

一种用于电气作业的智能保护装置

许强¹ 庞军¹ 杨帆¹ 李孟东² 殷艳华³ 王世鹏⁴

(1. 国网四川省电力公司天府新区供电公司 成都 610039; 2. 四川省电力公司内江电力公司 内江 641000;

3. 成都恒锐智科数字技术有限公司 成都 610041; 4. 浙江大学光电科学与工程学院 杭州 310058)

摘要: 传统电气作业现场保护设施缺乏智能化的监管和预警。基于主动红外侵入探测、热释红外和超声波测距、ZigBee 无线通信等电路设计了一种模块化的智能保护装置, 整套装置具有预报告警和越线告警功能。热释红外与超声波实现对作业区域外来因素误入的预判, 主动红外探测构成越线报警, 结合 RFID 技术, 工作人员可实时管理作业现场。提出的方案符合实时性控制要求, 装置能可靠、有效地保护电气作业区域人员安全, 可实现现场作业保护装置的智能化。

关键词: 主动红外侵入探测; 热释红外; 超声波测距; 预报告警; 智能保护装置

中图分类号: TP23 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Intelligent protection device used for electric operation

Xu Qiang¹ Pang Jun¹ Yang Fan¹ Li Mengdong² Yin Yanhua³ Wang Shipeng⁴

(1. State Grid Sichuan Province Tianfu Power Supply Company, Chengdu 610039, China;

2. State Grid Sichuan Province Neijiang Power Supply Company, Neijiang 641000, China;

3. Chengdu BrainPower Digital Technology Company Limited, Chengdu 610041, China;

4. School of Optoelectronic Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Aiming at the problems of the traditional electric operation site protection facilities lack of intelligent supervision and early warning, this article designed an intelligent protection device for electrical operation based on general technology such as active infrared intrusion detection, pyro electric infrared, ultrasonic ranging and ZigBee wireless communication. It contains multiple independent measurement terminals and a host. The independent measurement is used to construct the virtual boundary based on active infrared intrusion detection technology; meanwhile, the host is used for the personnel management and system parameter setting. This protection device provides functions for predictability alarm and crossing-line alarm. By using temperature measurement of pyro electric infrared, distance detection of ultrasonic, the devices anticipate the external factors of working area. With RFID technology, the staff can manage the working area in real-time. This scheme accords with the requirement of the real time control of electrical test equipment, and could be able to protect the safety of electrical working area reliably and effectively. It is of great significance for the realization of the intelligent protection system in field operation.

Keywords: active infrared intrusion detection; pyro electric infrared; ultrasonic; predictability alarm; intelligent protection device

0 引言

随着智能电网的发展和推进, 电气设备不断更新, 应用数量逐渐增多, 电气作业量大幅增加。“安全”无疑是电气现场作业首先考虑的问题, 虽然“工作票”等各项安全措施和管理制度不断完善, 但是由于电压等级、作业地点、作业环境等差异, 造成电气作业具有不确定性, 极易出现安全问

题, 阻碍了正常作业, 并且严重威胁到工作人员的生命安全^[1-2]。因此, 必须加强安全技术管理, 采取安全防范措施, 以保证电气作业的安全。

电气作业中人身触电伤亡事故有较大的比例, 是重要的电气试验点。误入带电间隔影响电气作业是人身触电伤亡事故中常见的类型, 要想保证作业人员的人身安全, 就必须要求相关人员进行作业时, 与设备或作业平台保持一

定的安全操作距离。通常,在作业前会在工作现场设置围栏,并在围栏上要悬挂“禁止入内”等警示标志,并有专职人员进行现场安全监护^[3]。然而,现场作业耗时耗力,传统的安全监管效率低,作业环境复杂,围栏、警示标志等不够完整和醒目,往往不能及时制止作业人员误闯工作区域,从而导致触电安全事故发生^[4-5]。因此,有效的、全面的电气作业保护装置对保障作业人员生命安全至关重要。

本文提出一种用于电气作业的智能保护装置设计方案,并研制了一套样机。基于热释红外对温度检测、超声波对距离探测和主动红外对射非接触保护的原理,实现了对“误闯”作业现场人员的探测,配合声、光报警措施,及时告警相关人员。结合单片机和 RFID (radio frequency identification) 技术可以让工作人员实时管理作业现场。测试结果表明本设计方案符合电气试验保护装置的实时性要求,具有可靠性高、保护范围大、使用方便、能及时预警等特点,能有效保障作业人员人身安全。

