

基于 SI1000 的输电线路状态监测单元的设计

蓝彦, 孙骏, 曹翊军, 罗孝兵

(南瑞集团水利水电技术分公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 提出了基于 SI1000 无线 SoC 片上系统的输电线路在线监测单元的设计方案。详细介绍了输电线路监测单元的硬件和软件设计方法。该监测单元的适用性广, 在无人值守、没有市电、短距离长期监测的场合尤为适用。

关键词: SI1000; 输电线路; 无线传输; 低功耗; 长期监测

中图分类号: TP36

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)22-0017-04

Design of transmission line on-line monitoring unit based on SI1000

Lan Yan, Sun Jun, Cao Yijun, Luo Xiaobing

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 21000, China)

Abstract: This paper proposes a project of radio system on the chip based on SI1000 for transmission line on-line monitoring. The hardware and software design of transmission line on-line monitoring unit is introduced in the detail. This monitoring unit can be applied in many fields, especially in the field of no person watch, no alternating current supply, short distance communication and long-time monitoring.

Key words: SI1000; transmission line; radio transfer; low power; long-time monitoring

在架空输电线路状态监测领域中, 需要针对导线温度、金具温度、导线弧垂、绝缘子风偏、覆冰厚度、微风振动等参数进行长期监测。由于各类参数的监测单元安装位置是在输电线路, 因此要求其体积尽可能小、重量轻、安装方便。由于针对线上取电, 相关部门有严格的条件要求, 因此必须考虑合理的方式来解决监测单元的供电问题。针对以上的应用场合, 本文介绍了一种低功耗的无线监测单元, 采用了无线 SoC 片上系统的设计方案, 使得其体积小、重量轻、功耗极低, 仅使用电池供电, 可以满足监测单元在长期无市电的条件下可靠正常工作。

1 工作原理

无线监测单元工作原理框图如图 1 所示。

无线监测单元安装于架空输电导线上, 负责各类传感要素的测量, 例如导线温度、金具温度、导线弧垂、导线风偏等。传感器将采集到的电测量接入微控制器 SI1000, 经 SI1000 处理后得到相应的物理量, 然后通过无线射频接口 RF 发送到在线监测单元。无线监测单元电源采用锂电池供电, 降低了监测单元对外部电源的依赖性。在线监测单元通过 SI1000 单片机的无线射频接口接收来自无线监测单元的数据, 采集到的数据经过《微型机与应用》2011 年 第 30 卷 第 22 期

数据处理后, 提供给远程主站, 主站可对输电线路运行状态进行实时的监测。由于在线监测单元的安装位置不在架空线路上, 其电源可通过多种方式提供。

每个无线监测单元有自己唯一的 ID, 主站可通过该 ID 地址来识别线路传感器的类型和位置。无线监测单元采用自报的方式向主站系统传送数据, 每隔一定的时间间隔向主站报送数据, 平时无线监测单元处于掉电状态, 因此无线监测单元功耗很小, 可长期在无外部电源的供应下在线工作。

2 硬件设计

2.1 SI1000 单片机功能特点

SI1000 是一款低功耗、小体积并具备强大无线通信功能的 51 类型的单片机, 作为无线采集单元的核心部件, 负责采集传感器的信号并通过无线射频接口与主站通信。该芯片由美国 Silicon Labs 公司推出, 内部集成了 25 MHz 的 8051 内核、EZRadioPRO 系列的射频模块、64 KB 的 Flash、4 KB+256 B 的 RAM, 封装在 5 mm×7 mm 的 42-pin QFN 贴片中。

该处理器工作在掉电状态仅有 0.1 μA 左右的电流, 仅内部 RTC 工作时, 功耗为 0.6 μA。SI1000 微控制器内部使用四线制 SPI 总线(MOSI、MISO、SCK 和 NSS)与

