到电压峰值,然后其包络线较缓慢降至零点。

(GB/T 2900.19—1994 中的 4.12,修改过)

3.3

雷电和操作冲击电压 lightning and switching impulse voltage

雷电冲击和操作冲击的基本区别在于波前持续时间。波前持续时间不大于 20 μs 的冲击电压称为雷电冲击电压,其他较长波前持续时间的冲击电压称为操作冲击电压。

通常,操作冲击电压也可以通过远大于雷电冲击电压的总持续时间来表征。

(GB/T 2900.19—1994 中的 3.32、4.13、4.25,修改过)

3.4

试验电压的特性 characteristics of the test voltage

本部分中为确定试验电压而标称不同类型电压变化范围时所规定的特性。

3.5

试验电压的预期特性 prospective characteristics of a test voltage

不发生破坏性放电所能得到的特性。当使用预期特性时,应予以规定。

3.6

试验电压的实际特性 actual characteristics of a test voltage

试验期间试品端子上所呈现的特性。

3.7

试验电压值 value of the test voltage

现行标准有关条款中规定的试验电压值。

3.8

试品绝缘的分类 classification of insulation in test objects

设备高压结构的绝缘系统基本上分为自恢复和非自恢复绝缘,可以由外绝缘和/或内绝缘构成。

3.8.1

外绝缘 external insulation

空气间隙及设备固体绝缘外露在大气中的表面,它们承受作用电压并受大气和其他外部条件,例如污秽、湿度、虫害等的影响。

(GB/T 2900.19—1994 中的 3.24)

3.8.2

内绝缘 internal insulation

不受大气和其他外部条件影响的设备内部的固体、液体或气体绝缘。

(GB/T 2900.19—1994 中的 3.25)

3.8.3

自恢复绝缘 self-restoring insulation

在外施电压下引起破坏性放电之后的一定时间间隔内其绝缘性能可完全恢复的绝缘。

(GB/T 2900.19—1994 中的 3.28,修改过)

3.8.4

非自恢复绝缘 non-self-restoring insulation

在外施电压下引起破坏性放电之后,丧失绝缘性能或者不能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

(GB/T 2900.19—1994 中的 3.29,修改过)

注:在高压电器中,自恢复绝缘部件和非自恢复绝缘部件经常组合在一起使用,一些部件的绝缘可能会由于反复或持续的加压造成劣化。当规定要采用的试验程序时,在该方面的绝缘性能应由相关的技术委员会考虑。

3.9

测量系统及其组件 measuring system and their components

3.9.1

测量系统 measuring system

适合于进行高电压测量的整套装置。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.1.1, 修改过)

注1: 测量系统通常由下述组件构成: 转换装置, 包括从此装置连接到试品和地的引线、从转换装置的输出端连接到指示或记录仪器(带有衰减阻抗、终端阻抗和匹配阻抗或网络)的传输系统, 以及指示或记录仪器和到高压电源的连接线。

这些组件可与高压电源组成一个紧凑的单元。这种情况通常适用于中压电器的便携式试验设备。

注2: 如果能达到本部分规定的准确度要求, 非传统原理的测量系统也是可以接受的。

注3: 测量系统工作的环境, 其距带电体和接地构架的净距以及存在的电场或磁场都会显著影响其准确度。

3.9.2

测量系统的性能记录 record of performance of a measuring system

由使用者建立描述测量系统的详细记录, 并包括系统满足标准要求的证明文件。文件中应包括初始验收试验结果和历次性能试验、性能校核一览表及其结果。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.1.2)

3.9.3

认可的测量系统 approved measuring system

由下述各项表明能满足本部分要求的测量系统:

——初始性能试验;

——历次性能校核和性能试验;

——性能记录中这些试验结果的内容。

仅认可性能记录中所描述的布置和使用条件下的测量系统。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.1.3, 修改过)

3.9.4

标准测量系统 reference measuring system

具有足够的准确度和稳定性的测量系统, 在进行特定波形和范围内的电压或电流同时比对测量中, 它被用来认可(校准)其他测量系统。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.1.4)

注: 标准测量系统(按 GB/T 16927.2 的要求维护的)能作为认可测量系统使用, 反之, 认可测量系统不能作为标准测量系统使用。

3.9.5

转换装置 converting device

将被测量的高电压转换成适合于指示或记录仪器的其他量的装置。通常采用分压器或高电压测量阻抗。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.2.1, 修改过)

注: 其他形式的转换装置有电压互感器、光学传感器和电场探头。

3.9.6

传输系统 transmission system

把转换装置的输出信号传送到指示和/或记录仪器的成套装置。

注: 传输系统通常由带有终端阻抗的同轴电缆组成, 但它可能包括接在转换装置和仪器间的衰减器或其他装置。

例如, 光传输系统包括光发射器, 光缆和光接收器以及相应的放大器。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.3, 修改过)

3.9.7

指示或记录仪器 indicating or recording instrument

用来显示或记录测量值或相关值的装置。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.4)

3.9.8

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

乘以仪器的读数就可以得到输入量的值的系数。给出的刻度因数由最近一次性能试验确定。

注1: 许多测量系统可直接显示输入量的数值(也就是说测量系统的刻度因数为1)。

注2: 一个测量系统可以具有一个以上的刻度因数,例如,对于不同频率范围或不同冲击波形可具有不同的刻度因数。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.5.1,修改过)

3.9.9

测量系统的动态特性 dynamic behaviour of a measuring system

当输入量发生瞬态变化时测量系统的特性,通过该系统阶跃响应或幅-频响应来描述。

3.9.10

测量的不确定度 uncertainty of a measurement

一个与测量结果关联的参数,其表征了测量值的分散性,这些测量值可合理地趋向于被测量。

3.9.11

容许偏差 tolerance

测量值与规定值之间的允许偏差应区别于测量误差,测量误差为测量值与真值之间的差异。

注1: 测得的试验电压要求在规定试验电压水平的规定容许偏差范围内。试验电压水平由相关的技术委员会规定。不能确切知道真值,可以利用具有规定的涵盖概率的测量不确定度范围进行估计。真值还是不能确定,该值可能超出容许偏差的范围,特别是当测量值接近容许偏差限值且部分超出不确定度时。

注2: 测量值为显示值乘以刻度因数。真值是未知的,但可以用无穷多个采用相同测量方法得到的数据的平均值表述。

3.9.12

额定测量电压 rated measuring voltage

在本部分中给出的不确定度限值范围内,测量系统能够在规定频率或波形下使用的最高电压。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.9.1,修改过)

3.9.13

工作电压或电流范围 operating voltage or current range

在本部分中给出的不确定度限值范围内,测量系统能够在规定频率或波形下使用的电压或电流范围。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.10,修改过)

