

# 低频电子标签基带处理器的设计与实现

田佳音, 何 艳, 施汝杰, 闵 昊

(复旦大学专用集成电路和系统国家重点实验室, 上海 201203)

**摘要:**设计一款新型低频电子标签基带处理器, 提出一种新颖的异步解码机制, 解决了100% 振幅键控调制模式下时钟中断的问题, 利用指令头解析与片选信号相结合的指令解析机制, 提高了指令解析速度, 并综合应用能量管理、结构优化等多种低功耗设计方法提高电子标签响应速度和抗干扰能力, 降低芯片功耗与面积。该芯片采用SMIC 0.18  $\mu\text{m}$  2P4M 标准CMOS工艺实现。与国外同类芯片相比, 该设计以较小的面积与功耗实现了更高的性能。

**关键词:** 射频识别; 低频电子标签; 基带处理器

## Design and Implementation of Baseband-processor for LF Tag

TIAN Jia-yin, HE Yan, SHI Ru-jie, MIN Hao

(State Key Laboratory of ASIC & System, Fudan University, Shanghai 201203)

**【Abstract】** A novel baseband-processor for Low Frequency(LF) Radio Frequency Identification(RFID) tag is presented. A new asynchronous method for data demodulation is proposed to solve the clock halting problem in 100% Amplitude Shift Key(ASK) modulation mode. A new command decoder is designed to increase command decoding speed. Several low-power techniques, such as power management, architecture optimization, etc., are also implemented to enhance tag responding speed and interference immunity and to reduce chip area as well as power consumption. The test results prove the completeness of its expected functionality and its low power consumption. The chip is fabricated in 0.18  $\mu\text{m}$  2P4M CMOS standard process.

**【Key words】** Radio Frequency Identification (RFID); Low Frequency(LF) tag; baseband-processor

### 1 概述

RFID系统包含读写器与电子标签两部分。目前, 国内RFID电子标签的研究多集中于高频(HF)和超高频(UHF)频段<sup>[1-2]</sup>, 对于低频(LF)电子标签的研究尚未涉足。低频电子标签的一个重要应用领域是牲畜管理, 现代牲畜管理满足追溯与跟踪牲畜的来源与活动、同时检索多个牲畜的信息以及有较远的数据采集距离等要求。为此, 低频电子标签应达到支持写操作、防碰撞、高可靠性及低功耗等设计指标。而国外现有的低频电子标签产品, 如EM Microelectronic公司的EM4102, 其功耗较低, 但只支持读操作, 无CRC校验和防碰撞功能, 不仅影响其工作的可靠性, 而且不适于多标签的工作环境; 其他产品, 如EM452, 其功能相对完善, 但功耗较大, 读写距离较近。因此, 这些产品均较难满足牲畜管理的应用要求。

低频电子标签由标签天线、射频前端、基带处理器和存储器构成。其中, 基带处理器是低频电子标签的核心。本文采用多种设计方法及低功耗技术, 设计了一款新型低频电子标签基带处理器, 以满足牲畜管理的要求。

### 2 低频电子标签工作原理

低频RFID系统的读写器与电子标签依靠各自的天线来实现能量与信息的传递。低频电子标签的工作原理如图1所示, 当电子标签进入读写器的读写范围, 由读写器天线产生的磁场在标签天线两端产生感应电压:

$$u_i = \oint E_i \cdot ds = -\frac{d\psi(t)}{dt}$$

其中,  $\psi$ 为磁通量。感应电压 $u_i$ 等于沿空间的导体回路的曲线

形成的场强 $E_i$ 的线积分。该电压在标签天线两端表现为134 kHz调制载波的振幅。电子标签的射频前端将调制载波分别进行时钟生成、数据解调及能量存储, 从而为基带处理器提供时钟、指令信息与工作电压。根据协议要求, 基带对该信息执行相应的操作后, 返回应答信号。

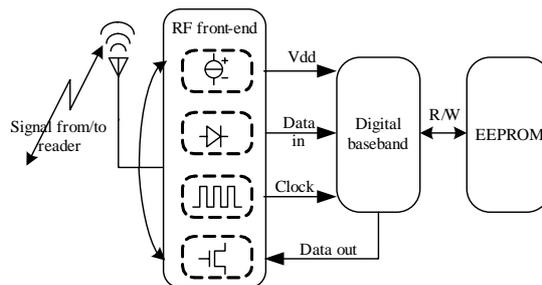


图1 电子标签工作原理

### 3 基带体系架构

针对低频电子标签对指令的响应时间较长(1.6 ms~5.8 ms)以及信号处理速度要求较低的特点, 在基带处理器设计时, 应着重考虑通过降低指令处理速度来减小其功耗。低频电子标签基带处理器的体系架构设计如图2所示, 分为8个模块。

