

# 地下水动态水位信号采集系统的设计与实现

彭博, 张印春

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

**摘要:** 针对地下水位监测系统的下位机架设成本和低功耗要求, 设计了一种低功耗地下水位采集终端, 采用了 GSM/GPRS 网络的 SMS 短消息服务作为与上位机系统的接口, 解决了远程监测的数据通信的问题。实验结果表明, 测量的结果的绝对误差小于 0.16%, 4 节碱性电池可以维持一年以上的正常工作。

**关键词:** 地下水位测量; GSM; 短消息服务; 电池供电

中图分类号: P332.3

文献标识码: A

## Desing and implemimentation of dynamic signal acquisition system for ground water level

PENG Bo, ZHANG Yin Chun

(Institute of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** For the demand of lower-cost and low-power of erecting machine of groundwater level monitoring system, this paper shows a design of a low-power groundwater collecting terminal. Data communication is based on SMS of GSM system. Battery-powered design protects solar panels from damaging. Experiment shows that the absolute error of measurement is less than 0.16%, 4 alkaline batteries can work more than a year.

**Key words:** grondwater level measurement; GSM; SMS; battery-powered

地下水是水资源的重要组成部分, 是战略性资源的主要部分。在保障城乡居民生活支持经济社会发展和维护生态平衡等方面具有十分重要的作用<sup>[1]</sup>。地下水位观测是一项基础性的水利工作, 在研究地下水和工程建设等方面具有重要作用<sup>[2]</sup>。地下水位动态变化信息为地下水的开采工作、地方生态维护以及工程建设等方面提供了重要参考依据。鉴于地下水位满足实时采集实时监测的需要, 本文给出了一种用于地下水动态水位监测的远程监测系统设计。

### 1 系统设计

#### 1.1 系统设计要求

采集器的功能是将深井中的水位或水深信息收集起来, 通过无线通信将数据发送给上位机系统。为了节省人力资源, 采集器需要长时间免维护运行。采集系统要求架设维护方便、无需布线等, 这就要求尽量减少施工环节, 提高工作效率, 降低成本。因此, 提出了以下

设计要求:

- (1) 通信可靠;
- (2) 低功耗, 电池供电;
- (3) 架设成本低;
- (4) 易维护。

#### 1.2 现状分析

目前市场上出现的采集模块静态功耗较大, 一般为 200 mW ~ 600 mW 不等, 制作下位机体积大, 需外加蓄电池和太阳能板, 容易被盗以及人为破坏; 安装复杂, 在无电源地区使用时架设成本较高, 不适用于条件较苛刻的专用场合; 集成无线 RTU 体积也偏大, 不能进阶二次开发成专用产品, 不能低压供电也限制了在此系统中的应用。

#### 1.3 系统方案

GSM 网络通信方式具有高速、可靠、覆盖范围广等优点, 易于实现远程数据通信。SMS 是移动运营商提供

## 网络与通信 Network and Communication

的短消息服务,它基于 GSM 网络通信。SMS 支持 GSM 设备点对点 and 一点对多点的消息传送,并可传送一条短信和容纳 140 B 的文本信息。在目标设备未在线或故障等情况下,短消息会暂存在运营商的服务器中,该种方式可以得到较高可靠程度。上位机系统可以是个人移动设备也可以是支持 SMS 的专用监测设备。

GPRS 是基于 GSM 网络的高速数据业务,资费低,但在网络繁忙时数据丢包、掉线的情况时有发生。由于地下水变化相对缓慢,对系统的实时性要求不高,所以采用 SMS 方式进行无线数据通信足以满足要求,对于本系统资费同样低廉。

为了易于更换和维护采集器,采用通用的 5 号碱性电池供电。硬件上采用各功能模块选择性分离供电,软件上采用定时采集、定时上传的方式大大降低了功耗,确定了长时间电池供电的可行性,从而免去了布线和安装太阳能电池的工序和成本。采集器与 GSM 通信模块集成,缩小了体积,可内置于被测井口处,以方便安装和后期维护。

