

基于 MSP430F169 的远程智能故障监测器

肖振锋¹,袁荣湘²,邓翔天²,刘晓蕾²

(1. 武汉大学 动力与机械学院,湖北 武汉 430072;2. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 所设计的智能故障监测器主要由电源供电模块、核心处理器模块、无线通信模块等构成。采用高性能低功耗的微处理器 MSP430F169 作为核心处理单元,并配置 ISL83485 芯片以实现 MSP430F169 与上位机的通信,配置 X5043 芯片提高 MSP430F169 的稳定性,并使其具备一定存储能力。采用线路取能为主供电方案,当线路故障导致主供电方案瘫痪时,切换至太阳能供电模式,从而使系统能持续稳定地完成监测功能。通信方面采用了 ZigBee 通信方式与 GPRS 通信方式相结合的设计方案,其中 GPRS 通信模块完成与电力监控中心通信的功能,ZigBee 模块用于线路故障时各模块间的通信。通过无线自组网技术能达到故障自动定位的要求。

关键词: 监测; 故障定位; 通信; 遥感; 设计

中图分类号: TM 73

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.01.030

0 引言

智能电网是改变未来电力系统的电网发展模式。随着信息通信与计算机技术的不断进步与发展,只有具备更可靠、更安全、更智能化的智能故障监测装置才能持续提升智能电网的统筹性与先进性。当前的主流电力线路监控是采用基础型通信设施(如 GPRS、Internet 等)的远程监控装置,并利用微控制器来进行数据流交换与传输,达到监控信息的目的。此类电力线路监控器比较适用于已经存在大量基础通信设施的地点,由于 GPRS 装置的大量存在可能导致传输费的提升,实践中发现该器件成本较高,通信方式不够灵活,不适合未覆盖公共网络但监控任务繁重的地区^[1]。

在中低压配电系统中,电力线路通常数量多、分支多,而且运行方式相对较复杂,导致故障频繁发生。不仅如此,当电力线路发生故障后,故障点的排查非常费力费时,线路的维护工作量巨大。本文所提基于 MSP430F169 和多种通信方式的智能故障监测器不仅集电网监测、遥测、遥控、报警等功能于一体,而且在故障快速准确定位方面对提高供电可靠性和提升经济效益具有非常好的实践意义。

本文介绍的电力线路智能故障检测器以 MSP430F169 微处理器为核心,利用 ZigBee 无线通信技术与 GPRS 通信技术的结合实现了更为广域、灵活、智能的远程监控需求,并在电源部分采用了太阳能电池板取能与常规电力线路取能相结合的方式。故障监测电路为增强电磁兼容性(EMC)防护能力,采用了合理的电路整体布局,其中线路敏感器件附加了静电释放(ESD)芯片进行保护,并针对浪涌电压

添加了瞬态电压抑制二极管(TVS)等器件来保护电路,整个系统具有结构紧凑、安全性高、抗干扰能力强、故障定位准确等特点,能实时监测电网线路,检测多种线路故障,灵活迅速地实施报警,准确提供故障地点。

1 故障监测器硬件设计

本文介绍的智能故障监测器主要由 1 个主监测器和 2 个附属监测器构成,原理图如图 1 所示。在实际电网线路试验中是将 3 个监测器分别并列悬挂在同一线路的不同三相下进行调试运行。为了增强监测器的抗干扰性与通信方式的多样性,智能故障监测器的通信方式不同于常规线路监测器,而是采用了 GPRS 通信方式与 ZigBee 通信方式相结合的硬件设计方案。其中,主监测器配置 GPRS 模块和 ZigBee 模块,附属监测器则配置 ZigBee 模块,这样主监测器就能通过 GSM 信息传递方式与电网监控中心进行有效、直接的通信,同时附属的 ZigBee 模块在有限的短距离通信中也与主监测器和其他附属监测器进行迅速准确的通信。主监测器还能综合分析处理各相电能参数以及故障信息,使电网监控中心有可能更早地发现故障,解决问题。整个硬件系统由核心处理器 MSP430F169、GPRS 通信模块、ZigBee 通

