

ICS 19.020

F 24

备案号: 18552-2006

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 417—2006

代替 DL 417—1991

电力设备局部放电现场测量导则

Guide for partial discharge measuring of power equipment

杭州高电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2006-09-14 发布

2007-03-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

| | |
|---------------------------|------|
| 前言 | · II |
| 1 范围 | · 1 |
| 2 规范性引用文件 | · 1 |
| 3 术语和定义 | · 1 |
| 4 试验回路和测量仪器 | · 2 |
| 5 视在放电量的校准 | · 3 |
| 6 电力设备的局部放电试验 | · 5 |
| 7 局部放电测量时的干扰的抑制 | · 10 |
| 8 有关电力设备局部放电量的允许水平 | · 14 |
| 附录 A (资料性附录) 局部放电的波形和识别图谱 | · 16 |

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2006 年行业标准项目计划的通知》(发改办工业[2006] 1093 号)的安排,对 DL 417—1991 的修订。

局部放电试验是一项技术及设备配置都要求较高的试验项目,在现场测量有一定的技术难度,原导则自 1991 年发布后,DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》等相关标准相继出台,并对有关内容作了很大的修改,同时,试验设备和仪器以及相应的试验技术水平也有了很大提高。本次修订即为适应现行标准的要求,满足当前现场局部放电试验工作要求进行的修改。

修订后与原版本比较主要有以下变化:

- 根据国家标准对变压器局部放电加压程序进行了修订;
- 将局部放电测量时的干扰的抑制和干扰种类合并为局部放电测量时的干扰的抑制;
- 增加了平衡调试及方法校正;
- 增加了计算机辅助数字测量分析;
- 相关规范的适应性修改。

本标准实施后代替 DL 417—1991。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高电压试验技术标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准起草单位:四川电力试验研究院。

本标准主要起草人:李建明、胡灿。

本标准于 1991 年 12 月首次发布;本次为第一次修订。

电力设备局部放电现场测量导则

1 范围

本标准给出了电气法局部放电试验的测量方法、测量仪器、校准方法、有关通用的试验程序、识别试品内部放电和外界干扰脉冲的图谱与说明。

本标准适用于在变电所现场或试验室条件下，利用交流电压下的脉冲电流法测量变压器、互感器、套管、耦合电容器等电容型绝缘结构设备的局部放电。其测定的物理量为：

- a) 测定电力设备在某一规定电压下的局部放电量；
- b) 测定电力设备局部放电的起始电压和熄灭电压。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 1094.3—2003 电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙（IEC 60076-3:2000, mod）

GB 1207—1997 电压互感器（IEC 60186:1987, eqv）

GB 1208—1997 电流互感器（IEC 60185:1987, eqv）

GB/T 4109—1999 高压套管技术条件（IEC 60137:1995, eqv）

GB/T 7354—2003 局部放电测量（IEC 60270:2000, idt）

DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规范

JB/T 8169—1999 耦合电容器及电容分压器

JB/T 56011—1999 油浸式电力变压器 产品质量分等

JB/T 56204—1999 高压套管 产品质量分等

JB/T 56211—1999 耦合电容器及电容分压器 产品质量分等

3 术语和定义

3.1

局部放电 **partial discharge**

指设备绝缘系统中部分被击穿的电气放电，这种放电可以发生在导体（电极）附近，也可发生在其他位置。

注：导体（电极）周围气体中的局部放电有时称为“电晕”，这一名词不适用于其他形式的局部放电。“游离”是指原子与分子等形式的电离，通常不应把“游离”这一广义性名词用来表示局部放电。

3.2

视在放电量 **q quantity of apparent discharge**

指在试品两端注入一定电荷量，使试品端电压的变化量和局部放电时端电压变化量相同。此时注入的电荷量即称为局部放电的视在放电量，以皮库（pC）表示。

注：实际上，视在放电量与试品实际点的放电量并不相等，后者不能直接测得。试品放电引起的电流脉冲在测量阻抗端子上所产生的电压波形可能不同于注入脉冲引起的波形，但通常可以认为这两个量在测量仪器上读到的响

应值相等。

3.3

局部放电起始电压 U_1 partial discharge inception voltage

指试验电压从不产生局部放电的较低电压逐渐增加时，在试验中局部放电量超过某一规定值时的最低电压值。

3.4

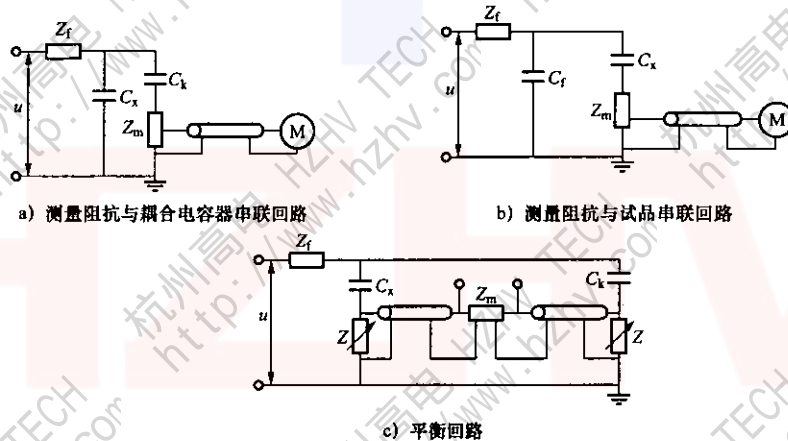
局部放电熄灭电压 U_e partial discharge extinction voltage

指试验电压从超过局部放电起始电压的较高值逐渐下降时，在试验中局部放电量小于某一规定值时的最高电压值。

4 试验回路和测量仪器

4.1 试验回路

测量局部放电的基本回路有三种，如图1所示，其中图1 a)、图1 b)可统称为直接法测量回路，分别为测量阻抗与耦合电容器串联回路、测量阻抗与试品串联回路；c)称为平衡法测量回路。



Z_f —高压滤波器； C_x —试品等效电容； C_k —耦合电容； Z_m —测量阻抗； Z —调平衡元件； M —测量仪器

图1 局部放电测量的基本回路

4.1.1 第一种回路主要包括：

- 试品等效电容 C_x 。
- 耦合电容 C_k 。 C_k 在试验电压下不应有明显的局部放电。
- 测量阻抗 Z_m 。测量阻抗是一个四端网络的元件，它可以是电阻 R 或电感 L 的单一元件，也可以是电阻电容并联或电阻电感并联的 RC 和 RL 电路，也可以由电阻、电感、电容组成 RLC 调谐回路。调谐回路的频率特性应与测量仪器的工作频率相匹配。测量阻抗应具有阻止试验电源频率进入仪器的频率响应。连接测量阻抗和测量仪器中的放大单元的连线，通常为单屏蔽同轴电缆。
- 根据试验时干扰情况，试验回路接有一低通滤波器 Z_f ，以降低来自电源的干扰，也能适当提高测量回路的最小可测量水平。
- 测量仪器 M 。

4.1.2 三种试验回路一般可按下面基本原则选择：

- 试验电压下，试品的工频电容电流超出测量阻抗 Z_m 的允许值，或试品的接地部位固定接地时，可采用图1 a)所示的试验回路。
- 试验电压下，试品的工频电容电流符合测量阻抗 Z_f 允许值时，并且试品接地点可解开时，可采用图1 b)所示的试验回路。

- c) 试验电压下, 图 1 a)、图 1 b) 所示的试验回路有过高的干扰信号时, 可采用图 1 c) 所示的试验回路。
- d) 检测阻抗的选择应使 C_k 和 C_x 串联后的等效电容值在测量阻抗所要求的调谐电容 C 的范围内 (否则测量度会降低)。

4.2 测量仪器

4.2.1 测量仪器的频带:

常用的测量仪器的频带可分为宽频带和窄频带两种, 其由下列参数确定:

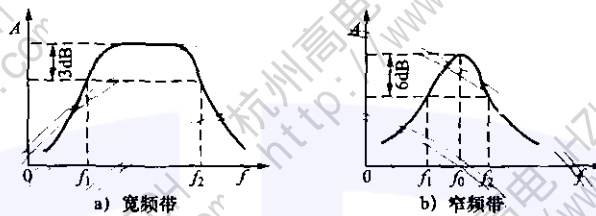


图 2 测量仪器的频带

- a) 下限频率 f_1 上限频率 f_2 其定义为: 对一恒定的正弦输入电压的响应 A , 宽频带仪器分别自一恒定值下降 3dB 时的一对 (上、下限) 频率; 窄频带仪器分别自峰值下降 6dB 时的一对 (上、下限) 频率, 测量仪器的频带如图 2 所示。
- b) 频带宽度 Δf : 宽频带和窄频带两种仪器的频带宽度均定义为:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

宽频带仪器的 Δf 与 f_2 有同一数量级; 窄频带仪器 Δf 的数量级小于 f_2 的数量级。

- c) 谐振频率 f_0 : 窄频带仪器的响应具有谐振峰值, 相应的频率称为谐振频率 f_0 。

4.2.2 现场测量时仪器的选择:

现场进行局部放电试验时, 可根据环境干扰水平选择相应的仪器。当干扰较强时, 一般选用窄频带测量仪器, 例如 $f_0 = (30 \sim 200)$ kHz, $\Delta f = (5 \sim 15)$ kHz; 当干扰较弱时, 一般选用宽频带测量仪器, 例如 $f_1 = (10 \sim 50)$ kHz, $f_2 = (70 \sim 400)$ kHz。对于 $f_2 = (1 \sim 10)$ kHz 的很宽频带的仪器, 具有较高的灵敏度, 适用于屏蔽效果好的试验室。

4.2.3 指示系统:

局部放电的测量仪器按所测定参量可分不同类别。目前有标准依据的是测量视在放电量的仪器, 这种仪器的指示方式, 通常是示波屏与峰值电压表 (pC) 或数字显示并用。用示波屏是必须的。示波屏上显示的放电波形有助于区分内部局部放电和来自外部的干扰。

放电脉冲通常显示在测量仪器的示波屏上的李沙育 (椭圆) 基线上。测量仪器的扫描频率应与试验电源的频率相同。

5 视在放电量的校准

确定整个试验回路的换算系数 K , 称为视在放电量的校准, 换算系数 K 受回路 C_x 、 C_k 、 C_s (高压对地的杂散电容) 及 Z_m 等元件参量的影响。因此, 试验回路每改变一次必须进行校准。

