

# 基于嵌入式的用电信息远程智能监控系统研究

何新洲

(长江职业学院 数据信息学院, 武汉 430074)

**摘要:** 考虑到目前电量计量采集系统线路布置复杂, 针对窃电行为的监测和判断能力弱, 研究一种基于嵌入式的电量计量采集系统; 嵌入式电量计量系统的构成有两部分: 高压侧用电信息无线监测装置和低压侧用电信息远程监测装置; 高压侧用电信息无线监测装置的工作原理为对高压侧的电路信息进行采集, 之后通过发射模块将信息传递至远程监控单元, 监测人员可通过监控中心直接对电路信息进行远距离实时读取; 低压侧用电信息远程监测装置对各个用电用户的用电信息进行直接识别, 后将识别分析结果输送到监控主站的信息库中; 实验结果表明: 高压无线检测装置检测到的数据通过换算后得到的用户用电情况曲线却不能和低压侧无线检测装置得到的数据曲线重合, 说明该装置能够检测到人为窃电操作, 验证了所研究的嵌入式电量计量采集系统能够实现窃电的精确识别。

**关键词:** 嵌入式; 电量计量; 无线监测; 传感网络; 窃电监测

## Research on Remote Intelligent Monitoring System of Power Consumption Information Based on Embedded System

He Xinzhou

(Changjiang Polytechnic, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Considering the complex circuit layout of the current electricity metering and acquisition system and the weak ability of monitoring and judging electricity theft, an embedded electricity metering and acquisition system is studied. There are two parts in the embedded power metering system: wireless monitoring device for high voltage side power consumption information and remote monitoring device for low voltage side power consumption information. The working principle of the wireless monitoring device for high-voltage side electrical information is to collect the circuit information on the high-voltage side, and then transmit the information to the remote monitoring unit through the transmitting module. The remote monitoring device of low-voltage side power consumption information directly identifies the power consumption information of each user, and then transmits the result of identification analysis to the information database of the monitoring main station. The experimental results show that the data detected by the high-voltage wireless detection device can not coincide with the data curve obtained by the low-voltage wireless detection device, which indicates that the device can detect the artificial stealing operation, and verifies that the embedded power metering and acquisition system can be realized. Accurate identification of electric larceny.

**Keywords:** embedded; electricity metering; wireless monitoring; sensor network; monitoring of electricity theft

## 0 引言

随着时代的发展, 各类电器与人类生活息息相关, 尤其在寒冬、酷暑时节对取暖器、空调等设备更为依赖, 这些电器的突增使用会直接对电力系统造成极大负荷, 并且负荷波动明显。为保证电力系统整体的稳定, 需要对用户区域的用电信息进行收集, 然后中心控制系统基于用户用电信息, 对整体电量进行合理分配, 来应对电量不足时的突发状况, 保证用户的正常使用及电网整体的平稳运行<sup>[1-2]</sup>。

电力信息采集系统主要包含三大主要功能: 采集信息、处理信息和监控用户。该系统可自动实现对用户用电信息

的采集、处理并判断检测用户用电的异常状态, 以及实现电能质量的监测、用电状态的管理、用电相关信息的传递、监控分布式能源和智能电器设备的信息传递等的管理功能, 该系统已成为电力系统的重要组成部分之一。其作为负荷控制系统的重要部分之一, 它的作用是不可替代的, 具有的详细功能如下: 远程记录表数功能、线路损坏监测功能、电能质量检测功能、异常用电报警功能、有序用电和保证电网运行稳定功能等<sup>[3]</sup>。

随着电力信息采集系统的建设和完善, 该平台现已能对用电信息进行实时监控, 通过对用电系统进行数学建模, 对用户信息进行处理来监测用户用电的状态, 判断其是否存在窃电等事件, 通过详细运算还可计算出窃电量的多少。准确用户用电信息的采集, 可以让我们防患于未然, 及时对电路系统中的异常情况进行处理, 打击违法乱纪事件, 还可对电能进行合理分配, 减少电能损耗。通过远程监控来实现对用户用电信息的管理, 可有效的记录窃电信息,

收稿日期: 2018-10-14; 修回日期: 2018-10-30。

基金项目: 湖北高校省级教学研究项目(591)。

作者简介: 何新洲(1972-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 副教授, 主要从事嵌入式技术、计算机网络方向的研究。

避免了工作人员到现场收集窃电证据的步骤, 省时省力, 减少了工作人员的工作量, 同时还可以实现用户供电状态进行远程控制, 终止窃电行为, 减小了电力企业的防窃成本, 维护了电力市场的秩序和稳定。

