

# 电力电缆在线监测系统研究

罗先成

国网浙江省电力有限公司宁波供电公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 电力电缆在线监测系统研究聚焦于国内外研究现状、发展趋势及其关键技术分析。本文介绍了交联聚乙烯(XLPE)电缆的在线检测方法,包括直流分量法、损耗电流谐波分量法和局部放电法。系统设计涵盖信号取样模块和后台处理系统,关键技术涉及传感技术、数据传输技术和数据处理与分析技术。通过探讨旨在提高电力电缆监测的实时性和准确性,确保电力系统的安全稳定运行。

**关键词:** 电力电缆; 电力系统; 在线监测技术

## 引言

电力电缆在线监测系统作为保障电缆安全运行的关键工具,其研究与发展具有重要意义。本文首先概述了电力电缆在线监测的国内外研究现状,探讨了其发展趋势,并强调了研发此类系统的必要性,旨在为电力电缆的安全运行提供有效的监测手段,并推动相关技术的进一步发展。

### 1 电力电缆在线监测的国内外研究现状及发展趋势

#### 1.1 国际现状

在国外,关于电力电缆的检测研究起源相对较早,早在20世纪70年代初期,欧洲部分国家就开始逐渐产生了对电力电缆检测技术研究的雏形,同时由于检测技术设备的完善,它的用途已从简单的传统通讯手段逐渐过渡为现代化、智能化、多样化的通讯手段。当前阶段,西欧不少国家也开始大量资金投入通过配电监测设备对电力系统进行监控研究。但是,目前在经济、技术等领城,我国还是面临着和发达国家相比的很大差距,这类先进的监测技术及系统,与我国的电力系统的需求并不相符。

#### 1.2 国内现状

我国对于电力电缆监测系统的研究,首先是起步于上个世纪九十年代的,从探索时机上来说就滞后于发达国家二十年,面临着巨大的滞后性。而由于我国近些年来国家技术、经济等的迅速发展,再加上在计算机通讯、电气领域的广泛开展应用,目前我国不少科学研究单位和企业单位都已逐渐开展了对电力电缆在线监测终端设备的研究和开发,以实现能够全方位适应电力系统的应用与开发。

#### 1.3 发展趋势

随着信息技术的飞速发展,电力电缆在线监测系统的研究正朝着智能化的方向迈进。传统的基于B/S模型的

管理信息系统(MIS)虽然在企业管理中发挥了重要作用,但如今,MIS的功能已不仅仅局限于单纯的管理领城。通过与硬件设施的深度融合,MIS正在逐步实现电力单位监测工作全过程的统一化管理。在这一大背景下,电力电缆的监控技术也在逐步融入智能化元素,通过网络信息技术的不断革新,电力电缆在线监测系统正向着更高的自动化、智能化水平发展。这种趋势不仅提高了监测的效率和准确性,也为电力系统的安全稳定运行提供了更为坚实的保障<sup>[1]</sup>。

### 2 研究开发电力电缆在线监测系统的必要性

目前,我国已有的电力电缆装置通常都是通过通过对主绝缘的交流互联装置进行周期性的控制运行,并且采用了检测环境温度、电压变化等手段对电力电缆的工作情况进行监控,但存在着较大的技术缺陷,不仅花费了许多人力物力,因此产生很大的投资浪费,并且,鉴于目前的电力电缆检测体制是出现故障后及时修复、预防的检测为主的检测体系,这对于提升电力设备的安全经济运行质量而言,就无法实现了。电力电缆是电力系统的一个主要部分,是连接发电与供电网络的重要节点之一,因为现在,电力电缆技术已经应用于水电、煤炭、钢铁、石油化工以及重大资源项目开发与利用中,这就需要电力电缆公司的经营工作,需要保持健康、平稳、持续发展的社会经济。电力电缆的在线监测系统的研制和发展,对提高电力的安全和持久性有着很大作用及其重要性。

### 3 交联聚乙烯(XLPE)电缆在线检测方法

#### 3.1 直流分量法

直流分量法是一种由K.Sona等人提出的,针对交联聚乙烯(XLPE)电缆在线检测的有效方法。这个技术基于XLPE电缆对水树枝的"整流效应"。在交流电压的负零点五周期,由于水枝放电需要在导线绝缘层内加入较多