5.1 校准的基本原理

视在电量校准的基本原理是: 以幅值为 U_0 的方波通过串接小电容 C_0 注入试品两端, 此注入的电荷量为:

$$Q_0 = U_0 C_0 \quad (1)$$

式中:

U_0 ——方波电压幅值, V;

C_0 ——电容, pF;

Q_0 ——电荷量, pC。

5.2 校准方波的波形

校准方波的上升时间应使通过校准电容 C_0 的电流脉冲的持续时间比 $1/f_2$ 要短, 校准方波的上升时间不应大于 $0.1\mu\text{s}$, 衰减时间通常在 $100\mu\text{s}\sim 1000\mu\text{s}$ 范围内选取。

目前大都选用晶体管或汞湿继电器做成小型电池开关式方波发生器, 作为校准电源。

5.3 直接校准

将已知电荷量 Q_0 注入试品两端称为直接校准, 其目的是直接求得指示系统和以视在放电量 Q 表征的试品内部放电量之间的定量关系, 即求得换算系数 K 。这种校准方式是由 GB/T 7354—2003 推荐的。直接法和平衡法测量回路的直接校准电路, 如图 3 所示, 其方法是: 接好整个试验回路, 将已知电荷量 $Q_0=U_0C_0$ 注入试品两端, 则指示系统响应为 L_N 。取下校准方波发生器, 加电压试验, 当试品内部放电时, 指示系统响应为 L_X , 此时可换算系数为:

$$K_H = \frac{L_X}{L_N} 10^{(N_1-N_2)} \quad (2)$$

式中:

N_1 ——局部放电仪放大器测量时的倍率档位 (1~5)。

N_2 ——局部放电仪校正时的档位 (1~5) (此时倍率为每档 10 倍, 第 5 档为放大倍数最大, 否则应为 N_2-N_1)。

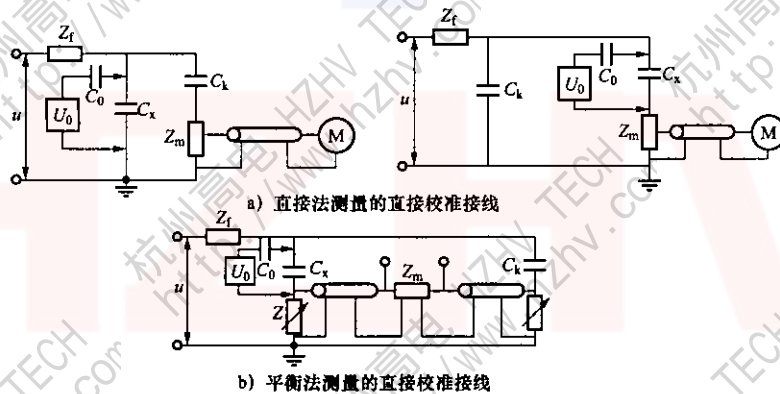


图 3 直接校准的接线

则测试的视在放电量 Q 为:

$$Q=U_0C_0K_H \quad (3)$$

式中:

Q ——视在放电量, pC;

U_0 ——方波电压幅值, V;

C_0 ——电容, pF;

K_H ——换算系数。

为了使校准保证有一定的精度, C_0 必须满足:

$$C_0 < 0.1 \left(C_x + \frac{C_x \times C_m}{C_k + C_m} \right) \quad (4)$$

$$C_0 > 10\text{pF}$$

式中:

C_m ——测量阻抗两端的等值电容。

5.4 间接校准

将已知电荷量 Q_0 注入测量阻抗 Z_m 两端称为间接校准, 其目的是求得回路衰减系数 K_1 , 并由校准脉冲相比较而直接读出放电量值。直接法和平衡法测量回路的间接校准电路, 如图 4 所示。

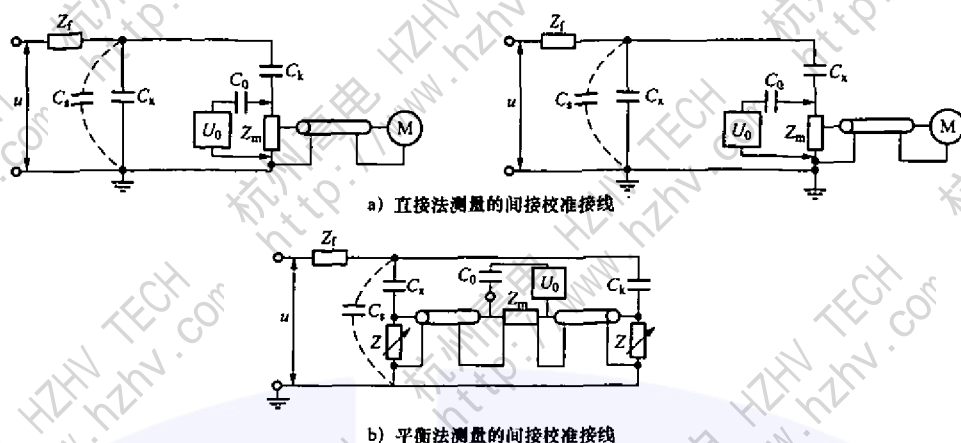


图4 间接校准的接线

图4中的 C_s 是高压对地的总杂散电容，其值随试品和试验环境的不同而变化，是个不易测得的不定值。因此，通常以测量的方式求得回路衰减系数 K_1 ，其方法是：接好整个试验回路，将已知电荷量 Q_0 注入测量阻抗 Z_m 两端，则指示系统响应为 β 。再以一等值的已知电荷量 Q_0 注入试品 C_x 两端，则指示系统响应为 β' 。这两个不同的响应之比即为回路衰减系数 K_1 ，即：

$$K_1 = \beta / \beta' > 1 \quad (5)$$

则视在放电量：

$$Q = U_0 C_0 K_1 \quad (6)$$

直接法校准时，加电压试验的校准方波发生器需脱离试验回路，不能与试品内部放电脉冲直观比较。间接法校准时，校准方波发生器可接在试验回路并能与试品内部放电脉冲进行直观比较。因此，目前国内外的许多检测仪器均设计成具有间接校准的功能。

5.5 校准时的注意事项

5.5.1 校准方波发生器的输出电压 U_0 和串联电容 C_0 的值要用一定精度的仪器定期测定，校正周期一年一次； U_0 和 C_0 的误差（或不确定度）应小于3%。如 U_0 一般可用经校核好的示波器进行测定； C_0 一般可用合适的低压电容电桥或数字式电容表测定。方波上升沿时间应满足标准要求。每次使用前应检查校准方波发生器电池是否充足电。

5.5.2 从 C_0 到 C_x 的引线应尽可能短直， C_0 与校准方波发生器之间的连线最好选用同轴电缆，以免造成校准方波的波形畸变。

5.5.3 当更换试品或改变试验回路任一参数时，必须重新校准。

6 电力设备的局部放电试验

6.1 电力设备局部放电试验前对试品的要求

- 本试验在所有高压绝缘试验之后进行，必要时可在耐压试验前后各进行一次，以便比较。
- 试品的表面应清洁干燥，试品在试验前不应受机械、热的作用。
- 油浸绝缘的试品经长途运输颠簸或注油工序之后通常应静置规定的时间后，再进行试验。
- 测定回路的背景噪声水平。背景噪声水平应低于试品允许放电量的50%，当试品允许放电量较低（如小于10pC）时，则背景噪声水平可以允许到试品允许放电量的100%。现场试验时，如以上条件达不到，可以允许有个别能分辨是干扰信号并且不影响测量读数的脉冲，如可控硅等固定脉冲。

6.2 变压器局部放电试验

6.2.1 试验及标准

GB 1094.3—2003中规定的变压器局部放电试验的加压时间及步骤，如图5所示。其试验步骤为：

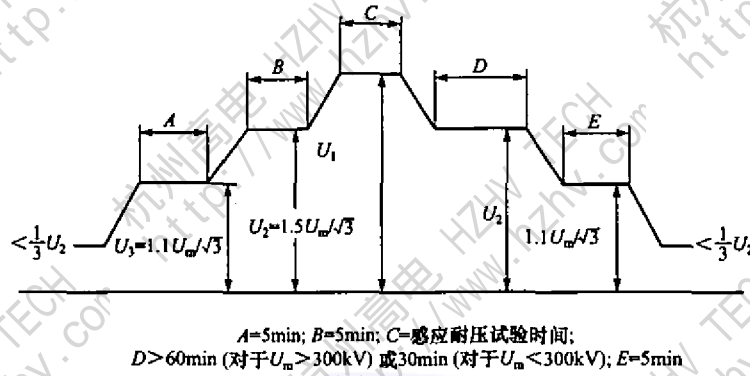


图5 变压器局部放电试验的加压时间及步骤

首先试验电压升到 U_3 下进行测量，保持 5min；然后试验电压升到 U_2 ，保持 5min；接着试验电压升到 U_1 ，试验时间（感应耐压时间）；最后电压降到 U_2 下再进行测量，保持 30min/60min。当在感应耐压试验同时进行局部放电时， U_1 值即为感应耐压试验值。当仅作为局部放电试验时， U_1 则为预加电压， U_1 、 U_2 的电压值规定及允许的放电量参见表 3。

试验前，记录所有测量电路上的背景噪声水平，其值应低于规定的视在放电量的 50%。

测量应在所有分级绝缘绕组的线端进行。对于自耦连接的一对较高电压、较低电压绕组的线端，也应同时测量，并分别用校准方波进行校准。

在电压升至 U_2 及由 U_2 再下降的过程中，应记下起始、熄灭放电电压。

在整个试验时间内应连续观察放电波形，并按一定的时间间隔记录放电量 Q 。放电量的读取，以相对稳定的最高重复脉冲为准，偶尔发生的较高的脉冲可忽略，但应作好记录备查。整个试验期间试品不发生击穿；在 U_2 的第二阶段的时间段内，所有测量端子测得的放电量 Q ，连续地维持在允许的限值内，并无明显地、不断地向允许的限值内增长的趋势，则试品合格。