1 方案设计

为实现作业区域保护装置的智能化,全面地有效地防止外部因素误入作业区域,采用预报和越线两级报警方式实现对作业区域误入的告警。当作业区域外的人员快要靠近作业区域时并且当距离到达作业区域边界的告警值时,启动第一级误入预报告警,声、光报警装置启动,作业区域

内部仍然工作;当误闯人员继续靠近并且穿过虚拟边界时,此时已经严重威胁到了作业区域的安全,除声、光报警装置动作外,相关试验电源控制系统应动作,切除电源。

保护装置示意图如图 1 所示,装置设计为由分布的、独立的 4 个测控桩和一个独立的主机构成。其中,测控桩的超声波报警测距、热释红外检测、红外对射功能用来检测误闯入作业区的相关人员;主机用于对各个模块功能配置、身份识别和状态显示;声光报警用于告警和提示相关危险。

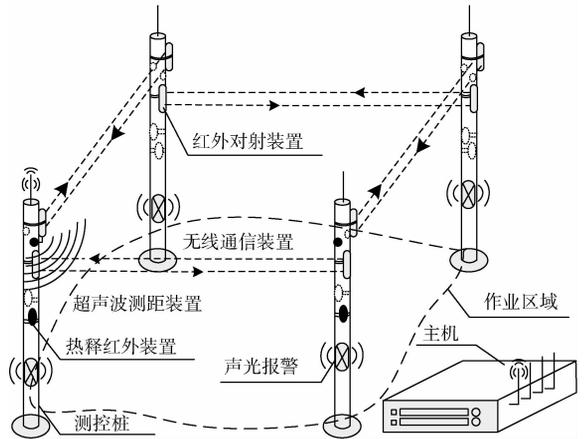


图 1 保护装置示意图

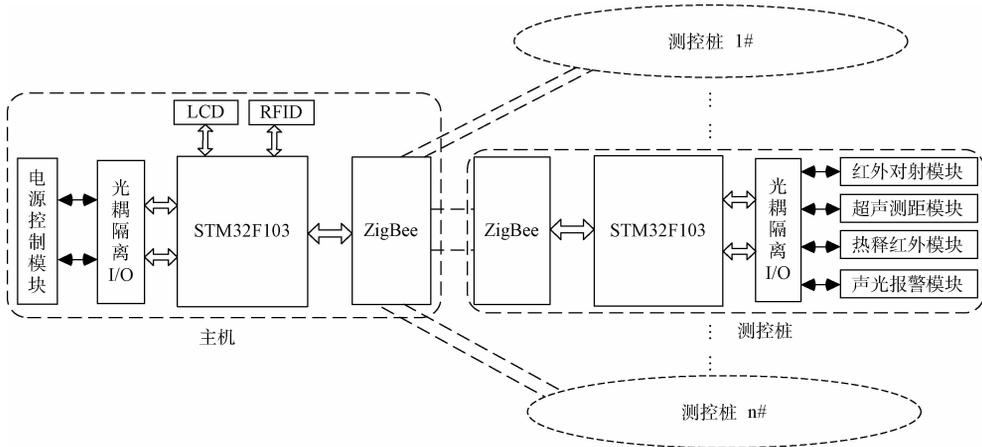


图 2 系统结构

系统结构如图 2 所示,整个系统基于 STM32F103 单片机为控制核心,由多个测控桩和一个主机构成。测控桩具有超声测距、热释红外、红外对射等功能,各个测控桩之间通过红外对射的方式形成虚拟的“栅栏”,构成作业区域。主机通过 RFID 的方式实现作业人员管理功能,通过 ZigBee 无线通信方式将测控桩的数据上传到主机,综合处理和判断是否发生作业人员误闯工作区域,继而启用声、光、电报警。

2 硬件设计

2.1 红外对射电路

近年来由于红外线对射在报警和安防中广泛使用,从单一封闭式、被动型安防模式向多元化、综合化、电控化以及红外报警处理方向发展。目前应用最多的是主动红外对射总线制报警主机的方式,这种方式具有技术成熟、可靠性高、易扩展、操作简便、经济性好等优点^[6-7]。

图 3 所示为主动式红外对射电路结构示意图,采用红外投光器和红外受光器构成作业区域虚拟边界,红外投光器一直发射红外线,红外受光器一直接收红外线。当有人穿过虚拟边界时,将阻挡对射的红外线,受光器不会接收到信号,经过电路对该中断信号处理后送至控制器,识别出越线,从而告警。

