

基于 Si4432 的无线远传智能阶梯计费水表设计

张明达 黄建明

(西安航天计量测试研究所研发中心 西安 710100)

摘 要: 针对水表阶梯收费、用户远程抄表的需求,设计了一种无线远传阶梯智能水表。该水表以 MSP430 单片机和无线收发芯片 Si4432 为核心,该单片机功耗低,无线收发芯片传输距离远。介绍了系统原理、硬件结构、软件思路、数据远程收发流程。实验表明,该水表可以实现阶梯收费的功能。在 1 km 通信距离内,传输速率低于 100 Kbps 时,可实现数据的完整传输。该水表具有成本低、功耗低、防水性(密封性)能好的特点,是智能水表的发展趋势。

关键词: Si4432; 430 单片机; 无线远传; 智能水表

中图分类号: TP216; TN919 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Design of remote transmit and step charge water meter based on SI4432

Zhang Mingda Huang Jianming

(Research Center of Measuring and Testing Institute under Xi'an Aerospace Corporation, Xi'an 710100, China)

Abstract: Because of the requirement of step charge and remote gathering data of water meter, design a wireless remote intelligent water meter. The meter is based on 430 MCU and Si4432, the MCU power consumption is low, the wireless transceiver chip transmission is distance. Describing the theory of water meter, hardware framework, software idea, procedure of remote transmission and receiving. Experimental results show that within a kilometer's distance, the transmission rate is lower than 100 Kbps, it can achieve the integrity of the data transmission and the steps of the charging function. The water meter has well characteristics, including the costs is low, power consumption is low, preventing water is well, it's the trend of intelligent water meter.

Keywords: SI4432; 430MCU; remote transmit; water meter

0 引 言

合理用水,节约用水已成为广泛共识,国家相关部门提出实行居民水价阶梯收费。目前的智能水表主要以 IC 卡作为媒介,传统的以卡为媒介的方式难以实现水价的阶梯计费功能。

目前阶梯水价收费主要采用抄表计费的方式,包括有线抄表和人工上门抄表。采用这些抄表形式存在以下不足:1)有线抄表需要在楼体布线,对于已建成的老楼则需要重新钻孔、布线,费时、费力,增加成本;2)采用抄表形式,存在无法抄回的情况;3)抄表计费方式采用先使用后缴费的形式,无法督促用户及时缴费。

近年来射频无线技术发展迅速^[1-3],相对而言,无线远程抄表无需布线、安装布局方便,具有更多优势,更容易实现阶梯计费功能,符合用户的需求。既可以节约人工抄表的成本,还可实时监测用户用水情况。

1 TI 公司 430 单片机和 Si4432 简介

430 系列单片机是 TI 公司推出的低功耗 16 位单片机,该单片机功耗极低,可工作在多种模式,具有活动模式、4 种低功耗休眠模式,低功耗应用时使其工作在低功耗模式 3,单片机功耗仅为 1 μ A。该单片机片上资源丰富,具有段式液晶驱动接口、IIC、SPI、定时器等硬件资源,可节约外部硬件资源,降低成本,降低系统功耗^[4]。

Si4432 是 Silicon Labs 公司的无线射频收发芯片,此芯片集成度高、体积小、低功耗、频率范围宽,可支持频率范围为 240~930 MHz,输出功率最大为 +20 dBm,接收灵敏度高,最高可达 -118 dBm。工作电压范围为 1.8~3.6 V,内部集成分集式天线、功率放大器等多种功能,外围电路精简,只需一个晶振和少量的电容、电感即可完成射频收发功能^[5]。

由于水表安装位置在管道井等角落里,周围有较多障

碍物,需要电路具有较好的穿墙能力才能实现数据的良好远传。此芯片发射距离较远,穿墙效果好,Si4432 具有“距离之王,穿墙之王”之称^[6]。所以非常适合小区范围内智能水表的数据传输。该芯片也可应用在无线遥控、无线抄表、无线安防、无线传感器网络等诸多领域。

