

基于电力载波通信智能电能表设计^①

宁 靖, 朱志杰

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 针对智能电网“信息化、数字化、智能化”的要求, 设计了一款基于电力载波通信智能电能表。首先介绍了载波通信原理, 并对载波通信电能表的工作原理、功能进行了详细阐述, 采用高精度“电能计量芯片 ADE7755+微处理器”的方案, 实现对电能参数的计量、监控和调整。最后对系统误差分析等作了比较详细的阐述。初步实验表明该电能表计量准确, 性能良好, 智能化程度高, 达到了设计要求。

关键词: 载波通信; 电力载波电表; 单片机控制

Design of Single Phase Energy Meter Based on Power Line Carrier

NING Jing, ZHU Zhi-Jie

(College of Electronics and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: According to the smart grid's "informatization, digital, intelligent" requirement, this paper designed a new power metre based on power carrier communication. First it introduced the principle of the carrier communication, and detailedly elaborated the working principle and function of the power meter, adopting high precision "energy metering ADE7755+microprocessor chip" plan to realize the measurement of the power parameters, monitoring and adjustment. In the end, the system error analysis were elaborated in detail. Preliminary tests showed that the power meter accuracy in measuring, the performance was good, intelligent, and meet the design requirements.

Key words: carrier communication; power carrier meter; MCU control

实现电网智能化是世界各国电力企业应对未来诸多挑战的必然选择。作为电网建设重要的基础设施, 智能的电表的发展对电网实现信息化、互动化、智能化具有重大意义^[1,2]。电力线载波通信是一种利用现有输电线路作为高频信号传输媒介, 以实现数据传递和信息交换的通信方式。其优点是: 利用现有电网线路作为信息传输载体, 不需要建设新的通信网络, 节约了成本; 将电力线通信技术、网络技术和微控制器进行结合, 将电力线作为控制总线的数据总线, 通过电力线将所有控制器与其功能接口及设备相连, 实现程序控制, 调整数据的传输^[3-5]。

系统采用基于 Σ - Δ 模数转换技术的电量计量专用芯片 ADE7755 进行电能参数转换, 并选用高性能、低功耗的 AT89S52 作为处理器。被计量电能的电流通过电流互感器 (CT) 取样, 电压经过电阻分压网络取

样。采样信号经 ADE7755 处理后转换为电能脉冲信号, 并由主控芯片 AT89S52 实现电能统计、电能参数存储及显示。外围电路主要有 LCD 显示驱动, 载波通信电路等。

1 电能表硬件设计

1.1 电能计量原理

电能计量主要由计量芯片 ADE7755 实现, 其工作原理如下^[6-8]:

设负载两端的交流电压 $U(t)$ 和流过负载的交流电流 $I(t)$ 均为正弦波, 且满足:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t)$$

$$I(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi)$$

式中: U_m - 电压峰值, I_m - 电流峰值, U - 电压有效值, φ - 电压、电流相位差, ω - 角频率。

① 收稿时间:2011-03-28;收到修改稿时间:2011-05-10

那么负载上消耗的瞬时功率 P(t)为

$$P(t) = U(t) \times I(t) = UI \cos \varphi \times \sqrt{2}UI \sin(2\omega t - \varphi)$$

有功功率 P 定义为瞬时功率在 P (t) 一个周期内的平均值

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot I(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI[\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] dt = UI \cos \varphi$$