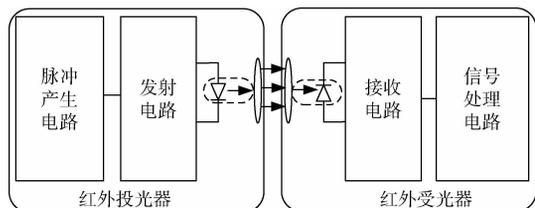


图 3 主动式红外对射电路结构

图 4 所示为使用的二光束主动红外对射模块 ABT-80,红外受光器可以接受最大 80 m 的投光器发射的红外射线,其自动环境识别电路能实现越线的判定,减少误报率,测试稳定性良好。采用继电器无源触点输出,正常状态时,继电器触点常开,当探测为“遮挡”时,常开触点闭合。



图 4 主动红外对射模块

控制系统可根据该输出特性判断是否越线,进行相应操作。

2.2 超声波测距电路

超声波测距是一种利用声波特性、电子计数、光电开关相结合来实现非接触式距离测量的方法。利用超声波检测距离的设计和计算处理比较容易,在测量精度方面也能达到日常使用要求,易做到实时控制^[8-9]。

为对作业区域的误闯人员及时告警,采用如图 5 和 6 所示的超声波发射与信号处理电路进行距离探测,对靠近作业区域边界的人员进行预判和报警。采用 8 位单片机 EM78P153 作为超声测距控制器,使用 I²C 总线(P50,P67 接口)通信,启动超声发射电路、识别反射的超声中断信号并计算距离。该单片机具有 1 K×13 位片内 ROM、11 个 I/O 引脚、2 组双向 I/O 口、8 位实时时钟和计数器、可编程选择信号源和触发边缘、在 5 V/4 MHz 下工作的电流为 1.3 mA,满足超低功耗的应用设计。

利用通信芯片 MAX232 增大输出超声波的功率,该芯片是针对标准串口设计的单电源电平转换芯片,使用 +5 V 单电源供电实现 ±10 V 电平输出。EM78P153 按照 40 kHz 的频率控制 MAX232 的输出(T1OUT,T2OUT),从而驱动超声波振头发射超声。

超声波接受和处理电路采用 4 通道运放 LMC6034 依次构成第一级放大电路、滤波电路、第二级放大电路和比较电路,最后驱动一个 NPN 三极管。一旦接收到反射的超声波,经过信号处理电路最后输出一个下降沿跳变的中断信号通知 EM78P153 单片机实现定时测算距离。

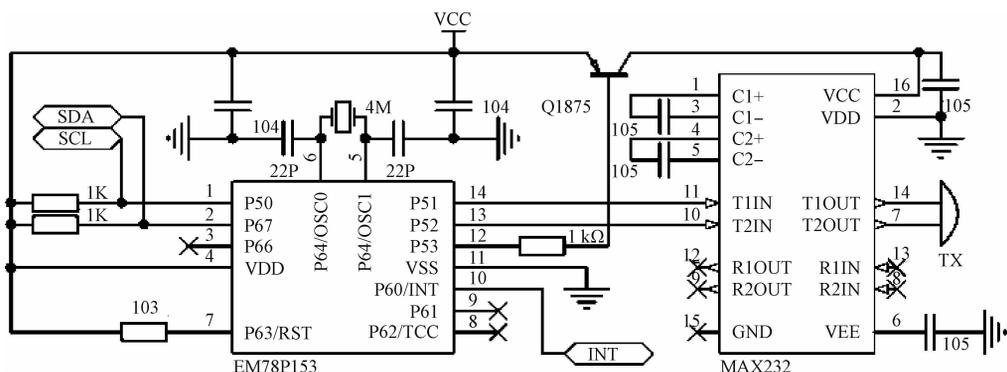


图 5 超声波发射和控制电路

2.3 热释红外电路

由于超声波模块只能测量距离,不能判断是否是人员靠近作业区域边界,当其他设施靠近边界且距离达到设定值时将出现误报。因此,基于热释红外感应原理^[10]来判断是否是人员靠近,结合超声波测距模块实时检测误闯人员的距离,实现预判和报警^[11]。

图 7 所示为采用 BISS001 芯片的热释红外检测电路,该芯片内部集成了运算放大器、电压比较器、状态控制器、延迟时间定时器以及封锁时间定时器等电路,是一款较高