如果放电量曾超出允许限值，但之后又下降并低于允许的限值，则试验应继续进行，直到此后 30min/60min 的期间内局部放电量不超过允许的限值，试品才合格。利用变压器套管电容作为耦合电容 C_k ，并在其末屏端子对地串接测量阻抗 Z_k 。

6.2.2 试验基本接线

变压器局部放电试验的基本原理接线，如图 6 所示。

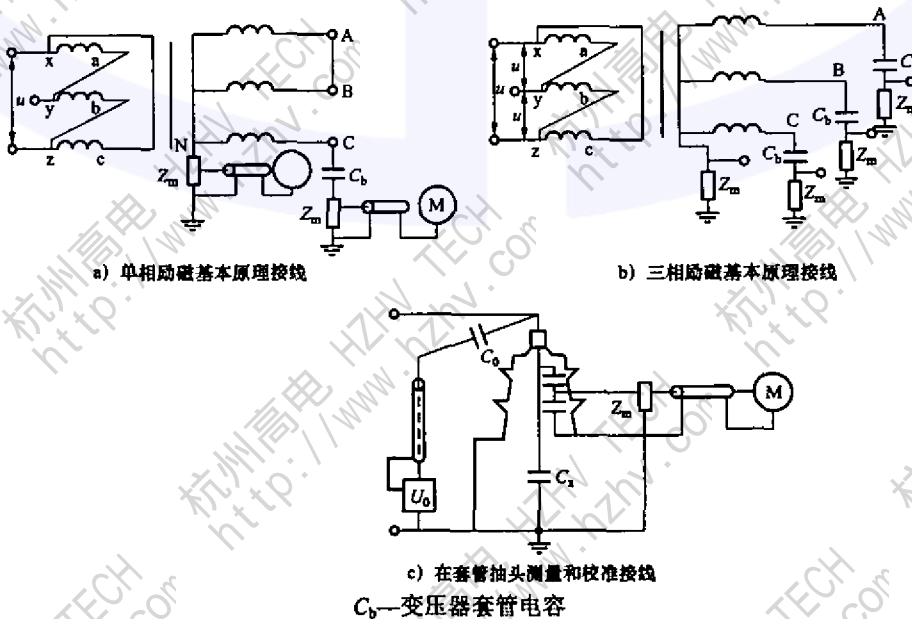


图6 变压器局部放电试验的基本原理接线

6.2.3 试验电源

试验电源一般采用 50Hz 的倍频或其他合适的频率。三相变压器可三相励磁，也可单相励磁。

6.2.4 “多端测量——多端校准”局部放电定位法

任何一个局部放电源，均会向变压器的所有外部接线的测量端子传输信号，而这些信号形成一种独特的“组合 A”。如果将校准方波分别地注入各绕组的端子，则这些方波同样会向变压器外部接线的测量端子传输信号，而形成一种校准信号的独特“组合 B”。

如果在“组合 A”（变压器内部放电时各测量端子的响应值）中，某些数据与“组合 B”（校准方波注入时各测量端子的响应值）相应数据存在明显相关时，则可认为实际局部放电源与该对校准端子密切相关（参见表 1），这就意味着，通过校准能粗略的定出局部放电的位置。

实际方法如下：

当校准方波发生器接到一对规定的校准端子上时，应观察所有成对的测量端子上的响应，然后对其他成对的校准端子重复作此试验。其校准部位应在线圈的各端子与地之间进行校准，但也可以在高压套管的带电端子与它们的电容抽头之间进行校准（对套管介质中的局部放电进行校准），也可以在高压端子与中性点端子，以及在高压绕组和低压绕组各端子间进行校准。

成对的校准和测量端子的所有组合，形成一个“组合 B”即“校准矩阵”，从而作为对实际试验读数进行判断的依据。

图 7 表示一台带有第三绕组的超高压单相自耦变压器的局部放电定位关系图，校准和试验都是在表 1 所列的端子上进行的。将 $1.5U_m$ 这一行的试验结果与各种校准结果进行对比，显然可见，它和“2.1—地”这一行的校准响应值相关。这可以认为在 2.1 端子出现了约 1500pC 这一数值的局部放电，并且还可以认为局部放电部位约是带电体（2.1 端子）对地之间。其结构位置或许在串联线圈与公共线圈之间的连线上某一位置，也可能在邻近线圈的端部。

表 1 局部放电源与相应校准端子的关系

| 校准 | 通道 | | | |
|---------------------|------|------|------|------|
| | 1.1 | 2.1 | 2.2 | 3.1 |
| | 任意单位 | | | |
| 1.1—地 2000pC | 50 | 20 | 5 | 10 |
| 2.1—地 2000pC | 5 | 50 | 30 | 7 |
| 2.2—地 2000pC | 2 | 10 | 350 | 4 |
| 3.1—地 2000pC | 3 | 2 | 35 | 25 |
| 试验 | | | | |
| $U=0$ | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 |
| $U=U_m/\sqrt{3}$ | <0.5 | <0.5 | 0.5 | 0.5 |
| $U=1.5U_m/\sqrt{3}$ | 6 | 40 | 25 | 7 |

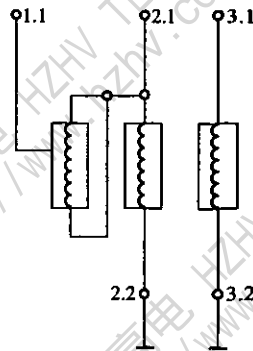


图 7 三绕组超高压单相自耦变压器局部放电定位关系图

上述方法主要用在当一个局部放电源是明显的、而且背景噪声又较低的情况下。

6.2.5 现场试验

6.2.5.1 在以下三种情况时，需要进行局部放电试验：

- 新安装投运时；
- 返厂修理或现场大修后；
- 运行中必要时。

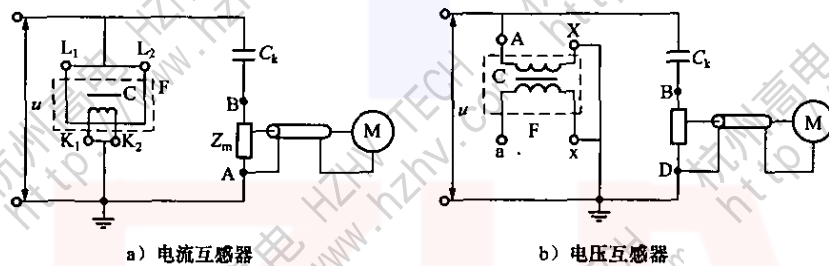
6.2.5.2 现场试验电源和推荐标准：

现场试验的理想电源，是采用电动机—发电机组产生的中频电源，三相电源变压器开口三角接线产生的 150Hz 电源，或其他形式产生的中频电源。若采用这类电源，试验应按 6.2.1 中的加压程序。

6.3 互感器的局部放电试验

6.3.1 试验接线

互感器局部放电试验原理接线，如图 8 所示。



C_k —耦合电容器； C —铁芯； Z_m —测量阻抗； F —外壳； L_1 、 L_2 —电流互感器一次绕组端子；

K_1 、 K_2 —电流互感器二次绕组端子； A 、 X —电压互感器一次绕组端子； a 、 x —电压互感器二次绕组端子

图 8 互感器局部放电试验的原理接线

电压互感器试验时， D 或 B 点可任一点接地，当采用 B 点接地时， C 、 F 宜优先考虑接 D 点，不能接 D 点则可接 B 点（接地）。

6.3.2 试验及标准

关于互感器局部放电允许水平见表 3，或参照 GB 1208—1997 相关规定。

为防止励磁电流过大，电压互感器试验的预加电压，可采用 150Hz 或其他合适的频率作为试验电源。

试验应在不大于 1/3 测量电压下接通电源，然后按表 3 规定进行测量，最后降到 1/3 测量电压下，方能切除电源。

放电量的读取，以相对稳定的最高重复脉冲为准，偶尔发生的较高脉冲可以忽略，但应作好记录备查。

试验期间试品不击穿，测得视在放电量不超过允许的限值，则认为试验合格。

6.3.3 现场试验

现场试验原则上应按上述标准与规定进行。但若受变电所现场客观条件的限制，认为必须要对运行中的互感器进行局部放电时，又无适当的电源设备，则推荐按以下方法进行。

6.3.3.1 电磁式电压互感器：

试验电压一般可用电压互感器二次绕组自励磁产生，以杂散电容 C_s 取代耦合电容器 C_k ，其电磁式电压互感器试验接线如图 9 所示。外壳可并接在 X ，也可直接接地。以 150Hz 的频率作为试验电源，在次级低压侧读取试验电压时，必须考虑试品的容升电压。

当干扰影响测量时，可采用邻近相的互感器连接成平衡回路的接线，如图 10 所示，被试互感器励磁，非被试互感器不励磁，以降低干扰。

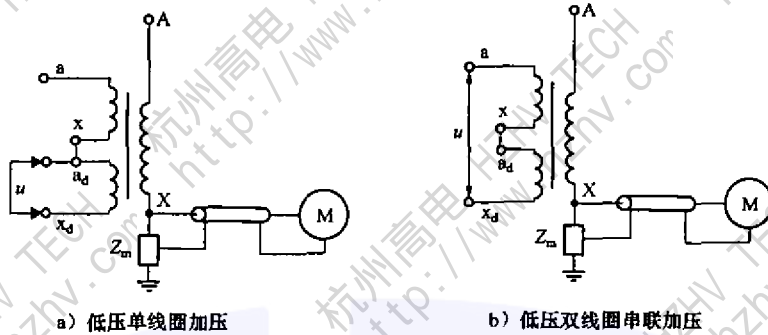


图9 电磁式电压互感器试验接线

采用两组二次绕组串联励磁，以减小试验的励磁电流。

试验标准（推荐值）如下。

- 励磁方式：两组二次绕组串联励磁。
- 允许背景干扰水平：应小于 10pC。
- 预加电压：根据设备情况适当施加预加电压。
- 测量电压： $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，其中 U_m 为设备最高工作电压。
- 允许放电量： $<20\text{pC}$ 。