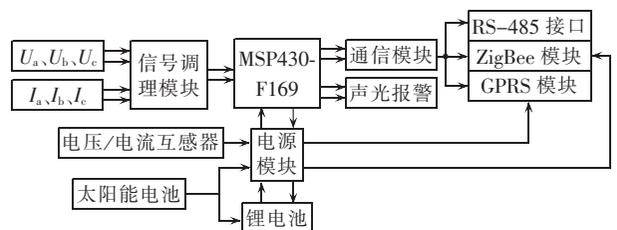


图 1 智能监测器原理框图

Fig.1 Schematic diagram of intelligent monitor

信接口模块、电源模块和声光报警模块等组成。

1.1 电源模块

为了给信号调理模块、核心处理器 MSP430F169、ZigBee 模块、GPRS 模块进行有效且长期持续的供电,智能故障监测器采用了以闭式可开口互感器供电为主要供能方式、太阳能供电作为辅助供能方式的策略。互感器供电即是通过特制的互感器利用电磁感应效应从线路中获取电能对设备供电^[2],其中,线路互感器采用穿心开启式互感器,非常适合 10 kV 以下的电力线路,不仅能提供 5 A 直流电流与 5 V 直流电压,还能在连接好的电力线路上便捷拆装,具有防雷、防潮、性能稳定等优点。太阳能供电方式则是采用太阳能电池板利用光电效应将太阳能直接转换为电能对设备供电。具体原理框图如图 2 所示。

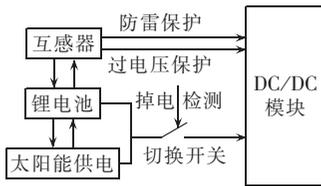


图 2 电源模块原理框图

Fig.2 Schematic diagram of power supply module

由于线路故障时很可能导致主供电方式的瘫痪,因此故障监测器还设计了掉电检测电路。当线路故障、主供电方式无法正常运行时,掉电检测电路控制切换开关迅速地闭合,利用太阳能与锂电池相结合的方式对 DC/DC 模块进行持续有效供电,而当线路故障检修完毕并恢复正常时再控制切换开关断开,使用电磁感应方式进行供电。过电压保护电路是针对线路出现大电流的突发情况,保证 DC/DC 模块输入电压一直稳定在其正常工作电压范围内。智能故障监测器的防雷保护电路则是为了应对线路出现雷击或者短路大电流的情况,保护后续电路不受损害,即在电路并接多个 TVS,进而达到限制冲击电压的目的。为使电源整体电路具有很好的 EMC 抗干扰能力,将模拟信号部分、高速数字电路部分以及噪声源 DC/DC 电源合理灵活地分开,使相互间的信号耦合达到最小。

由于线路取能方式与太阳能取能方式所得到的电压并不一定是系统所需要的恒定直流电压与电流,因此智能故障监测器还采用了转换率较高的 DC/DC 芯片 MAX1951,其能输出高达 2 A 的电流,也能够由 2.6~5.5 V 的输入电压产生 0.8 V 至输入电压的输出电压,非常适合对 MSP430F169、SIM300、ZigBee 进行供电。

1.2 MSP430F169 核心处理器

智能故障监测器采用的核心处理器为美国德州

仪器(TI)公司生产的高集成度单芯片系统(SOC)中的 MSP430F169 芯片,其主要特点如下。

a. 低功耗。电压范围为 1.8~3.6 V 低电压, RAM 数据保持方式仅耗电 0.1 μ A,活动模式下耗电 250 μ A/MIPS(每秒百万条指令数),I/O 输入端口漏电流最大为 50 nA。

b. 强大的处理能力。MSP430 系列单片机采用流行的精简指令集(RISC)结构,一个时钟周期能执行一条指令,8 MHz 晶振工作时指令速度能达到 8 MIPS。

c. 丰富的片上外围模块。MSP430 系列单片机结合了 TI 公司的高性能模拟技术,均集成了丰富的片内外设,具体到 MSP430F169 单片机有如下功能模块:看门狗(WDT)、模拟比较器 A、定时器 A(Timer A)、定时器 B(Timer B)、通用连续同步/非同步通信接口 0 和 1(USART0, USART1)、硬件乘法器、液晶驱动器、12 位 ADC、基本定时器等。

d. 系统稳定性高。MSP430 系列单片机均为工业级器件,运行温度为 $-40\sim+85$ $^{\circ}$ C,运行稳定、可靠性高,能完全满足民用和工业环境应用。

e. 方便高效的开发环境。MSP430 系列单片机内部包含联合测试行动小组(JTAG)调试接口和可电擦写的 FLASH 存储器,可通过 JTAG 接口下载程序到 FLASH 内,再由 JTAG 接口控制程序运行,读取片内 CPU 状态、存储器内容等信息供设计者调试,整个开发(编译、调试)可在同一个软件集成环境中进行^[5]。