## 1 电量计量采集原理

计量电表又名电度表, 是对用户耗电量进行计量的主要装置, 它可以检测用户消耗的电能, 并记录数据, 工作原理为:

$$Wp = \int_{t_1}^{t_2} p_{(t)} dt = \int_{t_1}^{t_2} u_{(t)} i_{(t)} dt \quad (1)$$

式中,  $p_{(t)}$  为瞬时功率  $u_{(t)}$  为瞬时电压;  $i_{(t)}$  为瞬时电流;  $Wp$  为消耗的有功电能; 从中我们可以看到, 消耗有功电能是功率对时间的积分, 无论何种类型的计量电表, 其计算电能的核心就是一个乘法器和一个加法器<sup>[4]</sup>。

目前, 现有的计量电表接线方式主要分为以下两种: 三相三线制、三相四线制。以三相三线制接入方式为研究对象。由于在高压系统中三相载荷呈对称分布, 故电压范围在小于等于 35 kV 时, 三相三线制电表常通过 TA 和 TV 接头来计量电量, 如图 1 所示。

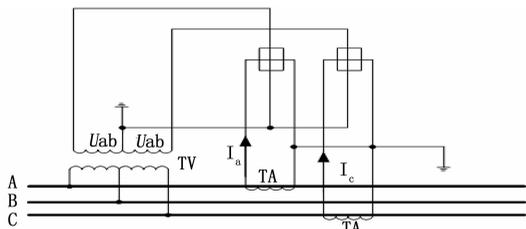


图 1 三相三线的计量方式电路图

目前窃电行为的常用检测方法是检测计量电表的电流感应线圈, 对通过感应线圈的三相电流进行矢量相加, 如果电流的矢量和为零, 则该用户不存在窃电行为。反之, 如果电流的矢量和不为零, 则该用户存在窃电行为。具体实施步骤如下, 将检测装置电流互感器安装在电流流入计量电表的电流线上, 由于三项电的本身对称特性, 当线路正常工作时, 这种对称平衡就不会被打破, 感应线圈感应出来的三相电流矢量和为零, 同时检测装置显示数为零。如果存在窃电行为时, 三项电的对称特性就被打破, 矢量和不为零, 此种检测方法可以准确的记录窃电时间和窃电次数。另外一种窃电行为检测装置原理与上述讲的电流检测原理相似, 为电压窃电检测。此两种检测方法都只能应用于单项或者两项窃电行为检测, 工作原理都为计算三项电流、电压的矢量和来进行判断是否存在窃电行为。如果存在三项窃电行为时, 由于三项电还保持对称特性, 故上述两者的检测方法都不适用, 无法准确判断出是否有窃电行为<sup>[5-6]</sup>。另外上述两种检测装置都必须安装在计量电表位置处, 需要通过低压电源提供电能, 安装位置暴露, 极易受到人为动作的干涉和破坏, 故上述两种检测方法的推广受到了极大的限制。因此研究基于嵌入式的电量计量采集系统, 主要由安装于用户端的嵌入式电量计量系统和安装

于供电中心的监控主站两个部分组成, 通过对比高压侧和低压侧的电量信息, 从而提高用户用电量信息采集的准确性以及窃电行为的精准判别。

## 2 基于嵌入式的电量计量采集系统

### 2.1 嵌入式电量计量采集系统整体结构

嵌入式电量计量采集系统整体结构如图 2 所示。

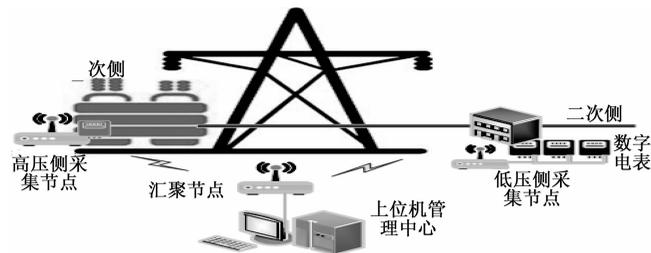


图 2 嵌入式电量计量采集系统整体结构

嵌入式电量计量采集系统主要由安装于用户端的嵌入式电量计量系统和安装于供电中心的监控主站两个部分组成。其中嵌入式电量计量系统的构成有两部分: 高压侧用电信息无线监测装置和低压侧用电信息远程监测装置。高压侧用电信息无线监测装置的工作原理为对高压侧的电路信息进行采集, 之后通过发射模块将信息传递至远程监控单元, 监测人员可通过监控中心直接对电路信息进行远距离实时读取。低压侧用电信息远程监测装置对各个用电用户的用电信息进行直接识别, 而后将识别分析结果输送到监控主站的信息库中。该种方式将识别系统从主站的控制范围中跳脱出来, 可独立进行窃电监测, 实现全天候监测。该种检测方法具有简化主站装置和减弱主站工作负担的优势, 当主站发生通讯故障时, 依旧可以进行窃电监测。

