

小面积低功耗 RFID 射频前端电路设计*

周盛华^{1,†} 杨志超¹ 吴南健¹ 李美云²

(1 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

(2 中兴集成电路设计有限公司, 深圳 518057)

摘要: 提出了一个适用于 EPC Gen2 协议的小面积低功耗 RFID 射频前端电路的设计方案. 射频前端电路包括整流器、ASK 解调器、ASK 和 BPSK 调制器和传感器模块, 射频的工作频率为 860~960MHz. 基于具有不挥发存储器和肖特基二极管选项的 0.35 μ m CMOS 工艺, 设计了 RFID 射频前端电路. 采用开关电容电路技术实现了小面积低功耗 RFID 射频前端电路.

关键词: 射频识别; 无源电子标签; 低功耗; 传感器; EPC Gen2

EEACC: 1250

中图分类号: TN911. 23

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0361-04

1 引言

电子标签已广泛用于商品流通、制造业成品和零部件管理、物品和人员的跟踪等多种领域. 其中使用遥感探测技术的无线电子标签(RFID)逐渐成为电子标签的主流. 目前应用最广的是工作频率为 13.56MHz 的 RFID, 该类 RFID 的工作距离较短 (<0.5m), 主要用于支付和门禁. 而在物流控制方面, UHF 频段(900MHz 和 2.4GHz)的 RFID 以其较远的工作距离(>1m)和 EPC(electronic product code)组织的推动, 将成为该方面的主流. 同时 RFID 所使用的遥感探测技术还可以用于智能传感器, 是 WSN(wireless sensor network)的重要组成部分.

这个项目提出了一个适用于 EPC Gen2 协议的小面积低功耗 RFID 射频前端电路的设计方案. 本文基于具有不挥发存储器和肖特基二极管选项的 0.35 μ m CMOS 工艺, 设计了 RFID 射频前端电路. 射频前端电路包括整流器、ASK 解调器、ASK 和 BPSK 调制器和传感器模块. 采用开关电容电路技术实现了小面积低功耗 RFID 射频前端电路. 在以下几节分别给出了 RFID 射频前端的框架, 各个主要模块的电路结构, 小面积低功耗的电路设计方法, 版图设计和结果.

2 总体结构

图 1 给出了 RFID 射频前端结构图. 整个

RFID 的射频前端包括: 整流、调制、解调、振荡器、传感器和电源管理等模块. 整流模块把读卡器发送出来的射频能量转换为直流电源能量, 为整个 RFID 芯片供电. 读卡器以 ASK 的方式把数据发送

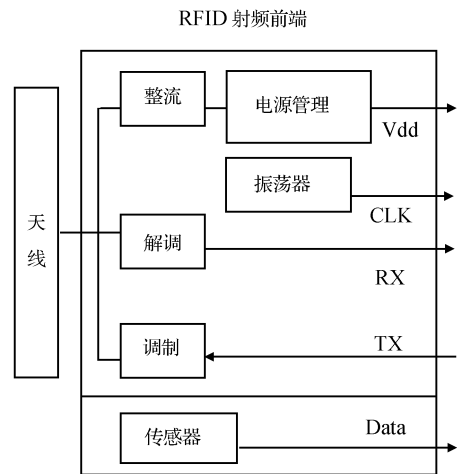


图 1 RFID 射频前端结构图

Fig. 1 Architecture of RFID front end

给标签芯片, 解调模块通过包络解调的方式还原出数据, 并把数据整形后传送给数字部分. 调制单元通过改变和天线连接端口的阻抗来实现对反射波的调制, 从而把数据返回给读卡器. 电源管理模块为其他模块提供稳定的工作电压、上电复位信号、偏置电流和电压保护等. 振荡器为数字部分提供时钟. 传感器模块可以包括温度、磁场、速度加速度和生物等传感器, 可实现无线环境监控和无线测量.

* 国家重点基础研究发展规划和粤港基金资助项目

† 通信作者. Email: zhou. shenghua@zte. com. cn

2005-12-20 收到

3 模块电路

3.1 整流电路

整流电路把天线接收下来的电磁波交流能量转换成芯片工作所需的直流能量. 图 2 为二极管倍压电路. 整流电路采用了多级这样的二极管倍压电路串连^[1], 从而确保电路在输入电压较低的情况下也能提供足够的直流电压. 其中使用的整流二极管是肖特基二极管.