为使核心处理器更稳定,并具备一定存储能力,智能故障监测器还配置了带 4 KByte 的具备串行外设接口(SPI)特性的 EEPROM 的 CPU 监控器 X5043,其将上电复位、看门狗定时器、电源电压监控和串行 EEPROM 存储器集成在一个封装之内,这不仅降低了成本,还提高了系统工作的可靠性,使电源和振荡器能更稳定地工作。为了实现 MSP430F169 与上位机的通信,系统配置了较为廉价的低电压 ISL83485 芯片来进行 RS-485/RS-422 通信,具备最高 2.5 Mbit/s 的传输速率^[6]。

1.3 无线通信模块

智能故障监测器的无线通信模块采用 GPRS 通信模块与 ZigBee 通信模块相结合的方式。主监测模块上配置有 GPRS 通信模块与 ZigBee 模块,附属监测模块上则只配置 ZigBee 模块,这样每个监测器不仅能在一定的距离内进行有效的通信,而且当线路出现故障时,附属监测器就能及时将信息发给主监测器,主监测器经过一定的信息处理后立即触发报

警机制并由 GSM 通信将线路故障信息迅速地传递给供电监控部门^[7]。因此合理地配置多种通信模块,实现智能组网,不仅不影响通信速度以及通信质量,反而大幅降低了设计成本并增强了硬件电路的功能可靠性。

1.3.1 GPRS 通信模块

GPRS 通信模块主要是为了实现主监测模块与供电监控部门之间的通信,并可与先进的地理信息系统(GIS)共同进行故障定位。本文选用 SIMCOM 公司生产的 SIM300 芯片,支持 GSM 与 GPRS 双模式无线通信模块,具备语音、数据传输、短信息、传真业务的通信功能,拥有 4 种语音编码方式(FR/EFR/HR/ES)和 4 种数据传输模式(CS-1、CS-2、CS-3、CS-4),并能工作在 EGSM900、DCS1800、PCS1900 这 3 种频率段。SIM300 凭借其体积小、重量轻、价格低廉、接口简单、使用方便等特点,广泛应用于智能远程监控、野外数据采集等领域中^[8]。选择 SIM300 的主要原因是其集成了 TCP/IP 协议栈,有利于产品开发,且其功能强大、性能稳定、可靠性好。本文中的 GPRS 通信模块主要是为了实现各个主监测模块与供电监控中心进行迅速而有效的通信。

在实际设计中,SIM300 芯片采用全串口方式与核心处理器 MSP430F169 进行数据通信,连接电路时要注意发送数据(TXD)与接收数据(RXD)方向的正确性,原理图也应标明正确的 I/O 口方向。GPRS 通信模块的电源接入也做了特殊处理,不仅提供了 2 A 以上的电流,还在电源管脚上并行放置了 1 个 100 μ F 的低 ESR 钽电容和 1 个 10 μ F 的瓷片电容,很好地降低了电源的干扰从而避免模块故障的频发。针对敏感性器件的 EMC 防护,手机 SIM 卡与人相接触后会产生一定的静电干扰,GPRS 通信模块还额外加入了价格低廉、防护能力高的瞬态过电压保护芯片 ESD6V1W5^[9],使通信模块的 EMC 防护能力达到一个较好的水平。在电路板布局中发现,ESD6V1W5 应尽量靠近 SIM300,最小化所有的导电回路,以达到较高的保护水准。模块还配置了 LED 灯作为网络状态指示灯,由 SIM300 的 NETLED 引脚驱动。