**基金项目:** 上海市科委集成电路专项基金资助项目(067062004)

**作者简介:** 田佳音(1982-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 低功耗电路设计; 何 艳, 博士研究生; 施汝杰, 硕士研究生; 闵 昊, 教授

**收稿日期:** 2007-08-24 **E-mail:** jytian@fudan.edu.cn

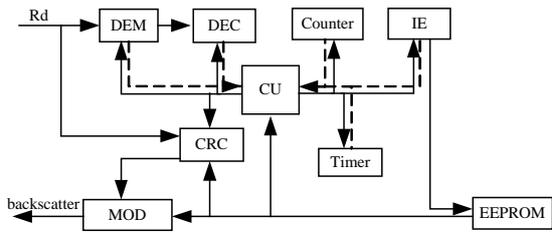


图2 低频电子标签基带体系架构

中央处理模块 CU 完成指令的判断与处理,控制并协调其余模块的工作。解码模块 DEM 将射频前端解调的高低电平信号解码为比特流。指令解析模块 DEC 将比特流解析成指令,交由 CU 处理。CRC 模块完成数据校验与 CRC 码的生成。时序控制模块 Timer 控制信号的返回时间。计数模块 Counter 完成指令处理过程中所有的计数工作。编码模块 MOD 将电子标签的返回数据编码后加以输出。存储器接口模块 IE 协助 CU 生成 EEPROM 的读写时序以实现 EEPROM 的读写。

该体系结构中,各模块逻辑关系清晰明确,有利于模块之间灵活的控制和调用;各模块功能相对独立,有利于模块的维护和以后功能的扩展。而将基带的功能细化,也有利于基带能耗的平均分配,避免基带的瞬时功耗过大<sup>[3]</sup>。

#### 4 基带处理器设计

在基带处理器的设计中,本文中采用了异步解码、快速指令解析、能量管理、结构优化等多种设计方法,提高了电子标签响应速度和抗干扰性能,同时降低芯片面积和功耗。

##### 4.1 异步数据解码

低频RFID协议<sup>[4-5]</sup>规定读写器发送给电子标签的数据采用BPLC编码,其编码方式如图3(a)所示,每一个脉冲的低电平长度都相等,而采用不同长短的高电平表示0、1以及指令结束符(EOF)。当接收的编码数据rd为高时,由射频前端生成的系统时钟驱动解码计数器计算高电平的长度,根据计数器所记数值来确定0、1或EOF。每计完一段高电平,计数器重新计数,因此计数器的清零发生在rd为低电平时。但是,协议规定读写器发送给电子标签的载波采用100%振幅键控(ASK)的调制方式,所以当发送信号为低电平时,电子标签射频前端接收不到载波,因而无法生成时钟,导致时钟的翻转中断。没有时钟的触发沿,由时序电路构成的计数器将无法完成清零,出现解码错误。为解决这一问题,本文设计计数器采用异步方式清零。如图3(b)所示,将rd的下降沿作为计数器除了上电复位信号(rst\_n)外另一个异步清零信号,一旦rd从高到低翻转,计数器立刻异步清零,准备下一个脉冲的计数。

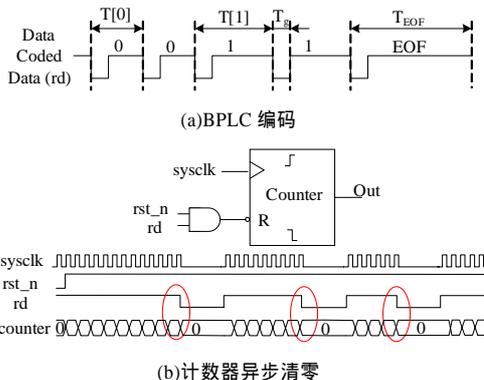


图3 数据解码

##### 4.2 指令解析

根据协议,低频RFID系统的指令从格式上分为两大类。一类带有固定的4 bit指令头,只要接收指令的前4 bit就可以解析出指令。另一类没有固定指令头(防碰撞、安全认证、写指令等),仅通过指令前几bit无法确定该指令。对于无指令头指令的常用解析方法<sup>[6]</sup>是计算指令的长度,若其恰好等于某一数值或在某一范围内,则该指令可以被确定。同时,需将整条指令存入一组寄存器,以便指令确定后的执行。这样的解析方法不仅需要计数器来计算指令的长度,还需要额外的寄存器存储指令,因而浪费大量硬件资源,增加指令解析耗时。