如采用 150Hz 的加压设备，则应按表 3 标准，允许放电量为 20pC（现场测量）。

接有耦合电容器 C_k 的试验接线，如图 11 所示。

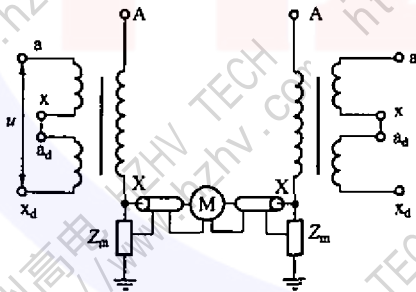
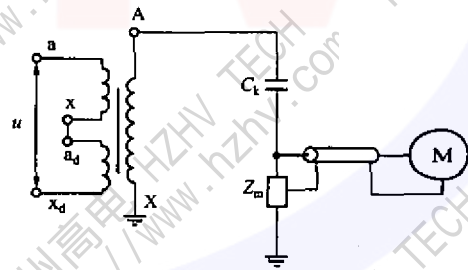


图10 抑制干扰的对称法接线

图11 接有耦合电容器 C_k 的试验接线

6.3.3.2 电流互感器：

电流互感器局部放电试验，试验电压由外施电源产生，杂散电容 C_s 代替耦合电容 C_k ，其电流互感器接线如图 12 所示。互感器若有铁芯 C 端子引出，则并接在 B 处。电容式互感器的末屏端子也并接在 B 处。外壳最好接 B，也可直接接地。试验变压器一般按需要选用单级变压器串接（例如单级电压为 60kV 的 3 台变压器串接），其内部放电量应小于规定的允许水平。

当干扰影响现场测量时，可利用邻近相的互感器连接成平衡回路，其抑制干扰的平衡法接线如图 13 所示。

试验标准（推荐值）如下。

- 预加电压：根据设备情况，适当施加预加电压。
- 测量电压： $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，其中 U_m 为设备最高工作电压。

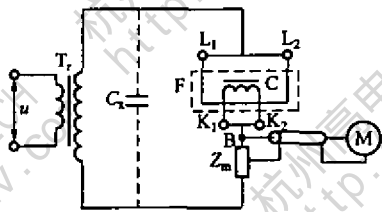
T_r—试验变压器；C—铁芯；F—外壳

图 12 电流互感器试验接线

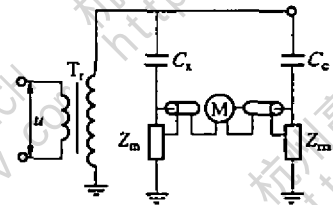
C_x—被试互感器；C_c—邻近互感器

图 13 抑制干扰的平衡法接线

c) 允许放电量：20pC。

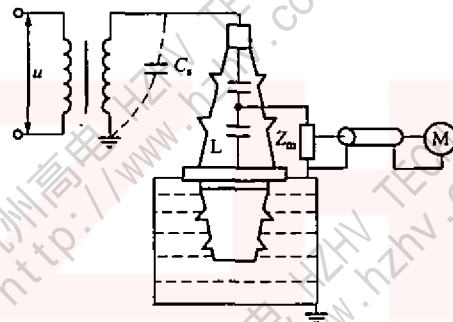
d) 允许背景干扰水平：20pC 以下。

如有合适的加压设备，则应按表 3 标准，允许放电量 20pC（现场测量）。

6.4 其他设备

6.4.1 套管

变压器或电抗器套管局部放电试验时，其下部必须浸入一合适的油筒内，注入筒内的油应符合油质试验的有关标准，并静止 48h 后才能进行试验。试验时以杂散电容 C_s 取代耦合电容器 C_k，其变压器套管试验接线如图 14 所示。



L—电容末屏

图 14 变压器套管试验接线

套管局部放电的试验电压，由试验变压器外施产生，可选用电流互感器试验时的试验变压器。试验标准按表 3 进行。

穿墙或其他形式的套管的试验不需放入油筒，其试验接线见图 14 或图 13。试验标准按表 3 进行。

6.4.2 耦合电容器（或电容式电压互感器）

耦合电容器的试验接线与套管相同，有电容末屏端子的，可利用该端子与下法兰之间，串接测量阻抗 Z_m，下法兰直接接地。若无电容末屏端子引出的，则需将试品对地绝缘，然后在下法兰对地之间串接测量阻抗 Z_m。

试验标准按表 3 规定进行。

7 局部放电测量时的干扰的抑制

局部放电测量时的干扰主要有以下几种形式：

- 电源网络的干扰；
- 各类电磁场辐射的干扰；
- 实验回路接触不良、各部位电晕及试验设备的内部入电；
- 接地系统的干扰；
- 金属物体悬浮电位的放电。

抑制干扰措施很多。有些干扰，在变电所现场要完全消除往往是不可能的。实际试验时只要将干扰抑制在某一水平以下，能有效测量试品内部的局部放电就可以了。这在很大程度上取决于测试者的分析能力和经验。

7.1 根据干扰来源与途径采取的抑制干扰措施

7.1.1 电源滤波器

在高压试验变压器的初级设置低通滤波器，抑制试验供电网络中的干扰。低通滤波器的截止频率应尽可能低，并设计成能抑制来自相线、中线（220V 电源时）两线路中的干扰。通常设计成 Π 型滤波器，如图 15 给出的双 Π 型滤波网络接线图。图 15 中 L_1 用 E_{17} 铁氧体磁芯，用 $\phi 2.0$ 漆包线绕 60 匝， C 用耐压 2000V； $1\mu\text{F}$ 的无放电电容，该回路的抑制效果大于 40dB。

7.1.2 屏蔽式隔离变压器

试验电源和仪器用电源设置屏蔽式隔离变压器，抑制电源供电网络中的干扰，因此隔离变压器应设计成屏蔽式结构，如图 16 所示。

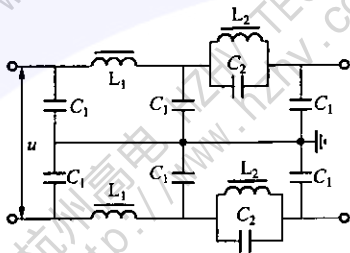


图 15 双 Π 型滤波网络接线图

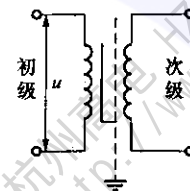


图 16 屏蔽式隔离变压器

屏蔽式隔离变压器和低压电源滤波器同时使用，抑制干扰效果较好。

7.1.3 高压滤波器

在试验变压器的高压端设置高压低通滤波器，抑制电源供电网络中的干扰。高压滤波器通常设计成 T 型或 TT 型，也可以 L 型。它的阻塞频率应与局部放电检测仪的频带检测仪相匹配。图 17 给出这两种滤波器的接线图。

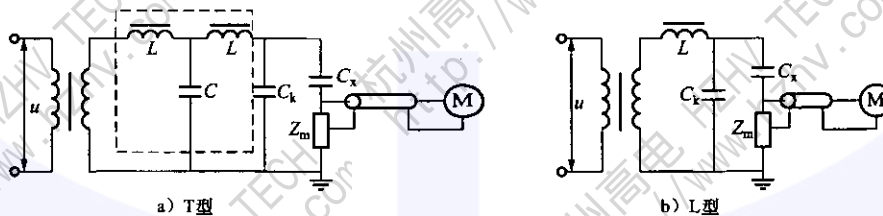


图 17 高压滤波器的接线图

7.1.4 励磁电源隔离

当在现场作变压器等自励磁加压的试验时，尤其是干式变压器等局部放电量较小、灵敏度较高的设备，现场又无适当的滤波器时，可用 2 台 10kV/400V（30kVA~200kVA）的三相变压器作为隔离变压器，见图 18 所示。

配合双 Π 型的滤波器，抑制效果可达 40dB，测量背景噪声水平可控制在 1pC 以下。

7.2 利用仪器功能和选择接线方式抑制干扰的措施

7.2.1 平衡接线法

平衡接线法接线，能抑制辐射干扰 I_r 及电源干扰 I_s ，见图 19。

干扰抑制的基本原理是：当电桥平衡时，干扰信号 I_r 、 I_s 耦合到回路，电桥 A、B 两点输出等于零，即抑制了干扰。干扰抑制的效果与 C_x 和 C_k 的损耗有关，若选择同类设备作为 C_k ，即称为对称法，则其损耗值非常接近，干扰抑制效果较好。

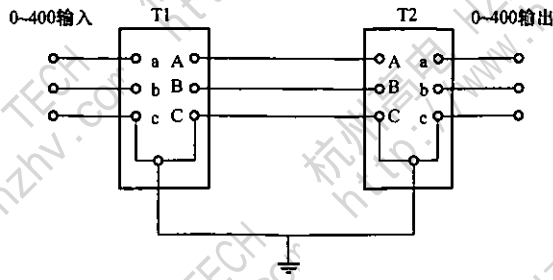
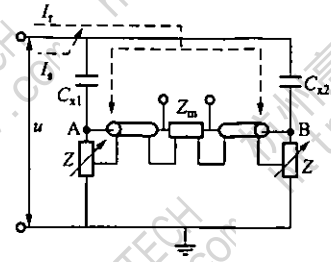


图 18 用两台配变背靠连接作隔离示意图



I_1 —辐射干扰; I_2 —电源干扰

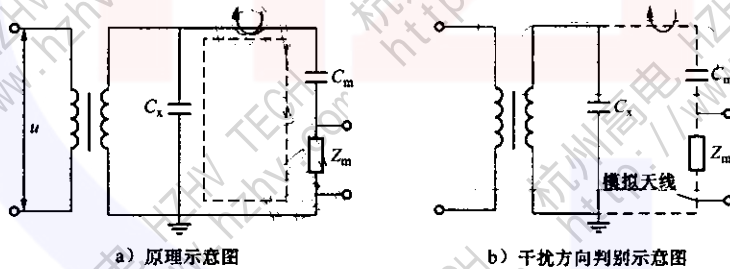
图 19 平衡法接线原理

7.2.2 模拟天线平衡法

电磁波辐射干扰具有方向性，整个试验回路可视为一种环型天线，变化该环型天线（即变化辐射干扰波与环型天线的入射角）的方向，可有效抑制辐射干扰，其原理示意图 20。实际操作方法是，用一根金属导线连接电容 C_m （与 C_k 的电容量相等），串接测量阻抗 Z_m ，并接在 C_x 两端，成为一模拟天线，接通测量仪。不断变化模拟天线的方向，使测量仪显示系统的干扰信号指示最小水平，最后即以此位置连接高压导线与耦合电容器 C_k 。模拟天线尺寸与实际测量时几何尺寸应尽量相同。