2 硬件设计

2.1 智能水表工作原理

水表工作原理如图 1 所示。当水流经水表时,流量计量电路计量实时的用水量。当流过 0.1 m^3 的水后,流量传感器给单片机发送一个脉冲信号,单片机把采集到的脉冲信号存储在存储器中。存储器中的总用量增加,剩余量减少,当剩余水量为 0 时,微处理器控制阀门驱动电路,关闭阀门,停止给用户供水。用户在售水部门购水,管理计算机下传开阀指令,单片机控制阀门驱动电路,重新打开阀门,用户可以正常用水。

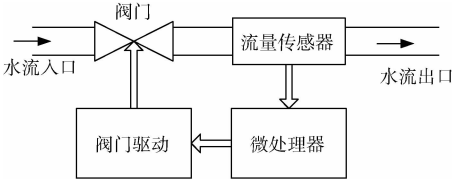


图 1 水表工作原理

2.2 智能水表硬件设计

2.2.1 硬件总体结构

无线远传智能水表硬件功能框图如图 2 所示,包括以下部分电路:微处理器电路、电源电路、无线通信电路、流量计量电路、存储器电路、液晶显示电路、阀门驱动电路、时钟电路。

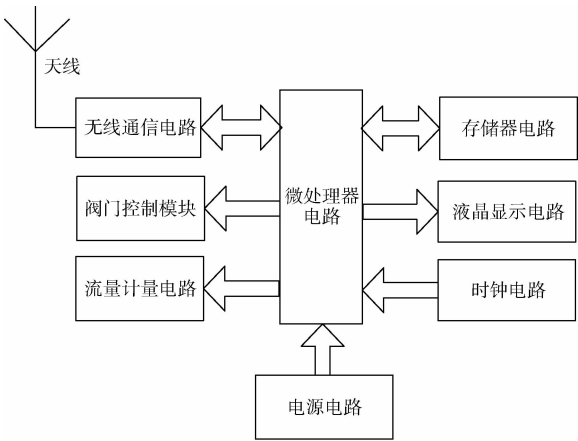


图 2 硬件原理框图

2.2.2 系统电源电路

电源使用功率型锂电池 ER18505M,容量为 $3\ 600\text{ mAh}$ 。电压检测使用 XC61CN2902MR,准确度为 $\pm 2\%$,功耗为 $1\ \mu\text{A}$ 。当电池电压低于 2.9 V 时,该芯片输出低电平信号至单片机,单片机控制阀门驱动,关闭阀门。当更换电池后,电压升高,芯片输出高电平信号,单片机控制打开阀门。系统正常工作。

2.2.3 无线通信电路

无线通信电路如图 3 所示,以 Si4432 为核心芯片,和单片机使用 SPI 接口进行数据交换。SCLK 引脚为 SPI 的时钟输入,MOSI 引脚为数据从单片机到 Si4432 的输出,MISO 引脚为数据从 Si4432 到单片机的输入。nIRQ 为中断状态输出引脚,当有数据包输入或数据包输出完毕时,该引脚输出低电平,通知单片机进行数据的处理、保存。SDN 引脚为高时,芯片停止工作,SDN 引脚为低时,芯片允许工作^[7-9],所以直接把 SDN 接低。其中 SKY13267 为 RF 收发控制芯片,由单片机控制数据的接收或发送。

