

文章编号:1001-893X(2007)02-0083-05

无源唤醒模式的远距离无线收发系统低功耗设计^{*}

汪宋良^{1,2}, 杨鸣^{1,2}, 邵华^{1,2}, 蒋金涛^{1,2}

(1. 宁波大学 信息科学与工程学院,浙江 宁波 315211;
2. 宁波医用光电仪器省级高新技术研究开发中心,浙江 宁波 315211)

摘要:从电源管理上提出了一种新型节省功耗的方法,根据近距离的 passive tag 和远距离的有源唤醒收发工作原理,设计了超微功耗无源唤醒的远距离收发系统。

关键词:无线收发系统;电源管理;无源唤醒;超微功耗;射频识别

中图分类号:TN802 文献标识码:A

Low Power Consumption Design of Wireless Transceiver with Passive Wake - up and Long Distance Mode

WANG Song - liang^{1,2}, YANG Ming^{1,2}, SHAO Hua^{1,2}, JIANG Jin - tao^{1,2}

(1. College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. High Tech Research and Development Center of Medical Photoelectric Instrument, Ningbo 315211, China)

Abstract: According to the operational principle of passive tag and active wake - up transceiver, a transceiver system with ultra - low power consumption and passive wake - up is proposed. A novel low power consumption circuit design based on power supply management is provided.

Key words: wireless transceiver system; power supply management; passive wake - up; ultra - low power consumption; RFID

源唤醒远距离收发系统工作原理的论述,设计了新型的超微功耗无源唤醒收发系统结构。

1 引言

在RFID中,Passive Tag利用阅读器发出的电磁场获得标签工作所需能量,这个能量很微弱,这也就限制了通信的距离,适用于近距离无线数据通信。但对于几百米甚至上千米的远距离通信中,就必须依靠电源来保障收发可靠性。怎样有效地降低通信设备功耗,节省有限的电能,尽可能延长干电池的使用寿命成为主要技术问题。国际上从芯片工艺设计上考虑,使芯片功耗尽可能低。但本文将从设备的电源管理上考虑,结合Passive Tag中的自充自供的工作模式和有源唤醒方式的远距离通信工作模式,来实现降低功耗的目的。通过对Passive Tag和有

2 Passive Tag 模拟前端工作原理

Passive Tag一般包括两部分,天线线圈和主功能芯片。主功能芯片包括三部分,分别为模拟前端部分、数字控制与处理部分和存储器部分。在系统工作时,阅读器发出电磁场查询(能量)信号,Passive Tag从无线场中获取能量,一部分能量转换为直流电源供Passive Tag内的电路工作,另一部分能量被Passive Tag中存储器内保存的数据信息调制,并通过数字控制器处理后反射回阅读器。所以,模拟前端必须具有无线场能的获取、储蓄、供电功能,它

* 收稿日期:2006-05-21;修回日期:2006-08-08

包括 LC 振荡电路、钳位电路、电压调整电路、调制电路、同步时钟发生电路、复位电路以及整流电路等^[1,2,3,4,5], 如图 1 所示。

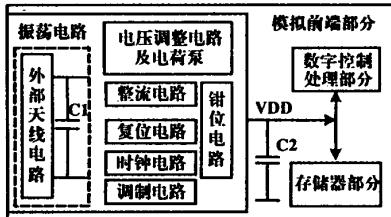


图 1 模拟前端结构

不同厂家生产的 Passive Tag 会有不同的性能和功能,但无论哪种 Passive Tag 其基本工作原理都是相似的。下面就一般 Passive Tag 模拟前端工作原理进行简述。

2.1 充电过程

首先,当 Passive Tag 进入电磁场范围之内时,模拟前端中的 LC 振荡电路(由外部天线线圈和振荡电容组成,其中振荡电容有芯片外接和芯片内置两种)上就会产生 RF 电压通过电路内部;其次,由电压产生的回路电流通过整流电路供给电压调整电路和电荷泵;再次,经过整流后,由 AC 变为 DC 给电荷泵(一般由电容作为蓄能元件,提供芯片工作电压)充电。在充电过程中需要电压钳位电路辅助,该电路监控电荷泵充电电压值,防止工作电压过高或过低。同时电荷泵充电电压经电压调整电路提供两种不同电压。当电荷泵达到工作电压 V_{DD} 后,设备(标签)就可以开始工作,但一般在输出工作电压 V_{DD} 接滤波电容 C_2 (如图 1 所示)。Passive Tag 在该电压下完成数据收发、读写等操作。