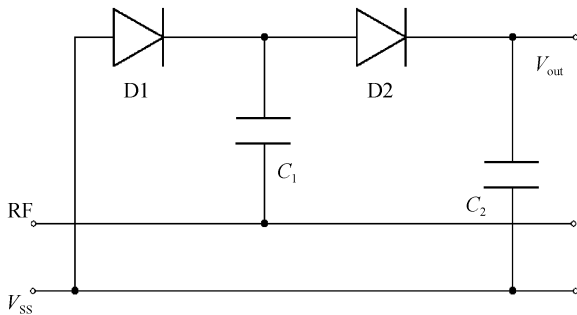


图 2 倍压整流单元电路

Fig. 2 Schematic of unit multiplier rectifier

3.2 解调电路

图 3 是解调电路. 解调模块包括包络检波和比较两部分. 包络检波电路和整流电路的结构一样通过整流产生直流电压. 这个直流电压通过电流镜产生一个和包络幅度成一定比例的电流. 这个电流和基准电流相比较就还原出读卡器发送过来的数字信号, 最后经过整形输出给数字部分.

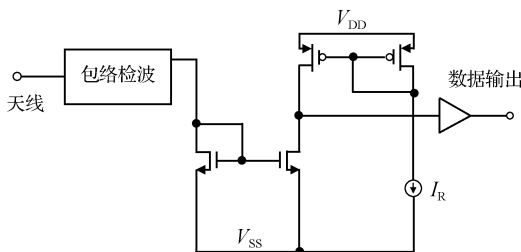


图 3 解调电路

Fig. 3 Schematic of demodulator

3.3 调制电路

在基于反向散射(back scatter)机制的通信系统中, 标签是通过改变反向散射的强度或者相位来实现传送数据到读卡器. 标签芯片具体地通过改变端口和天线的匹配来实现反向散射的调制. 为了满足不同通信方式的要求, 在芯片里同时集成了 ASK

和 BPSK^[1]两种调制方式, 如图 4 所示.

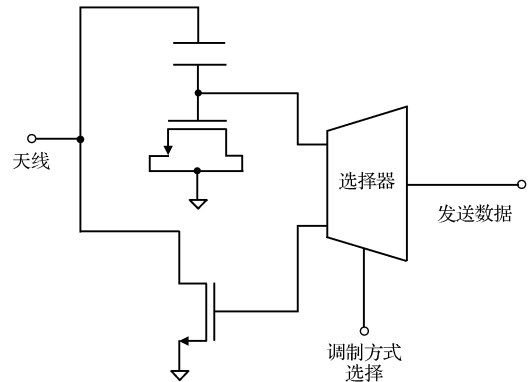


图 4 调制电路

Fig. 4 Schematic of modulator

3.4 振荡器电路

振荡器为标签的数字部分提供时钟信号. 本设计采用了基于 RS 触发器的松弛振荡器结构^[2]. 基于 EPC Gen2 协议的要求, 振荡器产生一个 3MHz 左右的时钟信号.

3.5 电源管理

电源的管理电路是 RFID 芯片中的一个设计难点. 在实际使用时, 由于标签芯片和读卡器之间距离及工作模式的变化, RFID 芯片的输入电磁波交流能量幅度的变化范围是很大的, 变化幅度可达到几十倍^[3]. 为了保证标签芯片能够正常工作, 在芯片中需要具有检测和保护电路.

检测和保护电路中往往要用到大电阻, 需要很大的芯片面积, 这样使得芯片的成本上升. 但是, 用小电阻却会消耗很多的能量. 为了同时降低功耗和减小芯片面积, 我们采用开关电容电路技术实现了电源管理. 下面将详细讨论采用开关电容电路的方法.

4 低功耗设计

在读卡器发送数据的时候, 载波会有很弱的情况出现. 这时标签靠电容存储的电继续工作, 但电压会在这个期间有很大的下降, 如图 5 中 V_{pp} 的波形 (V_{pp} 为整流模块输出的直流电压). 如果用电阻作分压器件, 然后再加上电容滤波, 那么需要很大的电阻和电容才能得到比较平滑的信号给电压检测电路. 而且即使用上 $M\Omega$ 的电阻, 它消耗的能量在这里都是不能容忍的.

