

文章编号: 1006-2467(2007)-0028-04

无源射频识别标签整流电路的分析与设计

姜帆^{1,3}, 郭东辉^{1,2,3}

(1. 厦门大学物理系 EDA 实验室, 厦门 361005; 2. 厦门大学电子工程系, 厦门 361005;
3. 厦门睿智微电子有限公司, 厦门 361005)

摘要: 整流电路的设计是无源射频识别(RFID)标签的关键技术之一。基于两种传统的整流电路,分析影响其输出电压和能量转换效率(PCE)的几个因素,在此基础上提出了一种改进的整流电路。该电路采用栅极交叉连接的结构来消除天线到芯片的阈值电压压降,并通过增加两个MOS管作为开关来抑制芯片到天线的电荷回流。电路的设计仿真结果显示,该整流电路具有较高的输出电压和PCE。

关键词: 无源 RFID 标签; 整流电路; CMOS 集成电路

中图分类号: TN 86 **文献标识码:** A

Analysis and Design of Rectifier on Passive RFID Transponders

JIANG Fan^{1,3}, GUO Dong-hui^{1,2,3}

(1. EDA Lab, Dept. of Physics, Xiamen Univ., Xiamen 361005, China;
2. Dept. of Electronic Eng., Xiamen Univ., Xiamen 361005, China;
3. Xiamen Rich IT Microelectronic Technologies LTD, Xiamen 361005, China)

Abstract: Rectifier is one of the essential part of passive RFID transponders. Based on two traditional rectifiers this paper analysed several factors which influence the output voltage and power conversion efficiency (PCE), then proposed an improved rectifier. The circuit adopts the gate cross-connected structure to eliminate the threshold voltage drop from antenna to the chip and adds two MOS transistors as switch to suppress the charge flow back to the antenna. The simulation results show that the improved circuit has a higher output voltage and PCE.

Key words: passive RFID transponders; rectifier; CMOS integrated circuit

射频识别(RFID)系统是一种利用无线电磁感应通信技术实现非接触双向通信来识别目标对象并进行相关信息处理的系统,它一般由RFID标签和读写器两部分组成^[1]。RFID标签按能量供给方式的不同,可分为有源、无源和半有源三种。其中,无源RFID标签由于其成本低且具有使用寿命长等优点

得到广泛应用^[2]。无源RFID标签本身不带电源,在正常工作时它需要通过天线耦合读写器发送的电磁波来获得能量,将所得的电磁波信号经过整流、稳压等电路,获得直流工作电压源,以维持RFID标签芯片各部分电路正常工作的需要。所以,直流电压源的产生技术是无源RFID标签的关键技术。

收稿日期: 2006-10-15

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(A0410007); 福建省科技重点项目; 国家人事部留学人员创业基金项目联合资助

作者简介: 姜帆(1982-),男,浙江温州人,硕士生,研究方向为模拟集成电路设计。郭东辉(联系人),男,教授,博士生导师,

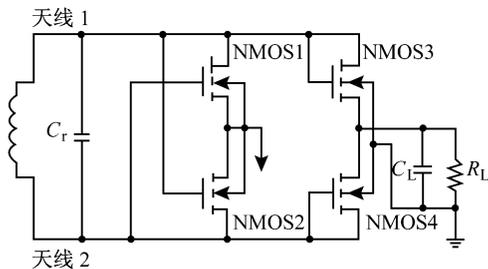
电话(Tel.): 0592-2180570; E-mail: dhguo@xmu.edu.cn.

在无源 RFID 芯片的直流电压源产生电路中,整流电路是最基本的电路,它的性能决定了 RFID 标签的工作效果,这主要取决于整流电路的两个参数指标,即输出电压 U_{out} 和能量转换效率(PCE).其中,能量转换效率定义为整流电路的输出功率 P_{out} 和输入功率 P_{in} 之比,即 $PCE = P_{out} / P_{in}$.