7.2.3 仪器带有选通（窗口）元件系统

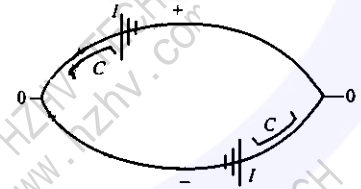
对于相位固定，幅值较高的干扰，利用带有选通元件的仪器，就可十分有效地分隔这种干扰，选通区抑制干扰信号示意图如图 21 所示。将选通元件与仪器的峰值电压表（pC 表）配合使用，效果较好，即 pC 表只对选通区内的扫描信号产生响应。



a) 原理示意图

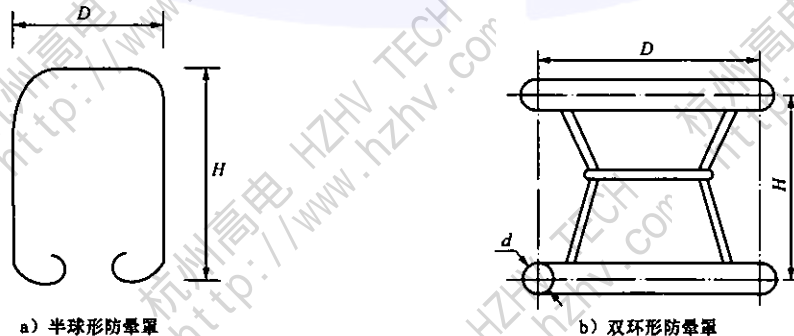
b) 干扰方向判别示意图

图 20 天线平衡法抑制干扰原理图



C—选通区; I—干扰信号

图 21 选通区抑制干扰信号示意图



a) 半球形防晕罩

b) 双环形防晕罩

图 22 无晕环（球）结构图

7.2.4 平衡法抑制干扰测试

7.2.4.1 平衡调试及方法校正

平衡调试可利用方波发生器，按图 24 接线，在回路高压及地端（即 D~0 点）注入模拟放电脉冲，该信号可用输出 100V 的标准方波发生器经由 100pF 的电容形成。然后调节低压臂电阻及电容，使回路平衡，也即调节使仪器上读到的信号值最小。也可在高压端部任一点挂一节细铜丝，人为制造一电晕信号；接通电源，加压使产生较大幅值电晕，并在此时调节低压臂元件参数，使在显示屏上观察到的电晕脉冲信号最小，这时平衡调节完成。然后降压进行方波校正，并固定其各元件参数不动。

平衡调试完毕后，在 D~A 或 D~B 端注入一定标脉冲，一般可选择模拟信号量为 10pF，测量并记录在显示屏上的响应衰减倍数（dB）或刻度值（pC/mm）。

7.2.4.2 低压臂阻抗参数的选择

平衡回路低压臂（图 23 b）所示的平衡阻抗结构原理图）元件参数的选择直接影响到测试回路的灵敏度，对于局放高频脉冲来讲，AB 两端的入口阻抗相当于一个 RLC 回路。为了使整个测试范围内，该阻抗的频率特性不变，则应使 R 在过度过程呈常量（从 RLC 入口看）。因为电感 L 和电容 C 基本为恒值，因此，低压臂可调电阻 R_1 、 R_2 。用一 $2\Omega\sim 5\Omega$ 电阻则可保证 R 为恒量，所有的低压臂元件可装在一个小金属盒内，但 R_3 、 R_4 必须并接在试品接地点，确保 A、B 两端对地不开路。由电缆引到局放仪旁边。

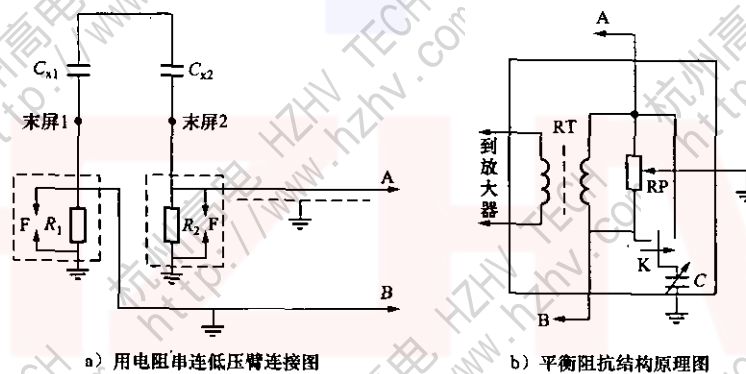


图 23 低压臂阻抗连接图

图 23 a) 中，为保证通流容量电阻功率选大些， R_1 、 R_2 用金属膜电阻，可用 4 只 $1.6k\Omega/2W$ 的电阻并联，则实际阻值为 400Ω 、 $8W$ ；F 为保护间隙；AB 引线用 $10m\sim 15m$ 长的 75Ω 高频同轴电缆。图 23 b) 中， R_1 选用 $2.2k\Omega$ 、 $5W$ 线绕电位器，可调电容 C_3 、 C_4 用电容箱外接。高频变压器 RT 用 E17 铁氧体磁芯绕制，一次用 $\phi 0.3mm$ 高强度漆色线绕 200 匝，二次用 $\phi 0.2mm\sim 0.3mm$ 线绕 400 匝。

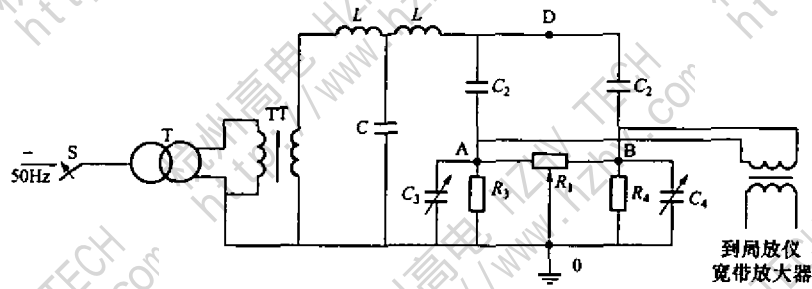
在试验时，如同时采用环形防晕装置、高压 T 形低通滤波网络及电桥平衡电路，可使干扰抑制比提高很多。该回路调试较好时，不但在现场测试中抑制比可达 400 倍，而且 T 形滤网也有 $5\sim 10$ 倍的抑制效果。因此，对端部及地线串入干扰抑制可达 400 倍，对电源干扰抑制可达 2000 倍。

如利用同组设备作为耦合桥臂电容，当两台设备介质损耗值接近时，具有平衡调试方便、试验设备简化、平衡抑制比高等优点。再同时使用滤波、平衡桥路及屏蔽措施后，合成抑制比高，在局部放电仪显示上可得到背景干净的图形，最低灵敏度可达 $1pC$ ，有助于对局部放电的判断及定量测试。

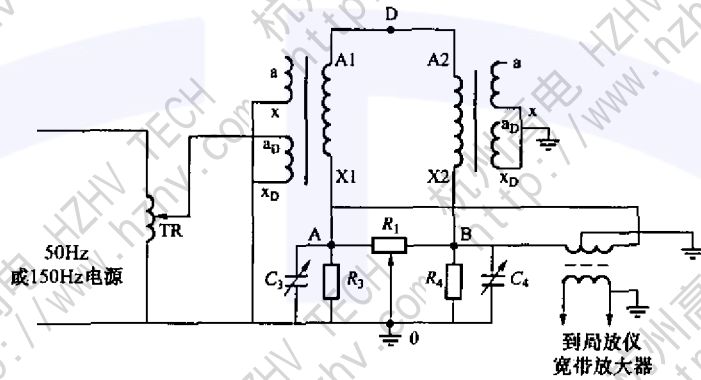
该方法在电压互感器和电流互感器测量上使用具有同样的效果，其接线原理图见图 24。

7.3 高压端部电晕放电的抑制措施

高压端部电晕放电的抑制，主要是选用合适的无晕环（球）及无晕导电杆作为高压连线。不同电压等级设备无晕环（球）的尺寸举例，见表 2 及图 22。高压无晕导电杆建议采用金属圆管或其他结构的无晕高压连线。 $110kV$ 及以下设备，可采用单环屏蔽，其圆管和高压无晕金属圆管的直径均为 $50mm$ 及以下。



a) 电容式试品 (TA) 试验接线图



b) 电压互感器局放试验接线图

注：图 24 a) 中滤波电容 C 和滤波电感 L 可以不用。

图 24 互感器局部放电接线原理图

表 2 不同电压等级无晕环 (球) 的尺寸举例

| 电压等级 kV | 无晕件 | | | | |
|------------|------------|------|-----------|-------------|-----|
| | 双环球形 mm | | 半球形 mm | 圆管形直径 mm | |
| | d | H | D | D | |
| 110 | 100 | 600 | 500 | 500 | 100 |
| 220 | 150 | 800 | 700 | 750 | 250 |
| 500 | 200 | 1100 | 1500 | 1500 | 300 |

