

一种 915 MHz 低功率微波高效 微带整流电路研究

李 凯, 陈彦龙, 刘长军

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

摘 要: 设计实现了一种基于微带结构的微波整流电路, 研究了在不同输入功率下的微波整流效率. 该整流电路采用肖特基二极管的倍压式整流电路设计, 针对输入微波功率的大动态范围进行了优化设计. 通过软件仿真和加工实测, 表明在 0 dBm 至 20 dBm 的微波输入功率下, 该整流电路均可获得不低于 50% 的直流转换效率. 在 17 dBm 的微波输入功率下, 整流电路效率达到了 78.8%.

关键词: 微波整流; 整流天线; 微带; 肖特基二极管

中图分类号: TN61 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2012)03-0601-04

Study on a 915 MHz low power microwave high efficiency microstrip rectifier

LI Kai, CHEN Yan-Long, LIU Chang-Jun

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: A microwave rectifier based on microstrip structure is designed and realized in this paper. The microwave rectifying efficiency dependent on microwave input power is studied. The microwave rectifier is based on a voltage-doubler circuit with two series diodes. It has been optimized for high dynamic range of microwave input power. Simulations and measurements show that the rectifying efficiency is higher than 50% at microwave input power from 0 dBm to 20 dBm. The highest conversion efficiency is 78.8%, when the input microwave power is 17 dBm.

Key words: microwave rectification, rectenna, RFID, microstrip patch

1 引 言

伴随着新能源技术的不断发展以及对新型能量输送系统的需求, 无线微波能量传输技术日益受到密切的关注和研究^[1,2], 其中的关键部件之一就是微波整流电路. 采用微带印刷电路的微波整流电路具有体积小、重量轻、易于设计和实现等优点, 并且便于与微带天线整合^[3-6]. 微带微波整流电路可

以满足小型化、规模生产和高集成度的需求.

由于在不同应用下, 微波整流的输入功率并不确定, 比如射频身份识别系统(RFID)在到达接收天线的功率密度已很低^[7], 而在微波无线输能系统在到达整流天线中心部分的功率较大. 传输距离的不同也会影响整流电路接收到微波功率的大小. 因此, 有必要研究具有高微波输入功率动态功率范围的整流电路. 本文设计实现了一个频率为 915

收稿日期: 2011-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(60971051)

作者简介: 李凯(1987—), 男, 河南省商丘市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术.

通讯作者: 刘长军. E-mail: cjliu@scu.edu.cn

MHz 的微波二极管微带整流电路. 该电路采用倍压整流电路形式. 经过实验测试, 在输入微波功率范围为 0 dBm 至 20 dBm 的情况下获得了高于 50% 的整流效率. 在今后的研究中, 还可以进一步完善电路设计, 继续提高在微波输入功率的动态范围和微波整流的效率.

2 设计方案

微波整流电路中的核心部分就是非线性器件. 在低功率微波整流电路中, 通常使用肖特基二极管. 本整流电路采用双管串联倍压式电路, 提高整流电路的耐压. 选用 Avago 公司生产的专门为 915 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz 的工业、科学和医疗 (ISM) 频段进行优化的 HSMS-286C 型肖特基二极管作为整流二极管. 其封装形式为 SOT-323, 包含两个串联的二极管, 结构如图 1 所示. HSMS-286C 的主要 SPICE 参数为: 反向击穿电压 $B_v = 7.0\text{ V}$, 零偏置结电容 $C_{j0} = 0.18\text{ pF}$, 串联电阻 $R_s = 6.0\Omega^{[8]}$.

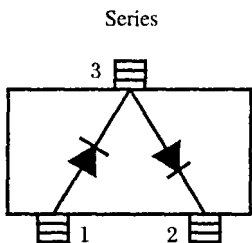


图 1 HSMS-286C 结构示意图
Fig. 1 Structure of HSMS286C

将 HSMS-286C 二极管的 3 端接入微带微波输入, 1 端和 2 端分别接入抑制谐波的微带线和后置的低通滤波电路. 这样在输入微波的正负半周, 两个二极管分别导通, 使得输出端与地之间产生直流电压. 在理想情况下, 整个整流电路的直流输出电压可达单管半波整流电路的二倍, 称为倍压式整流电路. 微波整流电路中, 倍压整流电路的优点是既可以提供更高的直流输出电压给负载, 又让两支二极管共同分压而降低被击穿的可能性.

