

# 一种基于 MSP430 单片机技术的新型电压监测仪

王文珍<sup>1</sup>, 高宏<sup>2</sup>, 张萍<sup>3</sup>

(1. 山西省电建四公司, 山西太原 030024; 2. 山西电力科学研究院, 山西太原 030001;

3. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025)

**摘要:** 针对现有电压监测仪存在的问题, 介绍了1种新型电压监测仪, 分析了该装置的设计原理及软件流程图, 该装置采用Flash型16位单片机(MSP430F149)作为微处理器, 能方便地进行系统编程; 嵌入类属软件模块, 可通过短信传送数据; 增加的通用串行总线接口, 方便了装置与个人电脑的数据交互。

**关键词:** 电压监测仪; 微处理器; 通用串行总线

**中图分类号:** TM933.2

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1671-0320(2007)05-0058-04

## 0 引言

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5大电能质量指标进行实时监测统计。对电压来说, 国家电网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。

## 1 现有电压监测仪存在的问题

a) 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。

b) 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

很难适用信息技术迅速发展的今天, 并且, 新型的笔记本电脑已经不配备这种接口, 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(Integrated Circuit)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共网, 费用高。

c) 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1台仪器只能适用1种电网电压规格, 造成仪器规格种类多。

d) 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; 模数转换器ADC(Analog to Digital Converter)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。

## 2 新型电压监测仪的设计及主要特征

新型电压监测仪电路原理框图如图1所示。

### 2.1 CPU的选择

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

收稿日期: 2007-04-10, 修回日期: 2007-08-07

**作者简介:** 王文珍(1970-), 女, 山西清徐人, 1991年毕业于太原工业大学电力分院电力系统及自动化专业, 工程师; 高宏(1969-), 女, 山西太原人, 1991年毕业于太原工业大学电力分院电力系统及自动化专业, 高级工程师; 张萍(1962-), 女, 山西太原人, 1985年毕业于太原工业大学电力系统及其自动化专业, 高级工程师。

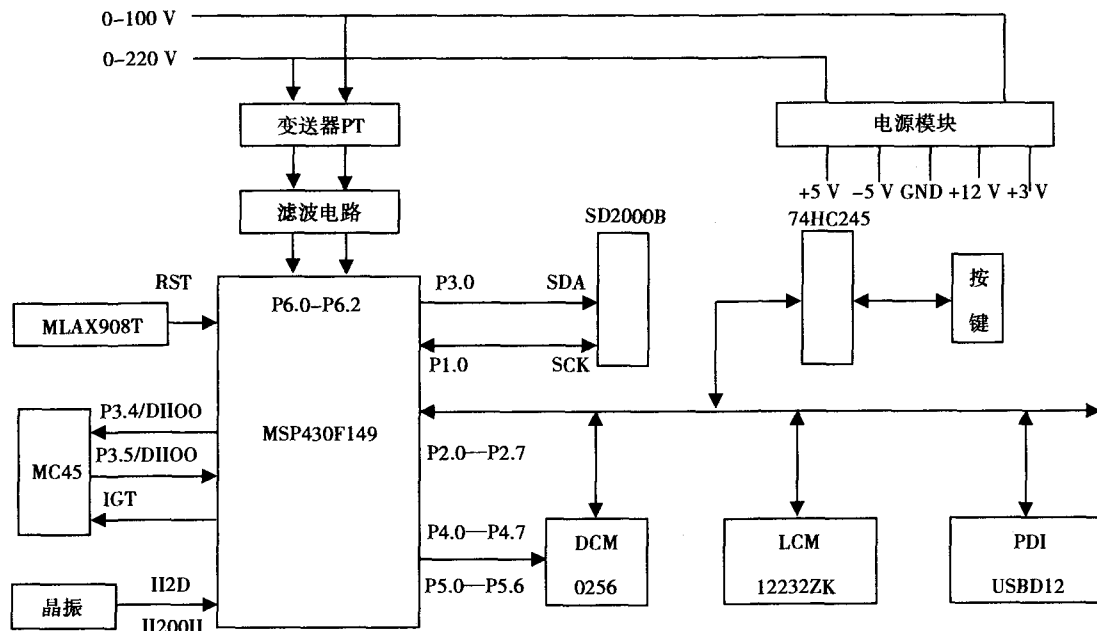


图1 电压监测仪硬件原理框图

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只读存储器ROM(Read Only Memory)和2 kb的随机存储器RAM(Random Access Memory),2个带看门狗功能的16位定时器,1个内部比较器和2个通用同步/异步发射接收器、48个I/O(Input/Output)口(均可独立控制);1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(Analog/Digital)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1个16位寄存器存放转换结果,1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。