### 2.2 高压侧用电信息无线监测装置

高压侧用电信息无线监测装置主要由 4 大模块组成。1) 电源模块。该模块的主要作用给其他 3 个模块供能, 它可以对家用电流进行属性转变, 将交流电流转化为直流电流; 2) 控制模块。该模块作为高压无线检测器的大脑, 扮演着至关重要的角色。他可以对获得到的数据进行处理、分析, 同时对其他 3 个模块的动作进行协调控制; 3) 采集模块。该模块主要用于电信号特征信息采集, 通过 A/D 转换器转化, 将电信号转化为数字信号, 之后再数字信号传送到控制模块数据库中; 4) 通讯模块。该模块的主要作用是人机相互的连接通道, 将采集模块获得的数据传送到用户监测界面, 而后工作人员可以依照数据对整个监测系统下达动作指令。

高压侧用电信息无线监测装置电量信息检测与窃电行为的判定依据都是基于上述检测模块获得的电信号数据而判断的。故为保证用电信息检测准确度, 必须选用精度高、工作稳定的互感器。由于检测位置的高压条件限定, 需要应用互感线圈将大电流转化为小电流, 而后对感应出来的小电流进行监测。目前, 常用的互感器主要有铁芯的互感器和没有铁芯的罗可夫斯基线圈互感器两种。前者, 由于

装置结构带有铁芯，尽管检测精度高、灵敏度大，但是铁芯直接加大了检测装置的质量，直接限制了此类互感器的推广使用。后者罗可夫斯基线圈互感器，由于缺少了铁芯的存在，整体结构相对前者质量较小。同时该种互感器，将线圈缠绕在非磁性材料上，呈空心线圈结构，直接避免了铁磁谐振以及磁饱和现象的发生，从而确保了互感器的检测精度，同时也增大了互感器的检测范围。所以，研究对象为带有罗可夫斯基线圈互感器的窃电检测装置。罗可夫斯基线圈互感器结构如图 3 所示。

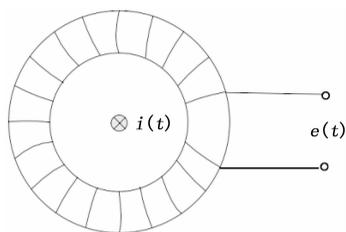


图 3 罗可夫斯基线圈示意图

使用罗可夫斯基线圈来测量时，导线穿过线圈，通过电磁感应原理可得：

$$e(t) = - \frac{d\varphi}{dt} = - M \frac{di}{dt} \quad (2)$$

式中， $\varphi$  是线圈的磁通量； $M$  是线圈互感系数。

通过对罗可夫斯基线圈电路结构分析可知，线圈流过的电流和线圈两端的电压具有微分关系，故如果想获得线圈两端的电压信息，只需对所测到的电流进行积分运算即可。罗可夫斯基线圈根据工作条件的不同，他的工作状态也会不同，详细分为自积分状态和微分状态两种<sup>[7]</sup>。

由于高压无线检测模块安装位置位于高压侧，故为保证其检测的准确性、可行性，需要采取举措以应对任何突发状况。当发生短路事故时，线路中的电路会急剧增大，远远超过正常电流大小，故对积分电路添加低通滤波和隔离直流环节以消除高频和直流分量的影响，保证其正常工作。

控制模块在正常工作时需要接收采集模块收集到的电流信息，期间需要 A/D 转换器对电信号进行转换，故研究的控制模块内部放置了一个 ATmega128 型单片机，内部采用的是 8 路可调增益 A/D 转换电路。选用的单片机为单极性，为使其工作电压与采集模块电压相匹配，在两者连接处安置了一个加法器。加法电路如图 4 所示。另外，ZigBee 无线通讯模块按规定只能安装在高压无线检测模块与用户监测单元两者之间，作为无线通讯模块的重要单元 CC2530，其工作电压为 2~3.6VDC，由于单片机的工作电压为 4.5~5.5V，故需添加电平转换电路。

### 2.3 用户用电远程监测单元

用户用电远程监测单元主要由 RS485 收发器、采集节点、汇聚节点三部分构成。RS485 收发器作为计量电表的关键模块，主要功能为收集电表信息和接受采集节点下达的采集指令。采集节点的主要功能为将计量电表的信息传递至汇聚节点。汇聚节点的主要功能为接受采集节点发送

