

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2013.03.006

无线传感器网络在变电站安全监测中的应用

杨俊杰

(上海电力学院 电子与信息工程学院, 上海 200090)

摘要: 分析了无人值守变电站安全监测系统中存在的不足, 在综合考虑变电站设备安全防范和安全运行问题的基础上, 提出了一种基于无线传感器网络的综合安全监测系统, 设计了基于红外温度传感器的电气设备温度监测子系统和基于激光围栏的周界激光安全防范子系统, 以及变电站安全监测信息管理子系统, 实现了将电气设备的运行安全监测信息和周界安全防范信息集成于统一的信息管理平台之中的设计目标。

关键词: 无线传感网络; 综合安全监测; 激光安全防范

中图分类号: TP212.9; TP274.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-4729(2013)03-0225-05

Application of Wireless Sensor Network in Substation Safety Monitoring

YANG Junjie

(School of Electronic and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The disadvantages of the substation safety monitoring system are analyzed. While the electrical equipment safety and operation safety are taken into consideration, an integrated safety monitoring system is proposed. The electrical equipment temperature monitoring subsystem based on infrared temperature sensors and the security protection subsystem based on laser barrier technology are designed. In order to realize the design of the unified management, a framework of monitoring information management subsystem is also proposed.

Key words: wireless sensor network; integrated safety monitoring; laser security

近年来,随着电网自动化和信息化水平的不断提高,变电站大多采用无人值守的方式,这对变电站的安全问题提出了更高的要求。变电站的安全问题主要包括两大类。一类是变电站电气设备的安全运行问题,变电站的高压开关柜、变压器、蓄电池等都是重要的电气设备。开关柜的母线接

点、高压电缆接头等部位常因老化或接触电阻过大产生大量的热量,使相邻的绝缘部件性能劣化,甚至击穿而造成事故。据统计,电力系统发生事故原因中有相当一部分与发热问题有关。另一类是变电站设备的安全防范问题,变电站向无人值守方向发展,一方面提高了电网的自动化水平,但同

收稿日期: 2013-03-20

通讯作者简介: 杨俊杰(1977-),男,博士,教授,福建漳州人。主要研究方向为电力通信技术、电力系统设备状态监测等。E-mail: iamyj@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金(61202369);上海市科技创新行动计划地方院校能力建设项目(10110502200, 11510500900);上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ176, 13YZ102);上海市教育委员会重点学科建设项目(J51303)。

时也会给变电站电力设备的安全防范带来隐患.近年来,涉电犯罪呈恶性发展之势,危害程度日趋严重,犯罪分子翻入变电站的围墙盗窃铜芯电缆、设备配件等案件时有发生,导致变电站大小停电事故不断,给国民经济和人民生活带来了严重影响和重大损失.为了保障无人值守数字化变电站的安全,变电站也配备了一些安全监测系统.在这些安全监测系统中,安全监测信息的传输基本上是基于现场总线或工业以太网,这种有线的通信方式不仅使得系统的构建成本高,而且由于监测点的分散,使得通信网络的布线受到很大的限制.

近年来,无线传感器网络技术的发展为变电站监测信息传输网络的建设提供了一种较为理想的解决方案^[1].本文以变电站的安全运行和防范为对象,提出了一种基于无线传感器网络的变电站综合安全监测方案.

1 无线传感器网络应用分析

无线传感器网络是集数据采集、处理及通信功能于一体的分布式自组织网络,由在一定区域内的多个具有信息感知、数据处理、通信功能的网络节点组成^[2].由于具有传输可靠、组网方便等特性,无线传感器网络已被广泛使用.

在变电站自动化系统中,数据通信对实时性和可靠性有一定要求.此外,因为高压电会产生很强的电磁场,对无线电波干扰很大,所以需要选择适当频率的无线网络^[3,4].表1列出了目前几种无线通信技术的性能比较.由表1可知,ZigBee无线传感器网络具有低功耗、低成本、高容量和高安全性,因此能够满足变电站自动化系统的要求^[4].

