

# 基于 ZigBee 的变电站设备灾害期水位监测报警装置

林天佑<sup>1</sup>, 叶旭灿<sup>1</sup>, 黄建波<sup>1</sup>, 章伟伟<sup>2</sup>

(1. 国网浙江省电力公司检修分公司 浙江 杭州 311232; 2. 浙江工业大学信息工程学院 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 传统水位监测只关注变电所整体水位, 实际上各配电装置安装位置地势各不相同, 且设备构架、大小尺寸也不尽相同, 因此在灾害期间受灾情况、采取的应对措施也不同。关注具体设备间隔的进水情况, 设计了一个安装于每个端子箱内的水位监测报警装置。采用压力硅传感器采集水位信息, 激光测距传感器获得报警水位高度, CC2530 具有的 8051 微控制器采集和处理数据, 选用 TI/Chipcon 公司的 CC2530 硬件解决方案和 Z-Stack 协议栈来实现一种 ZigBee 无线传感器网络将水位信息发送给监控中心。

**关键词:** 无线传感; ZigBee; 变电所; 水位监测; 激光测距

**Abstract:** The traditional water level detection only focuses on the whole water level of substation. But actually, the installation position of distribution devices is quite different as well as their architectures and sizes. Focusing on the water circumstance of specific device, one kind of water level detecting and warning equipment which is installed on each terminal box is designed. Pressure silicon sensor is used to collect the information of water level and laser ranging sensor is used to obtain the height of alarm water level. The inner 8051 microcontroller of CC2530 is used to collect and process the data. And ZigBee wireless sensor is proposed to transmit the water level information to the monitoring center, which is based on CC2530 hardware solution and Z-Stack protocol stack of TI/Chipcon Company.

**Key words:** wireless sensor; ZigBee; substation; water level detection; laser ranging

中图分类号: TM763 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2015)02-0059-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.02.014

供相关信息与预警, 保证电网安全。

## 0 引言

每年台风期间, 多个地区的变电所均会遭受洪涝灾害。如果水位到达安装位置最低的开关端子箱端子排处, 则必须立即拉停相关线路间隔及该间隔的全部交、直流电源, 否则将造成配电装置失控、二次回路短路、所用交直流电流短路接地等严重后果, 甚至导致全所失电。但由于水位较深, 人身安全受威胁, 运行人员无法实时到现场巡视, 也就无法掌握设备受灾情况。即使运行人员到现场开箱检查, 也可能造成检查时雨水进箱, 加重灾情。

因此调度在灾害期间无法实时掌握是否需要停电、何时停电, 对电网运行存在巨大的安全隐患。

针对上述分析, 基于 ZigBee 无线通信技术设计了一种适用于变电设备受灾期间的水位监测报警装置, 在设备受灾时代替人工实时监测设备进水情况。当水位逼近设备一、二次带电部位安全距离时, 能及时报警并提供相应数据, 从而为调度运行的决策提

## 1 水位监测报警系统总体设计

传统水位监测只关注变电所整体水位, 实际上各配电装置安装位置地势各不相同, 且设备构架、大小尺寸也不尽相同, 因此在灾害期间受灾情况、采取的应对措施也不同。关注具体设备间隔的进水情况, 准备研制安装于设备内的水位监测报警装置, 对每个受灾装置提供独立的警报与监测数据。

由于变电所单个间隔内端子箱安装位置最低, 因此目标为研制能够通用于各类端子箱的水位监测报警装置。对于各种类型的端子箱, 以及端子排不同的安装高度, 该装置作简单调整后均能适用。

为减少由此装置增加的维护工作, 本装置设计自带工作电源, 且可移动安装。当公司发布灾害预警响应时, 才将本装置安装到间隔的端子箱内, 响应结束后即可拆除。日常无需维护, 安装时不涉及运行设备。

装置带通讯模块,在水位报警启动后能实时将水位数据传送至设立在主控室的通讯主机,让运行人员对各设备受淹情况实时掌握,从而为调度决策提供有力支撑,将灾害对电网的影响降到最小。

系统总体拓扑如图 1 所示,水位监测报警终端采集处理数据,当水位达到一定位置的时候,报警电路启动,并通过 ZigBee 网络向远方监控中心发送实时水位信息。

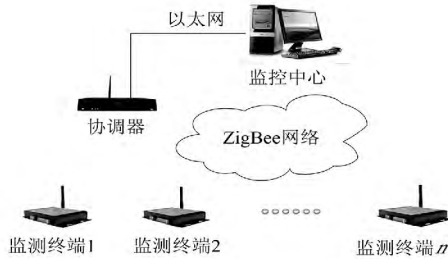


图 1 系统总体拓扑

## 2 通信系统

水位监测终端和远方监控中心通过 ZigBee 无线传感网络通信。ZigBee 是一种近距离、低复杂度、低功耗、低数据率、低成本的双向无线通信技术<sup>[1]</sup>。它适用于变电所内的短距离通信,而传输水位信息所需要的实时性不是很高(1 min 采集一次数据足够),并且 ZigBee 的低功耗使得可以采用电池实现供电。