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 19

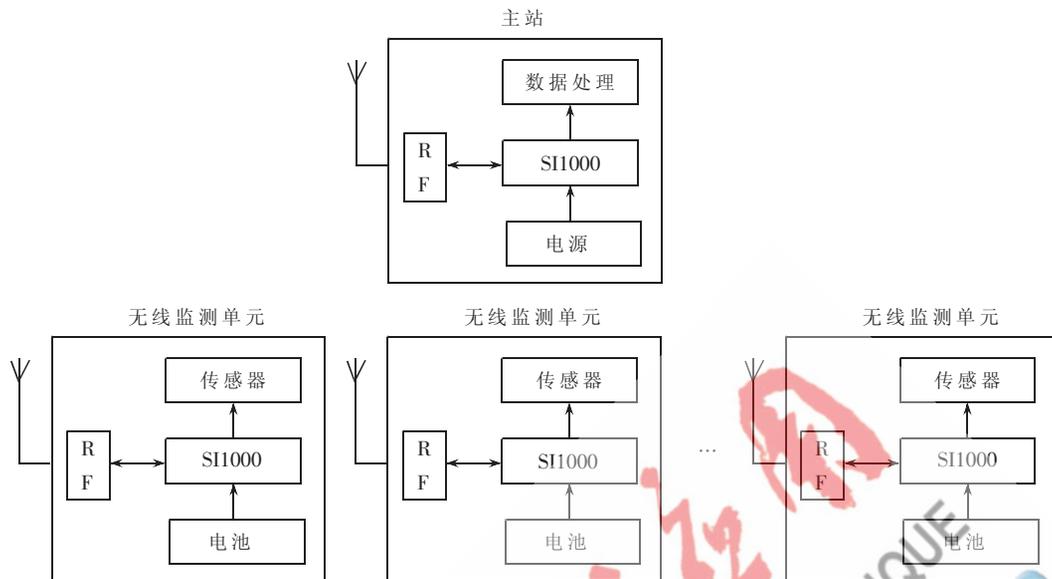


图1 无线采集单元工作原理框图

射频模块进行通信,SI1000 将射频模块作为外设进行访问,可以通过设置射频模块的寄存器灵活配置射频收发各项参数。SI1000 内部的 EZRadioPRO 系列射频模块输出频率符合 ISM 标准,可从 240 MHz~960 MHz 调制输出。具有接收、发送、空闲、掉电等多种工作模式,以满足低功耗的应用要求,不同模式之间通过寄存器设置可自由切换。具有 FSK、GFSK、OOK 等多种无线传输调制方式,最大输出功率达到 20 dBm,接收灵敏度为 -121 dBm,点对点最大传输距离能到 2 000 m。具有 AFC 自动频率控制功能,有效减小由于晶体精度、工作温度引起的频率误差。

2.2 电路原理

无线监测单元的硬件电路原理如图 2 所示,主要由电源、看门狗电路、无线射频匹配电路、传感器电路和 SI1000 单片机构成。

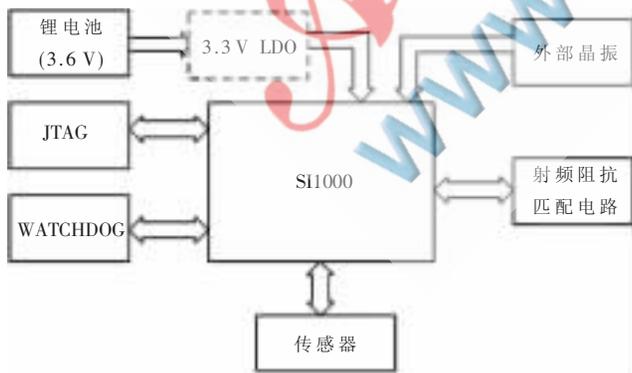


图2 无线监测单元硬件原理框图

其中,电源由锂电池和 3.3 V LDO 线性稳压源组成,锂电池输出 3.6 V 电压经过 3.3 V LDO 转换输出 3.3 V 电压,为整个无线采集单元电路供电。锂电池体积小、便于安装,重量轻,减轻了对输电线路的承重,而且容量

大,可满足无线采集单元在输电线路长期监测的用电要求。

看门狗电路的输入与输出均连接到 SI1000 单片机的外部引脚上,其输入作为 SI1000 给它的喂狗信号,输出作为 SI1000 的复位信号。SI1000 必须间隔一定时间喂狗,否则超出给定间隔时间后,看门狗将会输出复位信号使 SI1000 复位。看门狗电路的主要作用是为了避免无线监测单元长期工作在无人值守的恶劣环境下意外出现死机现象,保证了单元长期运行的可靠性。