针对这一问题,本文采用了解析指令头与片选信号相结合的方式来确定有效指令的解析方法,如图4所示。

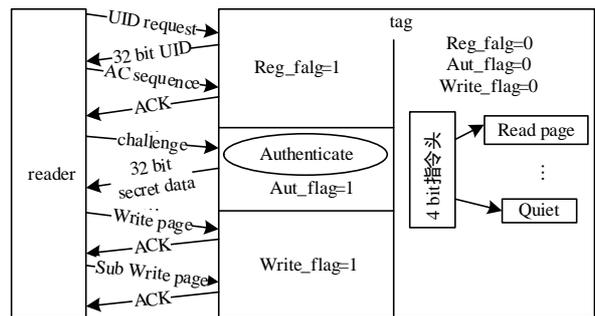


图4 片选信号与指令头解析相结合

对于防碰撞指令 AC sequence,由于低频RFID协议严格规定了防碰撞机制的执行顺序,即在指令 UID request 处理完成后,紧接着处理防碰撞指令。因此,采用全局片选信号 Req\_flag 来表示已处理完成 UID request 指令,当 Req\_flag 为高时,基带可以确定下一条指令就是防碰撞指令。对于安全认证指令 challenge,由于基带只有在 Authenticate 状态中才会响应,因此可以设计特定片选信号 Aut\_flag 来表示该状态,当 Aut\_flag 为高,则无论接收到什么指令,基带都将其当作安全认证指令来处理。若接收到的并非安全认证指令,那么指令处理发生错误,基带终止响应并跳回初始状态,重新开始指令处理。类似的,使用特定片选信号 Write\_flag 来表示基带已处理完成写指令 write page 的主命令,当 Write\_flag 为高时,基带将接收到的指令作为写指令的子命令来响应。而当这些片选信号无效时,则通过指令的前4 bit来解析指令。

与传统方法相比,本文指令解析方法的硬件消耗得到有效的降低(表1),同时大大减少了功耗。此外,本文的设计在接收指令的同时解析指令,因而提高了指令解析速度。

表1 寄存器使用比较

指令解析方法	寄存器使用分配	共计
传统方法	64 bit 指令 6 bit 计数器	70 bit
本文	4 bit 指令头 4 bit 片选信号	8 bit

##### 4.3 抗干扰能力

根据电子标签“在响应当前指令时不再接收和响应任何新的指令”的工作特点,由于基带其他模块都在解码模块输出的比特流的基础上进行工作,本文设计解码模块只有在电子标签数据返回结束之后,到电子标签接收指令完成之前这段时间内打开,其余时间段内都被关闭,因此基带在指令处理和数据返回时为一封闭系统,与外界信号隔离,从而提高基带的抗干扰能力。

#### 4.4 能量管理

本文采用门控时钟<sup>[7]</sup>的能量管理机制,如图 5(a)所示,在保证基带正常工作的前提下,利用使能信号直接关断暂时不工作模块的时钟,如图 5(b)所示,从而彻底停止模块空闲时时钟的冗余翻转,降低时钟瞬时负载电容。仿真结果表明,模块时钟的关断可减少约 30% 的模块功耗。此外,在每个模块内部,根据部分寄存器(尤其是带有较大负载电容的寄存器)的功能及其空闲时间关断该寄存器的时钟,如图 5(c)所示,从而进一步降低单个模块内约 10% 的功耗。

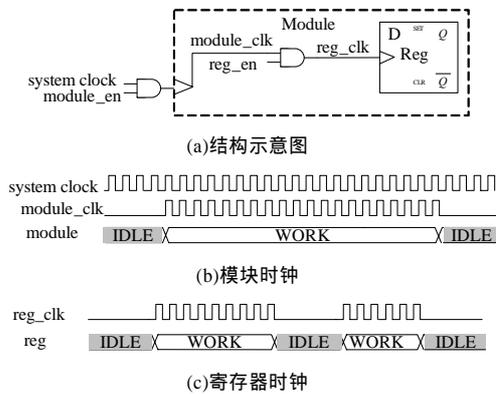


图 5 门控时钟

#### 4.5 结构优化

采用模块复用的方法来进行进一步优化基带处理器的结构。该方法不仅提高了电路的使用效率,也减小了电路面积。例如在指令接收过程中,解码模块需要一个计数器计算高电平的长度,在数据返回过程中,编码模块需要一个计数器将时钟分频,产生数据返回速率。电子标签与读写器之间采用半双工的通信方式决定了电子标签不可能同时接收与发送数据。因此 2 个模块共用 1 个计数器,既不影响基带的编码和解码,又减小了电路的面积。