## 2 硬件设计

### 2.1 硬件结构

采集器(下位机)由微处理器、电池组、电源管理、GPRS 模块、压力传感器、时钟日历、信号调理以及 A/D 转换器组成,如图 1 所示。

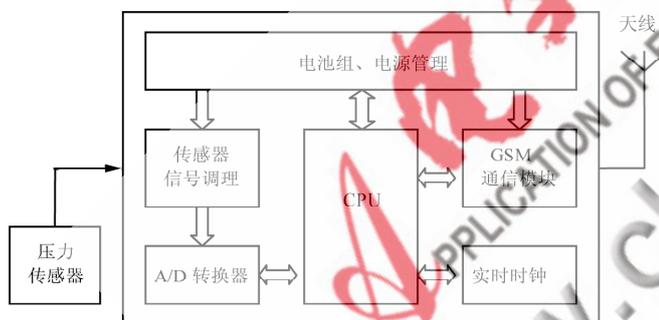


图 1 采集器结构框图

### 2.2 模块设计

(1)主控制器: ATmega88V 单片机作为采集器的微控制单元,内置 1 KB SRAM 以及 512 B 的 EEPROM 存储器,免去了外部存储器,1.8 V ~ 5.5 V 宽泛的工作电压。为了节省功耗,单片机工作在 32.768 kHz 的系统时钟频率下。

(2)时钟日历模块: MAX690 芯片作为时钟日历模块,由独立的 3 V 电压的纽扣电池供电,与 CPU 进行实时通信,CPU 查询时间确定采集器的工作状态。

(3)压力传感器: 采用国产的 KY 型压力传感器,集成电压变送器,工作电压为 10.5 V ~ 15 V,输出信号为 1 V ~ 5 V,量程为 0 m ~ 100m

(4)A/D 转换器: 使用的是 AD7921, 12 位 A/D 转换器, SPI 串行接口,它由电压基准芯片 AD780 提供 2.5 V 的供

电电压和参考电压。

(5)信号调理: 采用通用双运放 LM2904 调理传感器输出信号和电池电压信号送给 A/D 转换器。LM2904 的供电电压由 LT1613 提供(12 V),对压力变送器的 1 V ~ 5 V 信号进行调理,首先前级为跟随器,运放的输出用一个电位器分压得到 0.5 V ~ 2.5 V 信号,第二路信号为电池电压信号,同样的将池组电压  $V_{CC}$  的可能的最大值(7 V)调整为小于 A/D 转换的满度值电压(2.5 V)。两路信号送给 A/D 转换器进行数字化。

(6)电源管理: 4 节 5 号电池串联,取其中 2 节电池为单片机供电,用 IRFU220 与 IRFU9530 构成 2 个推挽输出由单片机的 GPIO 选择性地为测量部分(包括压力传感器、A/D 转换器、信号调理电路)和 GSM 模块供电。在推挽输出后用一个 LT1086 稳压后为 GSM 模块提供 3.6 V 电源,由 LT1613 升压型电路芯片为传感器/变送器和模拟信号调理电路提供 12 V 电源。

(7)GSM 模块: 采用 Wavecom 公司的 GR64 模块,与单片机的接口为异步串行接口,编程时采用 AT 指令对模块进行设置、会话以及打包数据和发送信息。

### 2.3 测量误差分析

电压基准的精度为 0.2%,属于线性误差,可用软件补偿。A/D 转换器 AD7921 的非线性量化误差为  $\gamma_f = 0.07%$ ,满度电压为 2.5 V,得到量化极限误差为  $\Delta\delta_f = 1.75 \text{ mV}$ ,传感器满量程相对误差为  $\gamma_s = 0.1%$ ,满量程输出电压为 5 V,经过调理电路的线性比例衰减,满度电压为 2.5 V,得到满量程极限误差  $\Delta\delta_s = 2.5 \text{ mV}$ 。