射频阻抗匹配电路为 SI1000 单片机内部射频模块的外围匹配电路,它与射频模块的收发信号相连接。匹配电路中的电阻、电容、电感参数与无线收发频率相关,需根据无线频率大小来匹配相应的参数值。

JTAG 是 SI1000 单片机程序仿真下载接口。用户可以通过该接口将应用程序代码下载到单片机的内部存储空间,并进行在线仿真调试。

传感器电路负责将架空输电线路的状态量转换为数字信号接入到 SI1000 单片机,例如本设计中的温度传感器,其将感知的导线温度转换为数字信号通过数字接口接入到 SI1000 单片机。

2.3 射频电路 PCB 板布线原则

无线监测单元的射频电路部分为高频电路,PCB 板布线是否合理直接影响到整个无线监测单元的通信性能。在 PCB 板设计时,射频收发电路平行直线布置,不能出现折弯甚至是交叉;射频电路底层不能走信号线;低频电路部分与射频部分电路整体分开布置,数字地和模拟地之间使用磁珠隔离,并做到一点连接;射频电路的地线使用大面积敷铜,接地点使用过孔直接连接到敷铜地,尽量减少对地阻抗;使用多层板进行 PCB 板布线,SI1000 芯片底面接地点使用大过孔直接与多层的敷

铜地连接。

3 软件设计

无线监测单元软件主要实现的功能有两个:(1)通过传感器采集线路上的模拟量数据;(2)将采集得到的数据通过无线方式传送到主站。相对来说,数据采集部分的软件设计较为简单,下面重点介绍无线传输部分功能的软件实现。

3.1 无线通信规约

该通信规约使用三层 IEC 模型,分别为物理层、数据链路层及应用层,包结构如图 3 所示,其中前导序列、同步字为物理层,源地址、目的地址、报文长度、CRC 校验为数据链路层,数据为应用层。

前导序列为一串 10101010 位序列,可看作整个无线通信帧的起始标志,8 bit 为 1 B,字节长度设置范围为 1~256。同步字为无线数据开始接收的时钟同步标志,长度可设置为 1 B~4 B。

前导序列	同步字	源地址	目的地址	报文长度	数据	CRC 校验
------	-----	-----	------	------	----	--------

图 3 无线通信 IEC 模型

在前导序列和同步字设定好之后,SI1000 内部的序列检测器将按照设定的前导序列进行匹配,匹配成功之后紧接着定时接收设定的同步字,在同步字接收成功后,开始源地址和目的地址的接收。

源地址由 4 B 寄存器组成,可作为无线监测单元的地址匹配接收,源地址的每一位可以与无线监测单元地址的每一位进行匹配,只有是本单元地址的数据才进行继续接收。

目的地址也由 4 B 寄存器组成,可用于存储无线监测单元将要发送的目的地址。无线通信帧发送时,硬件将其自动添加到该帧中并发送。

报文长度存储了发送的应用层数据长度,最大 255 B。

CRC 校验为曼彻斯特循环冗余校验码,包括了从地址、报文长度、数据等三层的数据校验。

3.2 无线传输机制

无线监测单元的射频传输采用了载波侦听/冲突检测随机避让机制(CSMA/CD),使用该机制避免了无线通道在不同节点互用时的冲突。流程图如图 4 所示。

在使用该机制时,必须先使能 SI1000 发送控制寄存器中的 LB TEN 位。无线传输前,先监听 0.5 ms,如果在这段时间无线通道是空闲的,通道空闲的检测由 RSSI

