

大口径水表数据采集通讯终端的研究和设计

张协衍 王 玲 (湖南大学 电气与信息工程学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 为了提高现代化工业城市中水资源的管理水平,以 Xmega256A3 低功耗微控制器为平台,利用无线 GPRS 网络,提出了一种应用于水表集抄系统的数据采集通讯终端的设计方案。详细介绍了低功耗嵌入式平台的设计及其软件处理方式,并对试验数据进行分析,估计终端在长时间电池供电下运行的可靠性。实验结果表明,该设计的功耗和稳定性都达到应用要求,在自来水自动化管理中得到广泛应用。

关键词: 锂亚电池;低功耗;开关电源;纹波;链路通信

Research and Design of Data Collection and Communication Terminal for Large Caliber Water Meter

ZHANG Xie-Yan, WANG Ling

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

Abstract: To improve the management of water source in industrial cities, a design of data collection and communication terminal of water meter applied to AMR system is proposed, which uses a low power consume platform of Xmega256A3 and GPRS. The design of embedded platform with low power consumption and its software management are specifically introduced. Then, the test data are analyzed and the reliability of long running under the battery supply is estimated. It is proved in experiments that its power consumption and reliability have met the requirement in application and it has been applied to automatic management of water extensively.

Keywords: cells; low power consume; DC-DC; ripple; link layer communication

现代化工业城市中水资源的管理越来越受到重视,尤其对于中国这种水资源比较匮乏的国家。有公论说,水很有可能在几十年之后成为制约中国发展的主要瓶颈。在中国城市水的使用当中,工业用水占到整个用水量的 70% 左右,而这些用水都是用大口径水表进行计量的。如果能够采用合适的科技手段率先将这部分用水实现自动化计量和管理,就可以将城市的水管理提高到一个比较高的层次,有利于提高节约意识,进一步节约能源,同时带来不少的经济效益。

水表通讯终端的工作环境非常恶劣,常年处于高温、高湿环境,甚至会浸于水中,网络信号差,要求电池供电保持数年的正常工作时间,这些苛刻的条件对水表通讯终端的研究提出了特有的要求,例如长寿命大能量电池的选用、低功耗系统的设计以及符合 IP

68 防水标准。本文的研究重点就是系统的低功耗设计及其运行的可靠性。

1 总体结构

根据大口径水表集抄方案的要求,水表通讯终端的总体功能框图如图 1 所示^[1]。

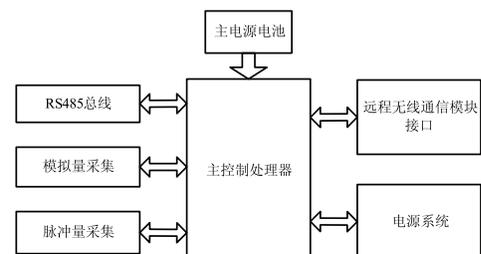


图 1 总体功能框图

收稿时间:2009-08-25;收到修改稿时间:2009-09-27

大口径水表通讯终端由电池供电，使用超低功耗的 8/16bit Xmega A3 控制器来管理整个系统，通过 RS485 总线、脉冲量、模拟量采集方式来抄读水表数据，通过无线 GSM/GPRS 模块将数据传输至远程主站。电池的供电能力、电源的管理和通讯方式都是水表通讯终端能否正常运行 3 年以上的关键。

1.1 系统供电——锂亚电池(锂/亚硫酸酞酰)^[2]

终端需要在没有市电电源的情况下长时间运行，所以系统电源需要由大能量的电池提供，锂亚电池能提供最高的能量比和电压，具有非常好的温度特性和极小的自放电，但运行时却只能进行低电流放电。GSM/GPRS 通信需要 200mA 左右的持续放电电流，其间会有 1—2A 尖峰脉冲，尤其是在信号不好的地方会出现更多。法拉电容可以提供大电流脉冲，但本身漏电流很大，严重影响电池有效容量的利用。以色列 TADIRAN 电池组合其能够小电流充电、大脉冲放电的复合电容(HLC)能够克服锂亚电池无法长时间大电流放电等弊病，为系统长期运行提供保障。系统电源由两颗 3.6V/19AH 的 TADIRAN 锂亚电池组构成。

1.2 GPRS 电源

在 GSM/GPRS 脉冲发射模式下，电源应该能够瞬时释放很高的电流峰值。GSM/GPRS class 2 terminal 在通信模式下每 4.165ms 发射一个持续 577 μs 的无线脉冲。在此期间，电压的波动值(Uripp)不能超过 250mV(f<10kHz)，40mV(10kHz<f<100kHz)，5mV(f>100kHz)这些特定范围。