注: 工作范围的限值由用户选择,并经 GB/T 16927.2 中规定的性能试验验证。

3.9.14

工作时间(对直流或交流电压) operating time (for direct or alternating voltages)

在本部分中给出的不确定度限值范围内,在其额定测量电压下,测量系统能够持续工作的时间。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.9.2,修改过)

3.9.15

最大施加次数(冲击) maximum rate of application

在本部分中给出的不确定度限值范围内,在规定的时间内,对规定的冲击波形,在其额定测量电压或额定测量电流下能够施加冲击的最多次数。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.9.3,修改过)

3.9.16

验收试验 acceptance test

测量系统或装置在使用前进行的试验。验收试验包括型式试验(在相同设计的一台装置上进行)和例行试验(在每台装置上进行),是为了评价其特定的特性,例如,元件的温度效应系数的测量,耐受试验等。此外,测量系统的验收试验还包括首次性能试验。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.11.1)

3.9.17

性能试验 performance test

为检验整套测量系统在现场条件下工作的特性而进行的试验。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.11.2)

3.9.18

性能校核 performance check

为了确认最近一次性能试验仍然有效的程序。性能校核应在现场进行。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.11.3,修改过)

3.9.19

参考记录(仅对冲击电压测量) reference record (for impulse voltage measurement only)

在规定的条件下性能试验中得到的记录,并保留此记录以便与将来在相同条件下的性能试验或性能校核中所得的记录相比较。

(GB/T 16927.2—1997 中的 3.11.4,修改过)

4 正常和特殊使用条件

GB 311.1—1997 中的第 3 章适用。

5 测量系统的一般试验和校核

5.1 验收试验

测量系统组件的验收试验,应按照 GB/T 16927.2 的规定进行。

5.2 性能试验

现场测量系统的性能试验,应按照 GB/T 16927.2 的规定进行。只要有证据证明测量系统在现场条件下可以正常运行,试验可以在现场条件下进行。

如果性能校核显示标定的刻度因数发生了显著变化,应进行性能试验。在进行试验前应阐明变化原因。

建议性能试验每年重复一次,但任何情况下,性能试验至少每 5 年重复一次。

5.3 性能校核

5.3.1 概述

对于在现场安装的测量系统,在试验前应在试验现场对系统刻度因数进行性能校核,以证明测量系统的性能未受到运输的影响并安装正确。

对于其他已证明可靠性的测量系统,至少每年一次的性能试验能够替代现场的性能校核。

注:这里主要是指用于现场试验的高压试验装置的内置式测量系统。

测量系统的刻度因数应使用下列方法之一进行校核。

5.3.2 方法 1: 组件刻度因数的校核

转换装置(包括传输系统)和测量仪器的刻度因数应使用不确定度为 1% 的外部校准器进行校核。如果性能记录中的刻度因数与校准得到的刻度因数偏差不超过 3%, 则认为标定的刻度因数仍然有效。如果超过 3%, 应根据 GB/T 16927.2 利用性能试验确定新的刻度因数。

注: 校准器可以是变比仪、标准电压源、电桥等。

5.3.3 方法 2: 与可移动(运输)的认可测量系统进行比对

在现场试验过程中, 两套测量系统应并联连接。试验应在至少一个电压水平下进行, 最好是在超出试验过程中应施加的最高电压的 20% 下进行。两套系统应同时读数。如果两套系统测得的电压差小于 5%, 那么此测量系统的性能是可以接受的。否则应进行进一步校核, 如按照 GB/T 16927.2 进行性能校核或性能试验。

5.4 性能记录

以往性能校核和性能试验的数据应保留在性能记录中。

6 直流电压试验

6.1 概述

本规定与 GB/T 16927.1 中描述的绝缘试验电压相关。

6.2 直流电压试验的定义

6.2.1 试验电压值

算术平均值。

(GB/T 16927.1—1997 中的 5.1.1)

6.2.2 纹波

相对于直流电压算术平均值的周期性偏差。

6.2.3 纹波幅值

纹波最大值和最小值之差的一半。

(GB/T 2900.19—1994 中的 4.11.1, 修改过)

注: 实际使用中, 纹波幅值可以认为是真有效值乘以一个估计的系数 1.4。

6.2.4 纹波系数

纹波幅值与试验电压值之比。

6.3 试验电压

6.3.1 试验电压的要求

6.3.1.1 电压波形

除非相关的技术委员会另有规定, 施加到试品上的试验电压应是纹波系数不大于 3% 的直流电压。

值得注意的是试品的接入和试验条件可能影响纹波系数。

注：如果对较高的纹波值有怀疑，建议对纹波进行测量。

6.3.1.2 容许偏差

除非相关的技术委员会另有规定，整个试验中试验电压的测量值应保持在规定水平的 $\pm 3\%$ 以内。当试验持续时间超过 60 s 时，在整个试验过程中试验电压的测量值应保持在规定水平的 $\pm 5\%$ 以内。

6.3.1.3 试验电压的产生

试验电压通常采用整流装置获得。对试验电压源的要求主要取决于试品的类型和现场试验条件。这些要求主要由试验回路可能的阻抗变化决定。

电源特性应足以使试品的电容能够在极短的时间内充电。但是，对于带很长电缆的试品，需要有较长的充电时间。电源（包括其储能电容）还应该能够提供试品的持续泄漏电流和吸收电流。

6.4 试验电压的测量

6.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压值和纹波幅值（有必要时）的测量应该使用按第 5 章通过试验和校核的认可的测量系统来进行测量。而且测量系统应有足够的工作时间以满足现场试验持续时间的要求。还要注意 GB/T 16927.2 中对测量纹波幅值、瞬态或电压稳定性的装置的响应特性的要求。

6.4.2 对认可测量系统的要求

一般是要求测量试验电压值（算术平均值）的总不确定度为 5%。如果有纹波且纹波系数小于 3%，也不应超过这些不确定度限值。

纹波幅值测量的总不确定度为 10%。

6.4.3 刻度因数的稳定性

在可使用的电压、环境温度和湿度范围内，以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下测量系统的刻度因数变化应不超过 $\pm 2\%$ 。

