

# 低压电力线载波集中抄表系统的研究

樊建学, 盛新富

(清华大学电机系, 北京 100084)

**摘要:** 详细介绍了低压电力线远程抄表系统各组成部分的原理与软、硬件实现。该系统采用过零点扩频通信方案大大提高了通信成功率, 使用主动式看门狗电路提高系统的电磁兼容性。集中器在硬件结构上采用 3 种存储技术, 提高了用户电量数据的可靠性。低压电力线通信信道具有信号衰减大、噪声高、信号传输具有时变性和频变性的特点, 运用自动中继技术可使抄率达到 100%。集中器与管理中心采取 GPRS 通信方式, 具有连接方便可靠的优点。系统实际运行情况良好。

**关键词:** 抄表; 过零点; 主动式; 集中器; 自动中继; GPRS

**中图分类号:** TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)17-0049-04

## 0 引言

当前, 远程集中抄表通信方式主要有红外、485 总线、电力线等。红外通信方式传输距离短且易受建筑物阻挡, 485 总线方式现场施工以及维护困难。根据美国自动抄表技术协会的一项调查表明, 在美国有 46% 的公司采用电力线自动抄表方式<sup>[1]</sup>。在我国, 电力线载波抄表也以其安装维护方便、成本低廉等优点成为多种自动抄表通信方案中最具市场竞争力的方案之一。如图 1 所示, 集中器通过低压电力线抄收各居民用户电能表的读数, 并经由 GPRS 无线网络将数据上传至管理中心构成完整的抄表系统。其中, 电能表还可以是水表、气表或热量表, 实现水、电、气、热四表集中抄收。

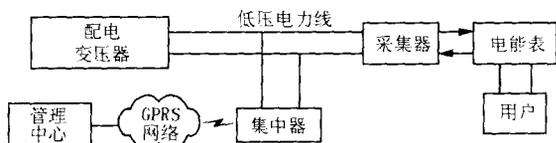


图 1 低压电力线抄表系统原理图

Fig 1 Automatic meter reading system for LV customers

远程集中抄表系统具有窃电监察功能<sup>[2]</sup>。针对每一个用户均安装有两套电能计量装置: 一套为安装在电能表旁边的采集器, 另一套电能计量装置安装在用户分支配电线与主配电网的电气连接处, 每一套计量装置相对于集中器独立工作。这样, 通过比较这两个计量读数, 如果存在差异, 则该用户可能存在窃电行为, 管理中心给出报警信号并对该用户电量数据进行多次采集, 可使用电管理部门尽早监察窃电行为。

该系统由 3 部分组成: 采集器、集中器、管理中心软件。下面分别介绍各部分的基本原理与软、硬件实现。

## 1 采集器的实现

采集器的功能是采集电能表输出的脉冲信号, 并转换成数字信息保存, 通过低压电力线载波将数据传送至集中器保存。其功能结构如图 2 所示, 该系统具有负荷控制功能, 即通过磁保持继电器的通断对用户电量进行控制。

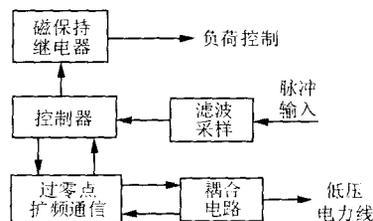


图 2 采集器功能结构图

Fig 2 Principle of acquisition module

通信信号的传输依赖于特定的耦合电路, 实际上是一个高通滤波器, 保证高频通信信号顺利通过, 而电网的工频信号被阻隔。图 3 给出了耦合电路的原理图, 高频耦合变压器是由铁氧体材料的环绕铁心绕制而成, 这种材料已被广泛证明适用于高频耦合变压器中。当信号耦合到低压电力线上时, 为了减小耦合损失, 发送装置的输出阻抗应该尽量低。低压电力线上的噪声是时刻变化的, 但在交流电压过零处干扰噪声最小, 因此使用过零点传输技术可以提高通信成功率, 同时引入主动式看门狗电路, 有效地提高了单片机软、硬件死机的自恢复能力。