整个电路最前端采用 50 欧姆的微带线, 与微波输入端, 如天线、同轴电缆等的阻抗一致. 而后采用一个隔直电容 C_1 来阻断整流电路直流输出可能对微波源的影响. 该电容同时起到调节阻抗匹配的作用. 在经过一段阻抗匹配传输线之后, 连接肖特基二极管 D 的 3 端引脚, 剩余两个引脚一个通过长度约为 $\lambda_g/8$ 的微带线接地, 另一个接在后置低通滤波器, 与直流输出相连. 终端短路的 $\lambda_g/8$ 微带线在中心频率 915 MHz 时呈现感性, 与二极管的结电容的容抗抵消, 实现阻抗匹配. 后置低通滤波, 将整流电路高次谐波抑制在负载之前, 实现谐波回收提高整流效率. 由于二极管是非线性器件, 工作时会产生高次谐波. 输出低通滤波电路将谐波反射回二极管, 重新进行整流, 从而提高了微波整流的效率. 输出低通滤波电路由一段串联微带线和一个并联电容 C_2 组成, 与最后的直流输出微带线相连. 整个电路的软件设计原理框图如图 2 所示.

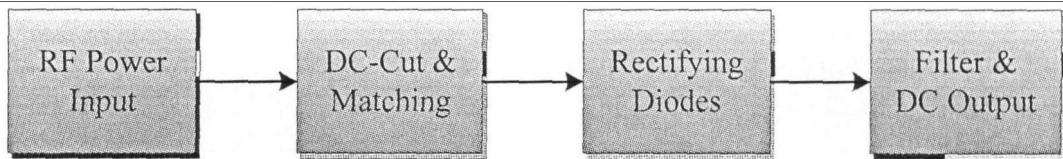


图 2 整流电路原理框图
Fig. 2 The rectifier system

3 微带整流电路的结构

电路实际加工采用的基板材料为聚四氟乙烯玻璃纤维双面覆铜板, 厚度为 1 mm, 相对介电常数 2.65, 损耗角正切 0.02, 覆铜厚度 0.017 mm. 电路的输入端阻抗为 50 欧姆, 便于同微波输入装置相匹配. 由于 915 MHz 微波的波长较长, 为了减小电路尺寸, 将微带线进行了一些弯折, 考虑到避免

相互干扰, 弯折的程度较小.

整流电路的设计版图和装配好的实物分别如图 3 和图 4 所示. SMA 接头焊接在 50 欧姆的微带线上, 用于连接微波功率源, 其后是隔直电容和弯折的阻抗匹配传输线, 连接在肖特基二极管的 3 端引脚. 而后分别是 $\lambda_g/8$ 微带传输线和输出低通滤波与直流输出部分.