实际试验时，可利用超声波放电检测器，以确定高压端部电晕或邻近悬浮体（空中或地面金属件）放电干扰源。这种超声波放电检测器是由一抛物面接收天线、转换器和放大器组成。

7.4 接地干扰的抑制

抑制试验回路接地系统的干扰，唯一的措施是在整个试验回路选择一点接地。

8 有关电力设备局部放电量的允许水平

有关电力设备局部放电量的允许水平，见表 3。

表3 有关电力设备局部放电量的允许水平

| 设备名称 | 高压施加方式 | 预加电压 | | 试验电压 | | 允许放电量 pC | | 标准的来源 | 备注 |
|------------------|--------|----------------------|---------|---|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--|
| | | 电压 kV | 时间 s | 电压 kV | 时间 min | 交接 | 运行中 | | |
| 110kV及以上变压器 | 自激 | 见 6.2.1 | 见 6.2.1 | (1) $1.5U_m/\sqrt{3}$ (2) $1.3U_m/\sqrt{3}$ | 60 | (1) 500 (2) 300 | — | GB 1094.3—2003 JB/T 56011—1999 | 预加电压 U_1 的要求是：在 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 电压下，5min；升压至 U_m ，5s |
| 干式变压器 | 10kV | 见 6.2.1 | 见 6.2.1 | (1) $1.1U_m/\sqrt{3}$ (2) $1.1U_m$ | 60 | 50 | 50 | GB 1094.3—2003 JB/T 56011—1999 | (1) 预加电压要求是：中性点直接接地的设备，在 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 电压下，30s (2) 中性点不直接接地的设备，在 $1.5U_m$ 电压下，30s |
| | 35kV | | | | | | | | |
| 110kV及以下油浸纸电流互感器 | 外施 | $0.7 \times 1.3U_m$ | 10 | $1.1U_m/\sqrt{3}$ | >1 | 10 | 20 | GB 1207—1997 GB 1208—1997 | (1) 背景噪声允许水平为 10pC (现场测量) (2) 中性点有效接地系统 (3) 中性点非有效接地系统 |
| 110kV及以上油浸纸电压互感器 | 外施、自激 | 0.7×1.3 | 10 | $1.3U_m/\sqrt{3}$ | >1 | 10 | 20 | | (1) 背景噪声允许水平为 20pC (现场测量) (2) 中性点有效接地系统 (3) 中性点非有效接地系统 |
| 套管 | 油浸纸绝缘 | 外施 | — | (1) $1.05U_N/\sqrt{3}$ (2) $1.5U_N/\sqrt{3}$ | — | 10 | 20 | GB/T 4109—1999 JB/T 56204—1999 | (1) 背景噪声允许水平为 10pC (现场测量) (2) $1.5U_N/\sqrt{3}$ 的试验电压仅适应于变压器、电抗器套管 |
| | 气体绝缘 | 外施 | — | $1.05U_N/\sqrt{3}$ | — | 10 | 20 | | |
| 耦合电容器 | 外施 | $0.7 \times 1.3 U_m$ | 10 | $1.1U_m/\sqrt{3}$ | >1 | 30 | 30 | JB/T 8169—1999 JB/T 56211—1999 | |
| 固体绝缘互感器 | 外施、自励 | | | $1.2U_m/\sqrt{3}$ | >1 | (1) 20 (2) 20 | (1) 100 (2) 100 | GB 1207—1997 GB 1208—1997 | (1) 中性点有效接地系统 (2) 中性点非有效接地系统 |

注 1：运行中的变压器，若无倍频或中频加压设备，在工频励磁时，测量电压应根据条件尽可能高，允许放电量与持续时间不作规定。

注 2：运行中的电流互感器，若无预加电压设备，预加电压和测量电压值见 6.3.3 中规定。

注 3：运行中的电压互感器，若无预加电压设备，预加电压和测量电压值见 6.3.3 中规定。

注 4：国家标准一般指出厂试验，交接试验一般也按该标准执行。运行中的标准按 DL/T 596 执行。

附录 A (资料性附录)

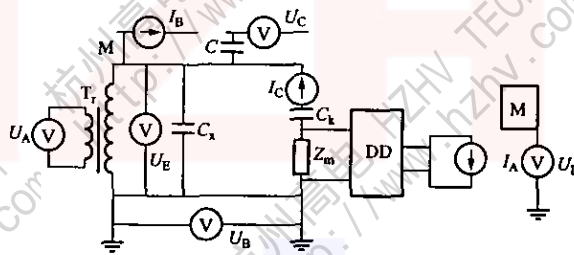
局部放电的波形和识别图谱

A.1 前言

局部放电电气检测的基本原理是在一定的电压下测定试品绝缘结构中局部放电所产生的高频电流脉冲。在实际试验时，应区分并剔除由外界干扰引起的高频脉冲信号，否则，这种假信号将导致检测灵敏度下降和最小可测水平的增加，甚至造成误判断的严重后果。

在某一既定的试验环境下，如何区别干扰信号，采取若干必要的措施，以保证测试的正确性，就成为一个较重要的问题。目前行之有效的办法是提高试验人员识别干扰波形的能力，正确掌握试品放电的特征、与施加电压及时间的规律。经验表明：判断正确与否在很大程度上取决于测试者的经验。掌握的波形图谱越多，则识别和解决的方法也越快越正确。目前，有用计算机进行频谱分析帮助识别，但应用计算机的先决条件同样需要预知各种干扰波和试品放电波形的特征。现根据我国多年来的实际经验和国外曾经发表过的一些图谱，汇编成文，供参考。应该指出，所介绍的放电波形，多属处理成典型化的图形，不可能包含全部可能发生的内容。

A.2 局部放电的干扰、抑制及识别的方法



Tr—试验变压器；Cx—被试品；Ck—耦合电容器；Zm—测量阻抗；DD—检测仪；M—邻近试验回路的金属物件；UA—电源干扰；UB—接地干扰；UC—经试验回路杂散电容C耦合产生的干扰；UD—悬浮电位放电产生的干扰；UE—高压各端部电晕放电的干扰；IA—试验变压器的放电干扰；IB—经试验回路杂散电感M耦合产生的辐射干扰；IC—耦合电容器放电的干扰

图 A.1 干扰及其进入试验回路的途径

A.2.1 干扰类型和途径

干扰将会降低局部放电试验的检测灵敏度，试验时，应使干扰水平抑制到最低水平。干扰类型通常有：电源干扰、接地系统干扰、电磁辐射干扰、试验设备各元件的放电干扰及各类接触干扰。这些干扰及其进入试验回路的途径见图 A.1。

- 电源干扰。检测仪及试验变压器所用的电源是与低压配电网相连的，配电网内的各种高频信号均能直接产生干扰。因此，通常采用屏蔽式电源隔离变压器及低通滤波器抑制，效果甚好。
- 接地干扰。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，各种高频信号会经接地线耦合到试验回路产生干扰。这种干扰一般与试验电压高低无关。试验回路采用一点接地，可降低这种干扰。
- 电磁辐射干扰。邻近高压带电设备或高压输电线路，无线电发射器及其他诸如可控硅、电刷等

试验回路以外的高频信号，均会以电磁感应、电磁辐射的形式经杂散电容或杂散电感耦合到试验回路，它的波形往往与试品内部放电不易区分，对现场测量影响较大。其特点是与试验电压无关。消除这种干扰的根本对策是将试品置于屏蔽良好的试验室。采用平衡法、对称法和模拟天线法的测试回路，也能抑制辐射干扰。

- d) 悬浮电位放电干扰。邻近试验回路的不接地金属物产生的感应悬浮电位放电，也是常见的一种干扰。其特点是随试验电压升高而增大，但其波形一般较易识别。消除的对策一是搬离，二是接地。
- e) 电晕放电和各连接处接触放电的干扰。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、耦合电容器端部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。消除这种干扰是在高压端部采用防晕措施（如防晕环等），高压引线采用无晕的导电圆管，以及保证各连接部位的良好接触等。
- f) 试验变压器和耦合电容器内部放电干扰。这种放电容易和试品内部放电相混淆。因此，使用的试验变压器和耦合电容器的局部放电水平应控制在一定的允许量以下。

A.2.2 识别干扰的基本依据

局部放电试验的干扰是随机而杂乱无章的，因此难以建立全面的识别方法，但掌握各类放电时的时间、位置、扫描方向以及电压与时间关系曲线等特性，有助于提高识别能力。

- a) 掌握局部放电的电压效应和时间效应。局部放电脉冲波形与各种干扰信号随电压高低、加压时间的变化具有某种固有的特性，有些放电源（干扰源）随电压高低（或时间的延长）突变、缓变，而有些放电源却是不变的，观察和分析这类固有特性是识别干扰的主要依据。
- b) 掌握试验电压的零位。试品内部局部放电的典型波形，通常是对称的位于正弦波的正向上升段，对称地叠加于椭圆基线上，而有些干扰（如高电位、地电位的尖端电晕放电）信号是处于正弦波的峰值，认定椭圆基线上试验电压的零位，也有助于波形识别。但须指出，试验电压的零位是指施加于试品两端电压的零位，而不是指低电压侧电压的零位。目前所采用的检测仪中，零位指示是根据高压电阻分压器的低压输出来定的，电阻分压器的电压等级一般最高为 50kV。根据高电位、地电位尖端电晕放电发生在电压峰值的特性，也可推算到试验电压的零位，只要人为在高压端设置一个尖端电晕放电即可认定。高压端尖端电晕放电的脉冲都严格地叠加于正弦波的负峰值。
- c) 根据椭圆基线扫描方向。放电脉冲与各种干扰信号均在时基上占有相应的位置（即反映正弦波的电角度），如前所述，试品内部放电脉冲总是叠加于正向（或反向）的上升段，根据椭圆基线的扫描方向，可确定放电脉冲和干扰信号的位置。方法是注入一脉冲（可用机内方波），观察椭圆基线上显示的脉冲振荡方向（必要时可用 X 轴扩展）即为椭圆基线的扫描方向，从而就能确定椭圆基线的相应电角度，椭圆基线扫描方向识别如图 A.2 所示。

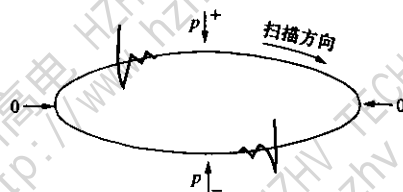


图 A.2 椭圆基线扫描方向识别

- d) 整个椭圆波形的识别。局部放电测试，特别是现场测试，将各种干扰抑制到很低的水平通常较

困难。经验表明，在示波屏上所显示的波形，即使有各种干扰信号，只要不影响识别与判断，就不必花很大的精力将干扰信号全部抑制。

A.3 计算机辅助数字测量分析

通过数字信号实时测量，就可获得高压设备绝缘中放电信号的实际波形，从而能如实地观察到设备内部放电波形的细微差别及分析其各自的幅频特性，并能通过响应每周波局部放电的局部幅值、放电次数、相位等关系，并可通过信号波形分析来区别干扰及放电类型。将实测信号处理获得其频域中的传递函数，用试验电压降低电压下测得信号的频域传递函数进行比较。用试验电压下测取的信号与标准试验信号进行相关分析，能更加可靠地判断高压设备是否存在局部放电及其放电属性。数字式局部放电仪测取的波形见图 A.3。