## 2.2 RAM的选择<sup>[1]</sup>

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10 a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1万次时,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)。

## 2.3 时钟电路<sup>[1]</sup>

采用SD2000B型高精度实时时钟。SD2000B是一种具有内置晶振、支持I<sup>2</sup>C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 $\pm 4 \times 10^{-6}$ ,即年误差小于2 min;可内置电池、串行NVS RAM,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5 a,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1 a以上(可满充200次);内置串行NVS RAM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I<sup>2</sup>C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 2个管脚进行I<sup>2</sup>C的时序模拟。当中央处理单元CPU(Central Processing Unit)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1个56位的存储器,它以二进制BCD(Binary Code Decimal)码方式存储,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“最低有效位LSB(Least Significant Bit)”执行的(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,作者采用C语言对I<sup>2</sup>C总线进行模拟<sup>[2]</sup>。

## 2.4 通用串行总线 USB (Universal Serial Bus) 接口设计<sup>[1,3]</sup>

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,支持本地的直接存取器访问DMA(Direct Memory Access)传输,完全符合USB1.1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6M晶振提供。

## 2.5 无线通讯接口设计<sup>[1]</sup>

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。

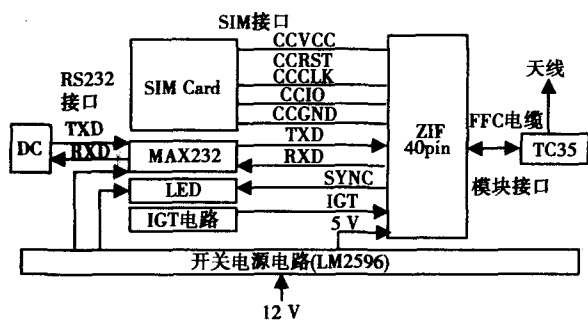


图2 TC35终端硬件框图

无线通讯模块采用西门子公司出口的双频(900/1800)MHz高度集成的TC35GSM模块,TC35采用类属软件模块GSM(Generic Software Module)Phase2/2+标准,支持EGSM900/GSM18002种频率,应用模块提供的高速数据传输服务,进行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6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、SIM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10ms后(电池电压须大于3V),为使之

正常工作,必须在15脚(/IGT)加时长至少为100ms的低电平信号,且该信号下降沿时间小于1ms。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、与个人电脑PC(Personal Computer)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(2.65V)。数据接口配置为8位数据位、1位停止位、无校验位,可以在300bps~115kbps的波特率下运行,支持的自动波特率为4.8kbps~115kbps(14.4kbps和28.8kbps除外)。TC35模块还支持RTSO/CTSO的硬件握手机制和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。

## 2.6 电源电路设计

由于仪器功耗不超过3W,可取电网二次回路PT侧100V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220V交流电),经整流、稳压后得到1组±5V,+12V,+3.3V直流电压源。这样信号与电源共线,便于现场直接安装。

## 2.7 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0~3V(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。

## 2.8 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DCMO256-NVRAM中,以防掉电造成数据丢失。

## 2.9 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立叶变换算法FFT(Fast Fourier Transformation)。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。应用快速傅立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 $\omega$ 的正弦波



电压, 则

$$u(t) = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(\omega_0 t + \psi),$$

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega t, \quad \psi = \Delta\omega t + \varphi, \quad \omega_0 = 2\pi f_0, \quad f_0 = 50 \text{ Hz},$$

式中:  $\varphi$  ——初相位;

$\psi$  ——电压相角变化;

$A$  ——幅值。

$u(t)$  可用矢量  $\vec{U}$  的虚部表示。

$$\begin{aligned} \vec{U} &= A e^{j\psi} e^{j\omega t} = A [\cos\psi + j\sin\psi] [\cos\omega_0 t + j\sin\omega_0 t] = \\ &= A \cos\psi \cos\omega_0 t - A \sin\psi \sin\omega_0 t + j [A \sin\psi \cos\omega_0 t + \\ &+ A \cos\psi \sin\omega_0 t]. \end{aligned}$$

$$\text{则: } u(t) = A \sin\psi \cos\omega_0 t + A \cos\psi \sin\omega_0 t.$$

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

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

对  $u(t)$  信号每周波采样  $N$  次, 产生采样序列  $\{u_k\}$ 。

$$\begin{aligned} u_k &= A \sin [2\pi f_0 k (T_0/N) + \psi] = \\ &= A \sin [(2\pi/N) k + \psi], \end{aligned}$$