1.3.2 ZigBee 通信模块

ZigBee 通信模块是为了完成主监测模块与附属模块的通信以及附属模块与附属模块之间的通信而进行配置的。本文选用的是 DIGI 公司生产的 XBee 模块,是一款超小型但功能完善的 ZigBee 收发器(即接收器/发射器)。XBee 模块体积小、功耗低,室外传输距离最大能达到 1.5 km,接口简单、易于使用,并具备在工业环境中防水、防雷、防冲击的性能^[10],

非常适用于智能家居、远程控制、无线抄表、无线监测等诸多领域。XBee 模块与蓝牙模块相比,在电池寿命、单点覆盖距离、安全性与使用难易度上都具有非常大的优势,文中采用 XBee 模块主要是完成电力线路中各个故障监测器 1.5 km 范围内的远程数据通信。XBee 模块通过 UART 接口直接与 MSP430F169 控制器相连,DI 引脚作为 UART 的信号输入与微控器的 TXD 相连,DO 引脚作为 UART 数据输出与微控器的 RXD 相连。XBee 是半双工器件,因此还需连接 RTS(请求发送)与 CTS(清除发送)引脚,即设置发送数据时不接收数据,接收数据时不发送数据。在实践中,为了避免模块无法迅速处理接收的缓冲数据,可利用 CTS 引脚来避免发送接收缓冲溢出的问题^[11]。需要注意的是,XBee 模块的电源电压必须经电容退耦合,并尽量靠近电源的引脚。XBee 模块的通信原理框图如图 3 所示。

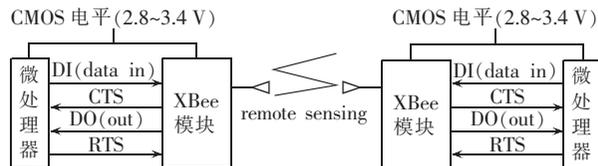


图 3 XBee 模块通信原理框图

Fig.3 Schematic diagram of XBee communication module

1.3.3 故障定位技术

故障监测器的探头分别安装在各线路分支部分的分支线上,通过取能线圈取能或太阳能取电方式获得工作电源后,采用测量线圈监测线路电流,当电力线路出现短路或者接地故障发生时,故障监测器就能迅速地检测到短路故障电流或者特定的信号电流,此时,主监测模块就能通过无线自组网技术获得相邻线路的故障电流信息。调度中心或相关检修部门在接收到主监测模块的报警后,采用自动定位分析软件根据各通信节点上报的故障监测信息,利用相应的故障定位算法就能定位出故障所在区段。

故障监测器还配置了特殊的、高亮度 LED 来进行故障线路的现场报警与提示,能在电力线路发生故障时闪烁强烈的红光。实验证明,故障监测器在夜晚能在约 240 m 的范围内被肉眼准确观测到。

2 故障监测器软件设计

针对 MSP430 微控制器,本文采用了 IAR System 公司的 C 编译器 IAR Embedded Workbench for MSP430 v4.11B。IAR 嵌入式工作平台给多样化的 MSP430 目标处理器提供了强有力的开发环境,具备简单实用的文本编辑器以及带有 MSP430 特性的编译器、汇编器、连接器和调试器^[13]。

本文介绍的故障监测器采取的软件设计流程图如图 4 所示。总体思路如下:程序开始运行,首先初始化 MSP430 微控器(包含数据采集模块的初始化设置)、GPRS 模块、ZigBee 模块;完成初始化后,考虑到节能以及功耗问题,系统进入 LPM3 低功耗模式,数据采集模块开始周期性地对线路电流信号进行实时迅速的采样;当监测到故障信号时,立即唤醒 CPU,使微控器进入正常工作状态,利用故障分析子程序对采集的故障信号进行分析与处理,再将分析结果传递给主监测模块,然后主监测模块根据故障综合分析程序,综合判断各相故障,初步得出线路故障类型^[14]。此时,各监测模块立刻采取声光报警模式,同时主监测模块迅速地将故障相关信息及分析结果发给供电监测中心,当监测模块接收到供电监测中心的回复后自动检测线路的电源供给方式。如果线路没有停电事故,则立即清除标志位并重新开始进行数据采样,等待可能发生的新的故障;如果线路发生停电事故,则接通太阳能电源与电池进行循环供电,当监测到线路恢复正常用电时,切断太阳能,利用线路上的电能进行供电^[15]。