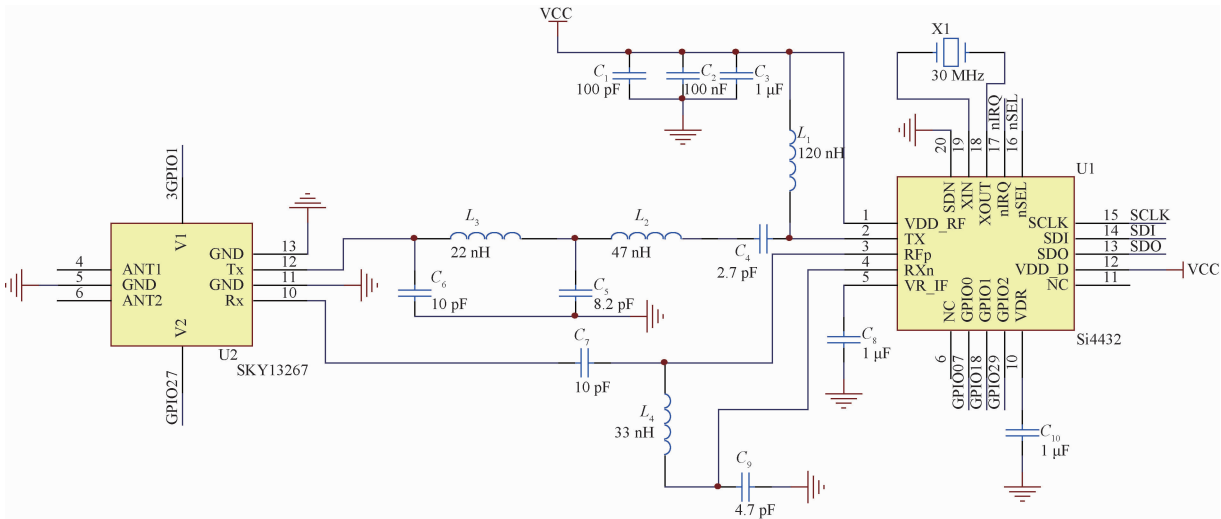


图 3 Si4432 通信电路

2.2.4 脉冲采集电路

脉冲采集电路采用检测供电的模式进行供电,使用单片机的 I/O 口每 1 s 对此部分电路供电,当检测到脉冲信号时,供电,否则不供电,降低系统功耗。

2.2.5 阀门控制电路

阀门控制电路使用典型的 H 桥电路,如图 3 所示,对水表基表部分的电机进行控制。和阀门的连接为五芯排针 CON5,分别为 DJ1、DJ2、KAI、GONG、GUAN,其中 DJ11、DJ22 为 H 桥的控制端口,DJ11 为高,DJ22 为低时控制阀门打开,相反的 DJ1 为低、DJ2 为高时控制阀门关闭,另外 3 个引脚为到阀门开、关位检测开关,当 KAI 和 GONG 导通时,阀门开到位,当 GUAN 和 GONG 导通时,阀门关到位。

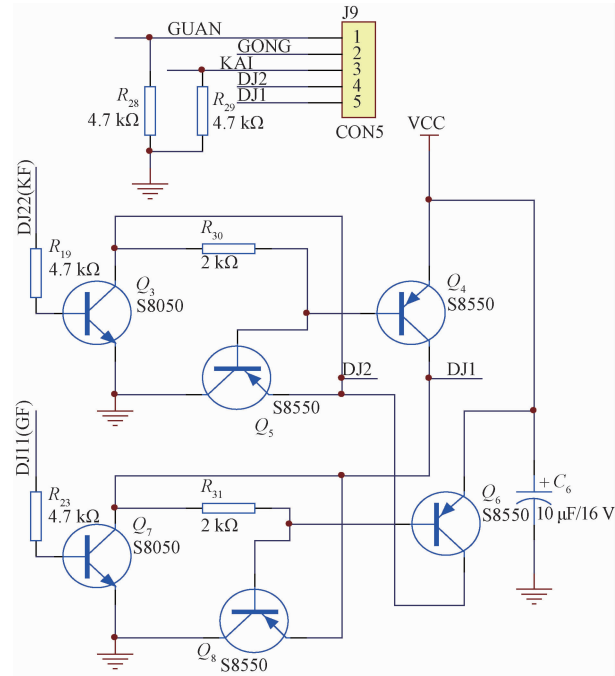


图 4 阀门控制电路

2.2.6 液晶显示电路

水表显示部分使用定制的段式 LCD,可显示新购量、总用量、总购量、剩余量、日期,时间、阀门状态、电池状态等信息。水表处于休眠状态时,LCD 不显示,当有功能卡靠近水表或者水表有故障报警时,LCD 点亮,提示用户进行相应的操作。