性能的传感信号处理专用集成芯片。利用 PIR RE200B 释电人体红外传感器检测人体移动引起的红外热能,并将热能变化转换为电压量,具有灵敏度高,可靠性强,超低电压工作特点,配合菲涅尔光学透镜能实现 4~5 m 距离、4 方向 180°大角度探测。

芯片 1 脚与开关可以控制选择芯片的工作模式。输出延迟时间 Tx 由 5 脚和 6 脚接的 R₇ 和 C₇ 的大小调整,触发封锁时间 Ti 由 3 脚和 4 脚接的 R₈ 和 C₈ 的大小调整。当人员靠近其作业区域时,PIR RE200B 传感器输出的电

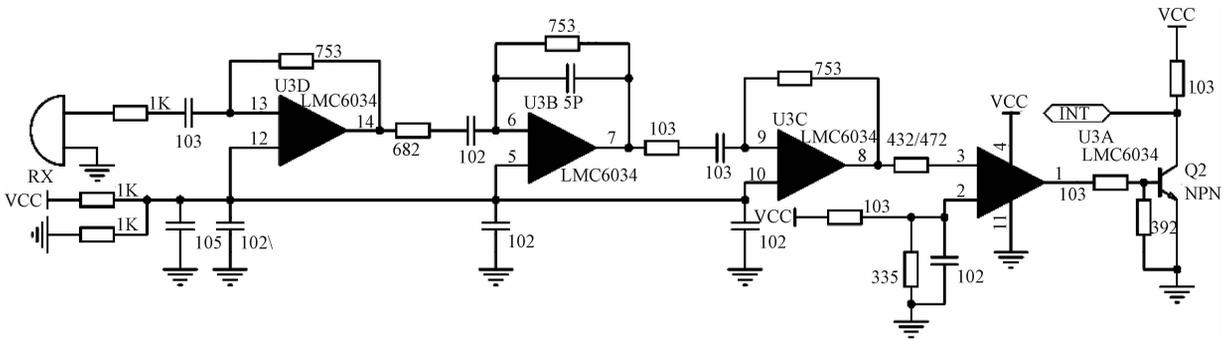


图 6 超声波接受和信号处理电路

压信号经芯片的 14 管脚经行第一级放大,通过电容耦合输入到芯片的 13 管脚经行第二级放大,再经由芯片内部电压比较器 COP1 和 COP2 构成的双向鉴幅器处理后,检出有效触发信号,电路输出 TTL 高电平,人离开感应范围则自动延时关闭高电平,输出低电平。控制系统只需检测是否有高电平,即可判断人员是否靠近作业区域。

2.4 ZigBee 通信

ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通讯技术。主要在距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输以及典型的有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输的应用^[12-13]。智能保护装置的各测控桩与主机之间宜采用 ZigBee 无线通信方式进行数据传输。

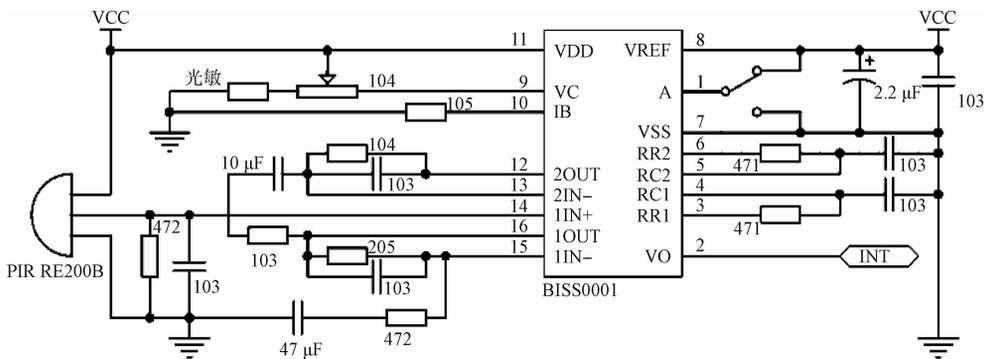


图 7 热释红外检测电路

图 8 所示为采用主控芯片为 CC2430 的 ZigBee 外围电路,CC2430 是首款符合 ZigBee 标准的 2.4 GHz 系统单芯片 SOC,是高度整合的系统级射频收发器,芯片上集成了 ZigBee 射频收发器、内存、8050 微控制器、ADC、DMA。它具有 128 KB 的可编程 Flash 和 8 KB 的 RAM,1 个 16 位计时器,2 个 8 位定时器和 21 个可编程 I/O 引脚,无需其他的处理器,使系统结构变得简单,使用少量外围器件即可工作^[14]。

