

文章编号: 1001-893X(2012)08-1324-05

一种新的 RFID 射频前端振荡器的设计方法^{*}

黄玉兰

(西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710121)

摘 要:为解决 RFID 低功耗、小体积的问题,提出了一种新的 RFID 射频前端振荡器的设计方法。分析了晶体管稳定性的变化规律,提出了采用晶体管和 无源网络产生振荡的方法,在增加正反馈使反射系数最佳的情况下给出了振荡器的电路结构。对射频振荡器进行仿真,结果表明,调谐网络和终端网络对振荡器的性能有影响,反射系数增大可缩短起振时间,调谐网络电阻增大将加大噪声,可以综合利用史密斯圆图和复平面上的稳定性边界有效分配性能指标。研究结果为 RFID 在低复杂度下改善振荡器的性能提出了一种新的途径。

关键词:RFID; 射频前端; 振荡器; 调谐网络; 史密斯圆图; 稳定性边界

中图分类号:TN850.8 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.08.021

A New Design Method for RFID RF Front End Oscillator

HUANG Yu-lan

(School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: A new design method for RFID oscillator at RF front end is proposed to implement the low power consumption and small size. The variation regular of transistor stability is analysed, the oscillator made up of transistor and passive network is proposed, and the circuit structure is given which increases positive feedback to implement the best reflection coefficient. Based on RFID the oscillator is simulated and the results show that the performance is affected by both tuning network and terminal network, the increased reflection coefficient will decrease oscillator starting time, the increase in resistance of the tuning network will increase noise, the Smith chart and stability boundary can effectively allocate parameters. The research results propose a new method of improving oscillator under low complexity.

Key words: RFID; RF front end; oscillator; tuning network; Smith chart; stability boundary

1 引 言

目前,射频识别(RFID)已经成为物联网感知环节非常重要又很活跃的研究方向^[1-2],随着物联网被世界各国作为战略性新兴产业加以培育和发展,振荡器作为 RFID 射频前端的关键技术,是值得深入研究的课题。振荡器是射频前端的关键模块,而

低功耗和小体积是 RFID 的两个重要性能指标^[3-4],在低复杂度的前提下产生本振源是对 RFID 射频前端的基本要求。现在射频振荡器主要采用压控振荡器(VCO)^[5-6],VCO 需要同时采用晶体管和二极管,VCO 结构的优化比较困难,需要针对 RFID 探求新的振荡器设计方法。

本文采用晶体管和 无源网络设计振荡器。晶体

^{*} 收稿日期:2012-02-20;修回日期:2012-04-24

基金项目:陕西省教育厅专项科研计划基金资助项目(11JK1022);西安邮电大学基金资助项目(KJA201103)

Foundation Item: The Research Project of Department of Education of Shaanxi Province(11JK1022); The Research Project of Xi'an University of Posts and Telecommunications(KJA201103)

管的稳定性对振荡器的设计有影响,首先配以正反馈来增加其不稳定性,使反射系数有最佳选取的保障;然后,在复平面上提出稳定性边界的确定方法,通过作图分析和函数分析综合分配性能指标;最后,给出调谐网络和终端网络的反射系数 Γ_S 和 Γ_T ,从而提出 RFID 振荡器的设计方法。本文给出了提高晶体管不稳定性的方法,分析了振荡器的振荡条件,提出了反射系数的选取区域,实现了 RFID 低复杂度的振荡电路,并给出了仿真曲线和仿真结果分析。

2 射频振荡器的工作原理

振荡器是射频系统最基本的部件之一,可以将直流功率转化成射频功率,在特定的频率点建立起稳定的正弦振荡,成为所需的射频信号源。当工作频率达到吉赫时,电压和电流将呈现出波动特性,需要采用传输线理论描述电路的特性^[7-9],这时振荡器的有源器件与无源网络相配合,将产生基于反射系数 Γ 和散射参量 S 的射频振荡。

