

应用 Atmel 低频唤醒收发芯片降低功耗的设计

金允霖, 赵春宇

(上海交通大学 信息检测技术与仪器系智能所, 上海 200240)

摘要: 采用 Atmel 超低功耗唤醒接收芯片 ATA8253 及发射天线驱动芯片 ATA5276 实现 125kHz 的低频唤醒功能。该功能可给有源 RFID 提供一条降低电池功耗、延长使用寿命的有效途径。介绍了这一系统的硬件电路设计及软件设计方法, 并提供了实际测试的结果。

关键词: 低频唤醒 超低功耗 电感耦合

目前, 市场上的 RFID 主要分为无源 RFID 和有源 RFID。前者无需使用电池但传输距离有限 (<1m); 后者通过电池供电使得传输距离得到大幅提升 (>100m), 而纽扣电池的容量有限。为在有限的电池容量下使得电子标签的寿命达到最大化, 常用的解决方案是给标签设定一个定时唤醒机制, 但唤醒的时间间隔不能过长, 否则不能及时响应读头。这样不论读头有无读取信息需求, 标签都在发送数据, 消耗能量; 另外定时唤醒需要时钟电路工作, 意味着 MCU 不能进入彻底休眠状态。因此定时唤醒不能达到最佳的节能效果。本文主要针对这一问题, 引入低频唤醒机制, 为电子标签节能提供另一条有效途径。

1 系统工作原理及硬件设计

RFID 系统的工作原理如图 1 所示。整个系统由标签端 (TAG) 和读头端 (READER) 两大部分组成。标签端主要包括: MCU——对标签进行控制兼有数据处理存储的功能; 传感器——具体实现取决于 RFID 系统的应用场合, 如在胎压检测 TPMS 系统中包括压力、温度传感器, 在集装箱物流管理中可能包括温湿度、光感传感器等; UHF transmitter——超高频数据发送模块, 传输距离可大于 100m; LF wake-up receiver——低频唤醒接收模块, 如检测到有满足协议的 125kHz 信号, 则产生动作唤醒 MCU。读头端主要包括: MCU——负责对超高频接收模块、低频信号发送模块的控制及与上位机的通讯; UHF receiver——超高频数据接收模块, 接收标签端发送出的超高频信号; LF transmitter——低频发送模块, 负责

发送 125kHz 的低频信号, 以唤醒标签。

图 1 中粗黑框部分的功能模块是本文所关注的重点。

1.1 读头端 (READER) 硬件设计

因为对读头端的功耗要求并不严格, 所以 MCU 选用了 Philips 公司的 LPC932。这一系列的单片机是增强的 51 内核单片机, 功能相当丰富, 包含了 ADC、PWM、捕获等功能。另外, 接口相对丰富, 包括串口、SPI 接口及 I²C 接口, 可以方便地扩展 I/O 端口同上位机通讯。

LF transmitter 的芯片选用 Atmel 公司的 ATA5276。该芯片通过一个“单线双向”接口 (DIO pin), 由外部 MCU 控制、配合天线线圈发射 125kHz 低频载波传送数据和能量。芯片的工作电压为 8~24V。它内部包含了一个 VCO (压控振荡器) 给接口逻辑门电路和门驱动逻辑电路提供时钟。当天线半桥处于非激活状态时, VCO 工作在自振荡模式, 频率范围在 125×(1±8%)kHz; 当天线半桥处于激活状态时, VCO 工作在谐振跟踪模式——通过检测天线 LC 电路自身谐振时的电流过零点产生 VCO 的时钟频率。芯片驱动天线线圈的峰值电流是可调的, 峰值电流最大可以达到 1.5A, 可以根据实际需要调整外部电阻 (R_{CR}) 阻值使得天线发射不同功率。峰值电流和电阻阻值的关系如下:

$$I_{A_{PEAK}} = 750\text{mA} \times \frac{50\text{k}\Omega}{R_{CR}} \quad (1)$$

此外, ATA5276 还整合了电路诊断和自保护功能。如果发送的序列正常, 它将在数据发送结束后约 16ms 在 DIO 给出一个大约 256μs 的负脉冲。在发送过程中, 如果检测到有下面三种情况, 则认为有错误: (1) 供电电压 DV_{CC} 小于 6.5V; (2) 谐振频率不在 90kHz 和 160kHz 之间; (3) 天线电流超出公式 (1) 的设定范围 15%。一旦发生错误, 它会在发送完后约 16ms 在 DIO 给出一个 128μs 的负脉冲。电路会在电压超过 31V 或芯片过热情况下, 启动自保护。

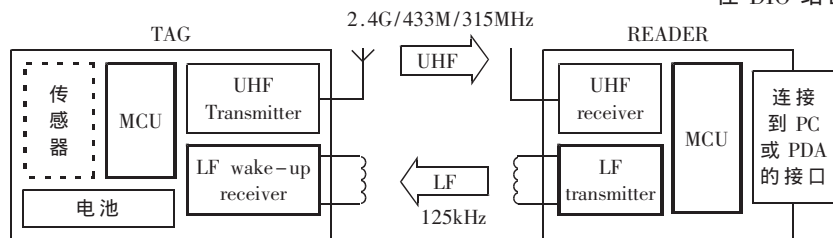


图 1 RFID 系统结构构成

图 2 中, LPC932 通过 P1.7 脚控制 ATA5276, DIO 平时处于高电平, 一旦有低电平则 ATA5276 由待机模式进入发送模式。对应 DIO 低电平时 L1 和 C4 组成的串联谐振电路开始起振, 能量通过 L1 以磁场的形式发散出去, 否则停止谐振。R8 即谐振电流过零检测电阻, R_{CR} 控制流经天线线圈的峰值电流。发送结束后的 DIO 发出的负脉冲信号通过 LPC932 的 P2.7 捕获确认是否发送成功。若发送正常, 则 P1.6 驱动 LED 亮一次, 显示成功, 否则不亮。

1.2 标签端 (TAG) 硬件设计

如何降低标签端的功耗是设计时考虑的重点。

ATA5283 是 Atmel 公司推出的一款超低功耗具有序列头侦测功能的唤醒 IC。工作电压范围为 2V~3.6V。它在接收数据前处于待机侦听模式, 功耗仅为 1 μ A。传送开始时读头端需要先发送一个大约 5.6ms 的 125kHz 载波序列头, 其中前 192 个载波用于唤醒 ATA5283, 后 512 个载波时间提供给 ATA5283 进行自增益调整, 即把接收信号的放大增益调到适当值。接收到一个完整的序列头后, ATA5283 会在 N_WAKEUP 脚给出一个低电平去唤醒后端的 MCU, 然后一个载波间隙后开始将接收到的载波信号解调数字信号, MCU 通过读取 ATA5283 的 N_DATA 脚可以获得 ASK 解调输出的串行数据。接收数据的过程中, 5283 的功耗为 2 μ A。当 MCU 判断数据已接收完时, 给出一个高电平到 ATA5283 的 RESET 脚, 则它会回到待机侦听模式。

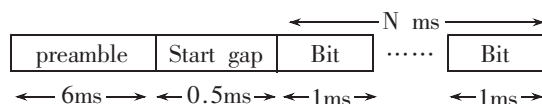
标签端的 MCU 选用 TI 公司的 MSP430F2101。MSP430

系列的单片机在低功耗方面有着显著的优点。在 2.2V、1MHz 系统时钟的运行环境下, 工作电流为 250 μ A。而进入 LPM4 待机模式下, 耗电量仅为 0.1 μ A。MSP430 的 P1、P2 口都支持输入边沿触发中断, 利用这一特性连接 ATA5283 的唤醒输出信号 N_WAKEU 到这两端口的任意一脚都能唤醒 MSP430。