ZigBee 网络中有 3 种类型的节点:协调器(Coordinator)、路由器(Router)、终端(EndDevice)。ZigBee 网络有自组织能力,由协调器自动管理网络中的所有节点,路由器和终端加入协调器组织的网络。协调器为每个加入网络的节点分配一个地址,并对整个网络的地址进行管理;网络中的终端和路由器节点可通过路由器节点进行数据路由,延长通信距离或通过链路迂回提高通信可靠性<sup>[2]</sup>。

ZigBee 通信的有效距离一般考虑不大于 1 km,对于应用在变电所中,考虑到电磁干扰、遮挡、设备功耗以及通信可靠性等因素,其有效距离可按 100 m 考虑。因此,必须合理安排安装该设备到变电所的端子箱内。

选用 TI/Chipcon 公司的 CC2530 硬件解决方案和 Z-Stack 协议栈来实现所述无线传感器网络。CC2530 是一款完全支持 ZigBee 2007 协议的高性能

SOC(片上系统)芯片,整合了 ZigBee 射频(RF)、收发器、增强型 8051 微控制器和存储器,是 ZigBee 网络的理想单芯片解决方案。ZigBee 网络协调器的电路设计如图 2 所示。

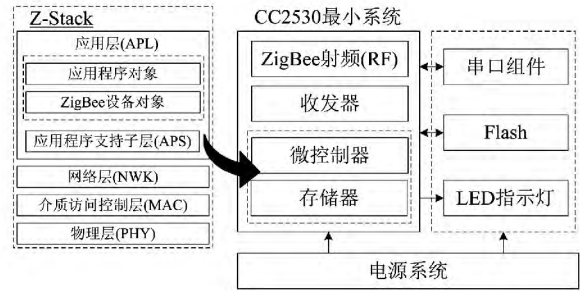


图 2 ZigBee 网络协调器

协调器是 ZigBee 网络的中枢,负责网络的维护,工作量大,为防止数据溢出,对存储器进行了扩展。LED 指示灯用于指示设备工作状态。串口组件用于与系统服务器交换数据,如此,可在服务器的可视窗口中查看各设备的拓扑情况、工作状态及历史记录等,方便人机交互。

## 3 水位监测终端设计

水位监测终端主要由水位传感器、激光测距传感器、微控制器和 ZigBee 无线通信模块组成,结构如图 3 所示。液位传感器选用投入式压力硅传感器<sup>[3,4]</sup>,输出 4~20 mA 电流;选用 TI/Chipcon 公司的 CC2530 硬件解决方案和 Z-Stack 协议栈来实现所述无线传感器网络,而 CC2530 具有优良的性能和具有代码预取功能的低功耗 8051 微控制器内核可以用来采集和处理数据;测距采用激光测距传感器。

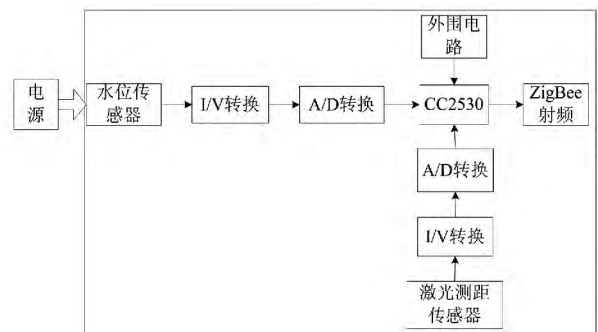


图 3 监测终端硬件结构图

水位传感器采集水位高度  $a$ ,激光测距传感器测量端子箱内排线到箱底的距离  $b$  作为报警水位,当水位高度达到报警水位的时候向远方监控中心发送报警信息。水位测量示意如图 4 所示。

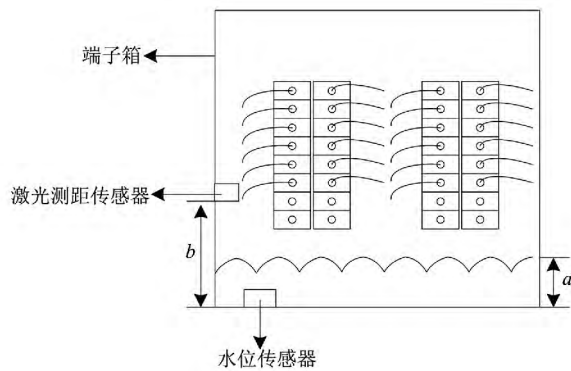


图 4 水位监测示意图

### 3.1 投入式压力液位传感器

投入式液位传感器的原理<sup>[5]</sup> (如图 5 所示):当液位传感器投入到被测液体中时,传感器迎液面受到的压力公式为

$$P = \rho gh + P_0$$

式中  $P$  为传感器迎液面所受压力; $\rho$  为被测液体密度; $g$  为当地重力加速度; $P_0$  为液面上大气压; $h$  为传感器投入液体的深度。