振荡器具有负阻效应,利用三端口负阻器件可以设计双端口振荡器,双端口振荡器由晶体管、调谐网络和终端网络 3 部分组成^[4,10],如图 1 所示。调谐网络和终端网络的反射系数为 Γ_S 和 Γ_T ,晶体管输入和输出端的反射系数为 Γ_{in} 和 Γ_{out} ,射频振荡首先需要存在不稳定的有源器件,这时晶体管的反射系数为

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}}{1 - S_{22}\Gamma_T}\Gamma_T \tag{1}$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}}{1 - S_{11}\Gamma_S}\Gamma_S \tag{2}$$

振荡器的调谐网络和终端网络是由无源网络构成,有 $\Gamma_S < 1$ 、 $\Gamma_T < 1$,所以要求 $\Gamma_{in} > 1$ 、 $\Gamma_{out} > 1$ 。在振荡器的情形,晶体管稳定性因子 $k < 1$,具有高度不稳定性,振荡器在起振时 $R_{in}(I, \omega) + R_S < 0$, $X_{in}(I_0, \omega_0) + X_S(\omega_0) = 0$ 。振荡器调谐网络决定振荡频率,终端网络将负载转换为振荡器所需的负载以确保振荡产生,使振荡器稳定振荡在频率 ω_0 。

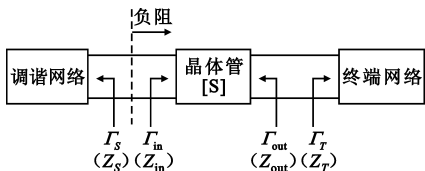


图 1 振荡器的框图
Fig.1 Block diagram of oscillator

3 射频振荡器的设计方法

3.1 问题描述

双端口射频振荡器产生振荡,需要同时满足如下 3 个条件。

条件 1:存在不稳定的有源器件,即

$$k < 1 \tag{3}$$

条件 2:振荡器左端满足振荡条件,即

$$\Gamma_{in}\Gamma_S = 1 \tag{4}$$

条件 3:振荡器右端满足振荡条件,即

$$\Gamma_{out}\Gamma_T = 1 \tag{5}$$

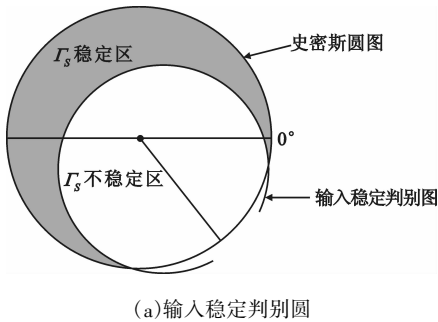
振荡器由工作于不稳定区域的晶体管二端口网络组成,选择晶体管终端的阻抗数值,在不稳定区域驱动晶体管,就可以建立负阻网络。实际上,由于

$$\Gamma_{in}\Gamma_S = \left(\frac{S_{11} - \Delta\Gamma_T}{1 - S_{22}\Gamma_T} \right) \Gamma_S, \Gamma_{out}\Gamma_T = \left(\frac{S_{22} - \Delta\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \right) \Gamma_T,$$

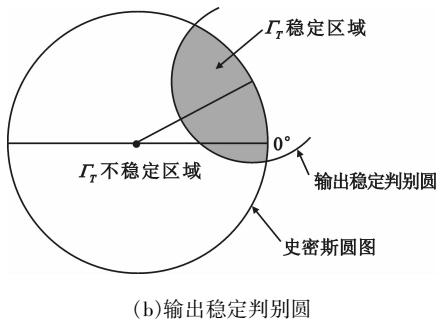
如果输入或输出端口中的任何一个端口符合振荡条件,则电路的两个端口都将产生振荡。

3.2 设计方法

利用史密斯圆图进行设计。选择在期望振荡频率处潜在在不稳定的晶体管,在史密斯圆图的复平面上给出稳定判别圆,稳定性边界曲线的位置决定各反射系数的选取,如图 2 所示。