开关式 DC/DC 变换器可以解决线性变换器效率低的问题，但其主要缺点是静态电流比较大，在低负载的情况下它就成为影响电池寿命的主要因素，而且输出纹波噪声难以控制。然而 LDO 输出电压噪声低，受电源电压变化影响小，负载响应很快，静态电流低。本设计中采用 DC/DC+LDO 模式组成 GPRS 电源，MCU 的控制信号 GPRS_CTRL 使能 TPS54331，将电池电压高效率的转换成 4.2V 的输出电压，然后通过一个超低压差线性稳压器 TPS75701 来获得 3.9V 的低纹波 GPRS 电源，电路原理如图 2、图 3 所示。V6P0_BAT 和 V4P2 的输入端分别采用 3300 μF、1000 μF 电解电容，保证能够输出高达 2A 的脉冲电流。TPS54331 输出电压、滤波电感、电容值以及输出电压纹波的计算由公式(1)—(4)表示。

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left[\frac{R_1}{R_2} + 1 \right] \quad (1)$$

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUT(MAX)} - (V_{IN(MAX)} - V_{OUT})}{V_{IN(MAX)} \times K_{IND} \times I_{OUT} \times F_{SW}} \quad (2)$$

K_{IND} 为电感纹波电流系数，取 0.3

$$C_{O_min} = 1 / (2 \times \pi \times R_o \times F_{CO_max}) \quad (3)$$

$$V_{OPP} = I_{LPP} \left[\frac{(D-0.5)}{4 \times F_{SW} \times C_o} + R_{ESR} \right] \quad (4)$$

经验证，该电源输出能够保障 GPRS 模块正常运行，在 GPRS 模块需要大电流脉冲时，电源电压保持稳定^[3,4]。

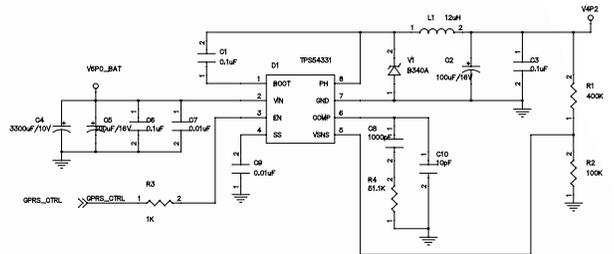


图 2 开关电源电路

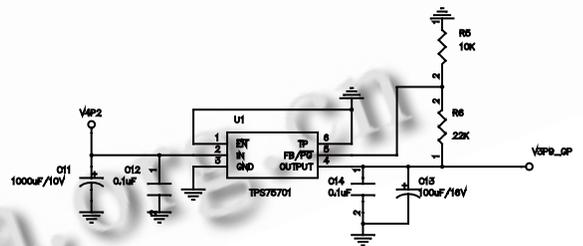


图 3 LDO 电源电路

1.3 MCU 低功耗管理

低功耗集成电路建立在 CMOS 电路的基础之上，CMOS 电路的总功耗是动态功耗与静态功耗之和。电路工作时，从一种逻辑状态转换到另一种逻辑状态会产生动态功耗，电路没有出现逻辑转换时存在静态功耗，静态功耗主要是由晶体管漏电流造成的，这种长时间处于待机状态，定时主动上报的系统并不是特别关注动态功耗，只有把整个系统的静态功耗控制在最低，才能保证长时间的低功耗状态。系统采用 Atmel Xmega 系列的 A3 超低功耗 8/16bit MCU 管理电源、完成数据采集和传输。Xmega A3 有 5 种睡眠模式，包括 idle、power save、power down、standby 和

extended standby。MCU 在不处理任务的情况下处于 power save 模式,内部 RTC 工作在 32.768KHz、内部看门狗运行,其他时钟源都停止,此时的电流消耗仅为 1.16 μ A。同时其他芯片的静态电流也控制在几个 μ A 内,保证系统总静态功耗保持在 15 μ A 左右。通过 Pin 状态的改变和 TWI 地址匹配来唤醒 MCU,并实时打开所需要运行模块的电源,待完成任务后又进入 power save 模式。

1.4 数据采集方式

1) RS485 方式:对于有 RS485 总线接口的水表可以采用此方式进行实时和定时的抄读水表。其电路为 UART 串口的 TTL 电平通过差分信号芯片转换成 RS485 电平进行通信。

2) 脉冲(开关)量方式:对于脉冲或开关量计数的水表,可以通过中断触发方式来累计每一个脉冲或开关量。其电路为通过 I/O 口的高低电平信号来实现通信。

3) 模拟量方式:对于水表流量计,通过模拟口输入采样来读取流量数据。其电路为输入范围 4 ~ 20mA 的模拟信号经过一个电压跟随器后输入到 AD 采样引脚。

2 软件设计

Xmage256A3 拥有 8K Boot Code 和 256K Flash,完全能满足运行实时操作系统 uC/OS-II 的要求,在操作系统的支持下,将程序分解成多个任务,任务与任务之间的耦合关系弱,可以简化程序的开发难度^[5]。

