

基于扩频通信技术的智能电表设计*

林建宇

(上海电力学院 通信系,上海 200090)

摘要:介绍了一种基于扩频电力线通信技术的智能电表终端系统设计,该系统适用于低压配电网。利用AD7751芯片作为电量计量的主要部件,并将电能量参数通过SSCP300扩频载波通信模块传输到低压电力线,从而实现自动抄表。由于采用扩频通信技术,该系统能提高抗干扰能力,具有较高的实用价值。

关键词:电力线通信 扩频通信 自动抄表系统;智能电表

中图分类号:TM933

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2010)7A-0057-04

The Design for Smart Metering Based on Spread Spectrem Communications

LIN Jian-yu

(Shanghai University of Electric power, Shanghai 200090, China)

Abstract: A smart metering terminal design scheme based on spread spectrum communications is presented, which is applicable to low-voltage power network. The power and energy parameters are measured by AD7751 chip, transmitted by SSCP300 spread spectrum communications block over the low-voltage power line, which realizes automatic meter reading. In virtue of spread spectrum communications technology, the system enhances anti-interference with high practical applications value.

Key words: power line communication, spread spectrum communications, automatic meter reading, smart metering

0 引言

智能电网,是指通过建立数字化的电网系统架构,从整个网络系统的各个节点处(电表、变电站、发电厂等)获得所需的智能化信息。它包括先进计量体系(AMI)、高级配电运行(ADO)、高级输电运行(ATO)和高级资产管理(AAM)四大模块。其中,AMI是智能电网的关键体系,而智能电表又是AMI的核心。智能计量是实现智能电网智能化和智能数据管理的关键基础技术和重要功能。因此,智能电表是智能电网的重要终端。

自动抄表系统AMRS(Automatic Meter Reading System),是对电能计量自动抄收的自动控制系统,能提高电力系统用电管理的现代化水平。当电表计量系统具备电力线载波通信、无线电通信、RS-485等通信功能时,电能的自动抄表系统的性能得到提升。

1 电力线通信技术(PLC)

电力线通信PLC(Power Line Communication)技术,从广义上讲包含应用于高压输电网和中低压配

网的窄带电力线载波通信,以及在中低压配电网路上实现的宽带数据通信。它是利用覆盖广泛的电力线信道传输数据信号的一种通信技术^[1]。

当前电力线通信技术的发展相当迅速,将扩频载波通信模块加入到多功能电能表当中,实现对电能数据的传输,在自动抄表领域将会有很大的应用前景。电力线载波通信技术是自动抄表发展的重要方向,但电力线的传输环境具有不利于数据传输的特性^[2]。变压器和用户设备如空调、冰箱等有着极低的阻抗,可以使传输信号严重衰减,在线负荷变化大,如家电设备的瞬间起动可变的分布阻抗几乎对所有频率的信号都起着衰减或隔离的作用,并且这些变化没有规律,呈随机状态。噪声模型无规律等问题。针对以上干扰问题,宜采用抗干扰能力强的通信技术,即电力线载波采用扩频通信技术。扩频通信技术是信号所占带宽远远大于发送信息所必需的最小频带宽度的一种传输方式。频带的扩展通过伪随机码序列来完成,在接收机中用同样的码进行同步接收、解扩和数据恢复。实现扩频的主要方法有:直接序列调制、频率跳

*上海市重点攻关计划(08160510600,09160501700);
上海市教育委员会科研创新项目(09ZZ185,09YZ333)

变、时间跳变和利用Chirps扫描频率进行线性脉冲调制^[3]。目前,基于SSC技术的电力线通信芯片的数据传输速率在1~2 Mb/s。

2 智能电表系统的硬件设计

在远程电能抄表系统中,具有远程载波通信能力的智能电表系统是核心设备。智能电表系统硬件设计主要包括扩频载波通信模块、单片机控制模块和电能计量模块。其主要功能为数据信息的远程扩频载波收发、电能计量和负荷监控等。

它的总体工作原理框图如图1所示。扩频载波通信模块采用电力扩频载波技术,实现数据在电力线上的接收发送。电能计量模块是该系统的重要部分,它以电能专用计量芯片ADE7751为核心,将模拟的电流、电压信号采样后计算出瞬时功率,累加得到电能计量值并将电能数据存放在片内寄存器中。智能电表主要负责电能数据的采集,因此要有较大容量的存储模块,用以存储大量的电能数据,以便数据上报和统计。

