

一种用于无源 RFID 的新型低压低功耗振荡器

陈迪平^{1†}, 杨翠灵¹, 董刚¹, 秦鹏举², 曾健平¹

(1. 湖南大学 物理与微电子科学学院, 湖南 长沙 410082;

2. 湖南融创微电子有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:采用中芯国际 180 nm 混合信号工艺,设计了一种新型低压低功耗环形振荡器。基于反馈理论,采用放大器完成从电源电压到环振工作电压的降压稳压转换,实现环振工作电压稳定性优化,同时降低其功耗;环振输出经幅度变换电路,实现高摆幅振荡信号输出;振荡器工作频率电流受控,抑制了电源噪声,降低了电源电压波动对输出频率的影响。结果表明,1 V 电源电压下,输出频率 2.737 MHz,功耗约 0.8 μ W,1 MHz 频点处相位噪声 -108.7 dB;0.9~2.1 V 电压范围内,输出频率波动小于 0.23%,适于无源芯片设计。

关键词:振荡器;射频识别;低电压;低功耗

中图分类号:TN495

文献标志码:A

A Novel Low-voltage Low-power Oscillator Used for Passive RFID

CHEN Diping^{1†}, YANG Cuiling¹, DONG Gang¹, QIN Pengju², ZENG Jianping¹

(1. College of Physics and Microelectronics Science, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Hunan Runtronic Microelectronics Co Ltd, Changsha 410000, China)

Abstract: A novel low-voltage low-power ring oscillator was designed, which was implemented by an SMIC's 180 nm mixed signal processing technology. Based on the feedback theory, the regulation and conversion from supply voltage to operating voltage of ring oscillators was completed by employing an amplifier, generating superior operating voltage stability as well as lower consumption. Furthermore, a high output swing was obtained with an amplitude conversion circuit. The operating frequency of the oscillator was controlled by current, resulting in the reduced effect of oscillating signal on the supply voltage V_{DD} and the depressed supply noise. The results demonstrate that the output frequency is 2.737 MHz, the consumption is 0.8 μ W with a 1 V supply, and the phase noise at the phase point is -108.7 dB at 1 MHz offset. Meanwhile, the output frequency fluctuations are kept within 0.23% when the supply voltage varies between 0.9 V and 2.1 V, which is reasonable in passive chip design.

Key words: oscillator; radio frequency identification (RFID); low-voltage; low-power

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是近年来备受关注的—种新兴技术,其利用无线电

波快速精准地识别相关信息,广泛用于支付系统、物流、人员跟踪等领域^[1-3],受限于应用场合,低电压、

* 收稿日期:2018-06-15

基金项目:湖南省战略性新兴产业科技攻关与重大科技成果转化项目(2017GK4008),Scientific and Technological Tackling of Key Emerging Industries and Major Scientific and Technological Achievements Transformation Projects in Hunan(2017GK4008)

作者简介:陈迪平(1962—),男,湖南醴陵人,湖南大学教授,研究生导师

† 通讯联系人, E-mail: chdp@hnu.edu.cn

低功耗、宽电源电压范围、低成本等要求对射频识别系统显得尤为重要,特别在无源 RFID 电子标签领域。

无源 RFID 电子标签是一种微型装置,工作于无任何能量储存的情况下,通过对阅读器信号转换获取工作电压,整个芯片的功率只有几微瓦或者更低,因此,高效的功耗分配对于电子标签的性能评估至关重要^[4-5]。RFID 电子标签主要分为 3 部分:天线部分、模拟前端和基带处理单元^[6]。天线部分完成射频信号的接收与发送;模拟前端由整流电路、时钟产生电路、反射调制电路以及解调电路等组成;基带处理单元控制数据编码/解码和内存/传感器等的访问。振荡器产生的信号用于精确控制副载波频率,同时给数字电路提供工作时钟,故振荡器性能优劣直接影响整个射频识别系统的性能。

折衷功耗、面积以及成本,本文采用基于反馈理论的电源电压变换的新型环形振荡器结构,完成了一种适用于无源 RFID 电子标签的高稳定低压低功耗振荡器的设计,其正常工作电源电压范围为 0.9~2.1 V,输出频率波动小于 0.23%;1 V 电源电压下,输出频率 2.737 MHz,功耗约 0.8 μ W。