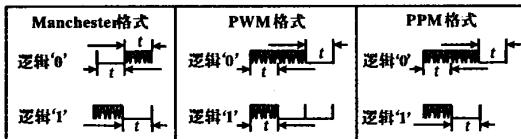


图 2 数据调制格式

电荷泵充电过程是在接收每位数据比特流时完成的,也就是说每位数据充电和接收一次性完成^[6]。无论发送比特位 1 或 0,都是由 N 个主频周期和低电平组成(如图 2 所示)。在 N 个主频周期中,一部分用来给电荷泵充电(当 LC 振荡电路在主频上振荡时,电荷泵开始充电),另一部分当作通信数据。比如发送数据 1 时,首先为 N 个主频周期的

高电平,之后为相同时间的低电平。其中 N 个主频周期时间内的利用事件是不一样的,电荷泵充电 130 μs 后才是进入工作状态。所以 N 个主频周期的高电平时间至少大于 130 μs ,这样就可以保证每位数据通信可靠,而无需先发充电数据,再发通信数据。当充电完成后,电荷泵有一个放电过程(放电时间为 200 μs),也就是说对于发送数据 1 字符来说,组成的低电平时间至少大于 200 μs ,才可以保证数据通信。从上面分析可以得到,电荷泵的建立和放电时间跟主频有关,也就是跟波特率有关。一般基本单位时间 t (每比特位所占时长)参考时间为 400 μs (如图 3 所示)。

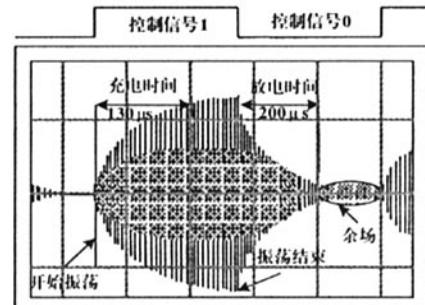


图 3 数据位充放电时间

2.2 数据收发过程

通过前期充电阶段,电荷泵达到所需的工作电压 V_{DD} 后,芯片开始工作。此时工作电压分为两路,一方面高工作电压提供给读写存储器,另一方面低工作电压提供给数字控制与处理等其它电路。复位电路在低工作电压下产生复位信号使芯片初始化,同时在复位信号下,低工作电压提供给时钟发生电路、调制电路和钳位电路(比较判别)。当工作电压满足要求,通过模拟前端、微处理器和存储器三部分共同作用下芯片开始接收数据。

调制电路主要用于数据发送,该电路包括一个阻尼调节器,由需发送数据信息控制。根据来自存储器中的数据,通过阻尼调节器调节而改变模拟前端部分的振荡电路线圈电感,达到振荡和不振荡两种情况,实现 Passive Tag 反散射数据发送。

3 唤醒模式的远距离无线通信

3.1 接收过程

远距离无线收发系统依靠电源实现,目前国际

上采用有源唤醒工作模式和延长芯片睡眠时间来实现降低功耗。唤醒功能是指设备在接收到有效信号后才唤醒后台开始进入工作状态,否则处于睡眠状态(基本不消耗电能),这样可以减少芯片的待机功耗。设备通过定时开启接收端,在极短时间内检测是否有有效信号。如果接收到有用信号^[7,8,9],就唤醒设备开始接收数据;否则返回睡眠模式,等待下次检测脉冲的到来(如图4所示)。

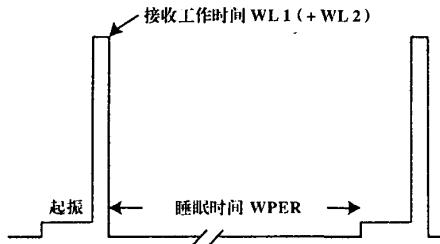


图4 唤醒检测脉冲

3.2 低功耗实现

当设备工作在睡眠模式下,在极短检测时间内接收特定序列后,设备就会被唤醒。所以唤醒功能是在对头序列的识别和分析下建立的。其实现低功耗原理为:第一,在睡眠模式下具有非常低的电流消耗(一般几微安)。因为唤醒功能相对于微处理器是独立的,睡眠模式下,接收端工作而微处理器处于掉电模式。只有当微处理器接收到接收端的中断信号后才开始工作,而接收端只有在接收到有效头序列后才发送中断请求信号;第二,可以尽可能缩短检测头序列窗口时间WL1(一般为几毫秒),这样可以使 $\sum I\Delta t$ 尽可能小。