2.2.7 数据存储电路

使用 ATMEL 公司的 At24c04 作为水表存储器,内部具有 4 KB 存储容量,主要存储水表的软件版本号、总用

量、总购量、剩余量、水表状态等信息。芯片使用 I²C 接口和单片机进行连接。

2.2.8 时钟电路

本系统对时钟的准确度要求不高,故采用性价比高的 PCF8563。该芯片是一款低功耗 CMOS 实时时钟/日历芯片。

3 软件设计

本系统软件设计使用模块化的编程思路^[10-11],主要分为以下模块:主程序、通信子程序、数据存取子程序、液晶显示子程序、时钟子程序、阀门驱动子程序等。本系统使用 IAR5.20 进行编程,并使用 JTAG 接口调试通过。

3.1 主程序流程

系统工作主流程如图 2 所示,首先对系统硬件初始化,其次读取存储器数据,对水表内运行变量初始化,然后进入主循环,每秒对表状态进行监测管理,检测是否有脉冲、除垢和历史信息处理信号、管理软件的下发指令,有则执行相应的处理程序,没有则进入休眠状态,使系统处于最低的功耗状态。

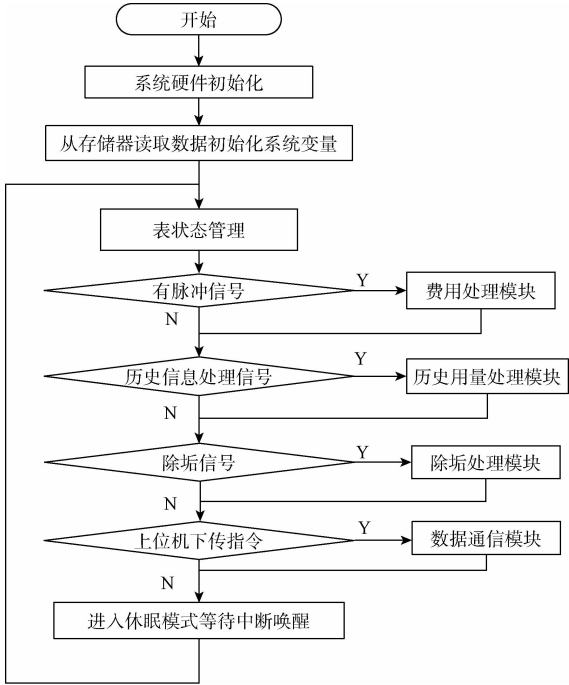


图 5 系统软件主流程

3.2 通信子程序

3.2.1 系统通信的数据帧格式

本系统采用 EZMac 协议定义的帧格式进行数据通信,EZMac 协议帧结构如表 1 所示。

表 1 EZMac 帧结构

前导码			同步字		用户 ID	发送方 ID	目的地 ID	包长	数据包	校验码
AA	AA	AA	2D	D4	CID	SID	DID	PL	D0...Dn	CRC

其中 AA 为前导码,每次发送必须以前导码为开始,至少发送 3 次,2D、D4 是同步模式的标志字,CID、SID、DID 用于确认发送设备和接收设备。PL 是数据长度,D0~Dn 为要发送的有效数据,CRC 校验是为了避免发送错误,实时监测^[12-13]。

3.2.2 无线发送程序

无线发送程序如图 3 所示。首先配置 SPI 接口,初始化 SI4432,配置数据包的长度。清除发送 FIFO 中的数据,关闭除发送包以外的所有中断,等待中断,当 nIRQ 接口变高时,包发送完毕,关闭包发送功能,重复此过程,进入后续数据包的发送。