图 3 中 L1 和 C1 构成 125kHz 的并联谐振回路, 由 L1 天线线圈通过电感耦合获取读头端天线线圈发射出来的能量, 感应电压使得谐振回路起振。只要谐振电压的有效值大于 1mV, ATA5283 就能产生相应动作。跳线 JP2 和连接器 JP1 是为方便 JTAG 在线仿真编程预留的接口。可以看到 ATA5283 所需的外部器件相当少, 有利于提高标签的集成度、减小体积。

2 软件设计

ATA5283 的波特率可以达到 4kbps, 在这里将传送波特率暂定为 1kbps, 即数据每个 bit 维持 1ms 的时间。因此发送端一次发送的格式应该为:



读头端、标签端及标签中断服务程序如图 4 所示。

2.1 读头端程序

LPC 上电后初始化, P1.7 和 P1.6 设为推挽输出模式, P1.7 在 ATA5276 不工作时一直保持低电平, 对应

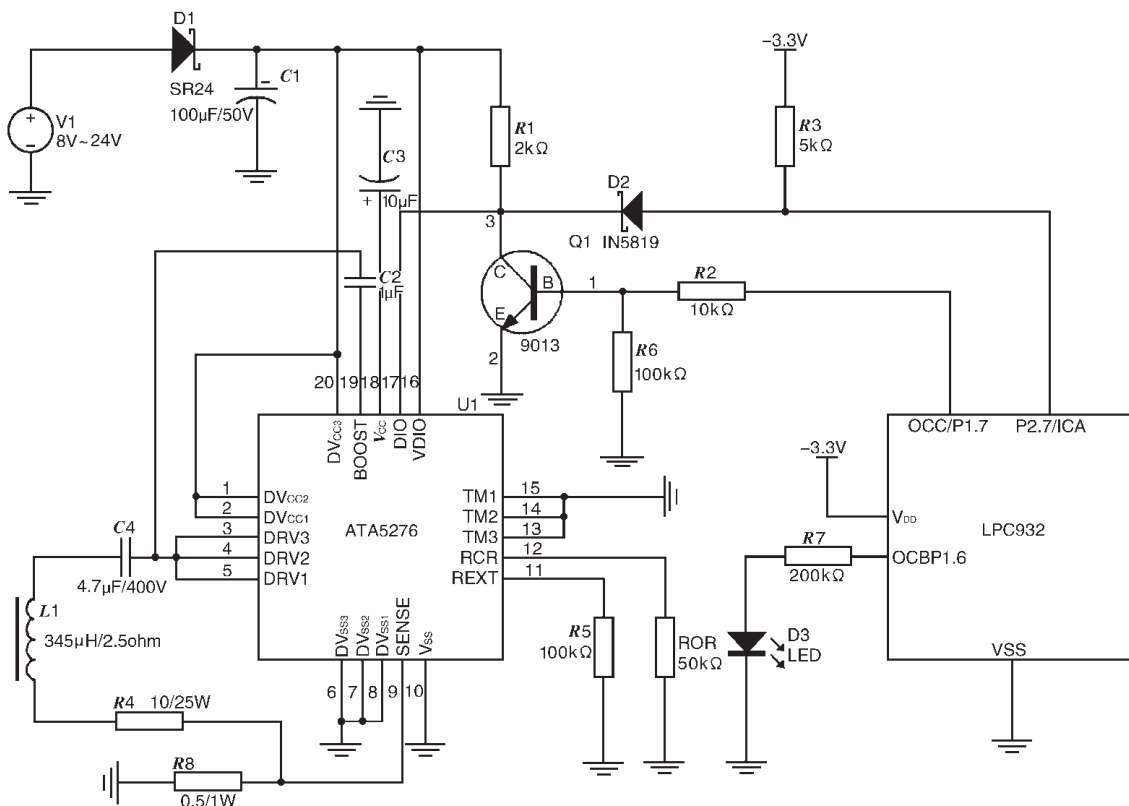


图 2 读头端电路原理图