表1 几种无线网络性能的比较

传输方式	IEEE标准	系统成本	电池寿命	网络节点/个	网络扩展
ZigBee	802.15.4	低	数年	65 000	自动扩展
Bluetooth	802.15.1	较高	数天	7	无
Wi-Fi	802.11.x	高	数小时	30	无

传输方式	传输范围/m	传输率/kB/s	频段/GHz	安全性
ZigBee	100	250	2.4/0.868/0.916	128 bit AES
Bluetooth	10~100	1 000	2.4	64bit, 128bit
Wi-Fi	300	11 000	2.4	SSID

变电站自动化系统对通信的可靠性具有较高要求,在变电站的强电磁干扰下,通信系统的可靠性问题尤为突出.因此,在实际的应用中,不仅要提高无线通信的差错处理能力,还要设计健壮的网络结构以提高数据传输的可靠性.无线传感器网络可以通过采用IEEE802.15.4标准来有效降低无线传输的误码率^[5],更重要的是无线传感器网络本身具有较好的健壮性.当无线信道通信质量下降导致某些节点无法与中心节点通信时,数据可通过相邻节点转发,即使网络中某些节点出现故障,整个网络的正常运行也不会受到影响,因此网络的可靠性大大提高.

无线传感器网络还具有较高的安全性.由于无线信号在传输过程中易受到干扰和监听,通信的安全问题也是使用无线传感器网络需要解决的关键问题.在无线传感网中,数据分组以逐跳转发的方式进行传输,网络中通信节点只需要与相邻的节点进行通信,发射功率无需过大,通信信号的覆盖范围可通过网络节点的布置而调整.无线传感器网络的这种特性使得变电站内的无线信号在站外不易被监听,能够较好保证通信的安全性.

2 变电站综合安全监测系统方案

近年来,为了保障无人值守数字化变电站的安全,变电站也配备了SCADA、DTS、GIS等一些安全监测系统,并发挥了很大的作用.然而这些系统仍存在着一些缺陷.首先,目前的变电站安全监测系统基本上是针对某些电气设备或某一区域的局部监测,而没有覆盖全站所有设备和整体区域,同时这些安全运行监测系统与设备安全防范系统彼此独立,没能形成一体化的安全监测体系,不利于变电站安全的整体综合监测;其次,目前变电站的安全监测系统尚缺乏统一的安全监测信息管理与决策平台,每个变电站之间甚至在变电站内部已形成一座座的信息孤岛,远不能满足智能电网建设对无人值守变电站安全运行的要求;最后,目前的变电站安全运行监测系统中,安全监测信息的传输基本上是基于现场总线或工业以太网,有线的通信方式不仅使得系统的构建成本高,而且由于布线的限制,信息网络覆盖范围有限.

基于以上缺陷,本文将变电站设备安全防范

和运行问题进行综合考虑,提出一种综合安全监测系统方案:针对变电站设备的运行安全问题,采用红外测温技术对变电站设备的运行状态进行在线监测;针对变电站设备的安全防范问题,采用激光防盗技术实现变电站周界入侵的智能报警。为了实现运行设备状态信息与入侵报警信息的实时传送,系统采用 ZigBee 无线传感器自组网构建安全监测信息传输网络。

