

基于 MSP430 的一种新型电压监测仪的研制

吕项羽, 毛立志, 温渤婴

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 介绍了一种新型电压监测仪的设计原理及软件流程图。采用 FLASH 型 16 位单片机 (MSP430F149) 作为微处理器, 能方便地进行在线系统编程; 3V 系统设计, 降低了装置的功耗; 所选单片机内部资源丰富, 集成度高, 外围电路简单, 使得装置体积进一步缩小; 嵌入的 GSM 模块, 可通过短信传送数据; 增加的 USB 接口, 方便了装置与 PC 机的数据交互。

关键词: 电压监测仪; MSP430; GSM 模块; USB

中图分类号: TM764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)11-0063-05

0 前言

电力系统走向市场化的今天, 电能质量作为衡量电网传输电能优劣的一个标准变得越来越重要。为了保证电能质量, 国家要求对电压、谐波、频率、不平衡度、闪变等五大电能质量指标进行实时监测统计。对电压来说, 国电公司要求统计每月各级电网运行电压的: 总运行时间、合格运行时间、合格率、超上限时间、超上限率、超下限时间、超下限率、停电时间、停电次数、最高电压、最高电压出现时间、最低电压、最低电压出现时间、平均电压等。因此, 电压监测仪已经成为电厂、变电站和一些对电压质量要求较高的用户必备的重要仪表。

然而, 虽然电压监测仪问世已有十多年且技术上不断改进, 但是现在还存在一些问题, 具体有:

1) 时间精度及事件顺序的正确性不高。系统停电时, 仪器时钟芯片大都选择后备电池供电。在电网频繁停电、闪变、打雷、闪电等恶劣条件下, 时钟容易出错, 导致统计结果出错。

2) 通讯方式和接口落后。仪器大多采用 RS-232 串行通讯接口, 速率低, 误码率高, 接口已经很难适用于信息技术急速发展的今天, 并且, 新型的笔记本电脑已经不具备这种接口, 从而影响装置与电脑的匹配; 还有采用定时打印电压数据或 IC 卡读取电压数据, 安装调试方便, 但是需要人工抄录统计数据; 也有利用无线通信系统或电话 Modem 传输方式, 虽然使用方便, 但需要自己对通信网络进行维护或租用公网, 费用高。

3) 仪器规格多且大多属单相电压测量, 应用范围窄。由于电网电压有 10 kV、35 kV、110 kV、220 kV... 等多种规格, 以往电压监测仪一般一台仪器只

能适用一种电网电压规格, 造成仪器规格种类多。

4) 版本升级困难、功耗大、精度低。大多数装置不能实现在线写入程序; 工作电压为 5 V, 损耗较大; ADC 转换精度往往是 8 位或 10 位, 误差相对较大, 难以满足统计和控制的精度要求。

针对上述问题, 研制了基于 MSP430 芯片的新型电压监测仪。

1 电压监测仪的设计及主要特征

电压监测仪电路原理框图如图 1 所示。

1.1 CPU 的选择

本设计采用德州仪器公司生产的 16 位 FLASH 型 MSP430F149 芯片。MSP430F149 可以实现在线写入, MSP430 FLASH 擦写次数高达 10 万次, 其 JTAG 在线仿真调试省去了传统的、昂贵的仿真器与编程器, 节省了用户开发时间。

MSP430F149 有丰富的内部资源, 包括 60 kb 的 FLASH ROM 和 2 kb 的 RAM, 两个带看门狗功能的 16 位定时器, 一个内部比较器和两个通用同步/异步发射接收器、48 个 I/O 口 (均可独立控制); 一个硬件乘法器, 从而提高了单片机的性能并使单片机在编码和硬件上可兼容; 内部集成的 A/D 转换器有 12 位分辨率, 高 2 位由电阻网络获得, 低 10 位由电容网络获得, ADC12 有内置的采样保持电路, 有 8 个内部模拟输入通道, 每个通道可独立选择内外正负参考电压源, 片内有 16 组采样寄存器, 其中一个 16 位寄存器存放转换结果, 一个 8 位寄存器存放采样通道号、参考电压选择及序列标志; MSP430F149 不仅运行速度快, 而且芯片内部配有“看门狗”电路, 可靠性要高得多。