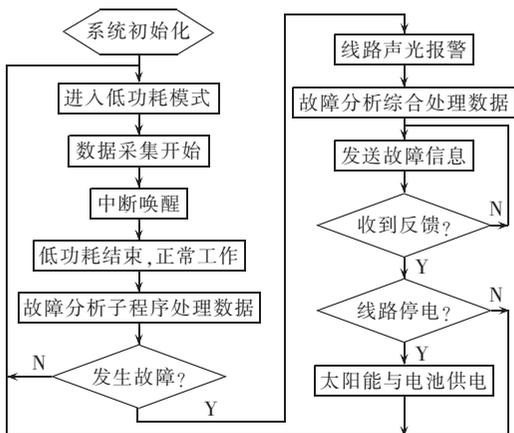


图 4 系统软件流程图

Fig.4 Flowchart of system software

3 故障监测原理

本文介绍的故障监测器主要从短路故障与单相接地故障两方面进行检测。电力系统的短路故障指的是能引起电流急剧增大、电压大幅下降,进而导致电气设备损坏的相与相或相与地之间的短接。当线路发生短路故障时,一般会出现较大的电流突变或者线路停电事故,智能故障监测器很容易识别与判断此种短路故障。文中介绍的故障监测器采用了过电流法来识别与监测电力线路短路故障,即当检测电流超过预先整定的某个数值时,故障监测器迅速在线路现场报警并远程传送故障信号与故障信息。

然而配电网所发生的故障中绝大部分是单相

接地故障。由于单相接地故障时不形成短路回路,只在系统中产生很小的零序电流,不影响电力系统正常工作,这样能够提高供电的持续性和可靠性。但是小电流接地系统运行方式多样,线路结构多变,故障情况复杂,单相接地故障电流仅为线路对地电容电流或消弧线圈补偿后的残流,数值非常小,故障特征不明显,因而故障点查找起来非常复杂。文中主要采用的是零序电流检测法,即是利用线路零序电流的幅值及相位特征来进行电力线路故障区的监测。监测原理为:中性点不接地系统发生永久性单相接地故障时,非接地线路的零序电流等于该线路三相对地电容电流的相量和,方向从母线流向线路;而接地线路的零序电流等于所有非故障线路零序电流的相量和,方向从线路流向母线。这样,故障监测器就能利用零序电流的方向和幅值的变化来对故障线路进行监测^[16]。

零序电流检测法理论上是可行的,但是一般零序电流互感器精度低。当一次侧零序电流在 5 A 以下时,变比误差可达 10% 以上,角误差达 20° 以上。当一次零序电流小于 1 A 时,二次侧基本无电流输出,无法保证接地检测的准确度。为此,所设计的监测器采用了 5 次谐波法。采用中性点经消弧线圈接地,当发生单相接地故障时,由于零序阻抗趋于无穷大,3 次与 3 次整倍数的谐波很难通过,所以接地电流中基本不包含 3 次与 3 次整倍数的高次谐波,这样在发生单相故障时 5 次谐波分量就比较明显,此时对线路电流进行 5 次谐波采样,就能判断出线路发生接地故障。

4 结语

本文介绍的智能远程故障监测器采用了当今主流的功能较强大的 MSP430F169 微处理器,经由一些低廉高效的外围电路相连接后,能很好地采集与处理实时线路信息,通过监测电力线路的电流变化来识别线路故障,并采用先进的无线自组网技术来进行故障自动定位;电源采用多种供电方式在不同场合交替使用的设计方案,提高了系统稳定性与可靠性;各通信模块之间利用通信效率高且非常安全的 ZigBee 通信传递方式,其中的主模块与供电监控中心采用 GPRS 通信。经初步试验后,智能远程故障监测器能达到设计要求。

参考文献:

- [1] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 高迎霞,毕卫红,刘丰. 电子式电流互感器高压端供能电源的设计[J]. 电力电子技术,2007,41(10):74-76.
GAO Yingxia, BI Weihong, LIU Feng. Design of power of electronic current transformer in high voltage side[J]. Power Elec-