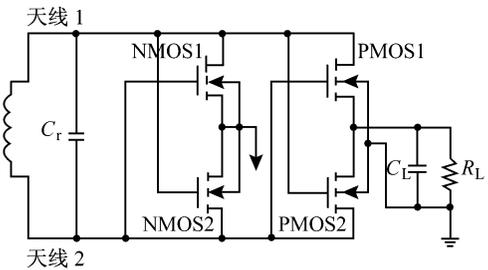
鉴于整流电路在 RFID 标签中的重要性,最近有不少有关整流电路的设计研究^[3-5],其中文献[4]采用的是一种半波整流电路结构,其 PCE 较低;文献[5]则采用自举电路技术,使射频天线感应电压 U_{pp} 为 3.16 V 时 U_{out} 达到 2.38 V,即整流效率达到 70.1%,但由于结构较复杂,芯片面积较大.本文通过分析影响传统整流电路的 PCE 因素后,设计一种通过增加 2 个 MOS 管开关来减低消耗,从而提高电路的 PCE 和 U_{out} .为了具体介绍该电路设计方案,下面先分析两种传统整流电路的工作情况,之后提出一种改进的整流电路,并进行电路仿真与比较.

1 传统的整流电路

图 1 给出了两种传统的整流电路^[5],主要适用于低高频段的无源 RFID 标签芯片作为电源产生电路.其中,图 1(a)为 NMOS 栅交叉连接全波桥式整流电路,此电路存在一对二极管连接 MOS 管,因此电路从天线到负载电容有阈值电压 U_{th} 的压降.图 1(b)是采用 PMOS 管和 NMOS 管的栅交叉连接的结构,它虽然解决了二极管连接 MOS 管的阈值



(a) NMOS 栅交叉连接桥式整流电路



(b) PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路

图 1 两种传统的整流电路

Fig. 1 Two traditional rectifier circuits

电压降问题,但是这种电路面临着另外的问题,如当天线上的电压比储存电容的电压小时,储存电容的电荷通过 PMOS 管回流到天线,由此导致低的 PCE 和负载上大的电压摆动.

以图 1(b)的整流电路结构为例来分析影响 PCE 的因素.图 2 给出了(N)MOS 管的瞬态等效电路(MOS1 模型^[6]),其中: D_{BD} 、 D_{BS} 分别为衬底-漏极二极管和衬底-源极二极管; r_s 、 r_D 和 r_{DS} 分别为源极连接电阻、漏极连接电阻和沟道电阻; C_{GB} 、 C_{GS} 、 C_{GD} 、 C_{BS} 、 C_{BD} 表示各端极间的寄生电容.相比之下, r_s 和 r_D 可以忽略不计^[7].这样可以给出如图 3 所示的 PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路的瞬态等效电路.

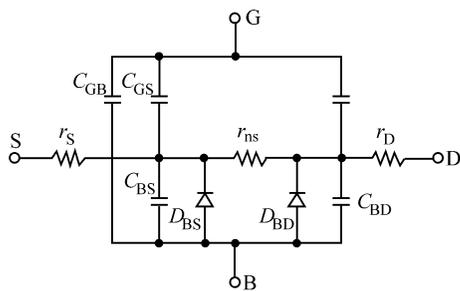


图 2 MOS 管的瞬态等效电路(即 MOS1 模型)

Fig. 2 The transient equivalent circuit of MOS transistor (MOS1 model)

根据图 3 等效电路的工作情况,可以分析了解该电路的功耗来源:

(1) A1(A2) 为高电压、A2(A1) 为低电压时, PMOS1(PMOS2) 和 NMOS2(NMOS1) 导通,电路通过 MOS 管的导通电阻 r_{DS} 对负载电容进行充电,电路的主要能量消耗在导通电阻上;

(2) 当 A1(A2) 为高电压, A2(A1) 为低电压时,当负载电容 C_L 上的电压大于 A1(A2) 上的电压时,负载电容上的电荷通过导通电阻 r_{DS} 和寄生电容回流到天线上,也造成能量的损耗;

(3) 当 NMOS1(NMOS2) 的阈值电压大于寄生二极管 D_{BD} 的导通电压,且 A1(A2) 的电压比地电压小一个二极管 D_{BD} 的导通电压时,将会有电流从地通过二极管流向天线,引起电流的衬底泄漏,降低了 PCE;

(4) PMOS 和 NMOS 作为开关导通,电流通过时对其寄生电容充放电,引起能量损耗.