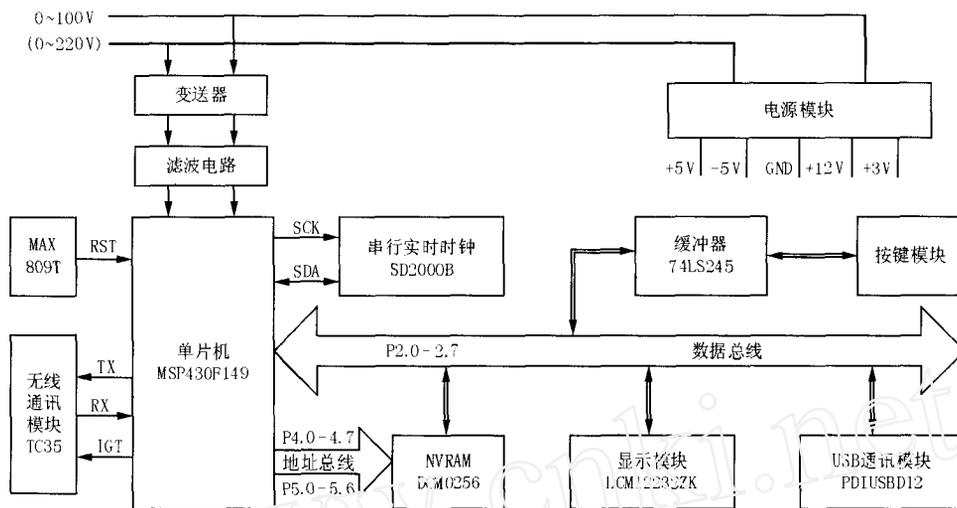


图 1 电力监测仪硬件原理框图

Fig 1 Hardware design of power monitor

1.2 RAM 的选择

采用了高速数据不挥发静态 NV-SRAM—DCM0256-7LU。该芯片写入的数据可保存十年以上(在外电路失电的情况下),同时具有可靠的上电、掉电、强电磁冲击等数据保护功能。以 DCM256B 型(32 × 8 位容量)存储器为例,连续上电、掉电等冲击达一万次时,全部 32 k 字节数据无一丢失,而其它同类存储器有的仅几次到几十次就开始丢失数据了;读/写使用次数无限,读/写速度快(小于 100 ns,可达 50 ns),读/写方式简单(和常规 SRAM 一样)。

1.3 时钟电路

采用 SD2000B 型高精度实时时钟。SD2000B 是一种具有内置晶振、支持 I²C 总线接口的高精度实时时钟芯片。该系列芯片可保证时钟精度为 ±4 ppm,即年误差小于 2 min;可内置电池、串行 NV-SRAM,其中内置一次性电池可保证在外部掉电情况下时钟使用寿命超过五年,内置充电电池在一次充满情况下可保证内部时钟走时超过一年以上(可满足 200 次);内置串行 NVSRAM 为非易失性 SRAM,擦写次数可达 100 亿次。

SD2000B 实时时钟部分是通过基于 I²C 总线的串行接口方式去接收各种命令并读写数据的,所以硬件接线很简单,除电源和接地外,只采用 MSP430F149 的 P1.0 和 P3.0 两个管脚进行 I²C 的时序模拟。当 CPU 发出开始条件给实时时钟部分建立连接后,CPU 通过 SDA 总线连续输出 4 位器件地址、3 位操作指令和 1 位读/写指令。实时时钟的

实时数据寄存器是一个 56 位的存储器,它以 BCD 码方式存贮,包括年、月、日、星期、时、分、秒的数据。任何读/写操作或实时数据存取命令都通过发送或接收年数据的第一位“LSB 执行(SD2000B 的详细资料请读者参看厂家提供的技术资料)。

由于 MSP430F149 可采用 C 语言进行编程,为方便读者深入了解程序的内容和调用程序方便快捷,采用 C 语言对 I²C 总线进行模拟。

1.4 USB 接口设计

采用飞利浦公司的 PDIUSB12 芯片的 USB 接口技术,使装置与电脑通讯更加可靠、快捷,还可以将月报表数据转存到移动 U 盘中。

PDIUSB12 是高速通用并行接口,支持本地的 DMA 传输,完全符合 USB 1.1 版的规范。数据传输采用 8 位并行传输,传输过程采用 MSP430F149 的 I/O 口线进行模拟。其中, PDIUSB12 的 A0 口与单片机任意 I/O 口相连,该端口控制 PDIUSB12 的命令和数据状态, PDIUSB12 的频率输入可由单片机 6 M 晶振提供。