式中: T-正统周期, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 。

有功功率通过 ADE7755 引脚 CF 以较高频率形式输出, 送入 AT89S52, 进行电能脉冲统计, 实现电量计量。

1.2 系统硬件设计

根据智能电网对电能表“数字化、信息化、互动化”的要求, 系统设计的基于电力载波智能电能表的结构原理图如图 1 所示。

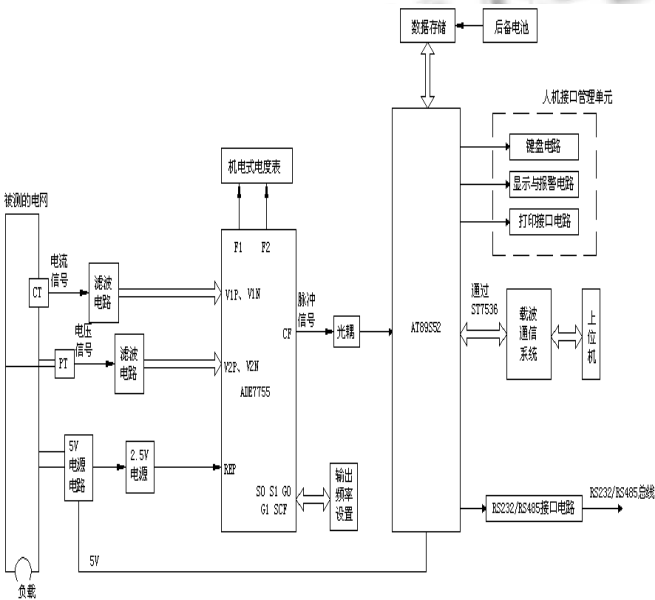


图 1 系统结构原理图

系统硬件电路的具体实现采用模块化的设计方法, 可将其分为信号调理与数据采集、信号处理、数据存储、LCD 显示、数据通讯等几个模块, 如图 2 所示。

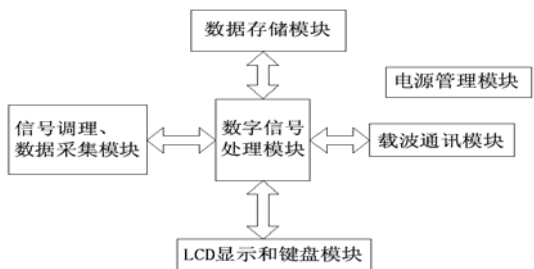


图 2 硬件模块框图

1.2.1 信号调理和数据采集模块

实现信号采集及调理功能。被测电压经电阻分压网络按比例分压, 电流经电流互感器 (CT) 采样得到电压信号, 并送往 ADE7755 计量芯片进行下一步处理。图 3 显示了电流与电压采样原理。

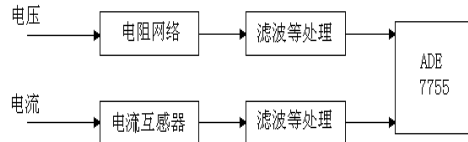


图 3 电流与电压采样原理图

1.2.2 电能计量及数字信号处理模块

以 ADE7755 作为主要计量芯片, AT89S52 作为主控芯片, 实现电能计量、电能脉冲统计等相关参数处理。

1.2.2.1 ADE7755 工作原理

ADE7755 内置的两个模数转换器 (ADC) 对来自电流和电压传感器的电压信号进行数字化, 这两个 ADC 都是 16 位二阶 $\Sigma-\Delta$ 模数转换器, 过采样速率达 900kHz。有功功率是从瞬时功率推算出来的, 瞬时功率信号是用电流信号和电压信号直接相乘得到的。为了得到有功功率分量 (即直流分量), 只要对瞬时功率信号进行低通滤波就可以了^[9]。

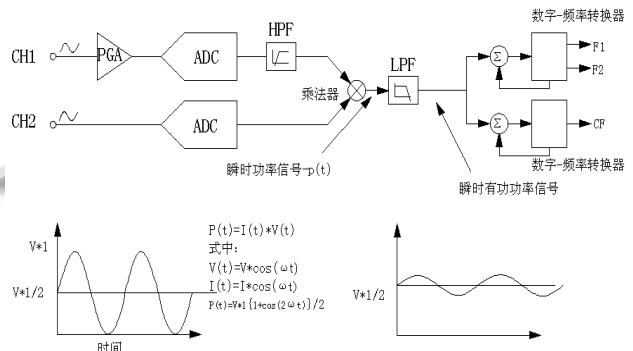


图 4 ADE7755 信号处理框图

图 4 显示出了瞬时功率信号如何通过低通滤波来获取有功功率。ADE7755 的低频输出是通过对上述有功功率信息的累计产生, 即在两个输出脉冲之间经过长时间的累加, 因此输出频率正比于平均有功功率。当这个平均有功功率信息进一步被累加, 就能获得电能计量信息。