1 无源 RFID 标签振荡器设计要点

1.1 普通振荡器分析

常见的振荡器主要有晶体振荡器、RC 振荡器和环形振荡器。相较而言,晶体振荡器精度高、工作稳定、振荡频率单一、体积大、功耗高,难以集成于单芯片内;RC 振荡器结构简单、启动时间短、频率易调、振荡频率稳定性差,受电源电压、工艺偏差以及环境温度的影响较大;环形振荡器具有振荡频率范围大,与纯数字 CMOS 工艺兼容性好、稳定度高等优点,但对电源噪声较敏感^[7]。

无源 RFID 标签工作距离范围大,整个芯片的工作电压均源于对射频信号的整流和放大,波动较大,因此,低电压、低功耗和宽电源范围是无源 RFID 标签设计的主要考虑点。环振因兼容纯数字 CMOS 工艺,成本低,最适于此类应用,其延迟单元一般由单端或差分反相器构成^[8-9],功耗(P_{tot})主要分为反相器的静态功耗(P_S)和动态功耗(P_D):

$$P_{\text{tot}} = P_S + P_D = I_{\text{leak}} V_{\text{DD}} + NC_L V_{\text{DD}}^2 f \quad (1)$$

式中: I_{leak} 为反相器漏电流; V_{DD} 为电源电压; N 为反相器级数; f 为振荡频率; C_L 为反相器输出端电容。环振的功耗主要由动态功耗(P_D)组成:

$$P_D = \frac{NC_{\text{ox}} W \cdot L (k+1) V_{\text{DD}}^2}{N \frac{2C_{\text{ox}} L^2 (k+1) (V_{\text{DD}} - 2V_{\text{TH}})}{(V_{\text{DD}} - V_{\text{TH}})^2} \left(\frac{1}{kK_{\text{PP}}} + \frac{1}{K_{\text{PN}}} \right)} \quad (2)$$

$$= \frac{W}{L} \times \frac{V_{\text{DD}}^2 (V_{\text{DD}} - V_{\text{TH}})^2}{2(V_{\text{DD}} - V_{\text{TH}}) \left(\frac{1}{kK_{\text{PP}}} + \frac{1}{K_{\text{PN}}} \right)}$$

式中: k 为 PMOS 管与 NMOS 管沟道宽度之比; $K_{\text{PP}} = \mu_p C_{\text{ox}}$; $K_{\text{PN}} = \mu_n C_{\text{ox}}$ 为工艺参数。据式(2)在保证振荡器正常工作的前提下,减小环振工作电压对于降低功耗而言至关重要。对于静态功耗(PS),可通过适当偏置,降低整体电流;增大管子长度 L 有助于降低漏电流,此举亦有益于降低动态功耗。

1.2 弱反型工作区分析

工作于弱反型区的 MOS 管工作电流远小于强反型区电流,电路性能有所限制,然而,此举能很好地节省功耗开支,缓解电源电压不足的压力。工作于弱反型区的 RFID 标签能够很好地兼顾性能、电源电压及功耗等要求^[10]。弱反型区晶体管漏极电流与栅源电压的近似关系为^[6]:

$$I_D = 2n\mu C_{\text{ox}} \left(\frac{W}{L} \right) V_T^2 e^{\frac{V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}}}{nV_T}} \quad (3)$$

式中: $V_T = KT/q$ 为温度电压; $n = (1 + C_{\text{dep}}/C_{\text{ox}})$; C_{ox} 为栅氧化层单位面积电容; C_{dep} 为单位面积沟道耗尽层电容; μ 为载流子表面迁移率; V_{TH} 为阈值电压。同时文献[6]给出了弱反型系数 IC,以判别晶体管的工作区域:

$$\text{IC} = \frac{I_D}{I_0 \left(\frac{W}{L} \right)} \quad (4)$$

式中: $I_0 = 2n\mu C_{\text{ox}} V_T^2$ 是一个由工艺所决定的电流值。当 $\text{IC} > 10$ 时,晶体管工作于强反型区; $\text{IC} = 1$ 时介于弱反型区和强反型区的过渡区; $\text{IC} < 0.1$ 时工作于弱反型区。通过适当偏置,可确定晶体管工作区域。