(a)输入稳定判别圆



(b)输出稳定判别圆

图 2 史密斯圆图上的稳定性边界
Fig.2 The stability boundary on Smith chart

输入稳定判别圆为 $|\Gamma_S - C_S| = r_S$, Γ_S 、 Γ_T 和 S 参量对稳定性有影响。输入稳定判别圆只是稳定性的边界,不稳定区域可能是圆内,也可能是圆外。在 Γ_S 的复平面上, $|\Gamma_S| < 1$ 的取值在史密斯圆图单位圆内, $|\Gamma_{out}| > 1$ 的边界是输入稳定判别圆,史密斯圆图单位圆 $|\Gamma_S| = 1$ 及输入稳定判别圆二者共同决定 Γ_S 的不稳定区域。绝对稳定是稳定的一个特例,在整个史密斯圆图内都处于稳定状态,若 $|S_{11}| > 1$ 或 $|S_{22}| > 1$,不能绝对稳定。本文提出一种设计方法,能够满足振荡条件,步骤如下。

(1)判别晶体管的稳定性。用解析法判定其稳定性,首先计算稳定性因子 k ,若 $k < 1$ 则存在不稳定性;否则,配以正反馈来增加其不稳定性。

(2)在 Γ_T 复平面上画出输出稳定判别圆,然后在不稳定区域中选择一个合适的反射系数 Γ_T ,使其在晶体管的输入端产生一个大的负阻,满足 $|\Gamma_{in}| > 1$ (一般 $|\Gamma_{in}|$ 大于 3,常选 $|\Gamma_{in}|$ 在 5~10 之间),由选定的反射系数值 Γ_T 确定终端网络。

(3)此时可视为单端口振荡器,需要选择调谐网络的阻抗 Z_S , $Z_S = R_S + jX_S$ 。振荡器起振的条件为 $R_{in} + R_S < 0$,实际中应选 $R_S = |R_{in}|/3$, Z_S 的虚部选为 $X_S = -X_{in}$ 。

(4)由阻抗 Z_S 确定调谐网络。如果输入或输出端口中的任何一个端口振荡,电路将产生振荡。

(5)非稳定区域有无穷多个点,所以 Γ_T 有无穷多个可取值,应选 Γ_T 使得 $|\Gamma_{in}|$ 为大值。在晶体管稳定性改变时,重复步骤(2)、(3)、(4),确定终端网络和调谐网络,以满足技术指标。

4 振荡器仿真结果

本文设计一个晶体管振荡器,晶体管采用惠普公司的 hp_AT41411。

4.1 振荡电路

目前,射频振荡器主要采用 VCO 结构,由于 VCO 同时选用晶体管和二极管,从而增加了振荡器的复杂性。RFID 射频振荡器强调结构简洁,在本设计中振荡电路只采用晶体管和 LC 网络,降低了 RFID 振荡器的复杂度。本设计的系统特性阻抗为 50 Ω ,振荡器的振荡频率为 2.25 GHz,采用共基极的组态构成振荡器,为增强 hp_AT41411 的不稳定性,

在晶体管的基极串联了一个 2 nH 的电感。偏置网络为 $V_{ce} = 8$ V、 $I_c = 10$ mA,用电阻 R_1 和 R_2 实现。晶体管需要添加调谐网络和终端网络,来确定起振时间、振荡频率、最大功率输出、相位噪声、不稳态工作点选择等因素,调谐网络和终端网络采用 LC 结构的无源网络。振荡电路如图 3 所示。