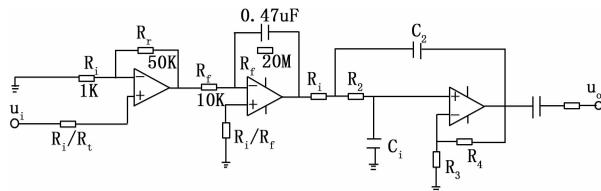


图 4 加法器电路

来的电表信息，并对信息数据进行初步处理和保存，使用网络将信息实时分享给管理中心。用户用电远程监测单元系统如图 5 所示。

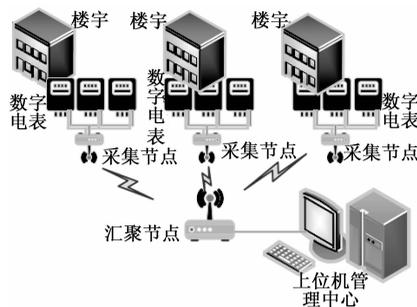


图 5 用户用电远程监测单元系统框图

监控系统主要由计量电能表、485 总线、采集节点、汇聚节点和上位机等几部分组成。以 STM32F103 开发板、CC2420 无线通信模块和 RS485 收发器等模块为基础，来对监控系统整体进行设计。485 总线作为计量电能表和采集节点的连接通道，为两者间的数据通信和信息采集提供保障。其中 485 收发器主要执行收集计量电表的电能信息任务，其中包括有功电量与无功电量等各类信息；采集节点间的信息传递是基于 ZigBee 技术实现。

STM32F103 开发板通过 SPI 同步串行接口来实现与 CC2420 模块的连接，从而实现对无线通讯的读写操作，笔者将 SPI 接口设置为主、双工模式，给 CC2420 模块添加通信时钟 (SCK) 工具，并采用 STM32 的通用 I/O 管脚来对无线通讯模块进行全方位控制<sup>[8-10]</sup>。无线通信模块与嵌入式 STM32 连接电路如图 6 所示。

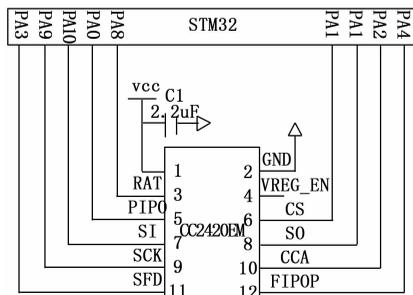


图 6 无线通信模块与嵌入式 STM32 连接电路

### 3 实验研究

通过实验方法对所研究的基于嵌入式的电量计量采集系统以及窃电监测效果进行验证。分别在高压侧安装高压侧用电信息无线监测装置，在低压侧安装用户用电远程监

测单元。人为实现窃电操作，使用常规的电量采集装置和所设计的电量计量采集装置进行对比分析。两种电量采集装置监测到的用电数据如图 7 所示。

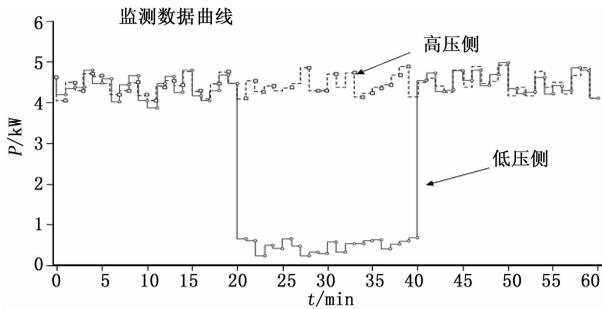


图 7 监测数据曲线

窃电行为判别结果如图 8 所示。

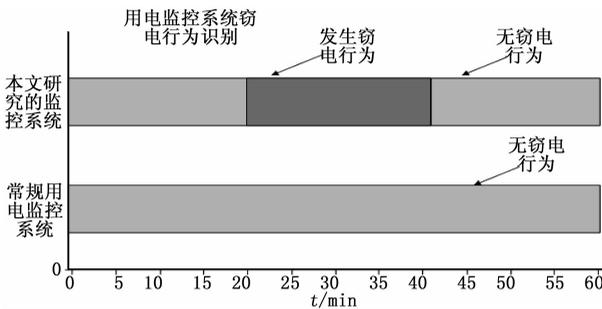


图 8 窃电行为判别结果

分析两种电量采集装置监测到的用电数据，使用常规的电量采集装置得到的用电数据曲线和本文设计的电量计量采集装置中的低压侧无线检测装置得到的数据曲线完全一致。然而高压无线检测装置检测到的数据通过换算后得到的用户用电情况曲线却不能和压侧无线检测装置得到的数据曲线重合，说明该装置能够检测到人为窃电操作，验证了本文研究的嵌入式电量计量采集系统能够实现窃电的精确识别。