2 所提环形振荡器设计

EPC—C1G2 标准规定了 RFID 芯片的最低时钟频率为 1.92 MHz。振荡器频率过高,会导致芯片的功耗增加,降低电子标签的读写距离;频率过低会影响 RFID 标签对阅读器指令的读取及译码,另一方面,时钟频率太低会影响信息的识别速度。根据 EPC 标准,RFID 芯片数据是采用 Miller 调制副载波或 FM0 基带编码的编码方案,数据传输速率为 40~640 kbit/s,芯片工作频率偏移小于 10%^[6,11]。折衷功耗、速度、性能等的影响,本文振荡器工作频率选为 2.56 MHz(即数据最高传输速率的 4 倍)。

偏置电流 I_D 恒定的情况下,通过调整管子的宽长比可调整其过驱动电压,设置合适的偏置点.为达到低功耗设计目的,电路工作于弱反型区,采用大比例的倒比管予以实现.

图4所示为本文所提振荡器整体电路图.启动电路完成启动后自动脱离,以使启动电路引入的功耗最小化;放大器正相输入端电压配合电阻 R_1 ,产生整体电路的参考偏置电流:

$$I_R = \frac{V_R}{R} = A_{V_{M16}} V_{id} = A_{V_{M16}} (V_R - V_C) \quad (11)$$

V_{DD} 所引起的 V_{osc} 波动,一部分由电容 C_1 滤除,另一部分经放大,通过调整管 M_{16} 后,形成强烈的负反馈,以维持 V_{osc} 稳定不变;缓冲器 M_{30} 和 M_{31} 增强振荡器输出,确保振荡信号无失真地耦合到振幅变换电路, M_{29} 采用本征晶体管予以实现,为晶体管 M_{30} 源极节点提供一个快速充电电流,同时限制晶体管 M_{30} 和 M_{31} 输出端的信号幅度,使功耗最小化.

2.3 芯片实现

图5所示为本文振荡器版图.整体版图采用轴

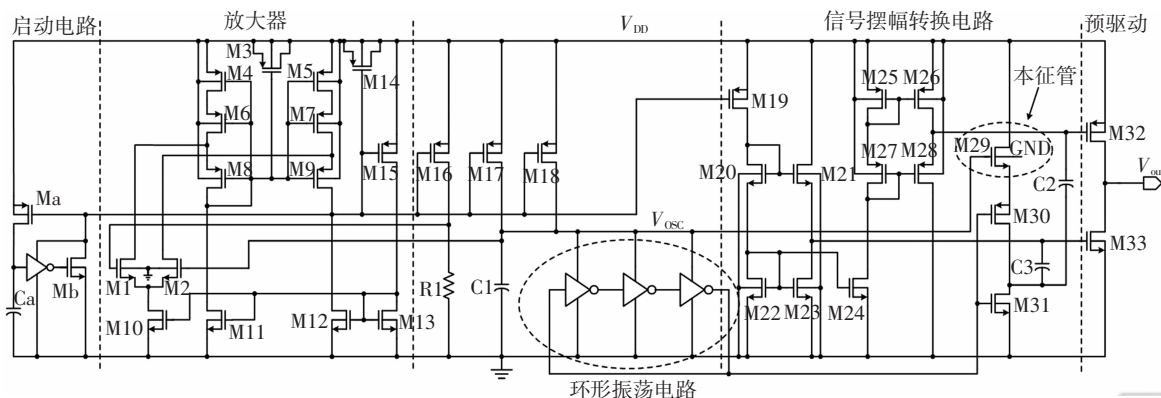


图4 所提振荡器整体电路图

Fig.4 Schematic of the proposed oscillator

对称布局,器件之间采用局部插指匹配及四方交叉匹配,以保证较好的噪声及干扰屏蔽,减小振荡信号对静态电路的影响,避免系统不稳定.采用紧凑布局实现环形振荡模块,以减小寄生电容及工艺偏差所引起的频率偏移.在各模块电路周围加入衬底接触环,实现模块与模块间的隔离,以提高频谱纯度、降低寄生功耗.