的负电性,在正零点五周中加入的正电荷也相对较小,因此可以中和部分负电性。但这样正负电荷的不均匀导致了在外加的压力影响下,负电性会在水枝的前端积聚而在屏蔽面偏移,类似于整流作用,因此可以在集成电路中产生数值仅有几纳安的直流分量。在现场检测时,应当小心对被检电缆屏蔽层和地面的干扰电压的冲击,由于这种干扰电压可以造成很大的误差。要降低这些误差,可通过旁路电压技术或在切换电容中并联电容器来抑制干扰电压。另外,数学计算技术如高速傅里叶变换(FFT)和数理统计技术等也被应用到大数据分析中,并把干扰流和水树枝流区别开来。直流分量法尤其适合于一些被测电缆屏蔽面和大地间绝缘电阻R值变化很大、容易测量的情形。但如果电流R因局部因素损坏或过小时,则可采用修补技术来增加其准确度,以便于进一步利用该技术检测XLPE线缆中的水树枝情况。

### 3.2 损耗电流谐波分量法

损耗电流谐波分量法是一种监测电力电缆绝缘状况的有效手段。它通过分析损耗电流中产生的谐波分量来评估由于水树枝引起老化的交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆。该方法基于监测电缆在正弦电压作用下损耗电流中的谐波分量。这些谐波分量是由于电缆绝缘层中可能存在的水树枝老化现象所产生的。随着电缆老化程度的增加,这些谐波分量的幅度会相应地增大。因此,通过分析损耗电流中的谐波分量,我们能够有效地获取关于XLPE电缆绝缘层水树枝老化程度的更多信息,从而实现了对电缆绝缘状况的在线监测和评估。

### 3.3 局部放电法

局部放电通常发生在电力电缆的断裂处或缺陷部位,在这些情况下发生的初期基本没有对电力电缆的绝缘能力产生影响,而一旦局部电池的放电状态长期存在,将对电力电缆的绝缘能力产生持续性损伤,从而缩短了电力电缆应用期限,严重影响了家庭用电安全。局部放电后,由于导线的所有系数并没有出现大范围的浮动情况,所以也无法通过观察诸如电流、电阻、介质损耗等参数来确定有没有发生过局部放电,它可以通过其所引起的电脉冲发生,或者通过各种用途的电子感应器检测其所引起的脉冲来进行局部放电。按照测量时所采用的传感器的不同,局部释能法又可分为脉冲电流法、原声测量法、超高频电子标签检验法、耦合法、铂电极接触测量法等<sup>[2]</sup>。

## 4 电力电缆在线监测系统设计

### 4.1 信号取样模块

(1) 直流信号取样:对于电力电缆中数量级特别小

(纳安级)的直流分量,信号采样系统中应用了高灵敏度的信号放大电路。这个电路可以显著增强微弱的直流讯号,使数据更容易地收集和管理。在使用直流分量法时,系统控制器的接触器也必须暂时切断。此时,相对地电流会通过一个经过精心设计的直流采样电阻,把相对微弱的电流信息转换为电压信息。采样时间一般设置在一分钟左右,以保证信息的精度和可靠性。在采样完毕后,系统控制器的接触器会重新闭合,从而使取样电路短路,保护了电缆铠装并直接接地,而没有对电缆的正常工作产生什么干扰。(2) 谐波信号取样:谐波信号取样模块的设计充分考虑了谐波电流的波动范围和变化特性。在实际应用中,采用了可调增益的运算放大器(运放)或用作前段数字的放大单元。这种运放能够根据谐波电流的实际大小调整放大倍数,确保信号在后续处理中不会失真或饱和。此外,模块还采用了二阶低通滤波器来处理信号,以滤除高频噪声和干扰,使得信号更能真实反映电力电缆的运行情况。(3) 局放信号取样:局部放电(局放)信号是电力电缆中常见的故障信号之一,具有高频特性。为了准确捕获这些信号,取样模块采用了特殊设计的高频电路。先通过滤波电路消除低频信号的干扰,确保局放信号能够被清晰地区分出来,再通过两级放大电路对局放信号进行放大,提高信号的测量效率和准确性。这种设计使得系统能够实时监测电缆中的局放活动,及时发现潜在故障并采取相应的措施进行处理。

### 4.2 后台处理系统

后台处理系统与系统总设计方式相同,均采用模块化设计。该系统包括以下三部分:(1) 系统软件是连接专家诊断模块和数据库的重要部分,其承担着信号读取、传输、综合处理的任务,是系统设计中的重要模块。系统软件负责从数据采集卡接收实时数据,并进行必要的预处理,如数据清洗、校准和格式转换等。还负责将处理后的数据发送给专家诊断模块进行进一步的分析 and 诊断。(2) 数据库软件实现了对直流分量、谐波分量、局放分量信号的存储,保证了数据的实时性和留存性,便于对历史数据的操作和使用,也有利于专家判读模块对电力电缆运行状况的判读。(3) 应用软件负责数据的显示和打印,使得监测系统便于操作和监控,系统还提供了对交流接触器开断和数据采集卡采集的控制接口,使系统的数据采集工作更加灵活、便捷<sup>[3]</sup>。