注 1：直流电压转换装置的设计应能使所有放电或其外表面的泄漏电流直接传导至地，同时对测量系统电流来说，内部放电电流或泄漏电流可以忽略不计。

注 2：为使泄漏电流和测量电流之比较小，要求在额定电压下的测量电流尽可能的大，应不小于 0.1 mA。

6.4.4 测量上升电压的动态特性

认可测量系统的实际响应时间 T_N 应不大于 0.5 s。当电压按 6.6 中规定的速度上升时，允许按 6.4.2 中规定的不确定度进行测量。

注：如果用分压器测量纹波电压，分压器的带宽至少应是纹波基频的 5 倍。

6.4.5 试品的连接

试验电源装置和分压器与试品的连接应使用直径足够大的导体，以避免过多的放电和电晕。试品和地的连接应该短且牢固，以避免对试验回路中发生闪络时电压变化的影响。

6.5 测量系统的试验和校核

应按本部分中的第 5 章进行试验和校核。

6.6 耐受电压试验程序

对试品施加电压时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,但也不能太慢,以免试品在接近试验电压 U 时耐压的时间过长。当电压高于 $75\%U$ 时,如果电压的上升速率约为每秒 $2\%U$,一般认为满足了这些要求。试验电压应保持规定的时间,然后通过适当的电阻使回路电容(含试品电容)放电以降低试验电压。

试验的持续时间应由相关的技术委员会规定,并考虑与试品元件的电阻和电容有关的到达稳态电压分布的时间,当相关的技术委员会没有另行规定时,耐压试验的持续时间应是 60 s。

如果没有发生破坏性放电,则满足试验要求。

注:诊断试验程序应由相关的技术委员会规定。

7 交流电压试验

7.1 概述

本规定与 GB/T 16927.1 中描述的耐受试验和诊断试验电压相关。

7.2 交流电压试验的定义

7.2.1 试验电压值

为峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

(GB/T 16927.1—1997 中的 6.1.3)

注:当有效值可能更重要时,例如涉及到热效应时,相关的技术委员会可以要求测量试验电压的有效值而不是峰值。

7.2.2 峰值

交流电压的最大值。但是不计由非破坏性放电引起的微小高频振荡。

(GB/T 16927.1—1997 中的 6.1.1)

7.2.3 方均根(有效)值

一个完整的交流电压周期内各电压值平方的平均值的平方根。

(GB/T 16927.1—1997 中的 6.1.2)

7.3 试验电压

7.3.1 电压波形

如果相关的技术委员会没有规定,试验电压一般应为频率在 10 Hz~500 Hz 范围内的正弦交流电压。

试验电压的波形为两个半波几乎相同的近似正弦波。如果峰值与有效值之比在 $\sqrt{2} \pm 15\%$ 之内,则正弦波形的微小畸变不影响高电压试验的结果。

注:如果峰值与有效值之比不在 $\sqrt{2} \pm 15\%$ 之内,则应证明正、负极性峰值的差别不超过 2%。

7.3.2 容许偏差

除非相关的技术委员会另有规定,在整个试验中试验电压的测量值应保持在规定值的 $\pm 3\%$ 之内。如果试验持续时间超过 60 s,整个试验中试验电压的测量值应保持在规定值的 $\pm 5\%$ 之内。

7.3.3 试验电压的产生

试验电压通常由升压变压器或者谐振回路提供。谐振回路可以通过可调电抗器或者变频器调至谐振。

试验回路中的试验电压应足够稳定以保证不受泄漏电流变化的影响。试品上的非破坏性放电不应使试验电压降低过多及维持时间过长以致明显影响试品上破坏性放电电压的测量值。

7.3.3.1 变压器回路

为了使试验电压几乎不受泄漏电流变化的影响,当试品在试验电压下发生短路时,变压器提供的短路电流与泄漏电流相比应该足够大。任何情况下对于自恢复性外绝缘(绝缘子,隔离开关等)的干试验,短路电流应不小于 0.1 A(有效值)。

试品和任何附加电容的总电容量应足够大以确保试验电压不受试品上非破坏性局部放电或者预放电的影响。一般为 0.5 nF~1.0 nF。

注:如果试验变压器的外保护电阻阻值不大于 10 k Ω ,变压器的等效入口电容可以认为与试品并联。

7.3.3.2 串联谐振回路

串联谐振回路实际是由容性试品或容性负载和与之串联的电感以及中压电源(励磁变压器)组成。也可以是由感性试品和与之串联的电容器组成。通过改变回路参数或电源频率,回路可调谐至谐振。此时有一个幅值远高于电源电压,波形近似为正弦波的电压施加到试品上。

谐振条件和试验电压的稳定性取决于电源频率和试验回路特性的稳定性。

当试品发生放电时,电源输出相对较小的电流,可以限制对试品绝缘的损伤。

当试品(如电缆、电容器或气体绝缘系统)的外绝缘上泄漏电流同流过试品的电容电流相比很小或者形成破坏性放电的能量很小时,串联谐振回路就特别有用。

7.4 试验电压的测量

7.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压峰值(或者有效值,有必要时)的测量应该使用按第 5 章通过试验和校核的认可的测量系统来进行测量。而且,测量系统应有足够的工作时间以满足现场试验持续时间的要求。

测量应在带有试品的回路中进行。

注:如果已经按照 4.2 确定了刻度因数,串联谐振系统输出的正弦试验电压值将通过可以测量平均值和有效值的仪表来确定。

7.4.2 认可测量系统的要求

一般情况下,要求测量试验电压峰值的不确定度为 5%。

7.4.3 刻度因数的稳定性

在可使用的电压、环境温度和湿度范围内,以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下,测量系统的

刻度因数变化应不超过 $\pm 2\%$ 。

7.4.4 动态特性

如果在使用的频率范围内刻度因数变化范围保持在 $\pm 2\%$ 以内,则认为测量系统的动态特性对峰值电压测量是适当的。

注:选择频率范围时,应考虑谐波分量。

7.4.5 试品的连接

试验电源装置和分压器与试品的连接应使用直径足够大的导体,以避免过多的放电和电晕。试品和地的连接应该短且牢固,以避免对试验回路中发生闪络时的电压变化的影响。

7.5 测量系统的试验和校核

应按本部分中的第5章进行试验和校核。

7.6 耐受电压试验程序

对试品施加电压时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,但也不能太慢,以免试品在接近试验电压 U 时耐压的时间过长。当电压高于 $75\%U$ 时,如果电压的上升速率约为每秒 $2\%U$,一般认为满足了这些要求。试验电压应保持规定的时间,然后迅速降压,但是不能突然分断电压以免产生操作过电压,而导致设备损坏或者得到不确定的试验结果。