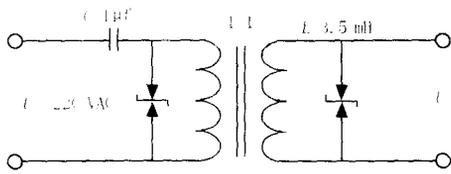


图 3 耦合电路

Fig 3 Coupling circuit

## 2 集中器的实现

集中器是指收集各采集器的数据并进行处理存储,同时能和管理中心进行数据交换的设备,一般安装在变压器附近<sup>[3]</sup>。为了提高集中器电量数据存储的可靠性,集中器采用了三种存储技术:选用非易失性铁电存储器 FM1808 存放电能表注册信息,其读写时间最短可达 70 ns,可读写次数达 10<sup>10</sup>次;用 I<sup>2</sup>C 总线器件 FM24C256 存放抄收到的电量数据, I<sup>2</sup>C 总线具有接口少,控制方式简单,器件封装形式小,通信速率较高等优点,此总线可以简化硬件电路设计,同时提高结果数据的可靠性;而对频繁操作的中继路径则选用具有易更新性的 Flash 存储器 MM36SB020 存放,其存储空间由 2 048 个页面组成,每个页面为 128 字节,每页管理一块电能表的中继路径。系统的最大容量由集中器存储容量决定,其最多可带 2 048 个采集器。图 4 给出了集中器主板硬件结构图。

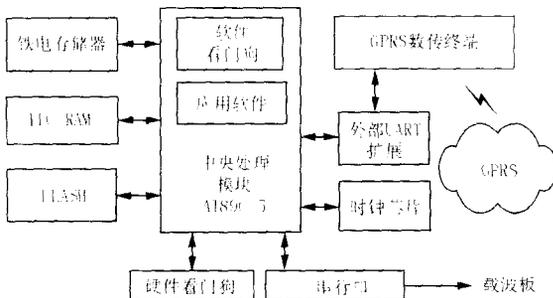


图 4 集中器主板硬件结构框图

Fig 4 Hardware structure of concentrator

### 2.1 低压电力线信道特点

电力线是为传输大能量的低频电能信号设计的,用于传输高频小能量的载波通信信号,存在三种主要的衰减类型: 线路衰减,这主要是由热耗以及辐射引起的; 阻抗不匹配引起通信信号的折反射; 多径传播引起信号波形的衰落<sup>[4]</sup>。

低压电力线上的噪声可以分为四类: 与工频同步的周期性噪声,其频率为 50 Hz 的整数倍,目前产生这种噪声的噪声源主要是电力电子设备,如

变频设备、开关电源、影印机等; 背景噪声,是配电变压器原边进入配电网的噪声、各种电气设备产生的噪声等的综合效果,它几乎覆盖了整个通信频段;

单次冲击型噪声,主要是由负荷的突然投切产生,如电容器组的投切,日光灯的开关等; 非同步的周期型噪声,这类噪声是指异于工频周期整数倍的周期噪声,主要是由电视机、电脑等设备产生的<sup>[5]</sup>。

因此,低压电力线信道具有信号衰减大,噪声高,信号传输具有时变性和频变性的特点,必须采用自动中继技术提高电能表数据的抄到率。

### 2.2 自动中继功能的实现

虽然电力线信道的网络拓扑结构和负载特性时时都在变化,但相对于通信信号的符号传送持续时间,信道可以被看成是一个连续变化的稳态过程,我们可以将其等效为 Markov 链,从而选择合适的帧中继策略,以实现通信的可靠性<sup>[6,7]</sup>。

#### 2.2.1 Markov 链的基本理论

设随机过程  $\{X_n, n \in T\}$ , 若对于任意的整数  $n \in T$  和任意的  $i_0, i_1, \dots, i_n \in I$ , 条件概率满足

$$P\{X_{n+1} = i_{n+1} | X_0 = i_0, X_1 = i_1, \dots, X_n = i_n\} = P\{X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n\}$$

则称  $\{X_n, n \in T\}$  为马尔可夫链 (Markov), 即随机过程的将来状态只通过现在与过去发生联系,一旦现在的状态被确定,将来的状态就不会再与过去有联系。电力线通信信道是一个符合 Markov 链的暂稳态过程。

#### 2.2.2 中继策略的选择与实现

当集中器抄收不到某采集器读数时,可以通过其它采集器进行数据转发。随着现场工程规模的扩大,对系统自动化程度的要求不断提高,根据 Markov 链模型的特点,必须使集中器实时自适应调整中继路径。

