

基于 MSP430 的射频卡读写系统设计与实现

邹方卫¹, 宋高俊¹, 宋财华²

(1. 南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 邮政编码 330063; 2. 江西三川水表股份有限公司 技术中心研发部, 江西 鹰潭 邮政编码 335000)

摘要: 本文基于 MSP430 单片机开发了一种 T5557 射频卡读写系统。为了实现仪表应用的低成本、低功耗和高可靠性要求, 利用单片机片内外设产生 125kHz 信号经功率放大调制后给射频卡提供电源和数据; 同时利用片内外设接收解码卡片返回数据, 实现了射频卡的读写功能。将该设计应用于预付费热量表系统, 进行数据交换成功的实现了充值和系统维护等功能; 经实验, 完全满足该仪表系统设计的性能、成本及功耗要求。

关键词: 射频卡; T5557; MSP430

中图分类号: TN99

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1006-2475.

RF Card Read/Write System Design based on MSP430

ZOU Fang-wei¹, SONG Gao-jun¹, SONG Cai-hua²

(1. Institute of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang Jiangxi Zip Code 330063, China; 2. Technology Centre R&D department, Jiangxi Sanchuan Water Meter CO.,LTD Yingtan Jiangxi Zip Code 335000, China)

Abstract: A system of T5557 Card Read/Write based on RF card research is designed. It is based on Microcontroller MSP430. In order to achieve the low cost, low power consumption and high reliability requirements of instrumentation applications; We use the microcontroller on-chip peripherals generate the 125kHz signal and amplified by the power and modulation to the RF card which provides power and data; While taking advantage of the on-chip timer measuring RF card return signal pulse width to decoder card the return data achieve the RF card read/write function. By use of this design in the prepaid calorimeter the system successfully achieves data exchange recharge and maintenance functions; by experiment, It fully meets the performance, cost and power requirements of the design in the instrumentation system.

Key words: RF Card; T5557; MSP430

0 引言

公用事业计量领域中主要由水、电、气以及能源改革后出现的供热计量组成。由于传统的计量仪器仪表的特性使得这些领域的计费采用后付费方式; 即由公用事业单位通过定期抄表和数据汇总后结算收取用户费用。这种方式在运作过程中存在大量的人力和物力的消耗, 而且存在用户拒付费和无限期拖欠等诸多问题。随着智能仪表的出现, 使得预付费方式有了实现的平台。智能计量仪表不但提供了智能化的计量方式, 同时由于智能仪表都采用微处理器作为核心控制器件。使得智能化计量的同时实现费用结算功能。于是预付费方式应运而生, 它的出现解决了后付费方式的诸多问题。由于计量仪表都安装在用户家中; 作为公用事业管理服务企业就必须选择一种有效的载体在用户和企业之间进行数据的交换。射频卡即非接触式 IC 卡, 是一种可以存储数据的卡片, 它以非接触的方式进行数据的读写操作。这种卡内部 EEPROM 可以长期有效保持数据, 广泛应用于物流、仓储、计量计费各个领域。它体积小、便于携带、开发成本低、数据交换速度快、不需要专门电源供给、非接触式工作及高可靠性等特性成为了公用事业计量收费中用户与企业计费信息交换的首选。

本文通过分析 T5557 卡的结构特点和计热仪表的硬件组成, 开发了基于 MSP430F 系列单片机的射频卡读写系统, 详细描述了该读写系统的硬件组成、驱动方法、读写操作流程及功耗成本控制等内容, 为其他计量计费领域和射频卡应用提供了很好的借鉴方法。

1 硬件设计

MSP430 系列单片机是美国德州仪器 (TI) 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集 (RISC) 的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。片内集成

了多个不同功能的模拟电路、数字电路模块以提供“单片机”解决方案^[1]。它具有丰富的寻址方式、简洁的内核指令以及大量的模拟指令; 寄存器、片内数据存储器都可参加多种运算; 还有高效的查表处理指令。在 4MHz 晶体的驱动下指令周期为 250ns 加上 16 位的数据宽度使得该单片机可以执行高效的程序。片内主要集成了看门狗 (WDT)、定时器、硬件乘法器、液晶驱动器、UART、SPI、I2C、10 位/12 位 ADC、16 位 $\Sigma-\Delta$ ADC、DMA、I/O 端口、实时时钟 (RTC) 等各种模块。其中, 看门狗可以使程序失控时迅速复位; 16 位定时器 (Timer A 和 Timer B) 具有捕获/比较功能, 捕获/比较寄存器, 可用于事件计数、时序发生、PWM 等功能; P0、P1、P2 端口能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入; LCD 模块能直接驱动液晶多达 160 段; 硬件 I2C 串行总线接口实现存储器串行扩展; 以及为了增加数据传输速度采用的 DMA 模块。MSP430 系列单片机的这些片内外设为系统的单片解决方案提供了极大的方便。MSP430 系列单片机还具有极低的功耗。电源电压采用的是 1.8-3.6V 电压, 因而可使其在 1MHz 的时钟条件下运行时, 芯片的电流最低 165 μ A 左右, RAM 保持模式下的最低功耗只有 0.1 μ A^[2]。