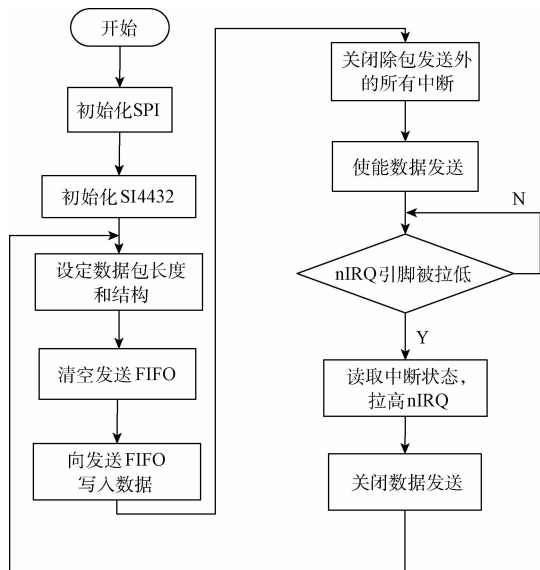


图 6 数据发送流程

3.2.3 无线接收程序

无线接收程序如图 4 所示,首先配置 SPI 接口,初始化 SI4432,然后清除接收 FIFO,打开接收中断、同步字中断,关闭其它中断。使能接收中断,当 SI4432 的 nIRQ 引脚变低时,给单片机发送中断信号,表示接收到有效包数据,然后按照协议对数据进行解析,关闭接收功能^[14]。等待下一次数据包的接收。

3.3 阀门驱动程序

阀门为直流电机带动,分为开阀门和关阀门两种状态。系统上电后,首先检测电池电量和存储器数据,当存储器数据为零或电池为低电压时,单片机控制电机关闭阀门,当电池电量正常(2.8 V 以上)时,用户购水后,阀门打开。

3.4 数据存取子程序

采用模拟的 IIC 协议,具有可灵活设置 I/O 端口、方便移植到其他单片机系统的优点^[15]。所以水表存取部分使用模拟 IIC 程序。当单片机检测到脉冲信号后,在存储器中把总用量增加,剩余量减少。

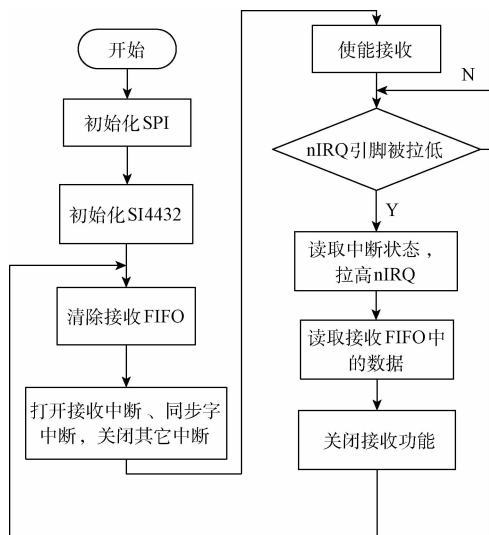


图 7 数据接收流程

3.5 液晶显示子程序

液晶显示子程序首先进行液晶驱动的设置,然后按照液晶的逻辑表编写显示内容。显示水表的状态、水表常数、总用水量、剩余水量等信息,水表上电后首先液晶全屏显示,然后系统处于休眠模式,液晶不显示,当水表有异常时,显示相应报警图标。

3.6 时钟、阶梯计费功能

该水表可以设置为两种收费模式,可以设置为按月阶梯收费,也可以设置为按单一价格收费。

按月阶梯价格收费时,为了降低功耗,开启时钟芯片定时功能,要求每月 1 号中断,即 INT 端口输出低电平。单片机根据时钟芯片提供的中断信号进行周期结算和历史用量信息保存。每月的用水量可划分为 3 个阶梯,每个阶梯对应一种水价,可由用户自行设置。当用户用水量在第一阶梯时,执行第一阶梯水价,超过第一阶梯而小于第二阶梯水量时,超过第一阶梯水量部分执行第二阶梯水价,依此类推。

