

ICS 19.080
K 40



中华人民共和国国家标准

GB/T 7354—2018
代替 GB/T 7354—2003

高电压试验技术 局部放电测量

High-voltage test techniques—Partial discharge measurements

(IEC 60270:2000, MOD)

2018-09-17 发布

2019-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验回路和试验程序	5
4.1 一般要求	5
4.2 试验回路	6
4.3 试验程序	9
5 测量系统	10
5.1 概述	10
5.2 视在电荷测量系统	11
5.3 对数字局部放电测量仪的要求	12
5.4 导出参量的测量系统	13
5.5 超宽频带局部放电测量仪	14
6 完整试验回路中的测量系统的校准	14
6.1 总则	14
6.2 校准程序	14
6.3 校准器	16
6.4 校准器和测量系统特性的确定	19
6.5 测量不确定度及灵敏度	22
7 干扰	23
附录 A (资料性附录) 本标准与 IEC 60270:2000 相比的结构变化情况	24
附录 B (规范性附录) 校准器的性能试验	25
附录 C (资料性附录) 试验回路	30
附录 D (资料性附录) 电缆、气体绝缘开关设备、电力电容器和带绕组试品的局部放电测量	31
附录 E (资料性附录) 用无线电干扰仪检测局部放电	32
附录 F (资料性附录) 局部放电测量仪器	34
附录 G (资料性附录) 局部放电的非电气测量法	38
附录 H (资料性附录) 干扰	39
附录 I (资料性附录) 直流电压试验期间局部放电试验结果的评估	42
参考文献	44

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 7354—2003《局部放电测量》。与 GB/T 7354—2003 相比,主要变化如下:

- 修改了术语“数字局部放电测量仪”的定义;增加了术语“累积视在电荷”“局部放电脉冲数”“局部放电模式”;
- 增加了列举局部放电测量试验程序(适用于交流、直流);
- 修改了宽带局放测量系统的上、下限频率;
- 给出了校准器-表征单极性阶跃电压幅值 U_0 参数满足的条件;
- 在校准器的性能试验中,给出了阶跃电压上升时间的间接测量方法;
- 增加了附录 F 局部放电测量仪器;
- 增加了附录 I 直流电压试验期间局部放电试验结果的评估。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 60270:2000《高电压试验技术 局部放电测量》。

本标准与 IEC 60270:2000 相比在结构上有较多调整,附录 A 中列出了本标准与 IEC 60270:2000 的章节编号对照一览表。

本标准与 IEC 60270:2000 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:
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.1—2011 代替了 IEC 60060-1;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.2—2013 代替了 IEC 60060-2;
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 6113.101 代替了 CISPR 16-1:1993;
- 为了规范试验实施和测量,增加了列举局部放电测量试验程序(适用于交流、直流);
- 在校准器的性能试验中,为了便于操作和实用,给出了阶跃电压上升时间的间接测量方法。

本标准还做了下列编辑性修改:

- 本标准纳入了 IEC 60270:2000/Amd.1:2015 的修正内容,这些修正内容涉及的条款已通过在其外侧边空白位置的垂直双线(∥)进行标识;
- 在局放干扰的抑制中,增加了我国电网工程中应用的单点接地方法的描述。

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:西安高压电器研究院有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、中国计量科学研究院、国家高压电器质量监督检验中心、机械工业第五(西安)计量测试中心站、西安西电开关电气有限公司、平高集团有限公司、新东北电气集团高压开关设备有限公司、沈阳变压器研究院股份有限公司、北京北开电气股份有限公司、苏州华电电气股份有限公司、西安西电电力系统有限公司、浙江开关厂有限公司、湖南长高高压开关集团股份公司、宁波舜利高压开关科技有限公司、浙江时通电气制造有限公司、重庆大学、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力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、国网浙江省电力公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、国网山西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、国网湖南省电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力公司电力科学研究院、内蒙古电力(集团)有限责任公司、云南电网有限责任公司电力科学研究院、上海市计量测试技术研究院、杭州西湖电子研究所、昆明电器科学研究所、湖北省宜昌市计量检定测试所。

GB/T 7354—2018

本标准主要起草人：崔东、雷民、刘娜、危鹏、周玮、苏春强、王斯琪、王建生、李强、李珂、张茜、王亭、张晋波、王先乐、王向克、李付永、孙茂有、赵娟、吕祥鹏、孙荣春、余青、孙小平、沈建位、李俊民、胡光福、叶树新、王有元、朱太云、赵学风、潘瑾、龚金龙、程林、王天正、刘民、叶会生、周志成、车传强、谭向宇、潘洋、胡维兴、张武波、周琼芳、陈玉。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB 7354—1987、GB/T 7354—2003。

高电压试验技术 局部放电测量

1 范围

本标准定义了局部放电的术语和有关的被测参量,规定了使用的试验回路、测量回路、通用的模拟及数字测量方法,并给出了校准方法及对校准仪器的要求、试验程序、区分局部放电和外界干扰的准则。

本标准适用于电气设备、组件或系统在频率为 400 Hz 及以下的交流电压试验或直流电压试验时产生的局部放电测量。

本标准条款可用于起草特定电气设备局部放电测量的技术条件。本标准主要涉及脉冲型(短持续时间)局部放电的电气测量,也给出了主要用于局部放电定位的非电气测量方法(参见附录 G)。

特定电力设备的特性诊断可由局部放电信号的数字化处理(参见附录 F)以及主要用于局部放电定位的非电气测量方法(参见附录 G)完成。

本标准主要阐述交流电压试验时局部放电的电气测量方法,也提及了在直流电压试验时出现的特殊问题(见第 4 章)。

本标准术语、定义、基本试验回路和程序一般也都适用于其他频率下所进行的试验,但可能要求特殊的试验方法和测量系统特性,这些要求未在本标准中考虑。

附录 B 作为要求给出了对校准器性能试验的要求。

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 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义和试验要求(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 6113.101 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备(CISPR 16-1-1:2010, IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

局部放电 partial discharge; PD

导体间绝缘仅被部分桥接的电气放电。这种放电可以在导体附近发生也可以不在导体附近发生。

注 1: 局部放电一般是由于绝缘体内部或绝缘表面局部电场过于集中而引起的。通常这种放电表现为持续时间小于 1 μ s 的脉冲。但是也可能出现连续的形式,比如气体介质中的所谓无脉冲放电,通常用本标准所述的测量方法检测不到这类放电。

注 2: “电晕”是局部放电的一种形式,它常发生在远离固体或液体绝缘的导体周围的气体介质中。“电晕”不宜被用作所有局部放电形式的通用术语。

注 3: 局部放电通常伴随着声、光、热和化学反应等现象,更详细的情况参见附录 G。

3.2

局部放电脉冲 partial discharge pulse; PD Pulse

当试品中发生局部放电时,用接在试验回路中适当的检测回路测得的电压或电流脉冲。“电流”或“电压”术语可以和“局部放电”放在一起用,表示检测量的类型。

注:试品中的一次局部放电产生一个电流脉冲,符合本标准规定的检测仪在其输出端将产生一个与其输入端电流脉冲电荷成正比的电流或电压信号。

3.3

与局部放电脉冲有关的参量

3.3.1

视在电荷 apparent charge

q

局部放电对于规定的试验回路,在非常短的时间内,如果注入试品两端的电荷量引起测量仪器的读数相当于局部放电脉冲引起的读数。

注:这个电荷量就是视在电荷量,通常用皮库(pC)表示。

3.3.2

脉冲重复率 pulse repetition rate

n

在选定的时间间隔内所记录到的局部放电脉冲的总数与该时间间隔的比值。

注:实际上只考虑高于规定幅值或在规定幅值范围中的脉冲。

3.3.3

脉冲重复频率 pulse repetition frequency

N

就等间隔脉冲而言, N 是每秒局部放电脉冲数。

注:脉冲重复频率 N 与校准时的情况有关。

3.3.4

局部放电脉冲的相角 φ_i 和发生瞬时 t_i phase angle φ_i and time t_i of occurrence of a PD pulse

其关系见式(1):

$$\varphi_i = 360(t_i / T) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

φ_i ——相位角,一般用度表示;

T ——试验电压的周期;

t_i ——在试验电压最近一次朝正向过零时刻与局部放电脉冲之间的时间间隔。

3.3.5

平均放电电流 average discharge current

I

导出量,等于在选定的参考时间间隔 T_{ref} 内的单个视在电荷 q_i 的绝对值的总和除以该时间间隔 [见式(2)]。

$$I = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|) \quad \dots\dots\dots (2)$$

3.3.6

放电功率 discharge power

P

导出量,等于在选定的参考时间间隔 T_{ref} 内的单个视在电荷 q_i 馈入试品两端间的平均脉冲功率

[见式(3)]。

$$P = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \cdots + q_i u_i) \quad \cdots \cdots (3)$$

式中:

$u_1, u_2, \cdots, u_i$ ——单个视在电荷 q_i 对应的放电瞬时 t_i 的试验电压瞬时值, 要注意每个值的符号 (+/-)。

放电功率一般用瓦特(W)表示。

3.3.7

平方率 quadratic rate

D

导出量, 等于在选定的参考时间间隔 T_{ref} 内单个视在电荷 q_i 的平方和除以该时间间隔[见式(4)]。

$$D = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1^2 + q_2^2 + \cdots + q_i^2) \quad \cdots \cdots (4)$$

平方率一般用二次方库仑每秒(C^2/s)表示。

3.3.8

无线电干扰仪 radio disturbance meter

用与 GB/T 6113.101 中一致的 B 段频率的准峰值测量仪器。

3.3.9

无线电干扰电压 radio disturbance voltage

U_{RDV}

导出量, 无线电干扰仪用于指示局部放电视在电荷 q 时的读数, 更详细的情况见 5.4.6 及参见附录 E。

3.4

重复出现的最大局部放电值 largest repeatedly-occurring PD magnitude

用具有 5.2.3 中规定的脉冲序列响应的测量系统所记录到的最大量值。

重复出现的最大局部放电值不适用于直流电压试验。

3.5

规定的局部放电值 specified partial discharge magnitude

在规定条件和试验程序下试品在规定的电压下允许的局部放电有关参量中的最大值。对于交流电压试验, 视在电荷 q 的规定值是重复出现的最大局部放电值。

注: 任何局部放电脉冲参量幅值可能在一系列连续周波内随机变化, 且在电压作用期间呈现出增大或减小的趋势。

因此, 有关技术委员会宜对规定的局部放电幅值、试验程序以及试验回路和仪器作出相应的规定。

3.6

背景噪声水平 background noise

在局部放电试验中检测到的不是由试品产生的信号。

注: 背景噪声包括测试系统中的白噪声、广播电波或其他连续或脉冲信号, 详细的情况参见附录 H。

3.7

与局部放电脉冲参量有关的试验电压

与局部放电脉冲参量有关的试验电压定义见 GB/T 16927.1—2011。

3.7.1

局部放电起始电压 partial discharge inception voltage

U_i

当施加于试品的电压从某一观察不到局部放电的较低值开始逐渐增加到初次观察到试品中产生重

复性局部放电时的电压。

实际上,起始电压 U_i 是局部放电脉冲参量幅值等于或超过某一规定的低值时的最低施加电压。

注:对于直流电压试验, U_i 的确定需要特殊考虑,见第 4 章。

3.7.2

局部放电熄灭电压 partial discharge extinction voltage

U_e

当施加于试品的试验电压从某一观察到局部放电脉冲参量的较高值逐渐减小直到试品中停止出现重复性局部放电时的电压。实际上,熄灭电压 U_e 是当所选的局部放电脉冲参量幅值等于或小于某一规定的低值时的最低施加电压。

注:对于直流电压试验, U_e 的确定需要特殊考虑,见第 4 章。

3.7.3

局部放电试验电压 partial discharge test voltage

按规定的局部放电试验程序施加的规定电压,在此电压施加期间测量试品的局部放电脉冲参量。

注:该电压是相关产品技术委员会规定的相对地试验电压,有些情况下可由用户和制造商协商确定。

3.8

局部放电测量系统 partial discharge measuring system

局部放电测量系统包括耦合装置、传输系统和测量仪器。

3.9

测量系统的特性

下列定义适用于第 5 章规定的测量系统。

3.9.1

传输阻抗 transfer impedance

$Z(f)$

当输入是正弦电流时,输出电压幅值和一恒定输入电流幅值的比, $Z(f)$ 是频率 f 的函数。

3.9.2

下限频率 f_1 和上限频率 f_2 lower and upper limit frequencies f_1 and f_2

传输阻抗 $Z(f)$ 由通带峰值下降 6 dB 时的频率。

3.9.3

中心频率 f_m 和带宽 Δf mid band frequency f_m and bandwidth Δf

所有测量系统的中心频率均定义为式(5):

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2} \dots\dots\dots (5)$$

而带宽定义为式(6):

$$\Delta f = f_2 - f_1 \dots\dots\dots (6)$$

3.9.4

叠加误差 superposition error

当输入电流脉冲时间间隔小于单个输出响应脉冲的持续时间时,由瞬态输出脉冲响应的重叠引起的。根据输入脉冲的脉冲重复率,叠加误差可能累加或可能消减。在实际回路中由于脉冲重复率的随机特性,两种情况均可能发生。但是,由于测量是基于重复出现的最大局部放电值进行的,因此,通常只能测到带有累加的叠加误差。

注:叠加误差可以达到 100% 或更高,这取决于脉冲重复率和测量系统的特性。

3.9.5

脉冲分辨时间 pulse resolution time

T_r

两个持续时间极短、波形和极性相同、电荷量相等的相继输入脉冲之间的最短时间间隔,在这一时间间隔中脉冲响应幅值的变化不大于单个脉冲幅值的 10%。

脉冲分辨时间一般与测量系统的带宽 Δf 成反比,也是测量系统分辨连续局部放电现象能力的表征。

注:建议测量完整试验回路和测量系统的脉冲分辨时间,因为试品也能引起叠加误差,例如从电缆末端的波反射。

有关技术委员会宜规定处理叠加误差的程序,尤其是允许偏差包括正偏差或负偏差等。

3.9.6

积分误差 integration error

当局部放电电流脉冲的幅值频谱的上限频率小于以下值时,视在电荷测量中的误差:

- a) 宽带测量系统的上限频率;或
- b) 窄带测量系统的中心频率。

见图 6。

注:如果某一特种电器有要求,有关技术委员会宜规定更严格的 f_1 和 f_2 的值以减小积分误差。

3.10

数字局部放电测量仪 digital partial discharge instruments

对局部放电信号进行数据采集和评估的仪器。

注:从试品端子上捕获的局部放电脉冲的 A/D 转换可以直接进行或在视在电荷脉冲已经采用一个模拟带通滤波放大器或一个有源积分器之后进行。

3.11

刻度因数 scale factor

k

与仪器的读数相乘得到输入量值的系数(GB/T 16927.2—2013 的 3.5)。

3.12

累积视在电荷 accumulated apparent charge

q_a

在规定的時間间隔 Δt 期间出现的超过规定阈值水平的所有单个脉冲的视在电荷 q 的总和。

3.13

局部放电脉冲数 PD pulse count

m

在规定时间间隔 Δt 内超过规定阈值水平的局部放电脉冲总数。

3.14

局部放电模式 PD pattern

在规定的時間间隔 Δt 期间记录的视在电荷 q 与局部放电脉冲相位角 φ_i 关系,并以图表显示的局部放电模式。

4 试验回路和试验程序

4.1 一般要求

本章叙述了几种用于测量局部放电参量的基本试验回路,并介绍了这些回路和系统的工作原理。

有关技术委员会还可以推荐用于特殊试品的特殊试验回路。只要可能,建议有关技术委员会用视在电荷作为被测参量,但对特殊情况也可以使用别的参量。

如果有关技术委员会未作规定,则 4.2 所述的任何试验回路以及第 5 章中所规定的任何测量系统均可使用。

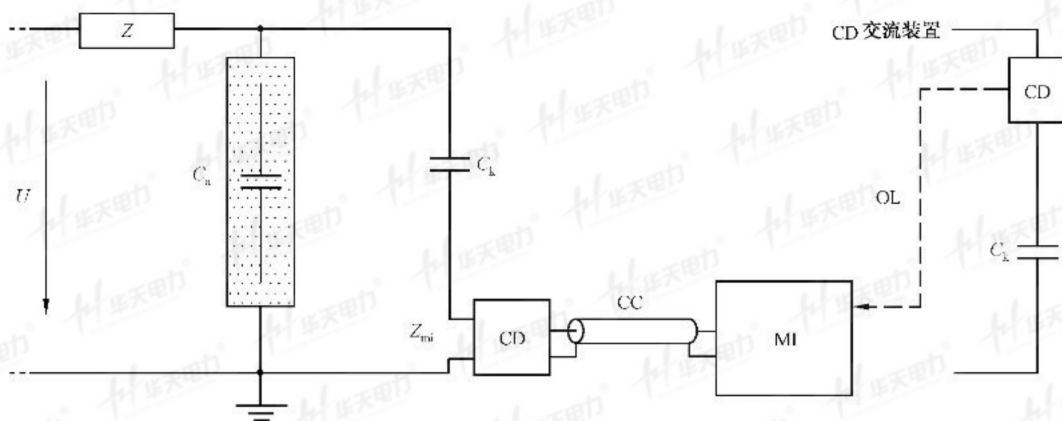
4.2 试验回路

用于局部放电测量的大多数回路可以由图 1 a)~图 1 d)所示的基本回路演变而来。图 2 和图 3 表示这些回路的一些变化,每个回路的组成主要有:

- 试品,通常被认为是一个电容器 C_s (参见附录 D)。
- 耦合电容器 C_k (应设计为低电感电容),或第二个试品 C_{s1} (类似于试品 C_s)。在规定的试验电压下 C_k 或 C_{s1} 均应具有足够低的局部放电水平,以便对规定的局部放电值进行测量。如果一个测量系统能够区分并分别测量来自试品和耦合电容器中的局部放电,那么允许 C_k 或 C_{s1} 具有较高的局部放电水平。
- 带输入阻抗的测量系统(对平衡回路,还需要第二个输入阻抗)。
- 背景噪声足够低的高压电源(见第 6 章和第 7 章),以便在规定试验电压下对规定的局部放电值进行测量。
- 背景噪声足够低的高压连接(见第 6 章和第 7 章),以便在规定试验电压下对规定的局部放电值进行测量。
- 有时在高压端接入一个阻抗或滤波器,以减小来自供电电源的背景噪声。

注:对于图 1~图 3 所示的局部放电基本试验回路,其测量系统的耦合装置也可放在高压端,即耦合装置与 C_s 或 C_k 交换位置;这时可用光缆来连接耦合装置和测量仪器,如图 1 a)所示。

不同试验回路的其他情况及特性可参见附录 C 和附录 H。



a) 耦合装置 CD 与耦合电容器串联

图 1 局部放电基本试验回路

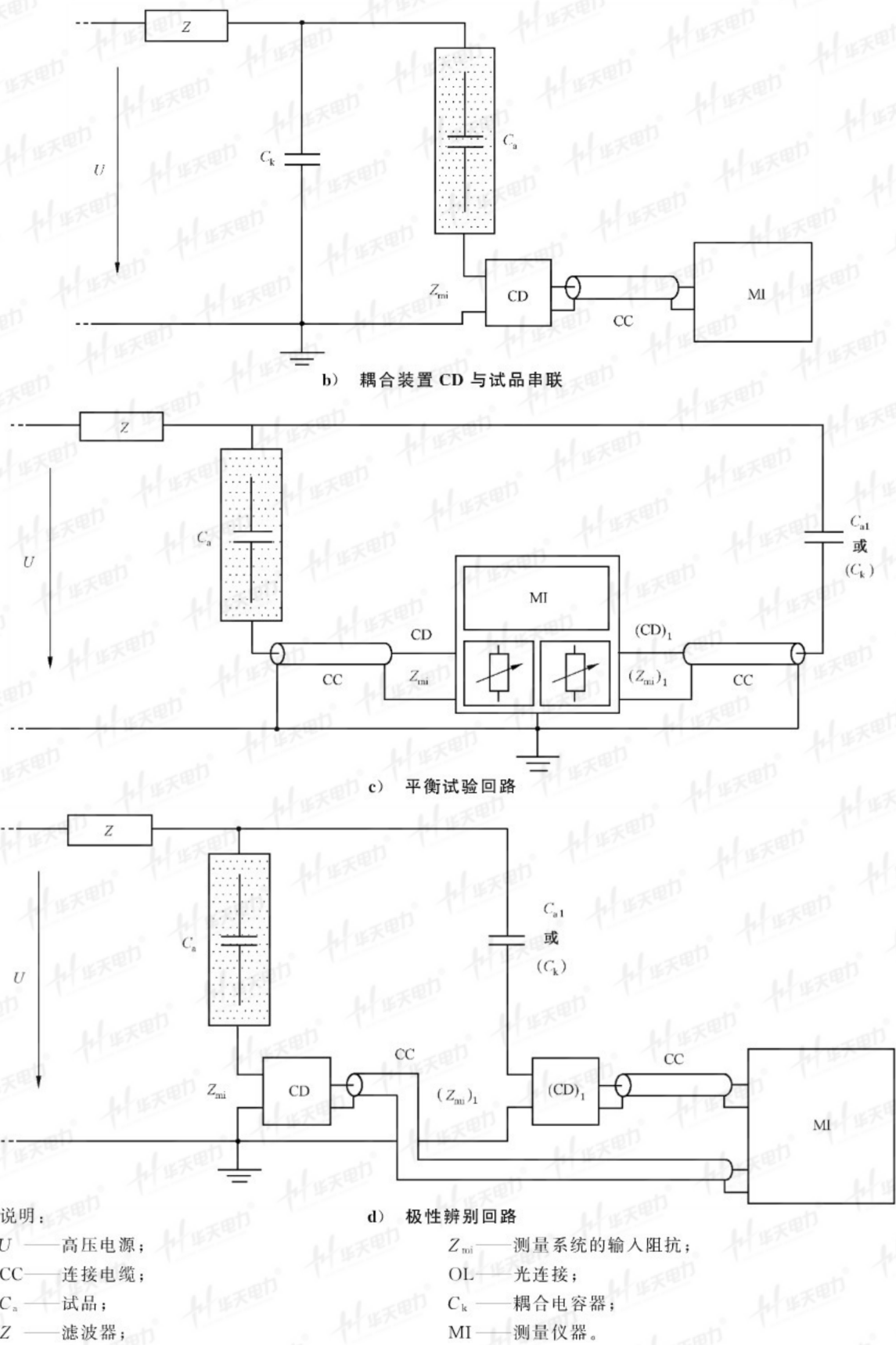
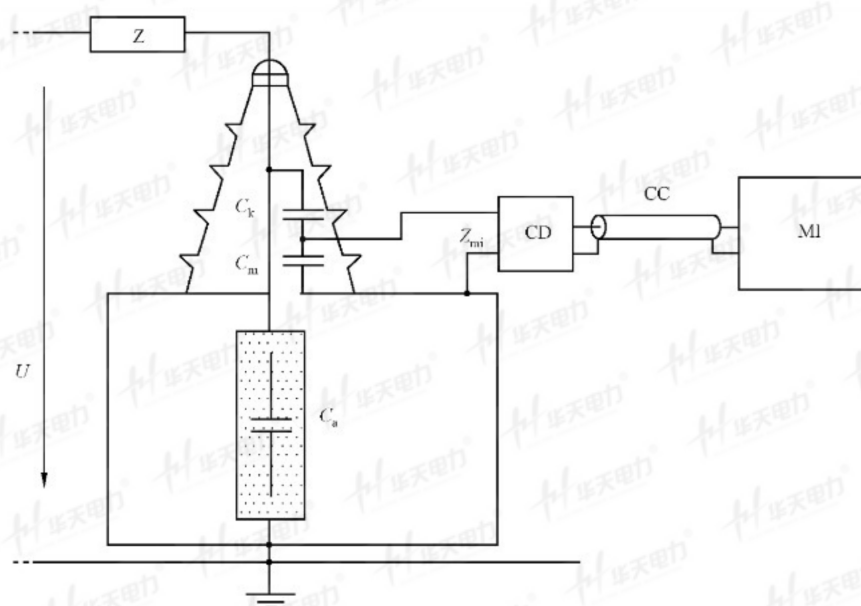


图 1 (续)



说明:

U —— 低压或高压电源;

CC —— 连接电缆;

Z_{mi} —— 测量系统的输入阻抗;

C_k —— 耦合电容器;

C_m 与 Z_{mi} —— 并联的电容;

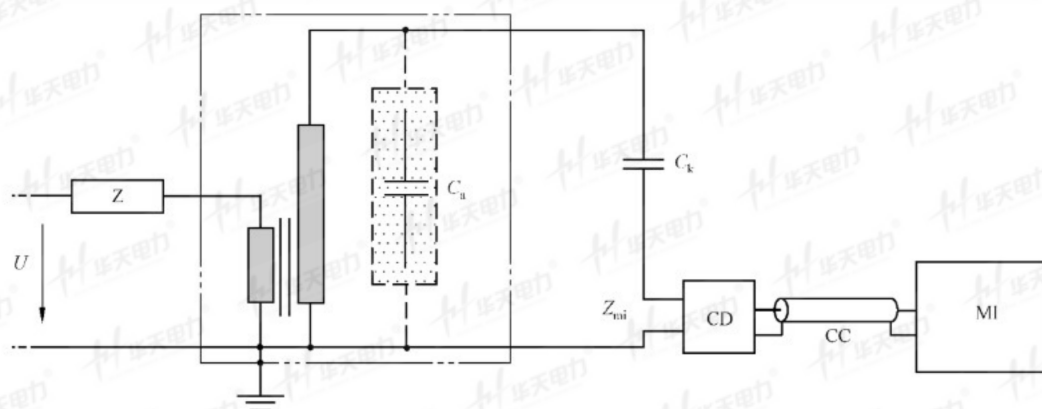
CD —— 耦合装置;

C_s —— 试品;

MI —— 测量仪器;

Z —— 滤波器。

图 2 在套管抽头上测量的试验回路



说明:

U —— 低压或高压电源;

CC —— 连接电缆;

Z_{mi} —— 测量系统的输入阻抗;

C_k —— 耦合电容器;

CD —— 耦合装置;

C_s —— 试品;

MI —— 测量仪器;

Z —— 滤波器。

图 3 测量自激试品的试验回路

4.3 试验程序

4.3.1 概述

本章列出对试品本身及试验电压的要求。对于特殊试验条件和试验方法的附加要求由有关技术委员会规定。此委员会宜规定所要求的最小可测量值,关于最小可测量值实际受到限制的情况可参见附录 H。技术委员会还可以推荐另外的局部放电参量。

注: 电缆、气体绝缘开关、电力电容器和带绕组的试品的局部放电测量的某些导则可参见附录 D。

4.3.2 一般要求

局部放电试验中,为了使试验结果具有可重复性,应对所有有关因素加以控制。试验前局部放电测量系统应按第 5 章中的规定进行校准。

4.3.3 试品的条件

试验之前,试品宜按有关技术委员会规定的程序进行预处理。如果没有其他规定,则:

- a) 试品外绝缘的表面应是清洁和干燥的;
- b) 试品试验时宜处于环境温度。

在试验之前刚刚受到过机械、热和电气的作用会影响局部放电的试验结果。为了保证良好的可重复性,在受作用之后至局部放电试验之间允许停顿一段时间,具体时间由有关产品技术委员会规定。

4.3.4 试验程序的选择

4.3.4.1 总则

用于特殊试验和试品的程序由有关技术委员会负责规定。规定应包括预处理过程、试验电压水平及频率、施加电压的上升和下降速率、施加电压的次序和施加时间的长短以及局部放电测量试验和其他绝缘试验的关系等。

为有助于起草上述试验技术要求,4.3.4.3 列出关于交流、直流试验电压下的试验程序。

4.3.4.2 局部放电起始和熄灭电压的确定

4.3.4.2.1 交流局部放电起始和熄灭电压

将一明显低于起始电压预期值的电压加在试品上,逐步增加电压直到放电发生,或超过规定的局部放电参量低值。处于这一规定值时的试验电压就是局部放电起始电压 U_i 。然后将试验电压升至规定值,之后再逐渐地将电压降至放电小于同一规定值时的电压值。在这一放电限值处的试验电压就是局部放电熄灭电压 U_e 。要注意, U_i 的值可能要受电压上升速率的影响,而 U_e 可能会受施加电压的幅值、持续时间和电压下降速率的影响。

注 1: 某些绝缘中当电压第一次升至 U_i 时只会间歇地发生局部放电;一些情况下,放电量迅速上升,而当电压 U_i 维持一段时间后,放电会消失。因此,有关技术委员会宜规定合适的试验程序。

然而,无论如何试验电压不应超过受试设备所允许施加的额定短时工频耐受电压。

注 2: 对于某些高压电器,重复施加接近额定短时工频耐受电压会有造成试品破坏的危险。

4.3.4.2.2 直流局部放电起始和熄灭电压

直流电压试验时,很难确定局部放电的起始电压和熄灭电压。这是因为它们和在电压变化时的电压分布、温度及压力等许多因素有关。在开始施加电压或电压变化期间更易产生局部放电,然后当电压变为电阻性分布后,放电变为间歇性的。

在一定条件下,甚至在试验电压退去以后,局部放电还可能继续。上述情况在固体、液体和气体组合绝缘时较常见。

注:在一些情况下,对固体绝缘试品施加直流电压可导致局部放电的老炼过程。在恒定的电压下局部放电脉冲数明显地周期性增减,经过一段较长时间达到稳态。

4.3.4.3 在规定的试验电压下测量局部放电

4.3.4.3.1 不预加电压时的测量

规定量的局部放电幅值是在规定的电压下测得的,该电压明显高于预期的局部放电起始电压。从某一低值逐步将电压增加到规定值并保持规定时间。因为放电值可以随时间变化,应在规定时间的末尾测量局部放电值。

在电压正在增加或减小时或在整个试验中对放电值进行测量或记录。

4.3.4.3.2 有预加电压时的测量

该试验中将试验电压从低于规定局部放电试验电压的某一值增加到某一超过规定试验电压的电压规定值,然后将电压保持规定时间,此后逐步降低到局部放电试验电压。

在这一电压水平下,将电压保持规定的时间,并在这一时间的末尾,按给定的时间间隔或在整个规定时间内测量局部放电值。

4.3.4.3.3 局部放电测量试验程序(适用于交流、直流)

交流、直流局部放电测量可根据规定的局部放电值进行试验,程序如下:

——一种规定的局部放电值

- 采用规定 6.3.2 中定义的校准器,用规定的局部放电值按照 6.2 中给出的校准程序对试验回路进行校准,此时局部放电测量仪应保持增益固定;
- 按照 4.3.4.3.1、4.3.4.3.2 及相关标准要求对局部放电值进行记录。

——多种规定的局部放电值

- 采用规定 6.3.2 中定义的校准器,选用多种规定的局部放电值中较为适宜的局部放电量(一般选择中间量值的局部放电值),按照 6.2 中给出的校准程序对试验回路进行校准,此时局部放电测量仪应保持增益固定。此外分别采用其他规定的局部放电值对回路进行相应电流脉冲注入,并分别记录局部放电仪上显示的相对应的局部放电值即为此规定的局部放电值。
- 按照 4.3.4.3.1、4.3.4.3.2 及相关标准要求对相应局部放电值分别记录。

5 测量系统

5.1 概述

本章叙述了几种用于测量局部放电参量的测量系统,试验回路和测量系统应按第 6 章的规定进行校准和测量系统特性的检定。

如果有关技术委员会未作规定,则本节所规定的任何测量系统均可使用。但任何情况下均应记录所采用测量系统的最主要特性(f_1 、 f_2 、 T_r ,见第 3 章)。