2 改进的整流电路

基于上面的分析可以从以下几个方面来改进电路的设计:

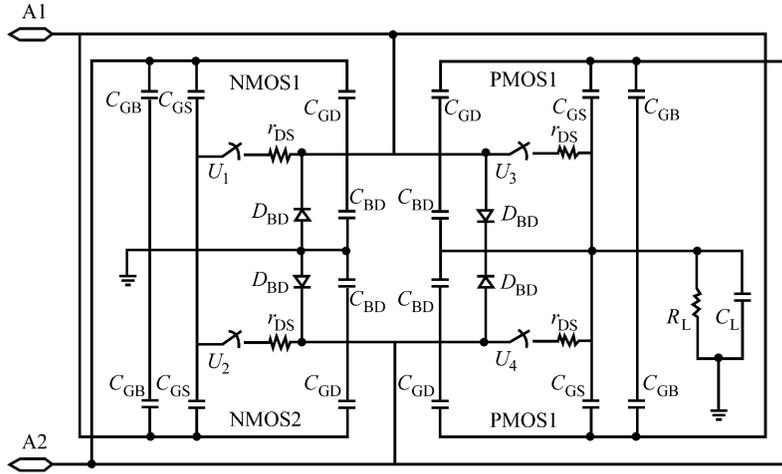


图 3 PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路的瞬态等效电路

Fig. 3 PMOS and NMOS gate cross-connected bridge rectifier transient equivalent circuit

(1) 为减小或消除从天线到负载电容的阈值电压压降, 可以采用 PMOS、NMOS 栅交叉连接的桥式整流电路;

(2) 为减小 r_{DS} 上的能量消耗可以采用大的 MOS 晶体管, 但大 MOS 晶体管导致大的电容, 在 MOS 管导通时由于充放电导致电容上功耗增大, 因此需要对 MOS 管的尺寸进行优化;

(3) 降低由于衬底泄漏而造成的能量消耗, 可以采用衬底偏置技术^[8]来改进电路;

(4) 尽量抑制从负载电容到天线的电流回流。

本文给出了如图 4 所示的一种整流电路, 它是在图 1(b) 的基础上于存储电量的电容前增加了两个作为开关的 NMOS 管, 用以抑制在天线上的电压小于 C_L 上的电压时而造成电流回流。