鉴于上述特性使得它成为我们热量表系统控制器的首选。本研究放弃了传统的 U270B 驱动解决方案, 直接利用 MSP430F44X 系列单片机片内外设和简单外围电路设计电路系统。主要采用定时器 A 的 PWM 功能产生驱动信号为射频卡提供能量来源; 采用定时器 B 测量脉宽解码卡片回传数据; 取得了良好的预期效果。图 1 是该系统的硬件组成框图。

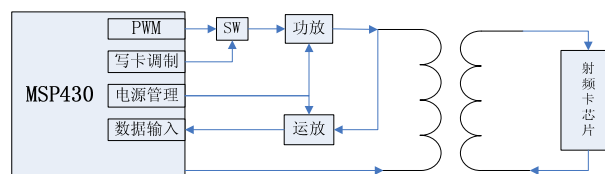


图 1 硬件框图

T5557 卡工作频率在 100kHz 到 150kHz 之间。本设计采用 125kHz 方案进行研究；通过配置该单片机的定时器 A，配成 PWM 模式，在 4MHz 晶体驱动下经过 32 分频产生占空比为 1:1 的脉冲信号。该信号经 I/O 口输出送入功率放大电路驱动线圈。卡片靠近后卡片内线圈产生相应交变电压送入前端模拟组件；该组件产生电能提供能量供应，并且处理双向的数据沟通。T5557 卡内部结构如图 2 所示。

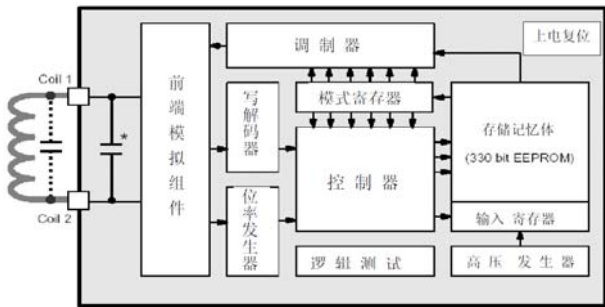


图 2 T5557 卡内部结构

卡片上电后开始复位。然后按照设定方式发送数据，发送方法是在卡片线圈两端产生一个 RF 抵抗场强。这个场强可以在读写系统线圈上检测到，经过放大器的整形生成标准的脉冲信号，该信号输入到单片机后通过片内定时器 B 测量每个上升沿和下降沿之间的时间间隔就可以解码出传送的数据。写模式是在卡片复位后的任何时刻，通过端口设定按照 T5557 设计控制 125kHz 信号开启与关闭就可以将数据传送到卡片中，卡片根据传入数据的内容执行相应的命令或者存储接受到的数据。这样我们设计的电路通过适当的软件控制就能实现读写操作，满足应用中数据读写传送要求。

2 软件设计与实现

2.1 T5557卡数据结构

T5557 卡的存储模块由一个 330bit 的 EEPROM 组成。它被分配到 2 个页面共 10 个数据块中。数据结构如图 3 所示。

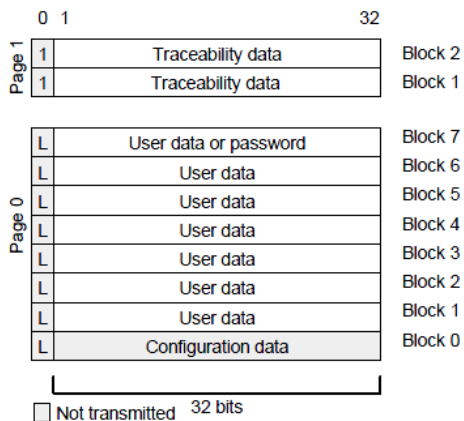


图 3 T5557 卡数据结构

页面 0 由 8 个数据块组成。每个数据块由一个锁定位和 32 个数据位组成。锁位决定对应数据块是否可写；锁位位置后不可逆转，一般不操作锁位。块 0 为卡片的配置信息；通常该数据块隐藏，其余为用户数据区，提供给用户读写操作。密码模式下第 7 块数据用作密码存储，该数据块可以设为隐藏。在我们的预付费系统中第 1 到 6 块数据规划为传递计费、维护数据等信息供智能仪表结算和系统维护。