试验的持续时间应由相关的技术委员会规定。当相关的技术委员会没有另行规定时,耐压试验的持续时间应是60 s。如果试品上没有破坏性放电发生,则满足试验要求。

注:诊断试验程序应由相关的技术委员会规定。

8 雷电冲击电压试验

8.1 概述

本规定与GB/T 16927.1中描述的耐受试验和诊断试验电压有关。

8.2 雷电冲击电压试验的定义

这些定义适用于非振荡和振荡型的冲击电压。两种类型的冲击电压都适用于现场的高压试验。

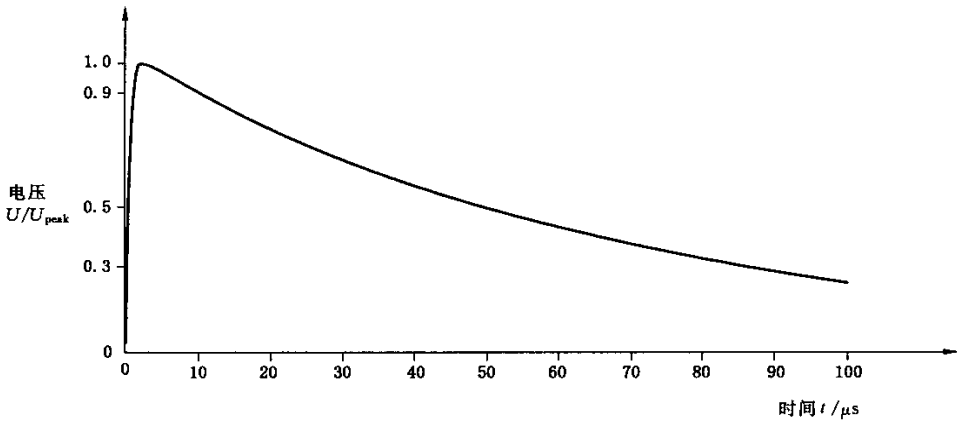
8.2.1 全波雷电冲击电压

是指没有被破坏性放电截断的雷电冲击电压。

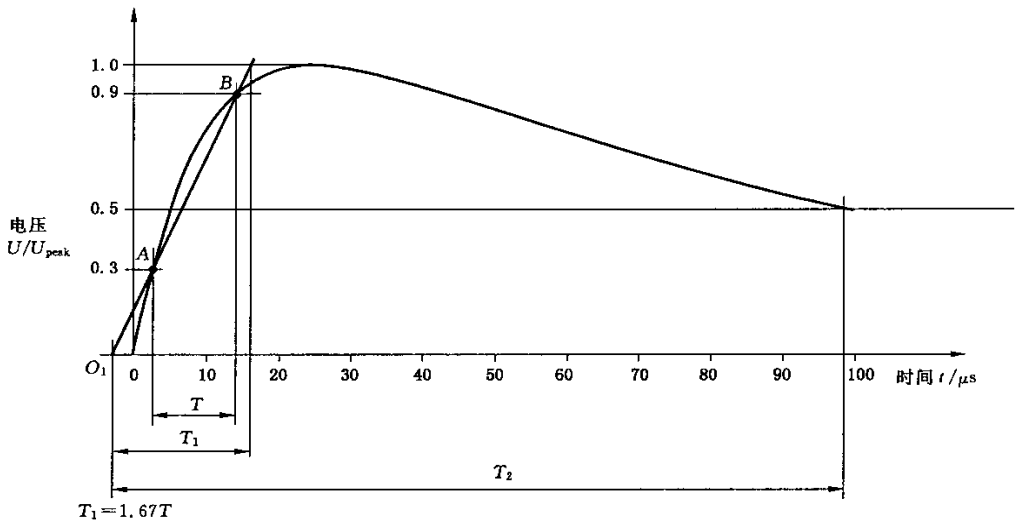
8.2.2 非振荡型雷电冲击电压

冲击电压迅速上升到峰值,然后无振荡的较缓慢降低到零的冲击电压。见图1。

注:在GB/T 16927.1中定义的标准雷电冲击电压 $1.2/50 \mu\text{s}$ 是非振荡的冲击电压的一个例子。



a) $T_1/T_2 = 0.8/40 \mu s$

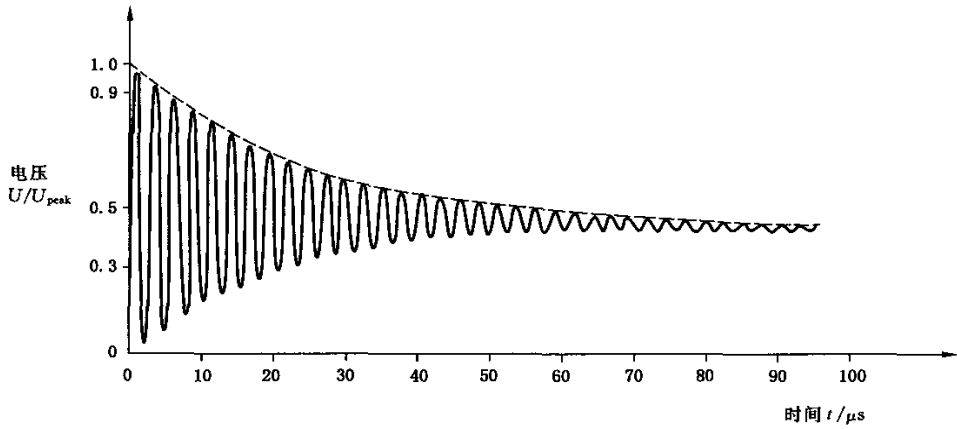


b) $T_1/T_2 = 20/100 \mu s$

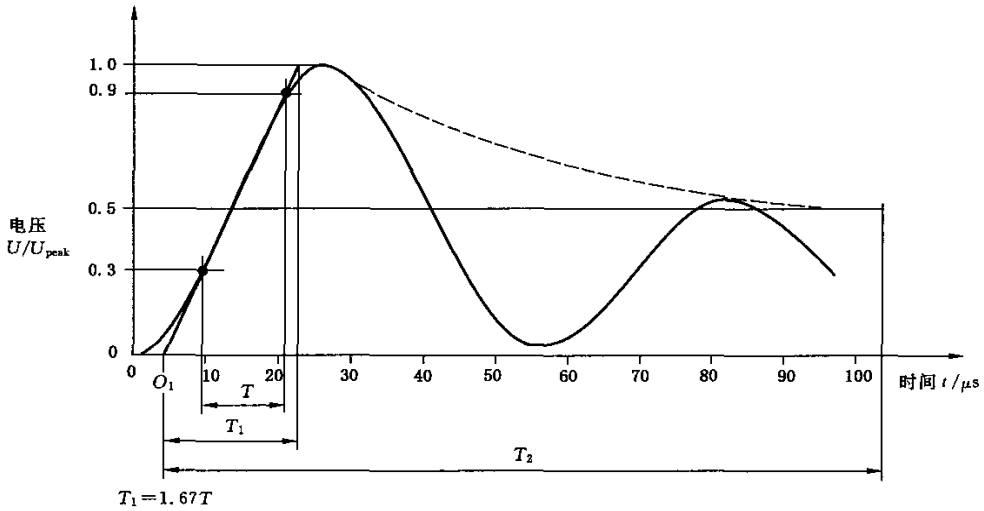
图 1 非振荡型雷电冲击波形

8.2.3 振荡型雷电冲击电压

冲击电压迅速上升到峰值,然后伴随着频率范围在 15 kHz 和 400 kHz 之间的阻尼振荡降低至零,其中有或无电压极性的改变。用包络线和振荡频率表述其特性。见图 2。



a) $T_1/T_2 = 0.8/40 \mu\text{s}, 370 \text{ kHz}$



b) $T_1/T_2 = 20/100 \mu\text{s}, 16 \text{ kHz}$

图 2 振荡型雷电冲击波形

8.2.4 试验电压值

指峰值。

(GB/T 16927.1—1997 中的 7.1.1, 修改过)