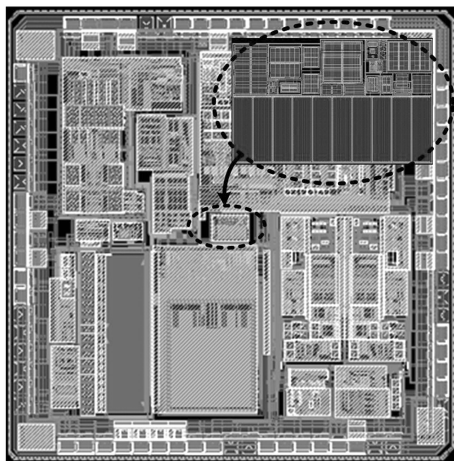


图5 芯片版图

Fig.5 Layout of the proposed oscillator

3 实验结果及分析

本文利用 Cadence Spectre 工具,基于 SMIC 180 nm 混合信号工艺,对所提结构进行了后仿真验证及功能测试.图6所示为相位噪声后仿真曲线,文中所提振荡器 1 MHz 频点处的相位噪声为 -108.7 dBc.图7所示为利用 Tektronix 5 Series Mixed Signal 示波器所测得的该振荡器在 1 V 典型工作电压下的输出波形,其振荡频率为 2.737 MHz,考虑到寄生效应影响,与预期设计值差别不大,符合设计要求.

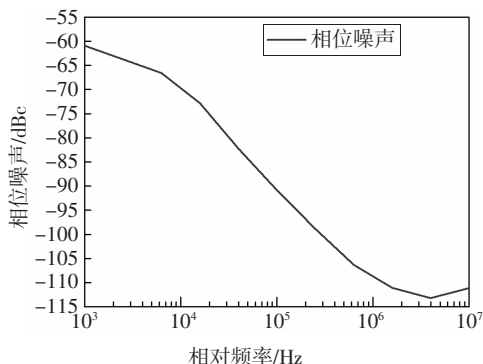


图6 相位噪声后仿真结果

Fig.6 Phase noise post-simulation result

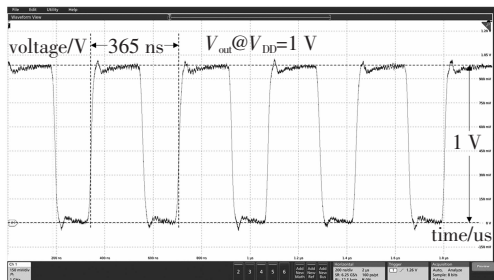


图7 1 V 典型电源电压下的输出波形

Fig.7 Output waveform at 1 V typical supply voltage

如图8所示,以1 V 典型工作电压点为参考,本文振荡器在0.9~2.1 V 工作电压下,输出频率波动低于0.23%;该结构在1 V 电源电压情况下,功耗约0.8 μ W. 本文所提结构同文献所提振荡器性能对比如表1所示.相较而言,本文所提新型振荡器具备工作电压低、输出频率随电源电压波动小、功耗较低等优点,符合应用需求.

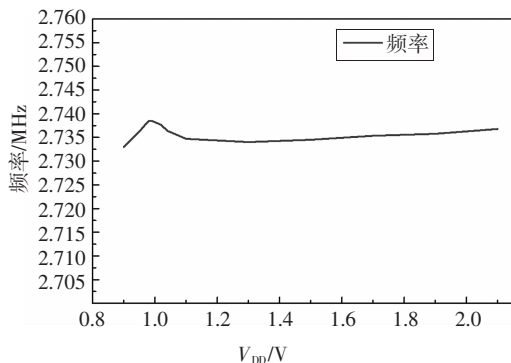


图8 输出频率随电源电压变化曲线

Fig.8 Jitter of oscillator in dependency of voltage supply

表1 与文献所提振荡器性能比较

Tab.1 Comparison with the existing designs

参数	文献[3]	文献[12]	文献[13]	本文
工艺/nm	180	130	140	180
采用结构	弛豫	弛豫	单端环形	单端环形
输出频率/MHz	1.92	1	1.28	2.737
工作电压/V	1.2	2.5	0.9	1
输出频率波动 /(V_{DD}/V)	N/A	1.09% (2~3)	1.19% (0.9~1.5)	0.23% (0.9~2.1)
功耗/ μ W	0.86	391	0.44	0.8