1.5 无线通讯接口设计

在保留原有有线通讯接口的基础上,增添无线通讯模块,告别费时、费力的人工抄表工作模式,实现远方数据的传输。无线通讯模块 TC35 终端硬件框图如图 2 所示。

无线通讯模块采用西门子公司出品的双频 900/1800 MHz 高度集成的 TC35 GSM 模块, TC35 采用 GSM Phase 2/2+ 标准,支持 EGSM900/GSM1800 两种频率,应用模块提供的高速数据传输服务,进行

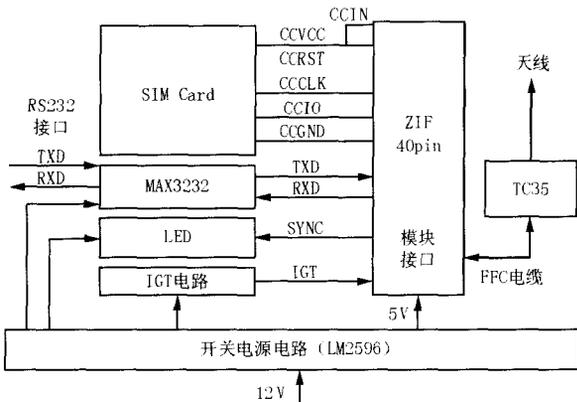


图 2 TC35终端硬件框图

Fig 2 Hardware design of TC35 terminal

月报表数据的无线传输,传输速率高达 85 kbps。

TC35模块主要由 GSM 基带处理器、GSM 射频模块、供电模块(ASIC)、闪存、ZIF连接器、天线接口六部分组成。作为 TC35的核心,基带处理器主要处理 GSM 终端内的数据信号,并涵盖了蜂窝射频设备中的所有模拟和数字功能。TC35模块的正常运行需要相应的外围电路与其配合。

TC35共有 40个引脚,通过 ZIF连接器分别与电源电路、启动与关机电路、数据通信电路、语音通信电路、SM卡电路、指示灯电路等连接。启动电路由开漏极三极管和上电复位电路组成。模块上电 10 ms后(电池电压须大于 3 V),为使之正常工作,必须在 15脚(/IGT)加时长至少为 100 ms的低电平信号,且该信号下降沿时间小于 1 ms。启动后,15脚的信号应保持高电平。

数据通信电路主要完成短消息收发、与 PC 机通信、软件流控制等功能。TC35的数据接口采用串行异步收发,符合 ITU-T RS-232接口电路标准,工作在 CMOS电平(2.65 V)。数据接口配置为 8位数据位、1位停止位、无校验位,可以在 300 ~ 115 kbps的波特率下运行,支持的自动波特率为 4.8 ~ 115 kbps(14.4 kbps和 28.8 kbps除外)。TC35模块还支持 RTS0/CTS0的硬件握手和 XON/XOFF的软件流控制。数据通信电路以 TI公司的 MAX3238芯片为核心,实现电平转换及串口通信功能。

1.6 电源电路设计

由于仪器功耗不超过 3 W,可取电网二次回路 PT侧 100 V电压(即测量电压)作为输入交流电压(如果装置是监测低电压用户类型的,可直接接 220 V交流电),经整流、稳压后得到一组 ± 5 V, +12 V, +3.3 V 直流电压源。这样信号与电源共线,便于

现场直接安装。

1.7 前向通道

已知 MSP430F149芯片中集成有 12位的高精度 A/D转换器,前向通道由互感器、放大器和滤波电路组成。电网二次回路电压经互感器 PT降压后得到 0 ~ 3 V(有效值)输入电压。经阻容滤波网络滤波后,进入 A/D转换器,每个工频周期采样 128 个点。

1.8 参数设置功能程序

编制了一个设置程序。用户可以通过仪器键盘设置所监测的电网电压等级、上限电压、下限电压等参数,达到一机多用、适应不同电网等级的目的;通过设置精度调整系数,可在线自行校准精度。所设置参数均放入 DCM0256 - NVRAM中,以防掉电造成数据丢失。

1.9 主要算法

目前,市场上很多电力监控仪表计算方法大多采用积分和算法。该算法在直流成分和谐波干扰下,将产生较大误差。

而本装置则采用快速傅里叶变换算法(FFT)。FFT算法将避免因模拟滤波电路参数不匹配带来的误差,极大地提高了测量精度。应用快速傅里叶变换测量的基本算法如下。

假设无噪声的输入信号是频率为 ω_0 的正弦波电压:

$$u(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi_0) = A \sin(\omega_0 t + \phi_0) \\ = A \cos(\omega_0 t + \phi_0 - \frac{\pi}{2}) \\ \omega_0 = 2\pi f_0, f_0 = 50 \text{ Hz}$$