采用开关电容电路能够在设计中解决这个矛盾. 图 6 是一个有滤波作用的比例采样器. 这里采用了三相时钟信号来控制开关的动作.

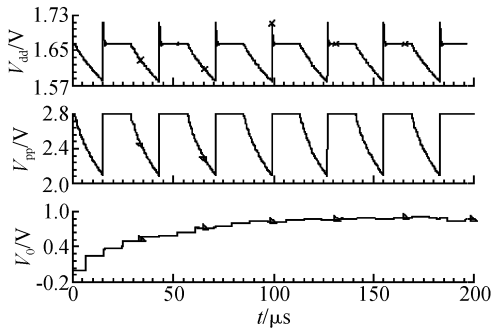


图 5 仿真波形

Fig.5 Simulation wave form of switch capacitor circuit

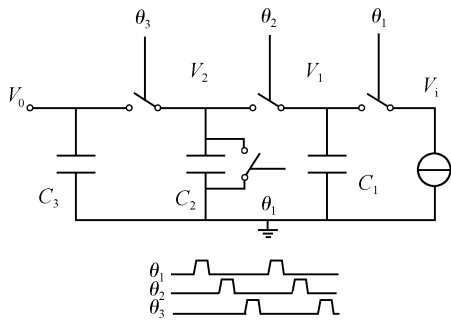


图 6 开关电容采样电路

Fig.6 Schematic of switched capacitor sampling circuit

第一拍 θ_1 使 C_1 充电到 V_i 的值, C_2 放电为 0; 第二拍 θ_2 使 C_1 和 C_2 连通, 其他的断开. 这样就得到了 V_1 的比例电压值; 第三拍 θ_3 使 C_2 和 C_3 连通, 完成了比例采样. 在取值的时候 C_3 比 C_2 大几倍, 那么 C_2 上的电压波动在 C_3 上就有所减小.

这里取 $C_1 = C_2$. 从图 6 的电路容易得到简化的差分方程(1).

$$V_0(n) = \frac{V_0(n-1)C_3 + 0.5 V_i(n-1)C_2}{C_3 + C_2} \quad (1)$$

把(1)式进行 z 变换得到(2)式:

$$H(z) = \frac{V_0(z)}{V_i(z)} = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{C_2}{C_3 + C_2}}{z - \frac{C_3}{C_3 + C_2}} \quad (2)$$

容易看出 $H(z)$ 描述的是一个低通滤波器. 其直流增益为 0.5, 因为前面取 $C_1 = C_2$, 也就是取 V_i 的一半.

这个电路所消耗的电流非常小. 它的等效电阻^[2]为:

$$R_{eq} = \frac{1}{Cf} \quad (3)$$

C 取 0.1pF, f 取 100kHz, 得 $R_{eq} = 10^8$.

电路的工作是依靠电容的比例, 所以其工艺稳定性较好. 同时配合数字控制单元可以很容易地组合出需要的电压和控制方式. 图 5 的 V_0 为仿真采样输出电压的曲线. 从波形可以看出大部分的电源波动已经被滤除掉.

5 版图和仿真

图 7 为射频前端的版图. 其大小为 $780\mu\text{m} \times 440\mu\text{m}$, 使用 $0.35\mu\text{m}$ CMOS 工艺设计. 核心模块的工作电压为 1.65V, 电流为 $2.1\mu\text{A}$.

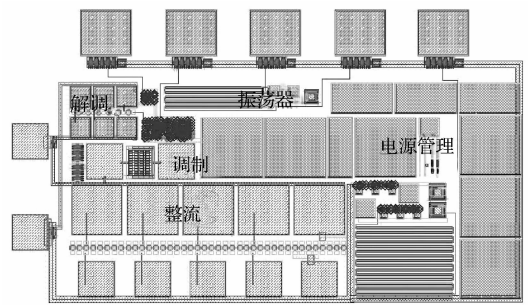


图 7 RFID 射频前端版图

Fig.7 Layout of RFID front end

图 8 为射频前端接收读卡器发送数据的波形. 实线 (demod) 为电流镜的栅电压波形, 虚线 (RX) 为整形后的输出电压波形. 图 9 为模拟读卡器接收反向散射信号的 IQ 解调波形. 图 9(a) 的波形显示出 BPSK 调制一起的反射信号相位变化的情况. 图 9(b) 为理想读卡器 IQ 解调 BPSK 信号的波形. 实线为 I 信号波形, 虚线为 Q 信号波形.