ADE7755 引脚 F1 和 F2 以较低频率形式输出有

功率平均值,能直接驱动机电式计度器或微控制器(MCU)接口。引脚 CF 以较高频率形式输出有功功率瞬时值,用于与 MCU 接口。

1.2.2.2 电能脉冲统计

在一定时间间隔内,AT89S52 对输入的电能脉冲进行统计,从而实现电量计量。

1.2.3 数据存储与 LCD 显示

数据存储与 LCD 显示实现数据实时存储与显示功能。由于电能表计量要求电能脉冲的持续性,而主供电系统依靠电网供电,导致供电中断的因素较多,因此需要掉电检测。如果检测出供电系统断电,则需要启用备用电源以保证数据存储的连续性,而且数据必须存储在掉电不易失的存储器(如 EEPROM,FLASH 等)中。

系统采用的单片机是 AT89S52,其内部已经集成了 8K 的 Flash ROM,并且 ADE7755 自带电源监控功能,因此只需要解决好单片机的掉电问题即可。可以在系统的稳压前端设置监测点,当监测点的电压下降到比另一个基准比较电压(2.5V)低时产生单片机外部中断。当单片机接收到外部中断后启动数据存储程序,将数据存储到片内 Flash。当主供电系统恢复供电后,单片机首先读取 Flash 数据,然后再恢复计数。系统选用 PCF8576 芯片驱动点阵式液晶,主要显示居民用户各种电量数据,包括时间、时段、费率以及各种峰、谷、平的指示等。

1.2.4 电源管理模块

电源管理模块的主要作用是确保在任何情况下都能够保证电能表时钟的正常运行及电能表内部数据的安全。电能表可以使用的电源一种是由交流供电线路供电的电源,另一种是电池。电池一般都作为备用电源使用。

1.2.5 载波通讯模块

载波通讯模块实现载波通讯功能。由于在电力线上存在诸多使载波信号的信噪比急剧下降的因素,因而很难保证载波信号在一个供电区域内无损地传输,只有选取合适的电力线调制解调器(MODEM),才能最大限度地保证传输质量。在本系统中,我们选择了 ST 公司的电力载波调制解调器芯片 ST7536。

ST7536 是一种半双工、同步传输的频移键控(FSK) MODEM。尤其适用于低压电力线网络通信,可通过电力线接口与电力线进行数据传输。下图所示

系统能够在 4 个不同的信道上以 2 种不同的数据传输率(600 和 1200bps)进行发送和接收。

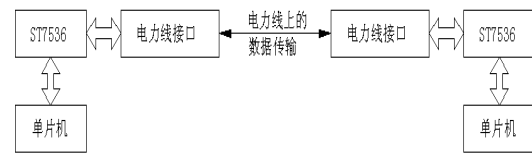


图 5 ST7536 构成的通信系统

电力线接口主要由缓冲器、低通滤波器(LPF)、功率放大器及预放大器组成。

ST7536 有两种工作模式:发送模式和接收模式。

在发送模式下,电力线接口将来自 ST7536 芯片引脚 ATO 的发送信号进行放大及滤波。接口缓冲区的作用是保护 ST7536,并且可以驱动电力线接口中的下一个部件。通过低通滤波器(LPF)抑制谐波。滤波后的信号被送入功率放大器,这个功率放大器可以通过转换器来驱动阻抗为 1~100Ω 的电力线。此外,放大器还可以进行频段滤波,以抑制或改善信号的二次谐波。

在接收模式下,转换器从电力线上取得信号,并在预放大器中进行放大,再送给 ST7536 的接收输入引脚 RAI。接收模式下,为了避免功率放大器的低输出阻抗造成对接收信号的衰减,应当关闭缓冲器和功率放大器^[10]。