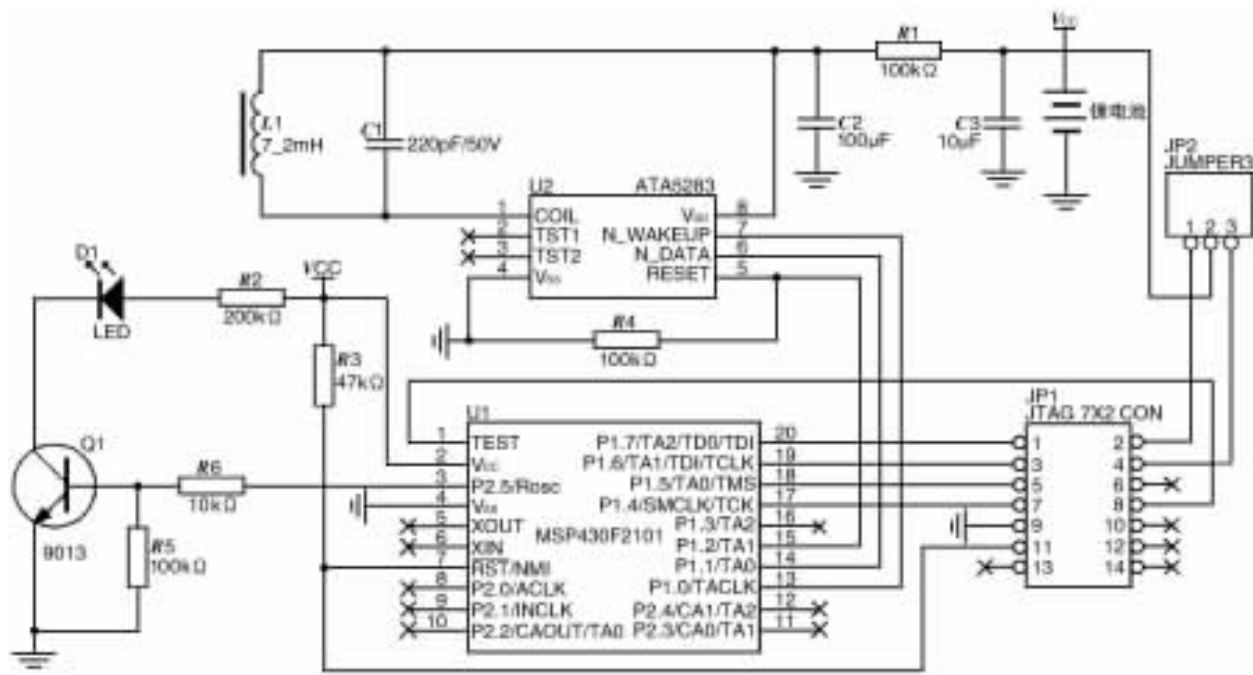


图3 标签端电路原理图

DIO 为高电平。P2.7 设为输入模式，用于捕获 DIO 反馈的确认信号。在数据发送完后，延时大约 15ms，开启 CCU 捕获中断，在中断服务程序内分别记下信号的下降沿和上升沿的时间，然后通过这个时间差确认在前面发送数据过程中是否出现错误。LED 亮一次表示发送无误。

2.2 标签端程序

MSP430 上电后，完成对 I/O 的配置：P1.0 输入，下降沿中断使能；P1.1 为输入；P1.2 给一个正脉冲使 ATA5283 初始化。完成以上操作后进入 LPM4 模式。一旦 ATA5283 的 N_WAKEUP 有下降沿触发 MSP430

中断，则 MSP430 在中断服务程序中完成对 N_DATA 的读取。完成后，经 P1.2 给 ATA5283 一个正脉冲 Reset 使其进入待机侦听模式。退出中断服务程序后，MSP430 回到 LPM4 等待下一次唤醒。