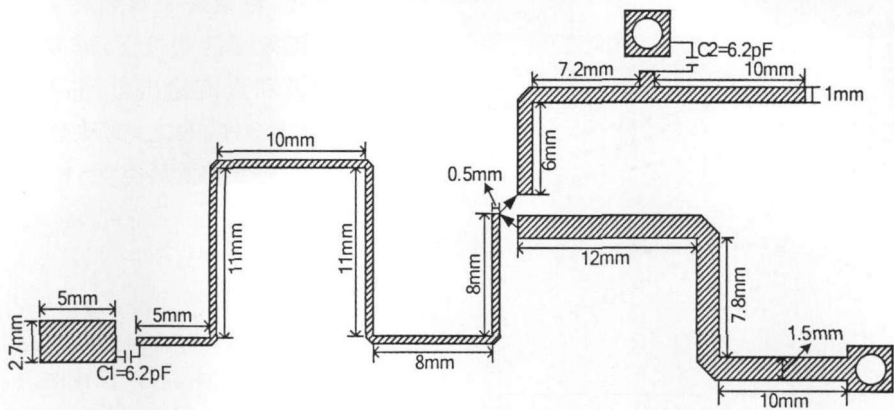


图 3 整流电路设计图
Fig. 3 Design of rectifier

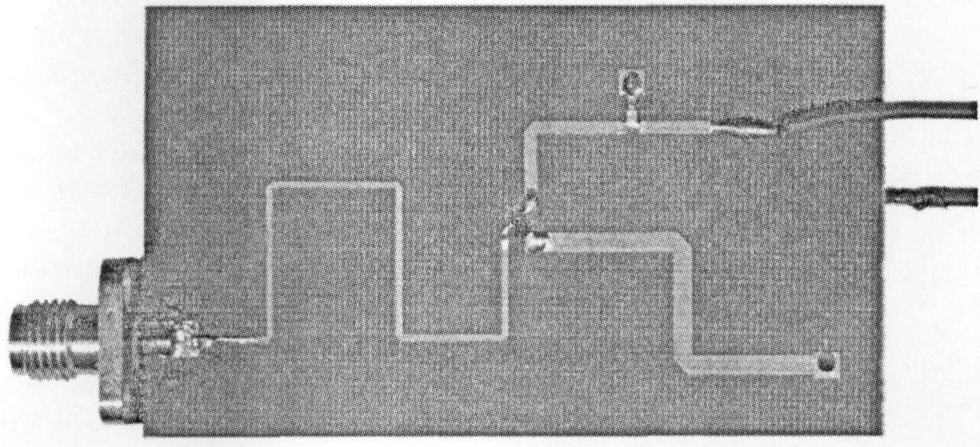


图 4 整流电路实物图
Fig. 4 Photo of the fabricated rectifier

4 测量与结果分析

实验中采用安捷伦公司的 E8267C 微波矢量信号源作为微波源,通过 SMA 接头向整流电路输出 915 MHz 的微波.直流输出端连接标准电阻箱作为负载,并用安捷伦 34970A 信号采集仪测量负载电压.整流电路的直流转换效率计算公式为:

$$\eta = \frac{V_{DC}^2}{R_{Load}} \times \frac{1}{P_{RF}} \times 100\% \tag{1}$$

式中 V_{DC} 为直流输出电压, R_{Load} 为负载阻值, P_{RF} 为信号源输入到整流电路的功率.通过调节微波矢量信号源,改变微波整流电路输入微波功率,依次测量 0 dBm 至 20 dBm 微波输入功率下,整流电路的直流转换效率.测定过程中,负载电阻的调节范围从 300 欧姆到 3000 欧姆.在典型微波输入功率下,整流电路效率与负载电阻的关系如图 5 所示.可以看出:整流效率随负载阻值的增加而增大,然后增幅逐渐放缓,趋于稳定并达到最高点以后,开始逐

渐降低.在最低 0 dBm 的微波输入功率下,整流电路效率曲线最为平坦;在最高 20 dBm 输入功率下,整流电路效率曲线变化最为陡峭.

在不同的输入功率下,各个输入值的最高整流效率分布和变化趋势如图 6 所示.可以看出,最高整流效率从 0 dBm 输入开始,随着输入功率的增加而平稳增加,在 17 dBm 的输入功率时达到最大值,实验测得为 78.8%.在更高的微波输入功率下,最高整流效率和整体效率均下降较快.在整个实验中,输入微波功率范围为 0 dBm 至 20 dBm,各功率下最高整流效率的均高于 50%.

由以上的数据可知,该整流电路在较宽的输入功率范围内整流效率表现良好,且负载阻值大小适中,可望应用于 RFID、微波能量传输等不同功率条件下的整流,以及利用空间微波能量的各种监测、传感器等.