设  $\Delta\delta$  为传感器输出电压数字量化的极限误差,根据  $\Delta\delta = \sqrt{\Delta\delta_f^2 + \Delta\delta_s^2}$  得到电压量化极限误差为  $\pm 3.05 \text{ mV}$ 。经过衰减后的传感器输出零度电压  $V_z = 0.5 \text{ V}$ ,满度电压  $V_f = 2.5 \text{ V}$ ,传感器最大量程  $H_{\max} = 100 \text{ m}$ 。设  $\Delta H$  为电压量化误差导致的水深测量极限误差。根据

$$\Delta H = \frac{\Delta\delta}{V_f - V_z} \times H_{\max}$$

得到水深测量的满量程极限相对误差为 0.16%,则测量误差小于 0.16%。

## 3 软件设计

### 3.1 工作过程简述

在设备开启后,单片机会执行各功能模块的初始化程序,之后从时钟日历芯片中读取当前的日期和时间,之后判断此刻是否超过设定的测量时刻,如果超过测量时刻则进入测量状态,此时单片机会开启对测量电路的供电,延时等待传感器稳定后,会连续采集 100 次数据存入 RAM 中。采集后测量电路供电将关闭,经过中值滤波法求得最终保留的数据,再将数据保存到单片机片上的 EEPROM 中。当程序判断当前时间超过了上传的时刻,则会开启 GSM 模块,等待 GSM 模块入

## 网络与通信 Network and Communication

网后先接收供电然后将要发送的数据按照 AT 指令打包，并以短信的形式发给目的设备。如果数据发送超时，单片机将会把滞留的数据包存放在单片机内部的 EEPROM 中等待下一次上传。最后关闭 GSM 模块又回到循环时间的查询状态。

数据采集频率为 1 日 2 次，在测量时刻到来时，CPU 启用升压电路为压力传感器和信号调理电路供电，启动 A/D 转换器供电，采集压力传感器数据和电池电压数据后，关闭供电电路，进行数据处理，测量结果保存在单片机内部的 EEPROM 中。可通过命令修改数据上传时间。为了节省数据总线上的功耗，时间读取不是实时的，用定时器中断服务程序进行读取，每分钟读取 1 次。上传的数据总是前一天测得的数据。