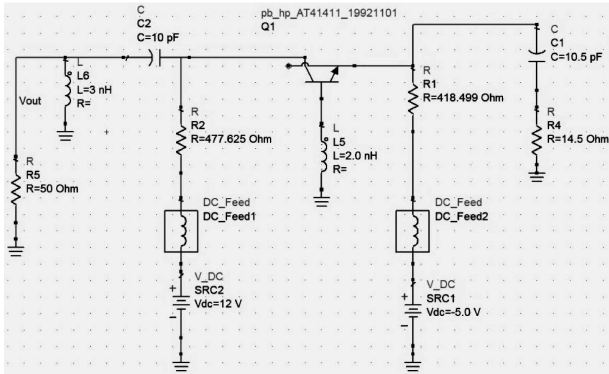


图 3 振荡电路
Fig.3 Oscillation circuit

4.2 振荡器瞬态输出和频谱输出仿真

对振荡器进行仿真,观察振荡器输出的时域和频域信号。瞬态输出仿真起始时间为 0.0 ns,终止时间为 300 ns,振荡器瞬态输出曲线示于图 4,标记 m1 插入到时间 226.9 ns 处,标记 m2 插入到时间 275.8 ns 处,标记 m1 和标记 m2 处的瞬态电压输出均为 382.5 mV,表明振荡器已经起振。文献[11]采用自动增益控制环路设计振荡器,是一种快速起振的振荡器,与文献[11]相比,本设计结构简单、起振的速度快。观察标记 m1 和标记 m2 之间的频谱,选择矩形图显示方式,振荡器频谱输出曲线示于图 5,在频谱输出图的幅度最大处插入一个标记 m3, m3 的频率为 2.25 GHz,达到了振荡器设计的振荡频率。

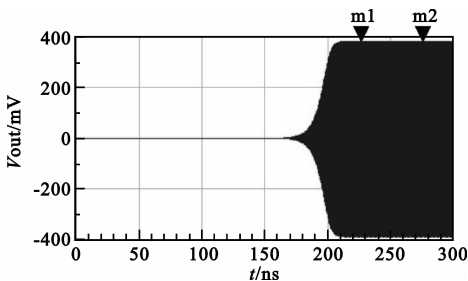


图 4 振荡器瞬态输出
Fig.4 Oscillator transient output

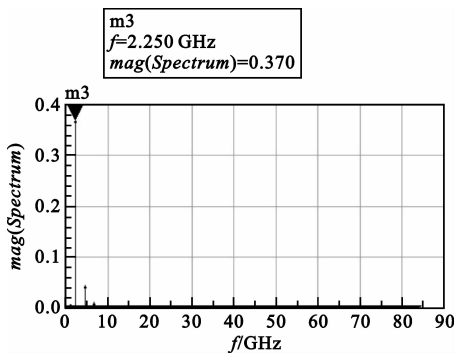


图 5 振荡器频谱输出
Fig.5 Oscillator frequency spectrum output

4.3 振荡器的噪声仿真

振荡器存在的主要噪声源有调谐网络和终端网络损耗电阻的热噪声,晶体管基极与集电极电流的散粒噪声,以及电感的寄生电阻热噪声等。图 6 和图 7 为振荡器的调幅和调频噪声,调幅噪声叠加在输出信号的幅值上,调频噪声叠加在输出信号的频率上。文献[6]分析了不同类型噪声作用下振荡器的相位噪声,振荡器有多个噪声源,本设计通过调整调谐网络和终端网络,降低了调谐网络和终端网络的损耗电阻,随着频率偏离振荡器的中心频率,噪声逐步降低,实现了较低且相对稳定的相位噪声。