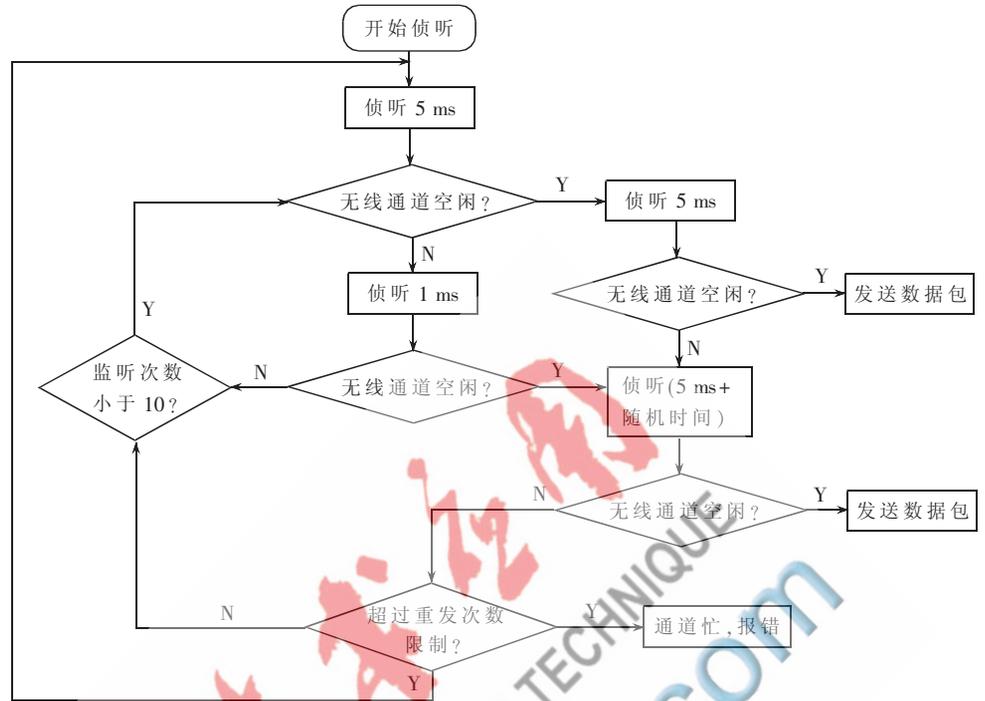


图 4 无线监测单元射频收发机制

接收信号能量监测器来完成,当接收信号能量小于某一阈值时,RSSI 将指示无线通道处于空闲状态。然后继续监听 4.5 ms,如果无线通道仍然空闲,则将数据帧发送出去。如果在 4.5 ms 期间,无线通道忙,则继续监听 5 ms 再加上一个随机时间,随机时间 $T_{rs} = n \times LPTI[6:0]$,其中 n 为硬件自动产生的范围从 0~15 随机数,LPTI 是无线发送数据字节间隔时间寄存器。监听期间,如果无线通道空闲,则将数据帧发送出去,否则判断监听次数是否小于设定的最大监听次数,如果小于则重新开始监听,否则返回通道发送错误信息。

3.3 无线监测单元工作流程

无线监测单元的基本工作流程如图 5 所示。

在使用 EZRadioPRO 系列的射频模块前,首先需要初始化 SI1000 与其通信的 SPI 接口功能,使得 SI1000 处理器能对射频模块进行参数的配置和数据的读写,函数原型如下:

```
void SPI_Init (void)
{
    // Init SPI
    SPI1CFG = 0x40;           // 设置 SI1000 为 SPI1 主机
    SPI1CN = 0x00;           // 使用 3 线制通信模式
    SPI1CKR = SPI_CKR_VALUE; // 设置 SPI 传输速率
    SPI1CN |= 0x01;          // 使能 SPI 接口
    NSS = 1;                  // NSS 无效
}
```

然后需要通过 EZRadioPRO 协议栈的 EZMacPRO_Init() 函数来初始化射频模块的基本参数和功能,函数原型如下:

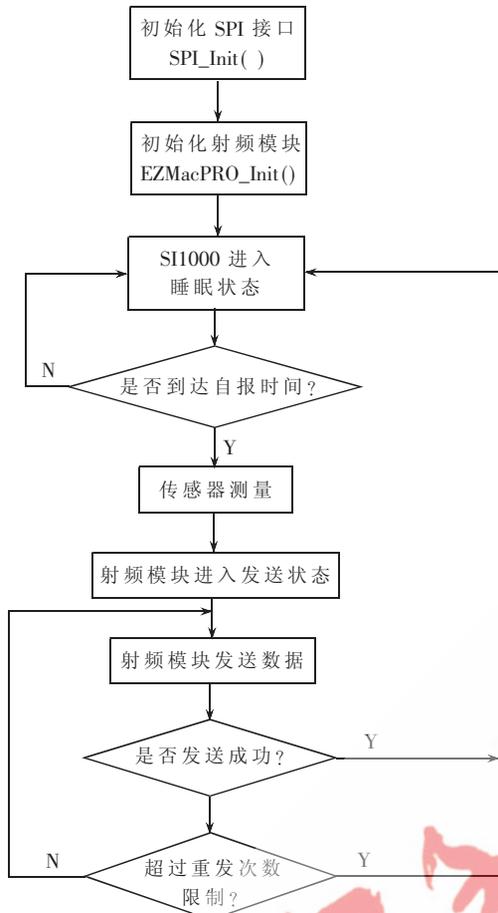


图 5 无线监测单元工作流程图

```

Void EZMacPRO_Init(void)
{
    EZMacProReg.name.MCR = 0x24;
        // 配置无线收发通信速率 9 600 bps
    EZMacProReg.name.TCR = 0x78;
        // 配置输出功率 20dBm, LBTTEN=1(载波监听)
    EZMacProReg.name.LBTLLR = 0x78;
        // 配置信道阈值 -60 dBm, 判断信道是否空闲
    EZMacProReg.name.LBTTR = 0x85;
        // 设置碰撞避让时间 0.5 ms
    EZMacProReg.name.MPL = 0x40;
        // 配置发送最大数据包长度 64 B
    EZMacProReg.name.SFID = SrcAddr;
        // 配置无线监测单元源地址
    .....
}
  
```

射频模块初始化完毕, SI1000 进入睡眠状态, 等待自报时间到时开始进行传感器的测量。数据测量完后, 射频模块进入发送状态并执行发送功能函数将传感器采集得到的数据发送出去, 执行发送功能函数时需要判断发送是否成功, 如果失败, 则重发, 直到发送成功或者超出重试次数才退出发送, SI1000 重新进入到睡眠状态。

在无遮挡的开阔地环境下进行测试, 无线采集单元可靠通信距离达到 1 000 m; 无线监测单元平时工作电流仅为微安级, 理论上使用 1 节电池便能维持其连续工作 5 年, 考虑到电源的损耗及电池本身老化的因素, 无线监测单元可在无市电的条件下可靠运行 3 年; 使用 SI1000 实现的无线 SoC 片上系统, 简化了外围电路设计, 也减小了整个无线监测单元体积, 增强了单元的可靠性和实用性。

无线监测单元为架空输电线路状态监测提供了一个全新的解决方案, 随着智能电网的大力推广和发展, 将得到更加广泛的应用。另外, 本单元的适用性很广, 在无人值守、没有市电、短距离长期监测的场合尤为适用。

参考文献

- [1] 架空输电线路智能监测装置通用技术规范, 2010.
- [2] 庄雄, 杨永明, 丁唯. 基于 CC2431 的无线传感器网络节点设计[J]. 电子技术应用, 2008, 34(6): 98-101.
- [3] 单海东, 卢东贵. 基于 Si1000 无线微控制器的无线射频测[J]. 自动化系统工程, 2010(8): 120-122.
- [4] SILICON LABS Si1000/1/2/3/4/5 datasheet[EB/OL]. [2010]. <https://www.silabs.com/support/pages/contacttechnicalsupport.aspx>.
- [5] SILICON LABS EZMAC AND EZHOP USER'S GUIDE datasheet[EB/OL]. [2010]. <https://www.silabs.com/support/pages/contacttechnicalsupport.aspx>.

(收稿日期: 2011-08-25)

作者简介:

蓝彦, 男, 1968 年生, 高级工程师, 主要研究方向: 水利水电自动检测。

孙骏, 男, 1978 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 水利水电自动检测。

曹翊军, 男, 1978 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 水利水电自动检测。