3.3 电源管理模式

设备工作在Power Down、Sleep、接收和发送4种模式,其中Power Down模式基本不消耗电能。因此干电池电源在该系统下处于slaves和master两种不同的角色(以高工作电流为临界)。从图4可以看出,Power Down模式中电源处于slaves作用;Sleep模式中,电源具有2种不同作用,既是slaves又是master;而接收和发送模式中,电源一直处于master作用。

4 无线场能和干电池能电源管理设计与实现

根据以上介绍的Passive Tag接收前端和有源唤醒方式的远距离收发工作原理,可知这两种工作

方式的应用都有自身的局限性。现在就结合这两种工作原理,设计真正意义上的无源唤醒远距离超微功耗无线收发系统。该设计利用Passive Tag自充自供工作方式替代有源唤醒中WL1工作方式,设备只在收发工作模式下消耗电能,在Power Down和Sleep模式下几乎不消耗电能(只有几微安),从而实现适用于远距离通信的超微功耗要求。

4.1 设计思路

如图5所示,在模拟接收端后连接一个电源管理电路^[10,11]。该电路主要负责场强能和干电池能之间的切换,包括对场强能的稳压、切换条件判断和电能供应等功能。接收前端电路和场电压调节器根据Passive Tag模拟前端原理组成,主要负责无线场能的接收、蓄能和稳压,输出给电源管理电路。电源管理电路的另一个电能来源于干电池,这样就可以在这两种能源之间判断、选择和切换。设备工作的电能来自电源管理电路的V_{DD},提供工作电压给微功耗控制器和存储器电路等,当然在V_{DD}引脚上有一个滤波电容C。比较电路和调制解调器用于数据信号的收发。

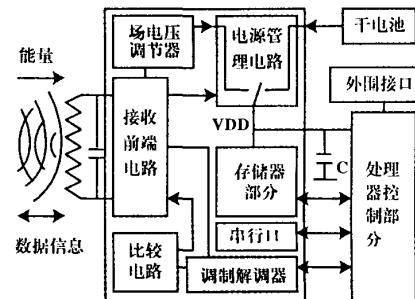


图5 电源管理电路示意图

4.2 电源管理电路

电源管理电路能实现场强能和干电池能之间的自动切换。如果由无线场强能提供工作电压,那么电源管理电路连接场强能引脚;如果由干电池提供工作电压,那么连接干电池引脚。设备一直处于Sleep工作模式,当外界有场能时通过时,利用无线场强能检测有效头序列唤醒信号是否匹配。如果唤醒信号匹配,那么电源管理电路切换到干电池供电,进入设备间的数据收发通信;否则不进入干电池供电的工作状态。

场强能和电池能之间的切换条件是不同的。如果来自线圈输入的整流电压(V_{coil})高于场工作阀

值电压($V_{D_{on}}$)且唤醒信号匹配时,通过电源管理电路从场强能切换到电池能,提供工作电压;如果设备完成一次收发通信任务后或者干电池工作电压不足,干电池能切换到场强能(如图6所示)。电源管理电路时序图如图7所示。

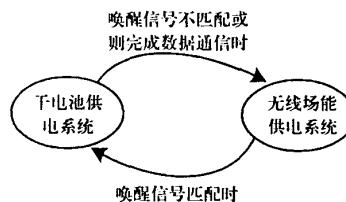


图6 电源切换条件

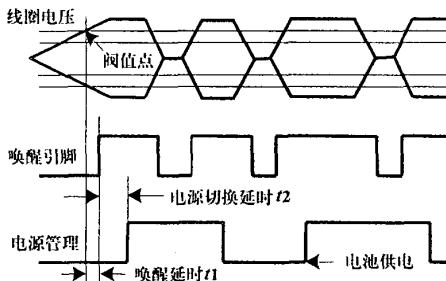


图7 电源管理电路时序

电源管理电路可以通过微处理器由软件来控制其切换功能,可以关闭或开启。可以在场强能(Passive Tag原理)、电池能(有源唤醒原理)或场强能和电池能(无源唤醒原理)3种工作电压模式下自由选择。