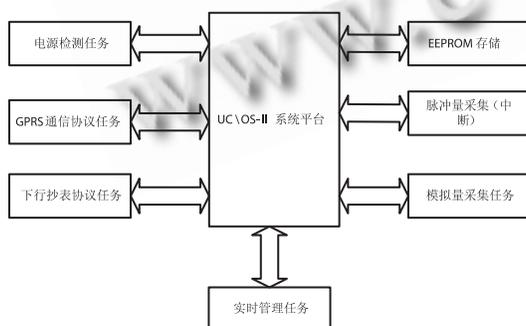


图 4 软件模块框图

如图 4 所示,uC/OS-II 下的应用任务分解为电源欠压检测; GPRS 驱动及协议解析;下行串口抄表

驱动及协议解析;EEPROM 数据存储驱动,实现平衡写和互斥访问;实时管理:定时存储数据,定时启动 GPRS,定时抄读水表,采集脉冲量、模拟量。

2.1 低功耗任务

为了保证系统的低功耗,所有的任务都采用睡眠和唤醒的方式,只有在特定的时间段,定时管理任务才会唤醒各个任务模块,做相应的处理。具体的做法是:

1) 在特定的抄表时间段,实时管理任务会向下行抄表协议任务发送一个信号量,使下行抄表协议任务处于运行状态,当抄到数据后,抄表任务会把数据存储到外部存储器中,之后抄表任务进入睡眠。

2) 在特定主站访问时间,实时管理任务唤醒 GPRS 通信协议及驱动任务,接收主站下发命令,如果是读取水表的冻结数据,则直接读取外部存储器中的数据;如果是读取最新的水表数据,则从内部定义的数据结构体中读取,响应主站命令之后,GPRS 任务也被置于睡眠模式。

3) 其他的任务也采用上述的处理方式,保证在睡眠模式下,终端的功耗最小。

软件开发平台使用的是 IAR Embedded Workbench IDE,这是一套用于编译和调试嵌入式系统应用程序的开发工具,支持汇编、C 和 C++ 语言。它提供完整的集成开发环境,包括工程管理器、编辑器、编译链接工具和 C-SPY 调试器。切换低功耗模式函数和 485 抄表任务的例程如下所示:

```
void BSP_Sleep(void)//进入低功耗模式函数
{
    BSP_INT_Close();//关系统中断
    BSP_WDT_Close();//关看门狗
    BSP_RTC_Open();//开启定时
    SLEEP_CTRL= SLEEP_SMODE_PSAVE_gc|
    SLEEP_SEN_bm;//睡眠模式设置
    BSP_OP_SLEEP();//进入睡眠模式
    BSP_RTC_Close();//睡眠结束,关闭定时
    BSP_WDT_Open();
    BSP_INT_Open();//开中断
}
void App_task485(void *p_arg)//RS485 抄表任务
{
    Device485Init();//唤醒设备
    ...
    While(1)
```

```

{ ...
if (param.meter[num].id==funclist.id)
{Addr=pa
ram.meter[num].addr;//选择规约
len=funclist.p485FuncSend(addr);//调用协议函
数)
...
Send485(len); //发送抄表指令
if (Receive485(Buf485,tem_len)==OS_TRUE)
Total.comm[num]=METER_DATA;
//把采集到数据保存到实时库
OSTimeDly(OS_TICKS_PER_SEC);//任务挂起
}
}
    
```

2.2 GPRS 通信方式

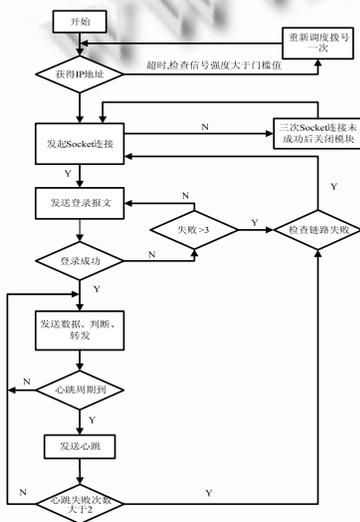


图 5 GPRS 链路通信流程图

GPRS 链路通信流程如图 5 所示, gprs 程序先等待拨号程序 pppd 拨号获取 IP 地址, 为 30 秒, 如果超过最长等待时间还是没有获取 IP 地址, 则查询信号强度 CSQ, 若信号强度小于预定门槛值, 关闭模块, 等待下一次任务。否则拨号程序 pppd 会软复位通信模块, 进入下一次的拨号过程, 若还是未获得 IP, 则同样关闭模块。gprs 程序在得知获取 IP 地址后, 马上创建 Socket 连接(如果 Socket 连接 3 次后还未成功, 则关闭模块), 向主站前置机发送登录报文, 如果登录 3 次都没有回应, 休眠 5 分钟后检测链路, 在检测链路成功的情况下, 再次向主站发送登录报文(发送次数为一次),