同时通过导气不锈钢将液体的压力引入到传感器的正压腔,再将液面上的大气压  $P_0$  与传感器的负压腔相连,以抵消传感器背面的  $P_0$ ,使传感器测得压力为  $\rho gh$ ,显然通过测取压力  $P$ ,可以得到液位深度。

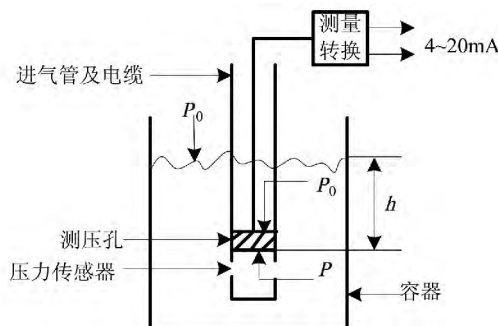


图 5 压力式水位监测原理

投入式压力传感器具有稳定性好、固态结构可靠性高、安装方便、结构简单、经济耐用等特点。考虑到变电所有较大的电磁干扰,这就要求压力传感器不仅要过压能力强,而且要求机械密封可靠、防松动,传感器自身的引线、引脚以及外导线都应加以电磁屏蔽,并将屏蔽良好接地。

### 3.2 激光测距传感器

考虑到变电所内端子箱的大小不同以及箱内排线到箱底的距离也不一定,无法统一设定报警水位。因此采用激光测距传感器来获得最低的排线到端子箱底的距离作为报警水位。

排线到箱底的距离一般只有几十厘米,测量的距离比较短,要求的精度相对较高,故选择高精度短

距离测量<sup>[6]</sup>的激光测距传感器。

利用激光传输时间来测量距离的基本原理是通过测量激光往返目标所需时间来确定目标距离。

### 3.3 微控制器

CC2530<sup>[7,8]</sup> 是用于 2.4 GHz IEEE 802.15.5/ZigBee/RF4CE 应用的一个真正的片上系统 (SoC) 解决方案。它能够以非常低的总的材料成本建立强大的网络节点。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能,业界标准的增强型 8051CPU,系统内可编程闪存,8 KB RAM 和许多其他强大的功能。CC2530 有 2 个支持多种串行通信协议的强大 USART,可以用来分别和液位传感器和激光测距传感器通信。而 CC2530 具有的 8051 微控制器内核可以用来采集和处理数据。

### 3.4 电源

为减少由此装置增加的维护工作,本装置设计自带工作电源,且可移动安装。设计中的 CC2530 具有低功耗的特点,且本装置只在灾害来临时安装于变电所端子箱内,灾害过后即拆除,蓄电池的供电完全可以满足工作需求。

### 3.5 软件设计

激光测距传感器将测量的报警水位传输给 CC2530,水位传感器将采集的水位信息传输给 CC2530,通过 CC2530 处理数据,当水位达到报警水位的时候,发送报警信息给监控中心,主程序流程图如图 6 所示。

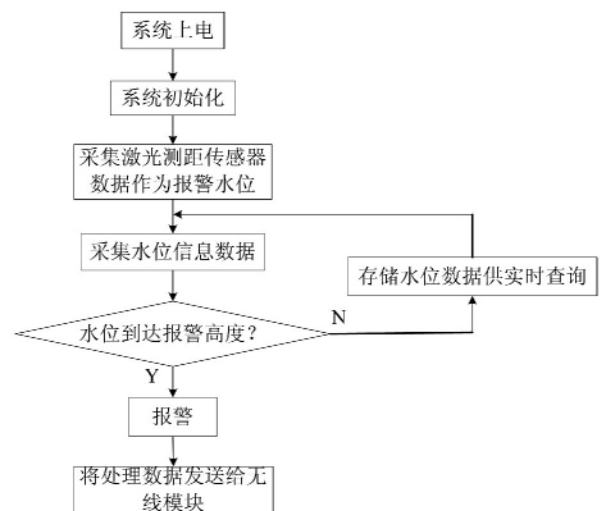


图 6 主程序程序框图

## 4 结语

传统的水位监测只能监测变电所整体的水位,而不能关注具体的设备进水情况,所提出的水位监

测报警终端对安装位置最低的端子箱进行实时水位监测。同时 在监控终端增加一个激光测距模块解决了不同端子箱中排线最低位置不同造成的报警水位不同的问题。采用 ZigBee 技术将水位信息实时传输到远方监控中心,有效保护灾害期电网安全。

参考文献

[1] 任秀丽. ZigBee 无线通信协议实现技术的研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(6): 143-145.