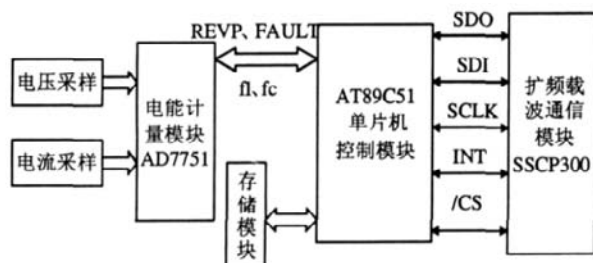


图1 智能电表系统的工作原理框图

Fig.1 Fundamental diagram of smart metering system

2.1 SSCP300芯片的主要功能特性

SSCP300芯片采用扩频载波通信技术,其传输信道为电力线,能通过SPI接口与单片机控制器进行串行通信。它符合EIA600 CEBus标准,扩频信号工作频率范围为100~400kHz的带宽,其数据包传输速率为10Kb/s。SSCP300芯片主要管脚功能如表1所示。

2.2 低压电力线扩频载波通信模块

低压扩频载波模块主要由SSCP300低压电力线

表1 SSCP300芯片主要管脚功能

Tab.1 Pin function of SSCP300 chip

CS	片选输入, 低电平有效
INT	中断输出, 低电平有效, 向控制处理器发出中断请求
TS	三态开关, 低电平有效
SDI	SPI 数据输入
SDO	SPI 数据输出到控制处理器
SI	模拟信号输入
SO	模拟信号输出, 三态信号 TS 使其为三态

扩频载波芯片、前置功放和电力线耦合电路构成,其主要功能是对单片机控制单元发送来的数据进行线性扫频调制,放大后耦合到电力线信道上;反之,对通过电力线信道发送的载波信号进行扫频解调后被单片机控制单元接收。其数据通信采用了收发分时控制的半双工通讯,与配电变压器集中器的通信距离约为1000m。在信道特性最恶劣的情况下保证不小于600m。

扩频载波通信模块通过串行外围接口(Serial Peripheral Interface,SPI)与单片机控制单元相连,AT89C51单片机与SSCP300通过CEBus通信协议通信来支持命令和数据的传输。这些命令和数据包括将要发送的分组、已接收到的分组和状态及设置信息。SSCP300则向单片机控制单元提供符合CEBus标准的数据链路层和EIA-6规范的物理层网络服务,最终实现了与单片机的通信。在发送数据模式下,电力线通信扩频载波Chirps从SO输出到滤波器,然后输出放大器由三态信号TS决定是否通过耦合电路传输到电力线信道上;在接收数据模式下,通信信号通过电力线信道传输到带通滤波器,经放大后传输到SI脚。因此,单片机控制单元AT89C51通过SPI接口总线对SSCP300内部寄存器进行读写。低压电力线扩频载波模块通过TS、SO、SI实现对功率放大电路单元的控制,使数据信号放大耦合在电力网中传输,完成基于电力线扩频载波技术的远程通信。采用SSCP300扩频载波智能电表的扩频载波模块在输入信号电平-30dB的微弱信号时仍然能够可靠准确地检测、解调。

2.3 电能计量模块

电能计量模块电路主要采用AD7751电度表芯片,可对50/60Hz单相交流电进行电能计量。在500:1的动态范围内,测量误差小于0.3%,符合IEC 1036国际标准。内部具有上电、掉电自动复位电路。它能实现有功功率测量、故障检测、防窃电、负荷控制以及显示等功能。AD7751芯片主要管脚功能如表2所示^[4]。

AD7751芯片引脚_{IC}以高频脉冲形式输出有功功

表2 AD7751芯片主要管脚功能

Tab.2 Pin function of AD7751 chip

U _{2P} 、U _{2N}	电压通道(CH2)的正负模拟信号输入端
U _{1A} 、U _{1B}	电流通道(CH1)的正负模拟信号输入端
FAULT	当U _{1A} 、U _{1B} 相差12.5%时,从FAULT脚输出高电平
REVP	当检测到负功率时,输出高电平
f _{1A} 、f _{1B}	两个负脉冲信号的输出端,频率均为f ₁ ,代表平均有功功率的信息
fc	正脉冲输出端,代表瞬时有功功率的信息
SO	模拟信号输出,三态信号TS使其为三态