如果没有回应就关闭模块, 等待下一次任务。在检测链路失败的情况下, 再发起 Socket 连接一次, 若登陆不成功则关闭模块。在登录成功的条件下, 就可以进行数据收发, 按规定的心跳周期发送心跳报文, 连续的两个心跳报文没有回应的情况下, 立刻检测链路, 检测链路成功的情况下, 按登录报文的流程运行; 否则, 发送信号给拨号程序, 重新拨号获取 IP 地址。

3 实验数据分析

主要测试内容为功耗、GPRS 通信和开关电源。电路主要器件功耗分析如表 1 所示, 根据数据手册估算静态电流约为 9.17 μA , 再加上电路其他损耗, 估计总静态电流可控制在 15 μA 内。使用精密电流表对终端睡眠状态进行测量, 其实际静态电流为 15.2 μA , 所以可以估计出睡眠模式下一天的电量消耗为: $15.2 \mu\text{A} \times 24 = 0.0003648(\text{AH})$ 。在井盖下测试 GPRS 通信过程, 使用电流计测量完成一次通信任务的功耗, 测得平均电流为 200mA, 其中脉冲宽度为 560 μs 的 1.7A 尖峰脉冲次数达 449 个, 通信时间约为 40s。根据每天采集数据并主动上报 6 次, 估算工作模式下一天的电量消耗为: 0.0174(AH), 所以工作三年, 终端总的电量消耗估计为 19.452456(AH), 按照 80% 的电源转换效率及冗余需要计算, 需要电池有效容量为 34.74(AH)。

表 1 主要器件功耗分析

IC	系统睡眠模式	系统工作模式
Xmega256A3	1.16 μA	15.8mA
	(Power Save)	(32MHz)
TPS54331	1 μA	4.54mA
	(Shutdown)	(等效)
TPS75701	0(关断 LOD)	125 μA (Full load)
S-812C33	1 μA (工作)	1 μA (工作)
S-812C50	0.1 μA (OFF)	1.2 μA (工作)
DS2782	1 μA (Sleep)	65 μA (Active)
Mc52i(GPRS)	0(关断 GPRS)	data mode 230mA
IRLML6402	1 $\mu\text{A} \times 4(\text{Idss})$	估计 40mA
总计	9.17 μA	290mA

开关电源测量数据如表 2, 负载电流为 1.82A 的情况下, 输出电压纹波为 20mV, 纹波尖峰噪声最大值为 80mV, 通过 LDO 稳压后输出纹波在 10mV 以内, 满足 GPRS 电源要求。

(下转第 128 页)

表 2 开关电源测量数据

参数	测量值
Output Voltage	3.908 ~ 4.2
Output Ripple	20mVp-p
Output Current	0.1 ~ 2A
Inductor Peak to Peak Current	0.15 ~ 0.6A

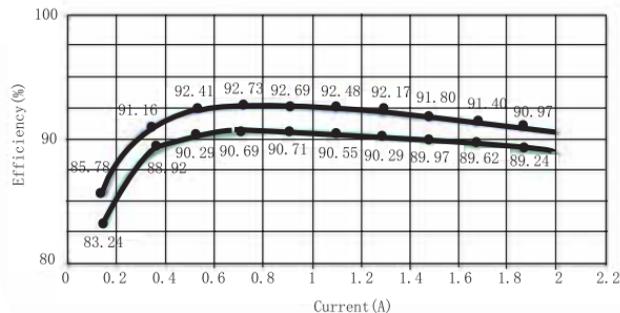


图 6 开关电源效率分析

开关电源效率分析如图 6 所示，上方曲线表示的

是最低输入电压情况下的效率，下方曲线表示的是最高输入电压情况下的效率，根据 GPRS 通信状态下平均电流 230mA 估算，其效率能够达到 86%，使整个系统的电源效率能够达到比较高的水平。

参考文献

- 1 李文军,毛谦敏,梁国伟.远传水表抄表系统设计与实现.自动化仪表, 2004,25(9):54 - 57.
- 2 王圣平.油田用高温铍亚硫酸酐氯电池的性能分析.国外测井技术, 2005,20(3):67 - 70.
- 3 郑双,王悦,朱名日.嵌入式系统电源的设计与调试.单片机与嵌入式系统应用, 2007,10:67 - 69.
- 4 周志敏,周纪海,纪爱华.便携式电子设备电源设计与应用.北京:人民邮电出版社, 2007.
- 5 Labrosse JJ.邵贝贝等译.嵌入式实时操作系统 uC/OS-II(第 2 版).北京:北京航空航天大学出版社, 2003.