载波通信协议帧包括起始帧、地址帧、控制帧、数据帧、校验帧及结束帧。

起始帧包含 2 个字节的确定信息,是载波通信发起的指示帧,系统只有在接收到此帧时,才会进行数据的收发。

地址帧包含 2 个字节内容,以确保通信的准确。

控制帧包含 3 个字节的内容,即控制字、命令字和数据类型字。分别用于判断数据是否需要应答、数据是上行还是下行以及是进行读表还是抄表操作。

数据帧包含 3 个字节内容,可根据不同操作进行调整。只有当发送的数据帧被确认后,才能接着发送下一个数据帧。

校验帧采用 4 个字节的 CRC 冗余校验帧。

2 系统软件设计

系统软件设计采用汇编语言与 C 语言相结合的编程方法,并采用模块化及子程序嵌套的设计手段,实现对电能脉冲的采集、处理和电量显示;和载波通信芯

3 实验结果及分析

表 1 不同类别图像查全率与查准率比较

类别	10		15		20	
	查全率	查准率	查全率	查准率	查全率	查准率
公交车	0.14	0.71	0.21	0.72	0.28	0.65
花卉	0.13	0.68	0.19	0.63	0.24	0.61
马	0.15	0.72	0.2	0.71	0.29	0.72

本文在 Windows XP 操作系统上使用 Matlab7 编程平台进行图像检索的实验, 实验的图像库在标准的测试图像库 Corel^[5] 中选取, 其中包括有公交车、花卉、马、雪山、欧式建筑 8 个类别, 每个类别选取 50 幅图像。查准率(precision)和查全率(recall)是基于内容的图像检索系统性能的 2 个重要的指标^[5], 表 1 是使用本文算法对其中 3 个类别在返回图像为 10、15 和 20 时统计的查全率和查准率。该表是从多组测试数据中提取较好的一组平均值。从数据看, 本文算法对公交车、花卉、马有较好的检索效果, 但对建筑等其它类

别检索效果不佳, 这是以后需研究改进的地方。

参考文献

- 1 Tamura H, Mori S, Yamawaki T, et al. Texture feature corresponding to visual perception. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, 1978, SMC-8(6):460-473.
- 2 Kia OE, Doermann DS, Rosenfeld A, et al. Symbolic Compression and Processing of Document Images. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 70(3):335-34.
- 3 曾智勇, 周利华, 吴成柯. 基于快速小波包直方图技术的图像检索算法. 计算机科学, 2006, 33(10):213-215.
- 4 Haralick RM, Shanmugram K. Texture features for image classification. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, 1973, 3(6):610-621.
- 5 田小忱, 杨东, 杜春华. 综合颜色和 Contourlet 直方图的图像检索方法. 计算机工程, 2010, 36(1):224-247.

(上接第 202 页)

电能累加值不变, 其余仍以 TB 进行中断, 直到发出第二个脉冲。由于定时器的最小时间分辨率小于 0.5us, 低于分辨率的能量较小, 可以忽略。

4 结语

我国“一户一表”的电能计量制度使电力载波通信成为自动抄表系统中最受关注的通信方式, 它可以充分利用现有的电力网作为信道, 节省大量的人力物力。本设计方案在保证电能表计量精度的基础上, 很好地解决了电能表与上位机的通信问题, 实现电能计量、存储、显示等各项功能, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 董力通, 周原冰, 李蒙. 智能电网对智能电表的要求及产业发展建议. 能源技术经济, 2010, (1):15-17.
- 2 忻龙彪, 龙在云. 智能电网终端的多功能电能表设计. 低压电

器, 2010, (12):11-13.

- 3 吴俊, 朱明程. 电力载波电表及其载波通信. 电力自动化设备, 2004, (6):78-81.
- 4 徐海. 电力线载波通信耦合单元. 2002.
- 5 俞喆. 电力线通信技术的发展与应用. 电信科学, 2002, (9):56-58.
- 6 张伟军, 谭智力. 基于 ADE7755 的电子式单相电能表设计. 2008.
- 7 黄伟. 电能计量技术. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- 8 沙占友. 功率测量技术及其应用. 电源技术应用, 2006, (7):26-59.
- 9 姜玉玲, 李默之. 计量芯片 ADE7755 与 ADE7755 设计应用的区别. 仪器仪表技术, 2004, (1):60-63.
- 10 朱明珏, 张福民. 电力线 MODEM 芯片 ST7536. 新器件新技术, 2001, (7):35-38.