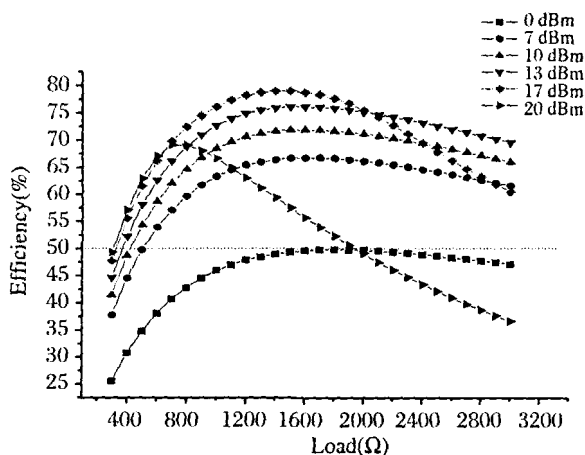


图 5 典型输入功率下整流效率随负载变化趋势

Fig. 5 Conversion efficiencies at typical power inputs

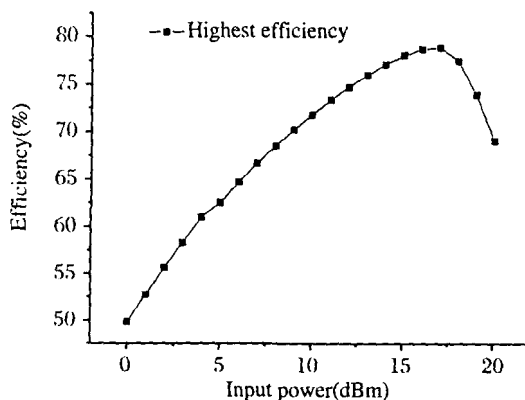


图 6 各输入功率下最高整流效率变化

Fig. 6 Highest conversion efficiencies at different inputs

5 结 论

目前,应用于无线微波输能以及 RFID 等系统的微波整流电路发展迅速,各种新型应用也不断涌现.对于宽动态微波功率输入范围的整流电路研究值得关注.本文设计实现了一个工作频率为 915 MHz 的微带贴片二极管整流电路,在较宽的功率输入范围下工作良好,整流效率较高.实验测试在 0 dBm 的输入功率下,可获得 50% 的最高整流效率.在 17 dBm 的输入功率下,最高整流效率达到 78.8%.在进一步的研究中,可采用更高介电常数

的介质基板,以及左手材料传输线等方法^[9,10],在不降低整流效率的前提下,缩减电路尺寸;以及改进后端滤波和直流输出电路,更好的抑制高次谐波,提高整流效率.总之,宽动态范围微波整流电路具有良好的前景和发展空间,相关的工作非常具有应用价值.

参考文献:

- [1] William C Brown. The History of Power Transmission by Radio Waves [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1984, 32 (9): 1230.
- [2] 杨雪霞. 微波输能技术概述与整流天线研究新进展 [J]. 电波科学学报, 2009, 24(4): 770.
- [3] Liu C J, Huang K M, He Q J. A 2.45 GHz rectifying circuit with enhanced range of input power and load [C]. MaCau: APMC, 2008.
- [4] He Q J, Liu C J. An enhanced microwave rectifying circuit using HSMS-282 [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(4): 1151.
- [5] 刘长军, 黄卡玛, 闫丽萍. 射频通信电路设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [6] Zhang B, Zhao X, Yu C, et al. A power enhanced high efficiency 2.45 GHz rectifier based on diode array [J]. Journal of Electromagnetic Waves & Applications, 2011, 25(5/6): 765.
- [7] 孙旭光, 张春, 李永明, 等. 超高频无源 RFID 标签的一些关键电路的设计 [J]. 中国集成电路, 2007, 92(1): 29.
- [8] Avago Technologies. HSMS-286x series surface mount microwave schottky detector diodes data sheet [DB/OL]. 2009. <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1388EN>.
- [9] 杨滔, 刘长军, 黄文, 等. 基于集总参数电容的新型混合左右手传输线设计 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2010, 47 (3): 511.
- [10] 赵国华, 刘长军. 新型紧凑电磁带隙结构在微波合路器中的应用 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2008, 45 (2): 327.

[责任编辑: 李富河]