页面 1 的两个数据块为可追溯数据。它的内容是由 Atmel 规划并在制造测试期间写入锁定，具有只读特性。包含分类定义、制造商代码、IC 材料、电路版本以及晶圆号码等一系列信息。

2.2 T5557卡配置信息

页面 0 的第 0 块为配置数据，系统复位后载入数据进行卡片初始化。配置的内容如图 4 所示。

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lock Bit	Safer Key (Note 1), (2)		Data Bit Rate				Modulation				PSK- CF		MAX- BLOCK		PMD		Sr-Sequence Terminator		PCR delay														
0	Unlocked		RF/8 0 0 0 0 RF/16 0 0 0 1 RF/32 0 1 0 0 RF/40 0 1 1 0 RF/60 1 0 0 0 RF/64 1 0 0 1 RF/100 1 1 0 0 RF/128 1 1 1 1				0 0 0 0 0 0 Direct 0 0 0 0 1 0 PSK1 0 0 0 1 1 0 PSK2 0 0 1 0 0 0 FSK1 0 0 1 0 1 0 FSK2 0 0 1 1 0 0 FSK1a 0 0 1 1 1 0 FSK2a 0 1 0 0 0 0 Manchester 1 0 0 0 0 0 Biphase(50) 1 1 0 0 0 0 Reserved				0 0 RF/2 0 1 RF/4 1 0 RF/8 1 1 Res.																						
1	Locked																																

1) If Master Key = 6 then test mode write commands are ignored
2) If Master Key <> 6 or 9 then extended function mode is disabled

图 4 T5557 卡配置信息

该数据块的默认配置为：00 14 80 00。即：连续通信模式、曼彻斯特编码、RF/64 调制速率。

2.3 读写系统的初始化

读卡操作前必须为卡片提供 125kHz 电磁场用于激活卡片为卡片提供能量，为了节约成本和系统资源，使用了热量表系统中的 MSP430 片内定时器 A 的捕获比较模块产生该信号；将定时器配置成 PWM 模式；该操作在读写卡前进行，将它放到读写系统初始化模块中。产生的信号经功率放大后驱动线圈就可以为卡片提供能量。卡片获得能量后开始 POR 操作，复位延时模式下 POR 所需时间为 67ms 左右，普通模式下只需要 3ms 左右复位时间。复位操作完成后卡片开始进入正常读模式，即开始循环从块 1 到配置的最大块发送数据，中间用 Sequence terminator 间隔区分。接下来是读信号流程，为了解码信号必须使用另一定时器来测量回传信号脉宽用于解码数据。这时候我们使用定时器 B。将该定时器配置成计数模式，在信号的上升沿或者下降沿到来时开启计数器，在下一个下降沿或者上升沿到来时停止计数，然后通过读取计数器寄存器计数值就可以得到该信号的脉冲宽度，从而实现解码功能。系统初始化流程如图 4 所示。

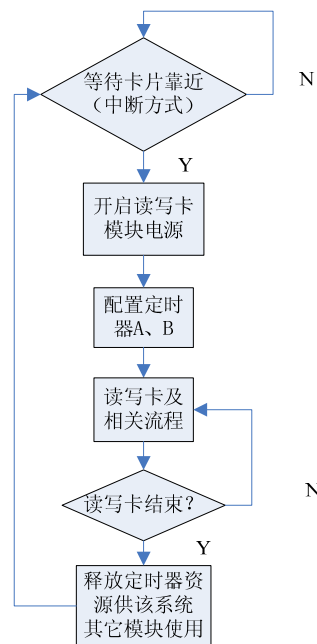


图 4 T5557 卡读写系统初始化流程图

系统使用中断方式检测卡片是否靠近。为了降低系统功耗，在检测到卡片前通过电源管理模块关闭相关电路电源；

检测到卡片后电源开启。同时征用定时器 A, B, 并将其配置成读写卡系统所需模式进行读写等数据传输操作。操作完成后释放这些资源模块供供热计量系统其它功能模块调用; 这样就成功实现了降低系统功耗和成本要求。

2.4 T5557卡的读操作

系统初始化后保持 125kHz 电磁场提供给卡片电源, 卡片开始进入标准读模式。在这个模式下, 卡片通过 RF 抵抗场强发送数据。将卡片模式配置成曼彻斯特编码模式、1/16 速率。在 125kHz 的场频驱动下卡片发送数据的载波周期为 128us。这个信号经过运放整形后输入到单片机中, 通过该信号的解码就能够读出卡片数据。