在程序运行的整个过程单片机内部的看门狗计数器被一直启用，用于监视采集器的正常工作，如果死机或程序执行混乱，看门狗定时器会使单片机复位。

### 3.2 程序流程图

程序流程图如图 2 所示

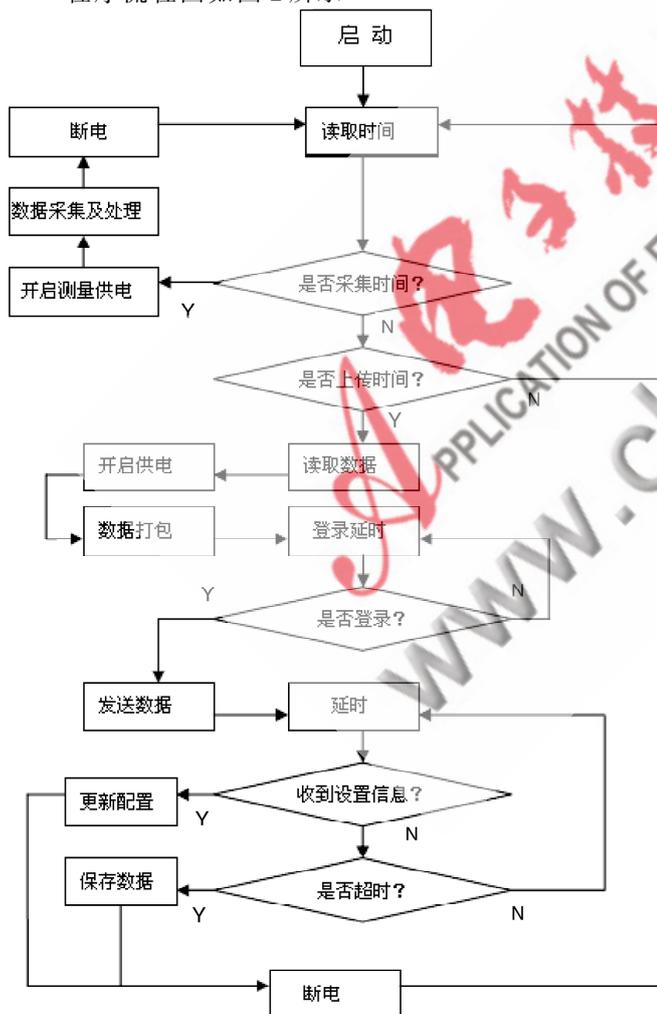


图 2 程序流程图

### 3.3 协议设计

AT 指令集是 ETSI (欧洲通信技术委员会) 发布的一

种移动平台与设备终端的通用接口指令，其中包含对 SMS 的控制<sup>[7]</sup>。采集器向上位机系统传输数据的内容包括功能码、日期时间和采集到的数据。每一字节数据为 ASCII 码形式。协议包括 2 个部分：

(1)采集器上传报文的格式(除去 AT 指令):DT(数据说明)\_上传时间\_测量日期\_时间 1\_水深(单位:m)\_时间 2\_水深(单位:m)#(结束)，以一个数据示例的文本形式为：DT\_2008/11/09/16:00\_2008/11/08\_02:00\_23.40\_14:00\_23.10\_16:00#。此数据的内容是上传时间为 2008 年 11 月 9 日 16:00，2008 年 11 月 8 日，2:00 时水深 23.40m 14:00 时，水深 23.10m。

(2)上位机系统对采集器发送命令的报文的格式(除去 AT 指令)：ST(设置说明)\_设置日期及时间\_时间 1\_水深(单位:m)\_时间 2\_水深(单位:m)\_上传时间 #(结束)，以文本的形式表示则为：ST\_2008/11/08/09:00\_05:00\_20:00\_14:00#。此数据的内容是时间设置为 2008 年 11 月 8 日 9 点，2 次采集时间设置为 5:00 和 20:00，上传时间设为 14:00。

在发送这条短信后采集器下一次发送短信的地址自动调整为该地址。

## 4 实际测试

### 4.1 数据传输

在数据传输的测试中调整程序，使每隔半小时就上传一次数据，中途随机发送对采集器设置的信息，设置的上传时间忽略不计，表 1 所列是接收 450 个短信息中的一部分。

表中，346 和 347 号数据表明在 2008/11/09/14:00 时 GSM 模块发生了入网超时，信息发送不成功，在 14:30 时原先发送失败的数据被重新成功发送。

在 450 个数据传输测试的过程中出现入网超时率为 0.67%，数据丢失率为 0。进行过 50 次设置，设置失败率为 8%，但是后期延长超时时间后，测试 100 次，设置失败率降为 2%。

### 4.2 能耗测试

(1)静态等候：单片机工作在 32.768 kHz 时钟下电流消耗小于 20  $\mu$ A，测量电路和 GPRS 模块处于断电状态，供电推挽输出为低电平时 MOS 管的漏电流小于 10  $\mu$ A，时钟日历芯片独立供电基本可以连续工作 8 年以上，将不计入功耗分析。每天 24h 运行，一天的能耗共计 720  $\mu$ Ah。

(2)测量：LT1613 消耗 1 mA 的自身工作电流，传感器工作时消耗的电流为 10 mA(12V)，实测 5 V 供电时从电池组吸取 25 mA 的电流，电压基准源消耗 1 mA，A/D 转换器工作时消耗 3 mA。测量的整个过程小于 300 ms，每次测量共计消耗 2.4  $\mu$ Ah 的电能。

