

摘要: 高压电缆局部放电检测传感器是高压电缆及其附件进行局放测量最基础也是最重要的部分。介绍了三种高压电缆局部放电测量传感器,即电容、电感、方向传感器,简介了这些传感器的原理和结构框架,通过安装和应用这些传感器,预期可以从最基础的方面提高高压电缆局部放电检测水平。

关键词: 高压电缆; 局部放电; 传感器; 电感传感器; 电容传感器; 方向传感器

中图分类号: TM835 文献标识码: A 文章编号: 1006-883X(2018)09-0017-04

收稿日期: 2018-07-26

关于高压电缆局部放电检测传感器的研究

郑海波¹ 苏平¹ 常海群¹ 邱越¹ 程梦凌¹ 肖拥军² 汪天星²

1. 国网襄阳供电公司检修分公司, 湖北襄阳 441021; 2. 北京国电迪扬电气设备有限公司, 北京 100102

一、引言

对于高压电缆系统的例行试验和型式试验,可遵循 IEC 270 的局放测量的原理和方法进行,但在高压电缆的现场测试中,例如对已经安装好的高压电缆进行试验时,无法按 IEC 标准做到线路屏蔽;此外电缆的长度可能很长,以致衰减误差不能忽略。因此,IEC 标准中规定的校准可能是行不通的。

为了对现场安装的高压电缆及其附件进行局放测量,本文将对高压电缆局部放电检测传感器进行研究,提出通过为高压电缆及其附件安装专门的传感器,使现场测试能以高效率 and 尽可能低的噪声接收局放信号,从而满足高压电缆现场局部放电检测工作的需要。

二、高压电缆局放测量传感器

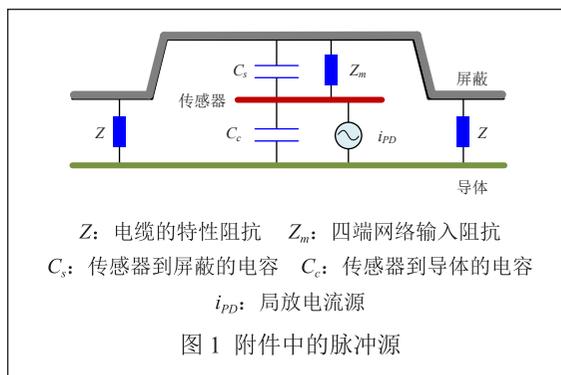
高压电缆局部放电带电或者在线检测所使用到的传感器一般分为内置传感器和外置传感器两种,外置传感器一般采用高频电流传感器(HFCT),卡钳式样的结构,测试时卡接到高压电缆的接地线上,比较常见,在此不做研究、分析。

本文介绍的三种高压电缆局部放电测量传感器的原理特性,这些传感器为内置传感器,其优点在于它们可以在电缆尚在制造厂时进行安装,并终身提供局

放检测服务,而且这种传感器可以最大限度地排除外部可能的干扰,对高压电缆的局部放电检测起到了非常重要的意义。

1、电容式传感器

电容传感器由导电层形成,通常具有一个到电缆导体的主电容,和到接地屏蔽的杂散电容,原理如图 1 所示。



对于 i_{PD} 的低频成分 (C_c 和 C_s 可以忽略) 和位于附件中的局放源,四端网络 Z_m 输入阻抗两端的电压 u_m 近似为:

$$u_m = i_{PD} Z_m \quad (1)$$

测得的电压可以处理成相应于局放的视在电荷,

由线路确定的高频上限可以近似的表示为：

$$2\pi f(C_s + C_c) = \frac{1}{Z_m} \quad (2)$$

其中， f 近似地在 10MHz~20MHz 范围。

对于低频成分，由式(1)在四端网络处的信号是：

$$u_m = \frac{Z\omega C_c}{2} Z_m i_{PD} \quad (3)$$

如果传感器的耦合电容很小，则系数 $k = \frac{Z\omega C_c}{2}$ 可能远小于 1，所以采用电容传感器在低频下获得了高度的噪声抑制。外部干扰脉冲将沿着电缆进一步衰减，此外，外部和内部的局放脉冲在采用相位分解局放模式的情况下可以通过极性区别。

对于较高的频率，传感器的对地电容 C_s 将使局放信号随着抑制系数 k 的相应增大而减小，降低了固有的噪声抑制。另一方面，在较高频率下，沿着电缆的衰减将增大。

图 2 表示如何在预制的接头上制作传感器，用金属编织物或者金属箔紧紧的覆盖在半导体应力锥体上。

2、电感传感器

电感传感器可以设计成测量导体电流、屏蔽电流或者二者都测量。其原理图如图 3。

电感传感器的刻度系数对于“外部”和“内部”脉冲是相同的。对于低频 (ωL 比 Z'_m 和 Z 小)，而且杂散电容可以忽略，按照图 3 下部分所示，测得的信号由下式表示：

$$u_m = u_{PD} \cdot \frac{\omega L}{Z} \quad \text{或} \quad u_m = i_{PD} \omega L \quad (4)$$