率瞬时值,可用于电表校验或与MCU接口。芯片的 f_{IA} 、 f_{IB} 引脚上以负脉冲的形式输出有功功率平均值的信息,可直接驱动机电式计数器。芯片内部具有故障检测电路,当相线电流和中线电流相差12.5%时,即从FAULT脚输出高电平,可驱动发光二极管或蜂鸣器进行光声报警。当智能电表检测到负功率用电时,输出REVP信号。电能量计量模块的REVP和FAULT信号对于电度表现场错接线和防窃电具有实用意义。电量计量模块的表征负荷的即时有功功率的脉冲信号(i),通过单片机控制系统对其进行累加计数运算形成电能数据;由AD7751输出的 f_c 信号连接到AT89C51的T0、T1接口,对 f_c 脉冲进行累加计数,最后计算出有功功率P和电能W。AT89C51单片机通过P1口和INT0引脚模拟了SPI的接口电路,关于有功功率P和电能W的串行数据通过此接口发送给SSCP300。表征负荷的平均有功功率的脉冲信号(i),能给用户现场提供电度表运行的指示。此外,表征用户电力线漏电的信号(CURP)和电压异常信号(VOLP),可以作为负荷控制的判据。单片机控制模块向负荷控制模块输出负荷控制指令(Close)和(Trip),推动负荷控制模块动作,执行停电或送电。为了保证自动抄表的实时性和掉电后数据不丢失。存储模块采用了AT45DB321C,具有SPI接口,工作频率为44MHz。其容量是32M字节。共8192页,每页528字节。并且具有2个528字节的读写缓存SRAM,能加快读写速度。此外,LED显示模块通过MAX7219来显示输出电量电能数据。

3 智能电表系统的软件设计

系统软件设计采用模块化设计思想,其主要性能是满足电网电能计量采集的可靠性和精度。智能电表系统软件设计原理框图如图2所示。

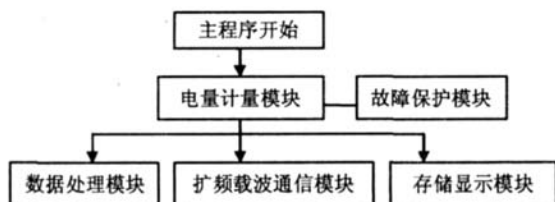


图2 智能电表系统软件总体原理图

Fig.2 Fundamental diagram of smart metering system software

其扩频载波通信子程序则按用电管理部门指令通信,包括接收程序和发送程序两部分。故障保护子程序能自动监测过载和窃电等故障,具有自保护等功能,最终实现智能化监控;当掉电保护子程序检测到电源掉电,则自动将当前电量和时间送串行非易失性

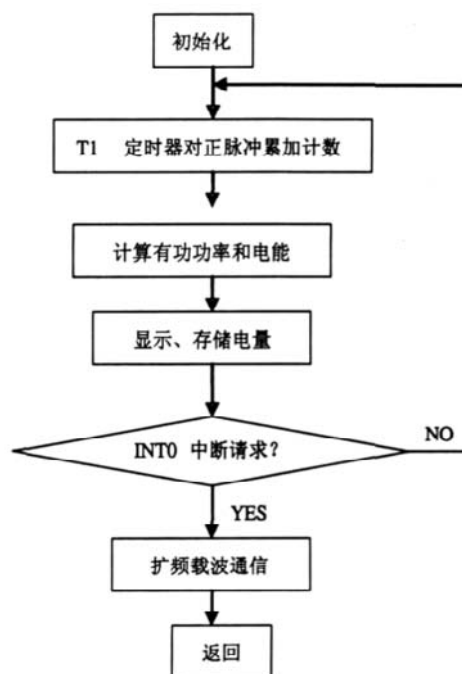


图3 智能电表系统软件流程图

Fig.3 Flow chart of smart metering system software

存储器保存,等恢复正常后自动以此值累计。异常保护子程序如果监测到用户用电过载、线路漏电或电网供电电压过高则通过负荷控制电路自动断电。存储、显示子程序则实时显示当前电量和有功功率。智能电表系统软件具体流程如图3所示。

此外,智能电表系统需采用有效的抗干扰措施以保证实际运行。当干扰信号较强时,系统性能的可靠性与运行安全性都会降低。在具有衰减、失真的电力线信道上,由于随机干扰,都会使得接收端解调后的数据出现差错。因此在考虑了通信调制技术、解调技术以及发射功率后,发送数据时必须采用一定的差错控制来确保数据可靠的通信。电力线上的干扰脉冲持续虽然短,但能量集中,频谱宽,能影响若干个位甚至十几个位。为了纠错比较多的误码,就需附加多余码元,这就使得传输效率低下。此外,由于电力线信道的时变性,难以测定数据通信信道的差错统计特性。当系统的信道产生的差错超过其纠错能力,接收端将收到错误信息。因此智能电表系统的抗干扰设计是在电力线数据传输中采用ARQ差错控制为差错控制协议,其优点是能自动调节通信信道性能,数据传输率也可通过接收端的信噪比电平来进行改变。