4 结论

本文在对现有低压低功耗环形振荡器分析与总结的基础上,针对工作电压与功耗指标进行优化

分析,提出了一种宽电源电压范围的新型高稳定低压低功耗环形振荡器.结果表明,所提振荡器在电源电压低至1 V 时,输出频率2.737 MHz,功耗约0.8 μ W;以1 V 电源电压下的输出频率为参考,电源电压在0.9~2.1 V 变化范围内,输出频率波动不超过0.23%.综上,该振荡器在低电压、低功耗等指标方面表现良好,在宽电源范围内输出频率稳定性高,符合无源RFID 电子标签振荡器设计要求.

参考文献

- [1] ZHOU Z, CHEN B, YU H. Understanding RFID counting protocols [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 24(1):312—327.
- [2] SOLIC P, BLAZEVIC Z, SKILJO M, et al. Gen2 RFID as IoT enabler: characterization and performance improvement [J]. IEEE Wireless Communications, 2017, 24(3):33—39.
- [3] 刘伟峰, 庄奕琪, 周俊潮, 等. 一种用于 UHF RFID 标签的高稳定度时钟电路 [J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 38(4):71—76.
- [4] LIU W F, ZHUANG Y Q, ZHOU J C, et al. Clock generator with high stability for the UHF RFID chip [J]. Journal of Xidian University, 2011, 38(4):71—76. (In Chinese)
- [5] LIN Y S, GUO Z Y, HUANG Y S, et al. A low-power UHF passive RFID transponder chip in 0.18 μ m CMOS [C]// Wireless Power Transfer Conference. Taipei: IEEE, 2017:1—5.
- [6] GEORG S, MANUEL F, THOMAS U. Ultra low power ring oscillator based true random number generator for passive UHF RFID tags [C]// Wireless Sensors and Sensor Networks. Anaheim: IEEE, 2018:99—102.
- [7] FARZEEN S, REN G, CHEN C. An ultra-low power ring oscillator for passive UHF RFID transponders [J]. Midwest Symposium on Circuits & Systems, 2010, 12(8):558—561.
- [8] 曾健平, 章兢, 谢海情, 等. 1.8GHz 宽带低相位噪声 CMOS 压控振荡器设计 [J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2007, 34(6):37—40.
- [9] ZENG J P, ZHANG J, XIE H Q, et al. Design of a 1.8 GHz wide-band, low-phase-noise CMOS VCO [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2007, 34(6):37—40. (In Chinese)
- [10] KAMALINEJAD P, KEIKHOSRAVY K, MOLAVI R, et al. An ultra-low-power CMOS voltage-controlled ring oscillator for passive RFID tags [C]// New Circuits and Systems Conference. Trois-Rivières: IEEE, 2014:456—459.
- [11] MICHAL V. On the low-power design, stability improvement and frequency estimation of the CMOS ring oscillator [C]// Radioelektronika. Brno: IEEE, 2012:1—4.
- [12] MOHAMMADI A, MOHAMMADI M, ZAHIRI S H. Design of optimal CMOS ring oscillator using an intelligent optimization tool [J]. Soft Computing, 2019, 22(24):8151—8166.
- [13] CHOI E Y, LEE D H, LIM J I. Anti-cloning protocol suitable to EPCglobal Class-1 Generation-2 RFID systems [J]. Computer Standards & Interfaces, 2009, 31(6):1124—1130.
- [14] SADEGHI N, SHARIF-BAKHITIAR A, MIRABBASI S. A 0.007 mm², 108 ppm/ $^{\circ}$ C, 1 MHz relaxation oscillator for high-temperature applications up to 180 $^{\circ}$ C, in 0.13- μ m CMOS [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems I Regular Papers, 2013, 60(7):1692—1701.
- [15] CILEK F, SEEMANN K, BRENN D, et al. Ultra low power oscillator for UHF RFID transponder [C]// Frequency Control Symposium, 2008 IEEE International. Honolulu: IEEE, 2008:418—421.