5 实验结果比较及分析

对前面的分析结果,可以对3种不同工作方式进行实验比较及分析。本文实验条件为:设备工作一天24 h,每小时唤醒设备一次;唤醒消息最多考虑为62 bit,所以在最多位数考虑下确保在5 s内作出应答;WL1工作时间为2 ms,平均功耗为27 mA时;WL2工作时间为4 ms,平均功耗为39 mA时;WPER功耗为3 μ A时;为实验合理化,其晶振建立时间及功耗,PLL时间及功耗都不予考虑。以上均以Atmel公司的AT86RF211芯片^[7,8]为参考。

对目前国际上先进的无线低功耗通信方式技术与新的设计进行了比较,比较结果如表1。从表1可以发现:虽然Passive Tag节电性能为100%,但其应用受制于通信距离,一般为几十厘米;虽然有源

醒方式可以节省干电池的电能且适用于远距离通信,但是定时触发的用于检测唤醒信号的尖脉冲功耗也是不容忽视的。在该唤醒方式中,用于触发唤醒信号的WL1时间功耗几乎占到总耗能的大半。而通过无源唤醒方式改进后,节电性能也由有源唤醒工作模式的21%提高到了98%,可以看到改进效果非常显著。

表1 3种工作方式下干电池耗电比较
(公式: $\sum I \Delta t$,单位:mA·ms)

工作方式 指 阶 段 标	Passive Tag	有源唤醒 远距离	无源唤醒 远距离
WL1阶段	0	933 120	0
WL2阶段	0	3 744	3 744
WPER阶段	0	259 096	259 198
总耗能	0	1 195 960	262 942
节电性能	100%	21.7%	98.5%

6 结论

本文将RFID的Passive Tag电源供电方式和远距离有源唤醒技术结合在一起,建立了真正意义上的无源唤醒远距离通信工作方式,并设计了具体的电源管理结构。结构设计和数据分析都说明,基于Passive Tag的无源唤醒方式能有效降低功耗,延长电源使用寿命。在此设计中,通过电源管理电路,对无线场能和干电池能进行有效管理,降低通信设备的待机功耗,实现干电池的有效利用率及节省电能。随着无线远距离通信在实际应用越来越广泛,对各方面指标要求越来越高,在解决功耗问题上,本文的收发系统设计方案将具有强大的生命力和广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] Microchip Corp. 13.56MHz Read/Write Passive RFID Device [S/OL]. http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/cn_40232h.pdf, 2003.
- [2] Microchip Corp. 13.56MHz Passive RFID Device with Anti-Collision Feature [S/OL]. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21287f.pdf>, 2002.
- [3] Atmel Corp. AT86SC3216CRF [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/5005s.pdf, 2005.

- [4] Atmel Corp. T5557 [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4517.pdf, 2004.
- [5] Philips Corp. Standard Card IC MF1 IC S50 [S/OL]. http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/other/identification/m001051.pdf, 2001.
- [6] Microchip Corp. Low Frequency Magnetic Transmitter Design [S/OL]. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00232a.pdf>, 2002.
- [7] ATMEL Corp. AT86RF211S [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc5348.pdf, 2005.
- [8] ATMEL Corp. AT86RF211 (TRX01) [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1942.pdf, 2002.
- [9] ATMEL Corp. AT86RF211 – Power Management Using the Embedded Stand – alone Wake – up Mode Protocol, Rev. 2 [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC2186.PDF, 2002.
- [10] ATMEL Corp. U3280M [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4688.pdf, 2005.
- [11] ATMEL Corp. U9280M – H [S/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4591.pdf, 2003.

作者简介:



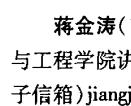
汪宋良(1982-),男,浙江宁波人,宁波大学硕士研究生,主要研究方向:无线低功耗通信,(电话)0574-87600351(电子信箱)wsl-530@163.com;



杨鸣(1963-),男,硕士,研究员、硕士生导师,宁波大学信息科学与工程学院电路与系统硕士点负责人,主要研究方向:光机电一体化专用设备、显微镜图像检测及处理,(电子信箱)yangming351@vip.sina.com;



邵华(1979-),男,浙江建德人,宁波大学硕士研究生,主要研究方向:基于DSP的高分辨率动态图像采集及处理,(电子信箱)shaohua33@21cn.com;



蒋金涛(1974-),男,浙江金华人,宁波大学信息科学与工程学院讲师,主要研究方向:光电图像采集与处理,(电子信箱)jiangjintao@nbu.edu.cn。