整个电路的设计还进行了其他的结构优化,例如利用流水线结构代替寄存器和地址线缓存数据、采用移位输出 CRC 码、利用 1 位寄存器的翻转生成“01”确认码等。这些优化方法的综合使用,大量减少寄存器和计数器的消耗,使芯片的面积减小 20%。

#### 5 电路实现与测试

本文的设计在 Xilinx Virtex-II Pro 平台上进行了完整的功能验证。芯片采用 SMIC0.18 μm 2P4M 标准工艺实现,电路规模约 2 300 门,面积约为 300 μm×300 μm(图 6)。根据芯片测试结果,该基带处理器包含 2 种工作状态 RTF 与 TTF,实现了较为完善的系统功能,包括编解码、读/写 EEPROM、防碰撞、CRC 校验等。Nanosim 仿真采用 1 V 工作电压,基带处理器的平均功耗为 1.25 μW。与国外同类芯片相比,本文的设计功能完善、面积较小、功耗较低(表 2)。在表 2 中,MCRF 为 Microchip 公司的电子标签产品;EM 为 EM Microelectronic 公司的电子标签产品;1.25 μW 为基带处理器的功耗,约占整个标签功耗的 40%。

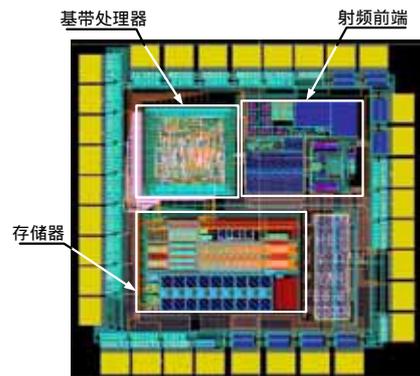


图 6 低频电子标签版图

表 2 几种低频电子标签性能及功能比较

标签	时间/年	工艺/μm	功能					功耗/μW
			编/解码	读/写	CRC	防碰撞	其他	
MCRF 250	2005	0.35	有	读/一次性写	无	有	无	10.00
MCRF 202	2005	0.35	有	只读	无	无	无	10.00
EM4102	2005	0.35	有	只读	无	无	Sensor input	2.50
EM4522	2005	0.35	有	读/写	有	有	无	6.60
本文方法		0.18	有	读/写	有	有	无	1.25

#### 6 结束语

本文设计了一款新型低频电子标签基带处理器,提出一种异步解码机制和一种利用指令头解析与片选信号相结合的指令解析机制。该设计得到了完整的测试和验证,符合低频电子标签的协议规范和设计要求。此项研究成果将逐步推广到畜牧领域的应用中。

#### 参考文献

- [1] Weinstein R. RFID: A Technical Overview and Its Application to the Enterprise[J]. IT Professional, 2005, 7(3): 27-33.
- [2] 刘长征,熊璋,王剑昆.基于智能标签的射频识别系统的研究和实现[J].计算机工程,2003,29(20): 162-164.
- [3] 何艳,胡建赞,闵昊.一种基于射频电子标签的超低电压低功耗基带处理器[J].半导体学报,2006,27(10): 1866-1871.
- [4] International Organization for Standardization. ISO11785-1996 Radio Frequency Identification of Animals: Technical Concept(2nd ed.)[S]. 1996.
- [5] International Organization for Standardization. ISO11784-1996 Radio Frequency Identification of Animals: Code Structure(2nd ed.)[S]. 1996.
- [6] Ricci A, Grisanti M, DeMunari I, et al. Design of a Low-power Digital Core for Passive UHF RFID Transponder[C]//Proc. of the 9th EUROMICRO Conference on Digital System Design. Croatia, Yugoslavia: [s. n.], 2006: 561-568.
- [7] Wu Qing, Pedram M, Wu Xunwei. Clock-gating and Its Application to Low Power Design of Sequential Circuits[J]. Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2000, 47(3): 415-420.