对于直流所采用测量系统的主要特性还应涵盖脉冲序列响应。

为了显示局部放电脉冲数 m ,推荐使用具有综合脉冲计数器的数字局部放电测量仪或与适当的脉冲计数装置结合的模拟局部放电测量仪。

5.2 视在电荷测量系统

5.2.1 总则

局部放电测量系统可以分为几个子系统:耦合装置、传输系统(例如连接电缆或光缆)和测量仪器。一般,传输系统不会对回路特性产生影响,因此不予考虑。

5.2.2 耦合装置

耦合装置是测量系统和试验回路的一个主要部分,其组件是针对特定的试验回路为达到最佳的灵敏度而专门设计的。一台测量仪器只能与特定的耦合装置相配。

耦合装置通常是一个有源或无源二端口网络,它把输入电流转换成输出电压信号。这些信号由传输系统传给测量仪器。耦合装置的频率响应按输出电压与输入电流之比定义,其选择至少要有效防止试验电压及其谐波频率进入仪器。

注 1: 虽然单个耦合装置的频率响应是没有意义的,但输入阻抗的数值及频率特性很重要,因为输入阻抗与 C_k 及 C_s 会相互影响,故是试验回路的主要部分。

注 2: 耦合装置与试品之间的连接宜根据实际尽量短,以减小对测量带宽的影响。

5.2.3 测量视在电荷仪器的脉冲序列响应

只要输入脉冲的幅值频谱至少在测量系统的带宽 Δf 内是恒定的(见 6.3.1),那么,测量仪器的响应是一峰值正比于单极性输入脉冲电荷的电压脉冲。此输出脉冲的波形持续时间及峰值由测量系统的传输阻抗 $Z(f)$ 确定。因此,输出脉冲与输入信号的波形和持续时间可能完全不一样。

在示波器上显示一个输出电压脉冲有助于识别局部放电的起因并将它们与干扰区别开(见第 7 章)。电压脉冲既可以用试验电压触发的线性时基显示,也可以用与试验电压频率同步的正弦时基或椭圆时基显示。

此外,特别推荐用指示仪器和记录仪对重复出现的最大局部放电值进行定量。用于交流电压试验的这类仪器的读数宜基于模拟峰值回路或基于软件的数字式峰值检测回路,它们的充电时间常数非常短、放电时间常数不大于 0.44 s。不论这种仪器采用哪种显示方式,需要满足以下要求:

对由已知脉冲重复频率 N 的等距离及等幅值脉冲电荷 q_0 组成的脉冲序列,系统的响应应使仪器的读数 R 符合表 1 给出的幅值。当 $N=100\text{ s}^{-1}$ 时,假定此类仪器的量程和增益可以调节到满刻度或 100% 显示。用于产生这些脉冲的校准器应符合第 6 章中的要求。

表 1 局部放电测量仪器的脉冲序列响应

N/s^{-1}	1	2	5	10	50	≥ 100
$R_{\min}/\%$	35	55	76	85	94	95
$R_{\max}/\%$	45	65	86	95	104	105

注 1: 有必要满足这一特性以使不同类型的仪器获得的读数具有一致性。这些要求是针对所有量程,对在本标准发布之前已经使用的仪器不必要求满足这些要求,但宜给出 $R(N)$ 的实际值。

注 2: 被测参量可以由指针式仪器、数字显示器或示波器显示。

注 3: 规定的响应可以由模拟或数字信号处理得到。

注 4: 本条规定的脉冲序列响应不适用于直流电压试验。

注 5: 相关技术委员会可规定特定装置的不同特性响应。

5.2.4 宽带局部放电测量仪

这种仪器与耦合装置组合成一宽带局部放电测量系统,它用具有固定上下限频率值 f_2 和 f_1 的传输阻抗 $Z(f)$ 表征,在频率 f 低于 f_1 和高于 f_2 时衰减很快。 f_1 、 f_2 和 Δf 的推荐值为:

$$30 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 100 \text{ kHz}$$

$$f_2 \leq 1 \text{ MHz}$$

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 900 \text{ kHz}$$

注 1: 同一测量仪器与不同的耦合装置组合可以改变传输阻抗,但其总的频率响应符合推荐值。

注 2: 对于具有线圈的试品如变压器和电机,要求的频带可降低到几百 kHz 甚至以下。对这类试品的可接受的上限频率 f_2 宜由相关技术委员会规定。

这种仪器对局部放电电流脉冲(非振荡的)的响应一般是一个良好阻尼的振荡。局部放电电流脉冲的视在电荷 q 和极性都能由此响应确定。脉冲分辨时间 T_r 很小,典型值为 $5 \mu\text{s} \sim 10 \mu\text{s}$ 。

5.2.5 带有源积分器的宽带局部放电测量仪

这类仪器包括一频带特别宽的放大器,随后是一电子积分器,它由电容电阻积分回路的时间常数来表征。此积分器对局部放电脉冲的响应是一个随放电的电荷总量瞬时值增大而增大的电压信号。假定积分器的时间常数远大于局部放电脉冲的持续时间,则信号的最终幅值正比于总的电荷量。实际上, $1 \mu\text{s}$ 范围的时间常数是典型的。对连续的局部放电脉冲的脉冲分辨时间应小于 $10 \mu\text{s}$ 。

注: 这类仪器的上限频率可达几百 kHz,这是通过计算放大器和有源积分器组合在一起时的时间常数得出的。

5.2.6 窄带局部放电测量仪

这类仪器的特点是带宽 Δf 很小,中心频率 f_m 能在很宽频率范围内变化,此频率变化范围中局部放电电流脉冲的幅值频谱接近不变。 Δf 和 f_m 的推荐值为

$$9 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 30 \text{ kHz}$$

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz}$$

进一步推荐在 $f_m \pm \Delta f$ 频率下的传输阻抗 $Z(f)$ 应比峰值通带值低 20 dB。

注 1: 在实际视在电荷的测量中,只有当测量值与 f_m 为推荐值时的检测值一致时,才可采用中心频率 $f_m > 1 \text{ MHz}$ 。

注 2: 通常,窄带仪器和具有高通特性的耦合装置一起使用,高通的通带包含仪器的频率范围。如果采用谐振耦合装置, f_m 有必要调谐到并固定在耦合装置和试验回路的谐振频率上以得到不变的回路刻度因数。

注 3: 本标准中具有准峰值响应的无线电干扰仪不适合视在电荷 q 的测量,但它们可用于局部放电的检测。

这类仪器对局部放电电流脉冲的响应是一瞬态振荡,其包络带中正、负峰值与视在电荷量成正比,与电荷极性无关。脉冲分辨时间 T_r 很大,典型情况为 $80 \mu\text{s}$ 以上。

5.3 对数字局部放电测量仪的要求

5.3.1 总则

数字局部放电仪最基本的要求是:

显示重复出现的最大局部放电值,并且仪器应符合 5.2.3 的要求。另外,数字局部放电仪可以记录和计算以下一个或几个参量。

- t_i 瞬时产生的视在电荷 q_i ;
- 在各个视在电荷 q_i 产生的时刻 t_i 测得的试验电压瞬时值 u_i ;
- 发生在时间 t_i 的局部放电脉冲出现的相位角 φ_i 。

5.3.2 视在电荷 q 的测量要求

数字显示的相继时间间隔不应超过 1 s。

仪器响应通常包括不同水平的持续或基准线噪声。这些噪声通常是由背景噪声或许多局部放电脉冲引起的,它们的幅值相对于测量到的最大电平是比较小的。可以采用双极性灵敏阈值来防止采集这些信号。如果使用阈值,应记录这个电平。

有关模拟响应信号的数字采集参见附录 F。

5.3.3 试验电压值和相位的测量要求

如果数字仪器能记录工频试验电压的数值,它应符合 GB/T 16927.2—2013 的要求。

如果仪器能用于测量试验电压的相角,那么其最大允许误差应不超过 $\pm 5^\circ$ 。

5.4 导出参量的测量系统

5.4.1 耦合装置

5.2.2 也适用于导出参量的测量系统的耦合装置。

5.4.2 测量脉冲重复率 n 的仪器

测量脉冲重复率的仪器应具有足够短的脉冲分辨时间 T_r ,以分辨被测的最高脉冲重复率。幅值鉴别器可用来抑制低于可调的预定幅度的脉冲,以避免记录无意义的信号。可以用几个幅值鉴别器电平来表征局部放电,例如在直流试验中。

建议将这种计数器的输入接在 5.2 中所述的局部放电测量系统的输出端。如果脉冲计数器与响应为振荡或双向的局部放电测量系统相连,此时应进行适当的脉冲整形以避免每个脉冲被记录多次。

5.4.3 测量平均放电电流 I 的仪器

原则上,测量放电电流脉冲平均值的仪器,在线性放大和整流后经过适当的校准可指示放电电流 I 的平均值。引起这种测量误差的原因:

- a) 放大器在低脉冲重复率 n 时饱和;
- b) 脉冲发生的间隔时间小于测量系统的脉冲分辨时间 T_r ;
- c) 低于数字采集装置阈值的低电平局部放电。

评估此测量时宜考虑引起这些误差的原因。平均放电电流也能用数字信号处理进行计算。

注:当脉冲重复率 n 太低,会出现饱和,此时就很难测到平均放电电流 I 。在这种情况下,可能会促使一直增大局部放电仪放大器的增益(也就是增大刻度因数)直至检测到电流为止。这样会导致出现放大器的动态范围不能线性响应稀少的局部放电脉冲的现象。为了防止这种情况,可用配备检测非线性操作的报警回路的局部放电仪,或在平均电流测量期间对局部放电仪的输出进行可视化监测(例如示波器)。

5.4.4 测量放电功率 P 的仪器

不同类型的试验回路和模拟仪器均可用于测量放电功率。它们一般都是基于计算参量 $\sum q_i u_i$,如果示波器的 X-Y 轴可以分别对 $\int q_i$ 和 $u(t)$ 进行定量,则由示波器显示的面积就能确定这一参量。功率参量也可用更复杂的技术求得。这种试验回路和仪器的校准取决于施加电压及视在电荷刻度因数的确定。

放电功率也可以用数字信号处理技术进行计算。

5.4.5 测量平方率 D 的仪器

测量各个视在电荷 q_i 值平方的平均值的仪器可给出平方率 D , 此仪器的设计宜根据适合视在电荷测量的特点来进行。

平方率也可以用数字信号处理技术进行计算。

5.4.6 测量无线电干扰电压的仪器

无线电干扰仪是选频电压表。此仪器主要用来测量无线电广播信号引起的干扰。虽然无线电干扰仪不可能直接指示本标准中所定义的任何局部放电参量, 但是如果按第 6 章进行校准, 且采用合适的高通特性的耦合装置, 就可以获得比较合理的视在电荷 q_i 的指示值。

由于仪器为准峰值测量电路, 读数对放电脉冲的重复率 n 非常敏感。详细情况参见附录 E。

5.5 超宽频带局部放电测量仪

也可以用非常宽频带示波器或选频仪器(例如频谱分析仪)配上合适的耦合装置来测量局部放电。用这类仪器的目的是测量具有分布参数的设备(如电缆、旋转电机和气体绝缘开关设备)中发生的局部放电电流或电压脉冲的波形和频谱并予以定量, 或提供有关放电现象的机理和起因的信息。

本标准对用于这类研究的仪器的带宽/频率以及测量方法未提出建议, 因为这类仪器及方法一般是不直接对局部放电电流的视在电荷进行量化的。

6 完整试验回路中的测量系统的校准

6.1 总则

校准的目的是为了验证测量系统能够正确地测量规定的局部放电值。

完整试验回路中测量系统的校准是用来确定视在电荷测量的刻度因数 k 。因为试品电容 C_0 会影响回路的特性, 因此要对每一个新试品分别进行校准, 除非试验中一系列类似试品的电容值都在平均值的 $\pm 10\%$ 以内。

完整试验回路中测量系统的校准是在试品的两端注入已知电荷量 q_0 的短时电流脉冲(如图 4 所示), q_0 值由校准器性能试验的结果取得(见 6.4.3.3)。

6.2 校准程序

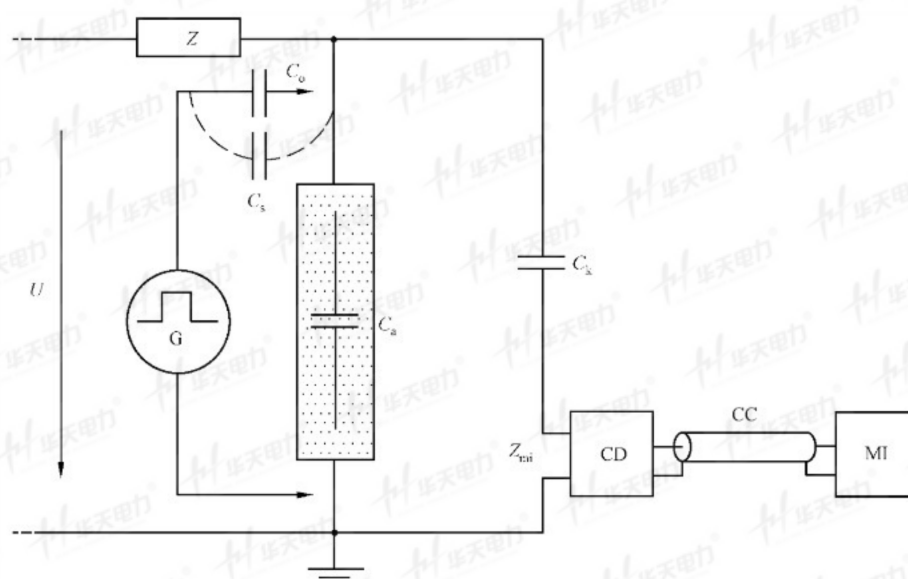
用作测量视在电荷 q 的测量系统的校准, 如图 4 所示, 是用 6.3.2 中定义的校准器通过对试品两端注入电流脉冲进行的。校准宜在预期值的适当范围内某一个电荷值下进行, 以保证对规定局部放电值测量的准确度。此适当范围宜选在规定局部放电值的 $50\% \sim 200\%$ 之间。

由于校准器中的电容 C_0 通常为—低电压电容器, 因此, 完整试验回路的校准是在试品不带电时进行的。而为了使校准有效, 校准电容 C_0 一般应不大于 $0.1C_0$, 如果校准器满足要求, 则校准脉冲就等效于放电量 $q_0 = U_0 C_0$ 的单个放电脉冲。

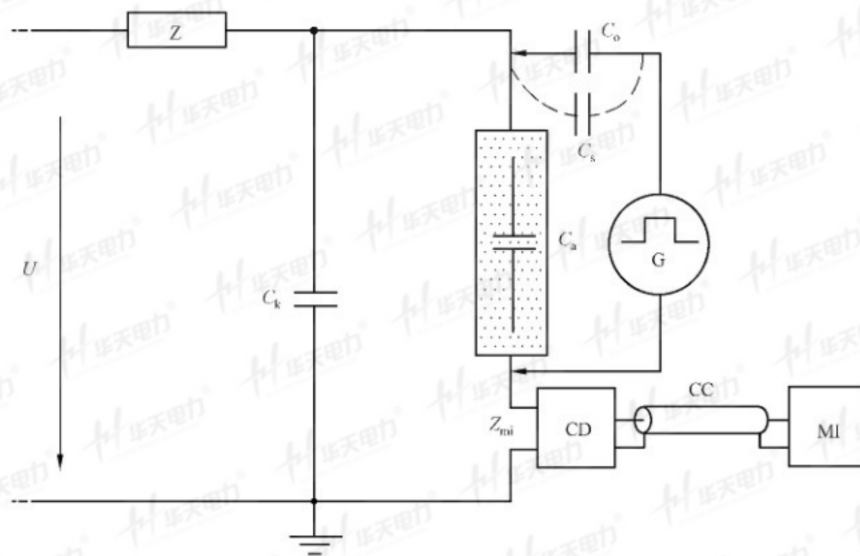
在试验回路带电之前应把 C_0 移开。如果 C_0 是高电压型的, 且背景噪声水平足够低(参考 6.5 和第 7 章), 以致可在规定的试验电压下测量规定的局部放电水平, 则它仍可接在试验回路中。