4 结论

智能电表系统采用了SSCP300和AD7751等芯片,主要实现了通信、电能计量、数据处理等功能。此系统的主要创新点是能利用电力载波扩频通信技术实现

了电能量参数测量、数据通信,提高抗干扰能力,突破传统的电度表概念,把用户电度表终端设计成一个智能化的综合性通信终端。除了完成电量的计量和存储外,它还具有用户现场防窃电、故障保护、和负荷控制等功能。其数据传输速率为 $1 \sim 2 \text{ Mb/s}$,能满足自动抄表的数据量。通过对低压配电网智能电表自动抄收系统的实验、调试和试运行,可以做到正确无误的自动抄收。由于该系统的数据量小,可以降低传输速率,从而可以降低误码率。

参 考 文 献

[1] 齐淑清 主编. 电力线通信 (PLC) 技术与应用[M]. 中国电力出版

社,2005.

[2] Shwehdi, M.H. Khan, A.Z. A power line data communication interface using spread spectrum technology in home automation. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, Issue 3, July, 1996.

[3] 田日才 编著. 扩频通信[M]. 清华大学出版社,2007.

[4] 沙占友 主编. 智能传感器系统设计与应用[M]. 电子工业出版社, 2004.

作者简介:

林建宇 (1979-), 男, 浙江瑞安人, 上海电力学院通信系讲师。主要研究方向为通信网络系统及控制技术, 着重在电力线载波通信网络、控制理论与控制工程的研究。Email: zephyrlin@smmail.cn

收稿日期 2010-01-19

(田春雨 编发)

(上接第 8 页)

(2) 对于一些高准确度的数字仪表,为抑制工频干扰常常具有多种积分时间。若需要较高的分辨率并且增强干扰抑制,可以选择较长的积分时间;

(3) 在磁场附近进行测量时,为避免在测量接线上产生感应电压,可以使用绞和电缆线,同时尽量缩短测量接线,另外还可以使用屏蔽或隔离措施;

(4) 在测量电路上的电压时,为避免接地回路的影响,一般将数字仪表和接地端隔离,即输入端不接地。如一定要接地,必须将数字仪表和测试元件连接到相同的接地点,同时连接到相同的电源插座上;

(5) 具有较高准确度的数字仪表一般具有保护端 G。测量时保护端 G 可以连接到信号源的低电位输入端。通常,需要将保护端 G 连接到信号源的有以下几种状况 (即 L 和 G 之间不短接): (1) 存在共模电压; (2) 进行精确测量; (3) 进行分辨率低于 $10 \mu\text{V}$ 的高灵敏度测量; (4) 使用长信号导线。

一般情况下,不需要单独连接保护端 G,即在 L 端和 G 端之间直接用短接片短接。

6 结束语

随着数字测量技术的不断发展,要求数字仪表有较好的抗干扰能力,否则仪表的分辨力再高,也很难把被测信号从干扰中正确地测量出来。因此,我们在

使用数字仪表进行测量的过程中,一定要了解数字仪表的性能,正确使用数字仪表的保护屏蔽技术,保证数字仪表测量准确。

参 考 文 献

[1] 冯占岭. 数字电压表及数字多用表检测技术 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2003.

[2] 张健志. 数字显示测量仪表 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.

[3] 李永敏. 数字化测试技术 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.

[4] 龙德斐. 数字化测量技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

[5] 陶时澎. 电磁测量线路与仪器的屏蔽防护 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.

[6] 魏岫崑. 数字测量仪器 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1984.

作者简介:

曹颀 (1961-), 女, 高级工程师, 从事电测量。

Email: caojie2008007@126.com

卢欣 (1972-), 男, 高级工程师, 从事高压计量。

Email: Happy_lu@126.com

孔昭兴 (1977-), 男, 工程师, 从事电测量。

Email: 0728922@sina.com

杨光 (1983-), 男, 助理工程师, 从事电测量。

Email: superyng@hotmail.com

收稿日期 2009-09-03

(田春雨 编发)