其中: ϕ_0 为初相位; ϕ 为电压相角变化; A 为幅值。

$u(t)$ 可用矢量 \vec{U} 的虚部表示。

$$\vec{U} = A e^{j\phi_0} e^{j\omega_0 t} = A [\cos \phi_0 + j \sin \phi_0] [\cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t] = \\ A \cos \phi_0 \cos \omega_0 t - A \sin \phi_0 \sin \omega_0 t + j [A \sin \phi_0 \cos \omega_0 t + \\ A \cos \phi_0 \sin \omega_0 t]$$

则:

$$u(t) = A \sin \phi_0 \cos \omega_0 t + A \cos \phi_0 \sin \omega_0 t$$

若将 $A e^{j\phi_0}$ 看作 \vec{U} 的复数振幅 U_m

$$U_m = e^{j\phi_0} = A \cos \phi_0 + j A \sin \phi_0 \quad (1)$$

对 $u(t)$ 信号每周波采样 N 次,产生采样序列 $\{u_k\}$

$$u_k = A \sin \left[2\pi f_0 k \frac{T_0}{N} + \phi_0 \right] = A \sin \left[\frac{2\pi}{N} k + \phi_0 \right]$$

其中: $\frac{T_0}{N}$ 为采样间隔。

对 $\{u_k\}$ 进行离散傅里叶变换得到基波分量的频谱系数 $u_1(k)$:

$$u_1(k) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k e^{-j(2/N)k} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos \frac{2}{N} k - j \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin \frac{2}{N} k = u_1 - jU_R$$

$$u_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos \frac{2}{N} k, \quad u_R = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin \frac{2}{N} k \quad (2)$$

其中: u_1 和 u_R 分别在 $u_1(k)$ 表达式中是余弦项之和及正弦项之和。

对正弦输入信号可以证明:

$$U_1 = A \sin \quad (3)$$

$$U_R A \cos$$

$u_1(k)$ 是输入信号的基波频谱系数, 由式 (1)、(2)、(3) 可得出 $u_1(k)$ 与 U_m 的关系。

$$ju_1(k) = j[u_1 - ju_R] = u_R + ju_1 = A \cos + jA \sin = U_m$$

可见, $u_1(k)$ 和 U_m 都是表示基波分量的复数振幅, u_1 和 u_R 分别为复数振幅的实部和虚部。利用输入信号基波电压复数振幅的实部和虚部可以求得交流电压 U 的有效值, 为此先将复数振幅的实部和虚部变成有效值, 假定输入电压复数振幅的实部和虚部有效值用 U_R 和 U_1 表示, 则输入电压的有效值为: $U = \sqrt{U_R^2 + U_1^2}$ 。