4 水表性能测试

为测试水表性能,主要进行以下测试:无线数据远传性能、阶梯计费功能。

为验证无线收发数据的可靠性,进行了 5 组通信实验,测试距离 1 km,工作在 431.5 MHz、432.5 MHz,带宽设置为 112.8 kHz,频率偏移为 25 kHz,发送 5 000 个数据包,实验数据表 2 所示。

使用定制的数据采集器,通过 RS232 接口和计算机连接。水表把采集到的数据通过通信电路发送给采集器,采集器把采集到的水表数据,发送到计算机,使用计算机的串口测试软件,设定水表每隔 24 h,发送一次水表用水数据,经过两周的测试,收到的水表数据和水表实际用户数

据一致。阶梯计费功能通过对安装的水表进行测试,测试时使其分别工作于 3 个阶梯,用水量、阶梯价和总用水量的数据关系正确。

表 2 实验数据

	传输频率/Kpbs	误码率/%				
		2.4	9.6	20	40	100
中心 频率/ MHz	431.50	0	0	0	0	0.015
	432.50	0	0	0	0	0.020
	433.50	0	0	0	0	0.035
	434.50	0	0	0	0	0.025
	435.50	0	0	0	0	0.050

5 结 论

实验表明,此水表功能正常,可以实现远程抄取数据,可满足普通小区用户使用。本系统设计的无线远传智能水表具有以下优点:可以实时读取水表数据,实时监控用户用水情况。便于对水资源的管理。安装、维护方便,布局简便,免除了布线的工序,成本较低。无卡操作,可以更好的对智能水表电路部分进行密封,降低水表电子部分因为环境潮湿引起的故障。可以实现网上缴费功能,无需到营业厅缴费,方便用户。本水表可解决管理部门抄表的不便,是智能水表发展的方向。

参考文献

[1] 罗春彬,彭龔,易彬. RFID 技术发展与应用[J]. 通信技术, 2009,42(12): 112-114.

[2] 高清泽,陈长久,彭飞. 一种基于 MSP430 微处理器的电控浮体装置的设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(5): 101-105.

[3] 雷文礼,袁君丽,花静云. 基于 ZigBee 的汽车轮胎压力监测系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(10): 68-71.

[4] 谢楷,赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

[5] Silicon Laboratories. Si4432 ISM transceiver DataSheet rev 0. 3 [EB/OL]. 2010. <http://www.silabs.com>.

[6] 郭亮. 基于 Si4432 的无线射频收发系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009,9(11):38-41.

[7] 潘旭兵. 基于 Si4432 的无线收发模块的设计[J]. 计算机应用, 2009,29(z2):189-191.

[8] 许刚. 基于 C8051 和 Si4432 无线收发透明模块设计与实现[J]. 现代电子技术, 2012,35(23):94-96.

[9] 肖星. STM32L152 和 Si4432 的无线网络系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011(8):48-51.

[10] 许永通. 基于 SI4432 的高性能无线收发系统设计[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2014.

[11] 李正民,王建辉,刘伟伟. 基于 Si4432 的无线射频通信模块的设计与实现[J]. 测控技术, 2012, 31(4): 40-44.

[12] 刘若希,罗志祥. EZMac 协议原理与应用[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(7): 98-99.

[13] 高仁璟,刘国新,唐祯安. 基于 Si4432 的无线射频遥控系统设计[J]. 通信技术, 2010,43(10):137-139.

[14] 张玲,刘九维,何伟. 基于 SI4432 的高性能无线收发应用平台设计[J]. 电子技术应用, 2010, 36(12): 124-127.

[15] 舒杰. 基于 MSP430F149 与 Si4432 的无线传感器网络的实现方法[J]. 微型机与应用, 2011, 30(12): 93-98.

作者简介

张明达,硕士研究生,工程师,主要研究方向为计量仪器、仪表,嵌入式系统等。
E-mail:147557164@qq.com