变电站综合安全监测系统结构如图 1 所示。

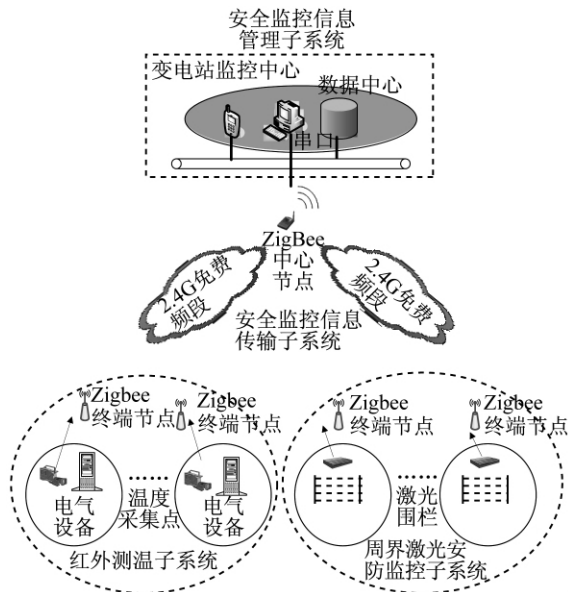


图 1 变电站综合安全监测系统结构

变电站综合安全监测系统由 4 个子系统组成。

(1) 红外测温子系统 以温度作为电气设备运行状态的评判依据,采用红外测温技术对变电站内电气设备的运行温度进行实时监测,并将各个监测点的温度数据通过 ZigBee 无线传感器网络发送至监测中心。

(2) 周界激光监测子系统 采用激光入侵检测技术实时监测变电站周界安全,当有人入侵时产生报警吓阻入侵者,从而有效地保障变电站设备的安全。

(3) 信息传输子系统 采用 ZigBee 无线传感器网络技术实现变电站电力设备状态信息与入侵报警信息的实时传输。

(4) 信息管理子系统 负责对数据接收终端进行工作参数设定,接收从系统中各个 ZigBee 网络终端上传的设备状态数据,并对数据进行保存、分析和管理等;测温数据和激光安全防范监测信

息可在系统数据库中作长期存储记录,供随时查询显示。

2.1 红外测温子系统

温度是检测电气设备运行状态的一项非常重要的指标,通过对电气设备运行状态的温度进行实时监测,便可以掌握电力设备的运行状态。本文所提出的红外测温子系统结构如图 2 所示。该子系统由红外温度传感器,以及温度报警处理模块和 ZigBee 通信模块组成。

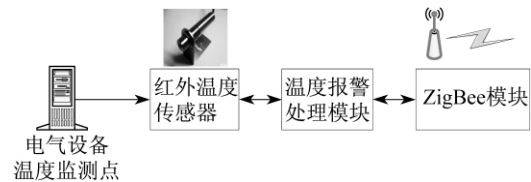


图 2 红外测温子系统结构

红外温度传感器是测温子系统的重要组成部分,其工作原理是接收被测目标发出的红外辐射以确定其温度,由于无需与被测物体进行接触,因此可以用于测量有腐蚀性的、高压带电的物体。

温度报警处理模块的功能是采集红外温度传感器所测得的温度数据,对比运行设备的温度,做出报警判断。如果所测得的电气设备温度高于正常工作温度,一方面温度报警处理模块将通过 ZigBee 无线通信模块向安全监控信息管理子系统发出报警信息,另一方面温度报警处理模块也可以通过 ZigBee 无线通信模块接收来自安全监控信息管理子系统发出的控制与设置命令,设置所监测电气设备的正常工作温度范围等参数值。

2.2 周界激光安全防范监测子系统

周界激光安全防范监测子系统的功能是对变电站的周界进行安全防范,当有人翻越变电站围墙入侵时便产生报警信号吓阻入侵者,从而有效地保障了变电站设备的安全。为了克服目前红外安全防范报警技术容易受天气影响而产生误报警的缺陷,本文采用可靠的激光入侵检测技术构建周界安防监测子系统。激光由于具有良好的单色性和方向性,其光信号功率密度较大,激光光线的穿透力强,不受太阳光、电磁波、灯光和雨雾等恶劣天气的干扰,因此与红外入侵检测技术相比,激光入侵检测技术具有更高的可靠性^[6]。

激光入侵检测的工作原理如图 3 所示。在变

电站周界(如围墙)上设置多个激光发射器/激光接收器组,激光发射器发射出多道平行的不可见激光射线,与激光接收器形成光回路,从而组成环形激光围栏。激光围栏的每个单元相距 2~60 m,沿竖杆方向包含 4 对平行的激光发射器/激光接收器组。也就是说,每个单元包含 4 束平行的激光。考虑拟检测入侵物体的高度一般大于 20 cm,平行激光束的间距选定为 20 cm。每个单元由激光器、激光接收器,以及检测电路组成。检测电路通过检测激光接收器的输出信号变化便可以判断是否有报警信号。