2 软件流程图

软件流程图如图 3 所示。程序设计采用 C 语言为主体, 调用汇编, 外部总线传输采用模拟总线的方式, 时序和逻辑实现简单而快速。

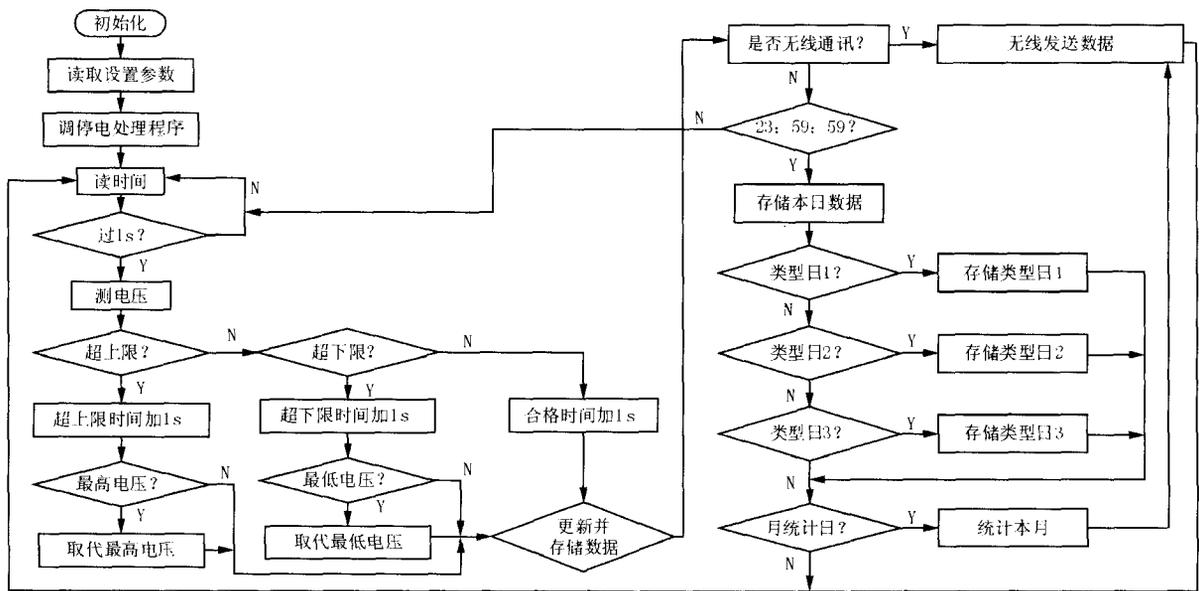


图 3 软件流程图

Fig 3 Software flow chart

3 结束语

本文介绍的基于 MSP430 的电压监测仪电路设计合理、功能更加完善, 经测试其精度达到 0.2 级。本设计所增加的 USB 存储功能、无线 GPRS 通信等功能, 更加方便了用户。

参考文献:

[1] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及其系统设计实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002

WEI Xiao-long Interface Technology and System Design of MSP430 [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2002

[2] 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003

HU Da-ke Programming and Developing of C Language Based on MSP430 [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2003

[3] 周立功. PD USBD12 USB 固件编程与驱动开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003

ZHOU Li-gong Firmware Programming and Driver Develop-

- ping of PD USB12 USB [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2003.
- [4] 西门子 TC35/TC37 硬件接口概述 04.00 版本 [Z]. 2002
- Siemens TC35/TC37 Hardware Interface Description Version 04.00[Z]. 2002

作者简介:

吕项羽 (1981 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护及安全自动装置;E-mail: caulxy@163.com

毛立志 (1981 -),男,助理工程师,从事建筑电气方面工作;

温渤婴 (1958 -),男,教授,博士生导师,从事电力系统自动监控与继电保护研究。

收稿日期: 2004-09-20; 修回日期: 2004-12-02

Developing an instrument for voltage monitoring based on MSP430

L üXiang-yu, MAO Li-zhi, WEN Bo-ying

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper introduces a new instrument for voltage monitoring. The design and flow chart of its software is included. 16-bit RISC MSP430F149 acts as the MCU. There is 60 KB flash memory which is programmable online in system. Low supply voltage (3V) makes the instrument working with low power supply. With high integration of the chip and simple periphery, the instrument becomes smaller in size. GSM module is embedded in the instrument and it makes data transmission more easily. USB interface is also included to realize the communication between PC and the instrument.

Key words: voltage monitor; MSP430; GSM module; USB

(上接第 48 页 continued from page 48)

- Q I Shou-zhi, LI Guo, Q N Li-jun, et al. New Fiber Ethernet SCADA——on Electric Power Network SCADA and System Structure [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (7): 49-52
- [6] Schwarz K, Brunner C. Prototyping, Transmission Delays [M/CD]. IEC 61850 Seminar, Implementation and Application Workshop. Beijing: 2004.

作者简介:

朱永利 (1963 -),男,博士生导师,教授,从事电力系统自动化、人工智能、电力系统远动方面的研究; E-mail: yonglipw@heinfo.net

黄敏 (1976 -),女,博士研究生,从事电力系统自动化、Agent 技术、电力系统远动通信方面的研究;

刘培培 (1978 -),女,硕士,从事计算机应用、计算机网络方面的研究。

收稿日期: 2004-12-02; 修回日期: 2004-12-15

Research on transmission of power telecontrol information based on IEC 61850 and network

ZHU Yong-li¹, HUANG Min¹, LI Pei-pei¹, REN Meng-xing²

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Inner Mongolia Wuda Power Supply Co., Ltd, Wuhai 016000, China)

Abstract: With the rapid development of technologies of computer network, telecommunication and automation, telecontrol communication system has higher communication performance which contributes to the protection and control in power grid automation system. On the basis of the up to date standard of communication networks and systems in substations——IEC 61850, object-oriented modeling ideas and its communication server models are employed to telecontrol system in the paper. Some aspects such as network construction of the system, information model and communication model of IED of substation for telecontrol are analyzed and designed. A new and distributed telecontrol information transmission mode between IED of substation and dispatching center based on network is established. A object-oriented experimental system based on this mode and CORBA + JAVA is developed on the network. By experiment, it initially proves validity of the model and feasibility of establishing the telecontrol communication approach based on WAN.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50477038).

Key words: power telecontrol system; network; IEC 61850; object-oriented; CORBA