如果在波前发生破坏性放电, 试验电压为预期峰值电压。

注: 如果叠加有振荡, 应按照 GB/T 16927.1 确定峰值。

8.2.5 波前时间 T_1

两种类型的雷电冲击的波前时间 T_1 是一个视在参数, 定义为冲击波峰值的 30% 和 90% 之间的时间间隔 T 的 1.67 倍。

8.2.6 视在原点 O_1

视在原点是比冲击电压达到 30% 峰值时刻超前 $0.3T_1$ 的点(见图 1 和图 2)。对于具有线性时间刻

度的示波图,视在原点就是 30%峰值和 90%峰值连线的延长线与时间坐标轴的交点。

8.2.7 半峰值时间 T_2

非振荡型雷电冲击电压半峰值时间 T_2 是一个视在参数,定义为视在原点 O_1 与电压降低到峰值一半时刻之间的时间间隔。

振荡型雷电冲击电压半峰值时间 T_2 是一个视在参数,定义为视在原点 O_1 与振荡电压的包络线降低到峰值一半时刻之间的时间间隔。

8.3 试验电压

8.3.1 雷电冲击全波电压

波前时间 T_1 在 $0.8 \mu\text{s} \sim 20 \mu\text{s}$ 范围内、半峰时间 T_2 在 $40 \mu\text{s} \sim 100 \mu\text{s}$ 范围内的冲击电压。

注:对于非振荡型冲击电压,叠加的振荡应不大于峰值的 5%。

8.3.2 容许偏差

除非相关的技术委员会另有规定,试验电压的测量值应在规定值的 $\pm 5\%$ 之内。

注:可接受的时间参数限值在 8.3.1 中给出。

8.3.3 试验电压的产生

雷电冲击电压通常由冲击电压发生器产生。冲击电压发生器实质上是直流电源给许多并联的电容器充电,然后通过串联放电将电压施加在包含试品的回路中。对于非振荡型雷电冲击电压的产生,其回路包括电阻和电容负载。对于振荡型雷电冲击电压的产生,其回路包含感性负载,如发生器与电容负载之间的电感。对于同样的发生器,这种振荡回路能够产生峰值约为非振荡型冲击峰值两倍的的振荡冲击。

8.4 试验电压的测量和冲击电压波形的确定

8.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压峰值、时间参数和波形的测量应该使用按第 5 章通过试验和校核的认可测量系统来进行测量。而且对于在现场进行的大量试验,测量系统应有足够的最大施加次数。

测量应在带有试品的回路中进行,一般对于每个试品均应核查冲击波形。

注:通过试验回路参数计算确定冲击波形的方法不能满足要求。

8.4.2 认可测量系统的要求

一般要求如下:

- 测量雷电冲击电压全波峰值的不确定度为 5%;
- 测量两种类型冲击电压的时间参数和振荡冲击电压中的振荡频率(此频率用来确定波形种类)的不确定度为 10%;
- 测量叠加有振荡的冲击,确认此叠加振荡不大于 $\pm 5\%$ 。

8.4.3 刻度因数的稳定性

在性能记录中给出的环境温度范围内,以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下,测量系统的刻度因数变化不应超过 $\pm 2\%$ 。

8.4.4 动态特性

当满足下列条件时,测量系统的动态特性能满足性能记录中所规定的波形的时间参数和峰值参数的测量要求:

- 对波前时间在规定范围内的雷电冲击全波电压,刻度因数的变化保持在 $\pm 2\%$ 以内;以及
- 测得的时间参数的不确定度在 10% 以内。

8.4.5 试品的连接

转换装置应直接与试品端子连接。

8.5 测量系统的试验和校核

8.5.1 概述

应按本部分中的第5章进行试验和校核。

注:推荐使用参考记录校核动态特性。

8.5.2 干扰水平校核

在现场要对每个测量系统(电压或电流)进行干扰水平校核,试验时电缆或其他传输系统输入端短接,电缆或传输系统的接地连接不变。应该在最高试验电压下使电压测量系统输入端产生干扰。应记录输出。所测得的干扰幅值应小于测量系统测量电压输出值的 2% 。如果证明干扰不影响测量,允许干扰幅值大于 2% 。

8.6 耐受电压试验程序

推荐的试验程序由3.8中定义的试品性质决定。

注:诊断试验程序应由相关的技术委员会规定。

8.6.1 耐受电压试验:程序A

对试品施加3次规定波形和极性的额定冲击耐受电压。按照相关的技术委员会规定的方法进行检查,如果没有发现试品损坏,则认为满足试验要求。

注:对于性能递减的绝缘或者非自恢复绝缘的试验推荐使用此程序。

8.6.2 耐受电压试验:程序B

对试品施加15次规定波形和极性的额定冲击耐受电压。如果在试品绝缘的自恢复部分上发生破坏性放电的次数不超过2次,并按相关的技术委员会规定的方法对试品绝缘的非自恢复部分进行检查,没有发现试品损坏,则认为满足试验要求。