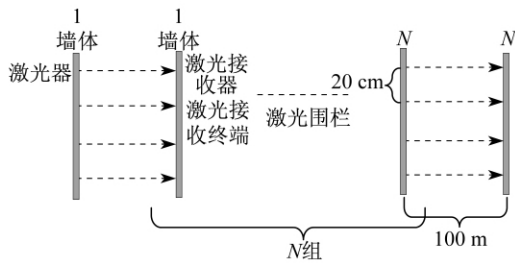


图3 激光围栏结构示意图

当入侵者试图穿过警戒区域的激光围栏进入变电站时,会隔断激光射线回路,激光围栏的接收检测电路检测到入侵后,启动报警单元进行声光报警,并将报警信息通过 ZigBee 无线传感器网络发送到变电站监测中心,由位于监测中心的变电站安全监测信息管理子系统对报警信息进行统一管理。

2.3 安全监测信息管理子系统

变电站安全监测信息管理子系统位于变电站监测中心主机上,它的主要功能是对红外测温系统和周界激光安全防范监测子系统的报警信息进行集中管理,同时也可对各个子系统的工作参数进行过程设定。变电站安全监测信息管理子系统通过 ZigBee 无线传感器网络接收报警信息,并使用 SQL Server 数据库对报警信息进行保存,以供后续查询、分析和管理之用。安全监测信息管理子系统的结构如图 4 所示。该子系统共包括操作员管理、运行数据管理、遥控操作、系统设置等 4 个模块。

通过变电站安全监测信息管理子系统,实现了将电气设备的运行安全监测信息和周界安全防范信息集成于统一的信息管理平台之中,可以及

时了解设备的工作状态,为设备缺陷的早期发现、故障诊断和变电站安全防范提供重要的信息支撑。

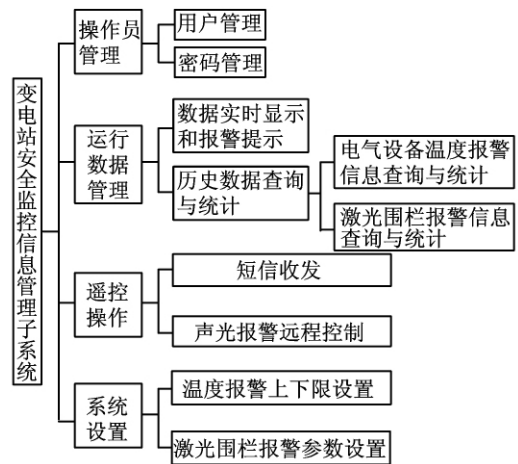


图4 变电站安全监测信息管理子系统

3 安全监测系统信息传输网络结构

由于变电站安全防范和设备状态检测的分散性,因此变电站综合安全监测系统需要采用灵活高效的无线通信技术来构建监测信息传输网络,本文采用 ZigBee 无线自组传感器网络来实现变电站的安全监测。它是基于 IEEE802.15.4 标准的 ZigBee 无线通信,常采用免费的 2.4 GHz 信道,将多个节点信息集中于传感器网络的中心协调器。

在本系统中,监测对象为变电站电气设备和变电站周界,这些监测点分布在变电站各个位置,且与监测中心有一定的距离,因而要求基于无线传感器网络的安全监测信息传输网络结构应该具有如下特性:首先,网络需要具备较高的可靠性,且电力系统工作的稳定性也要求各种监测信息的传输必需具有很高的可靠性;其次,网络容量要具有可扩展性,变电站的设备和周界不仅监测点多、监测点位置分散,而且根据监测的需要,监测点可能会不断变化,这些需求决定了基于无线传感器网络的安全监测信息传输网络应具有较大的网络容量和较好的可扩展性。