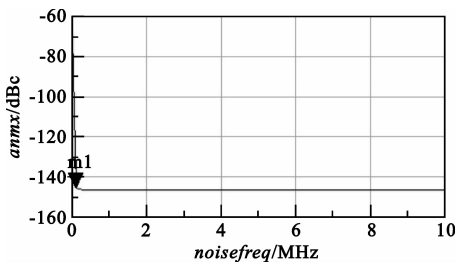


图 6 振荡器的调幅噪声
Fig.6 Oscillator amplitude noise

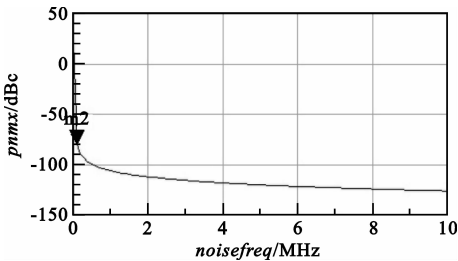


图 7 振荡器的调频噪声
Fig.7 Oscillator frequency noise

5 结 论

RFID 射频前端振荡器的设计问题是非常实际

的问题。本文提出的设计方法采用单晶体管和 无源网络,与 VCO 相比可以优化振荡器的结构,使瞬态输出和频谱输出稳定,振荡器起振的速度快,同时保持振荡器的噪声在合理的范围内。仿真表明,晶体管通过正反馈可以增加不稳定性,在晶体管潜在的不稳定区有多种反射系数的选取方法,在复平面上同时考虑稳定判别圆与史密斯圆图,通过作图分析和函数分析能够确定稳定性边界,可以优化反射系数,使射频振荡器结构简单、起振迅速,本文的研究结果对降低 RFID 射频振荡器的复杂度、提高综合性能有指导作用。本文重点讨论了 RFID 射频振荡器的结构优化和快速起振问题,对相位噪声主要讨论了调谐网络和终端网络损耗电阻带来的噪声,如果将振荡器的结构与构成相位噪声的各项参数结合起来研究,将更具有实际意义,这将是下一步的研究工作。

参考文献:

[1] Welbourne E, Battle L, Cole G. Building the Internet of Things Using RFID[J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(3): 48 – 55.

[2] Giner P, Cetina C, Fons J, et al. Developing Mobile Business Processes for the Internet of Things[J]. IEEE Pervasive Computing, 2010, 9(2): 18 – 26.

[3] 吴华森,鞠晓杰,张有光,等. ISO/IEC 18000 – RFID 空中接口协议分析[J]. 信息技术与标准化, 2010, 11(3): 27 – 30.

WU Hua – sen, JU Xiao – jie, ZHANG You – guang, et al. Analysis on ISO/IEC 18000 – RFID Air Interface Protocol [J]. Information Technology & Standardization, 2010, 11(3): 27 – 30. (in Chinese)

[4] 黄玉兰. 物联网 – 射频识别(RFID)核心技术详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 334 – 384.

HUANG Yu – lan. The Internet of Things – RFID Core Technology Explain[M]. Beijing: People’s Posts & Telecom Press, 2010: 334 – 384. (in Chinese)

[5] 韩斌, 吴建辉. 2.5 GHz 低相位噪声 LC 压控振荡器[J]. 微电子学, 2008, 38(3): 424 – 427.

HAN Bin, WU Jian – hui. A 2.5GHz LC Voltage Controlled Oscillator with Low Phase Noise[J]. Microelectronics, 2008, 38(3): 424 – 427. (in Chinese)

[6] 严刚峰, 黄显核. 不同类型噪声作用下振荡器的相位噪声分析[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(2): 12 – 15.

YAN Gang – feng, HUANG Xian – he. Phase Noise Analysis Affected by Different Type Noise[J]. Microelectronics & Computer, 2009, 26(2): 12 – 15. (in Chinese)

[7] 黄玉兰. ISM 频段射频放大的小信号分析[J]. 电讯技术, 2010, 50(3): 59 – 63.

HUANG Yu – lan. Analysis of the Small Signal about RF

Amplifier at ISM Band[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(3): 59 – 63. (in Chinese)

[8] Green D B, Obaidat A S. An Accurate Line of Sight Propagation Model for Ad-hoc 802.11 Wireless LAN Devices [J]. IEEE International Conference on Communications, 2002(5): 3424 – 3428.

[9] Rotell A F M, Ma G, Yu Z. Modeling, analysis, and design of RF LDMOS devices using harmonic – balance device simulation [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2000, 48(6): 991 – 999.

[10] 黄玉兰. 射频电路理论与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 231 – 248.
HUANG Yu-lan. RF Circuit Theory and Design[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2008: 231 – 248. (in Chinese)

[11] 武振宇, 马成炎, 叶甜春. 一种低功耗快速起振晶体振荡器[J]. 微电子学, 2010, 40(1): 45 – 49.

WU Zhen-yu, MA Cheng-yan, YE Tian-chun. A Low Power Fast Start-up Crystal Oscillator[J]. Microelectronics, 2010, 40(1): 45 – 49. (in Chinese)

作者简介:

黄玉兰(1964—), 女, 山东人, 分别于 1986 年和 1989 年获西安电子科技大学电磁场与微波技术专业学士学位和硕士学位, 现为副教授, 主要研究方向为射频与微波电路、射频识别、物联网。

HUANG Yu-lan was born in Shandong Province on December, in 1964. She received the B.S. degree and the M.S. degree in Electromagnetic Field and Microwave Technique from Xidian University in 1986 and 1989, respectively. She is now an associate professor. Her research concerns RF and microwave circuit, RFID and The Internet of things.

