

# 10kV运行配电线路雷电感应过电压波形在线监测

马玉雷

国网馆陶县供电公司

**摘要:**在我国配电网中,10kV是最常用的供电线路,其运行环境复杂,雷击故障发生率较高。10kV线路受到雷电的直接作用和电磁感应作用,易产生过电压。过电压一旦超过设备的耐受极限,就会发生放电现象,从而损坏设备。为了提高电力系统供电可靠性,必须加强对10kV线路雷击过电压的监测,实时掌握雷电感应过电压的发展情况。基于这一需求,提出了基于高速数据采集和传输的10kV配电线路雷电感应过电压波形在线监测方案。方案包括前端采集单元、工频/高频信号调理单元、通信单元和后端存储单元。通过数据采集、无线传输和网络存储等技术对10kV线路雷电感应过电压进行实时监测。

**关键词:**10kV配电线路;雷电感应过电压;波形;在线监测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.12.067

## 引言

我国配电网10kV线路是最常见的供电线路,其雷击事故发生率较高,造成的经济损失巨大,严重影响了电力系统的供电可靠性。为准确掌握10kV线路雷击事故发展趋势,提高电力系统供电可靠性,必须加强对10kV线路雷击事故的监测。现有10kV线路雷电感应过电压在线监测方案大多基于传统电磁暂态仿真模型,虽然可以部分模拟雷击时配电线路的运行情况,但不能准确反映实际雷击情况。而且现有监测系统大多采用有线通信方式,系统接线复杂、设备多、布线困难。针对以上问题,本文提出了一种基于高速数据采集和传输的10kV线路雷电感应过电压波形在线监测方案。方案基于高速数据采集和传输技术实现10kV线路雷电感应过电压波形实时监测,实现数据采集、无线传输和网络存储一体化。通过高速数据采集单元实现对10kV配电线路的工频/高频信号的快速采集;通过工频/高频信号调理单元对采集到的信号进行调理处理;通过无线传输单元实现信号的远程传输;通过网络存储单元实现对监测数据进行存储。

方案采用高速数据采集、无线传输和网络存储等技术,不仅可以对10kV配电线路雷电感应过电压进行实时监测,而且可以了解配电线路雷电感应过电压的发展情况,为判断配电线路是否存在雷击隐患提供依据,为提高电力系统供电可靠性提供科学依据。

## 一、总体设计

随着我国电力系统的快速发展,电力设备不断增加,在运行中发生故障的概率也在不断提高。由于10kV配电线路绝缘水平相对较低,容易受到雷击故障的影响,导致线路跳闸率高。同时,随着人们生活水平的提高,人们对电能质量也提出了更高的要求。而10kV配电线路主要采用架空绝缘导线进行供电,其绝缘水平相对

较低,且多为单回架空线路,雷电感应过电压幅值较高。目前10kV配电线路防雷主要采用避雷器保护和使用双避雷器两种方式。双避雷器能够有效降低感应过电压幅值;而避雷器安装位置较高,且均处于工频区域内,因此当雷电流较大时会产生较高的工频过电压。随着智能电网技术的不断发展,在线监测系统被应用到电力系统中。在电力系统中对在线监测系统的需求主要包括:

- (1)能够对10kV配电线路雷击过电压进行实时监测;
  - (2)能够准确判断雷击故障点;
  - (3)能够对雷电冲击电流波形进行实时采集;
  - (4)能够对雷电冲击电流进行采样及存储;
  - (5)能够对工频电流进行采集及存储。
- 因此,提出了基于高速数据采集和传输技术的10kV配电线路雷电感应过电压在线监测方案,该方案具有数据采集速度快、通信接口丰富、存储容量大等优点,能够满足在线监测系统的需求。

为了实现10kV线路雷电感应过电压的在线监测,前端采集单元由高速AD/DA转换器、高速信号调理模块、低噪声放大器等组成。工频/高频信号调理单元对信号进行放大、滤波等预处理,并将其转换为0~5V的模拟信号,由通信单元进行传输。通信单元是整个系统的枢纽,包括无线收发模块和网络存储模块。无线收发模块将前端采集单元获取的数据发送给后端存储单元,并对数据进行实时存储。网络存储模块是整个系统的关键,可实现对数据的检索、访问和历史分析等功能。网络存储单元将前端采集单元和通信单元采集的数据进行本地存储,并通过有线或无线方式将数据传输到后端存储单元。