3 设计验证

125kHz 的射频信号，因其波长 ($\lambda=2400\text{m}$) 太长所以采用天线线圈来代替天线。天线线圈是利用收发天线线圈之间的近磁场电感耦合工作的。设天线线圈在沿线圈轴心线距离线圈中心 r 处产生的磁场强度为 B_z ，则当

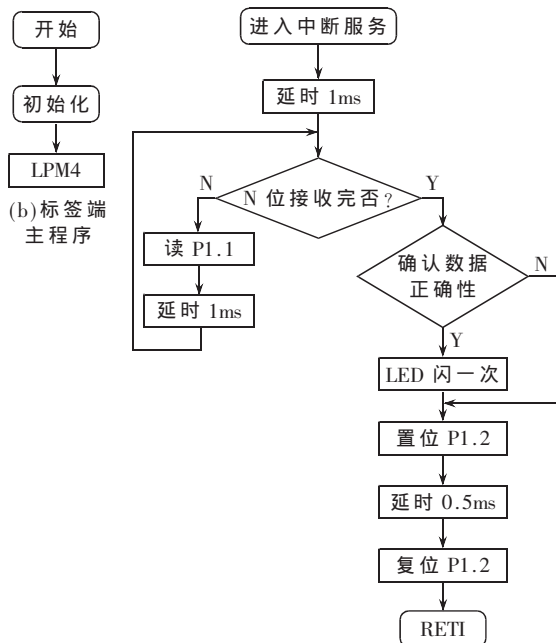


图4 读头端、标签端及标签中断服务程序

$r \gg a$ 时有关系： $B_z = \frac{\mu_0 N_1 a^2}{2} \left[\frac{1}{r^3} \right]$ ，式中 a 为线圈天线的半径， I 为流经线圈的电流， N_1 为线圈匝数。设标签端天线的感应电压为 V_o ，则 $V_o = 2\pi f N_2 Q S B_z \cos\beta$ ，式中 f 为 125kHz， N_2 为线圈匝数， Q 为标签端并联谐振回路的品质因数， S 为标签端线圈的横截面积， B_z 为读头端线圈在标签位置处产生的磁场强度， β 为标签线圈轴心线同磁力线的夹角。

综合以上两个公式可知,影响读头和标签工作距离的因素比较多。实验中,自制了三个读头天线线圈和一个标签天线线圈,对影响工作距离的因素进行粗略评估。标签天线线圈的电感值为 7.2mH、磁芯半径 2mm、线圈 643 匝,如表 1 所示。

表 1

	电感值(μH)	匝数	半径(mm)	磁芯	峰值电流(A)	距离(cm)
读头线圈 1	345	54	44	无	1.5	400
读头线圈 2	345	77	7	有	1.5	360
读头线圈 3	345	91	5	有	1.5	260

对于同一读头天线线圈 2 和同一标签天线线圈,通过调整 R_{CR} 改变其谐振峰值电流测量其工作最远距离,具体数据如表 2。

用示波器观测得到电子标签待机时的实际电流值略大于 $1\mu\text{A}$ 。

单纯地设定定时中断来唤醒 RFID 系统仍会有不必要的功耗,加入低频唤醒功能可以有效地避免这种情

表 2

RCR($\text{k}\Omega$)	25	40	80	140	180	200
对应峰值电流(A)	1.5	0.935	0.468	0.267	0.208	0.187
最远距离(cm)	360	280	220	175	165	160

况,可根据读头的需求决定是否需要唤醒标签端。如果在低频唤醒过程中加入地址和命令信息,同定时唤醒功能相结合,相信能在降低功耗、防冲突机制等方面提供更灵活的解决方案。

参考文献

- [1] 125kHz Transmitter IC ATA5276. Atmel, 2006, 4.
- [2] Interface IC for 125kHz Wake-up Function ATA5283. Atmel, 2005, 9.
- [3] 周立功.LPC900 系列 Flash 单片机应用技术.北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [4] 魏小龙.MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例.北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [5] LEE Y.RFID Coil Design.Microchip Technology Inc, 2002.

(收稿日期:2006-09-23)