式中:  $T_0/N$  ——采样间隔。

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

$$\begin{aligned} u_1(k) &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k e^{-j(2\pi/N)k} = \\ &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{N} - j \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{N} = \\ &= u_1 - j u_R, \\ u_1 &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{N}, \quad u_R = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{N}, \quad (2) \end{aligned}$$

式中:  $u_1, u_R$  ——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式 (3)

$$\begin{aligned} u_1 &= A \sin\psi, \\ u_R &= A \cos\psi. \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} j u_1(k) &= j [u_1 - j u_R] = u_R + j u_1 = \\ &= A \cos\psi + j A \sin\psi = U_m. \end{aligned}$$

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  $R_R$  和  $u_1$  表示, 则输入电压的有效值为  $u = \sqrt{u_R^2 + u_1^2}$ 。

### 3 软件流程

软件流程如图 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<sup>[2]</sup>。

### 4 结束语

MSP430 为 16 位单片机, 具有处理能力强、运算速度快, 能实现在线调试和编程等优点。本文介绍的这种新型电压监测仪就是基于 MSP430 单片机技术研制开发出来的, 其 3 V 系统设计, 降低

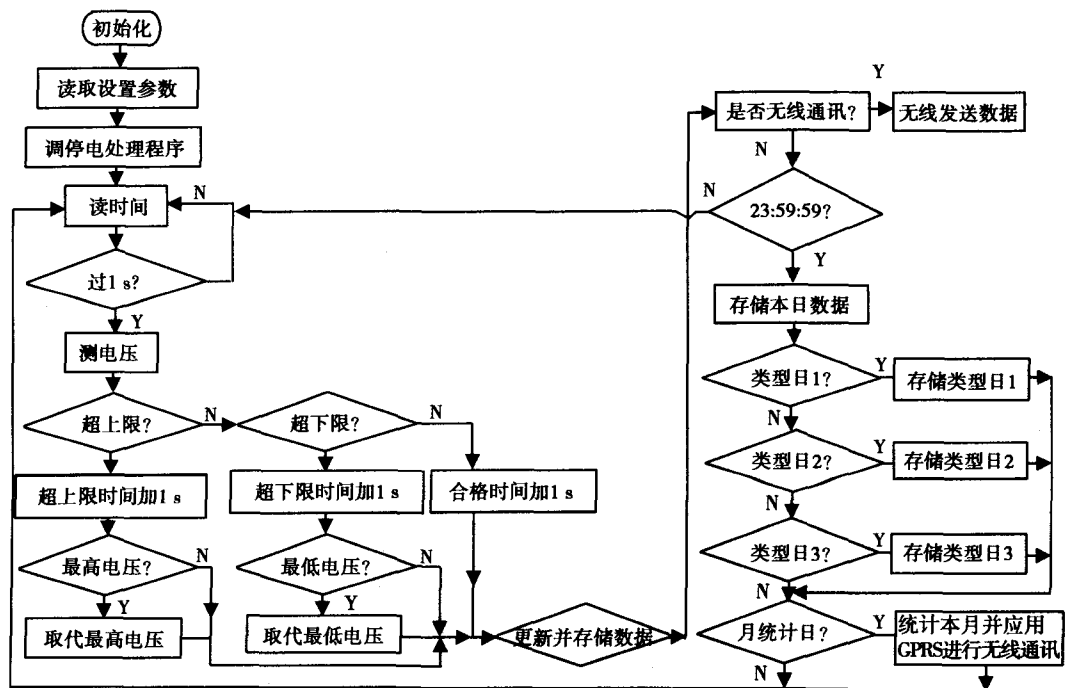


图 3 软件流程图

(下转第 64 页)

应, 强烈的扰动和混合、高速的颗粒内循环和外循环、较高的气固滑移速度和较长的颗粒停留时间使颗粒的热传导和化学反应都处于极好的条件下。所以循环流化床锅炉给煤粒燃烬提供了足够时间, 具有很高的碳燃烬率, 石灰石耗量很低, 大大提高了锅炉的燃烧效率 (本工程锅炉保证效率为 91%)。