## 二、工作原理

雷击线路时,雷电流在线路上产生感应电压,经接地网返回大地。感应电压经过放大电路放大后,通过模数转换器(ADC)转换为数字信号,并传输到后端

存储单元。后端存储单元采用机械硬盘或固态硬盘进行数据存储，以适应不同的终端设备。高速数据采集单元通过高速网络与后端存储单元进行通信，将采集到的数据通过无线网络传输到后端存储单元。存储单元采用SAA7111A系列可擦写非易失性硬盘作为存储介质，具有极高的可靠性和稳定性。后端存储单元采用基于NandFlash技术的固态硬盘，具有读写速度快、容量大、功耗低、寿命长等优点，可以满足对不同类型和性能要求的终端设备的存储需求。高速数据采集单元主要由模数转换器、采样保持器、基准电压源、电源电路、温度传感器和高速网络组成。其中，模数转换器采用MSP430F149芯片，采样保持器采用ADC芯片AD7763。电源电路采用耐高压、大电流的线性稳压电源电路，可以满足系统对电源的要求。温度传感器采用高性能、低噪声的半导体热敏电阻（TLP679），在 $-20^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 范围内，能够对温度进行实时检测。温度传感器和基准电压源还能够保证系统的长期稳定工作。

设备采用非易失性硬盘作为存储介质，由于其具有可擦除特性，在经过多次擦写后，依然可以恢复到原始状态。因此，作为存储介质可以提高设备的可靠性，延长设备使用寿命。设备存储单元采用固态硬盘作为存储介质，固态硬盘具有高读写速度、大容量、低功耗、寿命长等优点。固态硬盘作为一种新型的存储介质，由于其读写速度快、容量大、功耗低等特点，已经被广泛应用于各种数据存储设备中。

### 三、数据采集单元

数据采集单元主要完成数据采集、调理和传输等功能，其中数据采集采用高速A/D转换器，通过ADC实现对信号的数字化，然后通过通信接口与后端存储单元进行实时交互。前端采集单元包括工频/高频信号调理单元和通信单元，两者之间采用串行通信方式，将前端采集单元获得的信号送入后端存储单元进行存储。

工频/高频信号调理单元的功能是将模拟信号转换为数字信号，其主要指标为采样速率、精度和噪声等。由于雷电感应过电压幅值较低，采用工频/高频信号调理电路进行调理。工频/高频信号调理电路主要由A/D转换器、共模电压抑制器、数字电位器和精密运算放大器等组成。

在实际应用中，工频/高频信号调理电路通常会受到噪声的干扰，造成A/D转换器值出现波动。因此需要采取措施减小噪声影响。首先应对A/D转换器进行优化，提高其精度；其次应选用性能较好的滤波器件，对A/D转换器进行滤波处理。最后，为了减小噪声干扰对数据采集的影响，可采用模拟滤波器和数字滤波器相结

合的方式对数据进行滤波。

前端采集单元是整个系统的核心，主要功能是实现对10kV配电网线路雷电感应过电压的采集，并对数据进行实时分析处理，同时通过无线网络将采集到的数据上传至后端存储单元。在数据采集过程中，先将采样率设为100kHz，然后使用精密运算放大器将采样率放大到500kHz以上。之后将运放输出端与A/D转换器相连，通过接口电路将A/D转换器获得的数据送入后端存储单元进行存储。

### 四、工频/高频信号调理单元

工频信号调理单元的主要功能是对采集单元返回的信号进行放大、滤波、AD转换以及调理后得到工频/高频信号，并通过Zigbee无线传输模块传输给后端存储单元。工频/高频信号调理单元主要由前置放大电路、前置滤波电路、AD转换电路及程控放大电路组成。

前置放大电路主要是将前端采集单元返回的微弱电压信号进行放大，提高调理后信号的信噪比；前置滤波电路主要是对滤波后的微弱电压信号进行进一步放大，抑制工频干扰，提高调理后信号的信噪比；AD转换电路是将调理后的工频/高频电压信号进行A/D转换，得到数字信号并传输给后端存储单元；程控放大电路主要是通过控制电阻分压来实现，确保放大倍数，提高调理后信号的信噪比。

### 五、通信单元

通信单元是整个系统的数据交换中心，负责将前端采集单元传输来的数据进行存储和转发，同时接收来自后端存储单元的数据并进行处理。通信单元包括无线传输单元和网络存储单元，无线传输单元负责将前端采集单元上传的数据转发给后端存储单元；网络存储单元负责将后端存储单元上传的数据进行存储和管理。无线传输模块采用无线传输芯片，其特点是工作稳定、传输速率高，具备低功耗、抗干扰性强等特点。无线传输模块通过串口与后端存储单元相连，利用无线串口实现与终端节点之间的通信。

终端节点由多个单模或多模天线组成，天线信号通过中心天线发射到远端，由中心天线接收并转发。根据监测距离、环境等因素选择合适的天线类型，通过无线串口将数据转发到中心节点。在通信过程中，要保证数据正确传输。

### 六、雷电感应过电压波形数据的上传

雷电感应过电压波形数据的上传和存储，通过数据采集终端将监测到的雷电感应过电压波形数据，实时传送到后端存储单元，经过数据分析处理后，将所需要的信息反馈给前端采集单元。在数据上传的过程中，为了