在标准读模式下, 射频卡从块 0 到最大块开始循环发送数据。循环过程中插入 Sequence terminator 信号, 简称 ST 信号。为了解码回传的信号, 首先必须捕捉到 ST 信号才能顺利进行块 0 到最大块的数据解码。在曼彻斯特编码模式下, ST 信号波形如图 5 所示。

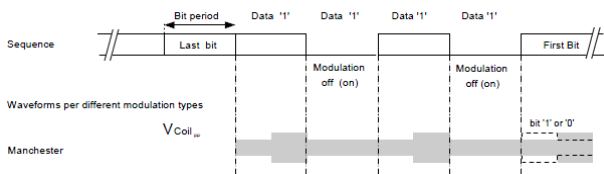


图 5 ST 信号波形示意图

从图中波形及曼彻斯特编码特性分析可以得出在数据编码内容中不可能出现下降沿和上升沿 1.5T 时间跨度的信号。而且该信号出现后一定是一个 0.5T 跨度的上升沿和下降沿信号。根据这个特性我们很容易就能通过编程方法找到该信号。

从理论分析, 125kHz 场频驱动下, 这个 ST 的 1.5T 信号的持续时间为 192us, 0.5T 信号的持续时间为 64us。数据编码情况下只出现 1T 和 0.5T 信号, 1T 信号理论时间为 128ms; 逻辑分析仪实际测试数据表明, 该信号的占空比并不为 1:1。高电平在一周期内持续时间约为 74us, 低电平持续时间约为 54us。下面给出找寻 ST 信号方法, 程序流程如图 6 所示。

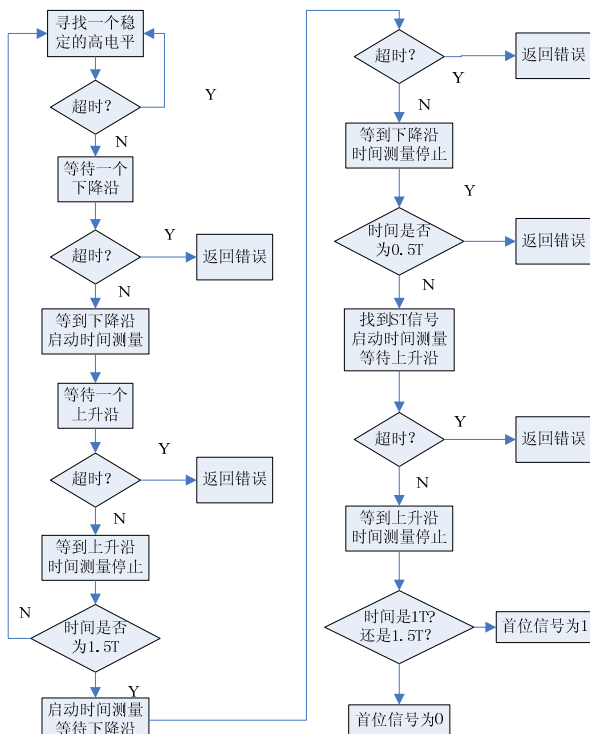


图 6 ST 信号识别流程图

表 1 为 68 组不同卡片的信号脉宽值(单位: 计数周期)。

实验表明使用表 1 数据设置数值, 读卡程序寻找 ST 信号的成功率几乎为 100%。

表 1 初值数据表

位置	样本	Min	Max	平均	最终判别标准
1 st 1.5T	68	755	791	773.35	740<1.5T<810
0.5T	68	203	251	233.08	190<0.5T<270
1T	68	479	515	500	460<1.0T<530
1.5T	68	719	755	740	700<1.5T<770

识别到 ST 信号后, 根据首位信号的值来解码接下来的数据信号。识别方法为根据当前首位信号值 (0/1) 测量 (高电平/低电平) 持续时间来确定当前数据为 0 或者 1; 若该电平持续时间超过 0.5T 则当前数据为与首位信号一致, 否则当前数据与首位信号相反。在后续信号识别当中, 每次都把当前数据当中下一位信号的首位进行识别。经过试验, 使用该方法选取 100 组试验数据最终得到 0.5T 数据的阈值为: 365 (单位: 计数周期)。通过上述数据最终实现 100% 读卡成功率。

2.5 T5557卡的写操作

T5557 卡的基站到卡片数据传输是通过调制 125kHz 信号的开启和关闭形成间隙来实现。该间隙的持续时间约为 50us 到 150us。在卡 POR 操作后的任何时刻, 通过一个 Start Gap 间隙来触发写模式。如图 6 所示。