8.6.3 其他耐受电压试验

如果需要,相关的技术委员会可规定特殊的耐受电压试验和相关电器的验收标准。

9 操作冲击电压试验

9.1 概述

本规定与GB/T 16927.1中描述的耐受试验和诊断试验电压有关。

9.2 操作冲击电压试验定义

这些定义适用于非振荡型冲击和振荡型冲击电压。两种类型的冲击电压都适用于现场的高压试验。

9.2.1 非振荡型操作冲击电压

3.3 中定义的操作冲击电压,电压迅速上升到峰值,然后无振荡地较缓慢降低到零。见图 3。

注:在 GB/T 16927.1 中定义的标准操作冲击电压 250/2 500 μs 是非振荡型操作冲击电压的一个例子。

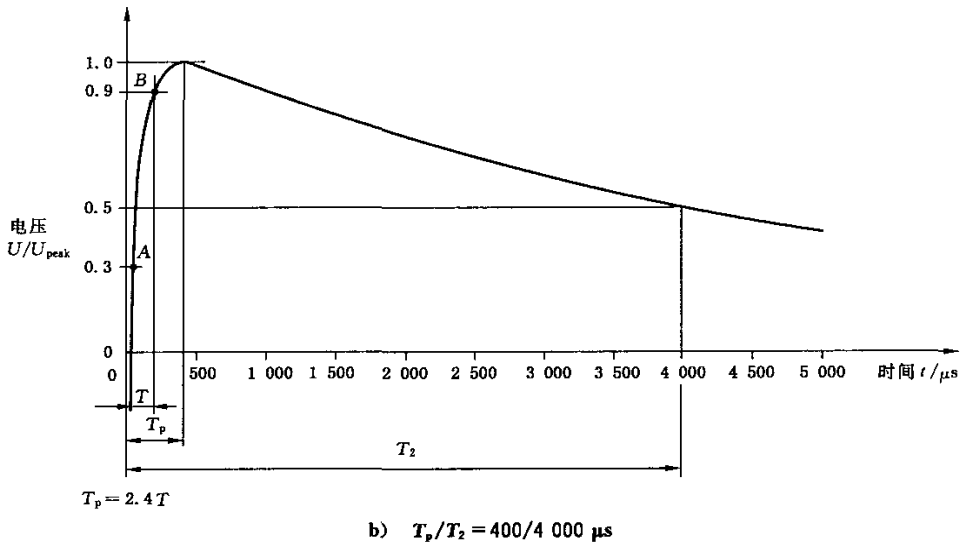
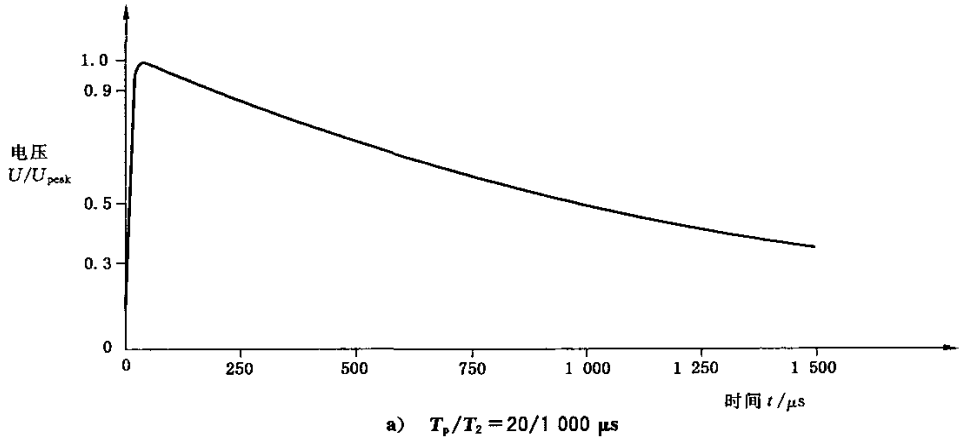
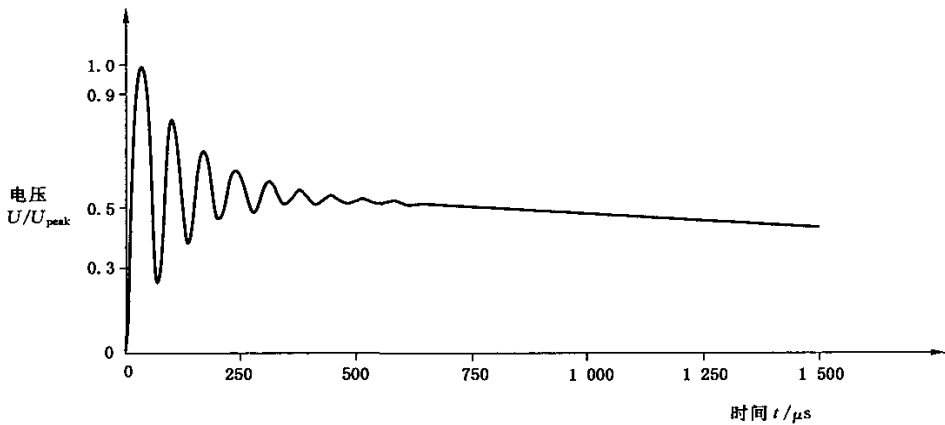


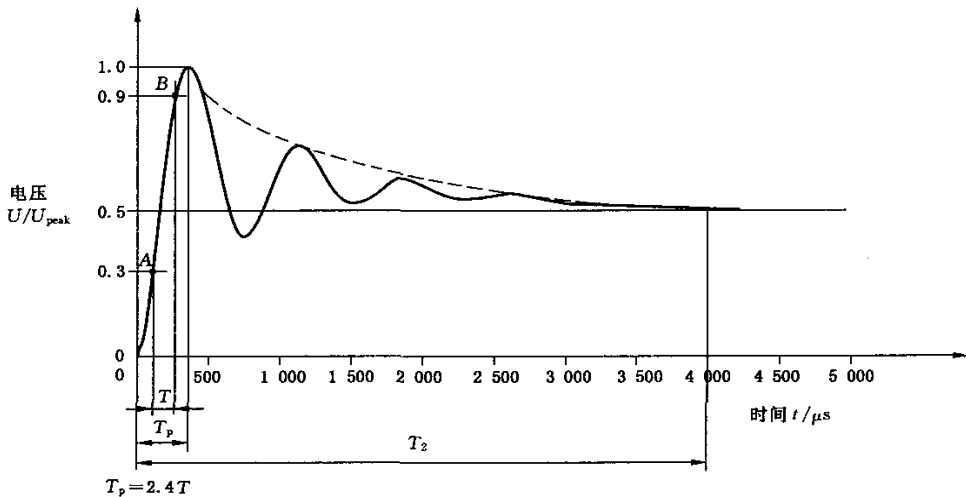
图 3 非振荡型操作冲击波形

9.2.2 振荡型操作冲击电压

3.3 中定义的操作冲击电压,电压迅速上升到峰值,然后伴随着频率范围在 1 kHz 和 15 kHz 之间的阻尼振荡降低至零,其中有或无电压极性的反转。用包络线和振荡频率表述其特性。见图 4。



a) $T_p/T_2 = 20/1\ 000\ \mu\text{s}, 15\ \text{kHz}$



b) $T_p/T_2 = 400/4\ 000\ \mu\text{s}, 1\ \text{kHz}$

图 4 振荡型操作冲击波形

9.2.3 试验电压值

指峰值。

如果在波前发生破坏性放电，试验电压值为预期电压峰值。

9.2.4 峰值时间 T_p

峰值时间 T_p 是指实际原点和到达电压峰值时刻之间的时间间隔，定义为冲击电压峰值的 30% 和 90% 两时刻时间间隔 T 的 2.4 倍。

9.2.5 半峰值时间 T_2

对于非振荡型操作冲击电压，定义为实际原点和电压降到半峰值时刻之间的时间间隔。

对于振荡型操作冲击电压，定义为实际原点和振荡型操作冲击电压的包络线降低到半峰值时刻之间的时间间隔。

9.2.6 振荡冲击电压的频率

两个连续峰值之间时间间隔的倒数。

9.3 试验电压

9.3.1 操作冲击电压

峰值时间 T_p 在 $20\ \mu\text{s}\sim 400\ \mu\text{s}$ 范围内,半峰值时间 T_2 在 $1\ 000\ \mu\text{s}\sim 4\ 000\ \mu\text{s}$ 范围内的冲击电压。