注 1: 如果 C_0 是高电压型的且—直接在试验回路中, 那么就不再要求校准电容 C_0 小于 $0.1C_0$ 。

对几米高的大试品, 校准电容 C_0 宜靠近试品的高压端。因为杂散电容 C_s [如图 4a) 和图 4b) 所示] 会导致不可接受的误差。

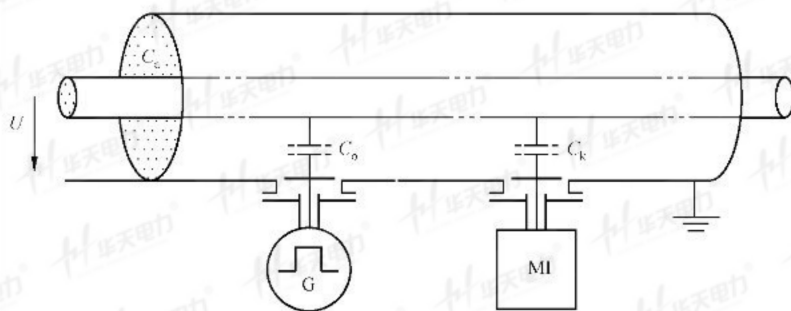


a) 耦合装置 CD 与耦合电容器串联



b) 耦合装置 CD 与试品串联

图 4 校准完整试验回路的接线



c) GIS 测量中的试验回路

说明:

- | | |
|------------------------|----------------|
| U —— 高压电源; | CD —— 耦合装置; |
| CC —— 连接电缆; | C_s —— 试品; |
| Z_{mi} —— 测量系统的输入阻抗; | MI —— 测量仪器; |
| C_k —— 耦合电容器; | Z —— 滤波器; |
| C_o —— 校准电容器; | C_s —— 杂散电容。 |
| G —— 阶跃电压发生器; | |

图 4(续)

阶跃电压发生器和电容 C_s 之间的连接电缆宜有屏蔽,并且为了防止阶跃电压的畸变,该电缆宜直接有适当的终端。

注 2: 对于高的试品,校准器和试品端子之间的连接导线可能会超出几米。由于不可避免的杂散电容,从校准器到试品的电荷转移可能会降低。宜由相关技术委员会规定符合这种情况下可接受的测量不确定度。

6.3 校准器

6.3.1 总则

电流脉冲一般由校准器产生,该校准器由能产生幅值为 U_0 的阶跃电压脉冲发生器和电容 C_s 串联构成,因此校准脉冲提供重复的电荷,其电荷值见式(7):

$$q_0 = U_0 C_s. \quad \dots\dots\dots (7)$$

实际上,不可能产生一个理想的阶跃电压脉冲。尽管具有较慢上升时间 t_r (峰值的 10%~90% 之间) 和有限衰减时间 t_d (峰值的 90%~10% 之间) 的其他波形也可以注入同样多的电荷,但由于这种校准电流脉冲持续时间的变长会引起积分误差,不同测量系统及试验回路的响应也不相同。

表征单极性阶跃电压幅值 U_0 的参数应满足下列条件(见图 5):

上升时间: $t_r \leq 60 \text{ ns}$;

达到稳定状态时间: $t_s \leq 200 \text{ ns}$;

阶跃电压持续时间: $t_d \geq 5 \mu\text{s}$;

t_r 和 t_d 之间阶跃电压幅值 U_0 的偏差: $\Delta U \leq 0.03 U_0$ 。

时间参数 t_r 、 t_s 和 t_d 从阶跃电压起始时刻 t_0 开始测, t_0 为当上升电压为 10% U_0 时的时刻。

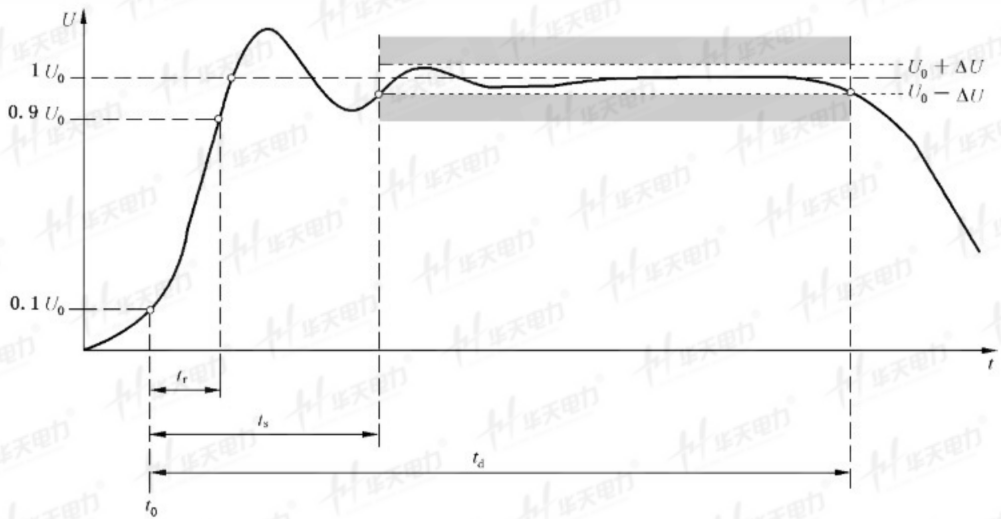
达到稳定状态的时间 t_s 为从 t_0 开始到 U_0 的偏差 ΔU 首次小于 3% 时刻之间的时间。

阶跃电压持续时间 t_d 为从 t_0 开始到阶跃电压在 t_s 之后衰减到 97% U_0 的时刻之间的时间。 t_d 后,电压会在不小于 100 μs 的时间间隔内持续下降到 10% U_0 。

阶跃电压的幅值 U_0 是指在稳定状态 t_s 至 t_e 期间电压的平均值。

对于可用集中电容 C_0 表示的试品,校准电容器 C_c 应满足 $C_0 \leq 200 \text{ pF}$, 且 $C_0 \leq 0.1 C_c$ 。

对于可用特性阻抗 Z_c 表示的试品,如长度超过 200 m 的电力电缆,校准电容器的电容值应满足 $C_0 \leq 1 \text{ nF}$, 且 $C_0 \times Z_c \leq 30 \text{ ns}$ 。



说明:

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| U_0 —— 阶跃电压幅值; | t_d —— 阶跃电压持续时间; |
| t_0 —— 阶跃电压起始时间; | $t_d - t_s$ —— 稳定状态持续时间; |
| t_r —— 阶跃电压上升时间; | ΔU —— 与 U_0 的绝对电压偏差。 |
| t_s —— 达到稳定状态的时间; | |

图 5 校准器的阶跃电压参数

对在本标准发布之前制造的校准器,其时间和电压不符合以上的规定值,应在试验协议中规定测量值与规定值之间的偏差。

对于上限频率高于 500 kHz 的宽带测量系统,应满足 $t_r < 0.03/f_2$ 的要求以便产生一个几乎恒定的幅值频谱,如图 6 所示。

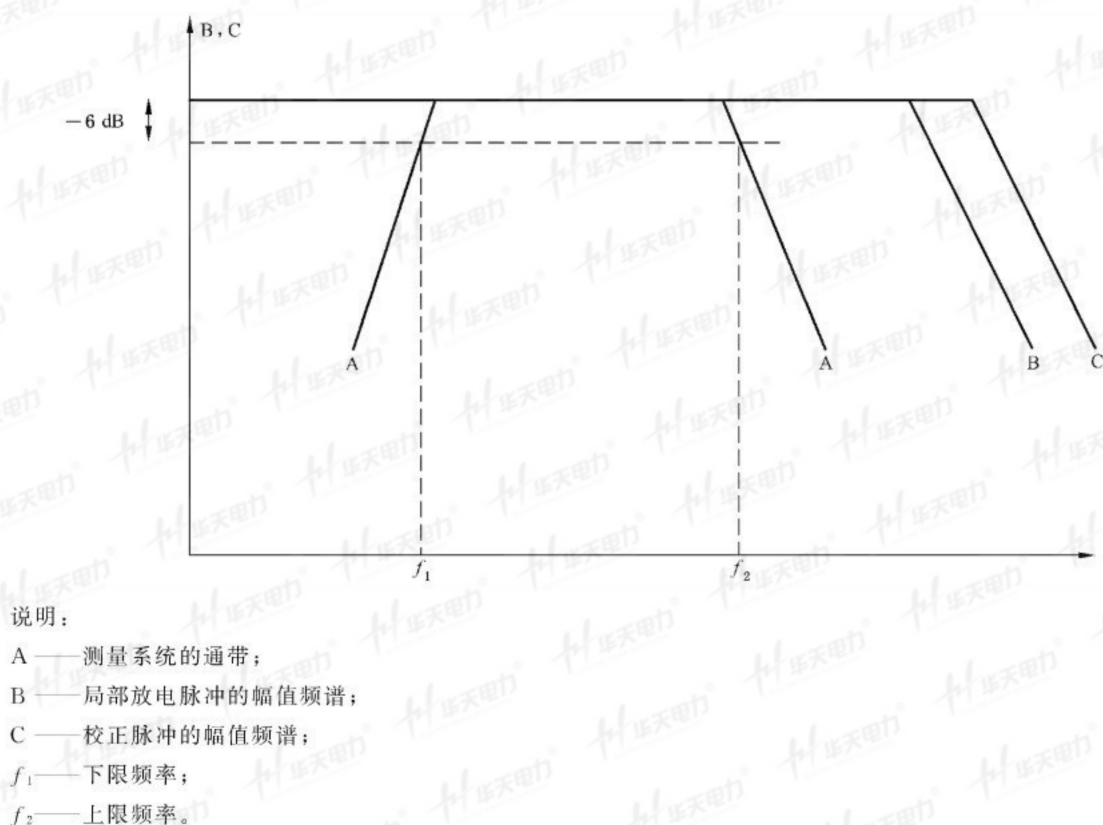


图6 宽带系统中为减小积分误差应具有幅频特性

校准脉冲既可以是具有快速上升时间(参考以上定义)和缓慢衰减时间的电压脉冲(单极性或双极性)序列,也可以是矩形脉冲链,并经校准电容器 C 。进行有效微分。对第一种情况,电压脉冲的衰减时间 t_d 应比测量系统的 $1/f_1$ 大;对第二种情况,电压 U 。在脉冲之间的时间间隔内的变化不宜超过5%。对于两种情况,脉冲之间的时间间隔均宜大于脉冲分辨时间。对于双极性系统,两种极性脉冲的幅值的差应在5%的范围内。

向具有分布电气元件的试品注入电流脉冲时,例如GIS, C 。可以由高压导体和与校准电压源相连的传感器电极之间的已知电容构成,见图4c)。

注:符合这些条款要求的校准器可用于测量视在电荷的系统的校准,同样也适用于测量导出参量的系统。

6.3.2 完整试验回路中测量系统校准用的校准器

校准器可以提供单极性和双极性脉冲。脉冲重复频率 N 既可以是固定的(例如试验电压频率的两倍),也可以是可变的(当脉冲之间的间隔超过脉冲分辨时间时)。用这类校准器对完整试验回路中的测量系统进行校准是为了确定局部放电测量系统的刻度因数。

注1:刻度因数一般在规定局部放电值的50%~200%的范围内的某一值下确定。

注2:可以间接对测量系统进行校准,其方法是向高压试验回路(通常在耦合装置的输入端)而不是在试品端子之间注入校准脉冲。此方法不能用作单独的校准,但如果和完整试验回路(见6.2)测量系统的校准一起使用,此技术可作为传递的基准以简化校准程序,使用的校准器宜符合本标准的要求。

6.3.3 测量系统性能试验的校准器

为了检验试验回路的其他性能和测量系统的特性,建议用精密的校准器装置,甚至更严密的校准程序。对于性能试验的校准器,建议考虑下列特性:

- a) 逐级或连续可调的电荷 q_0 , 以确定刻度因数的线性度。电荷量的变化通过改变每级电压来进行, 校准器的线性度宜优于 $\pm 5\%$ 或者 $\pm 1 \text{ pC}$, 取两者中大的一个。
- b) 两相邻同极性脉冲间可变的时延, 以单独检查测量系统的脉冲分辨时间 T_r 或整个试验线路的脉冲分辨时间。
- c) 校准器两输出端悬浮, 即自由电位输出。
- d) 对电池供电的校准器宜有电池状况指示器。
- e) 在视在电荷测量中, 用双极性脉冲检测相对于局部放电电流脉冲极性的变化。
- f) 用放电量和重复频率 N 相等、个数已知的一系列校准脉冲校核数字局部放电测量仪。

6.4 校准器和测量系统特性的确定

6.4.1 概述

性能试验和性能校核可以评价和保证测量系统的特性。

性能试验和性能校核还可以评价和保证校准器的特性。

一般, 校准局部放电参量校准器的制造厂会提供验证校准器而进行周期性校准的技术要求和导则。

不受制造厂技术要求的制约, 应按以下的程序进行。校核的结果应记录在性能记录里。有关校准器试验见表 2, 表中“√”表示需要进行该项试验。

表 2 要求的校准器试验

试验类型	试验方法的规定条款	试验分类			
		型式试验	例行试验	性能试验	性能校核试验
q_0 的测量	6.4.3.3	√	√	√	√
t_r 的测量	6.4.3.3	√	√	√	
N 的测量	6.4.3.3	√	√	√	

6.4.2 试验周期

测量系统和校准器的校准应作为验收试验进行。性能试验定期进行或大修后进行, 最少每 5 年进行 1 次。性能校核定期进行, 至少每年 1 次。

验收试验可包括型式试验和例行试验。此试验周期应符合 GB/T 16927.2—2013 的规定。

6.4.3 校准器特性的检定

6.4.3.1 校准器的型式试验

在一系列校准器中用一个校准器来进行型式试验。此型式试验应由校准器的制造厂来完成。如果制造厂没有型式试验结果, 用户应安排试验来检定此仪器。

型式试验应包括性能试验所要求的所有试验项目。

6.4.3.2 校准器的例行试验

应对一系列校准器逐个进行例行试验。例行试验应由校准器的制造厂来完成。如果制造厂没有例行试验结果, 用户应安排试验来检定此仪器。

例行试验应包括性能试验所要求的所有试验项目。

6.4.3.3 校准器的性能试验

校准器的性能直接影响局部放电测量的准确度。因此,校准器的第一次性能试验参数宜溯源到国家标准以便认可。

应进行以下性能试验:

- 校准器在所有标称量程下的实际电荷 q_0 的确定,其不确定度宜保持在其标称值的 $\pm 5\%$ 或 ± 1 pC 内,取两者中大的一个,这些 q_0 值是使用校准器时可能用到的电荷的实际值;
- 阶跃电压 U_0 的上升时间 t_r 的确定,其扩展不确定度为 10% ($k=2$);
- 用脉冲计数器确定脉冲重复频率 N ,其不确定度为 $\pm 1\%$ 。这一要求仅适用于脉冲重复率 n 的读数校准。

附录 B 描述了关于 q_0 和 t_r 试验的合适程序。如果试验证实其适用性,也可以使用其他程序。

所有试验结果应保存在由用户设立和保管的性能记录里。

6.4.3.4 校准器的性能校核

应进行以下性能校核:

校准器所有标称量程下电荷 q_0 的确定,其最大允许误差宜不超过其标称值的 $\pm 5\%$ 或 ± 1 pC 内,取两者中大的一个。

所有试验结果应保存在由用户设立和保管的性能记录里。

6.4.3.5 性能记录

校准器的性能记录应包括以下几个方面:

- 标称特性:
 - 标识(出厂编号、型号等);
 - 使用条件范围;
 - 参考条件范围;
 - 预热时间;
 - 电荷输出的范围;
 - 电源电压;
- 型式试验的结果;
- 例行试验的结果;
- 性能试验的结果;

每一次性能试验的日期和时间;
- 性能校核试验的结果:
 - 每一次性能校核的日期和时间;
 - 结果:通过或失败(如果失败,记录采取的措施)。

6.4.4 测量系统特性的确定

6.4.4.1 概述

一般,用于测量 3.3 中规定的各种参量的测量系统的制造厂应提供为验证测量仪器或系统特性而进行的周期性检定的技术要求和导则。

不受制造厂技术要求的制约,应按以下的程序进行检定。试验以及校核的结果应记录在性能记录里。有关测量系统试验见表 3,表中“√”表示需要进行该项试验。

6.4.4.2 测量系统的型式试验

在一系列局部放电测量系统中只对一个测量系统进行型式试验。此型式试验应由测量系统的制造厂来完成。如果制造厂没有型式试验结果,用户应安排试验来检定。

局部放电测量系统的型式试验至少应包括以下几项:

- 确定测量系统从通带峰值下降到 20 dB 时的上、下限频率 f_2 和 f_1 , 以及此频率范围内的传输阻抗 $Z(f)$, 输入量宜为可变频率的正弦电流信号。
- 在满量程的 10%~100% 范围内, 至少取 3 个不同电荷值, 且在每一量程范围内取低的脉冲重复率(约 100 次/s), 在这些校准脉冲下确定测量系统的刻度因数 k , k 的变化范围应在 $\pm 5\%$ 内, 以保证测量系统的线性度。
- 由施加电荷量不变, 而相邻脉冲的时间间隔逐渐减少的校准脉冲来确定测量系统的脉冲分辨时间 T_r 。应对与测量仪器相配的所有耦合装置及在每一耦合装置所用的最小和最大电容值下确定脉冲分辨时间。
- 交流电压试验中, 要验证视在电荷 q 的读数随校准脉冲的脉冲重复频率 N 的变化情况, 变化量应符合 5.2.3 规定的值。

表 3 测量系统试验

试验类型	试验方法的规定条款	试验分类			
		型式试验	例行试验	性能试验	性能校核试验
$Z(f)$ 的确定	6.4.4.2	√	√	√	√
单频下 $Z(f)$ 的确定	6.4.4.4				√
k 的确定	6.4.4.2	√			
T_r 的确定	6.4.4.2	√			
脉冲序列响应	5.2.3	√			
线性度	6.4.4.2	√			
线性度	6.4.4.3		√	√	

6.4.4.3 测量系统的例行试验

在一系列测量系统中, 例行试验应逐个进行。例行试验应由测量系统的制造厂来完成。如果制造厂没有例行试验结果, 用户应安排试验来检定。

例行试验应包括性能试验所要求的所有试验项目。

6.4.4.4 测量系统的性能试验

测量系统的性能试验包括:

- 确定测量系统从通带峰值下降到 20 dB 时的上、下限频率 f_2 和 f_1 , 以及此频率范围内的传输阻抗 $Z(f)$, 输入量宜为可变频率的正弦电流信号。
- 在测量系统的输入端施加一可变的局部放电校准信号来确定测量系统的线性度。刻度因数 k 的线性度宜在要测量的规定局部放电最低值的 50% 到最高值的 200% 范围内进行检定。为了保证测量系统的线性度, k 的变化应在 $\pm 5\%$ 以内。

试验结果应保存在已建立的性能记录中并由使用者保存。

6.4.4.5 测量系统的性能校核及附加能力的校核试验

测量系统需要在通带内某一频率下确定传输阻抗 $Z(f)$, 宜验证该值相对于以前进行的性能试验记录值的变化不大于 10%, 其输入量宜为可变频率的正弦电流信号。

试验结果应保存在已建立的性能记录中并由使用者保存。

模拟测量系统的规定条款应适用于数字测量系统, 但是由于数字测量系统具有记录与局部放电有关的多种参量的附加能力, 宜通过附加的试验定量验证这种能力。

由于数字局部放电仪的完整校准程序取决于完全不同的各种仪器的特定能力, 故规定了最少应进行的下列附加校准程序:

- a) 为了确定数字采集能正确记录输入脉冲而不受频率影响的范围, 校准器应具有在规定时间内产生已知脉冲数目(例如 104)且重复频率可调的脉冲的能力。校准器的重复频率应以合适的级数从低值(例如 100 Hz)增至较高值, 但是不要超过所用测量系统分辨时间的上限。对每一个脉冲重复频率, 在规定时间间隔中记录的脉冲个数应在所施加的已知校正脉冲数的 $\pm 2\%$ 之内。
- b) 为了确定数字采集能成功地捕获每一个局部放电活动的范围, 可采用重复频率不变但已知(例如 100 Hz)的校准器, 将所记录的脉冲数目与校准器在数字仪器所设计的最大记录时间内产生的校准脉冲数目进行比较。两个数目相比允许有 $\pm 2\%$ 的偏差。

更多的内容参见附录 F。

6.4.4.6 性能记录

测量系统的性能记录应包括的内容:

- a) 标称特性:
 - 1) 标识(出厂编号、型号等);
 - 2) 使用条件范围;
 - 3) 参考条件范围;
 - 4) 预热时间;
 - 5) 所测电荷量范围;
 - 6) 电源电压;
- b) 型式试验结果;
- c) 例行试验结果;
- d) 性能试验结果;
每次性能试验的日期和时间;
- e) 性能校核试验结果:
 - 1) 每次性能校核的日期和时间;
 - 2) 结果: 通过或失败(如果失败, 记录所采取的措施)。

6.5 测量不确定度及灵敏度

局部放电脉冲的幅值、持续时间及脉冲重复率在很大程度上受到电压施加时间的影响。同时, 与高压试验中的其他测量相比, 不同局部放电参量的测量具有较大的不确定度, 因此, 很难用重复试验来验证局部放电试验数据。在对局部放电验收试验作规定时宜考虑到这一点。

用满足本标准的规定并且按第 6 章进行校准的测量系统进行视在电荷 q 的测量时, 可认为测量允差为 $\pm 10\%$ 或 ± 1 pC, 取两者中较大的一个。

测量还会受外界干扰(第 7 章)或背景噪声的影响, 它们应足够低, 以使能对规定的局部放电量进行

足够灵敏及精确的测量。

一个特定试验中可以测得的最小局部放电量通常受到干扰的限制。然而通过附录 H 中描述的合适技术消除干扰以后,最小放电量常由测量仪器及系统本身的内部噪声水平及试验回路的布置、尺寸及参数值限制。

最小局部放电量与电容比值 C_0/C_k 、耦合装置的最佳输入阻抗,与所使用的仪器的匹配情况有关。当 $C_k > C_0$ 时可以达到最高灵敏度,但因为高压电源的附加负载使这种条件很难满足。这样, C_k 的标称值就受实际回路限制,通常 C_k 在 1 nF 或更高时可以获得可接受的灵敏度。

7 干扰

测量局部放电时会受到干扰,它应低到使局部放电量的测量具有足够的灵敏度和精准度。由于干扰可能与局部放电脉冲相似并且它们往往重叠,如果有关技术委员会没有其他规定,背景噪声水平宜低于规定允许局部放电幅值的 50%。高压设备的验收试验及型式试验时应记录背景噪声。

明确知道是由外部干扰引起的高的读数可以忽略。

如果局部放电信号与干扰同时出现或周波的某一部分被抑制,则用时间窗抑制信号、极性辨别或类似的方法会造成实际局部放电信号的遗漏。因此,在交流电压试验时,用抑制方法遮去的信号部分不宜超过电压周期的 2%;直流电压试验时不宜超过累积试验时间的 2%。然而,若每个周期内出现几个与电源同步的干扰源时,开窗抑制间隔可增加至试验电压周期的 10%,因此应在施加试验全电压之前提前设置信号抑制且试验中此设置不应变动。有关的技术委员会可决定信号控制的不同限制。

注:附近大型整流器或逆变器的操作可产生规则重复的干扰,这是由于整流器或逆变元件中电流跃变所导致的。

直流电压试验时,可能出现规律性重复的干扰,这些干扰与直流电压源中的整流元件电流换相有关。

关于干扰及其抑制的更多信息参见附录 H。

附 录 A

(资料性附录)

本标准与 IEC 60270:2000 相比的结构变化情况

本标准与 IEC 60270:2000 相比在结构上有较多调整,具体章条编号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本标准与 IEC 60270:2000 的章条编号对照情况

本标准章条编号	对应的 IEC 章条编号
前言	—
1	1
2	2
3	3
4.1	4.1 部分内容
4.2	4.2
4.3.1	8
4.3.2~4.3.4	8.1~8.3
4.3.4.2、4.3.4.2.1	8.3.1
4.3.4.2.2	11.3.1
4.3.4.3.1、4.3.4.3.2	8.3.2
5.1 的 1、2 段	4.1 部分内容
5.1 的 3、4 段	11.4
5.2~5.5	4.3~4.6
6.1、6.2	5
6.3	6
6.4	7
6.5	9
7	10、11.5.2 部分内容
附录 A	—
附录 B 部分内容	附录 A
附录 C	附录 B
附录 D	附录 C
附录 E	附录 D
附录 F	附录 E
附录 G	附录 F
附录 H	附录 G
附录 I	附录 H
参考文献	参考文献、F.5

附录 B

(规范性附录)

校准器的性能试验

B.1 总则

用第 6 章中所述的校准器来求取用于局部放电参量定量的测量系统的刻度因数 k 。由于校准器的特性可以随使用的时间而变化,宜对这些特性(上升时间 t_r ,所用电荷 q 值的准确度)进行定期校核,以及在修理后进行校核。以下是校核这种校准器的建议程序。

B.2 标准方法

校准器产生的电荷应与标准校准器产生的电荷进行比较,应用相同的测量系统对两种情况的电荷进行测量。标准校准器应溯源到国家标准。

注:所用的测量系统可以是满足本标准中的局部放电测量系统或是具有积分能力[参考图 B.1a)]的数字示波器或是电子积分仪器。

试验结果应由 10 次测量的平均值来确定。

B.3 数值积分法

如图 B.1a) 所示,被试校准器的输出端应跨接一个电阻 R_m ,电压 $U_m(t)$ 由已校正的具有带宽不小于 50 MHz 的数字示波器进行测量。 R_m 的值宜在 50 Ω ~200 Ω 内选择,校准器到 R_m 及示波器的连线要短,示波器的输入阻抗可能会影响 R_m 的值。试验回路,包括测量电阻 R_m ,应达到使规定积分时间内记录波形的振荡衰减到小于平均阶跃幅值的 2%。

试验结果应由 10 次测量的平均值来确定。

参考图 B.1a),校准器产生的电荷 q 见式(B.1):

$$q = \int i(t) dt = \frac{\int U_m(t) dt}{R_m} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$i(t)$ ——校准器产生的电流脉冲;

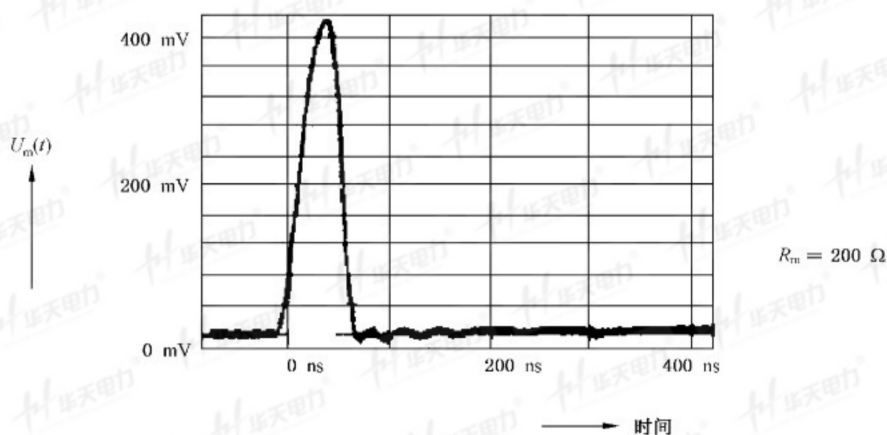
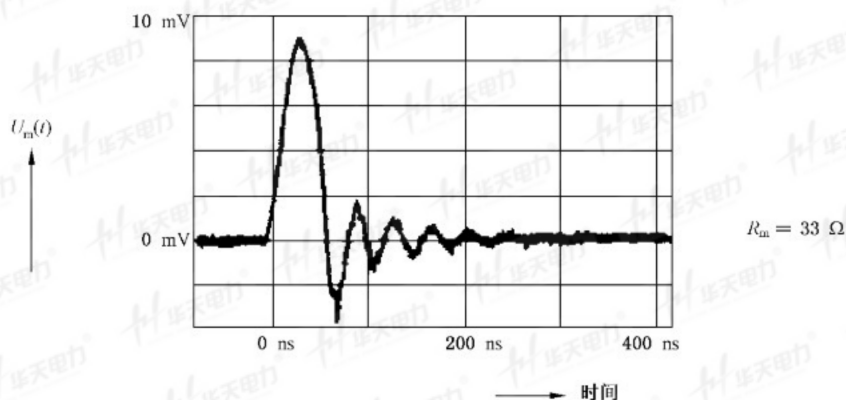
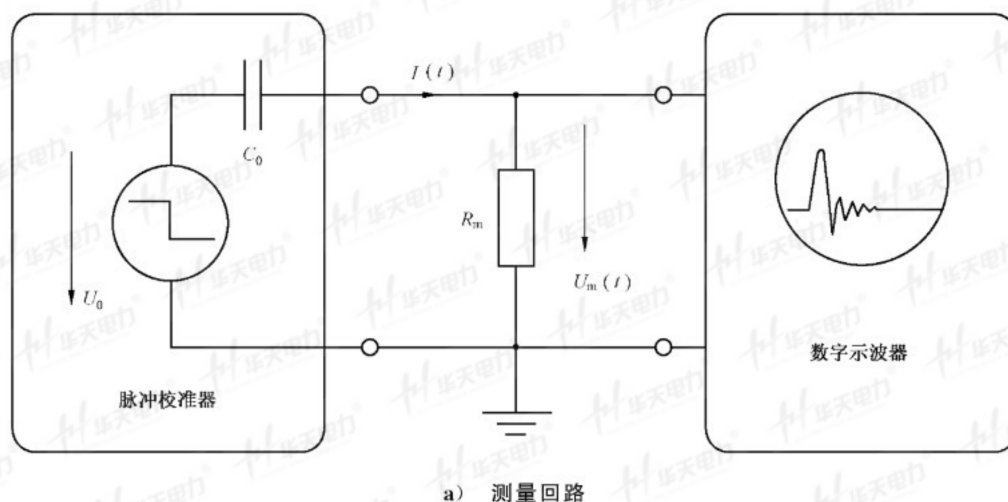
$U_m(t)$ ——示波器测得的电压脉冲。

因此,量化 q 时的准确度与积分方法精度有关,并与 R_m 值的准确度有关。

图 B.1b) 中,用 $C_0 = 141$ pF 以及 $R_m = 33$ Ω 和 $R_m = 200$ Ω 的校准器分别记录了两种典型的 $U_m(t)$ 。注意过低的 R_m 值会导致电压脉冲的振荡,同时会导致大的积分误差(故会使不确定度超出规定要求)。

如果 $R_m C_0 < t_r$,校准器的实际上升时间 t_r 与第一次(正)的电压摆动的持续时间大致相等,在低 R_m 以及在 $C_0 < 150$ pF 时,一般来说,上述不等式是经常满足的。

数字仪所有使用范围都应用如 B.2 中提到的合适的方法进行校核,验证其快速阶跃波响应没有严重的波形畸变。畸变响应会使通过数值积分计算的电荷具有较大的不确定度。



b) 负载分别为 $R_m = 33 \Omega$ 和 $R_m = 200 \Omega$ 的典型校准器的校准脉冲 $U_m(t)$ ($q = 100 \text{ pC}$)

图 B.1 脉冲校准器的校准

注：一般 $U_m(t)$ 的积分 $\int U_m(t) dt$ 由数字示波器内装的算法程序进行计算，由于这类积分方法的准确度可能不知道，建议用一幅值为 U_{ref} 的阶跃波电压源与一标准电容 C_{ref} 的串联代替被试校准器来校准数字示波器和用于计算 q 的方法。这样产生了与被试校准器的脉冲形状和电荷相同的电流脉冲 $i(t)$ 。于是有式(B.2)：

$$q_{\text{ref}} = U_{\text{ref}} \times C_{\text{ref}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