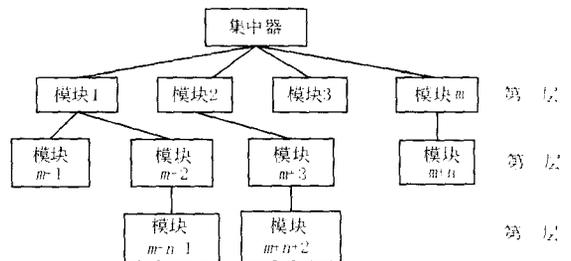


图 5 中继路径树型结构图

Fig 5 Principle of automatic routing technology

在集中器中建立如图 5 所示的树型查询结构,

集中器为树的根结点,集中器对每个采集器的抄收过程相当于树的根结点对其子结点的一次遍历过程。集中器根据每次遍历过程的结果动态调整中继模块号,从而与所有的采集器之间建立起可靠连接。《多功能电能表通信规约》中规定了信息帧的格式<sup>[8]</sup>。针对低压电力线信道的恶劣环境,我们对原规约作了适当的补充,增加实时中继标志位,并在数据域开辟长度为16字节的定长中继段,格式如图6所示。在每次遍历过程中,集中器根据实际抄收情况实时更新中继标志字和定长中继段模块号,便可实现最多七级自动中继功能。实验证明,利用中继功能可以大大提高抄表成功率。

一级 中继地址	二级 中继地址	七级 中继地址	目的 地址
------------	------------	------------	----------

图6 定长中继段定义

Fig 6 Definition of relay address

### 3 管理中心软件的开发

远程集中抄表系统中,管理中心软件的主要功

能是对用户信息进行分类存储,定期采集用户的电量数据,对数据进行分类、统计、打印等。同时,通过对系统状态的设置,保证系统的正常运行。软件实现的功能如图7所示。

利用GPRS无线连接集中器与管理中心具有以下优点:

1)覆盖范围广 只要在无线GPRS网络的覆盖范围之内,集中器都可以与管理中心建立连接,完成对电能表的控制和管理。而且扩容无限制,接入地点无限制,能满足山区、乡镇和跨地区的通信需求。

2)传输速率高,实时性强 GPRS网络传送率理论上可达171.2 kbps,集中器每次数据传输量在10 kbps之内,由于GPRS具有永久在线的特性且目前实际数据传输速率在40 kbps左右,因此完全能够满足本系统数据传输速率的要求。