9.3.2 容许偏差

除非相关的技术委员会另有规定,试验电压的测量值应保持在规定值的 $\pm 5\%$ 之内。

注:可接受的时间参数限值在 9.3.1 中给出。

9.3.3 试验电压的产生

操作冲击电压通常由冲击电压发生器产生。冲击电压发生器实质上是直流电源给许多并联的电容器充电,然后通过串联放电将电压施加在包含试品的回路中。对于非振荡型操作冲击电压的产生,其回路包括电阻和电容负载。对于振荡型操作冲击电压的产生,其回路包含感性负载,如发生器与电容负载之间的电感。对于同样的发生器,这种振荡回路能够产生峰值约为非振荡型冲击峰值两倍的振荡型冲击。

操作冲击电压也可以通过对试验变压器低压绕组施加冲击电压的方法产生。

9.4 试验电压的测量和冲击电压波形的确定

9.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压峰值、时间参数和试验电压的频率测量应该使用按第 4 章通过试验和校核的认可测量系统来进行测量。而且,对于在现场进行的大量试验,测量系统应有足够的最大施加次数。

测量应在带有试品的回路中进行,一般对于每个试品均应核查冲击波形。

注:通过试验回路参数计算确定冲击波形的方法不能满足要求。

9.4.2 认可测量系统的要求

一般要求如下:

- 测量操作冲击电压峰值的不确定度为 5% ;
- 测量两种类型冲击电压的时间参数和振荡型冲击电压中的振荡频率(此频率用来确定波形种类)的不确定度为 10% 。

9.4.3 刻度因数的稳定性

在性能记录中给出的环境温度范围内,以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下,测量系统的刻度因数变化不应超过 $\pm 2\%$ 。

9.4.4 动态特性

当满足下列条件时,测量系统的动态特性能满足性能记录中所规定的波形的时间参数和峰值参数的测量要求:

- 对波前时间在规定范围内的操作冲击电压,刻度因数的变化在 $\pm 2\%$ 以内,以及
- 测得的时间参数的不确定度在 10% 以内。

9.4.5 试品的连接

转换装置应直接与试品端子连接。

9.5 测量系统的试验和校核

9.5.1 概述

应按本部分中的第 5 章进行试验和校核。

注：推荐使用参考记录校核动态特性。

9.5.2 干扰水平校核

在现场要对每个测量系统(电压或电流)进行干扰水平校核,试验时电缆或其他传输系统输入端短接,电缆或传输系统的接地连接不变。应该在最高试验电压下使电压测量系统输入端产生干扰。应记录输出。所测得的干扰幅值应小于测量系统测量电压输出值的 2%。如果证明干扰不影响测量,允许干扰幅值大于 2%。

9.6 耐受电压试验程序

推荐的试验程序由 3.8 中定义的试品性质决定。

注：诊断试验程序应由相关的技术委员会规定。

9.6.1 耐受电压试验:程序 A

对试品施加 3 次规定波形和极性的额定冲击耐受电压。按照相关的技术委员会规定的方法进行检查,如果没有发现试品损坏,则认为满足试验要求。

注：对于性能递减的绝缘或者非自恢复绝缘的试验推荐使用此程序。

9.6.2 耐受电压试验:程序 B

对试品施加 15 次规定波形和极性的额定冲击耐受电压。如果在试品绝缘的自恢复部分上发生破坏性放电的次数不超过 2 次,并按相关的技术委员会规定的方法对试品绝缘的非自恢复部分进行检查,没有发现试品损坏,则认为满足试验要求。

9.6.3 其他耐受电压试验

如果需要,相关的技术委员会可规定特殊的耐受电压试验和相关电器的验收标准。

10 超低频(VLF)电压试验

10.1 概述

本规定的内容与特殊试验相关。

10.2 超低频电压试验的定义

10.2.1 超低频电压

超低频交流电压是指波形介于矩形和正弦之间频率非常低的交流电压。

10.2.2 试验电压值

VLF 电压的峰值。

注：当有效值可能更重要时，例如绝缘内的物理效应取决于有效值，相关的技术委员会可以要求测量试验电压的有效值，而不是峰值。

10.2.3 峰值

忽略小的高频振荡时 VLF 电压的最大值。

10.2.4 有效值

一个完整的交流电压周期内各电压值平方的平均值的平方根。

(GB/T 16927.1—1997 中的 6.1.2)

注 1：对于标准正弦波，该值是峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

注 2：对于标准矩形波，该值等于峰值。

10.3 试验电压

10.3.1 电压波形

试验电压应是一个频率在 0.01 Hz~1 Hz 之间的交流电压。

注：对于更宽的频率范围，相关的技术委员会应规定与试品内的物理效应、试验持续时间以及试验电压值相关的频率范围。

正弦 VLF 电压波形应是两个半波几乎相同的近似正弦波。如果峰值与有效值之比在 $\sqrt{2} \pm 15\%$ 范围内，则正弦波形的微小畸变不影响高压试验的结果。

注：如果峰值与有效值之比超出 $\sqrt{2} \pm 15\%$ 范围，则应证明正、负极性峰值的差别不超过 2%。

矩形 VLF 电压波形应是两个半波几乎相同的近似矩形波。为避免暂态过程引起的过电压，应控制电压极性的变化。峰值与有效值之比应在 $1.0 \pm 5\%$ 范围内。