电感也对应于局放信号的输出幅值，可以通过改变线圈的匝数调整。

对于高频，式(4)简化为：

$$u_m = i_{PD} Z'_m \quad (5)$$

其中， $Z'_m \ll Z$ 。

与等式(1)类似，因为等式(5)仅对高频有效，不能对电荷测量进行准积分。

电感传感器对磁场分量很灵敏，用无线电频率电流互感器 (RFCT) 可以检测局放电流，该互感器可以有磁性材料例如铁淦氧铁心，也可以没有。市场上买得到的罗哥夫斯基线圈传输阻抗太低，不能接受，这会导致灵敏度降低或者带宽受限制。带铁心的 RFCT

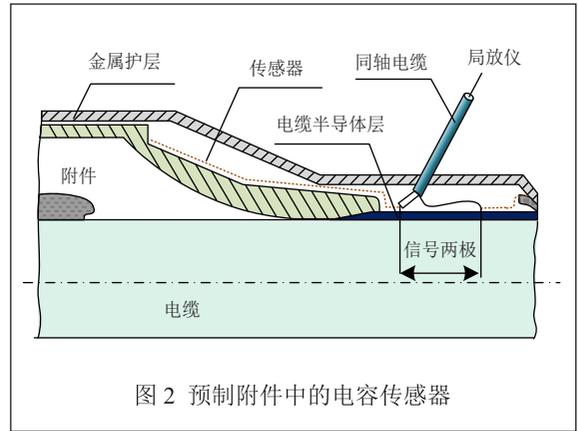


图 2 预制附件中的电容传感器

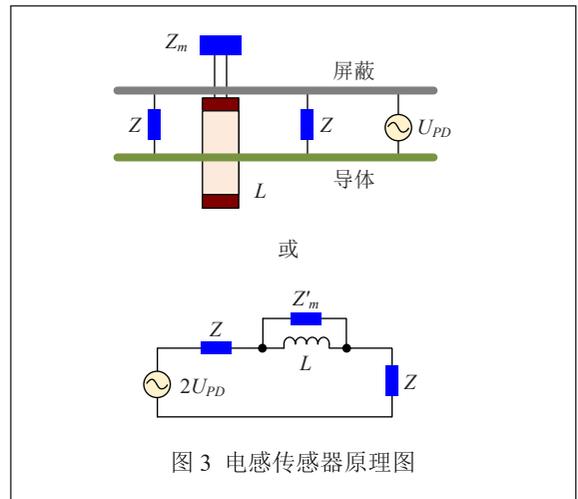


图 3 电感传感器原理图

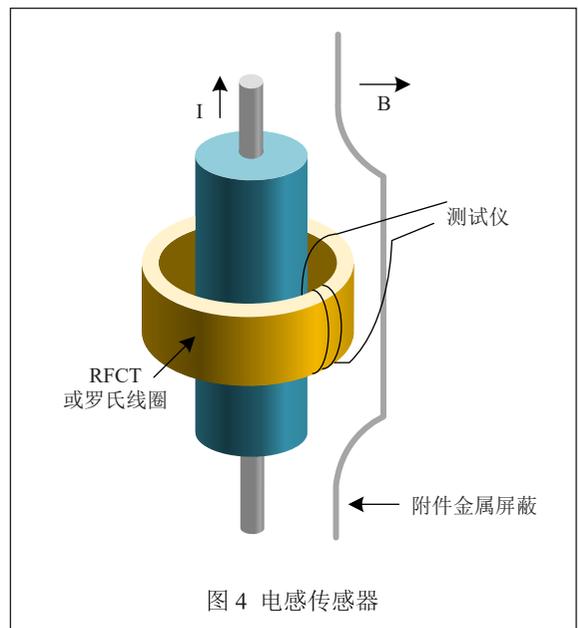


图 4 电感传感器

需要大直径的铁淦氧铁芯，这样可得到较好地灵敏度。传感器如图4所示。

3、方向耦合器

方向耦合器可以看作是电容传感器和电感传感器的组合，产生的两个信号是：

$$(1) u_{cap} + u_{ind}$$

$$(2) u_{cap} - u_{ind}$$

对于电容信号 u_{cap} ，给出一个足够大的 u_m 。两个信号分量 u_{cap} 和 u_{ind} 应有大致相同的值，以提供合成信号 (1) 和 (2) 之间很好的差值。

如果在一个电缆接头中使用两个方向传感器，则它可以鉴别脉冲是在接头内产生的，还是来自左边或者右边的反射波，从而可消除外来脉冲。另外，方向传感器的很宽的带宽可用来准确定位电缆附件中的局放源。

这种传感器示于图5，它一般位于电缆附件附近的半导体层，它由金属箔（电极）和在电极上面的绝缘层组成。传感器相当于电缆的第三圆周线，并且完全被电缆的外屏蔽覆盖，所以屏蔽了外界噪声。电极和电缆绝缘屏蔽之间的绝缘层用于避免电极和电缆的屏蔽短路。