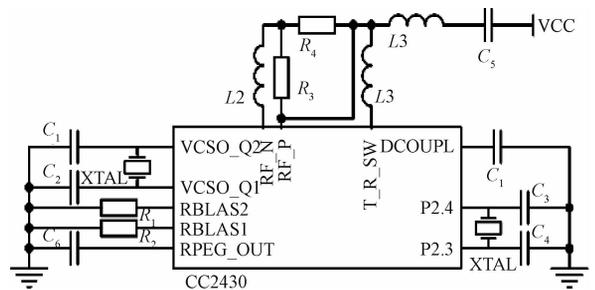


图 8 CC2430 外围电路

通过移植 Z-stack 协议栈的 SampleApp 工程文件,控制系统的串口与 ZigBee 实现数据全透明传输,使用方便,传输稳定,可靠性强。主机与各个测控桩构成星型网络结构,主机作为协调器(Coordinator),测控桩作为终端设备(End-Device),无需路由功能。

2.5 控制系统

控制系统的功能主要包括人员管理、状态检测和声光报警。为对作业人员进行管理,采用 RFID 技术进行人机

交互。若要进入工作区域则需要经过主机通过 RFID 对该人员进行刷卡识别,从而禁用报警功能,退出作业区域时再次启用报警功能。通过采集各个检测功能模块的输出状态信息,控制系统综合判断后决定是否启用声光报警功能。

人员管理功能采用 MF RC522 非接触式读写卡芯

片^[15-16],集成了在 13.56 MHz 下所有类型的被动非接触式通信方式和协议,支持的主机通信接口包括 SPI、I²C、UART,本电路使用 SPI 与 STM32F103 进行通信。通过 I/O 接口发送切断信号,使用 ULN2003 驱动 DS2Y-DC5V 继电器,控制继电器闭合,声光报警电源接通,实现报警的功能。测控桩和主机均采用的 STM32F103 单片机控制系统^[17],包括 OLED 显示、RC522 RFID 通信、ZigBee CC2430 无线通信、ULN2003 继电器驱动等功能。控制系统通过检测各个功能模块输出的开关状态量完成测控桩预报和越线探测功能。

3 软件设计

用测控桩确定好作业区域并给系统上电,红外对射、热释红外检测、超声波检测等模块等待主机控制命令。主机液晶屏显示进入试验,通过 RFID 射频卡启用测控桩的各个功能。程序流程如图 9 所示。系统上电,初始化各个模块功能,然后进入“靠近报警”和“越线报警”。

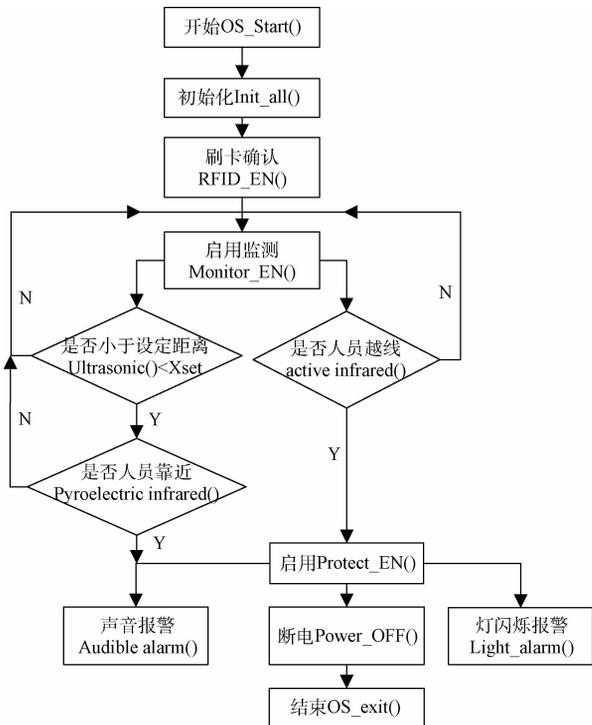


图 9 系统程序流程

当热释红外检测模块和超声波测距模块检测到有人人员靠近时,测控桩发送人员靠近信息到主机,主机液晶屏显示靠近报警并启用声音报警模块。当红外对射模块检测到有人“越线”时,测控桩将该“越线”方位信息发送给主机,主机液晶屏显示“越线”报警并启用声光报警模块,作业区域内的低压试验电源断电。在故障排查后,等待工作人员确认工作环境正常,主机刷卡确认整个系统恢复工作。