- tronic,2007,41(10):74-76.
- [3] 韩祯祥,曹一家. 电力系统的安全性及防治措施[J]. 电网技术, 2004,28(9):13-16.
HAN Zhenxiang,CAO Yijia. Power system security and its prevention[J]. Power System Technology,2004,28(9):13-16.
- [4] 杨耿杰,郭谋发,丁国兴,等. 基于嵌入式操作系统的 GPRS 配变抄表及监测终端[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):118-123.
YANG Gengjie,GUO Moufa,DING Guoxing,et al. Distribution transformer meter-reading and monitoring terminal with embedded operating system based on GPRS[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(8):118-123.
- [5] 吕捷. GPRS 技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001.
- [6] 赵鹏祥,李卫忠. GIS 与 GPS 导论[M]. 西安:西北农林科技大学出版社,2004:116-181.
- [7] BATES R J. 通用分组无线业务(GPRS)技术与应用[M]. 朱洪波,沈越泓,蔡跃明,等,译. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [8] 桂勋,冯浩. 基于无线公网和 ZigBee 无线传感器网络技术的输电线路综合监测系统[J]. 电网技术,2008,32(20):40-43.
GUI Xun,FENG Hao. On-line comprehensive monitoring system for power transmission line based on wireless public network and wireless sensor network technologies[J]. Power System Technology,2008,32(20):40-43.
- [9] Digi International. XBee/XBee-PRO ZB RF modules [EB/OL]. [2009-09-02]. http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000-976_D.pdf.
- [10] 陈玉林,陈允平,孙金莉,等. 电网故障诊断方法综述[J]. 中国电力,2006,39(5):27-32.
CHEN Yulin,CHEN Yunping,SUN Jinli,et al. A survey of power system fault diagnoses[J]. Electric Power,2006,39(5):27-32.
- [11] 郑鹏鹏. 小电流接地选线的工程实践与技术探讨[J]. 电力自动化设备,2003,23(6):82-85.
ZHENG Pengpeng. Engineering practices and discussion of weak current grounding wire selection[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(6):82-85.
- [12] PILLAI P B,CHOOKW C V. Wireless sensor networks;a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards[M]. [S.l.]:Computer Communications,2007:21-55.
- [13] IEC. IEC61580 Communication networks and systems in substations[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2001.
- [14] 沈建华,杨艳琴,翟藐曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [15] 刘锋,潘永湘,毛芳仁. 基于 GPRS 配电网自动化通信系统终端的设计与工程实现[J]. 电力自动化设备,2005,25(1):54-62.
LIU Feng,PAN Yongxiang,MAO Fangren. Design and implementation of communication system terminal based on GPRS technology for distribution network automation [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(1):54-62.
- [16] 束洪春. 配电网故障选线[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

作者简介:

肖振锋(1985-),男,湖南嘉禾人,博士研究生,从事智能配电网关键技术以及智能调度等方面的研究工作(**E-mail**: coolpatrice@qq.com);

袁荣湘(1965-),男,湖南双峰人,教授,博士研究生导师,从事电力系统继电保护、稳定控制及分布式电力系统等方面的研究工作(**E-mail**: rxyuan@whu.edu.cn);

邓翔天(1986-),男,湖北荆州人,博士研究生,研究方向为智能配电网(**E-mail**: 175345306@qq.com);

刘晓蕾(1978-),男,湖北武汉人,博士研究生,研究方向为电力系统二次设备状态检修。

Intelligent remote fault monitor based on MSP430F169

XIAO Zhenfeng¹,YUAN Rongxiang²,DENG Xiangtian²,LIU Xiaolei²

(1. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: An intelligent remote fault monitor is designed, which consists of power supply module, core processor module and wireless communication module. MSP430F169, microprocessor with high performance and low power consumption, is taken as the core processing unit. ISL83485 is applied for the communication between MSP430F169 and superordinate unit, and X5043 is applied to enhance the stability of MSP430F169 and to store data. To ensure the stable and continuous power supply, energy is mainly induced from the transmission line while solar energy is provided during line fault. The combination of ZigBee communication mode with GPRS communication mode is adopted in the design of communication system. The GPRS communication is responsible for the communication with SCADA system while the ZigBee for the communication between different modules during line fault. Fault location is realized with wireless ad hoc network technology.

Key words: monitoring; electric fault location; communication; remote sensing; design