Email: huangyulan10@sina.com

· 简 讯 ·

《电讯技术》第九届编委会第一次会议圆满成功

2012 年 7 月 26 日,《电讯技术》编辑部在青海西宁新时代大厦组织召开了第九届编辑委员会第一次会议。主办单位领导, 编委成员以及编辑部全体人员共 22 人参加了会议。这是本刊编辑部首次在省外组织召开编委会。

编委会主任雷厉副所长首先代表主办单位致欢迎词, 对各位编委在百忙中抽空参会表示感谢, 并就第九届编委会的成立情况进行了简要说明。他特别指出, 此次编委中首次增加了 16 名主办单位以外相关领域专家, 希望以此为契机, 多听取编委的意见和建议, 为《电讯技术》的发展出谋划策。随后, 雷副所长为与会编委颁发了聘书。

会上, 与会领导和编委听取了本刊副总编赵勇所作的《< 电讯技术 > : 过去、现在与未来》报告。报告从《电讯技术》的历史、在行业期刊中的地位、存在的问题、发展规划、措施与建议等五个方面进行了介绍、分析与说明, 让大家对《电讯技术》目前的状况和今后的目标有了更加清晰、全面的认识。

听取完报告, 总编喻光正研究员发表了讲话。他指出,《电讯技术》创刊早, 在 50 多年的发展中, 为促进学术交流和科技创新作出了积极的贡献, 必须要保持其核心期刊地位。虽然目前稿源充足, 但稿件质量、作者层次、作者机构分布等方面与优秀学术期刊相比还存在很大的差距。为此, 他要求: 首先, 编辑部应主动向知名专家约稿, 要采取措施吸引优秀稿件; 其次, 要提高稿件录用门槛, 严把审稿关, 杜绝人情稿; 第三, 把每期发表论文数严格控制在 25 ~ 30 篇; 第四, 加强对编辑部的投入, 进一步提高编辑人员的专业技能, 加强与作者、读者、审稿专家的沟通; 第五, 积极采取措施, 提高关键文献计量指标。

编委会名誉主任、前总编石书济研究员在发言中, 从编辑力量、经费投入、人员待遇、提高稿件质量等方面提出了建议。他特别指出, 自己担任了十几年的总编, 对《电讯技术》有很深厚的感情; 对于有关期刊发展的重大决策, 一定要慎之又慎, 以免为期刊带来致命的打击; 同时, 必须提高刊发论文的质量, 每一期保证 1 ~ 2 个重点栏目, 要向院士、博导、各领域专业组专家约稿, 保证每个栏目至少有 1 ~ 2 篇高质量论文; 控制主办单位稿件比例。

在与会编委的自由讨论中, 电子科技大学唐友喜教授、唐斌教授、杨建宇教授, 海军装备研究院罗军高级工程师, 中国卫星海上测控部赵文华副总工程师, 中科院对地观测中心王万玉研究员, 中国航空系统工程研究所副总工程师陈益邻研究员, 中国西南电子技术研究所刘爱平研究员、陈怀新研究员等先后发言, 就《电讯技术》封面、栏目、规范化、广告、组稿、审稿等方面提出了很好的意见和建议, 达成了共识, 形成了会议纪要。

最后, 雷副所长作了总结性发言。他指出, 此次会议上, 与会编委提出了很多建设性的意见和建议, 说明增加外部编委的效果非常明显。他希望各位在会后对编委会会议的频率、编委会章程的修改等多提意见, 以进一步完善相关制度。

此次会议圆满完成了各项议题, 促进了编辑部与领导、编委的交流和沟通, 达到了预期效果。编辑部将在编委会的正确领导下, 突出优势, 办出特色, 为打造电子信息领域的一流专业学术期刊而不懈努力!

(本刊编辑部)