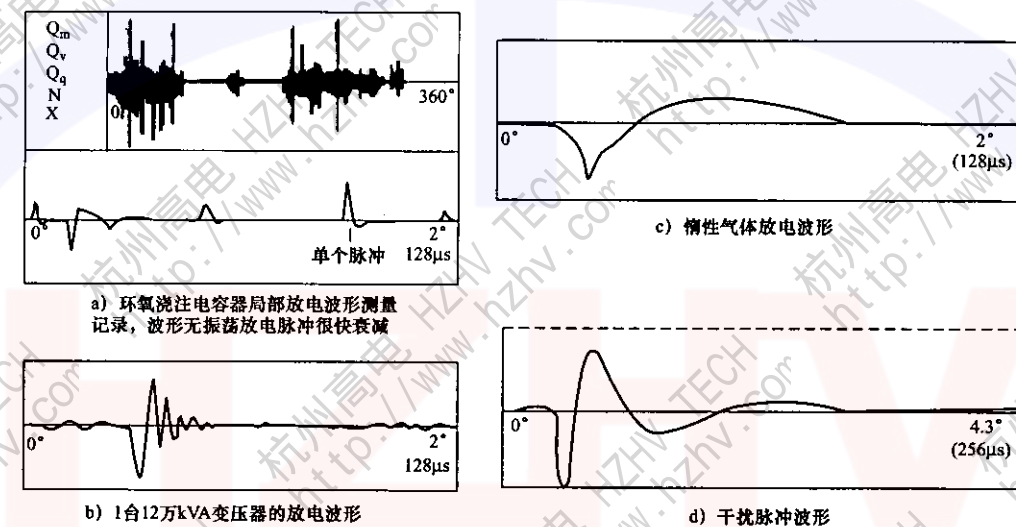


图 A.3 数字式局部放电仪实测波形

图 A.3 a) 为一电容器局部放电的实测波形和参数，该图为测量时显示在屏幕上的波形，并即刻用打印机作屏幕打印出的。上半屏显示的为一周期($0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 相角)的放电脉冲，下半屏为放大后的单个放电脉冲波形(也即为分段显示内存中波形)。由图 A.3 a) 可见，波形无振荡，放电脉冲很快衰减。图 A.3 b) 中为变压器中的一次放电脉冲波形，一次放电脉冲振荡过程约 $20\mu\text{s}$ 左右。

局部放电的实测波形及三维统计图谱分别见图 A.4、图 A.5。

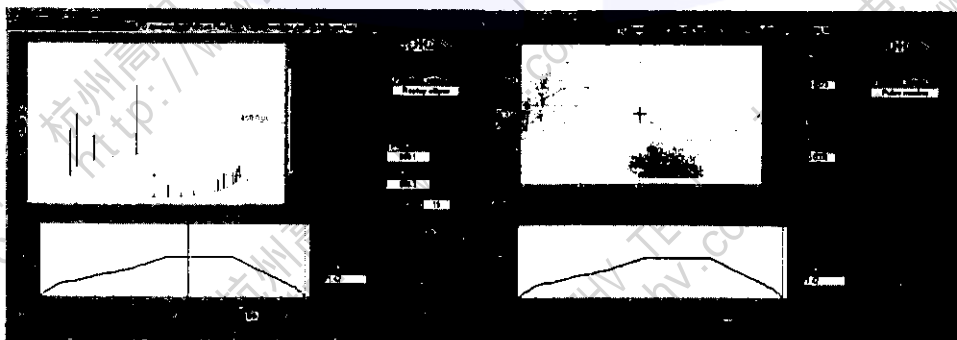


图 A.4 局部放电的实测波形

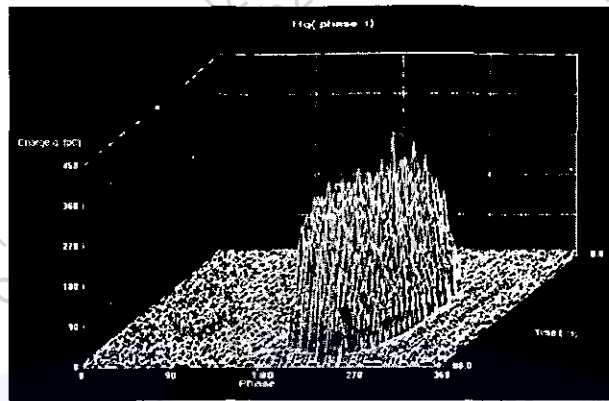


图 A.5 局部放电三维统计图谱

A.4 局部放电的基本图谱

A.4.1 局部放电的基本图谱

局部放电的基本图谱见表 A.1。

表 A.1 局部放电的基本图谱

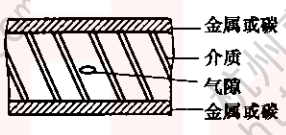
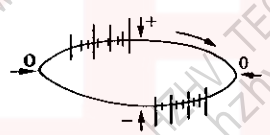
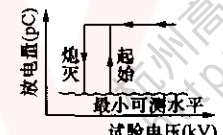
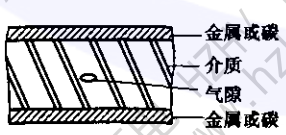
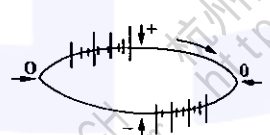
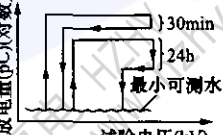
| 类型 | 放电模型 | 典型放电响应波形 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|---|---|
| 1 |  |  |  |
| | 绝缘结构中仅有一个与电场方向垂直的气隙 | 放电脉冲叠加于正及负峰之前的位置，对称的两边脉冲幅值及频率基本相等，但有时上下幅值的不对称度 3:1 仍属正常 | 起始放电后，放电量增至某一水平时，随试验电压上升放电量保持不变。熄灭电压基本相等或略低于起始电压 |
| 2 |  |  |  |
| | 绝缘结构中仅有一个与电场方向垂直的气隙 | 放电脉冲叠加于正及负峰之前的位置，对称的两边脉冲幅值及频率基本相等，但有时上下幅值的不对称度 3:1 仍属正常 | 起始放电后，放电量增至某一水平时，随试验电压上升放电量保持不变。熄灭电压基本相等或略低于起始电压，且放电量将会下降；若试验电压维持达 1h，熄灭电压会更大于起始电压，并且高于第一次（30min 时）的值，放电量也进一步下降 |

表 A.1 (续)

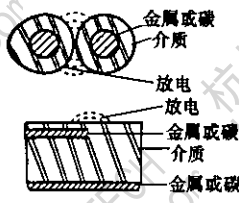
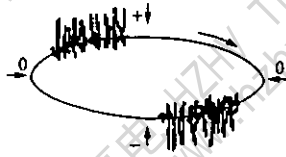
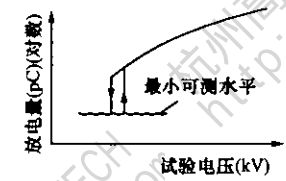
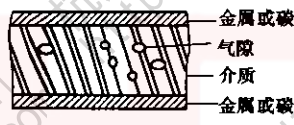
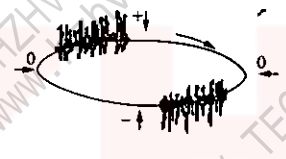
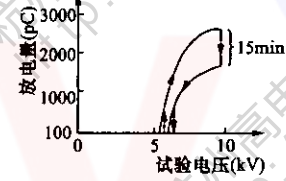
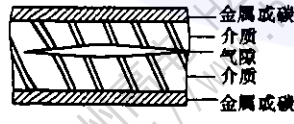
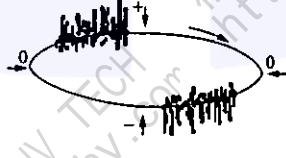
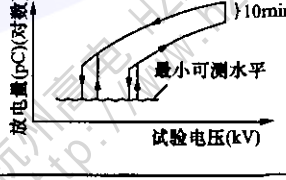
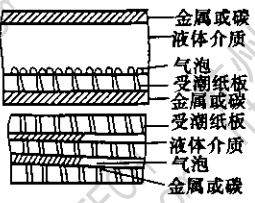
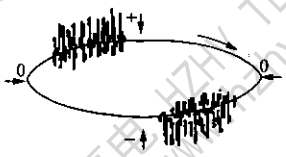
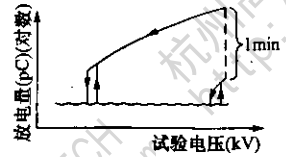
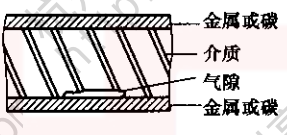
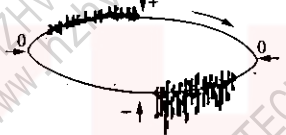
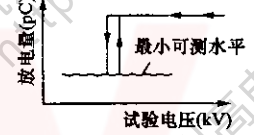
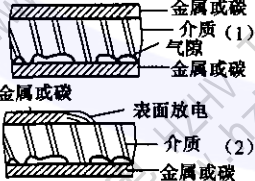

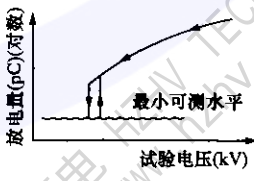
| 类型 | 放电模型 | 典型放电响应波形 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|--|---|
| 3 |  <p>(1) 两绝缘体之间的气隙放电 (2) 表面放电</p> |  <p>放电脉冲叠加于正及负峰之前的位置, 对称的两边脉冲幅值及频率基本相等, 但有时上下幅值的不对称度 3:1 仍属正常。放电刚开始时, 放电脉冲尚能分辨, 随后电压上升, 某些放电脉冲向试验电压的零位方向移动, 同时会出现幅值较大的脉冲, 脉冲分辨率逐渐下降, 直至不能分辨</p> |  <p>起始放电后, 放电量随电压上升而稳定增长; 熄灭电压基本相等或低于起始电压</p> |
| 4 |  <p>绝缘结构内含有各种不同尺寸的气隙 (多属浇注绝缘结构)</p> |  <p>放电脉冲叠加于正及负峰之前的位置, 对称的两边脉冲幅值及频率基本相等, 但有时上下幅值的不对称度 3:1 仍属正常。放电刚开始时, 放电脉冲尚能分辨, 随后电压上升, 某些放电脉冲向试验电压的零位方向移动, 同时会出现幅值较大的脉冲, 脉冲分辨率逐渐下降, 直至不能分辨</p> |  <p>若试验电压上升或下降速率较快, 起始放电后, 放电量随试验电压上升而稳定增长, 熄灭电压基本相等或略低于起始放电电压。如在某高电压下维持一定时间 (如 15min), 放电量会逐渐下降, 熄灭电压会略高于起始电压 (因浇注绝缘局部放电会导致气隙内壁四周产生导电物质)</p> |
| 5 |  <p>绝缘结构内仅含有一个扁平的气隙 (多属电机绝缘)</p> |  <p>放电脉冲叠加于正及负峰之前的位置, 对称的两边脉冲幅值及频率基本相等, 但有时上下幅值的不对称度 3:1 仍属正常。放电刚开始时, 放电脉冲尚能分辨, 随后电压上升, 某些放电脉冲向试验电压的零位方向移动, 同时会出现幅值较大的脉冲, 脉冲分辨率逐渐下降, 直至不能分辨</p> |  <p>起始放电后, 放电量随试验电压上升稳定增长。如电压上升及下降速率较快, 熄灭电压等于或略低于起始电压; 如在某高电压下持续一段时间 (如 10min), 熄灭电压和起始电压的幅值会降低, 幅值略有上升</p> |