这一参考电荷的值 q_{ref} 为已知，其不确定度仅由 U_{ref} 和 C_{ref} 的不确定度给定， q_{ref} 可用于校核前述的程序。

如果通过校准器 C_0 的电流是由阶跃电压 U_0 引起的, U_0 通过并联一个阻性分流器 R_m 来测量(见图 B.2), 就可以确定 6.3.1 和图 5 规定的阶跃电压的电压和时间参数。例如, 该分流器可以是一个 $50\ \Omega$ 的馈电低电感终端。在这种情况下, 可以依靠出现在 R_m 上的电压信号 $U_t(t)$ 的时间数字积分来确定校准的电荷。需要注意应将残余电压调整到零以避免积分错误。

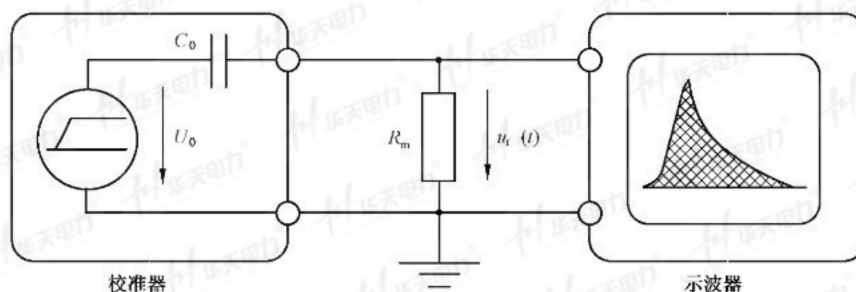


图 B.2 采用数字积分法对校准器进行性能试验的回路图

B.4 阶跃电压响应法

由校准器产生的电荷 q_0 也可以通过测量出现在如图 B.3 和参考文献[1]所示的回路中的测量用电容器 C_m 上的瞬态电压来确定。由于 C_0 和 C_m 串联从而组成一个分压器, 稳态条件下 C_m 两端出现的与时间的电压 $U_c(t)$ 的幅值 U_c 与校准器产生的阶跃电压幅值 U_0 直接成正比, 见式(B.3):

$$U_c = U_0 \times C_0 / (C_0 + C_m) \quad \text{..... (B.3)}$$

从校准器转移到测量电容器 C_m 的电荷 q_c 可以表示为式(B.4):

$$q_c = q_0 / (1 + C_0 / C_m) \quad \text{..... (B.4)}$$

在 $C_m \gg C_0$ 的条件下, 注入 C_m 的电荷 q_c 就约等于校准器产生的总电荷 q_0 , 见式(B.5):

$$q_0 \approx q_c \approx U_c \times C_m \quad \text{..... (B.5)}$$

为了确保测量不确定度小于 3%, 电容 C_m 的选择应不低于 10 nF, 包括连接电缆的电容和示波器的输入电容。在这种条件下, 校准电荷 $q_0 = 100\ \text{pC}$, 会产生一个阶跃电压幅值 $U_c \approx 10\ \text{mV}$, 可以在要求的不确定度下采用商用数字示波器来测量, 尤其是如果采用平均模式。为了确保规定的测量不确定度, 对于校准电荷 $q_0 < 100\ \text{pC}$, 为了保证示波器记录的信号幅值, 推荐对流经 C_0 的总电流采取有源积分。这方面的更多的信息, 参见参考文献[1]。

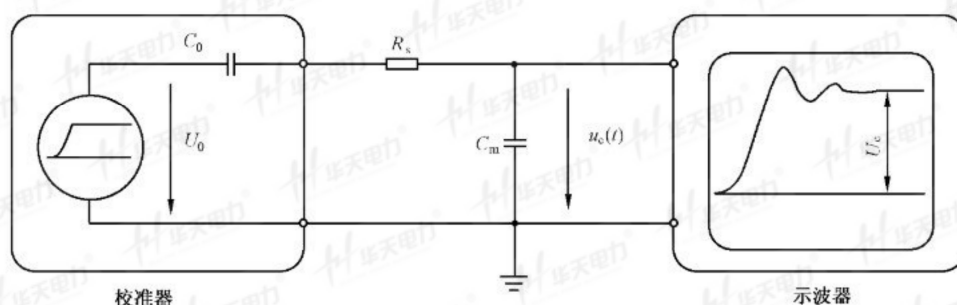
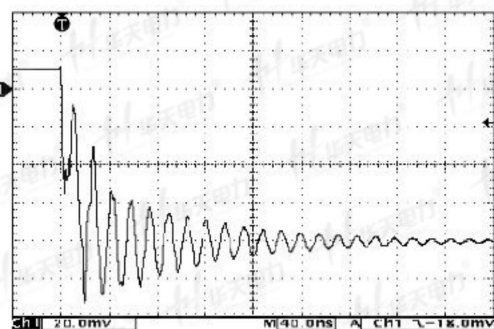
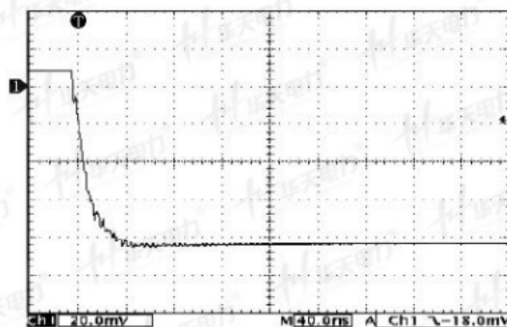


图 B.3 采用阶跃电压法对校准器进行性能试验的回路图

图 B.3 所示的回路也可以用来确定 6.1 和图 5 中所阐述的重要时间参数。由于串联的 C_0 和 C_m 组成一个分压器,稳态条件下,出现在 C_m 两端的与时间相关的电压 $U_0(t)$ 与校准器产生的与时间相关的电压直接成正比。对这种测量, C_m 也应选取为 10 nF 左右,推荐用于校准电荷的确定。而且, C_m 的连接应尽量靠近示波器的输入端,否则会引起叠加振荡,如图 B.4 所示。为了减弱这种干扰振荡,应在尽可能靠近校准器输出端的位置串连一个 100 Ω 的电阻 R_s 。而且校准器与示波器之间连接线的长度不宜超过 1 m。

a) $R_s = 10 \Omega$ b) $R_s = 100 \Omega$

电压: 20 mV/格, 时间: 40 ns/格

图 B.4 串联电阻 R_s 对采用图 B.3 所示回路的 C_m 上出现的阶跃电压响应的影响, 其中示波器通过一段长 1 m 和 50 Ω 测量电缆连接到校准器

B.5 阶跃电压上升时间的间接测量方法(上升时间的间接测量方法/波形质量的评价)

建立与图 B.1a) 类似的回路(见图 B.5), 即在校准器端口并联一个阻性分流器的负载 R_m 。通过对流经 R_m 上脉冲电流 $I(t)$ 波形参数(见图 B.6)的测量, 获知校准器内部阶跃电压 $U_0(t)$ 上升时间 t_r 的信息。理论上可知, 对于理想阶跃电压 $U_0(t)$, 当负载 R_m 趋于无限小时, 此时回路脉冲电流 $I(t)$ 的持续时间(t_d)便正好对应着被测的阶跃电压 $U_0(t)$ 从低电位到高电位的跳变过程。

对于小电荷量(如小于 500 pC), 当负载电阻 R_m 量值不大(如约为几欧姆至几十欧姆), 为特定值时, 由于此时校准器内电容 C_0 的容量有限 [$C_0 < 0.1 C_x$ (见 6.2), 如小于 1 000 pF], 回路时间常数对电流波形参数的影响有限, 则在如图 B.6 所示的脉冲电流 $I(t)$ 波形参数的底宽(t_b)与被测阶跃电压 $U_0(t)$ 的上升时间 t_r 之间存在一定的相应关系^{[2],[3]}。据此, 可通过对校准器外部流过负载 R_m 上脉冲电流 $I(t)$ 波形底宽(t_b)的测量, 来实现对校准器内部阶跃电压 U_0 上升时间 t_r 参数的控制。当阻性分流器的负载 R_m 为 50 Ω 时, 要求流过负载 R_m 上脉冲电流 $I(t)$ 波形底宽(t_b)的测量值不大于 120 ns。

另外, 当被测校准器内阶跃电压 $U_0(t)$ 的波形质量不高(具体要求见 6.3.1), 如有严重的振荡、毛刺或过冲时, 则在测得的负载 R_m 上电流脉冲的波形上也一定有反映。所以说对校准器内阶跃电压 $U_0(t)$ 的波形质量的控制, 也可以负载 R_m 上电流脉冲的波形为参考。

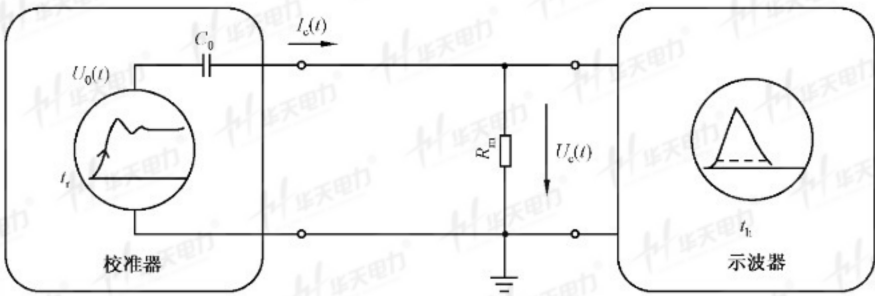
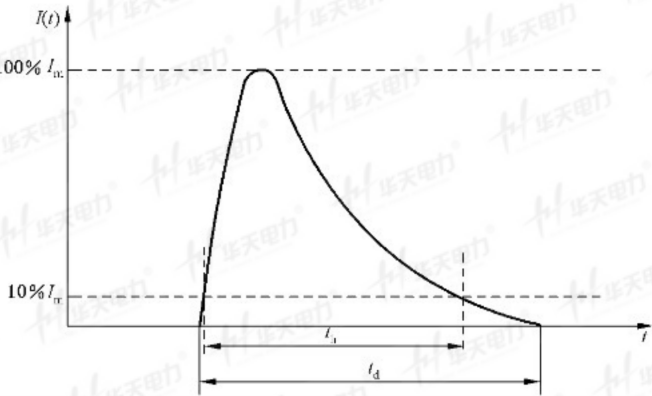


图 B.5 外接电阻方式对阶跃电压 U_0 上升时间 t_r 的间接测量



说明：

I_m —— 脉冲峰值，回路脉冲电流 $I(t)$ 幅值的最大值；

t_d —— 脉冲持续时间，回路脉冲电流 $I(t)$ 从开始到结束时所对应两时刻之间的时间间隔；

t_b —— 底宽，回路脉冲电流幅值达到 10% 脉冲峰值时所对应两个时刻之间的时间间隔。

图 B.6 回路脉冲电流波形及波形参数定义

附录 C

(资料性附录)

试验回路

除了对试品提供试验电压外,局部放电试验回路的主要任务是在规定的局部放电试验电压下提供检测试品局部放电的合理条件。当试验回路的组件相互适配时,局部放电电流脉冲的幅值和波形最有利于检测。

有 4 种基本回路,所有其他用于检测和测量局部放电的试验回路均可由它们导出。这些基本回路示于图 1a)~图 1d),简述如下。

注意,对于这些基本回路最小可测的局部放电值决定于 C_k/C_s (见 6.5) 的值,并且受到干扰的限制。

图 1 a) 回路中,耦合装置置于耦合电容接地端(见 4.2 的注)。这种接线适合只有一个接地端的试品,试品直接接在高压源和地之间。接在试品及高压源之间的滤波装置或阻抗用于衰减来自高压源的干扰。由于它可避免试品的局部放电电流脉冲旁通进入电源阻抗,所以可以提高测量灵敏度。

在图 1 b) 回路中,耦合装置置于试品的接地端。因而试品的低压侧要对地绝缘起来(见 4.2 的注)。

耦合装置应配有保护回路,同时保护回路应设计成能耐受试品损坏时的击穿电流。对具有低电容组件的试验回路,图 1 b) 可提供比图 1 a) 更高的灵敏度。

注:有时也采用没有集中型耦合电容的回路,它与图 1 b) 的线路相似,不过靠杂散电容起 C_k 的作用。这种接线适合于试品电容与对地杂散电容相比较小的情况。当取消滤波器,而试验变压器的端电容至少达到 C_s 的数量级时,这种接线也相当满意。

图 1c) 所示的接线为平衡回路,其中仪器连接在两个耦合装置之间。试品和耦合电容的低压侧均要对地绝缘(如 4.2 的注),两者的电容不必相等但最好是同一数量级,其介质损失因数特别是介损和频率的关系宜相同,此时效果最佳。回路通过 C_s 和 C_m 抑制共模电流而放大试品中局部放电电流,它具有抑制外部干扰的好处。在高压端和地之间耦合一个人为放电电源可对这种抑制进行调节。其后再调节平衡耦合装置的可变输入阻抗直到仪器读数最小。衰减比率可能从 3 (对于完全不同的试品) 到 1 000 甚至更高(对于相同而且屏蔽良好的试品)。

图 1d) 接线由所示的图 1a) 和图 1b) 两种基本回路组成,包括两个电容,其中一个为试品或两个均为试品,它们分别接到两套耦合装置。如图所示,每一个基本回路的低压侧均对地绝缘(见 4.2 的注)。两者的电容不必相等,但宜为同一数量级。其原理并非在于平衡回路,而是对两个耦合装置检出的脉冲信号的流向进行比较(检出的共模信号具有相同的极性,而检出的局部放电信号具有相反的极性)。门电路系统可用于识别来自试品的局部放电和回路其他部分的干扰。

从这些基本回路可以导出许多别的回路。图 2 表示的回路适合于电容套管试品,只是用套管电容代替了耦合电容 C_k 。如果套管有抽头,就将耦合装置接于其端子上,这时耦合装置的输入阻抗上跨接了一个相当大的电容 C_m ,它可能影响测量的灵敏度。

图 3 表示一种试验电压由试品感应产生的试验回路,例如电力变压器或电压互感器。原理上它等效于图 1a) 回路。

附录 D (资料性附录)

电缆、气体绝缘开关设备、电力电容器和带绕组试品的局部放电测量

D.1 总则

原则上,附录 C 中所说明的任何一种回路均可用于这些试品的局部放电测量,也就是用于具有分布电容及电感元件的试品。某些试品的试验电压可以是感应的,例如变压器就可以由低压绕组激励高压绕组(见图 3)。

具有分布参数的试品,其中存在行波和复杂的容性及感性耦合现象,对其局部放电测量的详细处理超出了本标准的范围。但下面几点很重要。

D.2 衰减和畸变现象

由于行波在绕组中或在 GIS 和电缆中的衰减和畸变,在试品端所记录的视在电荷的值有可能和局部放电发生点的值不同。通常,这种差别与测量系统的带通特性有关。通过在试品的远端以及耦合装置的连接端上分别注入校正脉冲,比较测量系统的响应幅值(如有可能包括波形)来估计其影响。

D.3 谐振现象、反射

在被试的大容量电力电容器、绕组、气体绝缘开关设备或电缆端子上记录到的量值可能因谐振现象或端部的反射而失真。如果所用的仪器具有窄带频率响应,这一点就特别重要。可以采用特殊的校准方法来考虑反射现象(如电缆中),例如双脉冲发生器,或采取特殊技术避免它们的有害作用。

注:大电力电容器的局部放电测量试验,仍很难达到要求的灵敏度。

D.4 放电定位

试品的局部放电可以用各种方法来定位。其中一些方法的原理是同时在试品的两个或多个端子上测量。也可采用附录 G 中讨论的非电方法。

附录 E

(资料性附录)

用无线电干扰仪检测局部放电

IEC/CISPR 及类似组织规定的仪器是可以通用的,基于对输入量的不同处理,这些仪器经常用在很大的频带范围内测量无线电干扰电压、电流及电场(见 GB/T 6113.101),但本标准中的“无线电干扰”仅适用于专门风热无线电扫高(干扰)测量装置。它适用于频带为 150 kHz~30 MHz(频带 B)的测量并且满足准峰值测量接收仪的要求。