基于以上分析,本系统所构建的无线传感器网络宜采用 Mesh 网络拓扑结构,其结构组成如图 5 所示。由图 5 可知,基于无线传感器网络的安全监测信息传输网络包含 3 种网络节点,即: ZigBee 终端节点; ZigBee 路由器; ZigBee 网络协调器。 ZigBee 终端节点位于监测点,负责报警信息上传

和控制信息下传,按 ZigBee 节点功能定义, ZigBee 终端节点可以是具有完全功能的设备(FFD),也可以是仅具有简单功能的设备(RFD). 由于网络的覆盖范围较大,在安全监测信息传输网络中需要设置若干个 ZigBee 路由器,用于中继转发各种信息. ZigBee Mesh 网络需要有一个网络协调器来管理若干子节点,一个网络协调器最多可管理 254 个子节点,同时网络协调器还可由上一层网络节点管理,最多可组成 65 000 个节点的大网^[7]. 在本系统所构建的网络中, ZigBee 网络协调器位于变电站监测中心的安全监测信息管理子系统一侧.

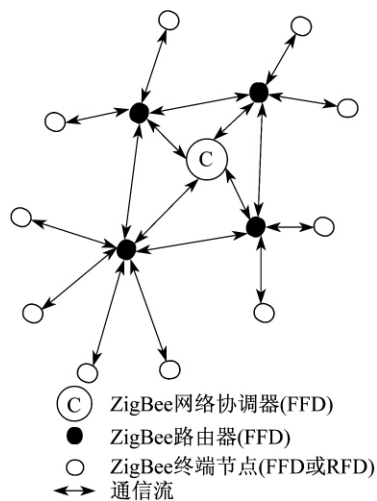


图 5 ZigBee 网络拓扑模型

本系统中的 ZigBee 无线传感器网络最初是由协调器启动并建立的. 网络协调器通过信道扫描,选择网络中的可用空闲信道,同时设定各种网络拓扑参数. 协调器启动后,通信节点可申请加入网络. 网络建成后,网络协调器将处于休眠状态,如有报警信息上传,则被唤醒处于工作状态. 网络普通节点的工作状态与协调器节点的工作状态相类似. ZigBee 传感器网络节点的这种运行方式能够有效降低节点的运行功耗.

4 结 语

本文分析了变电站安全监测系统对通信网络的特殊需求,提出将 ZigBee 无线传感器网络应用于变电站综合监测信息传输网络的解决方案. 结合变电站对一体化安全监测的需要,提出了一种基于无线传感器网络的变电站综合安全监测系统实施方案. 针对变电站设备的运行安全问题,采用红外测温技术对变电站设备运行状态进行在线监测;针对变电站设备的安全防范问题,采用激光入侵检测方法构建变电站周界安全防范监测子系统. 采用 ZigBee 无线传感器网络构建安全监测信息传输网络,并使用 Mesh 网络拓扑结构,提高安全监测信息传输网络的可靠性. 基于无线传感器网络的变电站综合安全监测系统可对变电站内电气设备的安全运行和变电站周界的安全情况进行实时监测,及时发现变电站运行的故障,并通过声音、手机短信等多种方式进行报警. 该系统可对无人值守的变电站进行推广,以提高变电站的安全性和可靠性.

参考文献:

- [1] 辛颖,谢光忠,蒋亚东. 基于 ZigBee 协议的温度湿度无线传感器网络[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(7): 82-88.
- [2] 张瑞华,袁东风. 嵌入式无线传感器网络节点的设计[J]. 计算机工程, 2007, 33(6): 1-3.
- [3] 纪金水. ZigBee 无线传感器网络技术在工业自动化监测中的应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2007(3): 71-76.
- [4] 颜俊,刘沛,苗世洪. 无线自组网络在变电站自动化中的应用[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(4): 72-74.
- [5] 耿萌,于宏毅,张效义. ZigBee 路由协议分析与性能评估[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(26): 116-120.
- [6] 邱亮南. 试论主动红外和激光入侵探测器[J]. 中国安防, 2008(3): 58-62.
- [7] ZigBee Alliance. ZigBee Specification [S]. ZigBee Alliance, 2004: 221.

(编辑 吴寿林)