表 A.1 (续)

| 类型 | 放电模型 | 典型放电响应波形 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|---|---|
| 6 |  <p>绝缘结构为液体与含有潮气的纸板复合绝缘。电场下, 纸板会产生气泡, 导致放电, 进一步使气泡增多</p> |  |  <p>如在某一高电压下持续 1min, 放电量迅速增长, 若立即降压, 则熄灭电压等于或略低于起始电压; 若电压维持 1min 以上再降压, 放电量会随电压逐渐下降。如放电熄灭后立刻升压则起始放电电压幅值将大大低于原始的起始及熄灭电压。若将绝缘静止一天以上, 则其起始、熄灭电压将会复原</p> |
| 7 |  <p>绝缘结构中仅含有一个气隙, 位于电极的表面与介质内部气隙的放电响应不同</p> |  <p>放电脉冲叠加于电压的正及负峰值之前, 两边的幅值不尽对称, 幅值大的频率低, 幅值小的频率高。两幅值之比通常大于 3:1, 有时达 10:1。总的放电响应能分辨出</p> |  <p>放电一旦起始, 放电量基本不变, 与电压上升无关。熄灭电压等于或略低于起始电压</p> |
| 8 |  <p>(1) 簇不同尺寸的气隙, 位于电极的表面, 但属封闭型 (2) 电极与绝缘介质的表面放电, 气隙不是封闭的</p> |  <p>放电脉冲叠加于电压的正及负峰值之前, 两边幅值比通常为 3:1, 有时达 10:1; 随电压上升, 部分脉冲向零位方向移动, 放电起始后, 脉冲分辨率尚可; 继续升压, 分辨率下降, 直至不能分辨</p> |  <p>放电起始后, 放电量随电压的上升逐渐增大, 熄灭电压等于或略低于起始电压。如电压持续时间在 10min 以上, 放电响应会有些变化</p> |

A.4.2 干扰波的基本图谱说明

干扰波的基本图谱说明见表 A.2。

表 A.2 干扰波的基本图谱说明

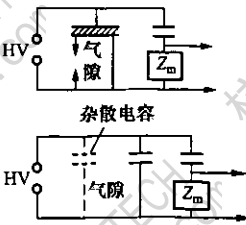
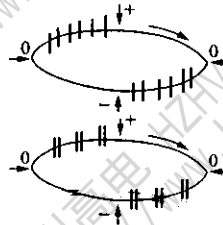
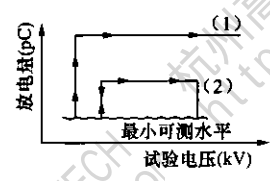
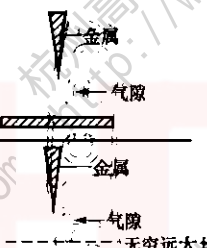
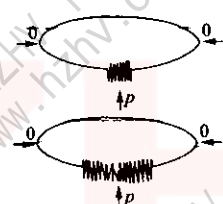

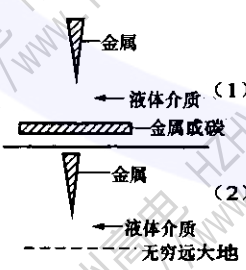
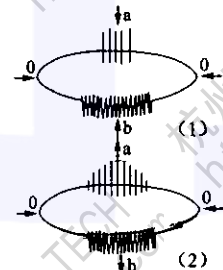
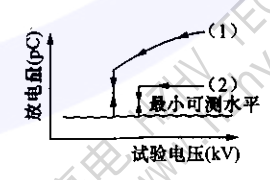
| 类型 | 干扰源 | 放电响应 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|--|--|
| 1 |  <p>悬浮电位放电： 在电场中两悬浮金属物体间，或金属物与大地间产生的放电</p> |  <p>波形现有两种情况： (1) 正负两边脉冲等幅、等间隔及频率相同 (2) 两边脉冲成对出现，对与对间隔相同，有时会在基线往复移动</p> |  <p>起始放电后有 3 种类型： (1) 放电量保持不变，与电压有关，熄灭电压与起始电压完全相等 (2) 电压继续上升，在某一电压下放电突然消失；电压继续上升后再下降，会在前一消失电压下再次出现放电 (3) 随电压上升，放电量逐渐减小，放电脉冲随之增加</p> |
| 2 |  <p>针尖对平板或大地的气体介质</p> |  <p>较低电压下产生电晕放电，放电脉冲总叠加于电压的峰值位置。如位于负峰值处，放电源处于高电位；如位于正峰处，放电源处于低电位。这可帮助判断电压的零位</p> |  <p>起始放电后电压上升，放电量保持不变，惟脉冲密度向两边扩散、放电频率增加，但尚能分辨；电压再升高，放电脉冲频率增至逐渐不可分辨</p> |
| 3 |  <p>针尖对平板或大地的液体介质</p> |  <p>较低电压下产生电晕放电，放电脉冲总叠加于电压的峰值位置。如位于负峰值处，放电源处于高电位；如位于正峰处，放电源处于低电位。这可帮助判断电压的零位 一对脉冲对称的出现在电压正或负峰处，每一簇的放电脉冲时间间隔均各自相等。但两簇的幅值及时间间隔不等，幅值较小的一簇幅值相等、较密</p> |  <p>一簇较大的脉冲起始电压较低，放电量随电压上升增加；一簇较小的脉冲起始电压较高，放电量与电压无关，保持不变；电压上升，脉冲频率密度增加，但尚能分辨；电压再升高，逐渐变得不可分辨</p> |

表 A.2 (续)

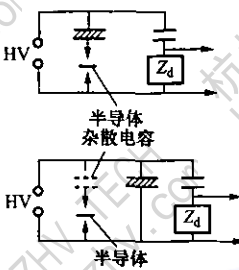
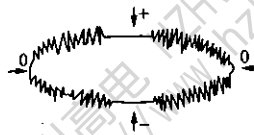
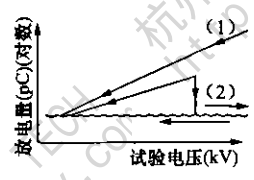

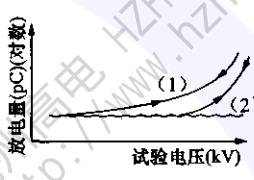
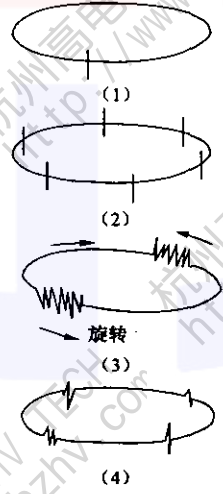
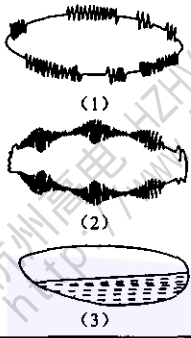
| 类型 | 干扰源 | 放电响应 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|--|---|
| 4 |  <p>半导体 杂散电容 半导体</p> |  |  |
| | <p>试品内部、试验回路中导电部分的接触不良</p> | <p>两簇脉冲位于试验电源零位的不规则的干扰脉冲，基本等幅，与电压成比例</p> | <p>放电量与电压成比例，有时接触处完全导通时会使干扰自行消除</p> |
| 5 | <p>回路中设备的铁芯磁饱和产生的干扰。其原因为： (1) 磁密过高 (2) 与回路的电容发生谐振 (3) 检测仪频带在低限下频率的不稳定性</p> |  <p>带有低频振荡的脉冲出现于时间基线上，振荡周期大于检测仪的分辨率</p> |  <p>干扰脉冲幅值随电压上升，电压回零，脉冲即消失，与电压持续时间无关</p> |
| 6 | <p>随机干扰</p> |  <p>旋转</p> | <p>(1)、(2) 为晶闸管干扰</p> |
| | <p>(1) 单个可控硅干扰脉冲 (2) 6 极水银整流器干扰 (3) 旋转电机干扰 (4) 荧光灯产生的干扰</p> | <p>响应特性的范围很宽，常有： (1) 波形的位置上可以完全不规则或间断 (2) 一个电压周波可出现 1、2、3、4、6 或 12 根间断彼此相等的单独脉冲 (3) 试验电压与仪器电源的周波不很同步，干扰脉冲会在椭圆基线作定向等速移动</p> | <p>放电量与电压无关，电压降为零时，脉冲依然存在。受电源切断、短路、叠加负荷的影响，具有严格的时间对应关系，但不规则</p> |

表 A.2 (续)

| 类型 | 干 扰 源 | 放 电 响 应 | 放电量与试验电压的关系 |
|----|---|--|--|
| 7 | 其他干扰 |  <p>(1) (2) (3)</p> | |
| | 调制或非调制的干扰波形有： (1) 与无线电波调制 (2) 调幅高频 (3) 与检测频段相近的超声波干 扰 | 通常来源于高频设备，如感应加 热器、超声波发生器等 | 放电量与电压无关，电压降为零 时，脉冲依然存在。受电源切断、 短路、叠加负荷的影响，具有严格 的时间对应关系，但不规则 |