这种无线电干扰仪对持续时间很短的电压脉冲的响应首先取决于严格规定的通带选择性,也就是由具有与中心频率 f_m 无关的带宽 Δf 的通带滤波器的特性决定的,影响该响应的因素还有:具有规定充电时间常数 τ_1 和放电时间常数 τ_2 的准峰值电路以及输出电压表。常规的输出电压表为动圈式、高阻尼并具有机械时间常数 τ_3 。较先进的仪器则可由复杂的电子电路给出等效读数。

由于是恒定和纯电阻性的输入阻抗,这种仪器的特点使它们主要对持续时间极短的输入电流脉冲的电荷产生响应,在测量中其幅频响应对于中心频率 f_m 是常数。由于这种仪器是准峰值测量电路,具有相同电荷而重复率不同的脉冲在仪器上产生的读数也不同。

对于持续时间极短及规则重复的输入电流脉冲,每一个电荷为 q ,仪器的读数 U_{RDV} 由式(E.1)给出:

$$U_{RDV} = \frac{q \times \Delta f \times Z_m \times f(N)}{k_i} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

Δf ——仪器带宽(6 dB 处);

N ——脉冲重复频率, N 不等于脉冲重复率 n ;

$f(N)$ —— N 的非线性函数(见图 E.1);

Z_m ——仪器的纯电阻测量输入阻抗的值,单位为欧姆(Ω);

k_i ——仪器的刻度因数($k_i = q/U_{RDV}$)。

无线电干扰仪如果设计成准峰值电压表,且规定为频带 B(0.15 MHz~30 MHz),则其 6 dB 的带宽 Δf 为 9 kHz,时间常数 $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms, $\tau_3 = 160$ ms。

将 $0.16 \mu V$ 的短促而恒定的脉冲以 N 为每秒 100 次的有规则的重复频率施加于仪器上,这种准峰值电压表给出的读数与输入为 $1\,000 \mu V$ (r.m. s.)的调谐频率下的正弦波的读数相同。图 E.1 表示这类仪器的读数随 N 的变化关系。定量地说,当 $Z_m = 60 \Omega$, $N = 100 s^{-1}$ 以及 $q \approx 3$ pC 时,这种仪器读数为 $1 \mu V$ 。

注:由于是准峰值响应测量,没有普遍适用的无线电干扰电压和视在电荷之间的转换因数。

如果用准峰值型的无线电干扰仪做局部放电测量,需要使用 5.2.2 中所规定的耦合装置。因此还需要按第 6 章用局部放电校准器在实际回路中进行校准和校核。建议作校准时,采用规则重复的脉冲 q_0 ,其重复频率大致等于试验电压频率的两倍。

这将使得可以用这种仪器在实际试验中,在每周波脉冲数较少的起始电压附近测得视在电荷的近似值。在这些条件下,视在电荷值大致等于 q_0 乘以试验时和校准时的仪器读数的比值。这一关系也适用于脉冲重复率的有限范围,其间读数随因数 $f(N)$ 的变化很小。

任何一次用无线电干扰仪进行测量,试验记录中都宜包括用微伏表示的读数和由它所求出的用皮库表示的等效视在电荷以及确定刻度因数有关的情况。

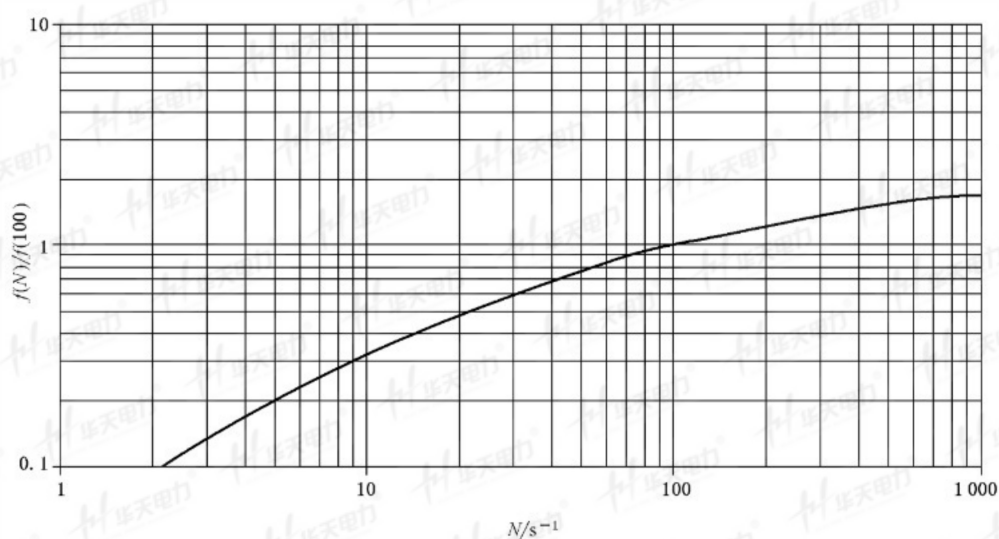


图 E.1 对恒定脉冲 CISPR 无线电干扰仪读数 $f(N)$ 随重复频率 N 的变化

附录 F

(资料性附录)

局部放电测量仪器

F.1 总则

对于借助于由耦合装置与测量阻抗组合的耦合装置来处理从试品端子捕捉的局部放电信号,均可采用模拟的或数字局部放电信号处理方法。模拟的和数字局部放电仪器的主要单元分别在图 F.2 和 F.3 中给出。

另外,对局部放电脉冲序列,由试验电压产生的交流信号宜数字化,以便能显示局部放电信号与相位关系的模式,如图 F.4 所示。

局部放电测量中应用数字技术的主要目的是记录至少用视在电荷 q_i 定量的局部放电脉冲以及 t_i 时刻试验电压 u_i 的瞬时值,或对交流电压,在试验电压周波内的相位角 φ_i 。但硬件和软件的质量决定了测量这些参考量时的分辨率和准确度,本附录对适当的捕获和记录依次发生的放电作了一般的提示说明。

主要目的总结为两方面:

- 记录、存储及估算局部放电脉冲的至少一个或多个相关量;
- 记录的数据进行处理后可以计算及显示出其他参量及其关系(例如,在时间窗口中或在一段时间中局部放电活动的统计数据,采用数字技术降低干扰水平。用绘图方法表示结果,用来深入分析试品绝缘质量的参数的计算等)。

注:数字测量系统通常配备计算机以便存储并计算局部放电脉冲相关量。

本标准不讨论上述 b) 项目的。

就局部放电脉冲参量的时间特性分析而言可以采用记录数据的压缩。因此,可以使用不同的数据压缩方法。然而,数字采集系统的厂商宜指出数据压缩的原则。

F.2 模拟视在电荷信号处理方法

数字局部放电仪的主要特征是能处理模拟视在电荷测量仪的各个响应信号,通常假定此响应信号的峰值是正比于各个局部放电电流脉冲的电荷 q_i 的。对于模拟测量仪器,这一峰值是由示波器或峰值电压表显示的,数字仪器应以满意的准确度对各个峰值 q_i (若可能包括极性)、时间 t_i 或相角 φ_i 进行量化并储存。由于响应信号的波形主要取决于测量系统特性并与各个局部放电电流脉冲的波形相关,处理过程要与响应信号波形相适应,使得它能辨别(正或负)峰值,此峰值假定是与各个局部放电电荷 q_i 成正比的。

为了阐明这一问题,图 F.1 中给出两个连续发生的局部放电的三种输出电压信号。图 F.1a) 和图 F.1b) 表示典型的宽带测量系统的输出信号,系统的频率特性用数字标出。图 F.1c) 表示 $\Delta f \approx 10 \text{ kHz}$ 、 $f_m \approx 75 \text{ kHz}$ 的简单窄带测量系统的典型的输出信号,响应信号与基准电平大致对称。虽然,所有三种响应都没有明显受到重叠误差的影响,也就是说分辨时间 T_r 完全能够满足所有仪器,然而正确测定第一峰值的量及其极性则很困难。由于存在几个不同极性信号的峰值,对于宽带系统,通常用第一个峰值确定局部放电电流脉冲的极性和 q 。对于图 F.1c) 的窄带响应,其极性信息通常不确定,最好用响应的最大值来表示 q 。但是,对两种系统都只能记录并定量一个峰值(或 q_i)作为在测量系统脉冲分辨率时间 T_r 内的视在电荷值。

图 F.1a) 和图 F.1b) 表明了宽带测量系统有时遇到的一个难题:局部放电输入电流脉冲的持续时间和波形受到放电机理和试品结构的影响,此时可能导致响应信号的第二峰值大于第一峰值,因此,极性辨别以及第一峰值的正确捕获较为困难,并且不同厂商的局部放电仪的响应由其设计而定。局部放电仪的厂商宜提供其量化及记录其正确幅值和极性的方法。厂商还应阐述其在特殊试验程序中的功能。

F.3 关于记录局部放电脉冲发生时的试验电压、相角 φ_i 和时间 t_i 的推荐

为了辨别工频试验电压 $u(t)$ 的波形,至少在记录 q_i 的时间阶段中,数字仪器宜对试验电压进行量化并采样。但建议对所有工频周期作连续量化。

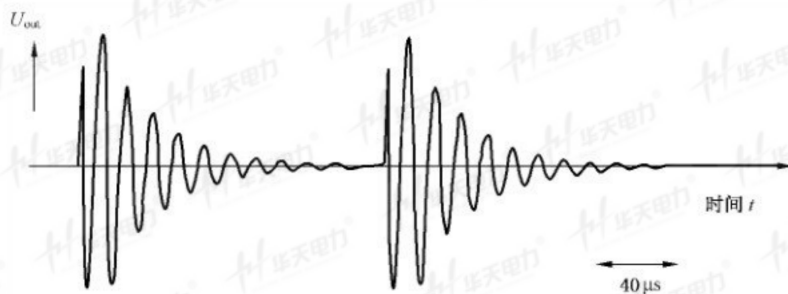
由于交流电压系统的相角 φ_i 或时间瞬时 t_i 要以试验电压 $u(t)$ 正过零时刻为参考来量化,所以测量系统显示试验电压真实的相角是非常必要的。



a) 带宽 $\Delta f = 45 \text{ kHz} \sim 440 \text{ kHz}$, 短时输入脉冲



b) 带宽 $\Delta f = 45 \text{ kHz} \sim 440 \text{ kHz}$, 长时输入脉冲



c) 带宽 $\Delta f = 10 \text{ kHz}$, $f_m = 10 \text{ kHz}$ 局放视在电荷(双脉冲)测量系统的输出电压信号 U_{out}

图 F.1 两种不同的局放视在电荷(双脉冲)测量系统的输出电压信号 U_{out}

如果数字局部放电仪读出的试验电压瞬时值与标准测量系统读出的试验电压瞬时值的偏差小于峰值的 5%，则认为数字仪能够记录试验电压的相角。应使用两套电压测量系统的正确刻度因数，标准测量系统应包括连接于分压器低压臂的适合的测量仪器，其中分压器应满足 GB/T 16927.2—2013 的要求。标准测量系统相角误差宜小于 5° 。

量化试验电压，最少需要 8 位分辨率，量化采样率应至少达到工频试验电压 100 次/周期、直流试验电压 4 000 次/s。因为需要周期性采样，故可用插值法决定两次采样之间特定时刻 t_i 时的试验电压值 u_i 。

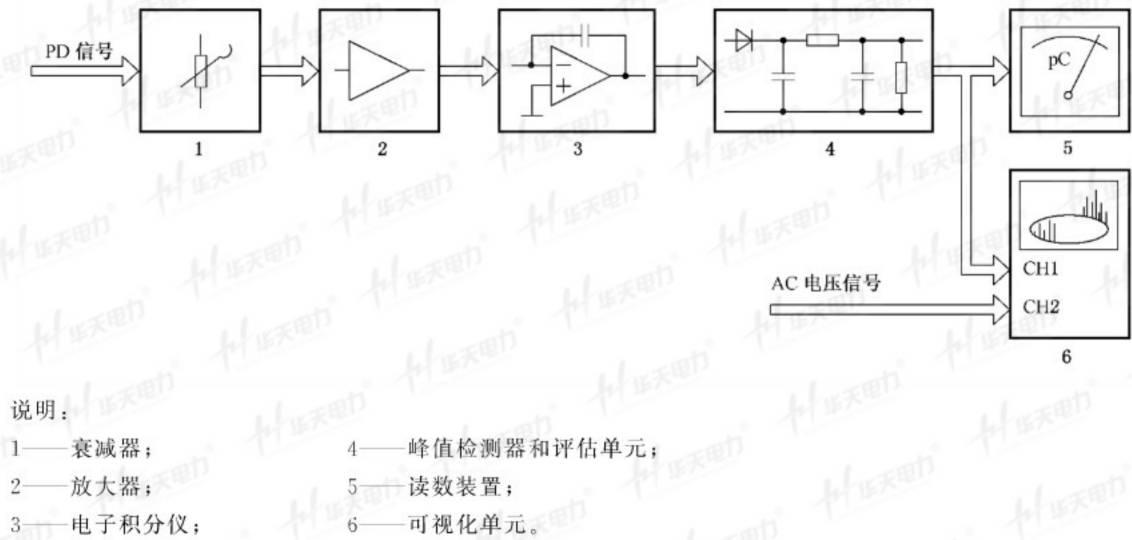
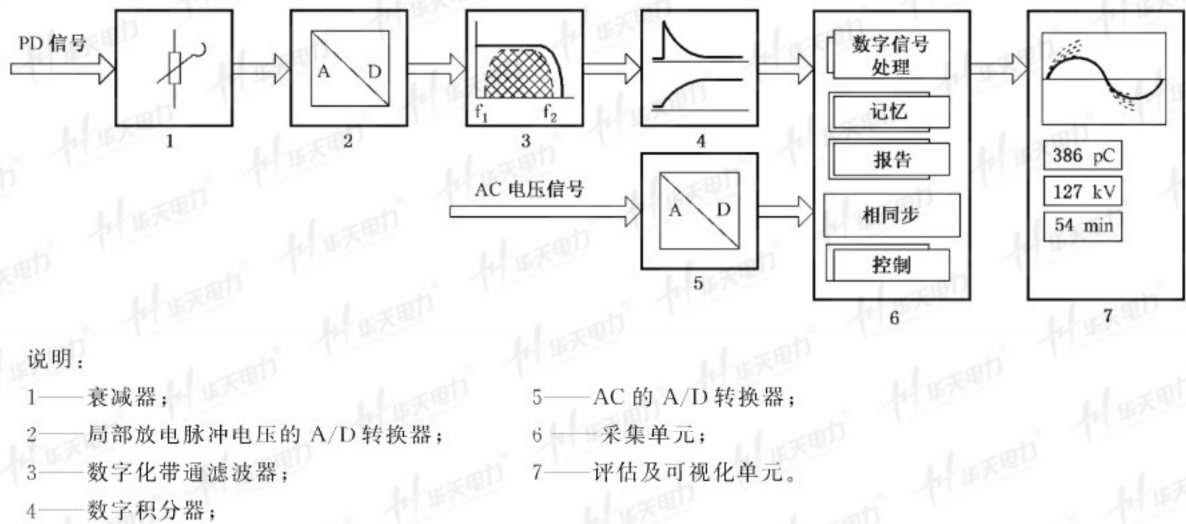
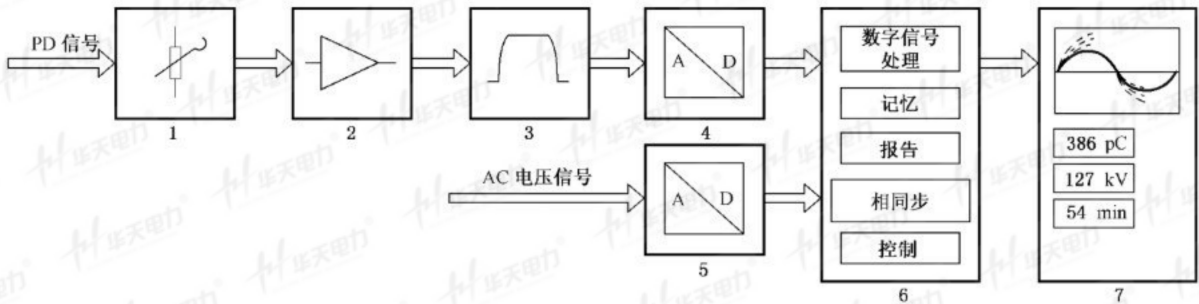