### 4 结论

研究一种基于嵌入式的电量计量采集系统。

1) 嵌入式电量计量系统的构成有两部分：高压侧用电信息无线监测装置和低压侧用电信息远程监测装置。高压侧

(上接第 266 页)

[5] 卢晓春, 贺成艳, 王 雪, 等. 卫星导航信号评估系统设计与信号性能评估 [J]. 时间频率学报, 2016, 39 (3): 225-246.

[6] 李世光, 杨 军. 卫星导航信号模拟器现状与发展趋势 [J]. 现代电子技术, 2015, 38 (7): 131-134.

[7] 周广涛, 孙妍姝. 卫星导航信号高灵敏度接受技术研究 [J]. 现代电子技术, 2016, 35 (17): 64-67.

[8] 林红磊, 牟卫华, 王飞雪. 卫星导航系统信号模拟器通道零值标定方法研究 [J]. 导航定位学报, 2013, 4 (1): 61-64.

[9] 许宗飞, 袁冬莉, 刘小俊. 基于 GPS 射频模拟信号源的无人机导航系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (3): 655-657.

[10] Das A S, Das S, Bhoumik J. Design of RS (255, 251) en-

用电信息无线监测装置的工作原理为对高压侧的电路信息进行采集，之后通过发射模块将信息传递至远程监控单元，监测人员可通过监控中心直接对电路信息进行远距离实时读取。低压侧用电信息远程监测装置对各个用电用户的用电信息进行直接识别，而后将识别分析结果输送到监控主站的信息库中。

2) 实验结果表明：使用常规的电量采集装置得到的用电数据曲线和所设计的电量计量采集装置中的低压侧无线检测装置得到的数据曲线完全一致

3) 高压无线检测装置检测到的数据通过换算后得到的用户用电情况曲线却不能和低压侧无线检测装置得到的数据曲线重合，说明该装置能够检测到人为窃电操作，验证了本文研究的嵌入式电量计量采集系统能够实现窃电的精确识别。

### 参考文献:

[1] 黄 宇. 基于嵌入式处理器控制的电量计量系统的研制 [D]. 大连: 大连交通大学, 2008.

[2] 刘颖颖. 基于嵌入式 Web 服务器的电量采集系统的设计与实现 [D]. 济南: 山东大学, 2008.

[3] 朱 伟. 基于以太网的负载电能计量监控系统的设计与研究 [D]. 内蒙古农业大学, 2009.

[4] 黄 宇, 郑士富. 基于嵌入式处理器控制的电量计量系统的设计 [J]. 太原科技, 2008, 12: 63-65.

[5] 郑哲欣. 嵌入式电能计量装置运行状态智能分析系统 [D]. 太原: 太原理工大学, 2009.

[6] 霍 尧. 基于用电信息采集的智能反窃电系统开发与应用 [D]. 华北电力大学, 2014.

[7] 陈腾飞. 基于用电信息采集系统的窃电在线稽查装置的开发应用 [D]. 华北电力大学, 2013.

[8] 王艳红. 基于 ARM 联合 DE 算法的监控方案设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (4): 85-87.

[9] 王 森, 曹旭东, 魏文龙, 等. 基于 ARM+Linux 架构智能油气水井物联网系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (8): 262-265.

[10] 王 洋, 许四祥, 翟健健, 等. 基于嵌入式机器视觉的测控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (6): 104-106.

[11] 喻 娜, 廖 雄, 罗正华, 等. 基于 FPGA 的北斗卫星导航信号发生器设计 [J]. 成都大学学报 (自然科学版), 2017, 36 (1): 73-75.

[12] 高 亮, 宋茂忠. 基于 FPGA 的北斗 QPSK 调制实现与解调验证 [J]. 电子科技, 2014, 27 (3): 95-98.

[13] 胡 辉, 杨国艺, 朱绍文. 基于 DSP 和 FPGA 的多通道 GPS 中频信号源设计与实现 [J]. 中国测试, 2016, 42 (11): 100-106.

[14] 胡 宁, 高知明, 周 勇. GNSS 接收机内部噪声水平检测方法研究 [J]. 中国测试, 2014, 43 (4): 28-32.