10.3.2 容许偏差

除非相关技术委员会另有规定，试验电压的测量值应在规定值的 $\pm 5\%$ 范围内。

10.3.3 试验电压的产生

正弦 VLF 电压可用下述方法产生，例如，通过控制正极性和负极性高压直流电源对容性试品的充电。通过可调电阻对相应的试品放电。

矩形 VLF 电压可用下述方法产生，例如，以高压直流电源为基础，通过可切换的整流器和电感、储能电容以及试品电容组成的振荡电路相连可以实现极性反转。

电压源所要满足的要求主要取决于被试设备的类型和现场试验的条件。这些要求主要取决于试验电流值和电流性质。所选择的电源特性应满足试品的额定电压。电源(包括其储能电容)应足以提供泄漏和吸收电流以及任何内部和外部的非破坏性放电电流，且电压跌落不应超过 15%。

10.4 试验电压的测量

10.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压的测量应该使用按第 5 章通过试验和校核认可的测量系统来进行测量。而且，测量系统应有足够的工作时间以满足现场试验持续时间的要求。

测量应在带有试品的回路中进行。

10.4.2 认可测量系统的要求

一般要求试验电压峰值的测量总不确定度为5%。

10.4.3 刻度因数的稳定性

在性能记录中给出的环境温度、湿度范围内,以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下,测量系统的刻度因数变化不应超过±2%。

10.4.4 动态特性

认可的测量系统的响应时间 T_N 不应大于0.5 ms。如果在 VLF 电压频率的(0.5~2)倍之间,刻度因数的变化在±2%范围内,则认为测量系统的动态特性是满足要求的。

10.4.5 试品的连接

转换装置应直接与试品端子连接。

10.5 测量系统的试验和校核

应按本部分中的第5章进行试验和校核。

注:对于认可的直流和交流电压测量系统,若其在直流和工频之间的频率响应比较平滑(在±2%以内),可认为是 VLF 电压认可测量系统。

10.6 试验程序

应由相关的技术委员会规定试验程序,并考虑波形、试验频率、试验电压值和试验持续时间。

11 衰减型交流电压试验

11.1 概述

本规定与特殊试验相关。

11.2 衰减型交流电压试验的定义

11.2.1 衰减型交流电压

从一个(负极性或正极性)充电电压开始,并且在零电压值上下具有阻尼的正弦振荡的交流电压。衰减型交流电压用峰值、回路频率和衰减系数来表征。见图5。

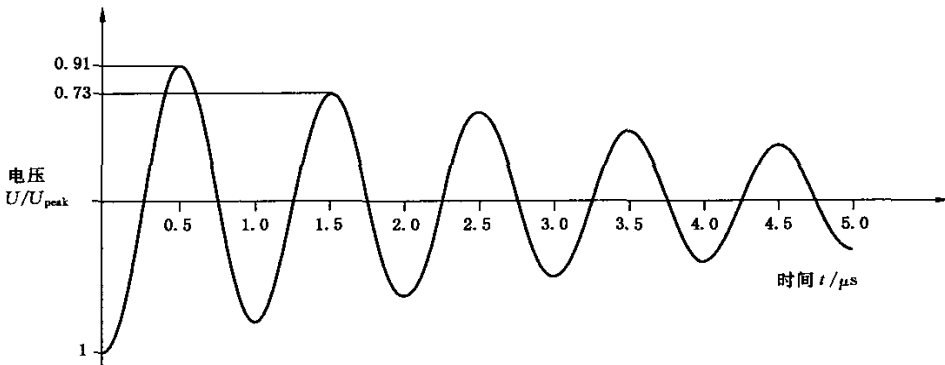


图5 衰减型交流电压($f_r = 1 \text{ kHz}, D_r = 0.2$)

11.2.2 试验电压值

指峰值。

11.2.3 峰值 U_p

施加在试品上的最大电压,其值等于充电电压。

11.2.4 回路频率 f_r

两个同极性连续峰值之间的时间间隔的倒数。

11.2.5 衰减系数 D_r

同极性的第一和第二个峰值电压之差与第一个峰值电压之比。

11.3 试验电压

11.3.1 电压波形

衰减型交流电压的回路频率在 20 Hz~1 000 Hz 之间,衰减系数通常最高达到 40%。

11.3.2 容许偏差

除非相关技术委员会另有规定,试验电压的测量值应在规定值±5%范围内。

注: 11.3.1 给出了可接受的回路频率和衰减系数的限值,无另外的容许偏差限值。

11.3.3 试验电压的产生

衰减型交流电压是由已经充电的试品电容通过适当的电感放电产生。试验回路基本包括高压直流电压源、电感、电容和适当的开关。当达到充电电压时开关闭合,试品上会产生衰减型交流电压。

回路频率由电感和电容的值决定。为了减少试品电容对回路频率的影响,可以给试品并联一个附加的储能电容。衰减系数取决于试验回路和试品的特性。

11.4 试验电压的测量

11.4.1 用认可测量系统进行测量

试验电压峰值的测量应该使用按第 5 章通过试验和校核的认可的测量系统来进行测量。而且,对于在现场进行的大量试验,测量系统应具备足够的最大施加次数。

测量应在带有试品的回路中进行,一般对于每个试品应测量其回路频率 f_r 和衰减系数 D_r 。

注: 通过计算确定试验回路的回路频率 f_r 和衰减系数 D_r 的方法不能满足要求。

11.4.2 认可测量系统的要求

一般要求如下:

- 在其频率范围内测量试验电压峰值的总不确定度为 5%;
- 测量回路频率 f_r 和衰减系数 D_r 的总不确定度为 10%。

11.4.3 刻度因数的稳定性

在性能记录中给出的环境温度、湿度范围内,以及在性能记录中给定的空间尺寸条件下,测量系统的刻度因数变化应不超过±2%。

11.4.4 动态特性

当电源频率范围在直流到 1 000 Hz 之间时,如果刻度因数的变化在 $\pm 2\%$ 范围内,则认为测量系统的动态特性可以满足峰值电压和时间参数的测量要求。

在测量系统仅用于最大回路频率 f_1 小于 1 000 Hz 的试验系统情况下,如果电源频率范围在直流到实际最大回路频率 f_2 之间时,刻度因数的变化保持在 $\pm 2\%$ 范围内,则认为测量系统的动态特性可以满足峰值电压和时间参数的测量要求。

11.4.5 试品的连接

转换装置应直接与试品端子连接。

11.5 测量系统的试验和校核

11.5.1 一般要求

应按本部分中的第 5 章进行试验和校核。

11.5.2 干扰水平校核

在现场要对每个测量系统(电压或电流)进行干扰水平校核,试验时电缆或其他传输系统输入端短接,电缆或传输系统的接地连接不变。应该在最高试验电压下使电压测量系统输入端产生干扰。应记录输出。所测得的干扰幅值应小于测量系统测量电压输出值的 2%。如果证明干扰不影响测量,允许干扰幅值大于 2%。

11.6 试验程序

相关的技术委员会应规定用于这些试验的推荐程序,也可以确定相关电器的验收标准。