4 样机测试

研制的智能保护装置样机如图 10、11 所示。当超声波测距模块和热释红外模块检测到人员靠近后,声报警模块发警铃声报警,当人员远离后停止报警;若人员继续靠近,经过红外对射模块投光器构成的虚拟边界时,光报警模块闪烁发光,控制系统的空气开关跳闸断开,试验区域低压供电断电。



图 10 主机实物图



图 11 测控桩实物图

测试结果如表 1 所示。超声波测距模块最大的有效检测距离为 3 m,热释红外模块最大检测距离为 7 m,红外对射模块可构建最大 30 m 的虚拟边界。低压试验电源控制系统和声光报警系统均能正常工作。经过测试,整个系统稳定性好,可靠性强,系统各功能配合正常,达到预期设计目的。

表 1 测试结果

测试功能	测试结果
热释红外模块	最远 7 m
超声测距模块	最远 3 m
红外对射模块	最远 30 m
低压电源切断模块	220 V 10 A
ZigBee 模块	能实现数据通信
RFID 射频模块	能使能设备工作
声报警模块	有(警笛)
光报警模块	有(旋转闪烁)

5 结 论

随着电力电子技术的快速发展,自动化和智能化装置在各行各业大量应用。从发展趋势来看,电气作业保护装置将会朝着智能化的方向发展。针对传统“机械围栏式”电气作业现场保护措施的不足,通过采用模块化的设计思路,创新提出了一种用于电气作业的智能保护装置设计方案。结合超声波测距模块、热释红外感应模块和主动式红外对射模块实现了“误闯”人员靠近识别、预报告警和“越线”告警。基于STM32单片机、ZigBee无线通信和RFID技术,装置可实时管理作业现场。提出的方案符合电气试验保护装置的实时性控制要求,能可靠、有效地保护电气作业区域人员安全,对于实现现场作业保护装置的智能化有借鉴意义。

参考文献

- [1] 黄扬洁. 风险管理在电力安全生产管理中的应用[J]. 电力安全技术, 2009, 11(2):7-9.
- [2] 李其书. 电力安全管理中常见的问题及建议[J]. 电力安全技术, 2010, 12(4):48-49.
- [3] 杨悦群. 电力作业人身风险量化评估模型[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [4] 葛晨皎, 顾金, 钱忠. 10 kV 配电线路带电作业危险点分析及预控策略[J]. 华东电力, 2012, 40(11): 2098-2100.
- [5] 李清奇. 电力施工作业现场人身安全风险控制[J]. 电力安全技术, 2009, 11(4):34-37.
- [6] 杨旺严. 主动红外入侵探测系统研究与设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [7] 栗鹏辉, 王萧吟, 杨炳吉, 等. 红外对射的无线发射新型智能红外报警系统[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2015, 34(3):428-432.
- [8] 荣少巍. 基于STM32的实收实发超声波检测系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(9):54-58.
- [9] 张利, 孙首兵, 黄业伟, 等. 智能轮椅避障系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 35(12): 1018-1024.
- [10] 程卫东, 董永贵. 利用热释电红外传感器探测人体运动特征[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(5): 1020-1023.
- [11] ZHANG L, LI J, YANG Y, et al. Research on human identity recognition based on pyroelectric infrared information[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(7):1571-1577.
- [12] 焦尚彬, 宋丹, 张青, 等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿监测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(5):436-442.
- [13] 郭艳青, 刘征宇, 杨善春, 等. ZigBee 与航迹推算混合定位的电动轮椅导航控制系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(7):1076-1082.
- [14] 刘龙, 李钟慎. 教学楼智能化节能控制系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12):1876-1882.
- [15] 孔英会, 傅向苑, 陈智雄, 等. 基于 RFID 和 ZigBee 的接地线在线监测系统设计[J]. 电测与仪表, 2015, 52(16):1-5.
- [16] 刘茂旭, 何怡刚, 邓芳明, 等. 融合 RFID 的无线湿度传感器节点设计研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8):1171-1178.
- [17] 王东, 莫先. 基于 STM32 和 HC-SR501 智能家居的智能照明系统设计[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版, 2016, 30(6):135-142.

作者简介

许强,高级工程师,主要研究方向为电力系统安全运行、自动化及其设备、现场安全管理、电子测量与控制。
E-mail:1434381192@qq.com