3)支持X.25协议和IP协议 GPRS支持Internet上应用最广泛的X.25协议和IP协议。因此,管理中心只要拥有固定IP即可随时抄收用户电量数据。

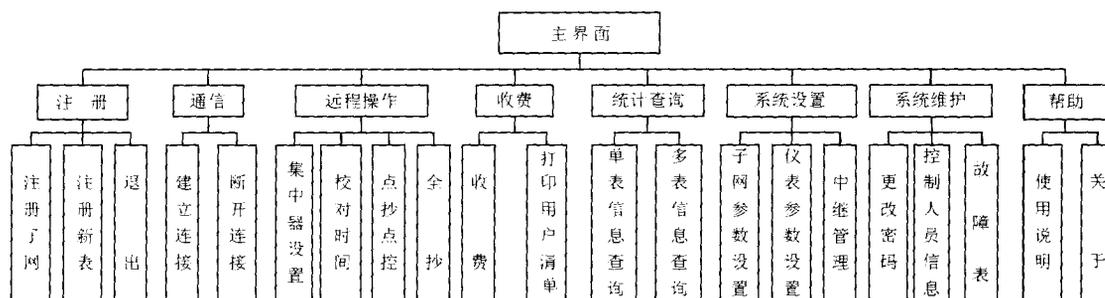


图7 管理软件功能框图

Fig 7 Functions of software system in master station

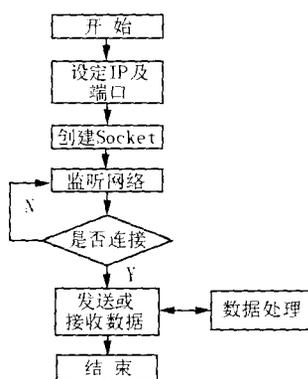


图8 GPRS通信接口程序流程图

Fig 8 Flow chart of interface program by GPRS

管理中心软件的重要功能是实现接收发送IP

包数据,从而实现与集中器的连接。双方连接成功后,管理中心软件预留接口,针对不同类型的应用数据帧格式,实现远程数据传输。主程序GPRS通信接口程序流程如图8所示。

### 4 结束语

“一户一表,集中抄表,银行联网”已成为电能计量计费信息化的长期发展目标。研制成功的低压电力线载波抄表系统具有两个主要的特色:一是首次在扩频通信的基础上引入过零点传输技术,通过检测电路检测电网电压的过零点,当接收到电压过零点的触发信号时进行扩频信号的传输,大大提高了通信成功率;二是引入独创的主动式看门狗电路

提高系统的可靠性,有效地增强了单片机软、硬件死机的自恢复能力,提高了系统的电磁兼容性。另外,集中器硬件电路采用三种存储技术,容量大且提高了用户电量数据的可靠性,集中器与管理中心通过GPRS相连具有扩容方便,接入地点无限制的优点。因此本系统具有性能可靠、应用范围广的优点,其主要功能有:抄收功能,含实时抄收、冻结数据、日全抄数据等;负荷控制功能,即通过磁保持继电器的通断对用户电量进行控制;分析功能,可根据冻结数据由总表与用户用电总量之差计算线损;报表功能,可打印用户每月用电以及交费情况;系统维护功能,可与集中器校对时间,记录多次抄收仍无法抄到读数的电表。系统经数月实际运行表明,实现了上述各项功能,抄到率达到100%,一次抄收成功率大于90%,说明本系统完全能满足实际需要。

#### 参考文献:

- [1] Smallwood C L. Power Quality Issues Relating to Power Line Carrier Automated Meter Reading Technology [J]. IEEE Rural Electric Power Conference, 2001, 29 (5): B1/1-B1/8
- [2] Hakki C I. A Solution to Remote Detection of Illegal Electricity Usage via Power Line Communications [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19 (4): 1663-1667.
- [3] DL/T698-1999, 低压电力用户集中抄表系统技术条件 [S].
- [4] Meng H, Chen S, Guan YL. A Transmission Line Model for High-frequency Power Line Communication Channel [J]. IEEE Power System Technology, 2002, 2 (10): 1290-1295.
- [5] Vines R M, Trussell H J, Gale H J, et al. Noise on Residential Power Distribution Circuit [J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1984: 161-168.
- [6] Zlotnikov Y, Shtileman S. Markov-type Routing Protocol for the Power Line Local Area Network [J]. IEEE Electrical and Electronic Engineers in Israel, 2000, (5): 491-494.
- [7] Canete F J, Diez L, Cortes J A, et al. Broadband Modeling of Indoor Power-line Channels [J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2002, 48 (1): 175-183.
- [8] DL/T645-1997, 多功能电能表通信规约 [S].
- DL/T645-1997, Multi-function Watt-hour Meter Communication Protocol [S].

收稿日期: 2004-11-30; 修回日期: 2005-02-17

#### 作者简介:

樊建学 (1980 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为低压电力线通信; E-mail: fanjianxue@tsinghua.org.cn

盛新富 (1960 - ), 男, 副教授, 长期从事低压电力线通信技术的研究。

### Research on automatic meter reading system for low-voltage customers

FAN Jian-xue, SHENG Xin-fu

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084 China)

**Abstract:** This paper details the principle of each element and realization of automatic meter reading system through low-voltage power line. The proposed system can improve which improving the reliability of communication by zero-crossing spread spectrum technology and active watchdog technology. Three adopted kinds of memory technologies enhances the reliability of power data for every household. 100 percent reliable connection is achieved by automatic routing technology against heavy attenuation, noise and variable transfer characteristic with frequency and time. The channel between master station and concentrator is through GPRS, which offers broad coverage. This system operates well in real environment.

**Key words:** automatic meter reading; zero-crossing; active watchdog; concentrator; automatic routing; GPRS

欢迎投稿, 欢迎订阅, 欢迎访问继电器杂志社网站

<http://www.powerkingdom.com/repress>