## 5 在线监测系统的关键技术分析

### 5.1 传感技术

传感技术在电力电缆在线监测系统发挥着重要的作

用,在这一关键技术中,选择合适的传感器能确保系统性能。传感器的主要职责是实时、准确地捕捉电缆在运行过程中的各种参数,为系统的后续分析提供可靠的数据支持。(1)温度传感器是监测电缆温度变化的常用设备,它们通常被安装在电缆表面或电缆接头处,用于评估电缆的运行状态,避免电缆因过热导致的绝缘老化甚至火灾。压力传感器则用于监测电缆周围环境的压力变化,特别是在海底电缆或地下电缆等特殊环境中,通过实时监测压力变化,可以及时发现并应对可能对电缆造成的损伤。(2)电流传感器被安装在电缆的进出口处,用于监测电缆中的电流变化,从而了解电缆的负载情况以及是否存在过载、短路等异常情况。而局部放电传感器则采用高频检测技术,实时监测电缆中的局部放电情况,一旦发现异常放电,能迅速发出警报,确保工作人员能够及时处理,避免潜在的安全隐患。在选择传感器时,需要综合考虑其测量参数、灵敏度、稳定性、抗干扰能力和适应环境的能力。高灵敏度的传感器能更准确地捕捉电缆的运行参数,而稳定性好的传感器则能确保长时间稳定运行。抗干扰能力强的传感器能够抵御外界干扰信号的影响,而适应环境能力强的传感器则能在各种复杂环境下正常工作。

### 5.2 数据传输技术

在电力电缆在线监测系统中,数据传输技术负责将传感器采集到的实时数据有效、可靠地传输到数据处理中心,以供后续分析和处理。(1)有线传输技术通过物理线路(如电缆、光纤等)将数据从传感器传输到数据处理中心。由于物理线路的存在,有线传输通常具有更高的抗干扰能力和数据传输速率,能够确保数据的准确性和实时性。但是,有线传输技术布线工作复杂且成本较高,特别是在电力电缆的监测环境中,由于环境复杂、布线困难,有线传输技术的实施可能面临诸多挑战。(2)无线传输技术,以安装灵活、维护方便等优点受到广泛关注。它利用无线信号(如Wi-Fi、ZigBee、LoRa等)将数据从传感器传输到数据处理中心,无需铺设物理线路,大大简化了布线工作。无线传输技术还具有扩展性强、易于部署等特点,适用于各种复杂环境的监测需求。但无线传输技术也有缺点,它可能受到环境因素的干扰,如电磁干扰、信号衰减等,导致数据传输

不稳定或丢失。所以,在选择无线传输技术时,需要充分考虑环境因素对数据传输的影响,并采取相应的措施来提高数据传输的稳定性和可靠性。

### 5.3 数据处理与分析技术

在电力电缆在线监测系统中,数据处理与分析技是实现系统高效运行和准确监测的核心。该技术涉及一系列复杂的步骤,从数据的预处理开始,包括对原始数据的清洗、过滤、补全、标准化和归一化,以确保后续分析的数据质量。随后,系统进入特征提取阶段,从预处理后的数据中提取出能够反映电缆运行状态的关键特征,如温度、电流、电压等物理参数及其统计特征。这些特征为后续的故障诊断和趋势预测提供了有力支持。故障诊断是数据处理与分析的核心环节,系统结合已有的故障知识和经验,采用阈值判断、模式识别、机器学习等方法对电缆的运行状态进行诊断,从而及时发现潜在故障并采取相应的修复措施。最后,趋势预测作为数据处理与分析的重要应用,系统基于历史数据和当前数据,利用时间序列分析、回归分析、神经网络等方法预测电缆未来的运行状态,为电力系统的预防性维护提供科学依据。为了提高故障检测的准确性和系统的智能化水平,电力电缆在线监测系统需要不断引入先进的数据处理算法和技术,以应对大规模、高维度数据和复杂多变的电缆运行环境。

### 结语

通过对电力电缆在线监测系统关键技术的深入探讨,我们深刻认识到其对于提高电力电缆安全运行水平的重要性。随着科技的进步,电力电缆在线监测技术将不断发展和完善,为电力系统的稳定运行提供更加可靠的保障。以后,我们期待更多的研究者投身于这一领域,共同推动电力电缆在线监测技术的创新与发展。

### 参考文献

- [1]黄玥,范春菊,冯伟.长距离电力电缆的距离保护研究[J].电力科学与技术学报,2023,38(3):166-173.
- [2]王晓兵,黄青松,赵东霞.电力电缆温度在线监测系统的设计及系统测试分析[J].科学技术创新,2023(8):201-204.
- [3]马康,崔宇阳,胡欣,等.电力系统中继电保护的二次回路在线监测及故障研究[J].模型世界,2023(28):18-20.