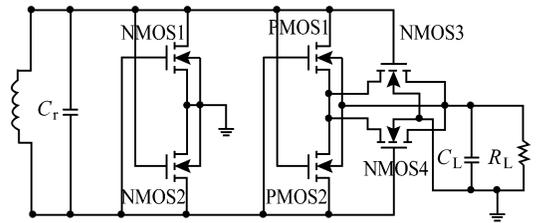
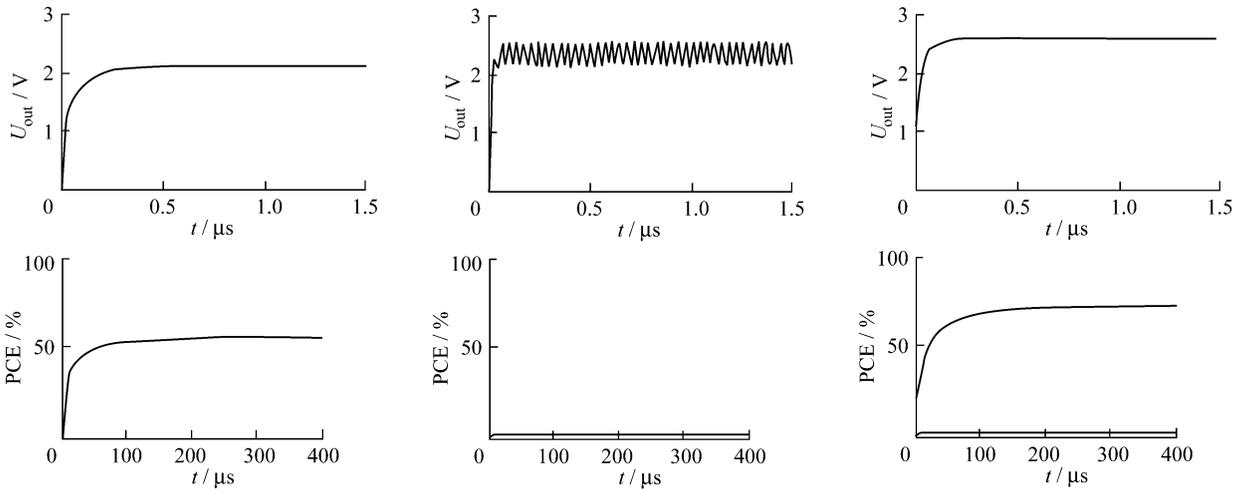


图 4 改进后的整流电路

Fig. 4 The improved rectifier

3 仿真结果比较

对两种传统的整流电路和改进的整流电路进行仿真和比较, 仿真结果如图 5 所示. 整流电路输入为符合 ISO/IEC 15693-2 的载波频率为 13.56 MHz 正弦波, 幅度为 $3.16V^{[5]}$. MOS 管的尺寸都相同, 设



(a) NMOS 栅交叉连接桥式整流电路的 $U_{out} \approx 2.1 V$ 及 $PCE \approx 56\%$

(b) PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路的 $U_{out} \approx 2.4 V$ 及 $PCE \approx 3.1\%$

(c) 改进的整流电路的 $U_{out} \approx 2.58 V$ 及 $PCE \approx 74\%$

图 5 三种整流电路的仿真结果

Fig. 5 The simulation results of three rectifier circuits

定负载电容为 200 pF,典型的负载电阻为 $45 \text{ k}\Omega^{[3]}$,采用 CSMC 0.6 μm CMOS 工艺模型^[9],利用 Pspice 仿真工具进行仿真。

由仿真结果对比可以看出,改进后的整流电路克服了 NMOS 栅交叉连接桥式整流电路由于二极管连接而造成的阈值电压压降,使得输出的电压达到了 2.58 V,同时克服了 PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路由于负载电容的电流回流而造成输出电压不稳定和 PCE 低的问题,整个电路的能量效率达到 74%。其中图 5(b)中仿真的 PCE 很低是由于负载电容电流的回流使能量大部分消耗在了导通电阻和寄生电容上。