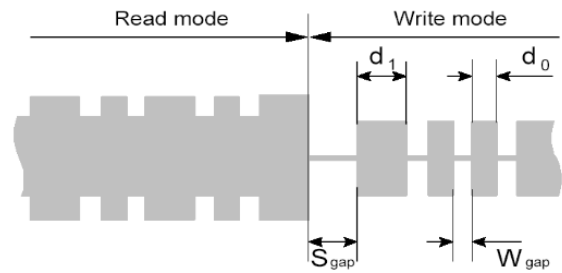


图 6 Start Gap 触发示意图

触发写模式后立刻进入数据写模式, 数据位的传送也是通过间隙调制, 如图 7 中的 d1, d0, Wgap 所示。Wgap 为数据位间关闭间隙, 而数据 d1, d0 表示 0、1 数据是不同时间宽度的开启间隙来表示。这些开启和关闭间隙的时间长度如表 2 所示。FC 为场频周期。

表 2 写数据编译码设计

Parameters	Remark	Symbol	Min.	Max.	Unit
Start gap		S _{gap}	10	50	FC
Write gap	Normal write mode	W _{gap}	8	30	FC
Write data in normal mode	'0' data	d ₀	16	31	FC
	'1' data	d ₁	48	63	FC

写顺序编码如图 7 所示, Start gap 触发写模式后首先传送的是操作码。接着是锁位, 一般锁位置 0, 因为一旦置 1 后数据块就无法再写操作, 且不能翻转操作。标准写模式下, 接下来传送数据为块数据 (32Bit)、块地址 (3Bit) 数据传送完成后卡片编程时间为 6.7ms。

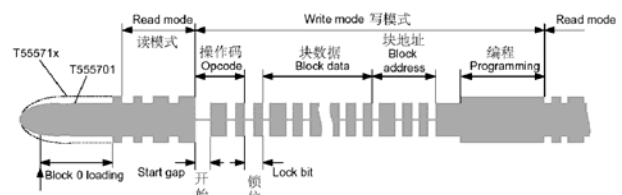


图 7 标准写模式示意图

通过上述方式实现了卡片数据的写数据操作。实验数据

表明选取表 2 中的中间值能够保证 100%的数据传输成功率。

3 结束语

本文通过研究预付费热量表系统的成本、功耗及稳定性等要求,在分析系统特点及卡片读写流程的基础上,成功的设计了一个基于 MSP430F44x 环境下的 T5557 射频卡读写系统。该系统通过卡片传输 6 块共 192 位数据成功的实现了热量表系统的充值维护等功能,在热量表及其他预付费系统中得到了很好的应用。

参考文献:

- [1] 沈建华,杨艳琴.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008: 7.
- [2] 秦龙.MSP430 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社,2006: 5.
- [3] 阳春华,阙秋根.非接触式 e5551 读写器开发[J].电子技术应用,2003,第 8 期:15.
- [4] 单承赣.RFID 芯片 T5557 及其 FSK 读写器电路设计[J].国外电子元器件,2004 年,第 12 期:25.
- [5] 邢中柱.一种采用曼码调制的非接触 IC 卡读写程序编

- 制[J].单片机与嵌入式系统应用,2001,第 1 期:53
- [6] 高洁,徐克宝.基于 U2270B 的射频识别系统天线设计[J].Microcontrollers & Embedded Systems,2006 年,第 1 期:9.
- [7] 陈大才.射频识别(RFID)技术[M].北京:电子工业出版社,2001: 56.
- [8] 尹寒,陈峰.近耦合射频识别系统的工作原理及天线设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2002 年,第 1 期:27.
- [9] 贾振国,许琳.射频卡基站芯片 U2270B 的原理及应用[J].国外电子元器件,2004 年,第 12 期:66.
- [10] 黎连业.智能小区九大系统设计与实现[M].北京:科学出版社,2003: 3.
- [11] 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,2009: 7.
- [12] ATMEL. Read/Write Base Station U2270B.2003 年 2 月. www.datasheetcatalog.com.
- [13] Atmel. Multifunctional 330-bit Read/Write RF-Identification IC T5557. 2003. <http://www.atmel.com>.
- [14] Texas Instruments. MSP430x4xx Family. 2010. <http://www.ti.com>.

收稿日期: 2013-1-11;

作者简介: 邹方卫(1985-),男(汉族),江西省宜春市铜鼓县人,硕士研究生,主要研究领域为综合信息网络技术;宋高俊(1959-),男,安徽滁州人,副教授,博士,主要研究领域为移动通讯与无线通信网;宋财华(1970-),男,江西鹰潭人,MBA,高级工程师,主要研究领域为光机电一体化。

联系电话: 15879185268

E-mail: 275658467@qq.com