(3)数据上传：GSM 模块在发送数据时电流为 500 mA，接收数据时为 20 mA，静态时为 2.5 mA，GSM 模块独立测

表1 数据传输测试结果

序号	类型	信息内容
.....	.....	
270		DT_2008/11/02/05:00_2008/11/02_00:20_23.20_10:00_23.10#
	设置	ST_2008/11/04/09:00_10:20_20:00_14:00#
271	数据上传	DT_2008/11/04/09:30_2008/11/02_10:20_23.10_20:00_23.10#
272	数据上传	DT_2008/11/04/10:00_2008/11/02_10:20_23.10_20:00_23.10#
.....	.....	
344	数据上传	DT_2008/11/08/13:00_2008/11/07_02:00_23.20_14:00_23.10#
345	数据上传	DT_2008/11/08/13:30_2008/11/07_02:00_23.30_14:00_23.10#
346	数据上传	DT_2008/11/09/14:30_2008/11/08_02:00_23.30_14:00_23.20#
347	数据上传	DT_2008/11/09/14:30_2008/11/08_02:00_23.20_14:00_23.20#
348	数据上传	DT_2008/11/09/15:00_2008/11/08_02:00_23.20_14:00_23.20#
.....	.....	

试过程中,一次数据上传过程小于 20 s,大约需要消耗 200  $\mu$ Ah 的电能。

综上所述,一天测量 2 次上传 1 次的工作过程共消耗 0.925 mAh 的电能。如果用电量为 800 mAh 的碱性电池可连续工作 800 天以上。但是由于电池保质期和电池本身的自放电,再加上电量低水平时的内阻,可以保证至少一年正常工作。

此采集终端静全天正常工作的耗电量为 0.925  $\mu$ Ah,采用 4 节 AA 型碱性电池可维持一年以上连续正常工作,测量误差小于 0.16%,与上位机系统通信协议接口简单、可靠性高。能够较好地满足地下水动态监测系统的下位机系统的需要。

#### 参考文献

- [1] 英爱文.地下水监测与评价[J].水文,2006(6):63-66.  
 [2] 吴兴波,郭泽民,牛景霞,等.微机自动监测地下水位系统的研

制[J].水利水电技术,2004(1):78-81.

- [3] 李元臣,刘维群.基于 GSM 模块的远程监控系统[J].微计算机信息,2007,23(10-1):90-94.  
 [4] 陈琦,丁天怀,李成,等.基于 GPRS/GSM 的低功耗无线远程测控终端设计[J].清华大学学报(自然科学版),2009,49(2):223-225.  
 [5] 衣守志,王长麟.基于 AVR 单片机的在线测控系统[J].仪表技术与传感器,2007(12):37-38.  
 [6] 钱建华,陈柏超.基于无线通信的自动抄表系统[J].电网技术,2004(3):73-76.  
 [7] 冯伟,郭旭.煤矿地面监控系统中基于 GSM-SMS 的数据传输[J].煤炭科学技术,2007,35(10):55-58.

(收稿日期:2009-07-03)

## 飞思卡尔获得大陆汽车年度供应商大奖

作为世界第一的汽车芯片公司,飞思卡尔成为安全性、车身和动力总成系统方面大陆汽车的头号微控制器供应商。

2009 年 8 月 3 日,德克萨斯州奥斯汀讯——飞思卡尔半导体从大陆汽车集团(Continental Automotive Group)获得了作为荣誉象征的 2008 年年度汽车供应商大奖。7 月 28 日在德国雷根斯堡举行的颁奖大会中,大陆汽车对飞思卡尔在微控制器(MCU)领域整体的卓越表现表示了认可。

大陆汽车集团与不同的电子和电机系统供应商合作,后者必须在 30 种技术类别和全球 60 多个地方满足大陆汽车的严格要求。在确定 9 个 2008 年度供应商获得者时,大陆汽车对其 810 个全球供应商中的近 300 位候选者进行了评估。优胜者的胜出是基于多个性能类别,如技术、质量和产品交付,以及战略方面的考虑因素,如公司文化、产品路线图和对汽车市场的投入程度等。

飞思卡尔半导体高级副总裁兼微控制器解决方案部总经理 Reza Kazerounian 表示:“被大陆汽车命名为年度供应商,飞思卡尔深感荣幸。大陆汽车要求它的优选供应商提供最先进的技术,最高的生产质量和最好的客户服务。飞思卡尔致力于在各个领域中做出卓越表现,而且,我们期望在未来的更多岁月里与大陆继续密切合作,为全球汽车行业提供领先的解决方案。”

(飞思卡尔供稿)