图 F.2 配有电子积分器的模拟局部放电仪的框图



a) 输入局部放电脉冲的直接 A/D 转换

图 F.3 数字局部放电仪的框图

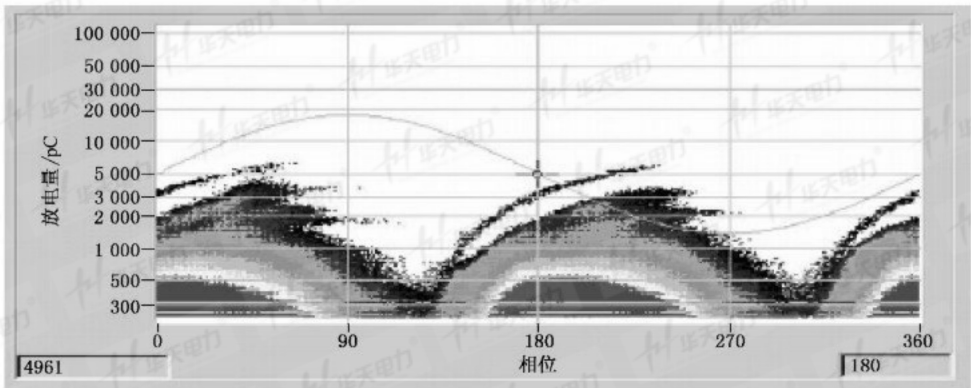


说明：

- 1——衰减器；
- 2——放大器；
- 3——带通滤波器；
- 4——视在电荷脉冲的 A/D 转换器；
- 5——AC 电压信号的 A/D 转换器；
- 6——采集单元；
- 7——评估及可视化单元。

b) 采用带通滤波器完成输入局部放电脉冲积分后的直接 A/D 转换

图 F.3(续)



注：在试验电压负半周期期间出现的局部放电脉冲已经反转，看起来像正脉冲。由于局部放电幅值的巨大分散性，已经采用了対数显示模式。

图 F.4 相位局部放电模式示例

附 录 G

(资料性附录)

局部放电的非电气测量法

G.1 总则

局部放电非电检测法包括声学、光学及化学的方法,并且还包括实际可行的对试品放电效应的持续观测。

这些方法一般不适用于局部放电的定量测量,主要用于局部放电的检测或定位。

G.2 声学检测

在低噪声水平的室内作声学检测可以作为检测局部放电的一种方法。

通常,可用麦克风或其他声音传感器经放大器和合适的显示单元对声音进行直观检测,这种方法特别适用于放电的定位。对超过可听频率范围有高灵敏度并具有方向选择性的麦克风对空气中的电晕进行定位非常有用。声学传感器也可用于气体绝缘开关设备或油浸设备例如对变压器的放电定位,传感器可放在箱壳外面,也可以放在箱壳里面。

G.3 紫外成像检测

紫外成像检测是在暗室中且眼睛对黑暗已经适应时进行,必要时可借助于大孔径的双筒望远镜。也可以用照相机记录,但通常需要有足够长的曝光时间。有时,特殊情况下也采用光放大器或图像增强器。

G.4 化学分析

有的情况下,分析溶于油中或气体中的气体分解物,可检测油绝缘或气体绝缘电器设备中局部放电的存在。经过长期运行,这些分解物会积聚,因此,也可用化学分析方法来估算因局部放电引起的绝缘劣化情况。

附录 H (资料性附录) 干扰

H.1 干扰源

局放量值的定量测量常因干扰引起的不准确,干扰可以分为两大类:

- 试验回路不带电时仍存在的干扰。这种干扰可能由其他回路的开关操作、换向电机、邻近的高压试验、无线电发送以及测量系统本身所固有的噪声等引起。高压电源已合闸但尚处于零电压时也可能存在干扰。
- 只有当回路通电才产生的,但非试品所产生的干扰。这种干扰常随电压升高而增加。这种干扰可能包括试验变压器、高压引线、套管(如果它不是试品的一部分时)中的局放等,也包括附近接地不良物体的火花放电或由高压回路中的连接不良,例如由屏蔽罩与只作试验用的连接导线之间的火花放电。试验电压的高次谐波处于或接近测量系统的频带时也会引起干扰。由于固态开关装置(可控硅等)的存在,高次谐波经常出现于低压源,并且与火花触点噪声一起,通过试验变压器或通过其他连接传递到试验及测量回路。电晕放电产生于试验回路处于高电位的导电部分,例如试品的法兰、金属盖帽、试验变压器、耦合电容器端子及高压引线等尖端部分。试验回路中由于各连接处接触不良也会产生接触放电干扰。这两种干扰的特性是随试验电压的升高而增大。

H.2 干扰的检测

当试验回路不带电,或当高压电源接入试验回路,但处于零电压时由仪器的读数可检测出与电压无关的干扰源。仪器的读数即为这种干扰的量度。

与试验电压有关的干扰源用下述方法进行检测:将试品移开或用在试验电压下无明显局放的等值电容器来代替试品。回路宜按第6章中的程序重新校准。然后回路带电且加到试验满电压。

如果干扰电平超过规定的试品最大允许局放值的50%,则宜采取措施降低干扰。从测得的局放值中减去干扰电平是不对的。可采用下述的一种或几种方法来降低干扰。采用示波器作为指示仪器以及对数字化采集局放量的分析有助于观察者区分试品中的局放和外部干扰,例如背景噪声。有时,可能确定干扰的类型。

其他电的或非电的检测方法(参见附录G)常用于高压导线的电晕定位或试区其他部位放电定位,这些方法也可独立地对局放是否产生于试品中给出判断。

H.3 干扰的抑制

H.3.1 屏蔽和滤波

将所有靠近试验回路的导电性构件适当接地,这些构件不宜带有尖状突出物,以及对试验回路和测量回路的电源进行滤波可以达到抑制干扰的效果。在被试变压器施加电压的入口设置高压阻波器,其阻塞频率与局放测量系统的频带范围相匹配,可抑制试验电源系统的传递干扰。选用具有内部屏蔽式结构的中间试验变压器,阻隔干扰信号的耦合。

消除电磁辐射干扰的根本对策是将试品置于屏蔽良好的试验室,在屏蔽室内进行试验可使干扰明显降低,此时,所有进屏蔽室的电气连接经过滤波器以达到抑制干扰的目的。尽量缩短局放检测阻抗信号传输线的长度,检测阻抗应就近接地,减小空间干扰对检测阻抗的影响。

H.3.2 平衡回路

图 1c)中所示平衡回路可降低上述的干扰,且通常使观察者能够区分试品中的放电和试验回路其他部分的放电。

H.3.3 电子处理和信号的还原

一般来说,特别是在工厂条件下,灵敏度因存在干扰而受到限制,可以使用电子电路将真正的局放信号和干扰分开。这些电子方法用起来需特别仔细,并且这些方法不能遮去有效的局放信号。其中的一些方法叙述如下。

H.3.3.1 时间开窗法

仪器可以带有一个门开关,它在预定时间可以断开及闭合以便让信号通过或将其阻塞。如果干扰发生在有规律的时间间隔中,在这些间隔时间内可以让门关闭。在用交流电压作试验时,真实放电信号通常仅有规则地重复发生在试验电压各周波的某一时间间隔中,时间窗可以采用相位锁定且让门只在这一时间内打开。

H.3.3.2 极性鉴别法

对两耦合装置的输出端的脉冲极性进行比较可以区分试品所产生的局放信号和来自试验回路以外的干扰,见图 1d)。用一个逻辑系统进行比较并由它控制上述仪器的门,使它在脉冲极性正确时打开。最后仅记录试品所产生的脉冲。然而,在由 C_s 及 C_k 形成的回路中电磁感应引起的干扰很难与局放信号区别出来,除非采用别的方法。

H.3.3.3 脉冲平均

在工业环境中,许多干扰都是随机的,而真正的放电几乎重复发生在施加电压每一周波的相同相位上,因此可以用信号平均技术将随机发生干扰的相对电平大大降低。

H.3.3.4 选频

尽量减小试验回路的尺寸,并合理选择局放测量仪的频带。无线电广播被限定在一些离散的频带中,但如果发射频率落在宽带局放仪器的敏感频带内,则局放检测仍将受到影响。可用调谐于干扰频率的带阻滤波器来降低仪器的放大增益以减小这种干扰。另外一种方法是采用窄带仪器,在其调谐的频率范围内干扰水平可以忽略。

H.3.4 单点接地

当试验回路接地方式不当,例如两点及以上接地的接地网系统中会对测量回路产生干扰,这种干扰一般与试验电压高低无关。整个试验回路采用一点接地,可降低各种高频信号会经接地线耦合到试验回路产生的干扰。采用带有绝缘护套的接地线、放射性连接、缩短接地线长度等措施,可抑制来自接地回路的干扰。

H.4 干扰水平

无法给出干扰的肯定值,但是,作为一般的原则,在没有屏蔽的工业试验室有可能碰到相当于几百

pC 的视在电荷量的干扰,特别是在试验回路的结构尺寸很大的情况下。采用本附录中所述的技术可以明显地降低这种干扰。

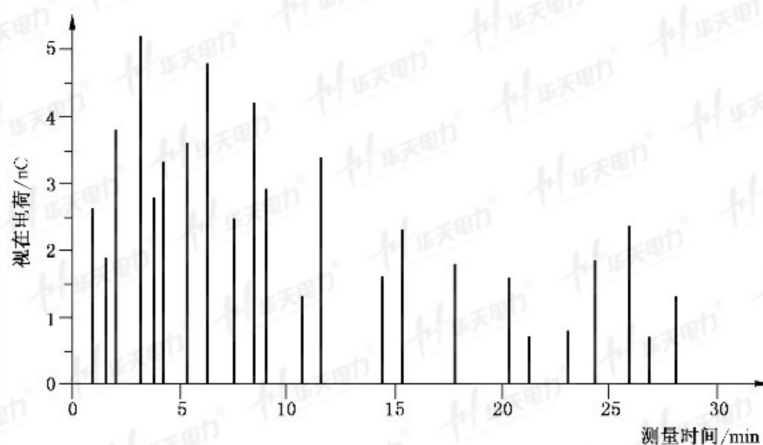
在有效使用本附录中介绍的降低干扰方法的屏蔽实验室中,并且充分消除来自电源及其他电气系统的干扰,最终的测量仅受到测量系统自身或因屏蔽、接地或滤波的微小缺陷的限制,通常可使视在电荷 q 的测量限值达到约 1 pC。

附录 I (资料性附录)

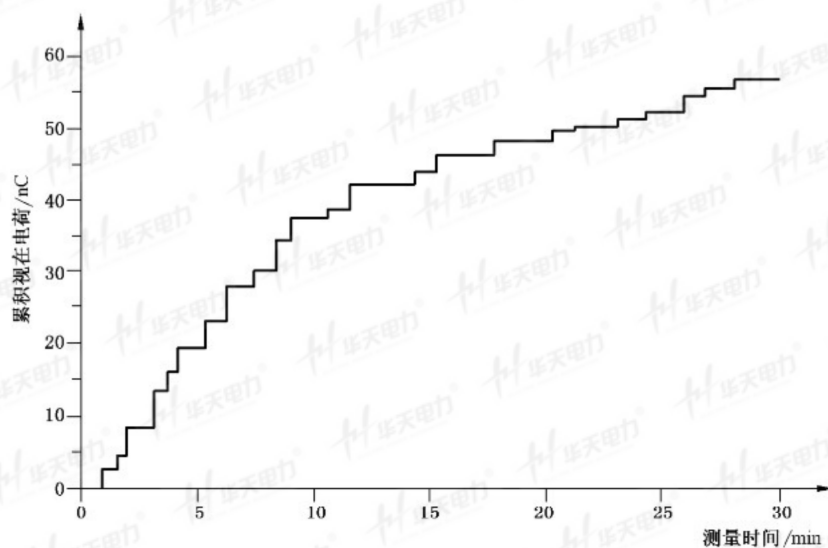
直流电压试验期间局部放电试验结果的评估

局部放电试验结果的评估应在恒定试验电压水平下,对记录到的每个局部放电脉冲的视在电荷 q 与时间的关系来进行,如图 I.1a) 所示。确定连续局部放电脉冲之间的时间间隔是非常重要的,推荐的分辨时间为 2 ms。

基于图 I.1a) 所示的图,每个脉冲的累积视在电荷比测量时间在图 I.1b) 中给出。



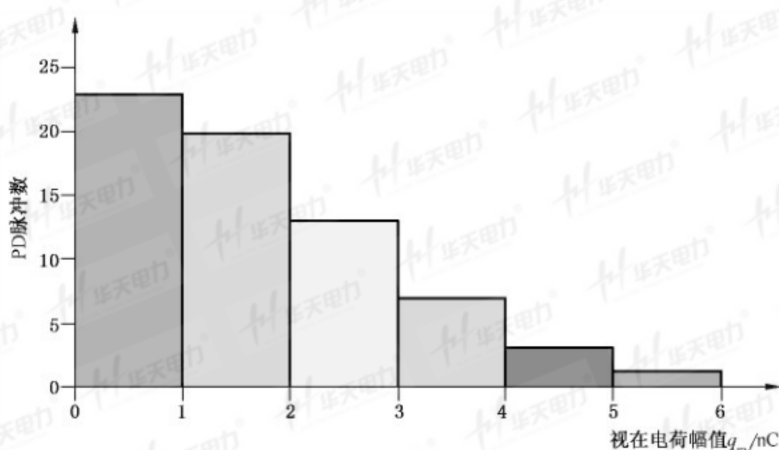
a) 单个局部放电脉冲的视在电荷



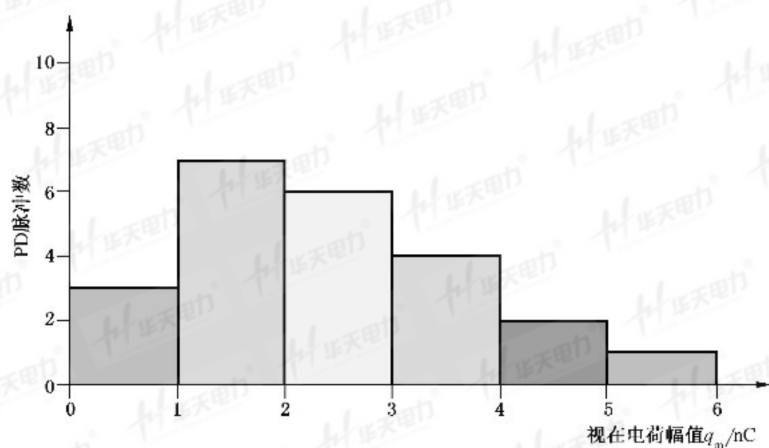
b) 累积视在电荷

图 I.1 视在脉冲随测量时间的显示模式

如果能显示测量时间期间的局部放电脉冲数 m 与超过规定阈值水平的视在电荷幅值的关系,还可以获得关于局部放电特性的附加信息,如图 I.2 a) 所示。该图是由图 I.1 a) 所示的局部放电脉冲序列推导出来的。而且,展示在视在电荷幅值规定限值内出现的脉冲数 m 有助于评估直流电压试验时局部放电活动规律。



a) 超出以下视在电荷幅值 q_m 限值的局部放电脉冲数 m : 0 nC、1 nC、2 nC、3 nC、4 nC、5 nC



b) 在以下视在电荷 q_m 范围内出现的局部放电脉冲数 m :
0 nC~1 nC、1 nC~2 nC、2 nC~3 nC、3 nC~4 nC、4 nC~5 nC

图 I.2 局部放电脉冲数 m 与视在电荷范围的柱状图

参 考 文 献

- [1] CIGRE WG D1.33 “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366, *Electra*, vol. 60, no. 241, Dec. 2008.
 - [2] IEC 60567:1992 Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases
 - [3] IEC 60599:1999 Mineral oil-impregnated electrical equipment in service—Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis
 - [4] IEC 61181:1993 Impregnated insulating materials—Application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment
 - [5] IEC 62478: 2016 High voltage test techniques—Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods
-