防止雷电流和雷电波对通讯线路的干扰,需对前端采集单元进行屏蔽。屏蔽后的传输信号可通过多个无线发射和接收装置实现。为了减少电磁波对传输信号的干扰,可采用双总线结构。在收发装置上使用双绞线连接,发送端与接收端均使用双绞线连接。在收发装置中,发送端与接收端之间使用双绞线进行连接,并使用天线将信号发射出去;在收发装置中,发送端与接收端之间使用双绞线进行连接,并使用天线将信号接收出去。

此外,为了避免数据传输过程中发生丢失现象,可采用多点通信技术。在收发装置上增加多个发送端口和多个接收端口,可通过无线通信方式实现数据的传输。当接收端收到发送端发来的数据包时,将该数据包转发给发送端。

### 七、后端存储单元

后端存储单元主要用于存储数据,数据传输到集中管理平台,对数据进行分析。前端采集单元采集到的信号经调理单元处理后,通过无线传输到后台服务器,由后台服务器进行数据分析处理。后台服务器对数据进行分析处理后,将结果发送至终端,由终端确认后开始上报。如果是采集到的雷电过电压波形有误,系统会发出告警。

后台服务器将处理结果发送至管理平台,对收到的异常信号进行分析判断,判断异常信号是否对系统造成影响,对有影响的异常信号进行报警,管理平台将处理结果发送至服务端存储单元。

后端存储单元采用分布式结构,分布在不同的地理位置,用户可以根据需求在不同的地方进行数据采集和存储。后端存储单元可以安装在任何地点,具有较强的扩展性。同时可以根据客户需求对系统进行升级、扩容等操作,满足客户不断提高的需求。

### 八、预警功能设计

预警功能包括两个方面,一方面是在发生雷击事故时能够及时发出预警,另一方面是能够在发生雷击事故前发出预警信号。当采集的数据超过预警阈值时,系统自动发出警报,提醒相关人员采取措施。

雷电感应过电压发生时,系统能够在短时间内发出报警信号。在发出报警信号的同时,后台数据库会自动记录报警时间;当雷电感应过电压达到设定的阈值时,系统会通过短信或电话的方式通知相关人员,并要求相关人员尽快采取措施进行处理。如超过设定的阈值时,系统自动将报警信息发送至后台;如果雷击事故发生前发出预警信号,则根据预警信息进行故障定位。如在系统中设置了“线路故障”“雷击事故”等故障类型时,系统会在运行过程中自动识别为雷击事故;当线路雷击

事故发生后发出预警信号时,系统会在系统数据库中记录相关事件信息。如线路故障导致跳闸、线路雷击导致线路跳闸等。在发生雷击事故后的一定时间内,系统将记录下相关事件信息并存储到数据库中。

### 九、系统安全设计

系统的安全设计主要体现在两个方面,一方面是系统的硬件设计,另一方面是系统的软件设计。系统硬件设计主要有抗干扰和抗电磁干扰、防振性、防误码性等安全设计。

#### 1. 抗干扰设计

由于雷电感应过电压波形监测系统是针对配电线路上的过电压进行监测,因此要求工频信号调理单元具有良好的抗干扰性能,从而保证采集数据的准确性。高频信号调理单元主要采用了集成运放,以确保其在强电磁干扰下仍能正常工作。工频信号调理单元采用了高性能的高频信号调理电路,并在电源供电上采取了隔离措施。

#### 2. 防振性

由于10kV配电线路是架空线路,因此在系统设计中需要考虑到线路的振动问题。系统采用了低电压、大电流、低功耗的电源供电方式,同时还配备了可调滤波器,以确保系统的稳定性和可靠性。此外,还在系统中增加了隔离变压器,以隔离传感器输入端和输出端之间的电磁干扰。

### 十、结论

为了满足10kV配电网运行要求,通过对雷电感应过电压监测的必要性进行分析,设计了一种10kV线路雷电感应过电压在线监测系统。该系统基于高速数据采集和传输技术,实时在线监测雷电感应过电压波形,通过对过电压波形的分析,得出过电压发生的区域和原因。结果表明:雷电感应过电压发生在避雷器两端和线路绝缘子串两端,且雷击点两侧的感应过电压幅值相差较大;通过监测10kV线路雷电感应过电压波形可以发现线路中可能存在的雷击缺陷,从而对设备绝缘状况进行评估,为采取有效措施防止雷击故障提供参考依据。

### 参考文献

- [1]杜林,李欣,司马文霞,席世友,杨庆,袁涛.110kV变电站过电压在线监测系统及其波形分析[J].高电压技术,2012,38(3):535-543.
- [2]樊亚东,于建立,詹清华,王建国,周蜜,蔡力,戚为.基于多阶FDTD雷电感应过电压计算新方法[J].电工技术学报,2015,30(12):336-343.
- [3]熊小伏,方伟阳,程韧俐,包博,于洋,陈洪云,沈智健.基于实时雷击信息的输电线路强送决策方法[J].电力系统保护与控制,2013,41(19):7-11.