[2] 丁国兴,高琴. ZigBee 无线传感器网络的端子箱环境监测系统[J]. 现代建筑电气, 2013, 4(9): 45-51.

[3] 安全,范瑞琪. 常用水位传感器的比较和选择[J]. 水利信息化, 2014(3): 52-54, 60.

[4] 刘亮,邓世建,胡媛媛. 给排水系统中水位检测技术的研究[J]. 工矿自动化, 2011, 37(12): 21-24.

[5] 张光昭,洪添胜,刘志壮,等. 一种压力式液位仪的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(10): 207-208, 41.

[6] 常凤筠,崔旭东. 基于激光测距传感器的铁轨测距系统[J]. 应用激光, 2005, 25(6): 374-376.

[7] 章伟聪,俞新武,李忠诚. 基于 CC2530 和 ZigBee 协议栈设计无线网络传感器节点[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(7): 184-187.

[8] 李俊斌,胡永忠. 基于 CC2530 的 ZigBee 通信网络的应用设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(16): 108-111.

作者简介:

林天佑(1984) 主要研究方向为电力系统自动化等;  
 叶旭灿(1986) 主要研究方向为电力系统检修及运行等;  
 黄建波(1982) 主要研究方向为电力系统检修及运行等;  
 章伟伟(1991) 硕士研究生,主要研究方向为微网通信等。  
 (收稿日期:2014-11-14)



(上接第 25 页)

从表 11 和表 12 可知,在雷电流反击近区杆塔时,一旦发生反击击穿,就会产生较高的雷电侵入波过电压,即使装配了母线避雷器,也会对一次设备主绝缘造成破坏。

5 结 论

基于上述 500 kV 敞开式变电站雷电侵入波过电压分析,得出结论如下:①出线避雷器是防治雷电侵入波的第一道屏障,对于保障站内设备具有重要作用,必须按规程配置并保证其正常运行;②变电站运行方式对雷电侵入过电压幅值有较大影响,一般而言,运行一次设备越少侵入波过电压幅值越大;③在单母线单变压器单出线运行方式下,敞开式变电站承受雷电侵入过电压的能力较弱,尤其是在 1 号杆塔遭受雷电绕击和反击并造成绝缘子串击穿的情况下;④为防止变电站近区落雷造成的雷电侵入波过电压,变电站近区线路在设计和施工上应该严格执行设计和施工标准,尽量采用地线负保护角设计,不宜使用高塔和大跨越,避免近区杆塔位于大坡度山腰和山顶,切实降低杆塔接地电阻;⑤对于因实际条件限制无法将最大绕击侵入电流和反击击穿电流限制在合理范围内的变电站,或者结构简单运行设备较少的变电站,应该在母线配置站用避雷器进行雷击侵入波防治。

参考文献

[1] 袁兆祥,周洪伟. 500 kV HGIS 变电站雷电侵入波的计算分析[J]. 高电压技术, 2007, 33(6): 71-76.

[2] 朱传华,刘念,田冰冰,等. 基于 Bergeron 模型的 500 kV 变电站雷击过电压计算[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 66-69.

[3] 孔繁钦,徐鹏. 雷电侵入波对变电站设备的影响及防范措施[J]. 华中电力, 2011, 24(6): 64-68.

[4] 万磊,宋倩,徐晓娜,等. 特高压 GIS 变电站母线不装避雷器可行性研究[J]. 高电压技术, 2012, 38(12): 3331-3337.

[5] 赵晨惠,褚炳上. 变电站快速暂态过电压的分析[J]. 广东电力, 2011, 24(4): 1-5.

[6] 李东坡,张明理. 氧化锌避雷器在 500 kV GIS 变电站中的防雷作用[J]. 东北电力技术, 2013, (2): 19-22.

[7] 高飞,陈维江,刘之方,等. 1 000 kV 交流输电系统串补站的雷电侵入波保护[J]. 高电压技术, 2010, 36(9): 2199-2205.

[8] 陈水明,王威,于化鹏,等. 计及工频电压的特高压变电站雷电侵入波过电压分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(8): 1852-1857.

[9] 韩永霞,卢毓欣,陈辉祥,等. ±800 kV 换流站的雷电侵入波过电压仿真分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(1): 218-223.

[10] 吴文辉,曹祥麟. 电力系统电磁暂态计算与 EMTP 应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.

作者简介:

刘守豹(1983),博士,工程师,从事过电压及工程电磁场计算方面的工作。  
 (收稿日期:2014-10-14)