### 2.2.5 脱硫系统

采用炉内喷钙脱硫进行脱硫, 脱硫效率为 90%, 烟气中  $\text{SO}_2$  含量小于  $400 \text{ mg/m}^3$ 。不但大大低于电站锅炉烟气中  $\text{SO}_2$  排放的国家标准, 也满足了当地政府  $\text{SO}_2$  排放总量控制的要求。

炉内采用石灰石粉作为脱硫剂, 在锅炉运行温度下石灰石可充分发生焙烧反应, 使碳酸钙分解为氧化钙, 氧化钙与煤燃烧产生的  $\text{SO}_2$  进行盐化反应, 生成硫酸钙, 以固体形式排出, 达到脱硫的目的。炉前石灰石粉输送系统将石灰石粉仓内的石灰石粉经称重后通过气力输送至回料腿进入炉膛, 与燃料一同燃烧脱除  $\text{SO}_2$ 。每台炉设置 1 座石灰粉筒仓, 布置在锅炉房的外侧。仓泵和石灰石筒仓气化风机, 加热器均布置在筒仓底部。

### 2.3 环境影响分析

平朔煤矸石电厂二期扩建工程的煤源来自于平

朔矿区的煤泥、洗中煤、煤矸石。电厂工业用水采用城市中水, 汽机采用空冷, 节水率可达 91%。电厂生产废水采取循环使用或用于干灰调湿、冲洗、抑尘等用水环节, 生产废水做到零排放。

根据本工程灰渣的特性, 可充分利用灰渣的物质特性, 将产生的灰渣作为生产砖瓦的主要原料。本工程出灰渣为干式系统, 保证了灰渣可以有效利用。

本期工程采用低氮燃烧方式,  $\text{NO}_2$  最大浓度为  $0.047 \text{ mg/m}^3$ ; 锅炉尾部布置高效布袋除尘器 (除尘效率 99.95%), 烟尘排放浓度小于  $50 \text{ mg/m}^3$ ; 锅炉采用炉内加钙脱硫对锅炉烟气进行治疗,  $\text{SO}_2$  最大浓度为  $400 \text{ mg/m}^3$ , 锅炉烟气中  $\text{SO}_2$  浓度大大小于排放标准 (脱硫效率为 90%)。

### 3 结束语

平朔煤矸石发电有限责任公司在项目建设过程中除了使用常规的节能手段、污染物排放控制手段外, 更通过大型循环流化床锅炉的燃烧技术燃用了当地的废弃物, 并对 S,  $\text{NO}_x$  等典型污染物有效地进行了控制, 成为中国北方地区环境污染和水资源短缺共存的困境下电站建设的一种新型模式。

## Application of 300 MW Circulating Fluidized Bed Boiler

GE Ru-ming, NIE Hao

(Shanxi Pingshuo Gangue Generation Co., Ltd, Pingshuo, Shanxi 036800, China)

**Abstract:** Based on the current development of the domestic 300 MW circulating fluidized bed boiler, technical characteristics of boiler island of Shanxi Pingshuo Gangue-fired Generation Power Plant second-phase expansion project, and expansion project impact on local environment are introduced.

**Key words:** circulating fluidized bed boiler; combustion; environmental impact

(上接第 61 页)

了装置的功耗; 单片机内部资源极为丰富, 集成度高, 外围电路简单, 使得装置体积进一步缩小。这种新型电压监测仪设计更加合理、功能更加完善, 更加方便了用户。

### 参考文献:

- [1] 魏小龙, 编著. 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.
- [2] 胡大可, 编著. 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.
- [3] 周立功, 等编著. PDIUSB12 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.

## New Instrument for Voltage Monitoring Based on Technology of MSP430 Single-chip

WANG Wen-zhen<sup>1</sup>, GAO Hong<sup>2</sup>, ZHANG Ping<sup>3</sup>

(1. Shanxi No. 4 Power Construction Company, Taiyuan, Shanxi 030024, China;

2. Shanxi Electric Power Research Institute, Taiyuan, Shanxi 030001, China;

3. Shanghai Electric Power Design Institutu Co., Ltd, Shanghai 200025, China)

**Abstract:** Based on the problems of voltage monitoring, a new instrument for voltage monitoring and the design and flow chart of software are introduced. 16-bit RISC MSP430F149 acts as the MCU. There is 60KB flash memory which is programmable in system. 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 monitoring; microprocessor; universal serial bus