三、局部放电传感器比较表及安装注意事项

以上介绍的三种局放传感器各具特点，为方便比较，将各传感器的实用附件类型、传感器信噪比、带宽等参数作汇总如表1。

传感器的安装事项如下：

首先要考虑的是有源传感器需要电源，对于短时间测量可以应用电池供电传感器，然而对于长时间测量，电源成为需要考虑的重要问题；

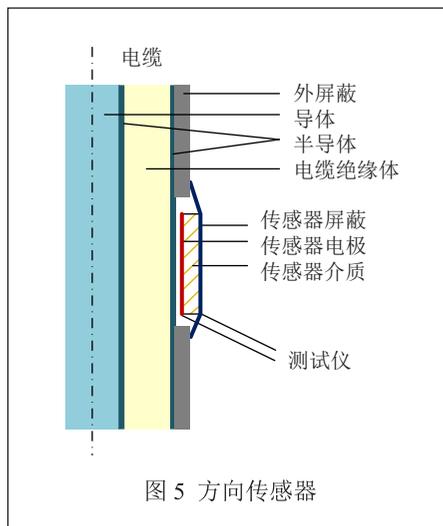


图5 方向传感器

其次，传感器使用位置不同，分终端和接头处安装。

对于终端：终端中所用的传感器一般围绕着终端的接地线，它可以合并地安装在终端之内，也可以固定在外面。需要与变电站的接地网络绝缘，并与带电部分保持要求的安全距离。

对于接头：具有三种情况，其一：直接可达到附件（安装在导管中/入口系统或者管道中）；其二：从表面可达到接地线路（不论是不是交叉连接）；其三：经

由测量引线可达到被并入的传感器。

四、总结

本文介绍了三种高压电缆局部放电测量传感器，即电容、电感、方向传感器，通过安装和应用这些传感器，预期可以从最基础的方面提高高压电缆局部放电检测水平。

目前新的电缆附件越来越普遍地配置用于诊断试验的传感器，除了方便地进行诊断试验以外，这也简化了在线测量和连续监测。

考虑到小型电子装置的迅速发展，可以预期在不远的将来看到把传感器集成在高压电缆及其附件中，形成所谓的“聪明电缆”、“聪明接头”或“聪明终端”。

表1 各种传感器汇总比较表

特性	电容	感应	方向耦合
代表符号			
定义	电场传感器	磁场传感器（电流敏感）	电感和电容耦合叠加
附件类型	所有附件	所有附件	接头（终端也可以）
每个附件的传感器数量	1 或 2	1 或 2	1 或 2
信噪比	高	中	中
要求的带宽	不要求	高频（*）	高频

（*）可用的低频与线圈结构有关

用户可以要求它根据访问或者程序在潜在故障的情况下及时地发送警示信号。

参考文献

- [1] 丁书国, 侯炳涛. 高压电缆接头局部放电检测方法分析 [J]. 通讯世界, 2017(18):132-133.
- [2] 任学龙. 高压电缆放电监测系统软件设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [3] 梁劭华. 高压电缆局部放电检测方法的探究 [J]. 电子测试, 2015(01):117-119.

Research on Partial Discharge Sensors for HV Cables

ZHENG Hai-bo¹, SU PING¹, CHANG Hai-qun¹, QIU Yue¹, CHENG Meng-ling¹, XIAO Yong-jun², WANG Tian-xing²

(1.State Grid Xiangyang Power Supply Company, Xiangyang 441021, China; 2.Di-On Electric, Beijing 100102, China)

Abstract: Partial discharge (PD) sensors are the most basic and important parts of PD measurement for HV cables and their accessories. Three kinds of HV cables PD sensors, namely capacitance, inductance and direction sensors, are introduced in this paper. The principles and structures of these sensors are introduced briefly as well. By installing and using these sensors, it is expected that the PD detection level of HV cables should be improved from the most basic aspect.

Key words: HV cables; partial discharge(PD); sensor; inductance sensor; capacitance sensor; direction sensor

作者简介

郑海波, 国网襄阳供电公司检修分公司, 高级技师, 从事输电线路运行与检修工作。

通讯地址: 湖北省襄阳市高新区麇战岗路 35 号国网襄阳供电公司检修分公司 (贺新年转郑海波)

邮编: 100142

邮箱: 710203822@qq.com

苏平, 国网襄阳供电公司检修分公司, 技师, 从事输电线路运行与检修工作。

常海群, 国网襄阳供电公司检修分公司, 高级技师, 从事输电线路运行与检修工作。

邱越, 国网襄阳供电公司检修分公司, 工程师, 从事输电线路运行与检修工作。

程梦凌, 国网襄阳供电公司检修分公司, 中级工, 从事输电线路运行与检修工作。

肖拥军, 北京国电迪扬电气设备有限公司, 高级工程师, 从事电力设备带电检测技术推广、引进工作。

汪天星, 北京国电迪扬电气设备有限公司, 高级工程师, 从事电力设备带电检测技术研究工作。