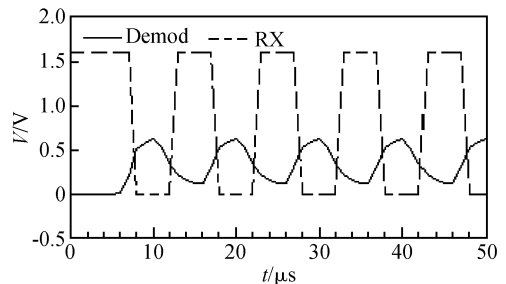


图 8 RFID 射频前端接收数据仿真波形

Fig.8 Simulation wave form of RFID front end's receiving data

6 结论

本文提出了一个适用于 EPC Gen2 协议的小面积低功耗 RFID 射频前端电路的设计方案. 文章基

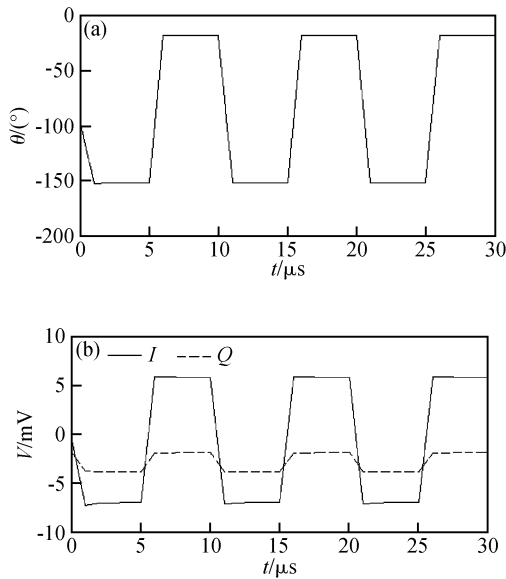


图 9 模拟读卡器接收波形

Fig.9 Simulation wave form of reader's receiving data

于具有不挥发存储器和肖特基二极管选项的 $0.35\mu\text{m}$ CMOS 工艺,设计了 RFID 射频前端电路.采用开关电容电路技术实现了小面积低功耗 RFID 射频前端电路.芯片大小为 $780\mu\text{m} \times 440\mu\text{m}$,在 1.65V 情况下,电流为 $2.1\mu\text{A}$.

致谢 感谢 ZTE 中兴通信股份有限公司提供了良好的设计环境.

参考文献

- [1] Karthaus U, Fischer M. Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with $16.7\mu\text{W}$ minimum RF input power. *IEEE J Solid-State Circuits*, 2003, 38(10):1602
- [2] John D A, Martin K. *Analog integrated circuit design*. New York: John Wiley & Sons, 1997
- [3] Glidden R, Bockorick C. Design of ultra-low-cost UHF RFID tags for supply chain applications. *IEEE Communications Magazine*, 2004:140

Small Size, Low Power RFID RF Front End Circuit Design*

Zhou Shenghua^{1,†}, Yang Zhichao¹, Wu Nanjian¹, and Li Meiyun²

(1 *Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

(2 *ZTE IC Design Co. Ltd., Shenzhen 518057, China*)

Abstract: This paper presents an RFID RF front end circuit, which is compatible with EPC Gen2 protocol. The front end circuit includes rectifier, ASK demodulator, ASK and BPSK modulator. The working frequency is $860\sim 960\text{MHz}$. The front end circuit is based on NVM and Schottky diode $0.35\mu\text{m}$ CMOS process. It is found that switched capacitor circuit can reduce power consumption and die area.

Key words: RFID; passive transponder; low power; sensor; EPC Gen2

EEACC: 1250

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0361-04

* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China and the Foundation of Guangdong-Hong Kong Co-operation

† Corresponding author. Email: zhou.shenghua@zte.com.cn

Received 20 December 2005