MOS 管的尺寸由于其沟道电阻和寄生电容的存在,因而制约着整流 U_{out} 和 PCE,图 6 的仿真结果给出了 MOS 管尺寸与它们之间的关系。

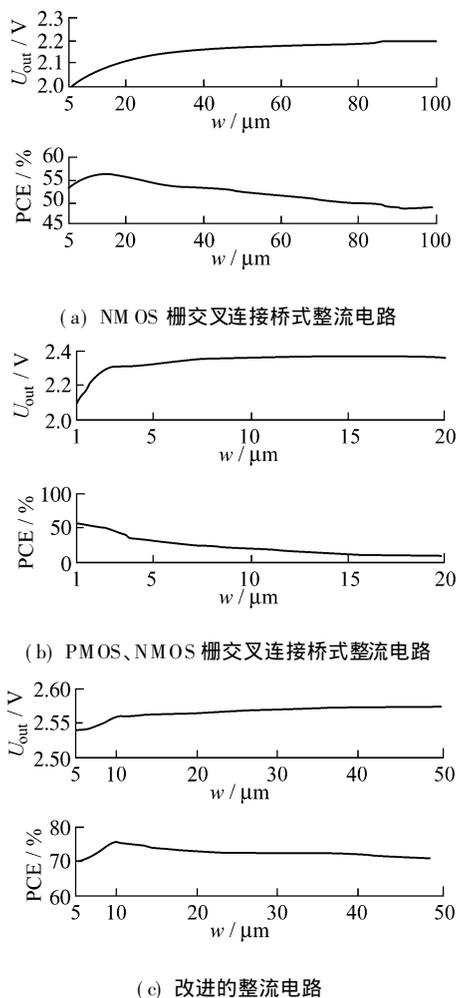


图 6 MOS 管尺寸对整流 U_{out} 和 PCE 的影响

Fig. 6 The influence of MOS size to U_{out} and PCE

由图 6 可以看出,随着 MOS 管宽度 w 的增大,引入的沟道电阻就越小,在沟道电阻上的压降也就越小,从而提高了整流 U_{out} ,这三种整流电路在这一方面表现出相同的趋势。对于 PCE,由于 MOS 管尺

寸的增大,虽然在沟道电阻上消耗的能量减小,但是由于引入的寄生电容增大,导致在寄生电容上消耗的能量增大,因此由于沟道电阻和寄生电容的共同影响,会存在一个最优的 MOS 管尺寸使得 PCE 达到最大。图 6(a) 中当 $w = 15 \mu\text{m}$ 时, $\text{PCE} \approx 56.3\%$; 图 6(c) 中当 $w = 10 \mu\text{m}$ 时, $\text{PCE} \approx 75.7\%$; 图 6(b) PMOS、NMOS 栅交叉连接桥式整流电路由于负载电容到天线的电流回流,寄生电容对能量消耗的影响大于沟道电阻,因此随着 MOS 尺寸的增大, PCE 总体上呈下降的趋势,且 PCE 的值也较低。

从以上的仿真对比可以看出,改进的整流电路在整体性能上都优于给出的两种传统的整流电路, U_{out} 和 PCE 都有很大提高。

参考文献:

- [1] 芬肯泽勒(Finkenzeller. K). 射频识别(RFID)技术——无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用(第 2 版)[M]. 陈大才. 北京:电子工业出版社, 2001. 32.
- [2] 吕洁. 射频识别技术 RFID 及其应用(上)[J]. 智能与城市信息, 2004, (11): 72-76.
LÜ Jie. Radio frequency identification RFID technology and its application(1)[J]. **Intelligent Building & City Information**, 2004, (11): 72-76.
- [3] Zheng Zhu, Jamal B, Cole P H. Brief comparison of different rectifier structures for RFID transponders[EB/OL]. [2006-09-06]. <http://www.m-lab.ch/autoid/swissresearchworkshop/papers/briefcomparisonofrectifierstructuresforRFIDtransponders.pdf>.
- [4] Lu Chao, Li Yong-ming. The RF interface circuits design of contactless IC cards [C]// **4th International Conference on ASIC, 2001**. Shanghai, China: [s. n.], 2001. 278-280.
- [5] Hu Jian-yun, He Yan, Min Hao. High efficient rectifier circuit eliminating threshold voltage drop for RFID transponders [C]. **6th International Conference on ASIC ASICON**. Shanghai, China: [s. n.], 2005. 607-610.
- [6] 朱正涌. 半导体集成电路[M]. 北京:清华大学出版社, 2001. 45.
- [7] Van der ToL, Michael J, Chamberlain S G. Buried-channel MOSFET model for SPICE [J]. **IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems**, 1991, 10(8): 1015-1035.
- [8] Ghovanloo M, Najafi K. Fully integrated wideband high-current rectifiers for inductively powered devices [J]. **IEEE Journal of Solid-State Circuits**, 2004, 39(11): 1976-1984.
- [9] CSMC Technologies Corporation, 6S06DPD M-CT 02 Process Electrical Design Rule, Version #: 3B02[S].